

序

为了解决环境工程专业和给水排水工程专业对流体力学和水力学教材的需要，我们三所院校的几位教师组成了流体力学（水力学）编写组。

本书在编写过程中，注意贯彻以下一些原则：加强基础理论，理论联系实际的原则；要“面向现代化、面向世界、面向未来”的原则；传授知识与培养能力相结合的原则，并注意到适宜于自学。书中各章都选编了较多数量且难易结合的例题与习题。为了适应科学技术的发展，部分章节还编写了电算方法以及相应的计算程序。

本书在我们教学实践的基础上，学习和参考了兄弟院校的教材和教学经验，在内容和体系等方面与目前相近教材有所不同。以期达到使今天的教育适合明天的需要。

本书共十四章，前七章可认为是基础理论部份，主要讨论流体力学（水力学）的基本概念和基本方程；后七章则注重于应用和有关专题。

本书可作为环境工程、给水排水工程专业的教科书，但在内容上各有所侧重，在教学过程中可按教学计划的要求作相应的删减。同时也可作为其他相近专业的师生和工程技术人员参考书。

本书编写采取集体讨论，分工执笔，主编审订的方式。参加执笔的有：重庆建筑工程学院魏亚东（第一、二、十一章）、范世轼（第三、四章）、邢增辉（第二章）；南京工学院闻德荪（第五、六、七、十三章）、王世和（第五、十章）；北京建筑工程学院李兆年（第八、九、十二、十四章）。由魏亚东主编。

本书在编写过程中得到了上述三个学院院、系领导的大力支持在此表示谢意。

由于水平所限，时间较紧，书中缺点和错误在所难免，恳切希望得到各方面的指正。以便改进。

编者

1985年10月

下 目 册 录

第八章	压力管道中的恒定流	244
§ 8—1	短管的水力计算.....	244
§ 8—2	长管的水力计算.....	250
§ 8—3	沿途均匀池流的管路.....	259
§ 8—4	枝状管网.....	260
§ 8—5	环状管网.....	265
§ 8—6	电算法求环状管网实例.....	269
	习题.....	276
第九章	明渠恒定流	280
§ 9—1	明渠均匀流的特征及基本公式.....	280
§ 9—2	水力最佳断面.....	284
§ 9—3	渠道中的允许流速.....	286
§ 9—4	明渠均匀流水力计算的几类问题.....	288
§ 9—5	无压排水管水力计算.....	291
§ 9—6	明渠非均匀流概述.....	295
§ 9—7	明渠非均匀流的水流状态.....	297
§ 9—8	断面比能与临界水深.....	299
§ 9—9	明渠非均匀渐变流微分方程.....	303
§ 9—10	棱柱体渠道中水面曲线的类型.....	305
§ 9—11	棱柱体渠道水面曲线的计算与绘制.....	310
§ 9—12	电算法求解水面曲线.....	315
§ 9—13	水跃.....	325
	习题.....	330
第十章	孔口、管嘴出流及堰流	333
§ 10—1	薄壁孔口出流.....	333
§ 10—2	管嘴出流.....	338
§ 10—3	闸孔出流.....	342
§ 10—4	堰流.....	346
§ 10—5	水工建筑物下游的衔接和消能.....	352
	习题.....	361
第十一章	管、渠非恒定流	364

§11—1	一维非恒定流的基本方程	364
§11—2	孔口、管嘴或短管的非恒定流	357
§11—3	水击现象与水击波的传播	370
§11—4	水击基本方程	374
§11—5	水击压强的计算	377
§11—6	明渠非恒定流的基本方程	383
	习题	386
第十二章	紊动射流与紊动扩散	388
§12—1	紊动射流的特性	388
§12—2	圆形断面淹没射流	391
§12—3	平面淹没射流	394
§12—4	温差或浓差射流	395
§12—5	分子扩散定律(费克定律)	397
§12—6	紊动扩散方程	399
§12—7	简单边界条件下扩散方程的求解	401
§12—8	一维剪切紊流中的流散	407
	习题	409
第十三章	渗流	410
§13—1	渗流模型	412
§13—2	渗流基本定律—达西定律	412
§13—3	地下明渠中的恒定均匀渗流和非均匀渗流	417
§13—4	棱柱体地下明渠中恒定渐变渗流浸润曲线型式的分析和计算	417
§13—5	井的渗流	423
§13—6	渗流运动的微分方程	425
§13—7	井群	431
	习题	433
第十四章	可压缩流体的流动	438
§14—1	无粘性可压缩流—维恒定流基本方程	438
§14—2	音速、马赫数	441
§14—3	气流速度与断面的关系	447
§14—4	气流经喷嘴的外射流动	448
§14—5	可压缩流体在等温管道中的流动	446
§14—6	可压缩流体在绝热管道中的流动	459
	习题	462

第八章 压力管道中的恒定流动

前面各章阐述了流体运动的基本规律，从本章开始将运用这些基本规律分析工程实践中各类典型的流动问题。压力管道中的恒定流动问题的研究，就是这类问题之一。

管道中压力流的特点是管道断面均被液体所充满，管内流体没有自由液面，流体压强一般大于大气压强（例如自来水管）或小于大气压强（例如虹吸管）。管内流体是在水头差的作用下流动的，因此称为压力流。

