

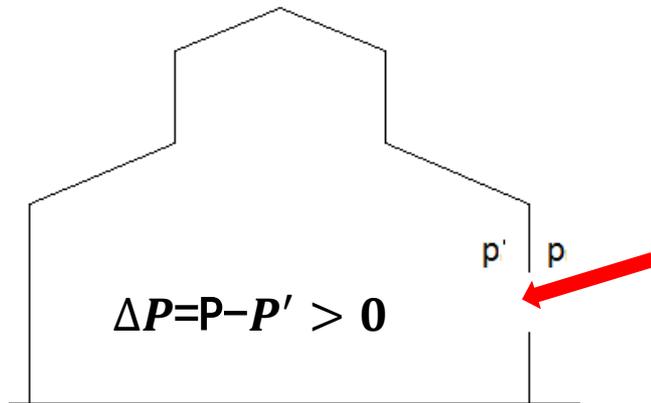
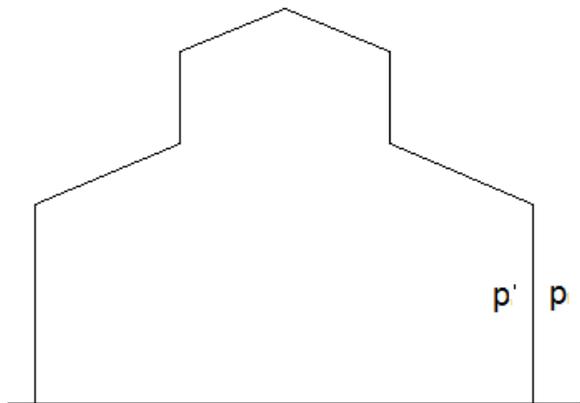
自然通风

概念：是指利用自然风为动力和存在温差的空气循环动力进行通风，不需要消耗机械动力的一种通风方式。

作用：利用室内外气流交换，降低室温和排除湿气，保证房间正常气候条件与新鲜洁净的空气；房间有一定空气流动，可加强人体的对流和蒸发散热，改善人们的工作和生活条件。

特点：不需动力，经济；但进风不能预处理，排风不能净化，污染周围环境；且通风效果不稳定。

7.1 自然通风的作用原理



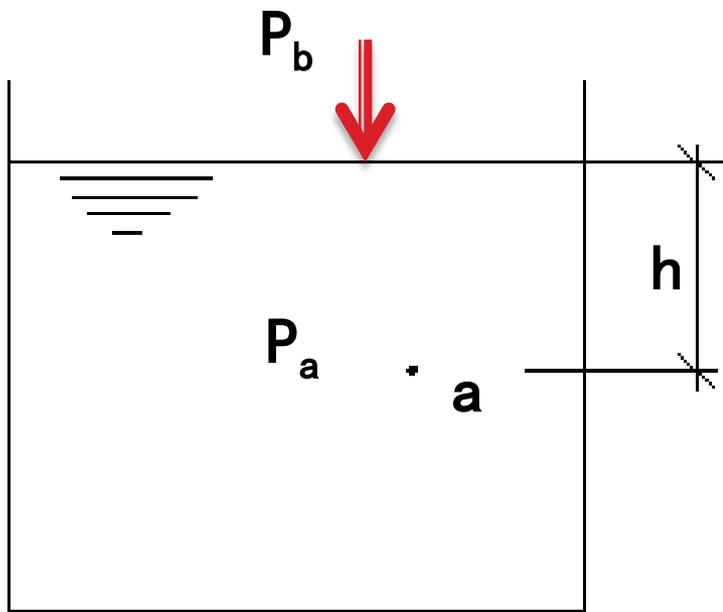
建筑物外墙上的窗孔两侧存在压力差，就会有空气流通，空气流过该窗孔时的阻力 ΔP 等于窗孔两侧压力差：

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2} \longrightarrow v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi \rho}} = \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (\text{其中 } \mu = \sqrt{\frac{1}{\xi}})$$

通过窗口的空气量 (kg/s)：

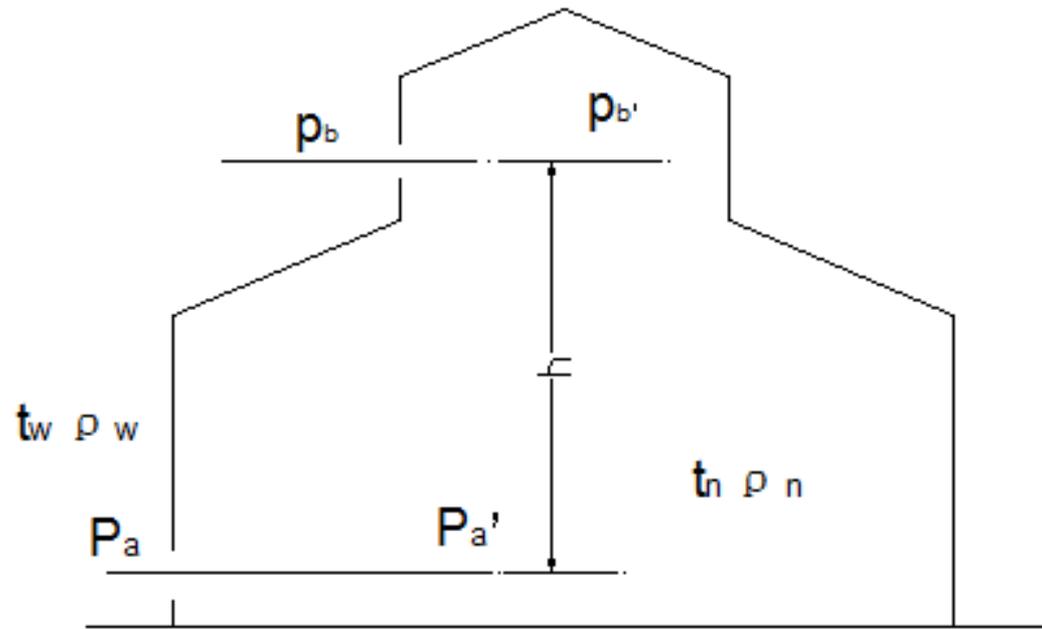
$$G = L \cdot \rho = vF \cdot \rho = \mu F \sqrt{2\Delta P \rho}$$

v 空气流过窗孔时的流速；
 μ 窗孔的流量系数；
 ξ 窗孔的局部阻力系数；
 F 窗孔的面积。



$$P_a = P_b + \rho gh$$

$$P_b = P_a - \rho gh$$



$$P_b = P_a - \rho_w gh$$

$$P_b' = P_a' - \rho_n gh$$

已知: $t_n > t_w, \rho_n < \rho_w$

$$\Delta P_b = (P_b' - P_b) = (P_a' - gh\rho_n) - (P_a - gh\rho_w)$$

$$= (P_a' - P_a) + gh(\rho_w - \rho_n) = \Delta P_a + gh(\rho_w - \rho_n)$$

$$\Rightarrow \Delta P_b + (-\Delta P_a) = \Delta P_b + |\Delta P_a| = gh(\rho_w - \rho_n) \text{热压}$$

