

第2章 气体输配管网水力特征 与水力计算

2.1 气体管流水力特征

<流体输配管网>

2.1 气体管流水力特征

气体重力管流水力特征

- 竖管内的重力流

例1：如右图示

管内气体由1流向2断面，能量方程为：

$$P_{j1} + \frac{\rho v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = P_{j2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2}$$

其中： $P_{j1}=0$ ， $P_{j2}=0$ ， $v_1=0$ ， 上式变为：

$$g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2}$$

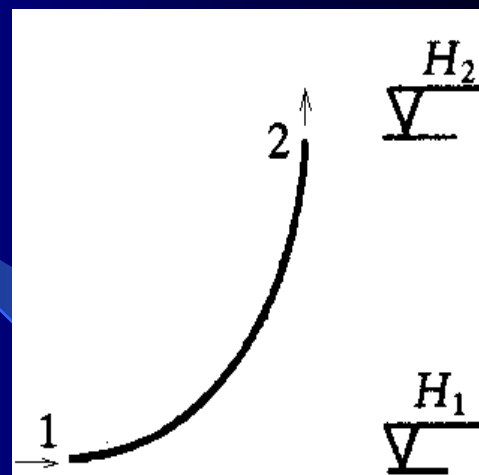


图 2-1-1 竖管道内的重力流

*结论:

- 流动损失的压头来源于进出口之间的位压。
- 位压动力大小取决于管道进出口高差和内外气体密度差
- 当密度小于室外空气密度，流动向上；
当密度大于室外空气密度，流动向下。

●U形管内的重力流

例2：如右图示，假设管内气体由1流向2断面，断面1和D间能量方程为：

$$P_{j1} + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho_1)(H_1 - H_2) = P_{jD} + \frac{\rho_2 v_D^2}{2} + \Delta P_{1 \sim D}$$

断面D 和2之间的能量方程为：

$$P_{jD} + \frac{\rho_2 v_D^2}{2} + g(\rho_a - \rho_2)(H_2 - H_1) = P_{j2} + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \Delta P_{D \sim 2}$$

以上两式相加得：

$$g(\rho_1 - \rho_2)(H_2 - H_1) = \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2} - \frac{\rho_1 v_1^2}{2}$$

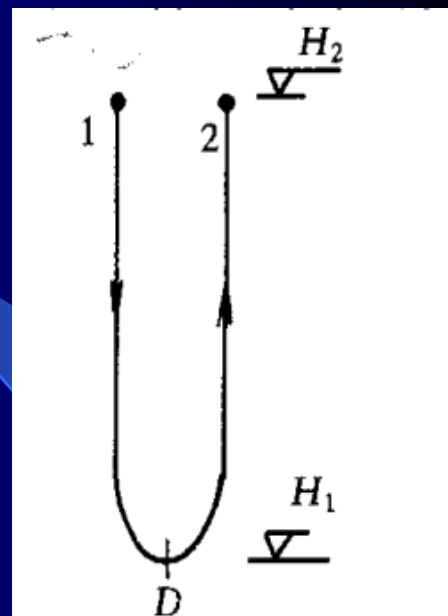


图2-1-2 U形管
内的重力流

*结论:

- U型管道内的气体流动动力取决于两竖直管段内的气体密度差 ($\rho_1 - \rho_2$) 和管道高度 ($H_2 - H_1$) 之积。
- 密度相对较大的竖管内气体下流, 相对较小的竖管内气体上流。

