

第六章 气体射流

气体自孔口、管嘴或条缝向外喷射所形成的流动，称为气体淹没射流，简称气体射流。当出口速度较大，流动呈现紊流状态时，叫做紊流射流。

出流空间大小，对射流的流动影响很大。出流到无限大空间中，流动不受固体边壁的限制，为无限空间射流，又自由射流。反之，为有限空间射流。

射流的分类方法：

1. 按射流流体的流动状态不同，可分为层流射流和紊流射流。一般按喷口直径和出口流速计算的雷诺数大于30以后即为紊流射流。

2. 按射流流体的流动速度大小不同，可分为亚音速射流和超音速射流。

3. 按射流流体在充满静止流体的空间内扩散流动的过程中，是否受到某固体边界的约束，可分为自由射流、半限制射流和限制射流。



4. 按射流流体在扩散流动过程中是否旋转，可分为**旋转射流**和**非旋转射流**。

5. 按射流管嘴出口截面形状不同，可分为**圆形射流**（又称**轴对称射流**）、**矩形射流**、**条缝射流**（可按平面射流处理）、**环状射流**和**同心射流**等。

对于矩形射流，当长宽比小于3时，可按轴对称射流考虑，当长宽比大于10时，按平面射流考虑。

6. 按射流流体的流动方向与外界空间流体的流动方向不同，可分为**顺流射流**、**逆流射流**和**叉流射流**。



7. 按射流流体与外界空间内流体的温度及浓度不同，可分为温差射流和浓差射流。

8. 按射流流体内所携带的异相物质的不同，可分为气液两相射流，气固两相射流和液固两相射流以及气液固多相射流等。

由于工程上常见的射流一般都是紊流射流，所以本章主要讨论紊流射流的特征和机理。



§ 6.1 无限空间淹没紊流射流的特征

§ 6.2 圆断面射流的运动分析

§ 6.3 平面射流

§ 6.4 温差射流与浓差射流

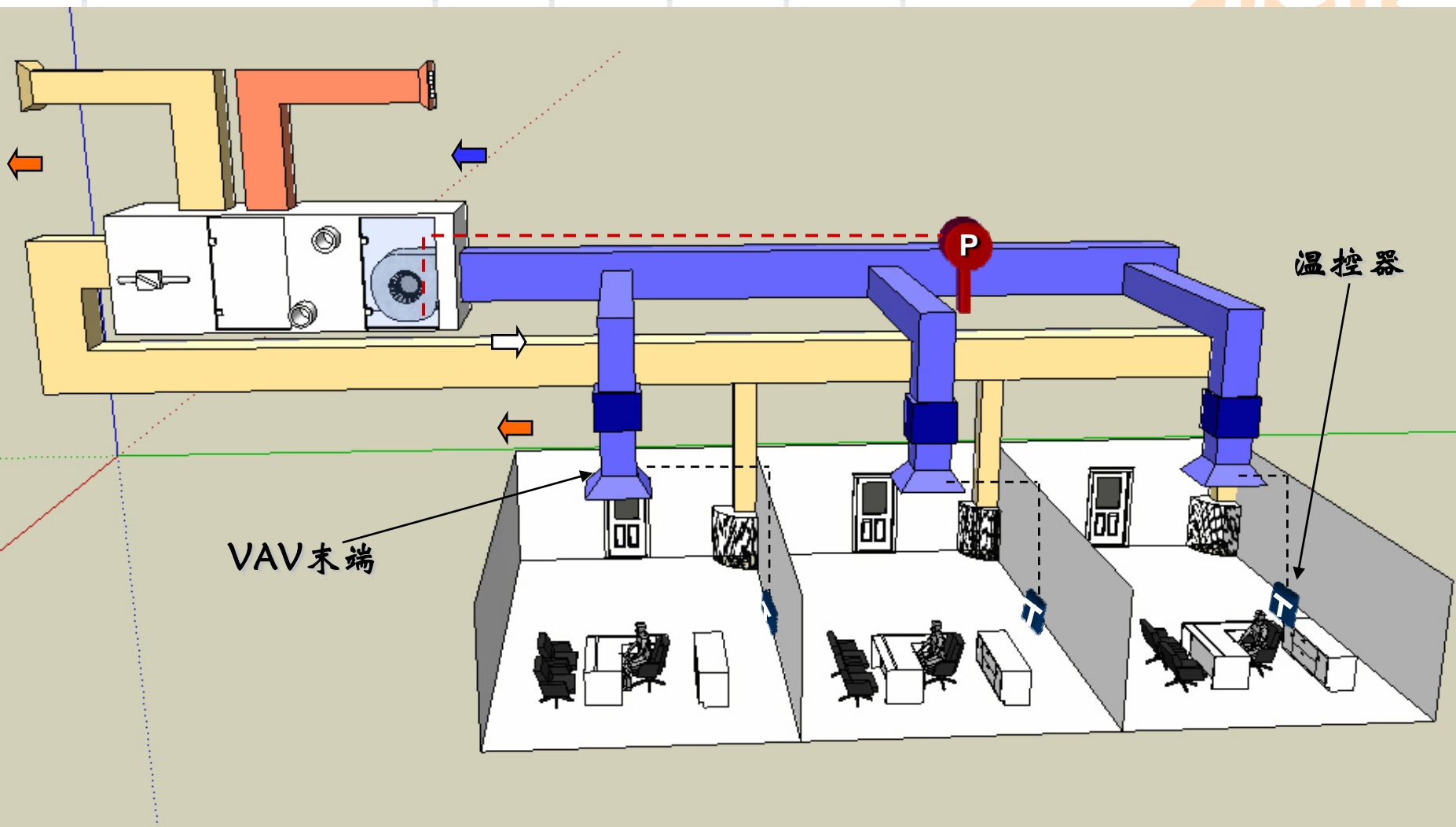
§ 6.6 有限空间射流



§ 6.1 无限空间淹没紊流射流的特征

射流主要研究出流后的流速场、温度场和浓度场。





(一) 射流场的形成与结构

α --极角或扩散角

速度为 u_0 的部分称为核心区；其余部分称为边界层。

过度断面：只有轴心速度为 u_0 的断面。

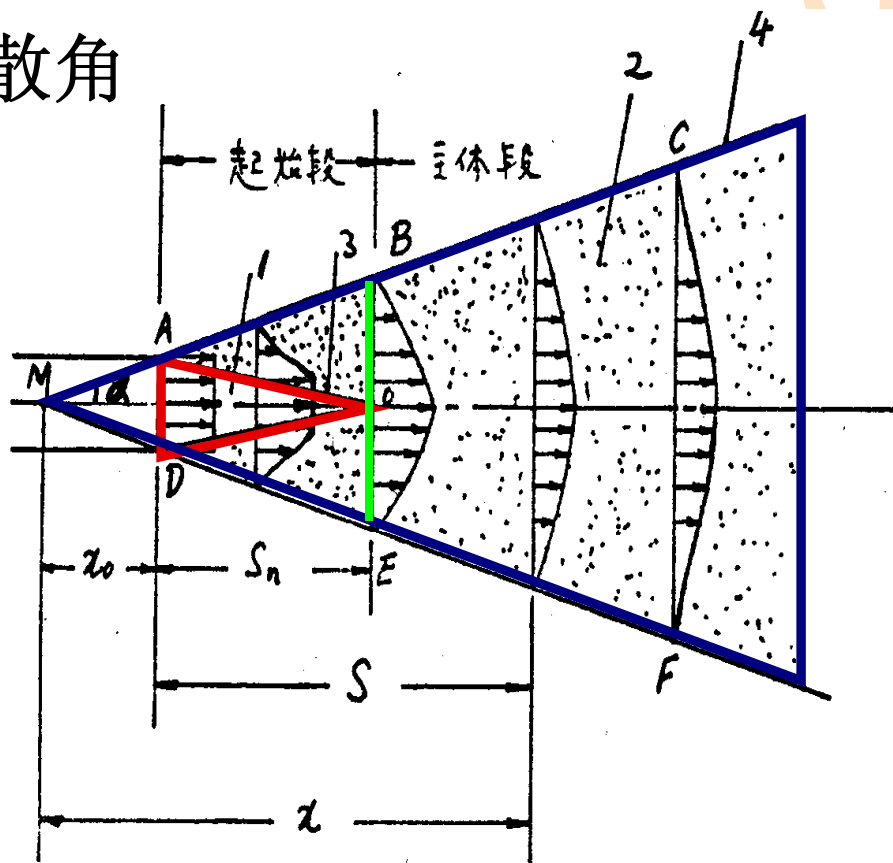


图 6-1 射流结构

1-核心区, 2-射流边界层, 3-边界层内边界, 4-边界层外边界

