



中原工学院  
Zhongyuan University of Technology



## 第2章 控制工业污染物的通风方式

# 本次课程的重点和目标

- 1、重点全面通风的原理和设计；
- 2、掌握全面通风的原理；
- 3、全面通风的设计中，掌握通风量的计算和风量平衡和热量平衡计算；熟悉气流组织和技术节能措施。
- 4、了解事故通风的要点。

# 通风概念

**通风**——将外界的新鲜空气送入有限空间内，又将有限空间内的废气排至外界。

理解并记忆

通风的作用：

- **稀释或排除**生产过程产生的毒害、爆炸气体及其粉尘，促进工业安全生产；
- 给工作区送入足够数量的**新鲜空气**，供人员呼吸；
- **调节工作区的温度、湿度**等，为人员提供舒适的工作环境。



## 通风方式分类

按通风的动力分为

- 自然通风 最经济的方式
- 机械通风

按通风系统作用范围分为

- 局部通风 最有效的方式
- 全面通风
- 事故通风

**排风**—把不符合卫生标准的污浊空气**排至**室外；

**送风（进风）**—把新鲜空气或经过净化后的空气**送入**室内。



## 2.1 局部通风

🌀 **局部排风**：在集中产生污染物的局部地点，设置捕集装置，将有害物排走，以控制有害物向室内扩散。这是防毒、排尘最有效的通风方法。

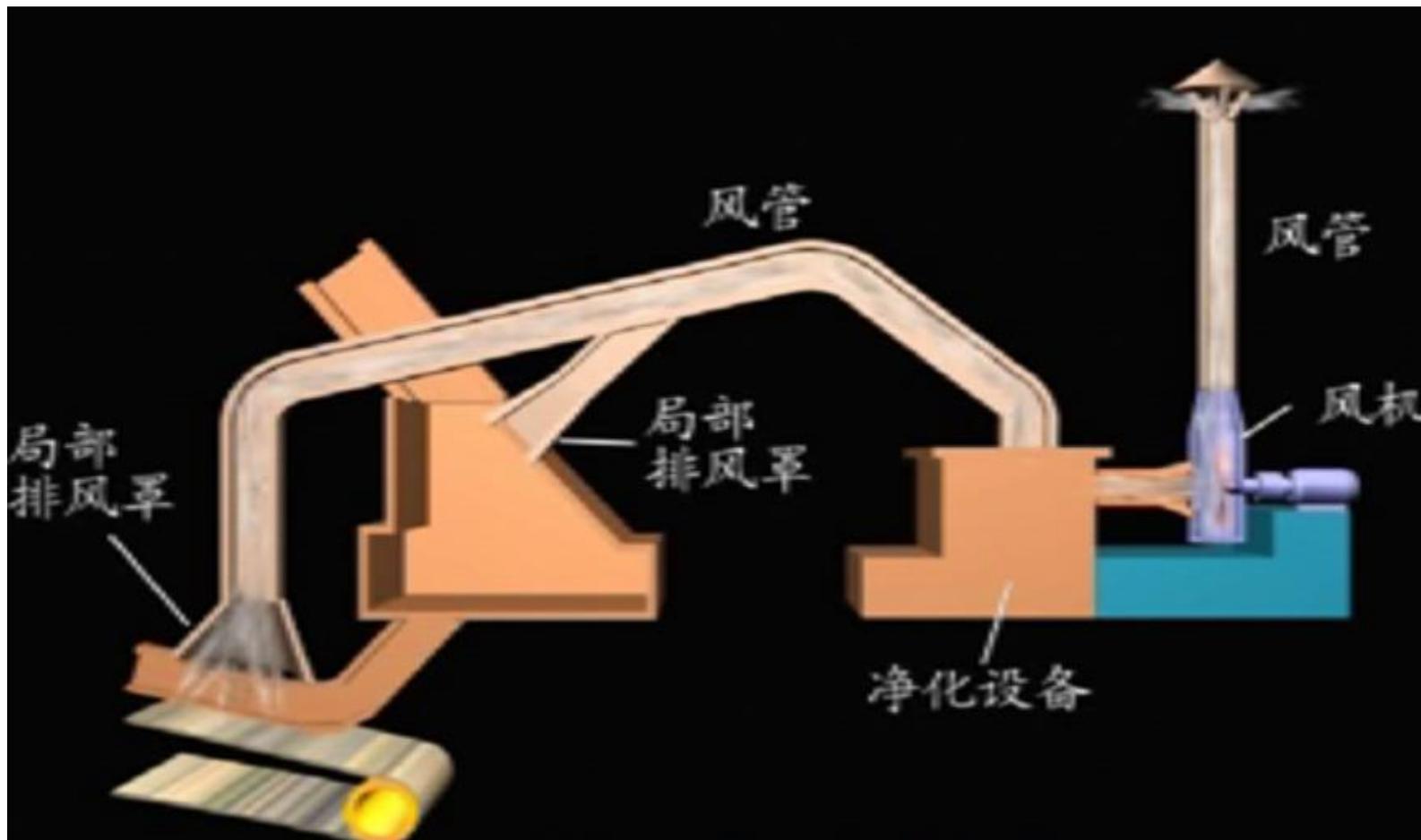
🌀 **局部送风**：向局部工作地点送风，在局部区域营造良好的空气环境。主要用于局部降温。

- **分散式** 借助风机，对室内空气进行再循环。风扇、空调扇
- **系统式** 通风系统将室外空气送至工作地点。



## 二、局部排风系统组成

一般由排风罩、风机、风管和净化设备四个部分组成。





中原工学院  
Zhongyuan University of Technology



## 局部排风系统的组成





中原工学院  
Zhongyuan University of Technology



## 局部排风系统的组成





中原工学院  
Zhongyuan University of Technology



## 局部排风系统的组成





## 局部通风系统组成:

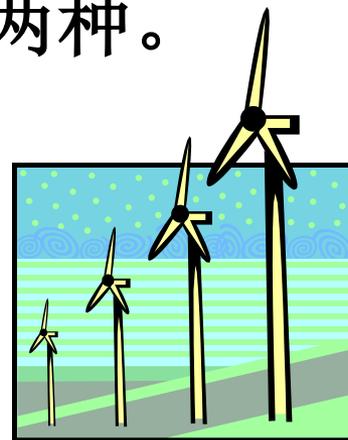
- 1) **排风罩**: 局部排风罩是用来**捕集有害物**的。
- 2) **风管**: 通风系统中**输送**气体的**管道**称为风管, 它把系统中的各种设备或部件连成了一个整体。为了提高系统的经济性, 应合理选定风管中的气体流速, 管路应力求**短而直**。
- 3) **净化设备**: 净化设备分除尘设备和有害气体净化设备两类。
- 4) **风机**: 系统中提供空气流动的动力装置。



