

第六章 有压管流

6.1 概述

以上各章中讨论了液体运动的基本规律，导出了水力学的基本方程—连续方程、能量方程及动量方程，并阐述了水头损失的计算方法，应用这些基本原理即可研究解决工程中常见的水力计算问题，如有压管道中的恒定流。

1. **有压管流**：液体充满整个管道横断面，管内不存在自由液面的流动。
2. **短管**：指局部水头损失和流速水头与沿程水头损失相比不能忽略，必须同时考虑的管道。
3. **长管**：指沿程水头损失起主要作用，局部水头损失和流速水头可以忽略不计的管道。
4. **自由出流**：指液流出口流入大气的流动。
5. **淹没出流**：指液流出口淹没在下游液面以下的流动。

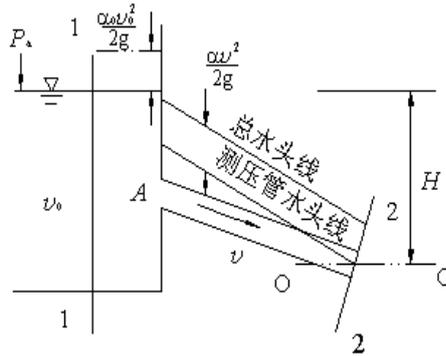
6.2 短管的水力计算

短管的水力计算可分为自由出流和淹没出流两种情况。

一、自由出流

管道出口水流流入大气，水股四周都受大气压强的作用，称为**自由出流管道**。

如下图，列断面 1-1、2-2 的能量方程



1. 总水头:

$$H_0 = \frac{v^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_j$$

2. 管中流速:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta + 1}} \sqrt{2gH_0}$$

3. 通过管道的流量:

$$Q = Av = \mu_c A \sqrt{2gH_0}$$

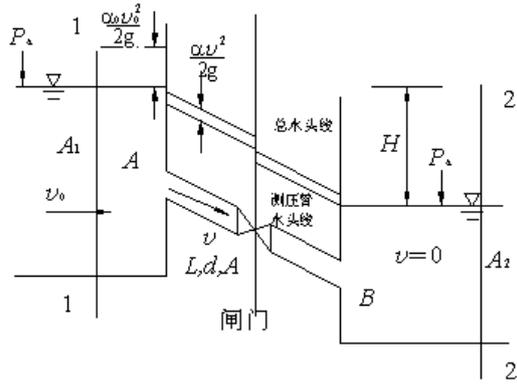
H_0 为作用水头，指管道出口形心至上游水池水面的水头与上游行进流速的流速水头之和。当行近流速较小时，可以近似取 $H_0 = H$ 。

μ_c 为管系流量系数

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta + 1}}$$

二、淹没出流

1. 管道出口淹没在水下，称淹没出流。



图中，列断面 1-1 与 2-2 的能量方程：

$$H + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

令：

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

且 $w_1 \gg w$, $w_2 \gg w$ ，则有：

$$H_0 = H = h_w$$

说明：简单管道在淹没出流的情况下，其作用水头 H_0 完全被消耗于克服管道由于沿程阻力、局部阻力所作负功所产生的水头损失上。

即：

$$H_0 = h_w = \sum h_f + \sum h_j = \left(\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g}$$

2. 管中流速：

$$v = \frac{1}{\sqrt{\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH_0}$$

3. 通过管道的流量：

$$Q = Av = \frac{A}{\sqrt{\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH_0} = \mu_c A \sqrt{2gH_0}$$