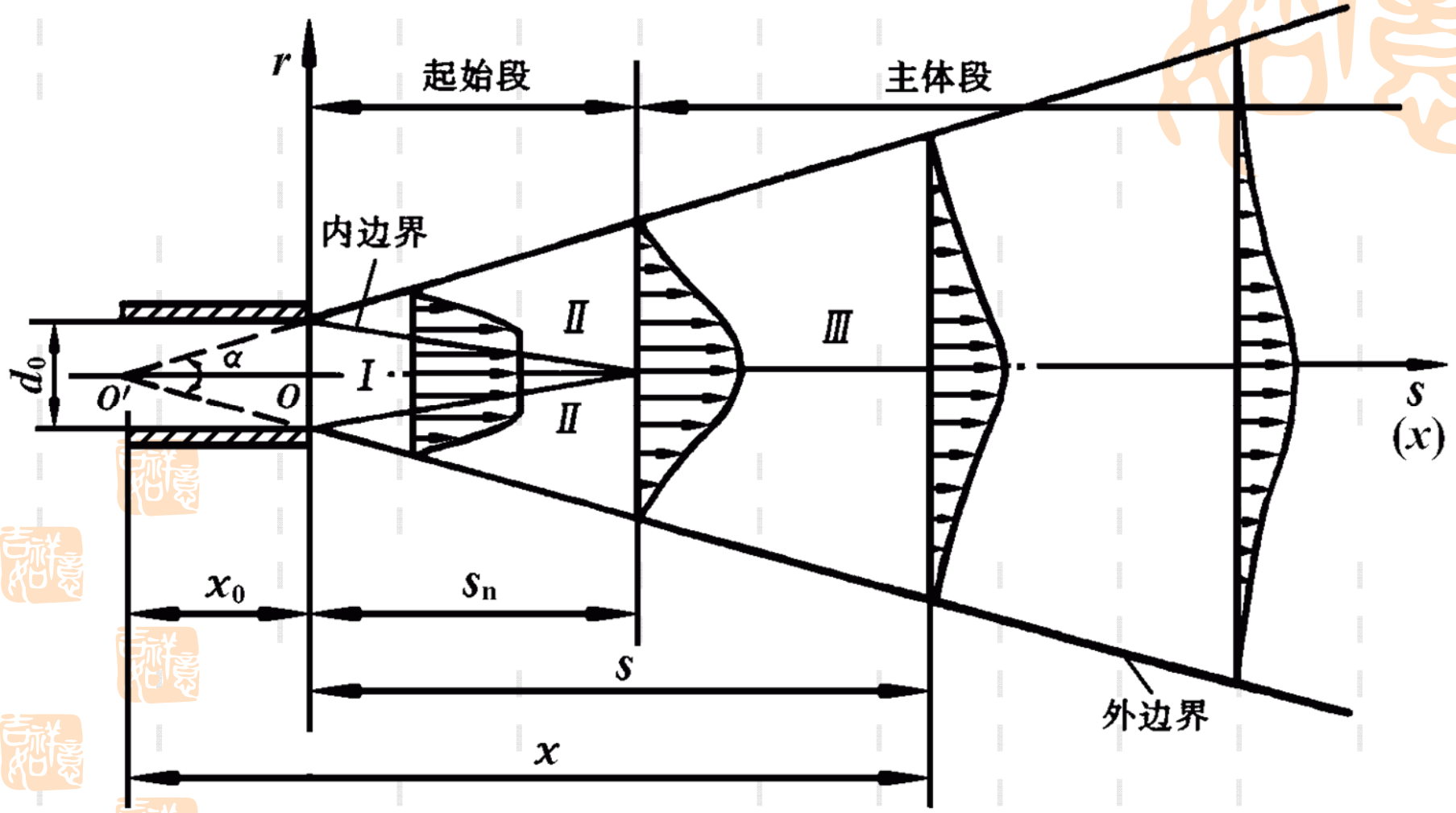


图6-1 自由射流的流场结构特征

■ (二) 射流场的几何特征及紊流系数 a

$$\frac{R}{r_0} = \frac{x}{x_0} = \frac{x_0 + s}{x_0} = 1 + \frac{s}{x_0} = 1 + 3.4a \frac{s}{r_0} = 3.4 \left(\frac{as}{r_0} + 0.294 \right)$$

$$\frac{R}{r_0} = 3.4a\bar{x}, \bar{x} = \frac{x}{r_0} \quad \frac{D}{d_0} = 6.8 \left(\frac{as}{d_0} + 0.147 \right)$$

$$tg \alpha = K = \varphi \cdot a = \begin{cases} 3.4a & \text{圆断面射流} \\ 2.44a & \text{平面射流} \end{cases}$$

a ----紊（湍）流系数

取决于管嘴出口截面上流体的紊流度及速度分布的均匀程度，管嘴出口处流体的紊流度越大，流速分布越不均匀， a 值越大。

湍流系数

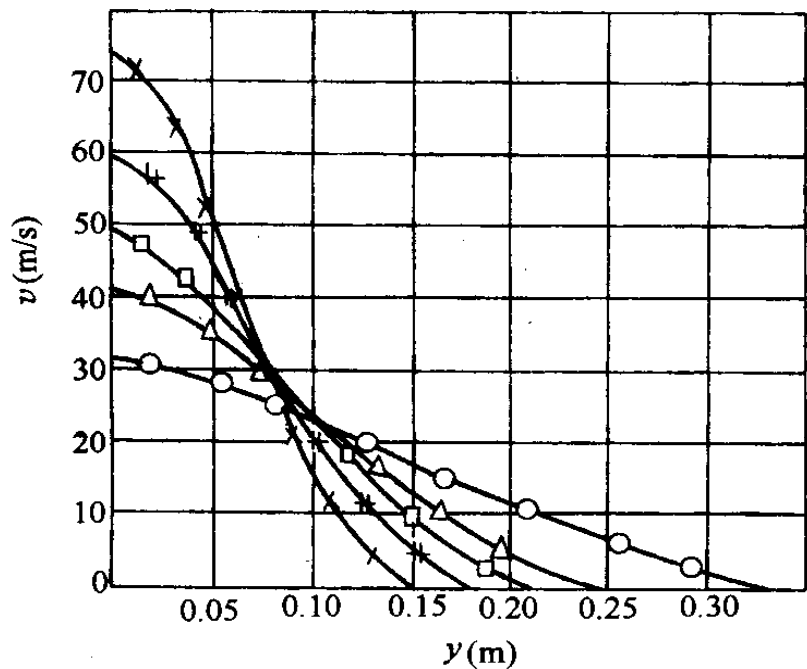
喷嘴种类	a	2α	喷嘴种类	a	2α
带有收缩口的喷嘴	0.066	25°20'	带金属网格的轴流风机	0.24	78°40'
	0.071	27°10'	收缩极好的平面喷口	0.108	29°30'
圆柱形管	0.076	29°00'	平面壁上锐缘狭缝	0.118	32°10'
	0.08				
带有导风板的轴流式通风机	0.12	44°30'	具有导叶且加工磨圆边口的风道上纵向缝	0.155	41°20'
带导流板的直角弯管	0.20	68°30'			

取决于管嘴出口截面上流体的紊流度及速度分布的均匀程度，管嘴出口处流体的紊流度越大，流速分布越不均匀， a 值越大。

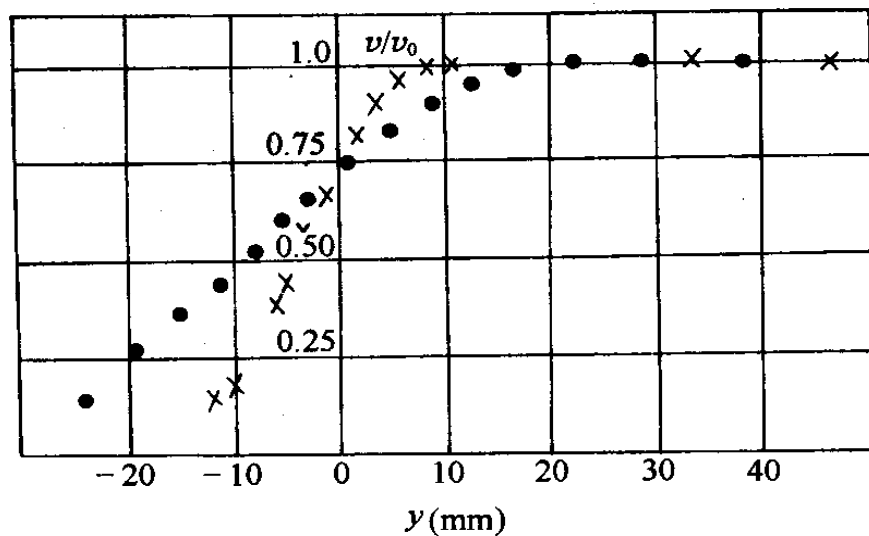
φ — 形状系数；

a — 湍流系数，由实验决定，是表示射流流动结构的特征系数。

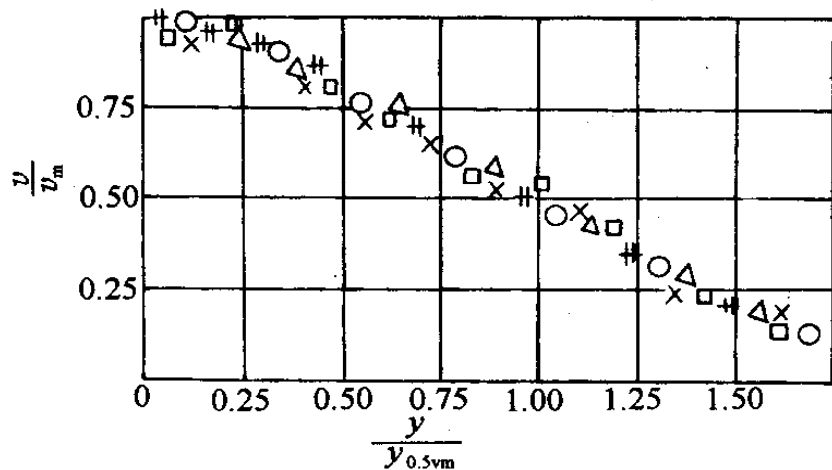
湍流系数与喷口断面的湍流强度 ε 和速度分布均匀性有关。



(a)

