

水利水电工程 专业基础知识

应试辅导与习题集

《水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集》编委会 编



黄河水利出版社

注册土木工程师(水利水电工程)资格考试辅导资料

水利水电工程专业基础知识 应试辅导与习题集

《水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集》编委会 编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集/《水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集》编委会编.
郑州:黄河水利出版社,2007.7

注册土木工程师(水利水电工程)资格考试辅导资料
ISBN 978-7-80734-222-9

I.水… II.水… III.①水利工程-建筑师-资格考核-自学参考资料②水力发电工程-建筑师-资格考核-自学参考资料 IV.TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 096375 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14.5

字数:335 千字

印数:1—3 000

版次:2007 年 7 月第 1 版

印次:2007 年 7 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-222-9/TV·511

定价:29.00 元

《水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集》

编委会名单

主 编 王二平

编 委 (按姓氏笔画为序)

王二平	王国永	边慧霞	刘尚蔚	刘焕强
刘增进	孙少楠	孙保沐	许拯民	朱海堂
李永乐	李志萍	杨晓明	张巍巍	郝小红
胡宝柱	赵晓慎	唐克东	康迎宾	霍洪媛

前 言

人事部、建设部、水利部已决定实施注册土木工程师(水利水电工程)执业资格制度。这是我国水利水电界的一件大事。实施这项执业资格制度,有利于实现水利水电工程专业设计人员管理制度的创新,为国家培养一支职业化的专业人才队伍,从根本上保证水利水电工程的建设质量和经济效益;有利于与国际惯例接轨,使水利水电工程专业设计人员平等地参加国内、国际竞争,并维护自己的权益。

注册土木工程师(水利水电工程)执业资格考试实行全国统一大纲、统一命题的考试制度。为配合全国统一考试和方便报考人员复习,受黄河水利出版社的委托,华北水利水电学院组织有关教授、专家编写了《水利水电工程专业基础知识应试辅导与习题集》,内容包括水力学、岩土力学、结构力学、工程测量、建筑材料、工程水文学基础等6个部分。与水利水电工程专业基础知识指定辅导教材相对应,本书缺少“钢筋混凝土结构”部分,在第2版修订时将补齐该部分内容。

该习题集是面向参加注册土木工程师(水利水电工程)执业资格考试的人员,是为应考者提供的复习专用材料,其范围和深度是按全国勘察设计注册工程管理委员会公布的考试大纲编写的。在学术观点上,均统一于相应的现行规范的规定,不作不同学术观点的论述和讨论。

本习题集由华北水利水电学院王二平、康迎宾负责组稿。习题集的编写力求做到符合考试大纲要求,且便于应考者复习。但由于时间仓促,习题集内容广泛,加之水平所限,难免出现一些不足之处,敬请广大技术人员给予批评指正。

本书编委会

2007.6

目 录

第 1 章 水力学	(1)
1.1 考试大纲	(1)
1.2 复习指导	(2)
1.3 复习题	(24)
1.4 参考答案	(53)
第 2 章 岩土力学	(55)
2.1 考试大纲	(55)
2.2 复习指导	(56)
2.3 复习题	(62)
2.4 参考答案	(78)
第 3 章 结构力学	(80)
3.1 考试大纲	(80)
3.2 复习指导	(80)
3.3 复习题	(121)
3.4 参考答案	(154)
第 4 章 工程测量	(156)
4.1 考试大纲	(156)
4.2 复习指导	(157)
4.3 复习题	(162)
4.4 参考答案	(169)
第 5 章 建筑材料	(171)
5.1 考试大纲	(171)
5.2 复习指导	(172)
5.3 复习题	(175)
5.4 参考答案	(192)
第 6 章 工程水文学基础	(194)
6.1 考试大纲	(194)
6.2 复习指导	(194)
6.3 复习题	(195)
6.4 参考答案	(223)

