

中 等 专 业 学 校 教 材

地下水动力学 习题集

徐启昆 姬万里 肖戈 编

地 质 出 版 社

中等专业学校教材

地下水动力学习题集

徐启昆 姬万里 肖戈 编

地质出版社

内 容 提 要

本书通过典型的实例、例题和习题，论述了地下水运动计算的原理、方法和步骤。全书分上、下两篇，共八章。上篇为水力学基础篇，着重介绍了与地下水动力学有关的例题、习题；下篇为地下水动力学篇，共分五章，其中包括含水层中地下水的稳定运动、水工建筑物地区地下水的稳定运动、地下水流向集水建筑物的稳定运动、解析法推算涌水量及水位降深、地下水流向井的非稳定运动等部分的例题和习题。

本书是中等专业学校地下水动力学的配套教材，可作为地质、水利、建筑、煤炭、冶金、石油等部门水文地质工程地质类专业教材，也可供水文地质科研人员、工程技术人员参考。

* * *

本书由古自纯主审，经地质矿产部中等专业学校水文地质工程地质教学指导委员会于1989年3月审稿，同意作为中等专业学校教材出版。

* * *

中等专业学校教材 地下水动力学习题集

徐启昆 姬万里 肖 戈 编

责任编辑：屠湧泉

地质出版社出版

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：7.5 字数：172000

1990年5月北京第一版·1990年5月北京第一次印刷

印数：1—3170册 定价：1.40元

ISBN 7-116-00586-2/P·498

前 言

本书是根据地矿部制订的中等专业学校四年制教材大纲编写的。1987年11月提出初稿，在福州召开的地矿部中专水文地质工程地质教学指导委员会（简称“部教指会”）会议上得到确认，并在郑州地校、赣州地校、广西地校和福州地校试用。各校老师对初稿提出很多宝贵意见，后经编者对本书进行了多次修改，于1989年3月经“部教指会”审稿，同意作为中等专业学校教材出版。

本书是地下水动力学的配套教材。它试图引导学生更好地掌握地下水动力学的基础理论，培养学生学会分析水文地质条件，正确选择数学模型和计算方法，恰当处理抽水试验中的异常现象，综合给出代表试验区水文地质条件的各种参数及对试验区进行地下水资源评价的能力。考虑到孔隙、裂隙、溶隙含水层介质分布的广泛性，我们除收集了平原区大量抽水试验资料外，还对近年来裂隙、溶隙渗流研究中所做的抽水试验资料也给以足够重视。在一些例题的计算和综述中，介绍了裂隙、溶隙介质渗流计算研究的新成果。

全书分上、下两篇，上篇为水力学基础，下篇为地下水动力学。各章、节中均给出比较典型的实际例题、习题和答案，并作适当的总结。最后附有地下水动力学课程设计题。

本教材汇集了郑州地校水工专业科地动教研组各位老师多年来教学、科研、生产之成果。在徐启昆的指导下，由肖戈（上篇）和姬万里（下篇）执笔编写，最后由徐启昆统一修改、定稿。

古自纯为本书主审；王德明、禹样裕等同志也给本书提出了许多宝贵的意见；在收集资料的过程中得到河南第一水文地质工程地质大队的高级工程师李广坤、陶友良、李玉信、工程师赵运章，沈阳市环境水文地质总站高级工程师张宝礼，内蒙古地质局101地质队高级工程师吴启戌及南京地校高级讲师禹样裕等同志的无私援助。本书插图由李娜大、刘起红同志清绘。在此，对以上所有同志表示衷心感谢！

由于本书内容广泛，不当之处敬请读者予以指正。

编 者
1989年7月

本教材所用物理量符号一览表

符 号	代 表 意 义	单 位 名 称	单位符号	量 纲
A	面 积	平方米	m^2	L^2
		平方公里	km^2	L^2
a	压力传导系数	平方米每天	m^2/d	L^2T^{-1}
	加 速 度	米每二次方秒	m/s^2	LT^{-2}
B	越流因素	米	m	L
	含水层宽度	米	m	L
D	疏干因素	米	m	L
	弥散系数	平方米每天	m^2/d	L^2T^{-1}
d	直 径	米	m	L
	有效粒径	米	m	L
E	弹性模量	帕〔斯卡〕	Pa	$ML^{-1}T^{-2}$
F	力	牛顿	N	MLT^{-2}
G	重 力	牛顿	N	MLT^{-2}
g	重力加速度	米每二次方秒	m/s^2	LT^{-2}
H	水 头	米	m	L
H_n	测压管水头	米	m	L
h	潜水含水层厚度	米	m	L
h_f	沿程水头损失	米	m	L
h_0	井中水位	米	m	L
h_n	测压管高度	米	m	L
i	曲线斜率			无量纲
$j(l)$	水力坡度			无量纲
K	渗透系数	米每天	m/d	LT^{-1}
K_r	水平渗透系数	米每天	m/d	LT^{-1}
K_z	垂直渗透系数	米每天	m/d	LT^{-1}
$K_0(x)$	第二类 2 阶 Bessel 函数			
$L(i)$	距离、长度	米	m	L