式中： μ_c 为管系流量系数，

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}}$$

它反映了沿程阻力和局部阻力对管道输水能力的影响。

H_0 为作用水头，指上、下游水位差加上游行进流速的流速水头。

$\sum \zeta$ 为局部阻力系数，包含出口损失 $\zeta_{出口} = 1$ 。

4. 以上讨论中同时考虑了管道的沿程损失及局部水头损失，是按短管计算的情况。
5. 若管道较长，局部水头损失及流速水头可以忽略，可以得到：

$$H = h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

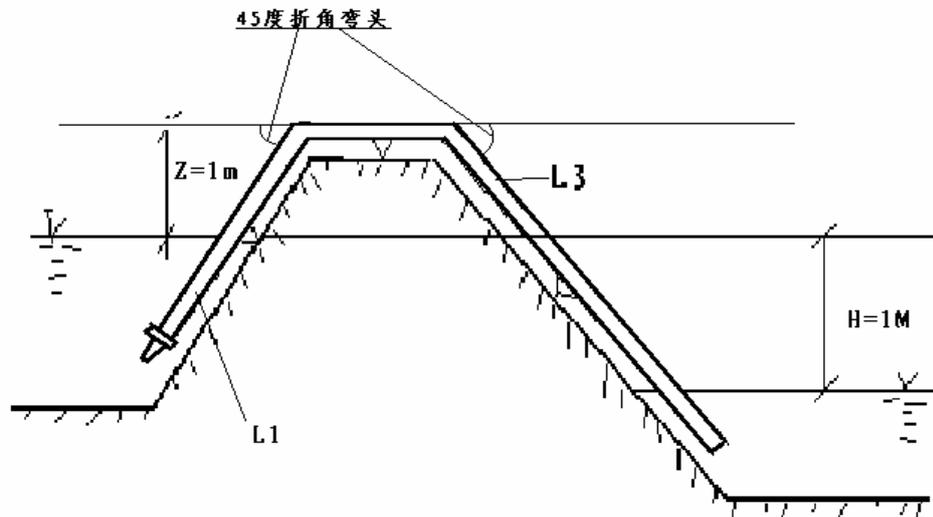
对于紊流阻力平方区可采用流量模数 $K = AC\sqrt{R}$ 来计算。

即得：
$$Q = K\sqrt{J}$$

或
$$H = h_f = k \frac{Q^2}{K^2} l$$

三、虹吸管的水力计算

虹吸管是一种压力输水管道，（如图）顶部弯曲且其高程高于上游供水水面。若在虹吸管内造成真空，使



作用在上游水面的大气压强和虹吸管内压强之间产生压差，水流即能超过虹吸管最高处流向低处。虹吸管顶部的真空理论上不能大于最大真空值，即 10 米高水柱。实际上当虹吸管内压强接近该温度下的汽化压强时，液体将产生汽化，破坏水流的连续性。故一般不使虹吸管中的真空值大于 7—8 米。虹吸管的长度一般不大，故应按短管计算。

四、水泵装置的水力计算

- 1、吸水管的水力计算。吸水管的计算在于确定吸水管的管径及水泵的最大允许安装高程。
- 2、压力水管的水力计算。压力水管的计算在于决定必需的管径及水泵的装机容量。

6.3 长管的水力计算

一. 简单管道水力计算的基本类型

直径不变没有分支的管道称为**简单管道**。是长管中最基本的类型。

1. 输水能力计算

当管道布置、断面尺寸及作用水头已知时，要求确定管道通过的流量。对于短管和长管都可以用公式直接求解。

2. 已知管道尺寸和输水流量 Q ，求保证输水流量的作用水头 H 。实际是求通过流量 Q 时管道的水头损失，可以直接计算，但要求管内流速，以判别是否要进行修正。

3. 已知管线布置和输水流量，求输水管径 d 。

$$\text{对于长管: } K = Q / \sqrt{H/L}$$

按求得的流量模数，即可由 4-1 确定所需的管道直径。

$$\text{对于短管: } d = \sqrt{4Q / (\pi \mu_c \sqrt{2gH})}$$

上式中 μ_c 与管径 d 有关，所以需要试算。

4. 已知流量和管长，求管径 d 和水头 H ；这是工程中常见的实际问题。通常是从技术和经济两方面综合考虑，确定满足技术要求的经济流速。有了经济流速就可以求出管径，这样求水头 H 即转化为第二类问题。

5. 对于一个已知管道尺寸、水头和流量的管道，要求确定管道各压面的大小根据能量方程，管路中任意断面处的测压管水头为：

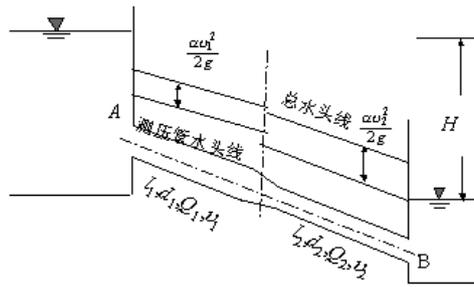
$$(z + \frac{p}{\gamma})_i = H_0 - (h_f + h_j)_{0-i} - \frac{v^2}{2g}$$