7.1.1 热压作用下的自然通风

★ 热压：取决于室内外空气温差所致的空气容重差和进出气口的高度差。

1、 单层建筑

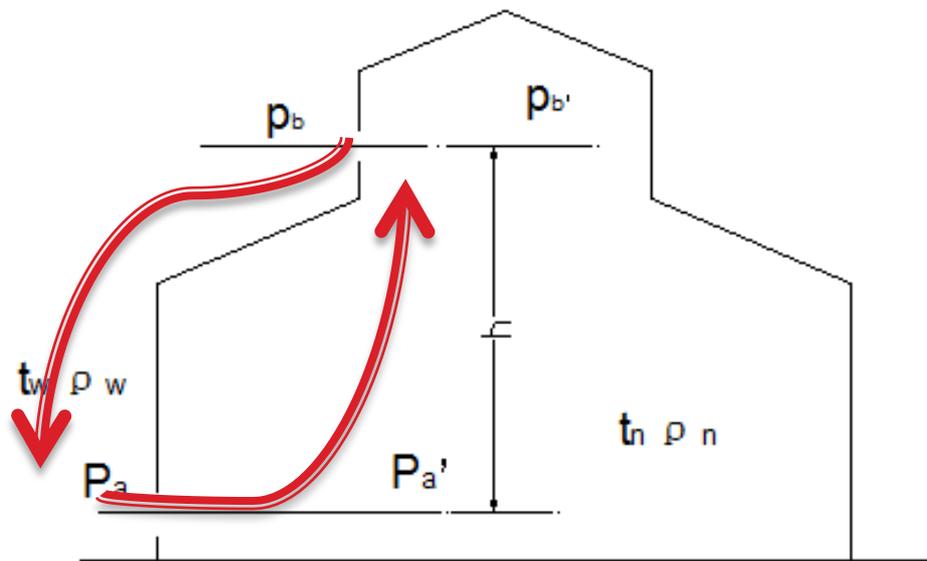


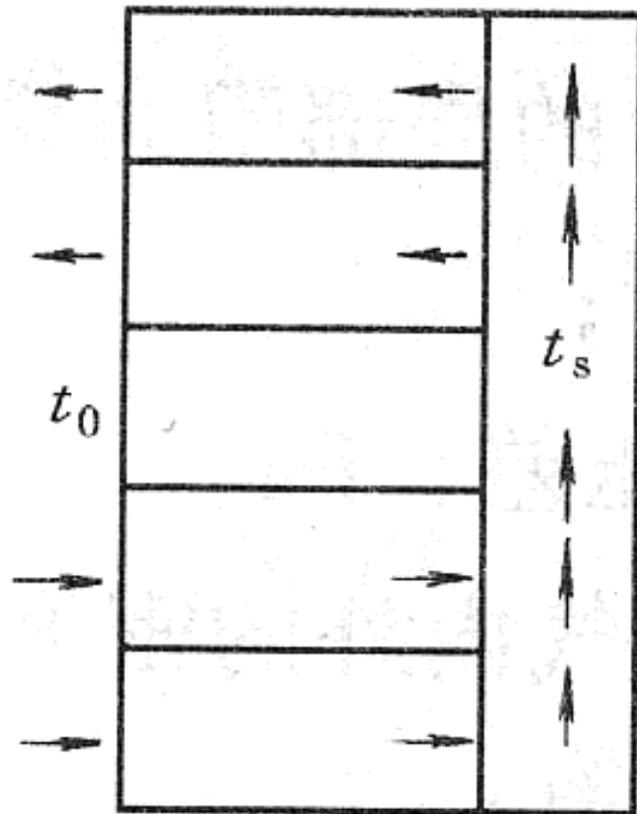
图8.11 热压作用下的自然通风

已知： $t_n > t_w$, $\rho_n < \rho_w$

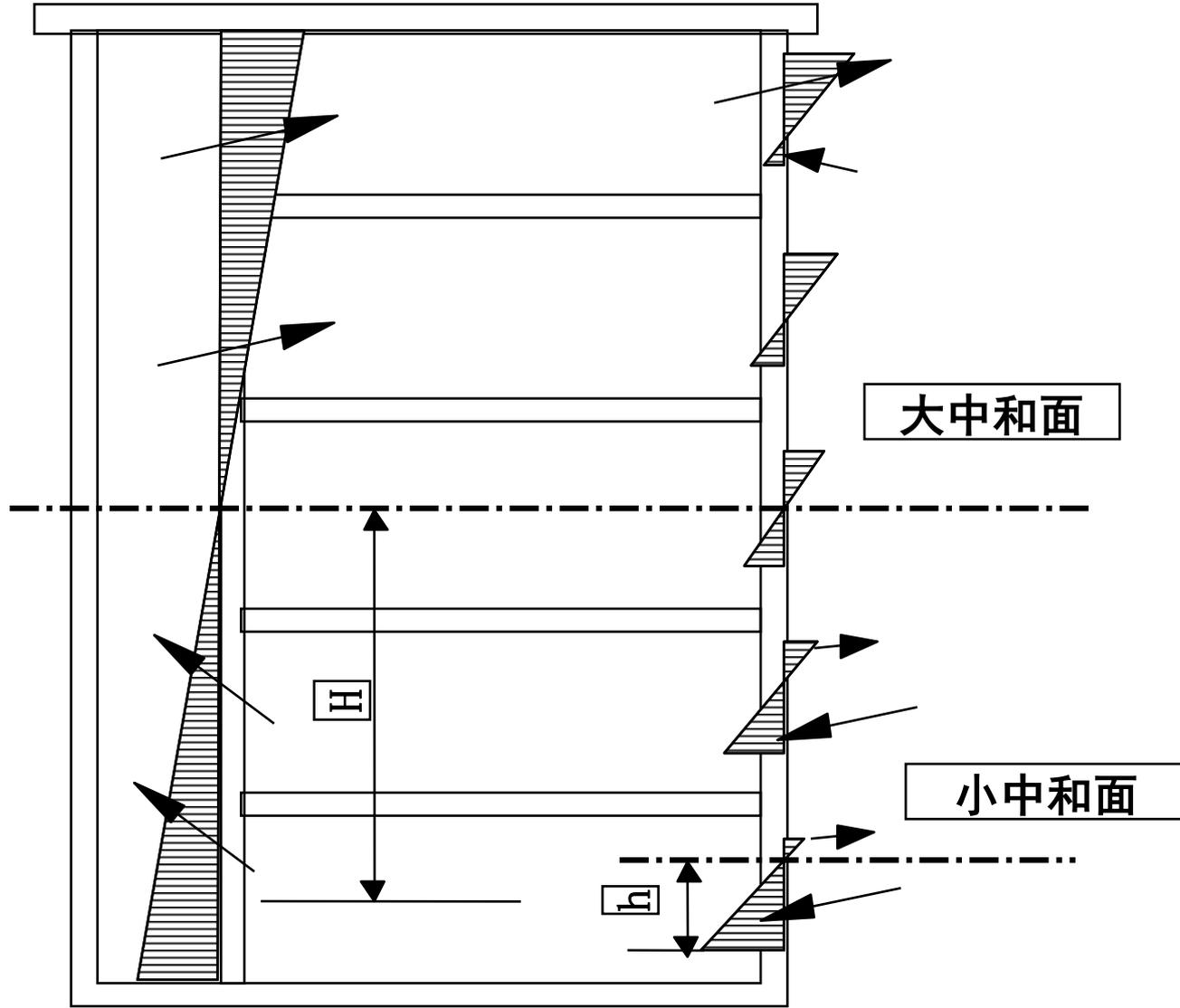
$$\Delta P_b + (-\Delta P_a) = \Delta P_b + |\Delta P_a| = gh(\rho_w - \rho_n) \text{热压}$$

