



高等学校教材

水力学解题指导及习题集

第二版 大连工学院水力学教研室编

高等教育出版社

高等学校教材

水力学解题指导 及习题集

第二版

大连工学院水力学教研室编

本书是在1966年第一版基础上充实内容重新编写的。内容包括：液体的主要物理性质及作用力，水静力学，液体运动的一元分析，流动型态，水流阻力和水头损失，有压管中的恒定流，明渠恒定均匀流，明渠恒定渐变非均匀流，孔口出流、堰流，泄水建筑物下游的水流衔接与消能，河渠挟沙水流基础，流体运动的三元分析，渗流，有压管中的非恒定流，波浪运动，液流的相似原理和量纲分析。书后附有各种解题用的图表。

本书各章编排顺序为：基本理论与公式、例题、思考题、计算题。本书内容是根据1980年审订的两份《水力学教学大纲》(草案)确定的，并考虑到国内已出版的水利、土建类专业水力学教材。本书可供水利、土建类各专业使用，也可供工程技术人员参考。

高等学校教材

水力学解题指导及习题集

第二版

大连工学院水力学教研室编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 18.5 插页 2 字数 445,000

1966年6月第1版 1984年3月第2版 1984年10月第1次印刷

印数 27,350—35,550

书号 15010·0588 定价 2.90 元

第二版序

《水力学习题集》初版出版至今已近廿年,为满足教学需要,现根据 1980 年 5 月审定的《水力学教学大纲》(草案),并照顾到现已出版的水力学教材,在第一版基础上充实内容,重新编写了此书,并改名为《水力学解题指导与习题集》。

与初版相比,本版主要有以下几点变化:

(一) 为了加强基本理论和基本概念,增加了液体运动的三元分析、液流的相似原理和量纲分析两章。同时删减了原习题集中大作业内容。全书的题目数由原来的 310 个增至 700 个。

(二) 每章均增加了基本理论与公式。

(三) 每章均编写了例题,基础理论部分的例题后面附有简单小结。计算题可按本书中的公式、附表和附图查算,难题附提示。所有计算题均有答案。

(四) 本版均采用国际单位制和英文符号(水面曲线除外)。

本书每章内容编排次序为:基本理论与公式、例题、思考题、计算题。书后附解题应用的附表和附图。

在编写本书时吸取了兄弟院校(如清华大学、武汉水利电力学院等)编写的水力学习题集中有关的内容,还参考了外国(如日本、英、美、苏联等国)已出版的水力学习题集。在本书的编写过程中也得到兄弟院校和有关同志的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

本版由杨景芳同志负责修订编写。李鉴初、尚全夫、申震亚同志对送审稿提出了具体修改意见。

本书承武汉水利电力学院水力学教研室及郑州工学院水力学

教研室审阅,并提出了宝贵的意见和建议,谨此表示感谢。

因限于水平,书中缺点和错误在所难免,恳切希望读者指正。

编 者

一九八三年十二月

初 版 序

本习题集是为了适应水利类水力学课程的教学需要而编写的,编写时我们参照了1962年审订的高等工业学校水利类专业的“水力学教学大纲(试用草案)”并参考了清华大学水力学教研组编、1965年出版的《水力学》试用教科书,在内容和次序编排上尽可能和上述两者相配合,以期水利类水力学课程能有较完整的教学资料。

在编写过程中,我们力求贯彻“少而精”、“理论联系实际”的原则,并注意学生分析问题和解决问题的能力培养。为此,我们作了如下安排:1)结合各章重点内容的习题较多,题目由浅入深;不是重点的地方,习题较少,题目亦较浅。2)习题内容尽可能结合专业及工程实际,如已知条件的给定和问题的提出尽量从实际出发。3)加强思考分析性的习题,每章都有一定数量的思考分析题,使每个主要概念,通过思考分析题和计算题来巩固和加深理解,并培养一定的分析和解决问题的能力。4)有系统地编排了几个作业,把水利工程中的主要水力计算包括进去,内容一方面结合教学要求,另一方面则力求切合工程实际,使同学能得到进行工程计算和设计的初步锻炼。

全书共分十二章,选题约310个左右,此外,还编写了七个大作业。本书对部分习题给了答案,有些章还举了少量的例题,书后附有常用的水力学公式及图表,这些将有助于学生解题。

