

水力学解题指导

上册

[日]椿東一郎 荒木正夫 合著 杨景芳 主译

高等教育出版社

水力学解题指导

上 册

[日] 椿東一郎 合著
荒木正夫
杨 景 芳 主译

高等教育出版社

0639/29

本书各章节均由基本理论概述、例题、类题及问题组成,内容较丰富、全面,并注意结合工程实际。各类题目的选取都注意到要有利于对水力学基本原理的理解。全书共十二章,分上下两册。上册内容为:概述、水静力学、水流运动的基本原理、管路水力学、孔口与堰、水击与调压塔;下册内容为:明渠恒定流、明渠非恒定流、水文学、泥沙运动、波浪与海岸水力学、地下水与渗流。书后附有常用数表。

本书可供水利、土木类专业师生及工程技术人员参考。

水力学解题指导

上 册

【日】 椿東一郎 合著
荒木正夫

杨 景 芳 主译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 三 厂 印 装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 字数 263,000

1983年4月第1版 1984年6月第1次印刷

印数 00,001—9,000

书号 15010·0495 定价 2.10 元

译者前言

本书是日本九州大学教授、工学博士椿東一郎和信州大学教授、工学博士荒木正夫合著的。自一九六一年出版以来,在日本已印刷二十几次,颇受水利类、土木类的大学生和工程技术人员的欢迎。

本书分上下两册,共十二章。上册主要内容有:概述、水静力学、水流运动的基本原理、管流、孔流与堰流、水击与调压塔。下册主要内容有:明渠恒定流、明渠非恒定流、水文学、泥沙运动、波浪与海岸水力学、地下水与渗流。各章配有例题、类题及问题。类题及问题均附答案。书后附常用数表。

该书有以下几个特点:

(一) 重点放在对水力学基本内容的理解上,通过例题、类题及问题反复突出这一重点。

(二) 水力学内容全面、丰富,并且收入了较新的研究成果。

(三) 理论与工程实践结合得比较密切。题目多选自河川、港口、水力发电、水道和土木工程领域,并附有较详细的解释,以便培养学员解决实际工程问题的能力,对工程技术人员也有帮助。

(四) 书后附有各种常用数据,使用方便。

译者认为:该书确实是一本体系完整、内容丰富、结构新颖、对我国水利类和土木类的大学生及工程技术人员都有参考价值的好书。

参加本书翻译工作的有下列同志:

大连工学院水力学教研室杨景芳译第一、二、三、四、五、七、八章及序言、目录、附表；钟炳盛译第十一章；魏启瑞译第十二章。

武汉水利电力学院水电工程施工教研室聂天慧和水电站教研室张华合译第六章；泵及泵站教研室丘传忻译第九章；河流泥沙工程教研室陈文彪译第十章。

全部译文由杨景芳校订。

由于译者水平所限，欢迎读者对译本中疏漏、错误之处给以批评指正。

译 者

1980年4月

序

本书是基于下述目的而写的，即通过问题演习使土木类大学生及工程技术人员理解水力学的主要内容。至今，水力学在土木工程学的领域中，是提供给河川工程学、港口工程学、水力发电和卫生工程学等广泛领域以数理基础的一门学科。很明显，与应用力学并列是一门重要的学问。但是，学生总的倾向是觉得水力学相当难学。其理由是各式各样的，而因为解题不够，致使水力学方法的训练和亲自实践的机会不多则是最主要的原因。实际上，即使认为基础理论大体上能够理解，若拿出应用问题，怎样去解而徘徊不决也是常事。

本书尽管做了演习，因为是按理解水力学整体的方式进行的，恐怕是有些冒险。但是，打破了过去演习书的体系，在内容编排上是从非常初等的开始，直到高级的近代水力学内容。又为了方便，全书分为上下两册，上册内容包括：概说、水静力学、流动的基本原理、管路水力学、孔口和堰、以及水击作用和调压塔，下册包括：明渠水力学、水文学、泥砂、波浪和地下水。

