

张吉光 史自强 崔红社 编著

# 高层建筑和地下建筑 通风与防排烟

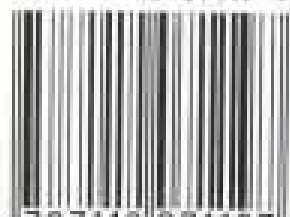
GAOCENG JIANZHU HE DIXIA JIANZHU  
TONGFENG YU FANGPAIYAN



中国建筑工业出版社  
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

责任编辑 姚荣华  
封面设计 贺玉婷

ISBN 7-112-07119-4



9 787112 071197 >

(13073) 定价: 30.00 元



# 高层建筑和地下建筑 通风与防排烟

张吉光 史自强 崔红社 编著

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

高层建筑和地下建筑通风与防排烟/张吉光等编著

北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07119-4

I. 高... II. 张... III. ①高层建筑—通风②高层建筑—烟道③地下建筑物—通风④地下建筑物—烟道  
IV. ①TU976②TU96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 004212 号

本书介绍了高层建筑和地下建筑的分类与建筑火灾特点、建筑防火对策、烟的性质和危害、建筑物内烟的流动规律和烟气控制的相关知识。系统地介绍了高层建筑、非高层建筑的大面积房间、地下建筑、地下停车场、隧道等工程的通风与防排烟要求, 阐述了各类建筑的防排烟设计方法。

\* \* \*

责任编辑: 姚荣华

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 李志瑛 赵明霞

**高层建筑和地下建筑通风与防排烟**

张吉光 史自强 崔红社 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 1/4 插页: 2 字数: 368 千字

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-07119-4

TU·6350(13073)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## 前 言

随着我国经济建设的迅速发展,人们生活水平不断提高,但城市用地日益紧张,因而促进了高层建筑和地下建筑的发展。国内外许多高层建筑和地下建筑火灾的经验教训告诉我们,如果在高层建筑设计中,对防火设计缺乏考虑或考虑不周密,一旦发生火灾,会造成严重的伤亡事故和经济损失。由于管理和设计等多方面的原因,近几年出现建筑火灾的情况增多,人员伤亡增加,经济损失很大。

在建筑防排烟工程的设计、审核时,相关人员主要依据现行《建筑设计防火规范》、《高层民用建筑设计防火规范》、《人民防空工程设计防火规范》、《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》、上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》等的相关条款作为标准。其中有一些条款仅作了原则性的规定,不易把握,具体进行设计时各个设计院甚至每个人对规范的理解不同,设计防排烟工程时,时常出现不合理的情况。

本书系统地介绍了高层建筑、非高层建筑的大面积房间、地下建筑、地下停车场、隧道等工程的火灾和烟气流动特点,对各种建筑的防排烟要求和防排烟设计进行了系统地阐述,汇总了相关资料,便于使用。

本书共分7章,第1章介绍高层建筑分类与建筑火灾特点、建筑防火对策、烟的性质和危害、建筑物内烟的流动规律和烟气控制的相关知识。第2章介绍高层建筑防火排烟的基本概念,高层建筑的防火分区、防烟分区和排烟设计,并介绍了高层建筑的中庭排烟的特殊问题,介绍了高层建筑机械加压送风防烟系统的设计要求和设计方法,比较了《高层民用建筑设计防火规范》和上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》规定的楼梯间和前室加压送风计算方法的异同,介绍了通风与空气调节系统的防火措施,非高层建筑大面积房间的防排烟设计。第3章介绍防排烟设备,包括防火阀、排烟阀与排烟风口、排烟风机等的要求和性能参数。第4章介绍地下建筑的定义与分类、地下建筑火灾的特点。第5章介绍一般地下建筑通风与防排烟设计、地下车库的通风与防排烟设计、诱导器通风的应用和设计。第6章介绍隧道通风系统特点、通风量计算、通风方式选择、通风系统和排烟设计及实例。第7章介绍了上海环球金融中心大厦防排烟模拟试验的背景和实验结果,为超高层建筑的防排烟设计提供参考资料。

本书由张吉光撰写第1、2、3章并负责全书统稿,史自强撰写第4、5章,崔红社撰写第6、7章。

本书可作为建筑环境与设备工程(暖通)专业和防火设计的相关技术人员进行通风与防排烟工程设计时的参考资料,亦可作为建筑环境与设备工程(暖通)专业有关课程的教材。

在本书的编写过程中,得到了许多同行专家的支持和帮助,并参阅了许多国内外公开发表的有关专业书籍和文献资料,引用了部分工程实例,在此表示感谢。

由于作者水平所限和时间的原因为,书中可能有偏颇或错误之处,望同行、读者指正。

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第 1 章 基本知识</b> .....       | 1  |
| 1.1 高层建筑分类与建筑火灾特点 .....       | 1  |
| 1.1.1 常用术语 .....              | 1  |
| 1.1.2 高层建筑分类 .....            | 3  |
| 1.1.3 几个名词解释 .....            | 4  |
| 1.1.4 高层建筑火灾特点 .....          | 5  |
| 1.2 建筑火灾的蔓延 .....             | 6  |
| 1.2.1 建筑火灾的蔓延方式 .....         | 6  |
| 1.2.2 建筑火灾的蔓延途径 .....         | 7  |
| 1.3 建筑防火对策 .....              | 9  |
| 1.3.1 建筑火灾的发展过程与消防 .....      | 9  |
| 1.3.2 建筑防火综合措施 .....          | 12 |
| 1.4 烟的性质和危害 .....             | 14 |
| 1.4.1 烟的性质 .....              | 14 |
| 1.4.2 烟气的危害 .....             | 18 |
| 1.5 建筑物内烟的流动 .....            | 20 |
| 1.5.1 火源上的火焰气流 .....          | 20 |
| 1.5.2 开口处的烟气流动 .....          | 21 |
| 1.5.3 建筑物内烟气流动特性 .....        | 23 |
| 1.6 烟气控制的预测 .....             | 25 |
| 1.6.1 火灾房间烟层下降的预测模型 .....     | 25 |
| 1.6.2 烟流的控制 .....             | 29 |
| <b>第 2 章 高层建筑防排烟设计</b> .....  | 33 |
| 2.1 防排烟系统概述 .....             | 33 |
| 2.1.1 火灾时高层建筑内的烟气流动特点 .....   | 33 |
| 2.1.2 高层建筑防火排烟的基本概念 .....     | 34 |
| 2.1.3 高层建筑的防火分区、防烟分区和排烟 ..... | 36 |
| 2.2 自然排烟 .....                | 38 |
| 2.2.1 自然排烟的设计要点 .....         | 38 |
| 2.2.2 自然排烟口的设置 .....          | 40 |
| 2.3 机械排烟 .....                | 41 |
| 2.3.1 机械排烟方式和系统组成 .....       | 41 |
| 2.3.2 机械排烟系统的设计要求 .....       | 42 |

|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 2.3.3  | 机械排烟量的计算           | 42  |
| 2.3.4  | 排烟系统               | 43  |
| 2.3.5  | 排烟口的设计要求           | 44  |
| 2.3.6  | 排烟风机的设计要求          | 46  |
| 2.3.7  | 排烟风道的设计要求          | 48  |
| 2.3.8  | 机械排烟系统设计其他应注意的问题   | 49  |
| 2.3.9  | 机械排烟系统控制程序         | 51  |
| 2.4    | 高层建筑的中庭排烟问题        | 52  |
| 2.4.1  | 中庭的防火排烟要求          | 52  |
| 2.4.2  | 中庭的防排烟方式           | 54  |
| 2.4.3  | 中庭防排烟设计实例          | 58  |
| 2.5    | 机械加压送风防烟系统         | 59  |
| 2.5.1  | 机械加压送风防烟设施设置部位     | 60  |
| 2.5.2  | 机械加压送风防烟系统的设计要求    | 62  |
| 2.5.3  | 机械加压送风防烟系统的设计      | 63  |
| 2.6    | 防排烟方式的选择           | 74  |
| 2.7    | 通风与空气调节系统的防火       | 76  |
| 2.7.1  | 在必要位置设置防火阀         | 76  |
| 2.7.2  | 合理布置通风空调系统         | 76  |
| 2.7.3  | 垂直排风管道应采取防止回流的措施   | 78  |
| 2.7.4  | 严格选取设备及风管材料        | 78  |
| 2.7.5  | 注意防爆问题             | 79  |
| 2.8    | 超高层建筑的防排烟          | 79  |
| 2.8.1  | 超高层建筑烟控设计研究        | 79  |
| 2.8.2  | 正压风道均匀送风设计         | 83  |
| 2.9    | 非高层建筑大面积房间的防排烟     | 87  |
| 2.9.1  | 非高层建筑大面积房间的防排烟     | 87  |
| 2.9.2  | 大面积空间防烟分区的划分与系统排烟量 | 88  |
| 2.10   | 机械防排烟的控制程序         | 89  |
| 2.11   | 工程实例               | 92  |
| 2.11.1 | 静安希尔顿工程            | 92  |
| 2.11.2 | 上海环球金融中心防排烟工程设计    | 93  |
| 2.12   | 设计常用防排烟系统原理图       | 106 |
| 第3章    | 防排烟设备              | 107 |
| 3.1    | 防火阀与排烟风口           | 107 |
| 3.1.1  | 防火阀                | 107 |
| 3.1.2  | 排烟阀                | 108 |
| 3.1.3  | 排烟风口               | 109 |
| 3.1.4  | 加压送风口              | 114 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 3.1.5 电动防火阀、电动防烟防火阀 .....             | 115 |
| 3.1.6 余压阀 .....                       | 116 |
| 3.2 排烟风机 .....                        | 116 |
| <b>第4章 地下建筑分类及火灾特点</b> .....          | 142 |
| 4.1 地下建筑的分类与建筑特点 .....                | 142 |
| 4.1.1 地下建筑的分类 .....                   | 143 |
| 4.1.2 地下建筑的建筑特点 .....                 | 143 |
| 4.2 地下建筑的火灾特点 .....                   | 145 |
| 4.2.1 地下建筑火灾时的燃烧特点 .....              | 146 |
| 4.2.2 地下建筑火灾时烟气流动的特点 .....            | 146 |
| 4.2.3 地下建筑火灾的发展与蔓延 .....              | 147 |
| 4.2.4 地下建筑火灾时的疏散 .....                | 147 |
| 4.2.5 地下建筑的火灾特点 .....                 | 148 |
| <b>第5章 一般地下建筑与地下车库的通风与防排烟设计</b> ..... | 152 |
| 5.1 地下建筑的防排烟措施 .....                  | 152 |
| 5.1.1 地下建筑防排烟措施 .....                 | 152 |
| 5.1.2 地下建筑排烟措施 .....                  | 153 |
| 5.1.3 地下建筑防排烟方式的选择 .....              | 154 |
| 5.2 一般地下建筑的防排烟设计 .....                | 156 |
| 5.2.1 防烟分区的划分 .....                   | 156 |
| 5.2.2 防排烟设施的设置范围 .....                | 157 |
| 5.2.3 防排烟风量的计算 .....                  | 158 |
| 5.3 地下车库的通风与防排烟设计 .....               | 159 |
| 5.3.1 地下车库通风与防排烟系统的设计原则 .....         | 159 |
| 5.3.2 地下车库通风量与排烟量的确定 .....            | 160 |
| 5.3.3 常用的地下车库通风与排烟系统 .....            | 162 |
| <b>第6章 地下隧道的通风</b> .....              | 165 |
| 6.1 概述 .....                          | 165 |
| 6.2 道路沉管隧道通风设计的基础资料调查 .....           | 167 |
| 6.2.1 交通调查—确定每小时通过隧道的交通量 .....        | 167 |
| 6.2.2 气象调查 .....                      | 167 |
| 6.2.3 当地条件和环境调查 .....                 | 167 |
| 6.3 道路地下隧道通风系统设计 .....                | 167 |
| 6.3.1 通风系统设计的技术路线 .....               | 167 |
| 6.3.2 设计条件的设定及确认 .....                | 167 |
| 6.4 通风量的计算 .....                      | 169 |
| 6.4.1 有害气体及烟雾发生量 .....                | 169 |
| 6.4.2 CO及烟雾浓度容许标准 .....               | 169 |
| 6.4.3 通风量计算 .....                     | 170 |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 6.4.4 通风量计算实例 .....                            | 175        |
| 6.5 通风方式选择 .....                               | 176        |
| 6.5.1 通风方式选择原则 .....                           | 176        |
| 6.5.2 自然通风方式 .....                             | 176        |
| 6.5.3 机械通风的纵向通风方式 .....                        | 178        |
| 6.5.4 机械通风的半横向通风方式 .....                       | 185        |
| 6.5.5 全横向通风方式 .....                            | 197        |
| <b>第7章 上海环球金融中心大厦防排烟模拟试验 .....</b>             | <b>202</b> |
| 7.1 背景介绍 .....                                 | 202        |
| 7.2 防排烟模拟实验 .....                              | 202        |
| 7.2.1 防排烟模拟试验概况 .....                          | 202        |
| 7.2.2 上海环球金融中心防排烟模拟实验 .....                    | 203        |
| 7.2.3 烟层高度、烟层温度、压力差随时间的变化 .....                | 211        |
| <b>附录一 《民用建筑防排烟技术规程》(DG J08—88—2000) .....</b> | <b>215</b> |
| <b>附录二 风管防火阀的设置 .....</b>                      | <b>232</b> |
| <br>主要参考文献 .....                               | <br>235    |

# 第1章 基本知识

随着国家经济建设的迅速发展和改革开放的深入,各项事业兴旺发达,人们生活水平不断提高,但城市用地日益紧张,因而促进了高层建筑的发展。

国内外许多高层建筑火灾的经验教训告诉我们,如果在高层建筑设计中,对防火设计缺乏考虑或考虑不周密,一旦发生火灾,会造成严重的伤亡事故和经济损失,对特大的火灾事故,还会引起人们恐慌,严重威胁城市公共安全。

1980年美国27层的米高梅饭店火灾,烧死84人,烧伤679人。1988年元旦,泰国曼谷第一酒店发生火灾,大火燃烧了三个多小时,熊熊烈火吞噬了整个大楼内的可燃装修、家具、陈设等,经济损失十分惨重,烧死13人,烧伤81人。

我国有不少城市建造的高层建筑,由于防火设计考虑不周,存在许多潜在火灾隐患,同时大火屡有发生。1985年4月19日,哈尔滨市天鹅饭店第十一层楼发生火灾,烧毁客房6间,烧坏12间,走道吊灯大部分被烧毁,家具、陈设也被大火吞噬,死亡10人,受伤7人,经济损失250万余元。

1990年1月10日,新疆奎屯市商贸大厦发生火灾,大火燃烧了6小时,全大楼的百货商品化为灰烬,经济损失达700万元。

1991年5月28日,大连市的大连饭店,因其走廊聚氨酯泡沫板被灯泡表面高温烤着起火,烧死5人,烧伤19人,烧毁建筑面积为2200m<sup>2</sup>,经济损失62万余元。

1992年3月21日,沈阳市21层(高80m)的金三角大厦起火,烧毁各种灯具和装饰材料,直接经济损失约43万余元。

1995年4月24日,新疆乌鲁木齐凤凰时装城录像厅发生特大火灾,该建筑共五层,失火的录像厅位于第二层(无窗),造成52人死亡,其中烧死4人,中毒死亡48人。

许多火灾事例表明烟气是造成火灾中人员伤亡最主要的原因之一,因此,控制好火灾烟气对于提高建筑抵御火灾和保障人员安全的能力显得尤为重要。

## 1.1 高层建筑分类与建筑火灾特点

### 1.1.1 常用术语

为了便于理解以后所叙述的内容,首先对一些常用术语作简要介绍。

(1) 裙房(skirt building):与高层建筑相连的建筑高度不超过24m的附属建筑。与高层建筑相连的建筑高度超过24m的附属建筑按高层建筑对待。

(2) 建筑高度(building altitude):建筑高度系指高层建筑室外地面到其檐口或屋面面层的高度。屋顶上的瞭望塔、水箱间、电梯机房、排烟机房和楼梯出口小间等不计入建筑高度和层数内。

(3) 耐火极限(duration of fire resistance):建筑构件按时间—温度标准曲线进行耐

火试验,从受到火的作用时起,到失去支持能力或完整性被破坏或失去隔火作用时止的这段时间,用小时表示。

(4) 不燃烧体 (non-combustible component): 用不燃烧材料做成的建筑构件。

(5) 难燃烧体 (hard-combustible component): 用难燃烧材料做成的建筑构件或用燃烧材料做成而用不燃烧材料做保护层的建筑构件。

(6) 燃烧体 (combustible component): 用燃烧材料做成的建筑构件。

(7) 综合楼 (multiple-use building): 由两种及两种以上用途的楼层组成的公共建筑。综合楼组合形式多种多样,常见的形式为:若干层作商场,若干层作写字楼层(办公用),若干层作高级公寓;如若干楼层作办公室、若干层作旅馆,若干层作车间、仓库;又如若干层作银行,经营金融业务,若干层作旅馆,若干层作办公室,等等。

(8) 商住楼 (business-living building): 底部商业营业厅与住宅组成的高层建筑。商住楼目前发展较多而快,如广东深圳特区在临街的高层建筑中,有不少为商住楼,其他沿海、内地城市也较多。

(9) 网局级电力调度楼 (large-scale power dispatcher's building): 可调度若干个省(区)电力业务的工作楼。如中南电力调度楼、华北电力调度楼、东北电力调度楼等。

(10) 高级旅馆 (high-grade hotel): 所谓高级旅馆,指建筑标准高、功能复杂,火灾危险性较大,并且设有空气调节系统,具体地说,凡具备星级条件的且设有空气调节系统的旅馆是高级旅馆。

(11) 高级住宅 (high-grade residence): 建筑装修标准高和设有空气调节系统的住宅。如何掌握这些原则呢?一是看装修复杂程度,二是看是否有满铺地毯,三是看家具、陈设高档与否,四是设有空调系统。四者均具备,应视为高级住宅,如北京的京广大厦中的公寓、广州的中国大酒店公寓楼等。

(12) 重要的办公楼、科研楼、档案楼 (important office building、laboratory、archive): 性质重要,建筑装修标准高,设备、资料贵重,火灾危险性大,发生火灾后损失大、影响大的办公楼、科研楼、档案楼。对于评定重要的办公楼、科研楼、档案楼,总的原则是性质重要(有关国防、国计民生的重要科研、贵重物品存放楼等)、建筑装修标准高(与普通建筑相比,造价相差悬殊),设备、资料贵重(主要指高、精、尖的设备,重要资料主要是指机密性大、价值高的资料)。火灾危险性大,发生火灾后损失大、影响大。一般来说,可燃物多,火源或电源多,发生火灾后也容易造成损失大、影响大的后果,因此,必须作为重点保护。

(13) 半地下室 (semi-basement): 房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高  $1/3$ ,且不超过  $1/2$  者。

(14) 地下室 (basement): 房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高一半者。

(15) 安全出口 (safety exit): 保证人员安全疏散的楼梯或直通室外地平面的出口。

(16) 挡烟垂壁 (hang wall): 用不燃烧材料制成,从顶棚下垂不小于 500 mm 的固定或活动的挡烟设施。活动挡烟垂壁系指火灾时因感温、感烟或其他控制设备的作用,自动下垂的挡烟垂壁。国内合资工程或独资工程有采用的,如北京市的长富宫饭店,采用铝丝玻璃做挡烟垂壁。国外如东京、大阪、横滨的高层公共建筑中,有些采用铝丝玻璃、不锈

钢薄板等做挡烟垂壁。挡烟垂壁的自动控制，主要指平时固定在吊顶平面上，与火灾自动报警系统联动，当发生火灾时，感温或感烟或其他控制设备的作用，就自动下垂，起阻挡烟气作用，为安全疏散创造有利条件。

### 1.1.2 高层建筑分类

在高层民用建筑设计中，必须遵守国家的有关方针、政策和“预防为主、防消结合”的方针，针对高层建筑的火灾特点，从全局出发，结合实际情况，积极采用可靠的防火措施，保障消防安全。现行《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95) (2001版)<sup>[1]</sup> (以下简称《高规》) 适用于下列新建、扩建和改建的高层建筑及其裙房：

- (1) 十层及十层以上的居住建筑 (包括首层设置商业服务网点的住宅)；
- (2) 建筑高度超过 24m 的公共建筑。

《高规》不适用于单层主体建筑高度超过 24m 的体育馆、会堂、剧院等公共建筑以及高层建筑中的人民防空地下室。单层主体建筑高度超过 24m 的体育馆、会堂、剧院等公共建筑，这类建筑空间大，容纳人数多，防火要求不同。附建和单建的人民防空工程地下室的设计及其防火设计，可分别按照现行的国家标准《人民防空地下室设计规范》(GB 50038—94) 及《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098—98) 进行设计。

根据各种高层民用建筑的使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难易程度等将高层民用建筑分为两类，其分类的目的是为了针对不同高层建筑类别在耐火等级、防火间距、防火分区、安全疏散、消防给水、防烟、排烟等方面分别提出不同的要求，以达到既保障各种高层建筑的消防安全，又能节约投资的目的。从消防的角度将性质重要、火灾危险性大、疏散和扑救难度大的高层民用建筑定为一类。这类高层建筑有的同时具备上述几方面的因素，有的则具有较为突出的一、两个方面的因素。例如医院病房楼不计高度皆划为一类，它是因为病人行动不便，疏散困难的特点来决定的。《高规》规定的分类条件见表 1-1。高层建筑的耐火等级应分为一、二两级，其建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 1-2 的规定。

建 筑 分 类

表 1-1

| 名称   | 一 类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 二 类                                                                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 居住建筑 | 高级住宅<br>十九层及十九层以上的普通住宅                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 十层至十八层的普通住宅                                                                                                                                                                           |
| 公共建筑 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 医院</li> <li>2. 高级旅馆</li> <li>3. 建筑高度超过 50m 或每层建筑面积超过 1000m<sup>2</sup> 的商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼</li> <li>4. 建筑高度超过 50m 或每层建筑面积超过 1500m<sup>2</sup> 的商住楼</li> <li>5. 中央级和省级 (含计划单列市) 广播电视楼</li> <li>6. 局级和省级 (含计划单列市) 电力调度楼</li> <li>7. 省级 (含计划单列市) 邮政楼、防灾指挥调度楼</li> <li>8. 藏书超过 100 万册的图书馆、书库</li> <li>9. 重要的办公楼、科研楼、档案楼</li> <li>10. 建筑高度超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 除一类建筑以外商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼、商住楼、图书馆、书库</li> <li>2. 省级以下的邮政楼、防灾指挥调度楼、广播电视楼、电力调度楼</li> <li>3. 建筑高度不超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等</li> </ol> |

建筑构件的燃烧性能和耐火极限

表 1-2

| 燃烧性能和耐火极限 (h)  |                      | 耐火等级      |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|
|                |                      | 一 级       | 二 级       |
| 墙              | 防火墙                  | 不燃烧体 3.00 | 不燃烧体 3.00 |
|                | 承重墙、楼梯间、电梯井和住宅单元之间的墙 | 不燃烧体 2.00 | 不燃烧体 2.00 |
|                | 非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙      | 不燃烧体 1.00 | 不燃烧体 1.00 |
|                | 房间隔墙                 | 不燃烧体 0.75 | 不燃烧体 0.50 |
| 柱              |                      | 不燃烧体 3.00 | 不燃烧体 2.50 |
| 梁              |                      | 不燃烧体 2.00 | 不燃烧体 1.50 |
| 楼板、疏散楼梯、屋顶承重构件 |                      | 不燃烧体 1.50 | 不燃烧体 1.00 |
| 吊顶             |                      | 不燃烧体 0.25 | 难燃烧体 0.25 |

一类高层建筑的耐火等级应为一类，二类高层建筑的耐火等级不应低于二级。裙房的耐火等级不应低于二级。高层建筑地下室的耐火等级应为一类。二级耐火等级的高层建筑中，面积不超过  $100\text{m}^2$  的房间隔墙，可采用耐火极限不低于  $0.50\text{h}$  的难燃烧体或耐火极限不低于  $0.30\text{h}$  的不燃烧体。二级耐火等级高层建筑的裙房，当屋顶不上人时，屋顶的承重构件可采用耐火极限不低于  $0.50\text{h}$  的不燃烧体。

### 1.1.3 几个名词解释

#### (1) 防烟楼梯间

一类建筑和除单元式和通廊式住宅外的建筑高度超过  $32\text{m}$  的二类建筑以及塔式住宅，均应设防烟楼梯间，具体规定如下：

- 1) 楼梯间入口处应设前室、阳台或凹廊。
- 2) 前室的面积，公共建筑不应小于  $6\text{m}^2$ ，居住建筑不应小于  $4.5\text{m}^2$ 。
- 3) 前室和楼梯间的门均应为乙级防火门，并应向疏散方向开启。

高层建筑的裙房和除单元式建筑和通廊式住宅外的建筑高度不超过  $32\text{m}$  的二类建筑，可以只设封闭楼梯间，具体规定详见主要参考文献 [1]。

#### (2) 疏散通道

是指当火灾发生时，人员从房间经走道到前室再进入防烟楼梯间的消防通路。此外，国外也有利用消防电梯作为人员逃生的垂直疏散通道。

#### (3) 消防电梯

普通电梯的平面布置，一般都敞开放在走道或电梯厅，且无防烟、防水等措施，发生火灾时必须停止使用。高度超过  $24\text{m}$  的一类公共建筑、十层及十层以上的塔式住宅、十二层及十二层以上的单元式住宅和通廊式住宅、高度超过  $32\text{m}$  的二类建筑都必须设置消防电梯。消防电梯平时可与普通电梯兼用，发生火灾时，仅供消防队员登高扑救火灾使用。因此，其设置必须遵循有关规范规定，详见主要参考文献 [1]。

#### (4) 前室

防烟楼梯间或消防电梯的入口处均应设有一小室，称为前室。发生火灾时，前室可起一定的防烟作用；还可以使不能同时进入楼梯间的人在前室内短暂停留，以减缓楼梯间的拥挤程度；此外，还在一定程度上削弱楼梯间或电梯井的烟囱效应。有时防烟楼梯间与消

防电梯的人口处共用一个小室，称为合用前室。

#### (5) 避难层

避难层是发生火灾时，人员逃避火灾威胁的安全场所，建筑高度超过 100m 的公共建筑，一旦遇有火灾，要将建筑物内的人员完全疏散到室外比较困难，此时应在建筑物内部设置避难层（或避难间）。《高规》规定：建筑高度超过 100m 的公共建筑，应设置避难层（间），并应符合下列要求：

1) 避难层的设置，自高层建筑首层至第一个避难层或两个避难层之间，不宜超过 15 层。

2) 通向避难层的防烟楼梯应在避难层分隔、同层错位或上下层断开，但人员均必须经避难层方能上下。

3) 避难层的净面积应能满足设计避难人员避难的要求，并宜按  $5.00 \text{ 人}/\text{m}^2$  计算。

4) 避难层可兼作设备层，但设备管道宜集中布置。

5) 避难层应设消防电梯出口。

6) 避难层应设消防专线电话，并应设有消火栓和消防卷盘。

7) 封闭式避难层应设独立的防烟设施。

8) 避难层应设有应急广播和应急照明，其供电时间不应小于 1.00h，照度不应低于  $1.00 \text{ lx}$ 。

#### 1.1.4 高层建筑火灾特点

高层建筑的火灾具有下列特点：

(1) 火势蔓延快。高层建筑的楼梯间、电梯井、管道井、风道、电缆井、排气道等竖向井道，如果防火分隔或防火处理不好，发生火灾时好像一座座高耸的烟囱，成为火势迅速蔓延的途径，尤其是高级旅馆、综合楼以及重要的图书楼、档案楼、办公楼、科研楼等高层建筑，一般室内装修、家具等可燃物较多，有的高层建筑还有可燃物品库房，一旦起火，燃烧猛烈，容易蔓延。据测定，在火灾初起阶段，因空气对流，在水平方向造成的烟气扩散速度为  $0.3 \text{ m/s}$ ，在火灾燃烧猛烈阶段，由于高温状态下的热对流而造成的水平方向烟气扩散速度为  $0.5 \sim 3 \text{ m/s}$ ；烟气沿楼梯间或其他竖向管井扩散速度为  $3 \sim 4 \text{ m/s}$ 。如一座高度为 100m 的高层建筑，在无阻挡的情况下，半分钟左右，烟气就能顺竖向管井扩散到顶层。例如，韩国汉城 22 层的“大然阁”旅馆，二楼咖啡间的液化石油气瓶爆炸起火，烟火很快蔓延到整个咖啡间和休息厅，并相继通过楼梯和其他竖向管井，迅速向上蔓延，顷刻之间全楼变成一座“火塔”。大火烧了约 9 个小时，烧死 163 人，烧伤 60 人，烧毁大楼内全部家具、装修等，造成了严重损失。助长火势蔓延的因素较多，其中风对高层建筑火灾就有较大的影响。因为风速是随着建筑物的高度增加而相应加大的，据测定，在建筑物 10m 高处的风速为  $5 \text{ m/s}$ ，在 30m 高处的风速为  $8.7 \text{ m/s}$ ，在 60m 高处的风速为  $12.3 \text{ m/s}$ ，在 90m 高处的风速为  $15.0 \text{ m/s}$ 。由于风速增大，势必会加速火势的蔓延。

(2) 疏散困难。高层建筑的特点：一是层数多，垂直距离长，疏散到地面或其他安全场所的时间也会长些；二是人员集中；三是发生火灾时由于各种竖井拔气力大，火势和烟雾向上蔓延快，增加了疏散的困难。虽然有些城市从国外购置了为数很有限的登高消防车，但大多数建有高层建筑的城市尚无登高消防车，即使有，高度也不高，不能满足高层建筑安全疏散和扑救的需要。因普通电梯在火灾时由于切断电源等原因往往停止运转，多

数高层建筑安全疏散主要靠楼梯，而楼梯间内一旦窜入烟气，就会严重影响疏散。这些，都是高层建筑的不利条件。

(3) 扑救难度大。高层建筑高达几十米，甚至超过二三百米，发生火灾时从室外进行扑救相当困难，一般要立足于自救，即主要靠室内消防设施，但由于目前我国经济技术条件所限，高层建筑内部的消防设施还不可能很完善，尤其是二类高层建筑仍以消火栓系统扑救为主，因此，扑救高层建筑火灾往往遇到较大困难。例如：热辐射强，烟雾浓，火势向上蔓延的速度快和途径多，消防人员难以堵截火势蔓延；扑救高层建筑缺乏实战经验，指挥水平不高；高层建筑的消防用水量是根据我国目前的技术、经济水平，按一般的火灾规模考虑的，当形成大面积火灾时，其消防用水量显然不足，需要利用消防车向高楼供水，建筑物内如果没有安装消防电梯，消防队员因攀登高楼体力不够，不能及时到达起火层进行扑救，消防器材也不能随时补充，均会影响扑救。

(4) 火险隐患多。一些高层综合性的建筑，功能复杂，可燃物多，消防安全管理不严，火险隐患多，如有的建筑设有百货营业厅，可燃物仓库，人员密集的礼堂、餐厅等；有的办公建筑，出租给十几家或几十家单位使用，安全管理不统一，潜在火险隐患多，一旦起火，容易造成大面积火灾。火灾实例证明，这类建筑发生火灾，火势蔓延更快，扑救、疏散更为困难，容易造成更大的损失。高层建筑本身建筑面积大，功能复杂，使用单位多，人员集中，内部装修易燃材料多，火灾隐患多。

## 1.2 建筑火灾的蔓延

### 1.2.1 建筑火灾的蔓延方式

初始燃烧表面的火焰，将可燃材料燃烧，并使火灾蔓延开来。火焰蔓延速度主要取决于火焰传热的速度。火焰蔓延速度可由下式求得：

$$\rho V \Delta H = Q \quad (1-1)$$

式中  $\rho$ ——可燃物的密度；

$V$ ——火焰蔓延速度；

$\Delta H$ ——单位质量的可燃物从初温  $T_0$  上升到相当于火焰温度  $T_f$  时的焓的增量；

$Q$ ——火焰传热速度。

式 (1-1) 称为火灾蔓延的基本方程，实质上是反映火灾蔓延的一个能量方程。

#### (1) 热传导

火灾分区燃烧产生的热量，经导热性好的建筑构件或建筑设备传导，能够使火灾蔓延到相邻或上下层房间。例如，薄壁隔墙、楼板、金属管壁，都可以把火灾分区的燃烧热传导至另一侧的表面，使地板上或靠着隔墙堆积的可燃、易燃物体燃烧，导致火场扩大。应该指出的是，火灾通过传导的方式进行蔓延扩大，有两个比较明显的特点，其一是必须由导热性好的媒介，如金属构件、薄壁构件或金属设备等；其二是蔓延的距离较近，一般只能是相邻的建筑空间。可见传导蔓延扩大的火灾，其规模是有限的。

#### (2) 热对流

热对流是建筑物内火灾蔓延的一种主要方式。建筑火灾发展到旺盛期后，一般说来窗玻璃在轰燃之际已经破坏，又经过一段时间的猛烈燃烧，内走廊的木质户门被烧穿，或者

门框之上的亮窗玻璃被破坏,导致烟火涌入内走廊。一般耐火建筑可达  $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$  高温。这时,火灾分区内外的压差更大,遇到冷空气,使之温度降低,压差减少,失去浮力,流动速度就会降下来。若在走廊里放可燃、易燃物品,或者走廊里有可燃吊顶等,被高温烟火点燃,火灾就会在走廊里蔓延,再由走廊向其他空间传播。

除了在水平方向对流蔓延外,火灾在竖向管井也是由热对流方式蔓延的。

### (3) 热辐射

热辐射是相邻建筑之间火灾蔓延的主要方式之一。建筑防火中的防火间距,主要是考虑防止火焰辐射引起相邻建筑着火而设置的间隔距离。要搞清楚火焰辐射对火灾蔓延的机理,首先必须搞清楚两个问题,即,点燃可燃材料所需的辐射强度是多少?建筑物发生火灾时能够产生多大的辐射强度?

在建筑物中,经常采用木材或类似木材的可燃的构件、装修或家具等,因此,木材在建筑中是主要的火灾荷载。世界各国都特别注意对木材火灾的研究。工业发达国家把  $12.6\text{kW}/\text{m}^2$  作为木材点燃的临界辐射强度。在这一辐射强度下烘烤  $20\text{min}$ ,无论在室内还是在室外,火场飞散的小火星就可引燃木材。而引起木材自燃的临界辐射强度是  $33.5\text{kW}/\text{m}^2$ 。

## 1.2.2 建筑火灾的蔓延途径

建筑内某一房间发生火灾,当发展到轰燃之后,火势猛烈,就会突破该房间的限制。当向其他空间蔓延时,其途径有:未设适当的防火分区,使火灾在未受任何限制的条件下蔓延扩大;防火隔墙和房间隔墙未砌到顶板底皮,导致火灾在吊顶空间内部蔓延;由可燃的门、窗及可燃隔墙向其他空间蔓延;电梯竖向蔓延;非防火、防烟楼梯间及其他竖井未做有效防火分隔而形成竖向蔓延;现代外窗形成的竖向蔓延;通风管道等及其周围缝隙造成火灾蔓延等等。

### 1.2.2.1 火灾在水平方向的蔓延

#### (1) 未设防火分区

对于主体为耐火结构的建筑来说,造成水平蔓延的主要原因之一是:建筑物内未设水平防火分区,没有防火墙及相应的防火门等形成控制火灾的区域空间。例如,某医院大楼,每层建筑面积  $2700\text{m}^2$ ,未设防火墙分隔,也无其他的防火措施,三楼着火,将该楼层全部烧毁,由于楼板是钢筋混凝土板,火灾未向其他层蔓延。又如,东京新日本饭店,于1982年2月8日因一旅客在9层客房内吸烟引起火灾,由于未设防火分隔,大火烧毁了第9层、第10层,面积达  $4360\text{m}^2$ ,死亡32人,受伤34人,失踪30多人。再如,美国内华达州拉斯维加斯市的米高梅饭店发生火灾,由于未采取严格的防火分隔措施,甚至对  $4600\text{m}^2$  的大赌场也没有采取任何防火分隔措施和挡烟措施,大火烧毁了大赌场及许多公共用房,造成84人死亡,879人受伤的严重后果。

#### (2) 洞口分隔不完善

对于耐火建筑来说,火灾横向蔓延的另一原因是洞口处的分隔处理不完善。如,户门为可燃的木质门,火灾时被烧穿;铝合金防火卷帘无水幕保护,导致卷帘被熔化;管道穿孔处未用不燃材料密封等等。

在穿越防火分区的洞口上,一般都装设防火卷帘或钢质防火门,而且多数采用自动关闭装置。然而,发生火灾时能够自动关闭的比较少。这是因为,卷帘箱一般设在顶棚内

部，在自动关闭之前，卷帘箱的开口、导轨以及卷帘下部等因受热发生变形，无法靠自重落下，而且，在卷帘的下面堆放物品，火灾时不仅卷帘放不下，还会导致火灾蔓延。此外，火灾往往是在无人的情况下发生，即使设计了手动关闭装置，也会因无人操作，而不能发挥作用。对于钢质防火门来说，在建筑物正常使用情况下，门是开着的，一旦发生火灾，不能及时关闭也会造成火灾蔓延。

此外，防火卷帘和防火门受热后变形很大，一般凸向加热一侧。防火卷帘在火焰的作用下，其背火面的温度很高，如果无水幕保护，其背火面将会产生强烈的热辐射。在背火而堆放的可燃物或卷帘与可燃构件、可燃装修接触时，就会导致火灾蔓延。

### (3) 吊顶内部空间蔓延火灾

目前有些框架结构的高层建筑，竣工时是个大的通间，而出售或出租给用户，由用户自行分隔、装修。有不少装设吊顶的高层建筑，房间与房间、房间与走廊之间的分隔墙只做到吊顶底皮，吊顶之上部仍为连通空间。一旦起火极易在吊顶内部蔓延，且难以及时发现，导致灾情扩大；就是没有设吊顶，隔墙如不砌到结构底部，留有孔洞或连通空间，也会成为火灾蔓延和烟气扩散的途径。

### (4) 火灾通过可燃的隔墙、吊顶、地毯等蔓延

可燃构件与装饰物在火灾时直接成为火灾荷载，由于它们的燃烧而导致火灾扩大的例子很多。如，巴西圣保罗市安得拉斯大楼，由于隔墙采用木板和其他可燃板材，吊顶、地毯、办公家具和陈设等均为可燃材料。1972年2月4日发生了火灾，可燃材料成为燃烧、蔓延的主要途径，造成死亡16人，受伤326人，经济损失达200万美元。

#### 1.2.2.2 火灾通过竖井蔓延

在现代建筑物内，有大量的电梯、楼梯、服务、设备、垃圾等竖井，这些竖井往往贯穿整个建筑，若未作周密完善的防火设计，一旦发生火灾，就可以蔓延到建筑的任意一层。

此外，建筑中一些不引人注意的孔洞，有时会造成整座大楼的恶性火灾。尤其是在现代建筑中，吊顶与楼板之间，幕墙与分隔构件之间的空隙，保温夹层，通风管道等都有可能因施工质量等留下孔洞，而且有的孔洞水平方向与竖直方向互相贯通，用户往往不知道这些孔洞隐患的存在，更不会采取什么防火措施，所以，火灾时会导致生命财产的损失。

#### (1) 通过楼梯间蔓延火灾

高层建筑的楼梯间，若在设计阶段未按防火、防烟要求设计，则在火灾时犹如烟囱一般，烟火很快会由此向上蔓延。如，巴西里约热内卢市卡萨大楼，31层，设有两座开敞楼梯和1座封闭楼梯。1974年1月15日，大楼第一层着火，大火通过开敞楼梯间一直蔓延到18层，造成第3至5层、第16至17层室内装修基本烧毁，经济损失很大。

有些高层建筑只设有封闭楼梯间，而起封闭作用的门未用防火门，发生火灾后，不能有效地阻止烟火进入楼梯间，以致形成火灾蔓延通道，甚至造成重大的火灾事故。如美国纽约市韦斯特克办公楼，共42层，只设了普通的封闭楼梯间。1980年6月23日发生火灾，大火烧毁第17至25层的装修、家具等，137人受伤，经济损失达1500万美元。又如西班牙的罗那阿罗肯旅馆，地上11层，地下3层，设置封闭楼梯和开敞电梯。1979年9月12日发生火灾，由于仅设普通的封闭楼梯间，又采用了木门，不能自行关闭，因此，烟火通过未关闭的楼梯间和开敞的电梯厅，从底层迅速蔓延到了顶层，造成85人死亡，

经济损失惨重。

#### (2) 火灾通过电梯井蔓延

电梯间未设防烟前室及防火门分隔,将会形成一座座竖向烟囱。如前述美国米高梅旅馆,1980年11月21日“戴丽”餐厅失火,由于大楼的电梯井、楼梯间没有设置防烟前室,各种竖向管井和缝隙没有采取分隔措施,使烟火通过电梯井等竖向管井迅速向上蔓延,在很短时间内,浓烟笼罩了整个大楼,并窜出大楼高达150m。

在现代商业大厦及交通枢纽、航空港等人流集散量大的建筑物内,一般以自动扶梯代替了电梯。自动扶梯所形成的竖向连通空间,也是火灾蔓延的新型途径,设计时必须予以高度重视。

#### (3) 火灾通过其他竖井蔓延

高层建筑中的通风竖井,也是火灾蔓延的主要通道之一。

管道井、电缆井、垃圾井也是高层建筑火灾蔓延的主要途径。如,香港大生工业楼火灾,火势通过未设防火措施的管道井、电缆井、垃圾井等扩大蔓延。

此外,垃圾道是容易着火的部位,又是火灾中火势蔓延的主要通道。防火意识淡薄者,习惯将未熄灭的烟头扔进垃圾井,引燃可燃垃圾,导致火灾在垃圾井内隐燃、扩大、蔓延。如某高层办公大楼,垃圾道设在楼梯平台处,曾多次起火蔓延。

##### 1.2.2.3 火灾通过空调系统管道蔓延

高层建筑空调系统,未按规定部位设防火阀、采用不燃烧的风管、采用不燃或难燃烧材料做保温层,火灾时会造成严重损失。如杭州某宾馆,空调管道用可燃保温材料,在送、回风总管和垂直风管与每层水平风管交接处的水平支管上均未设置防火阀,因气焊时烧着风管可燃保温层引起火灾,烟火顺着风管和竖向孔隙迅速蔓延,从1层烧到顶层,整个大楼成了烟火柱,楼内装修、空调设备和家具等统统化为灰烬,造成巨大损失。

通风管道蔓延火灾一般有两种方式,即通风管道本身起火并向连通的空间(房间、吊顶内部、机房等)蔓延,更危险的是它可以吸进火灾房间的烟气,而在远离火场的其他空间再喷吐出来,造成大批人员因烟气中毒而死亡。如1972年5月,日本大阪千日百货大楼,3层发生火灾,空调管道从火灾层吸入烟气,在7层的酒吧间喷出,使烟气很快笼罩了大厅,引起在场人员的混乱,加之缺乏疏散引导,导致118人丧生。因此,在通风管道穿越防火分区之处,一定要设置具有自动关闭功能的防火阀门。

##### 1.2.2.4 火灾由窗口向上层蔓延

在现代建筑中,往往从起火房间窗口喷出烟气和火焰,沿窗间墙及上层窗口向上窜越,烧毁上层窗户,引燃房间内的可燃物,使火灾蔓延到上部楼层,若建筑物采用带形窗,火灾房间喷出的火焰被吸附在建筑物表面,有时甚至会吸入上层窗户内部。实验研究表明,火焰有被吸附在建筑物表面的特性。

## 1.3 建筑防火对策

### 1.3.1 建筑火灾的发展过程与消防

建筑火灾,是指建筑内某一空间燃烧起火,进而发展到某些防火分区或整个高层建筑的火灾。在某一防火分区或建筑空间,可燃物在刚刚着火、火源范围很小时,由于建筑空

间相对于火源来说，一般都比较小，空气供应充足，所以，燃烧状况与开敞的空间基本相同。随着火源范围的扩大，火焰在最初着火的可燃物上燃烧，或者引燃附近的可燃物，当防火分区的墙壁、屋顶等开始影响燃烧的继续发展时，一般说来，就完成了—个发展阶段，即火灾初期。建筑防火分区火灾一般可分为三个时间区间，即火灾初期、旺盛期和衰减期<sup>[2]</sup>。

#### (1) 初期火灾 (轰燃前)

防火分区内的可燃物，因某种原因被引起燃烧，一边消耗分区内的氧气，一边扩大燃烧范围。若燃烧范围进一步扩大，火灾温度就会急剧上升，并发生轰燃。在火灾的初起阶段，虽然火灾分区的平均温度低，但在燃烧区域及其周围的温度较高。在局部火焰高温的作用下，使得附近可燃物受热分解、燃烧，火灾规模扩大，并导致火灾分区全面燃烧，一般把火灾由初期转变为全面燃烧的瞬间，称为轰燃 (Flash over)。轰燃经历的时间短暂，它的出现，标志着火灾由初期进入旺盛期，火灾分区内的平均温度急剧上升。

当火灾分区的局部燃烧形成之后，由于受可燃物的燃烧性能、分布状况、通风状况、起火点位置、散热条件等的影响，燃烧发展—般比较缓慢，并会出现下述情况之一：

1) 当最初着火物与其他可燃物隔离放置时，着火源燃尽，而并未延及其他可燃物，导致燃烧熄灭。此时，只有火警而未成灾。

2) 在耐火结构建筑内，若门窗密闭，通风不足时，燃烧可能自行熄灭；或者受微弱通风量的限制，火灾以缓慢的速度燃烧。

3) 当可燃物与通风条件良好时，火灾能够发展到整个分区，出现轰燃现象，使分区内的所有可燃物表面都出现有焰燃烧。

初期火灾时，着火分区的平均温度低，而且燃烧速度较低，对建筑结构的破坏也比较低。初期火灾的持续时间，即火灾轰燃之前的时间，对建筑物内人员的疏散，重要物资的抢救，以及火灾扑救，都具有重要意义。若建筑火灾经过诱发成长，一旦达到轰燃，则该分区内未逃离火场的人员，生命将受到威胁。

在评价某—分区的火灾危险性时，轰燃之前的时间是一个重要因素。这段时间延缓得越长，就会有更长的时间发现和扑灭火灾，并可以使人员安全撤离。

从防火的角度来看，建筑物耐火性能好，建筑密闭性好，可燃物少，则火灾初期燃烧缓慢，甚至会出现窒息灭火、有“火警”而无火灾的结果。从灭火角度来看，火灾初期燃烧面积小，只用少量水就可以把火扑灭，因而是扑救火灾的最好时机。为了及早发现并及时扑灭初期火灾，对于重要的建筑物，最好能够安装自动火灾报警和自动灭火设备。

#### (2) 旺盛期火灾 (轰燃后)

轰燃是建筑火灾发展过程中的特有现象，是指房间内的局部燃烧向全室性火灾过渡的现象。

轰燃后，空气从破损的门窗进入起火分区，使分区内产生的可燃气体与未完全燃烧的可燃气体一起燃烧。此后，火灾温度随时间的延长而持续上升，在可燃物即将烧尽时达到最高。

室内火灾经过轰燃后，整个房间立即被火焰包围，室内可燃物的外露表面全部燃烧起来。由于轰燃之际，门、窗玻璃已经破坏，为火灾提供了比较稳定的、充分的通风条件，所以，在此阶段的燃烧将发展到最大值，并且可产生高达 1100℃ 左右的高温。在此高温下，

房间的顶棚及墙壁的表面抹灰层发生剥落，混凝土预制楼板、梁、柱等构件也会发生爆裂剥落的破坏现象，在高温热应力作用下，甚至发生断裂破坏。在此阶段，铝制品的窗框被熔化，钢窗整体向内弯曲，无水幕保护的防火卷帘也向加热一侧弯曲。火灾旺盛期随着可燃物的消耗，其分解产物渐渐减少，火势逐渐衰减。室内靠近顶棚处能见度渐渐提高；只有地板上堆集的残留可燃物，如大截面木材、堆放的书籍、棉制品等，还将持续燃烧。

### (3) 衰减期（熄灭）

经过火灾旺盛期之后，火灾分区内可燃物大都被烧尽，火灾温度渐渐降低，直至熄灭。一般把火灾温度降低到最高值的 80% 作为火灾旺盛期与衰减期的分界。这一阶段虽然有焰燃烧停止，但火场的余热还能维持一段时间的高温。衰减期温度下降速度是比较慢的。

建筑物发生火灾后人们一定会采取多种消防行动来抗御火灾。这些行动或多或少会影响火灾的发展，从而使有些火灾在初期即被扑灭，或者不会达到充分发展阶段（旺盛期）。采取的消防行动越及时、越合理，越有助于保护建筑物内人员与财产的安全，并使建筑本身少受损失。各种消防对策对于控制和扑救火灾都有着重要的作用，它们分别以不同的方式，在火灾的不同阶段，对火灾的发展进程产生影响。例如在火灾早期启动喷水灭火，对控制室内温度的升高很有效，于是室内可能不会出现轰燃阶段，并且火灾也会较快被熄灭。

在建筑火灾中，各种防治火灾对策的应用都应当参照火灾的发生发展过程加以考虑。如图 1-1 所示。

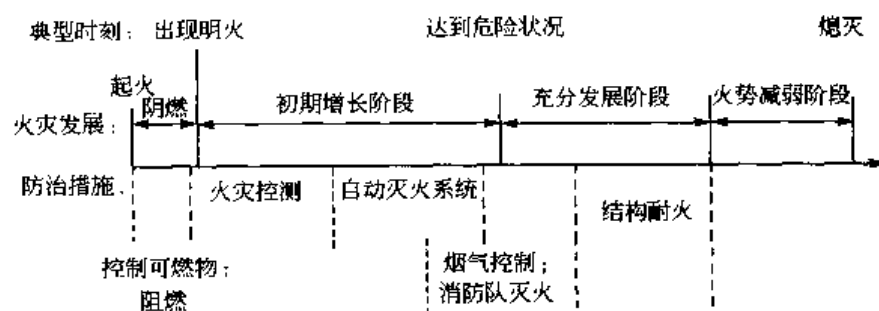


图 1-1 火灾发展过程及相应的消防对策

控制起火是防止或减少火灾损失的第一个关键环节，为此应当了解各类可燃材料的着火性能，将其控制在危险范围之外。在防火设计过程中，不仅需要严格控制建筑物内的火灾荷载密度，而且必须重视材料的合理选用，对那些容易着火的场所或部位采用难燃材料或不燃材料。而通过阻燃技术改变某些可燃或易燃材料的燃烧性能也是一种基本的阻燃手段。

火灾自动探测报警是防治火灾的另一关键环节。该系统可在火灾初期发挥作用。在发生火灾的早期，准确地探测到火情并迅速报警，不仅可为人员的安全疏散提供宝贵的报警信息，而且可通过联动以启动有关的消防设施来扑灭或控制早期火灾。自动喷水灭火系统是一种当前广泛应用的自动灭火设施，它可及时将火灾扑灭在早期或将火灾的影响控制在限定范围内，并能有效保护室内的某些设施免受损坏。对于某些使用功能或存储物品比较特殊的场合，还应根据具体情况选择其他适用的灭火系统。

对于大型建筑、高层建筑和地下建筑等现代建筑来说，使用自动消防系统对控制火灾

的增长具有特别重要的意义。这些建筑中往往都有较大的火灾荷载，且火灾发展迅速，单纯依靠外来消防队扑灭火灾，往往会延误时机，加强建筑物的火灾自防自救能力已成为现代消防的基本理念。自动火灾探测和灭火系统是实现这种功能的两种基本手段。由于火灾的类型不同，扑灭火灾的具体技术也有较大的差别。在一些特定的场合应当选用与该场合相适应的灭火系统。

在建筑火灾中，防止烟气的蔓延是一个极为重要的问题，主要是因为烟气可对楼内人员的安全构成严重威胁。因此，必须在烟气达到对人员构成危险之前就将他们撤离到安全地带。有效控制烟气的蔓延还是迅速灭火的基本条件，对于保护财产 also 具有重要意义。建筑物内的许多设施受到烟熏后，它们的工作性能也会受到极大的影响，例如电子仪器、通讯设备、生化材料等。

许多建筑火灾经常可以发展到轰燃阶段，在这种情况下保住建筑物整体结构的安全便成了火灾防治的主要目标，为此应当保证建筑物的构件具有足够强的耐火性能，认真核算相关构件的耐火极限是防火安全工程的又一重要方面。

建立良好的消防监控中心或通信指挥中心是实现多种消防技术综合集成的关键一环，缺乏强有力的统一管理和控制，难以保证各类消防系统的有效协同运作。此外，消防队接到报警后的快速反应也具有重要意义，对于轰燃后的大火，一般需要专业的消防队来扑救。他们到达火场的时间越快，就越有利于控制火灾。因此，加强消防通信和指挥系统、提高消防队伍的快速反应能力是增强城市防火安全的重要方面。

### 1.3.2 建筑防火综合措施

防火对策可分为两类，一类是“积极”防火对策，即采用预防起火、早期发现（如设火灾探测报警系统）、初期灭火（如设自动喷水灭火系统）等措施，尽可能做到不失火成灾。采用这类防火对策为重点进行防火，可以减少火灾发生的起数，但却不能排除遭受重大火灾的可能性。另一类是“消极”防火对策，即采用以耐火构件划分防火分区、提高建筑结构耐火性能、设置防排烟系统、设置安全疏散楼梯等措施，尽量不使火势扩大并疏散人员和财物。以“消极”防火对策为重点进行防火，虽然会发生火灾，但却可以减少发生重大火灾的概率。“消极”防火对策和“积极”防火对策的目的是一致的，都是为了减轻火灾损失，保证人员的生命安全<sup>[3]</sup>。

现行《建筑设计防火规范》和《高层民用建筑设计防火规范》等规范规定了建筑设计防火应采用的技术措施，其按工种概括起来有以下四大方面：

- 1) 建筑防火；
- 2) 消防给水、灭火系统；
- 3) 采暖通风和空调系统防火、防排烟系统；
- 4) 电气防火，火灾自动报警控制系统等。

#### (1) 建筑防火

建筑设计防火的主要内容有：

总平面防火。它要求在总平面设计中，应根据建筑物的使用性质、火灾危险性、地形、地势和风向等因素，进行合理布局，尽量避免建筑物相互之间构成火灾威胁和发生火灾爆炸后可能造成的严重后果，并且为消防车顺利扑救火灾提供条件。

建筑物耐火等级。划分建筑物耐火等级是建筑设计防火规范中规定的防火技术措施中

最基本的措施。它要求建筑物在火灾高温的持续作用下，墙、柱、梁、楼板、屋盖、吊顶等基本建筑构件，能在一定的时间内不破坏，不传播火灾，从而起到延缓和阻止火灾蔓延的作用，并为人员疏散、抢救物资和扑灭火灾以及为火灾后结构修复创造条件。

**防火分区和防火分隔。**在建筑物中采用耐火性较好的分隔构件将建筑物空间分隔成若干区域，一旦某一区域起火，则会把火灾控制在这一局部区域之中，防止火灾扩大蔓延。

**防烟分区。**对于某些建筑物需用挡烟构件（挡烟梁、挡烟垂壁、隔墙）划分防烟分区将烟气控制在一定范围内，以使用排烟设施将其排出，保证人员安全疏散和便于消防扑救工作进行顺利。

**室内装修防火。**在防火设计中应根据建筑物性质、规模，对建筑物的不同装修部位，采用相应燃烧性能的装修材料。要求室内装修材料尽量作到不燃或难燃化，减少火灾的发生和降低蔓延速度。

**安全疏散。**建筑物发生火灾时，为避免建筑物内人员由于火烧、烟熏中毒和房屋倒塌而遭到伤害，必须尽快撤离；室内的物资财富也要尽快抢救出来，以减少火灾损失。为此要求建筑物应有完善的安全疏散设施，为安全疏散创造良好的条件。

**工业建筑防爆。**在一些工业建筑中，使用和产生的可燃气体、可燃蒸气、可燃粉尘等物质能够与空气形成爆炸危险性的混合物，遇到火源就能引起爆炸。这种爆炸能够在瞬间以机械功的形式释放出巨大的能量，使建筑物、生产设备遭到毁坏，造成人员伤亡。对于上述有爆炸危险的工业建筑，为了防止爆炸事故的发生，减少爆炸事故造成的损失，要从建筑平面与空间布置、建筑构造和建筑设施方面采取防火防爆措施。

## （2）消防给水、灭火系统

其设计的主要内容包括：室外消防给水系统、室内消火栓给水系统、闭式自动喷水灭火系统、雨淋喷水灭火系统、水幕系统、水喷雾消防系统，以及二氧化碳灭火系统、卤代烷灭火系统等。要求根据建筑的性质、具体情况，合理设置上述各种系统，做好各个系统的设计计算，合理选用系统的设备、配件等。

## （3）采暖通风和空调系统防火、防排烟系统

采暖通风和空调系统防火设计应按规范要求选好设备的类型，布置好各种设备和配件，做好防火构造处理等。在设计防排烟系统时要根据建筑物性质、使用功能、规模等确定好设置范围，合理采用防排烟方式，划分防烟分区，做好系统设计计算，合理选用设备类型等。防、排烟作用主要有以下三个方面：

1) 为安全疏散创造有利条件。防、排烟设计与安全疏散和消防扑救关系密切，是综合防火设计的一个组成部分，在进行建筑平面布置和室内装修材料以及防、排烟方式的选择时，应综合加以考虑。火灾统计和试验表明：凡设有完善的防、排烟设施和自动喷水灭火系统的建筑，一般都能为安全疏散创造有利的条件。

2) 为消防扑救创造有利条件。火场实际情况表明，如消防人员在建筑物处于熏烧阶段、房间充满烟雾的情况下进入火场区，由于浓烟和热气的作用，往往使消防人员睁不开眼，呛得透不过气，看不清着火区情况，从而不能迅速准确地找到起火点，大大影响灭火战斗力。如果采取有效的防、排烟措施，则情况就有很大不同，消防人员进入火场时，火场区的情况看得比较清楚，可以迅速而准确地确定起火点，判断出火势蔓延的方向，及时扑救，最大限度地减少火灾损失。

3) 可控制火势蔓延扩大。试验情况表明,有效的防烟分隔及完善的排烟设施不但能排除火灾时产生的大量烟气,又能排除一场火灾中 70%~80% 的热量,起到控制火势蔓延的作用。

#### 4) 电气防火,火灾自动报警控制系统

设计要求是根据建筑物的性质,合理确定消防供电级别,做好消防电源、配电线路、设备的防火设计,做好火灾事故照明和疏散指示标志设计,采用先进可靠的火灾报警控制系统。此外,对建筑物还要设计安全可靠的防雷装置。

## 1.4 烟的性质和危害

### 1.4.1 烟的性质

#### 1.4.1.1 烟的浓度

烟是指空气中浮游的固体或液体烟粒子,其粒径在  $0.01\sim 10\mu\text{m}$  之间。而火灾时产生的烟,是一种混合物,包括:1) 可燃物热解或燃烧产生的气相产物,如未燃燃气、水蒸气、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$  及多种有毒或有腐蚀性的气体;2) 由于卷吸而进入的空气;3) 多种微小的固体颗粒和液滴。

火灾中的烟气浓度,一般有质量浓度、粒子浓度和光学浓度三种表示法。

##### (1) 烟的质量浓度

单位容积的烟气中所含烟粒子的质量,称为烟的质量浓度  $\mu_s$ ,即

$$\mu_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (\text{mg}/\text{m}^3) \quad (1-2)$$

式中  $m_s$ ——容积  $V_s$  的烟气中所含烟粒子的质量,mg;

$V_s$ ——烟气容积,  $\text{m}^3$ 。

##### (2) 烟的粒子浓度

单位容积的烟气中所含烟粒子的数目,称为烟的粒子浓度  $\mu_n$ 。

##### (3) 烟的光学浓度

当可见光通过烟层时烟粒子使光线的强度减弱。光线减弱的程度与烟的浓度有函数关系。光学浓度就是由光线通过烟层后的能见距离,求出减光系数  $C_s$  来表示的。

在火灾时,建筑物内充入烟和其他燃烧产物,影响火场的能见距离,从而影响人员的安全疏散,阻碍消防队员接近火点救人和灭火,因此,这里主要讨论烟的光学浓度。

设光源与受光物体之间的距离为  $L$  (m),无烟时受光物体处的光线强度为  $I_0$  (cd),有烟时光线强度为  $I$  (cd),则根据朗伯—比尔定律得:

$$I = I_0 e^{-C_s L} \quad (\text{cd}) \quad (1-3)$$

或者 
$$C_s = \frac{1}{L} \ln \frac{I_0}{I} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (1-4)$$

式中  $C_s$ ——烟的减光系数,  $\text{m}^{-1}$ ;

$L$ ——光源与受光体之间的距离, m;

$I_0$ ——光源处的光强度, cd。

从式 (1-3) 可以看出,当  $C_s$  值愈大时,亦即烟的浓度愈大时,光线强度  $I$  就愈小,

$L$  值愈大时, 亦即距离愈远时,  $I$  值就愈小, 这一点与人们的火场体验是一致的。

火灾时产生的烟的浓度, 一般取决于火灾房间的燃烧状况。为了研究各种材料在火灾时的发烟特性, 在恒温的电炉中燃烧试块, 把燃烧所产生的烟集蓄在一定容积的集烟箱里, 同时测定试块在燃烧时的重量损失和集烟箱内烟的浓度, 将测量得到的结果列于表 1-3 中。

建筑材料燃烧时产生烟的浓度和表现密度差

表 1-3

| 材 料               | 木 材       |           | 氯乙烯树脂 | 苯乙烯泡沫塑料 | 聚氨酯泡沫塑料 | 发烟筒<br>(有酒精) |
|-------------------|-----------|-----------|-------|---------|---------|--------------|
| 燃烧温度 (°C)         | 300~210   | 580~620   | 820   | 500     | 720     | 720          |
| 空气比               | 0.41~0.49 | 2.43~2.65 | 0.64  | 0.17    | 0.97    | —            |
| 减光系数 ( $m^{-1}$ ) | 10~35     | 20~31     | >35   | 30      | 32      | 3            |
| 表现密度差 (%)         | 0.7~1.1   | 0.9~1.5   | 2.7   | 2.1     | 0.4     | 2.5          |

注: 表现密度差是指在同温度下, 烟的表现密度  $\gamma_s$  与空气表现密度  $\gamma_a$  之差的百分比, 即  $\frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_a} \times 100\%$ 。

#### 1.4.1.2 建筑材料的发烟量与发烟速度

各种建筑材料在不同温度下, 其单位重量所产生的烟量是不同的, 见表 1-4。从表中可以看出, 木材类在温度升高时, 发烟量有所减少。这主要是因为分解出的碳质微粒在高温下又重新燃烧, 且温度升高后减少了碳质微粒的分解所致。还可以看出, 高分子有机材料能产生大量的烟气。

各种材料产生的烟 ( $C_s=0.5$ )

表 1-4

| 材 料 名 称      | 300°C                | 400°C                 | 500°C                 |
|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 松            | 4.0m <sup>3</sup> /g | 1.8m <sup>3</sup> /g  | 0.4m <sup>3</sup> /g  |
| 杉木           | 3.6m <sup>3</sup> /g | 2.1m <sup>3</sup> /g  | 0.4m <sup>3</sup> /g  |
| 普通胶合板        | 4.0m <sup>3</sup> /g | 1.0m <sup>3</sup> /g  | 0.4m <sup>3</sup> /g  |
| 难燃胶合板        | 3.4m <sup>3</sup> /g | 2.0m <sup>3</sup> /g  | 0.6m <sup>3</sup> /g  |
| 硬质纤维板        | 1.4m <sup>3</sup> /g | 2.1m <sup>3</sup> /g  | 0.6m <sup>3</sup> /g  |
| 锯木屑板         | 2.8m <sup>3</sup> /g | 2.0m <sup>3</sup> /g  | 0.4m <sup>3</sup> /g  |
| 玻璃纤维增强塑料     | —                    | 6.2m <sup>3</sup> /g  | 4.1m <sup>3</sup> /g  |
| 聚氯乙烯         | —                    | 4.0m <sup>3</sup> /g  | 10.4m <sup>3</sup> /g |
| 聚苯乙烯         | —                    | 12.6m <sup>3</sup> /g | 10.0m <sup>3</sup> /g |
| 聚氨酯 (人造橡胶之一) | —                    | 14.0m <sup>3</sup> /g | 4.0m <sup>3</sup> /g  |

除了发烟量外, 火灾中影响生命安全的另一重要因素就是发烟速度, 即单位时间、单位重量可燃物的发烟量。表 1-5 是各种材料的发烟速度, 是由实验得到的<sup>[2]</sup>。该表说明, 木材类在加热温度超过 350°C 时, 发烟速度一般随温度的升高而降低。而高分子有机材料则恰好相反。同时可以看出, 高分子材料的发烟速度比木材要大得多, 这是因为高分子材料的发烟系数大, 且燃烧速度快之故。

现代建筑中, 高分子材料大量用于家具用品、建筑装饰、管道及其保温、电缆绝缘等方面。一旦发生火灾, 高分子材料不仅燃烧迅速, 加快火势扩展蔓延, 还会产生大量有毒的浓烟, 其危害远远超过一般可燃材料。

各种材料的发烟速度  $[m^3/(s \cdot g)]$ 

表 1-5

| 材 料 名 称  | 加 热 温 度 ( $^{\circ}C$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 225                     | 230  | 235  | 260  | 280  | 290  | 300  | 350  | 400  | 450  | 500  | 550  |
| 针枞       |                         |      |      |      |      |      | 0.72 | 0.80 | 0.71 | 0.38 | 0.17 | 0.17 |
| 杉        |                         | 0.17 |      | 0.25 |      | 0.28 | 0.61 | 0.72 | 0.71 | 0.53 | 0.13 | 0.13 |
| 普通胶合板    | 0.03                    |      |      | 0.19 | 0.25 | 0.26 | 0.93 | 1.08 | 1.10 | 1.07 | 0.31 | 0.24 |
| 难燃胶合板    | 0.01                    |      | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.20 | 0.56 | 0.61 | 0.58 | 0.59 | 0.22 | 0.20 |
| 硬质板      |                         |      |      |      |      |      | 0.76 | 1.22 | 1.19 | 0.19 | 0.26 | 0.27 |
| 微片板      |                         |      |      |      |      |      | 0.63 | 0.76 | 0.85 | 0.19 | 0.15 | 0.12 |
| 苯乙烯泡沫板 A |                         |      |      |      |      |      |      | 1.58 | 2.68 | 5.92 | 6.90 | 8.96 |
| 苯乙烯泡沫板 B |                         |      |      |      |      |      |      | 1.24 | 2.36 | 3.56 | 5.34 | 4.46 |
| 聚氨酯      |                         |      |      |      |      |      |      |      | 5.0  | 11.5 | 15.0 | 16.5 |
| 玻璃纤维增强塑料 |                         |      |      |      |      |      |      |      | 0.50 | 1.0  | 3.0  | 0.50 |
| 聚氯乙烯     |                         |      |      |      |      |      |      |      | 0.10 | 4.5  | 7.50 | 9.70 |
| 聚苯乙烯     |                         |      |      |      |      |      |      |      | 1.0  | 4.95 | —    | 2.97 |

## 1.4.1.3 能见距离

火灾的烟气导致人们辨认目标的能力大大降低,即便设置了事故照明和疏散标志,也会使其减弱。因此,人们在疏散时往往看不清周围的环境,甚至达到辨不清疏散方向,找不到安全出口,影响人员安全的程度。当能见距离降到 3m 以下时,逃离火场就十分困难了。

研究表明,烟的减光系数  $C_s$  与能见距离  $D$  之积为常数  $C$ 。其数值因观察目标的不同而不同。例如,疏散通道上的反光标志、疏散门等,  $C=2\sim4$ ; 对发光型标志、指示灯等,  $C=5\sim10$ 。用公式表示:

$$\text{反光型标志及门的能见距离: } D = \frac{2\sim4}{C_s} \quad (1-5)$$

$$\text{发光型标志及白天窗的能见距离: } D = \frac{5\sim10}{C_s} \quad (1-6)$$

能见距离  $D$  与烟浓度  $C_s$  的关系,参见图 1-2 的实验结果<sup>[2]</sup>。有关室内装饰材料等反光型材料的能见距离和不同功率的电光源的能见距离见表 1-6 和表 1-7。

反光型饰面材料的能见距离  $D$  (m)

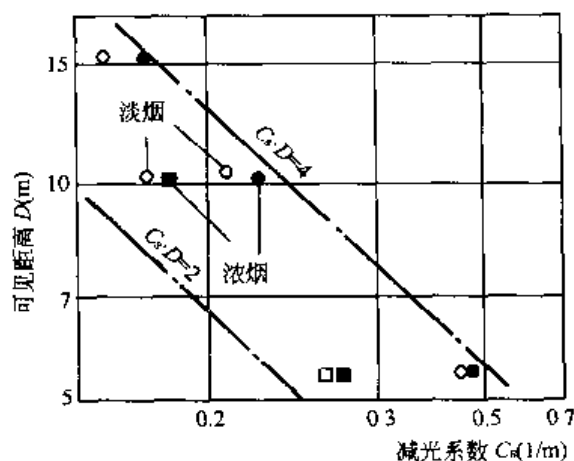
表 1-6

| 反光系数 | 室内饰面材料名称               | 烟的浓度 $C_s$ ( $m^{-1}$ ) |       |       |      |      |      |
|------|------------------------|-------------------------|-------|-------|------|------|------|
|      |                        | 0.2                     | 0.3   | 0.4   | 0.5  | 0.6  | 0.7  |
| 0.1  | 红色木地板、黑色大理石            | 10.40                   | 6.93  | 5.20  | 4.16 | 3.47 | 2.97 |
| 0.2  | 灰砖、菱苦土地面、铸铁、钢板地面       | 13.87                   | 9.24  | 6.93  | 5.55 | 4.62 | 3.96 |
| 0.3  | 红砖、塑料贴面板、混凝土地面、红色大理石   | 15.98                   | 10.59 | 7.95  | 6.36 | 5.30 | 4.54 |
| 0.4  | 水泥砂浆抹面                 | 17.33                   | 11.55 | 8.67  | 6.93 | 5.78 | 4.95 |
| 0.5  | 有窗未挂帘的白墙、木板、胶合板、灰白色大理石 | 18.45                   | 12.30 | 9.22  | 7.23 | 6.15 | 5.27 |
| 0.6  | 白色大理石                  | 19.36                   | 12.90 | 9.68  | 7.74 | 6.45 | 5.53 |
| 0.7  | 白墙、白色水磨石、白色调合漆、白水泥     | 20.13                   | 13.42 | 10.06 | 8.05 | 6.93 | 5.75 |
| 0.8  | 浅色瓷砖、白色乳胶漆             | 20.80                   | 13.86 | 10.40 | 8.32 | 6.93 | 5.94 |

发光型标志的能见距离  $D$  (m)

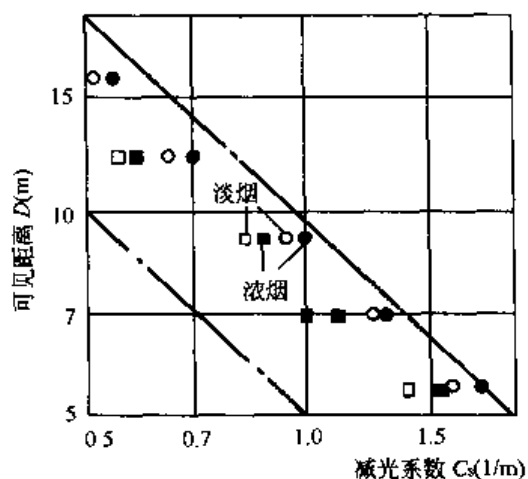
表 1-7

| $I_0$ (lm/m <sup>2</sup> ) | 电光源类型   | 功率 (W) | 烟的浓度 $C_s$ (m <sup>-1</sup> ) |       |      |      |      |
|----------------------------|---------|--------|-------------------------------|-------|------|------|------|
|                            |         |        | 0.5                           | 0.7   | 1.0  | 1.3  | 1.5  |
| 2400                       | 荧光灯     | 40     | 16.95                         | 12.11 | 8.48 | 6.52 | 5.65 |
| 2000                       | 白炽灯     | 150    | 16.59                         | 11.85 | 8.29 | 6.38 | 5.53 |
| 1500                       | 荧光灯     | 30     | 16.01                         | 11.44 | 8.01 | 6.16 | 5.34 |
| 1250                       | 白炽灯     | 100    | 15.65                         | 11.18 | 7.82 | 6.02 | 5.22 |
| 1000                       | 白炽灯     | 80     | 15.21                         | 10.86 | 7.60 | 5.85 | 5.07 |
| 600                        | 白炽灯     | 60     | 14.18                         | 10.13 | 7.09 | 5.45 | 4.73 |
| 350                        | 白炽灯、荧光灯 | 40.8   | 13.13                         | 9.36  | 6.55 | 5.04 | 4.37 |
| 222                        | 白炽灯     | 25     | 12.17                         | 8.70  | 6.09 | 4.68 | 4.06 |



□ ■ 反射系数为 0.3      ○ ● 反射系数为 0.7  
室内平均照度为 40 lx

反光型标志的能见距离



□ ■ 500cd/m<sup>2</sup>      ○ ● 20cd/m<sup>2</sup>  
室内平均照度为 40 lx

发光型标志的能见距离

图 1-2 反光型和发光型标志的能见距离

#### 1.4.1.4 烟的允许极限浓度

为了使火灾中人们能够看清疏散楼梯间的门和疏散标志,保障疏散安全,要确定疏散时人们的能见距离不得小于某一最小值。这个最小的允许能见距离就叫做疏散极限视距,一般用  $D_{\min}$  表示。

对于不同用途的建筑,其内部的在住人员对建筑物的熟悉程度是不同的。例如,住宅楼、教学楼、生产车间等建筑,其内部人员基本上是固定的,因而对建筑物的疏散路线、安全出口等,是很熟悉的;而各类旅馆、百货大楼的绝大多数人员是非固定的,所以,对建筑物的疏散路线、安全出口等是不太熟悉的。因此,对于非固定人员集中的高层旅馆、百货大厦等建筑,其疏散极限视距要求为  $D_{\min}=30\text{m}$ ;对于内部基本上是固定人员的住宅楼、宿舍楼、生产车间等的疏散极限视距为  $D_{\min}=5\text{m}$ 。

所以,要看清疏散通道上的门和反光型标志,要求烟的允许极限浓度为  $C_{\max}$ :

对于熟悉建筑物的人:  $C_{\max}=0.2\sim0.4\text{m}^{-1}$ , 平均为  $0.3\text{m}^{-1}$ ;

对于不熟悉建筑物的人:  $C_{\max}=0.07\sim0.13\text{m}^{-1}$ , 平均为  $0.1\text{m}^{-1}$ 。

但是，火灾房间的烟浓度，一般为  $C_s = 25 \sim 30 \text{m}^{-1}$ （例如，火灾房间有黑烟喷出时，就是这种情况）。为了保障疏散安全，无论是熟悉建筑物的人，还是不熟悉建筑物的人，烟在走廊里的浓度只允许为起火房间内烟浓度的  $1/300 \sim 1/100$  的程度。

#### 1.4.2 烟气的危害

通过对建筑火灾的统计分析表明，死亡人数中有 50% 左右是被烟气毒死的。近二十年来，由于各种塑料制品大量用于建筑物内，以及空调设备的广泛采用和无窗房间增多等原因，烟气毒死的比例有显著增加。在某些住宅或旅馆的火灾中，因烟气致死的比例甚至高达 60%~70%。例如，日本“千日”百货大楼火灾死亡人数中，约有 80% 是被烟气毒死的。概括起来看，烟气主要危害如下：

(1) 烟气的毒性。烟气中含有大量有毒气体，研究表明，火灾中死亡人员约有一半是由于 CO 中毒引起的，尽管现有火灾数据还无法提供其他有毒气体对人员死亡的可能影响，但大多数研究机构已达成共识，即火灾燃烧的副产物能对人产生极大危害，且多种气体的共同存在可能加强毒性。

(2) 烟气的高温危害。火灾烟气的高温对人、对物可产生不良影响。人暴露在高温烟气中，65℃ 时人可短时忍受，在 100℃ 左右时，一般人只能忍受几分钟，则会使口腔及喉头肿胀而发生窒息。

(3) 烟气的遮光性。烟气具有很强的减光作用，使得人们在有烟场合的能见度大大降低，给现场带来恐慌和混乱状态，严重妨碍人员安全疏散和消防人员扑救。

##### 1.4.2.1 对人体的危害

在火灾中，人员除了直接被烧或者跳楼死亡之外，其他的死亡原因大都和烟气有关，主要有：

(1) 一氧化碳中毒。一氧化碳被人吸入后和血液中的血红蛋白结合成为一氧化碳血红蛋白，从而阻碍血液把氧输送到人体各部分去。当一氧化碳和血液 50% 以上的血红蛋白结合时，便能造成脑和中枢神经严重缺氧，继而失去知觉，甚至死亡。即使一氧化碳的吸入在致死量以下，也会因缺氧而发生头痛无力及呕吐等症状，最终仍可导致不能及时逃离火场而死亡。

一氧化碳是烟气中对人员最具威胁的成分。它在不同浓度对人体的影响程度见表 1-8。

一氧化碳对人体的影响程度

表 1-8

| 空气中一氧化碳含量 (%) | 对人体的影响程度                |
|---------------|-------------------------|
| 0.01          | 数小时对人体影响不大              |
| 0.05          | 1.0h 内对人体影响不大           |
| 0.1           | 1.0h 时后头痛，不舒服，呕吐        |
| 0.5           | 引起剧烈头晕，经 20~30min 有死亡危险 |
| 1.0           | 呼吸数次失去知觉，经 1~2min 即可能死亡 |

(2) 烟气中毒。木材制品燃烧产生的醛类、聚氯乙烯燃烧产生的氢氯化物都是刺激性很强的气体，甚至是致命的。例如烟中含有 5.5ppm（百万分率）的丙烯醛时，便会对上呼吸道产生刺激症状；如在 10ppm 以上时，就能引起肺部的变化，数分钟内即可死亡。它的允许浓度为 0.1ppm，而木材燃烧的烟中丙烯醛的含量已达 50ppm 左右，加之烟气

中还有甲醛、乙醛、氢氧化物、氢化氰等毒气，对人都是极为有害的。随着新型建筑材料及塑料的广泛使用，烟气的毒性也越来越大，火灾疏散时的有毒气体允许浓度见表 1-9。

疏散时有毒气体允许浓度 表 1-9

| 毒气种类               | 允许浓度 (%) | 毒气种类               | 允许浓度 (%) |
|--------------------|----------|--------------------|----------|
| 一氧化碳 CO            | 0.2      | 光气 $\text{COCl}_2$ | 0.0025   |
| 二氧化碳 $\text{CO}_2$ | 3.0      | 氨 $\text{NH}_3$    | 0.3      |
| 氯化氢 HCl            | 0.1      | 氢化氰 HCN            | 0.02     |

(3) 缺氧。在着火区域的空气中充满了一氧化碳、二氧化碳及其他有毒气体，加之燃烧需要大量的氧气，这就造成空气的含氧量大大降低。发生爆炸时甚至可以降到 5% 以下，此时人体会受到强烈的影响而死亡。空气中缺氧时对人的影响情况见表 1-10。高层建筑中大多数房间的气密性较好，有时少量可燃物的燃烧也会造成含氧量的大大降低，这一点必须引起注意。

缺氧对人体的影响程度 表 1-10

| 空气中氧的浓度 (%) | 症 状                   |
|-------------|-----------------------|
| 21          | 空气中含氧的正常值             |
| 20          | 无影响                   |
| 16~12       | 呼吸、脉搏增加，肌肉有规律的运动受到影响  |
| 12~10       | 感觉错乱，呼吸紊乱，肌肉不舒畅，很快就疲劳 |
| 10~6        | 呕吐，神智不清               |
| 6           | 呼吸停止，数分钟后死亡           |

(4) 窒息。火灾时人员可能因头部烧伤或吸入高温度烟气而使口腔及喉头肿胀，以致引起呼吸道阻塞窒息。此时，如不能得到及时抢救，就有被烧死或被烟气毒死的可能性。

在烟气对人体的危害中，以一氧化碳的增加和氧气的减少影响最大。但在实际上，起火后这些因素往往是相互混合地共同作用于人体的，一般说来，比它的单独作用更具危险性。

#### 1.4.2.2 对疏散的危害

在着火区域的房间及疏散通道内，充满了含有大量一氧化碳及各种燃烧成分的热烟，甚至远离火区的部位及其上部也可能烟雾弥漫。这对人员的疏散带来了极大的困难。烟气中的某些成分会对眼睛和鼻、喉产生强烈刺激，使人们视力下降且呼吸困难。浓烟能造成极为紧张的恐怖心理状态，使人们失去行动能力甚至采取异常行动。

除此之外，由于烟气集中在疏散通道的上部空间，通常使人们掩面弯腰地摸索行走，速度既慢又不易找到安全出口，甚至还可能走回头路。火场的经验表明，人们在烟中停留一二分钟就可能昏倒，四五分钟即有死亡的危险。

由上述可见，烟气对安全疏散具有非常不利的影响，因此，对疏散通道进行防排烟设计具有极为重要的意义。

#### 1.4.2.3 对扑救的危害

消防队员在进行灭火与救援时，同样要受到烟气的威胁。烟不仅有引起消防队员中毒、窒息的可能性，还会严重妨碍他们的行动。

弥漫的烟雾影响视线,使消防队员很难找到起火点,也不易辨别火势发展的方向,灭火工作难以有效地开展。同时,烟气中某些燃烧产物还有造成新的火源和促使火势发展的危险;不完全燃烧产物可能继续燃烧,有的还能与空气形成爆炸性混合物;带有高温的烟气会因气体的热对流和热辐射而引燃其他可燃物。上述情况导致了火场的扩大,给扑救工作加大了难度。

## 1.5 建筑物内烟的流动

### 1.5.1 火源上的火焰气流

#### 1.5.1.1 火源上的火焰气流特性

在火源上方形成的上升气流,一般可分为以下几个区,如图 1-3 所示。

连续火焰区:火焰持续存在的区段;

间歇火焰区:火焰间歇性存在的区段;

紊流区:没有火焰、燃烧气体席卷周围空气而上升的区段。

而每一区段中心轴上的温度和流速大致如下:

连续火焰区:  $(0.03 < Z' < 0.08 \text{ 时}) \quad \Delta T_0 = 800 \quad v_0 = 6.8 Q^{1/5} (Z')^{1/2}$

间歇火焰区:  $(0.08 < Z' < 0.2 \text{ 时}) \quad \Delta T_0 = 65 (Z')^{-1} \quad v_0 = 1.9 Q^{1/5}$

紊流区:  $(0.2 < Z' \text{ 时}) \quad \Delta T_0 = 24 (Z')^{-(3/5)} \quad v_0 = 1.2 Q^{1/5} (Z')^{-(1/3)}$

上述温度、流速中:

$$Z' = ZQ^{-(2/5)} \quad (1-7)$$

式中  $Z$ ——火源之上或假设点热源上方的高度, m;

$Q$ ——火源发热速度, kW;

$\Delta T_0$ ——上升气流的中心轴与其周围的温度差, K;

$v_0$ ——上升气流中心轴处的流速, m/s。

在紊流区,温度与流速在水平方向的分布成正态分布。在室内初期火灾中,顶棚下形成的烟层高度为间歇火焰或紊流区,所以,预测烟层下降问题时,这些区段的特性是十分重要的。

#### 1.5.1.2 火灾紊流

火灾紊流的上升烟流量,对烟层下降有较大影响的紊流区段,在高度  $Z$  (m) 处紊流流量  $m_p$  (kg/s),可由下式表示:

$$m_p = C_m \left( \frac{\rho_a^2 g}{C_p T_a} \right)^{1/3} Q^{1/3} Z^{5/3}$$

或

$$m_p = C_m \left( \frac{\rho_a^2 g}{C_p T_a} \right)^{1/3} Q^{1/3} (Z + Z_0)^{5/3} \quad (1-8)$$

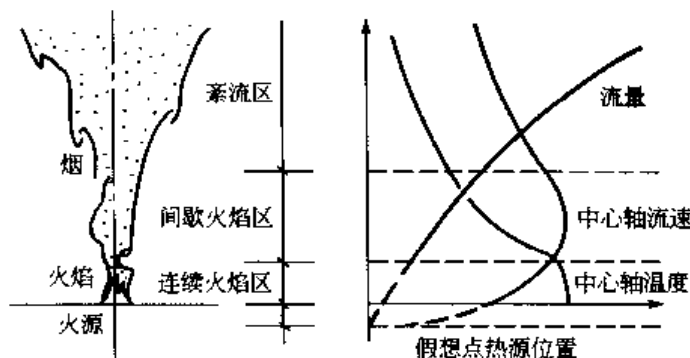


图 1-3 火源上的热气流

式中  $T_a$ ——周围的温度, K;

$Q$ ——火源的发热速度, kW;

$g$ ——重力加速度,  $m/s^2$ ;

$C_p$ ——空气定压比热,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;

$Z$ ——火源上方的高度, m;

$Z_0$ ——假设点热源位置, m;

$C_m$ ——实验常数, 在空气未紊乱的空间, 可取  $C_m = 0.21$ , 当周围空气紊乱时, 此值会增大。

### 1.5.1.3 假设点热源

火源都是有一些规模的, 应用火灾紊流式 (1-8) 时, 在实际火源位置的下方存在某一假设点, 以该点为热源点, 火源高度从该点算起, 则计算精度会更高, 这一假设位置距实际热源位置为:

$$Z_0 = 1.02D - 0.083Q^{2/5} \quad (1-9)$$

式中  $Z_0$ ——实际火源与假设火源之间的距离, m;

$D$ ——火源的直径, m;

$Q$ ——发热速度, kW。

### 1.5.2 开口处的烟气流动

火灾中的烟气与空气流动, 基本上可以用通风计算的方法进行计算。

在分析建筑物内的气体流动时, 流体能量守恒, 可用伯努利方程来表示。在完全流体的稳定流动中, 取某一流线或流管来分析, 对任意两个断面, 有下式成立:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + P_1 + \rho g Z_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2 + \rho g Z_2 \quad (1-10)$$

式中  $v$ ——气流速度,  $m/s$ ;

$Z$ ——从基准面算起的高度, m;

$g$ ——重力加速度,  $m/s^2$ ;

$P$ ——高度  $Z$  处的绝对压力, Pa, 从外部垂直作用于流管的断面。

#### 1.5.2.1 气流在开口处的流动

在开口处的两侧有压力差时, 会发生气流流动。与开口壁的厚度相比, 开口面积很大的孔洞 (如门窗洞口) 的气体流动, 叫孔口流动。如图 1-4。从开口  $A$  喷出的气流发生缩流现象, 流体截面成为  $A'$ 。若设  $A'/A = \alpha$ , 则流量  $m$  ( $kg/s$ ):

$$m = (\alpha A) \rho v$$

根据伯努利方程:

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

∴ 开口内外之差:  $\Delta P = P_1 - P_2$

则开口处流量:

$$m = \alpha A \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1-11)$$

式中  $\alpha$ ——流量系数,  $\alpha A$  称为有效面积。对于门、窗洞口, 一般  $\alpha = 0.7$  左右。

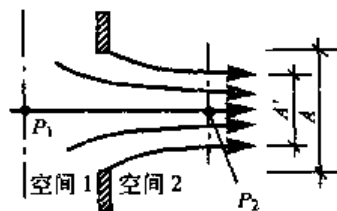


图 1-4 开口处的气流

### 1.5.2.2 烟的密度与压力

即使非常浓的烟气，与同温同压的的空气的密度相比，差别也只有百分之几。所以，可近似地认为烟的密度与空气的密度相同。

在建筑物的防烟设计中，烟气流动的动力，是建筑物内的气压差。与大气压相比，气压差是很微小的。因此，假设烟的密度不随高度而变化。而近似地将烟气密度看作绝对温度  $T$  (K) 的函数：

$$\rho = 353/T \quad (1-12)$$

假设某一基准高度处的绝对压力为  $P_0$ ，离开基准高度  $Z$  (m) 上方的一点的压力  $P$  为：

$$P = P_0 - g \int_0^Z \rho(Z) dZ$$

根据上述假定，密度不随高度变化，则有：

$$P = P_0 + \rho g Z \quad (1-13)$$

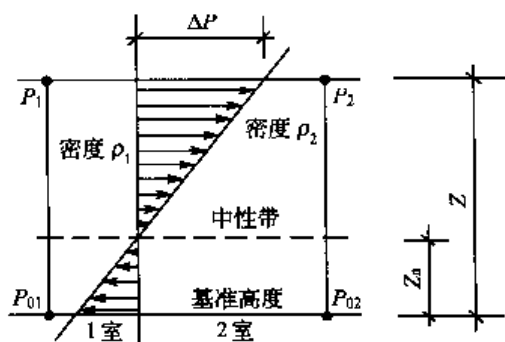


图 1-5 压力差与中性带

### 1.5.2.3 压力差与中性带

假设相邻的充满静止空气的两个房间，如图 1-5 所示，在两个房间内高度为  $Z$  处的室内压力  $P_1$ 、 $P_2$  由式 (1-13) 表达如下：

$$P_1 + \rho_1 g Z = P_{01}$$

$$P_2 + \rho_2 g Z = P_{02}$$

式中  $P_0$ ——基准高度处的压力 (Pa)，下标分别代表房间编号，则此两房间的压力差  $\Delta P$ ：

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (P_{01} - P_{02}) - (\rho_1 - \rho_2) g Z$$

某一基准高度（一般设地平面或一层地面）处的静压力，可用高度来表示。在此，两个房间的压力相同 ( $\Delta P = 0$ ) 之高度，称为中性带，在两个房间之间有开口的情况下，根据在中性带上的位置关系，其烟气流动的方向是相反的。中性带的高度  $Z_n$  (m) 由下式求出：

$$Z_n = \frac{P_{01} - P_{02}}{(\rho_1 - \rho_2) g} \quad (1-14)$$

### 1.5.2.4 门口处的烟气流动

在门洞等纵长开口处，当两个房间有温差时，其压力差是不同的，烟气流动随着高度不同而不同。

以中性带为基准面，测定高度  $h$  处的压力差  $\Delta P_h$  为：

$$\Delta P_h = |\rho_1 - \rho_2| g h$$

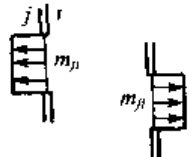
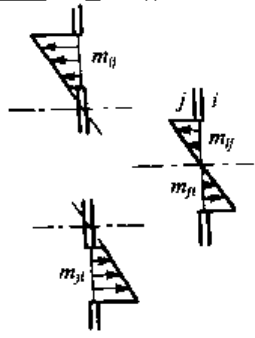
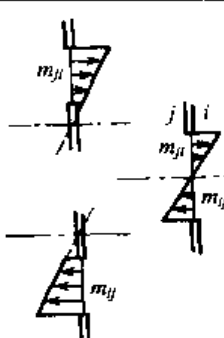
当开口宽为  $B$ ， $\rho_1 > \rho_2$  时，中性带以上的  $H$  范围内房间 2 向房间 1 的流量  $m$ ，取微小区间  $dh$  的积分，有  $A_h = B dh$ ，则：

$$\begin{aligned} m &= \int_0^H \alpha A_h \sqrt{2 \rho_2 \Delta P} \\ &= \alpha B \sqrt{2 \rho_2 (\rho_1 - \rho_2) g} \int_0^H h^{1/2} dh \\ &= (2/3) \alpha B \sqrt{2 g \rho_2 (\rho_1 - \rho_2)} H^{1.5} \end{aligned} \quad (1-15)$$

推而广之, 可将气流量与中性带、开口高度及位置关系分类, 从相邻两个房间的密度差与压力差, 整理出开口处流量的计算结果如表 1-11。

开口两侧有温差时的流量计算

表 1-11

| 判别条件              | 模 型                                                                                | 流量计算式                                                                                                                                        |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_j = \rho_i$ |   | $m_{ij} = \alpha B (H_u - H_L) \sqrt{2\rho_i \Delta P}$<br>$m_{ji} = 0$                                                                      |
|                   |                                                                                    | $m_{ij} = 0$<br>$m_{ji} = \alpha B (H_u - H_L) \sqrt{2\rho_i \Delta P}$                                                                      |
| $\rho_j > \rho_i$ |   | $m_{ij} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} \times \{(H_u - Z_n)^{1.5} - (H_L - Z_n)^{1.5}\}$<br>$m_{ji} = 0$                          |
|                   |                                                                                    | $m_{ij} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} (H_u - Z_n)^{1.5}$<br>$m_{ji} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} (Z_n - H_L)^{1.5}$ |
|                   |                                                                                    | $m_{ij} = 0$<br>$m_{ji} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} \times \{(Z_n - H_L)^{1.5} - (Z_n - H_u)^{1.5}\}$                          |
| $\rho_j < \rho_i$ |  | $m_{ij} = 0$<br>$m_{ji} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} \times \{(H_u - Z_n)^{1.5} - (H_L - Z_n)^{1.5}\}$                          |
|                   |                                                                                    | $m_{ij} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} (Z_n - H_L)^{1.5}$<br>$m_{ji} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} (H_u - Z_n)^{1.5}$ |
|                   |                                                                                    | $m_{ij} = (2/3) \alpha B \sqrt{2g\rho_i \Delta P} \times \{(Z_n - H_L)^{1.5} - (Z_n - H_u)^{1.5}\}$<br>$m_{ji} = 0$                          |

注:  $Z_n$ ——中性带高度, m;  $Z_n = (P_i - P_j) / ((\rho_i - \rho_j)g)$ ;  
 $\alpha$ ——流量系数通常取 0.7;  $H_u, H_L$ ——开口的上端及下端高度, m;  
 $P$ ——压力, Pa;  $\rho$ ——密度, kg/m<sup>3</sup>。

### 1.5.3 建筑物内烟气流动特性

#### 1.5.3.1 烟囱效应

##### (1) 烟囱效应的机理

冬季取暖或发生火灾而产生的烟气充满建筑物, 室内温度高于室外温度时, 就会引起烟囱效应。这时建筑的下部室内压力较低, 外部的冷空气流入; 与此相反, 上部压力较高, 高温烟气流向外。这种烟囱效应, 对于电梯竖井或楼梯竖井等竖向高度很大的空间, 尤其突出。

如图 1-6 所示, 我们来分析只有上下两处开口的空间, 假设其内部充满了烟气。这时, 流入内部的空气量为  $m_a$ , 流出的空气量为  $m_s$ , 则根

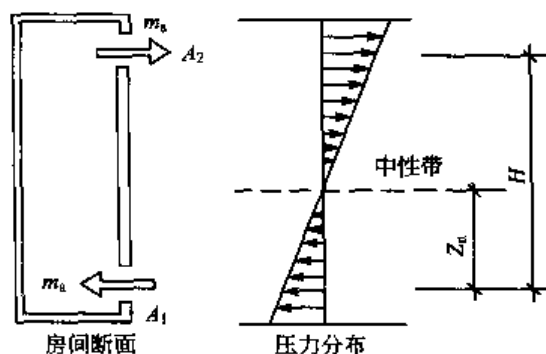


图 1-6 烟囱效应

据伯努利方程有：

$$m_a = \alpha A_1 \sqrt{2g\rho_a(\rho_a - \rho_s)Z_n} \quad (1-16)$$

$$m_s = \alpha A_2 \sqrt{2g\rho_s(\rho_s - \rho_a)(H - Z_n)} \quad (1-16')$$

式中  $H$ ——上下开口之间的垂直距离，m；

$Z_n$ ——下部开口与中性带的垂直距离，m。在稳定状态下，空间内的压力满足质量守恒定律，即

$m_a = m_s$ ，因此可得：

$$\frac{Z_n}{H - Z_n} = \frac{(\alpha A_2)^2 \rho_s}{(\alpha A_1)^2 \rho_a}$$

中性带位置与流量的关系，可由下式求得：

$$Z_n = \frac{(\alpha A_2)^2 \rho_s}{(\alpha A_1)^2 \rho_a + (\alpha A_2)^2 \rho_s} H \quad (1-17)$$

$$m_a^2 = m_s^2 = 2g(\rho_a - \rho_s) \frac{(\alpha A_1)^2 (\alpha A_2)^2 \rho_s \rho_a}{(\alpha A_1)^2 \rho_a + (\alpha A_2)^2 \rho_s} H \quad (1-18)$$

## (2) 竖井的开口条件与中性带的位置

当竖井的顶部和底部的两个开口面积相等 ( $A_1 = A_2$ )，室内外温度差不太大时，中性带的位置在建筑物的中间 (式 1-17)。当中性带上下的门窗洞口均匀分布时，这一结论也是成立的。

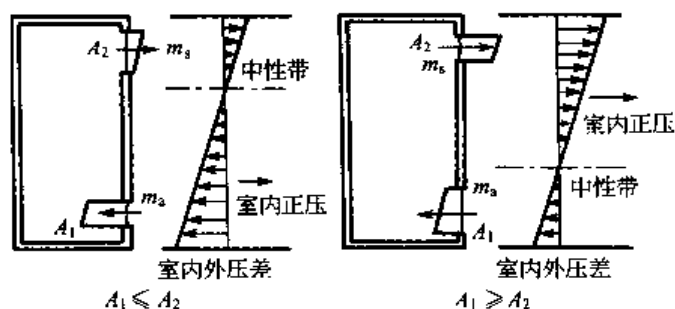


图 1-7 烟囱效应与开口大小

此外，若上部开口比下部开口大时 ( $A_1 < A_2$ )，中性带就会向上移动；上部开口比下部开口小时 ( $A_1 > A_2$ )，中性带就会向下移动，如图 1-7 所示。所以，当下部开口较大时，即使压差很小，也会出现大量的烟气流。

### 1.5.3.2 烟气在竖井内的流动

如上所述，建筑物高度越大，烟囱效应就越突出。因此，竖井对火灾时烟

气传播产生巨大影响。在取暖季节，竖井内部都会产生上升气流。在建筑物的低层部分，火灾初期产生的烟气，也会乘着上升的气流向顶部升腾。

图 1-8 是通过实验研究高层建筑竖井内烟气的扩散情况。为了研究方便，忽略了外部风的影响，这样，在竖井的下部，压力低于室外气压，而在上部的压力却高于室外。各个房间的压力处于大气压与竖井压力之间，从整体来看，以建筑高度的中部为界，新鲜空气从下部流入，而烟气则从上部排出。假设火灾房间的窗户受火灾作用而破坏，出现大的通风口后，火灾房间的压力就与大气压相接近，其窗口也有部分烟气排出。而且火灾房间与竖井压差变大，因而，涌入竖井的烟气更加剧烈。

所以，在进行高层建筑的防烟设计时，必须先很好地体会烟囱效应及由此而产生的压力分布，才有可能做好防烟设计，确保人员的生命安全。

### 1.5.3.3 前室的防烟效果

在楼梯间、消防电梯间等竖井处设置的前室，是供疏散人员临时躲避烟气威胁的场

所，具有抑制烟气向竖井侵入等作用，而从建筑物内部烟气的流动来看，可以缓减大气与竖井之间的压差，使烟囱效应减弱，从而削弱烟气的竖向流动。

当火灾层或普通楼层的排烟口打开时，如图 1-9 (b) 所示，由于前室的压力接近大气压力，故前室与竖井之间的压力差变大。因而，在低层部分，烟流进入前室后就比较容易涌入竖井。在顶部楼层，烟气从竖井易于侵入前室。但是，由于火灾房间与前室之间的压差减小，故从火灾房间流向前室的烟就相当少了，此外，对一般楼层来说，由于前室与居室之间的压差也减小了，由竖井进入前室的烟气，也难于流入一般居室。所以，前室对于防止烟的扩散是很有效的。

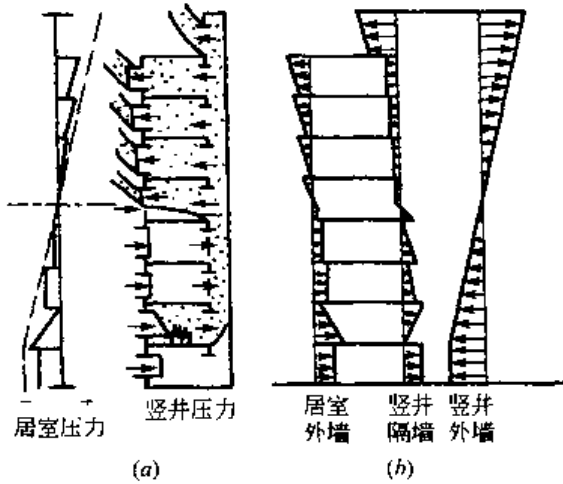


图 1-8 高层建筑的烟气蔓延与压力分布  
(a) 以大气压为基准的压差；  
(b) 作用在墙壁上的压差

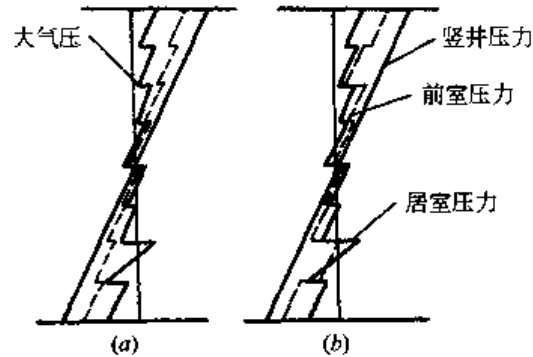


图 1-9 前室与竖井的压力分布  
(a) 前室自然排烟口关闭状态；  
(b) 火灾层及个别前室排烟口开启状态

## 1.6 烟气控制的预测

### 1.6.1 火灾房间烟层下降的预测模型

对于剧院、会堂、商业城等大空间，为了增加避难安全时间，有必要进行防止或延迟烟层下降的设计预测。

室内的烟层下降，可用流体的质量守恒和能量守恒方程与层流模型进行预测，通常用计算机进行。但是，为了安全之计，并使理论分析简化，也可以用比较容易的计算方法，来预测烟层的下降<sup>[2]</sup>。