2 多层建筑

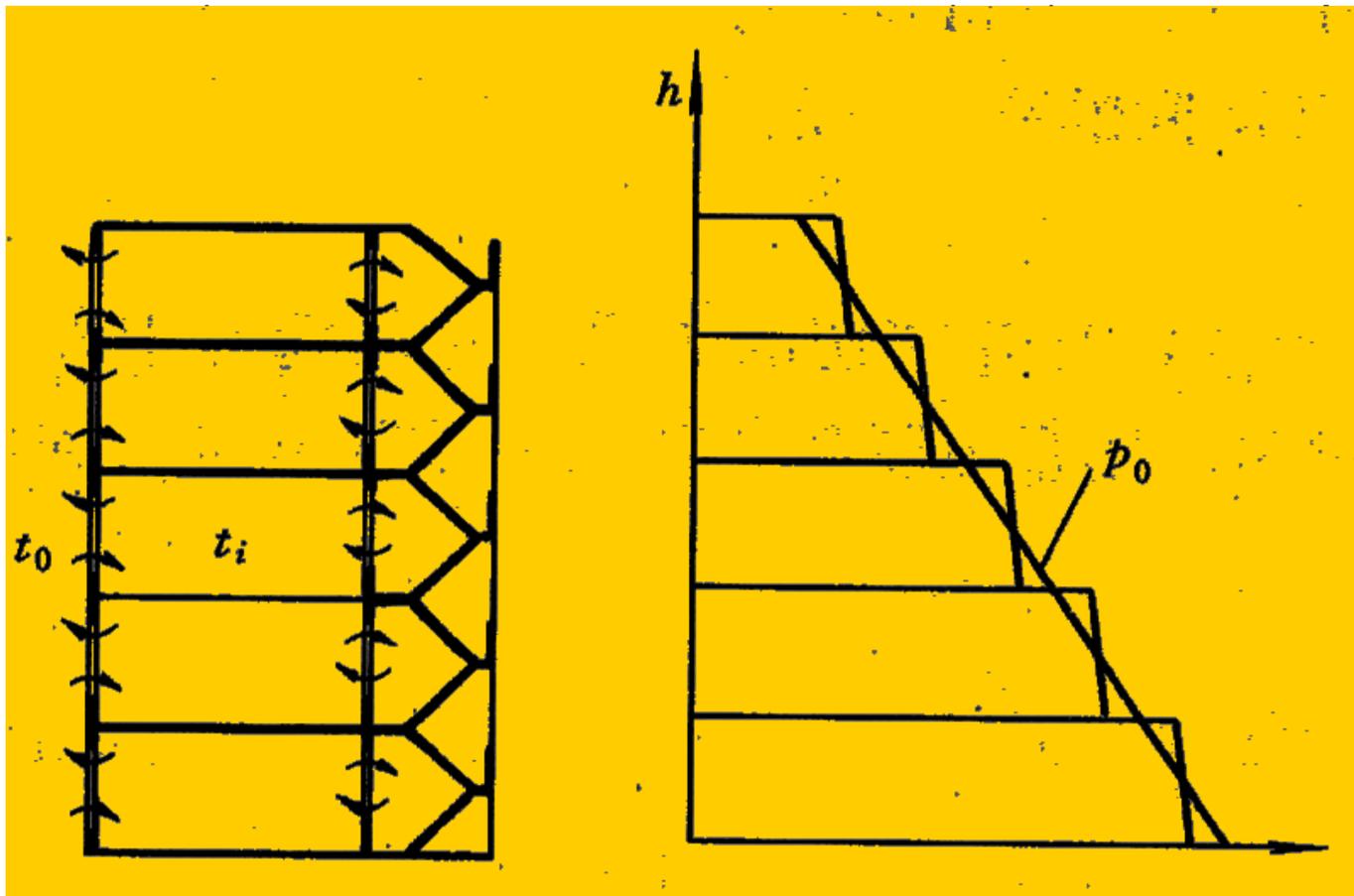
如果是一多层建筑物，仍设室内温度高于室外温度，则室外空气从下层房间的外门窗缝隙或开启的洞口进入室内，经内门窗缝隙或开启的洞口进入楼内的垂直通道向上流动，最后经上层的内门窗缝隙或开启的洞口和外墙的窗、阳台门缝或开启的洞口排至室外。这就形成了多层建筑物在热压作用下的自然通风也就是所谓的“**烟囱效应**”。



多层建筑的热压引起的自然通风

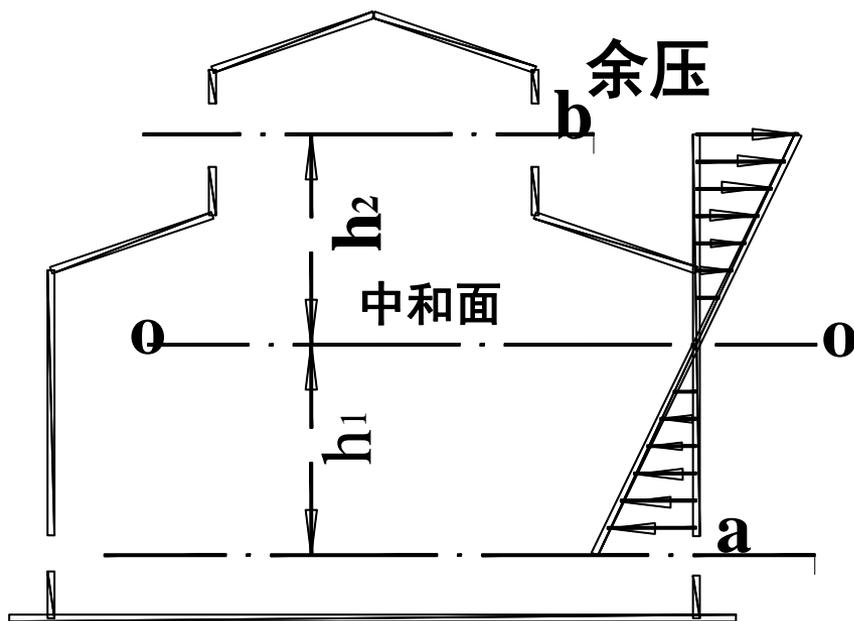


如果建筑物内没有“烟囱”（与室外有联系的竖向通道），也就没有相应的“烟囱效应”。



外廊式多层建筑在热压作用下的自然通风

★ **余压：室内某一点的的压力和室外同标高未受建筑或其他物体扰动的空气压力的差值称为该点的余压。**



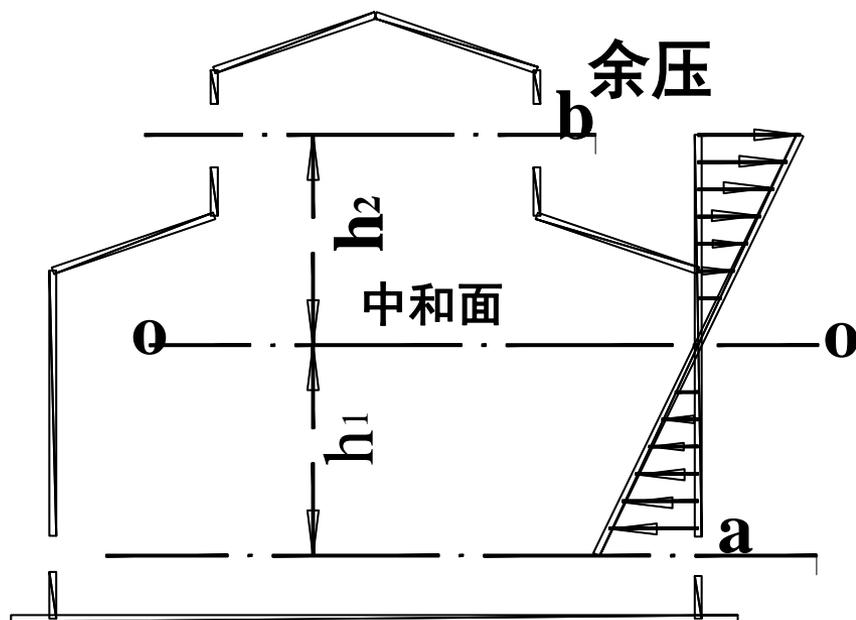
ΔP_x — 某窗孔的内外压差；
 ΔP_a — 窗孔a的内外压差；
 h' — 某窗孔至窗孔a的高度差；
 P_{xa} — 窗孔a的余压。

$$\begin{aligned} \Delta P_b &= (P_{b'} - P_b) = (P_{a'} - gh\rho_n) - (P_a - gh\rho_w) \\ &= (P_{a'} - P_a) + gh(\rho_w - \rho_n) = \Delta P_a + gh(\rho_w - \rho_n) \end{aligned}$$

$$\Delta P_x = \Delta P_{xa} + gh'(\rho_w - \rho_n) \quad \text{使用公式时，注意上下位置关系！}$$