符 号	代 表 意 义	单 位 名 称	单位符号	量 纲
M	含水层厚度	米	m	L
m	质 量	千克 (公斤)	kg	M
n	孔 隙 度			无量纲
p	总 压 力	牛顿	N	MLT^{-2}
	压 强	帕〔斯卡〕	Pa	$LM^{-1}T^{-2}$
p_a	大气压强	帕〔斯卡〕	Pa	$ML^{-1}T^{-2}$
Q	流量(涌水量)	立方米每秒	m^3/s	L^3T^{-1}
q	单位涌水量 (单宽流量)	平方米每秒	m^2/s	L^2T^{-1}
R	影响半径	米	m	L
R_r	引用影响半径	米	m	L
Re	雷诺数			无 量 纲
Re_k	临界雷诺数			无 量 纲
r	井孔半径 (径向距离)	米	m	L
s	水位降深	米	m	L
T	导水系数	平方米每天	m^2/d	L^2T^{-1}
t	抽水时间	分、时、天	min、h、d	T
τ	抽水恢复时间	分、时、天	min、h、d	T
u	实际平均流速	米每天	m/d	LT
V	渗透速度 (流速)	米每天	m/d	LT
$1/\alpha$	延迟指数的倒数	分、时、天	min、h、d	T
μ	给 水 度			无 量 纲
μ_e	弹性给水度			无 量 纲
μ_d	重力给水度			无 量 纲
$\mu(n)$	动力粘滞系数	帕〔斯卡〕秒	$Pa \cdot s$	$ML^{-1}T^{-1}$
ν	运动粘滞系数	二次方米每秒	m^2/s	L^2T^{-1}
ρ	密 度	千克每立方米	kg/m^3	ML^{-3}

目 录

本教材所用物理量符号一览表

上篇 水力学基础

第一章 静水力学基本原理	1
第二章 动水力学基本原理	6
第三章 水流型态和水头损失	16

下篇 地下水动力学

第四章 含水层中地下水的稳定运动	22
第一节 均质含水层中地下水的稳定运动	22
一、承压水的单向运动和平面运动	22
二、潜水的平面运动	22
三、地下水的承压-无压运动	25
四、地下水的辐射运动	25
第二节 非均质含水层中地下水的稳定运动	26
一、地下水在透水性突变含水层中的运动	26
二、地下水在透水性渐变含水层中的运动	27
第五章 水工建筑区地下水的稳定运动	30
第一节 坝基渗流量计算	30
第二节 绕坝渗流量计算	31
第三节 库岸渗流量计算	33
第六章 地下水流向集水建筑物的稳定运动	35
第一节 无界含水层中地下水向完整井的稳定运动	35
一、承压完整井流	35
二、潜水完整井流	39
三、层状含水层中的完整井流	42
第二节 边界附近地下水向完整井的稳定运动	43
第三节 地下水向干扰井的稳定运动	44
第七章 解析法推算涌水量及水位降深	50
第八章 地下水流向井的非稳定运动	51
第一节 无界含水层中地下水流向完整井的非稳定运动	51
第二节 直线边界附近地下水流向完整井的非稳定运动	63
第三节 有越流补给时地下水流向完整井的非稳定运动	68
一、第一越流系统中完整井流计算	68
二、第二越流系统中完整井流计算	81
第四节 潜水含水层地下水流向完整井的非稳定运动	83
第五节 定降深完整井的计算	102
第六节 地下水流向干扰井的非稳定运动	104

上篇 水力学基础

第一章 静水力学基本原理

例题1-1: 如图1-1所示, 为圆筒形封闭容器。已知: 压力表G的读数为 $2 \times 10^4 \text{Pa}$; γ_0 值为 1.2kg/m^3 , γ_1 为 850kg/m^3 , γ_2 为 10^3kg/m^3 , γ_3 为 $13.6 \times 10^3 \text{kg/m}^3$; h_0 、 h_1 、 h_2 和 h_3 的值均为 1m ; d 为 2m 。求: ①图1-1中A、B、C三点的相对压强; ②容器底面的总压力。

解: ①因为相对压强以空气压强面为零点, 故

$$p'_A = p_0 + \gamma_0 h_0 = 2 \times 10^4 + 1.2 \times 10 \times 1 = 20012 \text{Pa}$$

$$p'_B = p'_A + \gamma_1 h_1 + \frac{\gamma_2 h_2}{2} = 20012 + 850 \times 10 \times 1 + \frac{10^3 \times 10 \times 1}{2} = 33512 \text{Pa}$$

$$p'_C = p'_B + \frac{\gamma_2 h_2}{2} + \gamma_3 h_3 = 33512 + \frac{10^3 \times 10 \times 1}{2} + 13.6 \times 10^3 \times 10 \times 1 = 174512 \text{Pa}$$

(解此类问题要特别注意压力表的读数是以空气压强面为零点量测的。此外, 由解可见, 容器空气自重引起的相对压强很小, 实际工程中可忽略不计。)

②由静水总压力计算公式 $P = p\omega$ 得:

$$P_{\text{总}} = p_C \omega = p'_C \frac{\pi d^2}{4} = 174512 \times \frac{3.14 \times 4}{4} = 547967.68 \text{N}$$