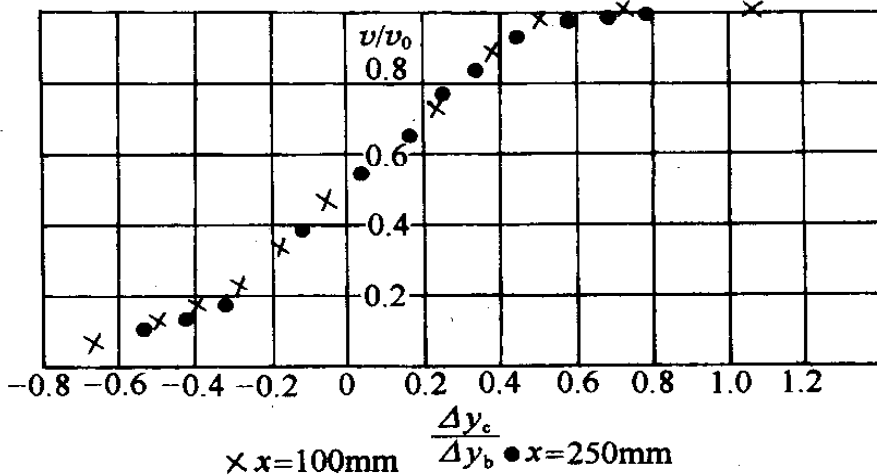


(a)



(b)

\times $x=0.6$ m $+$ $x=0.8$ m
 \square $x=1.0$ m Δ $x=1.2$ m
 \circ $x=1.4$ m



(b)

\times $x=100$ mm $\Delta y_c / \Delta y_b$
 \bullet $x=250$ mm

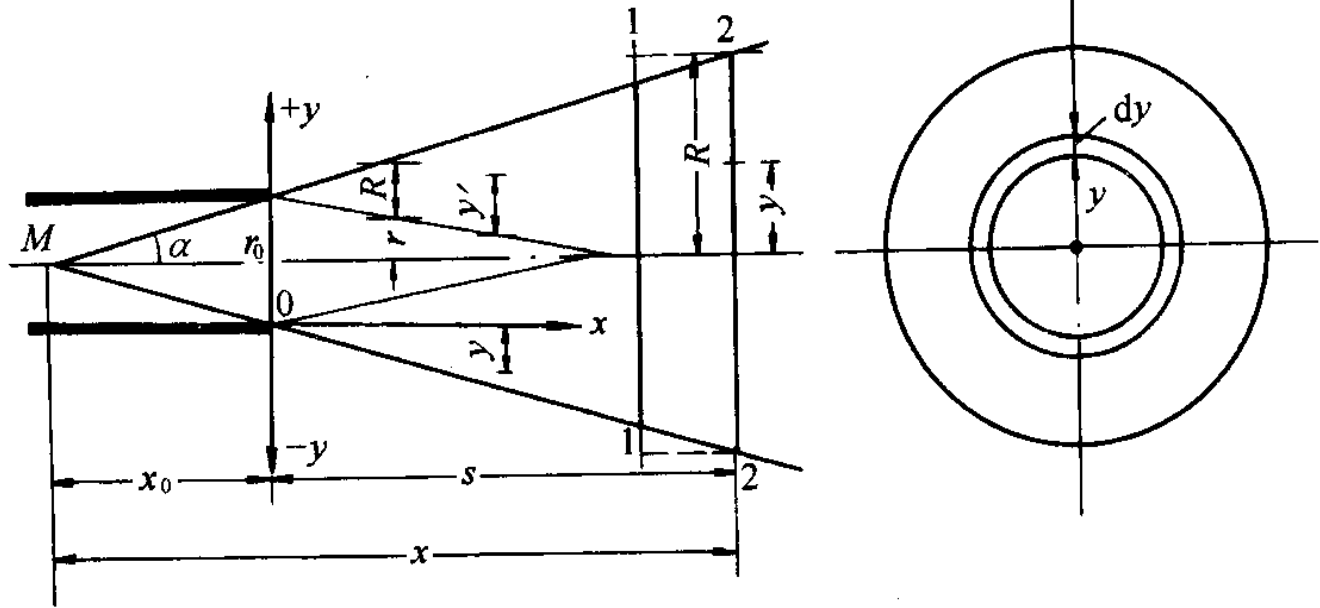
$$\frac{v}{v_m} = \left[1 - \left(\frac{y}{R} \right)^{1.5} \right]^2$$

$$\bar{v} = \left(1 - \eta^{1.5} \right)^2$$

(四) 射流场的动力特征

x方向外力的合力为零，动量守恒----射流的动力学特征

$$\int_0^R 2\pi\rho v^2 y dy = \rho Q_0 v_0 = \rho \pi r_0^2 v_0^2$$



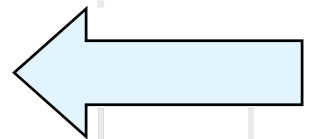
列动量守恒式：

$$\pi \rho r_0^2 v_0^2 = \int_0^R 2\pi \rho v^2 y dy$$

§ 6.2 圆断面射流的运动分析

(一) 主体段轴心速度 V_m

$$\frac{v_m}{v_0} = \frac{0.965}{\frac{as}{r_0} + 0.294} = \frac{0.48}{\frac{as}{d_0} + 0.147} = \frac{0.96}{ax}$$



二. 断面流量 Q

$$\frac{Q}{Q_0} = 2.2\left(\frac{as}{r_0} + 0.294\right) = 4.4\left(\frac{as}{d_0} + 0.147\right)$$

三. 断面平均速度 U_1

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{0.19}{\frac{as}{r_0} + 0.294} = \frac{0.095}{\frac{as}{d_0} + 0.147} = \frac{0.19}{a \cdot \bar{x}}$$

四. 质量平均流速 U_2

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{0.4545}{\frac{as}{r_0} + 0.294} = \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147} = \frac{0.4545}{a\bar{x}}$$

五、起始段核心区长度 s_n 的计算及核心收缩角 θ

$$1 = \frac{v_m}{v_0} = \frac{0.48}{\frac{as}{d_0} + 0.147}$$

$$s_n = 0.671 \frac{r_0}{a}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{r_0}{s_n} = 1.49a$$

【例题 6.3】 圆射流以 $Q_0=0.55\text{m}^3/\text{s}$ ，从 $d_0=0.3\text{m}$ 管嘴流出。试求 2.1m 处射流半宽度 R 、轴心速度 u_m 断面平均速度 v_1 质量平均速度 v_2 ，并进行比较。

【解】 查表 6-1，得 $a=0.08$ 。

先求核心长度 s_n

$$s_n = 0.672 \frac{r_0}{a} = 0.672 \times \frac{0.15}{0.08} = 1.26\text{m} \quad s_n < s = 2.1\text{m}$$

所求截面在主体段内。

$$R = 3.4 \left(\frac{as}{r_0} + 0.294 \right) r_0 = 3.4 \times \left(\frac{0.08 \times 2.1}{0.15} + 0.294 \right) \times 0.15 = 0.72\text{m}$$

$$v_0 = \frac{Q_0}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{0.55 \times 4}{3.14 \times 0.3^2} = 7.785\text{m/s}$$

从而由主体段计算公式得

$$v_m = \frac{0.48}{\frac{as}{d_0} + 0.147} \cdot v_0 = \frac{0.48}{\frac{0.08 \times 2.1}{0.3} + 0.147} \times 7.785 = 5.285 \text{ m/s}$$

$$v_1 = \frac{0.095}{\frac{as}{d_0} + 0.147} \cdot v_0 = \frac{0.095}{\frac{0.08 \times 2.1}{0.3} + 0.147} \times 7.785 = 1.046 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147} \cdot v_0 = \frac{0.23}{\frac{0.08 \times 2.1}{0.3} + 0.147} \times 7.785 = 2.533 \text{ m/s}$$

分析：由计算可知主体段内的轴心速度 v_m 小于核心速度 v_0 ；比较 v_1 、 v_2 可以看出，用质量平均速度代表使用区的流速要比断面平均流速更合适。

习题解析

例6-2 已知空气淋浴喷口直径为0.3m，要求工作区的射流半径为1.2m，质量平均流速为3m/s。求喷口至工作区的距离和喷口流量。

已知： $R_0=0.15\text{m}$ ， $R=1.2\text{m}$ ， $\bar{u}' = 3.0\text{m/s}$ 。

解： (1) 由表9-2查得空气淋浴喷口的紊流系数 $a=0.08$ 。
由表9-1中主体段射流半径计算式，得

$$R = 3.4R_0 \left(\frac{as}{R_0} + 0.294 \right) = 3.4as + R_0$$

所以，喷口至工作区的距离为

$$s = \frac{R - R_0}{3.4a} = \frac{1.2 - 0.15}{3.4 \times 0.08} = 3.86 \text{ m}$$

射流起始段长度为

习题解析

$$s_n = 0.672 \frac{R_0}{a} = 0.672 \times \frac{0.15}{0.08} = 1.26 \text{ m} < 3.86 \text{ m}$$

说明工作区在射流主体段内。

(2) 由表9-1中主体段质量平均流速计算式, 得喷口流速为

$$u_0 = \frac{\left(\frac{as}{R_0} + 0.294\right) \bar{u}'}{0.455} = \frac{\left(\frac{0.08 \times 3.86}{0.15} + 0.294\right) \times 3}{0.455} = 15.5 \text{ m/s}$$

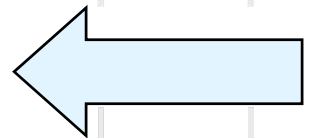
喷口流量为

$$Q_0 = \frac{1}{4} \pi d_0^2 u_0 = \frac{1}{2} \pi \times 0.3^2 \times 15.5 = 1.095 \text{ m}^3/\text{s}$$

§ 6.3 平面射流

气体从狭长隙缝中外射运动时，射流在条缝长度方向几乎无扩散运动，只能在垂直于条缝长度的各个平面上扩散运动，这种流动可视为平面运动，故称平面射流

射流参数的计算见165页表6-3



§ 6.4 温差射流与浓差射流

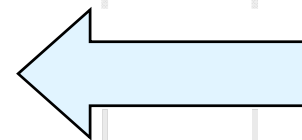
定义：

当射流流体与周围空间介质之间存在着**温度差或浓度差**，则这样的射流就称为**温差射流或浓差射流**。

举例：

(1) 夏天向热车间**吹送冷空气**以降温；冬天向工作区**吹送热空气**以取暖等属于温差射流的例子。

(2) 向含尘浓度高的车间**吹送清洁空气**以改善工作环境；向高温火焰炉内**喷吹燃料和助燃空气**等属于浓差射流的例子。



吉祥

温差或浓差射流分析，主要是研究温差或浓差场的分布规律，同时讨论由温差或浓差引起的射流弯曲的轴心轨迹。

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥





(一) 温差射流的特征

1. 几何特征

除常规射流的动量、质量交换，温差射流还存在热量交换。由于热扩散略快于动量扩散，因此温度边界层比速度边界层发展要快些厚些。但在处理实际问题时，为简化起见，认为二者相同。

2. 温差(或浓差)分布的相似性.