余压等于零的平面称为中和面。中和面上的窗孔没有空气的流动。

作业：



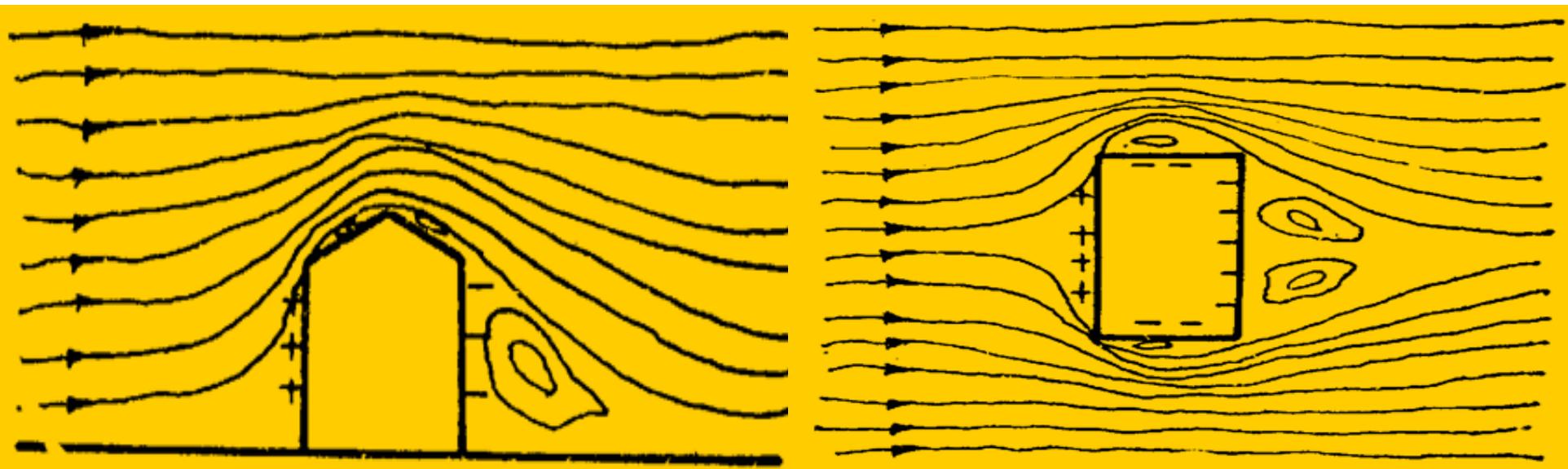
根据图分析当室内温度大于室外温度时，室内余压的变化规律。

7.1.3 风压作用下的自然通风

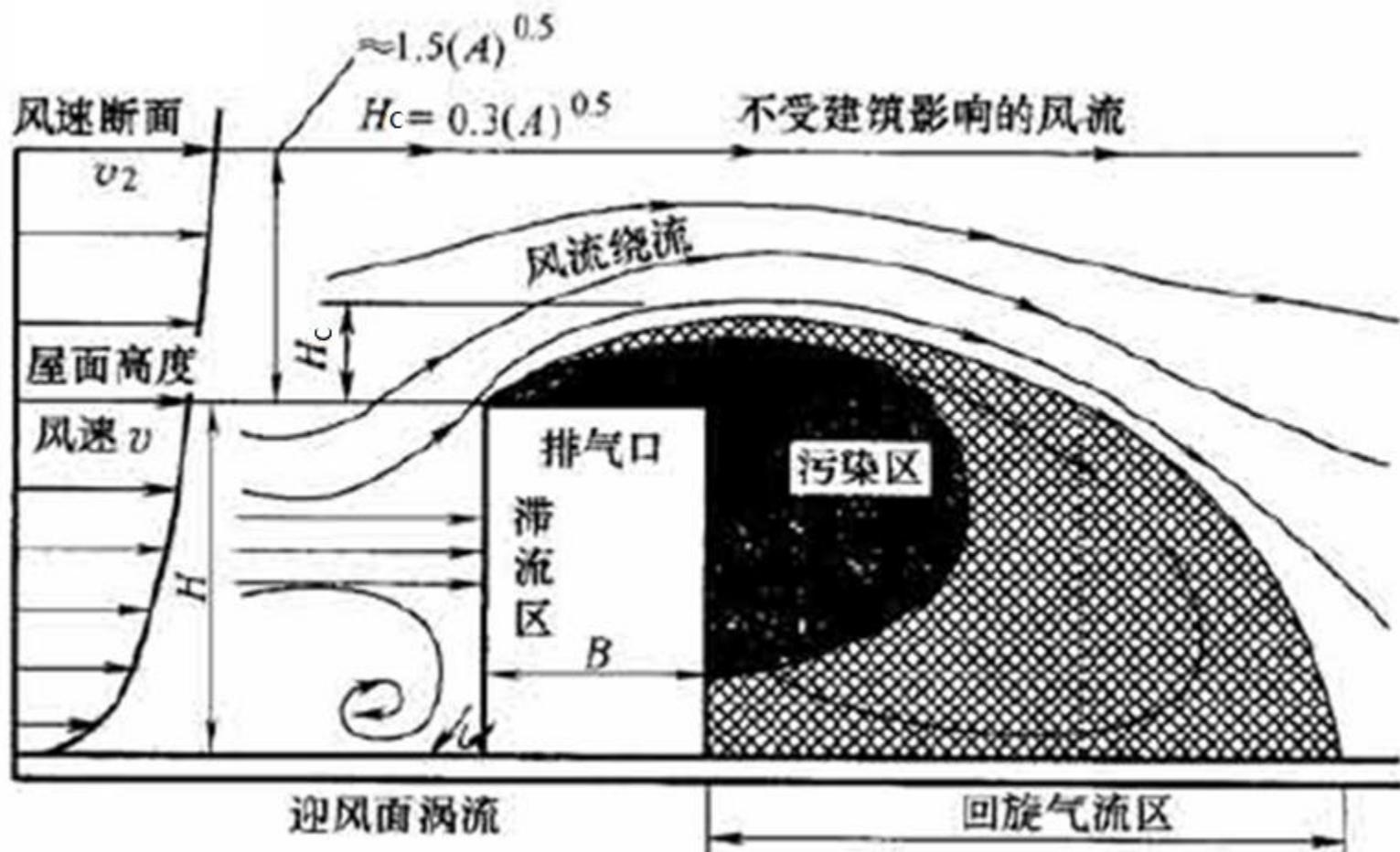
室外气流与建筑物相遇时，气流由于受阻而发生绕流，经过一定距离后，气流才恢复扰流前的流动情况。在建筑物表面及周围形成新的压力分布。

风压：和远处未受扰动的气流相比，由于风的作用在建筑物表面形成的空气静压力变化。

在建筑物迎风面，气流受阻，部分动压转化为静压，静压值升高，风压为正；



室外气流发生建筑绕流时，在建筑物的顶部和后侧形成弯曲循环气流。屋顶上部的涡流区称为**回流空腔**，建筑物背风面的涡流区称为**回旋气流区**。这两个区域的静压力均低于大气压力，形成负压区，统称为**空气动力阴影区**。