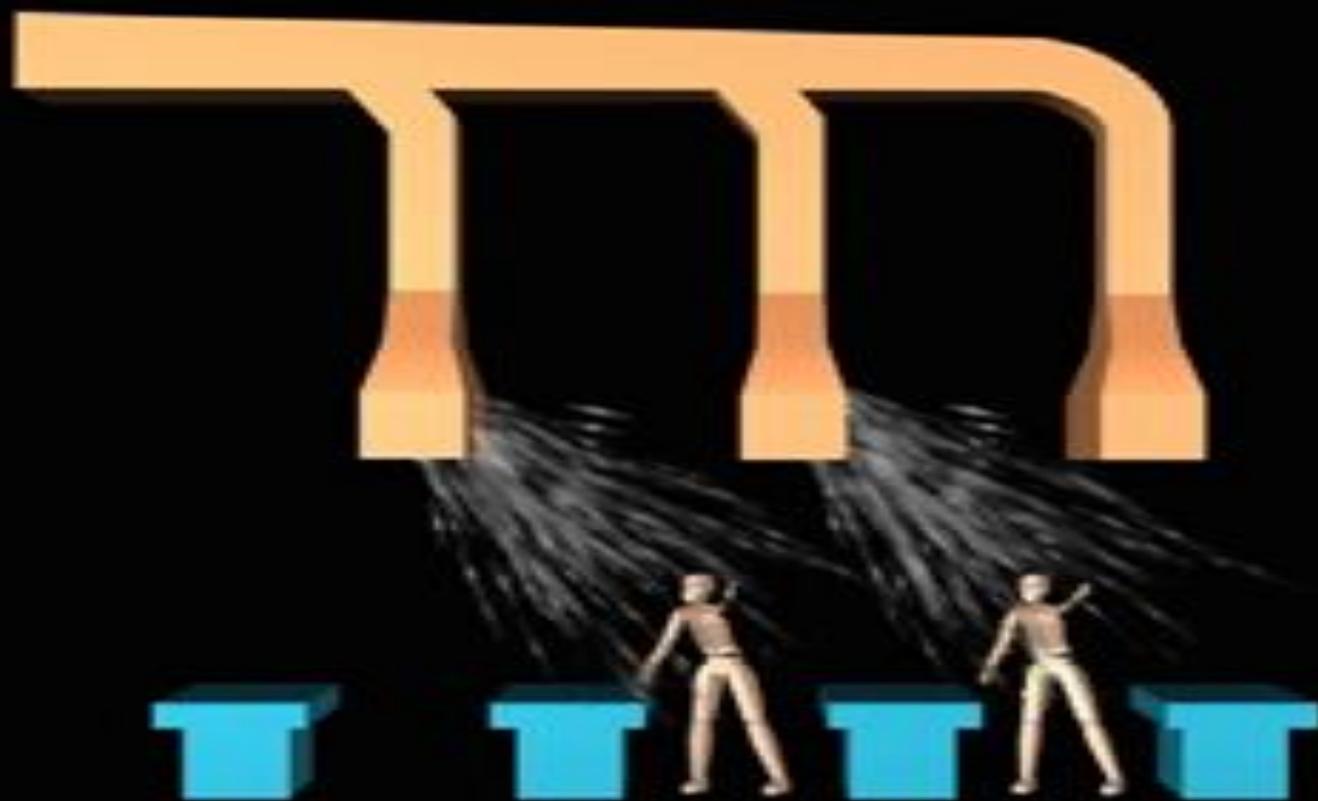
## 二、局部送风

将新鲜空气或经过适当处理后的空气送至工人作业地带，以改善操作区空气质量、提高工作效率的方法。

局部送风系统分为**系统式**和**分散式**两种。



# 局部通风方式



## 系统式局部送风系统

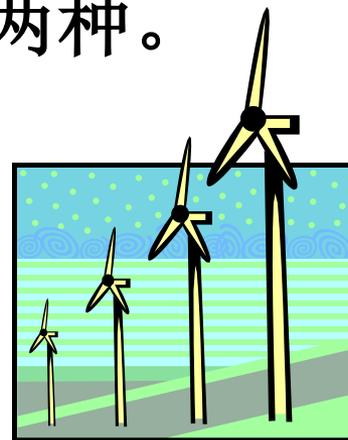
东方仿真COPYRIGHT



## 二、局部送风

将新鲜空气或经过适当处理后的空气送至工人作业地带，以改善操作区空气质量、提高工作效率的方法。

局部送风系统分为**系统式**和**分散式**两种。





## 2.2 全面通风

### 全面通风原理

一方面用**清洁空气稀释**室内空气中的**污染物浓度**，同时，不断把**污染空气排出室外**，使室内空气中污染物的浓度**不超过卫生标准规定的最高允许浓度**

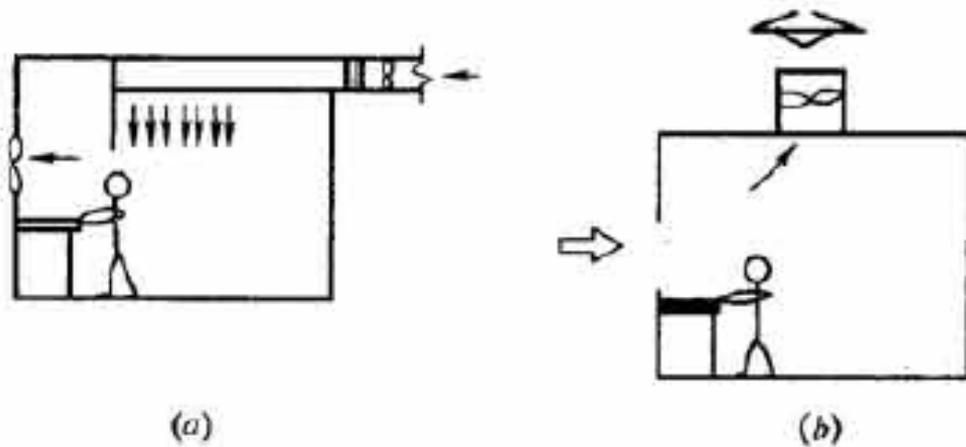
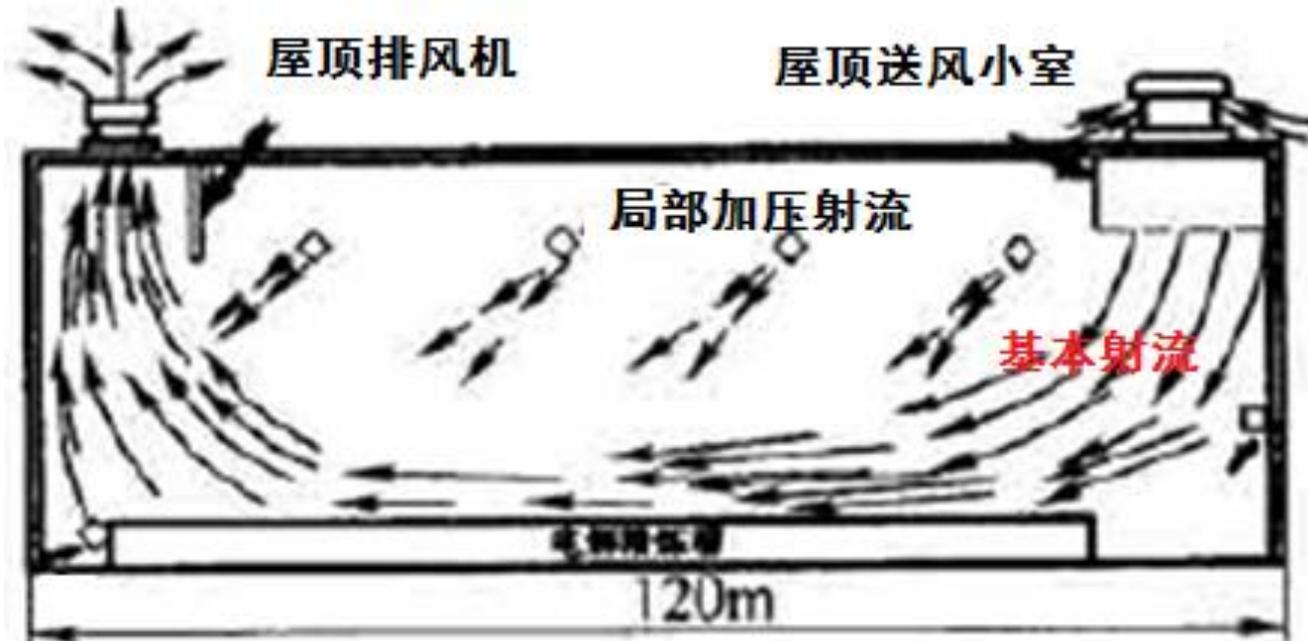


