

第6章

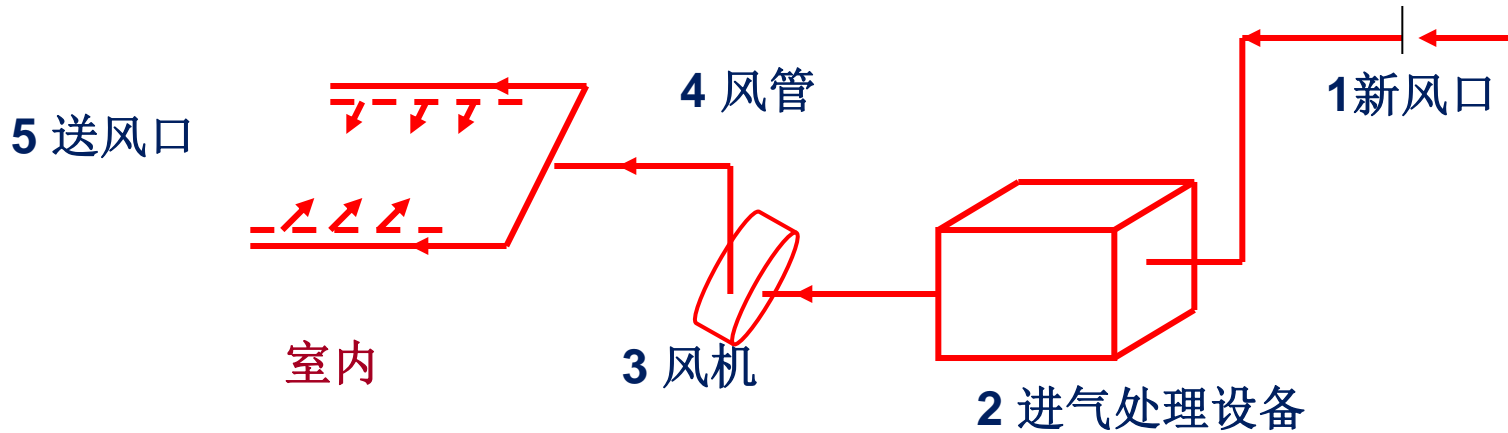
通风管道的设计计算

空调送风系统

如图，在风机3的动力作用下，室外空气进入新风口1，经进气处理设备2处理，达到卫生标准或工艺要求后，由风管4输送并分配到各送风口5，由风口送入室内。

(图纸展示)

室外大气



通风管道的设计计算

设计 计算

- 1、合理确定风管布置→系统分区、安装
- 2、确定风管尺寸→均匀送（排）风
- 3、计算系统阻力→水力计算→选择风机

目的

- 1、保证通风空调系统的使用效果→
满足要求的风量分配；
- 2、使系统的初投资和运行费用综合最优；

通风管道的设计计算

内容要求

第一节 风管内空气流动的阻力（重点）

第二节 风管内的压力分布（重点、难点）

第三节 通风管道的水力计算（重点）

第四节 均匀送风管道设计计算（重点、难点）

第五节 通风管道设计中的有关问题（重点）

第六节 气力输送系统的管道计算（了解）

第七节 通风除尘系统运行特性的计算分析（了解）

6.1 风管内空气流动的阻力

●产生阻力的原因：

- 1、空气是具有粘滞性和惯性的实际流体；
- 2、空气在运动过程中有内摩擦阻力；
- 3、空气在流动过程中，风管材料内表面的粗糙程度对气体的阻滞作用和扰动作用；
- 4、在流速大小、流向发生变化时，局部由于涡流造成的能量损失。

- ## ●阻力的分类
- 摩擦阻力或沿程阻力
 - 局部阻力

6.1 风管内空气流动的阻力

6.1.1 摩擦阻力

$$R_s = \frac{f}{P} = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2} \rightarrow D = 4R_s$$

在断面形状不变的直管段中，由于流体内部及流体与管壁的摩擦所造成的能量损失。

$$\Delta P_m = \lambda \frac{1}{4R_s} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2} L = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$$

$$\Delta P_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \rho}{2} \cdot L = R_m \cdot L \quad R_m \text{——比摩阻}$$

关键在于确定比摩阻

6.1 风管内空气流动的阻力

6.1.1 摩擦阻力

$$\Delta P_m = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^2 \rho}{2} \cdot L = R_m \cdot L \quad R_m \text{——比摩阻}$$

层流区

紊流光滑区

紊流过渡区 (通风空调系统)

粗糙区 (阻力平方区)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

线算图

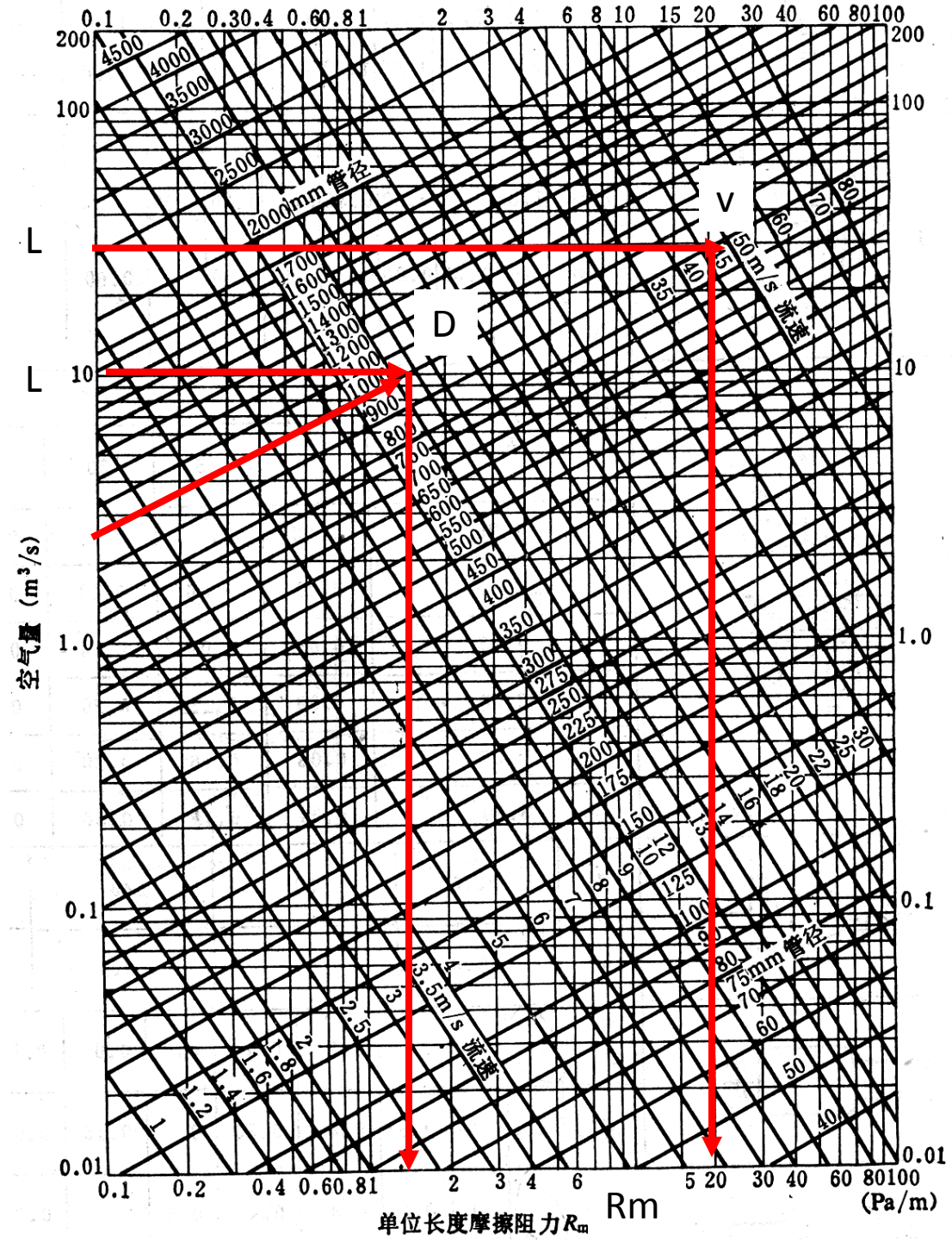


编制条件

- 1、压力 $B_0 = 101.3 \text{ kPa}$
- 2、温度 $t_0 = 20^\circ \text{C}$
- 3、空气密度 $\rho_0 = 1.204 \text{ kg/m}^3$;
- 4、运动粘度 $\nu_0 = 15.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- 5、管道粗糙度 $K = 0.15 \text{ mm}$;
- 6、圆形风管
- 7、过渡区

- 线算图确定比摩阻
- (1) 线算图 (附录9)

- 图的多种用法:
- 由L、D求 R_m
 - 由L、 R_m 求D
 - 由L、v求D、 R_m



(2) 图表的修正

R_m -实际的单位长度摩擦阻力, Pa/m

R_{m0} -图上查出的单位长度摩擦阻力, Pa/m

ρ -实际的空气密度, kg/m^3

ν -实际的运动粘度系数, m^2/s

• 密度和粘度的修正

$$R_m = R_{m0} (\rho / \rho_0)^{0.91} (\nu / \nu_0)^{0.1}$$

■ 空气温度和大气压力的修正

$$R_m = K_t K_B R_{m0}$$

$$K_t = \left(\frac{273 + 20}{273 + t} \right)^{0.825}$$

$$K_B = (B / 101.3)^{0.9}$$

K_t -温度修正系数

K_B -大气压力修正系数

T -实际的空气温度, $^{\circ}\text{C}$

B -实际的大气压力, kPa

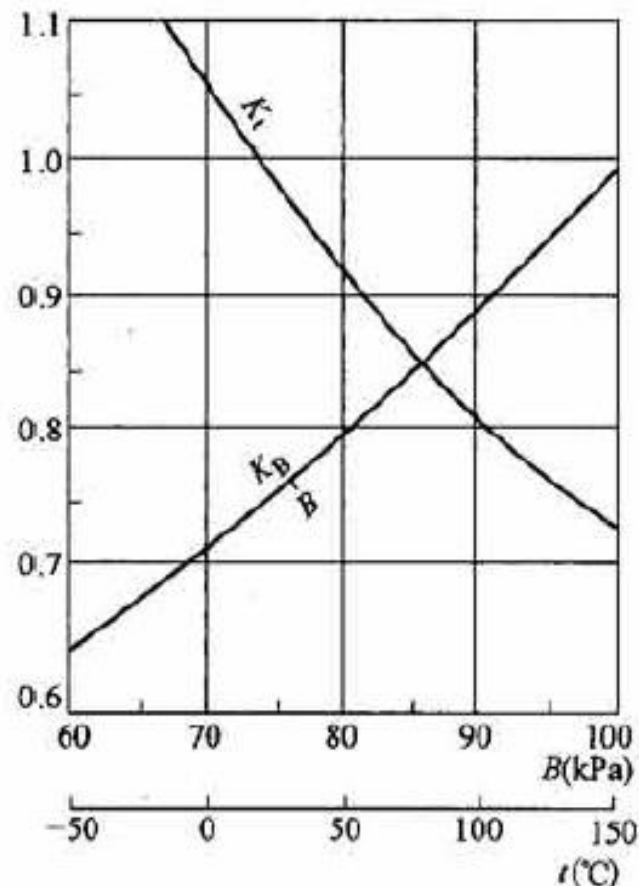


图 6-1 温度和大气压力的修正曲线 9

(2) 图表的修正

• 管壁粗糙度的修正

粗糙度 $k_m \neq 0.15\text{mm}$

$$R_m = K_t R_{mo} (Pa/m)$$

$$K_t = (Kv)^{0.25}$$

K_t -管壁粗糙度修正系数

K -管壁粗糙度, mm

v -管内空气流速, m/s

各种材料的粗糙度K 表 6-1

风管材料	粗糙度(mm)
薄钢板或镀锌薄钢板	0.15~0.18
塑料板	0.01~0.05
矿渣石膏板	1.0
矿渣混凝土板	1.5
胶合板	1.0
砖砌体	3~6
混凝土	1~3
木板	0.2~1.0