● 闭式环型管内的重力流

例3：如把例2图变为右图，形成封闭循环管道，其能量方程为：

$$g(\rho_1 - \rho_2)(H_2 - H_1) = \Delta P_l$$

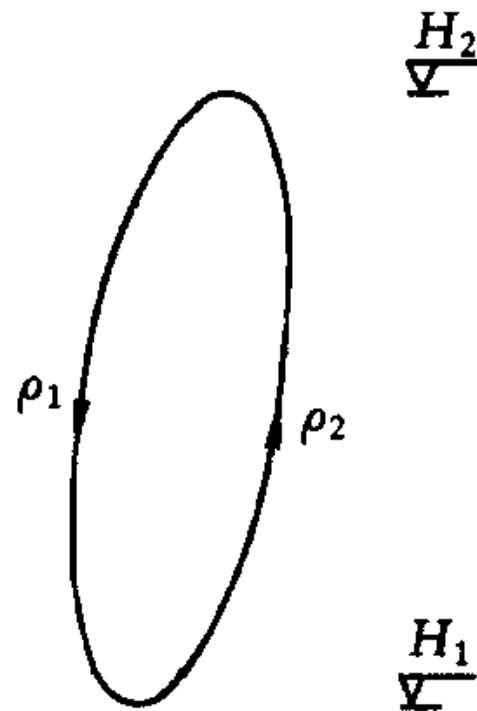


图 2-1-3 闭式管道内的重力循环流动

*结论:

- 无机械动力的闭式管道中，流动动力取决于两竖直管段内的气体密度差（ $\rho_1 - \rho_2$ ）和管道高度（ $H_2 - H_1$ ）之积。
- 密度相对较大的竖管内气体下流，相对较小的竖管内气体上流。

气体压力管流水力特征

当管道内部、管道内外不存在密度差，或是水平管网，则有：

$$g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = 0$$

即位压为零，则式：

$$P_{j1} + \frac{\rho v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = P_{j2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2} \quad \text{变为:}$$

$$P_{j1} + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_{j2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2} \quad \text{即:} \quad P_{q1} = P_{q2} + \Delta P_{1 \sim 2}$$

结论1:

位压为0的管道中，两断面之间的流动阻力等于两断面间的全压差。

对公式: $P_{j1} + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_{j2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1\sim 2}$ 变为:

$$P_{j1} - \left[\Delta P_{1\sim 2} + \left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} \right) \right] = P_{j2}$$

*结论:

➤ 当管段中没有外界动力输入时，下游断面的全压总是低于上游断面的全压；

➤ 当 $\Delta P_{1-2} + \left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} \right) > 0$ 下游断面的静压低于上游断面的静压；

➤ 当 $\Delta P_{1-2} + \left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} \right) = 0$ 两断面的静压相等

➤ 当 $\Delta P_{1-2} + \left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} \right) < 0$ 下游断面的静压大于上游断面的静压

压力和重力综合作用下的气体管流水力特征

由

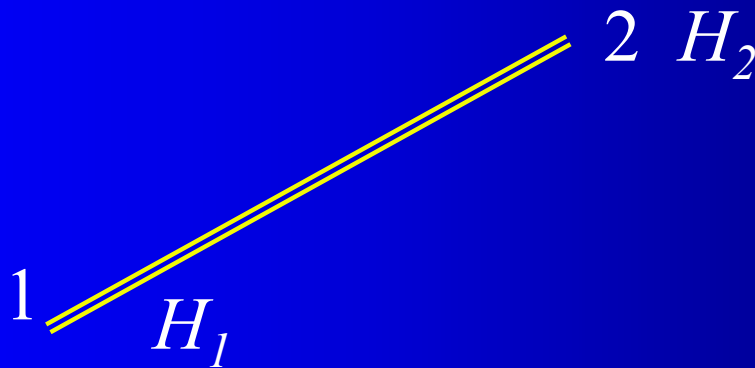
$$P_{j1} + \frac{\rho v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = P_{j2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_{1 \sim 2}$$

得：

$$(P_{q1} - P_{q2}) + g(\rho_a - \rho)(H_2 - H_1) = \Delta P_{1 \sim 2}$$

压力作用

重力作用



结论:

- 第一项两断面之间的全压差反映压力作用；第2项位压反映重力的作用；二者综合作用，克服流动阻力 $\Delta P_{1\sim 2}$ ，维持管内流动。二者的综合作用并非总是相互加强的。
- 若压力驱动的流动方向与位压一致，则二者综合作用加强管内气体流动，
- 若驱动方向相反，则由绝对值大者决定管流方向；绝对值小者实际上成为另加流动阻力。