第 1 章 水力学

1.1 考试大纲

根据注册土木工程师(水利水电工程)资格考试要求,水力学考试大纲涵盖以下内容。

1.1.1 水静力学

静水压强 绝对压强 相对压强 真空及真空度 作用于物体上的静水总压力

1.1.2 液体运动的一元流分析法

恒定流与非恒定流 迹线与流线 流管 过水断面 流量 断面平均流速 恒定一元流连续方程 能量方程式 渐变流 急变流

1.1.3 层流、紊流及其水头损失

湿周 水力半径 均匀流 非均匀流 沿程水头损失 达西公式 层流 紊流 雷诺数 谢才公式 局部水头损失

1.1.4 有压管中恒定均匀流计算

基本公式 串联管道 并联管道 分叉管道 沿程均匀泄流管道

1.1.5 明渠恒定均匀流计算

基本公式 明渠均匀流 粗糙度不同的明渠 复式断面明渠

1.1.6 明渠恒定非均匀流计算

缓流 临界流 急流 弗汝德数 临界水深 临界底坡 棱柱体明渠渐变流水面曲线分析及计算 水跃 水跃方程 共轭水深及水跃长度计算

1.1.7 堰流及闸孔出流的水力计算

计算公式 薄壁堰 实用堰 宽顶堰 闸孔出流

1.1.8 泄水建筑物下游的水力衔接与消能

底流式消能 挑流式消能 面流式消能 消力戽式消能

1.1.9 隧洞的水力计算

水流状态及判断 有压隧洞 无压隧洞

1.1.10 渗流

达西定律 渗透系数 恒定均匀渗流与非均匀渗流 恒定渐变渗流的浸润曲线形式及计算

1.1.11 高速水流

脉动压力 气蚀 掺气 冲击波

1.1.12 水工模型试验基础

力学相似:几何相似 运动相似 动力相似

相似准则:重力相似准则 阻力相似准则 动水压力相似准则

1.2 复习指导

1.2.1 基本要求

1.2.1.1 水静力学

掌握静水压强的两个特性,理解等压面的概念。掌握静水压强基本公式,并理解该公式的物理意义。理解静水压强的三种表示方法(绝对压强,相对压强,真空度)及其相互关系,注意真空度的概念,理解压强的单位和位置水头、压强水头、测压管水头的概念。了解静水压强量测原理和方法,掌握静水压强的计算。掌握绘制静水压强分布图和计算作用在平面上的静水总压力的图解法和解析法。

1.2.1.2 液体运动的一元流分析法

理解液体运动的分类和一些基本概念(恒定流与非恒定流、均匀流与非均匀流、渐变流与急变流、迹线与流线、元流、流管、总流、过水断面、流量与断面平均流速、一元流、二元流和三元流等),并能在分析水流运动时进行正确的判断和应用。理解均匀流与非均匀流、渐变流与急变流、流线与迹线的特性。掌握恒定总流的连续方程的不同形式和应用。掌握实际液体恒定总流能量方程的形式、应用条件和注意事项,理解能量方程的物理意义、水头线绘制方法和水力坡度的概念,能熟练应用恒定总流能量方程进行计算。

1.2.1.3 层流、紊流及其水头损失

理解流动阻力与水头损失产生的原因和分类,理解湿周、水力半径的概念。了解均匀流边界切应力分布规律,熟练掌握计算沿程水头损失的达西公式和影响沿程水头损失系数 λ 的因素。理解雷诺实验现象和雷诺数 Re 的物理意义,掌握液体流动的两种型态(层流、紊流)的特点和判断方法。理解圆管均匀层流的流速分布规律和水头损失计算公式,对照达西公式掌握沿程水头损失系数 λ 的变化规律。了解紊流特征、紊流脉动的时均处理方法和紊流附加切应力产生的原因,理解粘性底层与边界粗糙度对紊流运动的影响,掌握水力光滑面(区)、水力粗糙面(区)和水力过渡粗糙面(区)的概念。了解紊流流速分布规律与层流分布的不同和原因。

理解尼古拉兹实验中沿程水头损失系数 λ 的变化规律,理解 λ 与雷诺数 Re 及相对粗糙度 k_s/r_0 的关系,理解沿程水头损失与流速的关系,并用达西公式计算沿程水头损失。掌握谢才公式和曼宁公式,理解谢才公式与达西公式的联系和适用条件。能正确选择局部水头损失系数,掌握局部水头损失计算。

1.2.1.4 有压管中恒定均匀流计算

了解管道的分类(简单管道和复杂管道,短管与长管),理解短管与长管计算方法的区别。掌握短管与长管水力计算方法和水头线的绘制,并能进行虹吸管、倒虹吸管、水泵装置等典型的管道水力计算和确定相应的安装高度和水泵扬程。理解复杂管道(串联、并联、分叉管道和沿程均匀泄流管道)的水流特点和计算方法。