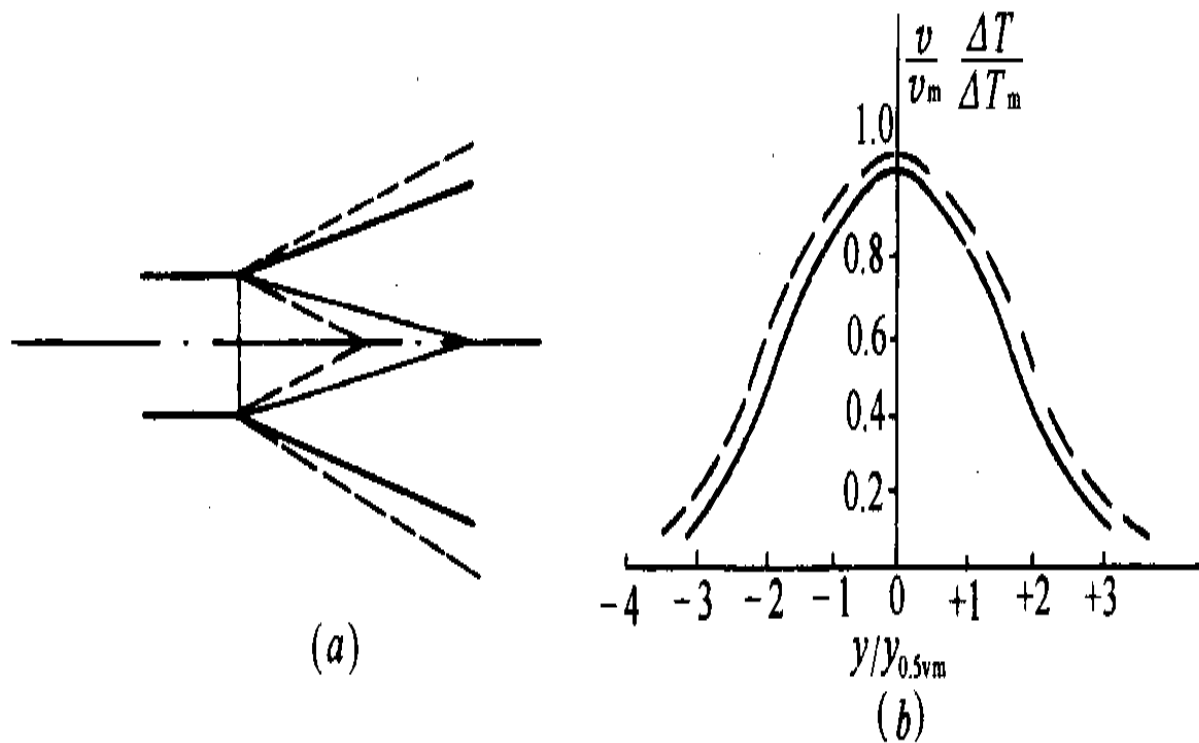


图 6-6 温度边界层与速度边界层的对比

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \frac{\Delta x}{\Delta x_m} = \sqrt{\frac{v}{v_m}} = 1 - \left(\frac{y}{R}\right)^{1.5}$$

3. 热力学特征：在等压情况下，射流断面上相对焓值流量不变。

$$\int_Q \rho c \Delta T dQ = C$$

(二) 几个主要参数的计算公式

1. 轴心温差 ΔT_m

$$\frac{\Delta T_m}{\Delta T_0} = \frac{0.35}{\frac{as}{d_0} + 0.147}$$

2. 质量平均温差 ΔT_2

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_0} = \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147}$$

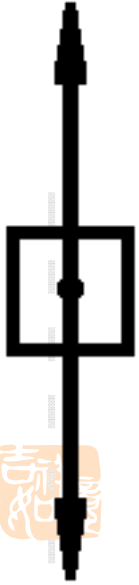
$\Delta T_2 \cdot \rho Q c =$ 相对焓值流量。

(三)、射流轴线的弯曲

温差射流或浓差射流的密度与周围流体介质的密度不同，致使作用于射流质点上的重力与浮力不平衡，造成整个射流向上或向下弯曲，如图9-6所示。但这时整个射流仍可看作是对称于轴线的，因此，只要了解射流轴线的弯曲情况，便可知道整个射流的弯曲情况。一般热射流和含轻密度物质的射流向上弯曲；而冷射流和含重密度物质的射流向下弯曲。

温差射流或浓差射流的密度不仅沿程有变化，而且在同一射流截面上的不同点也是不同的，要精确计算射流轴线的弯曲轨迹比较复杂，我们采用近似的计算方法。

$\rho_2 g$



$\rho_1 g$

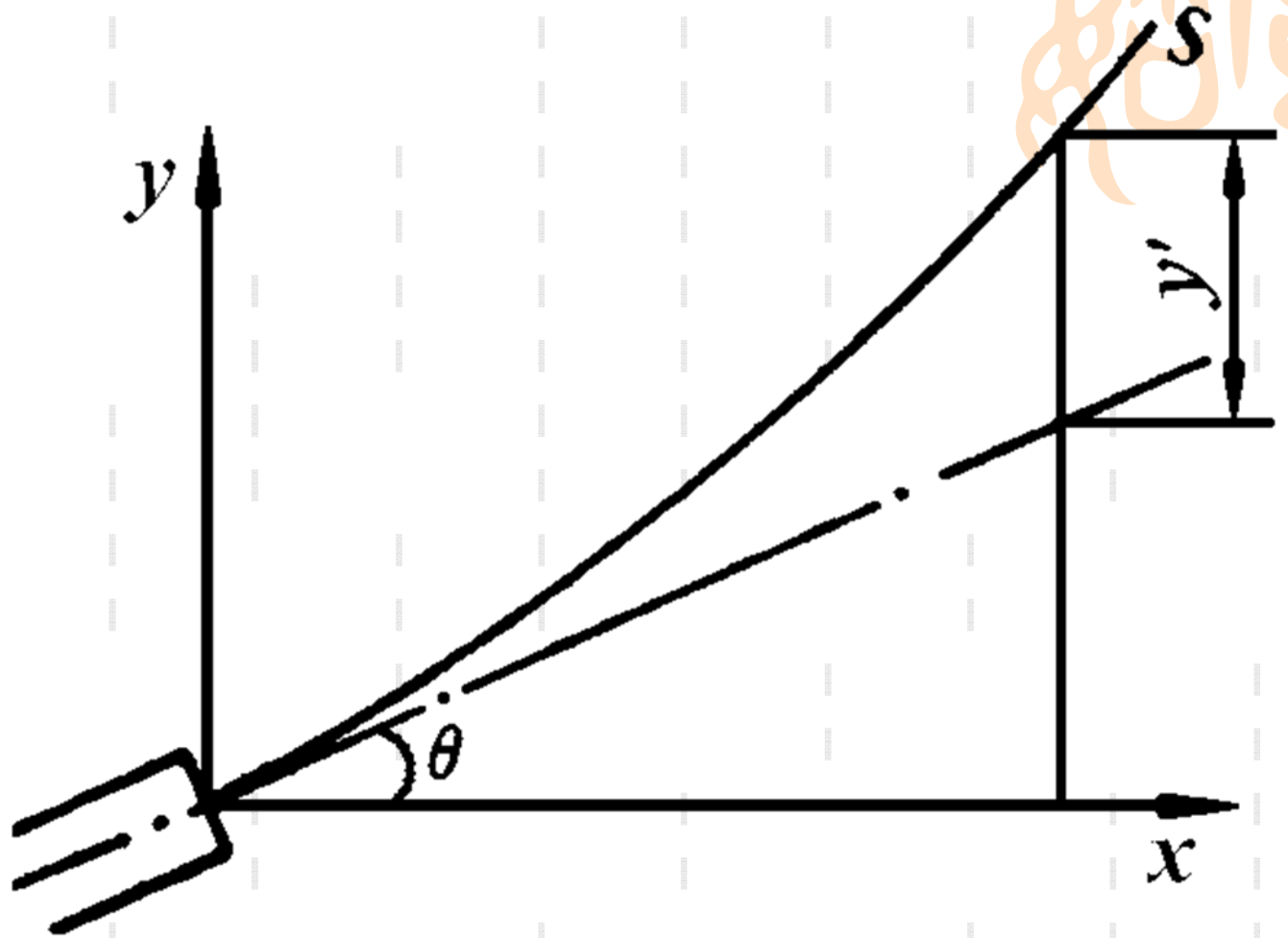


图6-7 射流轴线的弯曲



(三) 射流弯曲

取轴心线上的单位体积气体为研究对象, 只考虑重力与浮力作用。

$$(\rho_e - \rho_m)g = \rho_m j$$

$$j = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y'}{dt^2}$$

则

$$v_y = \int j dt$$



$$y' = \int v_y dt = \int dt \int j dt$$

由等压过程的气体状态方程可得

$$j = \frac{\rho_e - \rho_m}{\rho_m} \cdot g = \left(\frac{\rho_e}{\rho_m} - 1 \right) \cdot g = 0.73 \cdot \frac{v_m}{v_0} \cdot \frac{\Delta T_0}{T_e} \cdot g$$