2.2 流体输配管网水力计算的基本原理和方法

- ✓ 流体输配管网水力计算的目的：
 - 根据要求的流量分配确定管网的管径或阻力；求得管网特性曲线，为匹配管网动力设备准备条件，进而确定动力设备
 - 或者根据已定的动力设备，确定管道尺寸。

✓ *流体输配管网水力计算的理论依据:

流体力学一元流体流动连续性方程和能量方程及串、并联管路流动规律。动力设备提供的压力等于管网总阻力，串联管路总阻力等于各段管路阻力之和。

管段中的流动阻力包括沿程阻力和局部阻力。

摩擦阻力的计算

$$P_{ml} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v_2^2}{2} = R_m l \quad (2-2-1)$$

其中： λ 为摩阻系数， l 为管长， d 为管径或流速当量直径（ $4R_s$, $R_s=f/x$ ）， R_m 为单位长度摩擦阻力。

对高中压燃气管网（ $P > 10\text{KPa}$ ）由动量方程、气体状态方程和连续方程得：

$$P_1^2 - P_2^2 = 1.62 \lambda \frac{L_0^2}{d^5} \rho_0 P_0 l$$

对低压燃气管网 ($P \leq 10\text{KPa}$) 式2-2-1可简化为:

$$\Delta P_{1\sim 2} = 0.81\lambda \frac{L_0^2}{d^5} \rho_0 l$$

λ 摩阻系数的确定:

1、层流区 $R_e < 2000$ $\lambda = \frac{64}{R_e}$

2、临界区 $R_e = 2000 - 4000$ $\lambda = 0.0025 \sqrt[3]{R_e}$

3、紊流区 $R_e > 4000$ $\lambda = 0.11 \left(\frac{68}{R_e} + \frac{K}{d} \right)^{0.25}$

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

谢维列夫公式

1、新管公式

- 新钢管公式
- 新铸铁管公式
- 综合公式

2、旧管公式

- 旧钢管公式
- 旧铸铁管公式
- 综合公式

局部阻力计算

<流体输配管网>

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

常用的水力计算方法

- *1、**假定流速法**(按照技术经济比较确定推荐的风道流速（经济流速），然后根据风道内的风量来确定风道断面尺寸和阻力损失)
- *2、**压损平均法**(风管系统的风机压头已知或对分支管进行阻力平衡)
- *3、**静压复得法**(特别适合于多条主风道，而每条主风道又有很多分支道，出风口或末端装置均有相同的静压)

水力计算步骤（假定流速法）

- 计算前，完成管网布置，确定流量分配
- 绘草图，编号
- 确定流速
- 确定管径
- 计算各管段阻力
- 平衡并联管路
- 计算总阻力，计算管网特性曲线
- 根据管网特性曲线，选择动力设备

水力计算步骤（平均压损法）

- 计算前，完成管网布置，确定流量分配
- 绘系统图，编号，标管段 L 和 Q ，定最不利环路。
- 根据资用动力，计算其平均 R_m 。
- 根据 R_m 和各管段 Q ，确定其各管段管径。
- 确定各并联支路的资用动力，计算其 R_m 。
- 根据各并联支路 R_m 和各管段 Q ，确定其管径。

水力计算步骤（静压复得法）

- 计算前，完成管网布置
- 确定管道上各孔口的出流速度。
- 计算各孔口处的管内静压 P_j 和流量。
- 顺流向定第一孔口处管内流速、全压和管道尺寸。
- 计算第一孔口到第二孔口的阻力 $P_{1.2}$ 。
- 计算第二孔口处的动压 P_{d2} 。
- 计算第二孔口处的管内流速，确定该处的管道尺寸。
- 以此类推，直到确定最后一个孔口处的管道断面尺寸。