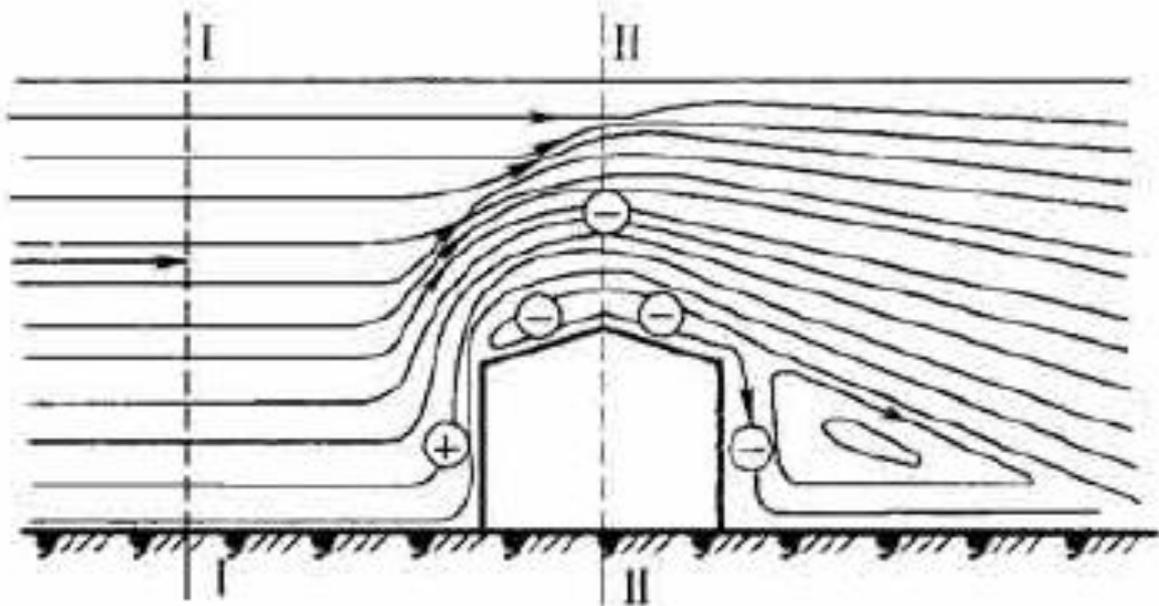


图 7-5 建筑物四周的静压分布

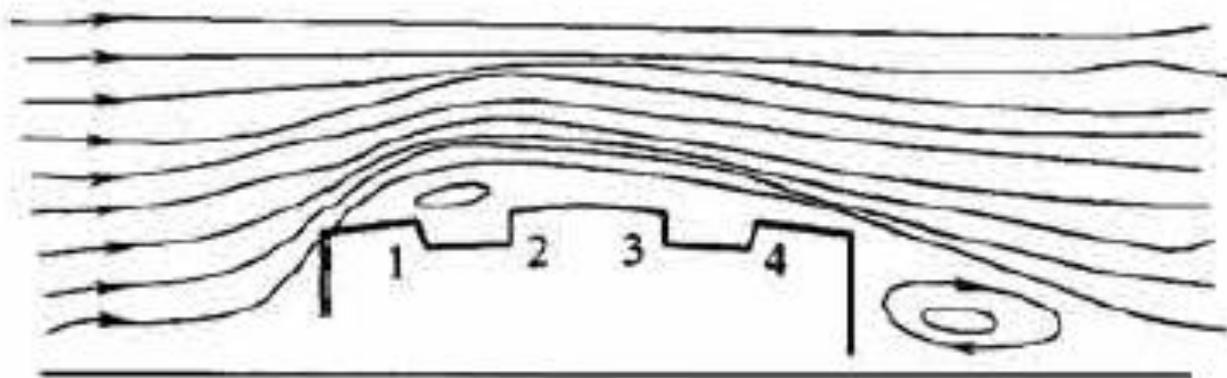


图 7-6 双凹形天窗

7.1.3 风压作用下的自然通风

- ▶ 建筑物在自然风压的作用下，由于各表面上形成的压力不同，空气就会从压力较高的窗孔进入室内，从压力较低的窗孔流向室外，从而形成大气运动作用下的建筑物内的自然通风。