代入上式，即得

$$\begin{aligned} y' &= \int dt \int 0.73 \left(\frac{v_m}{v_0} \right) \left(\frac{\Delta T_0}{T_e} \right) g dt \\ &= \frac{0.73g}{v_0} \cdot \frac{\Delta T_0}{T_e} \int dt \int v_m dt \end{aligned}$$

因为 $v_m = \frac{ds}{dt}$

故

$$\int dt \int v_m dt = \int s dt = \frac{1}{v_0} \cdot \int \frac{v_0}{v_m} v_m s dt = \frac{1}{v_0} \int \frac{v_0}{v_m} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot s dt$$
$$= \frac{1}{v_0} \int \frac{v_0}{v_m} s ds$$

利用 $\frac{v_m}{v_0} = \frac{0.965}{\frac{as}{r_0} + 0.294}$, 可得

$$y' = \frac{g \Delta T_0}{v_0^2 T_e} \left(0.51 \frac{a}{2r_0} s^3 + 0.115^2 \right)$$

$$Ar = \frac{g d_0}{v_0^2} \frac{\Delta T_0}{T_e}$$

由实验修正, 将**0.115**改为**0.355**。

$$\Rightarrow y' = \frac{g \Delta T_0}{v_0^2 T_e} \left(0.51 \frac{a}{2r_0} s^3 + 0.335^2 \right)$$

习题解析

例6-3 工作带质量平均流速要求为3m/s，工作面直径为2.5m，送风温度为15℃，车间温度为30℃，要求工作带的质量平均温度降到25℃，采用风机送风，取 $\beta_0=1$ ， $\bar{x}=3.5$ 。
求：(1)风口直径和风口至工作面的距离；(2)风口的风速和风量；(3)工作面中心点温度；(4)射流在工作带下降的距离。

已知： $\bar{u}'=3.0\text{m/s}$ ， $R=1.25\text{m}$ ， $\beta_0=1$ ， $\bar{x}=3.5$ 。

$$T_0=288\text{K}, \quad T_a=303\text{K}, \quad T'=298\text{K},$$

$$\Delta T_0=T_0-T_a=288-303=-15\text{K},$$

$$\Delta T'=T'-T_a=298-303=-5\text{K}$$

解： (1) 由式(9-6)得

$$x = \frac{R}{0.22} = \frac{1.25}{0.22} = 5.68 \text{ m}$$



习题解析

由式(9-24a)

$$\frac{\Delta T'}{\Delta T_0} = \frac{6.46}{\sqrt{\beta_0} \bar{x}} \sqrt{\frac{T_a}{T_0}} = \frac{6.46}{\bar{x}} \sqrt{\frac{303}{288}} = \frac{6.626}{\bar{x}}$$

则

$$\bar{x} = 6.626 \frac{\Delta T_0}{\Delta T'} = 6.626 \times \frac{-15}{-5} = 19.88$$

故风口半径为

$$R_0 = \frac{x}{\bar{x}} = \frac{5.68}{19.88} = 0.286 \text{ m}$$

风口直径为 $d_0 = 2R_0 = 2 \times 0.286 = 0.572 \text{ m}$

风口至工作面的距离为

$$s = x - x_0 = x - 3.5R_0 = 5.68 - 3.5 \times 0.286 = 4.68 \text{ m}$$

其中: $x_0 = 3.5R_0 = 3.5 \times 0.286 = 1.0 \text{ m}$

习题解析

起始段长度为

$$s_n = 12.44 R_0 \sqrt{\beta_0} - x_0 = 12.44 \times 0.286 - 1.0 = 2.56 \text{ m} < 4.68 \text{ m}$$

说明工作面在射流主体段内。

(2) 由式(9-11)得风口的风速为

$$u_0 = \frac{\bar{u}' \bar{x}}{6.46 \sqrt{\beta_0}} = \frac{3 \times 19.88}{6.46} = 9.23 \text{ m/s}$$

风口的风量为

$$Q_0 = \pi R_0^2 u_0 = 3.14 \times 0.286^2 \times 9.23 = 2.37 \text{ m}^3/\text{s}$$

(3) 由式(9-22)得

$$\Delta T_m = \frac{9.24 \Delta T_0}{\sqrt{\beta_0} \bar{x}} \sqrt{\frac{T_a}{T_0}} = \frac{9.24 \times (-15)}{19.88} \times \sqrt{\frac{303}{288}} = -7.2 \text{ K}$$

所以工作面中心点温度为

$$T_m = T_a + \Delta T_m = 303 - 7.2 = 295.8 \text{ K}, \quad t_m = 295.8 - 273 = 22.8^\circ \text{C}$$

习题解析

(4) 由式(9-26)得射流在工作带下降的距离为

$$\begin{aligned}y' &= 0.02R_0 \frac{\text{Ar}}{\beta_0^{1.5}} \sqrt{\frac{T_0}{T_a}} \left(\frac{s}{R_0}\right)^2 \left(\frac{3}{2} \frac{x_0}{R_0} + \frac{s}{R_0}\right) \\&= 0.02 \times 0.286 \times (-1.63 \times 10^{-3}) \sqrt{\frac{288}{303}} \left(\frac{4.68}{0.286}\right)^2 \left(\frac{3}{2} \times \frac{1}{0.286} + \frac{4.68}{0.286}\right) \\&= -0.053 \text{ m}\end{aligned}$$

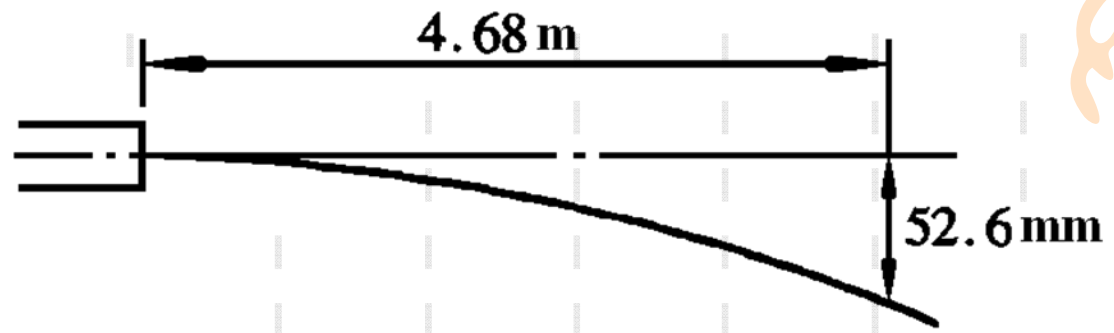
其中：阿基米德数为

$$\text{Ar} = \frac{g R_0 \Delta T_0}{u_0^2 T_a} = \frac{9.81 \times 0.286 \times (-15)}{9.23^2 \times 303} = -1.63 \times 10^{-3}$$

上式中的负号表示射流下降，如为正号则表示射流上升。



习题解析



例题三附图 射流的下降



【例题6.4】高出地面5m处设一孔口 d_0 为0.1m，以2m/s速度向房间水平送风。送风温度 $t_0 = -10^\circ\text{C}$ ，室内温度 $t_e = 27^\circ\text{C}$ 。试求距出口3m处的 v_2 、 t_2 及弯曲轴心坐标。