在编写本书时，注意了以下各点。

(1) 把对基本原理的根本理解作为重点，加以详细地解释，且做系统的描述。又例题的解法也是从对原理的理解作为着眼点，亲自努力去体会水力学的各法则和计算方法。

(2) 水力学是正在急速发展着的一门科学，特别是在最近，国内外在水力学方面研究的成果是惊人的。在本书中尽可能地收

入了这些新的研究成果。为了使学习过微积分学的读者能够乐于阅读,所以简明易懂地进行了叙述。

(3) 本书选择了在河川、港口、水力发电、水道和其它土木工程领域中出现的例题,附详细的解释,以力求使工程技术人员容易得到帮助。

又为了叙述上方便,像公式证明,认为对初学者稍微难以理解的例题,都在右上角标以星号*以示区别;不很重要的内容,或者稍微难以理解的说明文字用小字排印*。这些部分根据需去阅读。因为第三章流动的基本原理是水力学里最重要的一章,故做了详细的论述。而对初学者,3·3的势流,3·4的压缩气体的运动,3·7粘性和紊动作用可以放在以后再学。

在上述宗旨之下,承蒙森北出版社太田先生有力推动而执笔,如能对学习水力学各位有所裨益,著者甚为荣幸。

1961年2月

著 者

* 中译本这点未加区别

目 录

第一章 概说	1
1.1 因次和单位	1
因次、单位	
例题(1)、问题(1)	
1.2 流体的物理性质	6
密度、容重、压力、粘性、体积弹性系数、压缩系数、表面张力	
例题(2)、问题(2)	
1.3 π 定 理	16
因次分析	
例题(3)、问题(3)	
1.4 模型实验的相似律	21
雷诺数、佛汝德数、马赫数、柯西数	
例题(4)、问题(4)	
第二章 水静力学	29
2.1 作用在平面上的总压力	29
总压力、压力中心的位置	
例题(5)、问题(5)	
2.2 作用在曲面上的静水总压力	33
例题(6)、问题(6)	
2.3 浮 力	42
阿基米德原理、吃水深度	
例题(7)、问题(7)	
2.4 浮体的稳定	47
定倾中心高度	
例题(8)、问题(8)	
2.5 相对静止	56

例题(9)、问题(9)

第三章 水流运动的基本原理.....67

3.1 理想流体的基本方程式.....67

一元流动的基本方程式、二元流动的基本方程式

例题(10)、问题(10)

3.2 伯诺里定理.....77

例题(11)、问题(11)

3.3 势流.....83

例题(12)、问题(12)

3.4 压缩性气体的运动.....92

例题(13)、问题(13)

3.5 缓流与急流.....98

控制断面、临界水深

例题(14)、问题(14)

3.6 动量方程式.....108

例题(15)、问题(15)

3.7 粘性与紊动作用.....119

3.7.1 粘性的作用.....119

剪应力和运动方程式、雷诺数、由层流向紊流的过渡

例题(16)

3.7.2 紊动作用.....128

紊流的运动方程式、紊流扩散、旋涡运动粘性

例题(17)、问题(16)

3.8 摩擦损失系数.....136

圆管内的流速分布、光滑管和粗糙管、平均流速和摩擦损失系数

例题(18)、问题(17)

3.9 一元运动方程式和伯诺里定理.....146

例题(19)、问题(18)