本书内容尽可能照顾到水利类各专业,但更侧重于水工及水港专业。习题和作业的数量比上述教学大纲规定的要多一些,以便选用。

由于我们水平有限,尤其是缺乏工程实践经验,故书中难免存在缺点和错误,希望同志们提出意见,以便作进一步的改进。

在本书的编写过程中,曾参考并吸取了各兄弟院校水力学习题集的部分内容及有关教研室对本书初稿提出的宝贵意见,特此致谢。

本书在李士豪同志指导下,由李鉴初同志主编,参加编写的有杨景芳、申震亚、尚全夫、郭梅仪等同志。

本书承武汉水利电力学院徐正凡同志审阅,并提出了宝贵的改进意见,在此致谢。

编 者

1965年12月

目 录

第一章 液体的主要物理性质及作用力	1
基本理论与公式.....	1
例题.....	5
思考题.....	9
计算题.....	10
第二章 水静力学	13
基本理论与公式.....	13
例题.....	19
思考题.....	30
计算题.....	37
第三章 液体运动的一元分析	61
基本理论与公式.....	61
例题.....	67
思考题.....	80
计算题.....	87
第四章 流动型态、水流阻力和水头损失	108
基本理论与公式.....	108
例题.....	115
思考题.....	124
计算题.....	128
第五章 有压管中的恒定流	139
基本理论与公式.....	139
例题.....	148
思考题.....	170
计算题.....	174
第六章 明渠恒定均匀流	192
基本理论与公式.....	192

例题·····	196
思考题·····	204
计算题·····	206
第七章 明渠恒定渐变非均匀流·····	211
基本理论与公式·····	211
例题·····	221
思考题·····	239
计算题·····	244
第八章 孔口出流、堰流·····	256
基本理论与公式·····	256
例题·····	272
思考题·····	288
计算题·····	293
第九章 泄水建筑物下游的水流衔接与消能·····	306
基本理论与公式·····	306
例题·····	320
思考题·····	335
计算题·····	338
第十章 河渠挟沙水流基础·····	346
基本理论与公式·····	346
例题·····	355
思考题·····	361
计算题·····	362
第十一章 液体运动的三元分析·····	366
基本理论与公式·····	366
例题·····	383
思考题·····	392
计算题·····	394
第十二章 渗流·····	406
基本理论与公式·····	406
例题·····	419

思考题·····	431
计算题·····	435
第十三章 有压管中的非恒定流 ·····	443
基本理论与公式·····	443
例题·····	451
思考题·····	460
计算题·····	462
第十四章 波浪运动 ·····	467
基本理论与公式·····	467
例题·····	483
思考题·····	493
计算题·····	494
第十五章 液流的相似原理和量纲分析 ·····	499
基本理论与公式·····	499
例题·····	504
思考题·····	515
计算题·····	516

附表及附图目录

附表 1-1 水力学中常用物理量的量纲及单位·····	535
附表 1-2 水的物理性质·····	536
附表 4-1 管壁的当量粗糙度 k_s 值·····	536
附表 4-2 各种壁面的粗糙系数 n 值·····	537
附表 4-3 根据巴甫洛夫斯基公式 $C = \frac{1}{n} R^y$ 计算的 C 值·····	538
附表 4-4 管道的局部水头损失系数 ζ 值·····	540
附表 5-1 管道的流量模数 $K = CA\sqrt{R}$ 值·····	544
附表 5-2 常用管道的经济流速 v_e 值·····	544
附表 5-3 给排水管道的极限流量及极限流速值·····	545
附表 5-4 不同温度下水的饱和蒸汽压强水头值·····	545
附表 5-5 管道的比阻率 S_0 值·····	546
附表 5-6 钢管及铸铁管紊流过渡区的 S_0 修正系数 k 值·····	546
附表 5-7 楼房的自由水头 h_F 值·····	547