[例1]

有一通风系统，采用薄钢板圆形风管（ $K = 0.15 \text{ mm}$ ），已知风量 $L = 3600 \text{ m}^2/\text{h}$ （ $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ）。管径 $D = 300 \text{ mm}$ ，空气温度 $t = 30^\circ\text{C}$ 。求风管管内空气流速和单位长度摩擦阻力。

解：查附录9，得 $u = 14 \text{ m/s}$ ， $R_{m0} = 7.68 \text{ Pa/m}$

查图得， $K_t = 0.97$

$$R_m = K_t R_{m0} = 0.97 \times 7.68 \text{ Pa/m} = 7.45 \text{ Pa/m}$$

2). 矩形风管的沿程阻力计算

《全国通用通风管道计算表》和附录9的线算图是按圆形风管得出的。

矩形风管的摩擦阻力计算：

- 1、矩形风管断面尺寸折算成与之相当的圆形风管直径，即当量直径；
- 2、按当量直径查取的 R_m ，即为矩形风管的单位长度摩擦阻力。

当量直径：矩形风管有相同单位长度摩擦阻力的圆形风管直径。

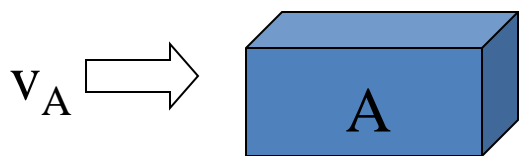
- (1) 流速当量直径
- (2) 流量当量直径

2) 矩形管道计算方法

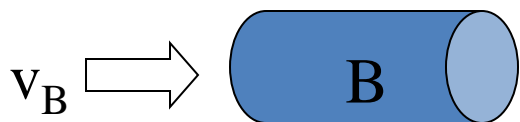
以当量直径来查用图表

(1) 流速当量直径

与矩形风管的流速及比摩阻相同的圆形风管的直径



$$v_A = v_B \quad R_{mA} = R_{mB}$$



D_B 为A的流速当量直径，记作 D_v

$$D_v = \frac{4f}{P} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$$

注意：

查用表图时必须**对应使用**流速和流速当量直径

(2) 流量当量直径

定义：与矩形风管的流量及比摩阻相同的圆形风管的直径

计算式：

$$D_L = 1.3 \frac{(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.25}} \quad (6-12)$$

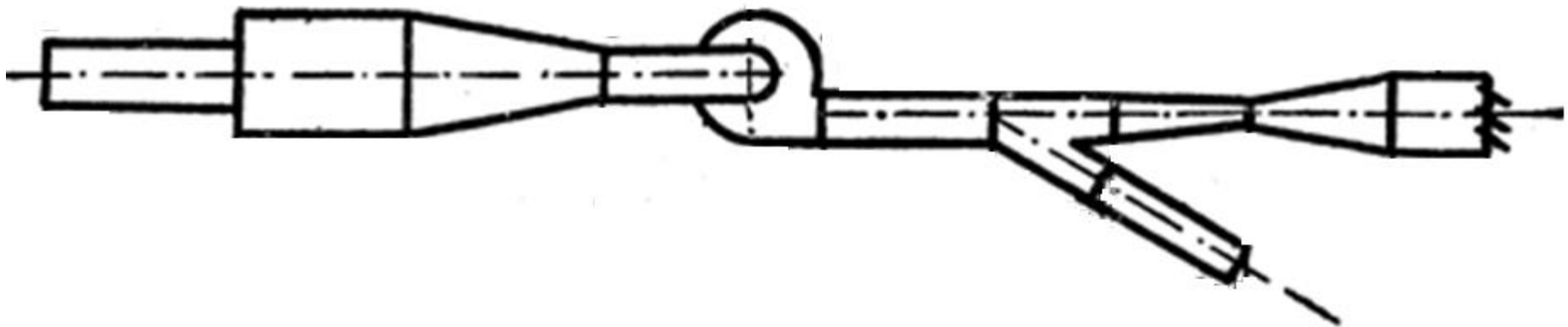
注意：

查用表图时必须**对应使用**流量和流量当量直径

2 局部阻力

在流量、流向及管道断面形状发生变化的局部由于涡流造成的能量损失

- 判断：
- 1、流速大小变化：变径，三通、四通，阀门等
 - 2、流速的方向变化：弯头、进和排风口等



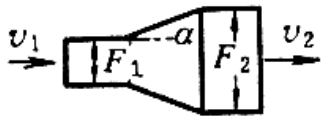
1) 计算方法:

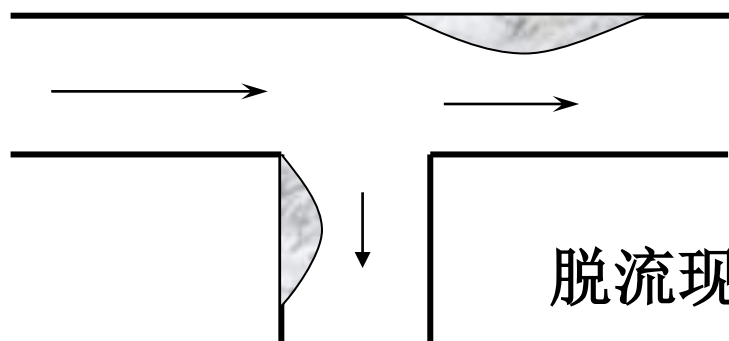
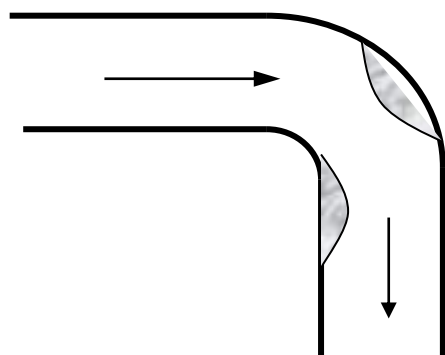
(1) 局部阻力系数法

$$Z = \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \quad (6-13)$$

多数局部阻力的计算还不能从理论上解决，必须借助于由实验得来的经验公式或系数。见附录5。

局部阻力系数举例

4	渐扩管		α	22.5	30	45	90
			ζ_1	0.6	0.8	0.9	1.0

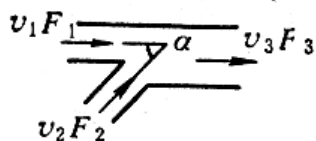


脱流现象

局部阻力系数 ζ (ζ_1 值以图内所示速度 v_1 计算)

L_2/L_3

合流三通



$F_1 + F_2 = F_3 \quad \alpha = 30^\circ$

F_2/F_3	0.00	0.03	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0
-----------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ζ_2 支管局部阻力系数

0.06	-1.13	-0.07	-0.30	+1.82	10.1	23.3	41.5	65.2	—	—	—	—
0.10	-1.22	-1.00	-0.76	+0.02	2.88	7.34	13.4	21.1	29.4	—	—	—
0.20	-1.50	-1.35	-1.22	-0.84	+0.05	+1.4	2.70	4.46	6.48	8.70	11.4	17.3
0.33	-2.00	-1.80	-1.70	-1.40	-0.72	-0.12	+0.52	1.20	1.89	2.56	3.30	4.80
0.50	-3.00	-2.80	-2.6	-2.24	-1.44	-0.91	-0.36	0.14	0.56	0.84	1.18	1.53

ζ_1 直管局部阻力系数

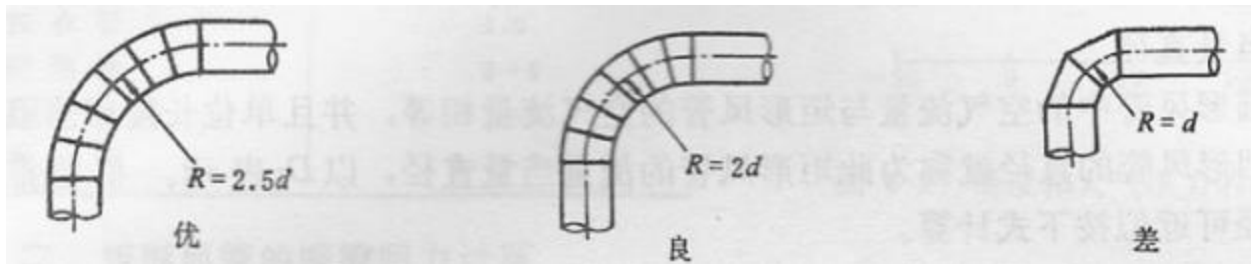
0.01	0	0.06	+0.04	-0.10	-0.81	-2.10	-4.07	-6.60	—	—	—	—
0.10	0.01	0.10	0.08	0.04	-0.33	-1.05	-2.14	-3.60	5.40	—	—	—
0.20	0.06	0.10	0.13	0.16	+0.06	-0.24	-0.73	-1.40	-2.30	-3.34	-3.59	-8.64
0.33	0.42	0.45	0.48	0.51	0.52	+0.32	+0.07	-0.32	-0.83	-1.47	-2.19	-4.00
0.50	1.40	1.40	1.40	1.36	1.26	1.09	+0.86	+0.53	+0.15	-0.52	-0.82	-2.07

2) 减小局部阻力的措施

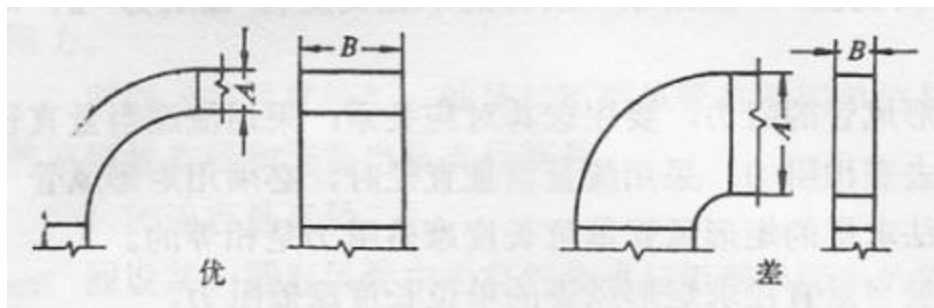
局部阻力在通风、空调系统中占有较大的比例，在设计时应加以注意。**减小局部阻力的着眼点在于防止或推迟气流与壁面的分离，避免漩涡区的产生或减小漩涡区的大小和强度。**