#### 1.6.1.1 烟层非稳定下降的简化预测（无排烟时的等温烟层下降）

由于火灾紊流上升的烟气聚集在顶棚附近，特别是进行会议厅、观众厅等大空间建筑设计时，预测烟层下降速度是很有用的，简化分析模型，如图 1-10 所示。

对于高顶棚的大空间，火灾紊流过程中大量卷入周围的空气，烟气的温度不会上升。因而与疏散设计密切相关的初期火灾，也可以将烟层温度  $T_s$  确定为近似固定的，并假定火灾空间的水平投影面积  $A$  不随高度而变化，则烟层的质量守恒公式可以写为如下形式：

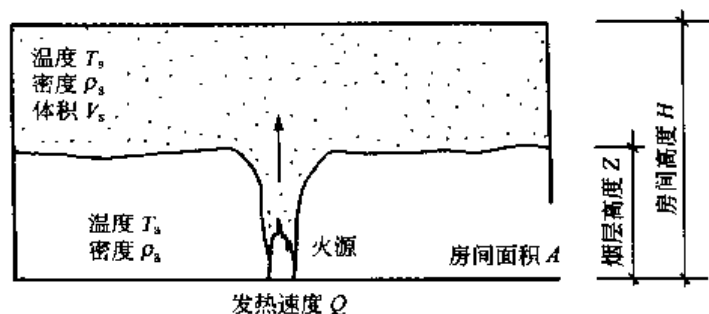


图 1-10 烟层下降的非稳定预测模型

$$\frac{d}{dt}(\rho_s V_s) = m_p$$

$$\therefore -\rho_s A \frac{dZ}{dt} = m_p \quad (1-19)$$

式中  $\rho_s$ ——烟的密度；  
 $V_s$ ——烟层的体积；  
 $A$ ——火灾空间的面积；  
 $Z$ ——烟层的高度；  
 $t$ ——时间。

在高度  $Z$  范围内，火灾烟气进入紊流区域，而且，若火灾进入稳定发展阶段，火灾烟气紊流的流量  $m_p$  可由式 (1-17)、式 (1-18) 求出如下：

$$m_p = 0.21 \left( \frac{\rho_a^2 g}{C_P T_a} \right)^{1/3} Q^{1/3} (Z + Z_0)^{5/3}$$

$$Z_0 = 1.02D - 0.083Q^{1/5}$$

式中  $\rho_a$ 、 $T_a$ ——分别是周围空气的密度和温度；  
 $Q$ ——火源的发热速度；  
 $Z_0$ ——假想点热源位置；  
 $D$ ——火源的直径。

并由此可得：

$$\frac{dZ}{(Z + Z_0)^{5/3}} = -kA^{-1}Q^{1/3}dt \quad (1-20)$$

式中

$$k = 0.21 \left( \frac{\rho_a^2 g}{C_P T_a} \right)^{1/3} \frac{1}{\rho_s} \quad (1-21)$$

假设  $Q$  不随时间变化（稳定燃烧），烟层高度可由下式求出：

$$Z = \frac{1}{\left( \frac{2}{3} \frac{k}{A} Q^{1/3} \cdot t + \frac{1}{(H + Z_0)^{2/3}} \right)^{3/2}} - Z_0 \quad (1-22)$$

烟层降至高度  $Z$  处所需时间，可由下式求出：

$$t = \frac{\left( \frac{1}{Z + Z_0} \right)^{2/3} - \left( \frac{1}{H + Z_0} \right)^{2/3}}{\frac{2}{3} \frac{k}{A} Q^{1/3}} \quad (1-23)$$

实际上,求解式(1-22)、式(1-23)时,必须先由式(1-21)确定 $\rho_s$ ,此时,也可按下述步骤进行估算。

由图1-11所示的火灾实验、预测曲线比较,假设烟气充满了建筑空间高度的一半,即13m,此时火灾烟气紊流区域的流量为:

$$Z_0 = 1.02 \times (2 \sqrt{3/\pi}) - 0.083 \times 1300^{2/5} = 0.53\text{m}$$

$$m_p = 0.21 \left( \frac{(353/286)^2 \times 9.8}{1 \times 286} \right)^{1/3} \times 1300^{1/3} (13 + 0.53)^{5/3} = 65.8\text{kg/s}$$

所以,此时火灾紊流区烟气的温度为:

$$T_{pm} = T_a + Q/(C_p m_p) = 286 + 1300/(1 \times 65.8) = 306\text{K}$$

$T_{pm}$ 可以看作是此时烟气的平均温度。此前产生的烟气,由于进一步卷入空气而降低了温度;此外,积蓄在顶棚处的烟气,由于顶棚处的导热等,使温度进一步降低。所以,可将 $T_s=300\text{K}$ 作为烟气下降时的温度。其预测和实验结果如图1-11所示。由图可见,预测值与实验值非常吻合。

#### 1.6.1.2 排烟效果预测的简化计算

高层建筑发生火灾,若上部空间容积不大时,如果不进行烟的控制,烟层就会很快在疏散通道下降,对人员的疏散造成威胁。而即使是大空间的、能够蓄烟的建筑物,也会因某些原因,导致疏散者延误了时间,有可能暴露在烟气之中。因此,为了使烟气降到不超过某一安全的界限,必须做好防烟设计。

一般情况下火灾发生后总要经过一定时间的,建立该时间内烟气稳态的预测模型,要比非稳态的预测模型要简便得多。下面介绍简化的稳态模型的预测方法。

##### (1) 侧墙有开口的排烟效果

火灾房间如果设有面积较大,位置偏高的窗洞口等,烟气可通过高位开口排出室外,烟层就不会降到疏散安全界限以下。为了估算排烟口的面积,我们研究图1-12所示模型。

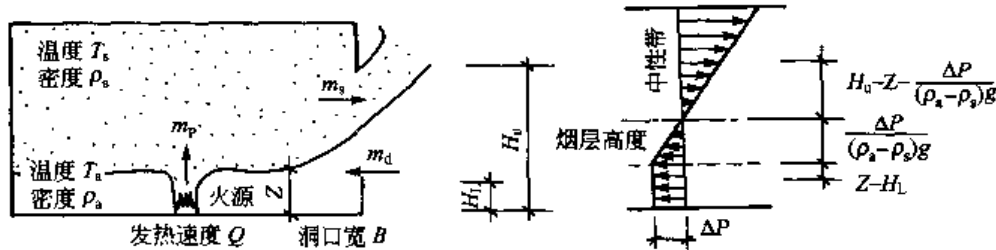


图1-12 烟层高度的稳态简化预测模型

稳态预测的基本方法是利用质量守恒和能量守恒原理。自然通风的烟气流动,是因温

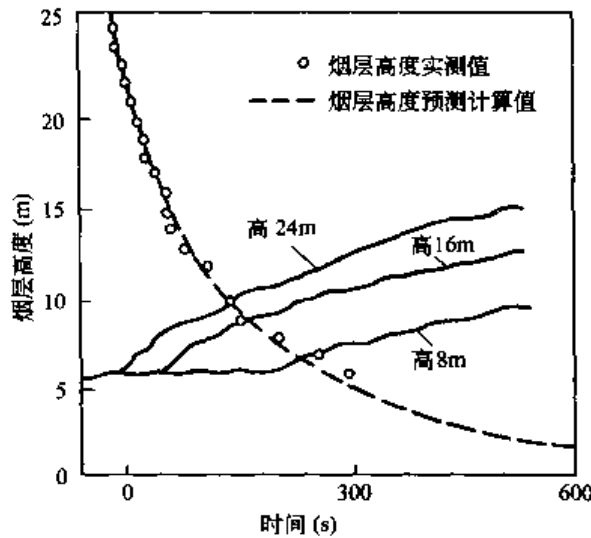


图1-11 烟层的预测实例(预测与实验比较)

实验条件: 建筑面积  $720\text{m}^2$ , 室内高度  $26.3\text{m}$ , 火源  $1300\text{kW}$ , 火源面积  $3\text{m}^2$

预测条件:  $A=720$ ,  $H=26.3$ ,  $Q=1300$ ,  $D=1.95$ ,  $T_a=286$ ,  $T_s=300$

度的不同而异的,即使对于简化模型,也不能假定烟层的温度不变,必须根据烟层的热平衡,测算烟气的温度。

开口处的流量:设室内外的压差为  $\Delta P$ , 烟气流出量  $m_s$  及空气的流入量  $m_a$  可由下式确定:

$$m_s = \frac{2}{3} \alpha B_d \sqrt{2g\rho_s(\rho_a - \rho_s)} \left\{ H_u - Z - \frac{\Delta P}{(\rho_a - \rho_s)g} \right\}^{3/2} \quad (1-24)$$

$$m_d = \alpha B_d (Z - H_L) \sqrt{2\rho_a \Delta P} + \frac{2}{3} \alpha B_d \sqrt{2g\rho_s(\rho_a - \rho_s)} \left\{ \frac{\Delta P}{(\rho_a - \rho_s)g} \right\}^{3/2} \quad (1-25)$$

式中  $B_d$ ——开口的宽度;

$H_u$ 、 $H_L$ ——分别为开口的上下端高度。

热平衡:在火灾初期,烟气的温度并不很高,烟层对围壁的热传导以对流传热为主,故仅考虑对流传热。由于只考虑火灾初期,所以忽略了围壁温度上升,假设围壁面的温度是一定的。并设  $h_c$  为对流换热率,  $A_w$  为烟层接触到的围壁面的面积,则烟层的热平衡由下式给出:

$$Q - C_p m_s (T_s - T_a) - h_c A_w (T_s - T_a) = 0 \quad (1-26)$$

质量守恒:由于假设为稳态换热,根据室内的流入流出平衡,有下列关系成立:

$$m_d = m_p = m_s \quad (1-27)$$

式 (1-24) ~ 式 (1-27) 不适用于低顶棚、火源上方形成紊流区域的情况。

因面,先假定适当的烟层高度(如安全高度),则可由式 (1-8) 求出火灾紊流的烟气流量  $m_p$ , 将  $m_p (=m_s)$  代入式 (1-24) 求出  $\Delta P$ , 并将  $\Delta P$  代入式 (1-25), 求出门洞口的流量  $m_d$ 。根据式 (1-27),  $m_p$  必然等于  $m_d$ , 即  $m_d = m_p$ , 可进一步确定一个烟层高度  $Z$ , 然后将新的  $Z$  值再进一步反复试算, 最后求出一个在允许误差之内的  $Z$  值。

## (2) 上部有自然排烟口的情况

这种模型适用于屋顶有通风口或天窗的情况。一般说来,从房间的门洞口流入新鲜空气,而屋顶设有自然排烟口,如图 1-13 所示。开口处的流量:

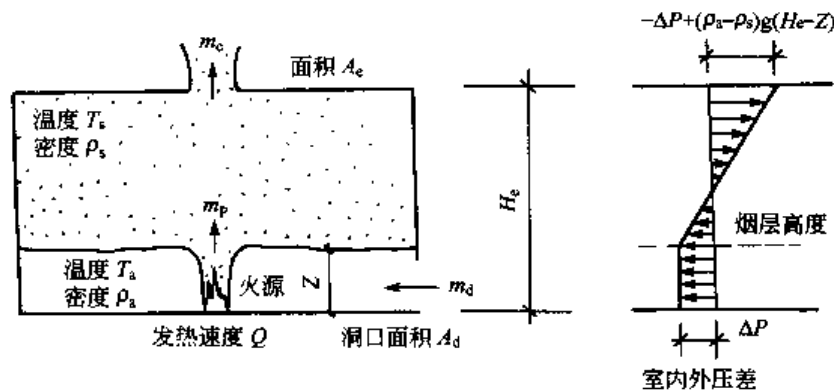


图 1-13 上部有排烟口时的烟层高度预测模型

$$m_e = \alpha A_e \sqrt{2\rho_s \{-\Delta P + (\rho_s - \rho_a)g(H_e - Z)\}} \quad (1-28)$$

$$m_d = \alpha A_d \sqrt{2\rho_a \Delta P} \quad (1-29)$$

式中  $m_e$ ——排烟量;

$m_d$ ——流入空气量;

$A_e$ ——排烟口面积；

$A_d$ ——门的面积。

### (3) 设有机械排烟设备的情况

在顶棚上（或附近）设有机械排烟设备，从下部的门洞口流入新鲜空气，其计算模型如图 1-14。门洞口的空气流量：

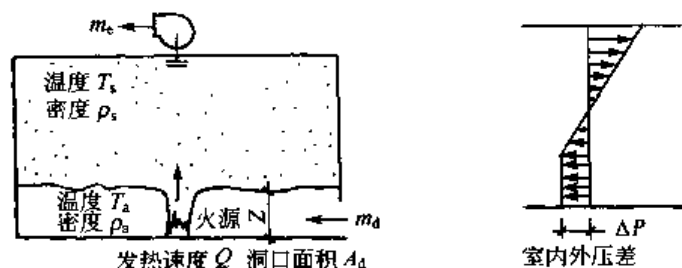


图 1-14 设机械排烟时烟层高度的预测模型

$$m_d = \alpha A_d \sqrt{2\rho_a \Delta P} \quad (1-30)$$

排烟量：

$$m_e = V_e \rho_s \quad (1-31)$$

式中  $V_e$ ——排烟设备的排烟量。

### 1.6.2 烟流的控制

在火灾房间，防止烟层下降是烟气控制的手段之一，控制烟气不流出火灾房间或侵入避难通道的相关空间，也可以说，是典型的烟气控制手段。

#### 1.6.2.1 压差与阻烟条件及阻烟方法

防止从火灾房间流出的烟侵入安全分区，用空气动力学的阻烟方法最为有效，这里简要说明利用压差阻烟的原理。

例如，研究在火灾房间用机械排烟减压，使烟气不流到安全分区的条件，如图 1-15 所示。此时，若门洞口处的中性带位置比门洞上端的高度还高，则阻烟是成功的。现在研究当中性带刚好与门洞上端高度相同时，门洞处的气流量  $m_d$  与要排出的烟量  $m_e$  有如下关系：

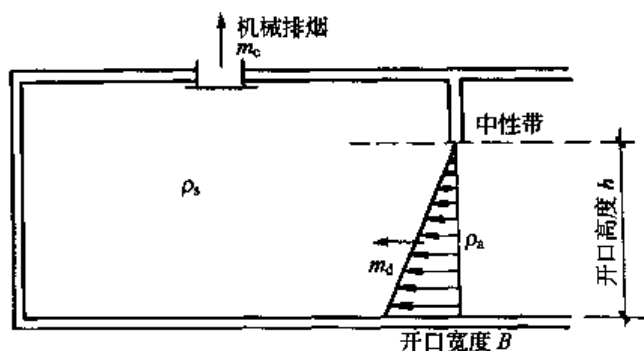


图 1-15 火灾房间的排烟量

$$m_e = m_d \geq \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_a(\rho_s - \rho_a)} h^{3/2} \quad (1-32)$$

事实上，房间内有缝隙、空调管道等，而且，由于疏散或火焰作用，窗户会破坏，出现新的进气途径，并非像理想化计算那么简单。

这里仅以图 1-16 的简化模型，具体导出阻烟条件。为了简化运算，假定 3 个开口的高度  $h$  均相同，其宽度可以不同。阻烟条件是，A、B 两房间之间的中性带位置在开口处的上端。A、B 两室之间及 A 室与外界的中性带高度  $Z_{nAB}$ 、 $Z_{nA}$  可由下式求出：

$$Z_{nAB} = \frac{P_B - P_A}{(\rho_0 - \rho_A)g}$$

$$Z_{nA} = \frac{-P_A}{(\rho_0 - \rho_A)g}$$

从阻烟条件  $h = Z_{nAB}$  可知

$$Z_{nA} = H - P_B / (\Delta \rho g) \quad (1-33)$$

式中  $\Delta \rho = \rho_0 - \rho_A$ 。

B 房间的压力明显为负压, 因此,  $Z_{nA} > h$ , 而且 A 房间与室外的中性带在开口之上方, 由此可知, 这一开口只有外气流入而没有流出。此时两个房间开口处气流流动如图 1-16 右图所示, 其量由下式求出:

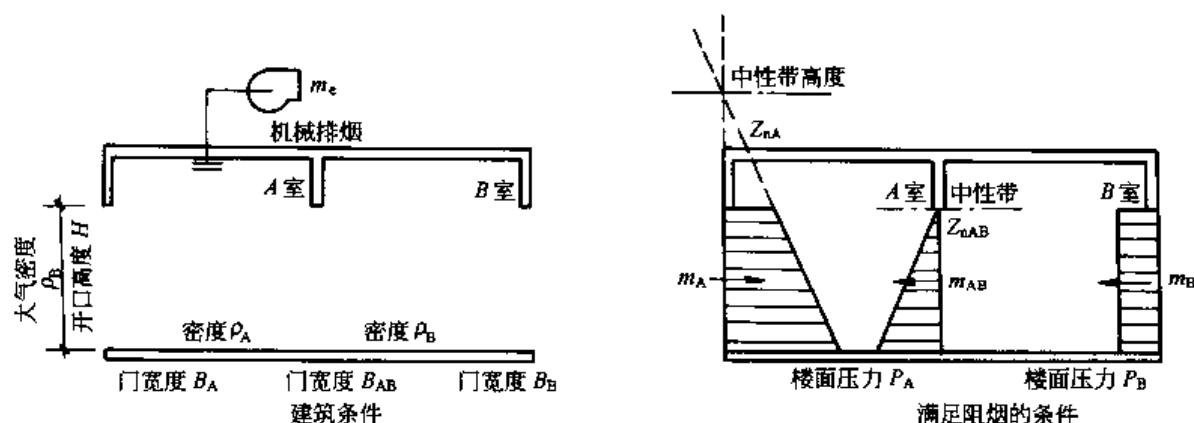


图 1-16 火灾房间的排烟与阻烟

$$m_A = (2/3)\alpha B_A \sqrt{2\rho_0 \Delta \rho g (Z_{nA}^{3/2} - h^{3/2})} \quad (1-34a)$$

$$m_{AB} = (2/3)\alpha B_{AB} \sqrt{2\rho_0 \Delta \rho g h^{3/2}} \quad (1-34b)$$

$$m_B = \alpha B_B h \sqrt{2\rho_0 (-P_B)} \quad (1-34c)$$

由两个房间的质量守恒关系可得:

$$m_A + m_{AB} - m_e = 0 \quad (1-35a)$$

$$m_B - m_{AB} = 0 \quad (1-35b)$$

应用式 (1-35b) 并使式 (1-34b) 与式 (1-34c) 相等, 则有:

$$-\frac{P_B}{\Delta \rho g} = \frac{4}{9} \frac{B_{AB}^2}{B_B^2} h$$

将此值代入式 (1-33), 则:

$$Z_{nA} = h \left( 1 + \frac{4}{9} \cdot \frac{B_{AB}^2}{B_B^2} \right) \quad (1-36)$$

为满足式 (1-34) 及式 (1-35a) 的阻烟条件, 则需要的排烟量为:

$$\begin{aligned} m_e &= m_A + m_{AB} \\ &= (2/3)\alpha \sqrt{2\rho_0 \Delta \rho g} h^{3/2} \left\{ B_{AB} + B_A \left[ \left( 1 + \frac{4}{9} \frac{B_{AB}^2}{B_B^2} \right)^{3/2} - 1 \right] \right\} \end{aligned} \quad (1-37)$$

根据式 (1-37), 当 A 房间气密性差, 即  $B_{AB}$  或  $B_B$  很大时, 所需排烟量就增多; 相

反, 当  $B$  房间与外界连通、且开放时, 即  $B_B$  很大时, 所需排烟量就会减少。

同理, 可求出排烟口、送风口不同情况下的排烟量。

### 1.6.2.2 竖井的机械送风排烟

在高层建筑中, 冬季采暖期间, 在烟囱效应作用下, 下层部分为负压区。下层部分发生火灾时, 烟气容易流入竖井内。即使非采暖季节, 竖井亦具有烟囱效应, 并导致火灾房间的烟气急剧地流入疏散通道。然而, 建筑中不能没有竖井, 所以, 必须采取防止烟气通过竖井向上层房间蔓延的措施。

具体的防烟措施有:

- (1) 加强竖井的气密性, 防止烟气流入的任何间隙;
- (2) 对竖井加压, 使烟气不能侵入;
- (3) 对竖井减压, 使烟气不能流出等。

其中: (1) 项采用防火门等气密性分隔构件; (2) 项由机械送风加压来实现; (3) 项可用机械减压排烟方法和在顶部开较大面积的排烟口, 使自然排烟系统的烟囱效应的中性带向上层部分移动等方法, 如图 1-17 所示。总之, 要根据建筑物及火灾条件等实际情况, 科学地掌握防烟的方法。

下面就措施 (2) 的竖井加压防烟方法进行研究。如图 1-18 所示, 设想图 (a) 所示剖面的建筑模型, 对建筑物威胁最大的一层发生火灾。在取暖季节或竖井内侵入火灾烟气时, 竖井与室外大气的压力关系如图左侧所示。若采用机械加压, 即使在一层的火灾层的地面, 也要求竖井的压力保持正压  $\Delta P$ , 若考虑

$\Delta P$  与外界气压的相对压差, 并用  $h_L$  表示 1 层 (火灾层) 的层高,  $P_F$  表示火灾层地面高

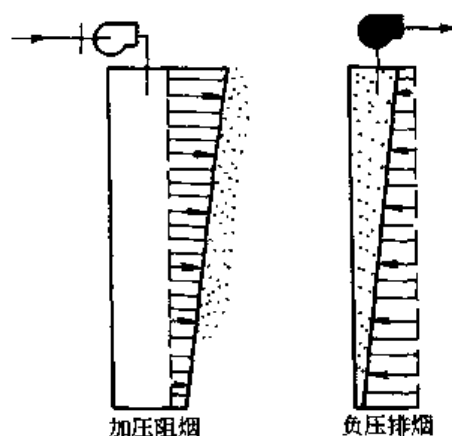


图 1-17 竖井加压与排烟

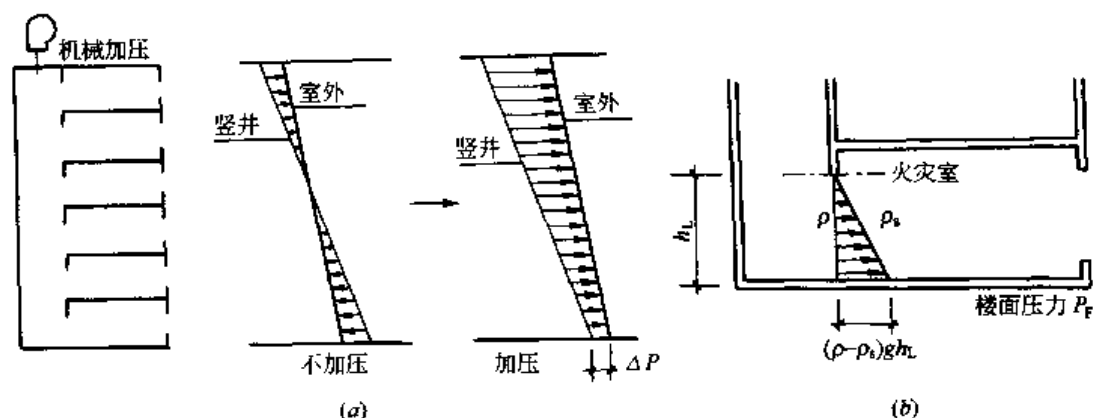


图 1-18 竖井加压时的压力分布

度处外界大气的标准大气压, 则有:

$$\Delta P = (\rho - \rho_s)gh_L - P_F \quad (1-38)$$

其中,  $\rho_s$  可以通过火灾房间质量守恒关系、开口形状与温度关系求得。

为了加压而送入竖井的空气, 会经过门窗等开口或管道等流出室外。假设第  $i$  层这些

开口面积之和为  $A_i$  ( $i = 1 \sim n$  层)。由于室内外存在压差,从严密的观点来看,这些开口位置接近每层的顶棚或地板,气流流动情况各异。为了研究方便,我们假设把这些开口都集中在各层高度的一半处,即  $h_i$  处,则第  $i$  层流出的烟气量  $m_i$  可由下式求出:

$$m_i = \alpha A_i \sqrt{2\rho g [\Delta P + (\rho_0 - \rho_s)gh_i]} \quad (1-39)$$

而整栋建筑物的漏风量,即加压系统必要的送风量:

$$m = \sum_{i=1}^n \alpha A_i \sqrt{2\rho g [\Delta P + (\rho_0 - \rho_s)gh_i]} \quad (1-40)$$

而且,一旦加压系统进入工作状态,最上层竖井的门上作用的压力为:

$$\Delta P_H = \Delta P + (\rho_0 + \rho)gH \quad (1-41)$$

此外,还必须考虑高层建筑竖井中的空气流动的阻抗,即在上述计算中考虑风道、竖井等的阻抗,适当加大送风量,但同时应该考虑最上层加压使得疏散门上的压力增大,引起开门困难。

## 第2章 高层建筑防排烟设计

### 2.1 防排烟系统概述

#### 2.1.1 火灾时高层建筑内的烟气流动特点

高层建筑发生火灾,烟雾是阻碍人们逃生和进行灭火行动、导致人员死亡的主要原因之一。现代化的高层民用建筑,可燃装饰、陈设较多,还有相当多的高层建筑使用了大量的塑料装修、化纤地毯和用泡沫塑料填充的家具,这些可燃物在燃烧过程中会产生大量的有毒烟气和热量,同时要消耗大量的氧气。据英国对火灾中造成人员伤亡的原因统计表明,由于一氧化碳中毒窒息死亡或被其他有毒烟气熏死者一般占火灾总死亡人数的40%~50%,而被烧死的人当中,多数是先中毒窒息晕倒后被烧死的。因此,了解和掌握高层建筑火灾中的烟雾流动规律,控制烟雾扩散是高层建筑消防安全系统中十分重要的问题。

烟雾是物质在燃烧反应过程中热分解生成的含有大量热量的气态、液态和固态物质与空气的混合物。它是由极小的炭黑粒子完全燃烧或不完全燃烧的灰分及可燃物的其他燃烧分解产物所组成。烟气的组成成分和数量取决于可燃物的化学组成和燃烧时的温度、氧的供给等燃烧条件。在完全燃烧的条件下,物质燃烧产生的烟雾成分以二氧化碳、一氧化碳、水蒸气等为主;在不完全燃烧条件下,不仅有上述燃烧生成物,还会有醇、醚等有机化合物。含炭量多的物质,在氧气不足的条件燃烧时,有大量的炭粒子产生。通常,烟雾在低温时,即阴燃阶段,以液滴粒子为主,烟气发白或呈青白色。当温度上升至起火阶段时,因发生脱水反应,产生大量的游离的炭粒子,常呈黑色或灰黑色。烟雾的流动扩散速度与烟雾的温度和流动方向有关。烟雾在水平方向的扩散流动速度,一般为0.3~0.8m/s。烟气在垂直方向的扩散流动速度较大,通常为1~5m/s。在楼梯间或管道井中,由于烟囱效应产生的拔力,烟气流动的速度可达6~8m/s。烟雾对人体的危害主要是因燃烧产生的有毒气体所引起的窒息和对人体器官的刺激,以及高温作用。

火灾时,由于燃烧要消耗大量的氧气,使空气中的氧浓度显著下降,人长时间呆在这种低氧的环境中,就会造成呼吸障碍、失去理智、痉挛、脸色发青,甚至窒息死亡,建筑物内当火灾燃烧旺盛时,还会产生大量的二氧化碳,当人员接触10%~20%浓度的二氧化碳后,会引起头晕、昏迷、呼吸困难,甚至神经中枢系统出现麻痹,使人失去知觉,导致死亡。

火灾时可燃物燃烧还会产生一些对人体有较强刺激作用的气体,让人无法看清方向,对本来很熟悉的环境也会变得无法辨认其疏散路线和出口。人在烟雾环境中能正确判断方向脱离险境的能见度最低为5m,当人的视野降到3m以下,逃离现场就非常困难。人在烟雾中心理极不稳定,会产生恐怖感,以致惊慌失措,给组织疏散灭火行动造成很大困难。同时,烟气有遮光作用,对疏散和救援活动会造成很大的障碍。燃烧时产生的高温烟

雾，也是造成人员伤亡的主要原因之一。高温不仅可能使心率加快，人体大量出汗，很快出现疲劳和脱水现象，而且会把人烧伤烧死。

建筑物内烟雾流动的形成，总的来说，是由于风和各种通风系统造成的压力差，以及由于温度差造成气体密度差而形成的烟囱效应，其中温差和温度变化是烟雾流动最为重要的因素。当房间门向走廊开启时，烟雾的流动情况变得更复杂，它将与建筑物的烟囱效应、防排烟方式、火灾温度等诸多因素有关。

(1) 建筑物内通风、空调系统对建筑物内压力的影响，取决于送风和排风的平衡状况。如果各处的送风和排风是相同的，那么该系统对建筑物内的压力不会产生影响，如果某部位的送风超过排风，那里便出现增压，空气就从那里流向其他部分。反之，在排风超过送风的部位，则出现相反的现象。因此，建筑物内通风、空调系统可以按照某种预定而有益的方式设计，以控制建筑物内的烟雾流动。

(2) 气体膨胀。温度升高而引起的气体膨胀是影响烟雾流动较为重要的因素。根据气体膨胀定律，可推算出着火期间着火区域内的气体体积将扩大 3 倍，其中 2/3 气体将转移到建筑物的其他部分。而且膨胀过程发生相当迅速，并造成相当大的压力，这些压力如果不采取措施减弱，就会迫使烟从着火层往上和往下向建筑物其他部分流动。

(3) 烟囱效应。当室内空气温度高于室外时，由于室内外空气密度的不同而产生浮力。建筑物内上部的压力大于室外压力，下部的压力小于室外压力。当外墙上有开口时，通过建筑物上部的开口，室内空气流向室外；通过下部的开口，室外空气流向室内。这种现象，就是建筑物的烟囱效应。它是由高层建筑物内外空气的密度差造成的，高层建筑的外部温度低于内部温度而形成的压力差将空气从低处压入，穿过建筑物向上流动，然后从高处流出建筑物，这种现象被称为正热压作用。在低处外部压力大于内部压力，在高层则相反，在中间某一高度，内外压力相同，即存在一个中性压力面。烟囱效应随建筑物的内外温度差以及建筑物高度的增加而增加，在火灾发生于较低层时，烟囱效应对竖井和较高层的烟污染的影响尤为显著，因为此时烟从低层上升至高层内的潜力更大。由烟囱效应造成的压力差和气流分布，以及中性压力面的位置，取决于建筑物内分隔物的开口对气体流动的限制程度。火灾时，由于燃烧放出大量热量，室内温度快速升高，建筑物的烟囱效应更加显著，使火灾的蔓延更加迅速。因此烟囱效应对建筑物的空气的流动起着重要作用。

(4) 室内风向、风力、风速对高层烟雾流动有显著影响，且这种影响随建筑物的形状与规模而变化。简单地讲，风力作用使得迎风面的墙壁经受向内的压力（正压），面背风面和两侧的墙壁有朝外的压力（负压），平顶层上有向上的压力（负压）。这两种压力，使空气从迎风面流入建筑物内，从背风面流出建筑物外，建筑物顶上的负压力对顶层上开口的垂直通风管道有一种吸力的作用。同时正的水平风压力促使中性面上升，负的水平风压力促使中性面下降。

### 2.1.2 高层建筑防火排烟的基本概念

高层建筑物由于火灾中人员撤离所需时间大致与建筑物高度成正比，所以一般撤离的时间较长，而在楼梯间和楼内远离着火区的其他地方形成难以忍受的烟雾状况所需时间则较短。在加拿大进行的实验表明，每层 240 人的条件下，通过一座 1.1m 宽的楼梯向外疏散，一幢 11 层的楼房疏散时间需要 6.5 分钟，一幢 50 层的楼房疏散的时间需要 2 小时 11 分，而一幢高 100m 的建筑在无阻拦的情况下，烟雾能在半分钟内达到顶层。因此在发生

火灾期间全部撤出建筑物内的人员是很困难的，如让住户留在高层建筑内，全面的消防安全系统必须包括对烟和火焰的控制，使某些特定区域内的烟浓度始终能维持在建筑使用者可以忍受的水平内。这些特定的区域包括楼梯间以及所有使用者都易到达并足以容纳他们的楼层空间等。

为使建筑物达到安全目的所采用的手段很多，从防火的观点来看，要求思想上重视，在物业管理中，加强火灾的防范措施。在工程设计中应考虑建筑物、家具、空调设备用材料（包括保温材料）等的非燃化。对可燃物加以妥善处置也是保障安全措施之一。此外，建筑设计时考虑疏散通路的设计也是十分重要的一环。建筑物防火排烟的概念如图 2-1 所示。

建筑物一旦起火，要立即使用各种消防设施，隔绝新鲜空气的供给，同时切断燃烧部位等。由于消防灭火需要一定时间，当采取了以上措施后，仍不能灭火时，为确保有效的疏散通路，必须要有防烟设施。由于火灾产生的烟气，随燃烧的物质而异，由高分子化合物燃烧所产生的烟气，毒性尤为严重。烟气不仅直接危及在室人员，对疏散和扑救也造成很大的威胁。所以防止建筑物火灾危害，很大程度是解决火灾发生时的防、排烟问题。

良好的防火排烟设施与建筑设计和空调设计都有密切关系。这两方面的正确规划则是做好建筑物防火排烟工程的基本手段。

高层建筑功能复杂，起火因素多，火势蔓延快，疏散和扑救难度高，从而具有更大的危害性。设计中应严格遵循《高层民用建筑设计防火规范》（GB 50042—95）（以下简称《高规》）等技术法规的各项规定。

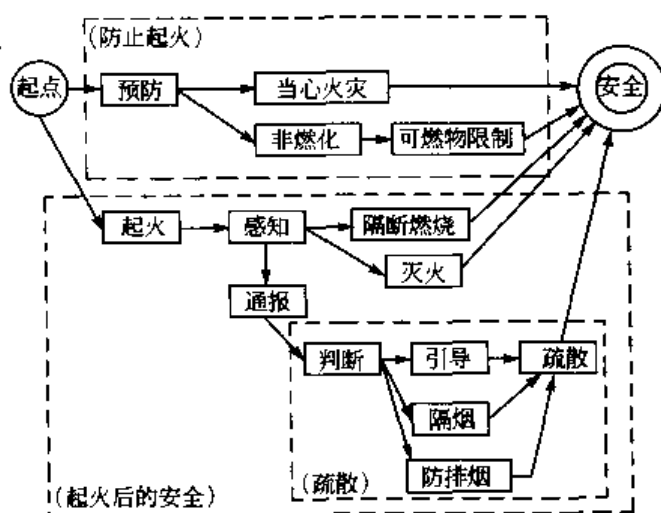


图 2-1 建筑物防火排烟的概念图

控制烟雾有“防烟”和“排烟”两种方式。“防烟”是防止烟的进入，是被动的；相反，“排烟”是积极改变烟的流向，使之排出户外，是主动的，两者互为补充。目前采取的烟气控制措施有：

(1) 限制烟雾的产生量。防烟最好的办法在于消除发烟的源头。因此，在高层建筑中，应设计火灾报警系统及自动灭火系统，以便尽早发现火灾，在大量浓烟产生之前扑灭

火灾或控制火灾发展。同时,在选用房屋建材及装饰材料、家具时,应尽可能采用发烟性小的材料,以便不幸发生火灾时,发生烟量小,发烟速度慢,相对地有较充裕的逃生时间,减少对生命的威胁。目前,日本、美国、法国等国家都规定在一些重要公共建筑物内,顶棚、地板、墙壁的装饰不许采用可燃物。

(2) 充分利用建筑物的构造进行自然排烟。自然排烟是在自然力的作用下,使室内外空气对流进行排烟。一般采用可开启的外窗和窗外阳台或凹廊进行自然排烟。

(3) 设置机械加压送风防烟系统。其目的是为了在高层建筑物发生火灾时提供不受烟气干扰的疏散路线和避难场所。设置这种系统的部位应视建筑物的具体情况而定,一般有:不具备自然排烟条件的防烟楼梯间及其前室;可开窗自然排烟的楼梯间但不具备自然排烟条件的前室;不具备自然排烟条件的消防电梯前室;受楼梯井和消防电梯井烟囱效应影响的合用前室;封闭式避难间等。对非火灾区域及疏散通道等应迅速采用机械加压送风的防烟措施,使该区域的空气压力高于火灾区域的空气压力,防止烟气的侵入,控制火灾的蔓延。

(4) 利用机械装置进行机械排烟。这种排烟方式一般都是利用排风机进行强制排烟。据有关资料介绍,一个设计优良的机械排烟系统在火灾中能排出 80% 的热量,使火灾温度大大降低,因此对人员安全疏散和灭火起到重要作用。利用这种方式进行排烟在设计和使用时应划分防烟分区,合理有效地利用隔墙、挡烟垂壁等进行排烟。

此外,加强防烟知识宣传,根据火灾时人们在异常心理状态下的行动特点,制定相应的避难疏散计划,配备足够的避难器材也是很重要的。

### 2.1.3 高层建筑的防火分区、防烟分区和排烟

在建筑设计中进行防火分区的目的是防止火灾的扩大,可根据房间用途和性质的不同对建筑物进行防火分区,分区内应该设置防火墙、防火门、防火卷帘等设备。

防火和防烟分区的划分是极其重要的。有的高层建筑规模大,空间大,尤其是商业楼、展览楼、综合大楼,用途广,可燃物量大,一旦起火,火势蔓延迅速,温度高,烟气也会迅速扩散,必然造成重大的经济损失和人身伤亡。因此,除应减少建筑物内部可燃物数量,同时对装修陈设也应尽量采用不燃或难燃材料以及设置自动灭火系统之外,最有效的办法是划分防火和防烟分区。

防火分区的划分,既要从限制火势蔓延,减少损失方面考虑,又要顾及到便于平时使用管理,以节省投资。比较可靠的防火分区应包括楼板的水平防火分区和垂直防火分区两部分,所谓水平防火分区,就是用防火墙或防火门、防火卷帘等将各楼层在水平方向分隔为两个或几个防火分区;所谓垂直防火分区,就是将具有 1.5h 或 1.0h 的耐火极限的楼板和窗间墙(两上、下窗之间的距离不小于 1.2m)将上下层隔开。当上下层设有走廊、自动扶梯、传送带等开口部位时,应将相连通的各层作为一个防火分区考虑,即应把连通部位作为一个整体看待,其建筑总面积不得超过规定,如果总面积超过规定,应在开口部位采取防火卷帘分隔设施,使其满足要求。在建筑设计中,通常规定:楼梯间、通风竖井、风道空间、电梯、自动扶梯升降通路等形成竖井的部分要作为防火分区。

根据我国现行《高规》中规定:防火区的分区面积为:一类建筑:1000m<sup>2</sup>;二类建筑:1500m<sup>2</sup>;地下室:500m<sup>2</sup>;设有自动灭火系统时,其允许最大建筑面积可按上述规定增加一倍;高层建筑内的商业营业厅、展览厅等,设有火灾自动报警系统和自动灭火系

统,且采用不燃或难燃材料装修者,地上部分可达 $4000\text{m}^2$ ;地下部分可达 $2000\text{m}^2$ 。

对于高层建筑的每一个水平防火分区来说,根据疏散流程可划为第一安全地带(走廊),第二安全地带(疏散楼梯前室)和第三安全地带(疏散楼梯)。各安全地带之间用防火墙或防火门隔开(图 2-2)。

防烟分区则是对防火分区的细分化,防烟分区内不能防止火灾的扩大。它仅能有效地控制火灾产生的烟气流动,首先要在有发生火灾危险的房间和用作疏散通路的走廊间加设防烟隔断,在楼梯间设置前室,并设自动关闭门,作为防火、防烟的分界。此外还应注意竖井分区,如商场的中央自动扶梯处是一个大开口,应设置用烟感器控制的隔烟防火卷帘。

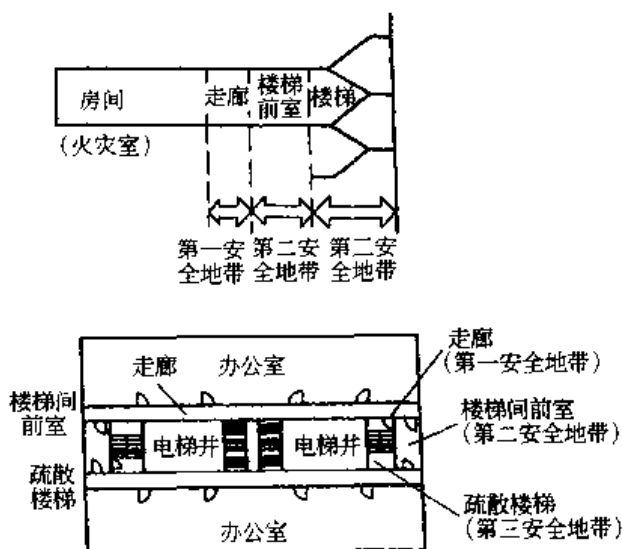


图 2-2 防火分区安全地带的划分

现行规范对于防烟分区规定不应超过 $500\text{m}^2$ ,而且防烟分区不得跨越防火分区。防烟分区的分隔,可用隔墙,也可用挡烟垂壁(从顶棚下突出约 $500\text{mm}$ 的用非燃材料制作),当火灾时由人工放下(图 2-3a 为活动垂壁)。挡烟垂壁也可用透明材料制作,并固定安装(图 2-3b 固定垂壁)。或用从顶棚下突出不小于 $0.5\text{m}$ 的梁划分防烟分区。防烟分区的划分原则如下:

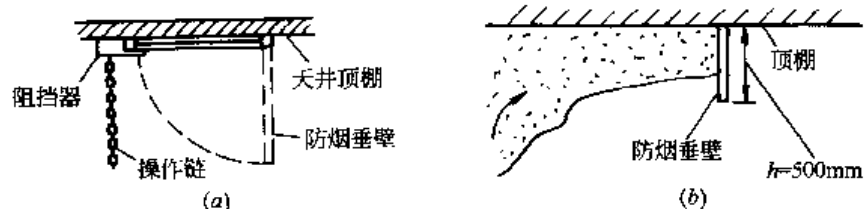


图 2-3 挡烟垂壁的设置

(1) 不设排烟设施的房间(包括地下室)和走道,不划分防烟分区。

(2) 走道和房间(包括地下室)按规定都设置排烟设施时,可根据具体情况分设或合设排烟设施,并按分设或合设的情况划分防烟分区。

(3) 当走道按规定应设排烟设施而房间不设时,若房间与走道相通的门为防火门,可只按走道划分防烟分区;若房间与走道相通的门不是防火门,则防烟分区的划分还应包括房间面积。

(4) 当房间按规定应设排烟设施而走道不设时,若房间与走道相通的门为防火门,可只按房间划分防烟分区;若房间与走道相通的门不是防火门,则防烟分区的划分还应包括走道面积。

(5) 一座建筑物的某几层需设排烟设施,且采用垂直排烟道(竖井)进行排烟时,其余各层(按规定不需要设排烟设施的楼层),如增加投资不多,可考虑扩大设置范围,各层也宜划分防烟分区,设置排烟设施。

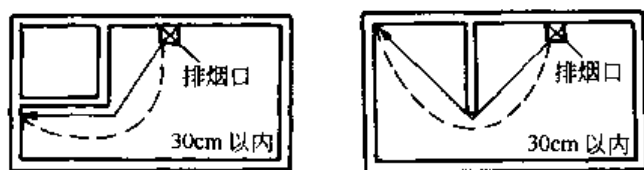


图 2-4 排烟口的设置

在各防烟划区内分别设置一个排烟口（排烟口有手动开启装置）。排烟口到防烟区的各点应在 30m 以内，见图 2-4 所示。

根据《高规》的规定，凡建筑物高度大于 24m 设有防烟楼梯（疏散楼梯）和消防电梯的建筑物均应设防排烟设施。

对于一类高层建筑和建筑高度超过 32m 的二类建筑，应设防排烟的部位有：

- 1) 长度超过 20m 的内走道或虽有自然通风，而长度超过 60m 的内走道；
- 2) 面积超过 100m<sup>2</sup> 时，且经常有人停留或可燃物较多的房间；
- 3) 高层建筑的中庭和经常有人停留或可燃物较多的地下室。

## 2.2 自然排烟

### 2.2.1 自然排烟的设计要点

自然排烟是利用火灾产生的高温烟气的浮力作用，通过建筑物的对外开口（如门、窗、阳台等）或排烟竖井，将室内烟气排至室外，图 2-5（a）及（b）即为自然排烟的两种方式。自然排烟的优点：不需电源和风机设备，可兼作平时通风用，避免设备的闲置。其缺点：因受室外风向、风速和建筑本身的密封性或热作用的影响，排烟效果不大稳定。当开口部位在迎风面时，不仅降低排烟效果，有时还可能使烟气流向其他房间。

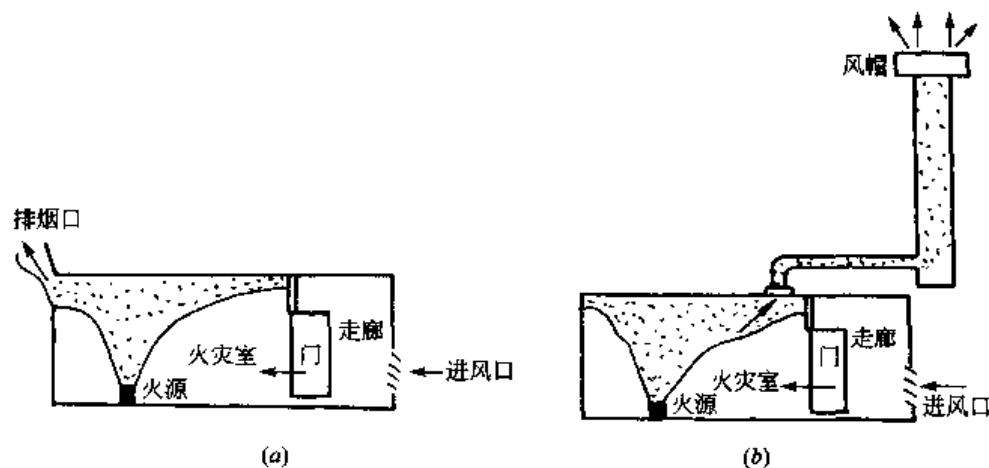


图 2-5 自然排烟的方式

(a) 窗口排烟；(b) 竖井排烟

根据我国目前的经济、技术条件及管理水平，自然排烟方式值得推广，并宜优先采用。因为设置专用的排烟竖井对走道与房间进行有组织的自然排烟方式，需要竖井的截面很大，降低了建筑使用面积，并且漏风现象较严重等因素，现行《高规》中已取消了设置专用竖井的自然排烟方式。

靠外墙的防烟楼梯间及其前室、消防电梯间前室和合用前室以及净空高度小于 12m

的中庭均宜用自然排烟方式。但各部位采用的自然排烟的开窗面积应符合表 2-1 的规定。

自然排烟部位及开窗面积

表 2-1

| 自然排烟部位  | 开窗面积 (m <sup>2</sup> ) | 自然排烟部位      | 开窗面积 (m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------|-------------|------------------------|
| 防烟楼梯间前室 | ≥2                     | 需排烟的房间、走道   | ≥防烟面积的 2%              |
| 消防电梯间前室 | ≥2                     | 净高小于 12m 中庭 | ≥地板面积的 5%              |
| 合用前室    | ≥3                     | 防烟楼梯间       | 每五层开窗面积总和≥2            |

注：1. 建筑高度超过 50m 的一类公共建筑和建筑高度超过 100m 的居住建筑的防烟楼梯间及其前室、消防电梯间前室、合用前室不应采用开启的外窗自然排烟。

2. 排烟窗宜设置在上方，并应有方便开启的装置。

《高规》规定：一类高层建筑和建筑高度超过 32m 的二类高层建筑的下列部位若符合下述条件，宜采用自然排烟方式：

(1) 长度超过 20m，但不超过 60m 的内走道，其可开启外窗面积或排烟口面积不应小于走道面积的 2%。

(2) 面积超过 100m<sup>2</sup> 且经常有人停留或可燃物较多的地上房间，其可开启外窗面积或排烟口面积不应小于该房间面积的 2%。

(3) 经常有人停留或可燃物较多的地下室，其可开启外窗面积或排烟口面积不应小于该房间面积的 2%。

(4) 除建筑高度超过 50m 的一类公共建筑和建筑高度超过 100m 的居住建筑外，靠外墙的防烟楼梯间及其前室、消防电梯间前室和合用前室，宜采用自然排烟，具体规定如下：

1) 防烟楼梯间前室、消防电梯间前室可开启外窗面积不应小于 2m<sup>2</sup>；合用前室可开启外窗面积不应小于 3m<sup>2</sup>。

2) 靠外墙的防烟楼梯间，每五层内可开启外窗总面积之和不应小于 2m<sup>2</sup>。

防烟楼梯间前室或合用前室，利用敞开的阳台、凹廊或前室内有不同朝向可开启自然排烟时，该楼梯间可不设防烟设施（包括加压送风防烟和自然排烟）。见图 2-6 (e) ~ (f)。

自然排烟主要存在以下几个问题：

(1) 对建筑设计的制约 由于自然排烟的烟气是通过靠外墙上可开启的外窗直接排至室外，所以需要排烟的房间必须靠室外，而且进深不能太大。按自然排烟设计条件还需要有一定的开窗面积，这样，即使有明确要求作分隔的房间，也必须设置外窗，所以带来隔声、防尘等问题。

(2) 具有火势蔓延至上层的危险性 由于外部开口进行排烟时，当火灾房间的温度很高，如果烟气中含有大量未燃烧气体，则烟气排出后会形成火焰，这将会引起火势向上蔓延。

(3) 影响自然排烟的因素 由于自然排烟的效果是靠烟气的浮力作用，假使由于某种原因使烟气冷却面失掉浮力，则烟气就失去排出的能力。此外，当室外风力很强，而排烟窗处在迎风面时，则会引起烟气倒灌，反而使烟气蔓延。另一方面，对于高层建筑中由于室内外温差引起的热压作用经常使其存在着上下层之间的压力差，从理论上讲，一般情况

下中和面大致在建筑高度的  $1/2$  附近, 如果中和面以下的外墙上开口, 在冬季, 当发生火灾时, 不仅不能从开口部向外排烟, 相反还会从开口处吸入室外空气, 在这种情况下, 如果防烟分区没有妥善安排, 则反而会通过楼梯井、电梯井助长烟气的传播。同样, 在夏季时, 建筑物内产生的下降气流, 将会招致烟气向下层传播。

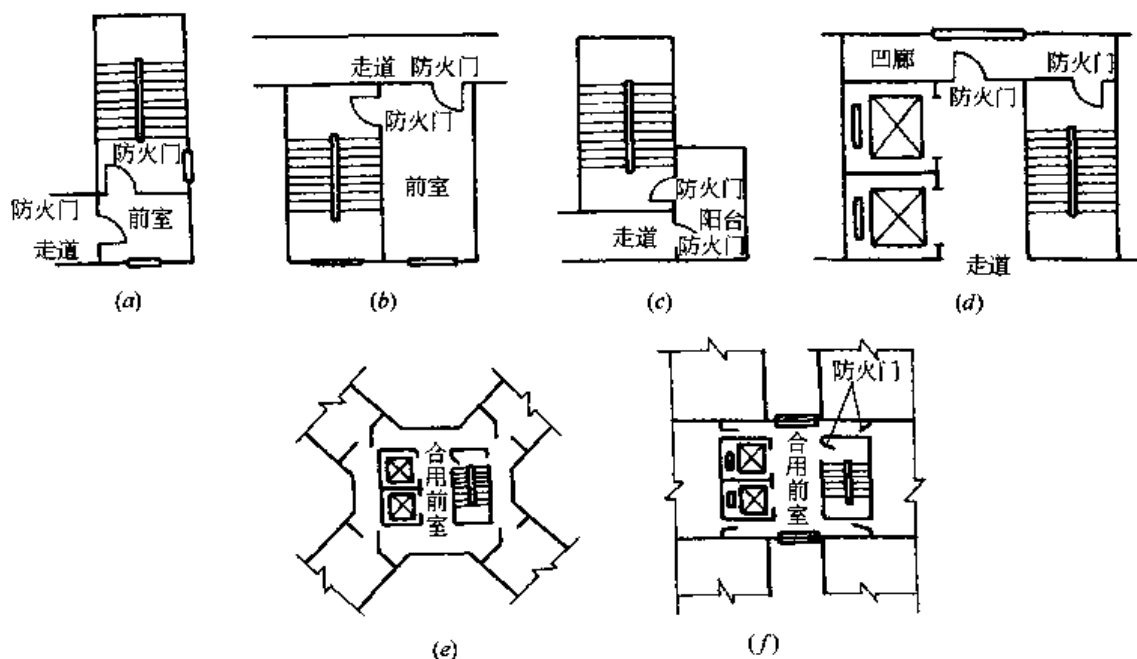


图 2-6 自然排烟方式示例

- (a) 有外窗的防烟楼梯间及其前室; (b) 有外窗的防烟楼梯间及其前室; (c) 带阳台的防烟楼梯间; (d) 带凹廊的防烟楼梯间; (e) 两个不同朝向的可开启外窗自然排烟; (f) 四周有可开启外窗的前室

综上所述, 在自然排烟方式中由于排烟效果的许多不稳定因素, 对自然排烟设计范围要有一定的限制。下列条件下的建筑物各部位不应采取自然排烟措施:

- 1) 建筑高度超过 50m 的一类公共建筑和建筑高度超过 100m 的居住建筑的防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室及合用前室不应采用可开启外窗的自然排烟方式。
- 2) 净空高度超过 12m 的中庭。
- 3) 长度超过 60m 的内走道。

### 2.2.2 自然排烟口的设置

排烟窗宜设置在上部, 并应有方便开启的装置。根据自然排烟设计条件, 需要对排烟部位的有效可开启的外窗面积进行校核计算 (按自然通风—热压作用的原理进行计算)。为了使烟气能顺利排出, 自然排烟的设计还应考虑以下两点:

(1) 为了减少室外风压对自然排烟的影响, 排烟口部位宜尽量设置与建筑物型体一致的挡风措施。

(2) 内走道与房间的排烟窗应尽量设置有两个或两个以上不同朝向。

自然排烟口按如下原则设置:

(1) 自然排烟口应设于房间净高的  $1/2$  以上, 最好设置在距顶棚 800mm 以内, 若设有挡烟垂壁, 排烟口最好高于挡烟垂壁的下沿。

如按排烟口设置在距顶棚 800mm 以内, 此时涉及可开启外窗面积的取法, 因为在距顶棚 800mm 以内的可开启外窗面积不一定完全达到表 2-1 中的要求。鉴于我国当前的国

情,有学者指出,火灾时开窗或打碎玻璃的办法进行排烟是可行的,按可开启外窗面积计算即可。

按规定:自然排烟窗(口)应设在上方且要有方便开启的装置。因此,笔者认为上述提法不妥,在火灾发生时,大家一般都忙于疏散,无暇去砸碎玻璃,即使想这样做也很难进行高处操作,如有方便开启装置的可开启外窗的面积(高处)不能达到表 2-1 中的要求,应设机械排烟系统。

(2) 内走道和房间的自然排烟口至该防烟分区最远点的水平距离应在 30m 以内。

## 2.3 机 械 排 烟

按现行《高规》的规定,一类高层建筑和建筑高度超过 32m 的二类高层建筑的下列部位,应设置机械排烟设施:

(1) 无直接自然通风,且长度超过 20m 的内走道或虽有直接自然通风,但长度超过 60m 的内走道。

(2) 面积超过  $100\text{m}^2$ ,且经常有人停留或可燃物较多的地上无窗房间或设固定窗的房间。

(3) 不具备自然排烟条件或净空高度超过 12m 的中庭。

(4) 除利用窗井等开窗进行自然排烟的房间外,各房间总面积超过  $200\text{m}^2$  或一个房间面积超过  $50\text{m}^2$ ,且经常有人停留或可燃物较多的地下室。

### 2.3.1 机械排烟方式和系统组成

#### (1) 机械排烟方式

机械排烟方式是按照通风气流组织的理论,将火灾产生的烟气通过排烟风机排到室外,其优点是能有效地保证疏散通路,使烟气不向其他区域扩散。

机械排烟可分为局部排烟和集中排烟两种方式。局部排烟方式是在每个需要排烟的部位设置独立的排烟风机直接进行排烟;集中排烟方式是将建筑物划分为若干个区,在每个区内设置排烟风机,通过排烟风道排烟。

局部排烟方式投资大,而且排烟风机分散,维修管理麻烦,所以很少采用。如采用时,一般与通风换气要求相结合,即平时可兼作通风排风使用。

根据补风形式的不同,机械排烟又可分为两种方式:机械排烟-自然进风与机械排烟-机械进风,图 2-7 (a) 及 (b) 分别表示了这两种方式。

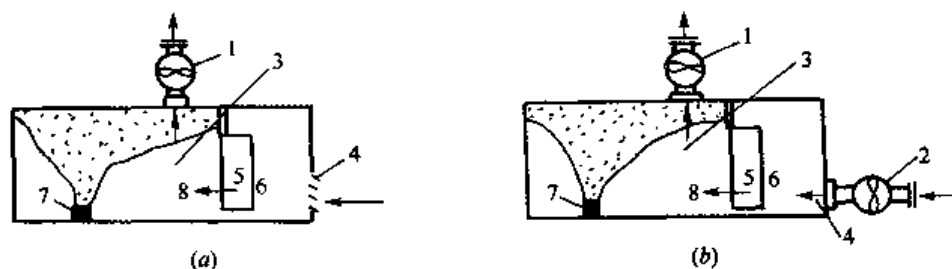


图 2-7 机械排烟方式

1—排烟机; 2—通风机; 3—排烟口; 4—进(送)风口; 5—门; 6—走廊; 7—火源; 8—火灾室

## (2) 机械排烟系统组成

机械排烟系统是由挡烟壁（活动式或固定式挡烟壁，见图 2-3，或挡烟隔墙、挡烟梁）、排烟口（或带有排烟阀的排烟口）、防火排烟阀门、排烟道、排烟风机和排烟出口组成。

### 2.3.2 机械排烟系统的设计要求

(1) 设置机械排烟设施的部位，其排风机的风量应符合下列规定：

1) 担负一个防烟分区排烟或净空高度不大于 6.00m 的不划防烟分区的房间时，应按每平方米面积不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算（单台风机最小排烟量不应小于  $7200\text{m}^3/\text{h}$ ）。

2) 担负两个或两个以上防烟分区排烟时，应按最大防烟分区面积每平方米不小于  $120\text{m}^3/\text{h}$  计算。

3) 中庭体积小于  $17000\text{m}^3$  时，其排烟量按其体积的 6 次/h 换气计算；中庭体积大于  $17000\text{m}^3$  时，其排烟量按其体积的 4 次/h 换气计算，但最小排烟量不应小于  $102000\text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 带裙房的高层建筑防烟楼梯间及其前室，消防电梯间前室或合用前室，当裙房以上部分利用可开启外窗进行自然排烟，裙房部分不具备自然排烟条件时，其前室或合用前室应设置局部机械排烟设施，其排烟量按前室每平方米不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算。

(3) 排烟口应设在顶棚上或靠近顶棚的墙面上。设在顶棚上的排烟口，距可燃构件或可燃物的距离不应小于 1.00m。排烟口平时应关闭，并应设有手动和自动开启装置。

(4) 防烟分区内的排烟口距最远点的水平距离不应超过 30m。在排烟过程中，当烟气温度达到或超过  $280^\circ\text{C}$  时，烟气中已带火，如不停止排烟，烟火就有扩大到其他地方而造成新的危害。因此，在排烟系统（排烟支管）上应设有排烟防火阀，该阀当烟气温度超过  $280^\circ\text{C}$  时能自动关闭。

(5) 走道的机械排烟系统宜竖向设置；房间的机械排烟系统宜按防烟分区设置。

(6) 排烟风机可采用离心风机或采用排烟轴流风机，并应在其机房入口处设有当烟气温度超过  $280^\circ\text{C}$  时能自动关闭的排烟防火阀。排烟风机应保证在  $280^\circ\text{C}$  时能连续工作 30min。

(7) 机械排烟系统中，当任一排烟口或排烟阀开启时，排烟风机应能自行启动。

(8) 排烟管道必须采用不燃材料制作。安装在吊顶内的排烟管道，其隔热层应采用不燃烧材料制作，并应与可燃物保持不小于 150mm 的距离。

(9) 机械排烟系统与通风空气调节系统宜分开设置。若合用时，必须采取可靠的防火安全措施，并应符合排烟系统要求。

(10) 设置机械排烟的地下室，应同时设置送风系统，且送风量不宜小于排烟量的 50%。

(11) 排烟风机的全压应按排烟系统最不利环路管道进行计算，其排烟量应增加漏风系数。

### 2.3.3 机械排烟量的计算

机械排烟量可按上述设计规定进行计算。以排烟系统图 2-8 为例，对于每个排烟口排烟量的计算及排烟风管各管段风量的分配见表 2-2。

一个排烟系统可以担负几个防烟分区，其最大排烟量为  $60000\text{m}^3/\text{h}$ ，最小排烟量为

7200m<sup>3</sup>/h。选择排烟风机，应附加漏风系数，一般采用10%~20%，排烟系统的管道，应按最不利条件考虑，也就是按最远两个排烟口同时开启的条件计算。

#### 2.3.4 排烟系统

排烟系统的布置除满足上述设计规定中有关要求外，还应注意：

(1) 排烟气流应与机械加压送风的气流合理组织，并尽量考虑与疏散人流方向相反。

(2) 为防止风机超负荷运转，排烟系统竖直方向可分成数个系统，不过不能采用将上层烟气引向下层的风道的布置方式。

(3) 每个排烟系统设有排烟口的数量不宜超过30个，以减少漏风量对排烟效果的影响。

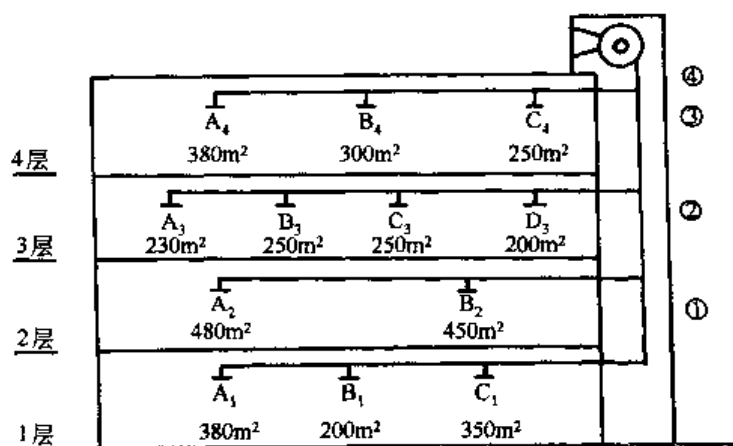


图 2-8 排烟系统示意图

排烟风管风量计算举例

表 2-2

| 管段间                            | 负担防烟区                                                                                                                              | 通过风量 (m <sup>3</sup> /h)     | 备注                            |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| A <sub>1</sub> ~B <sub>1</sub> | A <sub>1</sub>                                                                                                                     | $Q_{A_1} \times 60 = 22800$  | 一层最大 $Q_{A_1} \times 120$     |
| B <sub>1</sub> ~C <sub>1</sub> | A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>                                                                                                    | $Q_{A_1} \times 120 = 45600$ |                               |
| C <sub>1</sub> ~①              | A <sub>1</sub> , C <sub>1</sub>                                                                                                    | $Q_{A_1} \times 120 = 45600$ |                               |
| A <sub>2</sub> ~B <sub>2</sub> | A <sub>2</sub>                                                                                                                     | $Q_{A_2} \times 60 = 28800$  | 二层最大 $Q_{A_2} \times 120$     |
| B <sub>2</sub> ~①              | A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>                                                                                                    | $Q_{A_2} \times 120 = 57600$ |                               |
| ①~②                            | A <sub>1</sub> ~C <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>                                                                   | $Q_{A_2} \times 120 = 57600$ |                               |
| A <sub>3</sub> ~B <sub>3</sub> | A <sub>3</sub>                                                                                                                     | $Q_{A_3} \times 60 = 13800$  | 三层最大 $Q_{B_3} \times 120$     |
| B <sub>3</sub> ~C <sub>3</sub> | A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>                                                                                                    | $Q_{B_3} \times 120 = 30000$ |                               |
| C <sub>3</sub> ~D <sub>3</sub> | A <sub>3</sub> ~C <sub>3</sub>                                                                                                     | $Q_{B_3} \times 120 = 30000$ |                               |
| D <sub>3</sub> ~②              | A <sub>3</sub> ~D <sub>3</sub>                                                                                                     | $Q_{B_3} \times 120 = 30000$ | 一、二、三层最大 $Q_{A_2} \times 120$ |
| ②~③                            | A <sub>1</sub> ~C <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> ~D <sub>3</sub>                                  | $Q_{A_2} \times 120 = 57600$ |                               |
| A <sub>4</sub> ~B <sub>4</sub> | A <sub>4</sub>                                                                                                                     | $Q_{A_4} \times 60 = 22800$  | 四层最大 $Q_{A_4} \times 120$     |
| B <sub>4</sub> ~C <sub>4</sub> | A <sub>4</sub> , B <sub>4</sub>                                                                                                    | $Q_{A_4} \times 120 = 45600$ |                               |
| C <sub>4</sub> ~③              | A <sub>4</sub> ~C <sub>4</sub>                                                                                                     | $Q_{A_4} \times 120 = 45600$ |                               |
| ③~④                            | A <sub>1</sub> ~C <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> ~D <sub>3</sub> , A <sub>4</sub> ~C <sub>4</sub> | $Q_{A_2} \times 120 = 57600$ | 全体最大 $Q_{A_2} \times 120$     |

(4) 走道的机械排烟系统宜竖向设置,如图 2-9 所示,房间的机械排烟系统宜按防烟分区设置。

(5) 净空高度超过 12m 的室内中庭,竖向排烟口应按 2~3 层设一排烟口或者分段设置。

(6) 独立设置的机械排烟系统可兼作平时通风排风使用,如图 2-10 所示。对于高层建筑的地下室,利用通风系统兼作排烟更有利,它不但节约投资,而且对排烟系统的所有部件经常使用可保持良好的工作状态。

机械排烟系统与空调系统一般情况宜分开设置,当与空调系统合用时,应设有在火灾时能将通风和空气调节系统自动切换为排烟系统的装置。因为空调系统多采用上送下回的送风方式,如利用空调系统作排烟时,一般是多用送风口代替排烟口,烟气又不允许通过空调器,并要把风管与风机连接位置改变,需要装旁通管和自动切换阀。

利用空调系统作为火灾排烟用时,为使烟气不通过空调器,并要保证火灾时只有着火处防烟分区的排烟口开启而其他风口都要关闭,只能在空调器处增加旁通管和自动切换阀,使得平时漏风量及阻力增加,通风空调系统原来常开的每个风口增加自动控制阀,使系统的投资及故障率升高。利用通风系统管道排烟时,应采取可靠的安全措施:

- 1) 系统风量应满足排烟量;
- 2) 烟气不能通过其他设备(如过滤器、加热器等);
- 3) 排烟口应设有自动防火阀(作用温度  $280^{\circ}\text{C}$ )和遥控或自控切换的排烟阀;
- 4) 加厚钢质风管厚度,风管的保温材料必须用不燃材料。另外,设有排烟系统的地下室,应同时设置补风系统,其进风量不宜小于排烟量的 50%。

### 2.3.5 排烟口的设计要求

设置排烟口时,应注意下列几点:

(1) 当用隔墙或挡烟壁划分防烟分区时,每个防烟分区应分别设置排烟口。

(2) 排烟口应尽量设置在防烟分区的中心部位,排烟口到该防烟分区最远点的水平距离不应超过 30m,如图 2-11 所示。

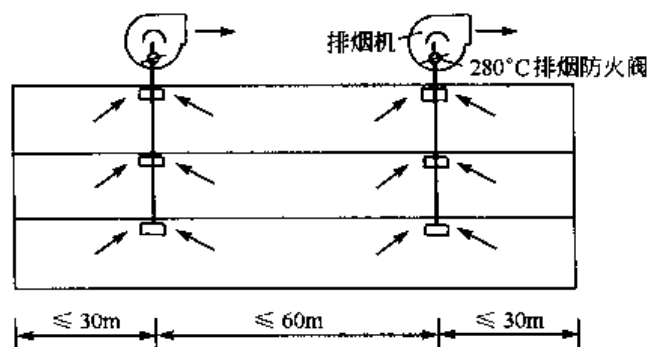


图 2-9 竖向布置的走道排烟系统

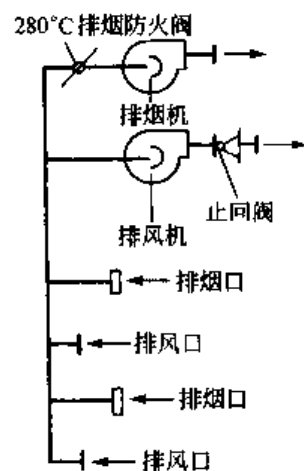


图 2-10 机械排烟和排风合用系统示意图

走道的排烟口与防烟楼梯的疏散口的距离无关,但排烟口应尽量布置在人流疏散方向相反的位置处。

(3) 排烟口必须设置在距顶棚 800mm 以内的高度上。对于顶棚高度超过 3m 的建筑物, 排烟口可设在距地面 2.1m 的高度上, 或者设置在地面与顶棚之间 1/2 以上高度的墙面上, 如图 2-12 所示。

(4) 为防止顶部排烟口处的烟气外溢, 可在排烟口一侧的上部装设防烟幕墙, 如图 2-13 所示。

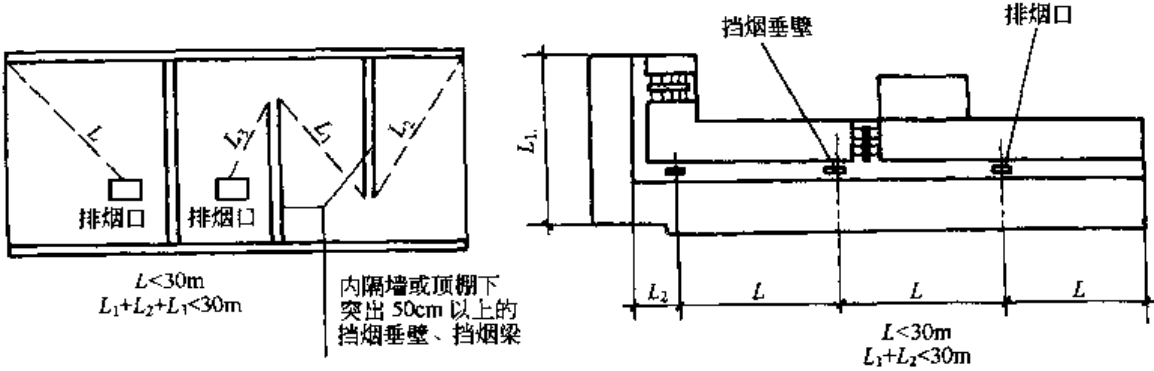


图 2-11 房间、走道排烟口至烟区最远水平距离示意

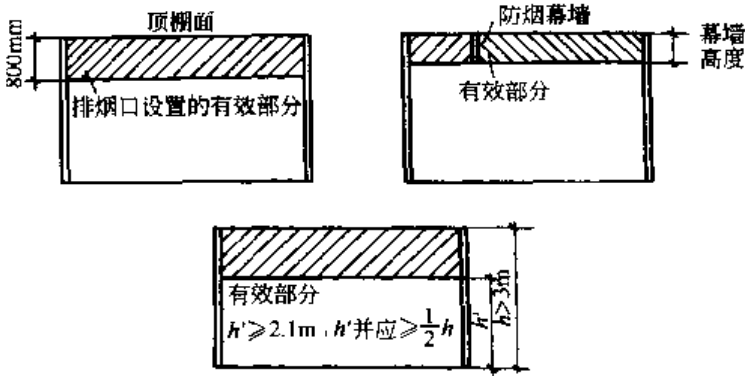


图 2-12 排烟口设置有效高度

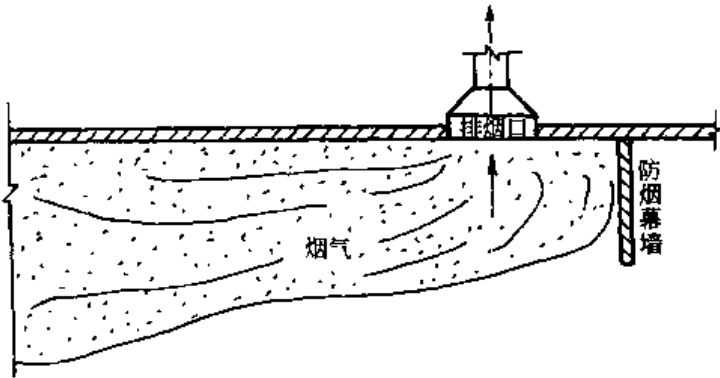


图 2-13 防烟幕墙与排烟口位置

(5) 排烟口的尺寸, 可根据烟气通过排烟口有效断面时的速度小于 (不宜大于) 10m/s 进行计算。排烟口的最小面积一般不应小于 0.04m<sup>2</sup>。

(6) 同一分区内设置数个排烟口时, 要求做到所有排烟口能同时开启, 排烟量应等于

各排烟口排烟量的总和。

(7) 在排烟通道中, 条缝形排烟口对于整个通道都是有效的, 而方形排烟口则不容易排掉通道两侧的烟气, 如图 2-14 所示。

(8) 排烟口均设有手动开启装置或与感烟器连锁的自动开启装置或消防控制中心远距离控制的开启装置等。除开启装置将其打开外, 平时需一直保持闭锁状态。手动开启装置宜设在墙而上, 距地板面  $0.8 \sim 1.5\text{m}$  处; 或从顶棚下垂时, 距地板面宜为  $1.8\text{m}$  处。

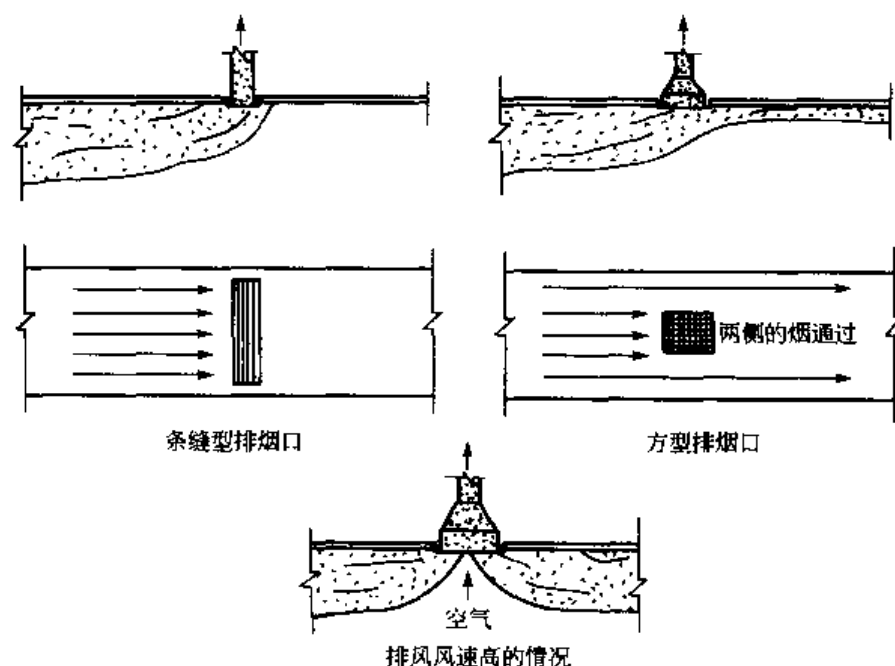


图 2-14 排烟口吸入情况

### 2.3.6 排烟风机的设计要求

#### (1) 合理选择排烟风机

用于排烟的风机主要有离心风机和轴流风机, 并应在其机房入口处设有当烟气温度超过  $280^{\circ}\text{C}$  时能自动关闭的排烟防火阀。另外, 还有自带电源的专用排烟风机。

排烟风机应有备用电源, 并应有能自动切换装置, 排烟风机应耐热, 变形小, 使其在排出  $280^{\circ}\text{C}$  烟气时连续工作  $30\text{min}$  仍能达到设计要求。

1) 普通离心风机。从风机的耐热性能与变形等方面, 离心风机比轴流风机优越。经有关部门试验表明, 在排送  $280^{\circ}\text{C}$  烟气时, 连续工作  $30\text{min}$  是完全可行的。其不足之处是风机体形较大, 因而占地而积就大。

2) 轴流风机。使用轴流风机排烟, 其电动机装置应安装在风管外, 或者采用冷却轴承的装置, 目前国内已经生产专用排烟轴流风机, 其设置方便, 占地面积小。

3) 自带电源的专用排烟风机。利用蓄电池为电源的专用排烟风机, 其蓄电池的容量应能使排烟风机连续运行  $30\text{min}$ 。对自带发电机的排烟风机, 应对其风机房设有能排除余热的全面通风系统。

#### (2) 排烟风机设置要求

1) 应设置在该排烟系统最高排烟口的上部, 位于防火分区的机房内, 机房隔墙耐火

极限不小于 2.5h，机房的门应采用耐火极限不低于 0.6h 的防火门。当设在机房有困难时，也尽量使排烟风机与其所负担的房间或走道之间由墙体、楼板等隔开，以确保风机安全运行。

2) 为了方便维修，排烟风机外壳至墙壁或设备的距离不应小于 60cm，如图 2-15 所示。图中， $w$  均应大于 60cm。若排烟风机的设置地点为耐火构造，且当其热量向周围传递时，不会发生事故，此时机壳外可不保温。

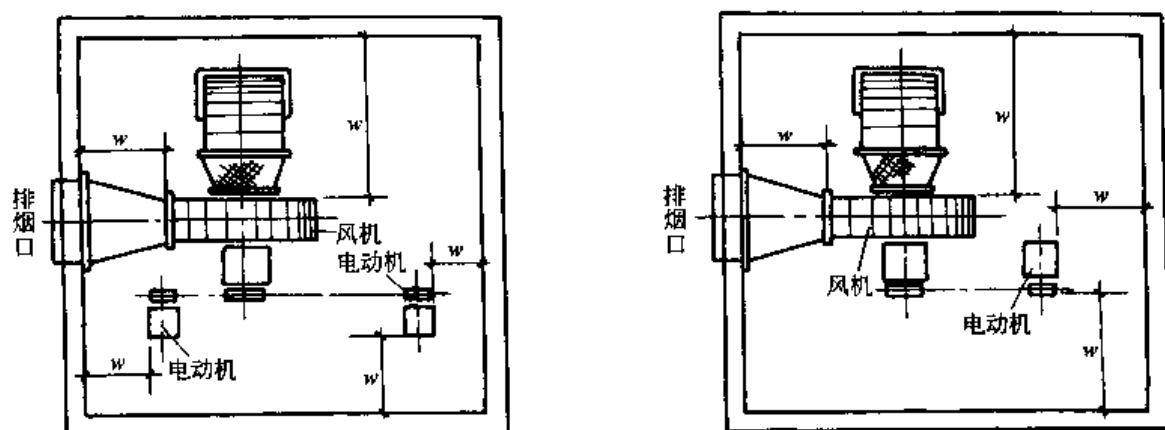


图 2-15 排烟风机与墙壁、设备的距离

3) 排烟风机与排烟道的连接方式应合理。实践证明，因为排烟风机与排烟风道连接方式不正确，常常会引起风机的性能显著下降。因此，在设计中如果采取的连接方式有引起风机性能降低时，则选择的风量、风压一定要留有一定的裕量。

4) 排烟风机与排烟口应设有联锁装置。当任何一个排烟口开启时，排烟风机即能自动启动。即一经报警，确认发生火灾时，由手动或由消防控制室遥控开启排烟口，则排烟风机立即投入运行，同时立即关闭着火区的通风空调系统。

5) 排烟风机应设在混凝土或钢架基础上，但可不设置减振装置。风机吸入口管道上不应设有调节装置。

### (3) 排烟风机的风压和风量

1) 为了决定排烟风机容量，需要进行系统阻力的计算。先设定起火场所，再确定排烟口开启状况。按系统最不利的环路确定（参见图 2-8）。计算最大阻力时，先选最远端的管道系统，当该系统的排烟量不够大时，再用次远端的管道系统进行计算，从中得出排烟量最大的管道系统的阻力，将计算结果（每个系统的风量与风压）与排烟风机的性能曲线相比，考虑一定的余量选用排烟风机。

阻力计算可先不考虑漏风量，最后用总漏风量修正总排烟量和风压。

排烟风机的风量应在计算的系统排烟量的基础上考虑一定的排烟风道漏风系数，金属制风道漏风系数取 1.1~1.2，混凝土风道漏风系数取 1.2~1.3。

2) 排烟风机的排烟量计算方法与原则。担负一个防烟分区排烟或净空高度大于 6.00m 的不划防烟分区的房间时，应按每平方米面积不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算（单台风机最小排烟量不应小于  $7200\text{m}^3/\text{h}$ ）。担负两个或两个以上防烟分区排烟时，应按最大防烟分区面积每平方米不小于  $120\text{m}^3/\text{h}$  计算。

需要说明的是,当排烟风机担负两个以上防烟区时,应按最大防烟区面积每平方米不小于  $120\text{m}^3/\text{h}$  计算,这里指的是选择排烟风机的风量,并不是把防烟区排烟量加大一倍(对每个防烟区的排烟量仍然按防烟区面积每平方米不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算)。即当排烟风机不论是水平方向或垂直方向担负两个或两个以上防烟区排烟时,只按两个防烟区同时排烟来确定排烟风机的风量。对于每个排烟口排烟量的计算,排烟风管各管段风量分配见表 2-2。

走道排烟面积即为走道的地面积与连通走道的无窗房间或设固定窗的房间面积之和,不包括有开启外窗的房间面积,同一防火分区内连接走道的门可以是一般门,不规定是防火门。

### 2.3.7 排烟风道的设计要求

(1) 排烟风道不应穿越防火分区。竖直穿越各层的竖风道应用耐火材料制成,并宜设在管道井内或采用混凝土风道。排烟管道在穿越排烟机房楼板或其防火墙处,在垂直排烟管道与每层水平排烟支管交接处的水平管段上,均应设置温度达到  $280^\circ\text{C}$  即关闭的排烟防火阀,并应符合下列要求:该阀门应采用不小于  $1.5\text{mm}$  厚的钢板制作;该阀门必须牢固地固定在墙壁上或楼板上;在便于检查阀门的部位应设置检查口,且能看清阀门叶片的开闭和动作状态;防火墙与该阀门之间的风道,应做  $10\text{mm}$  以上的耐火保护壳或采用厚度  $1.5\text{mm}$  以上的钢板制作,采用受热时不易变形的结构。

(2) 排烟风道的材料。风道材料必须为不燃烧材料,宜采用镀锌钢板或冷轧钢板,也可采用混凝土制品,但不宜采用砖砌风道(漏风量较大)。与防火阀门连接的排烟风道,穿过防火楼板或防火墙时,风道厚度应采用不小于  $1.5\text{mm}$  的钢板制作。排烟时风道不应变形或脱落,同时应有良好的气密性。风道配件应采用钢板制作。

排烟风道厚度,按排烟风道风速不同选定,低速风道(平均风速小于等于  $15\text{m/s}$ ),高速风道(平均风速大于  $15\text{m/s}$ ),则管壁厚度要求也不尽相同,设计时宜按表 2-3 要求选用。排烟风道的吊架和支撑,应按表 2-4 的要求选用。

(3) 排烟风道的风量确定。风道内通过的风量,应按该排烟系统各分支风管所有排烟口中最大排烟口的两倍计算。

排烟风速:当采用镀锌金属风管时,不应超过  $20\text{m/s}$ ;当采用混凝土砌块或石棉板等其他非金属材料风道时,不应超过  $15\text{m/s}$ 。

当某个排烟系统各个排烟口风量都小于  $60\text{m}^3/\text{min}$  时,其排烟总管可按  $120\text{m}^3/\text{min}$  计算,其余各支管的风量均按各自担负的风量计算确定。

#### (4) 排烟道构造要求。

1) 排烟风道的保温。需要隔热的金属排烟道,必须采用不燃保温材料,如矿棉、玻璃棉、岩棉、硅酸铝等材料。采用玻璃纤维材料时,保温层厚度不应小于  $25\text{mm}$ 。安装在吊顶内的排烟管道,其隔热层应采用不燃烧材料制作,并应与可燃物保持不小于  $150\text{mm}$  的距离。

2) 排烟风道穿过挡烟墙时,风道与挡烟隔墙之间的空隙,应用水泥砂浆等不燃材料严密填塞。

3) 排烟风道与排烟风机的连接,宜采用法兰连接,或采用不燃烧的软性连接。

金属风道的壁厚

表 2-3

| 风 速<br>分 区 | 长方形风道的长边<br>(mm) | 圆形风道的直径 (mm) |         | 厚<br>(mm) |
|------------|------------------|--------------|---------|-----------|
|            |                  | 直管           | 连管      |           |
| 低风速区       | <450             | <500         | —       | 0.5       |
|            | 450~750          | 500~700      | <200    | 0.6       |
|            | 750~1500         | 700~1000     | 200~600 | 0.8       |
|            | 1500~2200        | 1000~1200    | 600~800 | 1.0       |
|            | —                | <1200        | <800    | 1.2       |
| 高风速区       | <450             | <450         | —       | 0.8       |
|            | 450~1200         | 450~700      | <450    | 1.0       |
|            | 1200~2000        | >700         | >450    | 1.2       |

排烟风道的吊架、支撑规格尺寸

表 2-4

| 风道<br>类型                  | 板厚<br>(mm) | 吊 架     |    |           | 支 撑     |           |
|---------------------------|------------|---------|----|-----------|---------|-----------|
|                           |            | 角钢      | 圆钢 | 最大间距 (mm) | 角钢      | 最大间距 (mm) |
| 长<br>方<br>形<br>风<br>道     | 0.5        | 25×25×3 | φ8 | 3000      | 25×25×3 | 3600      |
|                           | 0.6        | 25×25×3 | φ8 | 3000      | 25×25×3 | 3600      |
|                           | 0.8        | 30×30×3 | φ8 | 3000      | 30×30×3 | 3600      |
|                           | 1.0        | 40×40×3 | φ8 | 3000      | 40×40×3 | 3600      |
|                           | 1.2        | 40×40×5 | φ8 | 3000      | 40×40×5 | 3600      |
| 圆<br>形<br>风<br>道<br><1200 |            | 扁钢      | 圆钢 | 最大间距 (mm) | 圆钢      | 最大间距 (mm) |
|                           |            | 25×3    | φ8 | 3000      | φ8      | 3600      |

(5) 烟气排出口。

1) 烟气排出口的材料, 可采用 1.5mm 厚钢板或用具有同等耐火性能的材料制作。

2) 烟气排出口的设置, 应根据建筑物所处的条件 (风向、风速、周围建筑物以及道路等情况) 考虑确定, 既不能将排出的烟气直接吹在其他火灾危险性较大的建筑物上, 也不能妨碍人员避难和灭火活动的进行, 更不能让排出烟气再被通风或空调设备等吸入。此外, 必须避开有燃烧危险的部位。

### 2.3.8 机械排烟系统设计其他应注意的问题

可燃物多、火灾时发烟量多的商场、室内停车场、大型厨房等, 应划作独立防烟分区, 以防向其他空间扩散烟气; 不固定服务对象且人数众多的影剧院、宾馆、展览馆等, 应防止其他空间的烟气侵入, 划分独立防烟分区。此外, 疏散通道的走廊、前室、楼梯间等, 因其安全程度不同, 划分为不同的防烟分区。

在上述不同的防烟分区, 最好分别设置排烟系统 (含管网、风机), 但是, 如果分别设置排烟系统造成管线、风机增加, 管理困难时, 其竖管道 (总管道) 可以不增设, 而各个分区的水平管道仍应分别设置。

高层建筑中的停车场、防烟楼梯间前室、消防电梯前室等，应设单独的排烟系统，见图 2-16；厨房和走廊等，原则上，水平管道应分设，但可用同一竖（总）管道，如图 2-17 所示。

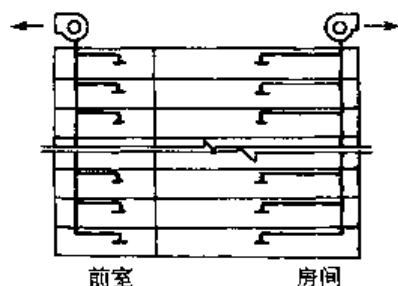


图 2-16 前室与房间分别设排烟系统

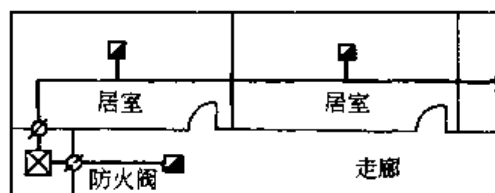


图 2-17 房间和走廊分别设置排烟系统

同一排烟系统担负不同面积防烟分区的排烟时，因为管道和风机都是按照面积大的防烟分区选择的，势必造成对面积小的防烟分区的风量、静压过大，引发门的开闭费力，漏气量增加，排烟风机的振动等问题。所以，在同一管道系统内，尽可能使防烟分区面积相差较小。

排烟风管过长或管网复杂时，会出现管网系统的阻力过大，排烟管道应利用烟的自然流动，使排烟能够平稳顺畅地进行。为此，管道与排烟风机的位置应适当布置，使水平管道越短越好（图 2-18、图 2-19），排烟风机不得设在排烟口位置的下方。

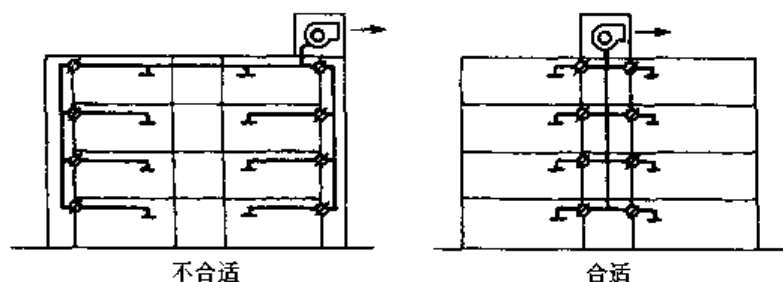


图 2-18 排烟竖井与排烟风机的位置

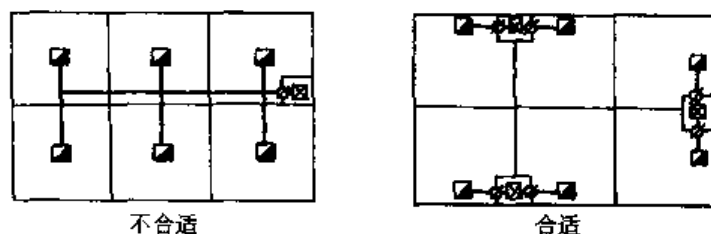


图 2-19 排烟竖井的布置

机械排烟系统的补风。机械排烟设计应考虑补风的途径，在不能自然补风时应进行机械补风，恰当的补风可使排烟效果更好。一般考虑地上建筑机械排烟时，有门窗洞口及其缝隙的空气渗透，可以不进行补风就能有较好的效果；但是对于地下建筑来说，由于其周边处于封闭条件下，因此必须设有补风系统，且送风量不宜小于排烟量的 50%。

### 2.3.9 机械排烟系统控制程序

当建筑物发生火灾时，随着火灾的发展，需要明确掌握何时排烟设备动作以及在同一时间内使哪些设备动作。对于小型排烟设备，因平时没有监视人员，所以不可能设置集中控制室，一般都是在发生火灾的火场附近进行局部操作。

在大型的排烟设备中，虽然可以在火灾现场附近操作，但从全局看，有必要使排烟设备系统地动作，并且能局部控制时，如果把排烟设备的顺序号搞错，就有可能把烟气引进疏散通道或其他部位的危险。因此，有必要设置消防控制室，配备专门的监视人员对排烟进行控制和监视。

机械排烟系统的控制程序举例如下：

#### (1) 不设消防控制室的机械排烟控制程序

图 2-20 为不设消防控制室的机械排烟控制程序方框图。

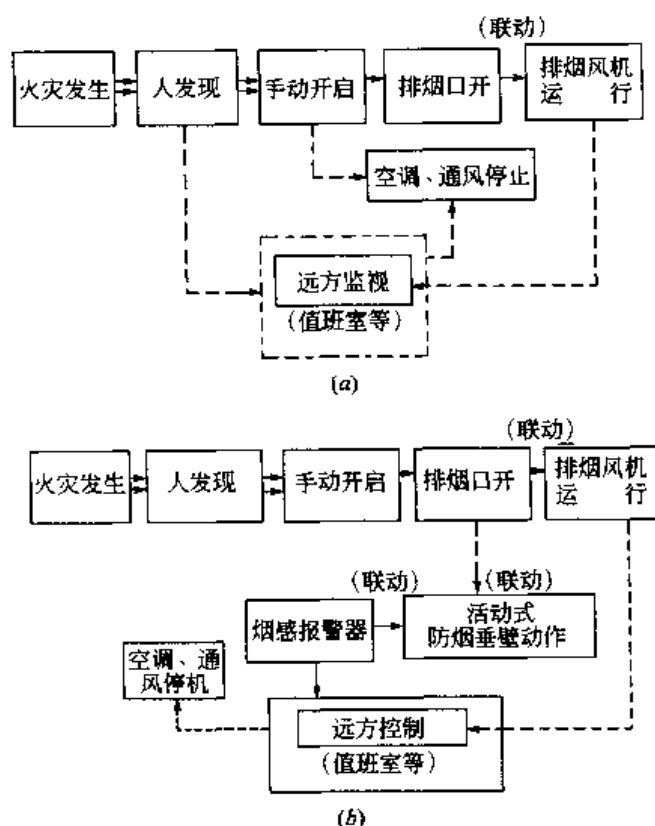


图 2-20 不设消防控制室的机械排烟控制程序

图 2-20 (a) 中，排烟口和排烟风机连锁，属基本的控制程序图；图 2-20 (b) 中，当火灾报警器动作后，活动挡烟垂壁动作，并有信号到值班室，同时排烟口和排烟风机启动。

#### (2) 设有消防控制室的机械排烟控制程序

图 2-21 为设有消防控制室的机械排烟控制程序方框图。图 2-21 (a) 中，火灾报警器动作后，排烟口、排烟风机、通风及空气调节系统的通风机均由消防控制室集中控制；图 2-21 (b) 中，火灾报警器动作后，消防控制室仅控制排烟口，由排烟口联动排烟风机、通风机及空气调节系统的通风机。

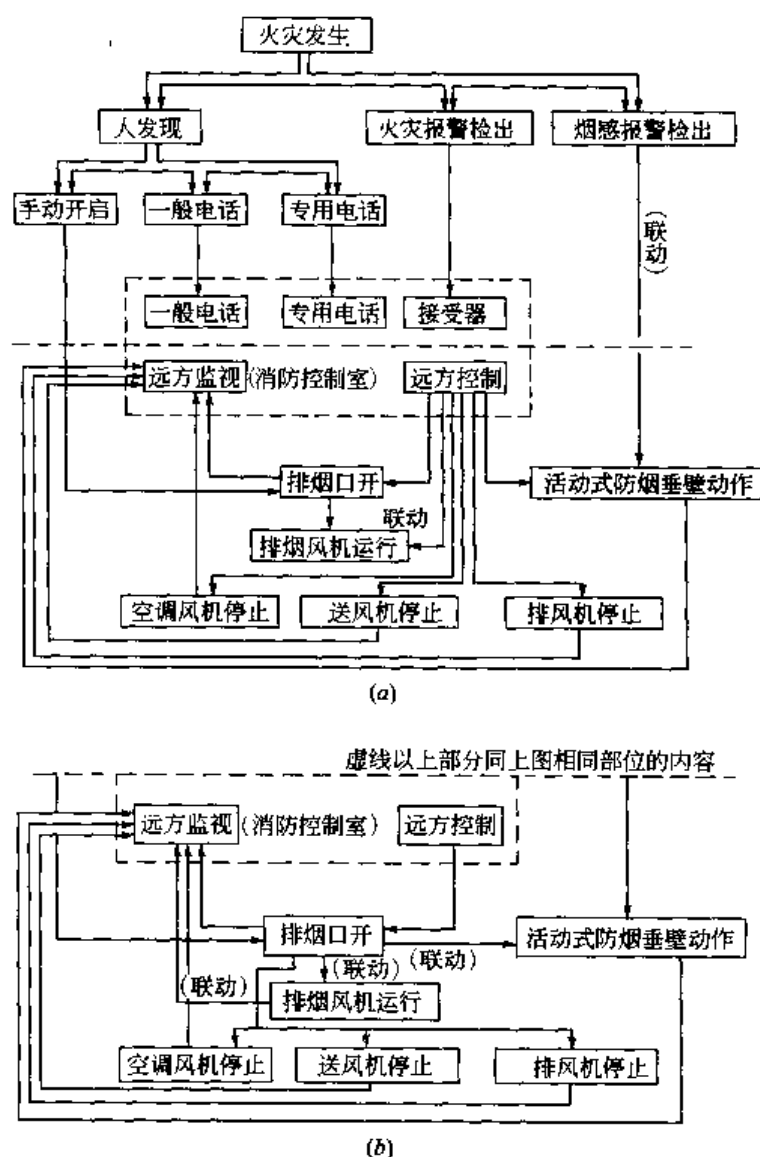


图 2-21 设有消防控制室的机械排烟控制程序

## 2.4 高层建筑的中庭排烟问题

### 2.4.1 中庭的防火排烟要求

从 20 世纪 70 年代以来,世界各地的高级宾馆、饭店、银行、办公楼等各种公共建筑都采用中庭,可以说中庭建筑已成为今后高层建筑的一大趋势。从 20 世纪 80 年代开始,我国新建的一些高层建筑也在内部布置了赋有“大自然”特色的中庭。这对于人口密集的大城市来说无疑是一种美的享受。

#### 2.4.1.1 中庭防火设计的基本原则

中庭的防火问题相当复杂,因为中庭是上下左右贯通的大空间,不可能采用一般建筑物那样的普通防火对策,如果中庭的防火设计不当,则有可能酿成大祸。就中庭的火灾特点可归纳为以下几方面:

(1) 空间大, 防火分区难于划分, 一旦发生火灾, 烟气迅速蔓延。

中庭建筑的上下空间连为一体, 空间一般比较大。按照现行《高层建筑防火规范》的规定, 在高层建筑中如有大面积垂直开口部位, 如上下层连通的走马廊、开敞楼梯、自动扶梯等开口部位时, 则应按上下连通作为一个防火分区。高层建筑的水平防火分区面积一般不应大于  $1000 \sim 1500 \text{m}^2$ 。按此规定, 中庭将远远超过此值。一旦发生火灾, 烟气就有可能迅速蔓延。

(2) 功能复杂、疏散困难。

高层建筑的中庭既是联系各功能之间的枢纽, 又是社交的场所, 人流混杂。因此, 发生火灾的隐患多, 一旦发生火灾, 疏散量大, 疏散困难。

我国有关中庭建筑防火排烟设计的基本原则:

中庭建筑防火需要解决的问题很多, 根本问题是一旦发生火灾, 能够阻止火焰蔓延, 以及能够保证人员安全疏散, 根据我国有关消防法规以及工程实践, 必须满足以下条件:

(1) 中庭周围功能各异的房间必须是独立的防火分区。在中庭周围往往布置各种不同类型的商店、餐饮, 应作为独立的防火分区。各功能之间分隔墙的耐火极限不小于  $3\text{h}$ 。而且各功能对外开的门必须是防火门;

(2) 中庭中的疏散楼梯不应少于两个, 而且至少有一个必须直接通向外室;

(3) 中庭的每层回廊必须安装自动喷淋, 而且喷淋头比一般建筑中自动喷淋头至少增加一倍, 即间距为  $1.8\text{m}$ ;

(4) 中庭与其他开敞房间之间必须设置防火卷帘。对于多边形的中庭, 可以设置水幕。

#### 2.4.1.2 中庭的防排烟要求

中庭必须设置防排烟系统, 可以机械排风, 也可以自然排风。中庭的天窗也必须是开启方便的排烟窗。《高规》对中庭排烟的要求如下:

1) 净空高度小于  $12\text{m}$  的中庭, 当其可开启的天窗或高侧窗的面积不小于中庭地面面积的  $5\%$  时, 可以利用天窗或高侧窗自然排烟。

2) 不具备自然排烟条件或净空高度超过  $12\text{m}$  的中庭, 应设置机械排烟设施。当中庭体积小于  $17000\text{m}^3$  时, 排烟量按其体积的  $6$  次/h 换气计算; 当中庭体积大于  $17000\text{m}^3$  时, 排烟量按其体积的  $4$  次/h 换气计算; 最小排烟量不应小于  $102000\text{m}^3/\text{h}$ 。

室内中庭的净空高度不超过  $12\text{m}$ , 可以采用可开启的高侧窗进行自然排烟。如果中庭的净空高度超过  $12\text{m}$  就应设置机械排烟设施。其原因是: 烟气上升有“层化”现象, 即当建筑较高而火灾温度较低 (一般火灾初期人员疏散时的烟气温度为  $50 \sim 60^\circ\text{C}$ ), 或在热烟气上升流动中过冷 (比如空调影响), 部分烟气不再朝竖向上升, 按照倒塔形的发展而半途改变方向并停留在水平方向, 也就是烟气过冷后其密度加大, 当它流到与其密度相等时, 便折转水平方向扩展而不再上升。上升到一定高度的烟气随温度的降低又会下降, 使得烟气无法从高窗排出。