附表 6-1	实用经济断面渠道计算表	547
附表 6-2	渠道的不冲允许流速值	548
附表 7-1	$i>0$ 的函数 $\varphi(\eta)$ 值	549
附表 8-1	大孔口的流量系数 μ 值	562
附表 8-2	平板闸门的流速系数 φ 值	562
附表 8-3	平板闸门的垂直收缩系数 ε_1 值	562
附表 8-4	弧形闸门的垂直收缩系数 ε_1 值	563
附表 8-5	上游面倾斜的 WES 剖面的堰面方程用表	563
附表 8-6	上游面铅直的 WES 剖面堰的流量系数 m 值	563
附表 8-7	上游面倾斜的 WES 剖面堰 流量系数的修正值 C	564
附表 8-8	克-奥剖面曲线的座标值	564
附表 8-9	边墩与中墩的形状系数 ξ_k 和 ξ_0 值	565
附表 8-10	克-奥剖面非真空实用堰淹没系数 σ_s 值	565
附表 8-11	梯形实用断面堰的流量系数 m 值	566
附表 8-12	无坎宽顶堰的流量系数 m' 值	567
附表 8-13	宽顶堰的淹没系数 σ_s 值	568
附表 9-1	泄水建筑物的流速系数 φ 值	568
附表 9-2	消力坎的淹没系数 σ_s 值	569
附表 9-3	梯形缺口堰的第二流量系数 M 值	569
附表 9-4	挑流的冲刷系数 k 值	569
附表 12-1	土壤的渗透系数 k 值	570
附表 12-2	集水廊道浸润曲线的平均水力坡度 $\bar{J}$ 值	570
附表 13-1	常用管壁材料的弹性系数 E 值	571
附表 14-1	圣福鲁浅水立波附加总压力修正系数 k 值	571
附表 14-2	双曲函数表	572
附表 15-1	重力相似准则和粘滞力相似准则比例尺	578
附图 4-1	根据雷诺数 Re 和相对粗糙度 k_s/d 确定沿程阻力系数 λ 值	522
附图 4-2	绕流阻力系数 C_D 值	523
附图 6-2	圆形断面明渠均匀流计算图	524
附图 7-1	梯形、矩形、圆形断面明渠临界水深 h_K 求解图	525

附图 7-2	梯形断面渠道共轭水深求解图	526
附图 7-3	矩形、梯形、圆形断面水力指数 x 值求解图	527
附图 8-1	闸孔出流的淹没系数 σ_s 值图	527
附图 8-2	判别淹没薄壁堰的临界值 $\left(\frac{z}{P_2}\right)_K$ 图	528
附图 8-3	WES 剖面堰的中墩形状系数 k_p 值图	528
附图 8-4	判别淹没实用堰的临界值 $\left(\frac{z}{P_2}\right)_K$ 图	530
附图 8-5	WES 剖面堰的淹没系数 σ_s 值图	529
附图 8-6	长研院 I 型剖面堰的流量系数 m 值图	530
附图 10-2	希尔兹的泥沙临界推移力 与边界雷诺数的关系图	531
附图 10-4	莱恩-卡林斯基的悬移质 输沙率公式中的系数 P 值图	531
附图 10-5	武汉水利电力学院的悬移质输沙率 公式中系数 m 、 K 值图	531
附图 14-1	单宽深水立波最大波浪附加正负总压力计算图	532
附图 14-2	单宽浅水立波最大波浪附加正总压力计算图	533
附图 14-3	单宽浅水立波最大波浪附加负总压力计算图	534
附图 6-1	梯形、矩形断面正常水深 h_0 求解图	
附图 9-1	矩形断面渠道的临界水深, 收缩断面水深、消 力池长度、消力池深度、消力坎高度及综合式 消力池的求解图	
附图 10-1	泥沙粒径与沉降速度关系曲线图(比重 2.65)	
附图 10-3	爱因斯坦的推移质输沙率公式 $\Psi-\Phi$ 曲线图	

第一章 液体的主要物理性质及作用力

基本理论与公式

一 量纲、单位及其换算

量纲

力学现象一般能用物理方程式来描述。物理方程式是由各种有关的物理量构成的项组成的。一个正确的物理方程式其各项的量纲应该相同。量纲是表示各种物理量的类别的，如长度 $[L]$ 、质量 $[M]$ 、力 $[F]$ 及时间 $[T]$ 等。

物理量的量纲分为两种：基本量纲和导出量纲。基本量纲是性质完全不同的三个独立量纲，其中任何一个不能由另外两个组合而得来，而力学的其他量纲都可以由这三个基本量纲来表示。量纲又有两种系统：理论量纲系统，也称 $[L-M-T]$ 系统，实用量纲系统，也称 $[L-F-T]$ 系统。物理学的 CGS 单位制和国际单位制 (SI) 采用的是理论量纲系统，而以往工程力学中采用的是实用量纲系统。本书采用的是理论量纲系统。