【解】由表6.2查得湍流系数 $a = 0.08$ 。

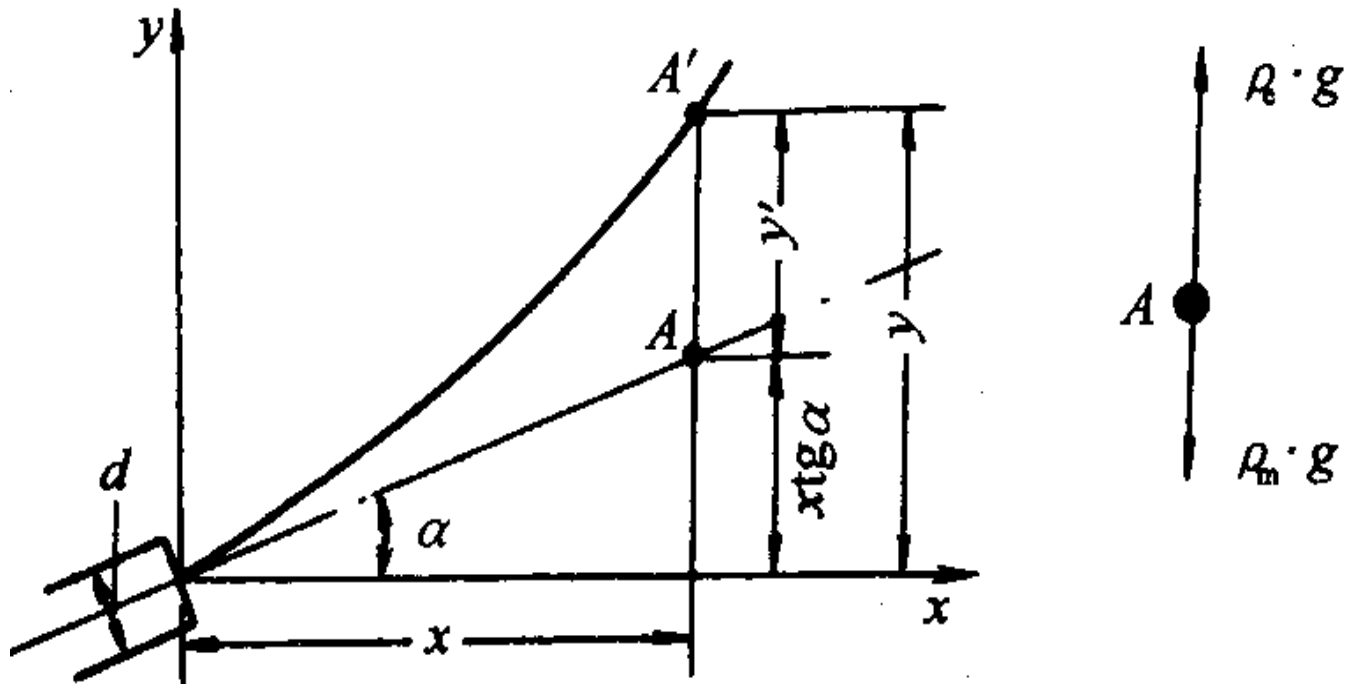
$$v_2 = \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147} \cdot v_0 = \frac{0.23}{\frac{0.08 \times 3}{0.1} + 0.147} \times 2 = 0.09 \times 2 = 0.18 \text{ m/s}$$

由 $\frac{T_2 - T_e}{T_0 - T_e} = \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147}$ ， 可得

$$t_2 = t_e + \frac{0.23}{\frac{as}{d_0} + 0.147} \cdot (t_0 - t_e) = 27 + \frac{0.23}{\frac{0.08 \times 3}{0.1} + 0.147} \times (-10 - 27) = 23.67^\circ\text{C}$$

从而，有

$$\begin{aligned}y' &= \frac{g\Delta T_0}{\nu_0^2 T_e} \left(0.51 \frac{a}{d_0} s^3 + 0.35 s^2 \right) \\ &= \frac{9.8 \times (-10 - 27)}{2^2 \times (273 + 27)} \times \left(0.51 \times \frac{0.08}{0.1} \times 3^3 + 0.35 \times 3^2 \right) = -4.28m\end{aligned}$$