图 2-3 气流组织方式

**通风效果：** 通风量和气流组织

## 全面通风分类:

- 稀释通风
- 单向流通风
- 均匀流通风
- 置换通风



特点：只保证人员呼吸区

特点：利用气流均匀压出和置换污染空气



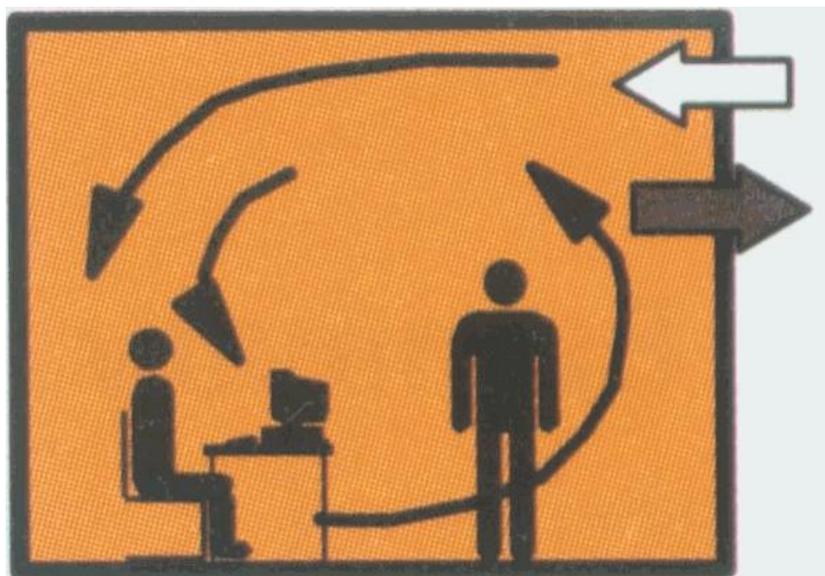
均匀流通风方式示意图



## 置换通风

有别于传统的混合通风的混合稀释原理，置换通风是通过把较低风速（紊流度）的新鲜空气送入人员工作区，利用挤压的原理把污染空气挤到上部空间排走的通风方法，它能在改善室内空气品质的基础上与辐射吊顶（地板）技术结合实现节能的目的。