几种常用的减小局部阻力的措施。

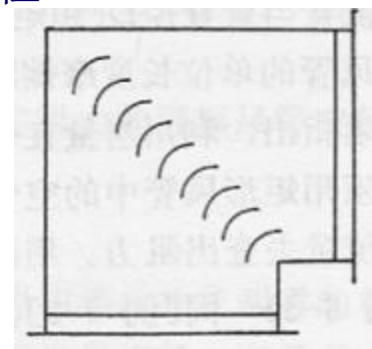
1. 弯头



圆形风管弯头曲率半径一般应大于1~2倍管径



矩形风管长宽比 B/A 越大，阻力越小



矩形直角弯头内设导流片

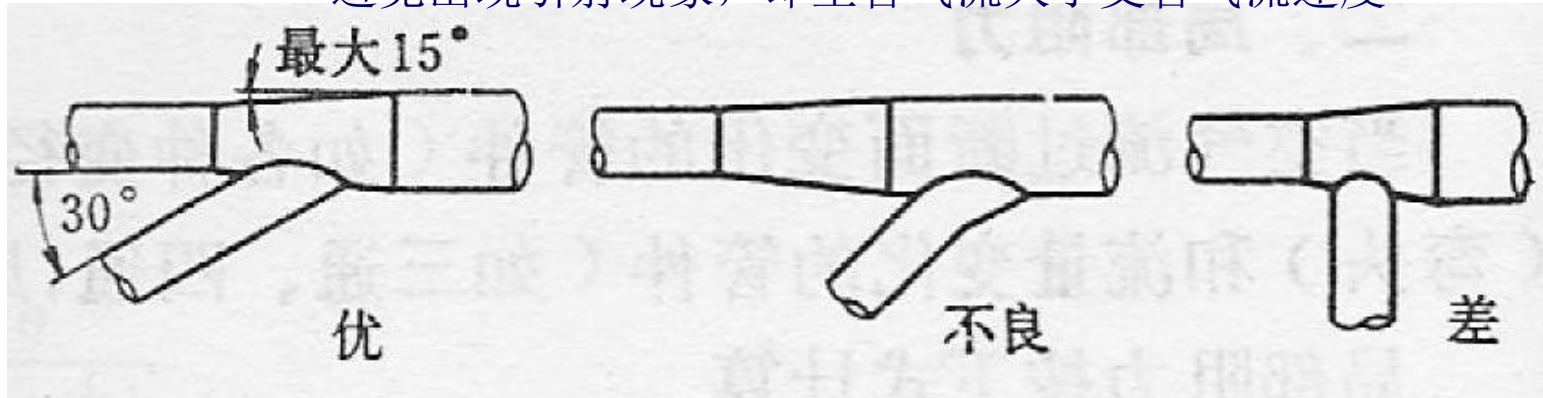
2) 减小局部阻力的措施

2.三通

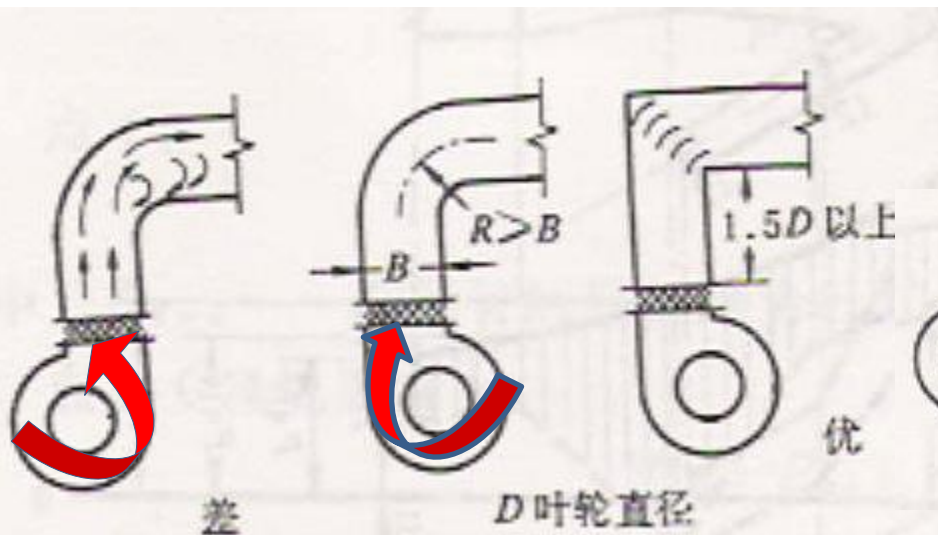
减小干管和支管间夹角

保持干管和支管流速相当

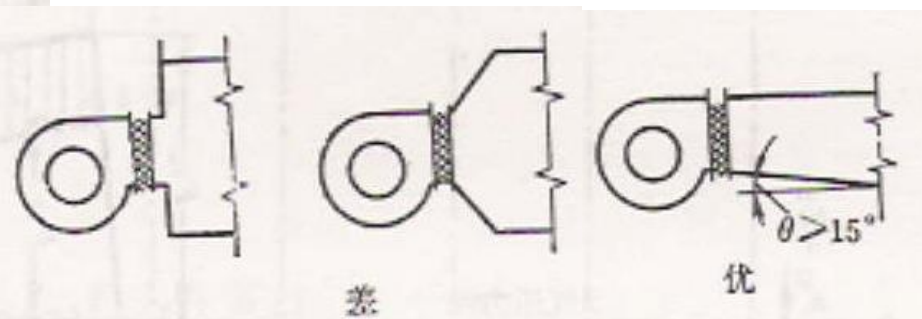
避免出现引射现象，即主管气流大于支管气流速度



3.管道和风机的连接

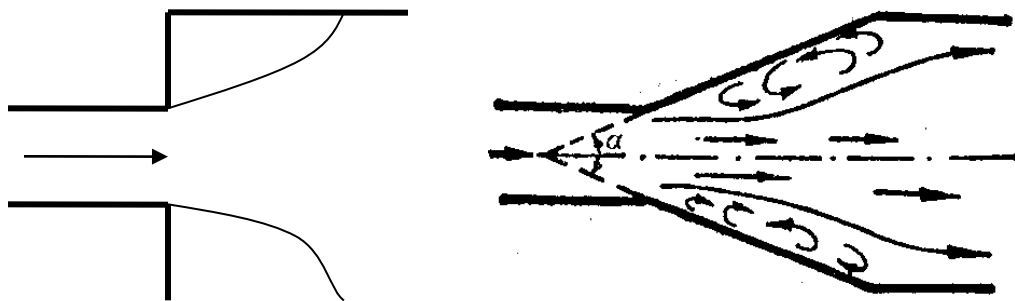


避免在接管处产生局部涡流



2) 减小局部阻力的措施

4. 避免突扩、突缩，用渐扩、渐缩 $\alpha=8^\circ\sim 10^\circ$ ，最大 $<45^\circ$



管段阻力：

- 系统中各管段的阻力为该管段中的摩擦阻力和局部阻力之和，即：

$$\Delta p_i = \Delta p_{mi} + \Delta p_{zi}$$

作用：

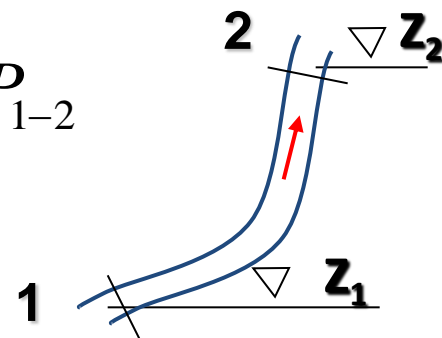
- 1、支管之间不平衡率的校核；
- 2、选择或校核风机的风压。

6.2 风管内的压力分布

理论依据：能量守恒定律(伯努利方程)：

$$P_{j1} + \frac{v_1^2 \rho}{2} + Z_1 \rho g = P_{j2} + \frac{v_2^2 \rho}{2} + Z_2 \rho g + \Delta P_{1-2}$$

$$P_{j1} + \frac{v_1^2 \rho}{2} = P_{j2} + \frac{v_2^2 \rho}{2} + \Delta P_{1-2}$$