§ 6.5 旋转射流

气流通过具有旋流作用的喷嘴外射运动。气流本身一面旋转，一面向周围介质中扩散前进，称为旋转射流。

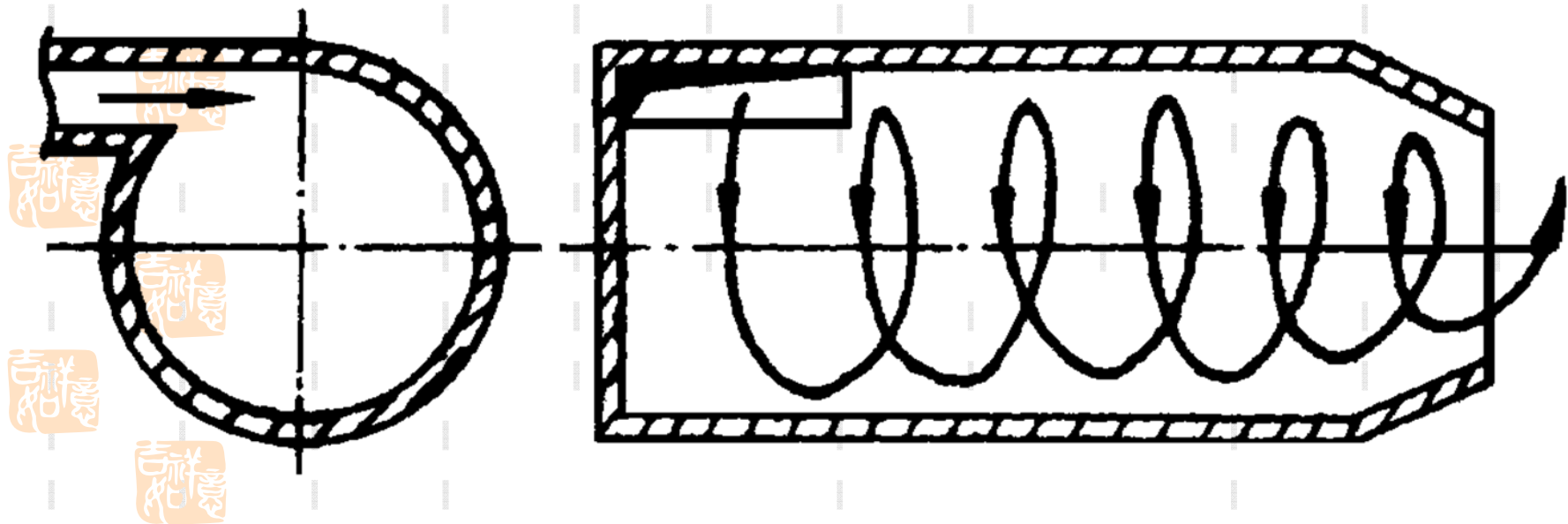
一、基本特征

旋转是旋转射流基本特征，旋转使射流获得向四周扩散的离心力。和一般射流比较，扩散角大，射程短，射流的紊动性强。

■ 旋流产生的方法

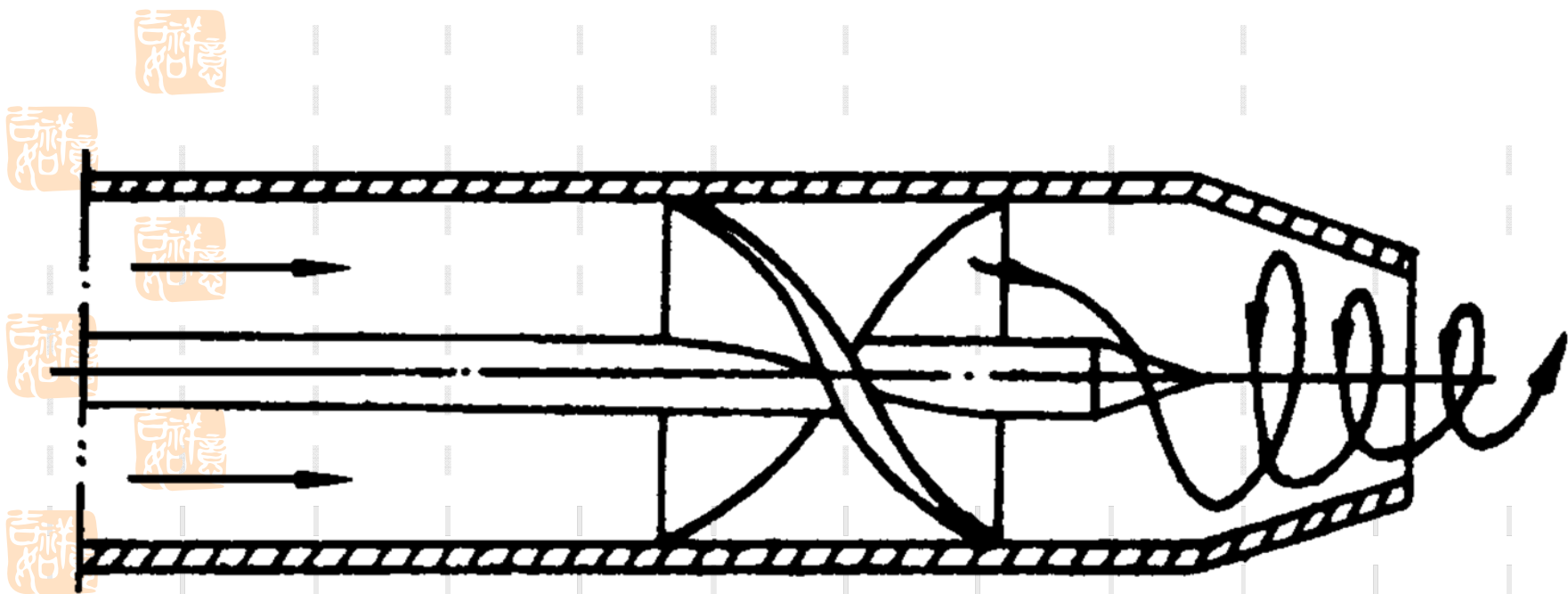
流体的旋转流动一般可通过以下几种方法获得：

1. 气体切向进入圆筒形喷管(如图示)，首先形成旋转流动，再从喷口喷出，即形成旋转射流。

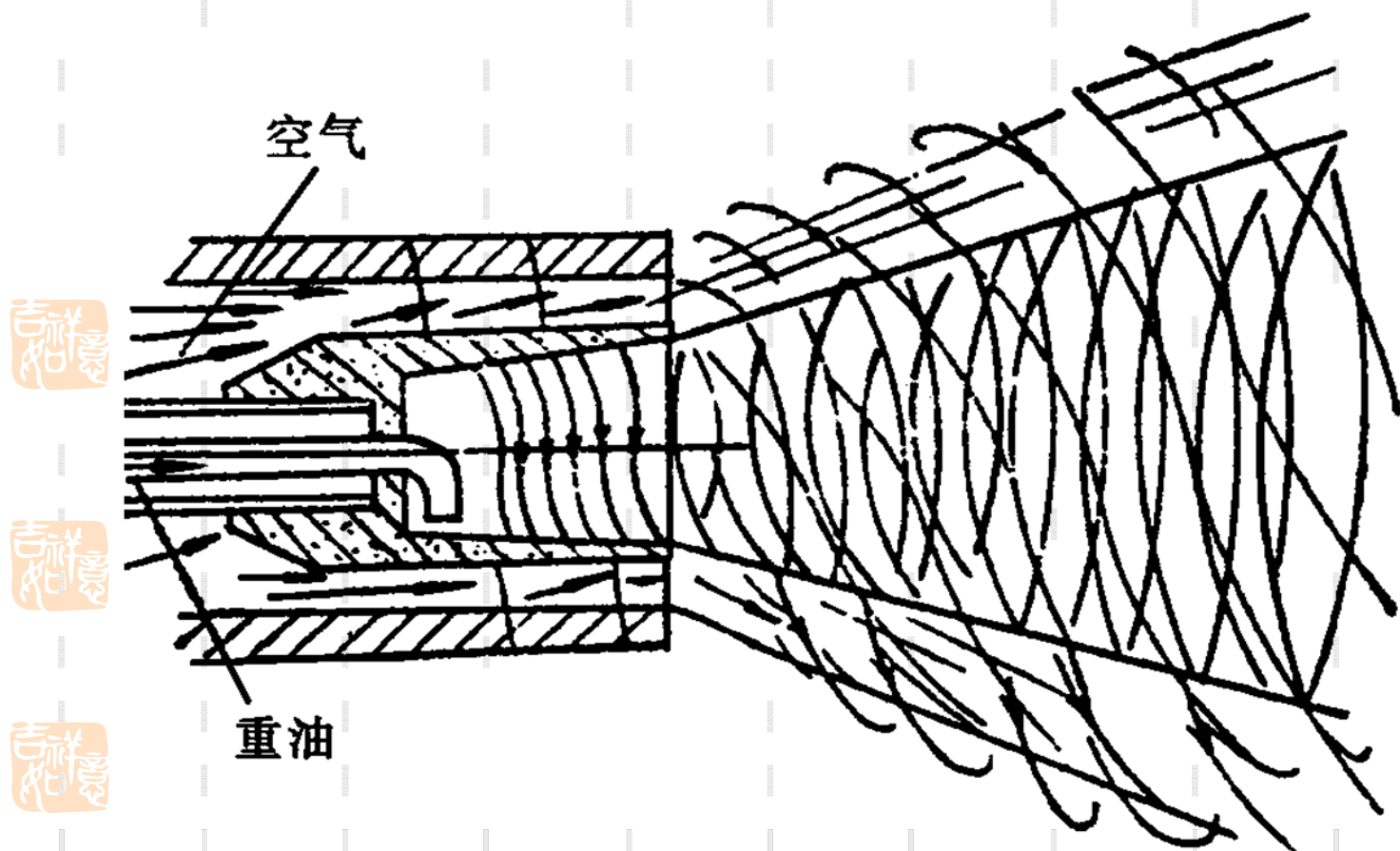


2. 在轴向管流内安装旋流叶片或加工旋流槽道

(如图示), 气体通过旋流叶片或旋流槽道产生旋转流动, 然后再从喷口喷出形成旋转射流。气体旋转的强弱程度(旋流强度)可通过改变导向旋流叶片的安装角度来调整。



3. 用旋转的机械装置, 可使流经其上的液体形成旋流, 图所示的转杯式燃油烧嘴就是机械式旋流装置中的一种。



转杯式烧嘴示意图

二、旋转射流的流速分布

旋转射流的速度分解为三个分量：沿射流前进方向的轴向速度 v_x ，在横截面上沿半径方向的径向速度 v_y ，在横截面上做圆周运动的切向速度 v_θ



三、旋转射流压强分布

旋流器出口的旋转射流中心压力低于大气压强的，随着旋转射流沿轴向前进，静压强 p 越来越接近 p_a 。旋转射流中心由于低于大气压强，具有强烈的卷吸能力。



$$\bar{p} = \frac{p_a - p}{\frac{\rho}{2} v_0^2}$$

四、旋转强度

旋转强度表征旋转射流的特性。其值越大，旋转射流的旋转越厉害，回流区越大，旋转扩散角也越大，射程越短。

$$\Omega = \frac{L_0}{K_0 \frac{d}{4}}$$

吉祥



§ 6.6 有限空间射流

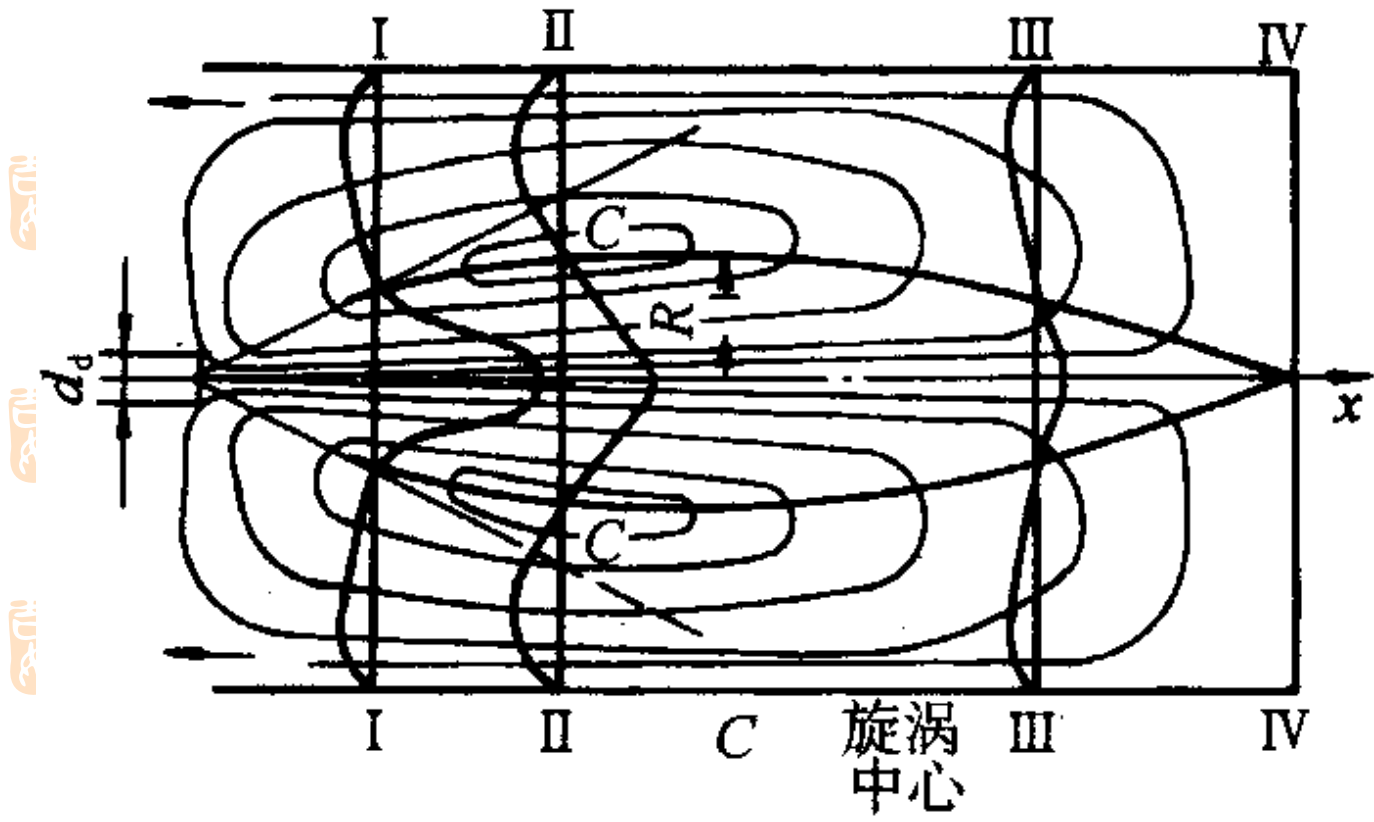


在射流运动中，由于受壁面、顶棚以及空间的限制，自由射流规律不再适用，因此必须研究受限后的射流即有限空间射流运动规律。目前有限空间射流理论尚不完全成熟，多是根据实验结果整理成近似公式或无量纲曲线，供设计使用。