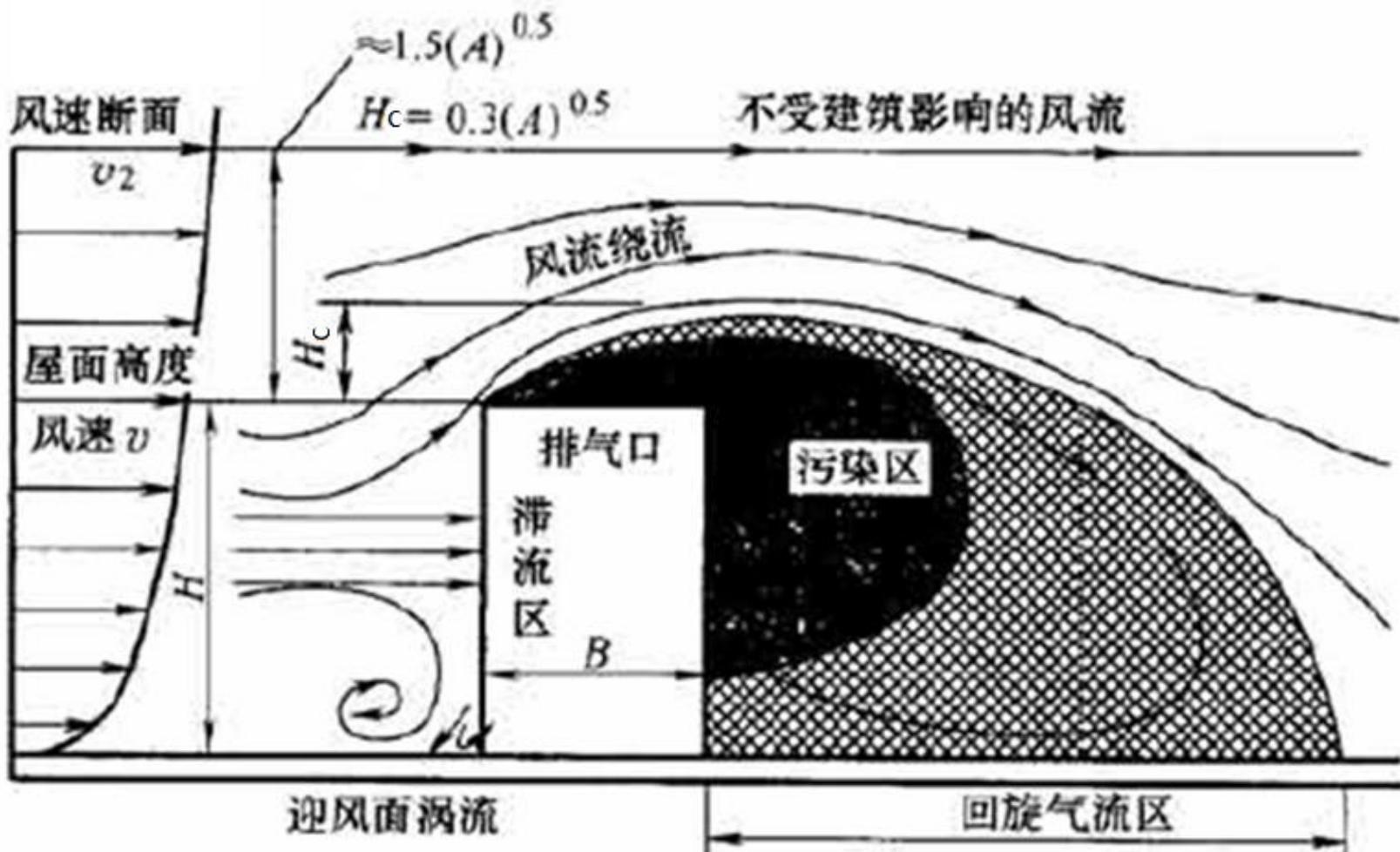
问题：

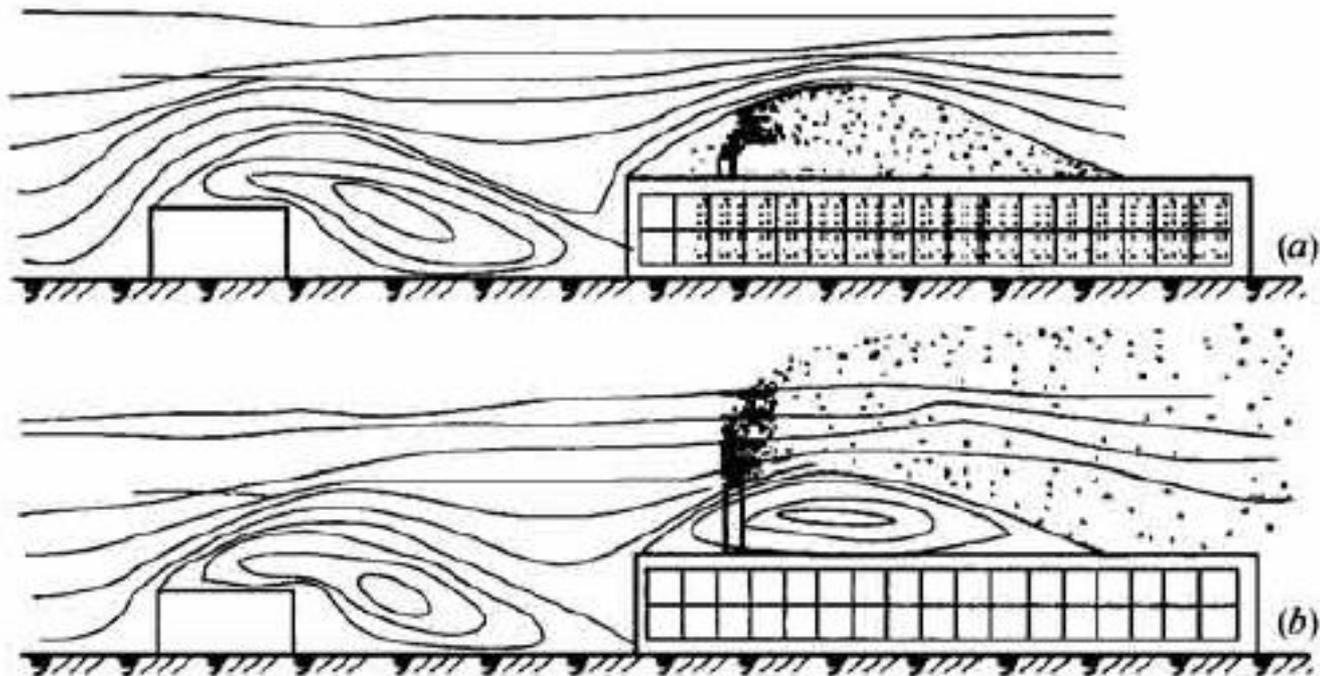
- 1、天窗的形式？
- 2、**烟囱高度？**
- 3、排风口的 位置？

气流负压区最大高度为： $H_c \approx 0.3A^{0.5}$ (m)

屋顶上方受建筑影响的气流最大高度为： $H_k \approx A^{0.5}$ (m)

A—建筑物横断面积。





1、室外气流吹过建筑物时，其四周的静压分布为迎风面是正压区，顶部及背风面均为负压区。

2、图a中烟气排入建筑物上部气流负压区内，有害物质将在车间上部及周围积聚；如烟气排入气流负压区以上，车间周围有害物质的浓度大大下降。

因此，通风排气中的有害物质必须经大气扩散稀释时，排风口应位于建筑物气流负压区和正压区以上。

风压：和远处未受扰动的气流相比，由于风的作用在建筑物表面需形成空气静压力变化。

风向一定时，建筑物外围护结构上某一点的风压值：

$$P_f = K \frac{v_w^2}{2} \rho_w$$

K—空气动力系数；

v_w —室外空气流速，m/s；

ρ_w —室外空气密度，kg/m³。

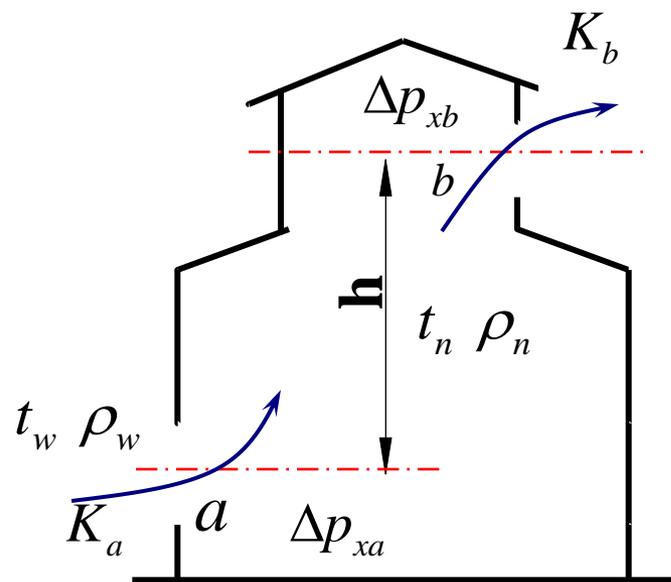
7.1.4. 风压、热压同时作用下的自然通风

窗孔a的内外压差

$$\Delta p_a = \Delta p_{ax} - K_a \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$

窗孔b的内外压差

$$\Delta p_b = \Delta p_{bx} - K_b \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$



即
$$\Delta p_a = -h_1(\rho_w - \rho_n)g - K_a \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$

$$\Delta p_b = h_2(\rho_w - \rho_n)g - K_b \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$

热压与风压
究竟谁起主导作用呢？



《采暖通风与空气调节设计规范》规定：在实际工程设计计算时仅考虑热压的作用，风压一般不予考虑。

7.2 自然通风的计算（掌握）

- 一、设计计算（掌握），根据工作区温度计算必须的全面换气量，确定排风窗孔位置和窗孔面积。
- 二、校核计算，工艺、土建、窗孔位置和面积确定的条件下，计算能达到的最大自然通风量，校核工作区温度。
 - **注意：**车间内部的温度分布和气流分布对自然通风有较大的影响；热射流的影响最大。

自然通风简化计算，简化条件：

- 1) 通风过程稳定；
- 2) 整个车间的温度的温度为平均空气温度：

$$t_{np} = (t_n + t_p) / 2$$

- 3) 同一水平面各点静压均相等；
- 4) 车间气流不受障碍影响；
- 5) 不考虑局部气流影响。

一、自然通风设计计算

1) 计算全面换气量

$$G = \frac{Q}{c(t_p - t_j)} = \frac{W}{d_p - d_j} \quad (\text{kg/s})$$

$$c = 1.01 \quad (\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})$$
$$d \quad (\text{g/kg干空气})$$

$$G = L \cdot \rho = vF \cdot \rho = \mu F \sqrt{2\Delta P \rho} = \mu F \sqrt{2 |\Delta P| \rho}$$

注意

- 1、密度：分清排风或进风；
- 2、窗孔余压，可能是正值的，也可能是负值的。**务必判断！**

假定中和面的位置，计算各窗孔的余压
指考虑仅有热压作用

$$\Delta p_a = -h_1(\rho_w - \rho_{np})g$$

$$\Delta p_b = h_2(\rho_w - \rho_{np})g$$

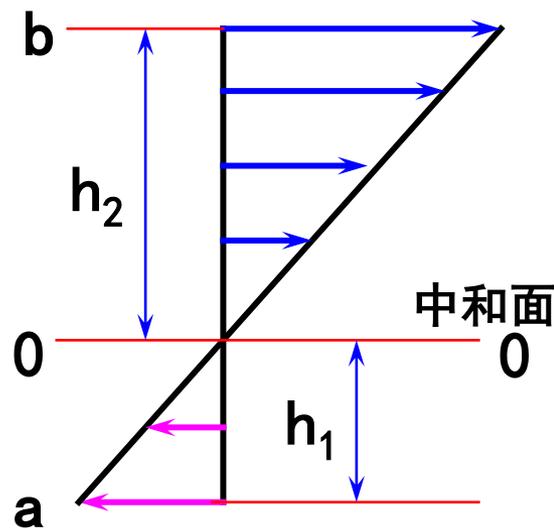
风压、热压同时作用下各窗孔的余压：

即
$$\Delta p_a = -h_1(\rho_w - \rho_{np})g - K_a \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$

注意
$$\Delta p_b = h_2(\rho_w - \rho_{np})g - K_b \frac{\rho_w v_w^2}{2}$$

1、密度：计算热压用平均温度下的密度。

2、窗孔余压，可能是正值的，也可能是负值的。务必判断！



2) 确定窗孔位置，分配各窗孔的进排风量。

3) 计算各窗孔的内外压差和窗孔面积。

进风窗孔面积

$$F_a = \frac{G_a}{\mu_a \sqrt{2\rho_w |\Delta p_a|}}$$

$$\begin{aligned} G &= L \cdot \rho = vF \cdot \rho \\ &= \mu F \sqrt{2\Delta P \rho} \\ &= \mu F \sqrt{2 |\Delta P| \rho} \end{aligned}$$