结论：

空气流动时，由于风管阻力和流速变化，空气的压力是不断变化的。

目的：

指导通风和空调系统设计，使其技术可行，经济合理。

指导通风和空调系统运行维护。

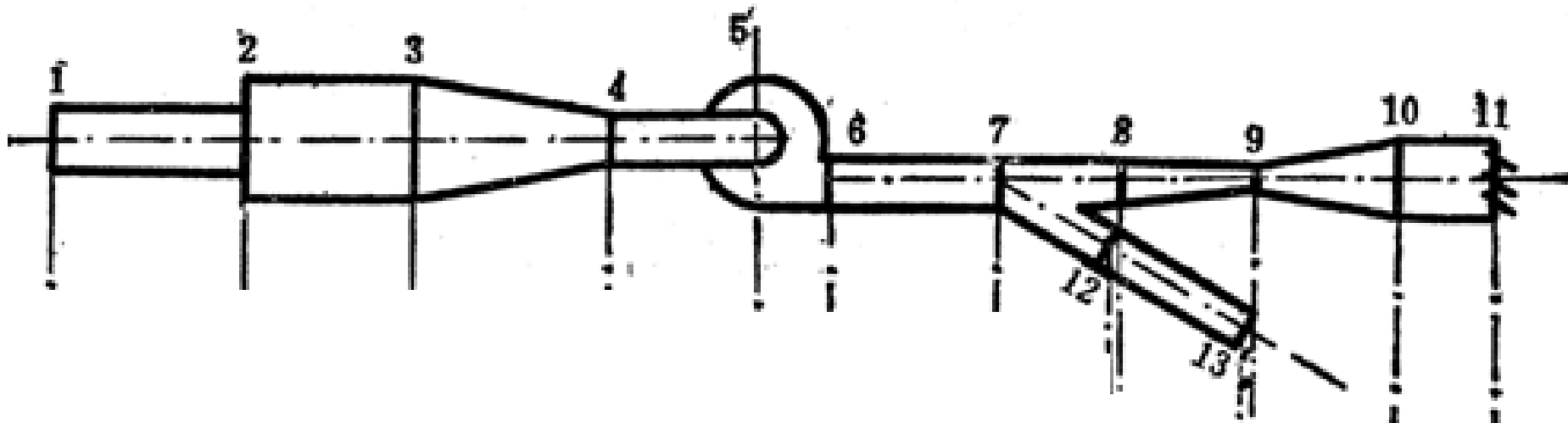
一、理论基础

1、全压=动压+静压 $P_q = P_d + P_j$

2、未开风机时, $P_j = P_q = \text{大气压} = 0$

3、风机开动后, $P_{q2} = P_{q1} - (R_m L + Z)_{1-2}$

4、沿程阻力 $\Delta P_m = R_m L$: 线性变化; 局部阻力 Z : 集中变化



二、压力分布图的绘制方法

1) 确定压力基准线

通常为水平线，并以大气压为参照对象。

2) 确定系统分隔断面并编号

通常以**流速大小和流向改变**的断面为分隔断面。

3) 绘制全压线

从已知压力点开始。任意两点之间的差值就是他们之间的阻力损失。

4) 绘制静压线

从全压线向下减去动压值

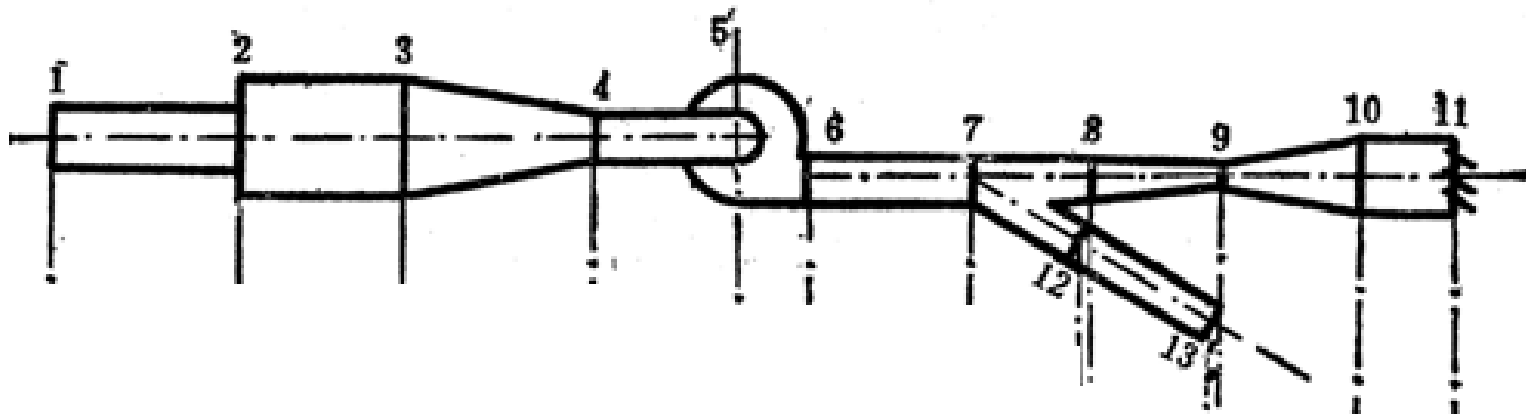
二、压力分布图的绘制方法

1) 确定压力基准线

通常为水平线，并以大气压为参照对象。

2) 确定系统分隔断面并编号

通常以**流速大小和流向改变**的断面为分隔断面。

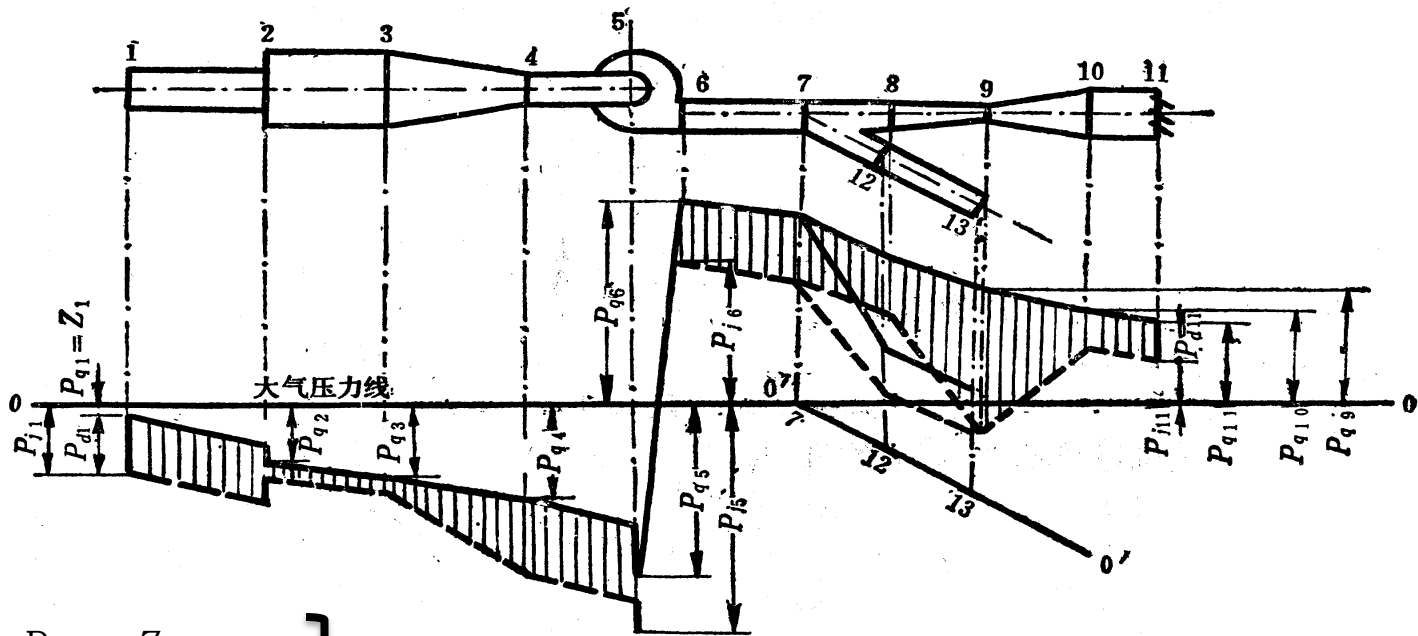


3) 绘制全压线

从一点开始绘制全压线。

任意两点之间的差值就是他们之间的阻力损失。

沿程阻力沿管长线性变化；
局部阻力在局部集中变化

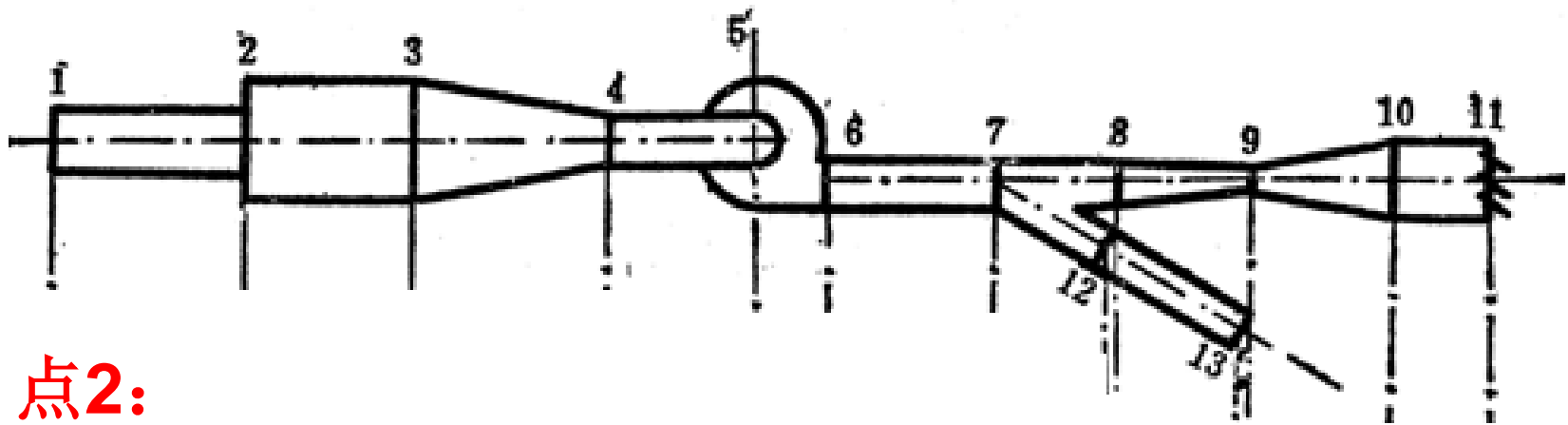


点1:

$$\left. \begin{aligned} P_{q0} &= P_{q0} + Z_1 \\ P_{q0} &= \text{大气压力} = 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\rightarrow P_{q1} = -Z_1 \\ &\rightarrow P_{q1} = P_{d1} + P_{j1} \end{aligned} \rightarrow \begin{aligned} P_{j1} &= -(Z_1 + P_{d1}) \\ &= -(Z_1 + \frac{\rho u_1^2}{2}) \end{aligned}$$

结论:

- 1、点1处的全压和静压均低于大气压力。
- 2、静压的消耗用于产生动压和克服进口阻力。



点2:

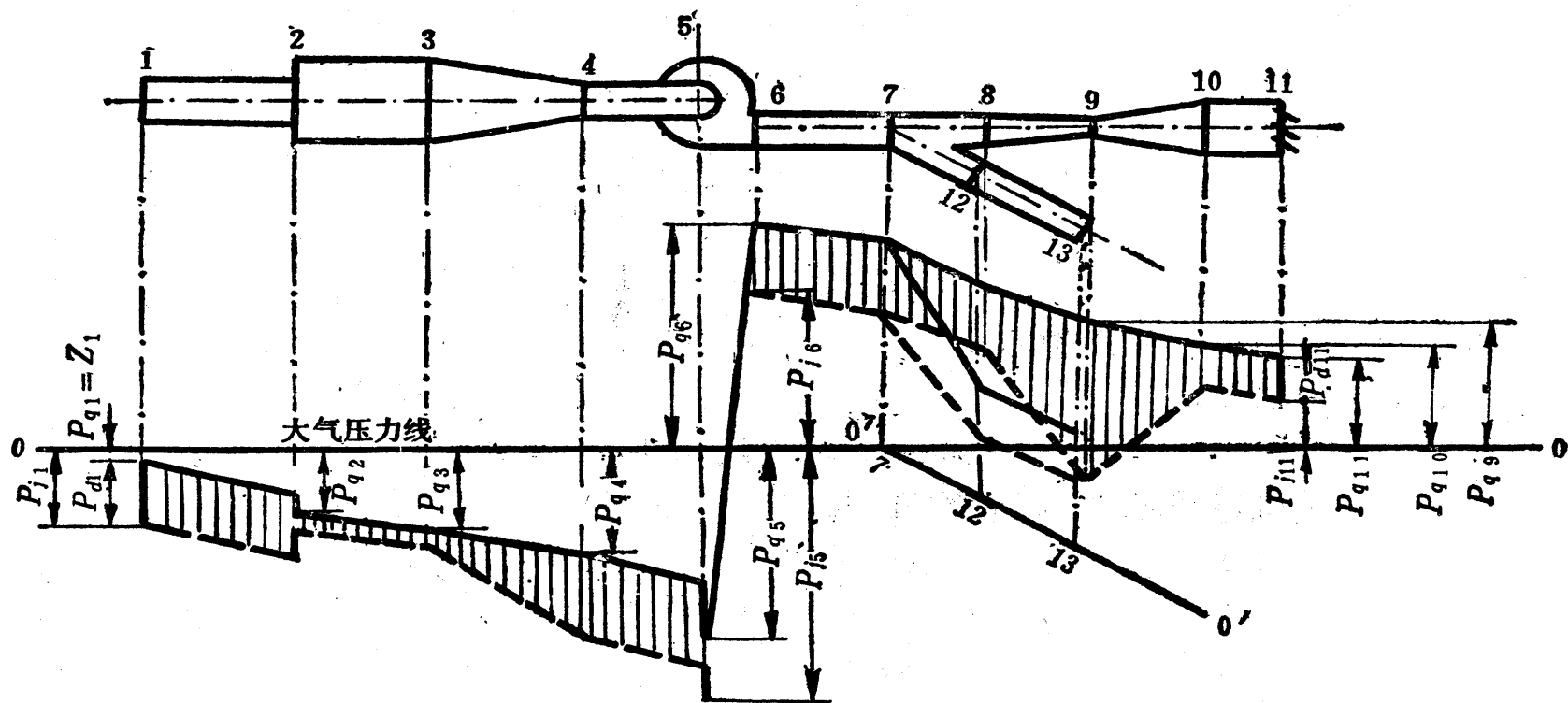
$$\left. \begin{aligned} P_{q1} &= P_{q2} + \Delta P_{1-2} \\ \Delta P_{1-2} &= R_{m1-2} \cdot L + Z_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} P_{q2} &= P_{q1} - (R_{m1-2} \cdot L + Z_2) \\ P_{j2} &= P_{q2} - P_{d2} = P_{q2} - \frac{\rho v^2_2}{2} \\ P_{q1} &= P_{j1} + P_{d1} = P_{j1} + \frac{\rho v^2_1}{2} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow P_{j2} = P_{j1} + \frac{\rho v^2_1}{2} - (R_{m1-2} \cdot L + Z_2) - \frac{\rho v^2_2}{2}$$

$$P_{j2} = P_{j1} - (R_{m1-2} \cdot L + Z_2) + \frac{\rho v^2_1}{2} - \frac{\rho v^2_2}{2}$$

