

高校经典教材同步辅导丛书
配套高教版·闻德荪主编

教你用更多的自信面对未来！

工程流体力学

(水力学)

(第三版·下册)

同步辅导及习题全解

主 编 苏蕊

一书两用
同步辅导+考研复习

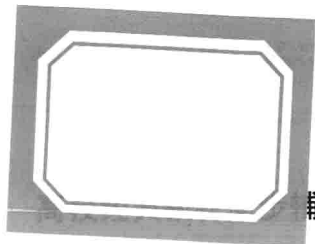
习题超全解

名师一线经验大汇集，解题步骤超详细，方法技巧最实用

新版



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



辅导丛书

工程流体力学（水力学） （第三版·下册） 同步辅导及习题全解

主 编 苏蕊



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是与高等教育出版社, 闻德荪主编的《工程流体力学(水力学)》(第三版·下册)一书配套的同步辅导及习题全解辅导书。

本书共有六章, 分别介绍有压管流和孔口、管嘴出流、明渠流和闸孔出流及堰流、渗流、射流和流体扩散理论基础、可压缩气体的流动、数值计算方法简介。本书按教材内容安排全书结构, 各章均包括学习要求、知识点归纳、习题全解三部分内容。全书按教材内容, 针对各章节习题给出详细解答, 思路清晰, 逻辑性强, 循序渐进地帮助读者分析并解决问题, 内容详尽, 简明易懂。

本书可作为高等院校学生学习“工程流体力学(水力学)(第三版·下册)”课程的辅导教材, 也可作为考研人员复习备考的辅导教材, 同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学(水力学)(第三版·下册)同步辅导
及习题全解 / 苏蕊主编. — 北京: 中国水利水电出版
社, 2014.4

(高校经典教材同步辅导丛书)

ISBN 978-7-5170-1849-0

I. ①工… II. ①苏… III. ①工程力学—流体力学—
高等学校—教学参考资料②水力学—高等学校—教学参考
资料 IV. ①TB126②TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第061550号

策划编辑: 杨庆川 责任编辑: 杨元泓 加工编辑: 孙 丹 封面设计: 李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	工程流体力学(水力学)(第三版·下册)同步辅导及习题全解 主 编 苏蕊
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 9.5印张 234千字
版 次	2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	14.80元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

闻德荪主编的《工程流体力学(水力学)(第三版·下册)》以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学习这门课程,掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与此教材配套的《工程流体力学(水力学)(第三版·下册)同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,进而提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑“工程流体力学(水力学)(第三版·下册)”这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. **学习要求。**每章前面均对本章重点、难点进行了梳理。
2. **知识点归纳。**每章前面均对本章的知识要点进行了整理。综合众多参考资料,归纳了本章几乎所有的考点,便于读者学习与复习。
3. **习题全解。**教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题给了详细的解答。

由于时间较仓促,编者水平有限,难免书中有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评、指正。

编者

2014年2月

第九章 有压管流和孔口、管嘴出流	1
学习要求	1
知识点归纳	1
习题全解	11
第十章 明渠流和闸孔出流及堰流	32
学习要求	32
知识点归纳	32
习题全解	70
第十一章 渗流	86
学习要求	86
知识点归纳	86
习题全解	94
第十二章 射流和流体扩散理论基础	102
学习要求	102
知识点归纳	102
习题全解	113

目录

contents

第十三章 可压缩气体的流动 121

学习要求 121

知识点归纳 121

习题全解 124

第十四章 数值计算方法简介 131

学习要求 131

知识点归纳 131

习题全解 141

第九章

有压管流和孔口、管嘴出流

学习要求

1. 掌握简单短管、简单长管和复杂长管中的恒定有压流的概念和计算。
2. 掌握沿程均匀泄流管道中的恒定有压流的相关计算。
3. 掌握管网中的恒定有压流的基本概念和相关计算。
4. 掌握非恒定有压管流的基本概念和计算。
5. 了解掌握恒定薄壁孔口、管嘴出流及非恒定孔口、管嘴出流基本概念和相关计算。