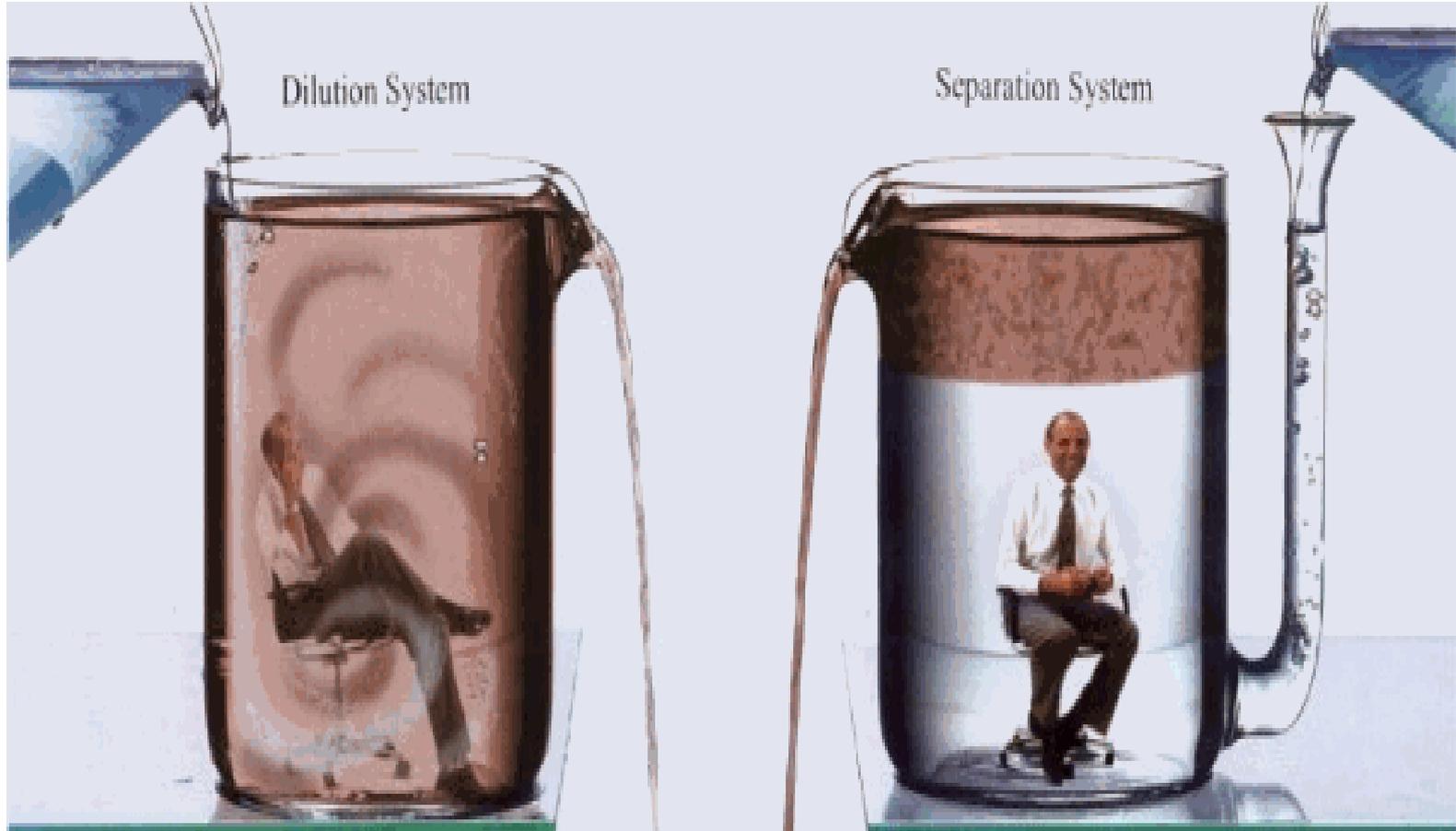
特点：保证工作区



混和通风



置换通风



混和通风

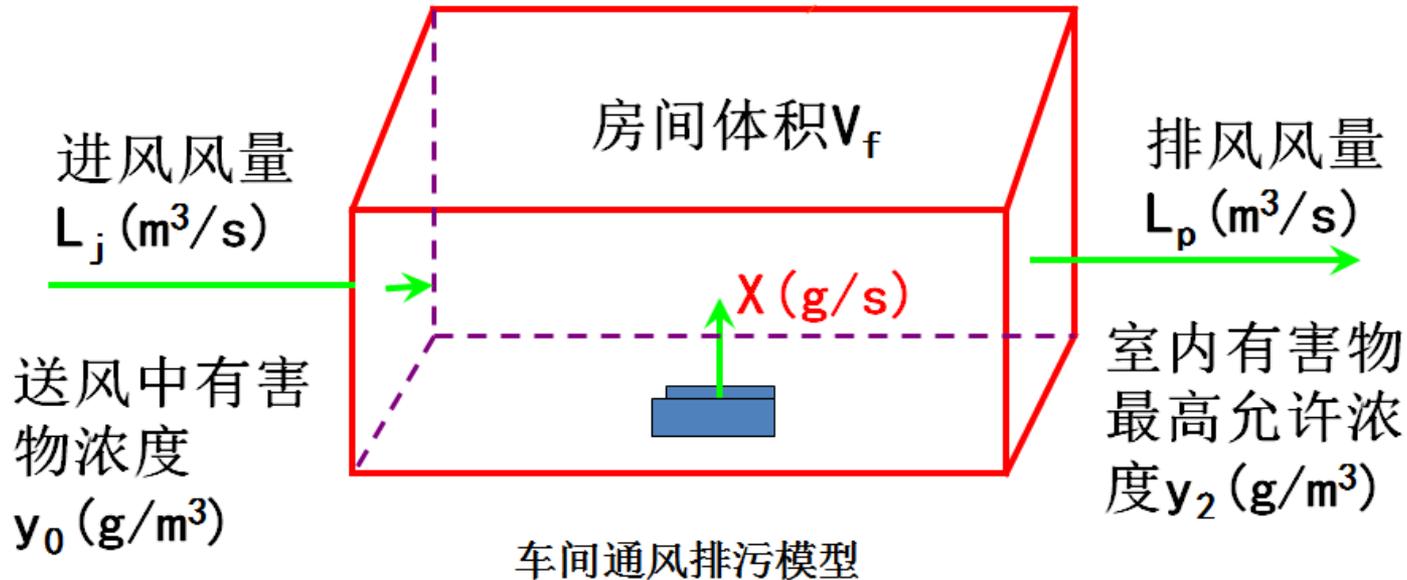
置换通风



## § 2.2 全面通风换气量的计算

一、计算依据 风量平衡、热量平衡、污染物量的平衡

风量平衡、污染物量的平衡是指**质量守恒**



排污微分方程：**污染物的量质量守恒**

在  $d\tau$  时间内：**送入量+散发量-排走量=变化量**

$$\text{则： } L_j y_0 d\tau + x d\tau - L_p y_2 d\tau = V_f dy$$



## 排污微分方程求解

$$\frac{dy}{Ly_0 + x - Ly} = \frac{d\tau}{V_f} \Rightarrow \int_{y_1}^{y_2} -\frac{1}{L} \frac{d(Ly_0 + x - Ly)}{Ly_0 + x - Ly} = \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{V_f}$$

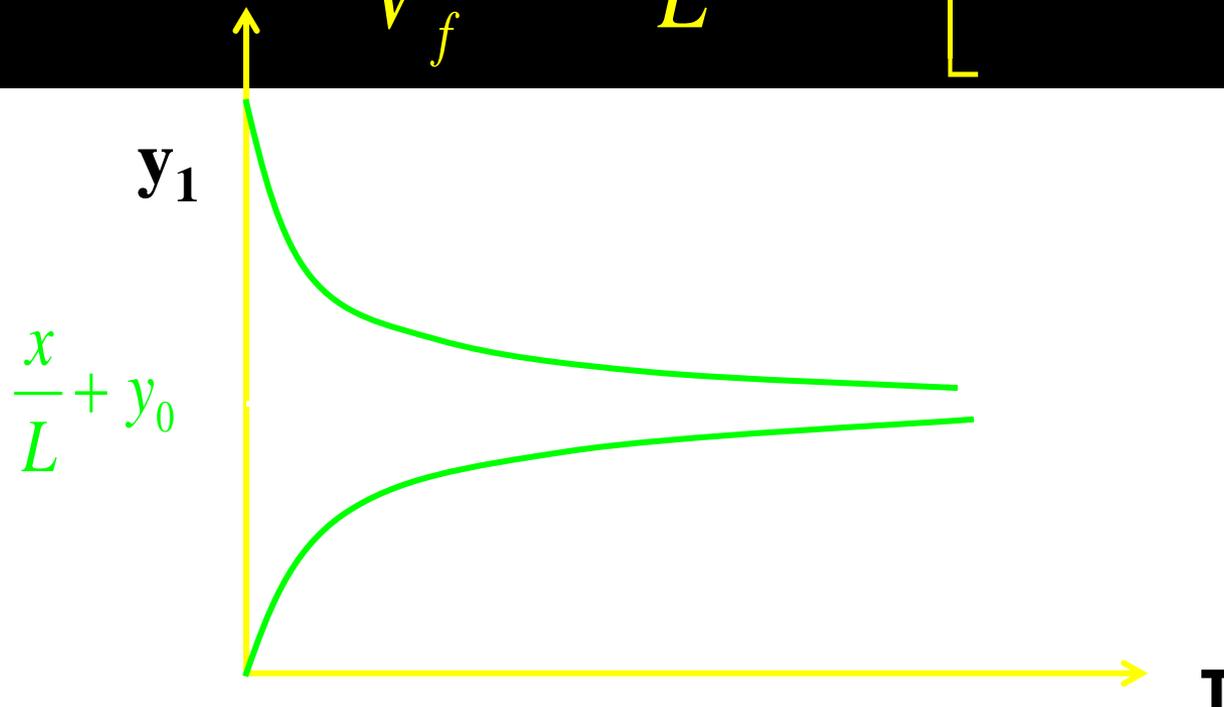
$$\Rightarrow -\frac{1}{L} \ln(Ly_0 + x - Ly) \Big|_{y_1}^{y_2} = \frac{\tau}{V_f} \Rightarrow \ln \frac{Ly_0 + x - Ly_1}{Ly_0 + x - Ly_2} = \frac{L\tau}{V_f}$$

$$\Rightarrow \frac{Ly_0 + x - Ly_1}{Ly_0 + x - Ly_2} = \exp\left(\frac{\tau L}{V_f}\right)$$



## 排污微分方程求解

$$y_2 = y_1 \exp\left(-\frac{\tau L}{V_f}\right) + \left(\frac{x}{L} + y_0\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau L}{V_f}\right)\right]$$



有害物浓度随时间的变化曲线



风量公式:

$$\frac{dy}{d\tau} = 0, \text{ 或 } \tau \rightarrow \infty, \exp\left(-\frac{\tau L}{V_f}\right) \rightarrow 0$$

$$L_j y_0 d\tau + x d\tau - L_p y_2 d\tau = V_f dy$$

稳定状态下:

$$y_2 = \frac{X}{L} + y_0 \Rightarrow y_2 = y_s \Rightarrow L = \frac{X}{y_s - y_0}$$

考虑到室内有害物分布及通风气流的不均匀性, 增大安全系数 $K=3-10$ , 则

$$L = \frac{KX}{y_2 - y_0}$$

$y_s$ ——有害物安全浓度值

## 一、稳定工况，只有一种有害物时排风量计算：

$$L = \frac{Kx}{y_2 - y_0}$$

通风不均匀  
污染物散发不均匀  
混合过程缓慢  
有毒性

**K**：民用建筑，车库中都取1

## 二、稳定工况，有余热余湿时排风量计算：

同时存在  
取大值

### 全面通风量的确定

消除余热风量公式：

$$G = \frac{Q}{c(t_p - t_0)}$$

消除余湿风量公式：

$$G = \frac{W}{d_p - d_0}$$



### 三、稳定工况，多种有害物时排放量计算：

存在多种有害物时排风量确定原则及步骤：

1、**分别求出**排出每种有害物所需要的排风量 $L_i$

2、观察和分析污染物毒性：

- 有害物的毒性**无相加作用**：取**最大值**为系统排风量。

计算式： $L=\max\{L_i\}$

- 有害物的毒性是**相加作用**：如苯、醇、醋酸等溶剂类； $S_2O_3$ 、 $SO_3$ 、 $HF$ 及其盐类等刺激性气体，按**求和公式**计算

排风量： $L=\sum L_i$



## 四、不稳定工况，多种有害物时排放量计算：

在工程设计中全面换气量可按类似房间**换气次数**的经验数值进行计算。

**换气次数：每小时的通风量与通风房间体积的比值。**

- 即：若房间体积 $V_f$  ( $m^3$ )、换气量为 $L(m^3/s)$ ，则每小时换气次数 $N$ （可以从有关资料查得）为：

$$N = \frac{3600L}{V_f} \quad (\text{次/h})$$



**【例2-2】** 某车间**同时**散发几种有机溶剂的蒸汽，散发量分别为：苯 2kg/h；醋酸乙脂 1.2kg/h；乙醇 0.5kg/h。已知该车间消除余热所需的全面通风量为 $50\text{m}^3/\text{s}$ 。求该车间所需的全面通风量。