现行规范中中庭的集中机械排烟量是以中庭体积为单位, 按换气次数确定的。因此正确确定中庭的排烟体积十分重要, 它与中庭建筑防火分区面积的确定原则基本相同, 应按表 2-5 中的几种情况分别考虑。

中庭式建筑防火分区面积及排烟体积的确定

表 2-5

| 中庭与周围房间的分隔情况                      | 中庭防火分区面积                                      | 中庭的排烟体积                 |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
| 中庭空间与周围房间相通, 无防火、防烟卷帘分隔           | 应按上、下层连通的面积叠加计算 (即包括中庭在内以及与中庭相通的内部各楼层的全部空间面积) | 中庭以及与中庭相通的内部各楼层的全部空间的体积 |
| 中庭空间与周围房间相通, 但有防火、防烟卷帘分隔          | 中庭面积                                          | 中庭空间本身体积                |
| 中庭空间只与中庭回廊相通面与周围房间不相通             | 包括中庭以及与中庭相通的各楼层回廊的面积                          | 中庭以及与中庭相通的各楼层回廊的全部空间的体积 |
| 中庭空间只与中庭回廊相通, 但回廊与中庭之间设有防火、防烟卷帘分隔 | 中庭面积                                          | 中庭空间本身体积                |
| 中庭空间与周围房间不相通, 有防火隔墙或防火、防烟卷帘分隔     | 中庭面积                                          | 中庭空间本身体积                |

#### 2.4.2 中庭的防排烟方式

一般情况下, 中庭四周的空间很少有屏幕完全隔断, 有时甚至全部敞开, 对于防止烟气在中庭和所有与中庭相连的空间内弥漫是非常重要的。应根据具体情况选择有效的防排烟方式。

由于中庭建筑自身的特点和不同的类型, 加上中庭建筑防排烟设计研究起步较晚等原因, 尚存在不少问题有待研究。不同类型的中庭式建筑在防、排烟方式的选择上差异较大, 至今观点尚未统一。表 2-6 给出国内外通常采用的排烟方式及其设计要点, 设计者可根据实际工程具体情况参考采用。总起来说, 目前采取的排烟方式主要有分散式的房间排烟和集中式中庭排烟。

##### (1) 分散式的房间排烟

利用设在与中庭相通又无分隔的中庭周围的房间内的各个部位的排烟风口将烟气直接排至室外, 如图 2-22 所示。其设计方法与 2.3 一节机械排烟系统设计相同。火灾发生时, 着火部位 (例如, 与中庭相通又无分隔的中庭周围的房间) 烟感器发生报警信号, 消防控制中心将着火处的排烟阀打开, 排烟风机联动开启排烟。它具有排烟量小, 可把烟气控制在着火区域而不向其他非着火区域扩散等优点, 但其设计、控制较集中, 排烟复杂, 且日常维护管理工作量大、系统可靠性较差, 造价和运行费用均较高, 而且一旦中庭发生火灾则无法有效排烟。

##### (2) 集中式中庭排烟

在中庭顶部设置排烟口, 进行自然或机械排烟, 将侵入到中庭上部的烟气排至室外, 如图 2-23 和图 2-24 所示。火灾发生时, 根据中庭顶部烟感器的报警信号, 消防控制中心将排烟口打开进行排烟。它具有便于统一控制管理、运行可靠性高、日常维护简单及大火时排烟效果好等优点, 但当中庭周围的建筑层起火, 且火灾规模较小时, 其排烟效果较差。

中庭建筑类型与排烟方式

表 2-6

| 中庭建筑类型 | 建 筑 特 点                                         | 常用排烟方式及其设计要点 |                                                                         |
|--------|-------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
|        |                                                 | 排烟方式         | 设 计 要 点                                                                 |
| I      | 中庭与周围建筑之间无任何间隔, 中庭与周围房间之间空气自由流通                 | 中庭集中排烟       | (1) 中庭四周房间一般均应设自动喷淋系统<br>(2) 正确计算排烟量<br>(3) 合理布置进风口                     |
|        |                                                 | 周围房间分散式排烟    | 参照 2.3 节机械排烟系统设计                                                        |
|        |                                                 | 集中排烟与分散排烟相结合 | (1) 中庭与周围房间之间应设防火、防烟卷帘分隔<br>(2) 中庭与房间的排烟量应分别计算<br>(3) 中庭四周房间一般均应设自动喷淋系统 |
| II     | 中庭与周围建筑之间采用玻璃间隔, 中庭与周围房间之间无空气流通                 | 中庭集中排烟       | (1) 中庭与周围房间之间应设防火、防烟卷帘分隔<br>(2) 中庭与房间的排烟量应分别计算<br>(3) 中庭四周房间一般均应设自动喷淋系统 |
|        |                                                 | 集中排烟与分散排烟相结合 | (1) 中庭与周围房间之间应设防火、防烟卷帘分隔<br>(2) 中庭与房间的排烟量应分别计算<br>(3) 中庭四周房间一般均应设自动喷淋系统 |
| III    | 中庭与周围建筑的走廊相通, 走廊与周围房间之间采用玻璃或墙间隔, 中庭与周围房间之间无空气流通 | 中庭集中排烟       | (1) 中庭周围建筑的走廊应设自动喷淋系统<br>(2) 计算排烟量的体积应为中庭和回廊体积之和                        |

以下举例叙述中庭的几种防排烟方式:

(1) 不通过中庭的分散排烟

图 2-22 所示是不通过中庭的分散排烟方式。火势要尽力限制在着火层, 使中庭地面火险最小, 则这种措施是经济的; 其他的方法也同样需要从火区排烟和设排烟系统。只用作循环路线的侧面开放的中庭也可采取这种排烟方法。

在所有上部空间, 存烟空间要联到排烟装置上。存烟空间就是顶棚下和人头顶上面安全高度之间的空间。悬挂隔板可限制烟气向侧面蔓延。楼层空间的间隔要考虑存烟空间, 并必须与排烟系统或通风系统连接成单独存烟空间。

不经中庭排烟有以下特点:

- 1) 火区  $a$ , 在侧面开孔的楼层, 火势 (区) 大小由喷水器控制;
- 2) 存烟空间的高度, 如果有动力通风, 则该空间较低。顶棚应是敞开型的, 除非采用强制通风;
- 3) 中庭边缘隔板, 构成存烟空间 (可用钢化玻璃);
- 4) 只对无火灾楼层送风防烟, 空气流到中庭, 以免烟气散入无火楼层;
- 5) 在烟层下面, 补给空气进入着火楼层, 避免造成干扰;
- 6) 火区  $b$ , 四周有开孔的隔离层的另一种排烟情况;

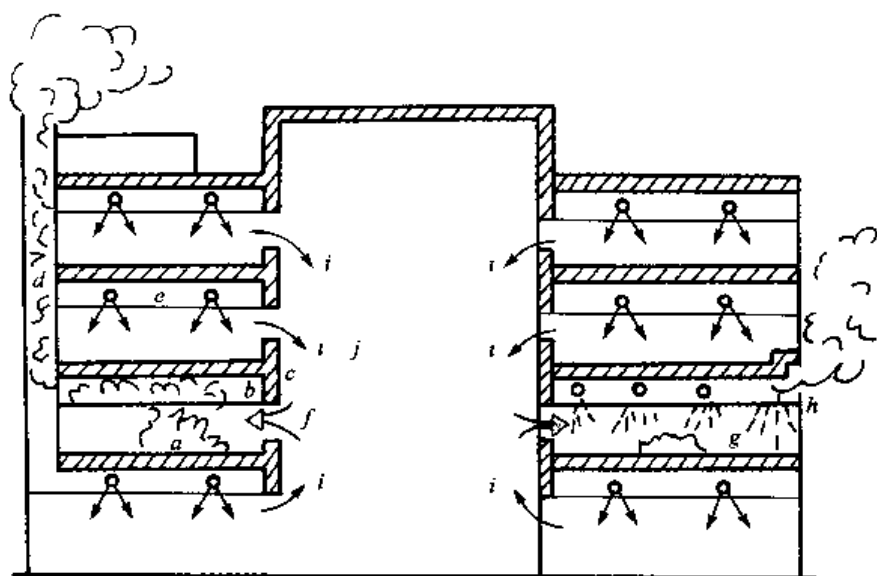


图 2-22 不经中庭的分散排烟示例

- 7) 四周开孔必须足够高，以便形成存烟空间；
- 8) 补给空气必须经过隔板进入着火楼层，但要在烟层下面；
- 9) 应用这种排烟方式时，中庭的火险必须极小，以免中庭发生火灾使排烟负荷成倍地增加。

(2) 各楼层侧面开孔，经过中庭排烟

图 2-23 所示为经过中庭集中排烟方式。在门窗开向中庭及平面自由布置的楼层，由于烟气能自由进入中庭，就不需要存烟空间。有间隔的房间需要设存烟空间。在有可控的通风口开向中庭的间隔房间更需要充分的存烟空间。

烟气进入中庭，就会自由膨胀上升，与不通过中庭排烟方式相比，排出烟气的体积要大得多。上升的烟气也会进入到侧面开孔的楼层。高度在 20m 左右的中庭，烟气本身就能独立地从屋顶通风孔排出。经过中庭排烟有以下特点：

- 1) 火区大小由喷水器控制；
- 2) 烟气排到中庭，边缘隔板不会阻止排烟；
- 3) 边缘隔板防止从下面层侵入烟气；
- 4) 羽烟扩大范围，与竖直方向成  $15^\circ$  角；

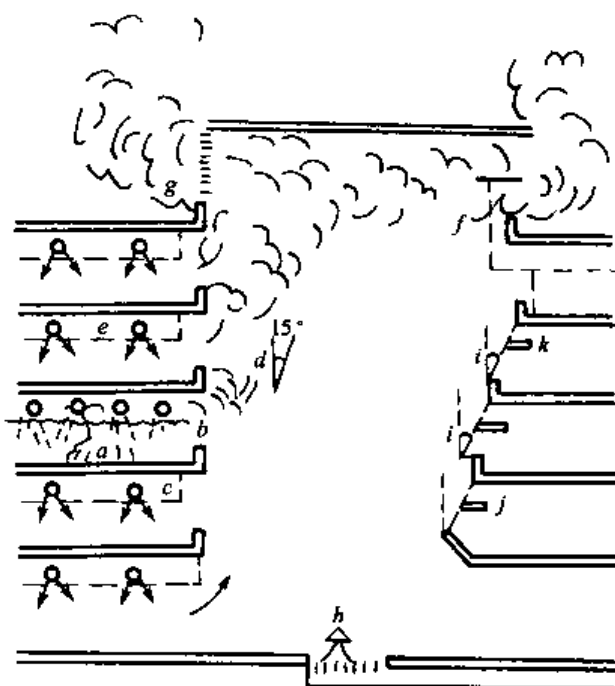


图 2-23 各楼层侧面开孔经过中庭排烟方式

5) 只在无火灾层送风,着火层不送风;  
6) 中庭存烟空间,其有效高度是由最高的暴露楼层到通风口中心线的距离,为了产生自然升力,最小为 1.7m;

7) 根据着火楼层测出的烟气,通气孔自动打开;

8) 从中庭地面,或者尽可能地从低处送入补给的新鲜空气。

### (3) 隔离中庭的烟气排除

中庭与疏散通道之间用隔断形成屏蔽空间,隔断也可以用玻璃,但在疏散时玻璃必须保证不会破坏。这样,中庭的空间可以存烟,然后用机械排烟。如果中庭内设疏散回廊,同时必须有防排烟措施。

中庭顶部应设存烟空间,若有自然通风孔,其开孔面积要减小,因为存烟空间的高度增加,烟气“前锋”会把烟气推出去。存烟空间须能足够收集上升的烟气。如果建筑物顶部各层与中庭隔开,则中庭存烟空间高度可包括这几层的高度,如图 2-24、图 2-25 所示。

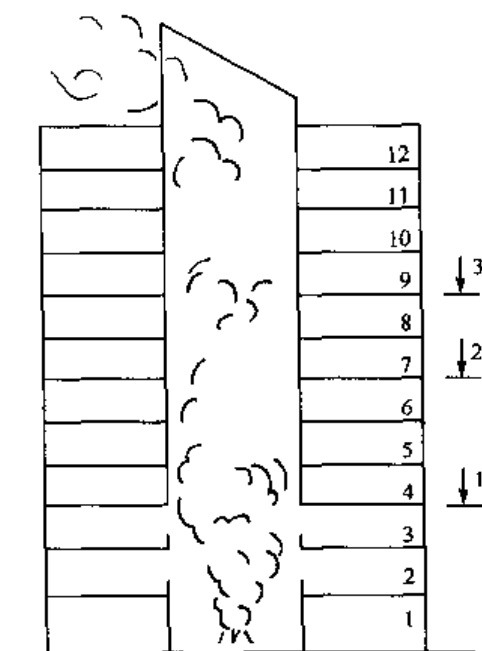


图 2-24 办公楼中庭的排烟示例

1—第三层以上开孔面积  $18\text{m}^2$ , 动力排烟  $50\text{m}^3/\text{截面}$ ; 2—第六层以上开孔面积  $81\text{m}^2$ , 动力排烟  $108\text{m}^3/\text{截面}$ ; 3—第九层以上需自然通风或动力排烟, 开孔面积  $156\text{m}^2$ , 动力排烟  $165\text{m}^3/\text{截面}$

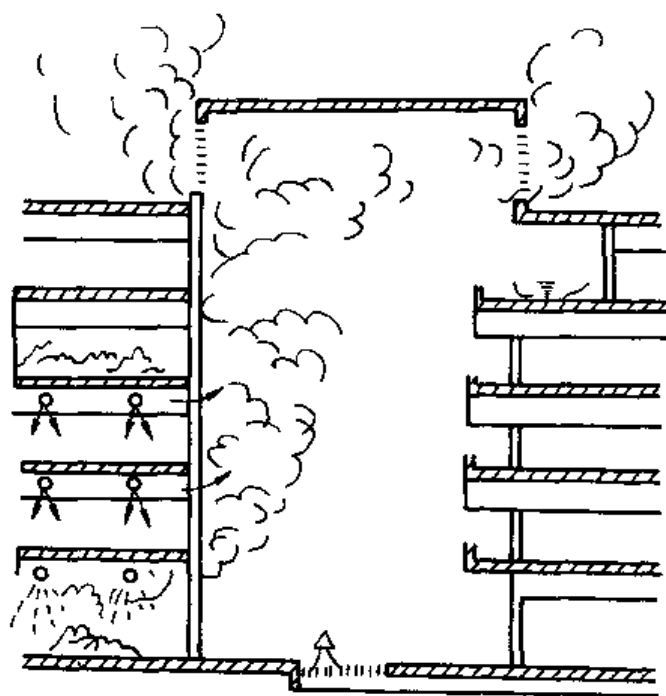


图 2-25 隔离中庭的烟气控制方法

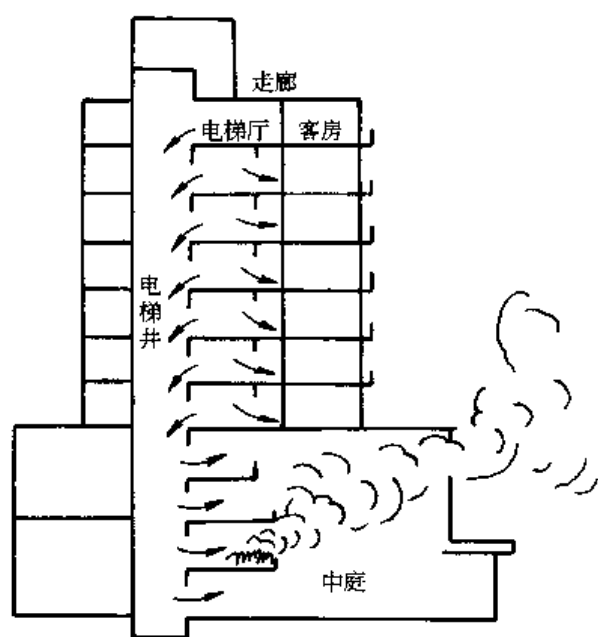


图 2-26 中庭通过裙房排烟

#### (4) 中庭通过裙房排烟

通常在有裙房的中庭建筑中，塔楼下面几层的流通路线都向中庭敞开，这样就为多层空间进出电梯厅提供了良好视线。图 2-26 所示为某旅馆剖面，客房层不向中庭开敞，但位于中庭上面。会议室、宴会厅和厨房间向四层高的中庭开敞。

这种情况的危险性在于，由于层压效应，烟气能从一般的或危险性很大的区域进入中庭，将通过电梯井或楼梯间进入客房层。解决的办法是，提供应急通风，对客房的走道和楼梯间加压，使空气气流由电梯井和楼梯间进入中庭排烟。中庭内的烟气可通过侧墙玻璃上的大口子排出去。

### 2.4.3 中庭防排烟设计实例

#### 2.4.3.1 中庭排烟量

由于高层建筑的中庭类型多种多样。中庭烟控设计复杂，难以做到完善。也没有用模拟试验或实际工程得到正确答案。国内外几种关于一些中庭排烟量的计算方法分述如下：

##### (1) 按中庭占地板面积计算其排烟量

面积小于  $500\text{m}^2$  也应负担两个或两个以上防烟分区处理，按每平方米排烟不少于  $120\text{m}^3/\text{h}$  计算。

实际上，中庭本身（除底层的地面外）是不产生烟气的，它的烟气来源是出失火层的走廊溢出的。或者失火层就是地面层。由于失火层的走廊排烟系统已排除绝大部分的烟气，溢入中庭的烟气量从理论上讲它的量是不大的。因此中庭的地面层与每层的排烟总量达到或超过  $120\text{m}^3/\text{h}$  时排烟效果应该没有问题。

##### (2) 按中庭容积换气次数来计算排烟量

根据我国《高规》第 7.2.10 条规定，换气次数按 4~6 次/h 计，体积小于  $1.7\text{万 m}^3$  时为 6 次/h；体积大于  $1.7\text{万 m}^3$  时为 4 次/h，最小排烟量不得小于  $10.2\text{万 m}^3/\text{h}$  等。西安阿房宫宾馆中庭排烟就是按 6 次/h 计算的。

照此法计算一般比 (1) 法计算出风量要大些，但仍有人认为不可靠。日本规定中庭排烟按 20 次/h 的换气次数来计算的，两者相差 3 倍多。

中庭建筑的排烟系统的排烟量按换气次数法确定是缺乏科学性的，误差较大。它未考虑建筑的用途与火灾程度以及中庭高度，1993 年美国统一建筑规范 (ICB01994) 均已将换气次数法改为新的算法。新方法不但考虑到火灾稳态产热量，中庭高度，还考虑了其他因素，使计算结果更加接近实际。

#### 2.4.3.2 中庭设计实例

##### (1) 深圳发展中心大厦工程中庭排烟设计

中庭平均截面为  $70\text{m}^2$  左右、高度  $100\text{m}$ ，目前是我国最高中庭建筑，容积约为  $7000\text{m}^3$ ，最大断面面积  $F=400\text{m}^2$ ，按排烟最小风速  $0.7\text{m/s}$  计（在垂直方向清除中庭的烟气起码要  $0.2\text{m/s}$  风速。这是国外做过试验的）<sup>[7]</sup>。

中庭的排烟量：

$$L=70\times 0.7\times 3600=176400\text{m}^3/\text{h}$$

选用风机压头为  $44\text{mmH}_2\text{O}$ 。

容积换气次数  $n=176400/7000=25.2$  次/h，超过日本规定的 20 次换气。比我国《高规》规定值 4~6 次/h 要大 4 倍多，由于中庭断面较小，仅以地板面积计算排烟量，那就更小。

发展中心大厦中庭地板面积  $F=140\text{m}^2$ ， $L=140\times 120=16800\text{m}^3/\text{h}$

因此设计选用排烟量  $L=176400\text{m}^3/\text{h}$ ，比之按地板面积计算要大 10 倍之多。

$$H=440\text{Pa}$$

超高层建筑应考虑高空风环境下，受均压环的影响为了使排烟风机克服最不利时间的外面风压影响。最后选择压头为  $H=640\text{Pa}$ 。

但是实际在无烟时测试，当  $100\text{m}$  高处排烟风机开启时，中庭的地板上  $2\text{m}$  处仍然无风感觉，风速仪上读不出数字。可能是内走廊的门没有关严。从上层走廊的门或门缝中逸入空气，形成短路，使地板面上感觉不到风机抽力。当有烟时，而且烟气温度达  $800^\circ\text{C}$  时，由于热压加上风压同时作用，排烟效果才能显示出来。

(2) 西安阿房宫宾馆中庭设计<sup>[12]</sup>

中庭地面面积  $25\text{m}\times 25\text{m}$ ，中庭高度为  $60\text{m}$ ，中庭下部大、上部小，逐层收缩，中庭体积约为  $2.7$  万  $\text{m}^3$ ，是目前我国最大体积的中庭。

设计按 6 次换气计，选用两台排烟风机，每台风量  $L=80000\text{m}^3/\text{h}$ 。中庭周边内走廊设计水幕，火灾时把内走廊与中庭分隔。两台风机设在中庭顶部侧墙上，排烟口设在顶部侧窗上。

## 2.5 机械加压送风防烟系统

设置机械加压送风防烟系统的目的，是为了在建筑物发生火灾时提供不受烟气干扰的疏散路线和避难场所。因此，加压部位在关闭着门时，必须与着火楼层保持一定的压力差（该部位空气压力值为相对正压）；同时，在打开加压部位的门时，在门洞断面处能有足够大的气流速度，以有效地阻止烟气的入侵，保证人员安全疏散与避难。图 2-27 为加压送风防排烟的原理图。

为保证疏散通道不受烟气侵害使人员安全疏散，发生火灾时，从安全性的角度出发，高层建筑内可分为四个安全区：第一类安全区为防烟楼梯间、避难层；第二类安全区为防烟楼梯间前室、消防电梯间前室或合用前室；第三类安全区为走道；第四类安全区为房间。依据上述原则，加压送风时应使防烟楼梯间压力 > 前室压力 > 走道压力 > 房间压力，同时还要保证各部分之间的压差不要过大，造成开门困难影响疏散。我国现行规范规定，防烟楼梯间与非加压区的设计压差为  $50\text{Pa}$ ，防烟楼梯间前室、合用前室、消防电梯间前室、封闭避难层与非加压区的设计压差为  $25\text{Pa}$ 。一般来说，机械加压送风防烟是向防烟

楼梯间及其前室加压送风，造成与走道之间一定的压力差，防止烟气入侵。

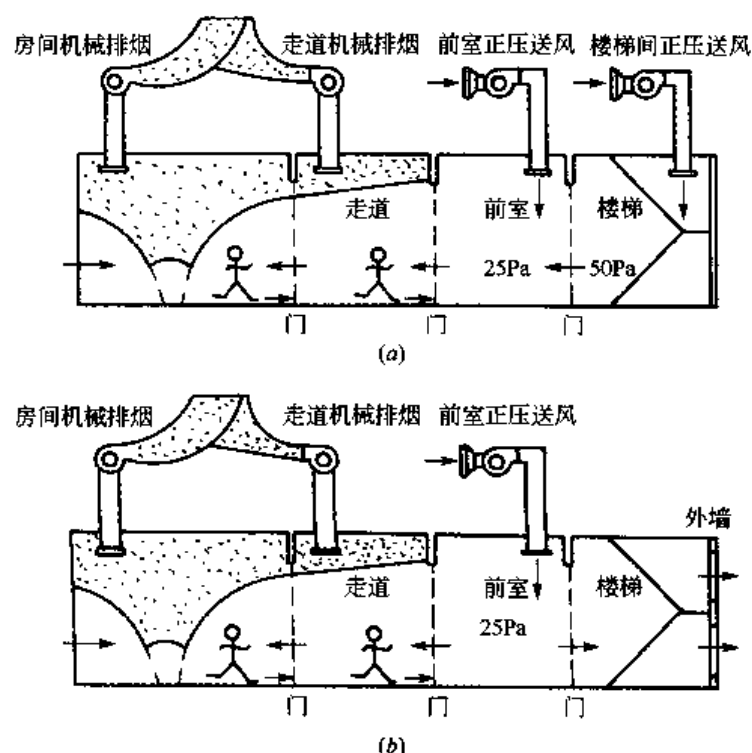


图 2-27 加压送风防排烟的原理图

(a) 走道排烟、前室加压送风、楼梯间加压送风；(b) 走道排烟、前室加压送风、楼梯间自然排烟（楼梯间靠外墙）

对加压空间的送风依靠风机将室外空气送入需要加压防烟的空间。室外空气不应受到烟气污染，且不必进行过滤、消声或加热等任何处理。

### 2.5.1 机械加压送风防烟设施设置部位

当防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室或合用前室各部位有可开启外窗时，能采用自然排烟方式，因此，楼梯间与前室或合用前室在采用自然排烟方式与采用机械加压送风方式排列组合上有多种选择，而这两种防烟方式不能共用。为此，将这种组合关系及防烟设施设置部位分别列于表 2-7。表 2-8 为防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室及合用前室的加压送风系统的方案及压力控制。图 2-28 列举了几种办公楼加压防烟的布置实例。图中 (a) 为分别向防烟楼梯（剪刀型）、合用前室和前室加压送风的情况；(b) 为分别向防烟（疏散）楼梯和合用前室加压送风的情况；(c) 为分别向防烟楼梯和合用前室加压送风的情况。

对不具备自然排烟条件的防烟楼梯间进行加压送风时，其前室可不送风，理由主要有：(1) 从防烟楼梯间加压送风后的排泄途径来分析，防烟楼梯间与其前室除中间隔一道门外，其加压送风的防烟楼梯间的风量只能通过前室与走廊的门排泄，因此对排烟楼梯间的加压送风同时，也可以说对其前室进行间接的加压送风。两者可视为同一密封体，其不同之处是前室受到一道门的阻力影响，使其压力、风量受节流。国外某国家研究所对上述情况进行试验，其结果说明这一点。(2) 从风量分配上分析：当不同楼层的防烟楼梯间与前室的门，以及前室与走道之间的门同时开启时或部分开启时，气流风量分配与走向是十分复杂的，以致对防烟楼梯间及其前室的风量控制很难实现。

垂直疏散通道防烟部位设置表

表 2-7

| 组 合 关 系                      | 防 烟 部 位  |
|------------------------------|----------|
| 不具备自然排烟条件的楼梯间与其前室            | 楼梯间      |
| 采用自然排烟的前室或合用前室与不具备自然排烟条件的楼梯间 | 楼梯间      |
| 采用自然排烟的楼梯间与不具备自然排烟条件的前室或合用前室 | 前室或合用前室  |
| 不具备自然排烟条件的楼梯间与合用前室           | 楼梯间、合用前室 |
| 不具备自然排烟条件的消防电梯前室             | 前室       |

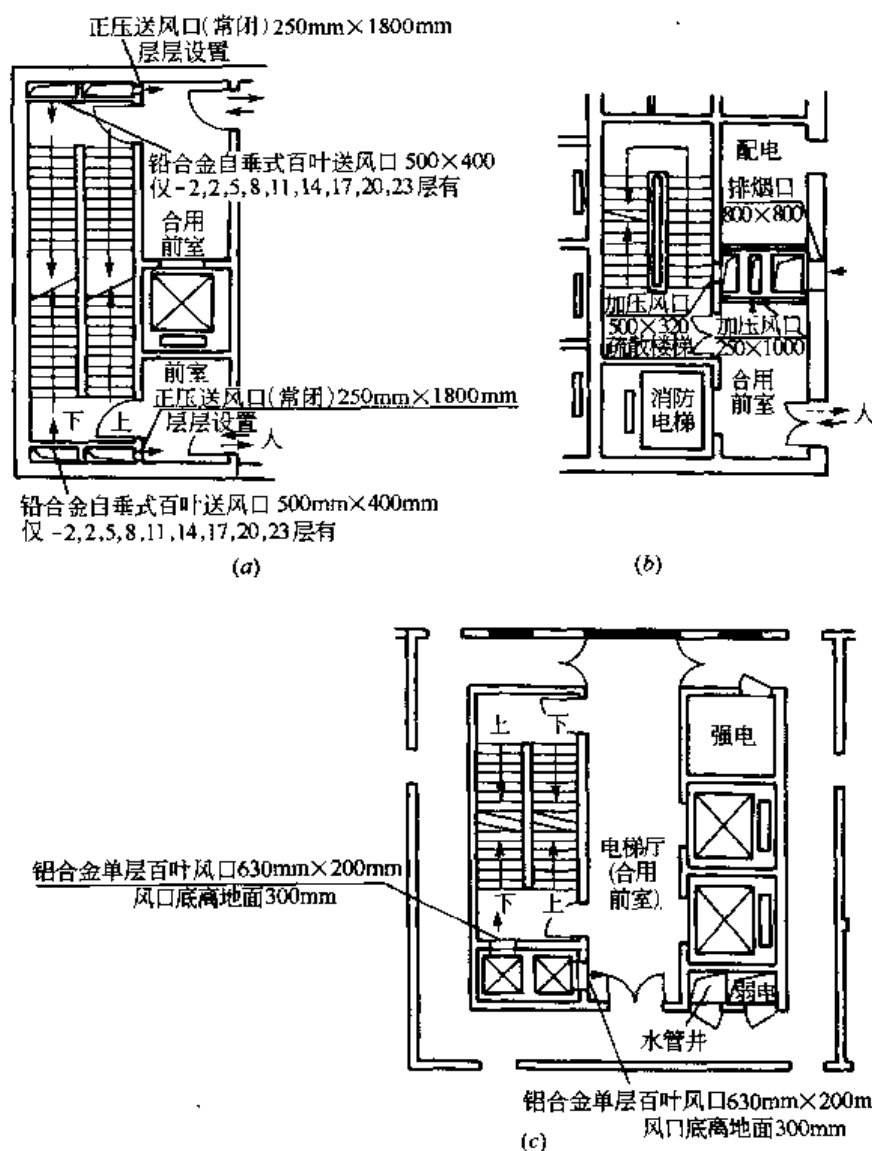
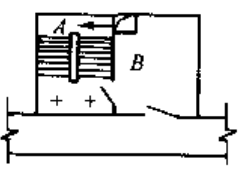
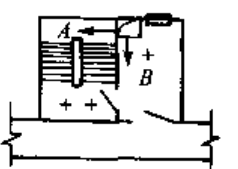
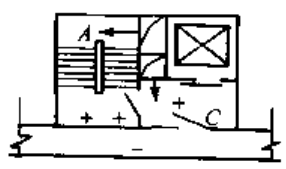
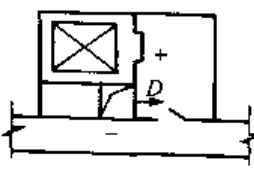
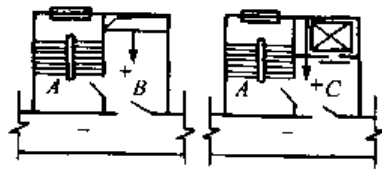


图 2-28 几种办公楼加压防烟的布置实例

防烟楼梯间及消防电梯间加压送风系统的方案及压力控制

表 2-8

| 加 压 部 位                | 图 示                                                                                 | 方 案 评 价                      |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 防烟楼梯间加压 (其前室不加压)       |    | 防烟效果较差 (有条件的选用方案)            |
| 防烟楼梯间及其前室分别加压          |    | 防烟效果好 (首选方案)                 |
| 防烟楼梯间及其与消防电梯间的合用前室分别加压 |    | 防烟效果好 (首选方案)                 |
| 消防电梯间前室加压              |   | 防烟效果一般 (若能维持压差为 50Pa, 则效果较好) |
| 前室或合用前室加压              |  | 防烟效果差 (不可取方案)                |

注: 1. 图示中 A 为防烟楼梯间; B 为防烟楼梯间前室; C 为防烟楼梯间与消防电梯间合用前室; D 为消防电梯间前室。

2. 图示中 “++”、“+”、“-” 表示各部位静压力的大小。

### 2.5.2 机械加压送风防烟系统的设计要求

按《高规》中规定, 进行机械加压送风防烟系统设计时, 应满足下列要求:

(1) 高层建筑防烟楼梯间及其前室、合用前室和消防电梯前室的机械加压送风量应由计算确定, 或查表确定。当计算值与查表结果不一致时, 应按两者中较大值确定。

(2) 层数超过 32 层的高层建筑, 其送风系统及送风量应分段设计。

(3) 剪刀楼梯间可合用一个风道, 其风量应按两个楼梯间风量计算, 送风口应分别设。

(4) 封闭避难层 (间) 的机械加压送风量应按避难层净面积每平方米不小于  $30\text{m}^3/\text{h}$  计算。

(5) 机械加压送风的防烟楼梯间和合用前室, 宜分别独立设置送风系统, 当必须共用一个系统时, 应在通向合用前室的支风管上设置压差自动调节装置。

(6) 机械加压送风机的全压,除计算最不利环路管道压头损失外,尚应有余压。其余压值应符合下列要求:1) 防烟楼梯为 50Pa;2) 前室、合用前室、消防电梯前室、封闭避难层(间)为 25Pa。

(7) 楼梯间宜每隔 2~3 层设一个加压送风口;前室的加压送风口应每层设一个。

(8) 机械加压送风机可采用轴流风机或中、低压离心风机,风机位置应根据供电条件、风量分配均衡、新风入口不受火烟威胁等因素确定。

### 2.5.3 机械加压送风防烟系统的设计

#### 2.5.3.1 机械加压送风防烟系统设计中的主要参数

##### (1) 基本参数

1) 开启门的数量( $n$ )。开启门的数量主要是与建筑物内部人数多少和人员疏散是否有秩序有关。当建筑物为 20 层以下时, $n=2$ ,20 层以上时, $n=3$ 。

2) 开启门面积( $F$ )。其中,疏散门取:2.0m×1.6m;电梯门取:2.0m×1.8m。

3) 正压值( $P$ )。正压值是机械加压送风系统设计中的一个重要技术指标,对加压送风量的计算,风机全压的选择起着关键的作用。正压值的确定是为保证与加压部位通的门关闭的情况下,在热压、风压、浮力、膨胀力等因素联合作用下,足以阻止着火层的烟气进入加压部位;同时,正压值又不致过高,造成人们推不开通向疏散通道门。为了促使加压空气的流动以提高疏散入口处空气对烟气的排斥作用,要求楼梯间的正压值略高于前室,前室的正压值略高于走廊。按规定,楼梯间  $P=50\text{Pa}$ ;前室  $P=25\text{Pa}$ 。

##### (2) 浮动参数

1) 门洞断面风速( $v$ )。门洞断面风速是阻止烟气通过正在开启的疏散门进入疏散通道,其数值与火灾发热量的大小密切相关, $v=0.7\sim 1.2\text{m/s}$ 。

2) 门缝宽度。疏散门为 0.002~0.004m;电梯门为 0.005~0.006m。

#### 2.5.3.2 机械加压送风量的确定

机械加压送风量的确定方法有查表法和算法两种。

由于建筑有各种不同条件,如开门数量、风速不同,满足机械加压送风条件亦不同,宜首先进行计算,但计算结果的加压送风量不能小于表 2-9 的要求(当计算值和表中规定不一致时,应按两者中较大值确定),以避免不能满足加压送风的要求。

1) 查表法。根据《高规》规定,高层建筑防烟楼梯间及其前室、合用前室和消防电梯前室的机械加压送风量可分别按表 2-9 的规定确定。

2) 算法。资料表明,对防烟楼梯间及其前室,消防电梯前室和合用前室的加压送风量的计算方法统计起来约有 20 多种,至今尚不统一。其原因主要是影响送风量计算的因素较复杂,且各种计算公式在研究加压送风量的计算时出发点不一致(如:有的从试验中得出,有的按维护加压部位的压力值求得,有的按开启门的洞口处的需要流速求得……)等因素造成的。从理论上讲,每个公式的产生与其对应的研究背景是各有自己的理由,而当用某一公式去解决某一实际工程设计时,往往存在着一定的差别,这样就造成了即使同一条件的工程,因选择不同的计算公式,其结果差别也很大。另一方面,在加压送风量的设计计算中,由于某些计算公式缺乏系统的全面的介绍,特别是假设参数的选择不当,也容易造成设计计算的错误,即使在同一条件下,因使用公式不同,其结果差别很

大。上述原因使当前在加压送风量的设计计算中存在着一定的可变性。考虑到我国目前在加压送风量的设计计算中存在的问题（如建筑构件的生产及建筑施工质量、设计资料不完整、设计参数不明确等），和对加压送风进行科学实验手段、运行和经验等不完善，为了避免计算误差太大，《高规》中确立一个风量值范围表（表 2-9），供设计人员对设计中的条件进行计算检验。

加压送风的送风量

表 2-9

| I   | 防烟楼梯间<br>(前室不送风)                      | 系统负担层数    |       | 加压送风量 (m <sup>3</sup> /h) |
|-----|---------------------------------------|-----------|-------|---------------------------|
|     |                                       | <20 层     |       | 25000~30000               |
|     |                                       | 20 层~32 层 |       | 35000~40000               |
| II  | 防烟楼梯间及其合用<br>前室                       | 系统负担层数    | 送风部位  | 加压送风量 (m <sup>3</sup> /h) |
|     |                                       | <20 层     | 防烟楼梯间 | 16000~20000               |
|     |                                       |           | 合用前室  | 12000~16000               |
|     |                                       | 20 层~32 层 | 防烟楼梯间 | 20000~25000               |
|     |                                       |           | 合用前室  | 18000~22000               |
| III | 消防电梯间前室                               | 系统负担层数    |       | 加压送风量 (m <sup>3</sup> /h) |
|     |                                       | <20 层     |       | 15000~20000               |
|     |                                       | 20 层~32 层 |       | 22000~27000               |
| IV  | 防烟楼梯间采用自然<br>排烟，前室或合用前室<br>不具备自然排烟条件时 | 系统负担层数    |       | 加压送风量 (m <sup>3</sup> /h) |
|     |                                       | <20 层     |       | 22000~27000               |
|     |                                       | 20 层~32 层 |       | 28000~32000               |

注：1. 表中的风量按开启 2.00m×1.60m 的双扇门确定。当采用单扇门时，其风量可乘以 0.75 系数计算；当有两个或两个以上出入口时，其风量应乘以 1.50~1.75 系数计算。开启门时，通过门风速不宜小于 0.75m/s。

2. 风量上、下限选取应按层数、风道材料、防火门漏风量等因素综合比较确定。

### 1. 计算公式。

下面以保持疏散通道需要有一定正压值以及开启着火层疏散通道时要相对保持该门洞处的风速，作为计算理论依据，分别选择目前国内在高层建筑防烟设计计算中使用较普遍的两个公式为基本计算公式（《高规》条文说明中指出，选用压差法和流速法的公式作为基本计算公式）。

1) 压差法。采用机械加压送风可按当门关闭时保持一定正压值计算送风量  $L$  (m<sup>3</sup>/h)。

$$L=0.827 \times A \times \Delta P^{\frac{1}{n}} \times 3600 \times 1.25 \quad (2-1)$$

式中  $\Delta P$ ——压差值，按加压方式和部位取 25~50Pa；

$n$ ——指数，对于门缝及较大漏风面积取 2，对于窗缝取 1.6；

$A$ ——门、窗缝隙的计算漏风面积，m<sup>2</sup>；

0.827, 1.25——计算常数和附加系数（对于不严密缝隙）。

2) 风速法。采用机械加压送风的防烟楼梯间及其前室，消防电梯间前室及合用前室，当门开启时，门洞处保持一定的风速。保持门洞处一定风速所需的风量  $L_v$  (m<sup>3</sup>/h)。

$$L_Y = \frac{nFv(1+b)}{a} \times 3600 \quad (2-2)$$

式中  $F$ ——每个门的开启面积,  $\text{m}^2$ ;

$v$ ——开启门洞处的平均风速, 取  $0.6 \sim 1.0 \text{m/s}$ ;

$a$ ——修正系数, 根据加压间密封程度取  $0.6 \sim 1.0$ ;

$b$ ——漏风附加率, 取  $0.1 \sim 0.2$ ;

$n$ ——同时开启门的计算数量。当建筑物为 20 层以下时, 取 2, 当建筑物为 20 层及其以上时取 3。《民用建筑防排烟技术规程》的规定与此不同, 见附录一。

按照压差法和流速法分别计算, 取其较大值作为计算加压送风量, 并根据两计算结果的差值来确定泄压阀的开启大小。这种方法的出发点是采用机械加压送风的防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室及合用前室, 当门关闭时需要保持一定的正压值, 当门开启时需要保持一定的门洞风速。

如防烟楼梯间有外窗仍采用正压送风时, 当  $\Delta P = 50 \text{Pa}$  时, 单位长度可开启窗缝的最大漏风量据窗户类型确定如下:

单层木窗  $15.3 \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$

双层木窗  $10.3 \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$

单层钢窗  $10.9 \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$

双层钢窗  $7.6 \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$

《高规》和《民用建筑防排烟技术规程》(见附录一) 中需要说明的几点:

#### (1) 关于消防电梯井是否设置防烟设施的问题

这个问题也是当前国内外有关专家正在研究的课题, 至今尚无定论。据有关资料介绍, 利用消防电梯井作为加压送风有一定的实用意义和经济意义, 现在正在研究之中, 国外也有实例。由于我国目前在这方面尚未开展系统的研究, 尚无足够的资料, 所以《高规》不规定对消防电梯井采用机械加压送风。另一方面, 考虑到防排烟技术的发展和需要, 在有技术条件和足够的技术资料情况下, 允许采用对消防电梯井设置加压送风, 但前室或合用前室不送风。《民用建筑防排烟技术规程》给出了电梯井的机械加压送风量计算公式。

#### (2) 前室加压送风量的计算

前室加压送风量的计算与前室的加压送风控制方法有关, 目前, 前室的加压送风控制方法有下列 3 种:

1) 前室或合用前室采用常闭风口, 火灾时只开启着火层的风口。

2) 前室或合用前室采用常闭风口, 火灾时开启着火层及其上下相邻两层的, 即开启三层前室的风口。

3) 前室或合用前室采用常开风口。当前室采用带启闭信号的常闭防火门时, 可设常开式加压送风口, 但鉴于目前产品质量及管理现状, 设计时优先考虑常闭式加压送风口。

#### (3) 上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》的有关规定

上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》第 5.5.1 条规定: 楼梯间和前室的机械加压送风的风量应由保持加压部位规定正压值所需的送风量 ( $L_1$ )、门开启时保持门

洞处规定风速所需的送风量 ( $L_2$ ) 以及采用的常闭送风阀门的总漏风量 ( $L_3$ ) 三部分相加组成。详见附录一。这样规定的理由是: 门洞开启时, 虽然加压送风开门区域中的压力会下降, 但远离门洞开启楼层的加压送风区域或管井仍具有一定的压力, 存在着门缝、阀门和管道的渗漏风, 使实际开启门洞风速达不到设计要求。因此, 按保持加压区域内一定正压值所需送风量、保持该区域门洞风速所需送风量以及采用常闭送风阀门的总漏风量三部分之和计算加压送风量是较安全的。

#### (4) 《高规》和《民用建筑防排烟技术规程》两种方法的比较

在计算楼梯间的加压送风量时,《民用建筑防排烟技术规程》增加了着火时非开启门的漏风量, 即保持加压部位规定正压值所需的送风量  $L_1$ 。而这一点在《高规》中体现在漏风附加率  $b$  和修正系数  $a$  上。所以最终的计算值相差不大。

在计算前室或合用前室送风量时,《民用建筑防排烟技术规程》增加了着火时非开启阀门的总漏风量  $L_3$ , 但是在计算保持门洞风速所需送风量时, 开启门的数量取 1 (详见附录一)。而《高规》是按照 20 层及以下取 2, 20 层以上取 3。这样计算后的值相差较大, 通常按照《民用建筑防排烟技术规程》计算出的加压送风量小于按照《高规》计算出的加压送风量。

实际上, 经计算可得: 当门洞风速为  $0.7 \sim 1.2 \text{ m/s}$  时, 门两侧的压力几乎是相等的, 此时压差仅为  $1 \text{ Pa}$  左右。这时, 整个楼梯间基本能保证  $50 \text{ Pa}$  (或前室  $25 \text{ Pa}$ ) 的正压, 在计算加压送风量时, 保持加压部位一定正压值所需的送风量 ( $L_1$ ) 和保持门洞风速所需的送风量 ( $L_2$ ) 不应该相加。

**【例 2-1】** 某 25 层建筑物的防烟楼梯间及其前室, 有 26 个双扇疏散门, 每扇门的面积为  $2.0 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ , 采用金属风道送风, 走道设机械排烟系统, 试用查表法选取防烟楼梯间加压送风量。

**【解】** 根据已知条件查表 2-7, 得 20~32 层, 风量为  $35000 \sim 40000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。从已知条件得知, 采用金属风道, 漏风量较小, 走道设有机械排烟系统, 故加压送风量可选用约  $38000 \text{ m}^3/\text{h}$  风量的风机较为合适。

**【例 2-2】** 按【例 2-1】的条件, 用式 (2-2) 计算加压送风量。

**【解】**  $n=3$ ,  $F=2.0 \times 0.8 \times 2$ ,  $v$  取  $0.8$ ,  $b=0.15$ ,  $a=0.8$ , 则

$$\begin{aligned} L &= \frac{n \cdot Fv (1+b)}{a} \cdot 3600 \\ &= \frac{3 \times 2.0 \times 1.6 \times 0.8 \times (1+0.15)}{0.8} \times 3600 \\ &= 39744 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

上述计算结果与查表法基本一致。

#### 2. 正压间总有效漏风面积的计算。

1) 并联式漏风通路, 如图 2-29 所示, 正压间总漏风面积按下式计算。

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (2-3)$$

2) 串联式漏风通路, 如图 2-30 所示, 正压间总漏风面积按下式计算。

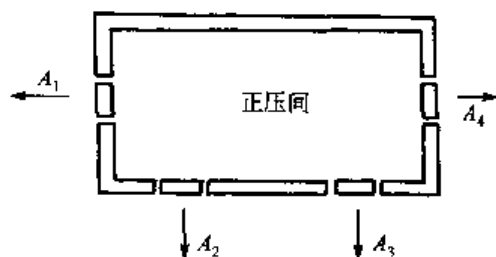


图 2-29 并联式漏风通路示意图

$$A_T = \left( \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \frac{1}{A_4^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2-4)$$

在许多情况下，往往只有两个漏风通路串联，这时，计算式为：

$$A_T = \frac{A_1 \times A_2}{(A_1^2 + A_2^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2-5)$$

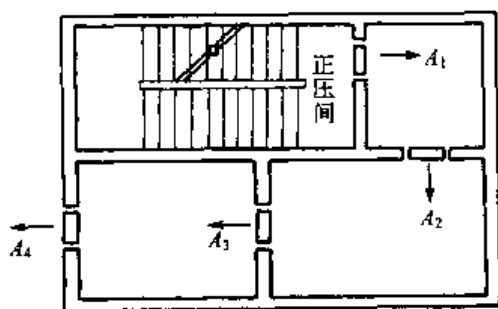


图 2-30 串联式漏风通路示意图

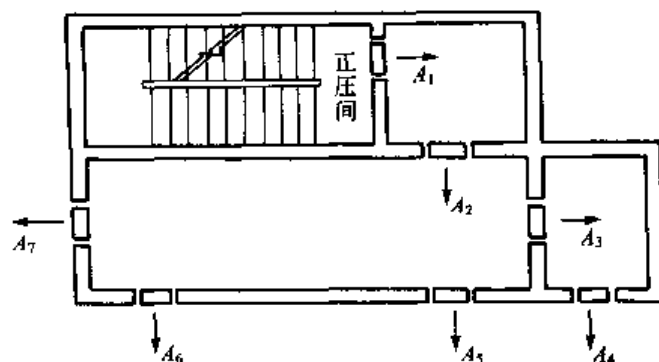


图 2-31 并联和串联混合式漏风通路示意图

3) 并联和串联混合式漏风通路，如图 2-31 所示，加压间总漏风面积按下式计算：

$$A_{1-7} = \left( \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_{7-3}^2} + \frac{1}{A_4^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2-6)$$

$$A_{7-3} = A_7 + A_6 + A_5 + A_{3-4} \quad (2-7)$$

$$A_{3-4} = \frac{A_3 \times A_4}{(A_3^2 + A_4^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2-8)$$

式中  $A_{1-7}$ ——从加压楼梯间到非正压间的有效面积， $m^2$ ；

$A_{7-3}$ ——第二个房间总的漏风面积， $m^2$ ；

$A_{3-4}$ ——通路  $A_3$  和  $A_4$  的有效面积总和， $m^2$ 。

3. 正压间的门关闭时，通过门缝的漏风量的计算。

1) 四种类型标准门的漏风面积，可按表 2-10 给出的尺寸和前述门缝宽度数据进行计算。

四种类型标准门的尺寸

表 2-10

| 门的类型           | 高×宽 (m) | 缝隙长度 (m) |
|----------------|---------|----------|
| 开向正压间的小型单扇门    | 2.0×0.8 | 5.6      |
| 从正压间向外开启的小型单扇门 | 2.0×0.8 | 5.6      |
| 双扇门            | 2.0×1.6 | 7.2      |
| 电梯门            | 2.0×1.8 | 7.6      |

2) 通过标准门周围的缝隙渗漏出的风量，可根据漏风面积和式 (2-1) 表达的计算方法，按正压间常用的压差，进行计算。

4. 当楼梯间及其合用前室分别设置加压送风系统时，从合用前室通过消防电梯门的总漏风量的计算。

从各合用前室通过消防电梯门漏入电梯井的风量取决于前室与电梯井之间的漏风面积

以及电梯井与无压空间（或室外）之间的漏风面积。上述两者为串联的漏风通路，因此总渗漏风量可按式（2-9）计算。图 2-32 为电梯漏风示意图。

$$L = 0.872 \times \frac{A_1 \times A_2}{(A_1^2 + A_2^2)^{\frac{1}{2}}} \times \Delta P^{\frac{1}{2}} \times 1.25 \times 3600 \quad (2-9)$$

式中  $L$ ——从各前室进入电梯井的总渗漏风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$A_1$ ——前室和电梯井之间的总漏风面积， $\text{m}^2$ ；

$$A_1 = A_d \times n$$

$A_2$ ——电梯井和无压力空间之间的总漏风面积， $\text{m}^2$ ；

$n$ ——电梯前室的数量；

$A_d$ ——每个电梯门的漏风面积， $\text{m}^2$ 。

在高层建筑中，当  $A_1 \gg A_2$  时，式（2-9）可简化为：

$$L = 0.872 \times A_2 \times \Delta P^{\frac{1}{2}} \times 1.25 \times 3600 \quad (2-10)$$

若各层电梯门的漏风面积均相同，则每层的正压前室通过关闭电梯门的渗漏风量  $L_d$  为：

$$L_d = L/n \quad (2-11)$$

5. 如果楼梯间及其合用前室分别设置加压送风系统，当同层两扇门同时开启时，通过楼梯间至前室开启门的风量及前室至走道开启门的风量的计算。图 2-33 为着火层两扇门同时开启示意图。

1) 通过楼梯间至前室开启门的风量为  $L_s + L_T$

$L_s$  为楼梯间全部加压风量；

$L_T$  为其他楼层的前室通过关闭的楼梯间至前室门进入楼梯间的风量。

$$L_T = L_L \times \frac{A_D}{A_D + A_1 + \frac{m}{n} A_d f} \times (n-1) \times 3600 \quad (2-12)$$

式中  $L_L$ ——每层前室的加压风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$A_D$ ——楼梯间至前室的每扇门的渗漏面积， $\text{m}^2$ ；

$A_d$ ——电梯门的渗漏面积， $\text{m}^2$ ；

$n$ ——与电梯井相通的加压前室数量；

$m$ ——每层前室内的电梯数量；

$A_1$ ——前室至走道的门渗漏面积， $\text{m}^2$ ；

$f$ ——系数，对 10 层及 10 层以下建筑物， $f=2.66$ ；对 10 层以上建筑物， $f=3.66$ ；当建筑层数在 20 层以上时，计算式（2-12）中的  $(n-1)$  应采用  $(n-2)$ 。

2) 通过前室至走道的开启门的风量为  $L_s + L_T + L_L + L_A$

其中， $L_A$  为各电梯井通过关闭的电梯门进入该前室的风量，按式（2-13）计算：

$$L_A = \frac{m}{3} \times \frac{f \times A_D \times L_L}{A_C + \frac{m}{n} A_d f} \quad (2-13)$$

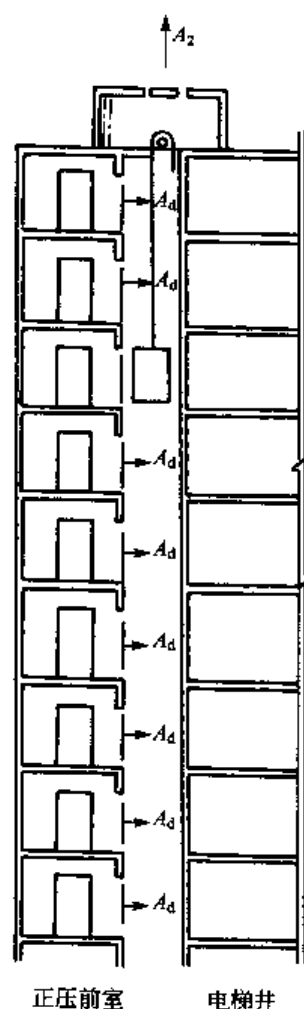


图 2-32 电梯漏风示意图

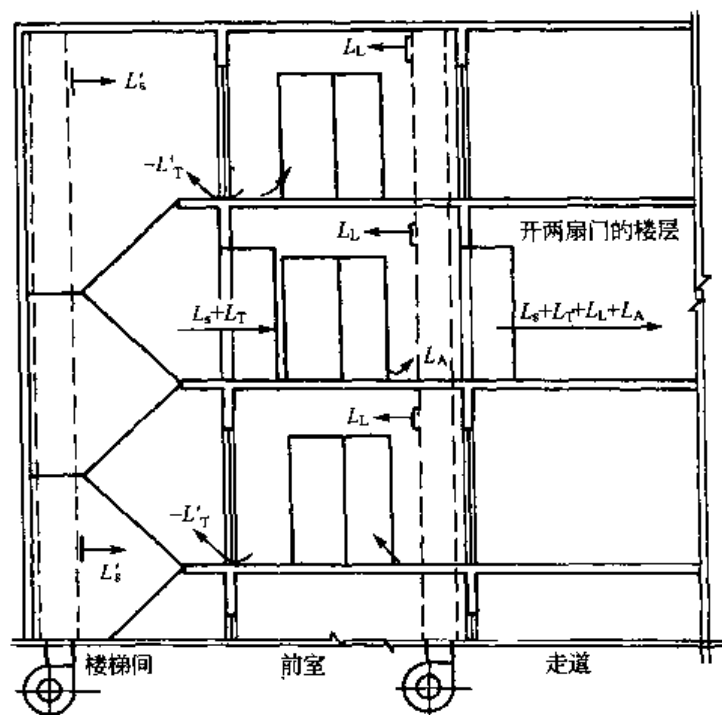


图 2-33 着火层两扇门同时开启示意图

当建筑层数在 20 层以上时，上式中  $\frac{m}{3}$  应采用  $\frac{m}{4}$ 。

6. 如果楼梯间及其合用前室分别设置加压送风系统，当有一扇前室至走道门开启时（如图 2-34 所示），通过开启门风量计算。

当有一扇前室至走道门开启时，该前室的压力急剧下降，此时通过开启门的风量为  $L_L + L_1 + L_A$ 。

$L_L$  为每层的前室送风量；

$L_1$  为楼梯间通过一扇关闭门进入该前室的风量；

$L_A$  为电梯井通过关闭的电梯门进入该前室的风量。

$$L_A = \frac{L}{3}$$

$L$  为根据式 (2-9) 计算所得的从各正压前室进入电梯井的总渗漏量。当建筑层数超过 20 层时，上式需改为：

$$L_A = \frac{L}{4}$$

7. 门开启时，门洞断面风速的校核计算。

1) 门洞断面风速的要求。疏散路线上的门在火灾时必然需要开启，因此在加压系统的设计中应该考虑通向加压空间的门在疏散时间内（一般时间较短）开启时的状态。此时，由于加压空间与周围空间相连通，两者之间的原压力差将难以维持。不过，只要保持门洞处有一定风速，就能够有效地防止烟气向加压空间流窜。对于门洞处的要求如下：

如果只对楼梯间设置加压送风系统，当同层的楼梯间与前室之间的门和前室与走道之

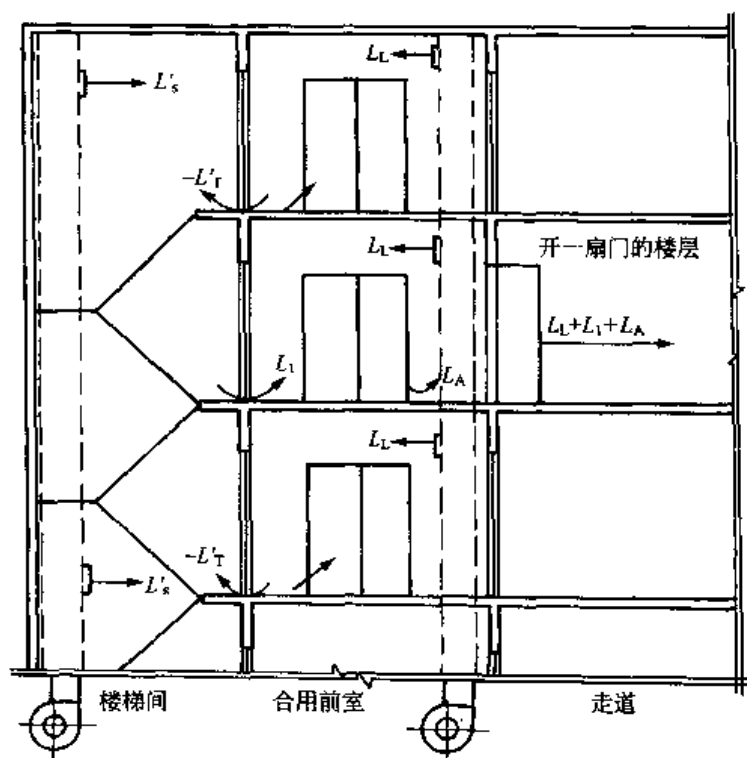


图 2-34 一扇前室至走道门开启

间的门同时开启时，要求楼梯间与前室之间的门或前室与走道之间的门其中有一个门洞断面流速不小于  $0.75\text{m/s}$ ；当同层的楼梯间与前室之间的门关闭，而前室与走道之间的门开启时，对前室与走道之间的门的门洞断面流速无要求。

如果楼梯间和合用前室分别设置加压送风系统，当合用前室与走道之间的门开启时，则要求该门洞断面流速不小于  $0.75\text{m/s}$ 。

如果只对消防电梯前室设置加压送风系统，当前室与走道的门开启时，要求该门洞断面流速不小于  $0.75\text{m/s}$ 。

如果只对前室和合用前室设置加压送风系统，当同层的前室与楼梯间之间的门和前室与走道之间的门同时开启时，要求前室与走道之间的门洞断面流速不小于  $0.75\text{m/s}$ ，对楼梯间与前室之间的门无要求；当楼梯间与前室之间的门关闭，而前室与走道之间门开启时，要求前室与走道之间的门洞断面流速不小于  $0.5\text{m/s}$ 。

2) 门洞断面风速的校核计算。门洞断面风速不仅和加压风量有关，而且和室内的空气渗出条件有关。由于当门开启时，加压空气进入室内空间后，使室内空气压力有所上升，从而对加压空气起到背压作用。为此，以不存在背压为假设条件，计算所得的门洞风量或风速均应乘以背压系数。背压系数的选取如下：当走道采用自然排烟时，背压系数取  $0.6$ ；当走道采用机械排烟时，背压系数取  $0.8$ 。

如果只对楼梯间设置加压送风系统：

对于 10 层或 10 层以下的建筑物，可假设全部加压风量通过开启的门流出。

对于 10 层以上建筑物，应考虑除开启的门以外，还应加上所有其他的渗漏面积，将全部加压风量按门洞面积占总面积的比例计算。

### 2.5.3.3 机械加压送风防烟系统的新风口和加压送风口

#### (1) 新风口 (进风口)

机械加压送风系统的新风口 (新风入口) 应根据不受火灾烟雾威胁等因素确定。为保证机械加压送风系统的新风安全可靠 (发生火灾时无烟雾混入), 新风口应低于排烟口, 与排烟口的水平距离应大于 20m。因此, 新风口 (和加压送风机) 一般应设在建筑物的底部, 例如, 把加压送风机设置在靠近建筑物底部的设备层。

#### (2) 加压送风口

1) 为使楼梯间的送风均匀, 防烟楼梯间的加压送风口, 宜每隔 2~3 层设置一个, 其地下部分宜每层设置一个; 风口宜采用自垂百叶风口或常开式普通百叶风口。当加压送风口采用常开百叶送风口时, 为防止平时空气自然对流, 应在加压送风机的压出管上设置止回阀, 或在其加压风机的吸入管上设置与开启风机连锁的电动阀; 当加压送风口采用自垂百叶风口时, 可不设止回装置。

2) 前室、合用前室应每层设置送风口, 风口形式通常采用常闭型电动式多叶调节阀加上百叶风口组成, 或者选用某些排烟口作为加压送风口。常闭型加压风口应同时具有手动和自动开启功能, 并与加压风机连锁, 手动开启装置宜设在距地面 0.8~1.5m 处。也可采用专用加压送风口, 火灾时, 接受消防控制中心 DC24V 电讯号开启, 也可远距离手动开启, 280℃ 重新关闭, 并反馈启闭讯号。

需要说明的是: 前室的加压送风口也可以同防烟楼梯间的加压送风口一样, 采用自垂百叶风口或常开式普通百叶风口; 但此时应注意与采用常闭风口时加压送风量的计算不同。因为一旦发生火灾, 每层的前室都送风, 送风量要大。因此, 尽量不采用此方式。当前室的加压送风口可为常开的双层百叶风口时, 应在其加压风机的吸入管上设置止回阀或与开启风机连锁的电动阀。设置止回阀或与开启风机连锁的电动阀的目的是防止冬季设有采暖设备和夏季设有空调系统的建筑物内热、冷能量损失。对于冬季不设采暖设备和夏季不设空调系统的建筑物可不设止回阀或与风机开启连锁的电动阀。

3) 机械加压送风口的设置高度为: 送风口底边离地 300~600mm。

4) 机械加压送风口的风速不宜大于 7m/s。防烟楼梯间每个加压送风口的风量为系统总风量除以楼梯间内的风口总数。前室加压送风口的风量 (无论是常闭还是常开), 应为系统总风量除以火灾时开启门的数量, 关于火灾时开启门的数量, 一般规定 20 层以下取 2, 20 层以上取 3。

**【例 2-3】** 某 30 层建筑, 其防烟楼梯间加压送风量为 20000m<sup>3</sup>/h, 合用前室的加压送风量为 22000m<sup>3</sup>/h, 计算防烟楼梯间和合用前室的送风口截面积。

**【解】** 1) 防烟楼梯间加压送风口的截面积。

按每三层设一风口, 共需风口为 10 个, 送风口的风速为 7m/s 时, 风口的截面积为:

$$F = \frac{20000}{3600 \times 7 \times 10} = 0.079 \text{m}^2$$

取每个风口截面积为 300mm×250mm。

2) 合用前室加压送风口的截面积。

30 层建筑按同时开启 3 个门计算, 送风口风速为 7m/s 时, 风口的截面积为

$$F = \frac{22000}{3600 \times 7 \times 3} = 0.29 \text{m}^2$$

取每个风口截面积为  $600\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。

#### 2.5.3.4 机械加压送风系统的风道与风机

机械加压送风系统的风机、管道等的选用、加工、安装等均可按一般通风系统要求执行。加压送风管道的要求如下：

1) 加压送风管道最好采用金属风道，也可采用钢筋混凝土风道，但要注意内表面应平整光滑，无突出物或构件；不宜采用砖砌土建风道，以避免漏风，影响加压效果。

2) 金属风道的风速不应大于  $20\text{m/s}$ ，采用内表面光滑的混凝土风道时，风速不应大于  $15\text{m/s}$ ；风道的漏风量应小于  $10\%$  左右。

3) 在机械加压送风系统的管道上不应设置防火阀。

为便于工程设计，加压送风管道断面积可以根据加压风量和控制风速由表 2-11 确定。

加压送风机的要求如下：

1) 机械加压送风机可采用轴流风机或中、低压普通离心式风机。

2) 加压送风机应设置在不受建筑物内火灾影响的送风机房内。机房位置可根据供电条件、风量分配均衡和新风入口不受火、烟威胁等因素确定。

3) 加压风机的实际风量应考虑加压风道的漏风系数，金属风道漏风系数取  $1.1 \sim 1.2$ ，混凝土风道漏风系数取  $1.2 \sim 1.3$ ，此外漏风系数还与加压风道的长短等因素有关。

4) 机械加压送风机的全压，除计算最不利环路管道的压头损失外，尚应留有余压；当所有门均关闭时，余压值应符合下列要求：防烟楼梯间为  $50\text{Pa}$ ；前室、合用前室、消防电梯间前室、封闭避难层余压值为  $25\text{Pa}$ 。

机械加压送风机可设置一台或多台。机械加压送风机房应采用耐火极限不低于  $2.5\text{h}$  的隔墙和  $1.5\text{h}$  的楼板与其他部位隔开，隔墙上的门应为甲级防火门。

机械加压送风机的关闭控制可在下列位置选取：

1) 风机由烟感、温感探头或自动喷水系统自动控制启动。

2) 风机由消防控制中心及建筑物防烟楼梯出口处的手动关闭装置控制关闭。

加压送风管道断面积及风量

表 2-11

| 风道断面积<br>( $\text{m}^2$ ) | 风 速 ( $\text{m/s}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 12                   | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| 0.2                       | 8640                 | 9360  | 10080 | 10800 | 11520 | 12240 | 12960 | 13680 | 14400 |
| 0.3                       | 12960                | 14040 | 15120 | 16200 | 17280 | 18360 | 19440 | 20520 | 21600 |
| 0.4                       | 17280                | 18720 | 20160 | 21600 | 23040 | 24480 | 25920 | 27360 | 28800 |
| 0.5                       | 21600                | 23400 | 25200 | 27000 | 28800 | 30600 | 32400 | 34200 | 36000 |
| 0.6                       | 25920                | 28080 | 30240 | 32400 | 34560 | 36720 | 38880 | 41040 | 43200 |
| 0.7                       | 30240                | 32760 | 35280 | 37800 | 40320 | 42840 | 45360 | 47880 | 50400 |
| 0.8                       | 34560                | 37440 | 40320 | 43200 | 46080 | 48960 | 51840 | 54720 | 57600 |
| 0.9                       | 38880                | 42120 | 45360 | 48600 | 51840 | 55080 | 58320 | 61560 | 64800 |
| 1.0                       | 43200                | 46800 | 50400 | 54000 | 57600 | 61200 | 64800 | 68400 | 72000 |
| 1.1                       | 47520                | 51480 | 55440 | 59400 | 63360 | 67200 | 71280 | 75240 | —     |
| 1.2                       | 51840                | 56160 | 60480 | 64800 | 69120 | 73440 | —     | —     | —     |
| 1.3                       | 56160                | 60840 | 65520 | 70200 | 74800 | —     | —     | —     | —     |
| 1.4                       | 60480                | 65520 | 70560 | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| 1.5                       | 64800                | 70200 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| 1.6                       | 69120                | 74880 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |

注：表中风量的单位为  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

### 2.5.3.5 机械加压送风系统的运行方式与压力控制

#### (1) 加压系统的运行方式

加压系统一般可设计成只在紧急情况下,即发生火灾时投入运行,而在平时则停止运行,这种系统一般称为一段式运转。

另一种方法是平时可作为建筑物内调节空气的需要,以较低空气压力连续的送风换气,当发生火灾时,能立即投入增加空气压力的运转,称之为两段式运转。

一般认为,两段式运转比较理想,因为加压系统一直在运转,在火灾的最初阶段,就可以起到加压防烟作用,而且加压系统的设备在经常使用的条件下,可保持良好的工作状态。

加压送风系统的部位与室外空间保持的设计压差,当平时运行时为8~12Pa,当发生火灾运行时为25~50Pa。

加压送风设备启动除设置手动装置外,还必须设有与火灾自动报警联动装置,当建筑物内任一火灾自动报警装置确定有火灾发生而报警时,加压送风设备同时投入运行。

#### (2) 正压值的控制

正压值的控制是指某正压部位内在对其进行加压送风的同时,又存在着该部位对非加压空间的漏泄,当这种送风与漏泄风量达到平衡时,呈现出该部位的宏观状态参数。无论送风或漏泄风量的变化都能使系统达到新的平衡点,而使正压值也相应地变化。目前,由于我国对防火门的缝宽尚无统一的具体规定,遇到实际门缝较大时,要维护一定的正压值是比较困难的。

正压值的维护应注意如下几点:

1) 对选用防火门、窗的缝隙进行实际了解,防止设计计算的盲目性。

2) 加压部位不应穿越各种管道,如必须穿越时,应在管道与墙体之间的缝隙处采用不燃烧材料严密堵塞。

3) 单扇防火门应装有闭门器,双扇防火门并应装顺序器(采用常关的小门双扇防火门除外)。

#### (3) 预防系统超压的泄压装置的设置

从理论上分析,当加压送风空气量向加压部位进行加压送风时,其加压风量不但要满足当所有门都关闭时由门缝向非加压部位渗透的空气量及加压空间应具有一定的空气正压值,而且还要满足一定数量的门在间歇性开启时门洞断面风速的要求。一般说来,满足间歇性开启时的门洞断面风速需要的风量比满足所有关闭门时由门缝向非加压部位渗透的空气量大,所以为了防止当加压部位所有门都关闭时,其内部压力超过某一数值时给开启疏散门带来的困难(有资料介绍,当正压值大约在100Pa时,开启疏散门就很困难),因此对加压部位设置限压装置是完全必要的(一般按正压值的1.2倍计)。

考虑到我国目前生产的防火门的实际情况,依靠众多的门缝泄压不致有困难,同时也避免对设置限压装置的盲目性,对国内使用的一般高层民用建筑物(如写字楼、住宅、综合楼等)不考虑设置泄压装置;对于一些高级的、国外独资或中外合资工程的建筑物,其建筑设计、施工质量等条件较优越的,可考虑设置泄压装置<sup>[3]</sup>。

#### 1) 泄压风量的计算公式

$$L = L_1 - 1.5L_2 \quad (2-14)$$

式中  $L$ ——泄压风量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$L_1$ ——满足开启一定数量疏散门时门洞断面风速要求的总送风量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$L_2$ ——满足当所有门关闭, 正压值为  $60\text{Pa}$  时, 所有门缝向非加压部位的渗漏空气量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

1.5——不严密处的附加系数值。

## 2) 泄压装置的设置

(A) 压差控制的旁路系统。利用压差控制装置, 调节旁路系统上的调节阀, 把为满足加压空间间歇性开门的门洞断面处空气流速的要求而增加向加压空间输送的加压空气量向室外或风机吸入口排泄。

其中, 压力传感器应设置在容易造成超压的地方, 也可设在总送风管道内。当设在总送风管道内时, 压差传感器的整定压力应为  $(60 + \Delta H)$  (Pa),  $\Delta H$  为传感器到风口处的管道阻力。

(B) 余压阀。当加压空间内的空气压力不超过  $60\text{Pa}$  时, 余压阀上由于可调重物的作用, 折叶板呈关闭状态; 当加压空间所有的门关闭, 正压值超过  $60\text{Pa}$  时, 空气压力将折叶板推动开启把空气泄至非加压空间; 当加压空间压力降至  $60\text{Pa}$  时折叶板又恢复到关闭状态。

折叶板面积 (即排风面积) 按下式计算:

$$A = \frac{L}{K \times P^{1/2} \times 3600} \quad (2-15)$$

式中  $A$ ——折叶板面积,  $\text{m}^2$ ;

$L$ ——泄压风量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$P$ ——开启折叶板的压力, Pa, 一般取  $60\text{Pa}$ ;

$K$ ——泄漏系数, 取 0.827。

(C) 设有感应式压差计控制的轴流风机泄压装置。在楼梯间顶部装有感应式压差计来控制轴流风机的启闭, 当超压时, 轴流风机自动启动, 排风减压至一定压力时, 轴流风机自行关闭。

## (4) 空气从建筑物内部排出的途径

建筑结构缝隙、开口、门缝及窗缝等都是空气泄漏的途径。加压空间与周围空间压力差的存在, 会使空气由高压侧向低压侧泄漏, 泄漏量的大小取决于加压空间的密封程度。

空气由加压空间渗入相邻的非加压空间后, 必须将空气与烟气及时排至室外, 以维持正常的压力差。

向建筑物内部输送加压空气的同时应考虑加压空气由建筑物内部的排出途径与之匹配, 一般认为当楼梯间及其前室设置加压送风设施时, 其走道设有机械排烟设施与之匹配为最好, 当走道没有机械排烟设施时, 应考虑建筑物周边有可开启的外窗进行自然排烟。

加压风机以及电动阀等用电设备, 应有事故电源, 以保证有火警情况下的运行和动作。

## 2.6 防排烟方式的选择

凡能利用外窗 (或排烟口) 实现自然排烟的部位, 应尽可能采用自然排烟方式。例

如：靠外墙的防烟楼梯间前室、消防电梯前室和合用前室，可在外墙上每层开设外窗（排烟）。当防烟楼梯间前室、消防电梯前室和合用前室靠阳台或凹廊时，则利用阳台或凹廊进行自然排烟，参见图 2-35。

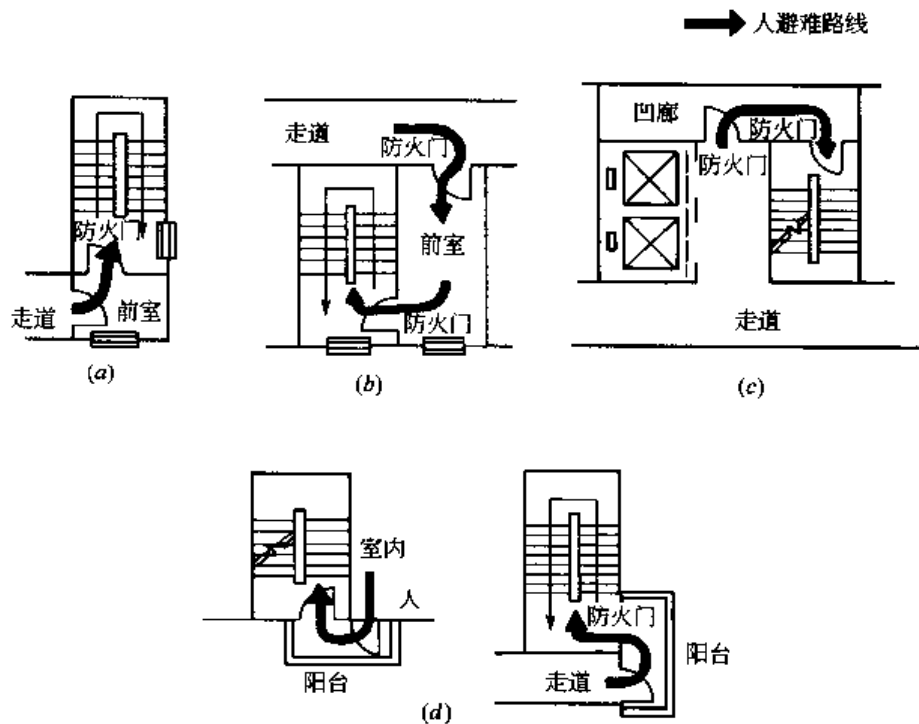


图 2-35 自然排烟方式示意图

(a) 靠外墙的防烟楼梯间及其前室；(b) 靠外墙的防烟楼梯间及其前室；  
(c) 带凹廊的防烟楼梯间；(d) 带阳台的防烟楼梯间

机械排烟和加压送风方式的设计条件可按表 2-12 选定。对于特定的建筑物，防排烟方式并不是单一的，应根据具体情况，因地制宜地采用多种方式相结合。

加压送风及机械排烟部位及设计条件

表 2-12

| 序 号 | 部 位                 | 设计机械防排烟的限定条件                                                                                                                      | 防排烟方式         |
|-----|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1   | 防烟楼梯间               | 1. 无直接采光窗或仅设固定窗时<br>2. 每 5 层可开启外窗有效面积小于 $2\text{m}^2$ 时                                                                           | 加压送风          |
| 2   | 防烟楼梯间前室<br>或消防电梯前室  | 1. 无直接采光窗或仅设固定窗时<br>2. 开启外窗有效面积小于 $2\text{m}^2$ 时                                                                                 | 加压送风<br>(或排烟) |
| 3   | 防烟楼梯间与消<br>防电梯的合用前室 | 1. 无直接采光窗或仅设固定窗时<br>2. 开启外窗有效面积小于 $3\text{m}^2$ 时                                                                                 | 加压送风<br>(或排烟) |
| 4   | 走道或地上房间             | 1. 内走道长度超过 $20\text{m}$ ，且无直接采光窗或设固定窗时<br>2. 内走道，有直接采光窗，但长度超过 $60\text{m}$ 时<br>3. 面积超过 $100\text{m}^2$ 的无窗或设固定窗的房间且经常有人停留或可燃物较多时 | 排 烟           |
| 5   | 地下室房间               | 总面积超过 $200\text{m}^2$ ，或一个房间面积超过 $50\text{m}^2$ ，且经常有人停留或可燃物较多时                                                                   | 排 烟           |
| 6   | 室内中庭                | 净高超过 $12\text{m}$ 时                                                                                                               | 排 烟           |
| 7   | 避难层                 | 为全封闭式避难层时                                                                                                                         | 加压送风          |

汇总对排风风道和风口的速度要求，列于表 2-13 中。

机械防排烟管道最大允许风速

表 2-13

| 风道、风口类别     | 允许最大风速 (m/s) |
|-------------|--------------|
| 金属风道        | $\leq 20$    |
| 内表面光滑的混凝土风道 | $\leq 15$    |
| 排烟口         | $\leq 10$    |
| 送风口         | $\leq 7$     |

总之, 只有将自然排烟、机械排烟和加压防烟几种防排烟方式进行合理的组合, 才能达到满意的防排烟效果。一般的做法是房间和走道排烟, 防烟楼梯间及其前室、消防电梯间前室或合用前室加压防烟 (若满足自然排烟条件, 可优先选择自然排烟), 封闭避难层加压, 从而使各疏散通道之间形成梯次正压, 保证疏散通道不受烟气侵害, 使人员安全疏散, 同时也为消防人员灭火提供安全保证。

## 2.7 通风与空气调节系统的防火

通风空调系统的风道在火灾时极易传播烟气, 使烟气从着火区蔓延到非着火区, 甚至安全疏散通道, 因此在工程设计时必须采取可靠的防火措施。

### 2.7.1 在必要位置设置防火阀

下列部位应设防火阀:

- 1) 风道穿越防火分区的隔墙或楼板处。风道穿楼板的情况见图 2-37。
- 2) 风道穿越通风空调机房及重要的或火灾危险性大的房间隔墙或楼板处。
- 3) 每层送、回风水平风管与垂直总管交接处的水平管段上。
- 4) 厨房、浴室、厕所等房间的垂直排风管道, 若没有防止回流的措施, 则应在支管上设置防火阀。

5) 通风空调系统的风管不宜穿越变形缝, 必须穿越时, 穿越变形缝处风管的两侧应装防火阀。风管在穿越变形缝前应加设柔性接头, 穿墙处设镀锌钢板套管, 钢板壁厚大于等于 1.6mm。

图 2-36 是空调系统安装防火阀、防烟阀的一个示例。图 2-38 和图 2-39 表示了防火墙处和变形缝处防火阀门的施工安装详图。其他情况下防火阀的设置位置要求<sup>[18]</sup>见附录二。

防火阀安装时应有独立的支、吊架, 防止风管变形影响阀门关闭。

此外需要指出的是: 普通的防火阀均为 70℃ 关闭, 而民用建筑内厨房灶具排风管内空气温度可能超过 70℃, 因此厨房灶具排风管在穿越通风空调机房或防火分区的隔墙或楼板处不能设置 70℃ 防火阀。解决厨房灶具排风管路的防火问题而又不影响正常排风, 可以采用以下两种办法:

1) 改变普通防火阀温度熔断器的设定温度, 使其高于厨房灶具最高排风温度 25℃ 左右即可。

2) 将普通防火阀换为防烟防火阀, 即消防控制中心可根据烟感探头发出的火警信号通 DC 24V 电压将该阀门关闭, 起到防火的作用。

### 2.7.2 合理布置通风空调系统

(1) 通风空调系统横向宜按防火分区进行布置。要做到这一点, 必须与建筑师密切配合, 合理选择机房、竖井位置等, 尽量使风道不穿越防火分区。

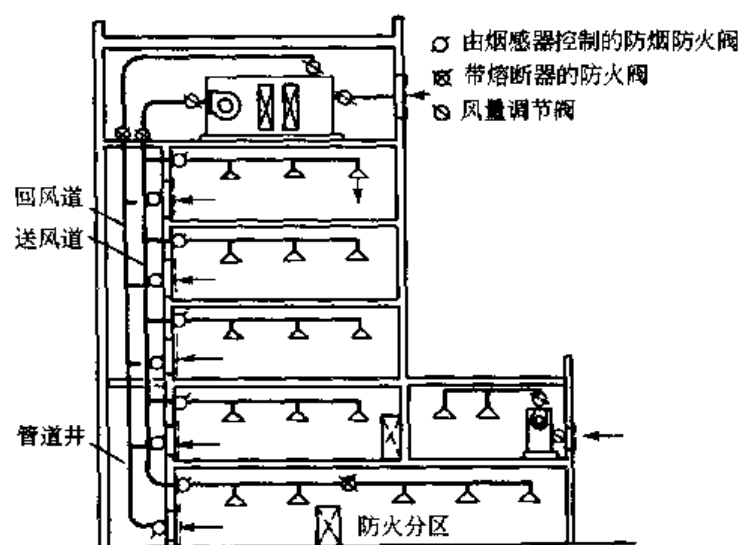


图 2-36 空调系统安装防火阀、防烟阀示例

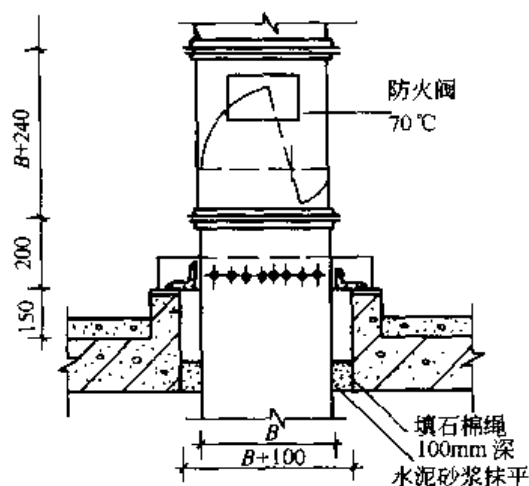


图 2-37 竖风道穿楼板做法

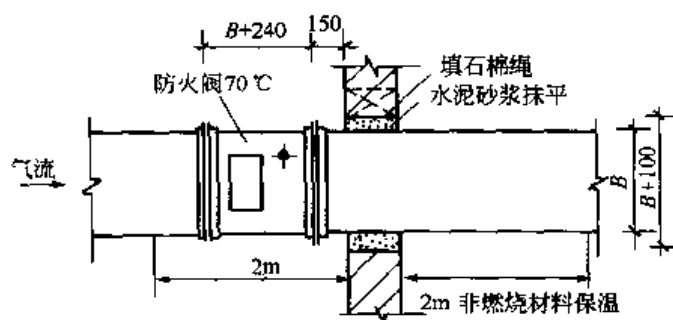


图 2-38 水平风管穿防火墙做法

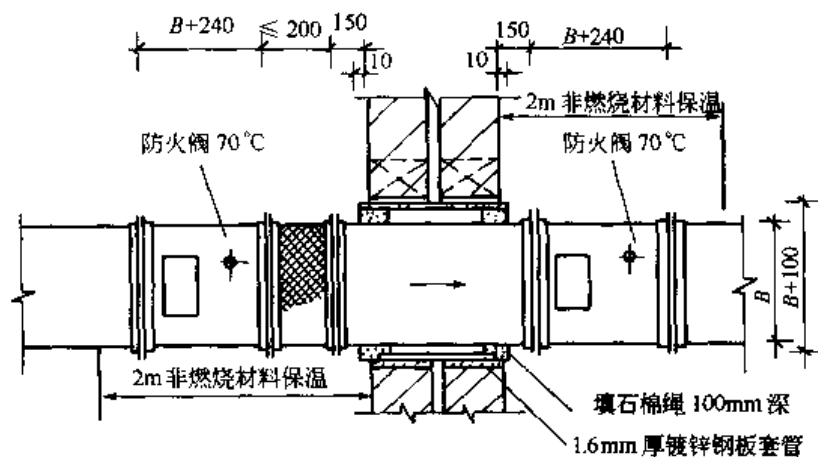


图 2-39 变形缝处防火阀门的安装

(2) 通风空调系统竖向不宜超过 5 层。通风空调系统穿越楼板的垂直风道是火势垂直蔓延传播的主要途径之一，为防止火灾竖向蔓延，应对系统所在层数加以限制。从经济、

技术处理等角度考虑,当浴室、卫生间等处的垂直排风管道有防止回流的措施(或设有防火阀)且各层设有自动喷水灭火系统时,垂直风道可不受层数限制。

(3) 通风空调系统垂直风道应设在管井内,具体要求如下:

1) 管井材料应为不燃烧体(耐火极限 1h 以上),井壁上的检查门应采用丙级以上防火门。

2) 若建筑高度小于 100m,管道井可在每隔 2~3 层楼板处用相当于楼板耐火等级的不燃烧体作为防火分隔;若建筑高度超过 100m,管道井则应在每层楼板处用相当于楼板耐火等级的不燃烧体作为防火分隔。

### 2.7.3 垂直排风管道应采取防止回流的措施

为防止厨房、浴室、厕所等房间的垂直排风管道扩散火势,应采取防止回流的措施,国内工程的实际做法主要有四种:

(1) 加高各层垂直排风管的长度,使各层的排风管道穿过两层楼板,在第三层内接入总排风管道,如图 2-40 (a) 所示。

(2) 将浴室、厕所、卫生间内的排风竖管分成大小两个管道,大管为总管,直通屋面;而每间浴室、厕所的排风小管,分别在本层上部接入总排风管,如图 2-40 (b) 所示。

(3) 将支管顺气流方向插入排风竖管内,且使支管到支管出口的高度不小于 600mm,如图 2-40 (c) 所示。

(4) 在排风支管上设置密闭性较强的止回阀。

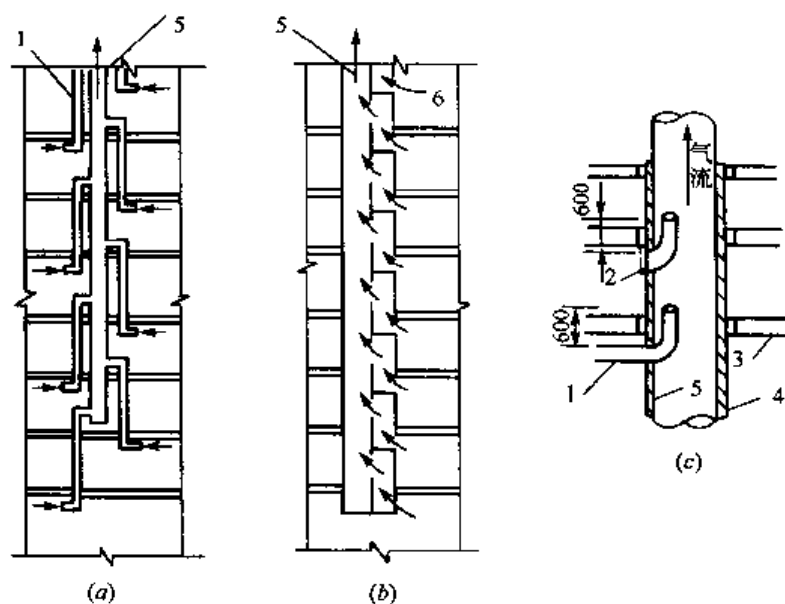


图 2-40 排风管防止回流措施示意图

1—支管; 2—格栅; 3—楼板; 4—耐火隔墙; 5—排风总管; 6—排风口

### 2.7.4 严格选取设备及风管材料

在选取通风空调设备及管道材料时,应严格把关,杜绝火灾发生及蔓延的隐患。

1) 通风空调系统的设备及风道等应采用不燃烧材料制作,某些接触腐蚀性介质的风管及其配件可采用难燃材料制作。

2) 管道和设备的保温材料、消声材料和胶粘剂应为不燃烧材料或难燃材料。穿过防

火墙和变形缝的风管两侧各 2.00m 范围内,保温材料、消声材料及其胶粘剂应采用不燃烧材料。

3) 风管内设有电加热器时,风机应与电加热器连锁。电加热器应设无风断电保护装置;而且电加热器前后各 800mm 范围内的风管和穿过设有火源等容易起火部位的管道,均必须采用不燃保温材料。

### 2.7.5 注意防爆问题

(1) 空气中含有易燃、易爆物质的房间,为防止风机停机后,易燃、易爆物质从风管倒流,引起燃烧爆炸事故,其送、排风系统应采用相应的防爆型通风设备。

(2) 当送风机设在单独隔开的通风机房内,且在送风干管上设有防火阀及止回阀时,由于可以防止危险物质倒流到风机内,此时可采用普通型通风设备。

(3) 空气中含有易燃、易爆物质的房间,其空气不应循环使用。

(4) 系统风量除满足通风空调要求外,还应校核可燃物浓度,若处于爆炸浓度极限范围时,则应加大风量。

## 2.8 超高层建筑的防排烟

超高层建筑是指当时当地高度超过 100m 的高层建筑,建筑高度增加,本身由于热压造成的烟囱作用较大,对空调通风换气效果有影响。大部分超高层建筑外围护结构为密闭型。有的玻璃幕墙上有 1% 的开启率。冷空气就会从低层部分的门和窗渗入而从高层部分的楼梯间井道渗出。当室外风速加大时,在超高层建筑周围形成一个涡流,对排气、进风、排烟效果产生不可估计的影响。随着建筑技术的发展和建设规模的不断扩大,超高层建筑有日益增多的趋势。另外,超高层建筑往往存在着各种事故隐患,而且楼层越高隐患越大。2000 年 5 月 12 日,台湾某科技园一栋 26 层写字楼发生火灾,燃烧 43 小时,损失 6.7 亿新台币。从技术角度看,超过 300m 的超高层建筑,可能容纳数万人,若发生事故,人员疏散极其困难。现代超高层建筑采用钢筋混凝土筒中筒结构是不会发生整幢大楼倒塌的,超高层建筑安全性是不会有问题的。构筑一条人员安全疏散通道,至少在火灾时人员能够保证安全疏散。在美国发生的“9·11”恐怖事件中,世贸中心北楼有几位幸存者,居然能从 89 层、78 层通过楼梯间拾级而下死里逃生。证明设置一条安全疏散通道对生命是有保障的。

### 2.8.1 超高层建筑烟控设计研究

目前,我国建筑高度超过 250m 的民用建筑,数量还不多,在防火措施方面缺乏实践经验。尽管《高规》总结了国内高层建筑设计防火经验和借鉴了国外的先进经验,对超高层建筑防火应采取的措施做出了相应的规定。但是,由于缺乏经验,对于建筑高度超过 250m 的民用建筑,需要对消防给水、安全疏散和消防的装备水平等进行专题研究,提出适当的防火措施。为了保证超高层建筑设计的防火安全,加强宏观控制,《高规》规定,凡是建筑高度超过 250m 的民用建筑,在建筑设计中采取的特殊的防火措施,要提交国家消防主管部门组织专题研究论证。所谓“特殊的防火措施”是指设计中采取了《高规》未作规定的或突破了《高规》规定的防火措施。

上海环球金融中心大楼 460m 高,地下 3 层,地上 94 层,总面积达到 30 万  $\text{m}^2$ ,能容

纳 2 万多人。该大楼底盘为  $540\text{m} \times 540\text{m}$ ，结构为筒中筒体系，内筒比较大，里面有两个安全楼梯间，用 400mm 钢筋混凝土现浇而成，在外区周边办公室和内区筒体形成两道内走廊。外区内走廊设排烟系统，内区内走廊设正压送风系统。每个标准层工作人员预定为 228 位。火灾时疏散至每个中间避难层约 1500~1750 人。共有 8 个避难层。见图 2-41，图 2-42。

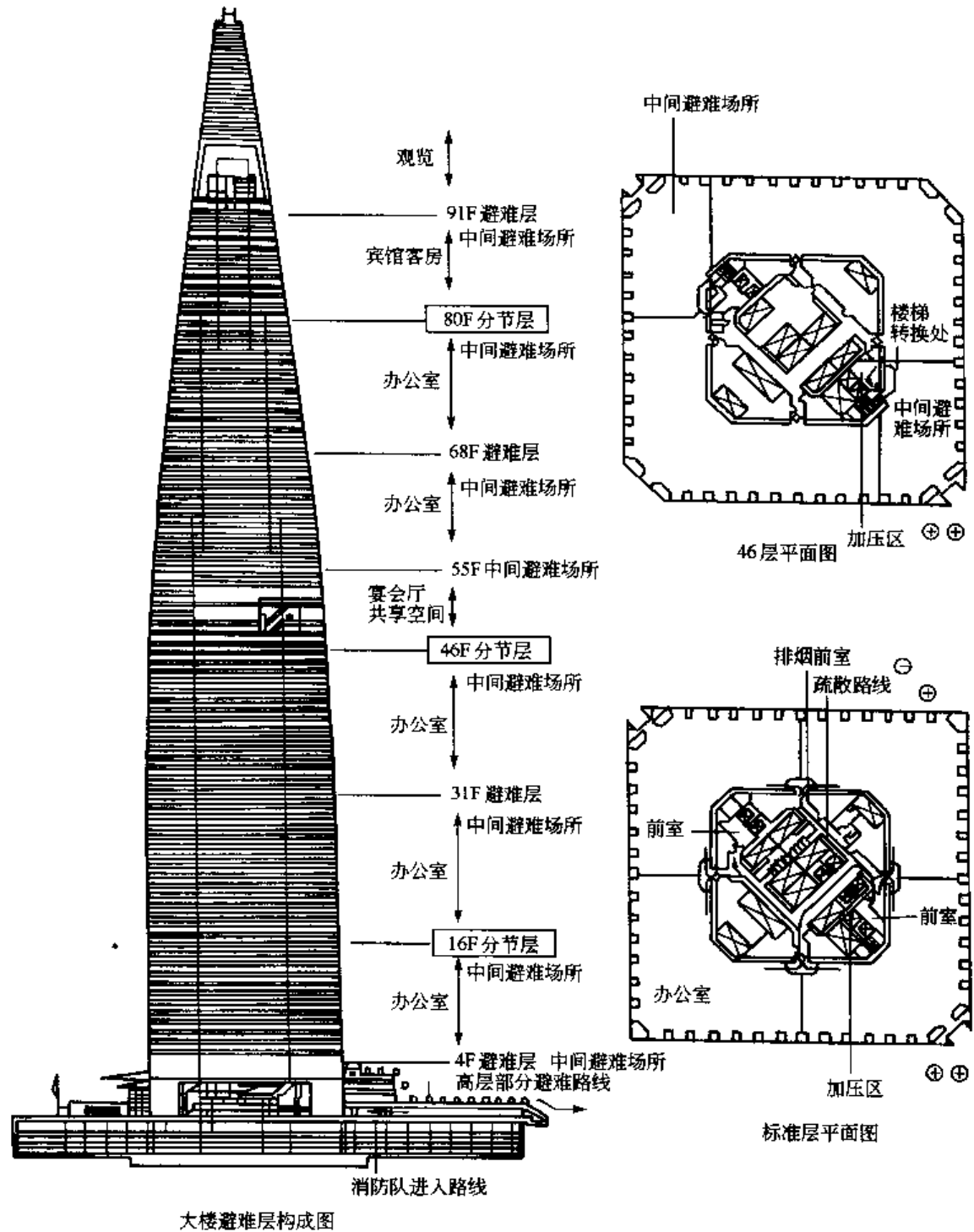
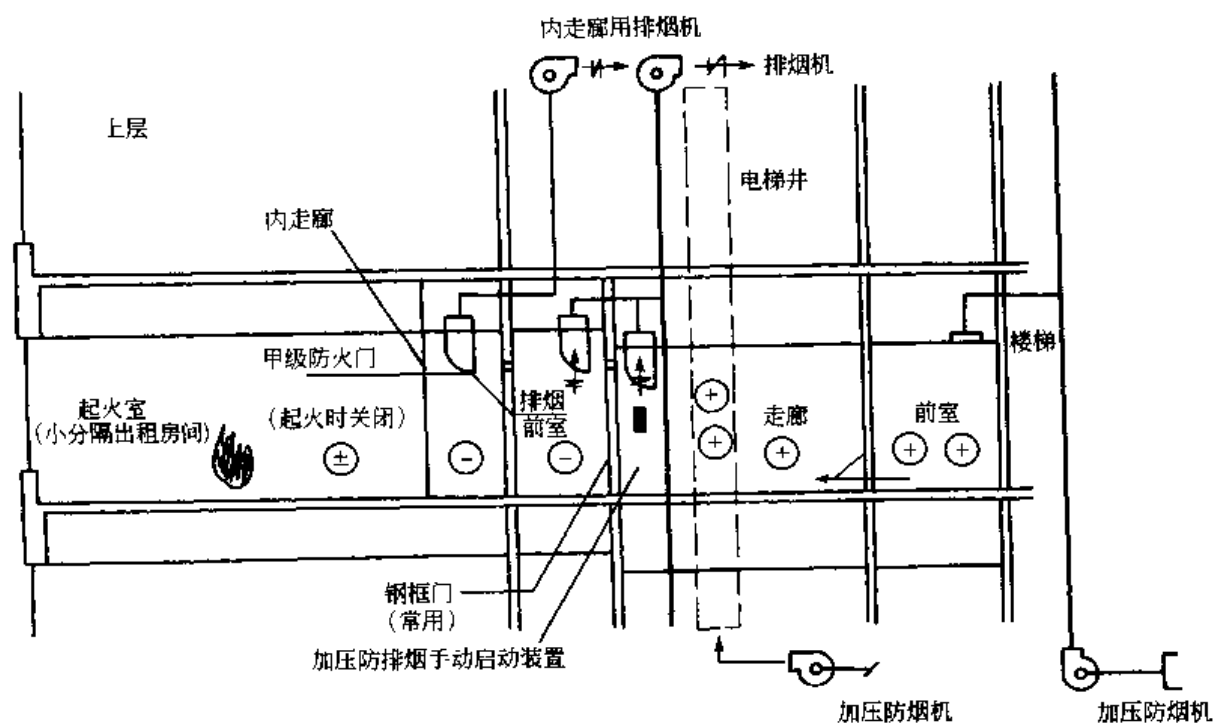


图 2-41 大楼避难层构成图与标准层平面



高层部筒体内加压防排烟系统图

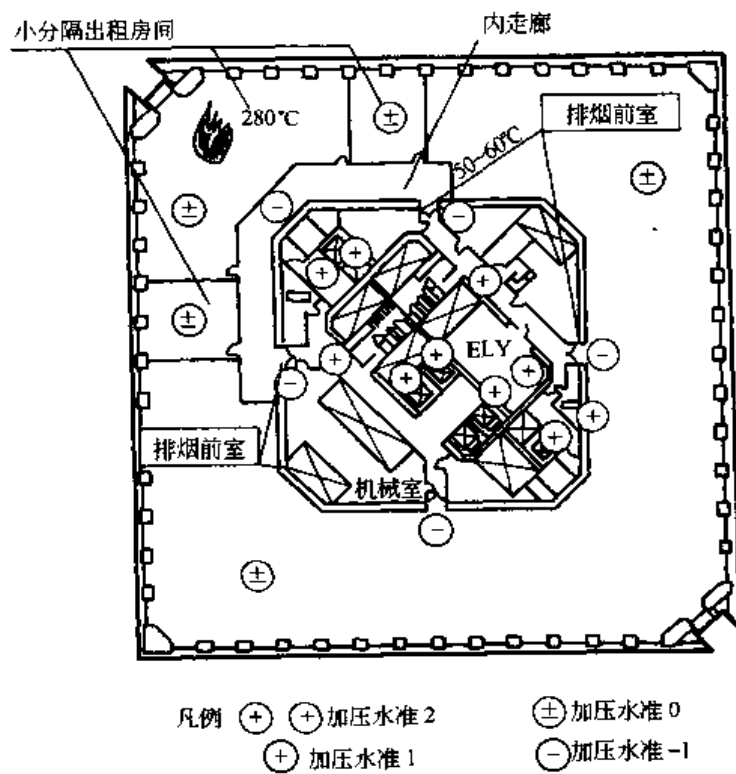


图 2-42 标准层加压水准分区

该大楼设计的安全疏散通道,采用层层烟控措施,用控制烟气蔓延办法,达到人员安全疏散<sup>[7]</sup>。

当一旦办公室(外区)着火时,模拟烟雾探测器发出警报经消防控制中心确认后,此时空调风机一律停止使用,外区的内走廊的排烟风机启动,以及与其连接前室排烟风机同时启动。办公室窗户是密封的,有1%的开启率保证了办公室处于0压状态。办公人员必须在2min之内撤离现场到外区内走廊。外区内走廊有 $550\text{m}^3/\text{h} \times 4$ 排烟量,及其前室 $650\text{m}^3/\text{h} \times 4$ 排烟量。办公室和外区内走廊、外区内走廊和前室之间均保持25Pa以上压差(但一定要控制在疏散人员能推开门的100Pa的压力范围以内)。