即管路中任意断面 i 处的测压管水头等于总水头 H_0 减去该断面以前的沿程水头损失与局部水头损失，再减去该断面的流速水头。把各断面的测压管水头连接起来，就得到整个管路的测压管水头线。

二. 串联管道的水力计算

1. **管道**：由直径不同的几段管段顺次连接而成的管道称为串联管道，

如图



2. 串联管道的特点：总水头损失等于各管段的水头损失之和，后一管段的流量等于前一管段流量减去前管段末端泄出的流量。

(1) 按长管计算：

$$H = \sum h_{fi} = \sum \frac{Q_i^2}{K_i^2} l_i$$

(2) 按短管计算：

$$H = \sum h_{fi} + \sum h_{jk} + \frac{v^2}{2g}$$

(3) 在各管段的联结点水流应符合连续原理：

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \dots = Q_n \quad \text{无流量分出}$$

$$\text{或 } Q_i = Q_{i+1} + q_i \quad \text{有流量分出}$$

三. 并联管道的水力计算

并联管道 (pipes in parallel)：两条或两条以上的管道同在一处分出，又在另一处汇合，这种组合而成的管道为并联管道。

1. 并联管道的特点为：

- (1) 各条管路在分叉点和汇合点之间的水头损失相等。
- (2) 管路中的总流量等于各并联管路上的流量之和。

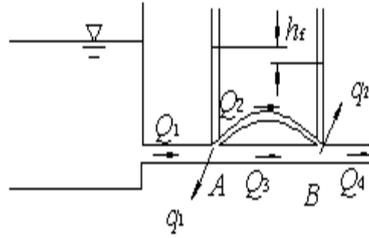
2. 并联管路一般按长管计算，其计算公式为：

(1) 各支管的流量与总流量间应满足连续方程：

$$Q = \sum Q_i$$

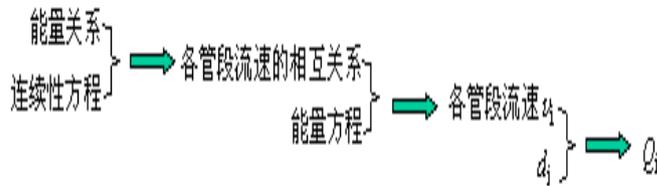
(2) 单位重量流体通过所并联的任何管段时水头损失皆相等。即：

$$h_{fAB} = h_{f1} = h_{f2} = \dots = h_{fn} = h_f$$



3. 并联管道水力计算基本类型：

已知 Q 总、管段情况 ($d_i, l_i, \Delta i$)，求各管段流量分配。



四. 分叉管道的水力计算

由一根总管分出几根支管而不再汇合的管路称为分叉管路。分叉管路可以看成几根串联管路的组合，通常需要采用试算法求解。

五. 沿程均匀泄流管道的水力计算

前面讨论的管道其流量在每一管段范围内均沿程不变，流量在管段末，这种流量称为通过流量。但在实际工程上可能遇到从侧面不断连续泄流的管道。此管道沿程连续不断分泄出的流量称为沿程泄出流量，单位是 $\text{米}^3 / \text{秒} \cdot \text{米}$ 。一般说来，沿程泄出的流量是不均匀的，流量沿管道的变化是一个以距离为变数的复杂函数。我们只研究一种简单的情况，就是管道各单位长度上的沿程泄出流量相等，这种管道称为沿程均匀泄流管道。

6.3 有压管道非恒定流

水电站有压引水系统中,由于管道阀门突然启闭或水轮机突然丢弃负荷等原因,将引起压力管道、水轮机蜗壳的等压强和流速等水力要素随时间急剧变化。明渠或河道中,因暴雨径流、潮汐、溃坝、闸门启闭、水电站或水泵站的调节以及地震影响等,都会引起明渠或河道上下游水位、流量等水力要素随时间的变化。这些都属于非恒定流现象。

一. 水击现象传播过程