压力管道恒定流是指管内流体的运动要素不随时间而变化的压力流（例如水头恒定、流量不变的压力管流）。否则，为非恒定流。本章主要讨论压力管道中不可压缩流体的恒定流

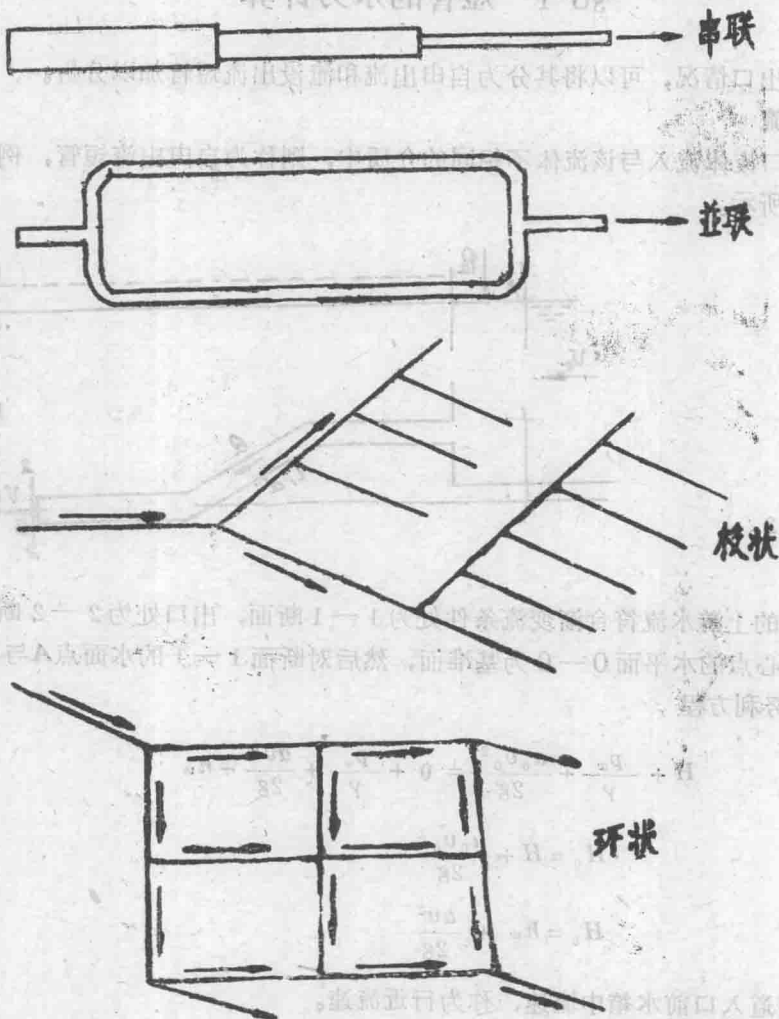


图 8-1

动。至于非恒定流和可压缩流体的流动，将分别在第十一章和第四章中讨论。

工业与民用给水管网、水处理构筑物中的连接管、虹吸管、水泵吸水管及压水管、石油化工管路、水电站的压力引水管、通风管、煤气输配管路等等，都是压力管流的工程实例，大多可应用本章所介绍的方法与原理去分析。

分析压力管路恒定流问题，主要应用连续方程、能量方程和水头损失计算公式。水头损失包括沿程损失与局部损失。为了便于计算，常按这两种水头损失在总水头损失中所占的比重而将管道分为长管和短管两类。长管是指该管道中的水头损失以沿程损失为主，局部损失和流速水头所占比重很小，可以忽略不计的管道。短管是指局部损失和流速水头所占比重较大，计算时不能忽略的管道。一般象城市给水管网常按长管计算，而象虹吸管、短压力涵洞、水泵吸水管等常按短管计算。

根据管道布置与连接情况，又可将管道分为简单管和复杂管两类。前者指没有分支的等径管道，后者指由两条以上管道组成的管系。复杂管又可分为串联、并联管路和枝状、环状管网，分别如图 8—1 所示。

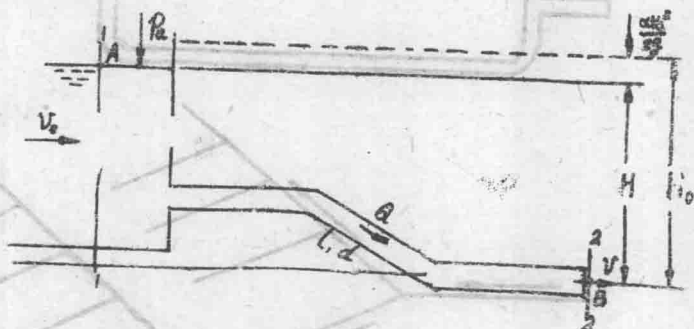
§8-1 短管的水力计算

根据短管的出口情况，可以将其分为自由出流和淹没出流短管加以分析。

一、自由出流

如果短管出口流体流入与该流体不相同的介质中，则称为自由出流短管，例如水流入大气中如图 8—2 所示。

图 8—2



选管道入口的上游水流符合渐变流条件处为 1—1 断面，出口处为 2—2 断面。并取通过断面 2—2 形心点的水平面 0—0 为基准面，然后对断面 1—1 的水面点 A 与断面 2—2 的形心点 B 写伯努利方程