知识点归纳

1. 简单短管中的恒定有压流

(1) 基本概念

孔口出流: 容器壁上开孔, 水经孔口流出的水力现象。

管嘴出流: 在孔口上连接长为 $3 \sim 4$ 倍孔径的短管。水经短管并在出口断面满管流出的水力现象。

有压管流: 水沿管道满管流动的水力现象。

短管: 指管路的总水头损失中, 沿程水头损失和局部水头损失均占相当比重, 计算时都不可忽略的管路 ($L/d < 1000$)。

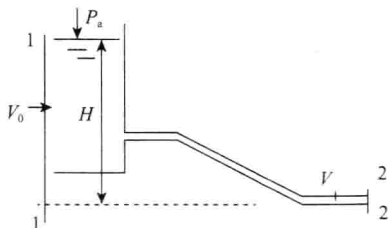
(2) 自由出流

对 1-1、2-2 断面:

$$\frac{p_1}{\gamma} + H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

即

$$H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$



$$\text{令} \quad H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = H_0$$

$$\text{则} \quad H_0 = \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

$$h_{w1-2} = \sum h_f + \sum h_m = \sum \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = \left(\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{V^2}{2g}$$

$$H_0 = \frac{\alpha_2 V^2}{2g} + \left(\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{V^2}{2g} = \left(\alpha_2 + \sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \times \sqrt{2gH_0}, \text{取 } \alpha \approx 1, \sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta = \zeta_c$$

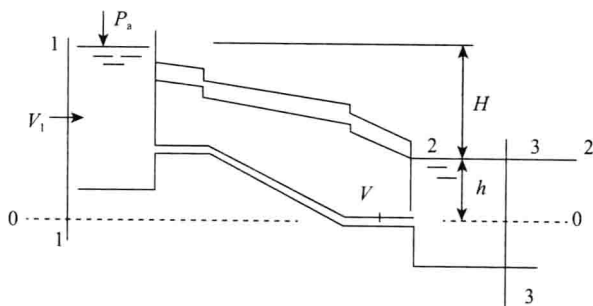
$$Q = VA = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_c}} \cdot A \cdot \sqrt{2gH_0} = \mu_c \cdot A \sqrt{2gH_0}$$

式中 μ_c 称为流量系数;若忽略行近流速水头,则 $H_0 \approx H$

$$Q = \mu_c A \sqrt{2gH}$$

(3) 淹没出流

1-1, 2-2 断面列能量方程:



$$h + H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h + \frac{p_a}{\gamma} + h_{w1-2}$$

$$h_{w1-2} = \sum \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$$

$$H + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = H_0$$

$$H_0 = \sum \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = \left(\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore \quad V = \frac{1}{\sqrt{\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH_0}$$

$$Q = VA = \frac{A}{\sqrt{\sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH_0} = \mu_c \cdot A \sqrt{2gH_0}$$

若行近流速很小,则有:

$$Q = VA = \mu_c \cdot A \sqrt{2gH}$$

可见,自由出流和淹没出流的流量计算形式也相同,只是计算的水头不同。

2. 简单长管中的恒定有压流

长管:指管道的水力计算中,如果局部水头损失和流速水头之和与沿程水头损失比较起来很小,所以在计算时常常将其按沿程水头损失的某一百分数估算或完全忽略不计。

简单长管是管径不变的、没有分支的单一管道情况。

$$\text{作用水头为: } H = \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w$$

如忽略局部阻力和流速水头,则上式可写为:

$$H = h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

上式说明长管的作用水头 H 全部消耗于沿程水头损失,在长管中总水头线与测管水头线重合。

长管水力计算的主要问题是确定沿程水头损失。

在给水管中,给水管道的水流一般属于紊流阻力平方区和紊流过渡区。

实际工程中常用的计算方法是比阻法(流量模数法)。

$$\text{习惯使用 } h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$\text{则有 } H = h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4} \cdot \frac{1}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} \cdot LQ^2$$

$$\text{令 } A = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5}, \text{ 则 } H = ALQ^2$$

比阻 A 是单位流量通过单位长度管道所需的水头,单位是 s^2/m^6 。

比阻 A 的求法:

① 舍维列夫公式

适用于旧钢管及旧铸铁管,常用于给水管网水力计算中。

将 $\lambda = \frac{0.0210}{d^{0.3}}$ 和 $\lambda = \frac{0.0179}{d^{0.3}} (1 + \frac{0.867}{V})^{0.3}$ 分别代入比阻公式。

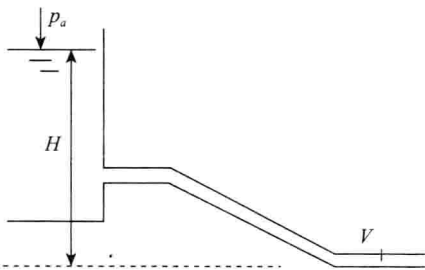
在阻力平方区 ($V \geq 1.2m/s$)

$$A = \frac{8}{g\pi^2 d^5} \times \frac{0.0210}{d^{0.3}} = \frac{0.001736}{d^{5.3}}$$

在紊流过渡区 ($V < 1.2m/s$)

$$A' = \frac{8}{g\pi^2 d^5} \times \frac{0.0179}{d^{0.3}} (1 + \frac{0.867}{V})^{0.3} = 0.852 (1 + \frac{0.867}{V})^{0.3} (\frac{0.001736}{d^{5.3}}) = kA$$

其中 k —修正系数 $k = 0.852 (1 + \frac{0.867}{V})^{0.3}$



② 曼宁公式

将 $c = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$, $\lambda = \frac{8g}{c^2}$, $R = \frac{1}{4}d$ 代入 $A = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5}$, 得 $A = \frac{10.3n^2}{d^{5.33}}$

3. 复杂长管中的恒定有压流

(1) 串联管路

由直径不同的几段管段顺次连接的管路称为串联管路。

贯穿全线的总水头损失等于从始端到末端各段水头损失之和。

$$H = \sum_{i=1}^n h_{f_i} = \sum_{i=1}^n A_i L_i Q_i^2$$

流量满足连续性方程: 流向节点的流量等于流出节点的流量。

$$Q_1 = q_1 + Q_2 = q_2 + Q_3$$

联立上述三式, 可解出 Q 、 d 、 H 等。

(2) 并联管路

为了提高供水的可靠性, 在两节点之间开设两条以上管路称为并联管路。

如图所示, B 、 C 两点间的三条管道构成一组并联管路。

无论对哪一条管道, 在 B 、 C 两断面间单位重量液体水头损失相等, 忽略局部水头损失可以写为:

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = h_{fBC}$$

上式代表了并联各管中的流动应满足共同的边界条件,

对每一个单独各段来说都是简单管路, 用比阻可表示成:

$$A_1 L_1 Q_1^2 = A_2 L_2 Q_2^2 = A_3 L_3 Q_3^2$$

因为各管段的长度、直径、粗糙度可能不同, 因此流量也会不相等。

但各段流量要满足连续条件:

$$Q_{AB} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q + Q_{CD}$$

联立上式即可求解。

4. 沿程均匀泄流管道中的恒定有压流

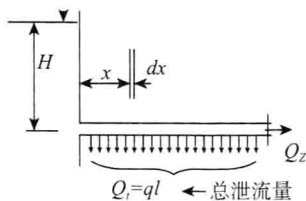
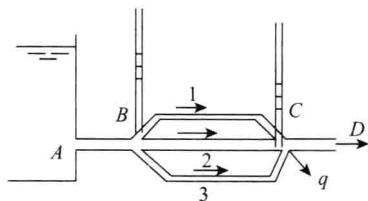
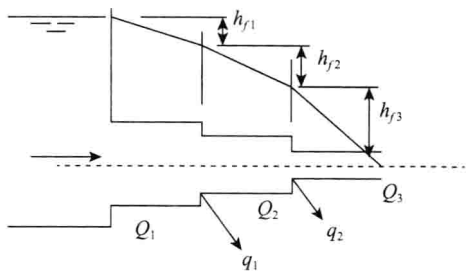
$$Q_x = Q - qx = Q_z + ql - qx$$