**【解】** 由附录查得三种溶剂蒸汽的容许浓度为：苯  $40\text{mg}/\text{m}^3$ ；醋酸乙脂  $300\text{mg}/\text{m}^3$ ；乙醇，未作规定，不计风量。

进风为清洁空气，上述三种溶剂蒸汽的浓度为零；  
取安全系数 $K=6$ 。

计算把三种溶剂的蒸汽稀释到容许浓度所需的通风量：

$$L = \frac{Kx}{y_2 - y_0}$$



$$\text{苯} \quad L_1 = \frac{X_1}{y_2 - y_0} = \frac{6 \times 2 \times 10^6}{3600(40 - 0)} = 83.34 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{醋酸乙脂} \quad L_2 = \frac{X_2}{y_2 - y_0} = \frac{6 \times 1.2 \times 10^6}{3600(300 - 0)} = 6.67 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{乙醇} \quad L_3 = 0$$

因为几种溶剂同时散发对人体危害作用相同的蒸汽，所需风量为各自风量之和，即

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = 83.34 + 6.67 = 90.01 \text{ m}^3 / \text{s}$$

该排风量已能满足消除余热的需要（已知 $50 \text{ m}^3 / \text{s}$ ），故该车间所需的全面通风量为 $90.01 \text{ m}^3 / \text{s}$ 。



## 2.2.2 气流组织

### 气流组织：

送风、排风口位置的合理布置，选用合理的风口形式，合理分配风流。

### 气流组织原则：

- 能避免把害物吹向作业人员操作区；
- 能有效地从污染源附近或有害物浓度最大的区域排出污染空气；



## 气流组织原则:

1. **排风口尽量靠近**有害物源或有害物浓度高的区域，把有害物迅速从室内排出。
2. **送风口应接近操作地点**。送入通风房间的清洁空气，要先经过操作地点，再经污染区排至室外。
3. 在整个通风房间，尽量**使进风气流均匀分布**，减少涡流，避免有害物在局部地区积聚。

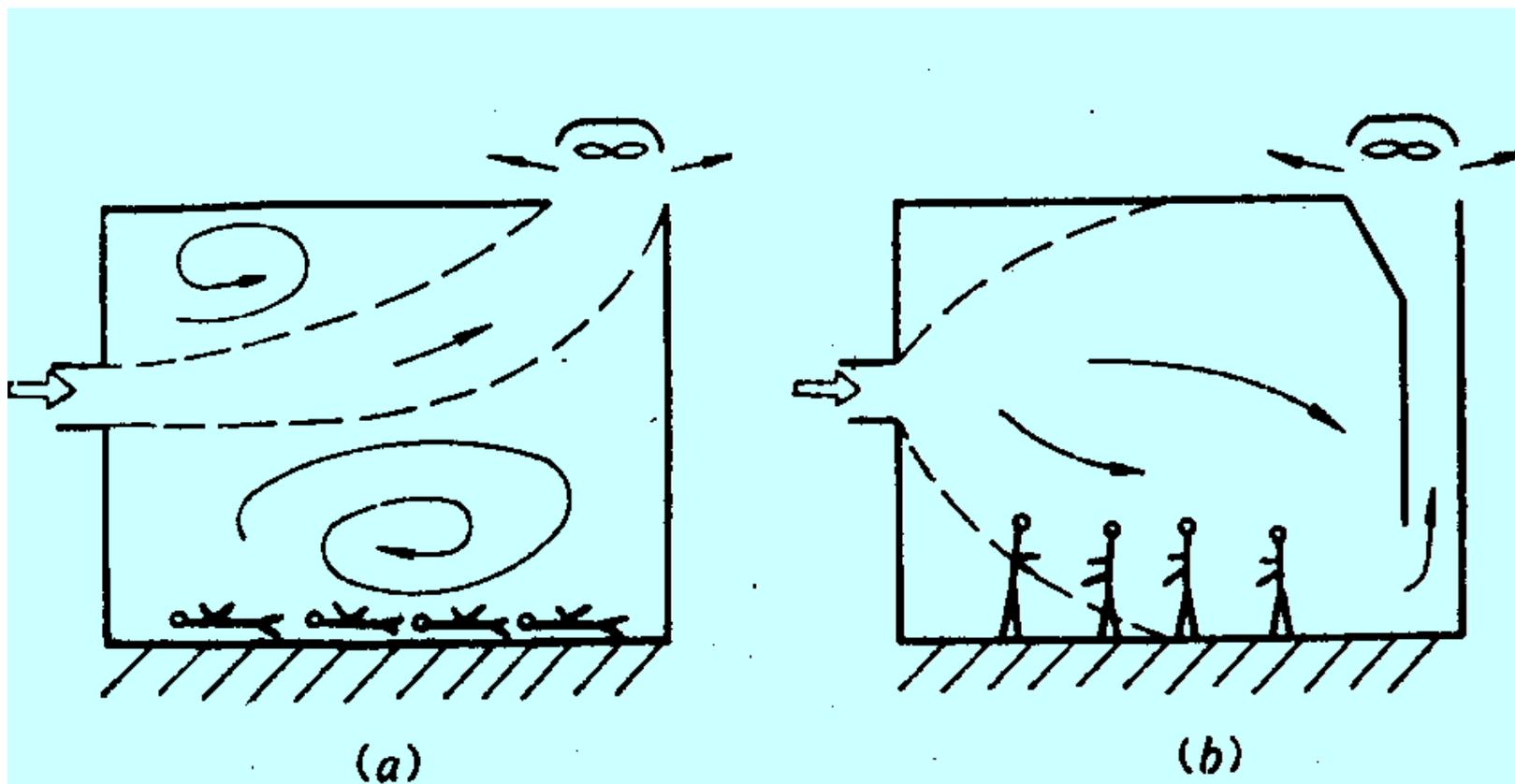
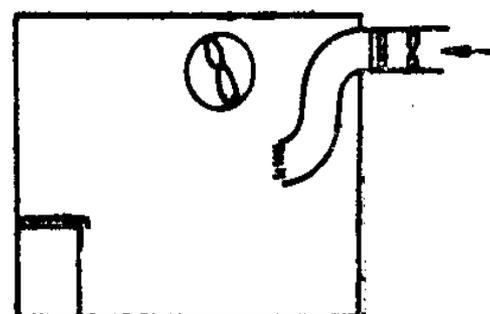
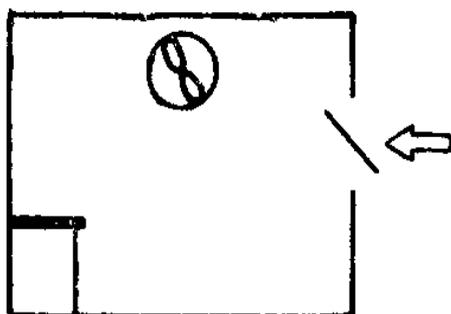
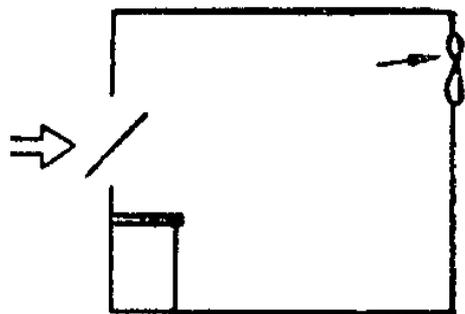
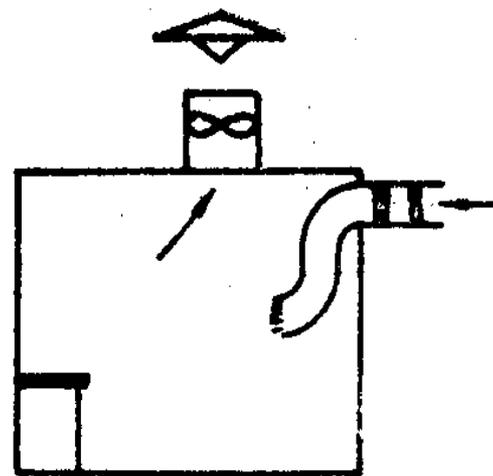
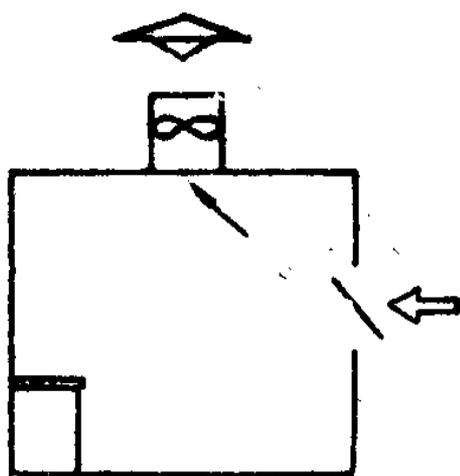
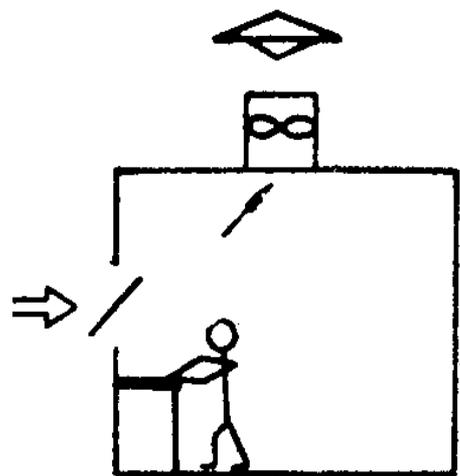