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} + h_w$$

令

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}$$

可得

$$H_0 = h_w + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (8-1)$$

此处， v_0 ——管道入口前水箱中流速，称为行近流速。

H_0 ——包括行近流速水头在内的总水头。

式(8-1)表明短管总水头一部分用来克服水流阻力而损失掉(包括沿程损失与局部损失),另一部分转化为比动能 $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 。

由水头损失计算公式可知,

$$\begin{aligned} h_w &= \sum h_f + \sum h_j = \sum \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \zeta \frac{v^2}{2g} \\ &= \zeta_c \frac{v^2}{2g} \end{aligned} \quad (8-2)$$

式中 ζ_c ——短管的总阻力系数, $\zeta_c = \sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta$ 。将式(8-2)代入式(8-1)经整理后得

$$H_0 = (a + \zeta_c) \frac{v^2}{2g} \quad (8-3)$$

取 $a \approx 1$, 得

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_c}} \sqrt{2gH_0} \quad (8-4)$$

$$Q = vA = \mu_c A \sqrt{2gH_0} \quad (8-5)$$

式中 μ_c ——短管的流量系数, $\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_c}}$ 。

A ——短管的断面面积。

二、淹没出流

如果短管出口流体流入与该流体相同的介质中, 则称为淹没出流短管, 如图 8-3 所示。

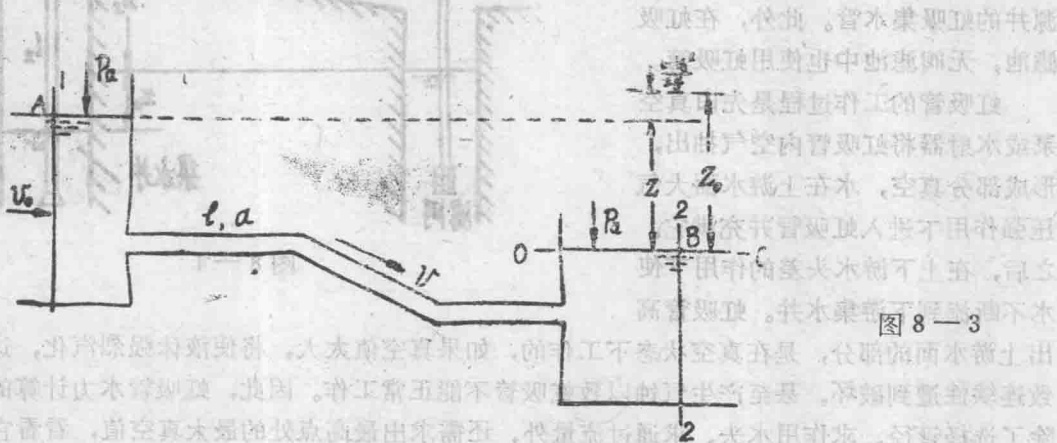


图 8-3

出口后, 断面突然放大, 流速减小, 多一出口的局部损失, 而下游水箱中水面点的流速水头则可忽略不计。选下游水箱水面为基准面。并取渐变流断面 1—1 及 2—2 写伯努利方程

$$z + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 + h_w$$

若令 $z_0 = z + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}$ 则有

$$z_0 = h_w \quad (8-6)$$

式 8-6 说明淹没情况下短管总水头 z_0 完全消耗在克服水流所受到的沿程阻力与局部阻力上。式 8-6 中的水头损失仍然可用式 (8-2) 计算, 但要注意此时的 $\Sigma \zeta$ 比自由出流多一出口阻力系数 $\zeta_{\text{出口}} = 1.0$ 。将式 (8-2) 代入 (8-6) 得

$$z_0 = \zeta_0 \frac{v^2}{2g} \quad (8-7)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\zeta_0}} \sqrt{2gz_0}$$

$$Q = \mu_c A \sqrt{2gz_0} \quad (8-8)$$

式中 $\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\zeta_0}}$, 仍为短管的流量系数。

比较式 (8-5) 与 (8-8) 可知, 自由出流与淹没出流短管的流量系数 μ_c 。虽然计算公式不同, 但 μ_c 的数值是相等的。流量计算的差别主要是体现在总水头的不同上。自由出流总水头 H_0 为出口断面形心点上的水头, 而淹没出流的总水头 z_0 是包括行近流速水头在内的上下游水头差。

三、短管计算实例

1. 虹吸管

在给排水工程中, 虹吸管有广泛的应用, 例如图 8-4 所示为水源井的虹吸集水管。此外, 在虹吸滤池, 无阀滤池中也使用虹吸管。

虹吸管的工作过程是先由真空泵或水射器将虹吸管内空气抽出, 形成部分真空, 水在上游水面大气压强作用下进入虹吸管并充满它。之后, 在上下游水头差的作用下使水不断流到下游集水井。虹吸管高出上游水面的部分, 是在真空状态下工作的, 如果真空值太大, 将使液体强烈汽化, 这将导致连续性遭到破坏, 甚至产生气蚀以致虹吸管不能正常工作。因此, 虹吸管水力计算的内容除了选择管径、求作用水头、求通过流量外, 还需求出最高点处的最大真空值, 看看它是否小于允许的真空高度 $[h_v]$ 。一般情况下 $[h_v] = 7 \sim 8$ 米水柱。