第四章 管路水力学.....151

4.1 能量损失.....151

4.1.1 平均流速公式和摩擦损失系数.....151

指数公式、古典公式、将 λ 看作为相对粗糙度和雷诺数的函数的表示式、哈瑞斯公式	
例题(20)	
4.1.2 使用年限的影响	164
例题(21)	
4.1.3 旋涡引起的局部损失	166
管道断面积的突变、管道断面积的渐变、弯曲的水头损失	
例题(22)、问题(19)	
4.2 等径管路的计算	174
4.2.1 流量、水力坡度线的计算	174
流量·能线、水力坡度线	
例题(23)	
4.2.2 虹吸	179
例题(24)	
4.2.3 气蚀	183
例题(25)	
4.2.4 管路的排水时间问题	186
例题(26)、问题(20)	
4.3 异径管、配水干管、包括水轮机	
和水泵的管路及水泵的计算	191
4.3.1 异径管路的计算	191
例题(27)	
4.3.2 配水干管	195
例题(28)	
4.3.3 包括水轮机、水泵的管路计算	198
水轮机、水泵	
例题(29)	
4.3.4 水泵	204
水泵的功率、特性曲线图、泵的相似律、比转数、水泵的出口直径、轴功率及原动机功率、吸水的极限高度	
例题(30)、问题(21)	

4.4	复杂管路的计算	213
4.4.1	合流管与分流管	213
	例题 (31)	
4.4.2	合流管、分流管的图解算法	217
	例题 (32)	
4.4.3	并联管路	220
	例题 (33)、问题 (22)	
4.5	管网的计算	224
	例题 (34)、问题 (23)	
第五章	孔口与堰	232
5.1	孔口	232
5.1.1	小孔口	232
	例题 (35)	
5.1.2	孔口流量计和文丘里流量计	237
	例题 (36)	
5.1.3	大孔口	240
	例题 (37)	
5.1.4	淹没孔口	243
	例题 (38)	
5.1.5	孔口的排水、给水时间	245
	例题 (39)	
5.1.6	水闸	249
	例题 (40)、问题 (24)	
5.2	薄壁堰	254
5.2.1	矩形堰	255
	无侧收缩的矩形堰、侧收缩的矩形堰	
	例题 (41)	
5.2.2	三角堰、梯形堰等	260
	例题 (42)	
5.2.3	用堰降低水位的时间	263
	例题 (43)、问题 (25)	

5.3 溢流坝等和淹没堰	266
5.3.1 溢流坝、宽顶堰及侧堰	266
溢流坝、宽顶堰、侧堰	
例题(44)、例题(45)、例题(46)	
5.3.2 离心力的作用和坝表面上的动水压力	276
例题(47)	
5.3.3 淹没堰	282
淹没梯形堰、淹没薄壁堰	
例题(48)、例题(49)、问题(26)	

第六章 水击与调压塔289

6.1 水击压力	289
6.1.1 阿列维公式	289
水击压强的基本方程式、阿列维公式	
缓慢关闭时阿列维的近似公式	
例题(50)	
6.1.2 基于特征线法的图解法	304
例题(51)	
6.2 水位波动与调压塔	314
6.2.1 单式调压塔中的水位波动	314
水位波动的基本方程式、自由波动与无因次量、上升的最高水位、下降的最低水位、卡拉默·盖当的计算图表、调压塔的设计	
例题(52)	
6.2.2 水位波动的稳定条件	327
例题(53)	

附 录

1. 水的物理性质(大气压力下)	333
2. 液体的密度(大气压力下)	334
3. 水银的密度(C. G. S 单位)	334
4. 海水的盐分和比重(海水温度 17.5°C)	334
5. 20°C 下液体的表面张力(相对于空气)	334

6. 空气的物理性质(大气压力下)	335
7. 气体的物理性质(大气压力下, 20°C)	335
8. 展开公式	335
9. 常数表	336
10. 单位换算公式	336
参考书	338