$$dh_f = a \cdot Q_x^2 \cdot dx = a (Q_z + ql - qx)^2 dx$$

$$h_f = \int_0^l dh_f = \int_0^l a (Q_z + ql - qx)^2 dx$$

$$h_f = al (Q_z^2 + Q_z ql + \frac{1}{3} q^2 l^2)$$

$$Q_z^2 + Q_z ql + \frac{1}{3} q^2 l^2 = (Q_z + 0.55ql)^2$$



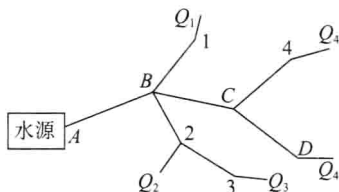
当 $Q_Z = 0, h_f = \frac{1}{3} a l Q^2$

即当管中只有沿程泄流时,其能量损失是转输流量通过时能量损失的 $1/3$ 。

5. 管网中的恒定有压流

(1) 枝状管网

右图为一枝状管网示意图,它是由分叉组成的。枝状管网的水力计算主要是根据需求确定各段的管径和水头损失,其目的是确定水塔高度(或作用水头)。



① 管径的确定

根据连续方程,在流量确定的情况下,管径的大小受流速影响。这要考虑投资成本的问题。如果管径取得较大,流速小,水头损失小,要求的作用水头小,但管径大时,造价高。如果管径取得较小,管道造价低,但流速大,对作用水头要求大,即抽水耗电多,也不经济。另一方面,从技术角度考虑,流速也不能过大,否则,当关闭时产生的水击压强大,易使管件破裂。但流速也不能过小,过小会使水中泥沙堆积,堵塞管道。因此,综合考虑,必须找出一个经济流速 V_e ,根据实际施工的经验,一般的给水管道,其直径与流速的对应关系为:

$$d = 100 - 200 \text{ mm 时, } V_e = 0.6 - 1.0 \text{ m/s}$$

$$d = 200 - 400 \text{ mm 时, } V_e = 1.0 - 1.4 \text{ m/s}$$

② 水塔高度(水源水头) 的计算

在已知流量 Q 、直径 d 及管长 L 的条件下,计算出各段的水头损失,最后按串联管路计算管线中从水塔到管网控制点(最不利点)的水头损失(管网的控制点是指在管网中水塔到该点的水头损失、地形标高和要求自由水头三项之和最大值之点)。

于是水塔高度 H_t 可按下式求得:

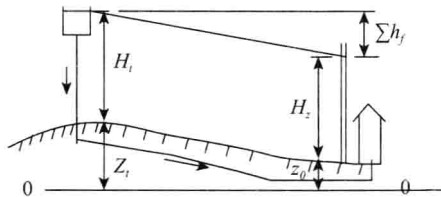
$$H_t = \sum h_f + H_z + Z_0 - Z_i$$

$\sum h_f$ — 从水塔到管网控制点的总水头损失。

H_z — 控制点的自由水头。

Z_0 — 控制点的地形标高。

Z_i — 水塔处的地形标高。



③ 自由水头的确定

在民用建筑中,按楼房计算,则一层 $h_D = 10 \text{ m}$,两层楼按 $h_D = 12 \text{ m}$,以后每升高一层加 4 m ,在工业输水中,有时不仅需要出口有较大的压力,故应根据需要按能量方程计算。

④ 其他管线的调整

一般来说,按控制管线确定的水塔理论高度对其他管线来说可能偏高,为使其他管线也经济合理,工程上采用调整其支管管径的办法来解决。一般是使管径变小,增加流速,从而增加水头损失,使之与控制管线相匹配,又节约了管材费用。

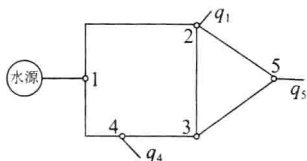
(2) 环状管网

右图为一简单环状管网,它的水力计算主要是确定各管段的流量、管径和相应的水头损失。

环状管网必须满足的两个条件:

① 连续条件

因为节点本身不可能有流量贮存,故任一节点流入与流出的流量应相等。若规定流入该节点的流量为正,则流出节点的流量为负,这样 $\sum Q_i = 0$ (任一节点)。