疏散人员到达内区内走廊,内区内走廊为正压送风,两台 $16100\text{m}^3/\text{h}$ 风机维持有25Pa正压力。火灾开始10min之内,一部分人员由于习惯于涌向客梯前室,4部客梯仍可使用10min。每个电梯井送入 $1350\text{m}^3/\text{h}$ 正压送风量。估计每层最多只能疏散10%人员。10min之后客梯由消防队员控制,大部分人员均要由安全楼梯间向下撤离。楼梯间前室为两台正压送风机,每台风量为 $18600\text{m}^3/\text{h}$ ,前室的正压维持约50Pa左右,比之内走廊大25Pa。在起火后5~7min之内所有人员除了从电梯撤走外均要进入楼梯间,楼梯间是整幢大楼最安全的地方。但是它是密闭空间,宽度为2.5m不设新风系统,只能过人、不允许停留。如果一个楼梯间出了问题,还可转移到另一个楼梯间。疏散人员继续进入下一个避难层,避难层中通风换气设备(消防用电),往上走是没有出路的,因为本工程不设置直升机停机坪,避难层仅作楼梯间人员太拥挤时暂时缓冲之用,最后在消防人员疏导下离开大楼。大楼内2万多人必须1h之内撤离现场,此时所有防排烟风机均令停止运行。

为创造一个2万人的大楼安全环境,本工程防排烟设计最大限度体现以人为本的精神,设计一套完整的防排烟系统。标准层办公楼不设排烟,一旦有火警,人员应马上离开办公室,“弃物而逃”不能有一丝留恋。

日本和我国均没有制定超高层建筑防火规范。均是根据模拟试验取得数据在工程中应用。日方(清水建筑株式会社)为整幢大楼做了燃烧模化实验(1/100),对标准层防排烟系统做了一个模拟实验<sup>[7]</sup>。本工程模拟实验在日本一个SEAVANS大楼13层的一间会议室内进行,面积与标准层一致,防排烟风量及其压力条件和上海环球金融中心大厦工程相同。

#### 实验结果:

1) 压力差:外区内走廊与筒体内走廊的压力变化即使在门处于经常开的情况下,压力差也确保4Pa,在经常闭门时,约为18Pa压力差。通过目测也能确认烟气完全没有进入内走廊。

2) 温度场的变化,在火灾发生1min后,从办公室出入门处,从高度2.2m至顶棚2.7m的温度达到 $5^\circ\text{C}$ 以上能确认烟气和空气有分层现象。与无排烟的火灾相比,门的开闭显著影响内走廊高度方向的温度变化率。虽然,在门关闭的情况下,能认为在内走廊中,烟和空气出现分层化现象。但在门打开时,在火灾室的周围,烟和空气呈分层化的同时,门周围的烟和来自内走廊的空气处于混合状态(详细资料见第7章)。

对该工程防排烟设计分析和评价如下<sup>[7]</sup>:

(1) 国外许多资料证明,电梯井内的加压送风是可行的,它将有效地防止烟气渗透入电梯内。在大楼未形成显著烟囱效应之前继续使用电梯,还是能抢救大量人员的。(注:

我国《高规》规定：一旦火灾时，客梯全部停至首层，电梯并不设加压送风。在开始着火 10min 内，对抢救人员是不利的)

(2) 办公室与内走廊之间内墙必须封至楼板，由于各种管线来回穿过，施工时又是交叉作业，实现起来相当困难。有可能烟气从办公室上空窜到内走廊，一是造成烟气阻塞通道，二是会造成烟气直接被排烟风机吸入，形成短路，当烟气达 280℃ 时排烟风机会过早关闭。失掉了排烟效果。

(3) 从大楼燃烧模化实验录像来看，燃烧时，大楼四周黑色烟云团形成上冲之时，正压送风还在运转，就有可能吸入烟气。建议在送风机入口处必须设置烟雾探测器，当浓度达到一定值时自动关闭送风机。否则吸入烟气对人员疏散更不利。

(4) 正压送风机入口处和排烟机排出口位置太近，防止形成短路现象，应适当调整。

(5) 防排烟风道设计的问题：风量在规范规定范围内选用，要在等截面上均匀送风。只能做到近似的均匀送风，最上层和最下层风口会有 10% 风量误差，并有偏流现象，对于加压送风口都是允许的。为保证均匀送风，风道内的静压要大，动压要小，结果就需要有足够断面，同时还要求建筑师提供断面长和宽之比不能小于 1/4，否则风道内会出现涡流区。形成风道内一边呈正压，一边呈负压状态，前室中就不能保证 25Pa 或 50Pa 正压。因此风道必须经过精确计算，才能选择风机的压头，风口面积。过大的风压前室的门就很难开启，100Pa 正压已为极限。

(6) 本工程日方中庭排烟是按  $20\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$  计算，比我国《高规》规定大 3.3~4.4 倍，深圳发展大厦中庭按 10 次体积计算。无烟时测试结果仍感到抽力不足。看来日方 20 次换气是较为可靠的，但这个问题还要继续探讨。

(7) 该大楼业主为建立安全疏散通道付出代价是巨大的，单从占有面积约占整个大楼 1/10。包括 8 个避难层、两个从上到下楼梯间、消防电梯及其前室、防排烟竖井、水箱间，200 台左右防排烟风机机房占 3 个设备层一半。其他如水电消防设备材料投资也是很大的。

### 2.8.2 正压风道均匀送风设计

防排烟工程中，防烟楼梯间及其前室正压送风道，大部分设计是根据《高规》规定的风量，与建筑已定风道断面，选定风口尺寸来计算风机所需的压头。这种方法是不科学的，在工程验收时，会发现不是风量不足，下层没有风；就是风量过大，前室或楼梯间的门难以开启。加压的风压超过 100Pa，很难达到楼梯间维持 50Pa，其前室维持 25Pa 的要求。

对于防烟楼梯间和前室，采用魏润柏著的《通风工程空气流动理论》第五节中“带有等面积孔口的等断面近似均匀送风管道计算方法”，完全可以满足楼梯间和前室的正压管道计算。计算方法如下：

混凝土或砖砌风道，其末端封闭。风道断面积为  $A$ ，长度为  $L$ ，风口数为  $n$ ，单个风口面积为  $f$ ，风道进口断面流速为  $w$ 。从风道末端向进口逆气流方向，将风口编号。在每一个风口前面取一个断面（图 2-43）。

第  $i$  号风口的出流速度为：

$$v_i = \mu \sqrt{\frac{2gP_i}{\rho}} \quad (2-16)$$

式中  $\mu$ ——风口流量系数；

$\rho$ ——空气密度；

$P_i$ ——管道在  $i$  断面处的空气静压。

对 1 断面和  $i$  断面列能量方程式，并认为流动阻力是由沿程阻力和流过风口的直通阻力所组成。

$$P_i + \frac{w_i^2 \rho}{2g} = P_1 + \frac{w_k^2 \rho}{2g} + \sum_{k=1}^{i-1} \left[ \lambda \frac{L_0}{d} \frac{w_k^2 \rho}{2g} + \tau \frac{\rho}{2g} (w_{k+1} - w_k)^2 \right] \quad (2-17)$$

式中  $P_1$ ——管道在第 1 断面处的空气静压；

$w_1, w_i, w_k, w_{k+1}$ ——管道在 1,  $i, k$  和  $k+1$  断面处的流速；

$\lambda$ ——沿程阻力系数；

$L_0$ ——两相邻风口中心之间的距离；

$d$ ——管道直径（或当量直径）；

$\tau$ ——流过风口的直通阻力相当于突然扩大阻力的倍数，根据理论和实验研究， $\tau=0.4$ 。

根据连续性方程式  $A w_0 = n \sigma v_c$

式中  $v_c$ ——风口的平均出流速度。

上式可以写成  $w_0 = \frac{n \sigma v_c}{A} = n \sigma v_c$

式中  $\sigma = \frac{\sigma}{A} \quad \bar{L} = \frac{L}{d}$ 。

经过推导、演算，过程从略。

不均匀性系数的定义是： $r = \frac{v - v_c}{v_c} = \frac{v}{v_c} - 1$

管道末端风口出流速度的不均匀性系数为：

$$r_1 = 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{(2n+1)(n+1)}{6} - 1 - \frac{\lambda \bar{L}}{12} \times (n-1)^2 - \tau \frac{n-1}{2} \right] \quad (2-18)$$

风口最小出流速度的不均匀性系数为：

$$r_{\min} = 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{1}{3} + \frac{(2n+1)(n+1)}{6} - \frac{\lambda \bar{L}}{12} (n^2 - 1) - \tau \frac{n+1}{2} - (1-\tau) \frac{2n}{\lambda \bar{L}} - \frac{4n}{3 \lambda^2 \bar{L}^2} \right] \quad (2-19)$$

管道进口处的风口出流速度的不均匀性系数为：

$$r_n = 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{\lambda \bar{L}}{4} (n-1)^2 + \tau \frac{n-1}{2} - \frac{(4n+1)(n-1)}{6} \right] \quad (2-20)$$

应该指出，在一般工程实际中  $L < \frac{2d}{\lambda}$ ，管道中间部分不出现流速最小的风口，所以式 (2-19) 失去意义。这时采用式 (2-18) 和式 (2-20) 进行计算。如果  $\frac{2d}{\lambda} < L < \frac{3d}{\lambda}$ ，采

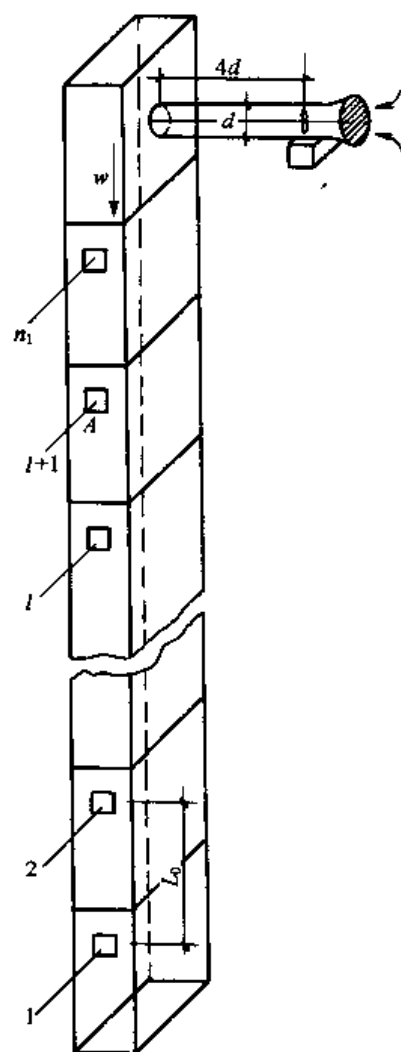


图 2-43 楼梯间正压送风示意图

用式 (2-18) 和式 (2-19) 进行计算。如果  $L > \frac{3d}{\lambda}$ , 采用式 (2-19) 和式 (2-20) 进行计算。

由式 (2-18) ~ 式 (2-20) 计算出来的  $r_1$ ,  $r_{\min}$  和  $r_n$  值, 都不能超过给定的最大不均匀性系数  $r_{\max}$ 。根据这个原则, 可以确定  $\mu\sigma$  值。于是, 风口面积为:

$$\sigma = \frac{\mu \bar{\sigma} A}{\mu} \quad (2-21)$$

风道进口断面所必需的全压为  $E_0 = P_0 + \frac{w_0^2 r}{2g}$

根据式  $P_0 = \frac{1}{\mu^2} \frac{v_n^2 r}{2g}$

所以  $E_0 = K \frac{w_0^2 r}{2g} \quad (2-22)$

式中  $K$ ——管道的总阻力系数。

$$K = 1 + \frac{v_n^2}{\mu^2 w_0^2}$$

$$v_n = v_c \left\{ 1 + 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{\lambda \bar{L}}{4} (n-1)^2 + \frac{n-1}{2} - \frac{(4n+1)(n-1)}{6} \right] \right\}$$

$$K = 1 + \frac{1}{\mu^2 n^2 \bar{\sigma}^2} \left\{ 1 + 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{\lambda \bar{L}}{4} (n-1)^2 + \tau \frac{n-1}{2} - \frac{(4n+1)(n-1)}{6} \right]^2 \right\} \quad (2-23)$$

**【例 2-4】** 风量为  $Q = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$ , 等断面矩形混凝土 (抹灰) 风道的长度  $a = 1.5 \text{ m}$ , 宽度  $b = 0.5 \text{ m}$ , 30 层楼高为  $L = 90 \text{ m}$ 。出风口数目  $n = 30$  个, 风口流量系数  $\mu = 0.65$ 。最大不均匀性系数  $r_{\max} = 0.05$ 。求出风口面积以及风管进口断面的全压。

**【解】** 当量直径  $d = \frac{2ab}{a+b} = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ m}$      $w_0 = \frac{2000}{1.5 \times 0.5 \times 3600} = 7.40 \text{ m/s}$

经  $\lambda = f(\text{Re}, \Delta/d)$  计算后, 得  $\lambda = 0.0384$

$$\frac{2d}{\lambda} = \frac{2 \times 0.75}{0.0384} = 39.0 \text{ m}$$

$$\frac{3d}{\lambda} = \frac{3 \times 0.75}{0.0384} = 58.5 \text{ m}$$

所以  $L > \frac{3d}{\lambda}$  采用式 (2-19) 和式 (2-20) 进行计算

$$\lambda \bar{L} = 0.0384 \frac{90}{0.75} = 4.60$$

$$\begin{aligned} r_n &= 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{\lambda \bar{L}}{4} (n-1)^2 + \tau \frac{n-1}{2} - \frac{(4n+1)(n-1)}{6} \right] \\ &= 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \left[ \frac{4.60}{4} (30-1)^2 + 0.4 \frac{29}{2} - \frac{(4 \times 30 + 1)29}{6} \right] \\ &= 0.5 \mu^2 \bar{\sigma}^2 \times 389 \end{aligned}$$

可见  $r_n$  的绝对值大于  $r_{\min}$  所以令  $r_{\max} = r_n$

$$0.05 = 0.5\mu^2\sigma^2 \times 389$$

$$\mu\sigma = \sqrt{\frac{0.05}{0.5 \times 389}} = 0.016$$

$$\sigma = \frac{\mu\sigma A}{\mu} = \frac{0.016 \times 0.75}{0.65} = 0.0185\text{m}^2$$

风口尺寸 135mm × 135mm (实际上加上固定百叶, 开启度为 50% 风口尺寸 300mm × 300mm)

$$\sigma = \frac{0.0185}{0.75} = 0.0246$$

$$K = 1 + \frac{1}{\mu^2 n^2 \sigma^2} \left\{ 1 + 0.5\mu^2\sigma^2 \left[ \frac{\lambda L}{4} (n-1)^2 + \tau \frac{n-1}{2} - \frac{(4n+1)(n-1)}{6} \right] \right\}^2$$

$$K = 1 + \frac{1}{0.65^2 \times 30^2 \times 0.0246^2} (1 + 0.5 \times 0.65^2 \times 0.0246^2 \times 389^2)$$

$$= 1 + \frac{1.1016}{0.2298} = 5.8$$

$$\frac{w_0^2 \rho}{2g} = \frac{7.4^2 \times 1.2}{2 \times 9.81} = 3.3\text{kg/m}^2 = 33\text{Pa}$$

$$E = 5.8 \times 33 = 192\text{Pa}$$

最后楼梯间加 50Pa, 前室加 25Pa, 再加上风机进口段压力损失。但是选择风机压头不能有太大余量, 否则大于 100Pa 时前室的门就很难开启。

计算时可以把《高规》中的楼梯间和前室几种风量和常用风道尺寸、数据输入计算机中, 能得到各种风道风口尺寸和风道进口断面全压值, 使用时还是方便的。

目前正压风道存在以下几个问题:

(1) 设计中前室一般采用电控方法居多, 当火灾时, 着火层和上、下两层电动风门启动。这种方法存在问题, 一是《高规》并没有规定其他层不用送风, 其他层也应该有风的。二是把所有风量集中在三层风口, 势必造成前室内风压大大地超过 25Pa, 如果没有泄压阀的话, 前室的门难以开启 (超过 100Pa)。虽然《高规》中没有超过 100Pa 规定, 但实际上出现在一扇门 2m<sup>2</sup> 上有 20kg 压力是难以推开的。同时又可能造成前室的压力大于楼梯间的反差压现象。

(2) 采用混凝土和砖砌风道问题: 目前大部分正压风道是采用混凝土或砖砌风道是可行的, 只要不是有大洞, 用水泥砂浆很容易堵塞缝隙的。即使有点漏风也是在楼梯间和前室内。用不着在风道内再加一道钢板风管, 这样会造成施工困难, 减少断面, 浪费材料。虽然混凝土和砖砌抹光墙面风道的摩阻比钢板风管要大些。但是其面积扩大部分完全可以抵消。如果采用三角形、异形断面作为风道, 或长和宽之比超过 1/4 的风道, 或轴流风机基础做在进风竖井的侧墙内, 诸如许多违背空气流动规律的设计, 当工程验收时会得到“报复”的。

(3) 由于市场提供的防排烟风机压头均过高, 有的没有性能曲线, 面计算出来风道全压值相对地比较小。同时还要维持一定要求精确度 (要求楼梯间维持 50Pa, 前室维持 25Pa, 二者又不能大于 100Pa)。因此风机出口端只好加调节阀, 来维持所需的压力。过高风压还会使消防电源负荷过大, 造成不必要的浪费。

结论:

等量送风计算结果表明,不管是多大风压,对于等断面、等距离的风口均能得到近似送风,其各风口之间有 10% 误差。但通过理论计算,可以控制在误差 5% 之内。对于正压风道防烟楼梯间及其前室,为了保证楼梯间 50Pa,前室为 25Pa 的正压,必须按均匀送风计算,计算其出风口面积和系统的压头<sup>[7]</sup>。

## 2.9 非高层建筑大面积房间的防排烟

### 2.9.1 非高层建筑大面积房间的防排烟

目前无窗和固定窗场所大量存在,由于歌舞厅、卡拉 OK 厅、夜总会、录像厅、桑拿浴室等场所为了防止噪声扩散、保持空调和灯光效果,在装修时有的故意将窗户封堵,有的设固定窗扇,这些场所有的规模较大,面积达几千平方米,有的还占有几层。大型宾馆、饭店、商场、写字楼等一般都设有空气调节系统,大多装固定的落地式玻璃窗,即使设的不是固定窗,通常情况下也将窗户紧闭,有的外墙设有玻璃幕墙,甚至还有巨幅固定广告。当火灾发生时,无法把窗户打开通风,进行排烟或补充排烟系统排出的空气。许多案例也表明:火灾条件下人们通常会直接逃生,很少有人去打开窗户。这类无窗和固定窗场所存在较突出的火灾危险性,其中火灾烟气控制能力薄弱是很突出的一个方面。1995 年 4 月 24 日,新疆乌鲁木齐凤凰时装城录像厅发生特大火灾,造成 52 人死亡,其中烧死 4 人,中毒死亡 48 人。该建筑共五层,失火的录像厅位于第二层,无窗。既然无窗和固定窗场所火灾初起时空气流动特点与地下建筑相同,那么无窗和固定窗的歌舞娱乐放映游艺场所、宾馆、饭店、商场、写字楼也应考虑设全面排烟送风系统。

一些地上的大面积房间,如果不是高层建筑,无合适的规范可套用,目前设计人员设计每层建筑面积越来越大的大型商场时(在地上又不是高层建筑),通常不设机械排烟系统。大面积房间(如超市、商场),很多情况下其单层的面积往往达到 4000~10000m<sup>2</sup> 左右,当进深超过 60m,又无可自然排烟的中庭时,不管其可开启外窗面积是否不小于该房间面积的 2%,都应该考虑设机械排烟系统。事实上,对于商场,许多情况下外窗都被货物遮挡(例如货架等),已无自然排烟能力,应设机械排烟系统。

综上所述,进行此类的建筑防排烟设计时,虽无合适的规范可套用,也应根据当地消防部门的要求做防排烟。提出如下建议:

(1) 地上无窗场所(非高层)火灾初起时空气流动特点与地下建筑相同,那么无窗和固定窗的歌舞娱乐放映游艺场所、宾馆、饭店、商场、写字楼也应考虑设全面排烟送风系统。地上的无窗建筑参照地下建筑的要求进行防排烟设计。

(2) 地上有固定窗场所火灾初起时空气流动特点也与地下建筑相同,有固定窗的场所,例如歌舞娱乐放映游艺场所、宾馆、饭店、商场、写字楼等人员密集场所,也应考虑设全面排烟送风系统。地上有固定窗建筑(非高层)参照高层建筑的要求进行防排烟设计。

(3) 地上的大面积商场(不是高层建筑),虽然有可开启的外窗,但进深较大,内部区域无法顺利自然排烟时,应进行机械排烟设计。靠近外窗的外部区域,可依靠自然排烟。内部区域的机械排烟设计参照高层建筑的要求进行。

## 2.9.2 大面积空间防烟分区的划分与系统排烟量

这里介绍的内容适合于2.9.1介绍的几种情况及高层建筑和地下建筑。

《高规》中第8.4.2条给出排烟风机的排烟量为：担负1个防烟分区排烟或净空高度大于6.0m的不划防烟分区的房间时，应按每平方米面积不小于 $60\text{m}^3/\text{h}$ 计算（单台风机最小排烟量不应小于 $7200\text{m}^3/\text{h}$ ），担负两个或两个以上防烟分区排烟时，应按最大防烟分区面积每平方米不小于 $120\text{m}^3/\text{h}$ 计算。《人民防空工程设计防火规范》（GB 50098—98）（简称《人防规》）中第6.3.1条给出排烟风机的排烟量为：担负一个或两个防烟分区排烟时，应按该部分总面积每平方米不小于 $60\text{m}^3/\text{h}$ 计算，但排烟风机的最小排烟量不应小于 $7200\text{m}^3/\text{h}$ ；担负三个或三个以上防烟分区排烟时，应按其中最大防烟分区面积每平方米不小于 $120\text{m}^3/\text{h}$ 计算。

可见，排烟系统的排烟量与防烟分区的面积有着直接的关系。防烟分区是由挡烟垂壁、隔墙或从顶棚突出不小于500mm的梁划分的。大面积房间（如超市、商场、仓库等），很多情况下其主梁的高度为700mm左右，房间不吊顶或采用网格吊顶的情况下，梁自然地将房间划分成许多个小的防烟分区。有些设计人员利用这些自然的防烟分区，按其中最大一个防烟分区面积每平方米不小于 $120\text{m}^3/\text{h}$ 来计算排烟量，这样得出的排烟量过小，一般不超过 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 。而系统的排烟口却很多，致使系统比较复杂。而且这样的排烟系统本身也是不切实际的，因为大面积房间的防火分区多靠防火卷帘分隔，一个防火分区内火灾蔓延速度比较快，即使是火灾初期烟气也很难控制在一两个防烟分区内，这样要求多个防烟分区的排烟阀同时排烟，而系统的排烟量只能满足两个防烟分区同时排烟，显然，这种做法是不合理的。

原则上每个防烟区都应设置排烟口，但面积较大的房间，从顶板下突出的不小于500mm的梁将房间自然的划分出许多小防烟分区，若每个防烟分区均设排烟口，风道及排烟口数量太多。可以综合考虑多方面因素，将房间视为若干个面积不超过 $500\text{m}^2$ 的防烟分区各自设置排烟口，而每组梁围成的小区域只起汇集和滞留烟气的作用。这样的大面积房间排烟系统设计时就要先根据“多方面因素”划分防烟分区，再据此确定排烟量。这种做法是符合《高规》的要求的，但是可能会存在两个问题：

（1）由于设计者的人为因素可能使一个防火分区内防烟分区数量偏多，形成前述系统复杂和系统不切实际的问题。

（2）人为划定的防烟分区利用一些从顶板下突出的不小于500mm的梁作为防烟分区的界限，但划分出的防烟分区内有相同的梁，其挡烟功能是相同的，却不作为防烟分区的界限，这样划分防烟分区稍显含混。

按照上述思路进行排烟系统设计时，防烟分区的划分是关键，它直接影响系统排烟量、排烟阀数量和控制措施的确定。然而，对于大面积房间防烟分区的划分标准（面积、地域）很难找到明确的依据，现阶段设计中，划分大面积房间防烟分区时，最小面积可按照不小于《自动喷水灭火系统设计规范》（GB 50084—2001）中的“作用面积”来取值，见表2-14；地域应参照相应房间的功能来划分，比如在仓库中，防烟分区最好与建筑划分的堆货场地相一致。防烟分区划分完后，设计人员还应注意在相应防烟分区的周围设置明显的挡烟垂壁，以保证相邻防烟分区之间不串烟或少串烟。

民用建筑和工业厂房的系统设计基本参数

表 2-14

| 火灾危险等级 |      | 喷水强度<br>(L/min·m <sup>2</sup> ) | 作用面积<br>(m <sup>2</sup> ) | 喷头工作压力<br>(MPa) |
|--------|------|---------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 轻危险级   |      | 4                               | 160                       | 0.10            |
| 中危险级   | I 级  | 6                               |                           |                 |
|        | II 级 | 8                               |                           |                 |
| 严重危险级  | I 级  | 12                              | 260                       |                 |
|        | II 级 | 16                              |                           |                 |

上述设计思路虽然符合《高规》和《人防规》的要求，但是由于实际运营中房间的功能划分常常与设计不符，设计人员费尽心机划分的防烟分区不一定与实际运营状况一致。而排烟系统中，排烟量的大小对排烟效果的影响最为明显。所以，采用增大排烟量、全面排烟的设计思路更为合理。

《高规》规定的设有火灾自动报警自动灭火系统，且采用不燃或难燃材料装修的情况下，地下层的商业营业厅、展览厅等最大防火分区面积允许为  $2000m^2$ ，仓库不超过  $600m^2$ 。现行《建筑设计防火规范》中，规定地下商店营业厅最大防火分区面积可为  $2000m^2$ 。现行设计中，许多建筑师将地下商业营业厅的防火分区面积控制在  $1000m^2$  以下。排烟系统为事故系统，不需要考虑节能，而应以安全为重。对于仓库，其可燃物很多，这些建筑的排烟系统的排烟量应采用较高值，以确保火灾时的人员疏散和扑救。参照《人防规》第 6.3.1 条的规定，将每个防火分区看作两个防烟分区，其排烟量按该防火分区总面积每平方米不小于  $60m^3/h$  计算。或最大防烟分区面积为  $500m^2$ ，其排烟量按最大防烟分区面积每平方米不小于  $120m^3/h$  计算。这样火灾发生时整个防火分区可以同时排烟，或最小排烟面积不低于  $500m^2$ ，适应了大面积房间火灾蔓延快的特点。虽然这样确定的排烟量比较高，多为  $40000 \sim 60000m^3/h$ ，在采用高压头风机、高速风管系统情况下，工程上还是可行的。

## 2.10 机械防排烟的控制程序

发生火灾时以及在火灾发展过程中，及时正确地控制和监视防排烟设备的动作顺序，使建筑物内防排烟达到理想效果，以保证人员的疏散和火灾的扑救。

对于不设消防控制室的机械防排烟控制如图 2-44 所示。当火灾报警器动作后，活动式挡烟垂壁动作，联动排烟口和排烟风机启动，并有信号到值班室，遥控空调装置，使通风机停止运行。

对于采用烟感器且风管内设有易熔片防火阀的防排烟系统，其控制程序如图 2-45 所示。火灾发生时，火灾报警器动作，同时风管内带易熔片的防火阀关闭，切断火源，空调通风机停止，以防止火势沿风管蔓延。

火灾时，火灾报警器动作，房间排烟口、排烟机、通风及空调系统的通风机均由消防控制室集中控制。其控制程序见图 2-46。

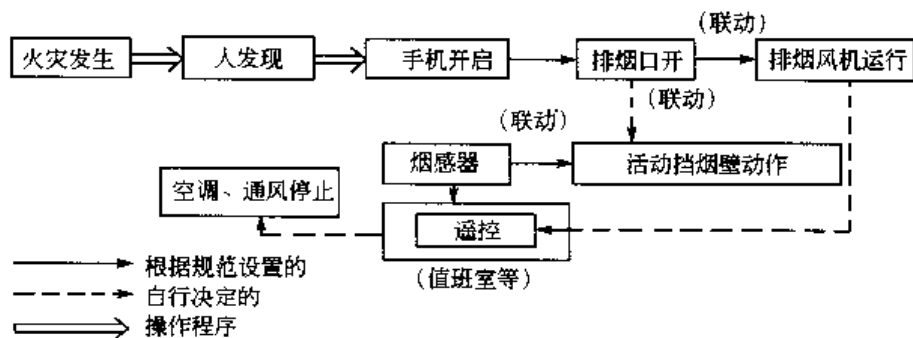


图 2-44 具有烟感器和联动方法的排烟程序

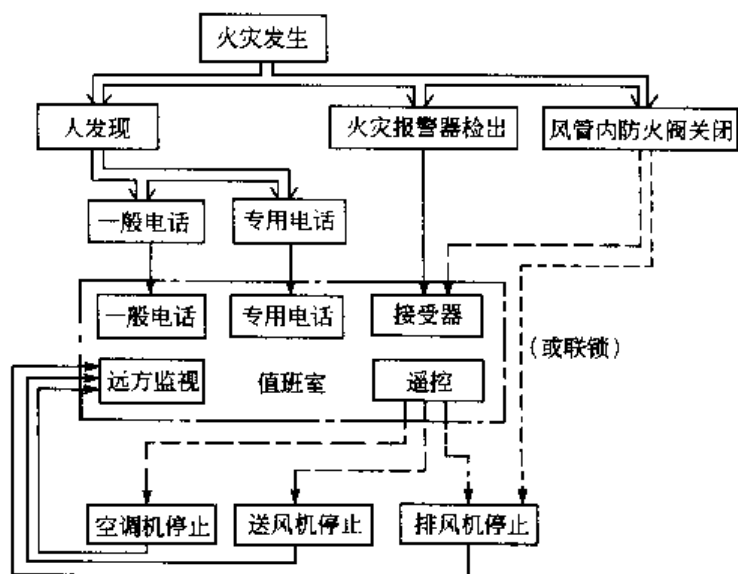


图 2-45 采用烟感器且风管内设有易熔片防火阀的控制程序

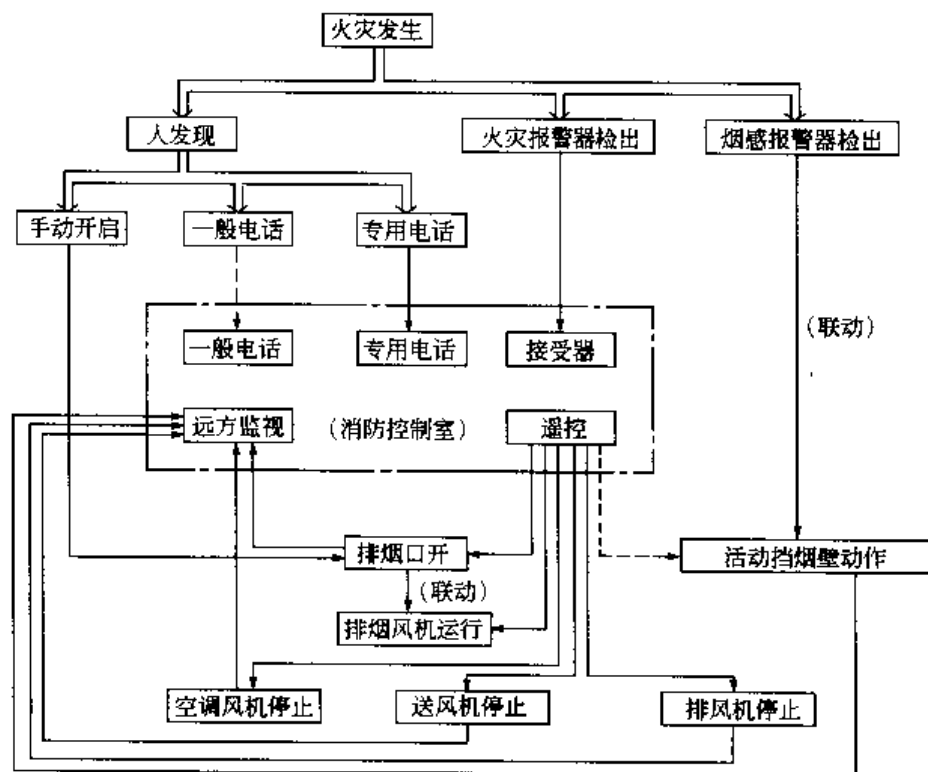


图 2-46 设有消防控制室的房间机械排烟控制程序（一）

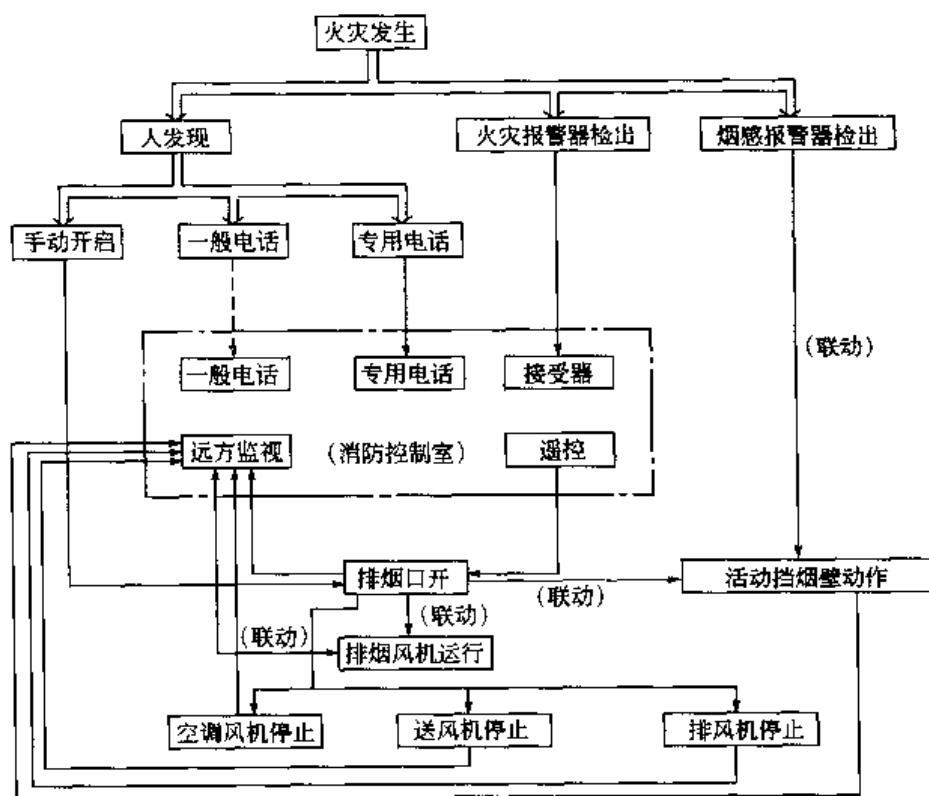


图 2-47 设有消防控制室的房间机械排烟控制程序 (二)

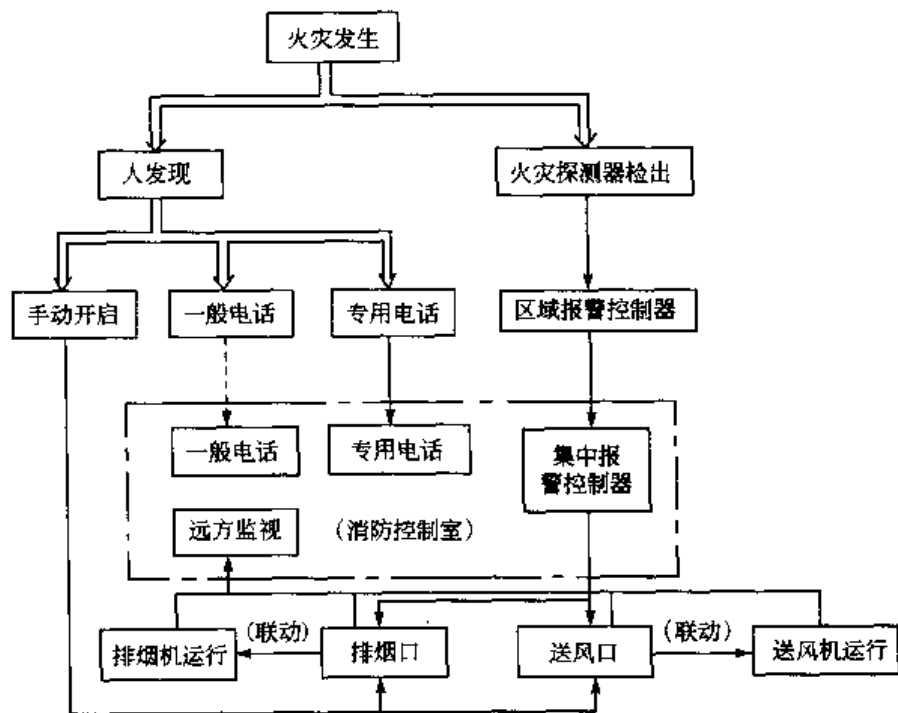


图 2-48 防烟楼梯间前室、消防电梯间前室和合用前室加压送风控制程序

火灾时，火灾报警器动作后，由消防控制室遥控房间排烟口开启，由排烟口微动开关输出电信号，联动排烟机、通风及空调风机开停。其控制程序见图 2-47。

由消防控制室控制防烟楼梯间前室、消防电梯间前室和合用前室的加压送风控制程序。见图 2-48。

## 2.11 工程实例

### 2.11.1 静安希尔顿工程

大楼共 43 层，其中第 5 层及 22 层为避难层兼设备层，整个大楼在消防电梯前室设正压送风系统，两侧的消防楼梯及防烟前室均设独立的正压送风系统，走廊设排烟系统，见图 2-49。

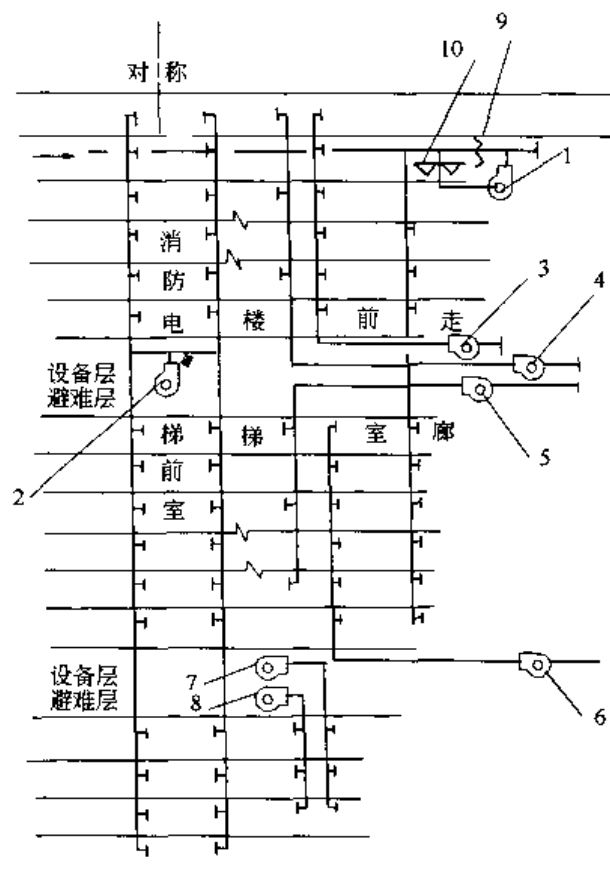


图 2-49 防烟楼梯及前室、消防电梯前室正压送风及走廊排烟系统图

1—排烟风机；2—正压送风机（消防电梯前室）；3—正压送风机（23 层~40 层前室）；

4—正压送风机（23~40 层楼梯）；5—正压送风机（5~22 层楼梯）；

6—正压送风机（5~22 层前室）；7、8—正压送风机（裙房）；9—电动阀；10—防火阀（280℃）

#### (1) 消防电梯前室正压送风系统

由于消防电梯与服务电梯合用一个前室，因此通过电梯门的空气渗漏量较大，电梯前室所维持的压力为 50Pa，整个系统的渗漏量为  $17\text{m}^3/\text{s}$ ，分两根竖风道输送，每层设两个送风口，送风机设在第 22 层设备层，本工程按英国规程，因高于 20 层，要求两层门同时开启，通过前室门之风速不低于  $0.5\text{m/s}$ 。

## (2) 消防楼梯和防烟前室正压

由于第 22 层、第 5 层为避难层兼设备层,因此在垂直高度上分为三个区,送风机分别设在第 22 层及第 5 层,楼梯间与防烟前室均有独立系统,楼梯间压力维持 50Pa,防烟前室维持 25Pa,楼梯间风量为  $1.7\text{m}^3/\text{s}$ ,防烟前室风量为  $1.2\text{m}^3/\text{s}$ ,由于垂直高度分了区,送风系统都在 22 层以下,楼梯间送风量只要满足一层楼梯门开启时门洞风速不小于  $0.7\text{m/s}$  (前室门与楼梯门之门洞风速二者中任意一个满足就可以了),前室送风口面积按每层平均送风量计算。

## (3) 优缺点

优点:楼梯间与前室设独立正压送风系统,这样容易控制所要维持的压力,相互干扰少,无控制设备,系统简单。

缺点:由于楼梯间送风系统在 22 层以下,参考英国规定,只要满足一层楼梯门开启时门洞风速不小于  $0.7\text{m/s}$ ,比其他国家所要求之风量均小。前室风口面积,因按每层前室平均风量计算,亦感稍小。

## 2.11.2 上海环球金融中心防排烟工程设计

### 2.11.2.1 防火与疏散

根据我国《高规》总则 1.05 条规定:“当高层建筑的建筑高度超过 250m 时,建筑设计采取的特殊的防火措施,应提供国家消防主管部门组织专题研究、论证。”

上海环球金融中心(460m)消防工程由日本清水建筑株式会社一级建筑事务所设计,根据日本建筑法规,结合中国高层建筑防火规范进行方案设计。特别是防排烟工程设计,对标准办公层做了一个防排烟模化试验。中国公安部、建设部组织专家论证:认为该工程内走廊加压送风,排烟前室进行排烟再加上筒体走廊加压送风,前室加压送风的方法是可行的。

### (1) 建筑概况

#### 1) 建筑概要:

工程名称:上海环球金融中心

工程地点:中国上海浦东新区陆家嘴金融贸易中心区 Z4-1 街区

主要用途:办公室  $212355\text{m}^2$ , 宾馆  $39482\text{m}^2$  (234 室), 商场  $15404\text{m}^2$ , 观景平台  $6178\text{m}^2$ , 停车库  $35767\text{m}^2$  (1078 台)

用地面积:  $30000\text{m}^2$ , 建筑占地面积:  $13861\text{m}^2$ , 总面积:  $335420\text{m}^2$ , 避难层面积:  $18324\text{m}^2$ , 建筑面积:  $244442\text{m}^2$  (815%)

最高高度: 460m, 标准层层高 4m, 层数: 地下 3 层、地上 94 层、机房 3 层

本工程能容纳 2 万人,大厦高达 460m,是世界少有的超高层建筑。自有了电梯以后,增加建筑高度就面临着各种各样的挑战,特别是在实际建筑中如何保证结构上的安全以及防火安全性就成为最大的课题。面对新的挑战,基于世界各国的先进防火观念,参照以往的经验,取长补短,综合分析。本工程防火设计的要点如下<sup>[7]</sup>:

如何预防火灾的发生。对此,本设计的基本原则是,建筑的内外装修彻底采用不燃材料,并在全大厦设置了火灾早期发现装置和初期灭火使用的自动喷水灭火设备。

#### 2) 结构概要:

基础:桩基础。地下部分:钢筋混凝土结构。地上部分:钢筋混凝土结构,顶层和 1

层门厅为钢结构。

3) 主要做法:

屋顶: 高层部分为沥青防水层, 上做混凝土屋面; 裙房部分为金属板屋面;

外墙: 高层部分为铝合金玻璃幕墙、镜面玻璃; 裙房部分为花岗石面层;

室内: 吊顶为石棉吸声板; 墙为石膏板刷涂料。

4) 消防设备概要:

室内消火栓设备 (全馆设置)

室外消火栓设备

自动喷水灭火设备 (全馆设置), 其中泡沫兼用部分: 地下停车场、锅炉房

二氧化碳灭火设备: (B2F) 配电室、发电机室、变压器室、电源室、锅炉房发电兼供热机房

防排烟设备

消防电梯

发电机设备

疏散指示灯设备

自动火灾报警器

天然气漏气报警器

防火门、防火阀自动关闭装置

5) 空调设备概要:

冷热源设备: 蒸汽热源吸收式冷冻机 1150RT×3 台

电动涡轮式冷冻机 1450RT×3 台, 700RT×2 台

蒸汽锅炉 11t/h×3 台, 5t/h×1 台

发电余热回收式锅炉 4t/h×1 台

空调设备: 办公部分: 各层为独立系统, 从设备层导入新风

宾馆客房部分、商场部分: 新风处理用一次空调机和各房间风机盘管

宾馆宴会厅部分: 通过单一管道空调机向各房间提供空调的方式

|       |              |   |           |
|-------|--------------|---|-----------|
| 换气设备: | 停车库、冷冻机室、配电室 | } | 强制送风、强制排风 |
|       | 锅炉房、发电机房     |   |           |
|       | 供热房、净化池室、    |   |           |
|       | 水箱间          |   |           |
|       | [厕所、开水间]     |   | 强制排风、自然进风 |
|       |              |   | 各机房每层处理   |

6) 卫生设备概要:

给水设备: 饮用水和杂用水成双管式

水箱房、送水泵、高架水箱重力给水方式

给热水设备: 集中给热水方式

排水设备: 生活排水为污水、杂排水分流方式

经污水处理设备 (处理水量 2100m<sup>3</sup>/天) 处理后, 流放公共下水道

天然气设备: 引入中压天然气

## 7) 电气设备概要:

- 引电设备 从用地西侧道路引入 35kV、3 路电缆  
需要电力 20000kW
- 送变电设备 主要变电设备: 地下 2 层  
次要变电设备: 16、31、46、68、80 层的中间设备层  
用地内配电电压: 6kV、380V/220V  
热水供给设备: 地下 2 层、1000kW×1 台
- 应急电源设备 应急用发电机: 地下 2 层、3000kVA×3 台  
消防设备供电: 消防水泵、排烟机、消防电梯应急照明等

## 8) 电梯设备概况:

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 办公室一般用: 双层式电梯       | 29 台              |
| 办公室服务用: 人、物兼用电梯     | 2 台 (兼消防电梯)       |
| 宾馆客房用: 电梯           | 6 台               |
| 宾馆服务用: 人、物兼用电梯      | 2 台 (其中 1 台兼消防电梯) |
| 观览平台用: 双层式电梯        | 2 台               |
| 低层部分停车库及其他: 人、物兼用电梯 | 7 台               |

## (2) 消防措施

### 1) 火灾的早期灭火

早期发现: 安装自动火灾报警设备, 通过安装类比式探测器, 使之能早期预报。同时根据不同区域的特点而设定不同的感知级别, 防止非火灾性报警, 提高火灾发现的可靠性。

初期灭火: 整个大楼配置自动喷水灭火系统, 以便在火灾初期进行灭火 (自动喷水灭火系统的初期灭火成功率达 97.9%)。自动喷水灭火系统的水源供给, 采用市内水管管道和利用重力输送楼顶减振水槽的水源两个系统方式, 尽可能长时间地保证水源的供给。

防止着火以及火势蔓延: 为防止着火后, 火势向墙壁、顶棚延伸以及瞬间火势蔓延, 内装修采用不燃材料。

### 2) 确保安全疏散

火灾发生楼层的安全疏散: 在出租办公室核心的筒体内分别距离均衡地设 4 个出口, 同时筒体内成对角线地设计了 2 个疏散楼梯, 以便两方向疏散。

出租部分由于用户进行室内改装, 房间的布局发生了变化, 通常很难维持当初室内排烟设备安装时的功能。因此, 本设计的基本方针是确保和维持长期没有变化的筒体核心内的安全性。具体方法是: 筒体外周墙建成 400mm 以上的钢筋混凝土墙, 限定开口部分, 从而利用其耐火性和密封性, 使筒体外周墙能间隔烟火, 起到防火、防烟作用。另外, 为防止烟雾从火灾室进入筒体核心以及楼梯间内, 确保疏散路线的安全性, 利用筒体核心内的密闭性, 采用加压防排烟系统给筒体内加压并增加疏散楼梯前室、走廊的压力。

防止烟雾向非火灾层扩散: 通过对火灾层内筒体、电梯井进行加压, 防止烟气经由电梯井扩散到其他非火灾层而引起楼内人员的混乱。

设置避难层: 根据防火规范的精神, 在大楼高层部分的中间楼层设有避难层。避难层的设计, 即使在火势将从着火房间扩散到走道时, 就在这火势扩散之前, 各楼层能疏散到避难层。如利用此避难层, 无需立即疏散到地面, 因各分节层已控制了火灾发生区域, 故

未着火分节层无需疏散。

### 3) 防止火灾蔓延

火灾万一扩大时的对策：建筑物的分节化，见图 2-50。为防火灾万一扩大，本设计

| 使用功能                          | 空调风管   | 电气低压<br>电缆 | 避难场所 | 楼梯 | 副消防<br>控制室 | 电梯群组<br>划分                       |
|-------------------------------|--------|------------|------|----|------------|----------------------------------|
| 观赏美术厅 94F<br>92F              | ↑      | ↑          |      |    |            | 观赏                               |
| 避难层 91F                       |        |            | ○    |    |            |                                  |
| 宾馆客房 90F<br>81F               | ↑      | ↑          |      |    |            | 宾馆                               |
| 分节层 80F                       |        |            | ○    |    |            |                                  |
| 办公室 79F<br>69F                | ↓<br>↑ | ↓<br>↑     |      |    |            | H <sub>2</sub>                   |
| 避难层 68F                       |        |            | ○    |    |            |                                  |
| 办公室 67F<br>56F                | ↓<br>↑ | ↓<br>↑     |      |    |            | H <sub>1</sub>                   |
| 避难场所 55F                      |        |            | ○    |    |            |                                  |
| 宾馆大厅 49F~55F<br>办公室大厅 47F 48F | ↑      | ↑          |      |    | 分区         | IIS<br>OS                        |
| 分节层 46F                       |        |            | ○    |    | ○          |                                  |
| 办公室 45F<br>32F                | ↓<br>↑ | ↓<br>↑     |      |    |            | L <sub>4</sub>                   |
| 避难层 31F                       |        |            | ○    |    |            |                                  |
| 办公室 30F<br>17F                | ↓<br>↑ | ↓<br>↑     |      |    |            | L <sub>3</sub><br>L <sub>2</sub> |
| 分节层 16F                       |        |            | ○    |    | ○          |                                  |
| 办公室 15F<br>5F                 | ↓<br>↑ | ↓<br>↑     |      |    |            | L <sub>1</sub>                   |
| 避难层 4F                        |        |            | ○    |    |            |                                  |
|                               | ↓      | ↑          |      |    |            |                                  |
| 入口大厅 1F                       |        |            |      |    |            |                                  |

图 2-50 分节层构成

结合建筑物的功能分界线将其分为4节，在分节层处采取了防止火势、烟气向上层蔓延的相应对策，以防火灾万一扩大，我们将此分节称为分节层。在和此分节层相邻的上下层处电梯井、空调管道系统都被分隔开来，以便有效地防止烟囱效应所起的烟气竖向扩散。通过这种手段将能保证即使是在最不利的情况下，也能控制火灾的扩散范围。

防火分区：作为防止火灾蔓延的对策，考虑将防火分区分为以下几个部分：(A) 层间分区：防止火灾层火势向上层蔓延；(B) 筒体内的分区：保护高层部分的人流疏散通道；(C) 不同功能分区：防止不同功能区域间的火灾蔓延和烟扩散；(D) 竖井分区：防止火势以及烟气向非火灾层扩散；(E) 用火房间的分区：将厨房等使用火的房间进行防火分区。

#### 4) 结构的稳定性

结构各部分是根据其可燃物品的量来推算可燃燃烧时间，并将此乘以安全系数来进行设计的。防止结构在火灾时被烧损确保其安全性，并且在火灾后能够再使用。

#### 5) 保证扑救活动的措施

作为灭火救灾的控制中心，将消防控制室设在1层，同时，为保证高层部分的灭火，在47层上设有消防控制分室并设有3台消防电梯。

此外，通过采用加压排烟系统，可以保证筒体内在较长时间内的安全，以利于进行扑救活动。另外，在消防设备的设置上，从保证消防人员的人身安全，便于开展抢险活动的观点出发进行了设计。

#### 6) 维护管理

为保证初期灭火，安全疏散及扑救活动能按设计原样实施，应经常性地对设备进行检查和维修。另外，应组织起防火救灾机构，以便在不测时能保证迅速及时地进行救助活动。

#### 7) 初期灭火

(A) 用自动喷水灭火系统进行初期灭火。除CO<sub>2</sub>灭火部分，楼梯间、PS、AD以外的场所都应设置自动喷水灭火系统。自动喷水灭火系统在温度升到72℃时启动，其成功率占以往火灾事例的97.9%。其中，80%火灾只用一个喷头，约5分钟就可灭火，其效果甚佳。

关于自动喷水灭火系统的水源问题，除采用水泵高压输送市内管道中的水源以外，万一此系统发生故障时，76层以下的楼层可以通过重力式给水方式输送楼顶减振装置水槽中的水(800t)。此种方式在停水和备用电源发生故障的紧急状态下，均可提供水源，提高了灭火的可靠性。用于自动喷水灭火系统的水泵设置在地下3层的消防水泵室内，升压水泵放在中间机械层的机房内。各水泵分别配置一台同等功效的备用水泵。在中间设备层的配电室，各层EPS里设置干式密封型喷头。地下停车场，锅炉房设置泡沫兼用自动喷水灭火设备。

(B) 用于初期灭火的灭火工具。根据各房间的火灾的危险程度及步行距离来配置灭火器，用于楼内人员进行灭火。

#### 8) 内部装修材料的不燃性化

本设计为防止火灾和万一火灾时火势的蔓延，根据大楼主体建筑与出租部分的不同情况分两阶段设计。采取以下措施，以实行内部装修的不燃化：

(A) 大楼的主体建筑设计。为尽可能防止火灾的发生,以防万一发生火灾时控制烟雾的产生或扩大,包括底层材料在内的内装修达到不燃化。特别是疏散走道等筒体内部分彻底实施不燃化。同时窗帘及遮阳帘子等内装修的使用材料也采用不燃材料或防火加工品。

(B) 出租部分的设计。为使出租部分既能满足各种使用目的的需要,同时又符合本工程防火设计书的主导思想,特规定出租管理方法条例,其要点如下:

(a) 办公室、商业用途部分(包括宾馆、商场等)内装修原则上采用不燃材料。

(b) 饮食店、咖啡店等使用火的区域原则上应使用难燃或不燃材料(包括底层材料)。

(c) 已出租部分如改变室内建筑设计时,其内装修应符合本防火设计书的主导思想。

(d) 出租部分的工程完工后,以竣工图纸为依据,随时掌握大楼的状况。

#### 9) 外装修的不燃化

外装修时,高层部分全部使用玻璃幕墙,低层部分贴花岗岩,并采用不燃材料的玻璃。

#### 10) 两方向疏散(高层部分)

筒体内设有两座直通疏散首层,可进行两方向疏散的楼梯,并各设有前室。采用前室加压送风,居室、走廊之间的前室排烟方式,防止烟雾侵入到楼梯前室或楼梯间内。

楼梯宽度  $1.25\text{m} \times 2 = 2.5\text{m}$  是以办公室标准层的办公人员数(228名)来设定的,共享空间层、宴会厅层等楼层,以疏散模拟试验来确认其安全性。

#### 11) 确保疏散通道的安全

高层部分的疏散通道以高封闭性、高耐火性的钢筋混凝土筒体外周墙与居室部分分开。为了提高分区的可靠性、封闭性,将筒体外周墙的开口部缩小到所需最小限度,并减少防火阀等管理个数。还实行了楼梯前室电梯井的加压送风,居室、走道之间的排烟前室的排烟措施,使疏散通路形成加压状态,确保了疏散通路的安全性。根据这种走道、前室顺序逐渐增加压力的方式,既可防止烟雾侵入疏散通路,又可防止发生混乱。还有使用电梯井加压方式加压,可防止火灾时烟雾侵入电梯井,扩散到其他非火灾层。

因此,火灾时的疏散原则上只限于出火层本身。为了确保疏散的安全性,在疏散通路内设有疏散指示灯设备、应急照明等。各层的所有滞留人员疏散到达楼梯前室的时间约为  $4 \sim 7\text{min}$ 。

#### 12) 中间避难场所

即使万一自动喷水灭火设备控制初期灭火的效果不明显,火灾蔓延到疏散通路,但因疏散通路被防火分区分隔,并设有防火门,所以,火灾蔓延得再快也要到着火后的  $45 \sim 60\text{min}$  以后。在此时间内,分节层内的所有滞留人员都可到达中间避难场所。通过在中间避难场所的一时避难,可以防止由于匆忙疏散时,与下层楼梯而引起的混乱。在室内人数较多的包括共享空间层、观览平台层、宴会层在内的所有人员,疏散开始  $20 \sim 35\text{min}$  后都能到达各避难场所。通过中间避难场所避难后,再按消防队的指示到达地上。所以,即使在发生万一的情况下,也可确保疏散的安全性。

#### 13) 疏散安全性的评价结果

(A) 评价的想法。如能在烟火未危及到疏散者安全之前完成疏散行动,则被判断为

安全疏散。

(B) 评价标准：

(a) 至疏散完成时烟层的高度大于疏散者的身高。

$$H_s > 1.5 + 0.1 H_c$$

式中  $H_s$ ——烟层高度，m；

$H_c$ ——吊顶高度，m。

(b) 至疏散完成时烟层的高度大于连接相邻空间门的高度。

$$H_s > 1.5 + 0.1 H_d$$

式中  $H_d$ ——门的高度，m。

(c) 在疏散过程中，疏散走道的气压对火灾室始终保持正压差。

$$\Delta P_c > 2$$

$$\Delta P_v > 2$$

式中  $\Delta P_c$ ——筒体内走道与排烟前室之间的压力差，Pa；

$\Delta P_v$ ——疏散楼梯前室与走廊之间的压力差，Pa。

见图 2-51。

(C) 烟雾、疏散的预测方法：

烟性状：方法：多数室为不稳定两层区域模式。

火源强度：办公室等 300kW；销售物品的商店等 25000kW。

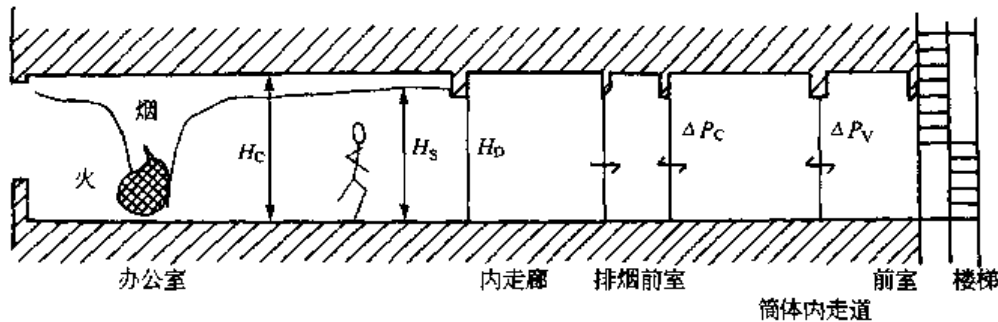
排烟：当温度上升至 280℃时，停止排烟。

起算点：将熏烧至可燃时的时间作为 0 秒，避难与之同时开始。

疏散：方法：疏散计算或疏散模拟测验。

人数：根据设计人数以及法令所规定的人员密度。

疏散时间与烟扩散的安全时间界限见表 2-15。



疏散安全性评价： $H_s > 1.5 + 0.1 H_c$ ； $\Delta P_c > 2 \text{ Pa}$ ；  
 $H_s > H_d$ ； $\Delta P_v > 2 \text{ Pa}$ 。

图 2-51 疏散安全性评价标准

疏散时间与烟扩散的安全时间界限 (s)

表 2-15

| 层     | 用途    | 起火室疏散 |      |    | 筒体内安全分区疏散 |     |    | 层疏散(前室) | 排烟方式              |      |
|-------|-------|-------|------|----|-----------|-----|----|---------|-------------------|------|
|       |       | 疏散    | 烟降下  | 判断 | 疏散        | 烟降下 | 判断 | 疏散      | 居室 <sup>⑤</sup>   | 内部走廊 |
| 93    | 观览层   | 88    | 1500 | ○  | —         | —   | —  | 352     | 机械排烟 <sup>⑤</sup> | —    |
| 90    | 餐厅层   | 46    | 120  | ○  | 112       | 180 | ○  | 291     | 无 <sup>④</sup>    | 机械排烟 |
| 81~89 | 宾馆客房层 | 14    | 30   | ○  | 60        | 100 | ○  | 70      | 无                 | 机械排烟 |

续表

| 屋     | 用 途       | 起火室疏散 |                  |    | 筒体内安全分区疏散      |                  |    | 屋疏散(前室)  | 排 烟 方 式           |      |
|-------|-----------|-------|------------------|----|----------------|------------------|----|----------|-------------------|------|
|       |           | 疏散    | 烟降下              | 判断 | 疏散             | 烟降下              | 判断 | 疏 散      | 居室 <sup>⑤</sup>   | 内部走廊 |
| 56~67 | 办公室层      | 38    | 180              | ○  | 98             | 180              | ○  | 150      | 无 <sup>⑥</sup>    | 无    |
| 51    | 宾馆<br>宴会厅 | 45    | 90 <sup>①</sup>  | ○  | 45             | 240 <sup>①</sup> | ○  | 190      | 无 <sup>④</sup>    | 机械排烟 |
| 49    | 宾馆大厅餐厅    | 53    | 90               | ○  | 103            | 240 <sup>①</sup> | ○  | 313      | 无 <sup>④</sup>    | 机械排烟 |
| 47    | 商场层       | 39    | 130              | ○  | 175            | 270              | ○  | 343      | 无                 | 机械排烟 |
| 32~45 | 办公室层      | 38    | 180              | ○  | 98             | 180              | ○  | 150      | 无 <sup>⑥</sup>    | 无    |
| 3     | 商场层       | 39    | 130 <sup>①</sup> | ○  | 进入前室<br>148    | 150 <sup>②</sup> | ○  | 进入前室 148 | 无 <sup>④</sup>    | 机械排烟 |
| 2     | 商场层       | 47    | 130 <sup>①</sup> | ○  | 室外疏散<br>200    | 420              | ○  | 室外疏散 200 | 机械排烟 <sup>③</sup> |      |
| B1    | 商场层       | 57    | 130 <sup>④</sup> | ○  | 进入安全<br>分区 142 | 150 <sup>①</sup> | ○  | 310      | 机械排烟              | 机械排烟 |

①估计算。

②商场与走廊之间的玻璃遭破坏的场合 (150℃)。

③烟降下时间为蓄烟方式的场合 (蓄烟后、机械排烟)。

④厨房为机械排烟。

⑤将起火分区与排烟前室的气压差确保在 10Pa 左右, 以使烟雾不致传播到筒体内部。

⑥假设办公室为大空间的情况下。

#### 14) 疏散计算方法和前提

(A) 疏散计算的目的。疏散计算是根据标准消防设计的人员密度, 对疏散设施的配置、容量的合理性进行评估的方法 (对安全性的评价基于有无配置标准设施等状况)。

(B) 疏散计算的基本设想:

疏散计算以下列条件为前提进行计算:

(a) 对疏散人数和疏散设施容量的关系上最为危险的楼层进行计算:

疏散人数较多的标准层; 设想标准层的平面隔断; 商店层; 餐厅层; 宾馆客房层; 宾馆宴会层。

(b) 起火场所设定为在居室发生火灾时, 居室疏散上被认为是最危险的出口处。但是, 在居室面积未满 200m<sup>2</sup> 的情况下, 其全部出口都被认为可供使用。

(c) 在楼层疏散 (起火层全部人员都疏散到疏散楼梯为止) 的考虑上, 设定在厨房等最容易发生火灾的场所。

(d) 在分节区域全体疏散问题上, 将通过引导手段, 使楼梯间的疏散密度不致过大。因此, 将模拟疏散时楼梯间内的人群移动 (按一般办公室内疏散速度不同的避难者设定) 而得的疏散速度整理后, 作为疏散计算的依据。

(e) 在疏散场所上, 消防工作在能够进行前 15min 内可以停留, 此后向地上部分移动 (或向地下分节层移动), 并有余地供退出使用。另外, 以到达行列在此等待 20min 为限, 此后应有富裕空间可供停留。

(f) 在疏散计算上, 以距各房间内避难者所能利用的门中较近的门, 并根据在各门的

利用人数分散而得的数据, 设定在疏散安全上较危险场合的门。

(C) 疏散计算将作为建筑防火计划的依据:

(a) 疏散时间

$$T_1 = \max\{T_{11}, T_{12}\}$$

$$T_{11} = N/(1.5\Sigma B)$$

$$T_{12} = L_{\max}/V$$

式中  $T_1$ ——办公室疏散时间, s;

$T_{11}$ ——在出口部分发生的移动时间, s;

$T_{12}$ ——从(办公室)最远处所需的步行时间, s;

$L_{\max}$ ——从(办公室)最远处到出口的直角疏散距离, m;

$N$ ——(办公室)的疏散人数, 人;

$V$ ——疏散速度, 1.0m/s;

$B$ ——出口宽度(除起火点附近的出口), m。

$$T_2 = \max\{T_{21}, T_{22}\}$$

$$T_{21} = \Sigma N/1.5B_2$$

$$T_{22} = \Sigma N/1.5B_2 + b_{T_0} - a_{T_0}$$

式中  $T_2$ ——走廊疏散时间, s;

$N$ ——分配至该楼梯间人数;

$b$ ——分配至非火灾室的该楼梯间人数;

$B_2$ ——至该楼梯间(前室)的出口宽度;

$a_{T_0}$ ——火灾室的疏散开始时间;

$b_{T_0}$ ——非火灾室的疏散开始时间。

(b) 疏散开始时间根据建筑防火设计方针设定

火灾室  $a_{T_0} = 2A^{0.5}$ ;  $A$ ——办公室面积。

非火灾室  $b_{T_0} = 2a_{T_0}$ 。

非火灾层根据火灾自动报警设备, 现场确认的情况设定。

注: 疏散开始时间始终是根据疏散计算而得的设施规模估算的。在一般情况下, 因燃烧状况的不同而使疏散开始时间不一致时, 可以根据目的来确定疏散开始时间。

(D) 分节层疏散设计前提:

根据疏散模拟测验来确定疏散特征。

从各层的疏散模拟测定结果看, 楼梯间的疏散移动为早期而稳定的。因此, 为准确求出分节层全体的疏散时间, 可以根据各人使用的疏散时间的流动特性来求得(见图2-52)。  
 $n=0.84$  人/(m·s)。

(E) 多层疏散的模拟试验的前提和结果:

根据多层疏散的模拟试验掌握了楼梯间内的移动状况。

<前提>

(a) 有可以对疏散人群在各出口、周边状况的各种情况判断的模拟训练。

(b) 疏散人群的步行速度设定在 0.5~1.5m/s 的范围内。

(c) 步行速度将随着密度增大而减少。 $V=V_{\text{initial}}/\rho_0$ 。

(d) 在可能发生合流的情况下根据合流后的密度来判断能否进行合流。

(e) 因楼梯间内密度过大将导致不能移动, 所以必须将楼梯间内的合流密度控制在  $4 \text{ 人}/\text{m}^2$  以内。

#### <结果>

(a) 在楼梯间的人流移动状态为早期而稳定的。

(b) 如果不对从各层进入疏散楼梯的人流进行控制的话, 有可能因局部密度过高而导致人流移动停滞。

(c) 为控制在楼梯间的合流, 有必要让人流在下面楼层的该楼层暂时停留。

(d) 如果不对楼梯间内的合流进行控制的话, 将发生在中间层长时间停留的状况。

(F) 模拟测验结果 (在 32~45 层办公楼层的情况下):

(a) 各楼层剩余人数随时间的变化 (见图 2-53)。

(b) 楼梯间内的密度 (见图 2-54)。

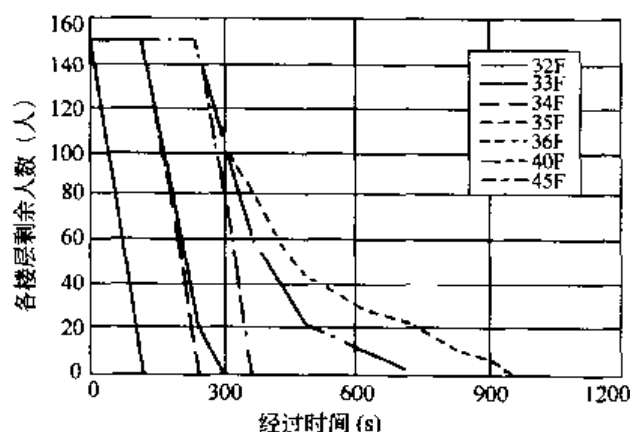


图 2-53 各楼层剩余人数随时间的变化

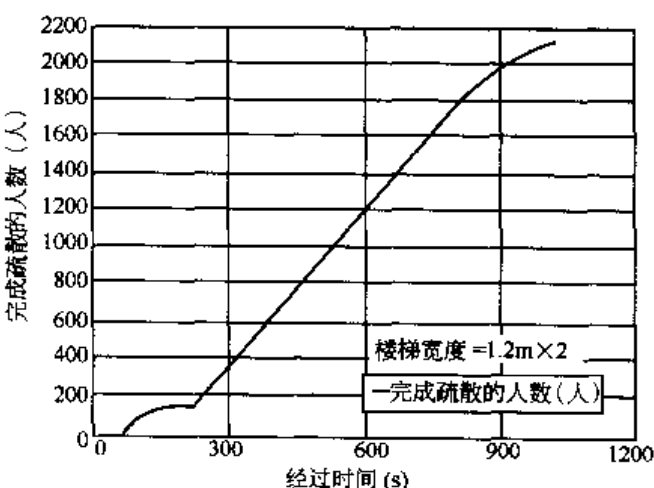


图 2-52 各时间完成疏散的人数

注: 超高层建筑物的疏散试验时的移动速度为  $0.71 \sim 0.80 \text{ 人}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

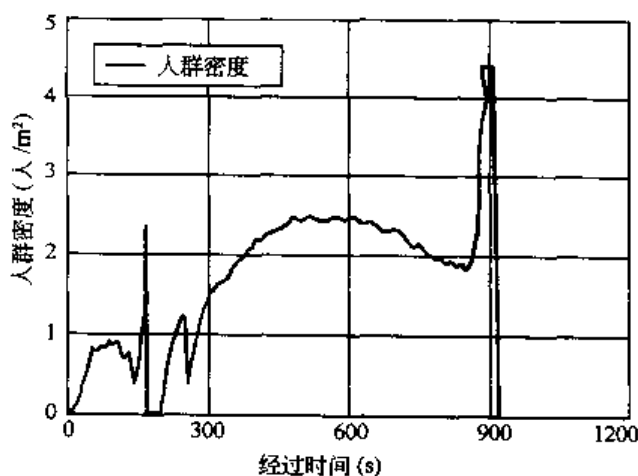


图 2-54 楼梯间内的密度

### 2.11.2.2 防排烟工程设计

#### (1) 大楼筒体内疏散设计

1) 筒体内设有两座直通疏散首层, 可进行两方向疏散的楼梯, 并各设有前室。采用前室加压送风、办公室、走廊之间的前室排烟方式, 防止烟雾侵入到楼梯前室或楼梯间内。

楼梯宽度  $1.25\text{m} \times 2 = 2.5\text{m}$  是以办公室标准层的办公人员数 (228 名) 来设定的, 共享空间层、宴会厅层等楼层, 以疏散模拟试验来确认其安全性。

2) 确保疏散通道的安全。高层部分的疏散通道以高封闭性、高耐火性的钢筋混凝土筒体外周墙与办公室部分分开。为了提高分区的可靠性、封闭性, 将筒体外周墙的开口部缩小到所需最小限度, 并减少防火阀等管理个数。还实行了楼梯前室电梯井的加压送风,

办公室、走道之间的排烟前室的排烟措施,使疏散通路形成加压状态,确保了疏散通路的安全性。根据这种走道、前室顺序逐渐增加压力的方式,既可防止烟雾侵入疏散通路,又可防止发生混乱。还有使用电梯井加压方式加压,可防止火灾时烟雾侵入电梯井,扩散到其他非火灾层。

因此,火灾时的疏散原则上只限于出火层本身。为了确保疏散的安全性,在疏散通路内设有疏散指示灯设备、应急照明等。各层的所有滞留人员疏散到达楼梯前室的时间约为4~7min。

3) 中间避难场所。即使万一自动喷水灭火设备控制初期灭火的效果不明显,火灾蔓延到疏散通路,但因疏散通路被防火分区分隔,并设有防火门,所以,火灾蔓延的再快也要到着火后的45~60min以后。在此时间内,分节层内的所有滞留人员都可到达中间避难场所。通过在中间避难场所的一时避难,可以防止由于匆忙疏散时,与下层楼梯所引起的混乱。在室内人数较多的包括共享空间层、观览平台层、宴会层在内的所有人员,疏散开始20~35min后都能到达各避难场所。通过中间避难场所避难后,再按消防队的指示到达地上。所以,即使在发生万一的情况下,也可确保疏散的安全性。

大楼避难层构成图与标准层平面见图2-41。

## (2) 大楼筒体内的加压与排烟系统设置

1) 加压排烟风量、压差的设计数据。一般情况下,门的前后如有2Pa的压差即可防止烟雾侵入。所以,办公室和走道、前室和走道都保证了有2Pa以上的压差系统,但一定要控制在疏散人员能推开门的100Pa范围以内,排烟前室的排烟量为550m<sup>3</sup>/h。

2) 加压防烟。由于疏散时许多层的疏散楼梯的门都开放,所以造成加压效益低,故不在楼梯间加压,而在火灾发生层的疏散楼梯前室处加压,防止烟雾侵入到疏散楼梯。

在冬季容易发生烟囱效应,由于有使建筑物下部的烟雾通过电梯井,高速度的抽到建筑物上部的危险性,所以用电梯井内送风加压方式来防止烟雾侵入到井内。加压风量是根据电梯井缝隙量及烟囱效应的大小,通过模拟试验算出。

3) 加压防排烟系统的启动方法。通过操作走廊墙面所设置的手动按钮,使办公室入口的防火门关闭并和走道之间形成一个前室。

当加压防烟机和排烟机同时启动时,从火灾发生室出来的烟气通过本前室吸进并排出。经疏散楼梯前室的加压后,再通过已经过二次加压的走廊而进来的空气与烟混合,来降低前室内烟的温度。以往的吸排烟方式是当烟的温度达到280℃时关闭防火阀,使得排烟机不能继续运转。但在本设计中,可通过降低烟的温度使排烟机能保持长时间的运转,并能长时间的阻止烟雾侵入筒体区域。

4) 防烟分区。在即使万一排烟设备不能工作或排烟系统启动较慢时,也不会在疏散所需时间范围内因为烟而影响疏散行动。

总之,为了拖延烟雾从上往下的时间,将办公室的防烟分区尽可能放大,故每一分区间隔为2275~1850m<sup>2</sup>。防烟分区间隔与防火分区间隔是一致的。

还有,在即使把出租部分间隔成小间时,也能保证疏散的安全性。

5) 设置小分隔出租房间时。设置小分隔出租房间,在筒体外周设置内走廊时,使用排烟机把内走廊部分的烟排出(6次/h换气)。

大楼筒体内加压与排烟设置见图2-55。

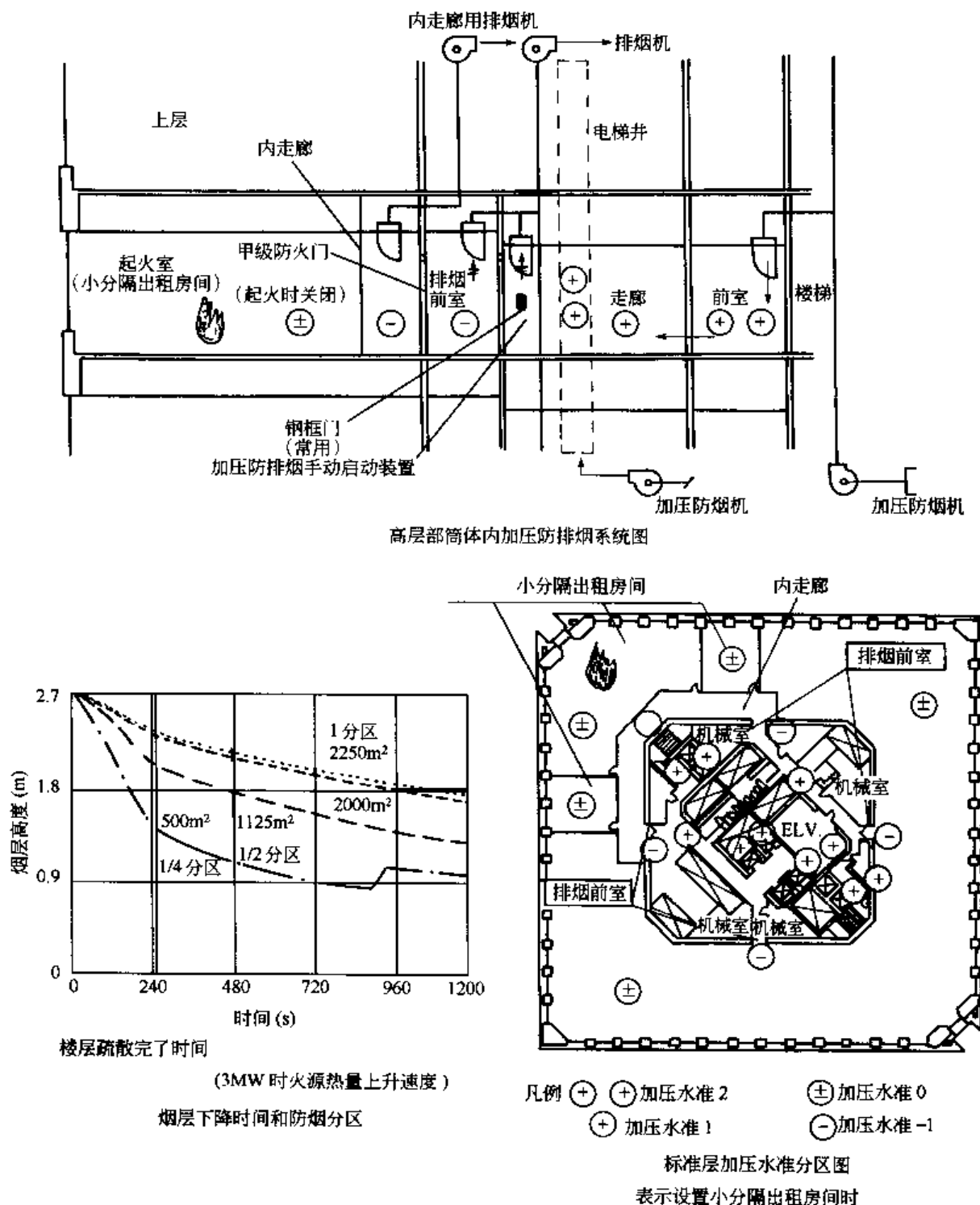
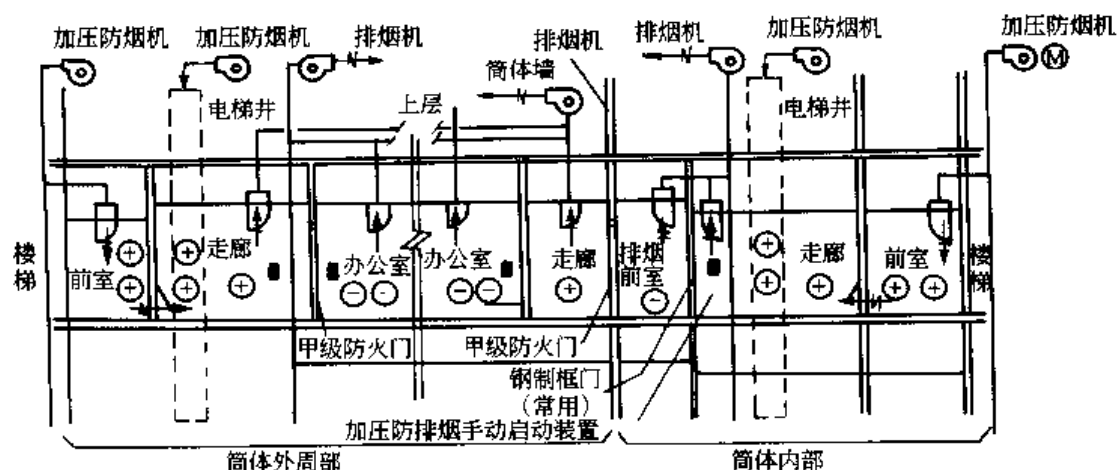


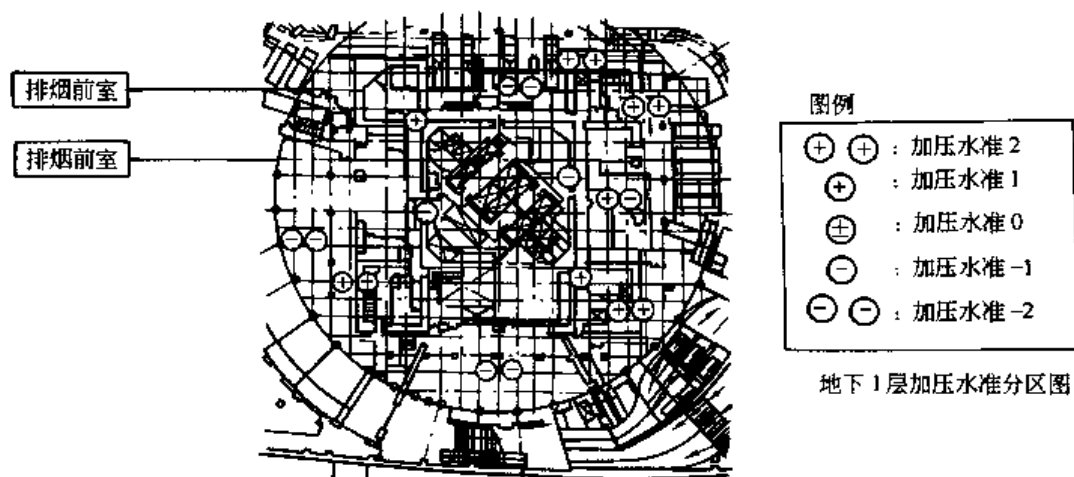
图 2-55 大楼筒体内加压与排烟设置

### (3) 大楼筒体外防排烟设计

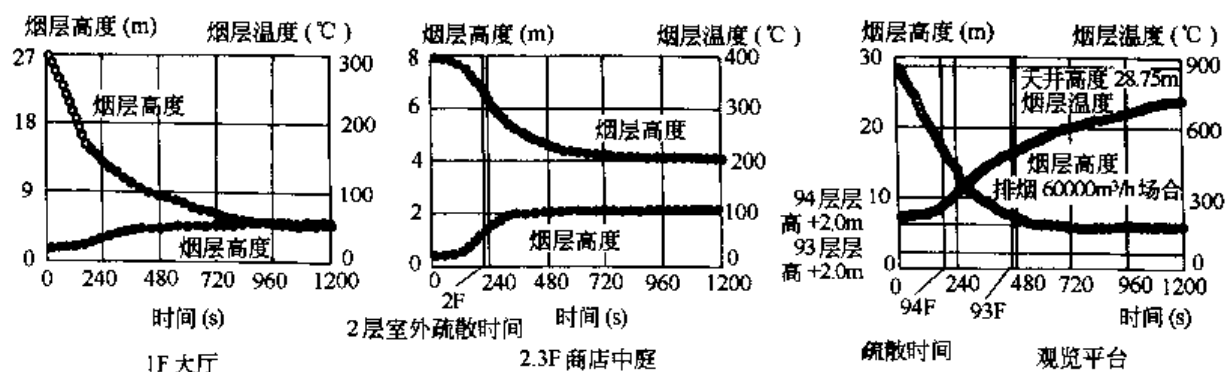
1) B3 层—4 层筒体外周部: 加压与排烟方式见图 2-56。采用疏散楼梯前室、电梯井加压, 走道、办公室排烟方式。疏散楼梯前室是疏散通路之一, 使用电梯井内加压之措施, 既可防止烟雾蔓延到其他楼层, 又可防止烟雾侵入楼梯内 (所需风量、差压等思维方式与高层筒体内的系统相同)。排烟机、加压防排烟机均在走道、办公室的内墙面上设手动按钮。



B3F-4F 筒体外部加压防排烟系统图



地下1层加压水准分区图



烟层下降时间（3MW 时火源热量上升速度）

图 2-56 筒体外防排烟设计

2) 1层大厅，2层，3层商场中庭、观景平台的排烟方式（约2次/h送风）。1层大厅吊顶高度为15m和27m，2层、3层商场的中庭为8.5m，92~94层的吊顶高度为20m，利用这些空间可以大量贮存烟雾，使之下落需要好长的时间，保证疏散所需的时间。

3) 中庭排烟方式（约20m<sup>3</sup>/h·m<sup>3</sup>）。中庭部分采用机械排烟方式。启动时操作设在中庭下部墙面上的手动按钮。此时，筒体内的加压送风系统也同时启动，给排烟提供了所需的空气。

4) 厨房排烟方式 (约  $20\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ )。厨房部分采用机械排烟方式。启动时操作设在厨房墙面上的手动按钮。此时, 筒体内的加压排烟系统也同时启动, 给排烟提供了所需的空气。

5) 地下停车库排烟方式 (约  $60\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ )。地下停车库部分采用机械排烟方式将烟排出室外。启动时操作设在车库墙面上的手动按钮。

6) 地下疏散楼梯防烟方式。用疏散楼梯前室加压方式可防止烟雾侵入作为疏散路线的疏散楼梯。加压防烟机在启动时应操作设在车库墙面上的手动按钮或操作设在疏散楼梯前室内的加压防烟机上的手动按钮。

7) 地下商场排烟方式 (约  $20\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ )。采用机械排烟方式将烟排出室外。通过操作设在各防烟分区墙面上的排烟机手动按钮来使系统启动。

8) 顶部观览天桥排烟方式 (约 2 次/h 送风)。采用机械吸气排烟方式将烟排出室外。排烟机由墙面上的手动按钮来启动。

## 2.12 设计常用防排烟系统原理图

一般情况下, 每一建筑都有自己的特点, 所选择的防排烟方式可能不同, 则防排烟系统原理图不同。附图 1<sup>[18]</sup>、附图 2<sup>[18]</sup>、附图 3<sup>[19]</sup> 为几个设计中常用的防排烟系统原理图。图中的图例为:

JY——加压送风系统;

PY——排烟系统;

S. D——防火阀 (70℃熔断);

B. S. F. D——排烟防火阀;

F. S. D——防火阀 (280℃动作)。

对于大空间的防排烟 (是一个在探讨的问题), 按防火规范 GB 50016 (送审稿) 的要求: “公共建筑中经常有人停留或可燃物较多, 且建筑面积大于  $300\text{m}^2$  的地上房间均应设防烟或排烟设施。”但排烟量按多少计算, 也是一个问题, 就目前工程设计的情况看, 多是参照《高规》对中庭的规定, 采用 4 次/h 的换气量作为排烟量计算<sup>[18]</sup>。某剧院的防烟排烟原理见附图 4 (该工程由中国建筑设计研究院徐稳龙总工设计)。

### 第3章 防排烟设备

一个完整的防排烟系统由风机、管道、阀门、送风口、排烟口、隔烟装置以及风机、阀门与送风口或排风口的联动装置等组成。本节将对防火阀、排烟风口和排烟风机等作简要介绍。

#### 3.1 防火阀与排烟风口

##### 3.1.1 防火阀

典型的防火阀工作原理是藉易熔合金的温度控制，利用重力作用和弹簧机构的作用关闭阀门的，如图 3-1 所示。新型产品中亦有利用记忆合金产生形变使阀门关闭的。当发生火灾时，火焰侵入风道，高温使阀门上的易熔合金熔解，或使记忆合金产生形变使阀门自动关闭，它被用于风道与防火分区贯通的场合。一般规定防火墙与防火阀门之间的风道用 1.5mm 厚的钢板制作（使之受热而不变形）。

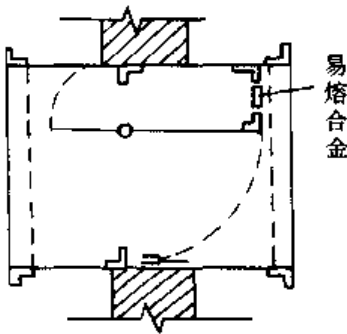


图 3-1 简易防火阀工作原理图

防火阀、排烟阀的种类和功能比较 表 3-1

| 名称   | 排烟阀                         | 排烟防火阀                                | 防火调节阀                                                       | 防烟防火调节阀                       |
|------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 应用范围 | 安装在高层建筑、地下建筑排烟系统的管道上        | 安装在有排烟、防火要求的排烟系统管道上（设于排烟风机吸入口处管道上）   | 安装在有防火要求的通风空调系统管道上（防止火势沿风道蔓延）                               | 安装在有防烟防火要求的通风空调系统管道上（防止烟火蔓延）  |
| 基本功能 | 1. 感温（烟）电信号联动、阀门开启，排烟风机同时启运 |                                      | 1. 温度熔断器在 70℃ 时熔断，使阀门关闭                                     | 1. 感烟（温）电信号联动使阀门关闭，通风空调系统风机停机 |
|      | 2. 手动使阀门开启，排烟风机同时启动         |                                      |                                                             | 2. 手动使阀门闭，风机停机                |
|      | 3. 输出阀门开启信号                 |                                      | 3. 温度熔断器在 70℃ 时熔断使阀门关闭<br>4. 输出阀门关闭信号<br>5. 按 90° 五等分有级调节风量 |                               |
|      |                             | 4. 当排烟温度超过 280℃ 时熔断器熔断，使阀门关闭，排烟机同时停机 |                                                             | 3. 无级调节风量                     |
|      |                             |                                      |                                                             |                               |
|      |                             |                                      |                                                             |                               |

防火阀门与一般阀门结合使用时，可兼起风量调节的作用，则可称防火调节阀。

防火阀按其功能可分为：防火阀、防火调节阀、防烟防火调节阀等多种结构，其应用场合和基本功能见表 3-1~表 3-2 所示。防火调节阀平时阀门常开，阀门叶片可在  $0\sim 90^\circ$  内调节，当气流温度达到  $70^\circ\text{C}$  时，温度熔断器动作，阀门关闭；也可手动关闭，手动复位。阀门关闭后可发出电讯号至消防控制中心。防烟防火调节阀平时阀门常开，阀门叶片可在  $0\sim 90^\circ$  内调节，当气流温度达到  $70^\circ\text{C}$  时，温度熔断器动作，阀门关闭；也可手动关闭，手动复位。消防控制中心也可根据烟感探头发出的火警信号通过 DC24V 电压将阀门关闭。阀门关闭后可发出反馈电讯号至消防控制中心。

### 3.1.2 排烟阀

排烟阀是与烟感器连锁的阀门，即通过能够探知火灾初期发生的烟气的烟感器来开启阀门，是由电动机或电磁机构驱动的自动阀门，它比防火门的价格要高。

排烟阀一般用于排烟系统的风管上，平时常闭，发生火灾时烟感探头发发出火警信号，消防控制中心通过 DC24V 电压将阀门打开排烟，也可手动使阀门打开，手动复位。阀门开启后可发出电讯号至消防控制中心。根据要求，还可与其他设备连锁。排烟阀与普通百叶风口或板式风口组合，可构成排烟风口。

如果在这种阀门上加上易熔合金，则可使之兼起防火的作用，故称防烟防火阀门 (SFD)，又称排烟防火阀。

排烟防火阀一般安装在排烟系统的风管上，平时常闭，发生火灾时，烟感探头发发出火警信号，控制中心通过 DC24V 电压将阀门迅速打开排烟；也可手动使阀门打开，手动复位。当烟道内烟气温度达到  $280^\circ\text{C}$  时，温度熔断器动作，阀门自动关闭。阀门开启后可发出电讯号至消防控制中心。根据要求，还可与其他设备连锁。

把防火、防烟和风量调节三者结为一体的阀门，称防火防烟调节阀，又称排烟防火调节阀。它既与烟感器通过电信号联动，又受温度熔断器控制，亦可通过手动使阀门瞬时严密关闭。温度熔断器更换后，可手动复位。防、排烟系列阀门系列于表 3-3 中。

通风、空调系统防火阀系列

表 3-2

| 序号 | 代 号      | 名 称     | 基 本 功 能    |               |            |           |            | 适 用 范 围                        |
|----|----------|---------|------------|---------------|------------|-----------|------------|--------------------------------|
|    |          |         | 70℃<br>关 闭 | DC24V<br>信号关闭 | 手拉阀<br>索关闭 | 输出<br>电讯号 | 多档风<br>量调节 |                                |
| 1  | FH—W     | 简易防火阀   | ○          |               |            |           |            | 火灾时需隔断火源的通风管道上<br>(无消防控制室)     |
| 2  | FH W     | 普通防火阀   | ○          |               |            | ○         |            | 火灾时需隔断火源的通风管道上<br>(有消防控制室)     |
| 3  | FH—SW    | 防火阀     | ○          |               | ○          | ○         |            | 火灾时需隔断火源的通风管道上<br>(有消防控制室)     |
| 4  | FF—SFW   | 防火调节阀   | ○          |               | ○          | ○         | ○          | 火灾时需隔断火源的通风管道<br>上。有调节风量要求     |
| 5  | FYH—SDW  | 防烟防火阀   | ○          | ○             |            | ○         |            | 火灾时，需隔断火源及烟气的通<br>风管道上         |
| 6  | FYH—SFDW | 防烟防火调节阀 | ○          | ○             |            | ○         | ○          | 火灾时，需隔断火源及烟气的通<br>风管道上。有调节风量要求 |
| 7  | FHK—SFDW | 防火风口    | ○          | ○             |            | ○         | ○          | 火灾时，需在送风口隔断火源                  |

回风排烟防火阀主要用在回风、排烟合二为一的管道（兼用风道）中，平时该阀门可常开用于排风，发生火灾时，烟感探头发出火警信号，阀体在消防控制中心电讯号的作用下可以有选择地关闭或打开进行排烟。当烟道内烟气温度达到 280℃ 时，温度熔断器动作，阀门自动关闭。

防、排烟系列阀门和排烟风口

表 3-3

| 序号 | 代 号        | 名 称           | 基 本 功 能  |          |               |          |            |            | 适 用 范 围                    |
|----|------------|---------------|----------|----------|---------------|----------|------------|------------|----------------------------|
|    |            |               | 手动<br>开启 | 远程<br>开启 | DC24V<br>信号关闭 | 手动<br>复位 | 280℃<br>关闭 | 多档风<br>量调节 |                            |
| 1  | PYK—YSD    | 板式排<br>烟 口    |          | ○        | ○             | ○        |            |            | 消防排烟管道吸入口。防烟<br>加压送风口      |
| 2  | PYK SD     | 多叶排<br>烟 口    | ○        |          | ○             | ○        |            |            | 消防排烟管道吸入口。无远<br>程开启装置      |
| 3  | PYFHK—FW   | 防火多叶<br>排 烟 口 |          |          | ○             | ○        | ○          | ○          | 同序号 2，280℃熔断关闭             |
| 4  | PYK—YSD    | 远程多叶<br>排 烟 口 |          | ○        | ○             | ○        |            |            | 同序号 2，有远程开启装置              |
| 5  | PYFHK—YSDW | 远程防火<br>叶排烟口  |          | ○        | ○             | ○        | ○          |            | 同序号 3，280℃熔断关闭             |
| 6  | PY—SD      | 排烟阀           | ○        |          | ○             | ○        |            |            | 各排烟分区、排烟支管上设<br>置，排烟口为普通风口 |
| 7  | PYFH—SDW   | 排烟防<br>火 阀    | ○        |          | ○             | ○        | ○          |            | 同序号 6，280℃熔断关闭，<br>装于排烟机入口 |
| 8  | PY—YSD     | 远程排<br>烟 阀    |          | ○        | ○             | ○        |            |            | 同序号 6，远程开启                 |
| 9  | PYFH—YSDW  | 远程排烟<br>防 火 阀 |          | ○        | ○             | ○        | ○          |            | 同序号 8，280℃熔断关闭             |

注：1. 特征：常闭、火灾防、排烟时开启；

2. 阀门部分代号：F—防；P—排；H—火；Y—烟；K—口；

3. 控制装置代号：S—手；D—电讯号动作；F—风量调节；W—温感动作；Y—远距离操作。

### 3.1.3 排烟风口

排烟口装于烟气吸入口处，平时处于关闭状态，只有在发生火灾时才根据火灾烟气扩散蔓延情况予以开启。开启动作可手动或自动，手动又分为就地操作和远距离操作两种。自动也可分有烟（温）感电信号联动（烟感器作用半径不应大于 10m）和温度熔断器动作两种。温度熔断器动作温度通常用 280℃。排烟口动作后，可通过手动复位装置或更换温度熔断器予以复位，以便重复使用。

排烟口有板式和多叶式两种，板式排烟口的开关形式为单横轴旋转式，其手动方式为远距离操作装置。多叶式排烟口的开关形式为多横轴旋转式，其手动方式为就地操作和远距离操作两种。

排烟口设置要求：

(1) 设在前室内的排烟口，应设在前室的顶棚上或靠近顶棚的墙面上（而送风口应设在前室靠近地面的墙面上）；

(2) 设在防烟分区内其他部位的排烟口，应设在防烟分区顶棚上或靠近顶棚的墙面

上, 并且距该防烟分区最远点的水平距离不应超过 30m;

(3) 同一个防烟分区如设有数个排烟口时, 要求做到一个排烟口开启时, 其他几个排烟口也能联锁开启, 则该防烟分区的排烟量可按各排烟口的排烟量之和计算。

排烟口的尺寸可根据烟气通过排烟口有效断面时的速度不大于 10m/s 来计算, 排烟口的最小面积不宜小于  $0.04\text{m}^2$ 。根据排烟风速的要求, 可按表 3-4 确定常用排烟口尺寸。不同类型、不同厂家的排烟口规格尺寸都不尽相同, 应以厂家样本作为选择依据。各种风口阀门的规格见图 3-2~图 3-9 与表 3-5~表 3-9。

排烟口规格系列及排烟量表

表 3-4

| 排烟量( $\text{m}^3/\text{h}$ )<br>规格(mm) | 排烟风速(6m/s) | 排烟风速(7m/s) | 排烟风速(8m/s) | 排烟风速(9m/s) | 排烟风速(10m/s) |
|----------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 200×200                                | 864        | 1008       | 1152       | 1296       | 1440        |
| 250×250                                | 1350       | 1575       | 1800       | 2025       | 2250        |
| 250×320                                | 1728       | 2016       | 2304       | 2592       | 2880        |
| 300×300                                | 1944       | 2268       | 2592       | 2916       | 3240        |
| 250×400                                | 2160       | 2520       | 2880       | 3240       | 3600        |
| 300×400                                | 2592       | 3024       | 3456       | 3888       | 4320        |
| 250×500                                | 2700       | 3150       | 3600       | 4050       | 4500        |
| 300×500                                | 3240       | 3780       | 4320       | 4860       | 5400        |
| 250×630                                | 3402       | 3969       | 4536       | 5103       | 5670        |
| 400×400                                | 3456       | 4032       | 4608       | 5184       | 5760        |
| 300×600                                | 3888       | 4536       | 5184       | 5832       | 6480        |
| 400×500                                | 4320       | 5040       | 5760       | 6480       | 7200        |
| 400×600                                | 5184       | 6048       | 6912       | 7776       | 8640        |
| 500×500                                | 5400       | 6300       | 7200       | 8100       | 9000        |
| 500×600                                | 6480       | 7560       | 8640       | 9720       | 10800       |
| 400×800                                | 6912       | 8064       | 9216       | 10368      | 11520       |
| 600×600                                | 7776       | 9072       | 10368      | 11664      | 12960       |
| 500×800                                | 8640       | 10080      | 11520      | 12960      | 14400       |
| 600×800                                | 10368      | 12096      | 13824      | 15552      | 17280       |
| 500×1000                               | 10800      | 12600      | 14400      | 16200      | 18000       |
| 600×1000                               | 12960      | 15120      | 17280      | 19440      | 21600       |
| 800×800                                | 13824      | 16128      | 18432      | 20736      | 23040       |
| 800×1000                               | 17280      | 20160      | 23040      | 25920      | 28800       |
| 1000×1000                              | 21600      | 25200      | 28800      | 32400      | 36000       |

矩形防火阀、防火调节阀、防烟防火阀尺寸 A×B

表 3-5

|          |          |          |          |          |           |           |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 320×320  |          |          |          |          |           |           |
| 400×320  | 400×400  |          |          |          |           |           |
| 500×320  | 500×400  | 500×500  |          |          |           |           |
| 630×320  | 630×400  | 630×500  | 630×630  |          |           |           |
| 800×320  | 800×400  | 800×500  | 800×630  | 800×800  |           |           |
| 1000×320 | 1000×400 | 1000×500 | 1000×630 | 1000×800 | 1000×1000 |           |
|          |          | 1250×500 | 1250×630 | 1250×800 | 1250×1000 | 1250×1250 |
|          |          |          | 1600×630 | 1600×800 | 1600×1000 | 1600×1250 |
|          |          |          |          | 2000×800 | 2000×1000 | 2000×1250 |