1.2.1.5 明渠恒定均匀流计算

了解明渠水流的分类(均匀流和非均匀流,渐变流和急变流),掌握明渠的底坡和梯形断面的水力要素。理解棱柱体渠道的概念。理解明槽均匀流的特征和形成条件,熟练掌握明渠均匀流的基本公式,掌握谢才系数 C 的计算,理解糙率 n 和允许流速在明渠均匀流水力计算中的作用和确定方法。掌握梯形明渠水力最佳断面的条件,了解综合糙率的确定和复式断面水力计算方法。

1.2.1.6 明渠恒定非均匀流计算

掌握明渠水流三种流态(急流、缓流、临界流)的特征和判别方法,理解弗劳德数 Fr 的物理意义。理解断面比能 E_s 的概念和特性,会用断面比能判别明渠水流流态。理解临界水深 h_c 的定义,会进行临界水深计算并用 h_c 进行流态判别,掌握矩形明渠临界水深计算公式。理解临界底坡 i_c 的概念,能用临界底坡 i_c 判别陡坡与缓坡以及均匀流流态。理解水跃和水跌现象的流动特征,理解水跃方程,理解棱柱体平坡明渠水跃共轭水深计算方法。重点掌握矩形断面明渠共轭水深计算公式。了解水跃能量损失和跃长的计算方法。掌握棱柱体明渠恒定渐变流水面线分类、分区和变化规律,能正确进行水面线分析和不同底坡明渠水面线的衔接。

1.2.1.7 堰流及闸孔出流的水力计算

了解堰流与闸孔出流的流动特性、联系与区别,掌握堰流与闸孔出流的判别。理解堰和堰流的分类:薄壁堰、实用堰、宽顶堰;自由溢流、淹没溢流。了解薄壁堰的用途和流量计算,掌握堰流的基本公式和实用堰、宽顶堰水力计算,会正确选择和计算流量系数、淹没系数、侧收缩系数等各种经验系数值。掌握闸孔出流计算公式,并能进行闸孔出流水力计算。

1.2.1.8 泄水建筑物下游的水力衔接与消能

了解泄水建筑物下游水流衔接的特征和常用的消能形式,掌握采用底流式消能水流衔接形式的判别方法。掌握底流消能消能池的水力设计方法。

1.2.1.9 隧洞的水力计算

了解隧洞水流状态及其判别方法,理解有压隧洞及无压隧洞的水力计算方法。

1.2.1.10 渗流

了解渗流的运动特点,理解渗流模型的概念和建立的条件。掌握渗流基本定律达西定律和其适用范围,理解渗透系数的确定方法。理解地下河槽恒定均匀渗流及非均匀渗

流的计算方法,理解杜比公式与达西公式的区别,对照明渠水面曲线分析,了解浸润曲线的特点和分析方法。了解水平不透水层上均质土坝的渗流计算方法。

1.2.1.11 高速水流

了解水工建筑物高速水流的压强脉动及其对水工建筑物的影响;了解气蚀现象,理解气穴数的计算和发生气蚀现象的判断,以及防止出现气蚀现象的措施。了解高速水流掺气和急流冲击波现象,了解这些特殊水流现象对水工建筑物的影响以及消除这些不利影响的方法和措施。

1.2.1.12 水工模型试验基础

理解相似现象和流动相似的特征。了解相似原理,理解重力相似准则和粘滞力相似准则,了解动水压力相似准则,能根据长度比尺确定在单项力相似条件下的流速比尺和流量比尺,进行模型与原型流速、流量和几何量的换算。了解量纲和谐原理。

1.2.2 解题指导

【例 1.2.1】 水库中水深分别为 5、10m 的 A、B 两点的相对压强各为多少?

解:因水库表面压强为大气压,故

$$p_0 = p_a = 0$$

水深为 5m 处 $p_{Ar} = \gamma_{\text{水}} h = 9.80 \times 5 = 49(\text{kPa})$

水深为 10m 处 $p_{Br} = \gamma_{\text{水}} h = 9.80 \times 10 = 98(\text{kPa})$

【例 1.2.2】 A 点相对压强为 24.5kN/m^2 , B 点相对压强为 -24.5kN/m^2 , 则 p_{Aabs} 、 p_{Babs} 和 p_{Br} 分别为多少?