② 能量守恒条件

对于任一闭合环路,如果规定顺时针流向所产生的水头为正,逆时针流向所产生的损失为负,则各环路的水头损失的代数和为零。因为如果不为零,则表示节点处有能量损失,这是不符合能量守恒规律的,故用式子表示的话,有 $\sum h_{fi} = 0$ (任一环路)

6. 非恒定有压管流

对有压管道中的水击。

① 水击现象

水击是有压管道中的非恒定流现象。当有压管道中的阀门突然开启、关闭或水泵因故突然停止工作,使水流动速急剧变化,引起管内压强发生大幅度交替升降。这种变化以一定的速度向上游或下游传播,并且在边界上发生反射,这种水流现象叫做水击(或水锤)。

交替升降的压强称为水击压强。

产生水击现象的原因是液体存在惯性和可压缩性。水击现象的实质上是由于管道内水体流速的改变,导致水体的动量发生急剧改变而引起作用力变化的结果。

② 水击波的传播过程

水击是以压力波的形式在有限的管道边界内进行传播和反射的,称为水击波。

水击波的传播分为四个阶段:

第一阶段:增压波从阀门向管道进口传播。

第二阶段:减压波从管道进口向阀门传播。

第三阶段:减压波从阀门向管道进口传播。

第四阶段:增压波从管道进口向阀门传播。

由于摩擦阻力的作用,水击波在管道内的传播将逐渐衰减,最后达到平衡状态

水击波在阀门和水库之间往返一次所需的时间 $T = \frac{2L}{c}$,称为一个相长。

往返两次的时间 $\frac{4L}{c} = 2T$,称为一个周期。

③ 根据闸门关闭(或开启)的时间 T_s 与相长 T 的比值,我们把水击分为两类:

直接水击:闸门关闭(或开启)的时间 $T_s < T$ (相长),即从水库反射的减(增)压波尚未到达阀门处时,阀门已经关闭(开启)完毕,阀门处已达最大(小)水击压强。

间接水击:指闸门关闭(或开启)的时间 $T_s > T$ (相长),即从水库反射的减(增)压波已到达阀门处,阀门尚未关(开)完毕,使阀门处水击压强不能再升高(降低)到最大(小)。

由于直接水击压强远大于间接水击压强,破坏性较强,在实际工程中应尽可能采取措施,避免产

生直接水击破坏。

直接水击压强计算公式: $\Delta p = \rho(V_0 - V)$, 用水柱表示: $\Delta H = \frac{c}{g}(V_0 - V)$

间接水击压强计算公式: $\Delta p = \rho V_0 \frac{T}{T_s}$

水击波相长: $T = 2L/c$; 阀门关闭时间: T_s 。

(4) 防止产生直接水击破坏的措施

- ① 缩短压力管道的长度、采用弹性模量较小材质的管道;
- ② 延长阀门关闭的时间 T_s ;
- ③ 由于水工建筑物布置的条件所限, 当压力管道的长度不能改变时, 可以在靠近阀门的地方修建调压井, 缩小水击压强影响的范围, 减小水击压强值。

7. 恒定薄壁孔口出流

薄壁孔口: 在容器壁上开一小孔, 壁的厚度对水流没有影响。孔壁与水流只在一条曲线上接触。

(1) 孔口出流分类

水头 H 不同, 各点的出流情况也不同。根据 $\frac{d}{H}$ 比值的大小把孔口分为大孔和小孔两类。

小孔: $\frac{d}{H} \leq 0.1$; 大孔: $\frac{d}{H} > 0.1$ 。

按孔口作用水头是否恒定, 分为定水头孔口出流和变水头孔口出流。

按孔口出流后周围介质的条件, 分为自由出流和淹没出流。

(2) 小孔口的自由出流

自由出流: 孔口流出的水流进入到空气中。由于流线不能有折角, 只能平滑地弯曲, 故在孔口处质点的流线不是彼此平行的, 流经孔口后, 流线的曲率减小。各流线在约为孔径的一半处, 水流几乎具有平行的流线。

选通过孔口形心的水平面为基准面, 1-1 和 c-c 为计算面, 列伯努利方程:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + h_{w1-c}$$