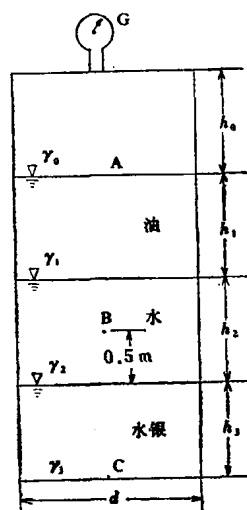


图 1-1 封闭容器

例题1-2: 如图1-2所示为一复式比压计, 试求A、B两点的压强差。已知: $h_1 = 0.5 \text{m}$, $h_2 = 0.2 \text{m}$, $h_3 = 0.3 \text{m}$, $h_4 = 0.4 \text{m}$, $h_5 = 0.6 \text{m}$, (油和水银的比重见例题 1-1)

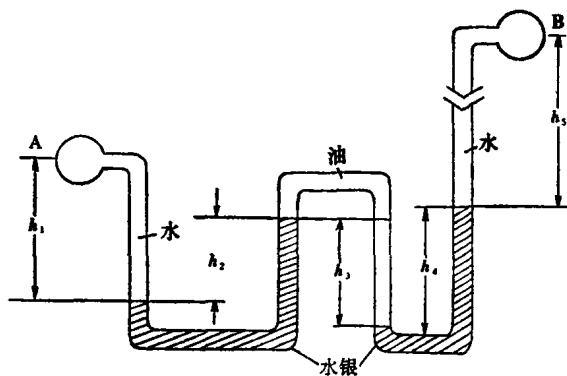


图 1-2 复式比压计

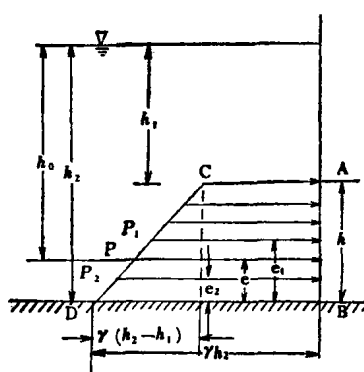


图 1-3 闸门示意图

解：由图1-2知： $p_A > p_B$

$$p_A = p_B + \gamma_{\text{水}} h_5 + \gamma_{\text{水}} h_4 + \gamma_{\text{水}} h_2 - \gamma_{\text{油}} h_3 - \gamma_{\text{水}} h_1$$

$$p_A - p_B = (0.6 - 0.5) \gamma_{\text{水}} + (0.4 + 0.2) \gamma_{\text{水}} - 0.3 \gamma_{\text{油}}$$

$$= 0.1 \times 1 \times 10^4 + 0.6 \times 13.6 \times 10^3 \times 10 - 0.3 \times 850 \times 10$$

$$\Delta p_{AB} = 80050 \text{ Pa}$$

（解此类问题主要应用连通器原理。低点压强大、高点压强小，其压强差等于高低两点的高差乘以液体的重量。）

例题1-3：图1-3为引水涵洞进水闸的示意图。矩形平板闸门AB高2m，宽3m，闸门上建有胸墙。在最大洪水位时，上游水位为5m，求此时闸门受到的静水总压力及其作用点的位置。

解：①首先绘制静水压强分布图：

闸门顶点处水深 $h_1 = h_2 - h = 3\text{m}$ ($h_2 = 5\text{m}$)

压强分布图为一梯形面积ABCD，其中：

上底长 $AC = \gamma h_1 = 3 \times 10^4 \text{ Pa}$

下底长 $BD = \gamma h_2 = 5 \times 10^4 \text{ Pa}$

梯形高 $h = 2\text{m}$

梯形面积 $\omega = \frac{(AC + BD)h}{2} = 8 \times 10^4 \text{ N/m}$

②总压力 $P = b\omega = 3 \times 8 \times 10^4 = 2.4 \times 10^5 \text{ N}$

③求总压力的作用点：

将压强分布图分成一个矩形和一个三角形，求出各自所受的压力并将其视为总压力的两个分压力，然后用力矩定理求出作用点。

矩形分布图的分压力为 P_1

$$P_1 = b\gamma h_1 h = 3 \times 10^3 \times 10 \times 3 \times 2 = 1.8 \times 10^5 \text{ N}$$

P_1 的作用点离闸板B点距离 $e_1 = \frac{h}{2} = 1\text{m}$

三角形分布图相应的分压力为 P_2

$$P_2 = b\gamma(h_2 - h_1) \frac{h}{2} = 3 \times 10^3 \times (5 - 3) \times 2 \times \frac{10}{2} = 6 \times 10^4 \text{ N}$$

P_2 的作用点离闸板B点距离 $e_2 = \frac{h}{3} = 0.67\text{m}$

由力矩定理：合力对某轴的矩等于各分力对该轴之矩的代数和。即

$$Pe = P_1 e_1 + P_2 e_2$$

$$e = \frac{P_1 e_1 + P_2 e_2}{P} = \frac{1.8 \times 10^5 \times 1 + 6 \times 10^4 \times 0.67}{2.4 \times 10^5} = 0.92\text{m}$$