一、射流结构

有限空间射流由自由扩张段、有限扩张段、收缩段组成



二、动力特征

射流内部压强是变化的，随射程的增大，压强增大，直至端头压强最大，达稳定值后比周围压强要高些。射流中个横截面上动量不相等，沿程减少

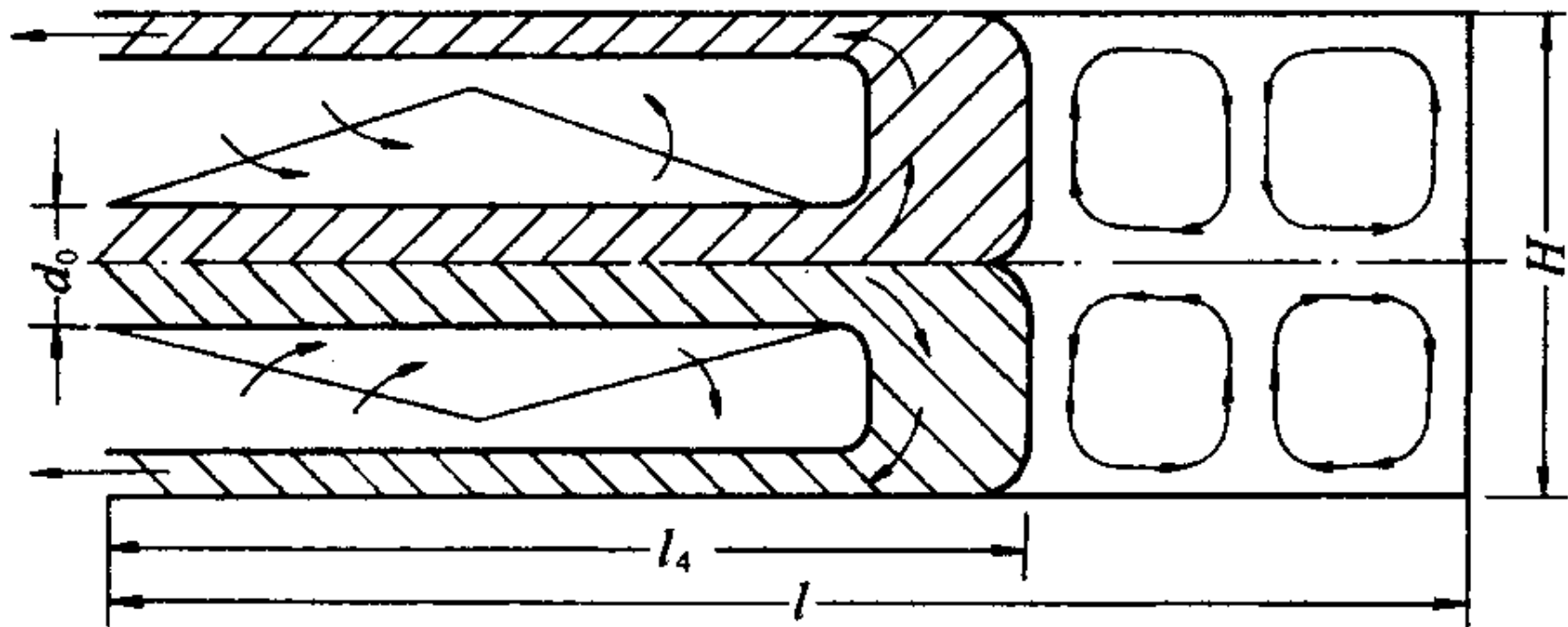


三、回流速度的半经验公式

$$\frac{v}{v_0} \cdot \frac{\sqrt{F}}{d_0} = 0.177 \left(10 \bar{x} \right) e^{10.7 \bar{x} - 37 \bar{x}^{-2}} = f \left(\bar{x} \right)$$



在房间长度大于情况下，实验证明在封闭末端产生涡流区。涡流区的出现是通风空调工程所不希望的，应当清除。



吉祥

部分课后题的答案



6-2 某体育馆的圆柱形送风口， $d_0 = 0.6\text{m}$ ，风口至比赛区为 60m 。要求比赛区风速（质量平均风速）不得超过 0.3m/s 。求送风口的送风量应不超过多少 m^3/s ？

【解】

$$v_0 = \frac{\frac{a \cdot S}{r_0} + 0.294}{0.455} v_2 = \frac{\frac{0.08 \times 60}{0.3} + 0.294}{0.455} \times 0.3$$

$$= \frac{16.294}{0.455} \times 0.3 = 10.71\text{m/s}$$

$$Q_0 = A_0 \cdot v_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot v_0 = \pi \times 0.3^2 \times 10.71 = 3.03\text{m}^3/\text{s}$$






6-3 岗位送风所设风口向下，距地面 4m。要求在工作区（距地 1.5m 高范围）造成直径为 1.5m 射流截面，限定轴心速度为 2m/s，求喷嘴直径及出口流量。

[解]

$$(1) R = r_0 + 3.4a \cdot S$$

$$d_0 = D - 6.8a \cdot S = 1.5 - 6.8 \times 0.08(4 - 1.5) = 0.14 \text{ m}$$

$$(2) S_n = 0.672 \frac{r_0}{a} = 0.672 \times \frac{0.07}{0.08} = 0.588 (S = 2.5 \text{ 为主体段。})$$

$$(3) v_0 = \frac{\frac{a \cdot S}{r_0} + 0.294}{0.966} v_m = \frac{\frac{0.08 \times 2.5}{0.07} + 0.294}{0.966} \times 2 = 6.52 \text{ m/s}$$

$$Q_0 = A_0 \cdot v_0 = \pi \times 0.07^2 \times 6.52 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$$



6-4 有一两面收缩均匀的矩形孔口，截面为 $0.05 \times 2 \text{ m}^2$ ，出口流速 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 。求距孔口 2.0 m 处，射流轴心速度 v_m 、质量平均速度 v_2 及流量 Q 。

[解] $2b_0 = 0.050; \quad b_0 = 0.025; \quad a = 0.108$

$$S_n = 1.03 \frac{b_0}{a} = 1.03 \times \frac{0.025}{0.108} = 0.238 \text{ m} \quad (s = 2 \text{ m})$$

$$(1) \quad v_m = \frac{1.2}{\sqrt{\frac{a \cdot S}{b_0} + 0.41}} \cdot v_0 = \frac{1.2}{\sqrt{\frac{0.108 \times 2}{0.025} + 0.41}} \times 10 = \frac{1.2}{\sqrt{9}} \times 10 = 4 \text{ m/s}$$

$$(2) \quad v_2 = \frac{0.833}{\sqrt{\frac{a \cdot S}{b_0} + 0.41}} \cdot v_0 = \frac{0.833}{\sqrt{\frac{0.108 \times 2}{0.025} + 0.41}} \times 10 = \frac{0.833}{\sqrt{9}} \times 10 = 2.78 \text{ m/s}$$

$$(3) \quad Q = 1.2 Q_0 \sqrt{\frac{a \cdot S}{b_0} + 0.41} = 1.2 \sqrt{9} A_0 v_0 = 3.6 \times 2 \times 0.05 \times 10 = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

6-5 空气以 8 m/s 的速度从圆管喷出, $d_0 = 0.2$ m, 求距出口 1.5 m 处的 v_m 、 v_2 及 D 。

[解] $S_n = 0.672 \times \frac{r_0}{a} = 0.672 \times \frac{0.1}{0.08} = 0.838$ m ($S = 1.5$ m 为主体段)。

$$(1) \quad v_m = \frac{0.966}{\frac{a \cdot S}{r_0} + 0.294} \cdot v_0 = \frac{0.966}{\frac{0.08 \times 1.5}{0.1} + 0.294} \times 8$$

$$= \frac{0.966}{1.494} \times 8 = 5.18 \text{ m/s}$$

$$(2) \quad v_2 = \frac{0.455}{1.494} \times 8 = 2.43 \text{ m/s}$$

$$(3) \quad D = d_0 + 6.808 = 0.2 + 68 \times 0.08 \times 2 = 1 \text{ m}$$



6-8 温度为 40°C 的空气, 以 $v_0 = 3 \text{ m/s}$, 从 $d_0 = 100 \text{ mm}$ 水平圆柱形喷嘴射入 $t_0 = 18^{\circ}\text{C}$ 的空气中。求射流轨迹方程。

[解] 水平圆管嘴 $a = 0.08$, $\alpha = 0$

$$\begin{aligned} y' &= \frac{g \cdot \Delta T_0}{v_0^2 T_0} \left(0.51 \frac{a}{2r_0} S^3 + 0.35 S^2 \right) \\ &= \frac{9.8(313 - 291)}{3^2(291)} \left(0.51 \times \frac{0.08}{2 \times 0.05} \times S^3 + 0.35 S^2 \right) \\ &= 0.0824(0.408 S^3 + 0.35 S^2) = 0.0336 S^3 + 0.0288 S^2 \end{aligned}$$

即 $y = 2.88 \times 10^{-2} x^2 (1.165x + 1)$



6-9 高出地面 5m 处设一孔口 d_0 为 0.1m, 以 2m/s 速度向房间水平送风。送风温度 $t_0 = -10^\circ\text{C}$ 。室内温度 $t_H = 27^\circ\text{C}$ 试求距出口 3m 处的 v_2 、 t_2 及弯曲轴心坐标。

[解]
$$v_2 = \frac{0.455}{\frac{a \cdot S}{v_0} + 0.294} v_0 = \frac{0.455}{\frac{0.08 \times 3}{0.05} + 0.294} \times 2 = \frac{0.91}{5.094} = 0.18 \text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_0} = \frac{T_2 - T_H}{T_0 - T_H} = \frac{T_2 - 27}{-10 - 27} = \frac{27 - T_2}{37} = \frac{0.455}{\frac{a \cdot S}{v_0} + 0.294} = \frac{0.455}{5.094} = 0.09$$



$$\therefore 27 - T_2 = 37 \times 0.09 = 3.33$$

$$T_2 = 27 - 3.33 = 23.7^\circ\text{C}$$

$$y' = \frac{g \cdot \Delta T_0}{v_0^2 T_0} \left(0.51 \frac{a}{2r_0} S^3 + 0.35 S^2 \right)$$

$$= \frac{9.8[(273-10) - (273+27)]}{2^2(273+27)} \times \left(0.51 \frac{0.08}{0.1} S^3 + 0.35 S^2 \right)$$

$$= 0.303(0.408 S^3 + 0.35 S^2)$$

$$= -(0.1235 S^3 + 0.106 S^2)$$

$$= -1.06 \times 10^{-1} S^2 (1.165 S + 1)$$

$$y = -1.06 \times 10^{-1} x^2 (1.165 x + 1)$$

$$\therefore x = 3 \text{ m}; \quad y = -4.3 \text{ m}$$