图 某车间气流组织实例

# 气流组织形式:

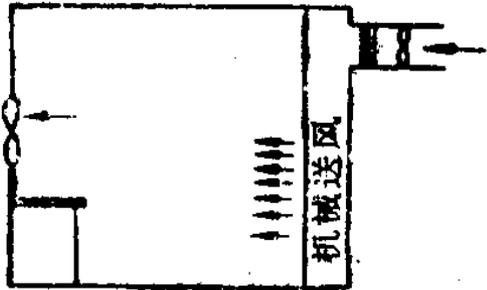
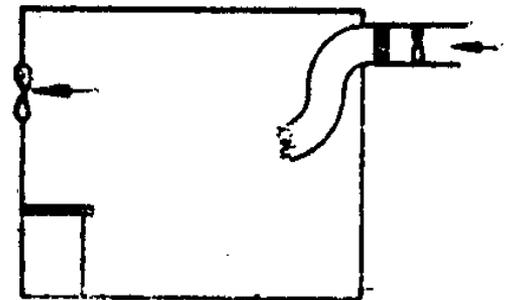
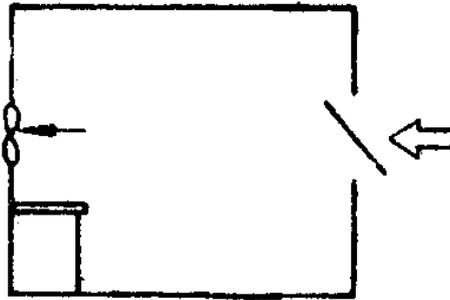
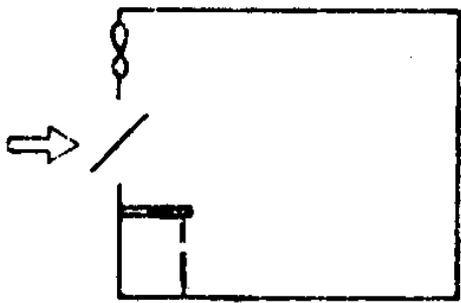


(d) 送风口位置不好

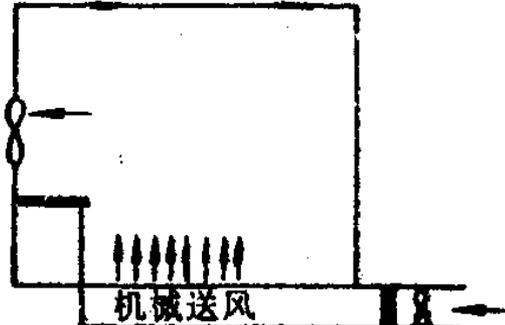
(e) 送风口位置一般  
排风扇位置不好

(f) 送风口位置较好

# 气流组织形式

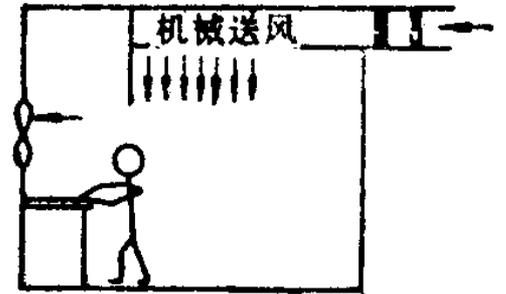


(d) 送风口位置好



(e) 送风口位置好

排风扇位置较好



(f) 送排风均好

暖规规定，机械送风的送风方式有哪些要求？排风量有哪些要求？（看课本）



# 风量平衡与热平衡

## 一、风量平衡

在通风房间中，单位时间进入室内的**空气质量**应和同一时间内排出的**空气质量保持相等**，即通风系统的空气质量要保持平衡，这就是一般说的**风量平衡**。

**通风系统设计时为什么要考虑风量平衡和热平衡？**

通风房间的风量平衡，热平衡是自然界的客观规律。设计时不遵守上述规律，实际运行时，会达到新的平衡，但此时室内状态参数已发生变化，达不到设计预期的要求。



风量平衡的数学表达式为：

$$G_{zj} + G_{jj} = G_{zp} + G_{jp}$$

式中： $G_{zj}$ —自然进风量，kg/s；

$G_{jj}$ —机械进风量，kg/s；

$G_{zp}$ —自然排风量，kg/s；

$G_{jp}$ —机械排风量，kg/s

在设有自然通风的房间中，当机械进、排风量相等（ $G_{jj} = G_{jp}$ ）时，室内压力等于室外大气压力，室内外压差为零。当机械进风量大于机械排风量（ $G_{jj} > G_{jp}$ ）时，室内压力升高，处于正压状态。反之，室内压力降低，处于负压状态。