结论:

- 1、两点之间的**全压差**等于两点之间**总阻力损失**;
- 2、流速不变时，阻力损失由降低静压来克服。也可通过降低风速达到**静压复得**。

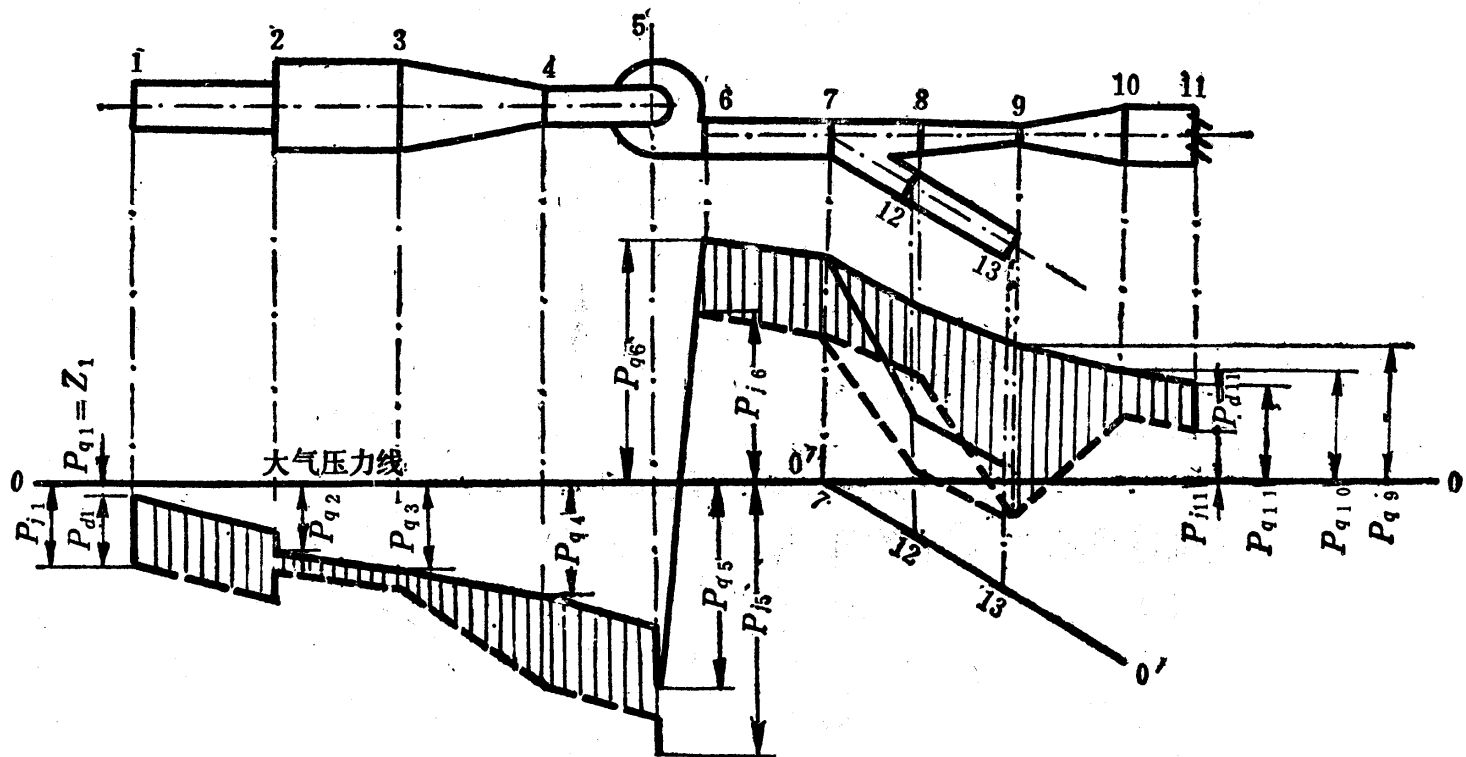


点11:

$$\left. \begin{aligned} P_{q11} &= P_{q0'} + Z_{11} \\ P_{q0} &= \text{大气压力} = 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow P_{q11} = Z_{11}$$

结论

- 1、风机的**风压**等于风机进出口全压差或者是等于**风道的阻力及出口动压损失之和，即等于风管总阻力。**
- 2、风机**吸入段**的全压和静压都为**负值**，风机**压出段**一般情况下均为**正值**。但当增大风速， $P_d > P_q$ ， $P_j < 0$ 。
- 3、**各并联支管的阻力总相等。**



6.3 通风管道的水力计算

6.3.1 水力计算的方法

1) 假定流速法

重点介绍

2) 压损平均法

根据平均分配到每一管段上的允许（或希望）压损来设计管道尺寸

3) 静压复得法

以管段起点因分流所产生的复得静压克服该管段流动阻力的原则来设计风管尺寸

怎样产生静压复得？

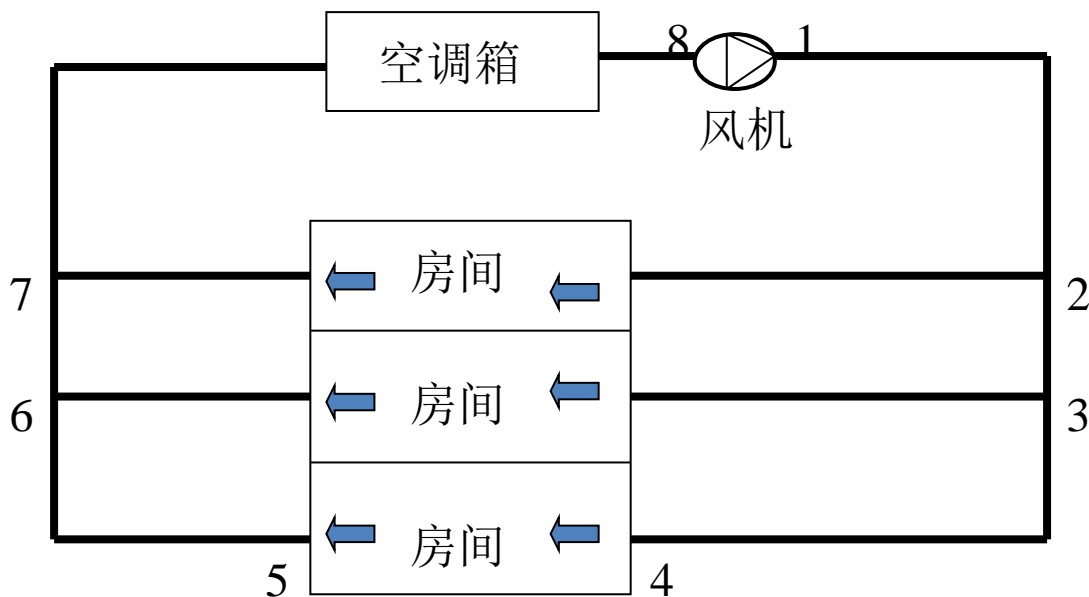
6.3.2 假定流速法

设计步骤:

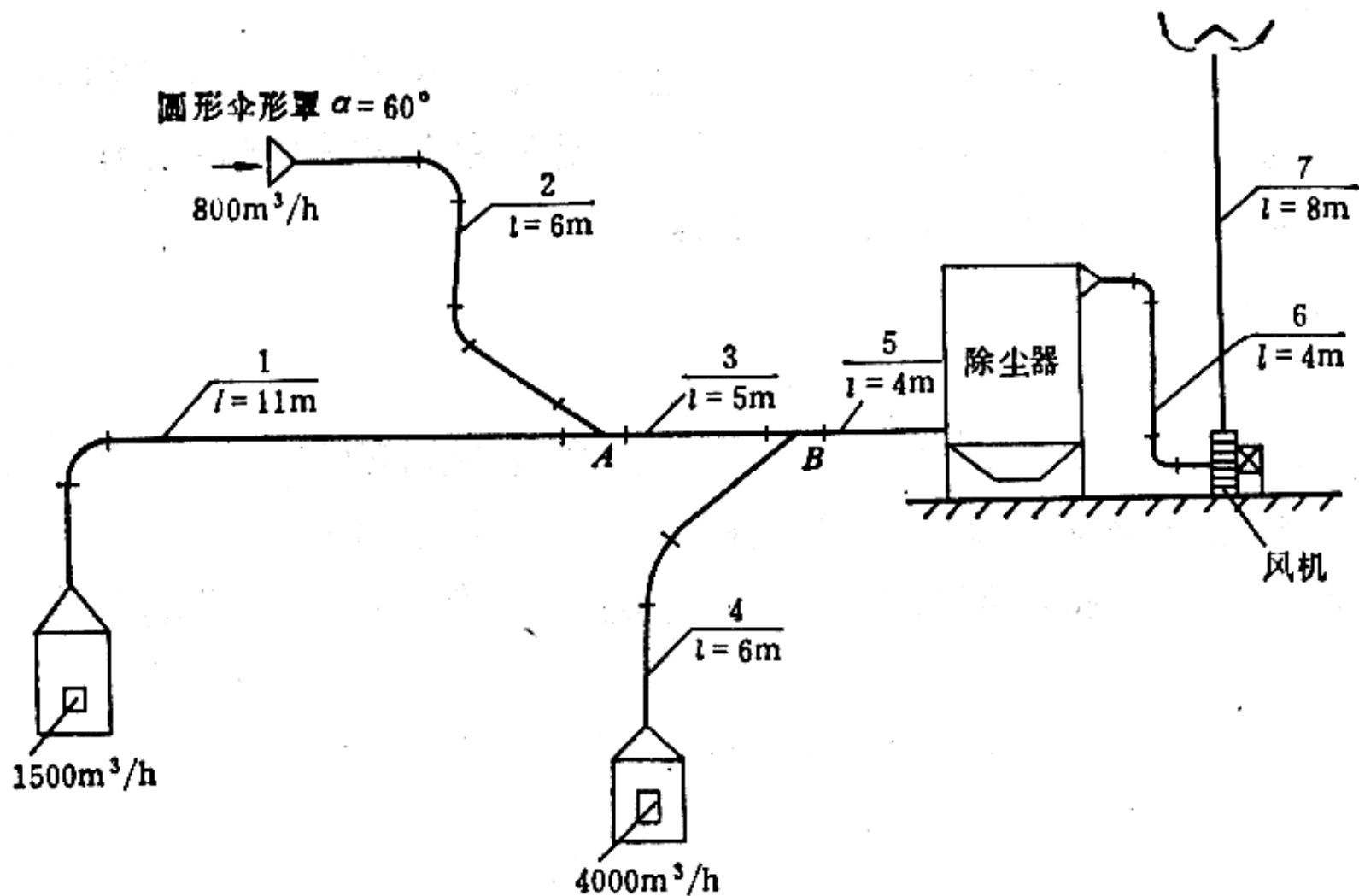
1) 绘制系统草图（轴测图），划分管段，对管段编号、标注管段长度和相应流量，确定最不利环路。

划分管段的原则：流量与断面尺寸不变的为同一管段
管段长度以接点为界，不必扣除局部构件的长度

最不利环路：流动阻力最大的环路



例6-5 (P161~165)