2.3 气体输配管网的水力计算

开式枝状气体输配管网的水力计算

- 首先完成管道布置、设备和各排送风点位置的确定；
- 排送风点风量和各管段风量的确定
- 计算步骤见

管道流速和管道断面尺寸的确定

(1) 绘制系统图

(2) 确定管内流速

一般采用经济流速，表2—3—1~3

(3) 根据确定流速确定风管管径，计算阻力（包括摩擦阻力（沿程阻力）和局部阻力）

摩擦阻力计算

选最不利环路计算阻力

◆ λ 值的确定

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

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho v_2^2}{2}$$

◆ R_m 值的计算和修正

制成图表，已知**流量、管径、流速、阻力**四个参数中两个，可查得其余两个，是在一定条件下得出

R_m 值的计算和**查取**（标准状态下）：

$$R_{m0} = \frac{\lambda_0}{D} \cdot \frac{\rho_0 v^2}{2}$$

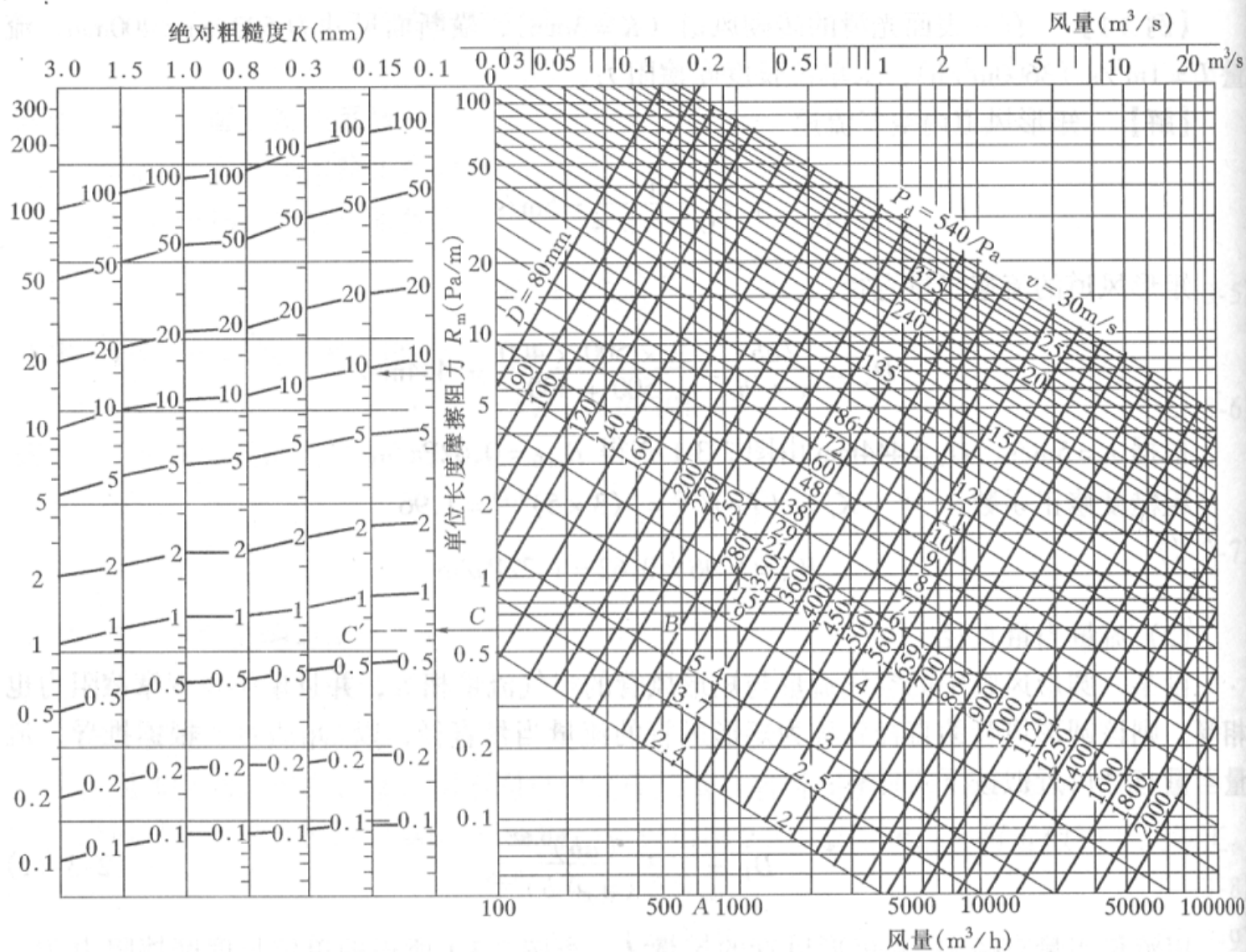


图 2-3-1 通风管道单位长度摩擦阻力线算图

R_m 值的修正:

(1) 密度、运动粘度的修正

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

(2) 温度、大气压和热交换修正

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

式中

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

$$K_B = \left(\frac{B}{101.3} \right)^{0.9}$$

$$K_H = \left(\frac{2}{\sqrt{T_b/T} + 1} \right)^2$$

[返回](#)

[继续](#)

(3) 管壁粗糙度的修正

$$R_m = R_{m0} K_k$$

$$K_k = (K_v)^{0.25}$$

各种材料的粗糙度 K

表 2-3-4

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