## 二、热平衡

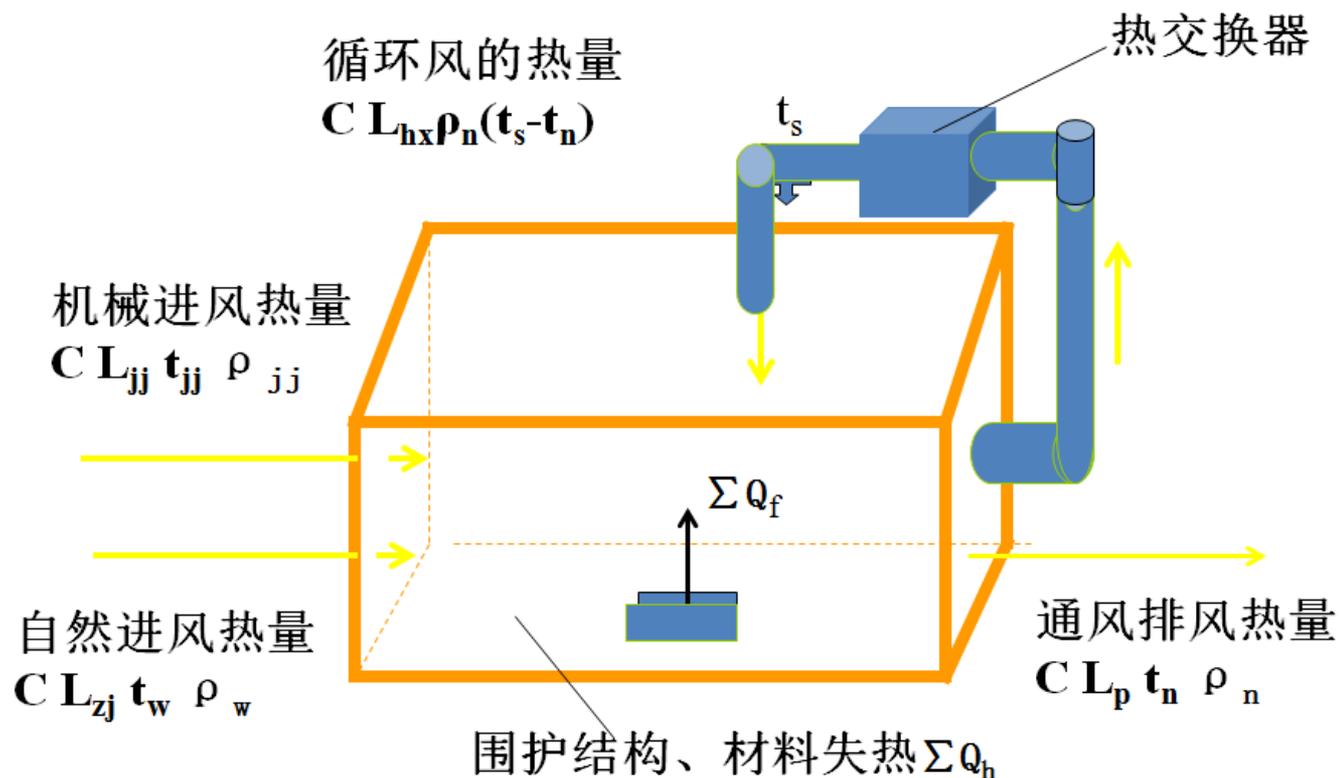
当通风过程处于稳定阶段时，室内的总得热量应等于总失热量，即**热平衡**。

### 显热+潜热

在通风过程中，室内空气通过与进风、排风、围护结构和室内各种高低温热源进行交换，为了使房间内的空气温度维持不变，必须使房间内的**总得热量** $\Sigma Q_d$ 与**总失热量** $\Sigma Q_s$ 相等，也就是要保持房间内的热平衡。即

$$\Sigma Q_d = \Sigma Q_s$$

# 热平衡模型



## 热平衡方程:

$$\text{围护结构、材料失热 } \Sigma Q_h + \text{通风排风热量 } C L_p t_n \rho_n = \text{设备散热量 } \Sigma Q_f +$$

$$\text{机械进风热量 } C L_{jj} t_{jj} \rho_{jj} + \text{循环风的热量 } C L_{hx} \rho_n (t_s - t_n) + \text{自然进风热量 } C L_{zj} t_w \rho_w$$

# 热平衡方程

$$\Sigma Q_h + C L_p t_n \rho_n = \Sigma Q_f + C L_{jj} t_{jj} \rho_{jj} + C L_{zj} t_w \rho_w + C L_{hx} \rho_n (t_s - t_n)$$

## 注意事项

1、排风 { 自然排风：易忽略。通过风量平衡校核。  
机械排风：

2、进风 { 自然进风： 不论何种形式进热风或冷风，都认为是得到热量  
机械进风：

3、温度 { 自然进风：  $t_w$       { 自然排风：  $t_n$   
机械进风：  $t_j$       { 机械排风：  $t_p$

4、计算单位

# 在保证室内工艺和卫生条件的前提下，怎样降低运行能耗，提高通风系统的经济效益？（节能措施）

1、在集中采暖地区，设有局部排风的建筑，因风量平衡需要送风时，应首先考虑**自然补风**（包括利用相邻房间的清洁空气）的可能性。

**自然补风**是指利用该建筑的无组织渗透风量来补偿局部排风量。

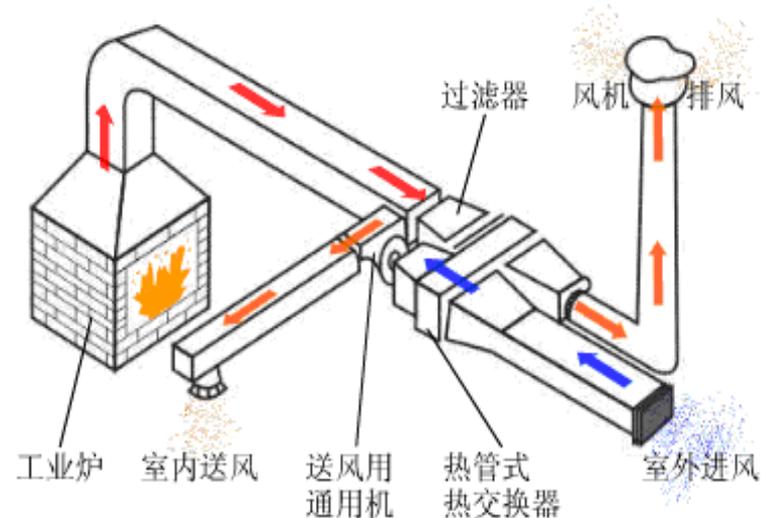
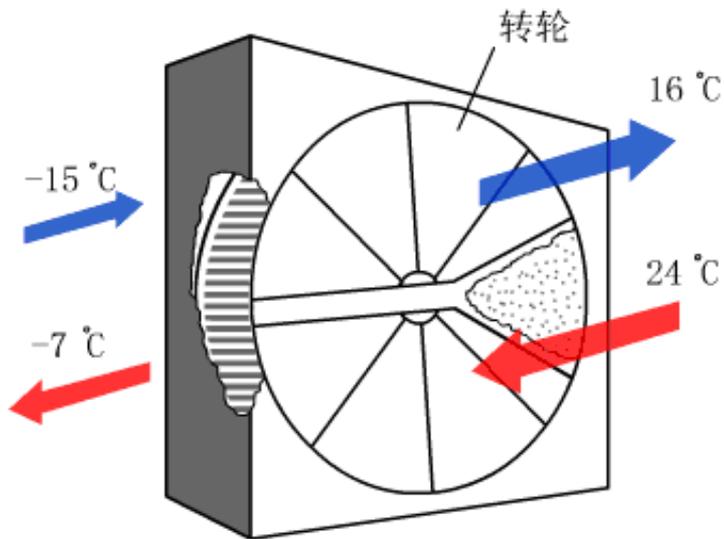
2、当相邻房间未设组织进风装置时，要取其冷风渗透量的50%作为**自然补风**。