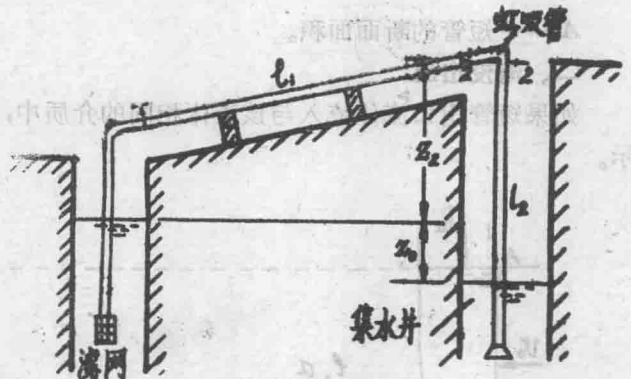


图 8-4

例 8-1, 某虹吸集水管如图 8-4, 通过流量 $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 0.04167 \text{ m}^3/\text{s}$, 起点至管道最高点的长度 $l_1 = 260 \text{ m}$, 最高点至出口的长度 $l_2 = 40 \text{ m}$, 沿程阻力系数 $\lambda = 0.025$, 局部阻力系数 $\zeta_{\text{滤网}} = 3.0$, $\zeta_{\text{弯头}} = 0.5$, $\zeta_{\text{阀门}} = 0.12$, $\zeta_{\text{出口}} = 1.0$ 。允许的真空高度 $[h_v] = 7 \text{ m}$ 。求虹吸管管径、所需的总水头及最高点距上游水面的高度。

解：1. 选择管径 管内水流速度，其流速即如前章所谈，管径由式(8-9)求得，其管径可根据通过流量和虹吸管的允许流速来选择管径。

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{\text{允许}}}} = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{v_{\text{允许}}}} \quad (8-9)$$

式中 $v_{\text{允许}}$ 可按照虹吸管的用途在有关的设计手册中查取。对水源井虹吸集水管， $v_{\text{允许}} = 0.5 \sim 0.7 \text{ m/s}$ ，取 $v_{\text{允许}} = 0.6 \text{ m/s}$ 代入式(8-9)

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{0.04167}{0.6}} = 0.298 \text{ m}$$

采用接近的标准管径 $d = 300 \text{ mm}$ 。

2. 求所需总水头

虹吸管为淹没出流的短管，其总水头由式(8-6)及式(8-2)

$$z_0 = h_w = \xi_c \frac{v^2}{2g} = \left(\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2g}$$

现在

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.04167}{\frac{\pi}{4}(0.3)^2} = 0.59 \text{ m/s}$$

代入总水头公式后有

$$z_0 = \left(0.025 \frac{260+40}{0.3} + 3 + 0.12 + 2 \times 0.5 + 1.0 \right) \frac{0.59^2}{2 \times 9.81} = 0.534 \text{ m}$$

3. 求最高点距上游水面的高度

设最高点断面 2-2 距上游水面的高度为 z_2 ，通过对上游水面点与断面 2-2 形心点写能量方程可得

$$z_2 = \frac{p_v}{\gamma} - h_{w1-2} - \frac{av^2}{2g}$$

式中 $\frac{p_v}{\gamma}$ 可以用 $[h_v] = 7 \text{ m}$ 代入，而起点至最高点的水头损失 h_{w1-2} 为

$$h_{w1-2} = 0.025 \frac{260}{0.3} + 3 + 0.12 + 0.5 \left) \frac{0.59^2}{2 \times 9.81} = 0.449 \text{ m}$$

因此，最高点距上游水面高度

$$z_2 = 7 - 0.449 - \frac{0.59^2}{19.62} = 6.53 \text{ m}$$

2. 短压力涵管

当小的河流穿过公路或铁路路基时，常采用压力涵管。涵管随上游水位不同可分为有压

无压两种。当上游水深 $H > 1.4D$ 时，管内充满液体，液体在水头差作用下流动，可按压力短管计算，否则，为无压涵管，可按宽顶堰流或明渠流计算。涵管计算内容为根据流量、水头差确定管径和校核上游壅水高度，以判断路堤堤顶标高是否合适。

例 8—2 某圆形压力涵管如图 8—5 所示，上游水深 $H > 1.4D$ ，管长 $l = 20\text{m}$ ，上下游水头差 $z_0 = 1\text{m}$ ，通过流量 $Q = 2\text{ m}^3/\text{s}$ ，沿程阻力系数 $\lambda = 0.03$ ，局部阻力系数 $\zeta_{\text{进口}} = 0.5$ ， $\zeta_{\text{出口}} = 1.0$ 。试确定管径 $D = ?$

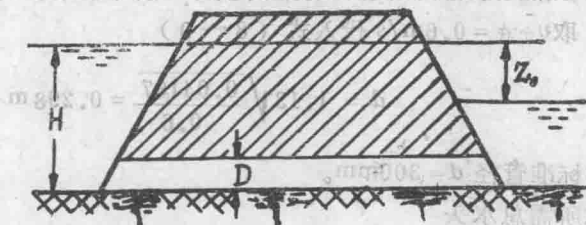


图 8—5

解：

$$\text{由淹没短管公式 } z_0 = h_w = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{可得水头差 } z_0 = \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_{\text{进口}} + \zeta_{\text{出口}} \right) \frac{(4Q)^2}{\pi^2 D^5 2g}$$

代入各项数据得

$$1 = \left(0.03 \frac{20}{D} + 0.5 + 1.0 \right) \frac{(4 \times 2)^2}{\pi^2 D^5} / 2 \times 9.81$$