其他导出量纲可以根据牛顿第二定律或相应的定义用基本量纲的幂乘积表示出来，即

$$[A] = [L^l M^m T^t] \quad (1-1)$$

式中： A ——任一导出量纲；

L, M, T ——长度、质量、时间的量纲；

l, m, t ——乘幂。

单位及其换算

量度物理量的基准称为单位。相应于两种量纲有两种单位：基本单位和导出单位。又，以 m(米)、kg(千克)、s(秒)作为度量长度、质量、时间的单位称为国际单位制，以 m、kgf(公斤)、s 作为度量长度、力、时间的单位称为工程单位制、水力学中常见的物理量的量纲及单位见附表 1-1。

水力学中常用的单位换算公式为

$$x_2 = x_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = x_1 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^l \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^m \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^t \quad (1-2)$$

式中： λ_1 、 λ_2 ——表示采用两种不同基本单位时的导出单位；

L_1 、 M_1 、 T_1 及 L_2 、 M_2 、 T_2 ——表示两种单位制的基本单位；

l 、 m 、 t ——表示量纲公式中的乘幂。

二 液体的主要物理性质

(一) 密度

重力场中的均质液体有三种密度

质量密度以 ρ 表示，简称为密度，是指单位体积液体所含的质量

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-3)$$

重量密度(以 γ 表示)，也称为重度或容重，是指单位体积液体所具有的重量

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{N/m}^3) \quad (1-4)$$

或
$$\gamma = \rho g \quad (1-5)$$

相对密度以 S 表示，也称为比重，是指液体重量与它同体积的 4°C 水的重量之比，即

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (1-6)$$

在国际单位制中，水的密度 $\rho_w = 1000 \text{kg/m}^3$ ，重度 $\gamma_w = 9800 \text{N/m}^3$

$=9.8\text{kN/m}^3$, 相对密度 $S_w=1$ 。各种不同温度下水的密度、重度见附表 1-2。

(二) 粘滞性

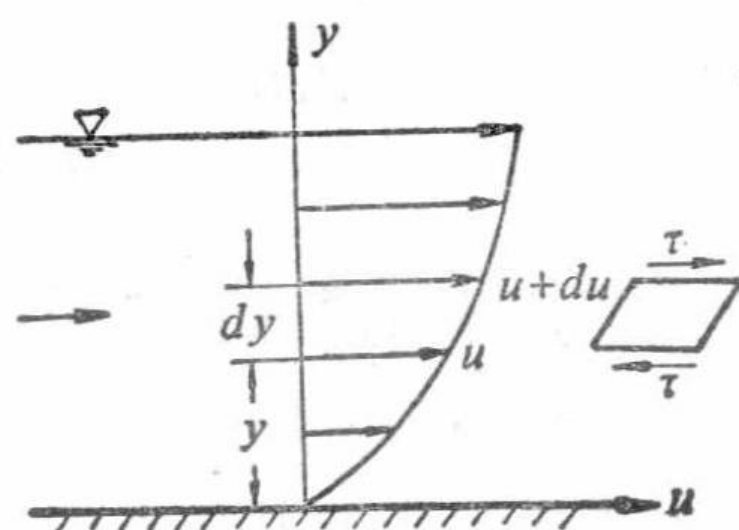
液体处在运动状态时, 液体质点之间存在着相对运动, 则质点之间要产生内摩擦力抵抗其相对运动, 此性质称为液体的粘滞性, 此内摩擦力又称为粘滞力。

相邻液层之间的内摩擦力 T
由牛顿内摩擦定律给出, 即

$$T = \mu A = \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

单位面积上的内摩擦力

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$



理 1-1 图

式中: $\frac{du}{dy}$ 为相应层的流速梯度; μ 为液体的动力粘滞系数, 国际单位制中其单位为 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ (即 $\text{Pa}\cdot\text{s}$) 或 $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$

液体的运动粘滞系数 ν 为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-9)$$

20°C 时水的 $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, $\nu = 1.003 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。

(三) 压缩性

液体受压后体积缩小, 压力撤除后恢复原状, 此性质称为液体的压缩性或弹性。液体压缩性的大小是以体积压缩系数 β 或体积弹性系数 k 来表示。

$$\beta = -\frac{\frac{dV}{V}}{dp} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1-10)$$

$$K = \frac{1}{\beta} = -\frac{dp}{\frac{dV}{V}} \quad (\text{N}/\text{m}^2) \quad (1-11)$$