解:由 $p_r = p_{abs} - p_a$, $p_v = p_a - p_{abs} = -p_r$,

得

$$p_{Aabs} = p_a + p_A = 98 + 24.5 = 122.5(\text{kN/m}^2)$$

$$p_{Bv} = -p_B = -(-24.5) = 24.5(\text{kN/m}^2)$$

$$p_{Babs} = p_a - p_{Bv} = 98 - 24.5 = 73.5(\text{kN/m}^2)$$

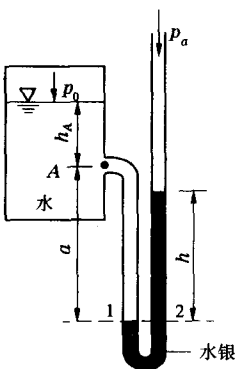


图 1.2.1

【例 1.2.3】 如图 1.2.1 所示,利用 U 形测压计量测容器中液体某点 A 的压强,只要测出与 A 点相连支管中水银面和 A 点间的高差 a , 两管间水银液面差 h , 即可求得 A 点的压强。试求:

(1) 当 $h = 20\text{cm}$, $a = 25\text{cm}$, $h_A = 10\text{cm}$ 时, 则 A 点压强 p_A 及液面压强 p_0 为多少?

(2) 当 $h = 0$, 其他数据不变时, 则 p_A 、 p_0 为多少?

(3) p_A 、 p_0 的真空值和真空度是多少?

解:取等压面 1—2, 知 $p_1 = p_2$

(1) 根据静水压强方程 $p_1 = p_A + \gamma_{\text{水}} a$, $p_2 = \gamma_m h$

$$p_A + \gamma_{\text{水}} a = \gamma_m h$$

$$p_A = \gamma_m h - \gamma_{\text{水}} a = 133.3 \times 0.2 - 9.8 \times 0.25 = 24.21(\text{kPa})$$

$$p_A = p_0 + \gamma_{\text{水}} h_A$$

则
得
又

则

$$p_0 = p_A - \gamma_{\text{水}} h_A = 24.2 - 9.8 \times 0.1 = 23.2 (\text{kPa})$$

(2) 当 $h = 0$, 其他数据不变时

$$p_A = \gamma_m h - \gamma_{\text{水}} a = 0 - 9.8 \times 0.25 = -2.45 (\text{kPa})$$

$$p_0 = p_A - \gamma_{\text{水}} h_A = -2.45 - 9.8 \times 0.1 = -3.43 (\text{kPa})$$

(3) A 点和液面都出现负压。当相对压强出现负压时, 其绝对值就是真空值。

则真空值

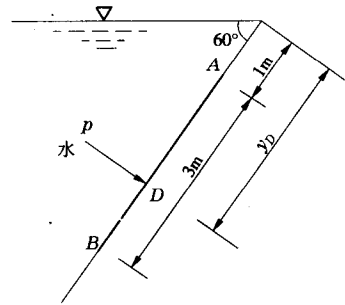
$$p_{Av} = 2.45 \text{kPa} \quad p_{0v} = 3.43 \text{kPa}$$

则真空度

$$h_{Av} = \frac{p_{Av}}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{2.45}{9.8} = 0.25 (\text{m 水柱})$$

$$h_{0v} = \frac{p_{0v}}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{3.43}{9.8} = 0.35 (\text{m 水柱})$$

【例 1.2.4】 图 1.2.2 所示 AB 为一矩形闸门, 门宽 $b = 2\text{m}$, 求作用在闸门上的静水总压力及其作用点。



解:

$$y_C = 1 + \frac{3}{2} = 2.5 (\text{m})$$

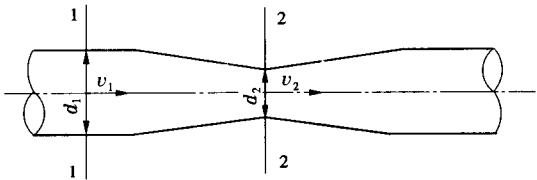
$$h_C = y_C \sin 60^\circ = 2.17 (\text{m})$$

$$P = rh_C A = 1 \times 9.8 \times 2.17 \times 3 \times 2 = 127.6 (\text{kN})$$

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C A} = 2.5 + \frac{\frac{2 \times 3^3}{12}}{2.5 \times 3 \times 2} = 2.8 (\text{m})$$

图 1.2.2

【例 1.2.5】 如图 1.2.3 所示, 有一直径圆管, 已知 1—1 断面处圆管直径 $d_1 = 200\text{mm}$, 断面平均流速 $v_1 = 0.5\text{m/s}$; 2—2 断面处圆管直径 $d_2 = 100\text{mm}$ 。试求:



(1) 2—2 断面的断面平均流速 v_2 ;

(2) 管中流量 Q 。

图 1.2.3

解: (1) 根据恒定总流的连续方程: $v_1 A_1 = v_2 A_2$, 则

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2, A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

得

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0.5 \times \left(\frac{0.2}{0.1}\right)^2 = 2 (\text{m/s})$$

(2) 求管中流量。

$$Q = v_1 A_1 = v_1 \times \frac{\pi}{4} d_1^2 = 0.5 \times \frac{3.14}{4} \times 0.2^2 = 0.0157 (\text{m}^3/\text{s})$$

【例 1.2.6】 图 1.2.4 所示为水流经溢流坝前后的水流纵断面图。设坝的溢流段较长, 上下游每米宽的流量相等。当坝顶水头为 1.5m 时, 上游 1—1 断面处的流速 $v_1 = 0.8\text{m/s}$, 坝址 2—2 断面处的水深为 0.42m , 下游 3—3 断面处的水深为 2.2m , 试求:

- (1) 1—1、2—2、3—3 断面处单位重量水体的势能、动能和总机械能；
 (2) 1—1 断面至 2—2 断面的水头损失和 2—2 断面至 3—3 断面的水头损失。

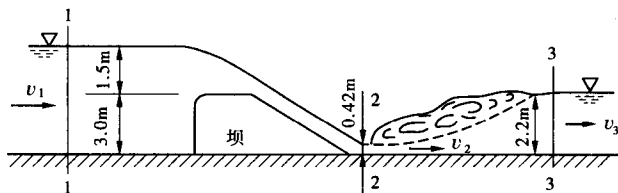


图 1.2.4

解：(1) 由 1—1 断面和 2—2 断面连续性方程： $v_1 A_1 = v_2 A_2$ ，得

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{bh_1}{bh_2} v_1 = \frac{h_1}{h_2} v_1 = \frac{4.5}{0.42} \times 0.8 = 8.57(\text{m/s})$$

由 1—1 断面和 3—3 断面连续性方程： $v_1 A_1 = v_3 A_3$ ，得

$$v_3 = \frac{A_1}{A_3} v_1 = \frac{bh_1}{bh_3} v_1 = \frac{h_1}{h_3} v_1 = \frac{4.5}{2.2} \times 0.8 = 1.64(\text{m/s})$$

以河床底部为基准面，计算点选在自由表面上。取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1.0$ ，计算各断面能量：

1—1 断面

单位势能 $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = 4.5 + 0 = 4.50(\text{m})$

单位动能 $\frac{v_1^2}{2g} = \frac{0.8^2}{19.6} = 0.03(\text{m})$

单位总机械能 $H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = 4.50 + 0.03 = 4.53(\text{m})$

2—2 断面

单位势能 $z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = 0.42 + 0 = 0.42(\text{m})$

单位动能 $\frac{v_2^2}{2g} = \frac{8.57^2}{19.6} = 3.75(\text{m})$

单位总机械能 $H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = 0.42 + 3.75 = 4.17(\text{m})$

3—3 断面

单位势能 $z_3 + \frac{p_3}{\gamma} = 2.2 + 0 = 2.20(\text{m})$

单位动能 $\frac{v_3^2}{2g} = \frac{1.64^2}{19.6} = 0.14(\text{m})$

单位总机械能 $H_3 = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} = 2.20 + 0.14 = 2.34(\text{m})$

(2) 计算水头损失。

$$h_{w1-2} = H_1 - H_2 = 4.53 - 4.17 = 0.36(\text{m})$$

$$h_{w2-3} = H_2 - H_3 = 4.17 - 2.34 = 1.83(\text{m})$$

【例 1.2.7】 图 1.2.5 所示为一水位不变的敞口水箱,通过下部一条直径 $d=200\text{mm}$ 的管道向外供水,已知水箱水位与管道出口断面中心的高差为 3.5m ,管道水头损失为 3m 。试求:管道出口的流速和流量。

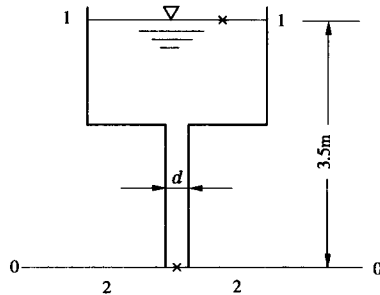


图 1.2.5

解:以通过出口断面中心的水平面 0—0 为基准面,选取水箱自由表面 1—1 断面和管道出口 2—2 断面作为计算断面,列出 1—1 断面和 2—2 断面的能量方程:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