整理后得

$$D^5 - 0.495D - 0.198 = 0$$

可用试算法解出上式中管径 D ，也可用求高次方程的根的方法求 D ，现用牛顿迭代法求 D ，上式可写成 $F(D) = 0$ 形式，求其一阶导数

$$F'(D) = 5D^4 - 0.495$$

$$D_{n+1} = D_n - \frac{F(D_n)}{F'(D_n)}$$

式中 D_n ——第 n 次迭代的管径

D_{n+1} ——第 $n+1$ 次迭代的管径

设第一次迭代时 $D_1 = 1\text{m}$ 代入

$$D_2 = D_1 - \frac{F(D_1)}{F'(D_1)} = 1 - \frac{1 - 0.495 - 0.198}{5 - 0.495}$$

$$D_2 = 0.9318\text{m}$$

$$D_3 = 0.9318 - \frac{0.9318^5 - 0.495 \times 0.9318 - 0.198}{5 \times 0.9318^4 - 0.495} = 0.9186\text{m}$$

$$D_4 = 0.9182\text{m}$$

$$D_5 = 0.91815\text{m}$$

如果要求精确到小数点后第三位，则上面求出的根即可满足要求。

3. 水泵吸水管

离心式水泵利用叶轮的旋转将机械能传送给水流。使叶轮出口处压强增加，而在叶轮吸水口形成真空（图8—6中的断面2—2），液体在水面大气压强作用下流入吸水管。与虹吸管类似。为防止在低压下液体汽化和气蚀，断面2—2的高度受到限制。因此，水泵吸水管计算的主要问题是求最大安装高度 H_s 。为此对水面与吸水管口断面写能量方程

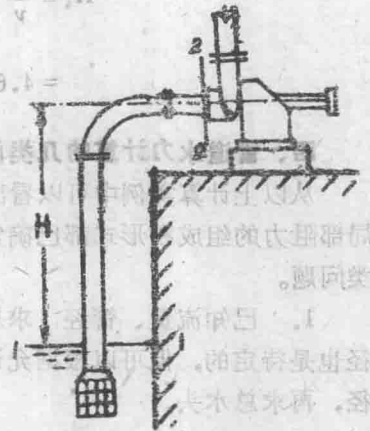


图8—6

$$\frac{p_a}{\gamma} = H_s + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

$$H_s = \frac{p_a - p_2}{\gamma} - h_w - \frac{\alpha v_2^2}{2g}$$

$$H_s = \frac{p_v}{\gamma} - h_w - \frac{\alpha v_2^2}{2g}$$

式中： $\frac{p_v}{\gamma}$ ——离心泵允许的吸水真空高度，可由实验确定或查水泵产品样本。

例8—3 如图8—6所示的离心水泵吸水管，抽水量 $Q = 100 \text{ l/s}$ ，吸水管长 $l = 15 \text{ m}$ ，管材为旧钢管，局部阻力系数 $\zeta_{底阀} = 8.0$ ， $\zeta_{弯头} = 0.25$ ，允许的吸水真空高度 $\frac{p_v}{\gamma} = 4.6 \text{ m}$ ，试选择管径 d 并确定最大安装高度 $H_s = ?$

解：

1. 选择管径 d

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{v_{\text{允许}}}}$$

水泵吸水管内流速约为 $1 \sim 1.6 \text{ m/s}$ ，当管径大时可取较高的

数值。现取 $v = 1.45 \text{ m/s}$

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{0.10}{1.45}} = 0.297 \text{ m}$$

取 $d = 300 \text{ mm}$ ，此时吸水管中的流速为

$$v = \frac{0.10}{\frac{\pi}{4}(0.3)^2} = 1.41 \text{ m/s} > 1.2 \text{ m/s 阻力平方区,}$$

2. 求安装高度

水头损失
$$h_w = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\lambda = 0.021/d^{0.3} = 0.030$$

$$h_w = \left(0.03 \frac{15}{0.3} + 8 + 0.25 \right) \frac{1.41^2}{2 \times 9.81} = 0.988 \text{ m}$$

最大安装高度

$$\begin{aligned} H_s &= \frac{p_v}{\rho} - h_w - \frac{\rho v_2^2}{2g} = \frac{p_v}{\rho} - h_w - \frac{\rho v^2}{2g} \\ &= 4.6 - 0.988 - \frac{1.41^2}{2 \times 9.81} = 3.51 \text{ m} \end{aligned}$$

四、管道水力计算的几类问题

从以上计算实例中可以看出，在简单管路计算前，管长、管材（与沿程阻力系数有关）局部阻力的组成和形式都已确定，根据水力计算公式和各参数的已知情况，一般可解以下几类问题。

1. 已知流量、管径，求总水头。如例 8—1 即属此类问题。有时，在此类问题中的管径也是待定的，但可以根据允许流速（在规范、手册等有关资料中查取）和流量先定出管径，再求总水头。