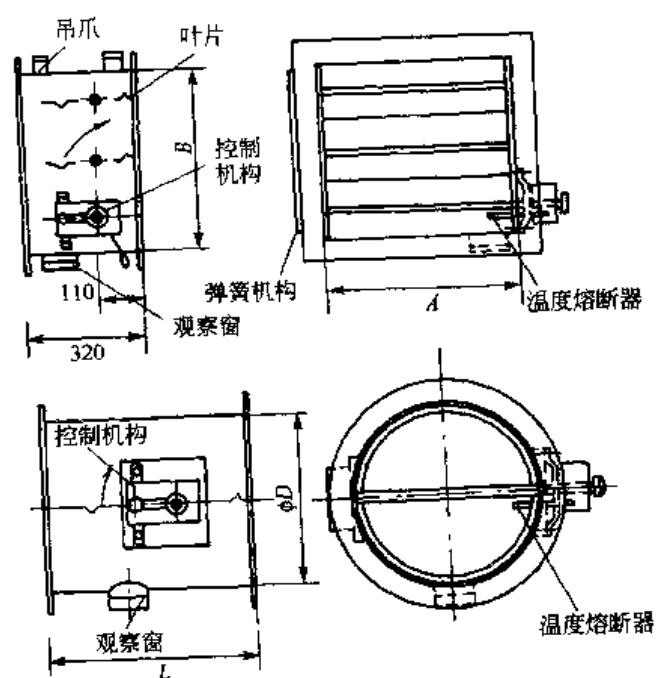


图 3-2 矩形、圆形防火阀

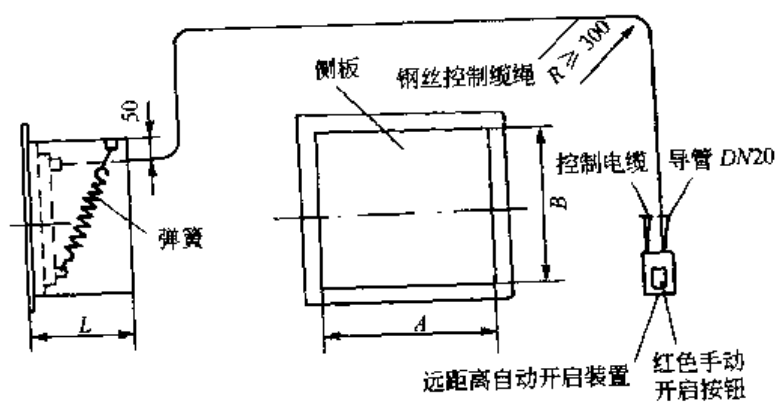


图 3-3 板式排烟口

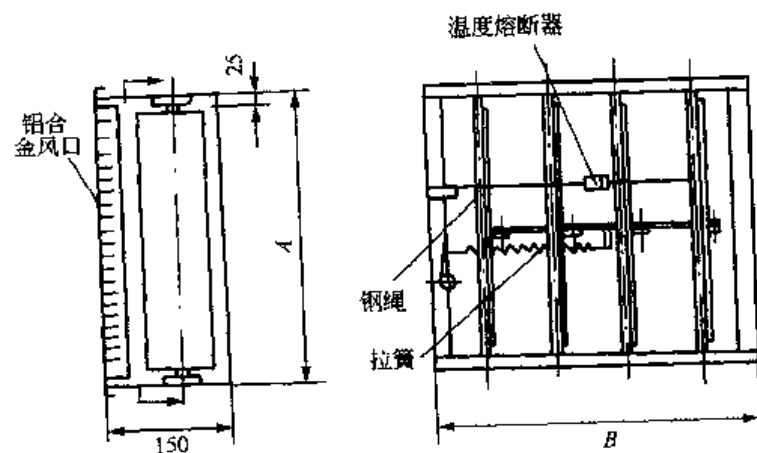


图 3-4 防火风口

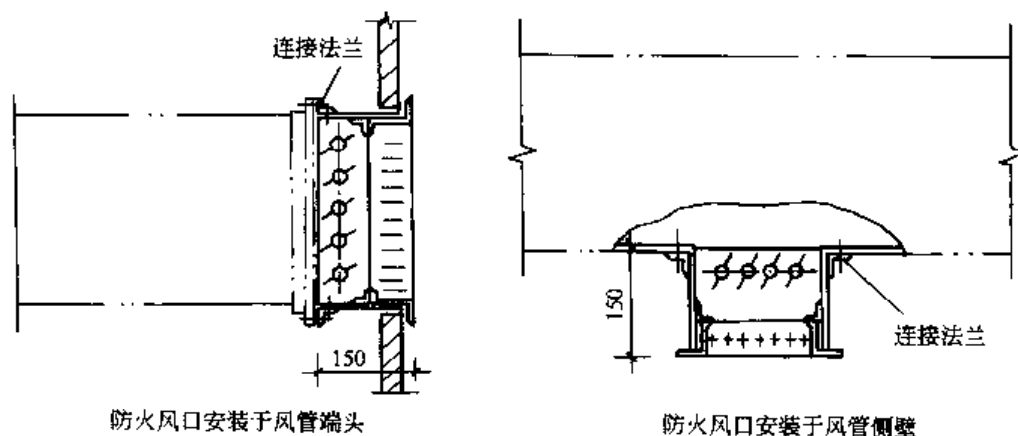


图 3-5 防火风口安装方式

板式排烟口规格

表 3-6

| A×B (mm)                  | 320×320 | 400×400 | 500×500 | 630×630 | 700×700 | 800×800 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| L (mm)                    | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     |
| 有效面积 (m <sup>2</sup> )    | 0.07    | 0.125   | 0.203   | 0.306   | 0.421   | 0.563   |
| 最大排烟量 (m <sup>3</sup> /h) | 2520    | 4500    | 7300    | 11000   | 15000   | 20000   |
| 最大压力损失 (Pa)               | 30      |         |         |         |         |         |

防火风口尺寸 A×B

表 3-7

|         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 200×200 |         |         |         |         |         |         |         |
| 250×200 | 250×250 |         |         |         |         |         |         |
| 300×200 | 300×250 | 300×300 |         |         |         |         |         |
| 450×200 | 400×250 | 400×300 | 400×400 |         |         |         |         |
|         | 450×250 | 450×300 | 450×400 | 450×450 |         |         |         |
|         | 500×250 | 500×300 | 500×400 | 500×450 | 500×500 |         |         |
|         |         |         | 600×400 | 600×450 | 600×500 | 600×600 |         |
|         |         |         |         | 800×450 | 800×500 | 800×600 | 800×800 |

多叶排烟口尺寸 A×B

表 3-8

|         |         |         |         |         |          |          |           |
|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| 250×250 | 250×300 | 250×400 | 250×500 |         |          |          |           |
| 300×250 | 300×300 | 300×400 | 300×500 | 300×600 | 300×630  |          |           |
| 400×250 | 400×300 | 400×400 | 400×500 | 400×600 | 400×630  | 400×800  |           |
| 500×250 | 500×300 | 500×400 | 500×500 | 500×600 | 500×630  | 500×800  | 500×1000  |
| 600×250 | 600×300 | 600×300 | 600×500 | 600×600 | 600×630  | 600×800  | 600×1000  |
|         | 630×300 | 630×400 | 630×500 | 630×630 | 630×630  | 630×800  | 630×1000  |
|         |         | 800×400 | 800×500 | 800×600 | 800×630  | 800×800  | 800×1000  |
|         |         |         |         |         | 1000×630 | 1000×800 | 1000×1000 |

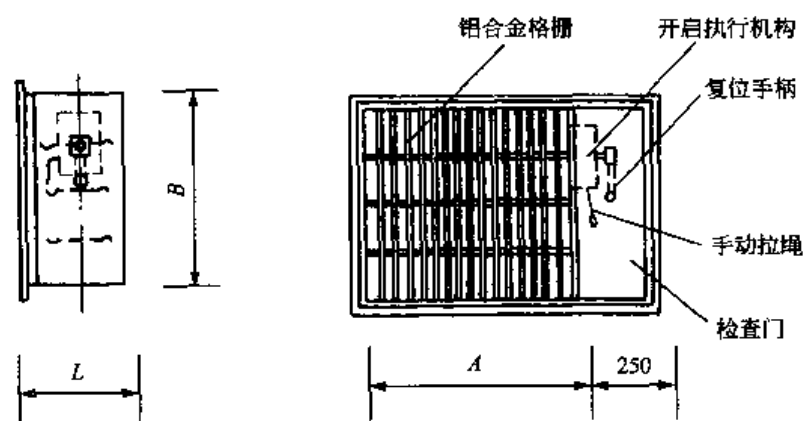


图 3-6 多叶排烟口、防火多叶排烟口

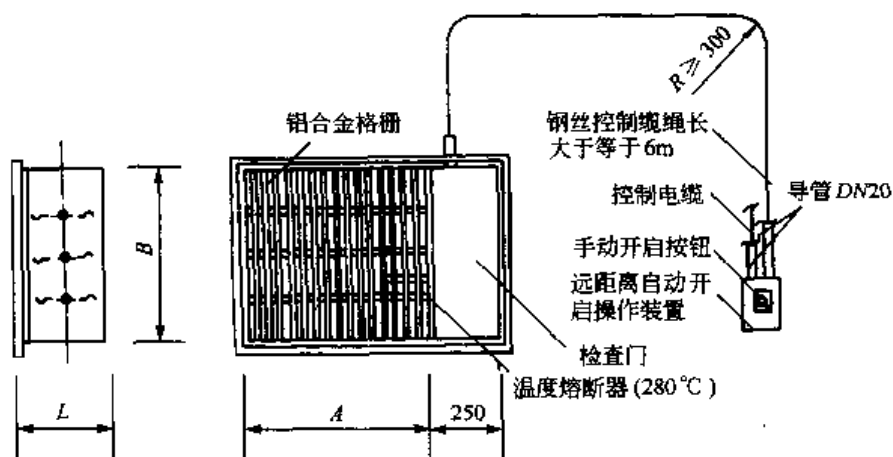


图 3-7 远程多叶排烟口、防火多叶排烟口

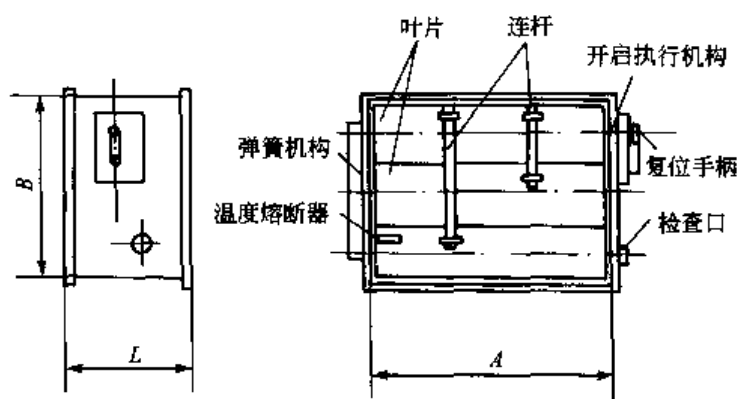


图 3-8 排烟阀、排烟防火阀（在排烟阀上不设温度熔断器）

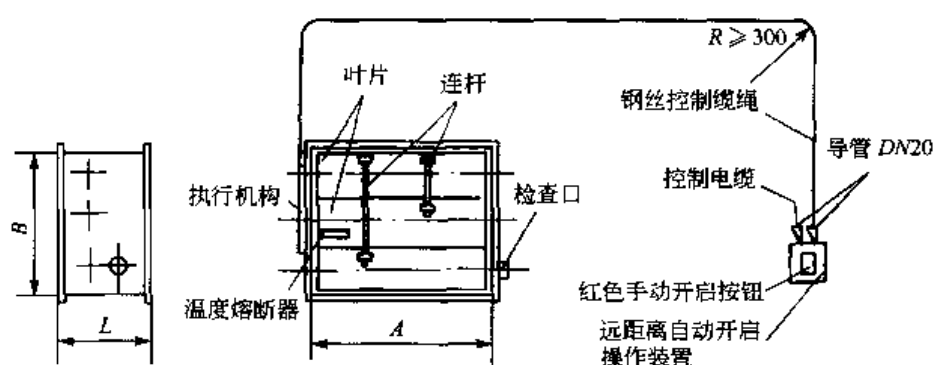


图 3 9 远程排烟阀、远程排烟防火阀（在排烟阀上不设温度熔断器）

排 烟 阀 规 格

表 3-9

|          |          |          |          |          |          |           |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 250×250  |          |          |          |          |          |           |
| 320×250  | 320×320  |          |          |          |          |           |
| 400×250  | 400×320  | 400×400  |          |          |          |           |
| 500×250  | 500×300  | 500×400  | 500×500  |          |          |           |
| 630×250  | 630×320  | 630×400  | 630×500  | 630×630  |          |           |
| 800×250  | 800×320  | 800×400  | 800×500  | 800×630  | 800×800  |           |
| 1000×250 | 1000×320 | 1000×400 | 1000×500 | 1000×630 | 1000×800 | 1000×1000 |

### 3.1.4 加压送风口

加压送风口靠烟感器控制，经电讯号开启，也可手动开启。可设 280℃ 温度熔断器开关，输出动作电讯号，联动送风机开启，用于加压送风系统的风口（例如用于前室的加压送风），起赶烟防烟的作用。

为便于工程设计，常用加压送风口尺寸可根据实际风量大小和控制风速由表 3-10 确定。

加压送风口规格系列及送风量表

表 3-10

| 送风量 (m³/h)<br>规格 (mm) | 送风风速 (4m/s) | 送风风速 (5m/s) | 送风风速 (6m/s) | 送风风速 (7m/s) |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 200×200               | 576         | 720         | 864         | 1008        |
| 250×250               | 900         | 1125        | 1350        | 1575        |
| 250×320               | 1152        | 1440        | 1728        | 2016        |
| 300×300               | 1296        | 1620        | 1944        | 2268        |
| 250×400               | 1440        | 1800        | 2160        | 2520        |
| 300×400               | 1728        | 2160        | 2592        | 3024        |
| 250×500               | 1800        | 2250        | 2700        | 3150        |
| 300×500               | 2160        | 2700        | 3240        | 3780        |
| 250×630               | 2268        | 2835        | 3402        | 3969        |
| 400×400               | 2304        | 2880        | 3456        | 4032        |
| 300×600               | 2592        | 3240        | 3888        | 4536        |
| 400×500               | 2880        | 3600        | 4320        | 5040        |

续表

| 规格 (mm) \ 送风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 送风风速 (4m/s) | 送风风速 (5m/s) | 送风风速 (6m/s) | 送风风速 (7m/s) |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 400×600                                 | 3456        | 4320        | 5184        | 6048        |
| 500×500                                 | 3600        | 4500        | 5400        | 6300        |
| 500×600                                 | 4320        | 5400        | 6480        | 7560        |
| 400×800                                 | 4608        | 5760        | 6912        | 8064        |
| 600×600                                 | 5184        | 6480        | 7776        | 9072        |
| 500×800                                 | 5760        | 7200        | 8640        | 10080       |
| 600×800                                 | 6912        | 8640        | 10368       | 12096       |
| 500×1000                                | 7200        | 9000        | 10800       | 12600       |
| 600×1000                                | 8640        | 10800       | 12960       | 15120       |
| 800×800                                 | 9216        | 11520       | 13824       | 16128       |
| 800×1000                                | 11520       | 14400       | 17280       | 20160       |
| 1000×1000                               | 14400       | 18000       | 21600       | 25200       |

### 3.1.5 电动防火阀、电动防烟防火阀

电动防火阀、电动防烟防火阀用于通风空调系统管道上。电动防火阀基本功能为：

- (1) 常开（通电），火灾时断电，阀门靠弹簧复位。
- (2) 关闭后发讯号和不发讯号两种。
- (3) 通电后阀门复位，也可手动复位。

电动防火阀性能：

电机力矩： $\leq 11\text{N} \cdot \text{m}$

弹簧力矩： $\leq 11\text{N} \cdot \text{m}$

输出轴转  $90^\circ$  时间约 100s，弹簧复位时间约 10s。

电源电压：DC24V $\pm 10\%$  或 AC220V $\pm 10\%$  50Hz

电机耗电量：通电全开启状态约 62W，通电刚启动状态约 28W。

电器发讯开关容量：250V10A

电机噪声：约 50dB

环境温度： $-20\sim 50^\circ\text{C}$

电动防烟防火阀性能：

电机力矩： $\leq 22.5\text{N} \cdot \text{m}$

弹簧力矩： $\leq 7.5\text{N} \cdot \text{m}$

闭合机构弹簧力矩： $\leq 5\text{N} \cdot \text{m}$

输出轴转  $90^\circ$  时间：约 20s

弹簧复位时间：约 10s

熔断温度：防火  $70^\circ\text{C}$

电源电压：DC24V $\pm 10\%$  或 AC220V $\pm 10\%$  50Hz

耗电量：通电全开启状态约 4.6W；通电刚启动状态约 25W。

发讯号开关（2套）容量：250V10A

### 3.1.6 余压阀

防烟楼梯间仅对楼梯间加压送风时,在楼梯间与前室和前室与走道之间的隔墙上设置余压阀。这样空气通过余压阀从楼梯间送入前室,当前室超过 25Pa 时,空气再从余压阀漏到走道,使楼梯间和前室能维持各自的压力。见图 3-10。

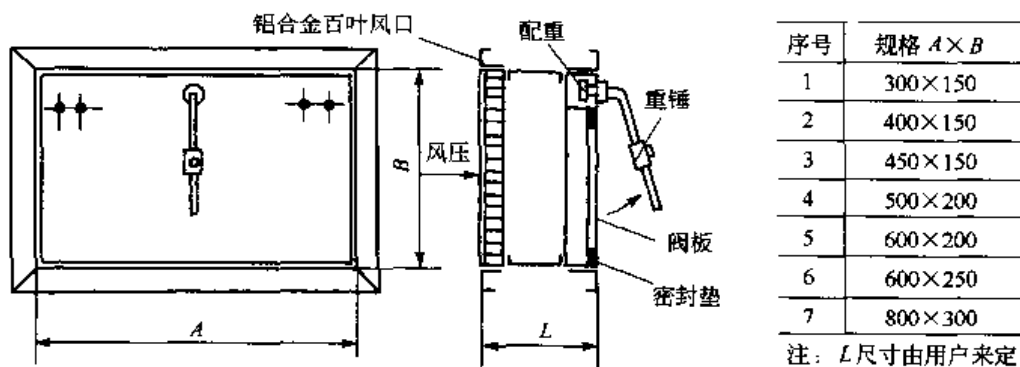


图 3-10 余压阀

## 3.2 排 烟 风 机

用于排烟的风机主要有离心风机和轴流风机,排烟风机应耐热,变形小,使其在排出 280℃ 烟气时连续工作 30min 仍能达到设计要求。

### (1) 消防高温排烟风机使用、维护保养

1) 装前应认真检查风叶及机壳有否因运输而损坏变形,检查螺栓是否紧固,否则应待修复后方可安装使用。

2) 排烟口与排烟风机应设有联锁装置,当任何一个排烟口开启时,排烟机即能自动启动。

3) 风机启动前,首先要检查风机及管道内有无妨碍转动的物品。

4) 安装后,定期检查风机各部件,以保证风机能随时启动,正常运行。

5) 叶轮旋转方向必须与风筒上的箭头标记一致。

### (2) 风机常见故障分析

1) 振动。风机振动产生的原因很多,可从下述几个方面进行检查:

(A) 叶轮旋转时碰擦外壳。此时会发出异常的声响和激烈的振动,原因是贮运过程中风机机壳或叶轮部件发生变形。

(B) 风机底脚螺栓未紧固。

(C) 叶轮动平衡破坏。原因是安装或贮运过程中转动件或机壳变形。具体原因有以下几种: (a) 叶轮受压变形; (b) 叶轮与轴套间的联接件松动; (c) 吊装不妥导致主轴变形; (d) 电机固定螺栓松动; (e) 选用润滑油不当,轴承损坏。

2) 电机发热。常温下运行一小时后,发现电机温升过高,则可能由下列原因之一造成:

(A) 电机轴承损坏。

(B) 电机轴与风机轮壳安装的形位公差不合技术要求。

(C) 系统阻力过大,电机超负荷运行,风机选配不合理或管路系统的阀门未打开。

(D) 电源电压过低。

### (3) 防、排烟通风机的选用

排烟风机的风量和风压的确定方法见第 2 章。

防、排烟通风机可采用普通钢制离心通风机，如 4-72 型、T4-72 型、4-68 型等。排烟风机也可采用消防排烟专用轴流风机，如 HTF 系列，GYF 系列等。以下介绍几种排烟风机的型号规格和性能，以便于选用。

#### (4) 消防排烟风机

##### 1) XGPF 系列消防高温排烟风机。

XGPF 系列消防高温排烟风机具有以下特点：

(A) 具有良好的耐温性能。能在 400℃ 高温条件下连续运行 100min，在 100℃ 的条件下连续长期运行。

(B) 适用范围广。该风机可分别配用单速或双速电动机，以达到一机两用（即平时排风和消防时高温排烟）目的。

(C) 效率高。该风机采用多目标优化设计，风机效率为 80%~85%，效率曲线较为平坦，有利于风机运行节能。

XGPF 系列消防高温排烟风机的性能参数见表 3-11，表 3-12。

##### 2) SP4-79 型双速节能排烟离心通风机。

SP4-79 型双速节能排烟离心通风机由 4-79 型离心式风机及配用的 YDT 型变级多速三相异步电机构成。它既保留了原有风机空气动力性能优良、效率高、噪声低的特点，又具有调速功能，适用于要求风量在较大范围内进行调节的系统。有利于风机运行节能。该风机长期运行温度不得超过 80℃，在火灾排烟时，在 30min 以内，可在 280℃ 下运行。

该风机设计了三种转速比（低转速与高转速之比），分别为 1:1.33、1:1.51 和 1:2。

SP4-79 型风机的基本性能参数见表 3-13。

##### 3) XGZ (HTF) 系列消防高温排烟机。

XGZ (HTF) 系列消防高温排烟风机适用于高层建筑、地下建筑及隧道、烘房等通风换气或高温排烟。能在 300℃ 高温条件下连续运转 60min 以上，介质 100℃ 条件下连续运行 20 小时/次。

靖江市孤山志坚空调风机厂生产的 XGZ (HTF) 系列消防高温排烟风机分类如下：

型号：XGZ-I (HTF-I) 型为单速高温排烟风机；XGZ-II (HTF-II) 型为双速高温排烟风机，可以一机两用（即平时通风及高温排烟）。性能和外形尺寸见表 3-14~表 3-17，HTF (XGZ) 消防排烟风机外形见图 3-11。图 3-12 为 XGZ-II (HTF-II) 型（双速）排烟风机电路控制原理图。

##### 4) GYF 消防排烟轴流风机。

GYF 消防排烟轴流风机在烟气温度为 280℃ 时，可连续运行 30min 以上，≤150℃ 可长时间连续运行。可配单速或双速电机，满足平时排风和消防时高温排烟的目的。北京明力西蒙制冷设备有限公司生产的 GYF 系列消防排烟风机共有 6 种规格，单速消防排烟风机有 I、II、III 型，双速消防排烟风机有 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub> 型。为降低风机噪声可采用与风机配套的消声器连体装置。风机可立式、卧式和吊式安装。在用于立式屋顶风机时，可装设消声、防雨、防尘的风帽，并可安装自垂百叶，改善噪声高、杂物混入的不良状况。卧式外形见图 3-13。表 3-18~表 3-19 为 GYF 消防排烟轴流风机外形尺寸，表 3-20~表 3-22

为 GYF-I ~GYF-III 消防排烟风机性能, 表 3-23~表 3-25 为 GYF-S 消防排烟风机性能。

XGPE-I 型消防高温排烟专用风机性能参数

表 3-11

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 工况点序号<br>(No) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 全 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量<br>(kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|---------------|----------------------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 5   | 500          | 1             | 9824                       | 510         | 2900           | 3            | ≤28              | 110         |
|     |              | 2             | 9544                       | 552         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 8861                       | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 8040                       | 680         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 6817                       | 752         |                |              |                  |             |
| 6   | 600          | 1             | 16090                      | 510         | 2900           | 5.5          | ≤28              | 164         |
|     |              | 2             | 15178                      | 552         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 15102                      | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 14302                      | 680         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 13197                      | 752         |                |              |                  |             |
| 7   | 700          | 1             | 24380                      | 610         | 1450           | 7.5          | ≤28              | 208         |
|     |              | 2             | 23570                      | 630         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 22439                      | 655         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 20784                      | 676         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 18908                      | 720         |                |              |                  |             |
| 8   | 800          | 1             | 31421                      | 582         | 1450           | 7.5          | ≤28              | 216         |
|     |              | 2             | 30364                      | 600         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 39172                      | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 28598                      | 615         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 27071                      | 623         |                |              |                  |             |
| 9   | 900          | 1             | 33510                      | 562         | 1450           | 11           | ≤28              | 250         |
|     |              | 2             | 32961                      | 600         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 32297                      | 668         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 30350                      | 774         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 27513                      | 840         |                |              |                  |             |
| 10  | 1000         | 1             | 45697                      | 397         | 1450           | 11           | ≤28              | 300         |
|     |              | 2             | 45065                      | 435         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 43646                      | 490         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 41248                      | 585         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 36279                      | 640         |                |              |                  |             |
| 11  | 1100         | 1             | 51552                      | 580         | 960            | 15           | ≤28              | 380         |
|     |              | 2             | 50913                      | 606         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 50387                      | 647         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 50203                      | 654         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 49648                      | 688         |                |              |                  |             |
| 12  | 1200         | 1             | 62763                      | 624         | 960            | 22           | ≤28              | 480         |
|     |              | 2             | 62280                      | 670         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 60510                      | 700         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 59336                      | 721         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 57748                      | 723         |                |              |                  |             |
| 13  | 1300         | 1             | 74708                      | 624         | 960            | 22           | ≤28              | 520         |
|     |              | 2             | 70000                      | 670         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 65370                      | 710         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 60701                      | 759         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 56031                      | 807         |                |              |                  |             |

续表

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 工况点序号<br>(No) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 全 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量<br>(kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|---------------|----------------------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 15  | 1500         | 1             | 101389                     | 623         | 960            | 22           | ≤28              | 650         |
|     |              | 2             | 95000                      | 600         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 88715                      | 682         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 82378                      | 777         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 76041                      | 819         |                |              |                  |             |

XGPE-Ⅱ型消防高温排烟风机配用双速电机的性能参数

表 3-12

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 工况点序号<br>(No) | 风 量<br>(m³/h) | 全 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量<br>(kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|---------------|---------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 5   | 500          | 1             | 9824          | 510         | 2900           | 2.5/3        | ≤80              | 115         |
|     |              | 2             | 9544          | 552         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 8861          | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 8040          | 680         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 6817          | 752         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 4912          | 127         | 1450           |              | ≤75              |             |
|     |              | 2             | 4772          | 138         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 4431          | 153         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 4020          | 170         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 3410          | 188         |                |              |                  |             |
| 6   | 600          | 1             | 16090         | 510         | 2900           | 4.5/5.5      | ≤86              | 165         |
|     |              | 2             | 15718         | 552         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 15102         | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 14302         | 680         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 13197         | 752         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 8045          | 127         | 1450           |              | ≤72              |             |
|     |              | 2             | 7859          | 138         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 7551          | 153         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 7151          | 170         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 6599          | 188         |                |              |                  |             |
| 7   | 700          | 1             | 24380         | 610         | 1450           | 6.5/8        | ≤88              | 218         |
|     |              | 2             | 23570         | 630         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 22439         | 655         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 20784         | 676         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 18908         | 720         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 16141         | 267         | 960            |              | ≤80              |             |
|     |              | 2             | 15605         | 276         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 14856         | 287         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 13760         | 296         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 12518         | 316         |                |              |                  |             |

续表

| 型 号 | 叶 轮 直 径<br>(mm) | 工 况 点 序 号<br>(No) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 全 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装 机 容 量<br>(kW) | A 声 级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|
| 8   | 800             | 1                 | 31421                      | 624         | 1450           | 6.5/8           | ≤89               | 226         |
|     |                 | 2                 | 30364                      | 670         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 29172                      | 700         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 28598                      | 721         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 27071                      | 732         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 1                 | 20800                      | 255         | 960            | ≤80             |                   |             |
|     |                 | 2                 | 20103                      | 263         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 19314                      | 267         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 18934                      | 269         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 17923                      | 273         |                |                 |                   |             |
| 9   | 900             | 1                 | 33510                      | 562         | 1450           | 9/11            | ≤90               | 250         |
|     |                 | 2                 | 32961                      | 600         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 32297                      | 668         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 30850                      | 774         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 27513                      | 840         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 1                 | 22186                      | 246         | 960            | ≤81             |                   |             |
|     |                 | 2                 | 21822                      | 263         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 21383                      | 293         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 20425                      | 336         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 18216                      | 368         |                |                 |                   |             |
| 10  | 1000            | 1                 | 45697                      | 397         | 1450           | 9/11            | ≤88               | 305         |
|     |                 | 2                 | 45065                      | 435         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 43646                      | 490         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 41248                      | 585         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 36279                      | 640         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 1                 | 30255                      | 174         | 960            | ≤80             |                   |             |
|     |                 | 2                 | 29836                      | 191         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 28896                      | 215         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 27309                      | 256         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 24019                      | 281         |                |                 |                   |             |
| 11  | 1100            | 1                 | 51552                      | 580         | 960            | 8/17            | ≤92               | 390         |
|     |                 | 2                 | 50913                      | 606         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 50378                      | 647         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 50203                      | 654         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 49648                      | 688         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 1                 | 38664                      | 326         | 720            | ≤83             |                   |             |
|     |                 | 2                 | 38185                      | 341         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 3                 | 37784                      | 364         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 4                 | 37652                      | 368         |                |                 |                   |             |
|     |                 | 5                 | 37235                      | 387         |                |                 |                   |             |

续表

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 工况点序号<br>(No) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 全 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量<br>(kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|---------------|----------------------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 12  | 1200         | 1             | 62763                      | 624         | 960            | 10/20        | ≤93              | 485         |
|     |              | 2             | 62280                      | 670         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 60510                      | 700         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 59336                      | 721         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 57748                      | 732         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 47072                      | 351         | 720            | ≤83.5        |                  |             |
|     |              | 2             | 46710                      | 376         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 45382                      | 394         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 44502                      | 405         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 43311                      | 412         |                |              |                  |             |
| 13  | 1300         | 1             | 74708                      | 600         | 960            | 10/20        | ≤94              | 525         |
|     |              | 2             | 70000                      | 660         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 65370                      | 710         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 60701                      | 759         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 56031                      | 807         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 56031                      | 338         | 720            | ≤84.5        |                  |             |
|     |              | 2             | 52500                      | 371         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 49027                      | 399         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 45526                      | 437         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 42023                      | 454         |                |              |                  |             |
| 15  | 1500         | 1             | 101389                     | 623         | 960            | 12/25        | ≤95              | 625         |
|     |              | 2             | 95000                      | 682         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 88715                      | 730         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 82378                      | 777         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 76041                      | 819         |                |              |                  |             |
|     |              | 1             | 76042                      | 350         | 720            | ≤85          |                  |             |
|     |              | 2             | 71250                      | 384         |                |              |                  |             |
|     |              | 3             | 66536                      | 411         |                |              |                  |             |
|     |              | 4             | 61783                      | 437         |                |              |                  |             |
|     |              | 5             | 57031                      | 461         |                |              |                  |             |

SP4-79 型双速节能排烟离心通风机性能

表 3-13

| 型 号     | 低 速 工 况        |                            |             |               | 高 速 工 况        |                            |             |               |
|---------|----------------|----------------------------|-------------|---------------|----------------|----------------------------|-------------|---------------|
|         | 转 速<br>(r/min) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 风 压<br>(Pa) | 电动机功率<br>(kW) | 转 速<br>(r/min) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 风 压<br>(Pa) | 电动机功率<br>(kW) |
| No. 7C  | 690~1780       | 6000~30000                 | 220~2500    | 1.5~8         | 1030~1860      | 8000~31000                 | 500~2700    | 4.5~24        |
| No. 8C  | 620~1180       | 8300~25500                 | 230~1180    | 2~15          | 930~1590       | 12500~31000                | 510~2500    | 6~30          |
| No. 10E | 490~880        | 14500~42900                | 260~1220    | 3.7~18        | 980~1170       | 20100~61900                | 490~2530    | 8~47          |
| No. 12E | 430~750        | 22000~63200                | 280~1270    | 4.5~27        | 650~990        | 37000~83400                | 820~2200    | 10~60         |
| No. 14E | 340~590        | 27600~78800                | 240~1080    | 5.5~27        | 450~780        | 36500~104200               | 420~1880    | 12~60         |

HTF-I 型消防排烟机性能

表 3-14

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 静 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量<br>(kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|----------------------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 5   | 500          | 9824                       | 510         | 2900           | 3            | ≤80              | 110         |
|     |              | 8861                       | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 6871                       | 752         |                |              |                  |             |
| 5.5 | 550          | 12000                      | 592         | 2900           | 4            | ≤86              | 115         |
| 6   | 600          | 16090                      | 510         | 2900           | 5.5          | ≤86              | 164         |
|     |              | 15102                      | 610         |                |              |                  |             |
|     |              | 13197                      | 760         |                |              |                  |             |
| 6.5 | 650          | 18000                      | 620         | 1450           | 5.5          | ≤88              | 170         |
| 7   | 700          | 24380                      | 610         | 1450           | 7.5          | ≤88              | 208         |
|     |              | 22439                      | 655         |                |              |                  |             |
|     |              | 18908                      | 728         |                |              |                  |             |
| 8   | 800          | 31421                      | 600         | 1450           | 7.5          | ≤89              | 216         |
|     |              | 29172                      | 661         |                |              |                  |             |
|     |              | 26012                      | 723         |                |              |                  |             |
| 9   | 900          | 33510                      | 562         | 1450           | 11           | ≤90              | 250         |
|     |              | 32297                      | 668         |                |              |                  |             |
|     |              | 27513                      | 840         |                |              |                  |             |
| 10  | 1000         | 45679                      | 630         | 1450           | 11           | ≤90              | 300         |
|     |              | 40000                      | 690         |                |              |                  |             |
|     |              | 35000                      | 770         |                |              |                  |             |
| 11  | 1100         | 51552                      | 580         | 960            | 15           | ≤92              | 380         |
|     |              | 50128                      | 647         |                |              |                  |             |
|     |              | 48500                      | 690         |                |              |                  |             |
| 12  | 1200         | 62763                      | 624         | 960            | 18.5         | ≤93              | 480         |
|     |              | 59300                      | 680         |                |              |                  |             |
|     |              | 57748                      | 740         |                |              |                  |             |
| 13  | 1300         | 74708                      | 600         | 960            | 18.5         | ≤94              | 520         |
|     |              | 65370                      | 710         |                |              |                  |             |
|     |              | 56031                      | 807         |                |              |                  |             |
| 15  | 1500         | 93800                      | 623         | 960            | 22           | ≤96              | 650         |
|     |              | 86115                      | 710         |                |              |                  |             |
|     |              | 76041                      | 819         |                |              |                  |             |

HTF-Ⅰ型消防排烟机性能

表 3-15

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 静 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量 (kW)<br>实耗功率 (kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|----------------------------|-------------|----------------|------------------------|------------------|-------------|
| 5   | 500          | 9824                       | 510         | 2900           | 3<br>2.5               | ≤80              | 115         |
|     |              | 8861                       | 610         |                |                        |                  |             |
|     |              | 6817                       | 720         |                |                        |                  |             |
| 5   | 500          | 4912                       | 127         | 1450           | 2.5<br>0.3             | ≤75              | 115         |
|     |              | 4431                       | 153         |                |                        |                  |             |
|     |              | 3410                       | 188         |                |                        |                  |             |
| 6   | 600          | 16090                      | 510         | 2900           | 5.5<br>4.7             | ≤86              | 165         |
|     |              | 15102                      | 610         |                |                        |                  |             |
|     |              | 13197                      | 760         |                |                        |                  |             |
| 6   | 600          | 8045                       | 127         | 1450           | 4.5<br>0.6             | ≤75              | 165         |
|     |              | 7551                       | 153         |                |                        |                  |             |
|     |              | 6599                       | 190         |                |                        |                  |             |
| 7   | 700          | 24380                      | 610         | 1450           | 8<br>7                 | ≤88              | 218         |
|     |              | 22439                      | 655         |                |                        |                  |             |
|     |              | 18908                      | 728         |                |                        |                  |             |
| 7   | 700          | 16141                      | 267         | 960            | 6.5<br>2               | ≤80              | 218         |
|     |              | 14856                      | 287         |                |                        |                  |             |
|     |              | 12518                      | 319         |                |                        |                  |             |
| 8   | 800          | 31421                      | 600         | 1450           | 8<br>7.1               | ≤89              | 226         |
|     |              | 29172                      | 661         |                |                        |                  |             |
|     |              | 26012                      | 723         |                |                        |                  |             |
| 8   | 800          | 20800                      | 263         | 960            | 6.5<br>4.1             | ≤80              | 226         |
|     |              | 19314                      | 290         |                |                        |                  |             |
|     |              | 17222                      | 317         |                |                        |                  |             |
| 9   | 900          | 33510                      | 562         | 1450           | 11<br>10.4             | ≤90              | 250         |
|     |              | 32297                      | 668         |                |                        |                  |             |
|     |              | 27513                      | 840         |                |                        |                  |             |
| 9   | 900          | 22186                      | 246         | 960            | 9<br>6.8               | ≤81              | 250         |
|     |              | 21383                      | 293         |                |                        |                  |             |
|     |              | 18216                      | 368         |                |                        |                  |             |
| 10  | 1000         | 45679                      | 630         | 1450           | 11<br>10.5             | ≤88              | 305         |
|     |              | 40000                      | 690         |                |                        |                  |             |
|     |              | 35000                      | 770         |                |                        |                  |             |

续表

| 型 号 | 叶轮直径<br>(mm) | 风 量<br>(m <sup>3</sup> /h) | 静 压<br>(Pa) | 转 速<br>(r/min) | 装机容量 (kW)<br>实耗功率 (kW) | A 声级<br>[dB (A)] | 重 量<br>(kg) |
|-----|--------------|----------------------------|-------------|----------------|------------------------|------------------|-------------|
| 10  | 1000         | 30255                      | 276         | 960            | 9<br>6.9               | ≤80              | 305         |
|     |              | 26483                      | 302         |                |                        |                  |             |
|     |              | 24019                      | 338         |                |                        |                  |             |
| 11  | 1100         | 51552                      | 580         | 960            | 17<br>14.5             | ≤92              | 390         |
|     |              | 50128                      | 647         |                |                        |                  |             |
|     |              | 48500                      | 690         |                |                        |                  |             |
| 11  | 1100         | 38664                      | 326         | 720            | 8<br>6.1               | ≤83              | 390         |
|     |              | 37594                      | 364         |                |                        |                  |             |
|     |              | 36375                      | 387         |                |                        |                  |             |
| 12  | 1200         | 62763                      | 624         | 960            | 17<br>15               | ≤93              | 485         |
|     |              | 59300                      | 680         |                |                        |                  |             |
|     |              | 55651                      | 740         |                |                        |                  |             |
| 12  | 1200         | 47072                      | 351         | 720            | 8<br>6.3               | ≤83.5            | 485         |
|     |              | 44475                      | 383         |                |                        |                  |             |
|     |              | 43311                      | 416         |                |                        |                  |             |
| 13  | 1300         | 74708                      | 600         | 960            | 17<br>15               | ≤94              | 525         |
|     |              | 65370                      | 710         |                |                        |                  |             |
|     |              | 56031                      | 807         |                |                        |                  |             |
| 13  | 1300         | 56031                      | 338         | 720            | 8<br>6.3               | ≤84.5            | 525         |
|     |              | 49027                      | 399         |                |                        |                  |             |
|     |              | 42023                      | 454         |                |                        |                  |             |
| 15  | 1500         | 93800                      | 623         | 960            | 25<br>20               | ≤95              | 655         |
|     |              | 86115                      | 710         |                |                        |                  |             |
|     |              | 76041                      | 879         |                |                        |                  |             |
| 15  | 1500         | 70350                      | 350         | 720            | 12<br>8.5              | ≤85              | 655         |
|     |              | 64586                      | 401         |                |                        |                  |             |
|     |              | 57031                      | 461         |                |                        |                  |             |

HTF-I 型消防排烟风机外形尺寸

表 3-16

| 型号  | $D_1$ | $D_2$ | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $L$ | $n\phi_1$ | $4\phi_2$ | $H$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----------|-----|
| 5   | φ592  | φ552  | 381   | 421   | 300   | 400   | 650 | 8-φ10.5   | φ10.5     | 316 |
| 5.5 | φ600  | φ644  | 470   | 510   | 400   | 500   | 680 | 10-φ10.5  | φ15       | 352 |
| 6   | φ692  | φ652  | 541   | 581   | 400   | 500   | 700 | 10-φ10.5  | φ15       | 378 |
| 6.5 | φ700  | φ745  | 571   | 611   | 500   | 600   | 730 | 10-φ10.5  | φ15       | 402 |
| 7   | φ793  | φ753  | 571   | 611   | 500   | 600   | 830 | 10-φ10.5  | φ15       | 428 |

续表

| 型号 | $D_1$       | $D_2$       | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $L$  | $n-\phi_1$     | $4-\phi_2$ | $H$ |
|----|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|----------------|------------|-----|
| 8  | $\phi 893$  | $\phi 853$  | 500   | 560   | 500   | 600   | 790  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 15$  | 487 |
| 9  | $\phi 993$  | $\phi 954$  | 581   | 621   | 600   | 700   | 860  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 19$  | 538 |
| 10 | $\phi 1096$ | $\phi 1056$ | 498   | 558   | 600   | 700   | 900  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 19$  | 600 |
| 11 | $\phi 1218$ | $\phi 1168$ | 740   | 810   | 730   | 790   | 1060 | $14-\phi 10.5$ | $\phi 19$  | 650 |
| 12 | $\phi 1322$ | $\phi 1272$ | 730   | 800   | 870   | 930   | 1150 | $14-\phi 10.5$ | $\phi 19$  | 700 |
| 13 | $\phi 1422$ | $\phi 1372$ | 930   | 1000  | 920   | 980   | 1250 | $16-\phi 12.5$ | $\phi 21$  | 750 |
| 15 | $\phi 1622$ | $\phi 1572$ | 980   | 1050  | 1000  | 1100  | 1300 | $18-\phi 14.5$ | $\phi 21$  | 850 |

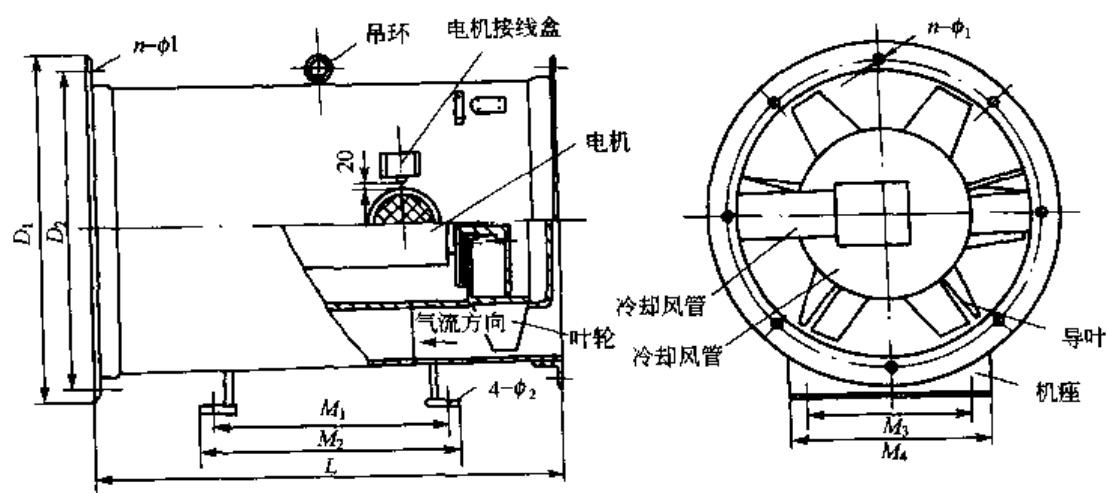


图 3-11 HTF 消防排烟风机外形图

XGZ-I (HTF-II) 型消防排烟风机外形尺寸表 (配双速风机)

表 3-17

| 型号 | $D_1$       | $D_2$       | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $L$  | $n-\phi_1$     | $4-\phi_2$  | $H$ |
|----|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|----------------|-------------|-----|
| 5  | $\phi 592$  | $\phi 552$  | 381   | 421   | 300   | 400   | 650  | $8-\phi 10.5$  | $\phi 10.5$ | 316 |
| 6  | $\phi 692$  | $\phi 652$  | 520   | 560   | 400   | 500   | 730  | $10-\phi 10.5$ | $\phi 15$   | 378 |
| 7  | $\phi 793$  | $\phi 753$  | 670   | 710   | 500   | 600   | 880  | $10-\phi 10.5$ | $\phi 15$   | 428 |
| 8  | $\phi 893$  | $\phi 853$  | 610   | 670   | 500   | 600   | 840  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 15$   | 487 |
| 9  | $\phi 994$  | $\phi 953$  | 670   | 730   | 600   | 700   | 940  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 19$   | 538 |
| 10 | $\phi 1096$ | $\phi 1056$ | 710   | 778   | 600   | 700   | 980  | $12-\phi 10.5$ | $\phi 19$   | 600 |
| 11 | $\phi 1218$ | $\phi 1168$ | 840   | 910   | 730   | 790   | 1160 | $14-\phi 12.5$ | $\phi 19$   | 650 |
| 12 | $\phi 1322$ | $\phi 1272$ | 930   | 1000  | 870   | 930   | 1250 | $14-\phi 12.5$ | $\phi 19$   | 700 |
| 13 | $\phi 1422$ | $\phi 1372$ | 1030  | 1100  | 920   | 980   | 1350 | $16-\phi 12.5$ | $\phi 21$   | 750 |
| 15 | $\phi 1622$ | $\phi 1572$ | 1080  | 1500  | 1000  | 1100  | 1400 | $18-\phi 14.5$ | $\phi 21$   | 850 |

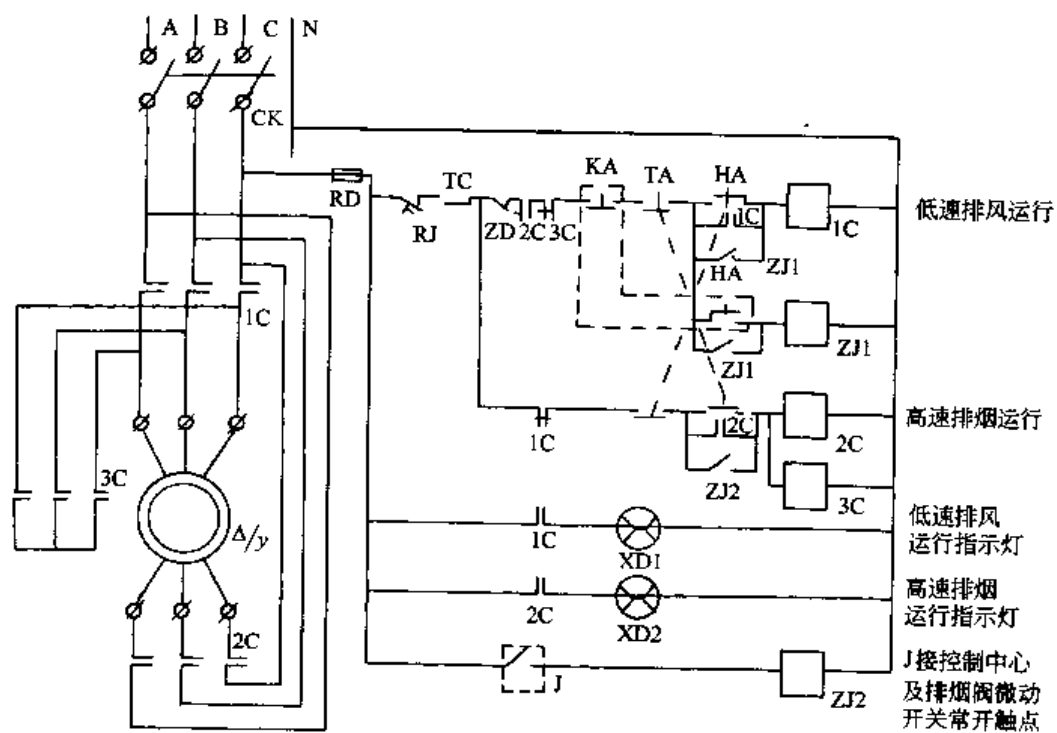


图 3-12 XGZ-II (HTF-II) 型 (双速) 排烟风机电路控制原理图

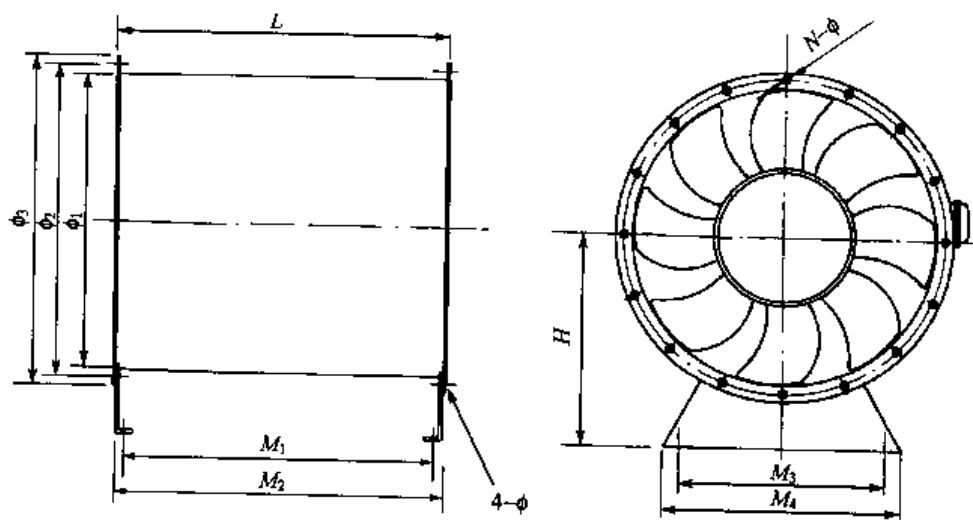


图 3-13 GYF 消防排烟机外形图 (卧式)

GYF-I 消防排烟风机尺寸 单位: mm

表 3-18

| 尺寸<br>机号 | L    | $\phi_1$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | M <sub>4</sub> | 4- $\phi$ | H   | N- $\phi$     |
|----------|------|----------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----|---------------|
| 3.5      | 420  | 352      | 392      | 432      | 356            | 416            | 180            | 280            | 13        | 240 | 8- $\phi$ 12  |
| 4        | 510  | 402      | 442      | 482      | 446            | 506            | 220            | 320            | 13        | 280 | 8- $\phi$ 12  |
| 4.5      | 560  | 452      | 492      | 532      | 496            | 556            | 260            | 360            | 13        | 305 | 8- $\phi$ 12  |
| 5        | 610  | 502      | 542      | 582      | 536            | 606            | 300            | 400            | 15        | 350 | 20- $\phi$ 5  |
| 5.5      | 630  | 552      | 592      | 632      | 554            | 624            | 340            | 440            | 15        | 375 | 20- $\phi$ 6  |
| 6        | 660  | 602      | 642      | 683      | 584            | 654            | 380            | 480            | 17        | 400 | 20- $\phi$ 7  |
| 6.5      | 680  | 652      | 692      | 732      | 604            | 674            | 420            | 520            | 17        | 425 | 20- $\phi$ 8  |
| 7        | 800  | 702      | 747      | 792      | 724            | 794            | 460            | 560            | 17        | 450 | 20- $\phi$ 9  |
| 8        | 870  | 802      | 847      | 892      | 784            | 864            | 540            | 640            | 17        | 500 | 20- $\phi$ 10 |
| 9        | 970  | 902      | 952      | 1002     | 894            | 974            | 620            | 720            | 20        | 550 | 20- $\phi$ 11 |
| 10       | 980  | 1002     | 1052     | 1102     | 892            | 972            | 700            | 800            | 20        | 600 | 20- $\phi$ 12 |
| 11       | 1160 | 1102     | 1157     | 1212     | 1072           | 1152           | 780            | 880            | 20        | 650 | 20- $\phi$ 13 |
| 12       | 1160 | 1202     | 1257     | 1312     | 1072           | 1152           | 860            | 960            | 20        | 700 | 20- $\phi$ 14 |
| 13       | 1310 | 1304     | 1364     | 1424     | 1212           | 1302           | 940            | 1040           | 24        | 800 | 20- $\phi$ 15 |

GYF-II-III-S1-S2-S3 (SWF-C-D-S1-S2-S3) 消防排烟风机尺寸 单位: mm 表 3-19

| 尺寸<br>机号 | L    | $\phi_1$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | M <sub>4</sub> | 4- $\phi$ | H   | N- $\phi$     |
|----------|------|----------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----|---------------|
| 4        | 580  | 402      | 442      | 482      | 526            | 576            | 220            | 320            | 13        | 280 | 8- $\phi$ 12  |
| 4.5      | 600  | 452      | 492      | 532      | 536            | 596            | 260            | 360            | 13        | 305 | 8- $\phi$ 12  |
| 5        | 610  | 502      | 542      | 582      | 536            | 606            | 300            | 400            | 15        | 350 | 12- $\phi$ 12 |
| 5.5      | 690  | 552      | 592      | 632      | 614            | 684            | 340            | 440            | 15        | 375 | 12- $\phi$ 12 |
| 6        | 810  | 602      | 642      | 683      | 734            | 804            | 380            | 480            | 17        | 400 | 12- $\phi$ 12 |
| 6.5      | 840  | 652      | 692      | 732      | 764            | 834            | 420            | 520            | 17        | 425 | 12- $\phi$ 12 |
| 7        | 855  | 702      | 747      | 792      | 779            | 849            | 460            | 560            | 17        | 450 | 16- $\phi$ 12 |
| 8        | 970  | 802      | 847      | 892      | 884            | 964            | 540            | 640            | 17        | 500 | 16- $\phi$ 12 |
| 9        | 1045 | 902      | 952      | 1002     | 959            | 1039           | 620            | 720            | 20        | 550 | 16- $\phi$ 15 |
| 10       | 1160 | 1002     | 1052     | 1102     | 1072           | 1152           | 700            | 800            | 20        | 600 | 16- $\phi$ 15 |
| 11       | 1160 | 1102     | 1157     | 1212     | 1072           | 1152           | 780            | 880            | 20        | 650 | 20- $\phi$ 15 |
| 12       | 1160 | 1202     | 1257     | 1312     | 1072           | 1152           | 860            | 960            | 20        | 700 | 20- $\phi$ 15 |
| 13       | 1400 | 1304     | 1364     | 1424     | 1302           | 1392           | 940            | 1040           | 20        | 800 | 20- $\phi$ 15 |

GYF-I 消防排烟风机性能参数表

表 3-20

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率<br>(kW)  | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|-----------|---------|-------------|----------------|------------|
| 3.5 I     | 2900          | 1  | 3773      | 173     | 1.1 Y80Z-2  | 79             | 59         |
|           |               | 2  | 3444      | 317     |             |                |            |
|           |               | 3  | 3080      | 440     |             |                |            |
|           |               | 4  | 2668      | 538     |             |                |            |
|           |               | 5  | 1886      | 583     |             |                |            |
| 4 I       | 2900          | 1  | 6162      | 372     | 1.5 Y90S-2  | 85             | 69         |
|           |               | 2  | 5866      | 426     |             |                |            |
|           |               | 3  | 5466      | 492     |             |                |            |
|           |               | 4  | 4748      | 557     |             |                |            |
|           |               | 5  | 3927      | 601     |             |                |            |
| 4.5 I     | 2900          | 1  | 8677      | 436     | 2.2 Y90L-2  | 88             | 74         |
|           |               | 2  | 7821      | 543     |             |                |            |
|           |               | 3  | 6860      | 650     |             |                |            |
|           |               | 4  | 6136      | 698     |             |                |            |
|           |               | 5  | 4850      | 745     |             |                |            |
| 5 I       | 2900          | 1  | 9548      | 474     | 3 100L-2    | 88             | 94         |
|           |               | 2  | 8636      | 531     |             |                |            |
|           |               | 3  | 8204      | 577     |             |                |            |
|           |               | 4  | 7685      | 615     |             |                |            |
|           |               | 5  | 2910      | 1048    |             |                |            |
| 5.5 I     | 2900          | 1  | 12710     | 402     | 4 Y112M-2   | 88             | 112        |
|           |               | 2  | 11369     | 489     |             |                |            |
|           |               | 3  | 8987      | 809     |             |                |            |
|           |               | 4  | 6962      | 959     |             |                |            |
|           |               | 5  | 4020      | 1175    |             |                |            |
| 6 I       | 2900          | 1  | 16275     | 476     | 5.5 Y132S-2 | 92             | 168        |
|           |               | 2  | 15004     | 703     |             |                |            |
|           |               | 3  | 12607     | 954     |             |                |            |
|           |               | 4  | 9629      | 1100    |             |                |            |
|           |               | 5  | 7277      | 1150    |             |                |            |
| 6.5 I     | 1450          | 1  | 19143     | 412     | 4 Y112M-4   | 83             | 168        |
|           |               | 2  | 17773     | 466     |             |                |            |
|           |               | 3  | 16673     | 512     |             |                |            |
|           |               | 4  | 15494     | 564     |             |                |            |
|           |               | 5  | 14217     | 637     |             |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率<br>(kW)                 | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|------------------------|---------|----------------------------|----------------|------------|
| 7 I       | 1450          | 1  | 24442                  | 552     | 5.5 Y132S-4                | 87             | 201        |
|           |               | 2  | 23186                  | 603     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 21402                  | 669     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 19450                  | 721     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 17281                  | 756     |                            |                |            |
| 8 I       | 1450          | 1  | 31471                  | 548     | 7.5 Y132M-4                | 86             | 250        |
|           |               | 2  | 29600                  | 626     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 27599                  | 704     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 24688                  | 774     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 19515                  | 842     |                            |                |            |
| 9 I       | 1450          | 1  | 39022                  | 506     | 11 Y160M-4                 | 88             | 380        |
|           |               | 2  | 35810                  | 650     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 31012                  | 814     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 25319                  | 884     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 18953                  | 973     |                            |                |            |
| 10 I      | 960           | 1  | 45545                  | 486     | 160L-6                     | 86             | 452        |
|           |               | 2  | 42469                  | 538     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 37985                  | 595     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 34238                  | 647     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 28490                  | 700     |                            |                |            |
| 11 I      | 960           | 1  | 54958                  | 471     | 15 Y180L-6                 | 88             | 531        |
|           |               | 2  | 51823                  | 517     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 48326                  | 582     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 43229                  | 640     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 34170                  | 725     |                            |                |            |
| 12 I      | 960           | 1  | 64525                  | 476     | 15 Y180L-6                 | 91             | 575        |
|           |               | 2  | 58648                  | 622     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 50158                  | 750     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 42550                  | 806     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 26902                  | 850     |                            |                |            |
| 13 I      | 960           | 1  | 75336                  | 454     | 18.5 Y200L <sub>1</sub> -6 | 93             | 796        |
|           |               | 2  | 64654                  | 655     |                            |                |            |
|           |               | 3  | 51843                  | 777     |                            |                |            |
|           |               | 4  | 34561                  | 820     |                            |                |            |
|           |               | 5  | 17280                  | 904     |                            |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率<br>(kW)               | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|------------------------|---------|--------------------------|----------------|------------|
| 14 I      | 960           | 1  | 87087                  | 481     | 22 Y200L <sub>2</sub> -6 | 92             | 846        |
|           |               | 2  | 76161                  | 658     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 63363                  | 811     |                          |                |            |
|           |               | 4  | 51737                  | 841     |                          |                |            |
|           |               | 5  | 29872                  | 972     |                          |                |            |
| 16 I      | 720           | 1  | 116768                 | 530     | 30 Y250M-8               | 94             | 1238       |
|           |               | 2  | 109226                 | 619     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 98275                  | 716     |                          |                |            |
|           |               | 4  | 85938                  | 796     |                          |                |            |
|           |               | 5  | 71505                  | 843     |                          |                |            |

GYF- II 消防排烟风机性能参数表

表 3-21

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                  | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|------------------------|---------|--------------------------|----------------|------------|
| 4 II      | 2900          | 1  | 7260                   | 490     | 2.2 901-2                | 86             | 69         |
|           |               | 2  | 6845                   | 651     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 6403                   | 803     |                          |                |            |
|           |               | 4  | 5928                   | 903     |                          |                |            |
|           |               | 5  | 5134                   | 1012    |                          |                |            |
| 4.5 II    | 2900          | 1  | 9897                   | 556     | 3 100L-2                 | 86             | 90         |
|           |               | 2  | 9164                   | 760     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 8365                   | 927     |                          |                |            |
|           |               | 4  | 7483                   | 1023    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 6480                   | 1089    |                          |                |            |
| 5 II      | 2900          | 1  | 12083                  | 498     | 4 112M-2                 | 87             | 109        |
|           |               | 2  | 11249                  | 659     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 9360                   | 1008    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 6976                   | 1152    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 3120                   | 1286    |                          |                |            |
| 5.5 II    | 2900          | 1  | 17656                  | 839     | 7.5 132S <sub>2</sub> -2 | 90             | 154        |
|           |               | 2  | 15794                  | 1165    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 13676                  | 1398    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 11167                  | 1522    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 7897                   | 1580    |                          |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                 | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|-----------|---------|-------------------------|----------------|------------|
| 6 II      | 2900          | 1  | 20829     | 747     | 11 160M <sub>1</sub> -2 | 93             | 225        |
|           |               | 2  | 19392     | 989     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 16134     | 1512    |                         |                |            |
|           |               | 4  | 12025     | 1729    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 8397      | 1930    |                         |                |            |
| 6.5 II    | 2900          | 1  | 25893     | 877     | 15 160L <sub>2</sub> -2 | 93             | 245        |
|           |               | 2  | 24106     | 1162    |                         |                |            |
|           |               | 3  | 20056     | 1776    |                         |                |            |
|           |               | 4  | 14949     | 2031    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 11755     | 2266    |                         |                |            |
| 7 II      | 1450          | 1  | 26251     | 654     | 11 160M-4               | 89             | 271        |
|           |               | 2  | 24438     | 781     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 22985     | 852     |                         |                |            |
|           |               | 4  | 21432     | 915     |                         |                |            |
|           |               | 5  | 19761     | 945     |                         |                |            |
| 8 II      | 1450          | 1  | 36356     | 745     | 15 160L-4               | 93             | 353        |
|           |               | 2  | 33444     | 924     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 30249     | 1146    |                         |                |            |
|           |               | 4  | 27615     | 1241    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 24699     | 1304    |                         |                |            |
| 9 II      | 1450          | 1  | 45424     | 732     | 15 160L-4               | 91             | 396        |
|           |               | 2  | 41684     | 896     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 37574     | 1088    |                         |                |            |
|           |               | 4  | 34558     | 1156    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 29475     | 1207    |                         |                |            |
| 10 II     | 1450          | 1  | 55569     | 687     | 18.5 180M-4             | 91             | 444        |
|           |               | 2  | 51733     | 824     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 47588     | 942     |                         |                |            |
|           |               | 4  | 43043     | 1112    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 35145     | 1192    |                         |                |            |
| 11 II     | 960           | 1  | 64085     | 610     | 22 200L <sub>2</sub> -6 | 94             | 631        |
|           |               | 2  | 58950     | 757     |                         |                |            |
|           |               | 3  | 53323     | 940     |                         |                |            |
|           |               | 4  | 48677     | 1017    |                         |                |            |
|           |               | 5  | 43537     | 1068    |                         |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)   | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|-----------|---------|-----------|----------------|------------|
| 12 II     | 960           | 1  | 74567     | 625     | 30 225M-6 | 94             | 735        |
|           |               | 2  | 69290     | 866     |           |                |            |
|           |               | 3  | 63530     | 1023    |           |                |            |
|           |               | 4  | 57313     | 1169    |           |                |            |
|           |               | 5  | 50266     | 1240    |           |                |            |
| 13 II     | 960           | 1  | 91915     | 688     | 30 225M-6 | 97             | 989        |
|           |               | 2  | 84347     | 834     |           |                |            |
|           |               | 3  | 76030     | 1024    |           |                |            |
|           |               | 4  | 69937     | 1087    |           |                |            |
|           |               | 5  | 59642     | 1137    |           |                |            |
| 14 II     | 960           | 1  | 114829    | 798     | 45 280S-6 | 98             | 1249       |
|           |               | 2  | 105377    | 977     |           |                |            |
|           |               | 3  | 94925     | 1188    |           |                |            |
|           |               | 4  | 86965     | 1261    |           |                |            |
|           |               | 5  | 74514     | 1381    |           |                |            |

GYF-Ⅲ消防排烟风机性能参数表

表 3-22

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)    | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|-----------|---------|------------|----------------|------------|
| 3.5 III   | 2900          | 1  | 5412      | 723     | 2.2 90L-2  | 79             | 65         |
|           |               | 2  | 5038      | 782     |            |                |            |
|           |               | 3  | 4678      | 886     |            |                |            |
|           |               | 4  | 4056      | 958     |            |                |            |
|           |               | 5  | 3642      | 1035    |            |                |            |
| 4 III     | 2900          | 1  | 7865      | 903     | 4 112M-2   | 86             | 78         |
|           |               | 2  | 7012      | 1124    |            |                |            |
|           |               | 3  | 6256      | 1187    |            |                |            |
|           |               | 4  | 5424      | 1272    |            |                |            |
|           |               | 5  | 4657      | 1321    |            |                |            |
| 4.5 III   | 2900          | 1  | 9521      | 910     | 2.2 Y90L-2 | 88             | 82         |
|           |               | 2  | 8510      | 1012    |            |                |            |
|           |               | 3  | 7642      | 1097    |            |                |            |
|           |               | 4  | 6760      | 1170    |            |                |            |
|           |               | 5  | 5853      | 1246    |            |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                  | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|------------------------|---------|--------------------------|----------------|------------|
| 5Ⅲ        | 2900          | 1  | 12985                  | 803     | 5.5 132S <sub>1</sub> -2 | 88             | 128        |
|           |               | 2  | 11810                  | 942     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 10620                  | 1080    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 8992                   | 1211    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 7358                   | 1338    |                          |                |            |
| 5.5Ⅲ      | 2900          | 1  | 17120                  | 849     | 7.5 132S <sub>2</sub> -2 | 87             | 145        |
|           |               | 2  | 15570                  | 974     |                          |                |            |
|           |               | 3  | 14050                  | 1098    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 12835                  | 1264    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 11620                  | 1430    |                          |                |            |
| 6Ⅲ        | 2900          | 1  | 20840                  | 950     | 7.5 132S <sub>2</sub> -2 | 88             | 170        |
|           |               | 2  | 19360                  | 1004    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 17880                  | 1060    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 16740                  | 1125    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 15620                  | 1188    |                          |                |            |
| 6.5Ⅲ      | 2900          | 1  | 26480                  | 974     | 11 160S <sub>1</sub> -2  | 89             | 185        |
|           |               | 2  | 24230                  | 1087    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 21990                  | 1198    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 19840                  | 1264    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 17680                  | 1320    |                          |                |            |
| 7Ⅲ        | 1450          | 1  | 25720                  | 1088    | 15 160L-4                | 82             | 280        |
|           |               | 2  | 24700                  | 1147    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 23730                  | 1202    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 21740                  | 1278    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 19680                  | 1349    |                          |                |            |
| 8Ⅲ        | 1450          | 1  | 37820                  | 980     | 15 160L-4                | 89             | 380        |
|           |               | 2  | 36500                  | 1092    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 35130                  | 1203    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 31730                  | 1326    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 28320                  | 1450    |                          |                |            |
| 9Ⅲ        | 1450          | 1  | 44400                  | 1098    | 18.5 180M-4              | 89             | 350        |
|           |               | 2  | 42960                  | 1155    |                          |                |            |
|           |               | 3  | 41520                  | 1214    |                          |                |            |
|           |               | 4  | 39040                  | 1342    |                          |                |            |
|           |               | 5  | 36550                  | 1468    |                          |                |            |

续表

| 机号<br>No. | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)   | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------|---------------|----|------------------------|---------|-----------|----------------|------------|
| 10Ⅲ       | 1450          | 1  | 54080                  | 948     | 22 180L-4 | 91             | 480        |
|           |               | 2  | 51900                  | 1077    |           |                |            |
|           |               | 3  | 49710                  | 1204    |           |                |            |
|           |               | 4  | 45240                  | 1346    |           |                |            |
|           |               | 5  | 40750                  | 1485    |           |                |            |
| 11Ⅲ       | 1450          | 1  | 60120                  | 1098    | 30 200L-4 | 92             | 680        |
|           |               | 2  | 57200                  | 1195    |           |                |            |
|           |               | 3  | 54290                  | 1290    |           |                |            |
|           |               | 4  | 51400                  | 1366    |           |                |            |
|           |               | 5  | 48530                  | 1441    |           |                |            |
| 12Ⅲ       | 960           | 1  | 70230                  | 1150    | 30 225M-6 | 93             | 750        |
|           |               | 2  | 63680                  | 1230    |           |                |            |
|           |               | 3  | 57120                  | 1308    |           |                |            |
|           |               | 4  | 51580                  | 1392    |           |                |            |
|           |               | 5  | 46040                  | 1475    |           |                |            |
| 13Ⅲ       | 960           | 1  | 89540                  | 984     | 37 250M-6 | 94             | 1060       |
|           |               | 2  | 80120                  | 1102    |           |                |            |
|           |               | 3  | 70650                  | 1220    |           |                |            |
|           |               | 4  | 63760                  | 1362    |           |                |            |
|           |               | 5  | 56850                  | 1505    |           |                |            |
| 14Ⅲ       | 960           | 1  | 94650                  | 879     | 37 250M-6 | 95             | 1250       |
|           |               | 2  | 83680                  | 1036    |           |                |            |
|           |               | 3  | 72700                  | 1194    |           |                |            |
|           |               | 4  | 60920                  | 1268    |           |                |            |
|           |               | 5  | 49140                  | 1342    |           |                |            |
| 16Ⅲ       | 720           | 1  | 116500                 | 1012    | 37 250M-6 | 95             | 1450       |
|           |               | 2  | 102920                 | 1191    |           |                |            |
|           |               | 3  | 89410                  | 1372    |           |                |            |
|           |               | 4  | 74930                  | 1457    |           |                |            |
|           |               | 5  | 60430                  | 1543    |           |                |            |

GYF-S<sub>1</sub> 消防排烟风机性能参数表

表 3-23

| 机号              | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                           | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-----------------|---------------|----|-----------|---------|-----------------------------------|----------------|------------|
| 5S <sub>1</sub> | 2900          | 1  | 10287     | 413     | 3.1/0.8<br>100L <sub>2</sub> -2/4 | 88             | 107        |
|                 |               | 2  | 8968      | 605     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 7969      | 703     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 5820      | 850     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 2910      | 1048    |                                   |                |            |
|                 | 1450          | 1  | 5197      | 105     |                                   | 73             |            |
|                 |               | 2  | 4531      | 155     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 4026      | 180     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 2940      | 217     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 1470      | 268     |                                   |                |            |
| 6S <sub>1</sub> | 2900          | 1  | 16275     | 476     | 5.9/1.4<br>132S-2/4               | 92             | 178        |
|                 |               | 2  | 15004     | 703     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 12607     | 954     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 9629      | 1100    |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 7277      | 1150    |                                   |                |            |
|                 | 1450          | 1  | 8138      | 119     |                                   | 78             |            |
|                 |               | 2  | 7502      | 178     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 6304      | 239     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 4815      | 275     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 3639      | 288     |                                   |                |            |
| 7S <sub>1</sub> | 1450          | 1  | 25121     | 583     | 6.7/2.2<br>132M-4/6               | 87             | 214        |
|                 |               | 2  | 23830     | 634     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 21997     | 707     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 19990     | 762     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 17761     | 779     |                                   |                |            |
|                 | 960           | 1  | 16634     | 255     |                                   | 81             |            |
|                 |               | 2  | 15779     | 278     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 14565     | 310     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 13237     | 334     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 11760     | 350     |                                   |                |            |
| 8S <sub>1</sub> | 1450          | 1  | 32345     | 579     | 9.5/3.7<br>160M-4/6               | 86             | 294        |
|                 |               | 2  | 30422     | 661     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 28365     | 744     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 25373     | 818     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 20057     | 889     |                                   |                |            |
|                 | 960           | 1  | 21418     | 254     |                                   | 78             |            |
|                 |               | 2  | 20144     | 290     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 18782     | 326     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 16801     | 359     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 13281     | 390     |                                   |                |            |
| 9S <sub>1</sub> | 1450          | 1  | 39556     | 520     | 12/4<br>160L-4/6                  | 88             | 407        |
|                 |               | 2  | 36300     | 668     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 31437     | 836     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 25666     | 908     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 19076     | 1000    |                                   |                |            |
|                 | 960           | 1  | 26192     | 228     |                                   | 81             |            |
|                 |               | 2  | 24036     | 293     |                                   |                |            |
|                 |               | 3  | 20816     | 367     |                                   |                |            |
|                 |               | 4  | 16996     | 398     |                                   |                |            |
|                 |               | 5  | 16010     | 438     |                                   |                |            |

续表

| 机号               | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                         | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|------------------|---------------|----|------------------------|---------|---------------------------------|----------------|------------|
| 10S <sub>1</sub> | 960           | 1  | 46015                  | 496     | 12/5.5<br>180L-6/8              | 86             | 499        |
|                  |               | 2  | 42907                  | 549     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 38377                  | 607     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 34591                  | 660     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 28784                  | 715     |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 34276                  | 275     |                                 | 80             |            |
|                  |               | 2  | 31961                  | 305     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 28587                  | 337     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 25767                  | 366     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 21441                  | 397     |                                 |                |            |
| 11S <sub>1</sub> | 960           | 1  | 55525                  | 480     | 17/8<br>200L <sub>1</sub> -6/8  | 88             | 622        |
|                  |               | 2  | 52357                  | 527     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 48824                  | 594     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 43675                  | 653     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 34522                  | 740     |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 41360                  | 266     |                                 | 81             |            |
|                  |               | 2  | 39000                  | 292     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 36369                  | 329     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 32533                  | 362     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 25715                  | 411     |                                 |                |            |
| 12S <sub>1</sub> | 960           | 1  | 65190                  | 486     | 17/8<br>200L <sub>1</sub> -6/8  | 91             | 666        |
|                  |               | 2  | 59253                  | 635     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 50675                  | 765     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 42989                  | 823     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 27179                  | 867     |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 48560                  | 269     |                                 | 84             |            |
|                  |               | 2  | 44137                  | 352     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 37747                  | 424     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 32022                  | 456     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 20245                  | 481     |                                 |                |            |
| 13S <sub>1</sub> | 960           | 1  | 76112                  | 463     | 20/10<br>200L <sub>2</sub> -6/8 | 92             | 845        |
|                  |               | 2  | 65320                  | 669     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 52377                  | 793     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 34917                  | 837     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 17458                  | 923     |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 56695                  | 257     |                                 | 84             |            |
|                  |               | 2  | 48657                  | 371     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 39015                  | 440     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 26009                  | 464     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 13004                  | 512     |                                 |                |            |
| 14S <sub>1</sub> | 960           | 1  | 87985                  | 491     | 25/12<br>225M-6/8               | 93             | 915        |
|                  |               | 2  | 76946                  | 672     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 64016                  | 828     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 52270                  | 858     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 30180                  | 992     |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 65540                  | 272     |                                 | 85             |            |
|                  |               | 2  | 57317                  | 373     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 47685                  | 459     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 38963                  | 476     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 22481                  | 550     |                                 |                |            |

GYF-S<sub>2</sub> 消防排烟风机性能参数表

表 3-24

| 机号               | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                           | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|------------------|---------------|----|-----------|---------|-----------------------------------|----------------|------------|
| 6S <sub>2</sub>  | 1450          | 1  | 13359     | 308     | 2.5/0.9<br>100L <sub>2</sub> -4/6 | 81             | 136        |
|                  |               | 2  | 12594     | 406     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 11353     | 537     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 10443     | 580     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 9446      | 636     |                                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 8846      | 135     |                                   | 75             |            |
|                  |               | 2  | 8339      | 178     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 7518      | 235     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 6915      | 254     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 6255      | 279     |                                   |                |            |
| 7S <sub>2</sub>  | 1450          | 1  | 26251     | 654     | 9/3<br>160M-4/6                   | 90             | 270        |
|                  |               | 2  | 24438     | 781     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 22985     | 852     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 21432     | 915     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 19761     | 945     |                                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 17440     | 289     |                                   | 75             |            |
|                  |               | 2  | 16236     | 345     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 15270     | 376     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 14239     | 404     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 13129     | 417     |                                   |                |            |
| 8S <sub>2</sub>  | 1450          | 1  | 36605     | 755     | 17/5.5<br>180L-4/6                | 94             | 399        |
|                  |               | 2  | 33673     | 937     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 30456     | 1162    |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 27804     | 1258    |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 24868     | 1322    |                                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 24403     | 335     |                                   | 86             |            |
|                  |               | 2  | 22448     | 416     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 20304     | 516     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 18536     | 559     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 16578     | 587     |                                   |                |            |
| 9S <sub>2</sub>  | 1450          | 1  | 45735     | 742     | 17/5.5<br>180L-4/6                | 90             | 471        |
|                  |               | 2  | 41969     | 908     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 37831     | 1103    |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 34795     | 1172    |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 29677     | 1224    |                                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 30490     | 330     |                                   | 82             |            |
|                  |               | 2  | 27979     | 403     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 25220     | 490     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 23197     | 521     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 19785     | 544     |                                   |                |            |
| 10S <sub>2</sub> | 1450          | 1  | 60177     | 824     | 24/8<br>200L-4/6                  | 91             | 577        |
|                  |               | 2  | 56632     | 943     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 51870     | 1151    |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 47712     | 1305    |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 40690     | 1389    |                                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 40118     | 366     |                                   | 84             |            |
|                  |               | 2  | 37755     | 419     |                                   |                |            |
|                  |               | 3  | 34580     | 511     |                                   |                |            |
|                  |               | 4  | 31802     | 580     |                                   |                |            |
|                  |               | 5  | 27127     | 617     |                                   |                |            |

续表

| 机号               | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)                         | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|------------------|---------------|----|------------------------|---------|---------------------------------|----------------|------------|
| 11S <sub>2</sub> | 960           | 1  | 64745                  | 622     | 25/12<br>225M-6/8               | 94             | 734        |
|                  |               | 2  | 59537                  | 722     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 53872                  | 999     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 49179                  | 1038    |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 43985                  | 1090    |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 48228                  | 345     |                                 | 86             |            |
|                  |               | 2  | 44364                  | 428     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 40129                  | 532     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 36633                  | 576     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 32764                  | 605     |                                 |                |            |
| 12S <sub>2</sub> | 960           | 1  | 74557                  | 625     | 30/15<br>250M-6/8               | 94             | 965        |
|                  |               | 2  | 69290                  | 866     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 63580                  | 1023    |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 57313                  | 1169    |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 50266                  | 1240    |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 55552                  | 346     |                                 | 86             |            |
|                  |               | 2  | 51621                  | 480     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 47367                  | 567     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 42698                  | 648     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 37448                  | 688     |                                 |                |            |
| 13S <sub>2</sub> | 960           | 1  | 91915                  | 688     | 30/15<br>250M-6/8               | 96             | 1017       |
|                  |               | 2  | 84347                  | 843     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 76030                  | 1024    |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 69937                  | 1087    |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 59642                  | 1137    |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 68467                  | 382     |                                 | 87             |            |
|                  |               | 2  | 62330                  | 467     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 56634                  | 568     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 52096                  | 603     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 44427                  | 630     |                                 |                |            |
| 14S <sub>2</sub> | 960           | 1  | 114829                 | 798     | 45/22<br>280M <sub>1</sub> -6/8 | 96             | 1439       |
|                  |               | 2  | 105377                 | 977     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 94925                  | 1188    |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 86965                  | 1261    |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 74514                  | 1318    |                                 |                |            |
|                  | 720           | 1  | 86707                  | 455     |                                 | 88             |            |
|                  |               | 2  | 79570                  | 557     |                                 |                |            |
|                  |               | 3  | 71678                  | 677     |                                 |                |            |
|                  |               | 4  | 65667                  | 719     |                                 |                |            |
|                  |               | 5  | 56265                  | 751     |                                 |                |            |

GYF-S<sub>3</sub> 消防排烟风机性能参数表

表 3-25

| 机号                | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m <sup>3</sup> /h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)              | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-------------------|---------------|----|------------------------|---------|----------------------|----------------|------------|
| 4S <sub>3</sub>   | 1450          | 1  | 4776                   | 242     | 0.85/0.65<br>90S-4/6 | 72             | 60         |
|                   |               | 2  | 4355                   | 280     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 3933                   | 312     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 3152                   | 338     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 2670                   | 356     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 3162                   | 106     |                      | 65             |            |
|                   |               | 2  | 2883                   | 123     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 2604                   | 137     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 2325                   | 148     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 1767                   | 156     |                      |                |            |
| 4.5S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 6800                   | 307     | 1.1/0.85<br>90L-4/6  | 77             | 70         |
|                   |               | 2  | 6210                   | 355     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 5600                   | 396     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 4400                   | 445     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 3800                   | 450     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 4500                   | 135     |                      | 68             |            |
|                   |               | 2  | 3705                   | 174     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 3310                   | 188     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 2915                   | 195     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 2520                   | 197     |                      |                |            |
| 5S <sub>3</sub>   | 1450          | 1  | 9330                   | 379     | 1.8/1.3<br>100L-4/6  | 80             | 85         |
|                   |               | 2  | 8506                   | 438     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 7681                   | 489     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 6899                   | 529     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 5215                   | 556     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 6176                   | 166     |                      | 72             |            |
|                   |               | 2  | 5631                   | 192     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 5086                   | 214     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 4541                   | 232     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 3451                   | 244     |                      |                |            |
| 5.5S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 12415                  | 459     | 2.2/1.5<br>100L-4/6  | 81             | 105        |
|                   |               | 2  | 11320                  | 530     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 10224                  | 592     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 8033                   | 663     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 6938                   | 672     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 8220                   | 201     |                      | 74             |            |
|                   |               | 2  | 6770                   | 295     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 6044                   | 280     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 5320                   | 291     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 4594                   | 295     |                      |                |            |
| 6S <sub>3</sub>   | 1450          | 1  | 16118                  | 546     | 4/3<br>132S-4/6      | 88             | 150        |
|                   |               | 2  | 14697                  | 631     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 13273                  | 704     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 11852                  | 761     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 9007                   | 801     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 10670                  | 239     |                      | 77             |            |
|                   |               | 2  | 8789                   | 309     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 7847                   | 334     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 6906                   | 346     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 5965                   | 350     |                      |                |            |

续表

续表

| 机号                | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)              | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|-------------------|---------------|----|-----------|---------|----------------------|----------------|------------|
| 6.5S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 20490     | 641     | 5.5/4<br>132M-4/6    | 90             | 200        |
|                   |               | 2  | 18685     | 740     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 15069     | 893     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 13260     | 927     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 11450     | 939     |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 13568     | 281     |                      | 79             |            |
|                   |               | 2  | 12371     | 324     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 9977      | 392     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 8780      | 406     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 7582      | 412     |                      |                |            |
| 7S <sub>3</sub>   | 1450          | 1  | 25600     | 743     | 11/9<br>160L-4/6     | 91             | 270        |
|                   |               | 2  | 21080     | 958     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 18820     | 1036    |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 16560     | 1074    |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 14300     | 1089    |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 16950     | 326     |                      | 82             |            |
|                   |               | 2  | 13960     | 420     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 12460     | 450     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 10965     | 471     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 9470      | 477     |                      |                |            |
| 7.5S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 31480     | 853     | 15/5<br>190M-4/6     | 93             | 335        |
|                   |               | 2  | 28700     | 986     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 25930     | 1100    |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 23150     | 1189    |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 17990     | 1250    |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 20840     | 374     |                      | 84             |            |
|                   |               | 2  | 19000     | 432     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 17165     | 482     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 15330     | 521     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 11650     | 548     |                      |                |            |
| 8S <sub>3</sub>   | 1450          | 1  | 38210     | 970     | 18.5/6.2<br>180L-4/6 | 95             | 400        |
|                   |               | 2  | 34835     | 1122    |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 31460     | 1252    |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 28900     | 1353    |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 21350     | 1422    |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 25295     | 425     |                      | 86             |            |
|                   |               | 2  | 23060     | 492     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 20830     | 549     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 18600     | 593     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 14140     | 622     |                      |                |            |
| 8.5S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 45830     | 1095    | 24/8<br>200L-4/6     | 96             | 450        |
|                   |               | 2  | 37740     | 1413    |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 33695     | 1527    |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 29660     | 1584    |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 25610     | 1606    |                      |                |            |
|                   | 960           | 1  | 30340     | 480     |                      | 87             |            |
|                   |               | 2  | 24985     | 619     |                      |                |            |
|                   |               | 3  | 22310     | 669     |                      |                |            |
|                   |               | 4  | 19630     | 694     |                      |                |            |
|                   |               | 5  | 16955     | 704     |                      |                |            |

续表

| 机号               | 转速<br>(r/min) | 工况 | 风量 (m³/h) | 全压 (Pa) | 功率 (kW)           | 噪声<br>[dB (A)] | 重量<br>(kg) |
|------------------|---------------|----|-----------|---------|-------------------|----------------|------------|
| 9S <sub>3</sub>  | 1450          | 1  | 54400     | 1228    | 30/11<br>225S-4/6 | 96             | 480        |
|                  |               | 2  | 49600     | 1420    |                   |                |            |
|                  |               | 3  | 40000     | 1712    |                   |                |            |
|                  |               | 4  | 35200     | 1776    |                   |                |            |
|                  |               | 5  | 30400     | 1800    |                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 36020     | 538     |                   | 88             |            |
|                  |               | 2  | 32840     | 622     |                   |                |            |
|                  |               | 3  | 26480     | 750     |                   |                |            |
|                  |               | 4  | 23305     | 778     |                   |                |            |
|                  |               | 5  | 21030     | 789     |                   |                |            |
| 10S <sub>3</sub> | 1450          | 1  | 63980     | 1368    | 37/12<br>225M-4/6 | 98             | 580        |
|                  |               | 2  | 58330     | 1582    |                   |                |            |
|                  |               | 3  | 52690     | 1765    |                   |                |            |
|                  |               | 4  | 47040     | 1908    |                   |                |            |
|                  |               | 5  | 41400     | 1979    |                   |                |            |
|                  | 960           | 1  | 42360     | 600     |                   | 90             |            |
|                  |               | 2  | 38620     | 693     |                   |                |            |
|                  |               | 3  | 34880     | 774     |                   |                |            |
|                  |               | 4  | 31145     | 836     |                   |                |            |
|                  |               | 5  | 27410     | 867     |                   |                |            |

## 第4章 地下建筑分类及火灾特点

我国地下建筑工程开始于20世纪50年代,60年代兴建人防公共工程(商店、旅馆、医院、电影院等)、图书馆、档案馆、广播电台的地下建筑日益增多,并且逐渐向大规模、多功能发展,建筑标准越来越高,层数也越来越多。

目前,地下建筑的发展有如下的趋势:

(1) 发展平战结合的地下居住和公共建筑。为适应备战需要,许多国家都在大力发展民防掩蔽所,并加强了掩蔽所平时的开发利用。各国在地下建了不少公共建筑,诸如图书馆、体育馆、餐厅、车库等。并结合地下高速公路网的建设,将商店、车库等都组织在一起,形成了“地下街”。

(2) 发展多功能的地下高速交通网。一些经济发达的国家,多以地铁为骨干,将郊区铁路、高速公路、高架电车等连接起来,形成一个地上、地下、市区、郊区互相连通,可互相转换的四通八达的高速交通网。

(3) 发展节约能源的中小型地下建筑。一些国家开始研究和发展能够节约能源的中小型地下建筑。兴建一些半地下的住宅、办公室等中小型公共建筑。利用地下环境的热稳定性以节省采暖和降温用的能源。

(4) 发展地下公用和服务设施。为了节约土地和防止污染,不少国家在城市建设中大力发展地下公用设施和服务设施,包括各种管道、电缆、污水处理厂、车库、电话交换台等。

(5) 地下建筑的新类型。目前,国外地下建筑领域的研究开发方向开始集中在与能源贮存和节约能源有关的新类型上。建造利用太阳能的独立源住宅、建造在岩石或岩盐中的高压液化气库、低温冻土液化气库,以及把利用风能或太阳能生产的热能贮存在地下的热库等。

但是,地下建筑处在封闭状态,只有内部空间,绝大多数没有与大气直接连通的外窗,与外部连通的孔洞少,而且面积也较小。正因为这样,地下建筑发生火灾时将产生比地上建筑更严重的后果。因此对地下建筑工程的防排烟设计也更加重要,需要采取一些特殊的措施。

### 4.1 地下建筑的分类与建筑特点

所谓地下建筑,一般指建造在岩石和土层中比附近地面标高要低2m以上的建筑,它包括附建的地下建筑和单建的地下建筑。

附建的地下建筑,都附建在高层、多层建筑的地下,其层数有一层、二层、三层乃至更多层不等,其用途繁多,如地下商场、医院、旅馆、餐厅、展览厅、电影院、游艺场、礼堂、舞厅、停车库等,以及印刷车间、机械加工车间、仪器加工车间、粮食库、冷藏库

等。单建的地下工程也基本具备这些使用性质的房间。因此,本书主要阐述的是附建式地下建筑的防排烟设计问题。

#### 4.1.1 地下建筑的分类

目前,不论附建的地下建筑和单建的地下建筑还没有统一的分类方法和标准,只能按我国地下建筑的习惯分类方法,大体上按施工方法、存在条件和使用功能三种情况分类:

(1) 按地下建筑的施工方法分类,可分为明挖和暗挖两种。明挖施工后完全回填土,上部地面不再有建筑物时,称为单建式地下建筑。

(2) 按地下建筑存在的条件分类,可分为建造在岩石中的地下建筑和建造在土层中的地下建筑。

(3) 按地下建筑的功能分类,根据我国的情况,可分为军用建筑、交通建筑、仓库建筑和公用服务性建筑。

军用建筑,有各种野战工程、指挥通讯、物资仓库、火炸药库等。

生产建筑,包括各类地下工厂、车间。

民用建筑,包括电影院、展览馆、地下街、商场、旅馆、文体游艺场、餐厅等。

交通建筑,包括铁路隧道、公路隧道、地下铁道等。

仓库建筑,包括各种地下贮库,如油库、粮库、车库、物资库、冷库、火炸药库、飞机库等。

公用服务性建筑,如通讯机房、广播电台、电视台等。

#### 4.1.2 地下建筑的建筑特点

地下建筑除了通常所具有的出入口少、通风量小,且比较隐蔽、封闭性强等特点外,根据使用功能的不同,有着各自的特点。

##### (1) 地下公共娱乐场所的建筑特点

地下公共娱乐场所的建筑特点主要是:

1) 结构复杂。地下公共娱乐场所内部建筑结构十分复杂。

首先是承重结构柱、梁和墙的数量多,而且体积大。其次是非承重结构的隔墙多。为了满足各种娱乐的需要,往往把一个大空间再分隔成数个小空间。再就是各种管道、竖井多。如送排风管道、冷暖水管道、给排水管道、电梯井、电缆井等。特别是一些游乐宫,宫内一个洞穴连着一个洞穴,通道蜿蜒曲折,而且高低不平,陌生人进去后就像进入了迷宫。

2) 装饰豪华。为了营造良好的娱乐环境,在装饰施工中往往为了装饰效果,改变原建筑结构,降低耐火等级,大量使用可燃材料和电器,并把电器和线路都压盖在装饰层内。一旦电器发生故障和电线短路,很容易造成火灾。

3) 建筑封闭。地下公共娱乐场所建筑封闭包括两个方面:首先是地下室一般都没有自然通风和采光。除通向地而的出入口和人工通风管道外,是与地面隔绝的。由于地下室的土层屏障,除有线通讯外,一般无线通讯工具都无用武之地,一旦发生火灾,与地面的通讯联络十分困难。其次是局部的每一个小的娱乐场所的封闭,特别是舞厅、卡拉 OK 厅、音乐茶座等,为了保证音响效果,房间的装饰处理都是十分密封的,甲房间发生火灾,乙房间即使是一墙之隔,初起时也难以发现。此外,由于地下室通风差、内部装饰密封好,发生火灾不但不能及时发现而且浓烟高温聚集不散,很容易造成人员因不能及时逃

出而窒息死亡的后果。

4) 出入口少。地下公共娱乐场所按照《人民防空工程设计防火规范》和《建筑设计防火规范》规定,面积不得超过  $500\text{m}^2$ ,设有自动灭火设备的地下室面积不超过  $1000\text{m}^2$  的必须设两个直接通向地面的出入口。由于出入口少,火灾时场所内的娱乐人员和工作人员都必须通过出入口逃出,很容易造成拥挤堵塞。

### (2) 地下商场的特点

随着商品经济的发展,城市更趋繁华。为了吸引众多顾客、节约城市用地、疏散地面人群、改善城市交通状况等,许多国家将一些重要的公共建筑,如车站、车库、商场等,建设于地下。其中尤以地下商场发展更快。国外某些著名城市,多在繁华地段,建造地下超级市场,又称地下街,我国现有两种情况:一种是各地利用人防工程,兴办了一批地下商场和旅馆等公共设施;一种是在少数大城市,通过专门设计,建造了地下车库和商场。其特点如下:

1) 单位面积大,位居闹市。而位居闹市则是由商业的行业特性所决定的。方便顾客往来,则是商业经营者们必须选择的有利条件。

2) 物资集中,种类繁多,价值高昂。作为物资流通的主要场所,地下商场的货物量大、种类多是不言而喻的。尤其是此类大型商场,大多采用租赁经营的方式,柜台、摊点多。租赁摊点的商户为了提高铺面利用率,多数都超限度储存堆放,使物资集中拥挤的特点更加突出。所经营的品种各色各类、林林总总,凡能称其为商场的,都不会少于几百种,甚至上千种。这些物资商品多数易燃烧起火,有的既易燃烧也易在高温情况下发生爆炸,如气体打火机充装瓶、用于美发的“摩丝”等,都是具有这类危险性质的商品。由于商场的物资高度集中、品种繁多,其价值高昂则自不待言。商品价值几百万、上千万、几千万,对于一个商场来说实属正常。

3) 人员流动量大。地下商场是物资集中的场所,同时又是人员流动的场所。据调查,一处  $4000\text{m}^2$  左右的商场,管理、经营人员约有 500 人左右,日客流量在 10 万人左右(人口稠密地区)。这样的人员流动量,一旦遇到火灾事故,将会给灾情和扑救工作带来重大的影响。

4) 装饰豪华。作为社会繁荣景象窗口的商贸场所,都十分注意采取各种装饰手段,以显示其豪华、气派,并以此显示其经济实力、文明程度,以招揽顾客。就目前来说,所使用的装饰材料绝大部分属于化学产品,有的易燃烧,有的在高温下会分解出大量的毒性气体;从装饰手段上来看,百分之百地都用灯光来衬托、渲染气氛。这一特点,从行业的需要上来说是十分必要的,但从消防安全的角度来说,是很不利的。

5) 采光、通风靠电力。不通风、不采光是地下工程固有的特性。但物资流通、人员流动的场所,良好的空气流通和充足的光线是其必不可少的条件。要具备这些条件,克服先天不足,就必须使用大量的通风、采光设施。使用这些设施,造就良好的通风、采光条件,就必然要使用巨大的电力能量来完成。多数大型地下商场为保证通风、采光系统的正常工作,都自备有动力发电设施。有自备发电设施的就必然备有一定数量的油料。在具有大量可燃物的场所大量用电,是消防界公认的致灾因素。

### (3) 地下仓库的建筑特点

常见的地下仓库大致可分为两大类:一类为地道式;一类为楼层式。地道式仓库是直

接在石岩层或土层中挖建的,仓库平面一般有中央通道和数条支道,库房和设备间、工作间都在通道的两侧,结构简单。这类仓库很封闭,一般情况下一个库房发生火灾火势很难直接蔓延到其他毗邻的库房。楼层式地下仓库一般是与地上设施连为一体的地下室,分单层和多层两种。这类库房虽然在地下,但与地上楼层仓库结构大致一样,也有承重墙、梁柱、楼板等,并且与地上结构连通,一旦发生火灾可以通过电梯井、电缆井、通风口、楼梯等途径向上蔓延。按照国家《建筑设计防火规范》和《人民防空工程设计防火规范》的规定,地下仓库不允许放易燃易爆类物品,可燃类物品库防火分区规定最大使用面积为 $500\sim 1000\text{m}^2$ 。其中闪点大于等于 $60^\circ\text{C}$ 的可燃液体防火分区最大允许使用面积为 $150\sim 300\text{m}^2$ ,可燃固体防火分区最大允许面积为 $300\sim 600\text{m}^2$ 。规定丙、丁、戊类物品库宜采用密闭防烟措施。每个防火分区直接通向地面的安全出口不应少于两个,并且出口的宽度不少于 $1\text{m}$ 。地下设施承重结构的耐火极限不能低于2小时。这里还需说明的是,地下仓库建筑设计虽有严格的规定,但从目前大部分城市地下仓库的建筑结构情况看,有一部分建得较早的地下仓库不具备上述要求。

此外,近些年来,由于我国城市汽车的拥有量迅猛增加,高层建筑地下停车库的设计项目也迅速增多。地下汽车库作为高层建筑的一部分,正随着城市建设的发展愈加普及,一般情况下,汽车库的层高为 $3.6\text{m}$ ,车辆通行场层高大于等于 $2.2\text{m}$ ,面积也较大,少则一层,多则数层,由于地下汽车库在高层建筑中处于半封闭状态,流动或停泊的汽车排出废气且带有可燃物,因此如何解决其通风与排烟问题就显得十分重要。

#### (4) 地下铁道火灾特点

地下铁道(简称地铁)是构筑于地下的大容量轨道交通系统。由行车隧道、客运设施、客车、变配电设施、通信信号、通风和给排水等设备及行车调度指挥机构组成。用于城市公共交通。地铁具有速度快、运量大、占地省和对城市环境污染小的优点。是城市交通现代化的重要标志之一。

但地铁是深埋在地下的极为复杂的系统工程,与其他地面工程相比,具有以下特点:地铁建筑结构复杂,出入口少,通道狭窄;环境密闭,通风照明条件差;地铁又是一个复杂的联动体系,地下各种机械电气设备种类多,数量大;车辆运行,设备运转,人员办公生活用电量大;同时地铁还是一个人员高度密集的公共场所。由于以上原因,地铁火灾扑救极为困难,往往会造成巨大的人员伤亡和财产损失。近年来,随着我国城市轨道交通建设的快速发展,地铁线路长度和客运量不断增长,同时,地铁火灾事故也不断发生。据不完全统计,我国地铁自1969年相继投入运行以来,因变电所、地铁车辆内的电气设备和线路出现故障以及违章电焊和电气设备误操作等,共发生火灾156起,其中重大火灾3起,特大火灾1起。因此,地铁消防设计中存在的隐患不容忽视。

## 4.2 地下建筑的火灾特点

由于地下建筑是在地下通过挖掘、修筑而成的建筑空间,其外部由岩石或土层包围,只有内部空间,无外部空间,不能开设窗户,由于施工困难、建筑造价等原因,与建筑外部相连的通道少,而且宽度、高度等尺寸较小。由此决定了地下建筑发生火灾时的特点:排烟排热差、由于可燃物量大而温度升高快、安全疏散困难、扑救难度大等。

#### 4.2.1 地下建筑火灾时的燃烧特点

(1) 温度高。地面建筑有大量的门窗洞口，与大气相连通，发生火灾时，门窗玻璃在温度达  $280^{\circ}\text{C}$  时就会破碎，80% 的烟热可以从窗口排出建筑外，同时，窗口下部还可以进入新鲜空气，使火灾持续燃烧。而地下建筑与外界连通的出口少，发生火灾后，烟热不能及时排出去，热量集聚，建筑空间温度上升快，可能较早地出现轰燃，即“F.O”现象，使火灾房间温度很快升高到  $800^{\circ}\text{C}$  以上，火源附近温度往往会更高，达  $1000^{\circ}\text{C}$  以上，房间的可燃物会全部烧着，烟气体积急剧膨胀。

(2) 烟多。因地下建筑出入口少，通风不足，燃烧不充分，一氧化碳、二氧化碳等有毒气体的浓度迅速增加，高温烟气的扩散流动，不仅使所到之处的可燃物蔓延燃烧，更严重的是导致疏散通道能见距离降低，影响人员疏散和消防队员扑救火灾。

地下建筑发生火灾时，其燃烧状况，在一定意义上说，是由外界的通风所决定的。由于出入口数量少，特别是对于只有一个出入口的地下室，氧气供给不充分，发生不完全燃烧，火灾室烟雾很浓，并逐步扩散，当烟雾充满整个地下室时，就会从出入口向外排烟。另一方面，还要通过这个出入口向地下建筑流进新鲜空气。因而出入口处就会出现中性面，其位置，在火灾初期时较高，以后逐步降低。