$$R_m = R_{m0} \left(\rho / \rho_0 \right)^{0.91} \left(\nu / \nu_0 \right)^{0.1} K_l K_B K_H K_K$$

◆ 矩形风管的摩擦阻力计算

主要考虑当量直径的确定，有流速当量直径和流量当量直径

(1) 流速当量直径

$$D_v = \frac{2ab}{a+b}$$

例2-1

有一表面光滑的砖砌风道（ $K=3\text{mm}$ ），断面 $500\times 400\text{mm}$ ， $L=1\text{m}^3/\text{s}$ ，求 R_m

解: $v=1\div(0.4\times 0.5)=5\text{ m/s}$

$$D_v=2ab/(a+b)=444\text{mm}$$

查图2-3-1 得 $R_{m0}=0.62\text{Pa/m}$

$$K_r=(3\times 5)^{0.25}=1.96$$

$$R_m=1.96\times 0.62=1.22\text{ Pa/m}$$

(2) 流量当量直径

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

例2 同例1

解： $v=1\div(0.4\times 0.5)=5\text{ m/s}$

$$D_L=1.3(ab)^{0.625}/(a+b)^{0.25}=478\text{mm}$$

查图2-3-1 得 $R_{m0}=0.61\text{Pa/m}$

$$K_r=(3\times 5)^{0.25}=1.96$$

$$R_m=1.96\times 0.61=1.2\text{Pa/m}$$

局部阻力计算

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

ζ 通过查手册获得

并联管路的阻力平衡

(1) 目的：管路风量达到预期值，力求各支路阻力相等，各管路阻力差小于15%，含尘风管小于10%

(2) 平衡的方法：

- 调整管径
- 阀门调节：

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

2.3.1.5 计算系统总阻力和获得管网特性曲线

(1) 系统总阻力：最不利环路所有串联管路阻力之和。

(2) 管网特性曲线：

$$\sum P = SQ^2$$

A)

$$S = \frac{\sum \Delta P}{Q^2}$$

B)