下 册 主 要 内 容

第七章	明渠恒定流
第八章	明渠非恒定流
第九章	水文学
第十章	泥沙运动
第十一章	波浪与海岸水力学
第十二章	地下水与渗流
附录	

第一章 概 说

1.1 因次和单位

因次 通常为了表示力学关系,即各种物理量,如质量、长度、时间、加速度、能量等之间的关系,可以用方程的形式。在这些物理量当中,如选择3个独立的基本量,则其它的物理量可以用基本量的指数积表示。例如,选择长度、质量及时间作为基本量,假设它们的因次为 $[L]$ 、 $[M]$ 及 $[T]$,则面积的因次为 $[L^2]$,速度(=长度/时间)的因次为 $[LT^{-1}]$,加速度(=速度/时间)的因次为 $[LT^{-2}]$ 。又假设力、质量、加速度分别为 f 、 m 、 a ,则由牛顿的运动方程式 $f=ma$,力的因次为

$$[f]=[M][LT^{-2}]=[MLT^{-2}] \quad (1.1)$$

在物理学中,普遍采用 $[LMT]$ 系统作为基本量,而对于工程问题则常采用以长度、力及时间作为基本量的 $[LFT]$ 系统。若确定了

表 1.1 因 次 表

物 理 量	方 程 式	LMT 系统	LFT 系统
速 度	$V = dl/dt$	$[LT^{-1}]$	$[LT^{-1}]$
加 速 度	$a = dV/dt$	$[LT^{-2}]$	$[LT^{-2}]$
质 量	m	$[M]$	$[L^{-1}FT^2]$
力	$f = ma$	$[LMT^{-2}]$	$[F]$
动 量	$M = mV$	$[LMT^{-1}]$	$[FT]$
压 强	$P = f/l^2$	$[L^{-1}MT^{-2}]$	$[L^{-2}F]$
粘性系数	$\mu = P \frac{dV}{dl}$	$[L^{-1}MT^{-1}]$	$[L^{-2}FT]$
能 量	$E = fl$	$[L^2MT^{-2}]$	$[LF]$

基本量, 其它物理量的因次可由与其有关系的物理方程式导出。假设长度为 l , 质量为 m , 时间为 t , 举出代表性物理量的因次, 如表 1.1。

单位 为了表示物理量的大小, 首先应该确定下来一定的基准大小, 然后将物理量表示为它的基准量的若干倍。这个基准量就是单位, 在[LMT]系统中用(C.G.S)单位, 在[LFT]系统中用工程单位(M.kg.S)单位。在(C.G.S)单位制中, 力的单位是达因(dyne), 若单位质量用 g_0 表示, 则

$$1\text{dyne} = 1g_0 \times 1\text{cm/s}^2 = 1g_0 \cdot \text{cm/s}^2$$

工程单位制中的 1kg 因为是质量 1kg 的重量, 故

$$\begin{aligned} 1\text{kg} &= 1000g_0 \times 980\text{cm/s}^2 \\ &= 0.98 \times 10^6 g_0 \text{cm/s}^2 \\ &= 0.98 \times 10^6 \text{dyne} \end{aligned} \quad (1.2)$$

根据这个关系, C.G.S 单位制和工程单位制可以互相换算。*

在进行长度的测量时, 若选择 2 倍长度单位的大小作为新的长度单位, 则对应于某一定的长度的数值用新单位表示将为旧单位的 1/2 倍。因此, 若在某因次公式中含有长度的 1 次幂, 则欲测量的数值将为旧单位的 1/2 倍, 若含有 L^2 , 则其数值将为旧单位的 $(1/2)^2$ 倍。即, 对测定值进行单位变换时, 如该单位在因次公式中的指数为 n , 则其变化反比例于所采用单位大小的 n 次幂。

例题 (1)

[1.1] 求每分钟转数、转动惯量、马力的因次。

解 因为每分钟转数 = (转数)/(时间), 故因次为 $[T^{-1}]$ 。由运动方程式得 $I \times \text{角加速度} = \text{力} \times \text{力臂}$, 若采用[LFT]系统, 则因次方程为

* 因为在水力学里主要采用工程单位制, 所以达因单位几乎不出现。

$$[I] \frac{1}{[T^2]} = [F][L]$$

$$\therefore [I] = [LFT^2]$$

又若用[LMT]系统, 由表 1.1 $[F] = [MLT^{-2}]$, 故转动惯量

$$[I] = [ML^2]$$

因为马力是单位时间内所做的功, 故

$$\text{马力} = \frac{\text{功}}{\text{时间}} = \frac{\text{力} \times \text{长度}}{\text{时间}} = [FLT^{-1}]$$

在[LMT]系统中, 马力 = $[ML^2T^{-3}]$

[1.2] 每秒 100cm 的速度相当每小时多少 km?