(3) 无法泄压。由于地下建筑基本上是封闭空间，易燃易爆的物品发生燃烧爆炸时，无法泄压，会使建筑结构受到严重破坏。

总之，地下建筑火灾的初期阶段，因燃烧而积小，燃烧需要的空气量少，空气供给相对来说，比较充分，所以与地面建筑基本相同，但是，在轰燃之后，其燃烧主要取决于通风情况。由于通风量的限制，轰燃之后的燃烧速度较地面建筑慢，而且燃烧产物中的毒性成分、一氧化碳等浓度较高，散热困难，火场给人以难以忍受的闷热感。

#### 4.2.2 地下建筑火灾时烟气流动的特点

众所周知，随着温度升高，空气密度减小，因此，热空气会向上浮动。地下设施内发生火灾时产生的热烟气会迅速升腾，当遇到顶棚或障碍时，会改变向上方向而向水平方向扩散。如果烟气温度不下降或下降很小，则高温烟气与周围冷空气就会明显地形成分离的层流，即形成热气在上层、冷气在下层的两个层流流动。

但是，一般情况下烟气与周围墙面接触面冷却，加上冷空气的混入，促使烟气温度下降，浓度降低，同时向水平方向移动。烟气温度越高，烟气流动速度越快，和周围空气的混合作用就越弱；反之，烟气温度越低，烟气流动速度越慢，和周围空气混合就会加强。

烟气的流速还与周围环境的温度、空调系统的气流干扰等因素有关。

通常在火灾初期，烟气沿水平方向，流动速度为  $0.1\text{m/s}$ （阴燃，自然扩散）；沿垂直方向流动，速度为  $1\text{m/s}$ （对流扩散）。而在火灾发展阶段，烟气沿水平方向的流动速度是  $0.3\sim 0.8\text{m/s}$ （对流扩散）；沿垂直方向的流速为  $3\sim 4\text{m/s}$ （沿竖向通道或竖井中的流速）；倾斜巷道流速是  $1\sim 3\text{m/s}$ 。

在地下建筑内，着火的洞室、房间产生的烟气，从起火点向上升腾，当到达顶棚后向四周水平扩散。由于受到四周墙壁挡阻和冷却，有沿墙壁向下流动的趋势。烟气浓度不断增加，上部烟层逐渐增厚，当达到洞室门开口以下时，便通过开启的门、开口向通道扩散。

烟气在洞室内的流动情况与火灾态势、开口状态、通风气流、组织方式、外部通道风

流速度等诸多因素有关。从洞室进入通道的烟气，起初贴附在顶棚流动，由于冷却和与周围空气混合，烟层变厚。接触顶棚和墙面的烟气先被冷却，沿墙下降，随着流动路线的延长，与周围空气混合作用加强，使烟气温度逐渐下降，进而失去浮力，最后逐渐在中心剩下一个环形空间。烟气在通道内流动中的下降过程，如图 4-1 所示。

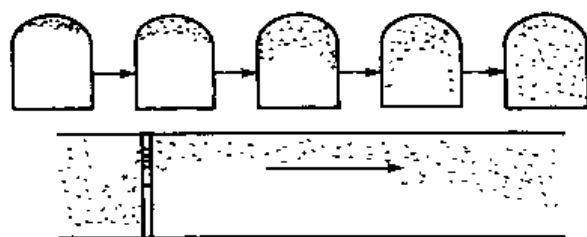


图 4-1 烟气在通道内流动中的下降

火灾试验表明，烟气从洞室进入通道后，是以层流状态沿拱顶流动的，烟气下降后，受通道内的风流影响，而形成紊流状态。从烟气在通道内的流动状态可知，在发烟地点附近排烟最好，其次是在烟气的层流区排出。烟气一旦进入出入口，大量烟气便会从出入口喷出，同时还会有部分烟被风流重新卷回地下。

地下设施起火后，地下的有限空间压力随温度升高而增大，当火势发展到一定程度，会形成一种附加的自然热风压，即火风压。而火风压的出现，会使地下设施原有的通风系统遭到破坏；使地下原有风流改变方向而逆流，加剧火势蔓延；使那些原来属于安全的区域突然出现烟气，远离火源的人们也遭受到火灾烟气的危害，使灌入地下灭火的高倍泡沫灭火剂无法向巷道内流淌，从而影响泡沫远距离窒息灭火的效果。

#### 4.2.3 地下建筑火灾的发展与蔓延

对于只有一个出入口的地下室、半地下室发生火灾，因通风不良，燃烧比较缓慢，火灾发生后不久，燃烧就逐渐趋向阴燃状态。火场的特点是温度高，烟雾大。

而两个以上出入口的中小型地下建筑，由于能够连续地补充风量，火灾在初期阶段发展较快。进入发展阶段后，随着燃烧产物的增加，内部空气减少，燃烧强度下降，火势开始衰减，由快到慢。若此时突然有大量新鲜空气流入，火场上将重新出现猛烈燃烧现象，使火势迅速扩大。

大型地下建筑（如地铁、铁路隧道、地下公路隧道、地下工厂、地下商场等），因通风条件好，风流畅通，火灾的发展与地上建筑火灾相似，火势很容易发展到猛烈阶段。当地下建筑内风流流动具有相当大的速度时，火势蔓延方向与风流方向相同，或同时向通道两端出入口蔓延。

在中小型地下建筑内，当风流流动速度不大时，火势将迎着风流方向蔓延。根据燃烧条件，火势向能提供氧气维持燃烧的方向移动，在火场温度升高时，促使风流流入火区使热负压增加。风流流入后，受热体积膨胀，化为烟气沿通道顶部逆风方向蔓延，即火势蔓延方向与风流方向相反。附建式地下建筑发生火灾，如不及时控制火势，它能沿出入口向地上建筑蔓延，造成第二处火点。

我们还必须注意，当地下建筑发生火灾事故时，它不仅影响地上建筑，而且会造成不同程度的破坏，轻则使地坪或地上建筑出现裂缝，严重者甚至会造成地上建筑起火或造成地上建筑倒塌。这类情况多发生在一些附建式地下建筑。这类地下建筑一旦发生火灾，必须考虑对地上建筑的保护措施，尽可能减少对地上建筑的威胁。

#### 4.2.4 地下建筑火灾时的疏散

(1) 地下建筑由于受到条件限制，出入口较少，疏散步行距离较长，火灾时，人员疏

散只能通过出入口，而云梯车之类消防救助工具，对地下建筑的人员疏散就无能为力。地面建筑火灾时，人只要跑到火灾层以下便安全了，而地下建筑不跑出建筑物之外，总是不安全的。

(2) 火灾时，平时的出入口在没有排烟设备的情况下，将会成为喷烟口，高温浓烟的扩散方向与人员疏散的方向一致，而且烟的扩散速度比人群疏散速度快得多，人们无法逃避高温浓烟的危害，而多层地下建筑则危害更大。烟的垂直上升速度为  $3\sim 4\text{m/s}$ ，水平扩散速度为  $0.5\sim 0.8\text{m/s}$ ；在地下建筑烟的扩散实验中证实，当火源较大时，对于倾斜面的吊顶来说，烟流速度可达  $3\text{m/s}$ 。由此看来，无论体力多好的人，都无法跑过烟的。

(3) 地下建筑火灾中因无自然采光，一旦停电，漆黑中又有烟气的毒性作用，无论对人员疏散还是灭火行动都带来了很大困难。即使在无火灾情况下停电，人们也很难摸出建筑之外。国际上的研究结论认为，只要人的视觉距离降到  $3\text{m}$  以下，逃离火场就根本不可能。

(4) 地下建筑发生火灾时，会出现严重缺氧，产生大量的一氧化碳及其他有害气体，对人体危害甚大。当空气中的含氧量降到  $15\%$  时，人的肌肉活动能力下降；当空气中含氧量降到  $10\%\sim 14\%$  时，人就会四肢无力，产生判断错误，走错方向；当空气中含氧量降到  $6\%\sim 10\%$  时，人就会晕倒。据统计，火灾中的伤亡，烟害缺氧死亡人数占总死亡人数的  $50\%\sim 85\%$ 。地下建筑中发生火灾时，造成缺氧的情况比地面建筑火灾严重得多。

#### 4.2.5 地下建筑的火灾特点

地下建筑的种类和形式较多，其火灾的特点虽然具有一些共性，但由于其结构和功能等的不同，还是会有较大的差异。

##### (1) 地下公共娱乐场所的火灾特点

地下公共娱乐场所的火灾特点，由其建筑形式和建筑结构及使用功能所决定。根据地下公共娱乐场所的建筑特点和大量火灾资料说明，其火灾特点主要有以下几个方面。

1) 容易造成大量的人员伤亡。这是公共娱乐场所火灾的一个突出的特点。地下公共娱乐场所发生火灾，浓烟聚集不散。特别是大量使用高分子装饰材料，燃烧时会散发出大量有毒气体，仅一氧化碳含量最高就可达到  $10\%$ 。一氧化碳在空气中含量占  $1.28\%$  时， $1\sim 3$  分钟可致人死亡。有资料表明，在公共娱乐场所火灾死亡人数中有  $40\%\sim 60\%$  是一氧化碳中毒死亡的。公共娱乐场所人员多而且相对集中，在火灾中造成人员死亡的主要原因：一是人员拥挤造成出入口堵塞，人员在短暂时间内无法逃离火场，造成中毒或窒息死亡；二是娱乐人员对通向地面的出入口不熟悉，在异常情况下惊慌失措，迷失方向，走错道路，逃不出去，中毒窒息或直接被大火烧死；于是在断电情况下，娱乐人员、职工乱作一团，争相逃命，造成人员挤死、踩死。

2) 火势猛烈，燃烧蔓延快。地下公共娱乐场所装修，大量使用可燃物质，电线遍布四方，加上排风机的作用，一旦发生火灾，起初阶段很短。如不能及时控制，火势很快进入猛烈发展阶段，在短时间内烟火将充满整个地下室。地下室温度可高达  $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，聚集的高温会很快使可燃物质燃烧，不燃烧物质也会碳化或变形倒塌，火灾将迅速蔓延。

3) 扑救困难。扑救地下公共娱乐场所火灾，十分困难，往往需要较多的时间和大量的人力、物力，主要表现在：地下公共娱乐场所情况复杂，是否有人被困和数量多少、地下温度多高、烟的浓度多大，在没有进行详细侦察之前，很难确定重点和定下决心；由

于高温、浓烟特别是断电情况下，战斗人员不但需要佩戴复杂的防高温烫伤、防中毒的防护器材，携带照明器材，而且还需要伴以水枪掩护，在这样的环境下实施侦察、救人等战斗行动十分困难，如火场出现大量的人员伤亡，需要使用大量防护器材和抢救器材，集中全力抢救被困人员，这就需要多单位的配合，耗费的人力物力相当大；如果是在夜晚或断电的情况下发生火灾，火场照明、排烟、降温、救人、灭火等工作更难开展，再加上地面与地下无线电通讯联络困难（地面建筑火灾，有线、无线通讯器材和高倍扩音器等一切通讯手段都可使用，有时打个手势也能解决问题。而地下火场与地面的联系目前只能靠人传递信息，速度慢、差错多。灭火人员在火场发生任何情况，地面指挥员都很难知道），使得组织和指挥工作十分困难。这一点与其他地下建筑是基本相同的。

## （2）地下商场的火灾特点

地下商场除与地上商场具有同一性外，由于自身固有的特点，火灾危险性更大：

1) 发生火灾机率高，初期火灾蔓延快。原因主要有三个：一是用电量，这类商场通风、采光、装饰、广告全靠电，而目前市场上的电线、电缆、电器产品有相当大的部分不合格。据国家公安部 1993、1994 两年的统计，因电引发的火灾约占前两年火灾总数的 90%。既然有这么高的电引发火灾机率，那么作为用电大户的地下商场也就存在着隐患；二是人员流量大，人员集中的场所严禁烟火目前我国还很难严格执行，且市场经济在我国还属起步阶段，大型物资和人员集中场所的管理措施、管理经验、管理效能、管理人员的素质都还有待于完善、提高。日流量几万、十几万人，经营管理人员几百人，这些人员当中若有一人一时用火、动火失手，违反了用火防火规律，都将会铸成大错，危及商场；三是空间大，可燃物多，整个地下工程是一个大的整体，空间内商品柜台、摊点紧密相连，可燃物量可达  $25 \sim 100 \text{kg/m}^2$ ，通风设备也在时刻运转。这些现象共同构成了一旦起火迅速蔓延扩大的条件。

2) 遇有火灾的情况下，疏散、抢救人员的任务重，处理不妥将会造成大量人员伤亡。地下商场发生火灾，将会有大量的人员受到火势的威胁。如果火灾发生在营业时间，大量的顾客和经营管理人员需要疏散、救助。疏散主巷道中的顾客、经营人员是一大任务，需要一定的时间、一定的措施。如果火灾发生在夜间，由于地下商场较强的隐蔽性和严密的封闭性，位于地下的火灾极有可能比地面上的火灾发现得更晚，那些看摊、经营人员及时逃离灾区的可能性也会更小。因此，地下商场发生火灾，造成大量人员伤亡的可能性极大。

## 3) 扑救困难。

### （3）地下仓库的火灾特点

1) 火灾发展速度慢，变化大。地下仓库建筑密闭，结构不燃，库内存放物资空间小，自然通风差。火灾发生规律与地上仓库火灾发展有很大区别。其主要特点是阴燃时间长、旺盛燃烧时间短、下降阶段长而起伏大。火势进入旺盛猛烈燃烧阶段后，由于库内氧气的减少使火势不得不衰退又进入缓慢燃烧。火灾在缓慢发展中又由于物品堆垛出现燃烧钻心的现象，导致部分堆垛的倒塌造成短时间的旺盛燃烧，或者是由于温度过高造成毗邻堆垛燃烧和一些可燃物品包装容器爆炸，出现短时间的猛烈燃烧。这种突然出现的猛烈燃烧，如不能及时发现，往往给扑救工作造成困难，甚至烧伤和砸伤扑救人员。

2) 库内烟雾大，温度高。地下仓库发生火灾由于阴燃和缓慢燃烧时间长，加之通风

不畅,燃烧产生的大量烟和热都聚积在库内。因此,发生火灾后库内空间往往烟雾弥漫,温度也将急剧上升,浓烟和高温使消防人员无法进入库内救人、灭火和疏散物资。

3) 容易造成人员伤亡。烟是有毒的,地下仓库发生火灾产生的烟毒性更大。一般有机物质燃烧生成的烟,主要成分是二氧化碳、一氧化碳、水蒸气、二氧化硫和五氧化二磷,在不完全燃烧时,还能产生醇类、酮类、醛类以及其他复杂的化合物,对人体十分有害。以一氧化碳为例,一般着火房间浓度可达到4%~5%;地下仓库着火,一氧化碳浓度可高达10%,有些一氧化碳浓度甚至更高;而人员在火灾时进行疏散要求最大浓度不允许超过0.2%,超过后极易造成人员中毒、伤亡。

4) 扑救行动艰难。

(4) 地下铁道的火灾特点

地下铁道发生火灾,具有以下特点:

1) 火势蔓延快。其一是由于在地下铁道中存在相当数量的可燃物,地铁的建筑主体虽然大部分为非燃体,但在车站装修、设施设备,以及工作人员办公生活用具等方面都采用了一定数量的可燃物,如房室的吊顶、护墙、场地电气设备的绝缘油;以及门窗、桌椅等物品。发生火灾后,地下密闭的环境使火点周围的温度急剧升高,易引燃周围可燃物,造成火势蔓延;其二,因运营生产生活的需要,地铁敷设大量电缆,贯穿于运营线路全线几乎所有的屋室内。电缆失火后,如不能及时发现和有效控制,则会沿着敷设走向迅速蔓延。电缆的聚乙烯包覆层,因燃烧形成的溶滴,还会引燃附近可燃物。电气设备的外壳被烧损破裂,内部绝缘油外滴也会加剧火势的扩散;其三,由于列车在隧道内运行产生的活塞效应,和机械送排风等原因,地铁出入口、站台等部位空气流动快,风速较大,较大的风速也会造成地铁火灾迅速扩散蔓延。

2) 浓烟集聚伤害人命。地铁发生火灾后,地下各种可燃物在燃烧时会产生大量的浓烟。由于火点周围空气受热膨胀,地下环境封闭等原因,高温浓烟会在地铁内迅速扩散形成大面积的烟雾区。环境和通风条件的限制,使烟雾区的浓烟很难排出。高温浓烟会给疏散人员和扑救火灾带来极大困难,而且有毒浓烟严重威胁人员生命安全。如:1969年北京地铁列车在隧道内失火,在火点周围形成近1000m的烟雾带,造成3人因毒烟窒息死亡,200余人被熏呛致伤。

3) 疏散困难。地铁是人员密集的公共场所。如北京地铁车站的设计容量为2000~3000人;客车以4~6辆编组方式运行,每辆额定载员180人,实际则远远超出此数。而且地铁深埋在地下几米至几十米,出入口少,通道长且狭窄。北京地铁有的车站出入口通道长度近百米,宽仅4m左右。地铁地下建筑的屋室区结构复杂,通道曲折,照明条件差。一般仅有1~2个安全出口,而且内部房间以袋形走道或环形走道相沟通,里层房间距离安全出口较远,一旦失火,人群拥挤,难以及时脱险。在烟火封锁的情况下,屋室内的人员逃生的可能性更小。

4) 一旦地铁列车发生火灾,疏散更为困难。地铁客车的载客量大于一般公共汽车,有时每列车载客多达千余人。地铁客车车门的开启由司机室集中控制,一旦列车发生火灾,众多乘客无法及时疏散。地铁行车隧道是供列车运行的专用隧道,宽度仅容列车通行,两侧余量有限。北京地铁隧道宽仅4.5m,车体距两侧洞壁的宽度为0.7m。列车在隧道内发生火灾停驶后,即使乘客将车门打开,下车后也无处容身,并且会因拥挤踩踏造成

伤亡。并且地铁隧道内设有信号机、电缆回流箱、三轨、电缆、消防水管和排水沟等设备设施。在发生火灾时，由于烟雾遮蔽事故照明灯，洞内能见度极差，甚至完全看不见，这些设备会严重妨碍疏散。隧道内敷设的三轨和列车上的受流器，都是裸露的高压导电体，此外还敷设有高压电缆，如不能及时切断事故区电源，极易造成人员触电伤亡。

5) 扑救困难。

综上所述，无论是何种类型的地下建筑，一旦发生火灾，都极易造成人员伤亡，因此，地下建筑的防排烟设计是非常重要的。

## 第5章 一般地下建筑与地下车库的通风与防排烟设计

### 5.1 地下建筑的防排烟措施

通常,地下建筑的防烟和排烟问题总是紧密地联系在一起。我们必须采取各种有效的防烟措施,设置必要的排烟设备,保证排烟需要,才能免除火灾时烟雾对人身安全的危害。

#### 5.1.1 地下建筑防烟措施

对于地下建筑,主要的防烟措施有:建筑材料的非燃化、增加内部房间的密闭性、设置阻烟设备和通过加压送风来防烟等。

(1) 建筑材料的非燃化。由于建筑材料的非燃化是从根本上杜绝烟源的一种有效措施,所以,防烟的基本做法首先是尽量使各种建筑材料和装修材料做到非燃化,这也是各国通行的普遍做法。我国在这方面也有专门的法规和规范,对各种建筑材料、室内装修材料、室内家具材料、管道保温绝热材料的非燃化问题都有明确规定,特别是对各种地下建筑要求都非常严格。非燃材料的特点是不易燃烧且发烟量很少,可使火灾时产生的烟气量大大减少。在尽量使建筑材料非燃化的同时,还应考虑建筑物内的衣物、书籍等易燃品在收藏方式方面的非燃化。通常,可以用非燃材料或难燃材料来制作壁橱或钢橱,将室内物品收藏在这些非燃或难燃的橱柜中。

(2) 增加内部房间的密闭性。对火灾危险性较大的房间,采用密封性能较好的墙壁和门窗将其封闭起来,对进出房间的气流加以控制,当房间一旦起火时,外部新鲜空气无法流入,可使着火房间内的燃烧因缺氧而自行熄火,从而达到防烟和灭火的目的。

(3) 设置阻烟设备。在烟气扩散流动的途径上设置各种阻碍设备,以防止烟气的流动和扩散。如在地下商场、展览馆、会议室、图书阅览室等较大房间的吊顶上设置垂距较大、一般在50cm左右的防烟垂壁;在室内过道的吊顶上设置玻璃垂壁;在防火防烟分区采用防烟卷帘、防火门等阻碍结构。

(4) 通过加压送风来防烟。在建筑物发生火灾时,对着火区以外的区域进行加压送风,使其保持一定的正压,以防止烟气的侵入,这种做法称为加压送风防烟。因为加压区域和非加压区域之间一般都有些常规的挡烟物,如墙壁、楼板及门窗等。挡烟物两侧的压差可使门窗周围的缝隙和围护结构缝隙中形成一定流速的气流,从而有效地防止烟气通过这些缝隙渗漏过来。如5-1图所示。

此外,发生火灾时,由于疏散人员和扑救火灾的需要,在靠近火区的一些门总是要打开的,有的是在疏散期间打开,有的是在整个火灾期间打开;有的是忽开忽关,有的是常开不关。如果在非燃烧房间和疏散楼梯内加压送风,且达到一定压力值时,可使非燃烧区敞开门洞处的气流方向与烟气流动方向相反,从而有效地阻止烟气的倒流,保证非燃烧区

和疏散楼梯内的安全。如图 5-2 所示。

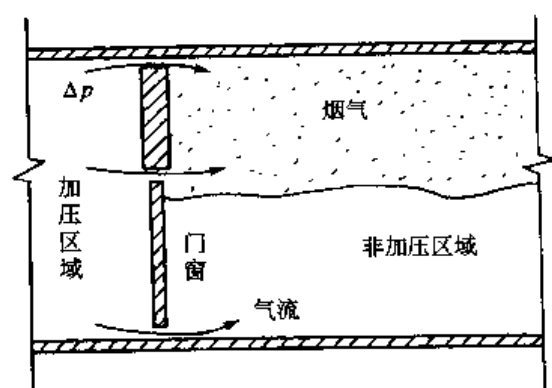


图 5-1 挡烟物两侧压差防烟示意图

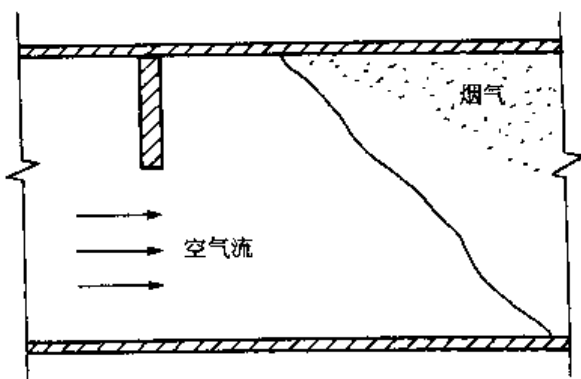


图 5-2 敞开门洞处反向气流防烟示意图

通过加压送风来防烟的优点是能有效地防止烟气的侵入，保持控制空间空气的新鲜。这种方法特别适用于作为疏散通道的楼梯间、电梯间及其前室的防烟。

### 5.1.2 地下建筑排烟措施

地下建筑内的排烟措施可分为自然排烟和机械排烟两大类：

(1) 自然排烟。自然排烟是利用火灾时热气流的浮力和外部风力的作用，通过地下建筑物上部的开口部位把烟气排至室外的一种排烟方法。这种排烟方法实质上是热烟气和冷空气的一种对流。如图 5-3 所示。

自然排烟主要有两种方式：

1) 通过排烟竖井排烟。利用人防工程改建和专门设计建造的地下商场、地下商业街、地下汽车库、地下物资仓库等，在地下建筑的顶部一般都建有若干个排烟竖井；排烟竖井开口面积的总和应不小于地下建筑总面积的 2%，否则达不到排烟的目的。排烟口的位置距地下设施内最远点的距离一般不大于 30m。通过排烟竖井排烟，可将烟气排出室外。

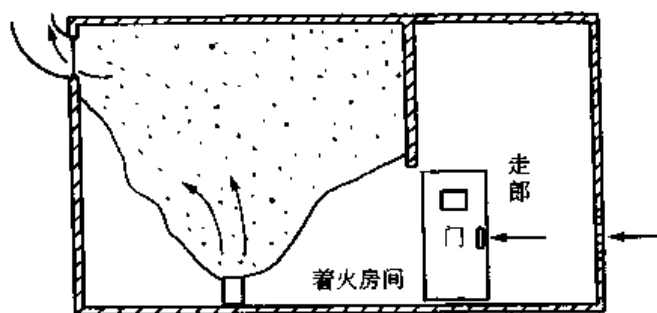


图 5-3 自然排烟方式

2) 通过采光窗井进行排烟。如图 5-3 所示，对于设有采光窗井的附建式地下设施，可以通过开启采光的窗户进行排烟，利用采光窗井自然排烟，方法简单、运行可靠。但需要注意以下两点：一是受室外风力的影响。从自然排烟原理中得知，只有室外风速小于室内热烟气压时，才会收到好的排烟效果，即开启的窗户不要设在迎风面，否则不仅会降低排烟效果，而且还会出现烟气倒灌现象。当开启的窗户处在背风面时，风压呈负压作用，十分有利于烟气的排除。二是通过地下采光窗井排烟，火势有蔓延到上层设施的危险时，要采取必要的措施加以保护。如设置一定数量水枪在火灾层上部进行封锁、警戒等。

(2) 机械排烟。机械排烟是指使用各种排烟风机进行强制排烟，这种方式不受室外条件的影响，排烟比较稳定，效果较好。它主要包括：排烟风机、排烟管道、排烟口等。

排烟风机要有一定的耐热性能，在 280℃ 时能连续工作 30 分钟。排烟风机外壳至墙壁或其他设备的距离一般在 60cm 以上。

排烟管道可用薄钢板、无机玻璃钢和石棉板制成的，也有的是用混凝土砌就的。但为了少占内部空间，采用金属管道的较多。排烟管道一般是与通风、空调系统分开设置的。

排烟口通常开在每个防火分区的顶棚上或墙壁上。每个排烟口控制的范围，一般按30m半径来进行计算。在层高3m左右的地下建筑内，侧墙排烟口的位置，设在房间上半部、距顶棚80cm左右的墙面上。排烟口平时处于关闭状态，发生火灾时可自动开启。

此外，在地下建筑内设置大型排烟设备时，为使排烟设备能够准确及时地动作，对排烟过程进行监视和控制，一般都设有消防控制中心。当火灾探测器探测到火灾时，消防控制中心的联动装置可自动开启排烟设备；也有的通过远距离操纵按钮来开启排烟设备，以防止联动装置失灵。在联动装置启动之前，如已发现起火，便可通过远距离操纵按钮及时启动排烟风机。还有的是在排烟口处设有与排烟风机联动的联锁装置，当任何一个排烟口开启时，排烟风机即随之自动启动运转。为避免因排除高温烟气而造成火势扩大，一般在排烟风机的入口处都设有排烟防火阀。排烟防火阀带有多功能的自动关闭装置，当烟气温度超过280℃时能自动关闭排烟风机、排烟口等排烟设备。因为烟气温度超280℃时，往往要带有明火，如不停止排烟，火势反而有扩大的危险。

### 5.1.3 地下建筑防排烟方式的选择

#### (1) 自然排烟方式的应用

在一般情况下，地下建筑是不采用自然排烟方式的。但在某些情况下，如地下建筑面积较小、构造比较简单、重要性也不大时，可借助平时的垂直通风井作为发生火灾时的自然排烟小竖井。在结构布置上，应注意将垂直通风井的布置与防烟分隔结合起来考虑，如图5-4所示。并且，位于同一防排烟分区内的垂直通风井的总流通截面积应不小于该防排烟分区地面面积的1/50，自然排烟口底部距室内地坪不应小于2m，井应常开或发生火灾时能自动开启。

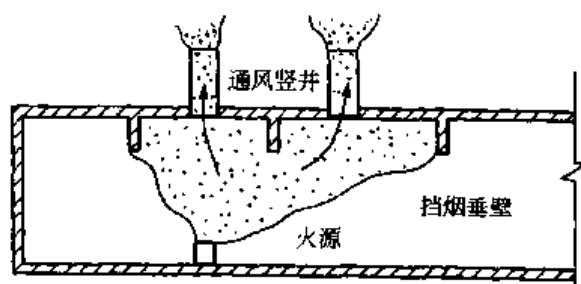


图 5-4 地下建筑利用通风竖井自然排烟示意图

对于一些高层建筑的地下室，如果高层建筑本身采用自然排烟竖井进行排烟时，则可考虑利用该排烟竖井实现地下室的自然排烟。但竖井的位置、地下室通向竖井的排烟口截面积等问题有待于进一步研究解决。

#### (2) 机械防排烟方式的应用

地下建筑物根据其出入口的数量分为单通道和多通道。为安全和方便起见，在地下建筑中一般都设有出入口、通风口和紧急疏散口等。所以，地下建筑通常是多通道的。但由于某些人为原因，如几个单位分管或治安方面的需要，又常常被分隔成若干仅有一个进出口的单通道地下建筑物，这对发生火灾时的排烟是很不利的。

为了使地下建筑取得较好的通风排烟效果，地下建筑的机械防排烟宜采用全面通风排烟的方式，而且排烟和进气必须形成一个良好的对流循环系统。无论是多通道或是单通道的地下建筑，都必须要有空气的对流，才能取得良好的通风排烟效果。

单通道地下建筑的全而通风排烟系统的送风口和排风口的布置应如图5-5所示：送风机出口的送风管应深入到远离地下建筑出入口的尽头下部，而排烟机的吸入口则应设置在

地下建筑出入口内侧上部。这种布置，可形成良好的对流，新鲜空气从里向外驱赶烟气，有利于排烟。如果送风管只伸入到地下建筑的出入口处，就不可能形成良好的对流。而且，由于送风，地下建筑出入口处的局部压力升高，可能阻碍烟气向出入口端的流动，而且还可能形成空气的短路，刚送入的新鲜空气就被排烟机抽吸排至室外。

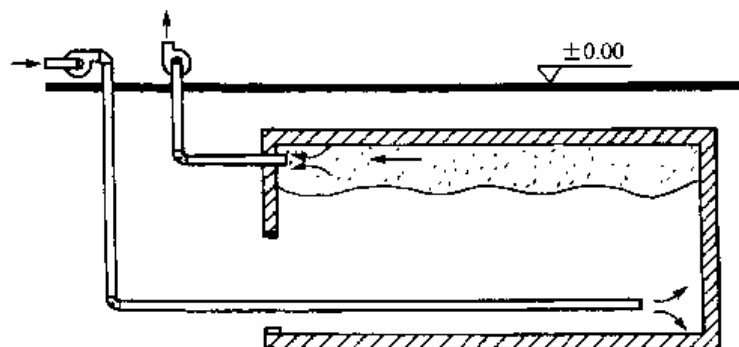


图 5-5 单通道地下建筑的全面通风排烟示意图

多通道地下建筑的全面通风排烟，一般是从一个出入口向里送风，而从另一个出入口向外排烟，如图 5-6 所示。如果有多个出入口的话，作为机械通风排烟的出入口就不能随意选择，也就是说，送风口应尽量远离排烟口，以便使送风和排烟形成良好的对流。如果因为条件限制，如动力电源，道路等所限，送风机和排烟机需要布置在邻近的两个出入口处甚至同一个出入口处，这就要加长送风管，使送风口伸入到远离排烟口处。在多通道的地下建筑采用机械全面通风排烟方式时，除作为机械送风口和排烟口的出入口外，其余的出入口仍可作为自然排烟口。

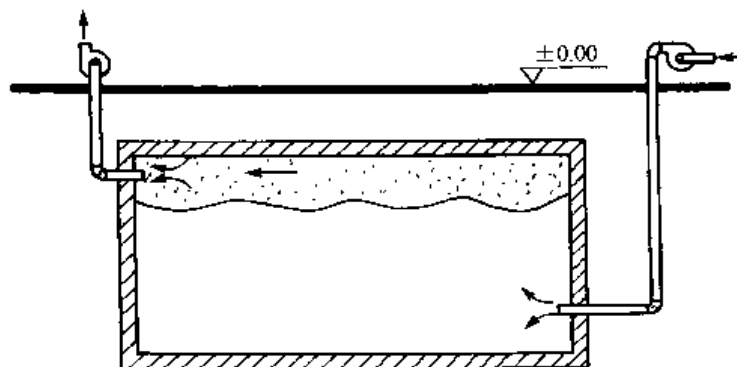


图 5-6 多通道地下建筑的全面通风排烟示意图

对于大型复杂的多通道地下建筑，如地下市街，为保证安全，在防火设计中要考虑专门的疏散通路，对疏散通路完全可以采用正压送风防烟的方式，并成为独立的防排烟分区。如果称防烟楼梯间是高层建筑的疏散安全区，那么“防烟通廊”就是地下建筑的疏散安全区。因此，机械送风口必须设置在防烟通廊之中，而机械排烟口则设置在地下建筑的工作或服务区域中，如图 5-7 所示。并且，工作或服务区域与防烟通廊之间的门应是耐火极限不低于 0.9 小时的防火门。

在有些情况下，多通道地下建筑也可采用负压机械排烟的方式，如图 5-8 所示。当排烟机运转时，必将使地下建筑中形成负压，如果地下建筑为封闭式结构，由于空气没有对

流,就很难达到良好的排烟效果。这时如开启任何一个远离排烟口的出入口,新鲜空气就会从地面上流入地下建筑中,从而形成了自然进风机械排烟的通风排烟过程。从保证空气对流的效果和防止空气短路出发,自然进风口应远离机械排烟口。

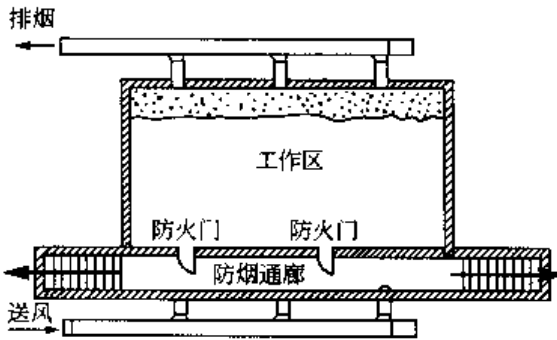


图 5-7 多通道地下建筑的防烟通廊的正压送风示意图

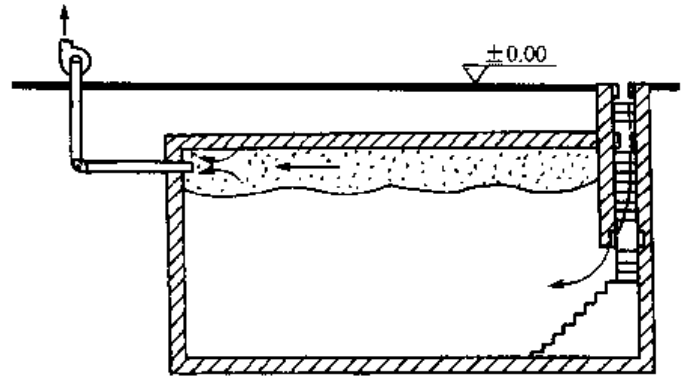


图 5-8 多通道地下建筑的负压机械排烟示意图

地下建筑采用全面通风排烟方式时,由于新鲜空气的大量补入,不但可大大冲淡烟气的浓度,而且降低了火场的温度,改善了火场条件。这不但有利于疏散和扑救活动的进行,而且还有助于扑灭火灾。但是另一方面,由于补充的新鲜空气能够助燃,又往往使火势蔓延扩大,甚至引起爆燃。所以,有关地下建筑采用全面通风排烟方式的具体措施,还有待在实践中进一步研究解决。

地下建筑在采用机械排烟时还要特别注意防止空气的短路。如上面所说的送风口要远离排烟口。就是为了防止刚送入的新鲜空气短路被排烟机抽吸而排出室外。另外,排烟机的吸入管应有良好的密封,否则,将有一部分空气短路被吸入排烟管,从而降低了吸入管入口处的实际抽烟能力,影响排烟效果。

随着大型、复杂、多功能的地下建筑的出现,如多层地下铁道、地下市街等,必然对防排烟设计提出更高的要求,机械防排烟方式必将得到广泛的应用。

## 5.2 一般地下建筑的防排烟设计

### 5.2.1 防烟分区的划分

地下建筑的防烟分区应与防火分区相同,其面积不应超过  $500\text{m}^2$ ,且不得跨越防火分区。在设计时,防烟分区的设计,应结合防火分区的设计进行,一般来说,一个防火分区就可以作为一个防烟分区来设计。防烟分区的形成一般有挡烟垂壁、防火门、送风排烟机械等。

对设置排烟设施的走道,净高不超过  $6\text{m}$  的房间,应采用挡烟垂壁、隔墙或从顶棚突出不小于  $0.5\text{m}$  的梁划分防烟分区,梁或垂壁至地面的高度不应小于  $1.8\text{m}$ 。

挡烟垂壁是防火卷帘、固定或活动的挡烟板的总称。应用非燃烧材料制作,具有良好的气密性。

对于在地下商业街道等大型地下建筑的交叉道口,两条街道的防烟分区不得混合,如

图 5-9 所示。这样, 不仅能提高相互交叉的地下街道的防烟安全性, 而且, 防烟分区的形状简单, 还可以提高排烟效果。

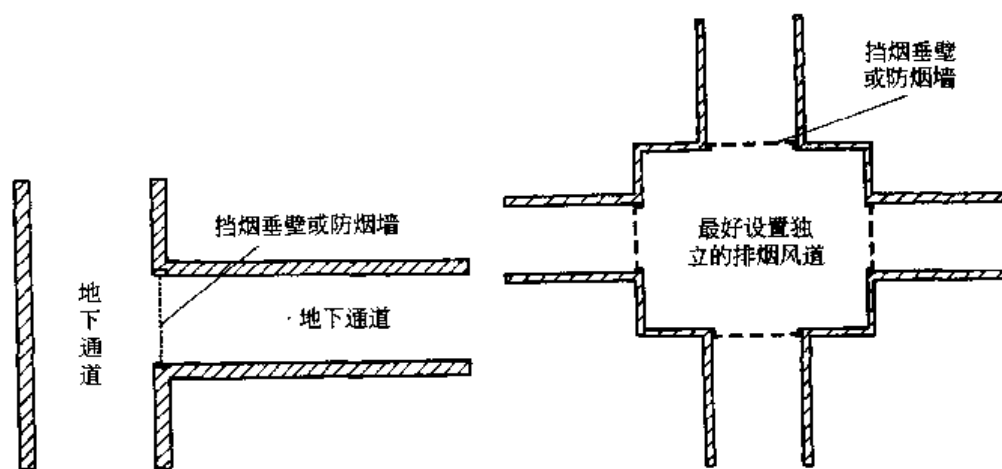


图 5-9 地下街交叉道口的防烟分区设计

地下建筑的防烟分区较多采用挡烟垂壁形成, 一般要求从吊顶面下垂不小于 0.5m, 而且要采用不燃材料或用不燃材料保护的板材。防烟垂壁的高度和耐火性能是非常重要的, 若设计不合格, 就可能导致烟气扩散, 并蔓延火灾。此外, 挡烟垂壁的蓄烟量是很有限的。研究表明, 当火灾发展到轰燃期时, 由于温度升高, 发烟量剧增, 防烟分区远远贮蓄不了剧增的烟量, 所以, 最好能与感烟探测器联动的排烟设备配合使用。

地下室的吊顶内部, 一般都作为风道、电缆等管网的设置空间。为了避免烟、火随着管道、风道等传播、蔓延, 挡烟垂壁必须设至屋顶结构底面。

需要注意的是, 在商业服务性地下建筑的吊顶面上, 大多设有宣传广告、照明灯具、通风口等突出物, 将会造成烟流紊乱, 烟层下降, 这一点, 在使用中必须加强管理。

为了增强排烟效果, 每个商店、餐厅、公共娱乐场所和通道的一段 (每段不超过 60m), 作为一个防火单元或防火分区, 设置排烟口。

对于单层的地下建筑, 一般按面积进行水平分区, 而对于多层的地下建筑。除了水平分区外, 还应进行垂直分区, 防排烟分区不允许跨越不同的层次。

### 5.2.2 防排烟设施的设置范围

(1) 地下商店和设有歌舞娱乐放映游艺场所的地下建筑, 当其地下层数为三层及三层以上, 以及地下层数为一层或两层且其室内地面与室外出入口地坪高差大于 10m 时, 均应设置防烟楼梯间; 其他的地下商店和设有歌舞娱乐放映游艺场所的地下建筑可设置封闭楼梯间, 其楼梯间的门应采用不低于乙级的防火门。

(2) 人防工程的防烟楼梯间及其前室或合用前室和避难走道的前室。应设置机械加压送风防烟设施。

(3) 设在地下的歌舞厅、录像厅、夜总会、放映厅、卡拉 OK 厅 (含具有卡拉 OK 功能的餐厅)、游艺厅 (含电子游艺厅)、桑拿浴室 (除洗浴部分外)、网吧等歌舞娱乐放映游艺场所 (以下简称歌舞娱乐放映游艺场所), 应设置防烟、排烟设施。对于地下房间以及超过 20m 且无自然排烟的疏散走道, 应设机械排烟设施。

(4) 地下商店应设防烟、排烟设施。其设计应按现行国家标准《人民防空工程设计防

火规范》(GB 50098)的规定执行。

(5) 在人防工程中, 建筑面积大于  $50\text{m}^2$ , 且经常有人停留或可燃物较多的房间、大厅和丙、丁类生产车间、总长度大于  $20\text{m}$  的疏散走道、电影放映间、舞台等应设置机械排烟设施。

(6) 使用面积超过  $500\text{m}^2$  的地下医院、旅馆应设置防烟楼梯间和排烟设施。

(7) 凡设有防烟楼梯间的其他地下建筑, 均应设置排烟设施。

### 5.2.3 防排烟风量的计算

(1) 机械加压送风量的确定

机械加压送风量的计算可参照第2章, 此处不再重复。

(2) 机械排烟风量的确定

机械排烟时, 排烟风机和风管的风量计算应符合下列要求:

1) 担负一个或两个防烟分区排烟时, 应按该部分总面积每平方米不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算, 但排烟风机的最小排烟风量不应小于  $7200\text{m}^3/\text{h}$ ;

2) 担负三个或三个以上防烟分区排烟时, 应按其中最大防烟分区面积每平方米不小于  $120\text{m}^3/\text{h}$  计算;

3) 排烟区应有补风措施, 并且当补风通路的空气阻力不大于  $50\text{Pa}$  时, 可自然补风, 当补风通路的空气阻力大于  $50\text{Pa}$  时, 应设置火灾时可转换成补风的机械送风系统或单独的机械补风系统, 补风量不应小于排烟风量的  $50\%$ 。

机械排烟系统宜单独设置或与工程排风系统合并设置。当合并设置时, 必须采取在火灾发生时能将排风系统自动转换为排烟系统的措施。

要注意每个防烟分区内必须设置排烟口, 排烟口应设置在该防烟分区的居中位置的顶棚或墙面的上部, 并应与疏散出口的水平距离在  $2\text{m}$  以上, 且与该分区内最远点的水平距离不应大于  $30\text{m}$ 。排烟口可单独设置, 也可与排风口合并设置; 排烟口的总排烟量应按该防烟分区面积每平方米不小于  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算, 且排烟口风速不宜大于  $10\text{m/s}$ 。

排烟口的开闭状态和控制应符合下列要求:

1) 单独设置的排烟口, 平时应处于关闭状态, 其控制方式可采用自动或手动开启方式; 手动开启装置的位置应便于操作。

2) 排风口和排烟口合并设置时, 应在排风口或排风口所在支管设置自动阀门, 该阀门必须具有防火功能, 并应与火灾自动报警系统联动; 火灾时, 着火防烟分区内的阀门仍应处于开启状态, 其他防烟分区内的阀门应全部关闭。

当金属风道为钢制风道时, 应按照《人民防空工程设计防火规范》规定, 钢板厚度不应小于  $1.0\text{mm}$ 。这一点, 《高层民用建筑设计防火规范》中并无明确规定, 而在《民用建筑防排烟技术规程》中则规定“金属送风、排烟管道的最小壁厚”为  $0.8\text{mm}$ 。

排烟风机可采用普通离心式风机或排烟轴流风机, 但排烟风机必须采用不燃材料制作, 并在烟气温度  $280^\circ\text{C}$  时能连续工作  $30\text{min}$ 。排烟风机可单独设置, 也可与排风机合并设置。当排烟风机与排风机合并设置时, 宜采用变速风机。排烟风机的余压应按排烟系统最不利环路进行计算, 排烟量应增加  $10\%$ 。

排烟风机的安装位置, 宜处于排烟区的同层或上层。排烟管道宜顺气流方向向上或水平敷设。排烟风机应与排烟口联动, 当任何一个排烟口、排烟阀开启或排风口转为排烟口

时,系统应转为排烟工作状态,排烟风机应自动转换为排烟工况。当烟气温度大于  $280^{\circ}\text{C}$  时,排烟风机应随设置于风机入口处防火阀的关闭而自动关闭。

### 5.3 地下车库的通风与防排烟设计

地下汽车库作为高层或者多层建筑的一部分,其面积少则一层,多则数层,由于地下车库除汽车出入口外一般无其他与室外相通的孔洞,地下汽车库在高层建筑中处于半封闭状态,流动或停泊的汽车排出废气且带有可燃物,因此必须有日常通风换气。另外,由于地下车库的高度密闭性,发生火灾时高温烟气会因无处排放而迅速地地下车库中蔓延,因此必须设置火灾排烟系统。

#### 5.3.1 地下车库通风与防排烟系统的设计原则

(1) 地下车库的通风与防排烟系统的设计应执行《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》。

目前,尚有设计人员,在进行地下车库的设计时仍在套用《高层民用建筑设计防火规范》和《人民防空工程设计防火规范》中的相关条款。但《高层民用建筑设计防火规范》中第 4.1.8 条已明确指出:“设在高层建筑内的汽车停车库,其设计应符合现行国家标准《汽车库设计防火规范》的规定”;《人民防空工程设计防火规范》中第 3.1.9 条则规定:“设在人防工程内的汽车库、修车库,其防火设计应按现行国家标准《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》的有关规定执行”。而《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》总则第 1.0.2 条的条文说明中明确指出该规范适用于“高层民用建筑所属的汽车库和人防地下车库”。因此,在进行地下车库设计时,应严格执行《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—97)。

(2) 地下汽车库必须采用机械通风方式;组合建筑内的汽车库和地下汽车库的通风系统应独立设置,不应和其他建筑的通风系统混设。

在满足排风量的基础上,地下汽车库的排风宜按室内空间上、下两部分设置,上部地带按排出风量的  $1/3$  计算,下部地带按排出风量的  $2/3$  计算。送入新鲜空气的进风口宜设在主要通道上。

(3) 风管应采用不燃材料制作,并不应穿过防火墙、防火隔墙,当必须穿过时应采用不燃材料将孔洞周围的空隙紧密填塞,并应在穿过处设置防火阀,防火阀的动作温度宜为  $70^{\circ}\text{C}$ 。并且由于地下车库通风排烟困难,当地下车库的通风、空调系统的风管需保温,风管的保温材料应采用不燃烧或难燃烧材料,不得使用泡沫塑料等会产生有毒气体的高分子材料。穿过防火墙的风管,其位于防火墙两侧各  $2\text{m}$  范围内的保温材料应为不燃烧材料。

(4) 面积超过  $2000\text{m}^2$  的地下汽车库应设置机械排烟系统。机械排烟系统可与人防、卫生等排气、通风系统合用。防烟分区太小,增设了平面内的排烟系统的数量,不易控制;防烟分区面积太大,风机增大,风管加宽,也不利于设计。

(5) 设有机械排烟系统的汽车库,其每个防烟分区的建筑面积不宜超过  $2000\text{m}^2$ ,且防烟分区不应跨越防火分区。防烟分区可采用挡烟垂壁、隔墙或从顶棚下突出不小于  $0.5\text{m}$  的梁划分。

(6) 每个防烟分区应设置排烟口,排烟口宜设在顶棚或靠近顶棚的墙而上;排烟口距

该防烟分区最远点的水平距离不应超过 30m。

地下汽车库发生火灾时产生的烟气，开始绝大多数积聚在车库的上部，将排烟口设在车库的顶棚上或靠近顶棚的墙面上，排烟效果更好，排烟口与防烟分区最远地点的距离是关系到排烟效果好坏的重要问题，排烟口与最远排烟地点太远了，就会直接影响排烟速度，太近了要多设排烟管道，不经济。

(7) 排烟风机的排烟量应按换气次数不小于 6 次/h 计算确定。由于地下汽车库汽车发生火灾时，可燃物较少，发烟量不大，且人员较少，基本无人停留，设置排烟系统一方面是为了人员疏散，另一方面便于扑救火灾。鉴于地下车库的特点，经专家们研讨，认为 6 次/h 的换气次数的排烟量是基本符合汽车火灾的实际情况和需要的。

(8) 排烟风机可采用离心风机或排烟轴流风机，并应在排烟支管上设有烟气温度超过 280℃ 能自动关闭的排烟防火阀。排烟风机应保证 280℃ 时能连续工作 30min。

据测试，一般可燃物发生燃烧时火场中心温度高达 800~1000℃。火灾现场的烟气温度也是很高的，特别是地下汽车库火灾时产生的高温散发条件较差，温度比地上建筑要高，排烟风机能否在较高气温下正常工作，是直接关系到火场排烟很重要的技术问题。排烟风机一般设在屋顶上或机房内，与排烟地点有相当一段距离，烟气经过一段时间方能扩散到风机，温度要比火场中心温度低很多。据国外有关资料介绍，排烟风机能在 280℃ 连续工作 30min，就能满足要求。

排烟防火阀应联锁关闭相应的排烟风机。因为排烟风机、排烟防火阀、排烟管道、排烟口，是一个排烟系统的主要组成部分，它们缺一不可，排烟防火阀关闭后，光是排烟风机启动也不能排烟，并可能造成设备损坏。所以，它们之间一定要做到相互联锁，目前国内的技术已经完全做到了，而且都能做到自动和手动两用。

此外，还要求排烟口平时宜处于关闭状态，发生火灾时做到自动和手动都能打开。目前，国内多数是采用自动和手动控制的，并与消防控制中心联动起来，一旦遇有火警需要排烟时，由控制中心指令打开排烟阀或排烟风机进行排烟。因此凡设置消防控制室的车库排烟系统应用联动控制的排烟口或排烟风机。

(9) 机械排烟管道风速，采用金属管道时不应大于 20m/s；采用内表面光滑的非金属材料风道时，不应大于 15m/s。排烟口风速不宜超过 10m/s。

(10) 汽车库内无直接通向室外的汽车疏散出口的防火分区，当设置机械排烟系统时，应同时设置进风系统，且送风量不宜小于排烟量的 50%。

按照空气流动的原理，当需要排除某一区域的空气时，同时也需要有另一部分的空气补充。地下车库由于防火分区的防火墙分隔和楼层的楼板的分隔，使有的防火区内无直接通向室外的汽车疏散出口，也就无自然进风条件，对这些区域，因是周边处于封闭的条件，如排烟时没有同时进行补风，烟是排不出去的。所以应在这些区域内的防烟分区增设进风系统，进风量不宜小于排烟量的 50%，在设计中，应尽量做到送风口在下，排烟口在上，这样能使火灾发生时产生的浓烟和热气顺利排除。

### 5.3.2 地下车库通风量与排烟量的确定

#### (1) 排风量的确定

目前确定地下汽车库排风量的方法，大体上可分为两类，一类是按全面通风换气量进行计算，另一类则是按换气次数估算。

### 1) 按全面通风换气量的计算

是按将有害物冲淡到卫生标准所需的全面通风换气量来确定。汽车尾气的主要有害物为 CO、NO<sub>x</sub> 及少量汽油及热量，以 CO 及 NO<sub>x</sub> 为主。因 CO 及 NO<sub>x</sub> 对人体的作用不同，其全面通风换气量（即排气量）应分别计算稀释 CO 及 NO<sub>x</sub> 所需的换气量，然后取大值。表 5-1 列出了各种轻型汽车实测的 CO 及 NO<sub>x</sub> 的平均浓度值。由此可以看出进口汽车实测的 NO<sub>x</sub> 的排放浓度为最高允许浓度（5mg/m<sup>3</sup>）的 2 倍，而 CO 的排放浓度为最高允许浓度（按 100mg/m<sup>3</sup>）的 456~500 倍。显然按 CO 计算出的全面通风换气量完全可以将 NO<sub>x</sub> 稀释到卫生标准规定的浓度。因而以 CO 作为计算换气的标准是合理的。

各种轻型汽车实测的 CO 及 NO<sub>x</sub> 的平均浓度值

表 5-1

| 项目<br>车别 | B <sub>i</sub> (%) | D <sub>i</sub> (4/min) | CO 浓度<br>C <sub>i</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) | t<br>(min) | T <sub>2</sub> /T <sub>1</sub> | NO <sub>x</sub> 浓度<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|------------------------|----------------------------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| 国产轿车     | 40                 | 526                    | 64028                                        | 6          | 0.356                          | 2.56                                       |
| 国产面包车    | 20                 | 550                    | 55000                                        | 6          | 0.356                          | 5.67                                       |
| 进口轿车     | 20                 | 419                    | 45625                                        | 6          | 0.379                          | 9.01                                       |
| 进口面包车    | 20                 | 456                    | 50000                                        | 6          | 0.379                          | 9.92                                       |

全面通风换气量 (L) 的计算公式为：

$$L = \frac{G}{C - C_0} (\text{m}^3/\text{h}) \quad (5-1)$$

式中 G——地下汽车库 CO 散发量，mg/h；

C——地下汽车库 CO 最高允许浓度，mg/m<sup>3</sup>；

C<sub>0</sub>——送风中 CO 浓度，mg/m<sup>3</sup>。

关于 CO 最高允许浓度的取值。我国卫生标准规定为 30mg/m<sup>3</sup>，但作业时间短暂时可以放宽：作业时间在 1 小时之内为 50mg/m<sup>3</sup>；半小时内为 100mg/m<sup>3</sup>；15~20min 为 200mg/m<sup>3</sup>。但在上述条件下反复作业时，两次作业之间需间隔 2 小时以上。计算中取值差别很大，有的取 C = 100mg/m<sup>3</sup>；有的取 C = 100ppm (125mg/m<sup>3</sup>)，有的取 200mg/m<sup>3</sup>。

送风中 CO 浓度取值。有的取值为 C<sub>0</sub> = 2.5 ~ 3.5mg/m<sup>3</sup>；有的取值 C<sub>0</sub> = 3ppm (3.75mg/m<sup>3</sup>)；也有的取值为 C<sub>0</sub> = 3mg/m<sup>3</sup>。

CO 散发量 G 的计算：

$$G = \sum_{i=1}^i Q_i C_i (\text{mg/h}) \quad (5-2)$$

式中 Q<sub>i</sub>——i 类汽车排出气体总量，m<sup>3</sup>/(h·台)；

C<sub>i</sub>——i 汽车排放 CO 平均浓度，mg/m<sup>3</sup>。

考虑到为使数据一致，应对 Q<sub>i</sub> 计算进行温度修正，此时：

$$Q_i = \frac{T_2}{T_1} \cdot W \cdot S \cdot B_i \cdot D_i \cdot t \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{h}) \quad (5-3)$$

汽车总排气量为:

$$Q = \sum Q_i (\text{m}^3/\text{h}) \quad (5-4)$$

上两式中  $T_1$ ——汽车排气温度, K, 国产车  $T_1=823\text{K}$ , 进口车  $T_1=773\text{K}$ ;

$T_2$ ——地下车库常温, K, 一般  $T_2=293\text{K}$ ;

$W$ ——汽车库停车总车位数, 即额定停车数 (台);

$S$ ——汽车出入额度, 即 1 小时内出入车数与额定停车数之比, 一般在 0.35~1.5 之间;

$B_i$ —— $i$  类汽车单位的排气量, L/(min·台);

$D_i$ —— $i$  类汽车占停车总数的百分比, %;

$t$ ——每辆车在车库内发动机工作时间, 分, 取  $t=2\sim6\text{min}$ 。

将式 (5-3) 代入式 (5-2), 式 (5-2) 代入式 (5-1) 则得:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^i \frac{T_2}{T_1} \cdot W \cdot S \cdot B_i \cdot D_i \cdot t \cdot C_i \times 10^{-3}}{C - C_0} (\text{m}^3/\text{h}) \quad (5-5)$$

$$\text{换气次数 } n = \frac{\sum_{i=1}^i \frac{T_2}{T_1} \cdot W \cdot S \cdot B_i \cdot D_i \cdot t \cdot C_i \times 10^{-3}}{(C - C_0)V} (\text{次}/\text{h}) \quad (5-6)$$

## 2) 按换气次数估算

在无计算资料时, 可参考换气次数估算, 一般排风量不小于 6 次/h。送风量不小于 5 次/h。

## (2) 排烟量的确定

排烟量应按换气次数不小于 6 次/h 计算确定, 补风量不宜小于排烟量的 50%。

需要注意的是, 在计算排风量时, 如按全面通风换气量来计算, 由于各参数的取值不同, 其计算结果可能有几倍甚至十几倍的差别, 如按换气次数进行估算, 则排风量与排烟量相同, 这将给简化系统、简化设计、方便运行控制等各方面带来诸多好处。

## 5.3.3 常用的地下车库通风与排烟系统

在地下车库通风与排烟系统中, 通常将送风系统兼作排烟时的补风系统, 而排风与排烟系统则有不同的处理方式, 一般常见的有下面几种形式:

### (1) 排风与排烟完全分开

见图 5-10, 由于排风和排烟系统各自独立, 因此简单易行, 效果也好, 但风管耗量大, 投资也大, 有时风管难以布置。

### (2) 排风与排烟系统合用管道的一般方式

见图 5-11, 此时排风排烟共用主风管, 下排风口一般采用支管, 且支管上设常开型 70℃ 防火阀, 而所有风口均可采用普通百叶风口, 平时排风机常开, 分上、下两部分排风; 火灾时, 排风机处防火阀动作, 联锁关闭排风机; 同时烟感器动作, 电控关断所有下排支管上的防火阀, 电控开启排烟防火阀及排烟机, 烟气由上部风口进入由排烟机排出; 至 280℃ 时排烟阀熔断, 联锁关闭排烟机。这种方式风管布置简单, 缺点在于下排风管上防火阀的控制点较多。另外, 上、下均布置风口的方式存有隐患, 平时的排风量满足要求, 但火灾时的排烟量可能达不到设计要求。

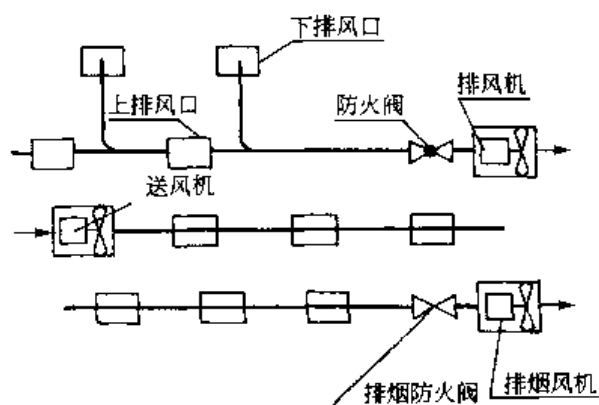


图 5-10 排风与排烟完全分开系统示意图

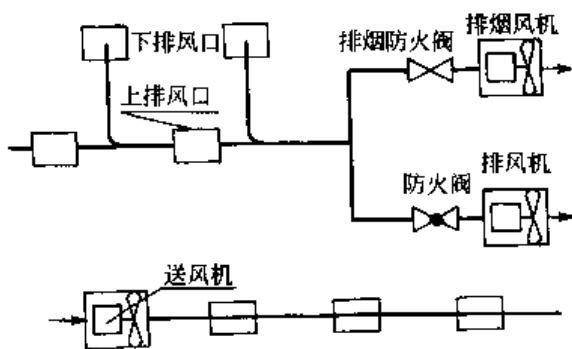


图 5-11 排风与排烟系统合用管道系统示意图

### (3) 排风、排烟系统合用上排管道

见图 5-12，由于排风系统分上、下两部分排风，排风、排烟系统可仅合用上管道及风口。此时在排烟风机处设常闭型排烟防火阀（ $280^{\circ}\text{C}$ 熔断），排风机、排烟机的连接管道上设常开的  $70^{\circ}\text{C}$  防火阀。应注意，两风机之间的连接管道应顺着排风方向。平时排风机常开，分上、下两部分排风。由于上部的排风能够顺着气流方向由排风机排出，所以阻力较小。火灾时、仅需排风机处的防火阀动作，联锁关闭排风机。同时，烟感器动作，电控开启排烟防火阀及排烟机，烟气由上部排风口进入并由排烟机排出；至  $280^{\circ}\text{C}$  时排烟阀熔断，联锁关闭排烟机，这种布置方式控制简单，节省投资，但有时排烟量达不到设计要求。

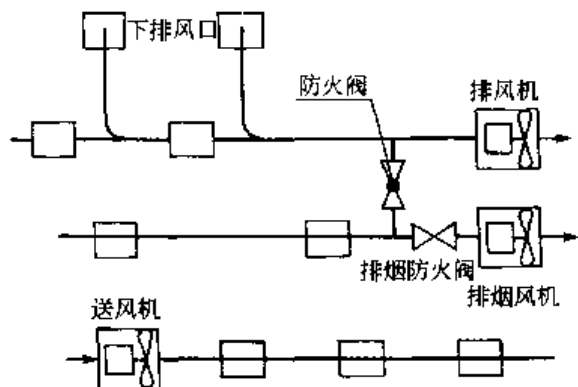


图 5-12 排风、排烟系统合用上排管道示意图

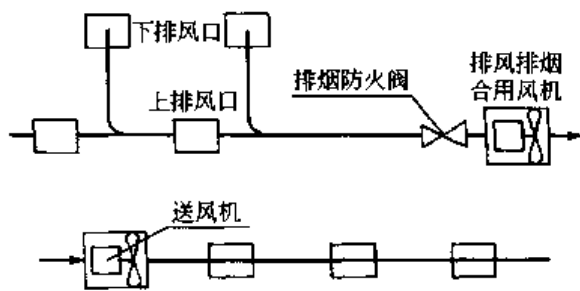


图 5-13 排风、排烟系统合二为一示意图

### (4) 排风、排烟系统合二为一

由于排风、排烟量相同，排风、排烟系统可以合二为一，如图 5-13 所示。目前，这种方式在工程实践中也有较多应用，一般可采用消防高温防排烟风机箱，平时作为低噪声风机排风，火灾时作为排烟风机排除高温烟气。风机入口处设  $280^{\circ}\text{C}$  常开排烟防火阀，在  $280^{\circ}\text{C}$  时排烟阀熔断联锁关闭风机。这种风机箱采用耐高温的双层结构板，电动机及传动部件均安装在箱体外端，完全能够满足平时排风及火灾时排烟的要求。另外需要说明的是，采用这种方式，管道上的消声器、软接头需要有抵抗高温烟气的能力。这种合用风机的方式在初投资上要优于排风机与排烟机的组合。

### (5) 无风道诱导风机通风系统在地下车库中的应用

无风道诱导风机通风空调系统是瑞典 ABB 公司在 1974 年发明的一项专利。其原理

是：采用小直径高速风管，通过安装在风管上的特别设计的喷嘴，以高速喷射出来的空气，诱导周围大量的空气，并按指定的方向，将空气送到规定的区域。该系统的工作原理如图 5-14 所示。

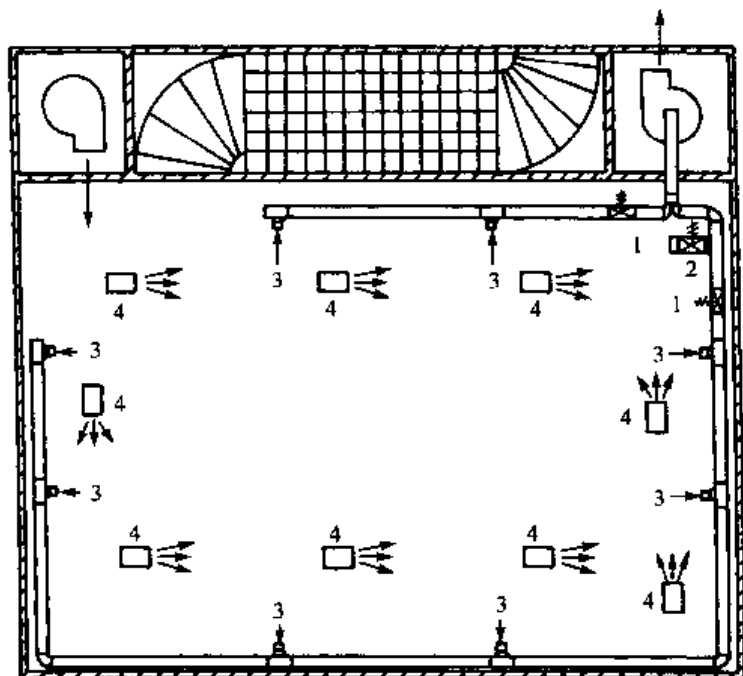


图 5 14 无风道诱导风机通风系统工作原理图

1—安装在排烟管道上的电动阀，平时关闭，火灾时打开；2—排风口控制阀，平时开启，火灾时关闭；

3—排烟口；4—诱导风机

实践表明，无风道诱导风机通风系统用于地下车库的优点是：

1) 可减少风道占据车库的空间，易与其他专业的管道和桥架配合，施工简单，无需风量平衡，系统美观大方；

2) 气流组织好，喷嘴可以灵活布置和调整，增加了室内的空气扰动。由于高速带入新鲜空气，并充分与室内空气混合，废气难以停滞，更有利于消除室内污染，实测表明，采用这种通风系统的地下车库，其有害气体浓度，远低于设计允许值；

3) 可有效降低建筑层高，节省土建成本；

4) 有资料显示，这种系统的一次投资可能降低 5%~15%，运行费用可降低 20%~40% 左右。

目前这种系统已经广泛应用于国内的地下车库。

## 第 6 章 地下隧道的通风

### 6.1 概 述

本章主要论述道路地下隧道的通风,道路地下隧道通风设计主要解决如下三个问题<sup>[17]</sup>:

(1) 隧道建成通车后会产生多少污染,这主要指汽车通过隧道时排放出有害气体的污染程度,包括隧道内的有害气体的污染程度、隧道洞口或通风竖井周围环境有害气体的污染程度。

有害气体包括 CO、NO<sub>x</sub>、HC、SO<sub>x</sub>,其中以 CO 为主。有害气体 (CO) 发生量的计算是估计将来有多少污染的基础,但这问题很复杂,因为影响因素很多 (包括车辆、坡度、海拔等),而且有些因素还是不确定的。

(2) 通风量计算主要考虑的问题

1) CO 的设计浓度,各个国家对此都制定了相应的标准。这个标准在 20 世纪初较低,以后逐步提高。20 世纪 20 年代为 400ppm,20 世纪中期为 220ppm,20 世纪后期为 150ppm,20 世纪末为 100ppm。

2000 年 6 月 1 日实施的中华人民共和国行业标准《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999) 提出 CO 的设计浓度:

(A) 采用全横向通风方式与半横向通风方式时,按表 6-1 取值;采用纵向通风方式时,按表 6-1 提高 50ppm 取值 (1ppm 是指常温常压下,1m<sup>3</sup> 被污染的空气中含有 10<sup>-6</sup>m<sup>3</sup> 的有害气体,即按体积计算的浓度为百万分之一)。

机动车通行的 CO 设计浓度取值表

表 6-1

| 隧道长度 (m) | ≤1000 | ≥3000 |
|----------|-------|-------|
| δ (ppm)  | 250   | 200   |

注:隧道长度为 1000~3000m 时,可按插入法取值。

(B) 交通阻滞 (隧道内各车道均以慢速行驶,平均车速为 10km/h) 时,阻滞段的平均 CO 设计浓度可取 300ppm,经历时间不超过 20min。阻滞段的计算长度不宜大于 1000m。

(C) 人车混合通行的隧道,长度不宜超过 2 000m,其 CO 设计浓度按表 6-2 取值。

人车混合通行的 CO 设计浓度取值表

表 6-2

| 隧道长度 (m) | ≤1000 | ≥2000 |
|----------|-------|-------|
| δ (ppm)  | 150   | 100   |

注:隧道长度为 1000~3000m 时,可按插入法取值。

2) 需要的风量, 即稀释 CO 使空气达到卫生标准所需的通风量。20 世纪 20 年代在这方面做了许多研究工作, 1925~1927 年美国 Holland 隧道是世界上第一次解决隧道通风问题, 其特点是通风效果很好, 但费用高 (耗电量大、土建费用高), 主要因为阻力大, 送、排风机的功率大。

### (3) 隧道通风类型

隧道通风包括自然通风和机械通风两种形式。机械通风又有纵向通风、半横向通风、全横向通风等形式, 见图 6-1。

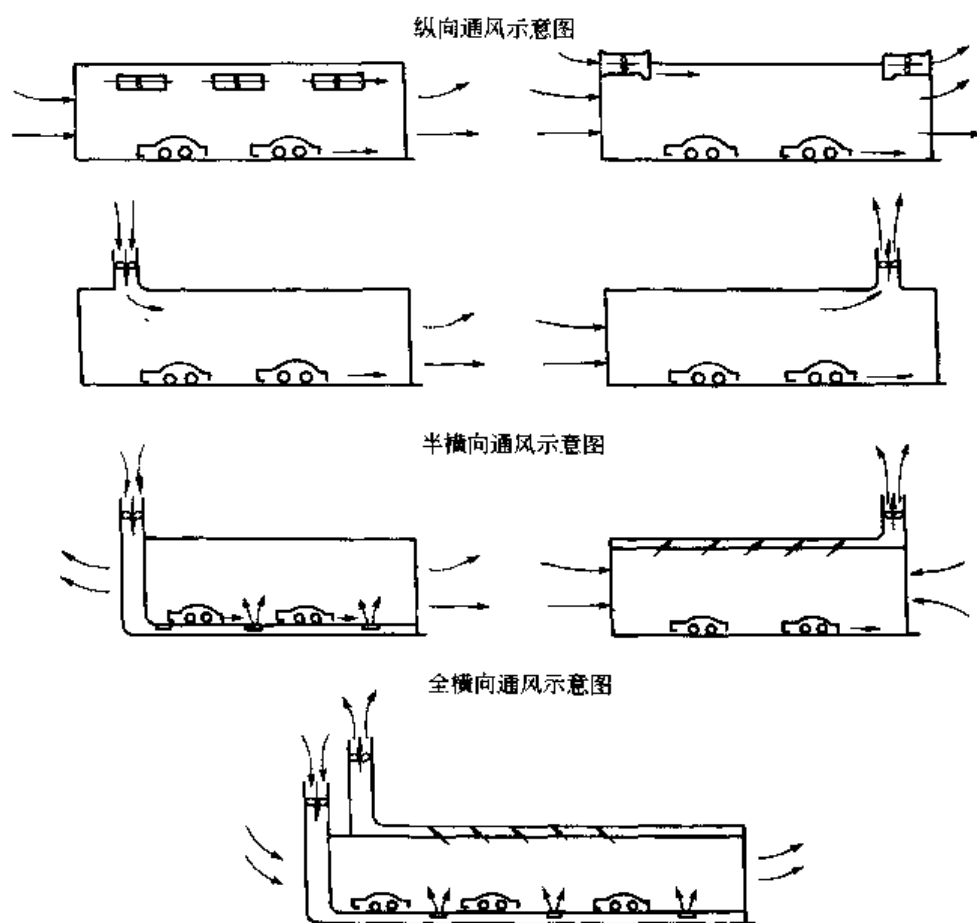


图 6-1 机械通风典型通风方式示意图

前苏联的有关规范 CHUT1 11-44-78 提出: 凡是隧道长度超过 150m, 就必须考虑上述三种机械通风方式中的一种解决隧道通风问题。

JTJ026.1—1999 规定: 双向交通隧道, 当符合下列条件时, 宜设置机械通风:

$$L \cdot N \geq 6 \times 10^5 \quad (6-1)$$

式中  $L$ ——隧道长度, m;

$N$ ——设计交通量, 辆/h。

单向交通隧道当符合下列条件时, 宜设置机械通风:

$$L \cdot N \geq 6 \times 10^6 \quad (6-2)$$

## 6.2 道路沉管隧道通风设计的基础资料调查

### 6.2.1 交通调查—确定每小时通过隧道的交通量

#### (1) 交通调查目的

为了进行通风量及风压计算，这是基础资料之一；其二是据此进行隧道运营维护费估算。

#### (2) 交通量调查的要求

车种构成分类：按汽车发动机类别分类（即汽油车与柴油车比例）；按汽车排气量分类；按乘坐人员数量分类；按大、小型货车分类；按重载与空载车分类。

比较适合我国国情的交通量调查分类要求：轻型车；大型货运车如汽油车、柴油车（包括大型货运车合计数占总数的百分数）；大型客运车：如汽油车、柴油车；集装箱车：如汽油车、柴油车；摩托车；汽油车合计数和柴油车合计数占总数的百分数。

隧道建设前交通量调查，主要依据已有的交通资料进行预测，预测资料应包括车种构成比例数据。隧道建成通车后可用截查统计数据验证。

### 6.2.2 气象调查

气象调查的目的：进行隧道通风设计时确定自然风的影响；预测隧道口部或通风竖井排出有害气体扩散时对周围环境的影响。

调查内容包括：风向、风速、气温、湿度、大气物质稳定性等。

调查方法：地面气象观测法，以隧道口部或通风竖井位置为中心进行观测，同时还要在气象要素具有代表性的地点进行观测。最好进行一年的连续观测，取年平均值。如有困难，可在各季节取有代表性的时期进行连续数天的观测。

### 6.2.3 当地条件和环境调查

当地条件调查包括：隧道口部或通风竖井附近的地形、地面建筑、地下埋设物等。地下埋设物的调查又包括：埋设电缆、上下水道、各种专业管道（例如煤气管）、附近建筑物基础等的坐标、标高、形状、规格和构造等。这些资料对通风方案的选定，确定通风竖井位置、通风道的横断面尺寸等有很大的影响，同时对隧道口部或通风竖井排出的有害气体的扩散也有较大的影响。

环境条件调查包括：隧道口部或通风竖井附近周围环境本地噪声强度以及本地有害气体浓度的调查，这些作为环境评估的基础资料。

## 6.3 道路地下隧道通风系统设计

### 6.3.1 通风系统设计的技术路线

其技术路线，见图 6-2。

### 6.3.2 设计条件的设定及确认

(1) 隧道本身条件包括：隧道总长度、几何要素（包括平、纵、横断面）、隧道位置和用地的制约条件；隧道两岸所要求衔接道路的情况及交通疏解要求；隧道两岸是否存在与其他设施（如地下停车场）连接要求；隧道两岸有无地下构筑物或地下埋设物；隧道是

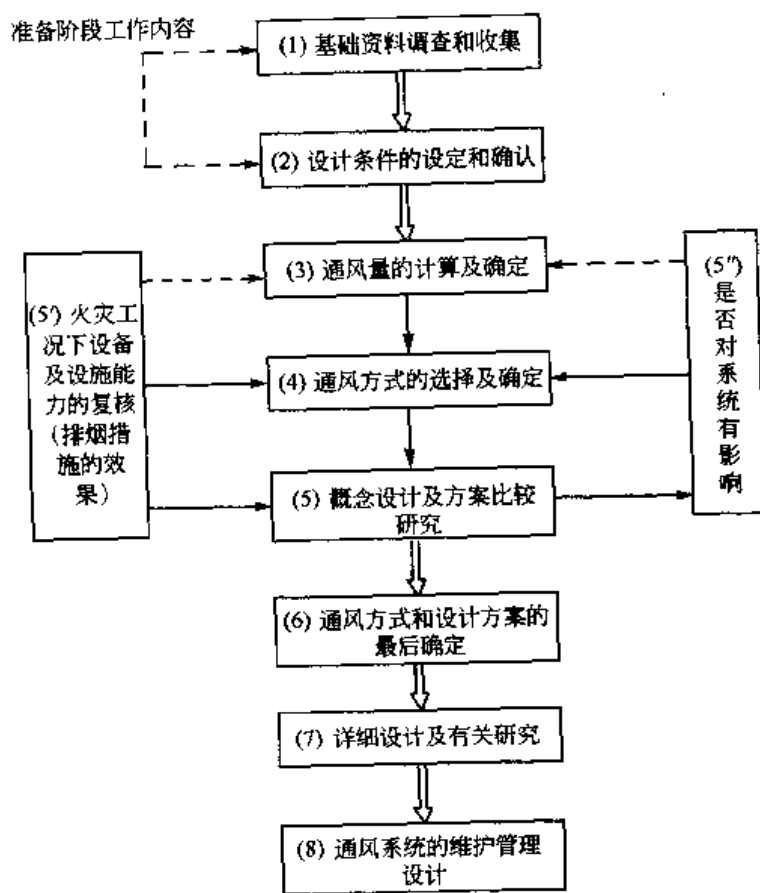


图 6-2 技术路线示意图

否存在延伸和变更的可能性；隧道口部原有建筑的布置情况。

## (2) 交通条件。

1) 交通量包括初、近、远期的交通量预测，不同方向的分布，每日不同时段的变化，每周各天的变化，每季度的变化等。

2) 车辆种类构成主要是大型车种的比例，或小时交通流量中车种构成比例。

3) 设计速度包括设计计算行车速度 (km/h)，最低设计计算行车速度 (km/h)。

4) 每一隧道中的车道数 (单向或双向行驶条件)。

5) 交通阻塞的可能性。

## (3) 通风竖井 (包括通风机房) 设置条件。

1) 隧道两岸上段是否有足够面积设置通风竖井，位置是否合适以及高度是否受限制。

2) 通风竖井预定位置的地形、地质、地下埋设物的条件。

## (4) 气象条件。

1) 隧址附近的一年气象资料 (重点是上空及地表附近的主导风向、风速等)。

2) 特殊气象条件 (例如逆流层等) 的发生频率，持续时间。

3) 隧址附近的温、湿度。

## (5) 环境条件。

隧址附近地理情况和周围建筑物概况以及有关大气、噪声等环境条件。

## 6.4 通风量的计算

### 6.4.1 有害气体及烟雾发生量

参考日本的《公路隧道手册》通风篇，每辆车尾气中的有害成分（CO 及烟气）发生量，见表 6-3。

通风量计算所采用有害成分（CO）及烟气发生量参考表（每辆车） 表 6-3

| 有害成分                             | 车辆种类       | 发生量  |      | 备注         |
|----------------------------------|------------|------|------|------------|
|                                  |            | 平均值  | 标准偏差 |            |
| 一氧化碳<br>(L/km)                   | 汽油车<br>柴油车 | 7    | 未考虑  | 阻塞时为 15 左右 |
| 烟雾<br>( $\text{m}^3/\text{km}$ ) | 汽油车        | 0.05 | 0    |            |
|                                  | 柴油车        | 0.6  | 0.5  |            |

每辆柴油车：平均排出气体量为  $5.6\text{m}^3/\text{km}$ ，而烟雾发生量平均值： $\mu_D = 0.6 \times 5.6 = 3.36\text{m}^3/\text{km}$ 。

每辆汽油车：平均排出气体量为  $1.3\text{m}^3/\text{km}$ ，而烟雾发生量平均值： $\mu_G = 0.05 \times 1.3 = 0.07\text{m}^3/\text{km}$ 。

日本曾对两座隧道进行过检测，根据不同柴油车的比例，综合得出每辆车有害成分发生量见表 6-4。

根据实际情况调查得出有害成分的发生量（每辆车） 表 6-4

| 隧道名称 | 调查年月    | 柴油车比率<br>(%) | 按平均车辆种类的平均发生量 |            |                               |
|------|---------|--------------|---------------|------------|-------------------------------|
|      |         |              | CO (L/km)     | NOx (L/km) | 烟雾 ( $\text{m}^3/\text{km}$ ) |
| 小仙   | 1977.3  | 36.3         | 7.97          | 2.49       | 6.48                          |
| 津之谷  | 1977.3  | 30.5         | 9.79          | 2.07       | 4.92                          |
| 津之谷  | 1978.7  | 31.6         | 3.17          | 0.93       | 5.23                          |
| 津之谷  | 1979.10 | 35.2         | 7.17          | 0.39       | 3.94                          |
| 津之谷  | 1981.3  | 28.9         | 5.83          | 0.46       | 2.40                          |

瑞士在 20 世纪 50 年代提出的汽车在标准状态下每吨公里的 CO 产生量为：

|      |                                                 |
|------|-------------------------------------------------|
| 小汽车  | $0.017\text{m}^3 / (\text{t} \cdot \text{km})$  |
| 大型汽车 | $0.012\text{m}^3 / (\text{t} \cdot \text{km})$  |
| 柴油汽车 | $0.0005\text{m}^3 / (\text{t} \cdot \text{km})$ |

### 6.4.2 CO 及烟雾浓度容许标准

CO 容许浓度在正常交通情况为 200 ppm，由于在隧道内经过时间比较短，对通行者不会发生问题。阻塞交通情况为 250 ppm（车速  $1.5 \sim 30\text{km/h}$ ，不超过 15min），因阻塞和发生事故时，通行者和交通管理人员在隧道内滞留 1h 以上的情况很少，故可以认为没有问题。另外，对于因事故处理需要在隧道内滞留 1h 以上的情况，可考虑使滞留在隧道内汽车发动机停车和采取交通管理条例中的有关处理措施。

关于烟雾浓度容许值,由于隧道内视距除了与烟雾浓度有关外,同时亦与路面照度、光源的种类、行驶速度、路面和内装修的颜色对比度都有密切关系,因而在决定烟雾浓度标准值时,必须要同时考虑到这些因素。烟雾浓度是以每 100m 透光率 40% 作为标准值,每 100m 透光率 50% 为理想值。

广州黄沙至芳村珠江水下隧道在确定烟雾浓度容许值标准时亦考虑到上述因素:正常交通情况在路面照度为 110lx 条件下,车速为 50~60km/h,烟雾浓度  $K=7.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ,100m 透光率为 48%。交通阻塞情况时,车速 15~30km/h,烟雾浓度  $K=9 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ,100m 透光率为 40%。

JTJ 026.1—1999 标准规定烟雾设计浓度:采用钠灯光源时,烟雾设计浓度按表 6-5;采用荧光灯光源时,烟雾设计浓度应提高一级。

烟雾设计浓度 K

表 6-5

| 设计行车速度              | 100 (km/h) | 80 (km/h) | 60 (km/h) | 40 (km/h) |
|---------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| $K (\text{m}^{-1})$ | 0.0 065    | 0.0 070   | 0.0 075   | 0.0 090   |

当烟雾浓度达到  $0.012 \text{ m}^{-1}$  时,应采取交通管制措施,减少进入隧道的车辆。

进行隧道内养护维修时,应按现场实际烟雾浓度不大于  $0.0035 \text{ m}^{-1}$  考虑。对车辆通过隧道时人员的舒适感与烟雾透光率的关系,很难作出明确规定,但根据 PIAR 会议(1979 年)的报告,透光率与舒适性的一般关系见表 6-6。

透光率与舒适性

表 6-6

| 100m 透光率 (%) | 舒适程度     |
|--------------|----------|
| 100~60       | 无感觉      |
| 60~50        | 可见烟雾     |
| 50~40        | 烟雾有气味    |
| 40~30        | 非常不舒服的感觉 |
| 30 以下        | 难以容忍的感觉  |

在计算通风量时应分别按稀释 CO 浓度和烟雾浓度进行,选择其中大值作为设计风量。但在计算稀释汽油车 CO 浓度时也需考虑柴油车的 CO 排放量,计算柴油车烟雾浓度时也需考虑汽油车的烟雾排放量。

#### 6.4.3 通风量计算

一般情况下,分别按 CO 及烟雾浓度计算出每公里的标准通风量,然后根据隧道长度计算所需通风量。再依据行驶速度、坡度和不同车型 CO 的排放量进行修正而得出最终结果。同时亦要计算出阻塞、火灾排烟时所需通风量,作为验算通风量的依据。

(1) 稀释有害气体(CO)所需通风量的计算公式。

1959 年瑞士专家委员会报告提出的计算公式为:

$$Q = \frac{(q^{\text{co}} \cdot n \cdot f \cdot G) \cdot 10^6}{\delta_{\text{co}}} \quad (\text{m}^3/\text{h}/\text{km}/\text{车道}) \quad (6-3)$$

式中  $Q$ ——每小时每车道每公里的通风量,  $\text{m}^3/\text{h}/\text{km}/\text{车道}$ ;

$q^{\text{co}}$ ——汽车基准 CO 产生量,  $\text{m}^3/\text{t}/\text{km}$ ;

$f$ ——速度坡度修正系数；  
 $G$ ——平均车重，t/辆；  
 $n$ ——每车道交通量，辆/h；  
 $\delta_{co}$ ——CO 容许浓度，ppm。

日本计算公式为

$$Q = \frac{d \times q^{co}}{\delta_{co} \times 60 \times 10^3} \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{km}) \quad (6-4)$$

式中  $Q$ ——达到 CO 容许浓度的每公里所需通风量；

$d$ ——每公里的汽车数，辆/km；

$q^{co}$ ——汽车 CO 的单位时间排出量，L/min。

或用以下公式计算：

$$\frac{\mu}{T_t \cdot Q} = \delta_{co} \quad (6-5)$$

式中  $Q$ ——通风量， $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}$ ；

$\mu$ ——汽车的 CO 发生量平均值， $\text{m}^3/\text{km}$ ；

$T_t$ ——汽车列的平均车头间隔时间，s， $T_t = 3600/N$ ， $N$  为交通量，辆/h。

式 (6-4) 可变换为

$$Q = \left( \frac{\mu}{3600\delta_{co}} \right) N \quad (6-6)$$

此处设

$$q_0 = \frac{\mu}{3600\delta_{co}} \quad (6-7)$$

采用标准状态的  $\mu$ ，每公里隧道的基准通风量  $Q_0$  可用下式计算：

$$Q_0 = q_0 \cdot N (\text{m}^3/\text{s}) \quad (6-8)$$

假定隧道内允许浓度为 50ppm、100ppm，计算出  $q_0$ ，见表 6-7。

对于 CO 的  $q_0$

表 6-7

| CO 发生量 (L/km) | 允许浓度 (ppm) |        | 备注    |
|---------------|------------|--------|-------|
|               | 50ppm      | 100ppm |       |
| 7             | 0.038      | 0.019  | 正常行驶时 |
| 15            | 0.083      | 0.042  | 阻塞行驶时 |

JTJ 026.1—1999 计算公式：CO 排放量按下式计算

$$Q_{co} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{co} \cdot f_s \cdot f_d \cdot f_h \cdot f_{iv} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n (N_m \cdot f_m) \quad (6-9)$$

式中  $Q_{co}$ ——隧道全长 CO 排放量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$q_{co}$ ——CO 基准排放量， $\text{m}^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$ ，可取  $0.01\text{m}^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$ ；

$f_s$ ——考虑 CO 的车况系数；

$f_d$ ——车密度系数；

$f_h$ ——海拔高度系数；

$f_m$ ——车型系数；

$f_{iv}$ ——为纵坡的车速系数；

$n$ ——车型类别系数；

$n_m$ ——相应车型的设计交通量，辆/h。

稀释 CO 的风量按下式计算：

$$Q_{\text{req}(\text{co})} = \frac{Q_{\text{co}}}{\delta_{\text{co}}} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \times 10^6 \quad (6-10)$$

式中  $Q_{\text{req}(\text{co})}$ ——隧道全长稀释 CO 所需风量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$P_0$ ——标准大气压， $\text{kN}/\text{m}^2$ ，取  $101.325\text{kN}/\text{m}^2$ ；

$P$ ——隧址设计气压， $\text{kN}/\text{m}^2$ ；

$T_0$ ——标准气温，K，取  $273\text{K}$ ；

$T$ ——隧道夏季的设计温度，K。

(2) 稀释烟雾浓度所需通风量的计算公式。

1) 瑞士计算公式为

$$Q = q_0 \cdot G / 3\,600 \cdot f / K \cdot D \quad (\text{m}^3/\text{h}/\text{km}/\text{车道}) \quad (6-11)$$

式中  $Q$ ——每小时每车道每公里的通风量， $\text{m}^3/\text{h}/\text{km}/\text{车道}$ ；

$q_0$ ——柴油车在标准状态下每吨小时产烟量， $\text{m}^3/\text{t}/\text{h}$ ；

$G$ ——平均车重，t/辆；

$f$ ——修正系数；

$K$ ——允许烟雾浓度值；

$D$ ——交通密度，辆/km。

2) 日本计算公式为

$$\frac{\mu}{T_t \cdot Q} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2 \cdot Q \cdot T_t \cdot A}} \leq K \quad (6-12)$$

式中  $Q$ ——标准通风量， $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}$ ；

$\mu$ ——隧道内每公里汽车列的烟雾发生量的平均值；

$\sigma$ ——隧道内每公里的汽车列的烟雾发生量的标准差；

$K$ ——容许浓度；

$A$ ——每公里隧道的内容积， $\text{m}^3$ ；

$T_t$ ——汽车列的平均车头间隔时间，s， $T_t = 3\,600/N$ ， $N$  为每小时交通量。

日本比较重视烟雾浓度的影响（可能与该国的柴油车与汽油车的比例有关），要求分别计算柴油车和汽油车的烟雾发生量。

假设：柴油车的平均排出气体量为  $V_D$  ( $\text{m}^3/\text{km}$ )；汽油车的平均排出气体量为  $V_G$  ( $\text{m}^3/\text{t}/\text{h}$ )；柴油车的烟雾浓度平均值为  $\mu'_D$ ；汽油车的烟雾浓度平均值为  $\mu'_G$ ；对于柴油车的标准偏差为  $\sigma'_D$ ；对于汽油车的标准偏差为  $\sigma'_G$ 。

而汽车列中柴油车的比例为  $\alpha$ ，则汽车列中烟雾发生率的平均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  可由下式求得：

$$\begin{aligned} \mu_D &= \mu'_D \times V_D & \sigma_D &= \sigma'_D \times V_D \\ \mu_G &= \mu'_G \times V_G & \sigma_G &= \sigma'_G \times V_G \\ \mu &= \alpha \times \mu_D + (1 - \alpha) \times \mu_G \end{aligned} \quad (6-13)$$

$$\sigma^2 = \alpha \times \{\mu_D^2 + (\mu_D - \mu)^2\} + (1 - \alpha) \times \{\sigma_G^2 + (\mu_G - \mu)^2\} \quad (6-14)$$

柴油车和汽油车的烟雾浓度的基本值（行车速度为 40~60km/h）详见表 6-8。

烟雾浓度的基本值（每米吸光系数  $\alpha$ ） 表 6-8

| 车辆种类 | 平均值 $\mu'$ | 标准偏差 $\sigma'$ |
|------|------------|----------------|
| 柴油车  | 0.6        | 0.5            |
| 汽油车  | 0.05       | 0.0            |

每延米吸光系数  $\alpha$  与 100m 透光率之间有下列关系：

$$\alpha = 1/100 \log(\tau/100) \quad (6-15)$$

式中  $\tau$ ——100m 的透光率。

日本汽车平均排出气体量，见表 6-9。

平均排出气体量 表 6-9

| 车辆种类 | 平均排出气体量 $V$ ( $\text{m}^3/\text{km}$ ) |
|------|----------------------------------------|
| 柴油车  | $V_D = 5.6$                            |
| 汽油车  | $V_G = 1.3$                            |

根据上述日本的计算公式，假定车道横断面积  $A_r$  为  $42\text{m}^2$ ，由柴油车比例和透光率计算  $q_0$ ，见表 6-10。

对于烟雾的  $q_0$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{h} / (\text{s} \cdot \text{km} \cdot \text{辆})$ ] 表 6-10

| 柴油车比例 (%) | $\mu$ | $\sigma$ | $q_0$       |             |
|-----------|-------|----------|-------------|-------------|
|           |       |          | $\tau=10\%$ | $\tau=50\%$ |
| 0         | 0.065 | 0.000    | 0.005       | 0.006       |
| 10        | 0.395 | 1.327    | 0.039       | 0.054       |
| 20        | 0.724 | 1.818    | 0.072       | 0.100       |
| 30        | 1.054 | 2.153    | 0.104       | 0.114       |
| 40        | 1.383 | 2.396    | 0.135       | 0.187       |
| 50        | 1.713 | 2.576    | 0.165       | 0.226       |

上述数值除与车道横断面积有关外，还与隧道平面（曲线段、合流段）、纵断面（坡度）有关。车道横断面积较大时，对于同一  $K$ 、 $\mu$  和  $\delta_\infty$  通风量可适当减小。

(3) JTJ 026.1—1999 计算公式。

烟雾排放量按下式计算：

$$Q_{v1} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{v1} \cdot f_{R(v1)} \cdot f_d \cdot f_{h(v1)} \cdot f_{iv(v1)} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^{n_D} (N_m \cdot f_{m(v1)}) \quad (6-16)$$

式中  $Q_{v1}$ ——隧道全长烟雾排放量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$q_{v1}$ ——烟雾基准排放量,  $\text{m}^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$ , 可取  $2.5\text{m}^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$ ;

$f_{s(v1)}$ ——车况系数;

$f_{h(v1)}$ ——海拔高度系数;

$f_{iv(v1)}$ ——纵坡的车速系数;

$f_{m(v1)}$ ——车型系数;

$n_D$ ——柴油车车型类别数。

稀释烟雾所需风量计算式为

$$Q_{\text{req}(v1)} = \frac{Q_{v1}}{K} \quad (6-17)$$

式中  $Q_{\text{req}(v1)}$ ——隧道全长稀释所需风量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$K$ ——烟雾设计浓度,  $\text{m}^{-1}$ 。

(4) 计算通风量时的交通量。

计算通风量时, 原则上采用隧道的设计交通量。在高峰时间, 隧道偶尔会发生阻塞现象, 因此要考虑预测交通量。预测交通量是指在现实道路和交通条件下, 该道路车辆最大通行能力, 可按下式计算:

$$C = C_B \cdot r_L \cdot r_C \cdot r_l \cdot a_r \quad (6-18)$$

式中  $C$ ——预测交通量, 辆/h;

$C_B$ ——基本交通量, 辆/h;

$r_L$ ——取决于车道宽度的修正系数;

$r_C$ ——取决于侧向裕宽的修正系数;

$r_l$ ——取决于沿路条件的修正系数;

$a_r$ ——取决于大型车辆比例的修正系数。

阻塞时行使的交通量计算如下:

所谓交通阻塞有两种形式: 交通量接近预测交通容量的饱和状态发生的阻塞称为自然阻塞, 这种阻塞一般不致于引起通风设备能力的增加; 由于交通事故或碰上障碍物而发生的阻塞, 称为事故阻塞。

阻塞时的交通量可用下式计算:

$$N = 1000 \frac{V}{S} a \quad (6-19)$$

$$S = 5.7 + 0.14V + 0.0022V^2 \quad (6-20)$$

式中  $N$ ——交通量, 辆/(h·2车道);

$S$ ——前后车最小间距, m;

$V$ ——车速, km/h;

$a$ ——大型车辆比例。

日本高速公路阻滞时的车速一般在  $15 \sim 20\text{km/h}$  的范围, 因此, 可推算出阻塞时行驶平均车速为  $18\text{km/h}$ 。

按日本经验, 大型车辆的比例对交通量的影响很大, 因此要截查每天早、晚高峰时大型车辆比例, 才能较准确确定总通风量。大型车辆比例对交通量的影响, 见表 6-11。

用于通风量计算的交通量

表 6-11

| 大型车辆比例 $\alpha$ (%) | 交通量 $N$ [辆/h (两车道)] |          |
|---------------------|---------------------|----------|
|                     | 可能的交通量              | 阻塞行驶的交通量 |
| 0                   | 4400                | 3990     |
| 10                  | 4000                | 3630     |
| 20                  | 3660                | 3310     |
| 30                  | 3380                | 3070     |

#### 6.4.4 通风量计算实例

计算条件：车道数 2；行车方向为单向；设计速度为 50km/h；隧道长度为 2000m；大型车辆比例为 10%。

坡度为

|           |       |
|-----------|-------|
| -0.3%     | 200m  |
| $\pm 0\%$ | 1550m |
| +2.5%     | 250m  |

海拔高度为 30m；隧道横断面积为  $44\text{m}^2$ ；标准通风量为  $250\text{m}^3/\text{s}/\text{km}/2$  车道；坡度修正系数为

-3.0%坡度修正系数=0.5

+2.5%坡度修正系数=1.8

该隧道经坡度修正后的必要通风量为

$$Q = 250 \times (0.2 \times 0.5 + 1.55 \times 1.0 + 0.25 \times 1.8) = 525\text{m}^3/\text{s}$$

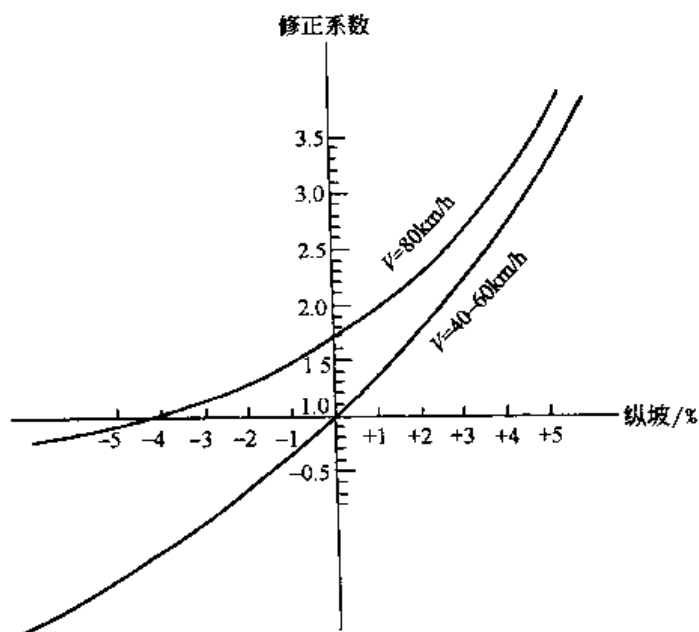


图 6-3 速度坡度修正曲线

## 6.5 通风方式选择

### 6.5.1 通风方式选择原则

隧道不长时,车辆行驶活塞作用相当明显,如自然风和活塞风所产生的总压力足以克服隧道阻力,可以选择自然通风方式。

隧道长度为1km以下、交通量大且车速较高的单向行驶的隧道,在隧道口部环境条件允许的情况下,可以选择纵向通风方式;如隧道口部条件不允许,此时可选择纵向加局部排风的通风方式(通风竖井局部排风)。

隧道长度超过2km,可考虑选择全横向通风方式。

如确定必须采用机械通风时,应首选纵向通风方式,次之选择半横向通风方式,最终才选择全横向通风方式。

### 6.5.2 自然通风方式

自然通风方式是不需要任何机械设备,而是由行驶车辆在隧道内产生的活塞风进行通风。这是一种车道内通风的方式。在这种通风方式下,污染的空气全部从隧道口部排出,而且发生火灾时,不可能人为控制烟雾的排出,由于烟雾会向全车道空间扩散,故应在隧道内设置人员避难措施。

采用这种通风方式必须考虑如下问题:交通量、车道、车种构成等前提条件的设定;隧道口部排出气体对周围环境影响的预测;研究自然风的作用;安全设施的考虑(特别重要的是隧道内的安全出口);车道内的最大风速为3m/s。

通常应将气象条件产生的自然通风力看作为阻力,其原因是气象条件产生的自然风力随时都会发生变化,其作用方向和大小是不确定的,也就是在某些情况下是对通风有利的方向作用,而在某些情况下则对通风不利的方向作用。

自然通风力,按其成因不同大致有下列几种压力:自然风产生的压力 $\Delta P_M$ ;隧道两洞口大气压的静压差产生的压力 $\Delta P_w$ ;由于隧道内外温差产生的压力 $\Delta P_T$ 。这几种压力可以叠加称为等效压差 $\Delta P_{MTW}$ ,可按式计算:

$$\pm \Delta P_{MTW} = \left(1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}\right) \frac{\rho}{2} V_n^2 \quad (6-21)$$

式中 “+” ——表示与隧道内风向相同方向作用的情况;

“—” ——表示与隧道内风向相反方向作用的情况;

$\zeta_e$  ——隧道入口损失系数;

$\lambda_r$  ——隧道沿程阻力系数;

$L_r$  ——隧道长度;

$D_r$  ——隧道的水力直径;

$V_n$  ——隧道内的自然风速;

$\rho$  ——隧道内空气密度。

如隧道中间设有竖井(深度较大),竖井顶部与隧道两洞口或隧道两洞口之间又存在相当大的高差与温度差,引起的压差

$$\Delta P_T = \Delta H \cdot \gamma_n \frac{T_r - T_n}{T_r} \quad (6-22)$$

式中  $\gamma_n$ ——空气的单位体积重量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\Delta H$ ——隧道口部与竖井顶部或两个隧道洞口之间的高差;

$T_n$ ——标高低的隧道洞口的温度, K;

$T_r$ ——标高高的隧道洞口的温度, K。

对于单向行驶的隧道, 行驶的汽车产生的活塞作用力 (交通风力)  $\Delta P_t$  由下式计算:

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot (V_t - V_r)^2 \quad (6-23)$$

式中  $A_r$ ——隧道净断面积;

$n$ ——隧道内车辆数;

$V_t$ ——车速;

$V_r$ ——隧道设计风速;

$A_m$ ——汽车等效阻抗面积,  $A_m = A_p \cdot \zeta_p$ ;

$A_p$ ——汽车的正面投影面积;