故总压力作用点离水面的距离为：

$$h_0 = h_2 - e = 5 - 0.92 = 4.08\text{m}$$

习题1-1：一盛水大铁箱，底面积 $\omega = 4\text{m}^2$ ，当箱中水深 h 为1.5m时，求：①底面的静水压强是多少？②箱底所受的静水总压力是多少？ ($1.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ ； $6 \times 10^4 \text{ N}$)

习题1-2：如图1-4所示，已知： h_1 为5m， h_2 为10m，求A、B、C、D、E各点的静

水压强值,并指出静水压力的作用方向。(设液体为水) ($p_A=0$, $p_B=p_C=5 \times 10^4 \text{Pa}$, $p_D=p_E=10^5 \text{Pa}$)

习题1-3: 如图1-5所示, 若 $\gamma_1 < \gamma_2$, 下列两式是否成立, 并说明原因。

①
$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} = z_2 + \frac{p_3}{\gamma_2}$$

②
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma_2}$$

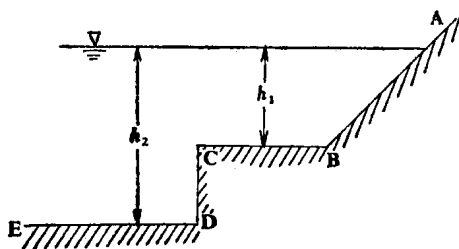


图 1-4 挡水坝

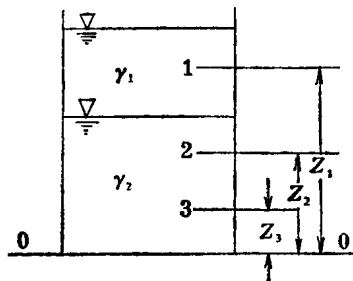


图 1-5 开口容器

习题1-4: 如图1-6所示, 已知: $h_1=1.0\text{m}$, $h_2=0.6\text{m}$, $h_3=0.4\text{m}$, $\gamma_1=700\text{kg/m}^3$, $\gamma_2=1200\text{kg/m}^3$ 。求: ①甲乙两处的测压管高度; ②甲乙两点间的压强差。 ($h_{\text{甲}}=1.0\text{m}$, $h_{\text{乙}}=1.33\text{m}$; $\Delta p_{\text{甲乙}}=9 \times 10^3 \text{Pa}$)

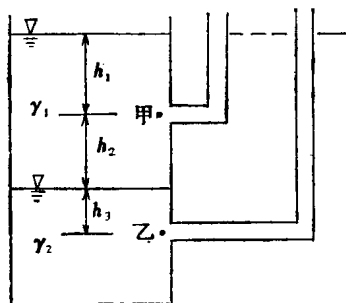


图 1-6 测压容器

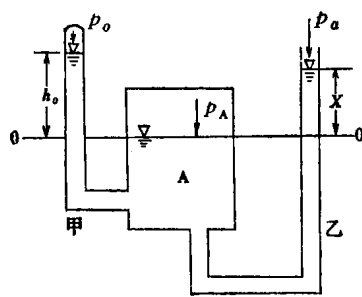


图 1-7 静水力仪

习题1-5: 如图1-7所示, 若甲管封闭, 乙管开启, 当 $p_0=9.6 \times 10^4 \text{Pa}$, $h_0=0.5\text{m}$ 时, 求: ①容器A内液体的表面压强 p_A ; ②乙管水面距0—0面的高度 x ; ③以真空度表示 p_0 。 ($1.01 \times 10^5 \text{Pa}$; 0.1m ; $4 \times 10^3 \text{Pa}$)

习题1-6: 如图1-8所示, 若将容器II提高 Δh 后, 问封闭容器I内液面气体压强 p_0 比原有值增大还是减少? 两侧压管中的液面如何变化? 若容器II不动, 两侧压管中水位是否相等? 如果相等, A点和B点的压强是否相等?

习题1-7: 如图1-9所示, 左边船坞停泊两只船, 右边船坞停泊一只船, A、B两点位于同一水平面上。有人说A点压强大于B点压强, 对否? 为什么? (设两船坞水面高程相

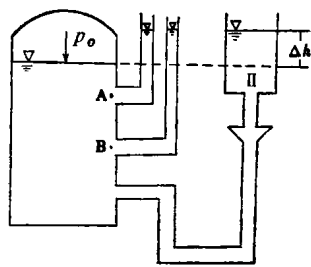


图 1-8 静水力仪

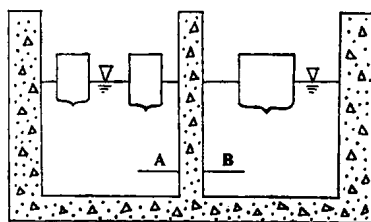


图 1-9 船坞

等)

习题1-8: 如图1-10所示, 一管路装有水银压差计, 水银面高差 Δh 为 0.2m。求: ① 管路平放时 A、B 两点的压强差; ② 管路斜放且 A 点比 B 点高 0.1m 时, A、B 两点的压强差有何变化? (设 Δh 不变) ($27.2 \times 10^3 \text{Pa}$)