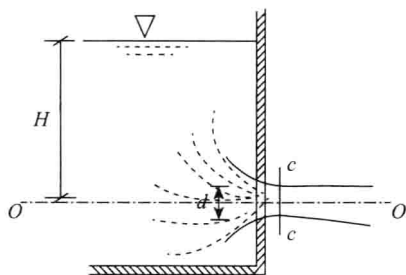
水箱中的微小损失可以忽略, 于是只有孔口的局部损失。

$$h_{w1-c} = h_m = \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g}$$

在自由出流且容器开口的情况下, 经实测, 收缩断面的流速分布相当均匀, 所以, 其断面铅垂线上的各点的压强均相等, 都等于外界大气压。

$$\therefore H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g} = (\alpha_c + \zeta_0) \frac{V_c^2}{2g}$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \text{ 代入得 } H_0 = (\alpha_c + \zeta_0) \frac{V_c^2}{2g}$$



$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \zeta_0}} \sqrt{2gH_0} = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

H_0 :作用水头(有效水头),包括流速水头; φ :流速系数。

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \zeta_0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_0}}; \text{实际流速与理论流速之比。}$$

实验得薄壁小孔流速系数 $\varphi = 0.97 \sim 0.98$ 。

$$\text{则局部阻力系数为 } \zeta_0 = \frac{1}{\varphi^2} - 1 = \frac{1}{0.97^2} - 1 = 0.06$$

$$\text{孔口出流量: } Q = A_c V_c = A_c \varphi \sqrt{2gH_0}$$

但是, A_c 的存在对计算流量很不方便,设法用孔的面积 A 来代替。

$$\text{令 } \frac{A_c}{A} = \epsilon (\text{收缩系数}), \epsilon = 0.63 \sim 0.64$$

$$\text{则: } Q = \epsilon A \varphi \sqrt{2gH_0} = \mu A \sqrt{2gH_0}$$

μ :孔的流量系数,表示实际流量与理论流量之比。

$$\mu = \epsilon \varphi \mu = 0.60 \sim 0.62$$

(3) 薄壁大孔口的自由出流

设矩形孔口的宽为 b , 高为 e , 流束出流的微小流量可按小孔口出流分式来计算,并等于:

$$\begin{aligned} dQ &= \mu \sqrt{2gh} \cdot dA = \mu b \sqrt{2gh} \cdot dh \\ Q &= \int_{H_1}^{H_2} dQ = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} (H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}}) \end{aligned}$$

如果以 $H_1 = H - \frac{e}{2}$ 和 $H_2 = H + \frac{e}{2}$ 代入上式, H 为大孔口形心点上水头:

$$Q = \mu b e \sqrt{2gH} \left[1 - \frac{1}{96} \left(\frac{e}{H} \right)^2 \right]$$

$$\therefore 1 - \frac{1}{96} \left(\frac{e}{H} \right)^2 \approx 1$$

则流量公式变为:

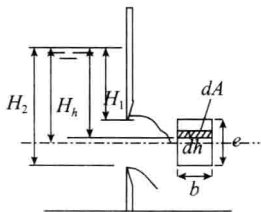
$$Q = \mu A \sqrt{2gH}$$

这与小孔自由出流的公式形式完全一样,只是流量系数不同。

(4) 小孔的淹没出流

淹没出流:孔口流出的水流不是流入空气,而是进入到另一种水中,致使孔口淹没在下游水面之下。

孔断面上各点的有效水头是一致的,且都等于上下游水位差,所以在这种情况下,可不分大孔和小孔。



1-1、2-2 列伯努利方程:

$$\begin{aligned} H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \\ = H_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w \end{aligned}$$

而

$$h_w = \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g} + \zeta_w \frac{V_c^2}{2g}$$

ζ_w ——水流由孔口流出后扩大的局部阻力系数;

ζ_0 ——水流经孔口的局部阻力系数。

由 $\zeta_w = (1 - \frac{A_c}{A_2})^2$ 知, 当 $A_2 \gg A_c$ 时, $\zeta_w \approx 1$

$\therefore h_w = (\zeta_0 + \zeta_w) \frac{V_c^2}{2g} = (1 + \zeta_0) \frac{V_c^2}{2g}$, 代入整理得

$$H_1 - H_2 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = (1 + \zeta_0) \frac{V_c^2}{2g}$$

$$H_0 = H_1 - H_2 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$$

当容器较大时: $V_1 \approx V_2 = 0$

$\therefore H_0 \approx H_1 - H_2 = (1 + \zeta_0) \frac{V_c^2}{2g}$

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_0}} \sqrt{2gH_0} = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