2. 已知总水头、通过流量，求管道的直径，如例 8—2 求压力涵管的直径即属此类问题。

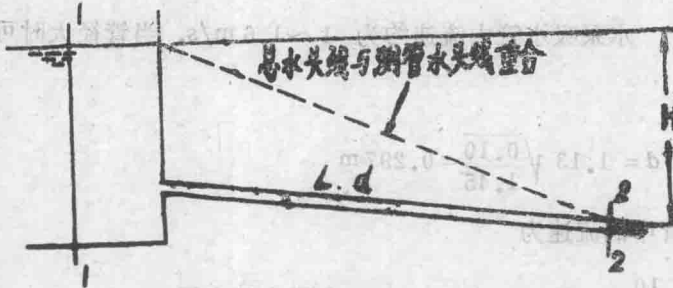
3. 已知总水头和管径，求通过流量。

除以上三类基本问题外，对某些短管路还需计算最高点位置高度以防止汽化、气蚀等特殊问题。

§8-2 长管的水力计算

一、简单管路

某简单长管路如图 8—7 所示，由于不考虑流速水头，所以总水头线与测管水头线重合，又因不考虑局部损失，根据式（8—1）直接可得



$$H = h_f$$

(8—10)

式（8—10）表明在长管中，全部水头均消耗于克服沿程阻力，总水头 H 即等于沿程损失 h_f 。式（8—10）可以解决与短管相类似的三类计算问题。

1. 以流量表示的达西公式

在管路计算中主要讨论的是流量、水头、管径三者之间的关系，因此，工程上惯用的流量 Q 代替流速 v 来计算水头的公式。如果以 $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ 代入达西公式后有

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right)^2 / 2g = \frac{8\lambda}{\pi^2 g d^5} L Q^2$$

或
对长管路得

$$h_f = A l Q^2$$

$$H = A l Q^2 \quad (8-11)$$

式中A——比阻，为单位流量通过单位长度管道所损失的水头。

$A = \frac{8\lambda}{\pi^2 g d^5} = f(\lambda, d)$ ，随管径与沿程阻力系数而变，而阻力系数又随管壁相对粗糙度及雷诺数R_e而变，在给排水工程上，水管多在阻力平方区和过渡区工作，现根据第六章所介绍的在此两区域中沿程阻力系数的计算公式来计算比阻A值。

(1) 舍维列夫 (Ф. А. Шевелев) 公式

对于旧钢管与旧铸铁管，当其流速 $v \geq 1.2m/s$ 在阻力平方区时

$$A = \frac{0.001736}{d^{5.3}} \quad (8-12)$$

当 $v < 1.2m/s$ ，在过渡区工作时

$$A' = kA = 0.852 \left(1 + \frac{0.867}{u} \right)^{0.8} A \quad (8-13)$$

式中A'——过渡区的比阻

k——修正系数，当水温为10℃时，各种流速下的k值列于表8-1

表8-1 钢管及铸铁管A值之修正系数k

u(m/s)	0.2	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
k	1.41	1.33	1.28	1.24	1.20	1.175	1.15	1.13	1.115
u(m/s)	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	1.0	1.1	≥ 1.2	
k	1.085	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.015	1.00	

表8-2 铸铁管的比阻A值 (s²/m⁶)

内径 (mm)	A (Q以m ³ /s计)	内径 (mm)	A (Q以m ³ /s计)
50	15190	400	0.2232
75	1709	450	0.1195
100	365.3	500	0.06839
125	110.8	600	0.02602
150	41.85	700	0.01150
200	9.029	800	0.005665
250	2.752	900	0.003034
300	1.025	1000	0.001736
350	0.4529		

按式(8-12)计算A值时d以米计,对各种标准管径可直接从表8-2或表8-3中查取A,比较方便。

表8-3 钢管的比阻A值 (s^2/m^6)

水 煤 气 管			中 等 管 径		大 管 径	
公称直径 $D_g(\text{mm})$	A (Q以 m^3/s 计)	A (Q以 l/s 计)	公称直径 $D_g(\text{mm})$	A (Q以 m^3/s 计)	公称直径 $D_g(\text{mm})$	A (Q以 m^3/s 计)
8	22550000	225.5	125	106.2	400	0.2062
10	32950000	32.95	150	44.95	450	0.1089
15	8809000	8.809	175	18.96	500	0.06222
20	1643000	1.643	200	9.273	600	0.02384
25	4367000	0.4367	225	4.822	700	0.01150
32	93860	0.09386	250	2.583	800	0.005665
40	44530	0.04453	275	1.535	900	0.003034
50	11080	0.01108	300	0.9392	1000	0.001736
70	2893	0.002893	325	0.6088	1200	0.0006605
80	1168	0.001168	350	0.4078	1300	0.0004322
100	267.4	0.0002674			1400	0.0002918
125	86.23	0.0008623				
150	33.95	0.0003395				

(2) 满宁 (Manning) 公式

对于在阻力平方区工作的各种管材均适用的沿程阻力系数公式以满宁公式较简便,将

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad \lambda = \frac{8g}{c^2} \quad \text{代入 } A = \frac{8\lambda}{\pi^2 g d^5} \text{ 得}$$

$$A = \frac{10.3n^2}{d^{5.33}} \quad (8-14)$$

以此式对标准管径计算出的比阻A值列于表8-4中。

(3) 以管道摩阻表示的水头损失计算

在管网的水力计算中,管长L也是已知数,为了简便,常令 $s = AL$, 称为水管摩阻,因此式(8-11)就成为

$$\left. \begin{aligned} H &= SQ^2 \\ h_f &= SQ^2 \end{aligned} \right\} \quad (8-15)$$

2. 指数型公式

在实际经验为基础的指数型水头损失计算公式,在某些国家的工程上也得到广泛应用,其形式如下:

表 8-4 (a-8) 大口径管渠比阻系数

水管直径 (mm)	比阻A值(Q以m ³ /s计)		
	满宁公式 ($c = \frac{1}{n} T^{1/6}$)		
	n = 0.012	n = 0.013	n = 0.014
75	1480	1740	2010
100	319	375	434
150	36.7	43.0	49.9
200	7.92	9.30	10.8
250	2.41	2.83	3.28
300	0.911	1.07	1.24
350	0.401	0.471	0.545
400	0.196	0.230	0.267
450	0.105	0.123	0.143
500	0.0598	0.0702	0.0815
600	0.0226	0.0265	0.0307
700	0.00993	0.0117	0.0135
800	0.00487	0.00573	0.0066
900	0.00260	0.00305	0.00354
1000	0.00148	0.00174	0.00201

$$\frac{h_f}{L} = \frac{RQ^m}{d^m} \quad (8-16)$$

式中 m 、 n —— 经验性指数。

R —— 与管壁粗糙度有关的阻力系数，对水在常温下通过管道时 Hazen-Williams 建议由下式求 R

$$R = \frac{10.675}{c^n} \quad (8-17)$$

上式是对国际单位制 (SI) 而言的。当指数 $n = 1.852$, $m = 4.8704$ 时, c 值按管壁粗糙度采用如下:

- | | | |
|-------|---|-------------------------|
| $c =$ | { | 140, 极光滑的直管; 石棉水泥管 |
| | | 130, 很光滑的管道; 混凝土管; 新铸铁管 |
| | | 120, 木板管; 新焊接钢管 |
| | | 110, 陶土管; 新铆接钢管 |
| | | 100, 使用多年之后的铸铁管 |
| | | 95, 使用多年之后的铆接钢管 |
| | | 60到80, 在恶劣条件中工作的旧管道。 |

将指数 n 、 m 值及阻力系数 R 代入式 (8-6) 之后得到 Hagen-Williams 公式

$$\frac{h_f}{L} = \frac{10.675 Q^{1.852}}{c^{1.852} d^{4.8704}} \quad (8-18)$$

3. 按水力坡度计算管路

在有些设计手册中给出了按水力坡度 J (有些手册用符号 i)、流速 v 、管径 d 的计算表格和公式。对钢管、铸铁管当在阻力平方区工作时, $v \geq 1.2 \text{ m/s}$

$$1000 J = 1.07 \frac{v^2}{d^{1.3}} \quad (8-19)$$

在过渡区工作时, $v < 1.2 \text{ m/s}$

$$1000 J = 0.912 \frac{v^2}{d^{1.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3} \quad (8-20)$$

对钢筋混凝土管, 按谢才公式有

$$J = \frac{v^2}{c^2 R} \quad (8-21)$$

式中 R ——水力半径;

c ——谢才系数, 按 $c = \frac{1}{n} R^{1/6}$ 计算;

例 8-4 某铸铁给水管管径 $d = 200 \text{ mm}$, 管长 $l = 300 \text{ m}$, 当水头损失为 5.5 m 时求通过流量 Q , 又如水头损失减为 1.25 m 时, 再求流量 $Q = ?$

解:

先按阻力平方区计算, 然后再看是否需校正。由管径 $d = 200 \text{ mm}$ 查表 8-2 得 $A = 9.029 \text{ s}^2/\text{m}^5$

(1) 当 $h_f = 5.5 \text{ m}$ 时

$$Q = \sqrt{\frac{H}{Al}} = \sqrt{\frac{5.5}{9.029 \times 300}} = 0.04506 \text{ m}^3/\text{s} = 45.06 \text{ l/s}$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{0.04506}{\frac{\pi}{4} (0.2)^2} = 1.435 \text{ m/s} > 1.2 \text{ m/s}$$

不需校正

(2) 当 $h_f = 1.25 \text{ m}$ 时。

$$Q = \sqrt{\frac{H}{Al}} = \sqrt{\frac{1.25}{9.029 \times 300}} = 0.02148 \text{ m}^3/\text{s} = 21.48 \text{ l/s}$$

$$v = \frac{0.02148}{\frac{\pi}{4} (0.2)^2} = 0.6837 \text{ m/s} < 1.2 \text{ m/s}$$

为过渡区需校正, 由 v 查表 8-1, $k = 1.091$

$$Q = \sqrt{\frac{1.25}{1.091 \times 9.029 \times 300}} = 0.02057 \text{ m}^3/\text{s} = 20.57 \text{ l/s}$$

再求 $v = 0.6546 \text{ m/s} < 1.2 \text{ m/s}$ 查表 8-1 $k = 1.1$

$$Q = \sqrt{\frac{1.25}{1.1 \times 9.029 \times 300}} = 0.02048 \text{ m}^3/\text{s} = 20.48 \text{ l/s}$$

(3) 当 $h_f = 5.5 \text{ m}$ (8-18) 式取 $c = 100$

$$\frac{h_f}{L} = \frac{10.675 Q^{1.852}}{c^{1.852} d^{4.8704}}$$

$$\frac{5.5}{300} = \frac{10.675 Q^{1.852}}{100^{1.852} (0.2)^{4.8704}}$$

解得

$$Q = 0.0465 \text{ m}^3/\text{s} = 46.5 \text{ l/s}$$

例 8-5 若在上题中流量为 $Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 其余条件相同, 求总水头 $H = ?$

解:

由于流量增大, 显然在阻力平方区工作, 所以总水头

$$H = ALQ^2$$

$$H = 9.029 \times 300 \times (0.1)^2 = 27.087 \text{ m}$$

例 8-6 一钢筋混凝土给水管, 通过流量 $Q = 800 \text{ l/s}$, 水头 $H = 25 \text{ m}$, 输水 1 公里远, 试选择管径 $d = ?$

解:

选择粗糙系数 $n = 0.012$, 由 H 及 Q 求出 A

$$A = \sqrt{\frac{H}{LQ^2}} = \sqrt{\frac{25}{1000 \times 0.8^2}} = 0.1976 \text{ s}^2/\text{m}^6$$

由 n 及 A 查表 8-4 得接近此 A 值的标准管径 $d = 400 \text{ mm}$ 。

二、串联管路

串联管路是由直径不等的管段首尾顺序联接而成的管系, 如图 8-8 所示。当沿途有几处集中用水的大用户时, 每隔一定距离将一部分流量分出, 随流量的逐段减少, 管径也将相应的变小。设第 i 管段末集中分出的流量为 q_i , 管段的通过流量为 Q_i , 由连续原理可得:

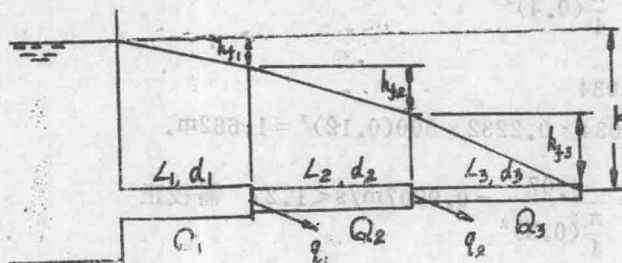


图 8-8

$$Q_i = Q_{i+1} + q_i \quad (8-22)$$

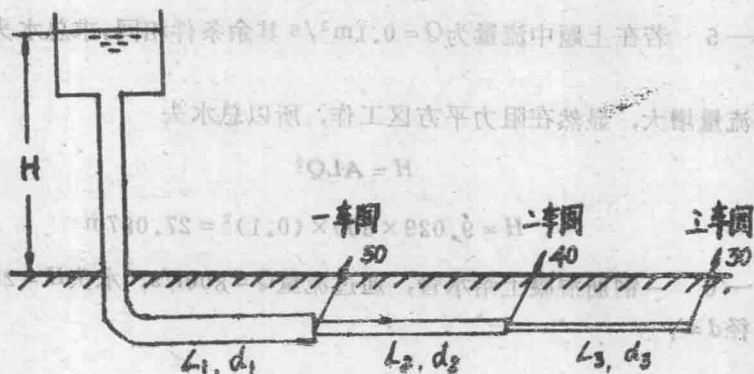
从上式可知, 当沿途无流量分出即 $q_i = 0$ 时, 各管段的通过流量均相等。但在一般情况下, 由于各管段长度、流量、管径、流速均不一定相同, 所以其沿程损失需分段计算, 而串联管路的总水头 H 应等于各管段水头损失之和。

$$H = \sum_{i=1}^n h_{fi} = \sum_{i=1}^n A_i L_i Q_i^2 \quad (8-23)$$

$$H = \sum_{i=1}^n S_i Q_i^2 \quad (8-24)$$

例 8-7 某工厂有三个车间各车间用水量分别为 $q_1 = 50 \text{ l/s}$, $q_2 = 40 \text{ l/s}$, $q_3 = 30 \text{ l/s}$ 。各车间所需管段长度及所用管径分别为 $L_1 = 500 \text{ m}$, $d_1 = 400 \text{ mm}$, $L_2 = 400 \text{ m}$, $d_2 = 300 \text{ mm}$, $L_3 = 300 \text{ m}$, $d_3 = 200 \text{ mm}$ 。车间所需自由水头皆为 10 m , 且因地势平坦, 地形高差可不计。求水塔所需高度 $H = ?$

图 8-9



解:

先求各管段通过流量

$$Q_3 = q_3 = 30 \text{ l/s}$$

$$Q_2 = Q_3 + q_2 = 30 + 40 = 70 \text{ l/s}$$

$$Q_1 = Q_2 + q_1 = 70 + 50 = 120 \text{ l/s}$$

分别求各管段水头损失

$$v_1 = \frac{Q_1}{\frac{\pi}{4} d_1^2} = \frac{0.12}{\frac{\pi}{4} (0.4)^2} = 0.955 \text{ m/s} < 1.2 \text{ 过渡区}$$

查得 $A_1 = 0.2232$, $k_1 = 1.034$

$$h_{f1} = K_1 A_1 L_1 Q_1^2 = 1.034 \times 0.2232 \times 500 (0.12)^2 = 1.662 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{0.07}{\frac{\pi}{4} (0.3)^2} = 0.9907 \text{ m/s} < 1.2 \text{ 需校正}$$

查出 $A_2 = 1.025$, $k_2 = 1.0288$

$$h_{f2} = K_2 A_2 L_2 Q_2^2 = 1.0288 \times 1.025 \times 400 \times (0.07)^2 = 2.067 \text{ m}$$

$$v_3 = \frac{0.03}{\frac{\pi}{4} (0.2)^2} = 0.9554 \text{ m/s} < 1.2 \text{ 需校正}$$