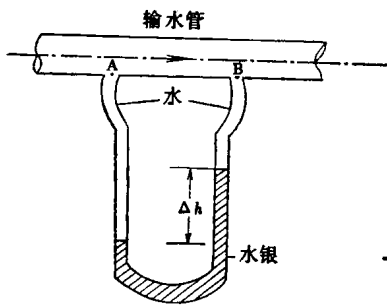


图 1-10 水银压差计

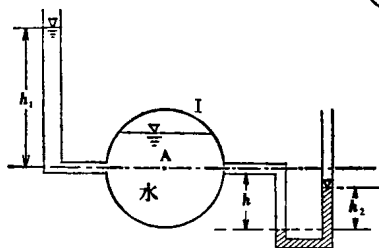


图 1-11 U形水银压差计

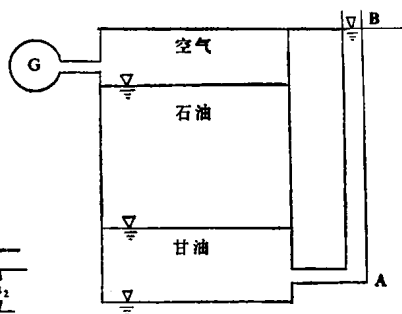


图 1-12 封闭容器

习题 1-9: 如图 1-11 所示, 在一盛水容器 I 的左侧装一测压管, 右侧装一 U 形水银压差计, 已知容器中心 A 点的相对压强为 $5 \times 10^4 \text{Pa}$, h 为 0.2m, 求 h_1 和 h_2 。 ($h_1 = 5\text{m}$, $h_2 = 0.382\text{m}$)

习题1-10: 如图1-12所示, 容器上层为空气, 中层为 $\gamma_{\text{油}}$ 值为 817kg/m^3 的石油, 下层为 $\gamma_{\text{甘}}$ 为 1225kg/m^3 的甘油, 试求当测压管中的甘油表面高程为 9.14m 时压力表 G 的读数。 ($3.48 \times 10^4 \text{Pa}$)

习题1-11: 绘出下面各曲面上的静水压强分布图, 见图 1-13(a)、(b)、(c)。

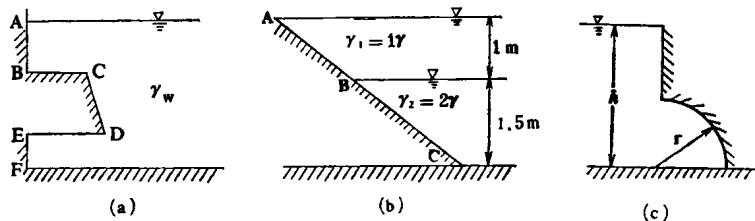


图 1-13 受压曲面图

习题 1-12: 图 1-14 所示为一引水涵洞。已知: $H_1 = 5\text{m}$, $H_2 = 2\text{m}$ 、矩形进口的高为 $h = 1\text{m}$, 宽 $b = 1\text{m}$ 、 $\alpha = 45^\circ$, 进口的盖板 A 与大坝铰接于 O 点, 试求在下面两种情况下平行于坝坡提升盖板所需的力: ① 下游有水, ② 下游无水。 (29.31kN ; 45.59kN)

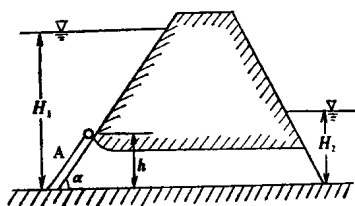


图 1-14 引水涵洞

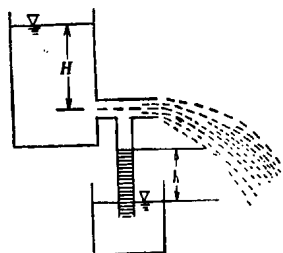


图 1-15 管嘴出流

习题1-13：图1-15为管嘴出流。为了量测管嘴中的真空度，将玻璃管的一端与管嘴相连，另一端插在水桶内，测得玻璃管中水柱上升高度 $h = 50\text{cm}$ ，试求管嘴内的真空度。

($0.5\text{mH}_2\text{O}$)

习题1-14：图1-16所示为某水库大坝横断面。坝长 100m ，库内洪水位 95m ，平水位 75m ；渠首采用圆形隧洞，闸门半径为 2m ，其上缘位于平水位以下 50m 处。求：①洪水位时坝内壁面所受静水总压力；②平水位时闸门所受静水总压力。 (① $4.33 \times 10^9\text{N}$ ；② $6.53 \times 10^6\text{N}$)