解 速度的因次是 $[LT^{-1}]$ 。现在, 长度的单位由 cm 变到 km, 即扩大了 100×10^3 倍, 故速度变为 $1/10^5$ 倍。又时间的大小由 1 秒变到 1 小时, 即扩大了 3600 倍, 因为在速度的因次公式中含有时间的 -1 次幂, 所以速度也扩大 3600 倍。故当速度的单位由 cm/sec 变换为 km/hr 时, 其数值应变为 $3600/10^5$ 倍。此结果用简略符号表示如下。

$$\begin{aligned} 100\text{cm/sec} &= 100 \frac{1\text{cm}}{1\text{sec}} \\ &= 100 \frac{\frac{1}{10^5}\text{km}}{\frac{1}{3600}\text{hr}} = 100 \times \frac{3600}{10^5} \frac{\text{km}}{\text{hr}} \\ &= 3.6\text{km/hr} \end{aligned}$$

[类题] 100lbs/ft^3 相当于多少 kg/m^3 ? 而 $1\text{kg} = 2.205\text{lbs}$, $1\text{m} = 3.281\text{ft}$ 。

$$\begin{aligned} \text{略解 } 100 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3} &= 100 \frac{1\text{lb}}{(1\text{ft})^3} \\ &= 100 \frac{\left(\frac{1}{2.205}\right)\text{kg}}{\left(\frac{1}{3.281}\text{m}\right)^3} \end{aligned}$$

$$=100 \frac{(3.281)^3 \text{ kg}}{2.205 \text{ m}^3} = 1602 \text{ kg/m}^3$$

[1.3] 水的密度(单位体积的质量)在 C. G. S 单位制中是 $1g_0/\text{cm}^3$ 。水的密度 ρ , 容重(单位体积的重量) w 在 C. G. S 单位制和工程单位制中各是多少?

解 若重力加速度为 g , 则 $w = \rho g$, 故

$$\begin{aligned} w &= 1g_0/\text{cm}^3 \times 980 \text{ cm/s}^2 \\ &= 980g_0/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^2 (\text{C. G. S 单位}) \end{aligned}$$

在工程单位制中, 由(1.1)式得质量因次 $[L^{-1}FT^2]$, 而 ρ = 质量/体积的因次, 即 $[\rho] = [L^{-1}FT^2]/[L^3] = [FT^2/L^4]$ 。故

$$\begin{aligned} [w] &= [\rho g] = [FT^2/L^4][L/T^2] \\ &= [F/L^3] \end{aligned}$$

参照(1.2)式它的数值为

$$\begin{aligned} w &= 980 \frac{g_0}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}^2} = 980 \frac{g_0 \text{ cm}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{cm}^3} \\ &= 980 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^3} \\ &= 980 \frac{1}{0.98 \times 10^6} \text{ kg} \times \frac{1}{\left(\frac{1}{10^2} \text{ m}\right)^3} \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

又,

$$\rho = \frac{w}{g} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 102 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

[1.4] 若曼宁 (Manning) 的流速公式写成下面形式 $V = (1/n)h^{2/3}I^{1/2}$, 式中 V 是平均流速, h 是水深, I 是水面坡度, 求粗糙系数 n 的因次。又, 公式中采用 m 作为单位改用 ft 作为单位时系数可以怎样改正?

解 V, h 的因次是 $[LT^{-1}]$ 和 $[L]$, 因为 I 是无因次的, 故因次