则

$$Q = A_c V_c = A_c \varphi \sqrt{2gH_0} = A_c \mu \sqrt{2gH_0}$$

可见, 淹没出流和自由出流公式形式完全相同, 又实验所得系数(流速与流量系数)也相当接近, 计算时可取相同值。但淹没出流的 H 含义不同。淹没出流的孔口水头指上下流的水面高差, 与孔口在水面下位置的深度无关, 故没有大孔口与小孔口的区别。

8. 管嘴出流

按管嘴的形状及其连接方式, 可分为圆柱形管嘴、圆锥形管嘴和流线形管嘴。

圆柱形外管嘴出流。

① 自由出流

水进入到管嘴后, 以同样形成收缩, 在收缩断面 $c-c$ 处形成旋涡区。

对 $o-o$ 和 $b-b$ 列伯努利方程:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + 0 + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w$$

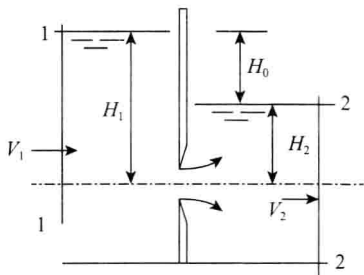
式中 h_w 为管嘴水头损失, 等于进口损失与收缩断面后的扩大损失之和(沿程损失忽略)。

即

$$h_w = \zeta_n \frac{V^2}{2g}$$

令 $H_0 = H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}$, 代入上式

$$H_0 = \frac{\alpha V^2}{2g} + \zeta_n \frac{V^2}{2g} = (\alpha + \zeta_n) \frac{V^2}{2g}$$



$$V = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta_n}} \sqrt{2gH_0} = \varphi_n \sqrt{2gH_0}$$

$$Q = A \times V = A \varphi_n \sqrt{2gH_0} = \mu_n A \sqrt{2gH_0}$$

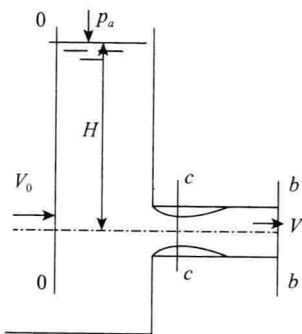
式中 ζ_n 为管嘴阻力系数,即管道锐缘进口局部阻力系数。

$$\zeta_n = 0.5$$

$$\varphi_n = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta_n}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.5}} = 0.82$$

φ_n ——管嘴流速系数。

可见,管嘴与孔口的公式完全相同,只是 $\frac{\mu_n}{\mu} = \frac{0.82}{0.62} = 1.32$,即



在相同水头下,同样断面管嘴的过流能力是孔口的 1.32 倍。

管嘴内的真空值可确定如下:对其断面 $c-c$ 和 $b-b$ 列伯努利方程:

$$0 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{\alpha V_c^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w$$

$$\therefore A_c \times V_c = A \times V, V_c = \frac{A}{A_c} V = \frac{1}{\epsilon} V$$

局部损失发生在水流扩大上。

$h_w = \zeta_w \frac{V^2}{2g}$ 代入得:

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{\alpha}{\epsilon^2} \frac{V^2}{2g} + \frac{\alpha V^2}{2g} + \zeta_w \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{令 } V = \varphi_n \sqrt{2gH_0}$$

$$\therefore \frac{V^2}{2g} = \varphi_n^2 H_0$$

$$\text{代入 } \zeta_w = \left(\frac{A}{A_c} - 1 \right)^2$$

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - \left[\frac{\alpha}{\epsilon^2} - \alpha - \zeta_w \right] \varphi_n^2 H_0 = \frac{p_a}{\gamma} - \left[\frac{\alpha}{\epsilon^2} - \alpha - \left(\frac{1}{\epsilon} - 1 \right)^2 \right] \varphi_n^2 H_0$$