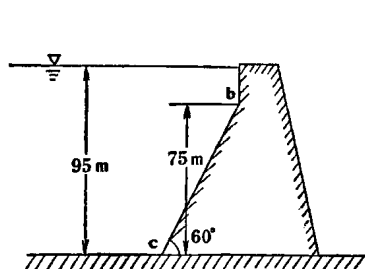


图 1-16 大坝断面

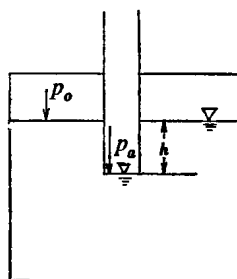


图 1-17 封闭容器

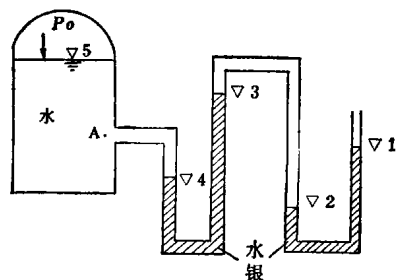


图 1-18 静水力仪

习题1-15：图1-17所示封闭容器，水面的绝对压强 $p_0 = 8.5 \times 10^4\text{Pa}$ ，中央玻璃管是两端开口的。问玻璃管应伸入到水面以下多深时，即无空气通过玻璃管进入容器，也无水进入玻璃管？ (1.5m)

习题1-16：如图1-18所示，已知： $\nabla 1 = 1.8\text{m}$ ； $\nabla 2 = 0.7\text{m}$ ； $\nabla 3 = 2.0\text{m}$ ； $\nabla 4 = 0.9\text{m}$ ； $\nabla 5 = 2.5\text{m}$ ； $\nabla A = 1.8\text{m}$ 。求：①封闭容器内的液面压强 p_0 ；②A点的绝对压强；③A点的测压管水头。 (① $9.3 \times 10^4\text{Pa}$ ；② 10^5Pa ；③ 0.7m)

第二章 动水力学基本原理

例题 2-1: 图 2-1 所示为一变直径有压管流。已知: 断面 1—1 的直径为 0.3m, 断面 2—2 的直径为 0.2m, 断面 3—3 的直径为 0.15m, 断面 3—3 处的平均流速为 2m/s, 求管中稳定流量及 1—1 和 2—2 处的平均流速及流量。

解: 水流的断面面积分别为:

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad \omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}; \quad \omega_3 = \frac{\pi d_3^2}{4}$$

由连续方程知: $V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3$

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{d_3^2}{d_1^2} \quad \frac{V_2}{V_3} = \frac{d_3^2}{d_2^2}$$

$$V_1 = \frac{V_3 d_3^2}{d_1^2} = \frac{2 \times 0.15^2}{0.3^2} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{V_3 d_3^2}{d_2^2} = \frac{2 \times 0.15^2}{0.2^2} = 1.13 \text{ m/s}$$

由于是稳定流, 故三个断面处的流量是相等的, 即:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = V_3 \omega_3 = 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

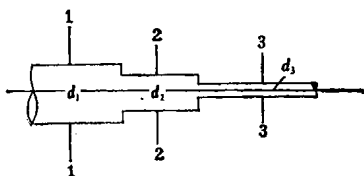


图 2-1 有压管流

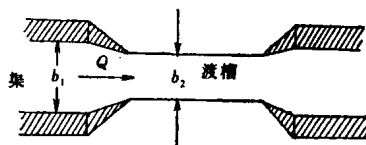


图 2-2 渡槽

例题 2-2: 有一渡槽如图 2-2 所示, 渠道断面为梯形, 底宽 $b_1 = 20\text{m}$, 边坡为 1 : 1.5, 渡槽断面为矩形, 宽 $b_2 = 15\text{m}$ 。已测得渠道水深 $h_1 = 6\text{m}$, 平均流速 $V_1 = 1.5\text{m/s}$, 渡槽水深 $h_2 = 5.4\text{m}$, 求渡槽断面平均流速 V_2 。

解: 渡槽过水断面面积

$$\omega_2 = b_2 h_2 = 15 \times 5.4 = 81 \text{ m}^2$$

渠道过水断面面积

$$\omega_1 = b_1 h_1 + 2 \left(\frac{1.5 h_1 h_2}{2} \right) = 174 \text{ m}^2$$

故:

$$V_2 = \frac{V_1 \omega_1}{\omega_2} = \frac{1.5 \times 174}{81} = 3.2 \text{ m/s}$$

例题 2-3: 图 2-3 所示, 某河段在枯水期出现江心岛, 河道被分为东西两叉道。已知断

面2—2面积为 2560m^2 ，平均流速为 0.97m/s ；断面3—3面积为 3490m^2 ，平均流速为 0.62m/s ；求总流量 Q_1 及东西两叉道的分流比。

解：由连续性方程

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 + Q_3 = V_2 \omega_2 + V_3 \omega_3 \\ &= 0.97 \times 2560 + 0.62 \times 3490 = 2483 + 2164 \\ &= 4647\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

分流比为：

$$\text{东叉道为} \quad \frac{Q_3}{Q_1} = \frac{2164}{4647} = 0.4657 = 46.57\%$$

$$\text{西叉道为} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{2483}{4647} = 0.5343 = 53.43\%$$