由于水箱水面比管道出口断面大得多,其断面平均流速比管道出口平均流速小得多,故可认为 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \approx 0$,取 $\alpha_2 = 1.0$ 代入能量方程,得

$$3.5 + 0 + 0 = 0 + 0 + \frac{v_2^2}{2g} + 3$$

管道出口流速为

$$v_2 = \sqrt{2g \times 0.5} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.5} = 3.13(\text{m/s})$$

管中流量为

$$Q = v_2 A_2 = v_2 \times \frac{\pi}{4} d^2 = 3.13 \times \frac{3.14}{4} \times 0.2^2 = 0.0983(\text{m}^3/\text{s})$$

【例 1.2.8】 试判别下述液流的流动型态:

(1) 输水管管径 $d=0.1\text{m}$,通过流量 $Q=5\text{L/s}$,水温 20°C ;

(2) 输油管管径 $d=0.1\text{m}$,通过流量 $Q=3\text{L/s}$,油的运动粘滞系数 $\nu=4 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ 。

解:(1)当输水管 $d=0.1\text{m}$ 时,有

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 7.85 \times 10^{-3}(\text{m}^2)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{5 \times 10^{-3}}{7.85 \times 10^{-3}} = 0.637(\text{m/s})$$

当水温为 20°C 时,查表得水的运动粘滞系数 $\nu=1.003 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$,

则

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{0.637 \times 0.1}{1.003 \times 10^{-6}} = 63509 > Re_{cr} = 2300$$

因此,输水管内液流为紊流。

(2)当输油管 $d=0.1\text{m}$ 时,有

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 7.85 \times 10^{-3}(\text{m}^2)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{3 \times 10^{-3}}{7.85 \times 10^{-3}} = 0.382(\text{m/s})$$

由已知条件 $\nu = 4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, 得

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{0.382 \times 0.1}{4 \times 10^{-5}} = 955 < Re_{cr} = 2300$$

因此, 输油管内液流为层流。

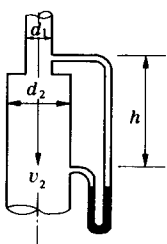


图 1.2.6

【例 1.2.9】一直立的突然扩大水管(见图 1.2.6), 已知 $d_1 = 150\text{mm}$, $d_2 = 300\text{mm}$, $h = 1.5\text{m}$, $v_2 = 3\text{m/s}$, 试确定: 水银压差计中的水银面哪一侧较高, 差值为多少? 此时两断面压差又为多少?

解: 根据恒定总流的连续方程 $v_1 A_1 = v_2 A_2$; 且 $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, $A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$, 得

$$v_1 = v_2 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = 3 \times \left(\frac{300}{150} \right)^2 = 12 (\text{m/s})$$

取两测点处的过水断面, 列出能量方程

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_j \quad (h_j \text{ 略去不计})$$

由 $h_j = \zeta_1 \frac{v_2^2}{2g}$, $\zeta_1 = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2$, 得

$$h_j = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

则

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

移项, 得

$$\begin{aligned} \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) &= \frac{v_1^2 - 2v_1 v_2 + v_2^2 - v_1^2 + v_2^2}{2g} \\ &= \frac{2v_2(v_2 - v_1)}{2g} \end{aligned}$$

由管为突然扩大管, 得

$$v_2 < v_1 \quad v_2 - v_1 < 0$$

因此

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) < 0$$

即

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} > z_1 + \frac{p_1}{\gamma}$$

由此可知, 突然扩大管处测压管水头上升。在压差计中则表现为右侧水银柱高于左侧。

$$\left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) - \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) = \frac{2v_2(v_1 - v_2)}{2g} = \frac{2 \times 3 \times (12 - 3)}{2g} = 2.755 (\text{m})$$

由压差计关系式 $\left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) - \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) = \frac{\rho_m - \rho}{\rho} \Delta h$, 得

$$\frac{\rho_m - \rho}{\rho} \Delta h = 2.755$$

$$\Delta h = \frac{2.755}{12.6} = 0.219(\text{m})$$

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} = 2.755 + (z_1 - z_2) = 2.755 + 1.5 = 4.255(\text{m})$$

$$p_2 - p_1 = 4.255 \times 1 \times 9.8 = 41.7(\text{kN/m}^2)$$

【例 1.2.10】 有一混凝土衬砌的引水隧洞，洞径 $d = 2.5\text{m}$ ，洞长 $l = 4\,000\text{m}$ ，糙率 $n = 0.014$ 。试求：引水隧洞通过流量 $Q = 6.5\text{ m}^3/\text{s}$ 时的沿程水头损失。