- (1) 对各管段进行编号，标出管段长度和各排风点的排风量。
- (2) 选定最不利环路，本系统选择 1—3—5—除尘器—6—风机—7 为最不利环路。

2) 选定管段内空气流速

考虑因素:

- (1) 流动阻力——运行费用
- (2) 消耗材料——系统投资
- (3) 噪声控制——室内环境标准
- (4) 最小流速——防止颗粒物沉积

一般通风系统中常用空气流速 (m/s)

类 别	风管材料	干 管	支 管	室内进风口	室内回风口	新鲜空气入口
工业建筑机械通风	薄钢板、混凝土、砖等	6~14	2~8	1.5~3.5	2.5~3.5	5.5~6.5
		4~12	2~6	1.5~3.0	2.0~3.0	5~6
工业辅助及民用建筑		0.5~1.0	0.5~0.7			0.2~1.0
		5~8	2~5			2~4

空调系统低速风管中常用空气流速 (m/s)

部	位	频率为1000Hz时室内允许声压级(dB)		
		<40	40~60	>60
新风入口		3.5~4.0	4.0~4.5	5.0~6.0
总管和总干管		6.0~8.0	6.0~8.0	7.0~12.0
无送、回风口的支管		3.0~4.0	5.0~7.0	6.0~8.0
有送、回风口的支管		2.0~3.0	3.0~5.0	3.0~6.0

除尘风管的最小空气流速 (m/s)

粉尘类别	粉尘名称	垂直风管	水平风管
纤维粉尘	干锯末、小刨屑、纺织尘	10	12
	木屑、刨花	12	14
	干燥粗刨花、大块干木屑	14	16
	潮湿粗刨花、大块湿木屑	18	20
	棉絮	8	10
	麻	11	13
	石棉粉尘	12	18
矿物粉尘	耐火材料粉尘	14	17
	粘土	13	16
	石灰石	14	16
	水泥	12	18
	湿土(含水2%以下)	15	18
	重矿物粉尘	14	16
	轻矿物粉尘	12	14
	灰土、砂尘	16	18
	干细型砂	17	20
	金刚砂、刚玉粉	15	19
金属粉尘	钢铁粉尘	13	15
	钢铁屑	19	23
	铅尘	20	25
其它粉尘	轻质干粉尘(木工磨床粉尘、烟草灰)	8	10
	煤尘	11	13
	焦炭粉尘	14	18
	谷物粉尘	10	12

(3) 根据各管段的风量及选定的流速，确定最不利环路上各管段的断面尺寸和单位长度摩擦阻力。

根据表 6-4，输送含有轻矿物粉尘的空气时，风管内最小风速为，垂直风管为 12m/s、水平风管为 14m/s。

考虑到除尘器及风管漏风，管段 6 及 7 的计算风量为 $6300 \times 1.05 = 6615 \text{m}^3/\text{h}$ 。

管道水力计算表

表 6-5

管段编号	流量 [$\text{m}^3/\text{h}(\text{m}^3/\text{s})$]	长度 $l(\text{m})$	管径 $D(\text{mm})$	流速 $v(\text{m/s})$	动压 P_d (Pa)	局部阻力系数 $\Sigma\xi$	局部阻力 $Z(\text{Pa})$	单位长度摩擦阻力 $R_m(\text{Pa}/\text{m})$	摩擦阻力 $R_m l(\text{Pa})$	管段阻力 $R_m l + Z$ (Pa)	备注
1	1500(0.42)	11	200	14	117.6	1.37	161	12.5	137.5	298.5	
3	2300(0.64)	5	240	14	117.6	-0.05	-6	12	60	54	
5	6300(1.75)	5	380	14	117.6	0.61	71.7	5.5	27.5	99.2	
6	6615(1.84)	4	420	12	86.4	0.47	40.6	4.5	18	58.6	
7	6615(1.84)	8	420	12	86.4	0.60	51.8	4.5	36	87.8	
2	800(0.22)	6	140	14	117.6	0.61	71.7	18	108	179.7	阻力不平衡
4	4000(1.11)	6	280	16	153.6	1.81	278	14	84	362	
2	800(0.22)		130	15.9						249.7	
	除尘器									1200	

3) 确定各管段断面尺寸，计算管段流动阻力

$$(1) F = L / v \quad F = a \times b \quad F = \pi d^2 / 4$$

管道断面尺寸规格化：

P250、251附录11

(2) 计算管内实际流速

(3) 计算管段的摩擦阻力和局部阻力

要加入该管段的其他已知阻力，例如除尘器、空调箱等设备阻力

管段 1

根据 $L_1 = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0.42 \text{ m}^3/\text{s}$)、 $v_1 = 14 \text{ m/s}$ ，由附录 9 查出管径和单位长度摩擦阻力。所选管径应尽量符合附录 8 的通风管道统一规格。

$$D_1 = 200 \text{ mm} \quad R_{m1} = 12.5 \text{ Pa/m}$$

同理可查得管段 3、5、6、7 的管径及比摩阻，具体结果见表 6-5。

(4) 确定管段 2、4 的管径及单位长度摩擦阻力，见表 6-5。

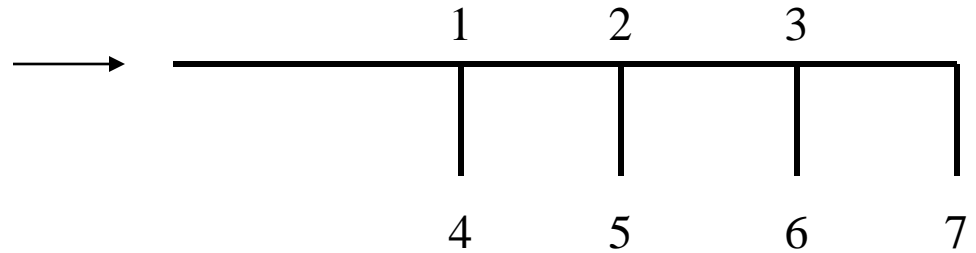
管道水力计算表

表 6-5

管段编号	流量 [m^3/h (m^3/s)]	长度 l (m)	管径 D (mm)	流速 v (m/s)	动压 P_d (Pa)	局部阻力系数 $\Sigma\xi$	局部阻力 Z (Pa)	单位长度摩擦阻力 R_m (Pa/m)	摩擦阻力 $R_m l$ (Pa)	管段阻力 $R_m l + Z$ (Pa)	备注
1	1500(0.42)	11	200	14	117.6	1.37	161	12.5	137.5	298.5	
3	2300(0.64)	5	240	14	117.6	-0.05	-6	12	60	54	
5	6300(1.75)	5	380	14	117.6	0.61	71.7	5.5	27.5	99.2	
6	6615(1.84)	4	420	12	86.4	0.47	40.6	4.5	18	58.6	
7	6615(1.84)	8	420	12	86.4	0.60	51.8	4.5	36	87.8	
2	800(0.22)	6	140	14	117.6	0.61	71.7	18	108	179.7	阻力不平衡
4	4000(1.11)	6	280	16	153.6	1.81	278	14	84	362	
2	800(0.22)		130	15.9						249.7	
	除尘器									1200	

4) 并联管路阻力平衡

(1) 阻力平衡的概念:



$$\Delta P_{1-4} = \Delta P_{1-2-5} = \Delta P_{1-2-3-6} = \Delta P_{1-2-3-7}$$

若并联管路阻力不平衡，则在运行中会自平衡，但输送的流量已偏离设计要求

(2) 允许的不平衡率:
$$\frac{\Delta P_{1-2-3-7} - \Delta P_{1-4}}{\Delta P_{1-2-3-7}}$$

--除尘 $\leq 10\%$

--通风空调 $\leq 15\%$

(3) 阻力平衡的方法

a) 调整管径——采用估算方法

$$D' = D \left(\frac{\Delta P}{\Delta P'} \right)^{0.225} \quad (6-16)$$

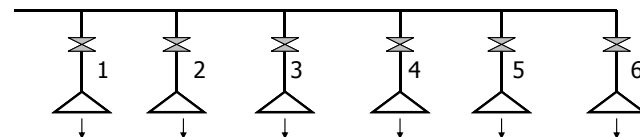
D' -调整后管径
 D -原设计管径
 ΔP -原设计支管阻力
 $\Delta P'$ -要求达到的支管阻力

b) 增大风量——根据管路阻力特性。20%以内，增大阻力小的那段的流量。

$$L' = L \left(\frac{\Delta P'}{\Delta P} \right)^{0.5} \quad (6-17)$$

阻力平衡宜沿最不利环路逐段进行。

c) 阀门调节



对于多支管空调系统需进行实际调试，达到预期流量分配

(7) 对并联管路进行阻力平衡

1) 汇合点 A

$$\Delta P_1 = 298.5 \text{ Pa} \quad \Delta P_2 = 179.7 \text{ Pa}$$

$$\frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{298.5 - 179.7}{298.5} = 39.7\% > 10\%$$

为使管段 1、2 达到阻力平衡，改变管段 2 的管径，增大其阻力。

根据式 (6-16)，得：

$$D'_2 = D_2 \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P'_2} \right)^{0.225} = 140 \left(\frac{179.7}{298.5} \right)^{0.225} = 124.8 \text{ mm}$$

根据通风管道统一规格，取 $D''_2 = 130 \text{ mm}$ ，其对应的阻力为：

$$\Delta P''_2 = 179.7 \left(\frac{140}{130} \right)^{0.225} = 249.7 \text{ Pa}$$

$$\frac{\Delta P_1 - \Delta P''_2}{\Delta P_1} = \frac{298.5 - 249.7}{298.5} = 16.3\% > 10\%$$

此时仍处于不平衡状态。如继续减小管径，取 $D_2 = 120 \text{ mm}$ ，其对应的阻力为 355.8 Pa ，同样处于不平衡状态。因此取 $D_2 = 130 \text{ mm}$ ，在运行时再辅以阀门调节，消除不平衡。

5) 计算最不利环路总阻力

将最不利环路上的各串联管段阻力相加

6) 选择风机

(1) 确定风机类别：一般风机，防爆风机

根据被输送气体性质、系统总阻力、总风量

(2) 计算风机应有的风量、风压

考虑安全系数

$$P_f = K_p \cdot \Delta P \quad (6-18) \quad L_f = K_L \cdot L \quad (6-19)$$

K_p -风压附加系数，一般系统1.1~1.15，除尘系统1.15~1.2

K_L -风量附加系数，一般系统1.1，除尘系统1.1~1.15

(3) 风机在非标准状态下工作，要进行参数修正。

$$L_f = L_f', \quad P_f = P_f' (1.2/\rho')$$

(8) 计算系统的总阻力

$$\begin{aligned}\Delta P &= \Sigma(R_m l + Z) = 298.5 + 54 + 99.2 + 58.6 + 87.8 + 1200 \\ &= 1798 \text{Pa}\end{aligned}$$