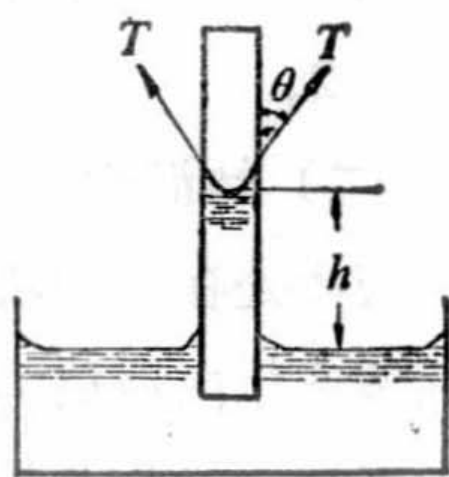
20°C时水的体积弹性系数 $K = 2.18 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

(四) 表面张力

液体不能承受张力，但有尽量缩小其表面的趋势，从宏观上看，可以认为液体表面上作用着张力，称为表面张力。由于表面张力的作用，使液面在细的玻璃管中上升或下降值由下式给出，即

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d} \quad (1-12)$$

式中： σ 为液体的表面张力系数，对于 20°C 的水 $\sigma = 0.073 \text{ N/m}$ ，对于水银 $\sigma = 0.514 \text{ N/m}$ 。 θ 为液体与固体的接触角，对于水 $\theta = 0^\circ$ ，对于水银 $\theta = 140^\circ$ 。



理 1-2 图

三 作用于液体上的力

作用于液体上的力分为两大类：表面力和质量力。

表面力作用于被研究液体的表面上，其大小与被作用的表面积成正比，如压应力(压强)和切应力。在国际单位制中，其单位为 N/m^2 即 Pa 。

质量力作用于所研究液体的每一部分质量上，其大小与液体的质量成正比，如重力和惯性力。

质量力常用单位质量的质量力表示。设作用在质量为 M 液体上的质量力为 $\mathbf{F}$ ，在空间坐标轴的投影分别为 F_x, F_y, F_z ，单位质量力为 $\mathbf{f}$ 在相应坐标上的投影为 X, Y, Z ，则下面关系式成立

$$\begin{cases} X = \frac{F_x}{M} \\ Y = \frac{F_y}{M} \\ Z = \frac{F_z}{M} \end{cases} \quad (1-13)$$

单位质量力的单位为 m/s^2

例 题

1-1 (1) 试根据量纲分析推导单位换算公式(1-2);

(2) 试问 129600km/h^2 的加速度相当于多少 m/s^2 ?

解:

(1) 设某物理量 A 的量纲用基本量纲的幂乘积表示为

$$[A] = [L^l M^m T^t]$$

设基本单位为 L_1, M_1, T_1 时该量的导出单位为 λ_1 , 基本单位为 L_2, M_2, T_2 时该量的导出单位为 λ_2 , 即

$$\lambda_1 = L_1^l M_1^m T_1^t$$

$$\lambda_2 = L_2^l M_2^m T_2^t$$

又设 x_1 和 x_2 是用 λ_1 和 λ_2 作为测量单位时物质量 A 的数值, 则

$$A = x_1 \lambda_1 = x_2 \lambda_2$$

$$\therefore x_2 = x_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = x_1 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^l \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^m \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^t \quad (1-2)$$

$$(2) \text{ 由(1-2)式 } x_2 = x_1 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^l \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^m \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^t$$

其中: $x_1 = 129600, l = 1, m = 0, t = -2$

$$L_1 = \text{km}, T_1 = \text{h}, L_2 = \text{m}, T_2 = \text{s}$$

$$\begin{aligned} \therefore x_2 &= 129600 \left(\frac{\text{km}}{\text{m}} \right) \left(\frac{\text{h}}{\text{s}} \right)^{-2} \\ &= 129600 \left(\frac{1000\text{m}}{\text{m}} \right) \left(\frac{\text{s}}{3600\text{s}} \right)^2 \\ &= 10 \end{aligned}$$

即在新的单位中加速度为 10m/s^2 。

1-2 如图所示水流在平板上运动, 其靠近边壁附近的流速呈抛物线分布, B 点为抛物线端点, 水的运动粘滞系数 $\nu = 1.00 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, 试求 $y = 0, 2, 4\text{cm}$ 处的切应力。