3、对于每班运行不足二小时的局部排风系统，经过风量和热量平衡计算，对室温没很大影响时，可不设机械送风系统。

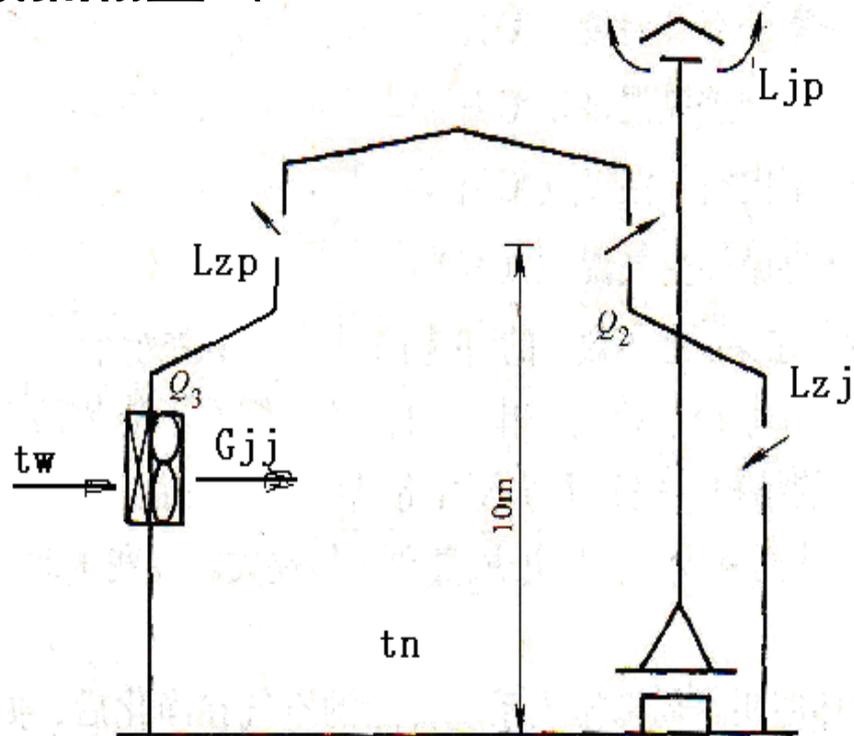
4、把室外空气直接送到局部排风罩或排风罩的排风口附近，补充局部排风系统排出的风量。例如，采用送风通风柜，其70%的排风量由室外空气直接供给，这样的可以减小车间排风热损失。

5、直接吹向工作地点的空气温度，不应低于人体表面温度（34度左右），最好在37~50° C之间。这样，**可避免工人有吹冷风的感觉**，同时还能在保持热平衡的前提下，利用部分无组织进风，适当减小机械进风量；

- 6、净化后的气体再循环使用。对于含尘浓度不太高的局部排风系统，排出的空气经除尘净化后，**有害物质浓度不超过室内最高允许浓度的30%**，如达到卫生标准要求，可以再循环使用；
- 7、为充分利用排风余热，节约能源，在**可能条件下应设置热回收装置**。目前国内已有多种型式的余热回收装置。如下左图是转轮式空气余热交换器，它能回收排风能量的70%。如右图是通过热管换热器，用高温烟气加热室外空气，用作车间的热风采暖。



[例] 如图所示的车间内，生产设备总散热量 $Q_1=350\text{kW}$ ，维护结构失热量 $Q_2=450\text{kW}$ ，上部天窗排风量 $L_{zp}=2.8\text{m}^3/\text{s}$ ，从工作区排走的风量 $L_{jp}=4.25\text{m}^3/\text{s}$ ，自然进风量 $L_{zj}=1.32\text{m}^3/\text{s}$ ，车间工作区温度 $t_n=18^\circ\text{C}$ ，室外空气温度 $t_w=-12^\circ\text{C}$ ，室内的温度梯度为 $0.3^\circ\text{C}/\text{m}$ ，天窗中心高 $10\text{m}$ ，试计算：机械送风量 $G_{jj}$ 、送风温度 $t_j$ 和进风所需的加热量 $Q_3$ 。



[例] 如图所示的车间内，生产设备总散热量 $Q_1=350\text{kW}$ ，维护结构失热量 $Q_2=450\text{kW}$ ，上部天窗排风量 $L_{zp}=2.8\text{m}^3/\text{s}$ ，从工作区排走的风量 $L_{jp}=4.25\text{m}^3/\text{s}$ ，自然进风量 $L_{zj}=1.32\text{m}^3/\text{s}$ ，车间工作区温度 $t_n=18^\circ\text{C}$ ，室外空气温度 $t_w=-12^\circ\text{C}$ ，室内的温度梯度为 $0.3^\circ\text{C}/\text{m}$ ，天窗中心高 $10\text{m}$ ，试计算：机械送风量 $G_{jj}$ 、送风温度 $t_j$ 和进风所需的加热量 $Q_3$ 。

[解] (1) 列出空气平衡方程式

$$G_{jj} + G_{zj} = G_{jp} + G_{zp}$$

(2) 确定天窗排风温度

$$L_{zj}\rho_{-12} + G_{jj} = L_{zp}\rho_{zp} + L_{jp}\rho_{18} \quad t_p = t_n + 0.3(H-2)$$

$$= 20 + 0.3(10-2) = 22.4^\circ\text{C}$$

(3) 确定相应温度的空气密度

$$\rho = 1.293 \frac{273}{273+t} \text{ kg/m}^3 \quad \rho_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{-12} = 1.35 \text{ kg/m}^3; \quad \rho_{18} = 1.21 \text{ kg/m}^3; \quad \rho_{20.4} = 1.20 \text{ kg/m}^3;$$

(4) 则机械进风量为

$$\begin{aligned} G_{jj} &= L_{zp} \rho_{20.4} + L_{jp} \rho_{18} - L_{zj} \rho_{-12} \\ &= (2.8 \times 1.2 + 4.25 \times 1.21 - 1.32 \times 1.35) \text{kg/s} = 6.27 \text{kg/s} \end{aligned}$$

(5) 列出热平衡方程式

$$Q_1 + G_{jj} C t_j + G_{zj} c t_w = Q_2 + G_{jp} c t_n + G_{zp} C t_p$$

把已知数值代入上式，得

$$\begin{aligned} &350 + 6.72 \times 1.01 t_j + 1.32 \times 1.01 \times 1.35 \times (-12) \\ &= 450 + 2.8 \times 1.01 \times 1.2 \times 20.4 + 4.25 \times 1.01 \times 1.21 \times 18 \end{aligned}$$

解上式得机械进风温度  $t_j = 41.78^\circ\text{C}$ ;

(6) 加热机械进风所必须的热量

$$Q_3 = G_{jj} C (t_j - t_w) = [6.72 \times 1.01 \times (41.78 + 12)] \text{ kW} = 365 \text{ kW}$$



## § 2.4 事故通风

对于有可能突然从设备或管道中逸出大量有害气体或燃烧爆炸性气体的房间, 应设事故排风系统, 以便发生逸出事故时由事故排风系统和经常使用排风系统共同排风, 尽快把有害物排到室外。事故通风系统的风机开关应设于便开启的地点, 排除有爆炸有害气体时, 应考虑风机防爆问题。

事故通风的换气次数根据车间高度和有害气体的最高容许浓度大小来确定:

- 最高容许浓度 $>5\text{mg}/\text{m}^3$ 时, 车间高度 $\leq 6\text{m}$ 者换气 $\geq 8$ 次/时, 车间高度 $>6\text{m}$ 者, 换气 $\geq 5$ 次/时。
- 最高容许浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 时, 上述换气次数应乘以1.5。