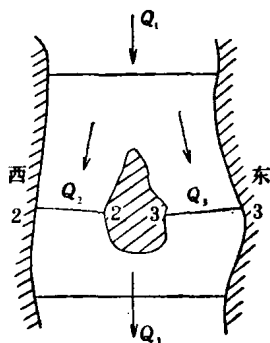


图 2-3 河道平面图

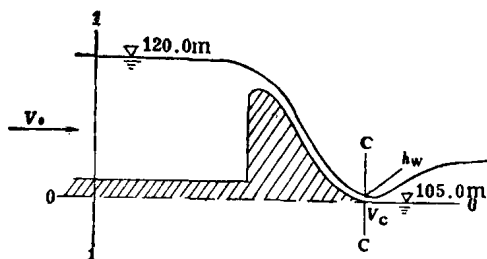


图 2-4 溢流坝

例题2-4：图2-4所示为水库的溢流坝。已知：坝下游河床高程为 105.0m ，当水库水位为 120.0m 时，设该溢流坝的水头损失为 $h_w = 0.1 \frac{V_c^2}{2g}$ ，试求：①当坝址水深 $h_c = 1.2\text{m}$ 时，C—C断面的平均流速 V_c ；②当 $V_c = 15\text{m/s}$ 时，断面1—1和C—C上的各项水头值和单宽流量。

解：①利用总流能量方程求 V_c ：

a. 选择缓变流断面：因坝面水流为急变流，缓变流断面1应选在坝前一段距离的水库中，该处水流为缓变流，同时水库过水断面面积很大，可以认为流速 $V_0 \approx 0$ ，这样可减少未知数。缓变流断面2应选在断面C—C处，因该处水流较平直，且包含了待求的流速 V_c 。

b. 选择基准面：选择通过下游河床的水平面0—0为计算基准面。

c. 列出总流能量方程，求平均流速 V_c ：

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + h_w$$

因缓变流断面上各点的单位势能 $\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)$ 为常数，其 Z 和 p 值可选断面上一点求得，为了方便，选择水面一点，因该点动水压强为零，于是：

$$Z_1 = 120 - 105 = 15\text{m} \quad p_1 = 0$$

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= 1.2\text{m} & p_2 &= 0 \\
 V_1 &= V_0 = 0 & V_2 &= V_c \\
 h_w &= 0.1 \frac{V_c^2}{2g} & \alpha_1 &= \alpha_2 = 1.1
 \end{aligned}$$

代入上式得：

$$\begin{aligned}
 15 + 0 + 0 &= 1.2 + 0 + 1.1 \times \frac{V_c^2}{2g} + 0.1 \times \frac{V_c^2}{2g} \\
 V_c &= 15.17\text{m/s}
 \end{aligned}$$

②求各项水头值：

断面1—1处：

$$\text{位置水头 } Z_1 = 15\text{m} \quad \text{压强水头 } \frac{p_1}{\gamma} = 0$$

$$\text{速流水头 } \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = 0$$

$$\text{总水头 } H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = 15\text{m}$$

断面2—2处：

$$\text{位置水头 } Z_2 = 1.2\text{m} \quad \text{压强水头 } \frac{p_2}{\gamma} = 0$$

$$\text{流速水头 } \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = 12.38\text{m}$$

$$\text{总水头 } H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = 1.2 + 0 + 12.38 = 13.58\text{m}$$

两断面间的水头损失为：

$$h_w = H_1 - H_2 = 15 - 13.58 = 1.42\text{m}$$

断面2—2处的单宽流量为：

$$\text{单位面积 } \omega_2 = 1 \times h_c$$

$$\text{故 } q_2 = V_2 \cdot \omega_2 = 15.17 \times 1 \times 1.2 = 18.20\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

例题 2-5：用一根直径 d 为 0.2m 的管道从水箱中引水，见图 2-5 所示。若需要流量为 $0.04\text{m}^3/\text{s}$ ，问水箱中的水位与管道出口断面中心的高差 H 应保持多大？（设水箱截面积远大于管道截面积；水箱水头保持不变，水头损失为 4m ）。

解：由于是稳定流，选择缓变流断面 1—1 和 2—2 便能使总流能量方程的条件得到满足。由连续性方程得：

$$\begin{aligned}
 V_1 \omega_1 &= V_2 \omega_2 \\
 \because \omega_1 &\gg \omega_2 \quad \therefore V_1 \gg V_2 = 0
 \end{aligned}$$

为计算方便，断面1—1的计算点选在水面上，断面2—2的计算点选在管轴上，并以通过管道出口断面中心的水平面为基准面。 p_1 和 p_2 均取相对压强为计算标准。

由总流能量方程：

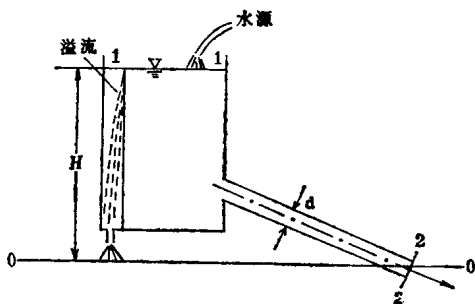


图 2-5 溢水箱

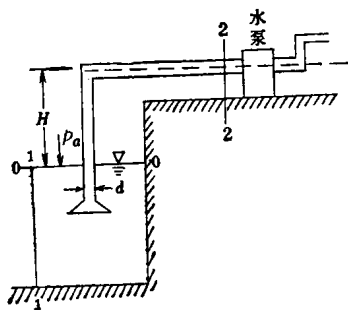


图 2-6 离心泵

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w$$

将

$$Z_1 = H; \quad p_1 = 0; \quad p_2 = 0;$$

$$V_1 = 0; \quad Z_2 = 0; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$$

代入上式有:

$$H = \frac{1.0 \times V_2^2}{2g} + h_w$$

$$\therefore V_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{0.04}{\frac{1}{4} \pi d^2} = \frac{0.04 \times 4}{3.14 \times 0.2^2} = 1.27 \text{ m/s}$$

$$\therefore H = \frac{1.0 \times 1.27^2}{2 \times 10} + 4 = 4.08 \text{ m}$$

例2-6: 一离心式水泵, (见图2-6) 其抽水量 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, 安装高度 H 为 5.5 m , 吸水管管径 d 为 0.1 m 。若吸水管总水头损失 h_w 为 0.25 m , 试求水泵进口处的真空值 p_v 。

解: 用总流能量方程, 取水池截面1-1和水泵进口断面2-2为计算断面, 计算点分别取在自由面上和管轴上。基准面选在自由面0-0上。

将

$$p_1 = p_a; \quad Z_1 = 0; \quad V_1 = 0;$$

$$Z_2 = H; \quad V_2 = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$$

代入总流方程:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w$$

得出:

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = H + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + 0.25$$

$$\frac{p_a - p_2}{\gamma} = H + \frac{1.0 \times V_2^2}{2g} + 0.25$$

$\therefore$

$$\frac{p_a - p_2}{\gamma} \text{ 为真空高度}$$

$\therefore$

$$h_v = 5.5 + \frac{V_2^2}{2g} + 0.25$$

又∵

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{20 \times 4}{3.14 \times 0.1^2 \times 3600} = 0.71 \text{ m/s}$$

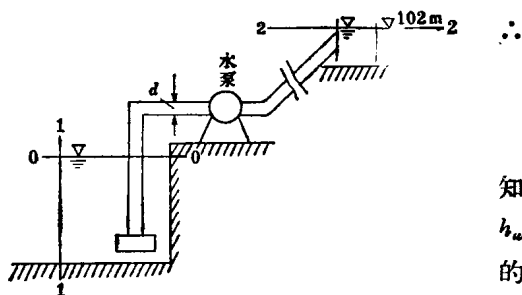


图 2-7 水泵管路图

$$\therefore h_v = 5.75 + \frac{0.71^2}{2 \times 10} = 5.78 \text{ m}$$

$$p_{v_2} = 5.78 \text{ m (水柱)} = 5.78 \times 10^4 \text{ Pa}$$

例题2-7：有一水泵管路（如图 2-7 所示），已知： $Q=101 \text{ m}^3/\text{s}$ ， $d=0.15 \text{ m}$ ；管路总水头损失为 $h_w=25.4 \text{ m}$ ，水泵效率 $\eta=75.5\%$ ，试求：①水泵的扬程 H_p ；②水泵的功率 N_p 。

解：①以吸水池水面为基准面。由于存在能量的输入，故断面1—1和2—2间的能量方程为：

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_p = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_w$$

$$0 + 0 + 0 + H_p = 102 + 0 + 0 + 25.4$$

$$H_p = 127.4 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} N_p = \frac{\gamma Q H_p}{\eta} = \frac{10^4 \times 101 \times 127.4}{0.755 \times 3600} = 4.73 \times 10^4 \text{ kw}$$

例题2-8：如图 2-8 所示，用虹吸管引水跨过大堤，管道出口直接引入大气。已知管道直径为 0.1 m ，流量为 $5.16 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ ，管道进口中心点的淹没深度为 6.5 m ， $h_1=1.5 \text{ m}$ ， $h_2=1.33 \text{ m}$ 。若不计水头损失，试求：①1—1、2—2、3—3、4—4 各断面上的动水压强；②上述各断面的单位位能、单位压能、单位动能和单位总机械能。

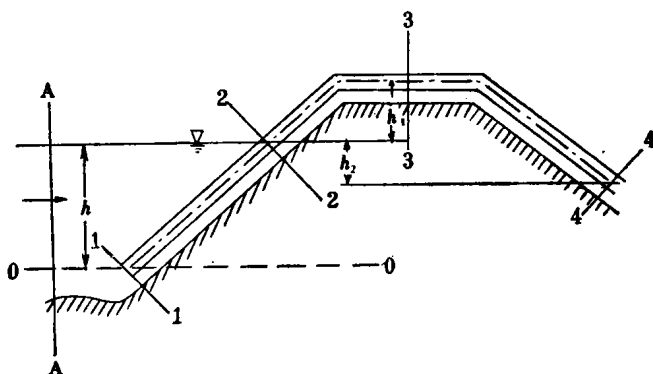


图 2-8 虹吸管

解：取0—0为基准面，并选取渐变流断面A—A、1—1、2—2、3—3、4—4，除A断面的计算点选在水面上外，其余各断面的计算点均取在断面的中心。

①求动水压强：

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.1^2 = 0.01 \text{ m}^2$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = \frac{Q}{\omega} = \frac{5.16 \times 10^{-2}}{0.01} = 5.16 \text{ m/s}$$