$\zeta_p$ ——隧道内阻力系数。

$A_m$  与大型车辆比例相关, 见图 6-4。图中: 小型车辆,  $A_p = 2.13\text{m}^2$ ,  $\zeta_p = 0.5$ ; 大型车辆,  $A_p = 5.37\text{m}^2$ ;  $\zeta_p = 1.0$ 。大型车辆指普通卡车 (汽油车、柴油车) 和大型公共汽车。

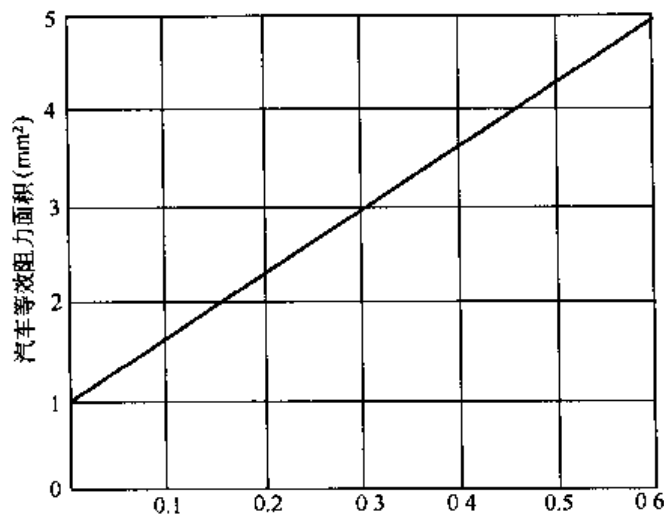


图 6-4  $A_m$  与大型车辆比例关系

隧道内以设计风速  $V_r$  通风时, 所引起的通风阻力为

$$\Delta P_r = \left(1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 \quad (6-24)$$

在自然通风条件下, 隧道内等效压差  $\Delta P_{MTW}$ 、汽车活塞风力 (交通风力)  $\Delta P_t$  和通风阻力  $\Delta P_r$  应保持平衡, 压力平衡方程为

$$\Delta P_r = \Delta P_t \pm \Delta P_{MTW} \quad (6-25)$$

将式 (6-21), 式 (6-23), 式 (6-24) 代入式 (6-25) 得出

$$\left(1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} n (V_t - V_r)^2 \pm \left(1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 \quad (6-26)$$

利用式 (6-26) 可计算出自然通风条件下的设计风速  $V_r$ , 并绘制出活塞作用通风图, 见图 6-5。

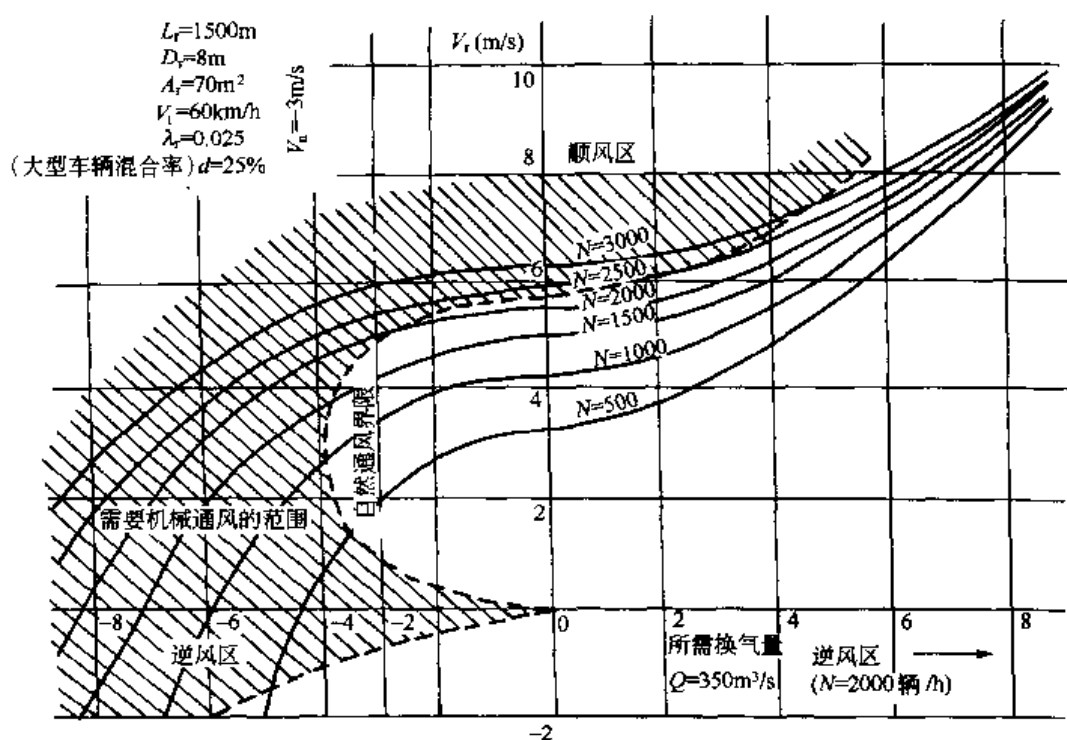


图 6-5 活塞作用通风图

根据图 6-5，就可以判断采用自然通风和机械通风的界限，并判别采用机械通风的必要性。

采用自然通风的隧道，发生交通阻塞，活塞风作用力降低，一般可采取禁止车辆进入隧道并令隧道内车辆发动机停车，以避免发生危险。

### 6.5.3 机械通风的纵向通风方式

纵向通风方式在隧道内一般不设通风管道（风道），风流沿着隧道轴向流动，因此汽车行驶时产生的活塞作用力（交通风力）直接影响纵向通风的效果。考虑到维护管理、防灾避难时人体直接暴露在车道空间，进行通风设计时隧道内的风速应保持小于  $12\text{m/s}$ 。

在发生火灾的情况下，烟雾向车辆行驶方向流动，火灾源位置上风方向的车辆已停驶，而火灾位置的下风方向已成为烟道，因此在火灾发生的隧管内不能进行灭火活动，因而必须从相邻隧管通过隔墙的防火门进入发生火灾的隧管进行灭火活动。因此，上、下行隧管之间必须等距离地在分隔墙上设置连通通道和防火门。

本节主要论述采用射流风机的纵向通风方式的设计。

(1) 采用射流风机纵向通风方式的原理。

射流风机运行时产生的一个总推力  $Z_s \cdot S$ ，应足以克服隧道内壁面的摩擦阻力、行驶的汽车阻力以及隧道外部自然风的阻力，诱导隧道内的空气以速度  $V_r$  流动。

通风计算时采用两个假设，即隧道内运动气流为稳流和隧道的横断面积为恒定不变。

根据整个通风系统的推力平衡理论，即可计算出所需要的射流风机台数。推力平衡的基本公式为：

$$Z_s \cdot S - W_T \pm n \cdot W_F \pm W_w = 0 \quad (6-27)$$

式中  $Z_s \cdot S$ ——若干组（台）射流风机产生的总推力，kgf；

$Z_s$ ——射流风机的组（台）数；

$S$ ——单台射流风机的推力，kgf。

$$S = \rho \cdot Q_j (V_j - V_T) \quad (6-28)$$

其中  $V_j$ ——射流风机出口风速，m/s；

$Q_j$ ——射流风机的风量，m<sup>3</sup>/s；

$V_T$ ——隧道内平均风速，m/s；

$W_T$ ——隧道内无车时的阻力，kgf。

$$W_T = \zeta_T \cdot \rho/2 \cdot V_T^2 \cdot A_r = (\zeta_R + \zeta_E + \zeta_A) \rho/2 \cdot V_T^2 \cdot A_r \quad (6-29)$$

其中  $\zeta_R$ ——隧道壁面摩擦阻力损失系数

$$\zeta_R = \lambda \cdot L_T / D_T = \lambda \cdot L_T \cdot O_T / 4A_r \quad (6-30)$$

其中  $O_T$ ——隧道周边长，m；

$\zeta_E$ ——隧道进口阻力损失系数，一般取 0.3~0.6；

$\zeta_A$ ——隧道出口阻力损失系数，一般取 1.0；

$n \cdot W_F$ ——隧道内汽车的阻力，kgf；

$W_F$ ——一辆汽车的阻力，kgf。

$$W_F = \pm \zeta_F \cdot A_p \cdot f_F \cdot \rho/2 (V_F \mp V_T)^2 \quad (6-31)$$

其中  $\zeta_F \cdot A_p$ ——一辆汽车的平均阻力面积，m<sup>2</sup>；

$f_F$ ——隧道内汽车的阻力面积系数；

$V_F$ ——隧道内平均车速，km/h。

当  $V_F > V_T$  时，以及车流与风流方向相同时， $W_F$  的计算公式（6-31）中采用上面的运算符号；如果车流与风流方向相反时，阻力增加， $W_F$  的计算公式中采用下面运算符号。

外部自然风流方向与隧道内射流方向一致时，加强了隧道通风作用，反之则成为隧道通风的阻力，外部自然风阻力  $W_w$  (kg) 可按式计算：

$$W_w = \pm \rho/2 \cdot V_w^2 \cdot A_r \quad (6-32)$$

式中  $V_w$ ——隧道口部自然风的平均风速，m/s。

将式（6-28）、式（6-29）、式（6-31）、式（6-32）代入（6-27），得出

$$Z_s \rho Q_j (V_j - V_T) - \zeta_T \frac{\rho}{2} V_T^2 A_r \pm n \zeta_F A_p f_F \frac{\rho}{2} (V_F \mp V_T)^2 \pm \frac{\rho}{2} V_w^2 A_r = 0 \quad (6-33)$$

上式乘上  $2/\rho A_r$  并把射流风机风量  $Q_j$  (m<sup>3</sup>/s)、射流风机出口横断面积  $A_j$  (m<sup>2</sup>)、风机出口风速  $V_j$  (m/s) 代入，则式（6-33）变为

$$2Z_s \frac{A_j}{A_r} V_s (V_s - V_T) - \zeta_T V_T^2 \pm \frac{n \zeta_F A_p f_F}{A_r} (V_F \mp V_T)^2 \pm V_w^2 = 0 \quad (6-34)$$

可以利用此公式计算出所需射流风机台数  $Z_s$ （根据预测交通条件、隧道尺寸和所需要的平均风速  $V_T$ ）。

这个公式适用于单向或双向行驶条件的隧管采用射流风机纵向通风方式计算。

当  $Z_s=0$  或  $V_s=0$  时，即可用此式进行自然通风方式的计算，包括活塞风（交通风）和外部自然风。

(2) 工程实例。

1) 计算实例 1—德国汉堡机场隧道所需射流风机台数的计算。

计算条件：隧道为 2 车道，纵坡为 0；隧道尺寸为  $L_T = 420\text{m}$ ， $A_r = 46\text{m}^2$ ， $O_T = 29.50\text{m}$ ；射流风机参数为  $A_j = 0.142\text{m}^2$ ， $V_j = 30\text{m/s}$ ， $Q_j = 4.25\text{m}^3/\text{s}$ ；交通量为  $M = 1250$  辆/h/车道，双向交通；车种构成为私人车 (P.C.) 80%，商业用车 (C.T.) 20%；隧道内平均车速为  $V_F = 50\text{km/h}$  ( $V_F = 13.9\text{m/s}$ )。

计算如下：

每车道车辆数

$$n_{P.C.} = M_{P.C.} L_T / 1000 V_F = 0.8 \times 1250 \times 420 / (50 \times 1000) = 8.4$$

$$n_{C.T.} = M_{C.T.} L_T / 1000 V_F = 0.2 \times 1250 \times 420 / (50 \times 1000) = 2.1$$

一条车道汽车行驶平均阻力面积

$$\zeta_{P.C.} A_{P.C.} = 1.0\text{m}^2$$

$$\zeta_{C.T.} A_{C.T.} = 3.3\text{m}^2$$

$$f_{P.C.} = 1.1 \quad f_{C.T.} = 1.5$$

一条车道汽车列的总阻力面积

$$\begin{aligned} n_F \zeta_F F_F f_F &= n_{P.C.} \zeta_{P.C.} A_{P.C.} + f_{P.C.} + n_{C.T.} \zeta_{C.T.} A_{C.T.} f_{C.T.} \\ &= 8.4 \times 1.0 \times 1.1 + 2.1 \times 3.3 \times 1.5 = 19.7\text{m}^2 \end{aligned}$$

隧道口部阻力损失系数：隧道入口， $\zeta_E = 0.3 \sim 0.6$ ，取值  $= 0.6$ ；隧道出口， $\zeta_A = 1 \sim 0$ 。

摩擦阻力损失系数：沿程阻力系数  $\lambda$ ，通常在  $0.02 \sim 0.04$  取值（或取最大值），当有吸声处理的顶棚时可取  $0.035$ 。

$$\zeta_R = 0.035 \times \frac{420 \times 29.50}{4 \times 46} = 2.36$$

隧道内无车辆行驶时的阻力系数

$$\zeta_T = \zeta_E + \zeta_A + \zeta_R = 0.6 + 1.0 + 2.36 \approx 4.0$$

总交通量

$$M = 2500 \text{ 辆/h}$$

CO 允许浓度为 200ppm 时，要求通风量

$$Q_T = 60\text{m}^3/\text{s}$$

隧道内平均风速

$$V_T = Q_T / A_r = 60 / 46 = 1.3\text{m/s}$$

所需射流风机台数计算如下： $V_w = 0$ ， $V_F > V_T$  时

$$Z_s = \frac{A_r}{2A_j V_s (V_s - V_T)} \left[ \zeta_T V_T^2 - \frac{n_F \zeta_F A_P f_F}{A_r} \times (V_F - V_T)^2 + \frac{n_F \zeta_F A_P f_F}{A_r} \times (V_F + V_T)^2 \right]$$

简化为

$$\begin{aligned} Z_s &= \frac{A_r}{2A_j V_s (V_s - V_T)} \left[ \zeta_T V_T^2 + \frac{n_F \zeta_F A_P f_F}{A_r} \times 4V_F V_T \right] \\ &= \frac{46}{2 \times 0.142 \times 30 \times (30 - 1.3)} \left[ 4.0 \times 1.3^2 + \frac{19.7}{46} \times 4 \times 13.9 \times 1.3 \right] = 7.1 \end{aligned}$$

最后选用 10 台射流风机。

2) 计算实例 2—Walling 隧道有两条隧管，计算每条隧管 CO 浓度（每条隧管有两条车道，已知射流风机台数，交通量，无外部自然风影响）。

计算条件：隧道形式为两车道，纵坡为 1.7%；隧道尺寸为  $L_T=550\text{m}$ ， $F_T=45\text{m}^2$ ， $O_T=28.80\text{m}$ ；每条隧管 9 台射流风机，每台射流风机  $A_j=0.280\text{m}^2$ ， $V_j=31\text{m/s}$ ， $Q_j=8.7\text{m}^3/\text{s}$ ；在两条车道上的车辆数稳定，私人车辆间距（驾驶员至驾驶员）7m，商用车辆间距（驾驶员至驾驶员）10.0m；车种构成为 80%私人车辆，20%商用车辆。

计算如下：

所需通风量在正常交通前提下，CO 允许浓度 200ppm 时，要求通风量  $Q_{T\text{req}}=160\text{m}^3/\text{s}$ （每条隧管）。

隧道内平均风速

$$V_T = Q_T / A_T = 160 / 45 = 3.5\text{m/s}$$

每条车道的车辆数

$$100 \text{ 辆车的车列长度} = 80 \times 7.0 + 20 \times 10.0 = 760\text{m}$$

$$n_{P.C.} = 80 \times 550 / 760 = 58$$

$$n_{C.T.} = 20 \times 550 / 760 = 15$$

在两条车道上的车列阻力范围面积

$$\begin{aligned} n_F \zeta_F A_F f_F &= 2(n_{P.C.} \zeta_{P.C.} A_{P.C.} f_{P.C.} + n_{C.T.} \zeta_{C.T.} A_{C.T.} f_{C.T.}) \\ &= 2(58 \times 1.0 \times 1.1 + 15 \times 3.3 \times 1.5) = 276\text{m}^2 \end{aligned}$$

隧管内无车辆时的阻力系数，根据计算实例 1：

$$\zeta_E + \zeta_A = 0.60 + 1.0 = 1.60$$

$\lambda=0.04$ ，因为隧管内顶棚作吸声处理以及墙中设有一定数量的壁龛，因此顶棚及墙的粗糙度会增加。

$$\zeta_R = \lambda \frac{L_T O_T}{4F} = 0.04 \times \frac{550 \times 28.80}{4 \times 45} = 3.50$$

$$\zeta_T = \zeta_E + \zeta_A + \zeta_R = 1.60 + 3.50 = 5.10$$

无外部自然风影响，即  $V_w=V_F=0$ ，车列会产生对通风的阻力

$$\begin{aligned} (\zeta_T + n_F \zeta_F A_F f_F / A_T) V_T^2 + 2Z_s A_j / A_T V_s V_T - 2Z_s A_j / A_T V_s^2 &= 0 \\ \left(5.10 + \frac{276}{45}\right) V_T^2 + 2 \times 9 \times \frac{0.28}{45} \times 31 V_T - 2 \times 9 \times \frac{0.28}{45} \times 31^2 &= 0 \end{aligned}$$

解之得  $V_T=2.945\text{m/s}$ ，则

$$Q_{T\text{prent}} = V_T A_T = 2.945 \times 45 = 132\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{CO 浓度} (Q_{T\text{req}} / Q_{T\text{prent}}) \times 200 = (160 / 132) \times 200 \approx 240\text{ppm}$$

3) 计算实例 3—同上例，总交通量稳定，有外部自然风的影响，当射流风机停机时，外部自然风反向流过隧道，计算最大 CO 浓度，此时  $V_s=0$ 。因此

$$\zeta_T V_T^2 + n_F \zeta_F A_F f_F / A_T (V_F \pm V_T)^2 - V_w^2 = 0$$

当  $V_F=0$

$$\zeta_T V_T^2 + \frac{n_F \zeta_F A_F f_F}{A_T} V_T^2 - V_w^2 = 0$$

$$V_T^2 \left( \zeta_T + \frac{n_F \zeta_F A_F f_F}{A_T} \right) = V_w^2$$

$$V_T \sqrt{5.1 + \frac{276}{45}} = V_w$$

则  $V_w = 3.35V_T$  或  $V_T = 0.30V_w$ 。

射流风机启动时,  $V_w/V_T = 3.35$ , 在公式 (6-34) 中用  $(3.35 V_T)^2$  代替  $V_w^2$ , 可以计算隧道内风速  $V_T$  及产生通风量  $Q_{T \text{ prent}}$ 。

$$12Z_s \frac{A_i}{A_r} V_s (V_s - V_T) - \zeta_T V_T^2 - \frac{n_F \zeta_F A_f}{A_r} V_T^2 - V_w^2 = 0$$

$V_T^2 (5.10 + 276/45 + 3.35^2) + 2 \times 9 \times 0.28/45 \times 31V_T - 2 \times 9 \times 0.28/45 \times 31^2 = 0$   
解之得

$$V_T = 2.11 \text{ m/s}$$

$$Q_{T \text{ prent}} = V_T A_r = 2.11 \times 45 = 95 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{最大 CO 浓度} (Q_{T \text{ req}}/Q_{T \text{ prent}}) \times 200 = (160/95) \times 200 \approx 340 \text{ ppm}$$

采用射流风机的纵向通风方式, 亦可根据隧道口部附近地理环境的情况, 如允许设置通风竖井时, 可在隧道口部附近增加集中局部排风, 隧道内污浊空气能实现高空排放, 减少对隧道口部周围环境的污染。

(3) 采用射流风机纵向通风方式的布置设计。

如果不设置集中局部排风竖井, 在多个洞口并列布置时, 隧管各洞口之间应设置分隔墙。PIARC 会议提出, 分隔墙高度至少应为隧道内行车限界高度的 2 倍, 从而使污浊空气的再循环系数为 0.1, 见图 6-6。

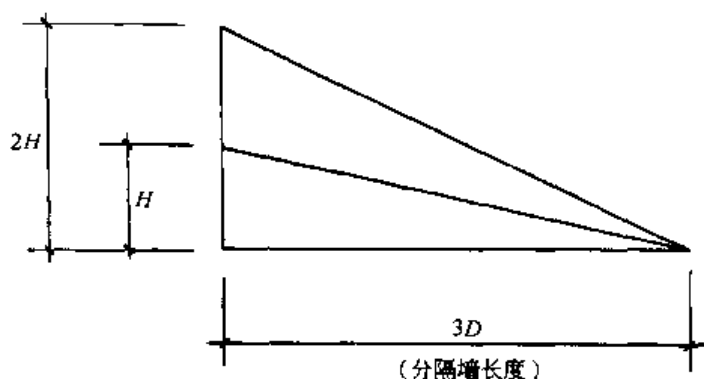


图 6-6 分隔墙尺寸要求

$H$ —隧道内行车高度;  $D$ —隧道水力直径

射流风机的布置主要有串联和井联两种方式, 见图 6-7。

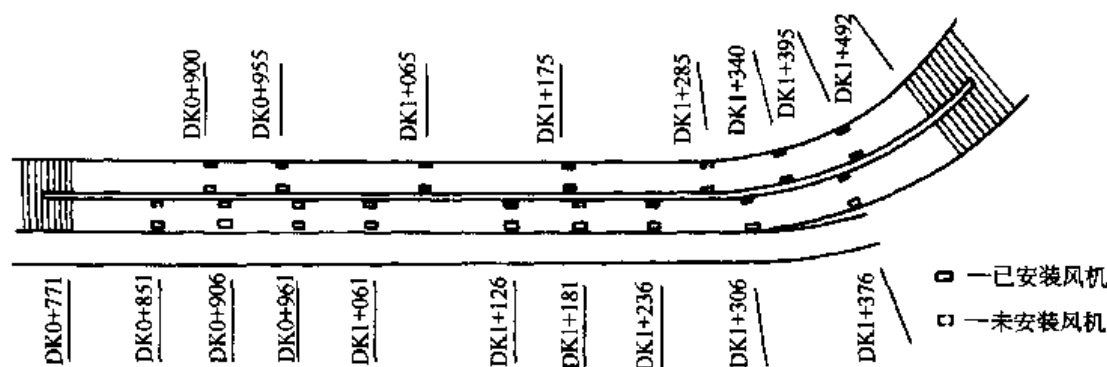


图 6-7 射流风机的串联平面布置图

串联布置可以有较高的通风效率，其升值串联较并联增大 20%。串联布置的纵向安装间距应满足射流完全混合距离的要求。射流风机安装间距过短，射流与射流之间就连续，就会导致通风效率下降。一般射流完全混合距离为  $10\sim 12H$  ( $H$  为车道高度)。

串联布置的射流风机在隧道横断面上，对于两车道的地下隧道，一般分别安装在横断面两侧上部角隅上（两台一组），见图 6-8。

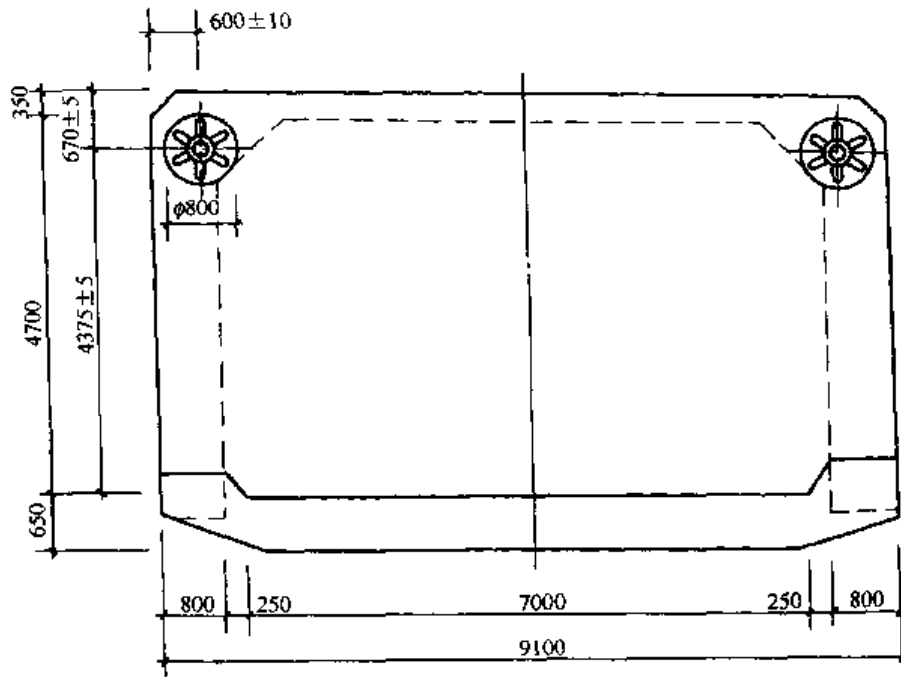


图 6-8 射流风机在隧道横断面安装位置图

射流风机中心距车道顶板和侧墙均应为  $1.25d$  ( $d$  为射流风机的外径)，可以保证有效射流达 80%。但在工程实施中，因投资原因需压缩断面，不易达到此要求，如图 6-8 所示。

如果一条隧管车道数为 3 或 4 条，一组射流风机台数多于 2 台，那么射流风机亦可安装在车道顶部（一条车道对应一台）。

如果一组为两台，侧墙厚度足够，亦可将射流风机嵌入侧墙内，但在这位置上两侧应设有导流的斜面，见图 6-9。



图 6-9 射流风机在侧墙上嵌入安装

并联布置是将射流风机分成四组，隧道两端口部分别集中安装两组，见图 6-10。

我国台湾省高雄港海底隧道通风系统有关数据如下：计算车速最高 60km/h，最低 10km/h；通行能力为高峰小时每车道通过车辆 1270 辆；车种比例为 30%；采用射流风机的纵向通风方式；布置方式为 1 组 4 台，1 孔布置 4 组共 16 台，隧道两端各布置 2 组。

(4) 采用射流风机纵向通风方式的有关要求。

隧管内发生火灾时（中小型等级火灾），隧管内纵向排烟风速不小于 2m/s。

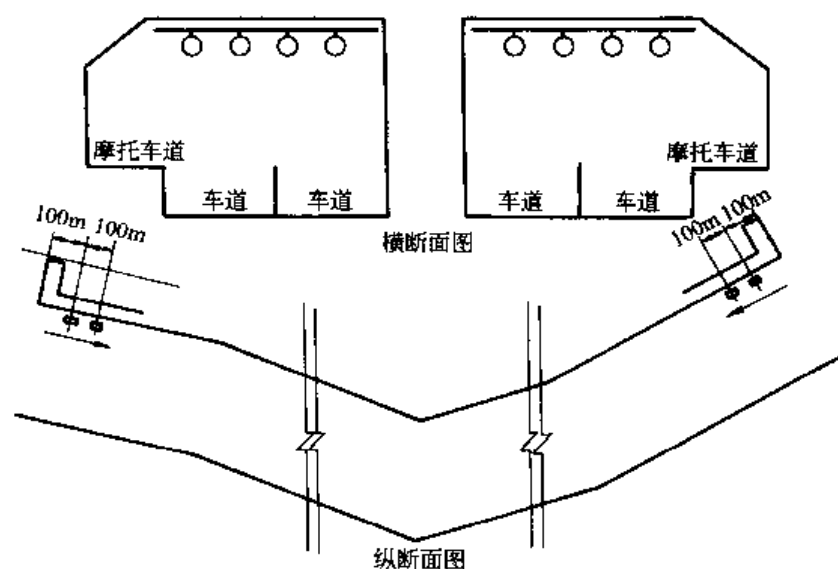


图 6-10 射流风机并联布置的纵、横断面图 (我国台湾省高雄港泥岩隧道)

射流风机及其配电电缆 (铜质电缆) 均要保证在  $250^{\circ}\text{C}$  温度下能正常运行 1h。

射流风机应能正转及快速反转, 反转工况时的效率为正转时的 70% 以上。

(5) 射流风机型号介绍。

射流风机在道路地下隧道串联布置时宜选用  $\phi 630$  或  $\phi 710$  的风机, 其性能见表 6-12、表 6-13。

射流风机并联布置时可选择外径较大的射流风机, 例如  $\phi 900$  或  $\phi 1\,000$ , 其性能见表 6-14。

NORDISK Ventilator CO A/S 射流风机主要性能参数

表 6-12

| 主要参数                                   | AFR630/270         | AFR630/300         | AFR630/270         | AFR630/300         | AFR630/300         |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 风量 $q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )       | 8.5                | 9.85               | 8.5                | 9.6                | 13.5               |
| 出口风速 $c$ ( $\text{m/s}$ )              | 30                 | 35.1               | 30                 | 34.2               | 37                 |
| 正常推力                                   | 306                | 415                | 306                | 394                | 599                |
| 空气密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 1.2                | 1.2                | 1.2                | 1.2                | 1.2                |
| 转速 ( $\text{min}^{-1}$ )               | 2950               | 2950               | 2950               | 2950               | 2950               |
| 输入功率 (kW)                              | 8.9                | 14.8               | 6.4                | 11.6               | 22                 |
| 叶轮输入功率 (kW)                            | 7.8                | 13.3               | 5.9                | 10.4               | 19.9               |
| 电机输出功率 (kW)                            | 9                  | 15                 | 7.5                | 11                 | 22                 |
| 电压 (V) (Hz)                            | $3 \times 380, 50$ | $3 \times 380, 50$ | $3 \times 380, 50$ | $3 \times 380, 50$ | $3 \times 380, 50$ |
| 噪声等级 [dB (A)]                          | 70                 | 72                 | 70                 | 72                 | 75                 |

VOITH 及 NOVENCO AFK 射流风机性能参数

表 6-13

| 型 号                          | 出口风速<br>( $\text{m/s}$ ) | 出口截面积<br>( $\text{m}^2$ ) | 风量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 功率<br>(kW) | 转速<br>( $\text{r}/\text{min}$ ) | 推力<br>(N) | 噪声<br>[dB (A)] |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|-----------|----------------|
| VOITH T 型 63                 | 36.8                     | 0.3 117                   | 11.7                            | 15         | 2 935                           | 405       | 66             |
| VOITH K 型 63                 | 38.4                     | 0.3 117                   | 12                              | 15         | 2 935                           | 510       | 66             |
| NOVENCO AFR<br>-728/286-8728 | 39.2                     | 0.3 117                   | 12.2                            | 18.5       | 2 940                           | 540       | 70             |

日本射流风机的重要性能号数

表 6-14

| 型号                       | 口径<br>(mm) | 风量<br>(m <sup>3</sup> /min) | 全压<br>(mmAg) | 固波<br>(Hz) | 噪声<br>[dB (A)] | 转速<br>(r/min)  | 电机<br>[kW (p) × 台] | 重量<br>(kg) |
|--------------------------|------------|-----------------------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------------|------------|
| MFA40P2-SC <sub>4</sub>  | 400        | 150                         | 200          | 50<br>60   | 68<br>71       | 3 000<br>3 600 | 5.5 (2) × 2        | 410        |
| MFA50P2-SC <sub>4</sub>  | 500        | 300                         | 400          | 50<br>60   | 73<br>78       | 3 000<br>3 600 | 15 (2) × 2         | 750        |
| MFA60P2-SC <sub>6</sub>  | 600        | 400                         | 300          | 50<br>60   | 78<br>79       | 3 000<br>3 600 | 15 (2) × 2         | 825        |
| MFA60P2-SC <sub>3</sub>  | 600        | 500                         | 500          | 50<br>60   | 76<br>78       | 3 000<br>3 600 | 30 (2) × 2         | 1 200      |
| MFA90P2-SC <sub>3</sub>  | 900        | 700                         | 350          | 50<br>60   | 78<br>77       | 1 500<br>1 800 | 30 (4) × 2         | 2 030      |
| MFA100P2-SC <sub>6</sub> | 1 000      | 11 000                      | 300          | 50<br>60   | 79<br>80       | 1 800<br>1 800 | 37 (4) × 2         | 2 685      |
| MFA100P2-SC <sub>3</sub> | 1 000      | 11 000                      | 500          | 50<br>60   | 85<br>85       | 1 500<br>1 800 | 55 (4) × 2         | 3 700      |

#### 6.5.4 机械通风的半横向通风方式

半横向通风方式主要有以下四种方案可供选择:

A 方案: 压入式半横向通风方式。

B 方案: 抽出式半横向通风方式。

C 方案: 入口段抽出, 出口段压入式半横向通风方式。

D 方案: 出口段抽出, 入口段压入式半横向通风方式。

A 方案具有能耗低 (通风所需配备风机总功率最小)、隧道内有害气体 (CO) 浓度分布均匀、自然风的影响比较小等优点。但亦存在因隧道内是单向交通, 导致污染空气集中在出口处排出, 对出口处附近周围环境造成较大影响。与纵向通风一样, 因通风气流在车道内流动, 故隧道出口处的风速较高, 在火灾情况下难以控制。

B 方案具有在火灾情况下隧道内的烟气可集中排除、易于控制等优点, 但存在能耗高 (通风所需配备风机总功率最大)、隧道内有害气体 (CO) 浓度分布不均匀等缺点。

C 方案具有在正常交通情况下通风效果较好、车道内风速比较稳定、火灾情况时排烟效果好等优点, 但存在交通堵塞时新鲜空气总量减少一半、在隧道出口处会出现有害气体 (CO) 最高浓度点、容易受自然风的影响等缺点。

D 方案具有能充分发挥活塞风 (交通风) 的通风作用、能耗较低 (通风所需配备风机总功率较小) 等优点。但存在交通阻塞时新鲜空气总量减少一半、隧道内局部地段有害气体 (CO) 浓度分布不均匀、受自然风的影响使有害气体 (CO) 分布不稳定等缺点。

(1) 压入式半横向通风方式, 见图 6-11。

1) 车道内风速。

采用单组送风量一定的半横向方式时, 车道内的轴向风速  $V_r$  以离开中性点的方向成直线增大

$$V_r(x) = (q_b/A_r)x \quad (6-35)$$

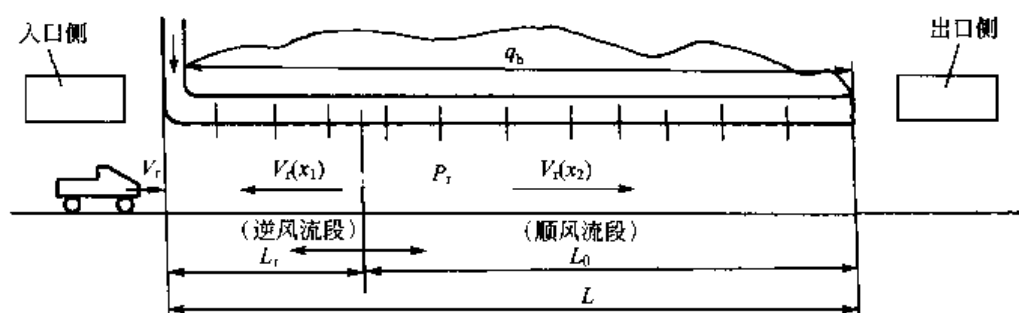


图 6-11 压入式半横向通风方式

式中  $V_r(x)$  ——  $x$  点的隧道风速，m/s；

$q_b$  —— 单位长度的送风量， $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ；

$x$  —— 自中性点（ $V_r=0$ ，在其前后风向相反）的距离。

为了理论上简化，假设在单向交通隧道中单位送风量  $q_b$  可调节或在整个隧道上是不大的。

当中性点在隧道中央的某个位置时，其车道内最大风速以  $8\text{m/s}$  左右为宜。而中性点的位置，一般由气象条件形成的隧道两洞口的等效压差  $\Delta P_{\text{MTW}}$  确定。

关于中性点在车道内的情况，隧道入口侧的静压  $P_r(x_1=L_i)$  等于大气压，隧道出口侧的静压  $P_r(x_2=L_o)$  比大气压低，产生压差应与  $\Delta P_{\text{MTW}}$  维持平衡，即

$$P_r(x_1=L_i) - P_r(x_2=L_o) = \Delta P_{\text{MTW}} \quad (6-36)$$

式中  $P_r$  —— 隧管内的静压。

$$L_i + L_o = L_r$$

关于中性点在隧道入口侧的情况，见图 6-12 (a)，考虑到隧道入口风流的动压和入口处局部压力损失，因此其压力平衡方程为

$$P_r(x_1=L_i) - P_r(x_2=L_o) + \frac{\mu}{2}(1+\zeta_c)V_r^2(x_1=L_i) = \Delta P_{\text{MTW}} \quad (6-37)$$

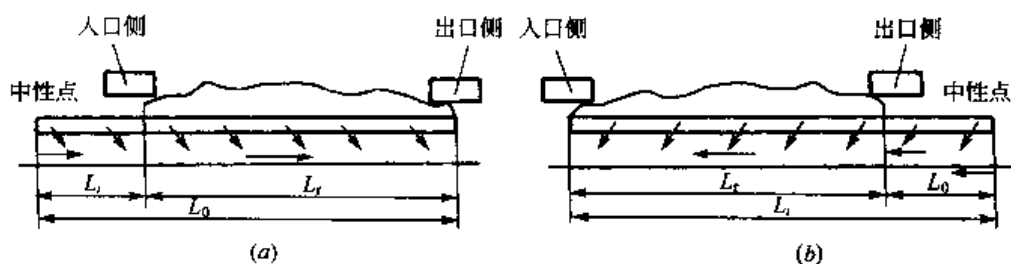


图 6-12 进出口侧的中性点情况

(a) 中性点在隧道入口侧的情况；(b) 中性点在隧道出口侧的情况

式中

$$L_o - L_i = L_r$$

$$V_r(x_1=L_i) = q_b L_i / A_r$$

关于中性点在隧道出口侧的情况见图 6-12 (b)，考虑到出口处风流的动压和局部压力损失，其平衡方程为

$$P_r(x_2 = L_i) - P_r(x_2 = L_0) - \frac{\rho}{2}(1 + \zeta_e)V_r^2(x_2 = L_0) = \Delta P_{MTW} \quad (6-38)$$

式中

$$L_i - L_0 = L_r$$

$$V_r(x_2 = L_0) = q_b L_0 / A_r$$

其中  $L_i$ ——从中性点至隧道入口的距离, m;

$L_0$ ——从中性点至隧道出口的距离, m;

$\Delta P_{MTW}$ ——的符号, 不论哪一种交通方向, 只要是加强通风作用时, 就取正号“+”。

2) 车道内风压。

在单向交通隧道的入口到中性点区段 (逆风段), 车道内风压分布可用下式进行计算:

$$P_r^* - P_r(x_1) = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{x_1}{D_r} + 2 \right) \frac{\rho}{2} V_r^2(x_1) + \alpha \frac{x_1}{L_r} \cdot \frac{\rho}{2} \left[ V_i^2 + V_i \cdot V_r(x_1) + \frac{1}{3} V_r^2(x_1) \right] \quad (6-39)$$

式中  $x_i$ ——自中性点离隧道入口的距离;

$P_r(x_1)$ —— $x_1$  点的隧道静压;

$P_r^*$ ——中性点的隧道静压;

$\alpha$ ——交通风力 (活塞作用) 系数;

$$\alpha = \frac{A_m}{A_r} \cdot N \cdot \frac{L_r}{V_i} \times 10^{-3}$$

其中  $V_i$ ——设计车速。

式 (6-39) 可用图 6-13 表示。

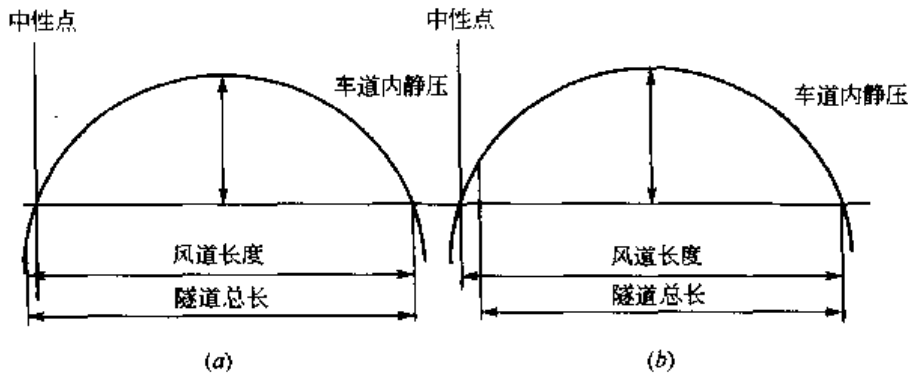


图 6-13 车道内静压图

(a) 中性点在隧道内情况 (两边送风); (b) 中性点在隧道外情况

考虑到新鲜空气与车道方向成直角吹出以及行驶车辆的活塞作用, 隧道内静压将发生变化, 其沿隧道纵向的变化率为 (考虑双向交通):

$$\begin{aligned} \frac{q p_r(x)}{dx} &= 2\rho \frac{q_b}{A_r} V_r(x) + \frac{\lambda_r}{D_r} \cdot \frac{\rho}{2} V_r^2(x) + \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{n^-}{V_i} \cdot \frac{\rho}{2} \{V_i + V_r(x)\}^2 \\ &\quad - \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{n^+}{V_i} \cdot \frac{\rho}{2} \{V_i - V_r(x)\}^2 \\ V_r(x) &= q_b / A_r \cdot x \end{aligned} \quad (6-40)$$

中性点在隧道进口侧时，大气与车道内压差

$$P_a - P_n = (1 + \zeta_e) \frac{\rho}{2} V_n^2 = (1 + \zeta_e) \frac{\rho}{2} \left( \frac{q_b}{A_r} \right)^2 L_i^2 \quad (6-41)$$

式中  $P_a$ ——大气压；

$P_n$ ——车道内静压。

中性点在隧道出口侧时，把式(6-41)中的下标  $i$  设为 0， $L_0$  为中性点至隧道出口处的距离。但是，这个压差很小，在送(排)风机选型计算所需风压时可以忽略不计。

3) 送风道静压差和始端动压。

隧道内风道的横断面面积  $A_b$  ( $m^2$ ) 在轴向是恒定不变的，由隧道内风道向车道供给同样单位送风量时，送风风道的风压可按下述步骤计算：风道始端风速  $V_{b1}$

$$V_{b1} = q_b / A_b \quad (6-42)$$

风道始端动压  $P_{bd}$

$$P_{bd} = (\rho/2) V_{b1}^2 \quad (6-43)$$

风道静压差，即风道始端静压  $P_{b1}$  与风道末端静压  $P_{b0}$  之差

$$P_{b1} - P_{b0} = K_b (\rho/2) V_{b1}^2 \quad (6-44)$$

式中

$$K_b = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{L_b}{D_b} - 1 \right) \quad (6-45)$$

把风道内风速  $V_b$  的方向定为  $X$  轴，把  $X=0$  作为风道始端， $X=L$  作为风道末端。如果单位送风量(各送风口等风量送风)  $q_b$  在  $X$  轴方向从  $X=0$  至  $X=L$  为恒定的，则风道内风速  $V_b$  在  $X$  轴方向成直线降低，即在始端  $V_{b1} = q_b / A_b$ ，在末端  $V_{b0} = 0$ 。风道中任何位置  $X$  的风速  $V_b(x)$  可用下式表示：

$$V_b(x) = V_{b1} \left( 1 - \frac{x}{L_b} \right) = \frac{q_b}{A_b} \left( 1 - \frac{x}{L_b} \right) \quad (6-46)$$

风道内任何位置  $X$  的静压  $P_b(X)$ ，如果用风道末端静压  $P_{b0}$  为基准来表示，则

$$P_b(x) = P_{b0} + \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{L_b}{D_b} - 1 \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_b^2(x) \quad (6-47)$$

送风(管)道必需的末端压力 ( $P_{b0} - P_{r0}$ )，一般约为  $15 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。车道内与风道内压力的关系，见图 6-14。

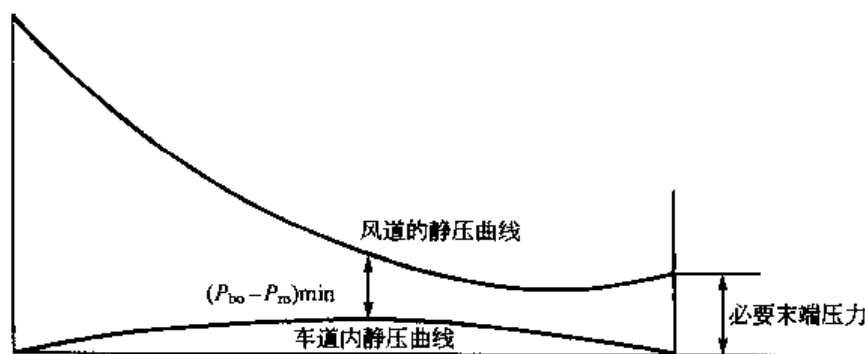


图 6-14 所需要的末端压力与最低吹出风压之间关系曲线

等风量(单位风量)送(排)风口开度  $r$  的计算公式为：

$$\Delta h'_n = \frac{(\omega^2 - V_b^2)r}{2g} - (1 + \epsilon) \frac{\omega^2 r}{2g} - \eta' \frac{\omega^2}{2g} \quad (6-48)$$

式中  $\Delta h'_n$ ——风道内与车道内静压差水柱, mm;

$\omega$ ——风口送出平均流速, m/s;

$V_b$ ——风道内风速, m/s;

$\epsilon$ ——送风口阻力系数;

$\eta'$ ——风流分叉损失系数。

在计算风道中风压时尚需考虑联络风道的压力损失, 当风机与大气连接的通道 (即风机与通风竖井进 (排) 风口之间风道) 以及风机与隧道送 (排) 风道连接的风道压力损失可用下式计算:

$$\begin{aligned} P_c &= \sum_{i=1}^m \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_i^2 + \sum_{i=1}^m \left( \lambda_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_i^2 \\ &= \frac{\rho}{2} \cdot V_{b1}^2 \cdot \sum_{i=1}^m \left\{ \zeta_i \left( \frac{A_b}{A_i} \right)^2 + \left( \lambda_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \right) \left( \frac{A_b}{A_i} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (6-49)$$

式中  $\zeta_i$ ——各部位的形状损失系数;

$\lambda_i$ ——各部位的摩擦损失系数;

$V_i$ ——各部位的风速;

$A_i$ ——各部位的横断面积。

因此, 风道内总压力损失应是风道沿程摩擦阻力损失, 以及风道弯曲、截面形状变化、风道内阻碍物等引起的所有局部压力损失的总和 (如采用局部集中排风时, 还要考虑到排风竖井引起的沿程及局部压力损失)。

送风机总风压 =  $1.1 \times$  (隧道内风道末端的车道内压力 + 必需的端部风压 + 风道内静压差 + 风道内始端动压 + 联络风道压力损失)。送风道系统的压力分布, 见图 6-15。

#### 4) 压入式半横向通风方式有害气体浓度分布。

采用压入式半横向通风方式时, 车辆在车道内排出的有害气体与由送风道送入的新鲜空气混合, 故计算通过一条车道横断面的排出有害气体总量与新鲜空气总量之比, 就可求得排出有害气体浓度。中性点在车道内的情况

$$C = g_e / q_b = C_{\text{常量}} \quad (6-50)$$

如果中性点位于隧道外时, 车道内除了由送风道供给新鲜空气之外, 还要加上由隧道口流入的新鲜空气, 故浓度降低。这时, 最大浓度  $C_{\text{max}}$  比基准值  $C$  低。

关于中性点在隧道进口侧的情况, 新鲜空气由隧道进口流入时, 进口处有害气体浓度为零, 而在隧道出口处浓度为最大值  $C_{\text{max}}$

$$C_{\text{max}} = g_e L_r / q_b (L_i + L_r) = C / (1 + L_i / L_r) \quad (6-51)$$

式中  $g_e$ ——车辆在单位长度隧道内排出的有害气体量。

关于中性点在隧道出口侧的情况, 有害气体在隧道入口处为最大值  $C_{\text{max}}$ , 而在隧道出口处浓度为零

$$C_{\text{max}} = C \frac{L_r}{L_i} < C \quad (6-52)$$

此时可将单位送风量由  $q'_b$  减少为  $q_b$ , 使  $C_{\text{max}}$  与  $C$  一致。 $q'_b$  可由  $\frac{q'_b}{q_b} = \frac{L_r}{L_i} < 1$  的关系

确定。

5) 计算实例（压入式半横向通风方式，两端送风，单向通行）。

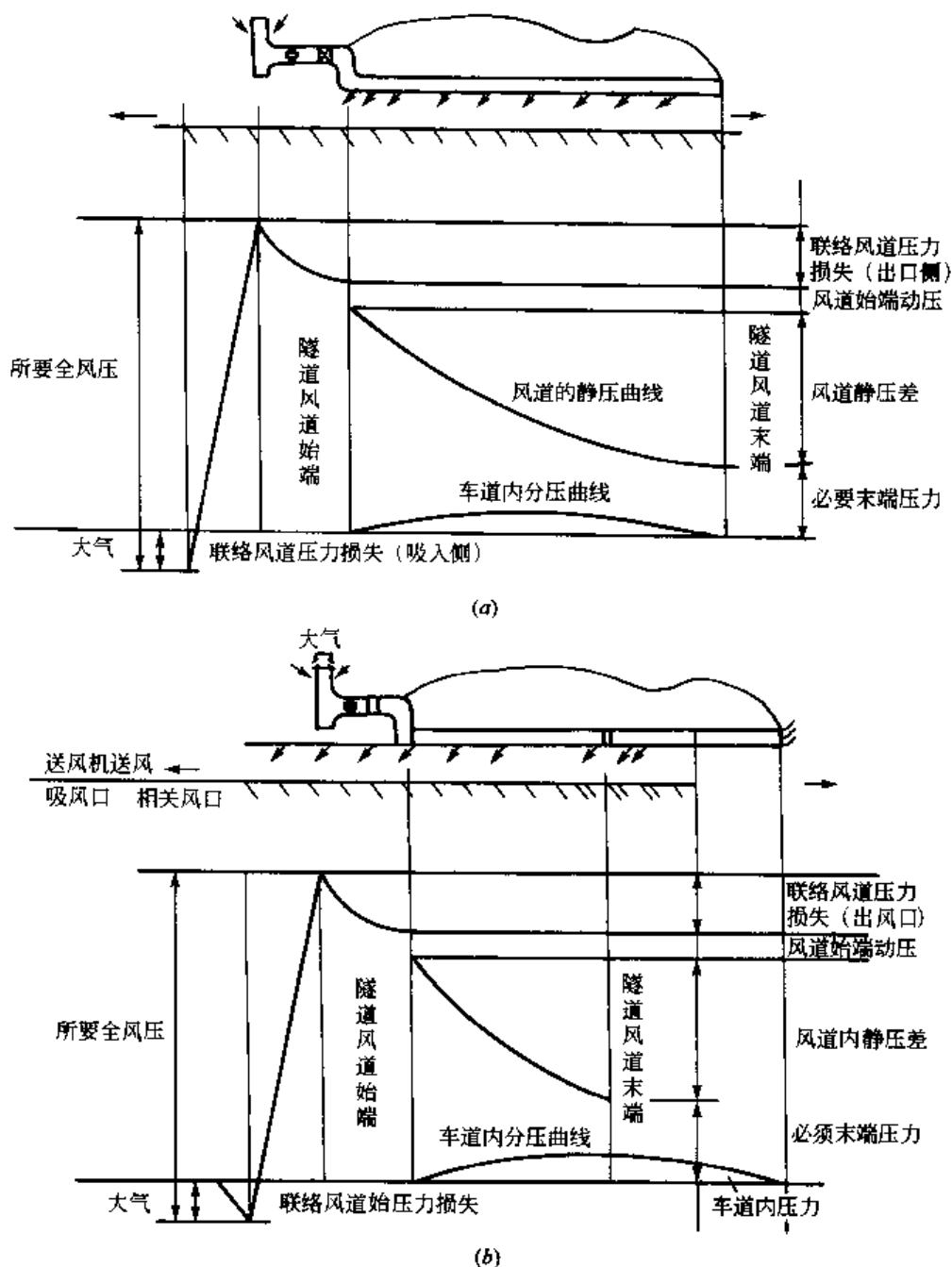


图 6-15 送风风道系统的压力分布图

(a) 送风风道系统压力分布（单向风道-单风道）；(b) 送风风道系统的压力分布（双向风道-双风道）

计算条件：隧道总长度  $L_t = 1800\text{m}$ ；隧道横断面积  $A_t = 50.5\text{m}^2$ ；隧道当量直径  $D_t = 6.9\text{m}$ ；送风道总长度  $L_b = 900\text{m} \times 2$ （由两端送风）；送风道横断面积  $A_b = 15.6\text{m}^2$ ；送风道当量直径  $D_b = 3.7\text{m}$ ；交通量  $N = 3000$  辆/h（单向交通）；汽车行驶速度  $V_t = 80\text{km/h}$ ；大型车辆比例  $d = 20\%$ ；所需要的通风量  $Q = 540\text{m}^3/\text{s}$ ；汽车等效面积  $A_m = 1.93\text{m}^2$ ；车道摩擦阻力损失系数  $\lambda_c = 0.025$ ；送风道摩擦阻力损失系数  $\lambda_b = 0.025$ 。

计算如下:

送风道始端风速  $V_{bi}$

$$V_{bi} = \frac{Q/2}{A_b} = \frac{540/2}{15.6} = 17.3 \text{ m/s}$$

送风道始端动压  $P_{bi}$

$$P_{bi} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{bi}^2 = (0.1224/2) \times 17.3^2 = 18.3 \text{ mm H}_2\text{O} (1 \text{ mm H}_2\text{O} = 980665 \text{ Pa})$$

送风道静压差:  $P_{bi} - P_{bo}$

$$K_b = \left( \frac{\lambda_b}{3} \cdot \frac{L_b}{D_b} - 1 \right) = \frac{0.025}{3} \cdot \frac{900}{3.7} - 1 = 1.027$$

$$P_{bi} - P_{bo} = K_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{bi}^2 = 1.027 \times \frac{0.1224}{2} \times 17.3^2 = 18.8 \text{ mm H}_2\text{O}$$

送风道所需要的末端压力

$$P_{b0} - P_{r0} = 15 \text{ mm H}_2\text{O} (P_{b0} \text{——末端静压; } P_{r0} \text{——中性点静压})$$

车道内风速

$$V_r(x) = \frac{q_b}{A} \cdot x = \frac{540/1800}{50.5} \cdot x = 0.00594x$$

交通风力系数

$$a = \frac{A_m}{A_r} \cdot N \cdot \frac{L_r}{V_i} \times 10^{-3} = \frac{1.93}{50.5} \cdot \frac{3000 \times 1800 \times 10^{-3}}{80} = 2.580$$

车道内风压分布, 对于逆风段

$$P_r^* - P_r(x_1) = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{x_1}{D_r} + 2 \right) \frac{\rho}{2} V_r^2(x_1) + a \frac{x_1}{L_r} \cdot \frac{\rho}{2} \left\{ V_i^2 + V_i \cdot V_r(x_1) + \frac{1}{3} V_r^2(x_1) \right\}$$

对于顺风段

$$P_r^* - P_r(x_2) = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{x_2}{D_r} + 2 \right) \frac{\rho}{2} V_r^2(x_2) - a \frac{x_2}{L_r} \cdot \frac{\rho}{2} \left\{ V_i^2 - V_i \cdot V_r(x_2) + \frac{1}{3} V_r^2(x_2) \right\}$$

车道内压力分布计算结果, 见表 6-15; 车道内压力见图 6-16。

车道内压力分布计算结果表

表 6-15

| (1)   | (2)   | (3)   | (4)   | (5)   | (6)    | (7)  | (8)   | (9)   | (10)  | (11)   |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|--------|
| 逆风段   |       |       |       |       |        |      |       |       |       |        |
| 100   | 0.59  | 2.121 | 0.05  | 493.8 | 13.2   | 0.1  | 507.1 | 0.143 | 4.44  | 4.49   |
| 200   | 1.19  | 2.242 | 0.19  | 493.8 | 26.4   | 0.5  | 520.7 | 0.286 | 9.12  | 9.31   |
| 顺风段   |       |       |       |       |        |      |       |       |       |        |
| 200   | 1.19  | 2.242 | 0.19  | 493.8 | -26.4  | 0.5  | 467.9 | 0.286 | 8.19  | -8.00  |
| 400   | 2.38  | 2.483 | 0.86  | 493.8 | -52.8  | 1.9  | 442.9 | 0.572 | 15.51 | -14.65 |
| 600   | 3.56  | 2.725 | 2.12  | 493.8 | -79.2  | 4.2  | 418.9 | 0.858 | 22.01 | -19.89 |
| 800   | 4.75  | 2.966 | 4.10  | 493.8 | -105.6 | 7.5  | 395.7 | 1.144 | 27.72 | -23.62 |
| 1 000 | 5.94  | 3.208 | 6.39  | 493.8 | -132.0 | 11.8 | 373.6 | 1.430 | 32.71 | -25.78 |
| 1 200 | 7.13  | 3.449 | 10.73 | 493.8 | -158.4 | 16.9 | 352.4 | 1.716 | 37.02 | -26.29 |
| 1 400 | 8.32  | 3.691 | 15.63 | 493.8 | -184.8 | 23.1 | 332.1 | 2.002 | 40.71 | -25.08 |
| 1 600 | 9.50  | 3.932 | 21.75 | 493.8 | -211.2 | 30.1 | 312.7 | 2.288 | 43.81 | -22.06 |
| 1 800 | 10.69 | 4.174 | 29.22 | 493.8 | -237.6 | 38.1 | 294.3 | 2.574 | 46.39 | -17.17 |

续表

| (1)   | (2)   | (3)   | (4)   | (5)   | (6)    | (7)  | (8)   | (9)   | (10)  | (11)   |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|--------|
| 顺风段   |       |       |       |       |        |      |       |       |       |        |
| 2 000 | 11.88 | 4.415 | 38.16 | 493.8 | -264.0 | 47.1 | 276.9 | 2.860 | 48.48 | -10.32 |
| 2 200 | 13.07 | 4.657 | 48.70 | 493.8 | -290.4 | 56.9 | 260.3 | 3.146 | 50.15 | -1.45  |
| 2 400 | 14.26 | 4.899 | 60.96 | 493.8 | -316.8 | 67.8 | 244.8 | 3.432 | 51.44 | 9.52   |

其中: (1)  $-x$ ; (2)  $-V_r(x)$ ; (3)  $-\frac{\lambda_1}{3} \cdot \frac{x}{D_r} + 2$ ; (4)  $-\left(\frac{\lambda_1}{3} \cdot \frac{x}{D_r} + 2\right) \times \frac{\rho}{2} V_r^2(x)$ ; (5)  $-V_r^2$ ; (6)  $-V_r V_r(x)$ ; (7)  $-\frac{1}{3} \cdot V_r^2(x)$ ; (8)  $-V_r^2 + V_r V_r(x) + \frac{1}{3} \cdot V_r^2(x)$ ; (9)  $-a \frac{x}{L_r}$ ; (10)  $-a \frac{x}{L_r} \cdot \frac{\rho}{2} \{V_r^2 + V_r V_r(x) + \frac{1}{3} \cdot V_r^2(x)\}$ ; (11)  $-P_r^* - P_r(x)$ 。

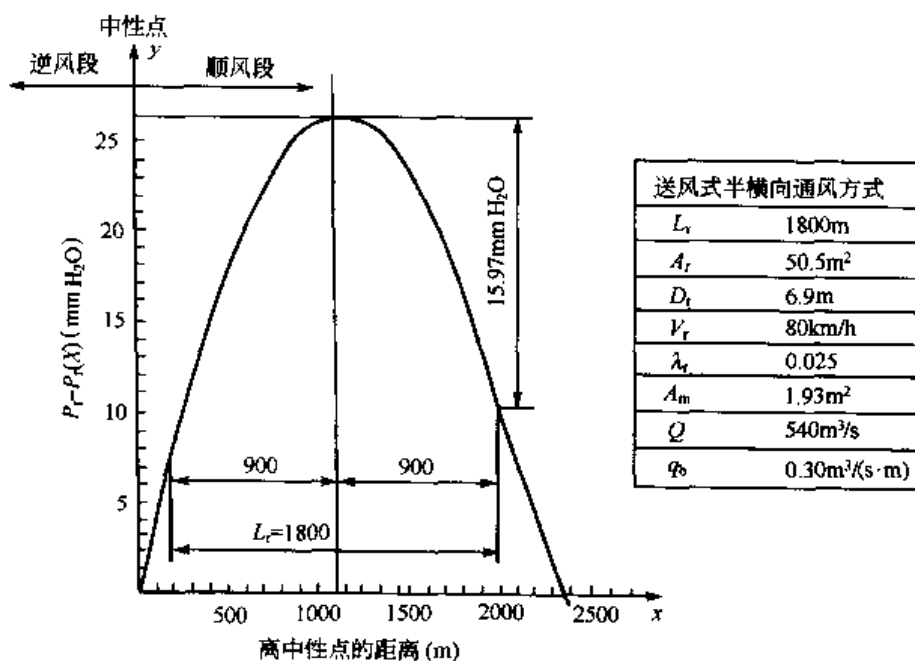


图 6-16 车道内压力曲线

(2) 抽出式半横向通风方式。

计算图式, 见图 6-17。

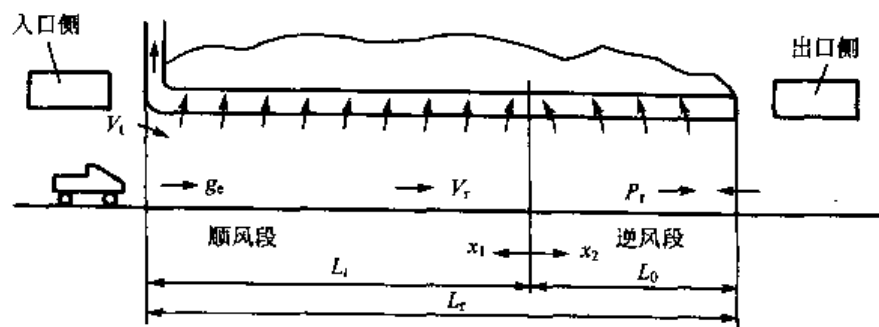


图 6-17 抽出式半横向通风方式

1) 车道内风速计算为:

$$V_r(x) = \frac{q_e}{A_r} x \quad (6-53)$$

隧管内为单向交通时, 单位排风量  $q_e$  在整条隧管内保持恒定, 隧道进口段为顺风段, 出口段为逆风段。如果中性点在隧道中点的情况下, 车道内风速最大为 8m/s 左右是合适的。

中性点位置取决于气象条件造成两隧道口部之间的等效压差  $\Delta P_{MTW}$ , 见图 6-18。

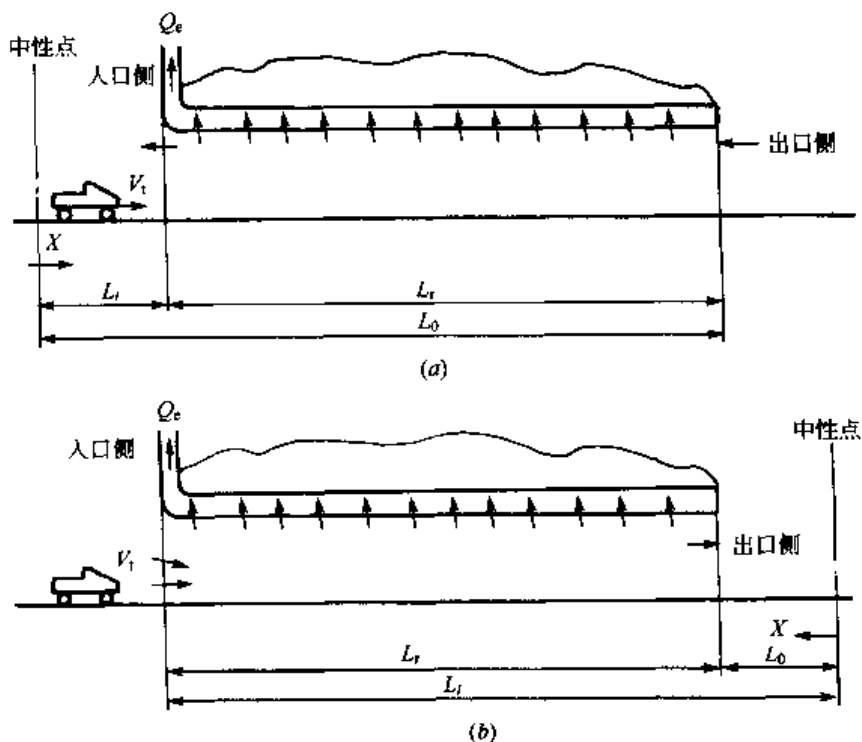


图 6-18 中性点的位置

(a) 中性点位于进口侧; (b) 中性点位于出口侧

中性点在车道内的情况

$$\begin{aligned} P_r(x_1 = L_i) - P_r(x_2 = L_o) + \frac{\rho}{2} (1 + \zeta_e) \{ V_r^2(x_1 = L_i) \\ - V_r^2(x_2 = L_o) \} &= \Delta P_{MTW} \\ L_o + L_i &= L \\ V_r(x_1 = L_i) &= \frac{q_e \cdot L_i}{A_r} \\ V_r(x_2 = L_o) &= \frac{q_e \cdot L_o}{A_r} \end{aligned} \quad (6-54)$$

中性点在隧道出口侧的情况

$$\begin{aligned} P_r(x_1 = L_i) - P_r(x_2 = L_o) + \frac{\rho}{2} (1 + \zeta_e) V_r^2(x_1 = L_i) &= \Delta P_{MTW} \\ L_i - L_o &= L \end{aligned} \quad (6-55)$$

中性点在隧道入口侧的情况

$$P_r(x_1 = L_r) - P_r(x_2 = L_0) + \frac{\rho}{2}(1 + \zeta_e)V_r^2(x_2 = L_0) = \Delta P_{MTW}$$

$$L_0 - L_i = L \quad (6-56)$$

根据气象条件, 等效压差  $\Delta P_{MTW}$  在下式所示范围内, 中性点发生在车道内时车辆在隧管内排出有害气体浓度有局部增大的危险:

$$(\Delta P_{MTW})_{\max} > \Delta P_{MTW} > (\Delta P_{MTW})_{\min} \quad (6-57)$$

式中

$$(\Delta P_{MTW})_{\max} = \left( \zeta_e + \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{L_r}{D_r} \right) \frac{\rho}{2} V_r^2 - \alpha \frac{\rho}{2} \left( V_i^2 - V_i \cdot V_r + \frac{1}{3} V_r^2 \right)$$

为中性点位于隧道出口侧的条件。

$$(\Delta P_{MTW})_{\min} = - \left( \zeta_e + \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{L_r}{D_r} \right) \frac{\rho}{2} V_r^2 - \alpha \frac{\rho}{2} \left( V_i^2 + V_i \cdot V_r + \frac{1}{3} V_r^2 \right)$$

为中性点位于隧道入口侧的条件。

2) 车道内风压。

顺风段

$$P_r^* - P_r(x_1) = - \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{x_1}{D_r} - 1 \right) \frac{\rho}{2} V_r^2(x_1) + \alpha \frac{x_1}{L_r} \left\{ V_i^2 - V_i \cdot V_r(x_1) + \frac{1}{3} V_r^2(x_1) \right\} \cdot \frac{\rho}{2} \quad (6-58)$$

逆风段

$$P_r^* - P_r(x_2) = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{x_2}{D_r} - 1 \right) \frac{\rho}{2} V_r^2(x_2) - \alpha \frac{x_2}{L_v} \left\{ V_i^2 + V_i \cdot V_r(x_2) + \frac{1}{3} V_r^2(x_2) \right\} \cdot \frac{\rho}{2} \quad (6-59)$$

排风道末端风速

$$V_{e0} = \frac{q_e}{A_e} \quad (6-60)$$

式中  $A_e$ ——抽风道横断面积,  $m^2$ 。

风道末端动压

$$P_{e0} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{e0}^2 \quad (6-61)$$

风道静压差

$$P_{ei} - P_{e0} = K_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{e0}^2 \quad (6-62)$$

式中

$$K_e = \left( \frac{\lambda_r}{3} \cdot \frac{L_e}{D_e} + 2 \right) \quad (6-63)$$

风道内任意位置的风速

$$V_e(x) = V_{e0} \frac{x}{L_e} = \frac{q_e}{A_e} \left( \frac{x}{L_e} \right) \quad (6-64)$$

沿风道的压力分布

$$-\frac{dP_e(x)}{dx} = \left[ \frac{\lambda_e}{D_e} \left( \frac{x}{L_e} \right)^2 + 4 \frac{x}{L_e} + 2\zeta_e \frac{x}{L_e} \right] \frac{\rho}{2} \cdot V_{\infty}^2 \quad (6-65)$$

式中  $\zeta_e$ ——把车道空气由  $x$  轴方向抽至排风道的运动气体的阻力系数。如与  $x$  轴成直角流入，则  $\zeta_e=0$ ，得出如下压力分布方程式

$$-\frac{dP_e(x)}{dx} = \left[ \frac{\lambda_e}{D_e} \left( \frac{x}{L_e} \right)^2 + 4 \frac{x}{L_e} \right] \frac{\rho}{2} \cdot V_{\infty}^2 \quad (6-66)$$

将上式积分，可得出排风道两端之间的压力差为

$$P_{\infty} - P_{\infty} = K_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{\infty}^2$$

与式 (6-62) 相同。

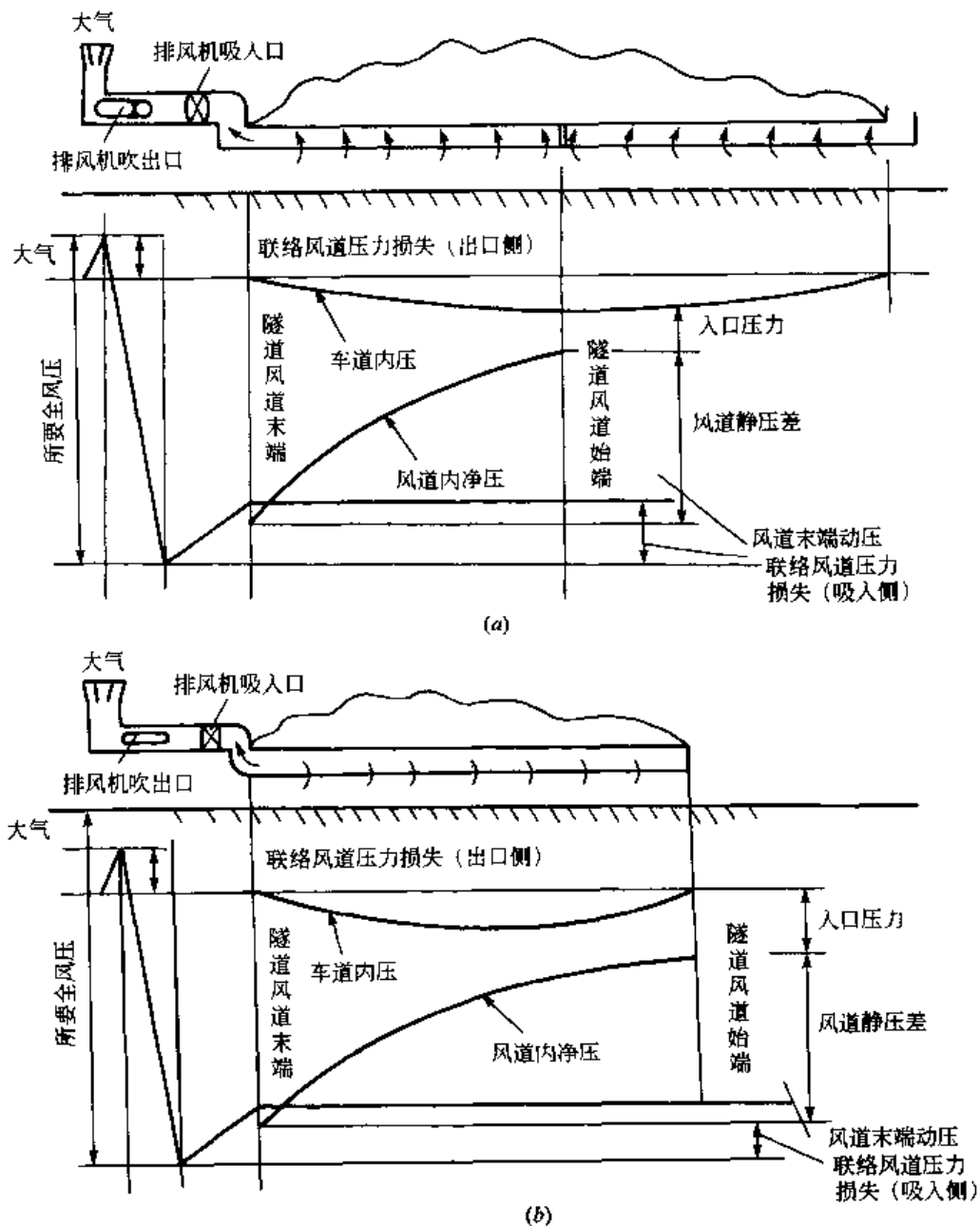


图 6-19 排风道系统压力分布

(a) 排风道系统压力分布 (单向风道—单风道); (b) 排风道系统压力分布 (双向风道—双风道)

排风道所需要的始端压力（以便决定排风道始端的风道静压原点）取以下值：

$$P_n - P_{ei} = 10 \text{ mmH}_2\text{O} \quad (6-67)$$

联络风道损失可按式 (6-50) 计算（即与压入式半横向通风方式相同）。

风机所需要的总风压 = 1.1（隧道风道始端车道内压力 + 所需风道始端压力 + 风道静压差 - 风道末端动压 + 连接风道的压力损失）

排风道系统压力分布，见图 6-19。

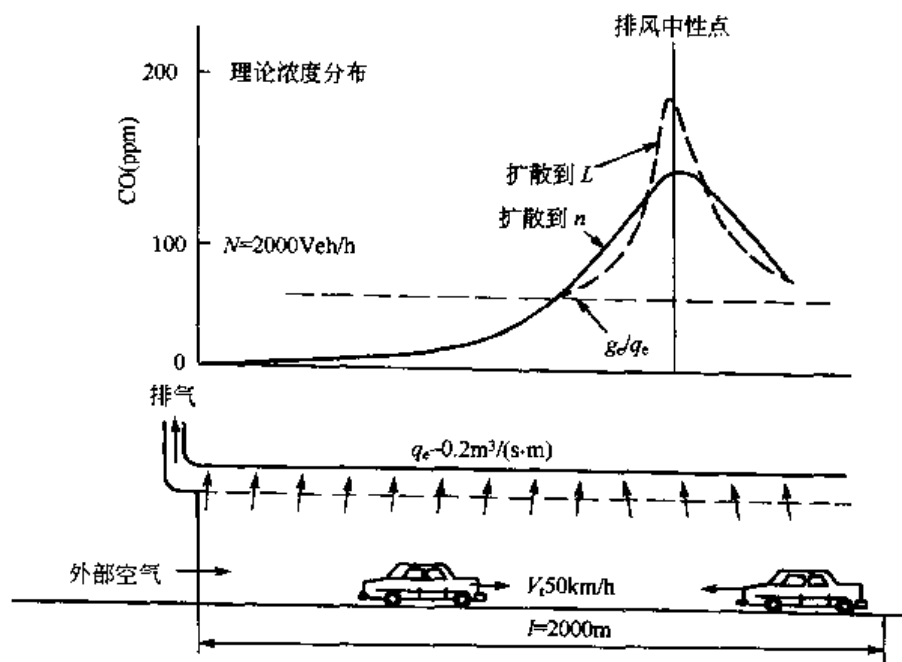


图 6-20 排风中性点附近的有害气体分布

两隧道口部之间，因自然风、温差等产生的压力差  $\Delta P_{MTRW}$  的情况与压入式半横向通风方式相同。

抽出式半横向通风方式的有害气体浓度分布，见图 6-20。

顺风段

$$C(x_1) = \frac{g_e}{q_e} \ln \frac{L}{x_1} \quad (6-68)$$

逆风段

$$C(x_2) = \frac{g_e}{q_e} \ln \frac{L_0}{x_2} \quad (6-69)$$

逆（排）风道风口的的设计：

风口采取等距离设置，其间距一般为 11.5m，其大小一般为 1.0m×1.2m（宽×长），见图 6-21。

隧道出口侧风道的风口必须要回转一个 U 形，见图 6-22。

送（排）风道的风口一般布置在车道的顶部或侧面。

火灾情况下半横向通风方式的运行模式，首先要核算出火灾情况下所需的通风量；抽出式半横向通风所配置的排风机，不考虑反转功能，一般通风系统的排风量应能满足中小型火灾规模排烟的需要。

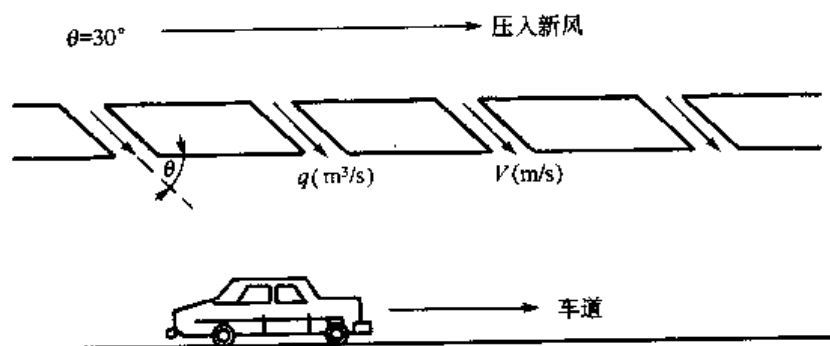


图 6-21 送（排）风口布置

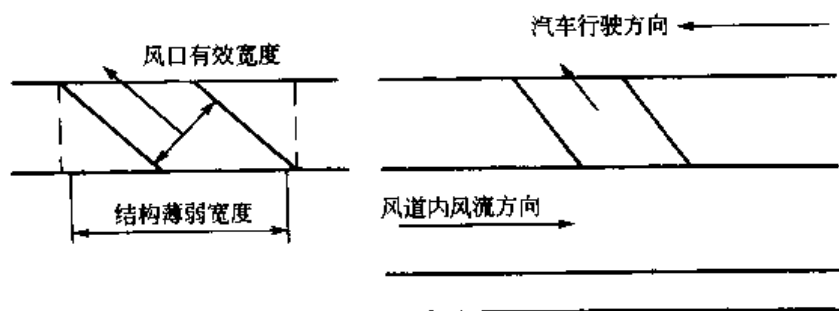


图 6-22 风口回转 U 形

压入式半横向通风方式，送风机必须具有反转功能。由于大型立式轴流风机反转时风量一般为正转的 50%，因此，如不能满足排烟需要，应适当增配排烟风机。如有局部集中排风的压入式半横向通风方式，集中排风机在火灾期间亦可作排烟风机使用。

所有风机应能在 250℃ 温度下正常运行 1h，恢复常温后，轴流风机不要大修即可投入正常运转（JTJ 026.1—1999 标准规定）。

典型通风竖井布置，见图 6-23。典型立式轴流风机安装，见图 6-24。

### 6.5.5 全横向通风方式

该通风方式土建工程费和运行维护管理费都是最高的，但不受隧道长度制约，而且可以保证火灾情况下有高效的排烟效果。同时，由于采用了压抽结合的全横向通风方式，对于单向行驶的隧道，车辆行驶而产生的活塞风的风速一般为 4m/s 左右，相当于有 30% 风量从隧道口部排出。

(1) 车道内风压。

假设每单位长度的送风量  $q_b$  [ $\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ ] 与排风量  $q_e$  [ $\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ ] 相等。车道内轴向风速  $V_r$  始终是恒定的。 $V_r$  由下式进行计算：

$$\left(1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 + \frac{\rho \cdot Q_e \cdot V}{A_r} = \Delta P_{\text{MTW}} + \Delta P_r \quad (6-70)$$

采用压抽结合全横向通风方式时，要沿车道方向设置送、排风道，并以一定间距设置送、排风口，稀释和排出污染空气。隧道内送、排风量不连续时，应有足够数量的送、排风口，并将送、排风口的开度调节成  $Q_b = Q_e$  作为基准状态；实际上很难保持  $Q_b$  与  $Q_e$  一致，但必须使送、排风平衡。

考虑  $Q_b = Q_e$  的状态，按照连续原则，车道内的轴向风速  $V_r$  在隧道长度上始终保持

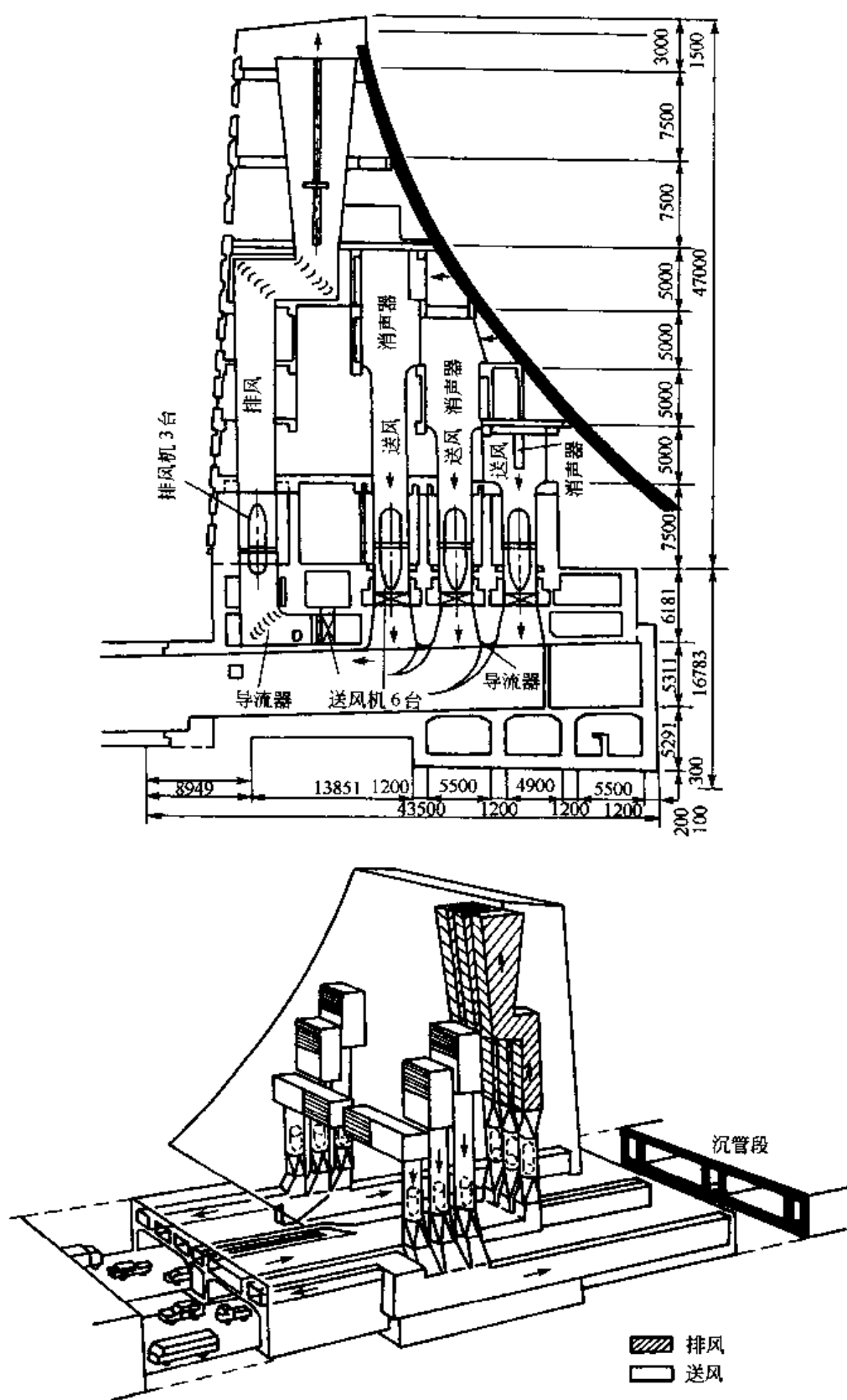


图 6-23 典型风楼布置图 (单位: mm)

恒定, 即  $V_r(x) = V_r(x=0) = V_r(x=L) = \text{常量}$ , 因此并不产生半横向通风方式所

出现的中性点。上式中的  $x$  为至隧道入口的距离。

由于车道内风速是恒定的，所以轴向风速  $V_r$  与车道内压力分布和自然通风时一样。采用压抽结合全横向通风方式时，由送风口送出的空气难以直接被对应的排风口吸进，因此形成了空气帘幕，具有阻止空气流动的作用，使隧道轴向风速  $V_r$  减小。而当  $Q_b = Q_e$  时，车道内压力就为大气压力。

(2) 车辆在隧道内排出的有害气体浓度分布。

在隧道内无轴向风流时（即  $V_r = 0$ ），车辆排出有害气体在隧道内浓度分布可用下式计算：

$$C(x) = \frac{g_e(x)}{q_b(x)} = \frac{g_e(x)}{q_e(x)} \quad (6-71)$$

在隧道内有轴向风流时，车辆排出有害气体在隧道内浓度分布可按式计算：

$$Q_r \frac{d_c(x)}{dx} = g_e(x) - q_b(x) \cdot C(x) \quad (6-72)$$

当  $g_e(x)$ 、 $q_e(x)$  在轴向恒定的情况可得

$$C(x) = \frac{g_e}{q_e} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{q_e \cdot x}{Q_r}\right) \right] \quad (6-73)$$

$x$  足够大时，与式 (6-71) 一致。这里， $Q_r$  为轴向的通风量， $Q_r = A_r \cdot V_r$ 。

在车道横断面内车辆排出的有害气体浓度分布是不均匀的，采用底送上排时，顶部的浓度一般比车道内的约大 10%，而采用上送底排时则相反。为了尽可能使车道横断面内有害气体浓度分布均匀，从送风道吹出的气流最好与隧道轴线成直角，并能快速喷射出。

在车道内无轴向风流的情况下，只要确定了隧道内车辆有害气体发生量  $g_e$  与送风量  $q_b$ （等于排风量  $q_b$ ），由排风孔排出的空气中平均有害气体浓度可简单地用式 (6-71) 计算。

如果隧道轴向有通风道时，除由送风道供给新鲜空气之外，还有从隧道口流入  $Q_r = A_r \cdot V_r$  的新鲜空气，有害气体浓度分布就复杂得多。

关于浓度计算，当隧道内轴向风流  $V_r = 0$  时，为保证通风的安全性，则通风流必须向降低有害气体浓度的方向作用，使安全方面留有余地。

(3) 风机总风压。

送风机总风压 =  $1.1 \times$ （所需要的末端压力 + 风道静压差 + 风道始端动压 + 联络风道压力损失）

排风机总风压 =  $1.1 \times$ 〔所需要的末端压力 + 风道静压差 - 风道始端动压 + 联络风道压力损失〕

送、排风道系统压力分布，见图 6-25。

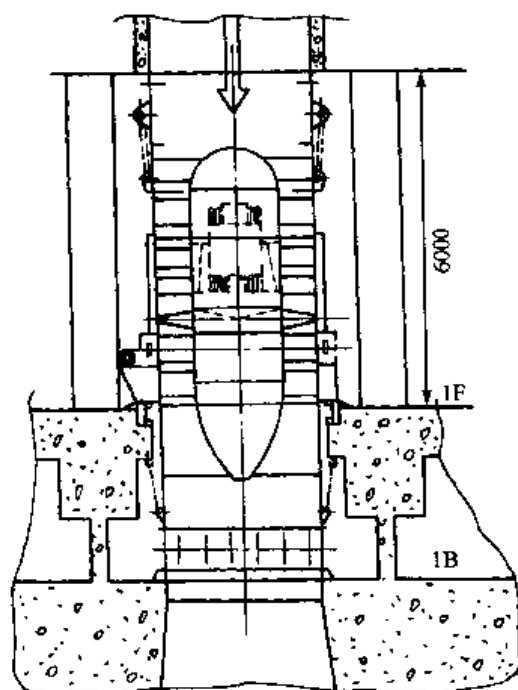


图 6-24 典型立式轴流风机安装图（单位：mm）

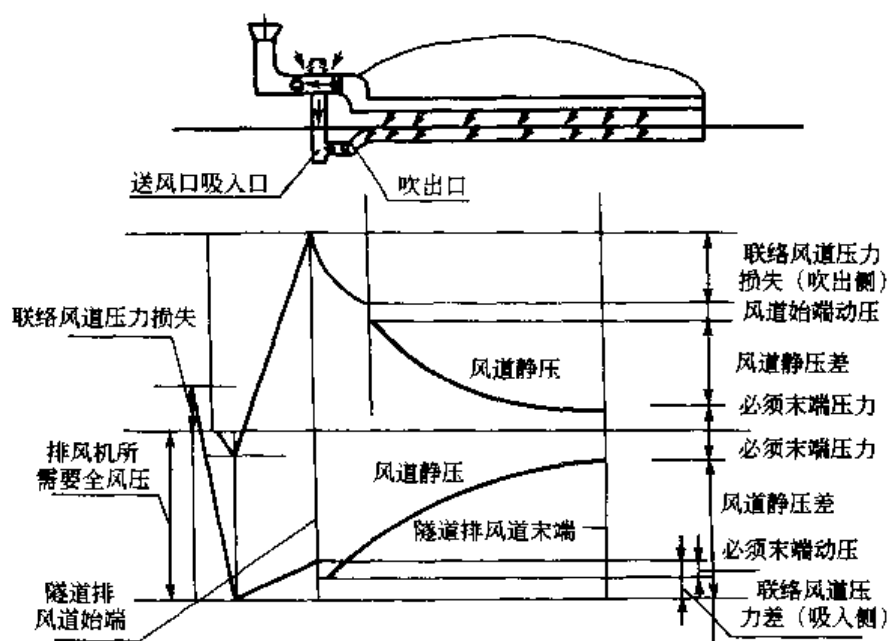


图 6-25 送、排风道系统压力分布

采用压抽结合全横向通风方式时，标准状态下车道内压力通常为零，计算风机所需风压时也应使之为零。另外，关于  $\Delta P_{MTW}$ ，与半横向通风方式一样，必须包括所需的末端和始端压力。

隧道内送风道的横断面积  $A_b$  ( $m^2$ ) 在轴向恒定的情况下，由隧道风道向车道提供同样的单位送风量时，隧道送风道的静风差和始端动压计算，按压入式半横向通风方式的公式进行。

隧道内排风道的横断面积  $A_e$  ( $m^2$ ) 在轴向恒定的情况下，车道内污染空气以相等的排风量均匀排出时，隧道内排风道的静压差和末端动压，按抽出式半横向通风方式公式进行计算。送风道必需的末端压力以压入式半横向通风方式的公式进行计算。排风道所需要的始端压力，以压入式半横向通风方式的公式进行计算。联络风道的压力损失，以压入式半横向通风方式的公式进行计算。

#### (4) 计算实例。

隧道通风条件：隧道总长度  $L_r = 2800m$ ；送、排风道总长度  $L_{b,e} = 1400m$ ；送、排风道横断面积  $A_{b,e} = 16.5m^2$ ；送、排风道当量直径  $D_{b,e} = 3.8m$ ；交通量  $N = 3000$  辆/h；所需要通风量  $Q = 650m^3/s$ 。

风机风压计算：送风道始端风速  $V_{bi}$  为

$$V_{bi} = \frac{Q/2}{A_b} = \frac{650/2}{16.5} = 19.7m/s$$

送风道始端动压  $P_{bi}$  为

$$P_{bi} = \frac{\rho}{2} V_{bi}^2 = \frac{0.1224}{2} \times 19.7^2 = 23.8mmH_2O$$

送风道静压差  $P_{bi} - P_{bo}$  为

$$K_b = \left( \frac{\lambda_b}{3} \cdot \frac{L_b}{D_b} - 1 \right) = \frac{0.025}{3} \cdot \frac{1400}{3.8} - 1 = 2.070$$

$$P_{bi} - P_{bo} = K_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{bi}^2 = 2.070 \times \frac{0.1224}{2} \times 19.7^2 = 49.2 \text{ mmH}_2\text{O}$$

送风道所需的末端压力

$$P_{bo} - P_{ro} = 15 \text{ mmH}_2\text{O}$$

联络风道压力损失  $P_{cb}$  沿着通风竖井进风口是隧道送风道始端的通道压力损失的总和。此外, 假定  $P_{cb} = 30 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。

送风机所需要的总风压  $p_{rb}$  为

$$\begin{aligned} p_{rb} &= 1.1 \times \{(p_{bo} - p_{ro}) + (p_{bi} - p_{bo}) + p_{bd} + p_{cd}\} \\ &= 1.1 \times (15 + 49.2 + 23.8 + 30) = 129.8 \approx 130 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

排风机的风压计算: 排风道末端风速  $V_{eo}$  为

$$V_{eo} = \frac{Q/2}{A} = \frac{650/2}{16.5} = 19.7 \text{ m/s}$$

排风道末端动压  $P_{ed}$  为

$$P_{ed} = \frac{\rho}{2} V_{eo}^2 = \frac{0.1224}{2} \times 19.7^2 = 23.8 \text{ mmH}_2\text{O}$$

排风道静压差

$$K_e = \left( \frac{\lambda_e}{3} \cdot \frac{L_e}{D_e} + 2 \right) = \frac{0.025}{3} \cdot \frac{1400}{3.8} + 2 = 5.070$$

$$P_{bi} - P_{bo} = K_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{eo}^2 = 5.070 \times \frac{0.1224}{2} \times 19.7^2 = 120.4 \text{ mmH}_2\text{O}$$

排风道必需的始端压力  $P_{ri} - P_{ro}$  为

$$P_{ri} - P_{ro} = 10 \text{ mmH}_2\text{O}$$

联络风道压力损失  $P_{ce}$  与送风机情况相同, 假定  $P_{ce} = 30 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$\begin{aligned} P_{re} &= 1.1 \times \{(P_{ri} - P_{ri}) + (P_{re} - P_{ro})P_{rd} + P_{ce}\} \\ &= 1.1 \times (10 + 120.4 - 23.8 + 30) = 150.3 \approx 150 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

火灾工况下全横向通风方式有高效排烟效果, 送风机应具备反转功能, 风机应能在  $250^\circ\text{C}$  温度下正常运行 1h。

## 第7章 上海环球金融中心大厦防排烟模拟试验

### 7.1 背景介绍

随着建筑高度增加,本身由于热压造成的烟囱作用较大,对空调通风换气效果有影响。当室外风速加大时,在超高层建筑周围形成一个涡流,对排气、进风、排烟效果产生不可估计的影响。高层建筑往往存在着各种事故隐患,而且楼层越高隐患越大。对于超高层建筑,目前在防火措施方面缺乏实践经验。尽管现行规范《高规》总结了国内高层建筑设计防火经验和借鉴了国外的先进经验,对高层建筑防火应采取的措施做出了相应的规定。但是,对于建筑高度超过250m的民用建筑,需要对消防给水,安全疏散和消防的装备水平等进行专题研究,提出适当的防火措施。因此,为了保证高层建筑设计防火安全,加强宏观控制,《高规》规定,凡是建筑高度超过250m的民用建筑,在建筑设计中采取的特殊防火措施,要提交国家消防主管部门组织专题研究论证。

上海环球金融中心大厦460m高,地下3层,地上94层,总面积达到30万 $\text{m}^2$ ,能容纳2万多人。该大楼底盘为540m $\times$ 540m,结构为筒中筒体系,内筒比较大,里面有两个安全楼梯间,用400mm钢筋混凝土现浇而成,在外区周边办公室和内区筒体形成两道内走廊。外区内走廊设排烟系统,内区内走廊设正压送风系统。每个标准层工作人员预定为228位。火灾时疏散至每个中间避难层约1500~1750人。共有8个避难层。见图2-41,图2-42。

日本和我国均没有制定超高层建筑防火规范。均是根据模拟试验取得数据在工程中应用。日方(清水建筑株式会社)为整幢大楼做了燃烧模化实验(1/100),对标准层防排烟系统做了一个模拟实验<sup>[7]</sup>。模拟实验在日本一个SEAVANS大楼13层的一间会议室内进行,面积与标准层一致,防排烟量及其压力条件和上海环球金融中心大厦相同。

### 7.2 防排烟模拟实验

#### 7.2.1 防排烟模拟试验概况

##### (1) 试验概况

本模拟测验是测定假设在火灾发生后,整个大楼将分成火灾层以上楼层的烟区层和以下楼层的空气层的情况下,因火灾各房间(包括假想房间)的气压差而形成的室间气流量,大部分以不规则的2层区域模式来测定。这一测验方法是依照日本建设省综合技术开发工程综合防火设计法开发制定的。此测验可以预测在

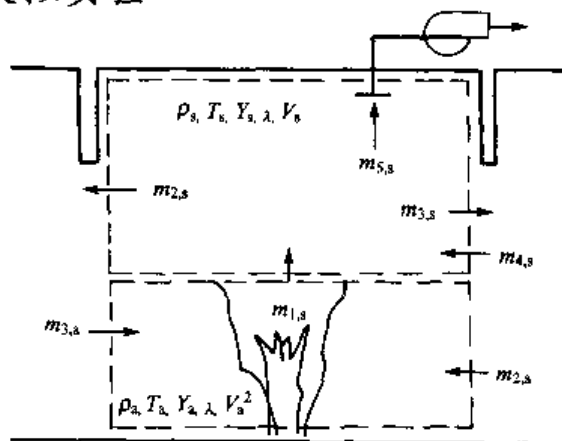


图 7-1 2层区域模化概念图

大部分房间发生火灾后的其他各室的烟层高度、温度、浓度及流量等。图 7-1 为 2 层区域模化概念图（注：2 层区域又可称分层区域）。

1) 化学类（变数分别为上层部和下层部）：

$$\rho V = \frac{dY_1}{dt} = \Sigma(Y_{1,j} - Y_1)\dot{m}_j + T_1$$

2) 温度（变数分别为上层部和下层部）：

$$c_p \rho V \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_{\text{net}} + \Delta H_{\text{mb}} + c_p \sum_j (T_j - T)\dot{m}_j$$

3) 上层部的体积（变数为上层部）：

$$c_p \rho_s T_s \frac{dV_s}{dt} = \dot{Q}_{\text{net},s} + \Delta H \dot{m}_{b,s} + c_p \sum_{j,s} T_j \dot{m}_j$$

4) 压力：

$$(\dot{Q}_{\text{net}})_{s+a} + (\Delta H \dot{m}_b)_{s+a} + c_p \sum_{j,s+a} T_j \dot{m}_j = 0$$

(2) 火灾条件的设定

考虑到可燃物量等因素，以假定三人布沙发为可燃物的火灾实例（根据 J. R. Lawson, et al. Fire Performance of Furnitures as Measured in the NBS Furniture Clorimeter, Part1. NBSIR 83-2787 TEST-38）为基础，按下列条件（根据各种资料，沙发的发热速度一般为 500~1000kW，发热至燃烧一般需 300s 以上，本测验以最坏火灾状况为假想测验条件，另外发热速度和发热至燃烧的时间也偏安全假定）设定火源。火源燃烧速度的时间变化见图 7-2。