排风窗孔面积

$$F_b = \frac{G_b}{\mu_b \sqrt{2\rho_p |\Delta p_b|}}$$

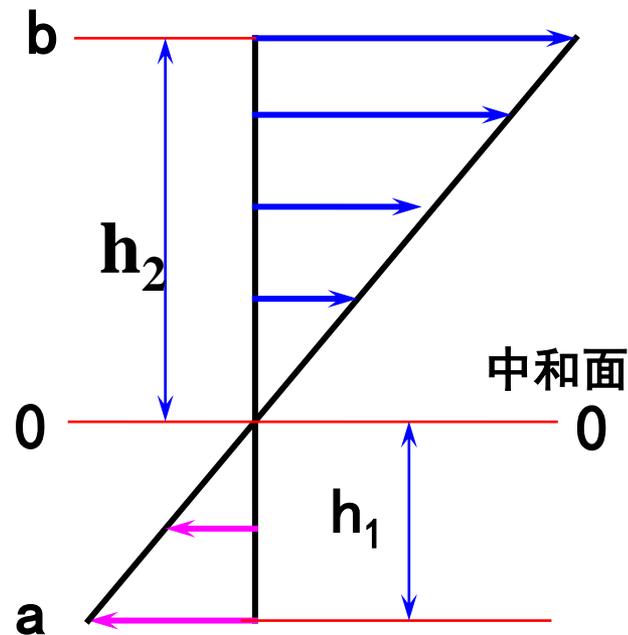
根据空气量平衡

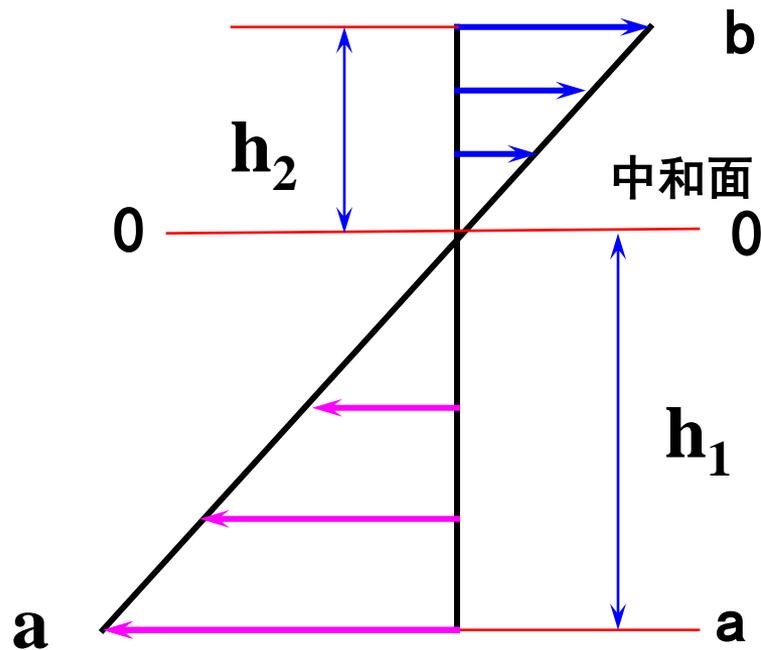
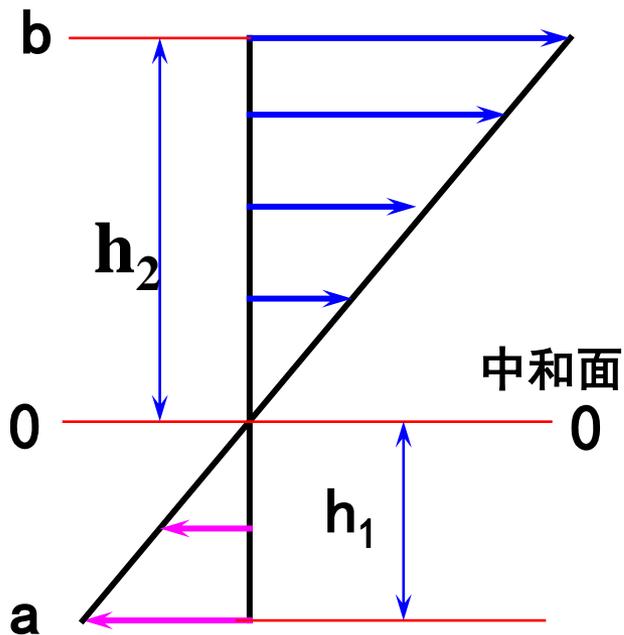
$$G_a = G_b$$

近似认为 $\mu_a \approx \mu_b$, $\rho_w \approx \rho_p$

则有

$$\frac{F_a}{F_b} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$





$$\mu_a \approx \mu_b, \quad \rho_w \approx \rho_p \xrightarrow{\text{green arrow}} \frac{F_a}{F_b} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

面积改变，高度变化 \Rightarrow 中和面位置改变

- 1、开或关窗是否影响？
- 2、增加进风机或排风机是有影响？

7.2.2、排风温度计算

1) 保证

$$t_n - t_W \leq 5^\circ\text{C} , t_p - t_W \leq 10 \sim 12^\circ\text{C}$$

2) 厂房高度不大于15m，散热源比较均匀，不大于116W/m²

$$t_p = t_n + a(h - 2) \quad (^\circ\text{C})$$

a — 温度梯度， $^\circ\text{C}/\text{m}$ （高度和散热量；）

h — 排风天窗中心距地面高度， m 。

3) 有效热量系数法

$$t_p = t_w + \frac{t_n - t_w}{m} \quad (^\circ\text{C})$$

m 值的大小取决于热源的集中程度和热源布置，同时取决于建筑物的某些因素。

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3$$

$m_1 = f(f/F)$ 根据热源占地面积和地板面积比值确定；

$m_2 = f(h)$ 根据热源的高度确定；

$m_3 = f(Q_f/Q)$ 根据热源的辐射散热量和总散热量之比。

3) 有效热量系数法

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3$$

$m_1 = f(f/F)$ 根据热源占地面积和地板面积比值确定；

$m_2 = f(h)$ 根据热源的高度确定；

$m_3 = f(Q_f/Q)$ 根据热源的辐射散热量和总散热量之比。

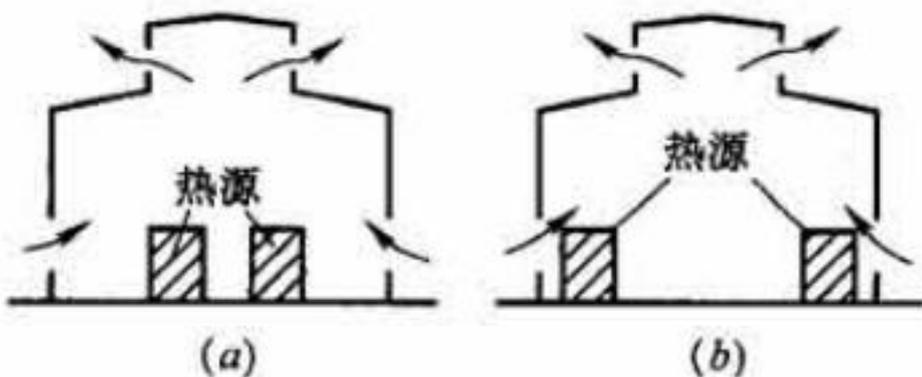


图 7-11 热源布置对 m 值的影响

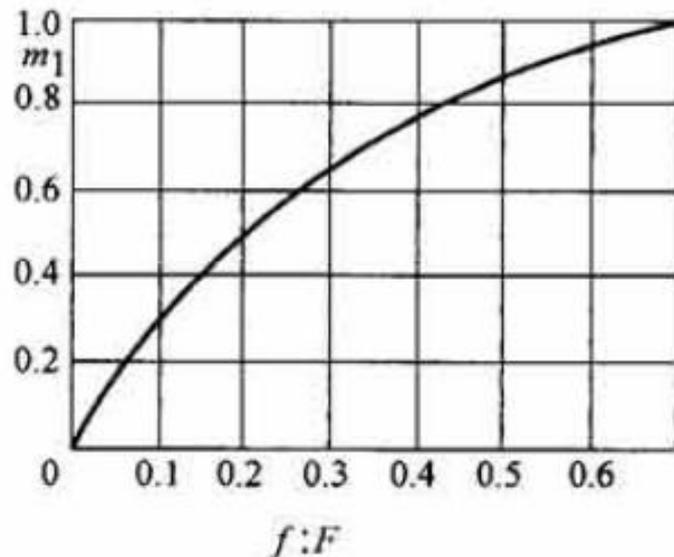


图 7-12 m_1 的计算图

3) 有效热量系数法

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3$$

$m_1 = f(f/F)$ 根据热源占地面积和地板面积比值确定;