对于圆柱形管嘴,经实验得: $\alpha = 1.0, \epsilon = 0.64, \varphi_n = 0.82$

$$\therefore \frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - \left[\frac{1.0}{0.64^2} - 1.0 - \left(\frac{1}{0.64} - 1 \right)^2 \right] \times 0.82^2 H_0$$

$$\therefore \frac{p_c}{\gamma} \approx \frac{p_a}{\gamma} - 0.75 H_0$$

收缩断面处的真空度为 $\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_c}{\gamma} = 0.75 H_0$

相当于把作用水头增加了 75%。一般规定最大真空度不超过 7 米。

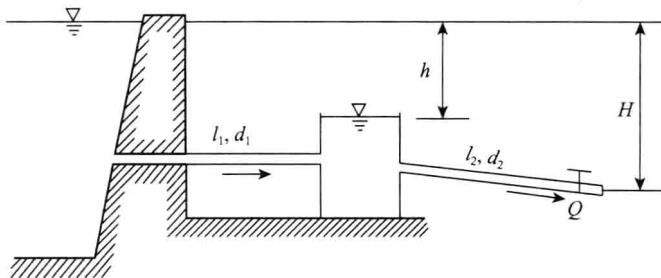
$$\therefore H_0 = \frac{p_a}{0.75\gamma} = \frac{7}{0.75} = 9\text{m}$$

管嘴正常工作的必要充分条件是: $H \leq 9\text{m} = 3 \sim 4d$

② 淹没出流:与自由出流形式完全相同,只是 H 不同。

习题全解

- 9-1 水自水库经短管引入水池中,然后又经另一短管流入大气,如图所示。已知 $l_1 = 25\text{m}$, $d_1 = 75\text{mm}$, $l_2 = 150\text{m}$, $d_2 = 50\text{mm}$, 水头 $H = 8\text{m}$, 管道沿程阻力系数 $\lambda = 0.03$, 管道进口的局部阻力系数均为 0.5, 出口的局部阻力系数为 1.0, 阀门的局部阻力系数为 3.0, 试求流量 Q 和水面高差 h 。



题 9-1 图

解题过程 (1) 由伯努利方程可得

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{v_2^2}{2g} + h_{w_1} + h_{w_2} \\
 &= \frac{v_2^2}{2g} + (0.03 \frac{25}{0.075} + 0.5 + 1) \frac{v_1^2}{2g} + (0.03 \frac{150}{0.05} + 0.5 + 3) \frac{v_2^2}{2g} \\
 &= 11.5 \frac{v_1^2}{2g} + 94.5 \frac{v_2^2}{2g} \\
 v_2 &= v_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = v_1 \left(\frac{75}{50} \right)^2 = 2.25v_1 \\
 H &= (11.5 + 94.5 \times 2.25^2) \frac{v_1^2}{2g} = 489.91 \frac{v_1^2}{2g} \\
 v_1 &= \sqrt{\frac{2g \times H}{489.91}} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 8}{489.91}} \text{ m/s} = 0.566 \text{ m/s} \\
 v_2 &= 2.25 \times 0.566 \text{ m/s} = 1.274 \text{ m/s} \\
 Q &= v_1 A_1 = 0.566 \times \frac{\pi}{4} (0.075)^2 \text{ m}^3/\text{s} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

(2) 由教材短管淹没出流公式(9-6) 可得:

$$h = 11.5 \frac{v_1^2}{2g} = 11.5 \times \frac{0.566^2}{2 \times 9.8} \text{ m} = 0.188 \text{ m}$$

- 9-2 虹吸滤池的进水虹吸管如图所示。管长 $l_1 = 2.0\text{m}$, $l_2 = 3.0\text{m}$, 管径 $d = 0.3\text{m}$, 沿程阻力系数 $\lambda = 0.025$, 进口局部阻力系数 $\zeta_1 = 0.6$, 弯头局部阻力系数 $\zeta_2 = 1.4$, 出口局部阻力系数 $\zeta_3 = 1.0$ 。若通过流量 $Q = 0.2\text{m}^3/\text{s}$, 求水头 H 为多少?