(9) 选择风机

风机风量 $L_f = 1.15L = 1.15 \times 6615 = 7607 \text{m}^3/\text{h}$

风机风压 $P_f = 1.15\Delta P = 1.15 \times 1798 = 2067 \text{Pa}$

选用 C4-68NO. 6.3 风机

$$L_f = 8251 \text{m}^3/\text{h} \quad P_f = 2018 \text{Pa}$$

风机转速 $n = 1600 \text{r}/\text{min}$ 皮带传动

配用 Y132S₂-Z 型电动机, 电动机功率 $N = 7.5 \text{kW}$ 。

6.4.1 均匀送风管道的设计原理

$$v_j = \sqrt{\frac{2P_j}{\rho}}$$

$$v_d = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}}$$

$$L_0 = 3600\mu \cdot f_o \cdot \sin a \cdot v$$

$$= 3600\mu \cdot f_o \cdot v_j = 3600\mu \cdot f_o \cdot \sqrt{2P_j / \rho}$$

$$v_0 = \frac{L_0}{3600 \cdot f_o} = \mu \cdot v_j$$

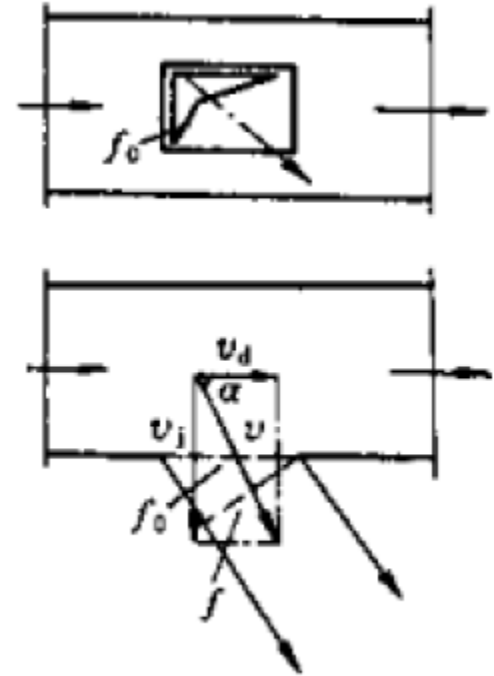


图 6-12 侧孔出流状态图

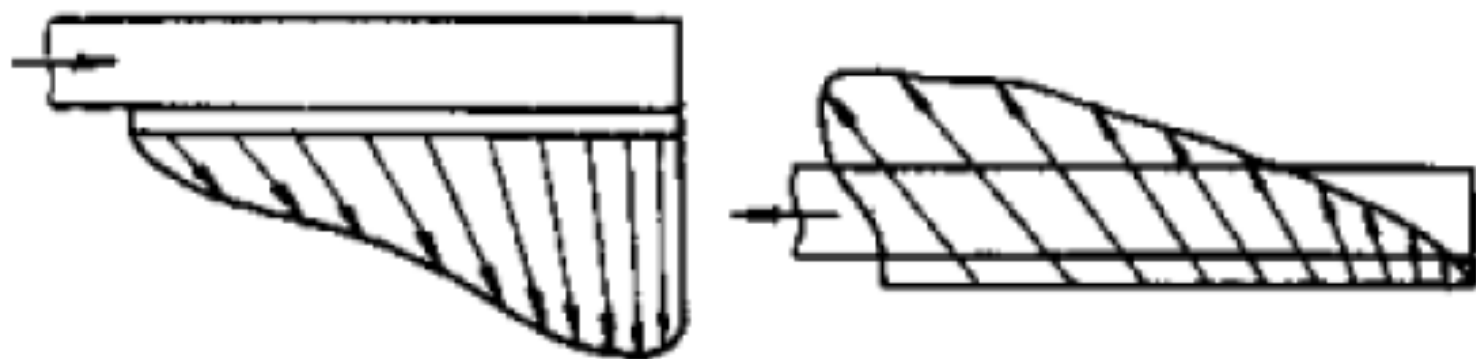


图 6-13 从条缝口吹出和吸入的速度分布

实现均匀送风的措施

- 1、送风管断面积 F 和孔口 f_0 不变时，管内静压会不断增大，可根据静压变化，在孔口上设置不同的阻体，使不同的孔口具有不同的阻力（即改变流量系数）。
- 2、孔口面积 f_0 和 μ 不变时，可采用锥形风管改变送风管断面积，使管内静压基本保持不变。
- 3、送风管断面积 F 及 μ 不变时，可根据管内静压变化，改变孔口面积 f_0 。
- 4、增大送风断面积 F ，减小孔口面积 f_0 。试验表明，当 $f_0 / F < 0.4$ 时，始端和末端出口速度的相对误差在10%以内，可近似认为是均匀分布的。

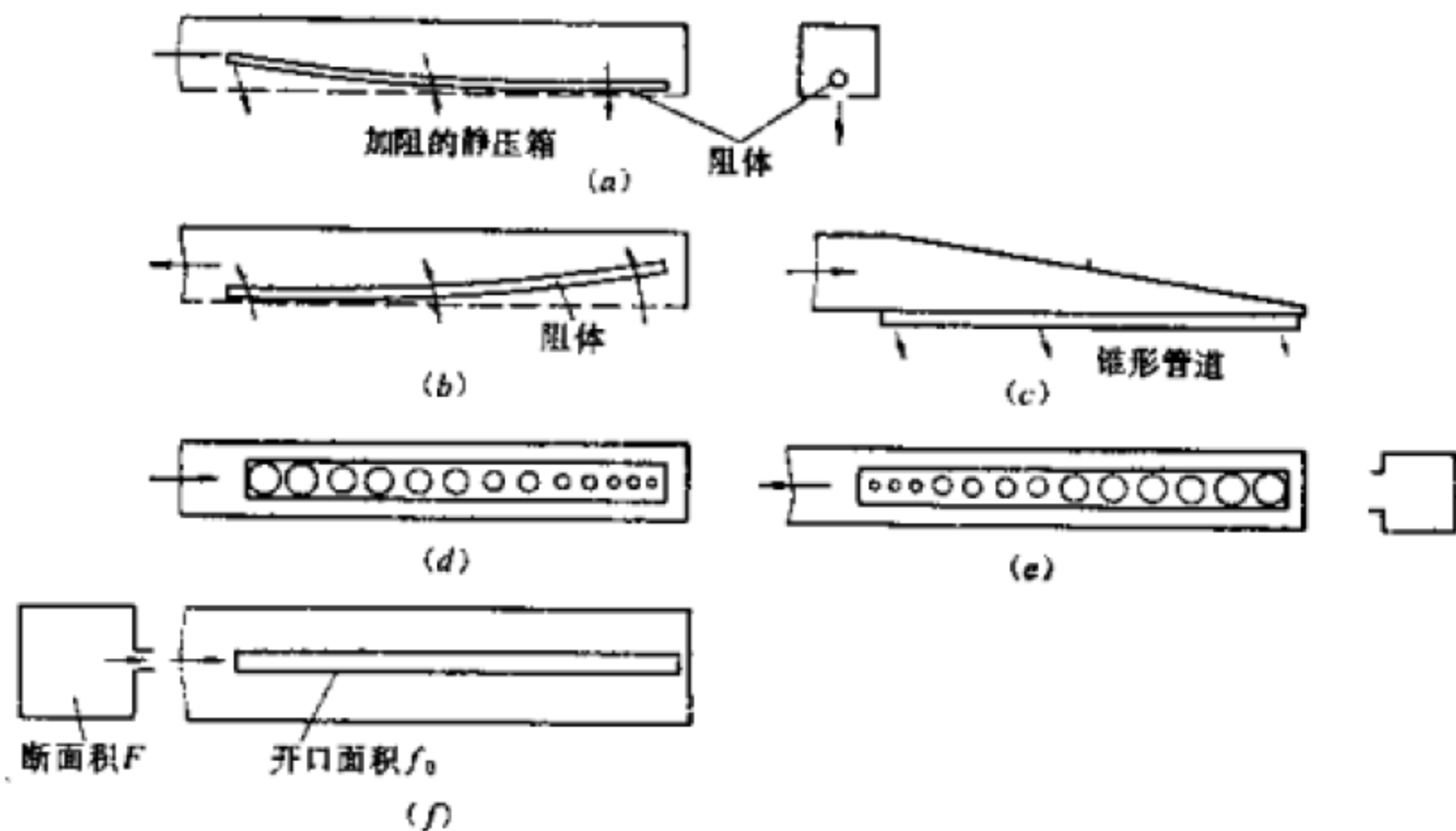


图 6-14 实现均匀送(排)风的方式

6.4.2 实现均匀送风的基本条件

- 保持各侧孔静压相等

$$P_{j1} + P_{d1} = P_{j2} + P_{d2} + (Rl + Z)_{1\sim 2}$$

$$P_{d1} - P_{d2} = (Rl + Z)_{1\sim 2}$$

$$P_{j1} = P_{j2}$$

- 保持各侧孔流量系数相等 (0.6~0.65)
- 增大出流角

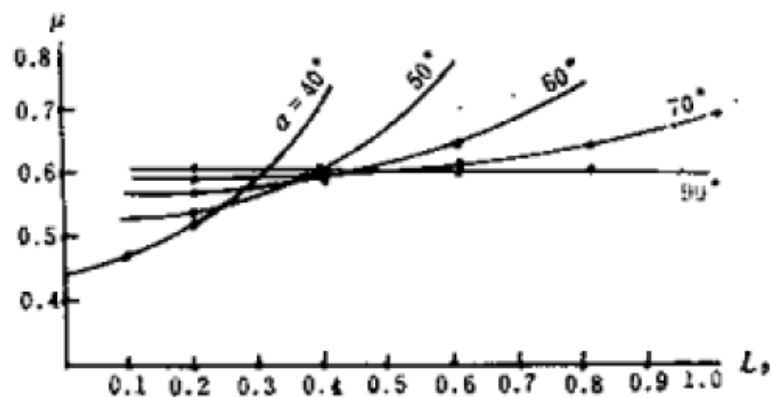


图 6-16 锐边孔口的 μ 值

6.5.1 系统划分的原则

系统——通过风管联系并采用同一空气处理设备和风机的整体

1) 对空气处理的要求相同（或相近）

送风：温湿度、洁净度……

排风：排气性质、净化要求……

2) 运行时间相同

3) 系统规模适度

便于运行管理、经济性

4) 注意不能合并的系统

可能造成交叉污染、引发事故

6.5.2 风管布置的原则

- 1) 首先要考虑与建筑、结构及其他设备工种（水、电等）的配合；
- 2) 减少对工艺操作的影响
- 3) 管路走向设计合理、力求简短平直、减少阻力、易于平衡；
- 4) 少占空间；
- 5) 便于施工、调试、维修；

6.5.2 风管布置的原则

- 6) 除尘管道尽可能垂直或倾斜，倾斜时夹角最好大于45度，如小于30度，需采取加大流速等措施；
- 7) 除尘管道的设计风速不宜过小。
- 8) 输送蒸汽或雾滴气体时，需要有一定的坡度，便于排液，并在风管的最低点或风机底部装设水封泄液管；
- 9) 风管上应设调节和测量装置；
- 10) 含剧毒物质的正压风管，不宜穿越其他房间；