$m_2 = f(h)$ 根据热源的高度确定;

$m_3 = f(Q_f/Q)$ 根据热源的辐射散热量和总散热量之比。

m_2 值

表 7-2 (a)

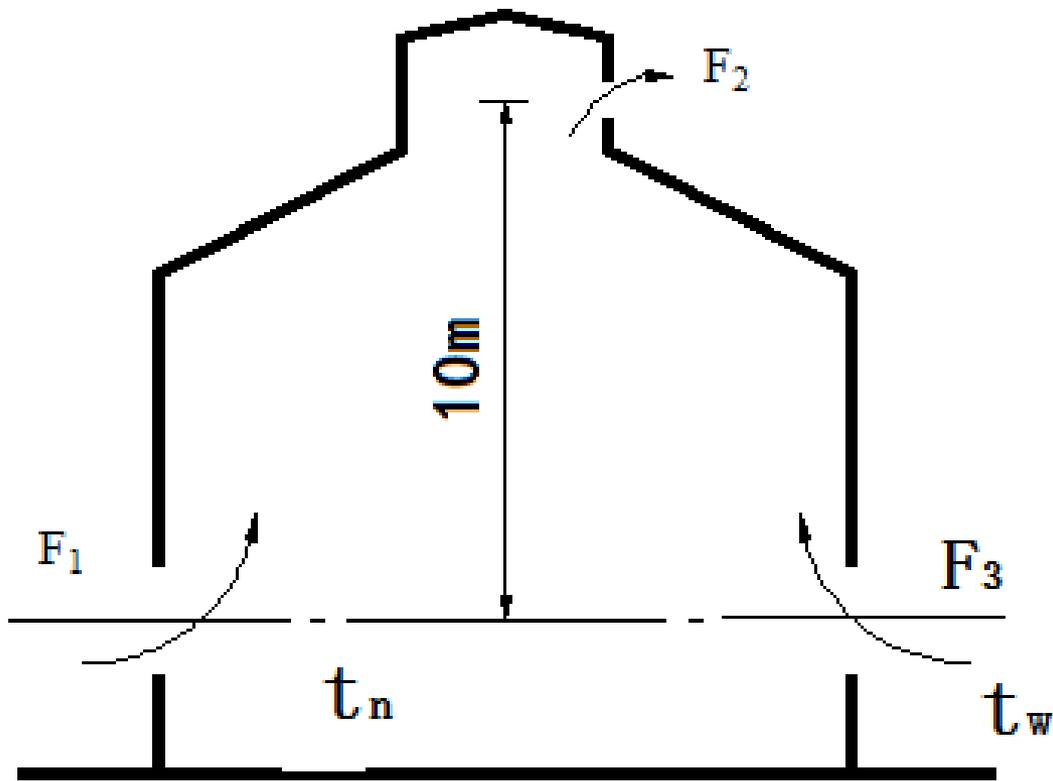
热源高度(m)	≤ 2	4	6	8	10	12	≥ 14
m_2	1.0	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.5

m_3 值

表 7-2 (b)

热源高度(m)	≤ 0.4	0.5	0.55	0.60	0.65	0.7
m_3	1.0	1.07	1.12	1.18	2.30	1.45

某车间如图所示，车间总余热量 $Q=582\text{kJ/s}$ ， $m=0.4$ ， $F_1=15\text{m}^2$ ， $F_3=15\text{m}^2$ ， $\mu_1=\mu_3=0.6$ ， $\mu_2=0.6$ ，空气空气动力系数， $K_1=0.6$ ， $K_2=-0.4$ ， $K_3=-0.3$ ，室外风速 $V_w=4\text{m/s}$ ，室外空气温度 $t_w=26^\circ\text{C}$ ，要求室内工作区温度 $t_n \leq t_w + 5^\circ\text{C}$ ，计算天窗面积 F_2 。



某车间如图所示，车间总余热量 $Q=582\text{kJ/s}$ ， $m=0.4$ ， $F_1=15\text{m}^2$ ， $F_3=15\text{m}^2$ ， $\mu_1=\mu_3=0.6$ ， $\mu_2=0.6$ ，空气空气动力系数， $K_1=0.6$ ， $K_2=-0.4$ ， $K_3=-0.3$ ，室外风速 $V_w=4\text{m/s}$ ，室外空气温度 $t_w=26^\circ\text{C}$ ，要求室内工作区温度 $t_n \leq t_w + 5^\circ\text{C}$ ，计算天窗面积 F_2 。

解 (1) 计算全面换气量：

工作区温度 $t_n = t_w + 5 = 26 + 5 = 31^\circ\text{C}$

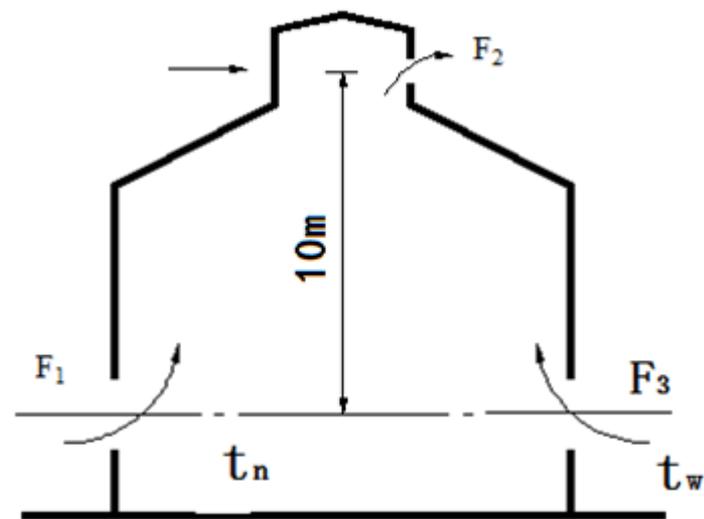
上部排风温度 $t_p = t_w + \frac{t_n - t_w}{m} = 38.5^\circ\text{C}$

车间的平均空气温度

$$t_{np} = \frac{1}{2}(t_n + t_p) = 34.8^\circ\text{C}$$

全面换气量

$$G = \frac{Q}{c(t_p - t_j)} = \frac{582}{1.01(38.5 - 26)} = 46.1\text{kg/s}$$



(2) 计算各窗孔的内外压差

$$\Delta\rho = \rho_w - \rho_{np} = \rho_{26} - \rho_{34.8} = 1.181 - 1.147 = 0.03 \text{ kg/m}^3$$

室外风的动压 $\rho_w \frac{U_w^2}{2} = 1.181 \times \frac{4^2}{2} = 9.45 \text{ Pa}$

假设窗孔1的余压为 P_x ，各窗孔的内外压差为：

$$\Delta P_1 = P_x - P_{f1} = P_x - K_1 \rho_w \frac{U_w^2}{2} = P_x - 0.6 \times 9.45 = P_x - 5.67$$

$$\Delta P_2 = P_{x2} - P_{f2} = P_x + gh\Delta\rho - K_2 \rho_w \frac{U_w^2}{2} = P_x + 7.11$$

$$\Delta P_3 = P_{x3} - P_{f3} = P_x - K_3 \rho_w \frac{U_w^2}{2} = P_x + 2.84$$

由于窗孔1、3进风， ΔP_1 和 ΔP_3 均为负值，代入公式时，应取绝对值。

(3) 确定 P_x

根据空气量平衡原理，得： $G_1 + G_3 = G_2 = 46.1 \text{kg/s}$

$$G = \rho F v \text{kg/s}$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho}{2} v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\zeta \rho}} = \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

$$\Rightarrow G = \mu F \sqrt{2\rho\Delta P}$$

$$0.6 \times 15 \sqrt{2 \times (5.67 - P_x) \times 1.181} + 0.6 \times 15 \sqrt{2 \times (-2.84 - P_x) \times 1.181} = 46.1 \text{kg/s}$$

解上式， $P_x \approx -3.0 \text{Pa}$

计算天窗面积

$$F_2 = \frac{G_2}{\mu_2 \sqrt{2\Delta P_2 \rho_p}} = \frac{46.1}{0.4 \sqrt{2 \times (7.11 - 3) \times 1.134}} = 37.8 \text{m}^2$$