(3) 室外、室内条件

考虑到温度差对起烟效果的影响，设定室外温度条件为：

冬季 5℃；夏季 32℃。

室内的初期温度条件为：

冬季 22℃；夏季 26℃。

(4) 试验设计条件：见图 7-3、图 7-4。

## 7.2.2 上海环球金融中心防排烟模拟实验

(1) 目的

在日本 SEAVANS 大楼，通过对上海环球金融中心大厦的防排烟系统进行模拟实验，以确认该防排烟系统的效果。

(2) 概要

1) 将 SEAVANS 大楼 13 层的一间会议室的吊顶排烟栅关闭，使该会议室处于无法排烟的状态。见图 7-5，图 7-6。

2) 通过这一环境的设定、使该会议室、内走廊、筒体内走廊在防排烟时的送排风以及压力条件和上海环球金融中心大厦工程一致。

3) 在这些条件下、燃烧酒精盘和发烟筒以产生烟雾。通过启动防排烟系统，对烟的

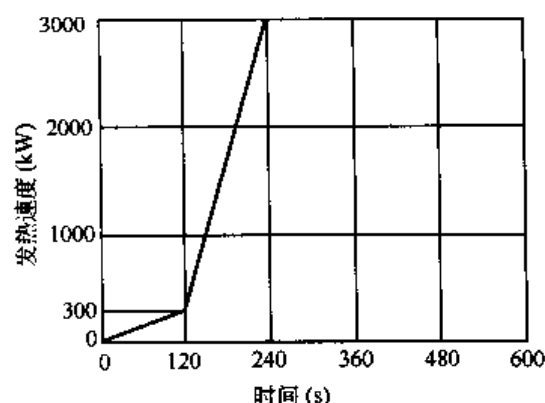


图 7-2 火源燃烧速度的时间变化

流动情况进行观测、确认筒体内走廊有无烟雾的泄漏。进一步，通过高度方向的温度测量、确认烟层和空气层的二层化现象。

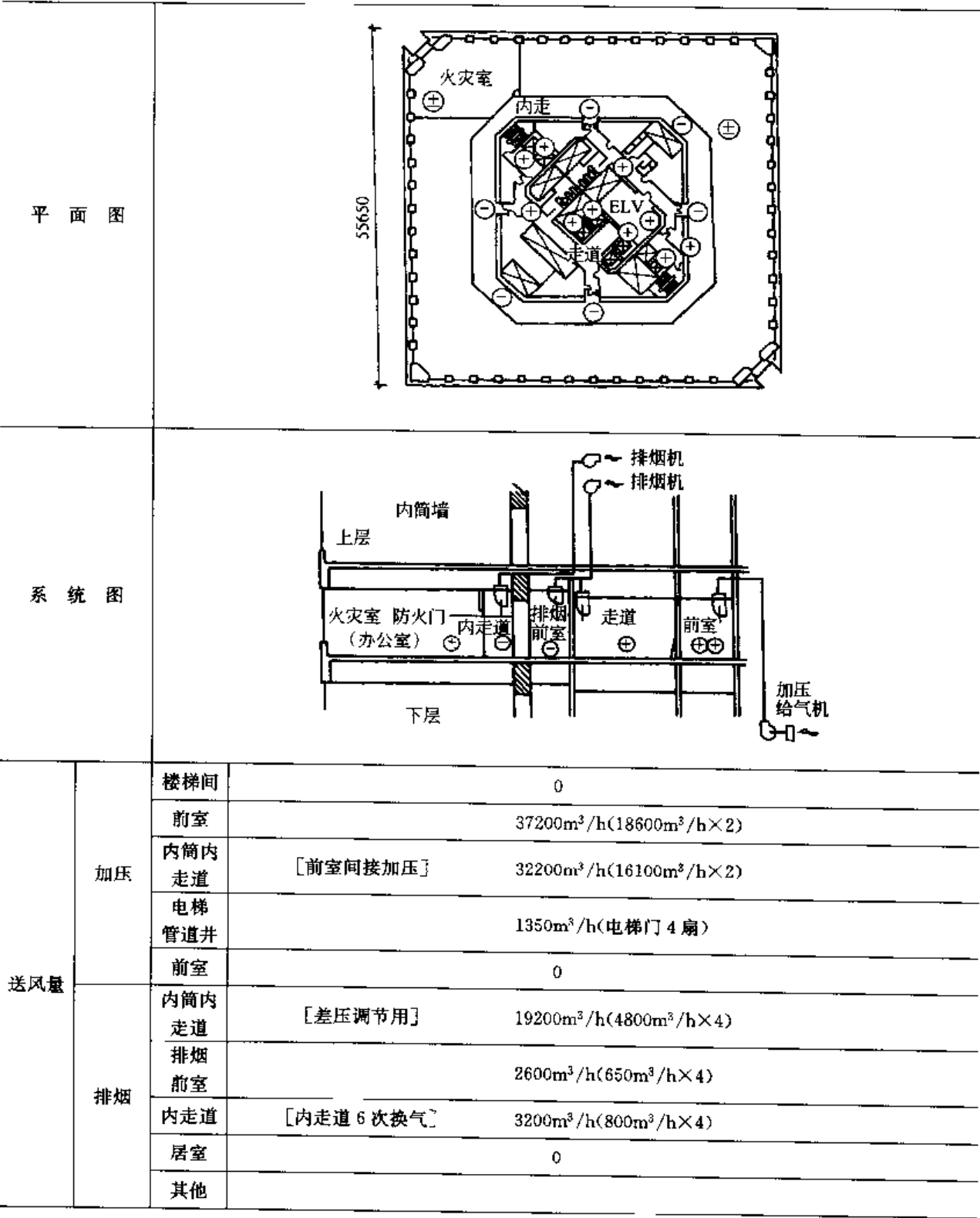


图 7-3 上海环球金融中心大厦小分隔时试验设计条件

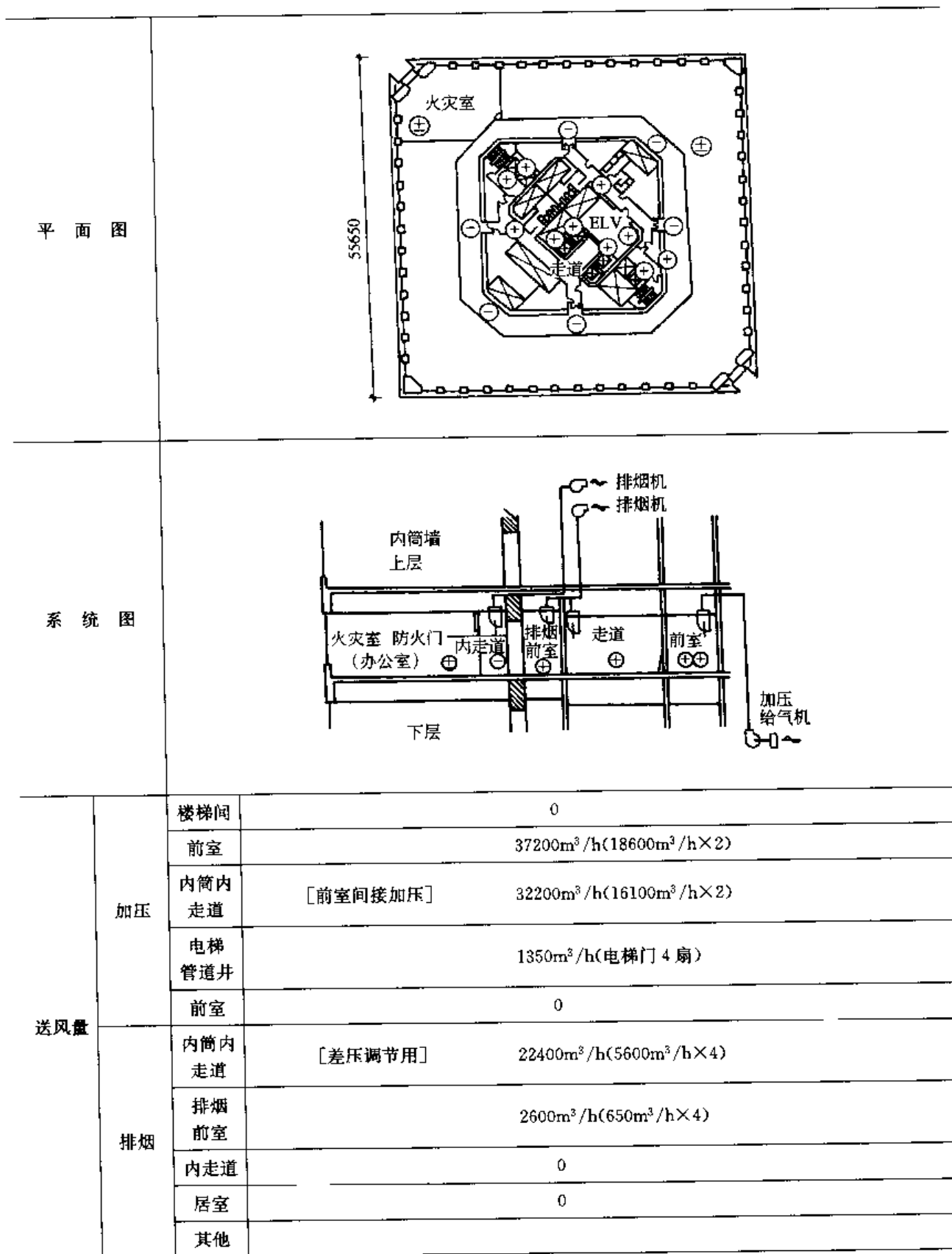


图 7-4 上海环球金融中心大厦大分隔时试验设计条件

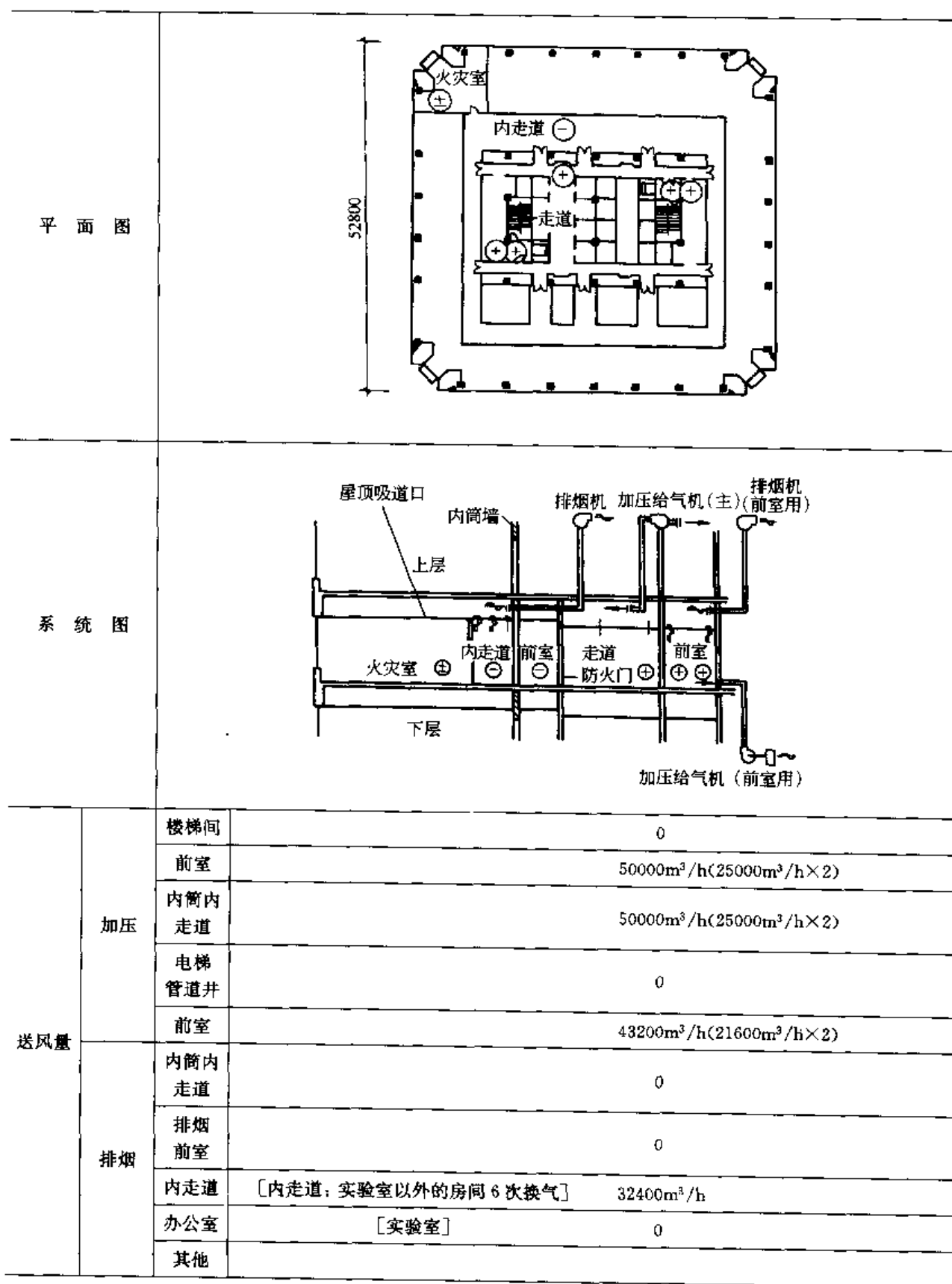


图 7-5 SEAVANS 13 层的试验设计条件 (一)

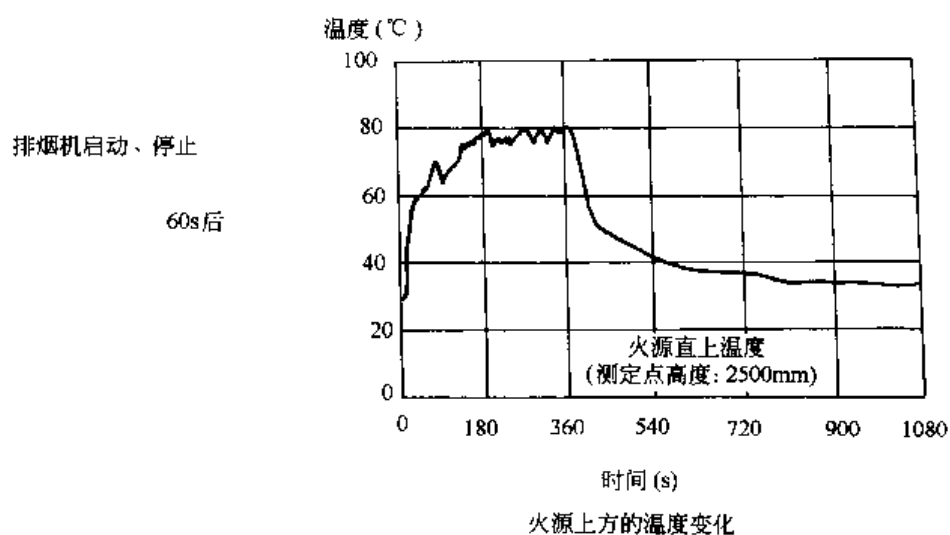
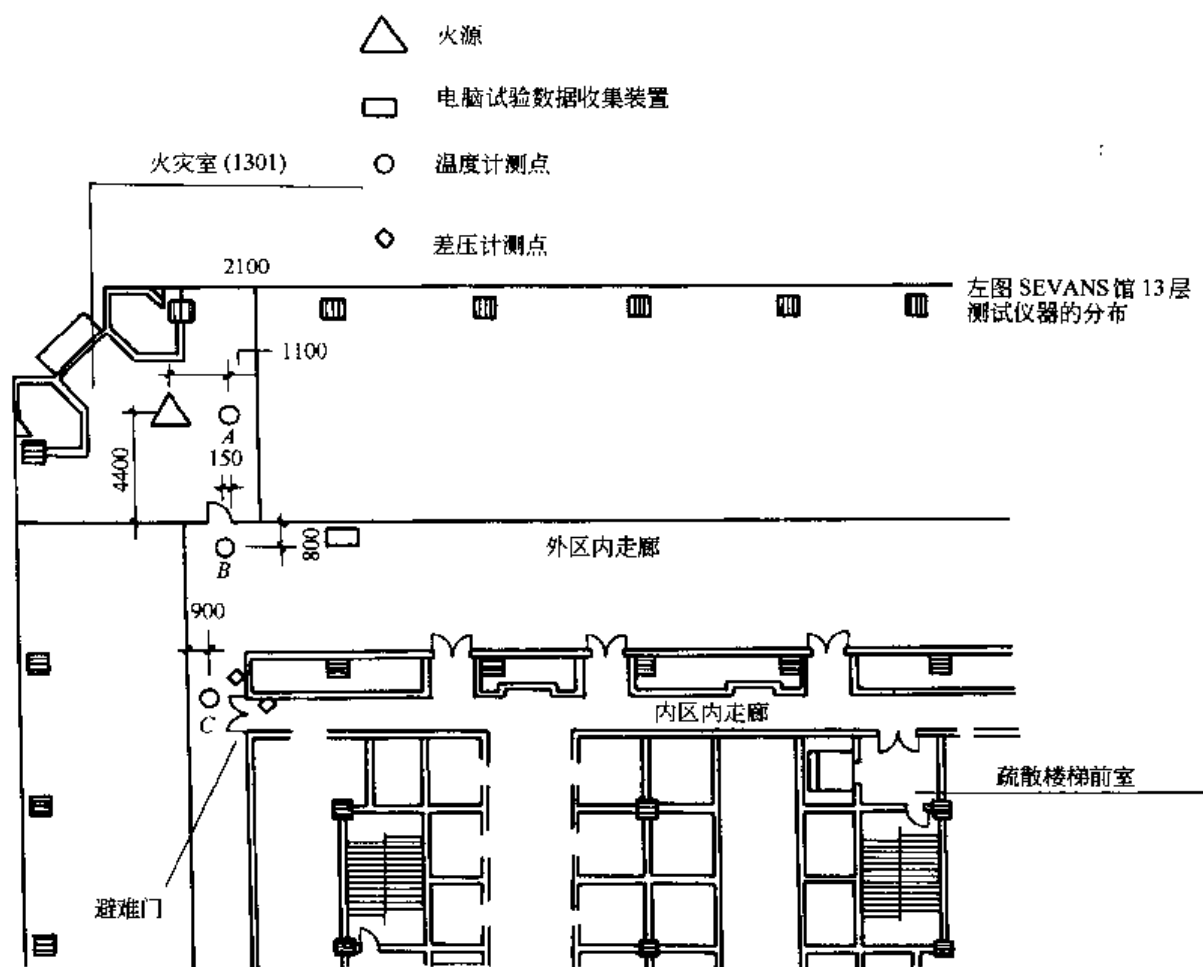


图 7-6 SEAVANS 13 层的试验设计条件 (二)

### (3) 日程

7 月 13 日 (星期六) 14 : 00

7 月 21 日 (星期日) 13 : 30

#### (4) 实验条件

|         |                                                                                                                                          |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 场所      | SEAVANS 南楼 13 层                                                                                                                          |
| 假设火灾发生地 | 1301 室约 70m <sup>2</sup>                                                                                                                 |
| 火源      | 约 25kW                                                                                                                                   |
| 火源种类    | 甲醇 (250mm×250mm 酒精板)                                                                                                                     |
| 烟的种类    | 发烟筒                                                                                                                                      |
| 送风量     | 走廊 25000m <sup>3</sup> /h×2<br>疏散楼梯前室 25000m <sup>3</sup> /h×2                                                                           |
| 排风量     | 火灾室 (1301) 无排烟<br>火灾层 (火灾室以外) 32400m <sup>3</sup> /h<br>(相当于 6 次换气的排烟: 调整原设计的 44280m <sup>3</sup> /h)<br>疏散楼梯前室 21600m <sup>3</sup> /h×2 |
| 测试项目    | 筒体内走廊/房间内走廊间的压力差×1<br>室温 4 场所 (约 60 点)                                                                                                   |
| 门开闭条件   | 1301 室 开放<br>筒体入口门<br>7 月 13 日第 1 次试验: 开放<br>7 月 13 日第 2 次试验: 关闭<br>7 月 21 日第 3 次试验: 在避难时开放                                              |

#### (5) 试验结果

试验结果见图 7-7 (图中 A, B, C 点见图 7-6)。

关于内走廊/走廊间的门的开闭形式, 在以下的 3 种场合下进行了实验。对内走廊的烟层状况进行了比较。

场合 1 (7 月 13 日实验): 门处于经常开的状态。

场合 2 (7 月 13 日实验): 门处于经常闭的状态。

场合 3 (7 月 21 日实验): 在疏散时处于任意开闭的状态。

实验验证的结果:

##### 1) 压力差

内走廊/走廊间的压力差变化见图 7-7 中的图 1~3 所示。由实验结果得知, 即使在门处于经常开的情况下, 压力差也确保有 4Pa, 在经常闭时有约为 18Pa。通过目测也能确认烟完全没有进入走廊。如图 7-7 中图 3 所示, 即疏散者任意开闭门, 维持断烟的最低压力差也能被确保对疏散毫无影响。

##### 2) 温度

通过各温度测量点的测量, 垂直方向的温度分布随时间的变化由图 7-7 中的图 4~12 表示, 由图 7-7 中图 4, 图 5, 图 6 可知、无论在场合 1~3 中的任何一个场合下, 在火灾发生 1min 后, 火灾室出入口门从高度 2200mm 至顶棚 (2700mm) 的温度差达到摄氏 5℃ 以上, 能确认二层化现象。与无排烟的火灾室相比, 门的开闭显著影响内走廊高度方向的温度变化率。虽然, 在门关闭的情况下, 能认为在内走廊中烟和空气出现二层化现象, 但在门打开时, 在火灾室的周围, 烟和空气呈二层化的同时, 门周围的烟和来自内走廊的空

气处于混合状态。从图 7-7 中图 7、图 8 也能理解在门关闭时的二层流的形成。

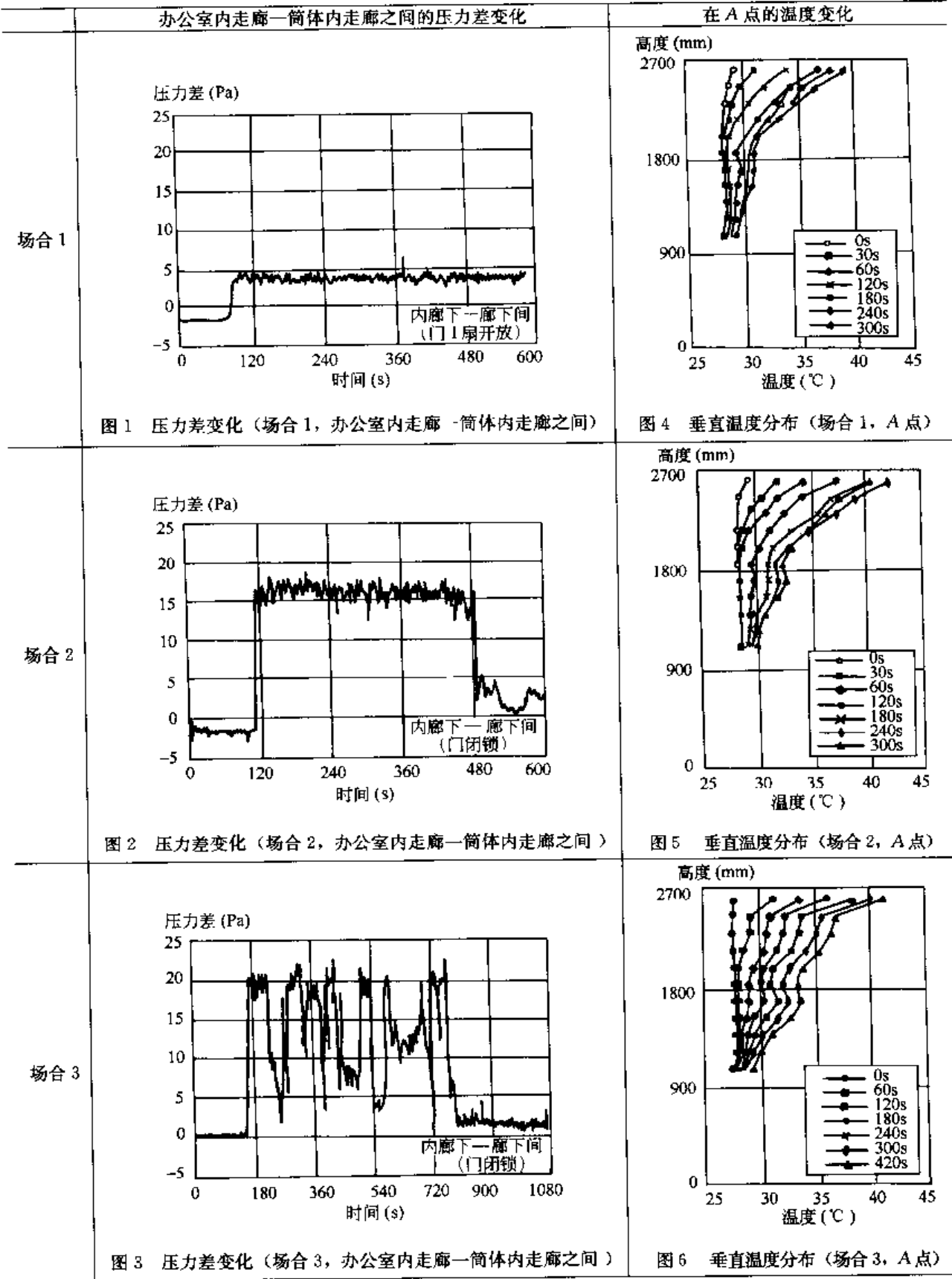


图 7-7 实验结果图表 (一)

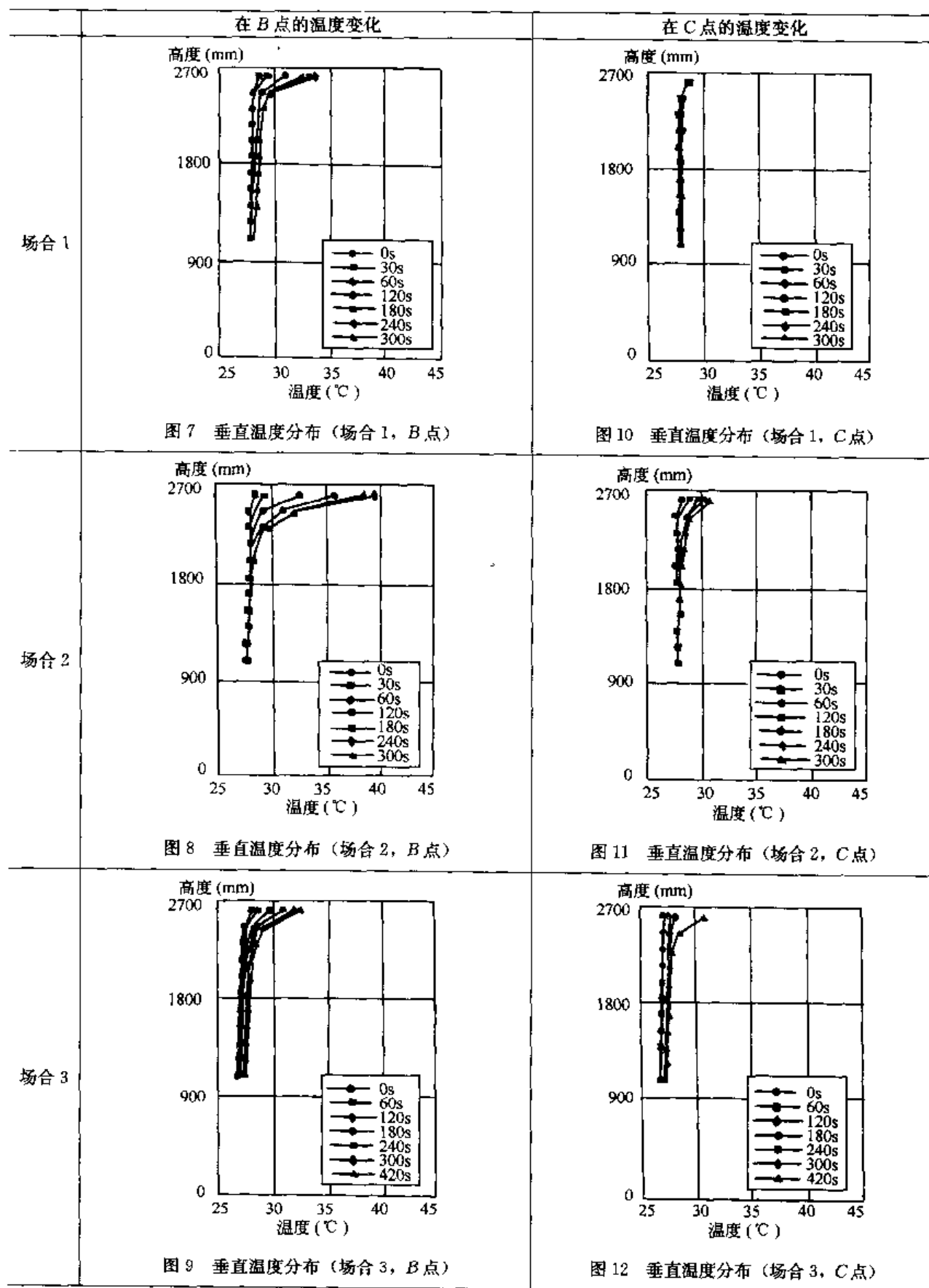


图 7-7 实验结果图表 (二)

### (6) 结论

通过以上 3 种场合的实验, 在由客房无排烟, 内走廊约 6 次/h 的排烟以及走廊的加压防烟所构成的系统中, 能确认以下事实。

- 1) 走廊/内走廊间的门关闭时, 在火灾室、内走廊都有烟和空气的二层化现象。
- 2) 走廊/内走廊间的门打开时, 在火灾室、内走廊的火灾室周围有烟和空气的二层化, 开放着的门的周围处于烟和空气的混合状态, 但不影响疏散。
- 3) 走廊/内走廊间的门在关闭时, 内走廊的垂直方向的温度变化率比门打开时的更大。

### 7.2.3 烟层高度、烟层温度、压力差随时间的变化

冬季办公室根据模拟试验的资料, 在大楼各个防排烟区域内, 在加压风机火灾时启动的状况下, 烟气在火灾发生的开始时间与烟层高度、烟气的温度、火灾的时间以及压力差之间关系图见图 7-8。图 7-8 中内走廊又称外区内走廊; 走廊又称内区内走廊; 排烟前室又称外区内走廊前室; 前室又称内区楼梯间前室; 内区又称筒体内。

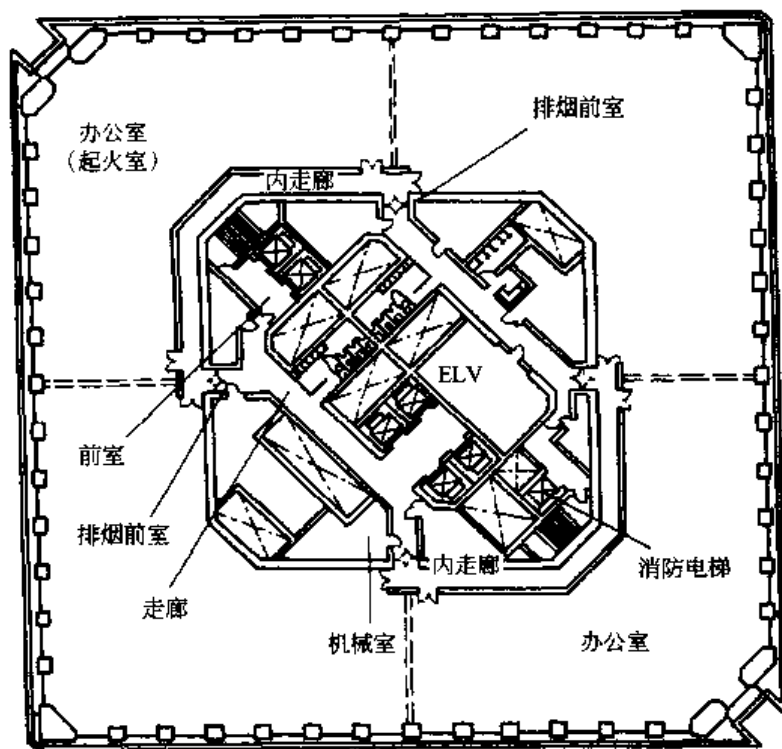


图 7-8 火灾层平面图

#### (1) 办公室起火情况 (570m<sup>2</sup>)

进行加压防排烟的情况下 (办公室起火的情况下), 起火室面积 570m<sup>2</sup>。

办公室烟层高度、烟层温度随时间的变化图见图 7-9。

内走廊烟层高度、烟层温度随时间的变化图见图 7-10。

排烟前室的烟层高度、烟层温度随时间的变化图见图 7-11。

排烟前室与内部走廊 (走廊与排烟前室) 压力差随时间的变化见图 7-12。

前室—走廊 (前室—楼梯间) 的压力差随时间的变化见图 7-13。

电梯间与走廊的压力差随时间的变化见图 7-14。

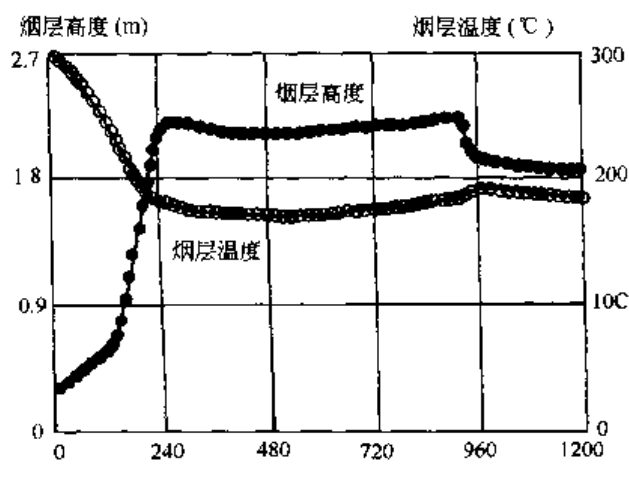


图 7-9 烟层高度、烟层温度随时间的变化 (起火室)

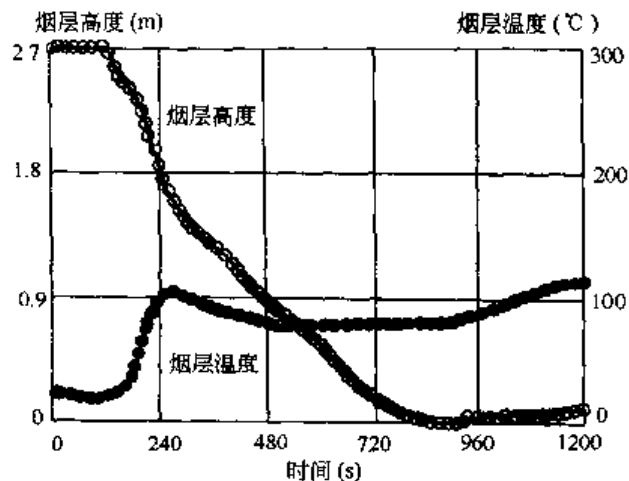


图 7-10 烟层高度、烟层温度随时间的变化 (内部走廊)

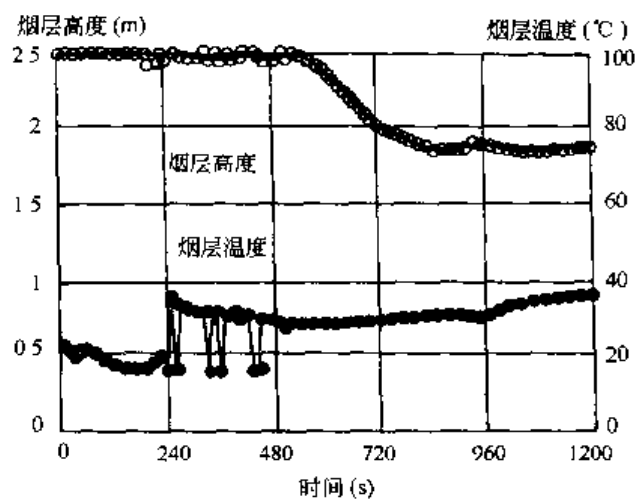


图 7-11 烟层高度、烟层温度随时间的变化 (排烟前室)

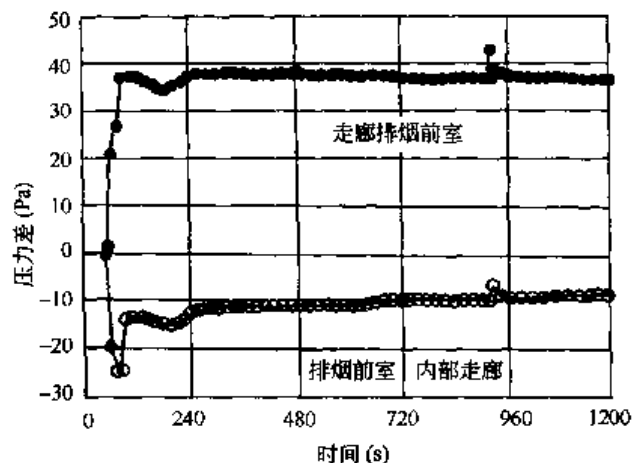


图 7-12 压力差随时间的变化 (排烟前室-内部走廊、走廊-排烟前室)

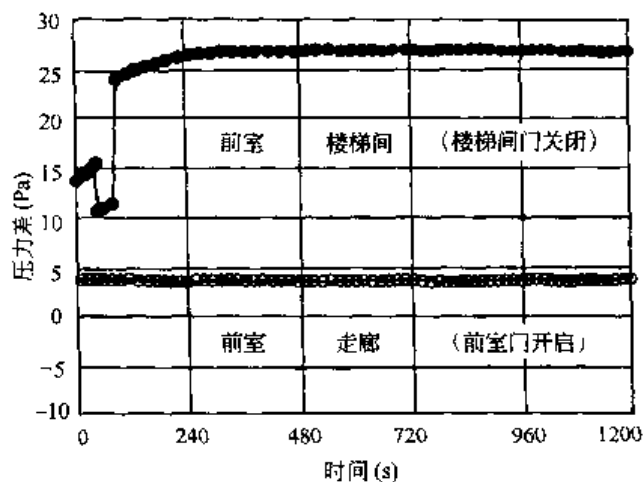


图 7-13 压力差随时间的变化 (前室-走廊、前室-楼梯间)

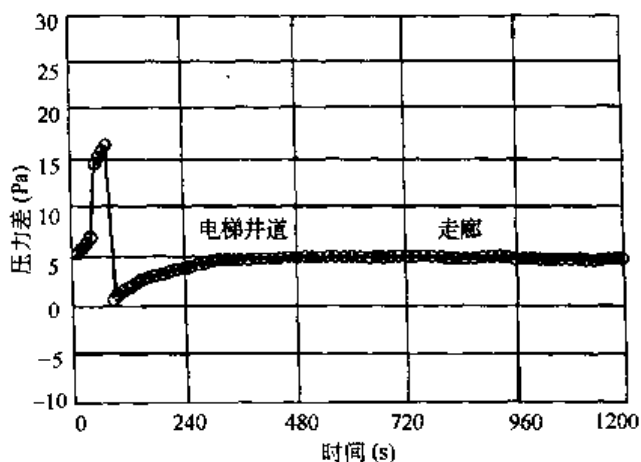


图 7-14 压力差随时间的变化 (电梯间-走廊)

## (2) 办公室 (100m<sup>2</sup>) 起火情况

进行加压防排烟的情况下 (办公室起火的情况下), 起火室面积 100m<sup>2</sup>。

办公室烟层高度、烟层温度随时间的变化见图 7-15。

内部走廊烟层高度、烟层温度随时间的变化见图 7-16。

排烟前室烟层高度、烟层温度随时间的变化见图 7-17。

排烟前室—内部走廊 (内部走廊—排烟前室) 压力差随时间的变化见图 7-18。

前室—走廊 (前室—楼梯间) 压力差随时间的变化见图 7-19。

消防电梯间—走廊压力差随时间的变化见图 7-20。

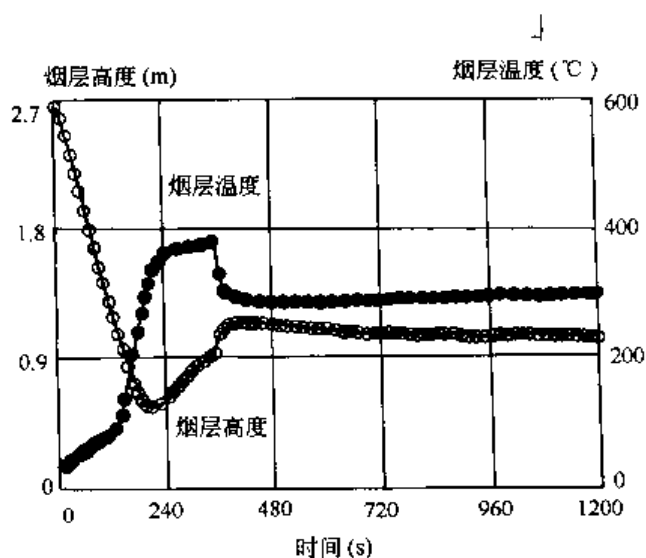


图 7-15 烟层高度、烟层温度随时间的变化  
(办公室)

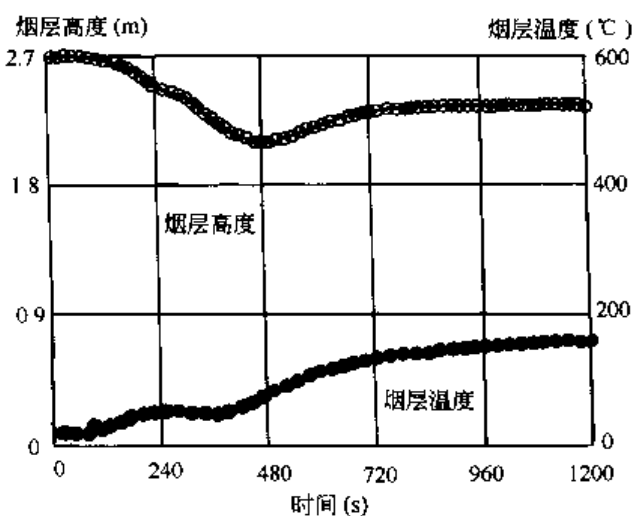


图 7-16 烟层高度、烟层温度随时间的变化  
(内部走廊)

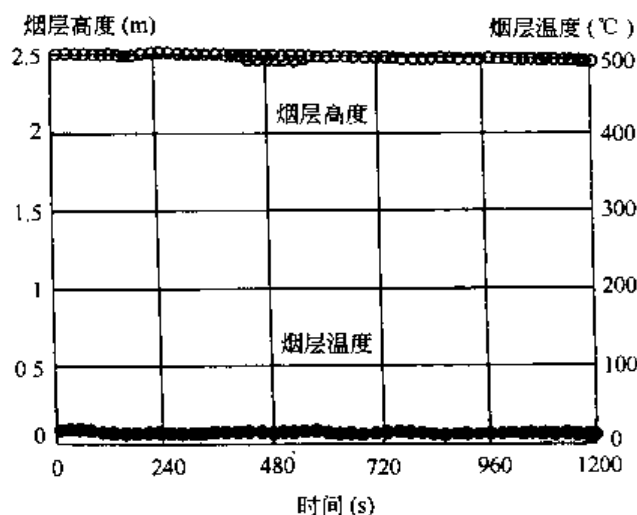


图 7-17 烟层高度、烟层温度随时间的变化  
(排烟前室)

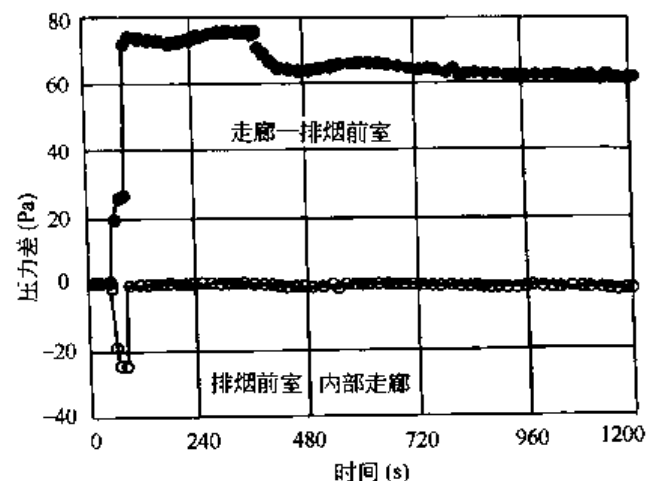


图 7-18 压力差随时间的变化  
(排烟前室 内部走廊、走廊—排烟前室)

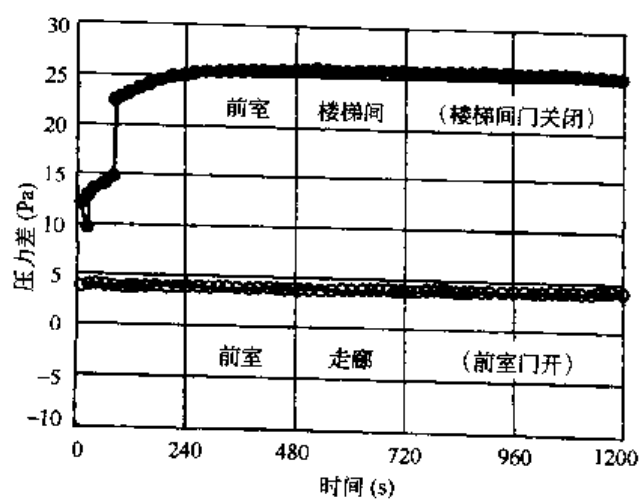


图 7-19 压力差随时间的变化  
(前室—走廊、前室—楼梯间)

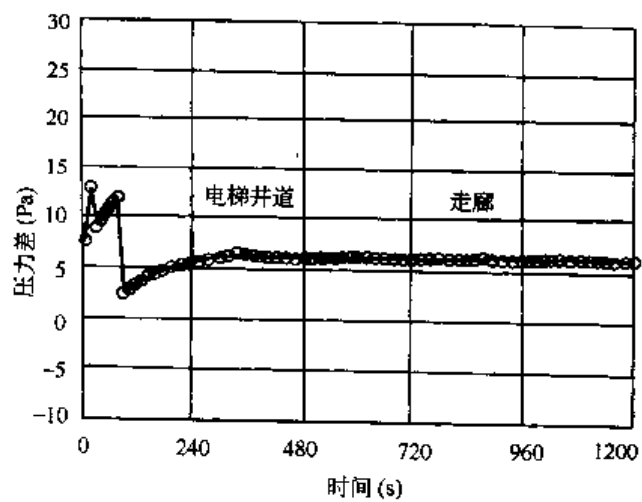


图 7-20 压力差随时间的变化  
(消防电梯—走廊)

# 附录一 《民用建筑防排烟技术规程》(DGJ 08—88—2000)

上海市工程建设规范 实施日期 2000.10.1

公安部上海消防科学研究所、上海市消防局 主编

## 1 总 则

1.0.1 为了控制建筑火灾的烟气流动,有利于人员的安全疏散和消防扑救行动的展开,防止和减少民用建筑火灾的危害,保障社会的公共安全,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建的民用建筑。工业建筑可参照本规程执行。

1.0.3 民用建筑的防烟、排烟设计与施工,应针对火灾时烟气流动的特点,采取可靠的防烟、排烟措施,做到安全适用、技术先进、经济合理。

1.0.4 防排烟系统的设计采用新技术、新系统、新设备时,应提出合理的技术依据。

1.0.5 防排烟系统的设计、计算、施工、调试及验收,除执行本规程外,尚应符合现行有关规范的要求。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

2.1.1 防排烟系统 (smoke control system): 防烟系统和排烟系统的总称。

2.1.2 防烟系统 (smoke protection system): 采用机械加压送风方式或自然通风方式,防止烟气进入疏散通道的系统。

2.1.3 排烟系统 (smoke extraction system): 采用机械排烟方式或自然通风方式,将烟气排至建筑物外,维持烟区内一定能见度的系统。

2.1.4 机械加压送风 (mechanical pressurization): 对楼梯间、前室等部位采用机械送风,使该区域形成正压区,防止烟气侵入的方式。

2.1.5 机械排烟 (mechanical smoke exhausting): 采用排烟风机,将烟气排至建筑物外,维持烟区内一定的能见度。

2.1.6 自然通风 (natural ventilation): 采用可开启外窗或百叶窗等自然的通风方式。

2.1.7 中庭 (atrium): 三层或三层以上,且短边不小于6m的大容积空间。

2.1.8 烟缕 (smoke plume): 火灾烟气卷吸四周空气所产生的混合烟气流。

2.1.9 储烟仓库 (smoke reservoir): 在建筑物顶部由垂壁、梁等形成的用于积聚烟气的空间。

2.1.10 挡烟垂壁 (smoke curtain): 用不燃烧材料或难燃材料制成的固定或活动的挡烟设施。

- 2.1.11 清晰高度 (clear height): 烟层底部至室内地平面的高度。
- 2.1.12 轴对称型烟缕 (axisymmetric plume): 远离四周墙壁的火灾所产生的烟缕。
- 2.1.13 阳台型烟缕 (balcony spill plume): 烟气上升到达建筑空间顶部、阳台或其他大的水平突出物后, 水平向突出物边沿溢出的烟缕。
- 2.1.14 窗口型烟缕 (window plume): 烟气从门和窗等墙壁开口处溢出的烟缕。
- 2.2 符号 (略)**

## 3 防 烟 设 计

### 3.1 一般规定

#### 3.1.1 下列部位应设置防烟系统:

1. 疏散楼梯间;
2. 消防电梯前室;
3. 避难层 (间)。

#### 3.1.2 公共建筑中高度超过 100m 的电梯井宜设置机械加压送风方式的防烟系统。

#### 3.1.3 下列楼梯间或前室可以不设置防烟系统:

1. 防烟楼梯间设有机械加压送风时的独立前室;
2. 利用敞开的阳台、凹廊作为防烟楼梯间的前室、合用前室, 或前室内有不同朝向可开启外窗的楼梯间;
3. 建筑高度低于 100m 的居住建筑, 前室设有符合要求可开启外窗的楼梯间; 十八层或十八层以下的居住建筑, 楼梯间设有符合要求可开启外窗的前室或前室设有符合要求可开启外窗时的楼梯间;
4. 消防电梯井设有机械加压送风的消防电梯前室;
5. 走道和前室设有机械加压送风的楼梯间。

#### 3.1.4 防烟方式可采用自然通风方式或机械加压送风方式。

#### 3.1.5 地下建筑或高度超过 50m 的公共建筑中的防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室及二者合用前室的防烟系统应采用机械加压送风方式。

#### 3.1.6 建筑高度低于 100m 的居住建筑, 其防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室及二者合用前室的防烟系统宜采用可开启外窗的自然方式, 当建筑高度超过 100m 时, 宜采用机械加压送风方式。

#### 3.1.7 高层建筑的封闭楼梯间应靠外墙, 并采用自然通风方式, 当不能采用自然通风方式时, 应采用机械加压送风方式。

#### 3.1.8 加压送风机的送风量应由保持加压部位规定正压值所需的送风量、门开启时保持门洞处规定风速所需的送风量以及采用常闭送风阀门的总漏风量三部分组成。风机的全压不宜小于 300Pa。

#### 3.1.9 采用机械加压送风的部位不宜设置可开启外窗或百叶窗。

### 3.2 自然通风方式的要求

#### 3.2.1 靠外墙的敞开楼梯间、封闭楼梯间、防烟楼梯间每五层内自然通风面积不应

小于  $2.00\text{m}^2$ ，并应保证该楼梯间顶层设有不小于  $0.80\text{m}^2$  的自然通风面积。

3.2.2 防烟楼梯间前室、消防电梯前室自然通风面积不应小于  $2.00\text{m}^2$ ，合用前室不应小于  $3.00\text{m}^2$ 。

3.2.3 避难层（间）应设有两个不同朝向的可开启外窗或百叶窗，且每个朝向的自然通风面积不应小于  $2.00\text{m}^2$ 。

### 3.3 机械加压送风方式的要求

3.3.1 机械加压送风风机可采用轴流风机或中、低压离心风机，其安装位置应符合下列要求：

1. 送风机的进风口宜直接与室外空气相连通；

2. 送风机的进风口不宜与排烟机的出风口设在同一层面。如必须设在同一层面时，送风机的进风口应不受烟气影响；

3. 送风机应设置在专用的风机房内或室外屋面上。风机房应采用耐火极限不低于  $2.5\text{h}$  隔墙和  $1.5\text{h}$  的楼板与其他部位隔开，隔墙上的门应为甲级防火门；

4. 设常开加压送风口的系统，其送风机的出风管或进风管上应加装单向风阀；当风机不设于该系统的最高处时，应设与风机联动的电动风阀。

3.3.2 加压送风口设置应符合下列要求：

1. 楼梯间宜每隔  $2\sim 3$  层设一个常开式百叶送风口；合用一个井道的剪刀楼梯应每层设一个常开式百叶送风口；

2. 前室应每层设一个常闭式加压送风口，火灾时由消防控制中心联动开启火灾层的送风口。当前室采用带启闭信号的常闭防火门时，可设常开式加压送风口；

3. 送风口的风速不宜大于  $7\text{m/s}$ ；

4. 送风口不宜设置在被门挡住的部位；

5. 只在前室设机械加压送风时，宜采用顶送风口或采用空气幕形式。

3.3.3 送风管道应采用不燃烧材料制作，当采用金属风道时，管道风速不应大于  $20\text{m/s}$ ；当采用内表面光滑的混凝土等非金属材料风道时，不应大于  $15\text{m/s}$ 。

3.3.4 当加压送风管穿越有火灾可能的区域时，风管的耐火极限应不小于  $1\text{h}$ 。

3.3.5 送风井道应采用耐火极限不小于  $1\text{h}$  的隔墙与相邻部位分隔，当墙上必须设置检修门时应采用丙级防火门。

3.3.6 当系统的余压超过最大压力差时，应设置余压调节阀或采用变速风机等措施。最大压力差应由公式 (5.1.3) 计算确定。

3.3.7 封闭楼梯间、防烟楼梯间的机械加压送风的风量应由公式 (5.1.1) 计算确定，或按表 3.3.7-1、表 3.3.7-2 规定确定；当计算值和本表不一致时，应按二者中较大值确定；前室的机械加压送风的风量应由公式 (5.1.1) 计算确定。

封闭楼梯间、防烟楼梯间（前室不送风）的加压送风量

表 3.3.7-1

| 系统负担层数（层） | 加压送风量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ） | 系统负担层数（层） | 加压送风量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ） |
|-----------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|
| $<20$     | 25000~30000                    | 20~32     | 35000~40000                    |

封闭楼梯间、防烟楼梯间（前室送风）的加压送风量

表 3.3.7-2

| 系统负担层数（层） | 送风部位  | 加压送风量（m <sup>3</sup> /h） | 系统负担层数（层） | 送风部位  | 加压送风量（m <sup>3</sup> /h） |
|-----------|-------|--------------------------|-----------|-------|--------------------------|
| <20       | 防烟楼梯间 | 16000~20000              | 20~32     | 防烟楼梯间 | 20000~25000              |

注：1. 表 3.3.7-1 与表 3.3.7-2 的风量按开启 2.00m×1.60m 的双扇门确定。

当采用单扇门时，其风量可乘以 0.75 系数；当有两个或两个以上出入口时，其风量应乘以 1.50~1.75 系数。开启门时，通过门风速不宜小于 0.7m/s。

2. 风量上下限选取应按层数、风道材料、防火门漏风量等因素综合比较确定。

3.3.8 超过 32 层或建筑高度超过 100m 的高层建筑，其送风系统和送风量应分段设计。

3.3.9 前室均设机械加压送风的剪刀楼梯间可合用一个机械加压送风风道，其风量应按两个楼梯间风量计算，送风口应分别设置。

3.3.10 封闭避难层（间）的机械加压送风量应按避难层（间）净面积每平方米不少于 30m<sup>3</sup>/h 计算。

3.3.11 电梯井的机械加压送风量可根据电梯井的缝隙量及烟囱效应大小，进行模拟计算或按每层送风量为 1350m<sup>3</sup>/h 计算。

3.3.12 机械加压送风应满足走廊—前室—楼梯间的压力呈递增分布，余压值应符合下列要求：

1. 前室、合用前室、消防电梯前室、封闭避难层（间）与走道之间的压差应为 25~30Pa；
2. 封闭楼梯间、防烟楼梯间、防烟电梯井与走道之间的压差应为 40~50Pa。

注：当走道和前室同时设有机械加压送风或前室（合用前室）设有机械加压送风而防烟楼梯间采用自然通风方式时，可不受本条限制。

## 4 排 烟 设 计

### 4.1 一般规定

4.1.1 下列部位应设排烟系统：

1. 公共建筑的中庭；
2. 高层建筑和地下建筑的办公室（局部管理用房除外）、走道；
3. 设有集中式空气调节系统旅馆的走道；
4. 商场、餐厅、公共娱乐场所等人员集中且可燃物较多的活动场所；
5. 汽车库；
6. 舞台、演播室。

4.1.2 下列部位可不设排烟系统：

1. 除旅馆外，走道的装修采用不燃材料，且室内设有符合要求的排烟设施或房门至安全出口的距离小于 20m 的走道；
2. 走道或回廊设有排烟设施，单元的建筑面积小于 100m<sup>2</sup> 的房间；
3. 当室内或走道没有符合要求的排烟设施时，无可燃物或可燃物较少且高度大于 30m 的中庭、大堂；

4. 机电用房；
5. 机械立体汽车库及建筑面积小于  $2000\text{m}^2$  的单层汽车库；
6. 烟缕充满储烟仓的时间超过  $10\text{min}$  的一般场所。

4.1.3 排烟系统可采用自然通风方式或机械排烟方式，多层建筑宜采用自然通风方式。

4.1.4 无回廊的中庭，其建筑的使用层面宜设机械排烟系统；有回廊的中庭，其建筑的使用楼层无排烟系统时，其回廊宜设机械排烟系统；中庭与回廊或室内部位之间宜设挡烟垂壁或卷帘。

4.1.5 敞开楼梯和自动扶梯穿越楼板的口部，应设挡烟垂壁或卷帘。

4.1.6 防烟分区不宜大于  $2000\text{m}^2$ ，长边不应大于  $60\text{m}$ 。当防烟分区面积超过  $2000\text{m}^2$  或长边大于  $60\text{m}$  时，应采用挡烟垂壁、隔墙或梁划分防烟分区，其下垂高度应由计算确定，且应满足疏散所需的清晰高度。最小的清晰高度应由公式 5.2.1 计算确定。

4.1.7 当烟缕的质量流量大于  $150\text{kg/s}$ ，或储烟仓的烟层温度与周围空气温差小于  $15^\circ\text{C}$  时，应重新调整排烟措施。

4.1.8 设有排烟系统的部位宜设自动喷水灭火系统，并应设补风系统。补风系统可采用机械送风方式或自然进风方式。

4.1.9 室内或走道的任一点至最近排烟管道的排烟口或可开启外窗、百叶窗的水平距离不应大于  $30\text{m}$ 。

## 4.2 火灾模型的确定和排烟量

4.2.1 各类场所的火灾模型可由公式 (5.2.2) 计算或按表 4.2.1 确定。当喷淋设置高度大于  $10\text{m}$  时，应按无喷淋场所对待。

热 释 放 量 表

表 4.2.1

|             | 热释放量 $Q$ (MW) |            | 热释放量 $Q$ (MW) |
|-------------|---------------|------------|---------------|
| 设有喷淋的商场     | 5             | 无喷淋的办公室、客房 | 6             |
| 设有喷淋的办公室、客房 | 1.5           | 无喷淋的汽车库    | 3             |
| 设有喷淋的公共场所   | 2.5           | 无喷淋的中庭     | 4             |
| 设有喷淋的汽车库    | 1.5           | 无喷淋的公共场所   | 8             |
| 设有喷淋的超市、仓库  | 4             | 无喷淋的超市、仓库  | 20            |
| 设有喷淋的中庭     | 1             |            |               |

注：设有快速响应喷头的场所可按本表减小 40%。

4.2.2 排烟风量应由公式 (5.2.5) 计算确定，但下列场所应按以下规定确定：

1. 设有喷淋的客房，其走道或回廊的机械排烟量不应小于  $9000\text{m}^3/\text{h}$ ；具备自然通风条件的走道，当走道两侧自然通风面积均不小于  $1.2\text{m}^2$  时可不设置机械排烟系统；

2. 无喷淋的客房，或单元的建筑面积小于  $100\text{m}^2$  且设有喷淋的房间，其走道或回廊的机械排烟量不应小于  $13000\text{m}^3/\text{h}$ ；当走道两侧自然通风面积均不小于  $2\text{m}^2$  时可不设置机械排烟系统；

3. 隔间面积小于  $500\text{m}^2$  的房间，其排烟量可按  $60\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  计算，或设置不小于

室内面积 2%的可开启外窗；

4. 设有喷淋的大空间办公室、汽车库，其排烟量可按 6 次/h 换气计算且应不小于  $30000\text{m}^3/\text{h}$ ，或设置不小于室内面积 2%的可开启外窗或百叶窗。

#### 4.3 自然通风方式的要求

4.3.1 可开启外窗或百叶窗应设置在排烟区域的顶部或外墙，当设置在外墙上时，其设置高度不应低于储烟仓的下沿或室内高度的  $1/2$ ，并应沿火灾气流方向开启。

4.3.2 可开启外窗的面积应由公式 (5.2.6) 计算确定并符合下面要求：

1. 当开窗角大于  $70^\circ$  时，其面积可按其窗面积计算；
2. 当开窗角小于  $70^\circ$  时，其面积应按其水平投影面积计算；
3. 当采用侧拉窗时，其面积应按开启的最大窗口面积计算。

4.3.3 中庭及建筑面积大于  $500\text{m}^2$  且两层以上的商场、公共娱乐场所宜设置与火灾报警系统联动的自动排烟窗；当设置手动排烟窗时，应设有方便开启的装置。

#### 4.4 机械排烟方式的要求

4.4.1 排烟风机应采用离心式或轴流排烟风机（满足  $280^\circ\text{C}$  时连续工作 30min 的要求），排烟风机入口处应设置能自动关闭的排烟防火阀，并连锁关闭排烟风机。

4.4.2 排烟风机宜设在建筑物的顶部，烟气出口宜朝上，并应高于加压送风机的进风口，两者垂直距离不应小于 3m 或水平距离不应小于 10m。当系统中任一排烟口或排烟阀开启时，排烟风机应能自行启动。

4.4.3 排烟管道必须采用不燃材料制作，管道内风速，当采用金属管道时不宜大于  $20\text{m/s}$ ；当采用内表面光滑的混凝土等非金属材料管道时，不宜大于  $15\text{m/s}$ 。

4.4.4 当吊顶内有可燃物时，吊顶内的排烟管道应采用不燃烧材料进行隔热，并应与可燃物保持不小于 150mm 的距离。

4.4.5 排烟系统与通风、空气调节系统宜分开设置。当合用时，应符合下列条件：

1. 系统的风口、风道、风机等应满足排烟系统的要求；
2. 当火灾被确认后，应能开启排烟区域的排烟口和排烟风机，并在 15s 内自动关闭与排烟无关的通风、空调系统。

4.4.6 排烟井道应采用耐火极限不小于 1h 的隔墙与相邻区域分隔；当墙上必须设置检修门时，应采用丙级防火门；水平排烟管道穿越防火墙时，应设排烟防火阀；当穿越两个及两个以上防火分区或排烟管道在走道的吊顶内时，其管道的耐火极限不应小于 1h；排烟管道不应穿越前室或楼梯间，如确有困难必须穿越时，其耐火极限不应小于 2h。

4.4.7 排烟口的设置应符合下列要求：

1. 排烟口应设在储烟仓内；
2. 排烟口应常闭，火灾时由火灾自动报警装置联动开启排烟区域的排烟口，且在现场设置手动开启装置；
3. 排烟口的设置宜使烟流方向与人员疏散方向相反，排烟口与安全出口的距离不应小于 1.5m（尽量远离安全出口）；
4. 排烟口的风速不宜大于  $10\text{m/s}$ 。

#### 4.5 排烟区域排烟时所需的补风要求

4.5.1 补风量不应小于排烟量的 50%，空气应直接从室外引入，且送风口或空气入

口应设在储烟仓以下。

4.5.2 送风口的风速不宜大于 10m/s, 公共聚集场所不宜大于 5m/s。

4.5.3 设有机械排烟的走道或小于 500m<sup>2</sup> 的房间, 可不设补风系统。

4.5.4 排烟区域所需的补风系统应与排烟系统联动开启, 送风口位置宜设在同一空间内相邻的防烟分区且远离排烟口, 两者距离不应小于 5m。

## 5 防排烟系统设计计算

### 5.1 防烟系统设计计算

5.1.1 前室或楼梯间的机械加压送风量应按以下公式计算

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5.1.1-1)$$

式中  $L$ ——加压送风系统的总送风量, m<sup>3</sup>/s。

$$L_1 = 0.827A\Delta P^{1/n} \times 1.25 \times N_1 \quad (5.1.1-2)$$

式中  $L_1$ ——保持加压部位一定的正压值所需的送风量, m<sup>3</sup>/s;

$A$ ——每层电梯门及疏散门的总有效漏风面积, m<sup>2</sup>;

门缝宽度: 疏散门, 0.002~0.004m; 电梯门, 0.005~0.006m;

$\Delta P$ ——压力差, Pa; 楼梯间取 40~50Pa, 前室取 25~30Pa;

$n$ ——指数, 一般取 2;

1.25——不严密处附加系数;

$N_1$ ——漏风门的数量; 当采用常开风口时: 取楼层数; 当采用常闭风口时: 取 1。

$$L_2 = FvN_2 \quad (5.1.1-3)$$

式中  $L_2$ ——开启着火层疏散门时为保持门洞处风速所需的送风量, m<sup>3</sup>/s;

$F$ ——每层开启门的总断面积, m<sup>2</sup>;

$v$ ——门洞断面风速, m/s, 取 0.7~1.2m/s;

$N_2$ ——开启门的数量;

当采用常开风口时: 20 层及以下取 2; 20 层以上取 3; 当采用常闭风口时: 取 1。

$$L_3 = 0.083A_F N_3 \quad (5.1.1-4)$$

式中  $L_3$ ——送风阀门的总漏风量, m<sup>3</sup>/s;

$A_F$ ——每层送风阀门的总面积, m<sup>2</sup>;

0.083——阀门单位面积的漏风量, m<sup>3</sup>/s·m<sup>2</sup>;

$N_3$ ——漏风阀门的数量; 当采用常开风口时: 取 0; 当采用常闭风口时: 取楼层数。

5.1.2 电梯井的机械加压送风量应按以下公式计算

$$\text{当有前室时} \quad L = F_4 \times 0.0014(A_3 + a_4) \quad (5.1.2-1)$$

$$\text{当无前室时} \quad L = F_4(0.0023d_4 + 0.0014a_4) \quad (5.1.2-2)$$

式中  $d_4$ ——开向电梯井的门的总数, 当每扇门的周长 ( $c$ ) 大于 6m 时应乘以  $c/6$  的调整系数;

$a_4$ ——电梯井围护墙的面积, m<sup>2</sup>;

$A_3$ ——电梯井前室的侧墙面积之和, m<sup>2</sup>;

$F_4$ ——电梯井机械加压送风量系数, 由图 5.1.2 查出, 图中横坐标为电梯井高度。

5.1.3 机械加压送风系统最大压力差应按以下公式计算

$$\Delta P = 2(F' - F_{dc})(W_1 - d)/(W_1 A_1) \quad (5.1.3)$$

式中  $A_1$ ——门的面积,  $m^2$ ;

$d$ ——门的把手到门闩的距离,  $m$ ;

$F'$ ——门的总推力,  $N$ , 一般取  $110N$ ;

$F_{dc}$ ——门把手处克服闭门器所需的力,  $N$ ;

$W_1$ ——门的宽度,  $m$ 。

## 5.2 排烟系统设计计算

5.2.1 最小的清晰高度应按以下公式计算:

$$H_q = 1.6 + 0.1H \quad (5.2.1)$$

式中  $H_q$ ——最小清晰高度,  $m$ ;

$H$ ——排烟空间的建筑高度,  $m$ 。

5.2.2 火灾热释放量应按以下公式计算:

$$Q = at^2 \quad (5.2.2)$$

式中  $Q$ ——火灾热释放量,  $kW$ ;

$t$ ——排烟系统启动时间, 一般取  $300s$ ;

$a$ ——火灾增长系数 (按表 5.2.2 取值)。

5.2.3 烟缕质量流量应按以下公式计算:

1. 轴对称型烟缕

$$\text{当 } Z > Z_1 M_p = 0.071 Q_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0018 Q_c \quad (5.2.3-1)$$

$$Z = Z_1 M_p = 0.035 Q_c \quad (5.2.3-2)$$

$$Z < Z_1 M_p = 0.032 Q_c^{1/5} Z \quad (5.2.3-3)$$

$$Z_1 = 0.166 Q_c^{2/5} \quad (5.2.3-4)$$

式中  $Q_c$ ——热释放量的对流部分, 一般取值为  $0.7Q$ ,  $kW$ ;

$Z$ ——燃料面到烟层底部的高度,  $m$ ;

$Z_1$ ——火焰极限高度,  $m$ ;

$M_p$ ——烟缕质量流量,  $kg/s$ 。

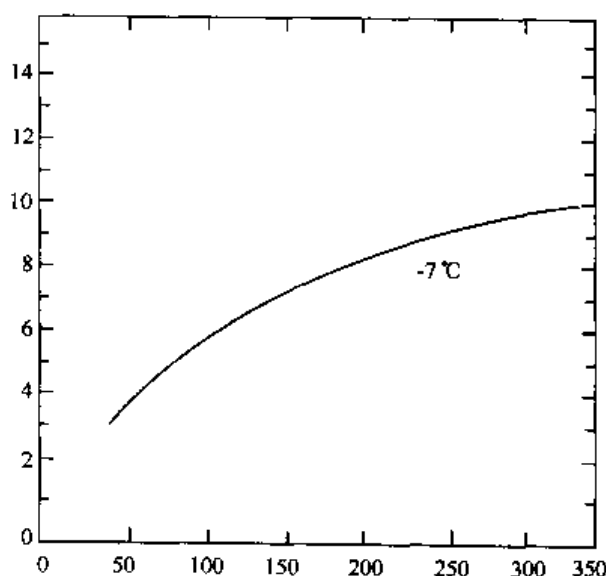


图 5.1.2 电梯井机械加压送风量系数

注: 双开门按两扇门处理, 如门有密封装置时按  $1/2$  扇门计算

火灾增长系数

表 5.2.2

| 火情 | 典型材料            | 火灾增长系数 |
|----|-----------------|--------|
| 慢  |                 | 0.0029 |
| 中等 | 棉花/聚酯海绵         | 0.012  |
| 快  | 满装邮袋/泡沫塑料/叠起的木箱 | 0.047  |
| 特快 | 含甲醇酒精的火/速燃的软包家具 | 0.188  |

## 2. 阳台型烟缕

$$M_p = 0.41(QW^2)^{1/3}(Z_B + 0.3H)[1 + 0.063(Z_B + 0.6H_1)/W]^{2/3} \quad (5.2.3-5)$$

式中  $H_1$ ——燃料至阳台的高度, m;

$Z_B$ ——阳台之上的高度, m;

$W$ ——烟缕扩散宽度, m,  $W=w+b$ ;

$W$ ——火源区域的开口宽度, m;

$b$ ——从开口至阳台边沿的距离, m。

当  $Z_B \geq 13W$ , 阳台型烟缕的质量流量可使用公式 (5.2.3-1)。

## 3. 窗口型烟缕

$$M_p = 0.68(A_w H_w^{1/2})^{1/3}(Z_w + \alpha_w)^{5/3} + 1.5A_w H_w \quad (5.2.3-6)$$

$$\alpha_w = 2.4A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1H_w \quad (5.2.3-7)$$

式中  $A_w$ ——窗口开口的面积,  $m^2$ ;

$H_w$ ——窗口开口的高度, m;

$Z_w$ ——开口的顶部到烟层的高度, m;

$\alpha_w$ ——窗口烟缕型的修正系数。

5.2.4 烟气层温度应按以下公式计算或查表 5.2.4:

$$\Delta T = Q_c / (M_p C_p)$$

式中  $\Delta T$ ——烟气平均温度与环境温度的差,  $^{\circ}C$ ;

$C_p$ ——空气的定压比热, 一般取  $1.02 kJ / (kg \cdot K)$ 。

火灾烟气速查表

表 5.2.4

| Q=1MW 火灾烟气      |                               |                    | Q=1.5MW 火灾烟气    |                               |                    | Q=2.5MW 火灾烟气    |                               |                    |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|
| $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}C$ ) | $V$<br>( $m^3/s$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}C$ ) | $V$<br>( $m^3/s$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}C$ ) | $V$<br>( $m^3/s$ ) |
| 4               | 175                           | 5.32               | 4               | 263                           | 6.32               | 6               | 292                           | 9.98               |
| 6               | 117                           | 6.98               | 6               | 175                           | 7.99               | 10              | 175                           | 13.31              |
| 8               | 88                            | 6.66               | 10              | 105                           | 11.32              | 15              | 117                           | 17.49              |
| 10              | 70                            | 10.31              | 15              | 70                            | 15.48              | 20              | 88                            | 21.68              |
| 12              | 58                            | 11.96              | 20              | 53                            | 19.68              | 25              | 70                            | 25.8               |
| 15              | 47                            | 14.51              | 25              | 42                            | 24.53              | 30              | 58                            | 29.94              |
| 20              | 35                            | 18.64              | 30              | 35                            | 27.96              | 35              | 50                            | 34.16              |
| 25              | 28                            | 22.8               | 35              | 30                            | 32.16              | 40              | 44                            | 38.32              |
| 30              | 23                            | 26.9               | 40              | 26                            | 36.28              | 50              | 35                            | 46.6               |
| 35              | 20                            | 31.15              | 50              | 21                            | 44.65              | 60              | 29                            | 54.96              |
| 40              | 18                            | 35.32              | 60              | 18                            | 53.1               | 75              | 23                            | 67.43              |
| 50              | 14                            | 43.6               | 75              | 14                            | 65.48              | 100             | 18                            | 88.5               |
| 60              | 12                            | 52                 | 100             | 10.5                          | 86.0               | 120             | 15                            | 105.1              |

续表

| Q=3MW 火灾烟气      |                                      |                                  | Q=4MW 火灾烟气      |                                      |                                  | Q=5MW 火灾烟气      |                                      |                                  |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
| 8               | 263                                  | 12.64                            | 8               | 350                                  | 14.64                            | 9               | 525                                  | 21.5                             |
| 10              | 210                                  | 14.3                             | 10              | 280                                  | 16.3                             | 12              | 417                                  | 24                               |
| 15              | 140                                  | 18.45                            | 15              | 187                                  | 20.48                            | 15              | 333                                  | 26                               |
| 20              | 105                                  | 22.64                            | 20              | 140                                  | 24.64                            | 18              | 278                                  | 29                               |
| 25              | 84                                   | 26.8                             | 25              | 112                                  | 28.8                             | 24              | 208                                  | 34                               |
| 30              | 70                                   | 30.96                            | 30              | 93                                   | 32.94                            | 30              | 167                                  | 39                               |
| 35              | 60                                   | 35.14                            | 35              | 80                                   | 37.14                            | 36              | 139                                  | 43                               |
| 40              | 53                                   | 39.32                            | 40              | 70                                   | 41.28                            | 50              | 100                                  | 55                               |
| 50              | 42                                   | 49.05                            | 50              | 56                                   | 49.65                            | 65              | 77                                   | 67                               |
| 60              | 35                                   | 55.92                            | 60              | 47                                   | 58.02                            | 80              | 63                                   | 79                               |
| 75              | 28                                   | 68.48                            | 75              | 37                                   | 70.35                            | 95              | 53                                   | 91.5                             |
| 100             | 21                                   | 89.3                             | 100             | 28                                   | 91.3                             | 110             | 45                                   | 103.5                            |
| 120             | 18                                   | 106.2                            | 120             | 23                                   | 107.88                           | 130             | 38                                   | 120                              |
| 140             | 15                                   | 122.6                            | 140             | 20                                   | 124.6                            | 150             | 33                                   | 136                              |
| Q=6MW 火灾烟气      |                                      |                                  | Q=8MW 火灾烟气      |                                      |                                  | Q=20MW 火灾烟气     |                                      |                                  |
| $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | $M_p$<br>(kg/s) | $\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $V$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
| 8               | 263                                  | 12.64                            | 8               | 350                                  | 14.64                            | 9               | 525                                  | 21.5                             |
| 10              | 210                                  | 14.3                             | 10              | 280                                  | 16.3                             | 12              | 417                                  | 24                               |
| 15              | 140                                  | 18.45                            | 15              | 187                                  | 20.48                            | 15              | 333                                  | 26                               |
| 20              | 105                                  | 22.64                            | 20              | 140                                  | 24.64                            | 18              | 278                                  | 29                               |
| 25              | 84                                   | 26.8                             | 25              | 112                                  | 28.8                             | 24              | 208                                  | 34                               |
| 30              | 70                                   | 30.96                            | 30              | 93                                   | 32.94                            | 30              | 167                                  | 39                               |
| 35              | 60                                   | 35.14                            | 35              | 80                                   | 37.14                            | 36              | 139                                  | 43                               |
| 40              | 53                                   | 39.32                            | 40              | 70                                   | 41.28                            | 50              | 100                                  | 55                               |
| 50              | 42                                   | 49.05                            | 50              | 56                                   | 49.65                            | 65              | 77                                   | 67                               |
| 60              | 35                                   | 55.92                            | 60              | 47                                   | 58.02                            | 80              | 63                                   | 79                               |
| 75              | 28                                   | 68.48                            | 75              | 37                                   | 70.35                            | 95              | 53                                   | 91.5                             |
| 100             | 21                                   | 89.3                             | 100             | 28                                   | 91.3                             | 110             | 45                                   | 103.5                            |
| 120             | 18                                   | 106.2                            | 120             | 23                                   | 107.88                           | 130             | 38                                   | 120                              |
| 140             | 15                                   | 122.6                            | 140             | 20                                   | 124.6                            | 150             | 33                                   | 136                              |

5.2.5 排烟量应按以下公式计算或查表 5.2.3

$$V = \frac{M_p T}{\rho_0 T_0} \quad (5.2.5)$$

式中  $V$ ——排烟量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\rho_0$ ——环境温度下气体的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 通常  $t_0=20^\circ\text{C}$ ,  $\rho_0=1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$T_0$ ——环境的绝对温度, K;

$T$ ——烟气的绝对温度, K,  $T=T_0+\Delta T_0$ 。

5.2.6 采用自然排烟方式所需通风面积的计算

$$A_v C_v = \frac{M_p}{\rho_0} \left[ \frac{T_2 + \left[ \frac{A_v C_v}{A_0 C_0} \right] T T_0}{2g d_b \Delta T T_0} \right]^{1/2} \quad (5.2.6)$$

式中  $A_v$ ——排烟口的截面积,  $\text{m}^2$ ;

$A_0$ ——所有进气口的总面积,  $\text{m}^2$ ;

$C_v$ ——排烟口流量系数, 通常选定在 0.5~0.7 之间;

$C_0$ ——进气口的流量系数, 通常约为 0.6;

$\rho_0$ ——环境温度下气体的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$g$ ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;

$d_b$ ——排烟窗下烟气的厚度, m;

$T$ ——烟气的绝对温度, K,  $T=\Delta T+T_0$ ;

$T_0$ ——环境的绝对温度, K。

注: 公式中  $A_v C_v$  在计算时应采用试算法。

## 6 防排烟系统施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 防排烟系统必须按批准的设计图纸施工, 修改设计应有设计单位的变更通知或认可。

6.1.2 防排烟系统所使用的主要材料、设备等产品应具有出厂检验合格证和由国家质量监督检验中心出具的检验报告。

6.1.3 防排烟系统施工、调试除应符合本规程外, 尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

6.1.4 防排烟系统的设备安装, 应符合其产品说明书的有关要求。

### 6.2 送风、排烟管道施工

6.2.1 送风、排烟管道可采用镀锌钢板等金属材料, 或采用混凝土砌块等非金属材料制成。

6.2.2 金属送风、排烟管道的制作和安装应符合下列要求:

1. 金属送风、排烟管道的最小壁厚应按表 6.2.2-1 选用。
2. 风管法兰材料规格应按表 6.2.2-2、表 6.2.2-3 选用。

金属送风、排烟管道的最小壁厚 (mm)

表 6.2.2-1

| 类别<br>风管直径或长边尺寸 | 圆形风管 | 矩形风管 |      |
|-----------------|------|------|------|
|                 |      | 送风系统 | 排烟系统 |
| 80~320          | 0.5  | 0.5  | 0.8  |
| 340~450         | 0.6  | 0.6  | 0.8  |
| 480~630         | 0.8  | 0.6  | 0.8  |
| 670~1000        | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| 1120~1250       | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 1320~2000       | 1.2  | 1.0  | 1.2  |
| 2500~4000       | 1.2  | 1.2  | 1.2  |

圆形风管法兰

表 6.2.2-2

| 风管直径 (mm) | 法兰材料规格 |      |
|-----------|--------|------|
|           | 扁 钢    | 角 钢  |
| ≤140      | 20×4   | —    |
| 150~280   | 25×4   | —    |
| 300~500   | —      | 25×3 |
| 530~1250  | —      | 30×4 |
| 1320~2000 | —      | 40×4 |

矩形风管法兰

表 6.2.2-3

| 风管长边尺寸 (mm) | 法兰用料规格 (角钢) | 风管长边尺寸 (mm) | 法兰用料规格 (角钢) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ≤630        | 25×3        | 1320~2500   | 40×4        |
| 670~1250    | 30×4        | 3000~4000   | 50×5        |

3. 风管支、吊架的间距,应符合下列要求:

1) 风管水平安装,其直径或长边尺寸小于 400mm 时,间距不应大于 4m;大于或等于 400mm 时,不应大于 3m;

2) 风管垂直安装,间距不应大于 4m,但每根立管的固定件不应少于 2 个。

4. 机械防排烟系统的矩形风道的接缝应采用咬口形式,接缝处须保持密封;金属送风、排烟管道的单位面积允许漏风量应符合《通风与空调工程施工及验收规范》(GB 50243—97) 中表 3.1.14 规定。送风管道的工作压力小于等于 500Pa 时,漏风量按低压系统的规定;大于 500Pa 时,按中压系统的规定。排烟管道均按中压系统的规定。

5. 管道的连接采用法兰连接。

6. 管道与风机的连接,宜采用法兰连接,或采用不燃烧材料的柔性连接。

7. 管道穿越隔墙时,管道与隔墙之间的空隙,应采用水泥砂浆等非燃烧材料严密堵塞。

8. 排烟管道的隔热层应采用厚度不小于 40mm 的不燃绝热材料进行隔热(如矿棉、

岩棉、硅酸铝等)。

6.2.3 非金属管道的制作要求应符合下列要求:

1. 当采用混凝土或砖砌块等非金属材料风道时应保证管道的气密性,灰缝必须饱满。
2. 管道的内表面采用砖砌或混凝土时应用水泥砂浆抹平;采用玻璃钢等其他材料时,内壁要求平整。

### 6.3 送风机、排烟风机的安装

6.3.1 送风机、排烟风机应设在混凝土或钢架基础上,但不设减振装置。

6.3.2 若排烟系统必须与空调系统共用,需要设置减振装置时,不应使用橡胶减振装置。

6.3.3 送风机、排烟风机外壳至墙壁或其他设备的距离不应小于 600mm。

6.3.4 排烟风机宜设在该系统最高排烟口之上。机房围护结构的耐火极限应不小于 2.5h,机房的门应采用乙级防火门。

### 6.4 送风机、排烟风机与管道的连接

6.4.1 送风机、排烟风机与管道的连接方式应恰当,以减少风量的损失。

6.4.2 送风机与管道连接时,在管道转弯处宜加装导流叶片,保证气流顺畅。

### 6.5 送风口、排烟口的安装

6.5.1 送风口、排烟口应可靠地固定在设计位置上。

6.5.2 送风口(阀)与排烟口(阀)的机械传动部件应不脱落、不松弛、运行可靠。

6.5.3 消防控制中心给出的动作信号或现场手动操作,必须能使送风口、排烟口可靠的动作。

6.5.4 走道排烟阀及前室常闭送风阀手控缆绳安装,其长度应不大于 6m,90°弯曲应不多于 3 个,半径不小于 300mm;预埋管不应有死弯及瘪陷。

6.5.5 风口与风管的连接应严密、牢固,边框与建筑装饰面贴实,外表面应平整。

## 7 防排烟系统试运转及调试

### 7.1 一般规定

7.1.1 防排烟系统在安装完毕投入使用前,必须进行系统的测定和调试。

7.1.2 防排烟系统的测定和调试应包括下列项目:

1. 设备单机试运转及调试;
2. 系统联动试运转及调试。

### 7.2 设备单机试运转及调试

7.2.1 逐个进行前室常闭送风口的手动开启、手动复位试验。执行机构动作应灵敏,脱扣钢丝的连接应不松弛,不脱落。

7.2.2 手动开动送风机(排烟风机),风机应正常运转 30min,无异常声响。

7.2.3 送风机(排烟风机)入口处风量应与铭牌值相符。

7.2.4 逐个检查送风口(排烟口)与风道连接处,不应有风量泄漏。

7.2.5 逐个检查送风口(排烟口),应牢固安装在指定位置上。

7.2.6 在低、中、高区各选一层面为模拟火灾层,开启送风机和该层的送风口,测

试该层送风口处的风速应达到设计要求。设置常开送风口的楼梯间或前室直接开启送风机。

7.2.7 在低、中、高区各选一层面为模拟火灾层,测试该层排烟口处的风速应达到设计要求。

7.2.8 调试记录按表 7.2.8 规定执行。

调 试 记 录

表 7.2.8

| 序号       | 系统<br>编号 | 设备<br>名称 | 设置<br>位置 | 风量 (m³/h) |     | 功率 (kW) |     | 速度 (r/min) |     | 电流 (A) |     | 生产厂家 |
|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|---------|-----|------------|-----|--------|-----|------|
|          |          |          |          | 额定值       | 实际值 | 额定值     | 实际值 | 额定值        | 实际值 | 额定值    | 实际值 |      |
|          |          |          |          |           |     |         |     |            |     |        |     |      |
|          |          |          |          |           |     |         |     |            |     |        |     |      |
|          |          |          |          |           |     |         |     |            |     |        |     |      |
|          |          |          |          |           |     |         |     |            |     |        |     |      |
| 调试<br>结果 |          |          |          |           |     |         |     |            |     |        |     |      |

设计单位: (公章)  
代表: 年 月 日

调试人员:  
施工单位: (公章)  
代表: 年 月 日

### 7.3 系统联动试运转及调试

7.3.1 进行前室的常闭送风口与送风机的联动试验,当任何一个送风口开启时,送风机均能自动启动。

7.3.2 与火灾报警系统联动调试:当前室设置常闭送风口时,接受联动指令后,应能开启该层的送风口;当前室或楼梯间为常开送风口时,接受联动指令后,应能直接启动送风机。

7.3.3 进行排烟口与排烟风机的联动试验:任何一个排烟口开启时,排烟风机均能自动启动。

7.3.4 与火灾报警系统联动调试:排烟口平时应保持关闭状态,当接受联动指令时,应能开启火灾层的排烟口。

## 8 防排烟系统的验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 系统竣工后,建设单位应向公安消防机构提出工程消防验收申请。

8.1.2 申请验收时,建设单位应提交下列技术文件:

1. 建筑消防设施检测单位出具的技术测试报告;
2. 系统竣工图;
3. 设计变更文字记录;
4. 开通调试记录;
5. 送风机、排烟风机、送风口、排烟口、排烟防火阀等产品合格证和由国家质量监

督验中心出具的检验报告；

6. 管理、维护人员登记表。

## **8.2 防排烟系统设备外观验收**

8.2.1 送风机、排烟风机的安装情况应符合本规程第 6.3 节的要求；

8.2.2 送风机、排烟风机与管道的连接情况应符合本规程第 6.4 节的要求；

8.2.3 送风口、排烟口的安装情况应符合本规程第 6.5 节的要求。

## **8.3 防排烟系统设备功能验收**

### **8.3.1 设备手动功能验收**

1. 送风机、排烟风机应能正常手动开启和关闭；

2. 前室送风口、排烟口应按实际数量的 10%~20% 进行手动开启和复位功能检查。

### **8.3.2 设备联动功能验收**

任一楼层的探测器或手动按钮报警，送风机开启、（火灾层）送风口开启、排烟风机开启、（火灾层）排烟口开启。

## **8.4 防排烟系统技术性能验收**

### **8.4.1 具有可开启外窗的防排烟系统验收**

1. 具有可开启外窗的防烟系统验收

1) 靠外墙的封闭楼梯间、防烟楼梯间，每五层内可开启外窗的面积应符合本规程第 3.2.1 条的要求；

2) 防烟楼梯间前室、消防电梯前室、合用前室的可开启外窗面积应符合本规程第 3.2.2 条的要求；

3) 避难层（间）可开启外窗或百叶窗的设置和面积应符合本规程第 3.2.3 条的要求。

2. 具有可开启外窗的排烟系统验收

1) 设有喷淋的客房，其走道两侧可开启外窗的面积均应符合本规程第 4.2.1 条 1 款的要求；

2) 无喷淋的客房，其走道两侧可开启外窗面积均应符合本规程第 4.2.2 条 2 款的要求；

3) 隔间面积小于 500m<sup>2</sup> 的房间，其可开启外窗的面积均应符合本规程第 4.2.2 条 3 款的要求；

4) 设有喷淋的大空间办公室、汽车库，其可开启外窗的面积均应符合本规程第 4.2.2 条 4 款的要求；

5) 中庭及建筑面积大于 500m<sup>2</sup> 且两层以上的商场、公共娱乐场所的可开启外窗应符合本规程第 4.3.3 条的要求。

### **8.4.2 机械防烟系统的技术性能验收**

1. 任取一模拟火灾层，当系统全闭时，测试前室、楼梯间、避难层的风压。走廊→前室→楼梯的压力应呈递增分布；前室、合用前室、消防电梯前室、封闭避难层（间）的压力差应符合本规程第 3.3.12 条 1 款的要求；防烟楼梯间的压力差应符合本规程第 3.3.12 条 2 款的要求。

2. 同时打开模拟火灾层及其上下一层的防火门，测试火灾层各门洞处的风速应大于等于 0.7m/s。

3. 进行模拟喷烟试验, 烟气流向应为楼梯、前室、走廊。

#### 8.4.3 机械排烟系统的技术性能验收

1. 设有喷淋的客房, 其走道或回廊的排烟量应符合本规程第 4.2.2 条 1 款的要求;
2. 无喷淋的客房或面积小于  $100\text{m}^2$  且设有喷淋的房间, 其走道或回廊的排烟量应符合本规程第 4.2.2 条 2 款的要求;
3. 隔间面积小于  $500\text{m}^2$  的房间, 其室内排烟量应符合本规程第 4.2.2 条 3 款的要求;
4. 设有喷淋的大空间办公室、汽车库, 其室内排烟量应符合本规程第 4.2.2 条 4 款的要求;
5. 其余场所的排烟量应按设计指标进行验收。

#### 附录 A 防排烟系统验收内容表

验收工程名称:

| 序号 | 验收项目                                               | 验收结果 | 备注 |
|----|----------------------------------------------------|------|----|
| 1  | 技术文件完整情况                                           |      |    |
| 2  | 送风机的安装情况                                           |      |    |
| 3  | 送风机与管道连接情况                                         |      |    |
| 4  | 送风口的安装情况                                           |      |    |
| 5  | 排烟风机的安装情况                                          |      |    |
| 6  | 排烟风机与管道连接情况                                        |      |    |
| 7  | 排烟口的安装情况                                           |      |    |
| 8  | 送风机手动开启和关闭情况                                       |      |    |
| 9  | 送风口手动开启和复位功能情况                                     |      |    |
| 10 | 报警联动时送风机、送风口的动作情况                                  |      |    |
| 11 | 排烟风机手动开启和关闭情况                                      |      |    |
| 12 | 排烟口手动开启和复位功能情况                                     |      |    |
| 13 | 报警联动时排烟风机、排烟口的动作情况                                 |      |    |
| 14 | 靠外窗的封闭楼梯间、防烟楼梯间、前室的开启外窗面积的要求                       |      |    |
| 15 | 避难层(间)开启外窗或百叶窗的设置和面积要求                             |      |    |
| 16 | 走道开启外窗的要求                                          |      |    |
| 17 | 具有与火灾报警系统联动的开启外窗的动作情况                              |      |    |
| 18 | 防烟分区小于 $500\text{m}^2$ 的房间、设有喷淋的大空间办公室、汽车库的开启外窗的要求 |      |    |
| 19 | 机械防烟系统的压力值、各门洞处风速值及烟气流向情况                          |      |    |
| 20 | 机械排烟系统的排烟量结果                                       |      |    |

整改意见:

验收人员:

年 月 日

## **附录 B 本规程用词说明**

**B.0.1 对条文执行严格程度的用词，采用以下写法：**

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**B.0.2 条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定的写法为“应按……执行”或“符合……要求”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行的写法为“参照……”。**

## 附录二 风管防火阀的设置

通风、空调系统的送、回风管道上设置防火阀应严格遵守防火规范的有关规定，在必要位置设置防火阀（见 2.7 节）。防火阀安装时应顺气流方向设置。防火阀应紧靠防火墙设置，如图 B-1 所示。防火阀不能紧靠防火墙时，防火阀与防火墙之间的风管应加厚，一般用 1.5mm 以上的钢板，如图 B-2 所示。防火墙后有分支风管时，防火阀的安装如图 B-3 (a) 所示；防火墙上有梁，空间太小时，防火阀的安装如图 B-3 (b) 所示；风管穿过防火墙拐角处时，防火阀的安装如图 B-3 (c) 所示；风管绕梁时防火阀的安装如图 B-3 (d) 所示；防火阀装在防火墙上时，防火阀的安装如图 B-3 (e) 所示；防火阀装在垂直风管上时，防火阀的安装如图 B-3 (f) 所示。

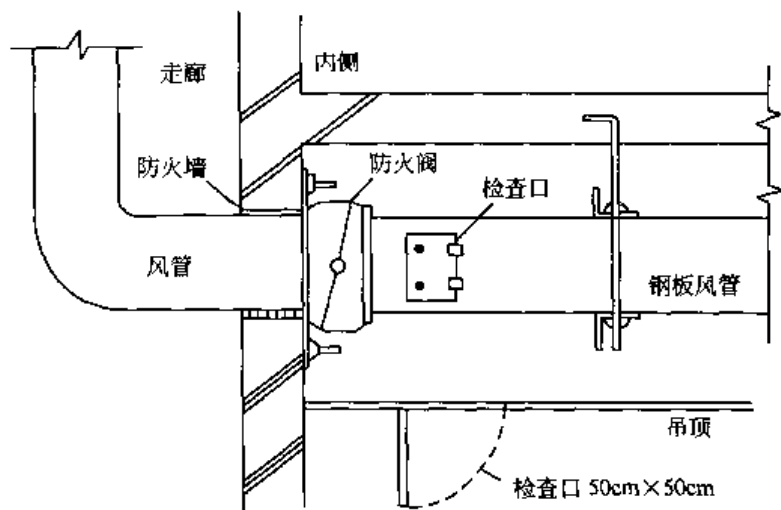


图 B-1 防火阀应靠防火墙

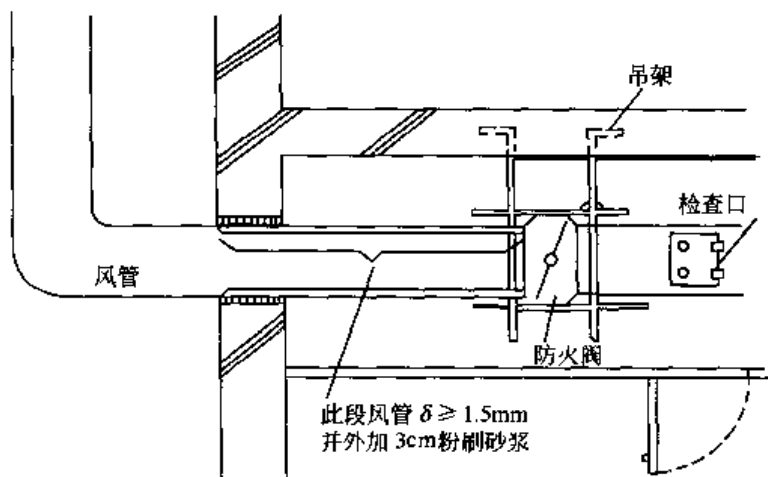


图 B-2 防火阀不能紧靠防火墙时的处理办法

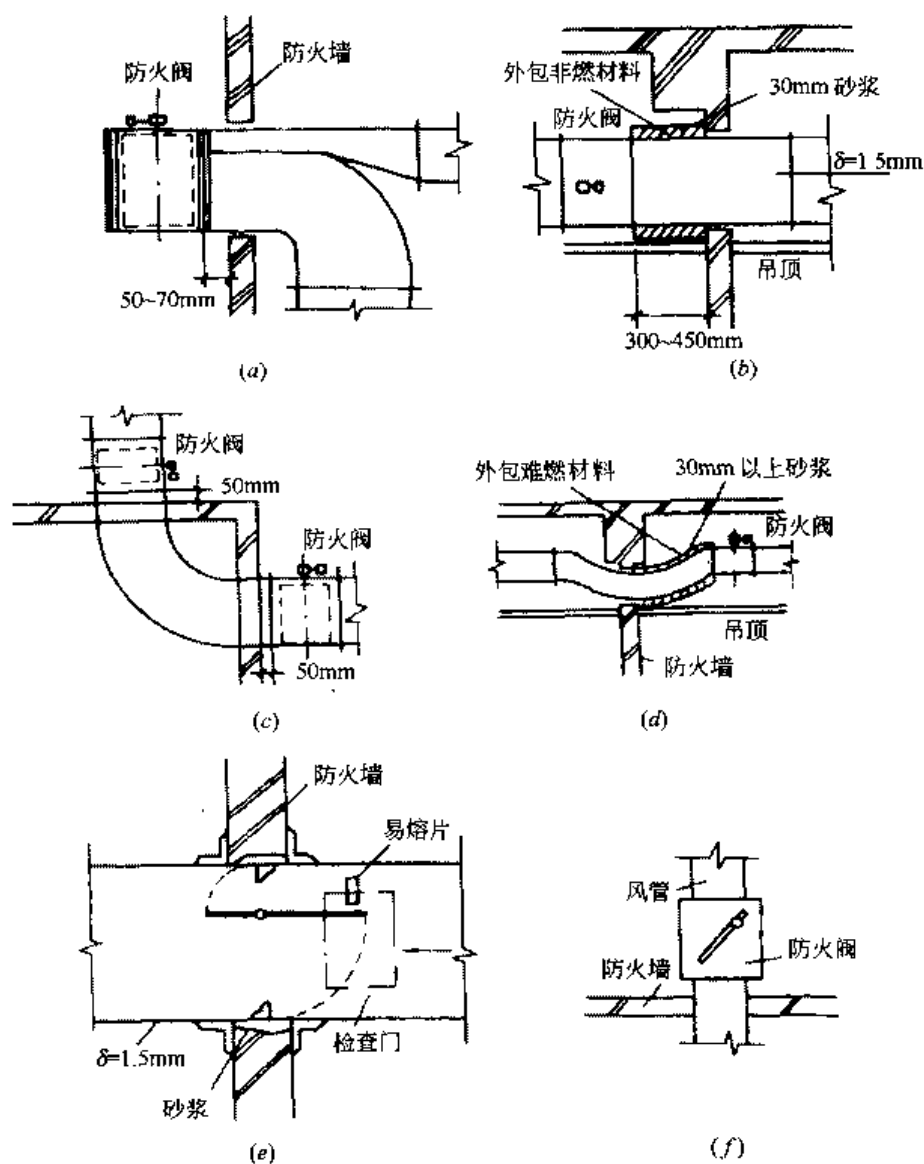


图 B-3 几种特殊情况下防火阀的设置

高层公共建筑中有大的集中风道竖井时，防火阀的设置如图 B-4 所示。风管穿楼板时防火阀的正确安装位置如图 B-5 所示。防火阀距竖井的正确位置如图 B-6 所示。

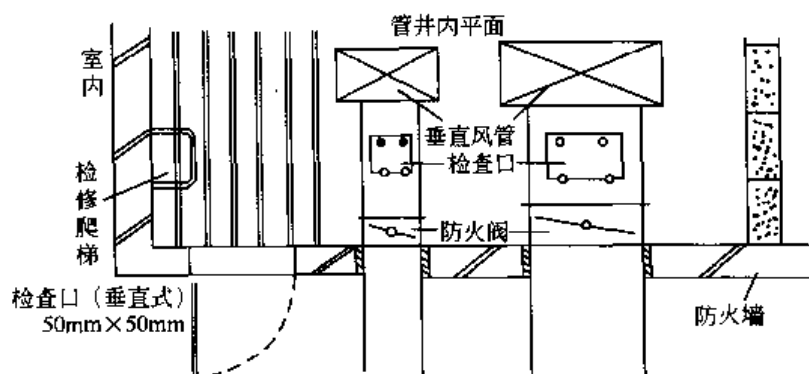


图 B-4 风道竖井中的防火阀安装

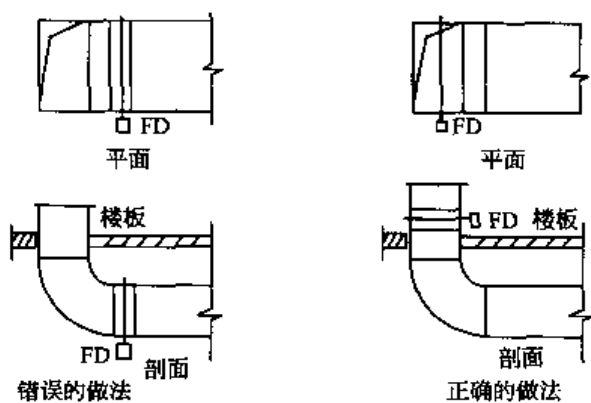


图 B-5 风管穿楼板时防火阀的正确安装位置

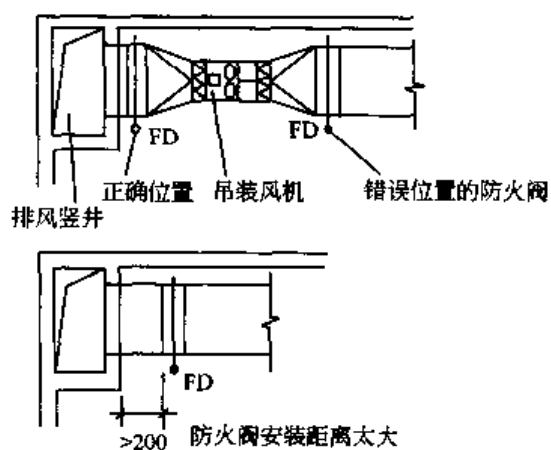


图 B-6 防火阀距竖井的距离

## 主要参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准.《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95), 2001
- [2] 张树平, 郝绍润, 陈怀德. 现代高层建筑防火设计与施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [3] 王学谦, 刘万巨. 建筑防火设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [4] 赵荣义, 钱以明, 范存养等. 简明空调设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [5] 陈保胜, 周健. 高层建筑安全疏散设计. 上海: 同济大学出版社, 2004
- [6] 孙一坚. 简明通风设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [7] 刘天川. 超高层建筑空调设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [8] 中华人民共和国国家标准.《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098—98)
- [9] 赵艳玲. 对大面积房间排烟系统设计的几点认识. 暖通空调. 2002, 32 (2): 46—48
- [10] 魏润柏. 通风工程空气流动理论. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981
- [11] 冯永芳. 实用通风空调风道计算法. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- [12] 范存养. 大空间建筑空调设计及工程实录. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [13] 马最良, 姚杨. 民用建筑空调设计. 北京: 化学工业出版社 2003
- [14] 中华人民共和国国家标准.《人民防空地下室设计规范》(GB 50038—94)
- [15] 中华人民共和国国家标准.《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—97)
- [16] 上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》(DGJ 08—88—2000)
- [17] 陈韶章, 陈越. 沉管隧道设计与施工. 北京: 科学出版社, 2002
- [18] 李娥飞. 暖通空调设计与通病分析. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [19] 标准图集.《民用建筑工程暖通空调及动力施工图设计深度图样》04K061