6.5.3 风管断面形状的选择和尺寸定型化

1) 常用断面形状

矩形：易于和建筑、装修配合；局部构件制作容易
——常用于空调系统

圆形：阻力小；省材料、强度高；管道制作容易
——常用于通风系统及空调高速风管

其他形状：根据实际需要

2) 断面尺寸定型化

提高生产率；便于工厂机械化生产和运输

6.5.4风管材料

1) 普通钢板或镀锌钢板

工业化制作、安装方便，能承受较高的温度，有一定的防腐性能，适用于空气湿度比较高或者比较潮湿的通风、空调系统。

一般通风空调系统：0.5~1.5mm

除尘系统：1.5~3.0mm

6.5.4风管材料

2) 玻璃钢、硬聚乙烯塑料板

适用于含腐蚀性气体的通风、空调系统

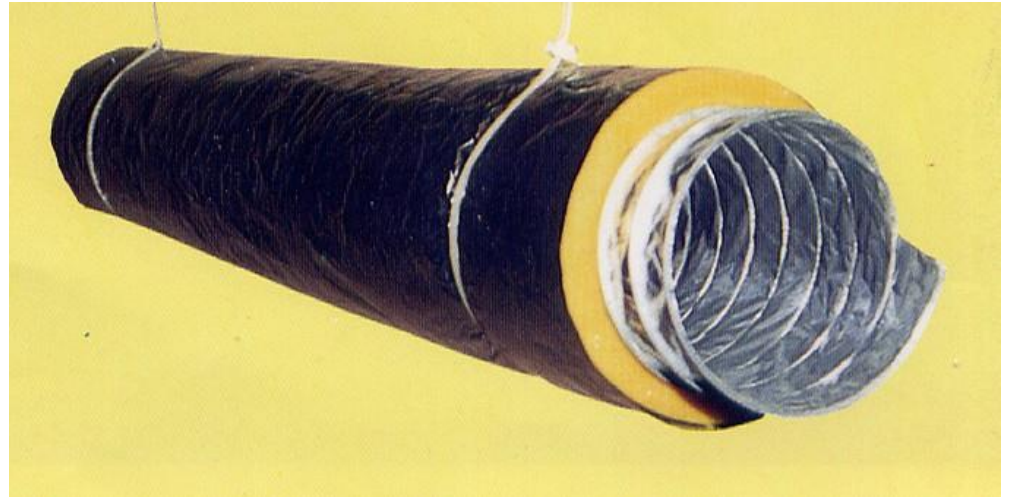
不耐高温，高温易脆裂，不耐严寒，温度适用于-10~+60℃



4) 各种软管

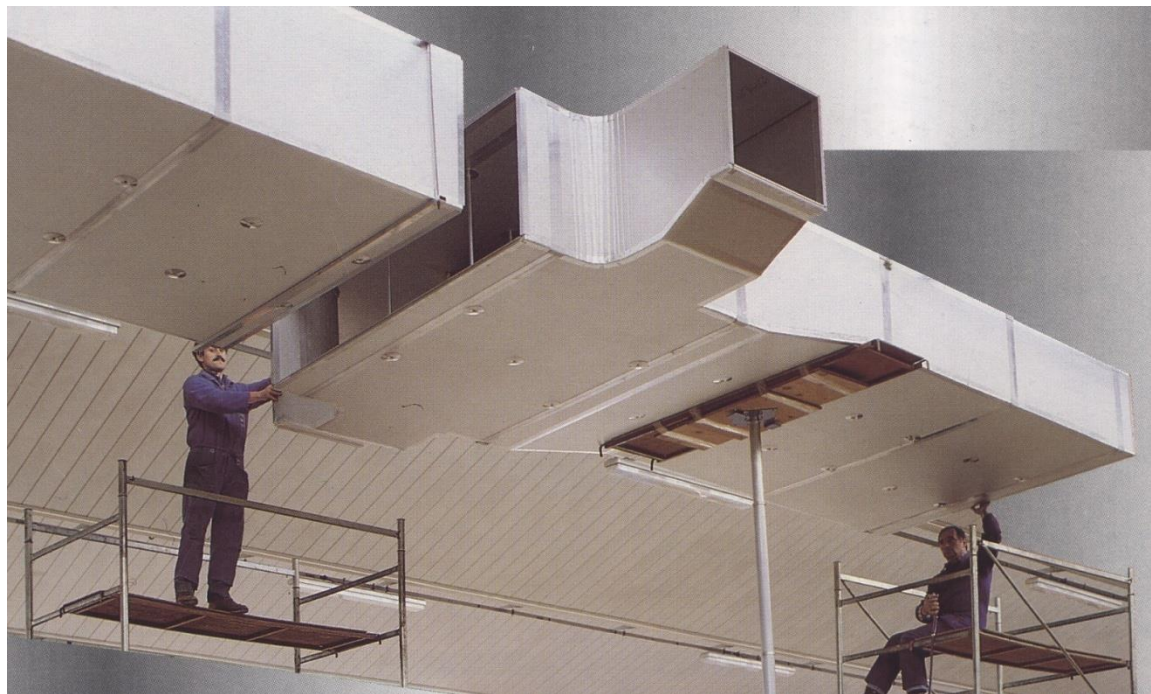
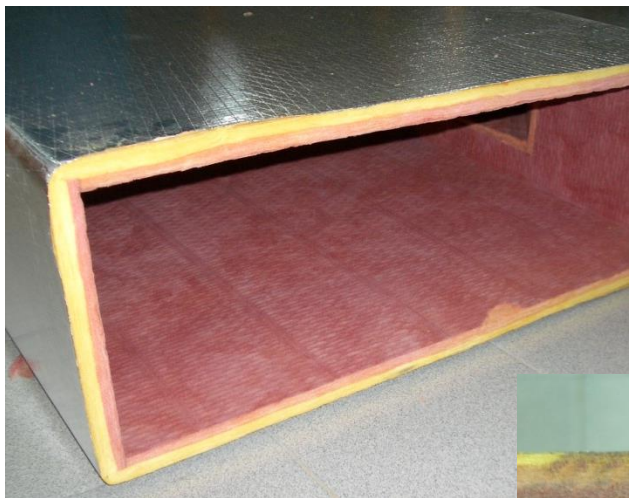
金属、塑料

有的可带有保温层

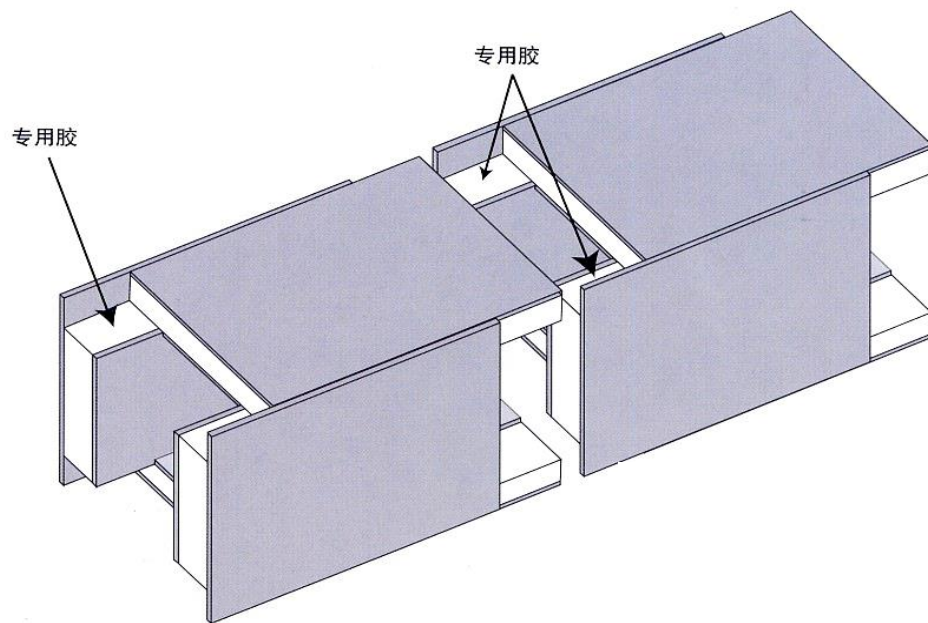


5) 复合风管

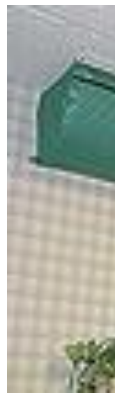
双层铝箔夹酚醛树脂
单层铝箔加玻璃纤维
其他



5) 复合风管



6) 新型柔性风管系统



优越性:

空气分布均匀，避免吹风感

重量轻，安装方便快捷，对结构要求低

灵活性好，便于系统变更

便于清洗



7) 建筑风道

由建筑材料构筑，常用于通风竖井

8) 其它

6.5.5 风管保温

1) 保温的目的

减少能量损失

防止管内外结露

安全

2) 保温材料

离心玻璃棉

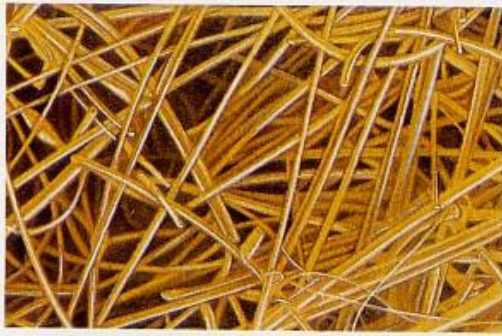
泡沫塑料

橡塑

矿棉

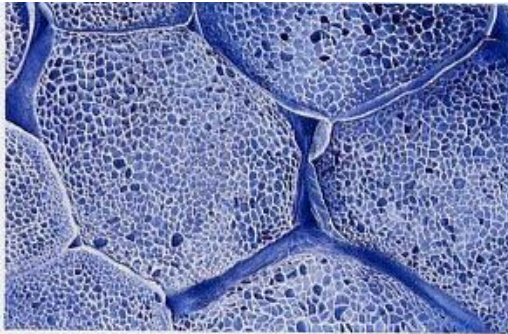
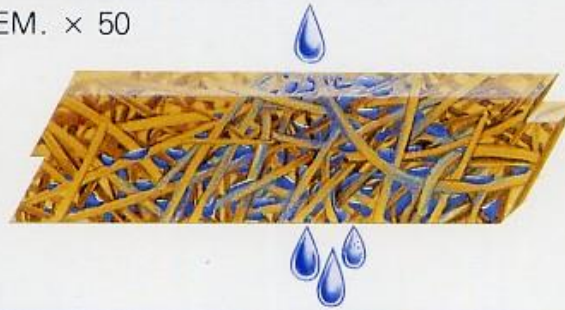
.....

——隔汽要求、防火要求（耐火等级）、保护外壳



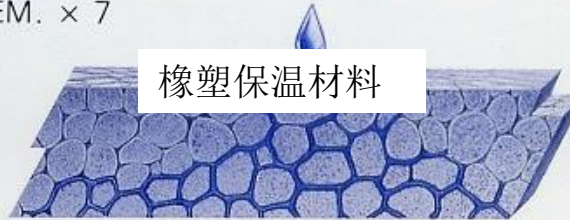
玻璃纖維

* SEM. $\times 50$



聚苯乙烯發泡膠 (發泡膠)

* SEM. $\times 7$



AEROFLEX

* SEM. $\times 30$



6.5.6 室外进、排风口

进风口要求:

- 1) 应设在室外空气比较清洁的地点;
- 2) 尽量布置在排风口的上风侧, 并且不应低于排风口;
- 3) 进排风口间距在20m以上, 如不能满足, 排风口应高出进风口6m;
- 4) 进风口距室外地坪不低于2m, 当布置绿化带时不小于1m;
- 5) 降温用的送风口应设在建筑背阴处。

6.5.6 室外进、排风口

排风口要求：

- 1) 净化后达到排放标准的排风口至少高出屋面1m；
- 2) 通风排气中有害物质必须经大气扩散稀释时，排风口应避开建筑物动力阴影区；
- 3) 车间地面有卫生要求时，排风口应设置在地面上；
- 4) 车间允许采用循环除尘机组时，排风口可设在车间内；
- 5) 事故排风口应设在有害气体和爆炸危险物质散发两最大的地方，不宜设于人员密集的场所。

6.5.7 防火及防爆

1) 粉尘和气体的燃爆浓度

见附录9、10 (P241)

2) 系统设计时要注意的问题

校核系统内浓度

防止在系统内死角积聚

采用防爆风机

考虑必要的泄爆点