解：先计算隧洞过水断面的水力要素：

过水断面面积

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{3.14}{4} \times 2.5^2 = 4.9(\text{m}^2)$$

水力半径

$$R = \frac{d}{4} = \frac{2.5}{4} = 0.625(\text{m})$$

断面平均流速

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{6.5}{4.9} = 1.33(\text{m/s})$$

由曼宁公式计算谢才系数 C ，得

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} = \frac{1}{0.014} \times 0.625^{1/6} = 66.05(\text{m}^{1/2}/\text{s})$$

于是，可求出沿程水头损失 h_f 为

$$h_f = \frac{v^2}{C^2 R} l = \frac{1.33^2}{66.05^2 \times 0.625} \times 4\,000 = 2.60(\text{m})$$

【例 1.2.11】 图 1.2.7 所示某水库的泄洪隧洞，已知洞长 $l = 300\text{m}$ ，洞径 $D = 2\text{m}$ ，隧洞的糙率 $n = 0.0174$ ，进口与弯折处局部水头损失 ζ 分别为 0.5 与 0.2，隧洞淹没出流时，出口局部水头损失 $\zeta_{\text{出}}$ 为 1.0，库水位为 42.50m，隧洞出口底部高程为 24.00m。试确定：下游水位分别为 22.00m 和 30.00m 时隧洞的泄洪流量。

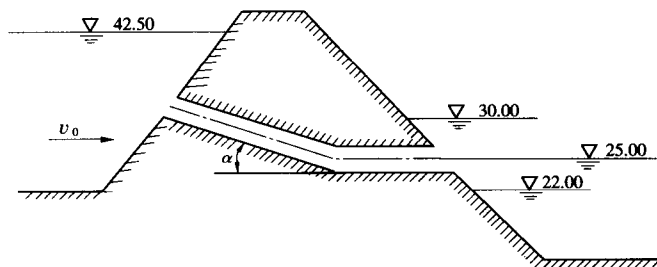


图 1.2.7

解：(1) 下游水位为 22.00m 时，因为小于隧洞出口底部高程 24.00m，所以隧洞内水流为自由出流。由于水库中行近流速很小，则有

$$Q = \mu\omega \sqrt{2g(H - h_p)}$$

又由于 $n = 0.0174$, 得

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0.0174} \times 0.5^{1/6} = 51.2 (\text{m}^{1/2}/\text{s})$$

则

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{8g}{C^2} \frac{l}{D} + \sum \zeta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.03 \times \frac{300}{2} + 0.5 + 0.2}} = 0.402$$

$$H = 42.5 - 24 = 18.50 (\text{m})$$

$$h_p = \beta D = 0.5 \times 2 = 1.0 (\text{m}) \quad (\text{出口水流流入大气, } \beta \text{ 取 } 0.5)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g(H - h_p)} = 0.402 \times \frac{3.14 \times 2^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times (18.50 - 1.0)} = 23.4 (\text{m}^3/\text{s})$$

(2) 下游水位为 30.00m 时, 因为大于隧洞出口顶部高程, 将隧洞出口完全淹没, 所以隧洞内水流为淹没出流, 即

$$z = 42.50 - 30.00 = 12.50 (\text{m})$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta_{\text{出}} + \sum \zeta + \frac{8g}{C^2} \cdot \frac{l}{D}}} = 0.402$$

则隧洞的泄流量为

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz} = 0.402 \times \frac{3.14 \times 2^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 12.5} = 19.76 (\text{m}^3/\text{s})$$

【例 1.2.12】 某离心泵管路系统如图 1.2.8 所示, 其流量 Q 为 $0.15 \text{m}^3/\text{s}$, 提水高度 z 为 20m。水泵的吸水管长 l_s 为 5m, 直径 d_s 为 0.25m, 沿程水头损失系数 λ_s 为 0.031, 底阀局部水头损失系数 ζ_e 为 3.5, 弯头局部水头损失系数 ζ_{b1} 为 0.4。压水管长 l_p 为 20m, 直径 d_p 为 0.225m, 沿程水头损失系数 λ_p 为 0.028, 弯头局部水头损失系数 ζ_{b2} 为 0.4, 出口局部水头损失系数 $\zeta_{\text{出}}$ 为 1.0。水泵最大允许真空度为 6.5m。试确定:

(1) 水泵的允许安装高度 h_s ;

(2) 水泵的扬程 H_t 。

解: (1) 水泵的允许安装高度 h_s 的确定。

水泵安装高度是指水泵高出水源水面的高度, 其最大值取决于水泵的允许最大真空度及吸水管的水头损失。取水池水面为基准面 0—0, 对断面 1—1 和水泵进口断面 2—2 建立能量方程, 得

$$0 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = h_s + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1)$$

断面 1—1 到水泵进口断面 2—2 的水头损失为

$$h_{w1-2} = \left(\lambda_s \frac{l_s}{d_s} + \zeta_e + \zeta_{b1} \right) \frac{v_2^2}{2g}$$

其中, v_2 是吸水管流速。由题中已知条件 Q 为 $0.15 \text{m}^3/\text{s}$, d_s 为 0.25m, 得

$$v_2 = Q / \left(\frac{\pi d_s^2}{4} \right) = 4Q / \pi d_s^2 = 3.06 (\text{m/s})$$

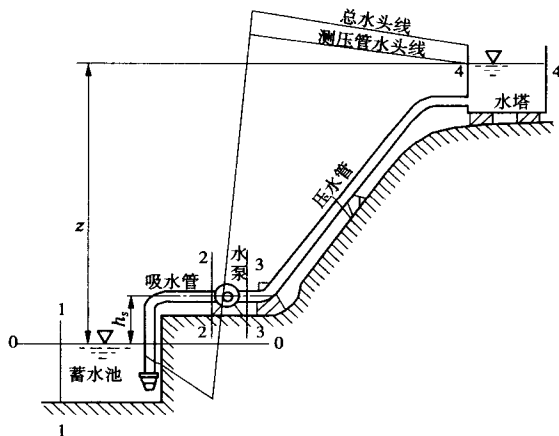


图 1.2.8

取 $\alpha_2 = 1.0$, 忽略进水池水面流速 (即 $v_1 = 0$), 水池水面为大气压, $p_1 = p_a$ 。将上述条件代入式(1), 得

$$\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h_s + \left(1 + \lambda_s \frac{l_s}{d_s} + \zeta_e + \zeta_{b1}\right) \frac{v_2^2}{2g}$$

其中, $\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$ 是断面 2—2 处的真空值, 为了保证水泵的正常运行, 其值应不大于水泵的允许真空度, 即 $\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \leq 6.5\text{m}$, 则有

$$h_s \leq 6.5 - \left(1 + \lambda_s \frac{l_s}{d_s} + \zeta_e + \zeta_{b1}\right) \frac{v_2^2}{2g},$$

将题中各已知条件代入, 得

$$h_s \leq 6.5 - \left(1 + 0.031 \times \frac{5}{0.25} + 3.5 + 0.4\right) \frac{3.06^2}{2 \times 9.8} = 3.86(\text{m})$$

即水泵最大安装高度为 3.86m。

(2) 水泵扬程的确定。

水由低处被提升到水塔上, 提水高度为 z , 在此过程中需要增加能量。同时在流经吸水管和压水管时, 由于克服阻力又会损失能量。这两部分能量都必须由水泵提供。单位重量的液体经过水泵时获得的总能量称为水泵的扬程。即提水高度与吸水管和压水管的损失能量之和就是水泵的扬程。取进口水池水面为基准面, 对断面 1—1 及断面 4—4 列能量方程, 得

$$H_t = z + h_{w1-4} \quad (2)$$

断面 1—1 到断面 4—4 的水头损失为

$$h_{w1-4} = h_{w1-2} + h_{w3-4} = \left(\lambda_s \frac{l_s}{d_s} + \zeta_e + \zeta_{b1}\right) \frac{v_2^2}{2g} + \left(\lambda_p \frac{l_p}{d_p} + \zeta_{b2} + \zeta_{ou}\right) \frac{v_3^2}{2g} \quad (3)$$

其中, v_3 为压水管中的流速, 由已知条件 Q 为 $0.15\text{m}^3/\text{s}$, d_p 为 0.225m , 得

$$v_3 = 4Q / (\pi d_p^2) = 4 \times 0.15 / (3.14 \times 0.225^2) = 3.77(\text{m/s})$$