$$S = \sum S_i$$

或

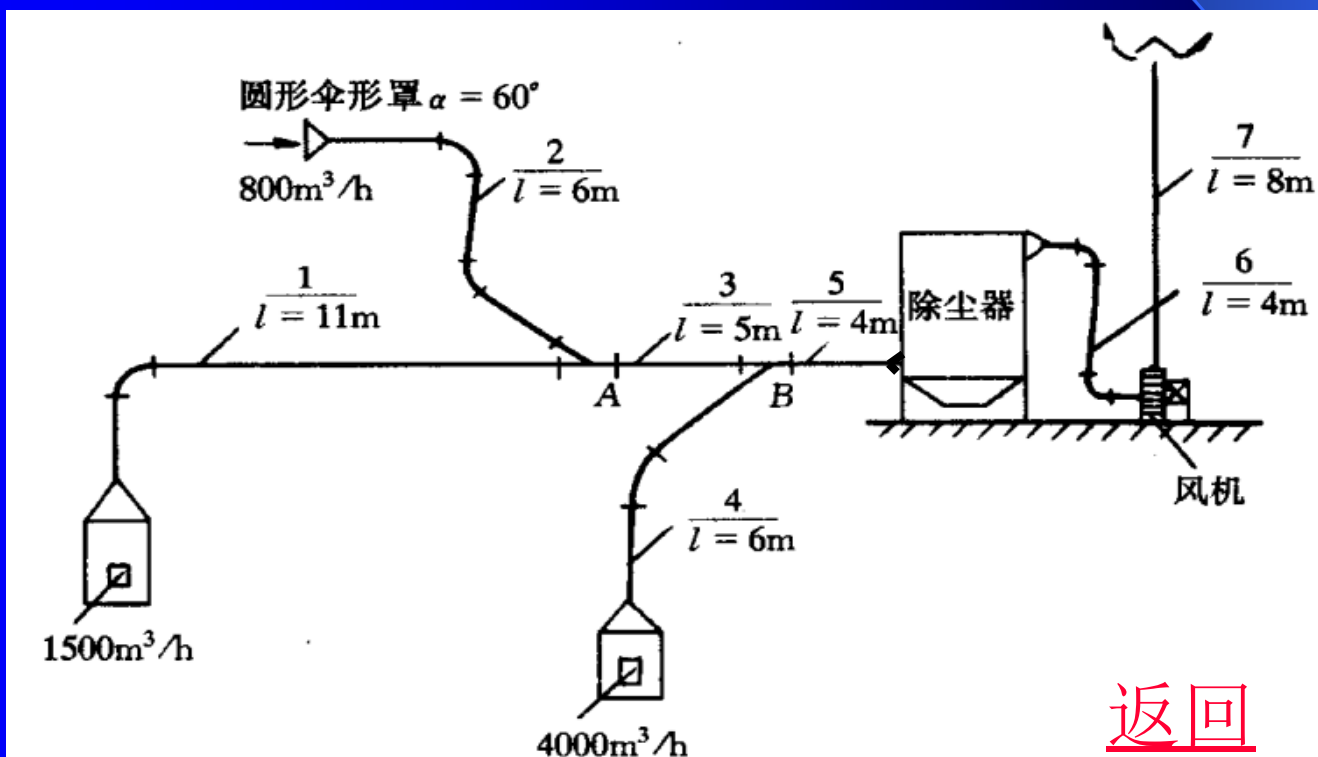
$$S^{-0.5} = \sum S_i^{-0.5}$$

其中：

$$S_i = \frac{8 \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right)_i \rho_i}{\pi^2 d_i^4}$$

计算例题

例2-3 如图所示通风管网。风管用钢板制作，输送含有轻矿物粉尘的空气，气体温度为常温。除尘器阻力为1200Pa，对该管网进行水力计算，并获得管网特性曲线。



[返回](#)

[解]:

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。
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2-3-3，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12m/s，水平风管14m/s。

考虑到除尘器及风管漏风，取 5%的漏风系数，管段 6及 7的计算风量为 $6300 \times 1.05 = 6615 \text{ m}^3 / \text{h}$ 。

管段1

水平风管，初定流速为 14m/s 。根据 $Q_1 = 1500\text{m}^3/\text{h}$ ($0.42\text{m}^3/\text{s}$)、 $v_f = 14\text{m/s}$ 所选管径按通风管道统一规格调整为： $D_1 = 200\text{mm}$ ；实际流速 $v_1 = 13.4\text{m/s}$ ；由图2-3-1查得， $R_{m1} = 12.5\text{Pa/m}$

同理可查得管段3、5、6、7的管径及比摩阻，具体结果见表2-3-5。

4. 确定管段2、4的管径及单位长度摩擦力，见表2-3-5。

5. 计算各管段局部阻力
例如：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/207063162140006061>