

高等学校教材

水力学

(第三版)

西南交通大学水力学教研室

高等教育出版社

高等学校教材

水 力 学

(第 三 版)

西南交通大学水力学教研室

高等教育出版社

DUU 103

高等学校教材
水 力 学
(第 三 版)

西南交通大学水力学教研室

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京顺义县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 15.5 插页 2 字数 370,000
1961年7月第1版 1983年11月第3版 1984年5月第1次印刷
印数 00,001—87,500
书号 15010·0525 定价 1.85 元

第 三 版 序

本书自 1961 年公开出版以来,至今已 23 年了。虽经两次修订(1962 年新版,1965 年再版),但随着科学水平的提高和学科的发展,再度修改势在必行。修订时根据 1980 年 8 月通过的高等工业学校四年制给水排水、道桥类专业试用的“水力学教学大纲”(草案)和多年教学经验,力求贯彻“打好基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的原则。

本修订版以 1965 年唐山铁道学院(现名西南交通大学)水力学教研室编、范治纶主编的“水力学”教材再版本为基础,并参照该书 1962 年版及 1979 年西南交通大学、哈尔滨建工学院合编“水力学”中某些章节增删而成。努力保持原书风格,如力求内容取舍得当,基本原理、概念阐述正确清晰,突出重点,文字简明,便于教学。根据需要和可能,适当反映本门学科的先进科学水平。

根据教学大纲要求,增加了部分内容,如相似原理及量纲分析、液体微团的运动、流网、势流叠加原理、边界层简介、紊流扩散、绕流阻力等章节;删减了面流及挑流衔接、跌水和陡槽水力计算原理等节,许多章节都作了或多或少的修改。书中主要内容用大字排印,自成系统;属于加深加宽内容,用小字排印。

为了巩固理论,联系实际和培养分析计算能力,各章选编了例题和一定数量的习题,以便选用。

由于本书包含了各有关专业所需要的内容,在使用时可按专业要求作必要的取舍。

修订工作采用集体讨论、分工执笔修改的方式。参加执笔修改的有:黄宽渊(第一、五、九、十章),黄儒钦(第二、六、七、八章),

姜兴华(第三章),任云(第四、五、六章)。还有吕明华、胡勇、禹华谦、陈春光等同志参加绘图、校核习题和讨论等工作。这次修订工作是由黄宽渊组织进行的。

修订稿由成都科学技术大学吴持恭同志、哈尔滨建工学院屠大燕同志、同济大学周善生同志主审,提出许多宝贵的意见和建议,使本书质量有所提高;在此一并表示衷心的感谢。

由于水平所限,虽经反复修改和试用,书中缺点和错误仍在所难免,恳切希望得到各方面的指正。

西南交通大学水力学教研室

1983年9月

1965 年再版序

本书系根据 1962 年 5 月审订的高等工业学校本科五年制给水排水、铁道建筑、公路与城市道路、桥梁与隧道等专业“水力学教学大纲(试行草案)”的要求,并结合当前教学改革的精神进行修订的。

修订时力求体现大纲的基本要求,努力贯彻教学改革的精神和少而精的原则,突出了重点,同时也照顾了大纲的一般要求。与 1962 年版比较,修订本虽然增加了习题和某些按大纲规定要求的内容,但篇幅仍有很大的压缩。

在精选内容的基础上,对水力指数积分法等内容,在阐述上作了改进;将闸堰出流及水流衔接等内容作了合并;把水面曲线的分析作了更集中的安排;等等。

为了巩固理论、联系实际和培养计算能力,各章配备了一定的例题和习题,便于精讲多练。

本书分上下两册出版,全书分大小字排印,便于进一步精选内容和因材施教。

本书所用字符下角,除国际通用者外,试行采用汉语拼音字母。

参加本书修订工作的有范治纶(兼主编)、金学易、荣深涛、黄宽渊、曹景风、任云和黄儒钦等同志。还有李文辉、姜兴华、郑维光、吕明华和尤善继等同志参加了部分计算、绘图和抄写工作。

本书是由吴之冶同志审阅的,在修订过程中,天津大学等兄弟院校的水力学教研室提出了很多宝贵的意见和建议,在此一并致谢。

由于我们水平不高,缺点和不妥之处在所难免,希望读者批评指正,以便进一步修订。

唐山铁道学院水力学教研组

1965年4月

1962 年版序

本书自 1961 年问世以来，承各院校水力学教师在使用过程中，提出了许多宝贵意见，我们对此表示感谢，也据此作了必要的修订(包括分大小字排印)，使本书质量有所提高。由于此次修订时间比较紧促，体会读者的原意容有未周，修订工作做得还很不够，也不一定恰当，仍希读者随时多提出意见，供日后作大修订时参考。

唐山铁道学院水力学教研组

1962 年 2 月 唐山

初版序(摘要)

——人民铁道出版社 1961 年版

这本书是我组在 1952 年教学改革和历年教学实践的基础上写成的。

我院于 1959 年 12 月成立水力学教材审查小组，并邀请部分铁道学院及其他有关院校的教师参加，对我组所写的教材初稿，全面而系统地进行了审查，提出了某些带原则性的和许多具体的意见。我们参照这些意见，进行了大量的修改和补充，就成为此书的定稿。

水力学是工程技术专业中的一门基础技术课，它除了要结合专业的要求外，还需要照顾到它本身所具有的完整性和系统性。因此教材内容既要有相当广阔和系统的理论基础，还要力求结合专业知识，使学者能初步具有解决有关水力学工程实际问题和初步开展这方面科学研究工作的能力，并了解当前水力学的发展方向。

在各章节内容的具体安排上，我们力图贯彻理论联系实际的原则。那就是从具体现象或生产要求出发提出问题，从分析水力现象和运用实验方法着手来处理问题，并进行理论的概括，然后又回来指导实践，就是说，用来解决一般的或专业性质的问题。我们努力遵循这一原则写出了这本书，希望有助于初学者的学习。

本书是由水力学教研组全体教师编写成的。具体业务是在范治纶教授指导下进行的。全书编写大纲都经过集体讨论，然后在分工执笔、互提意见、慎重修改的基础上汇总完成的。

由于我们业务水平和教学经验的限制，这本书无论是在教材的选取、安排或阐述方面，难免会有许多不妥之处，希读者多加指

正。

最后,对参加本教材审查工作的我院邵福昨、黄寿恒、钱冬生等教授、北京铁道学院代表、湖南大学代表和正在我院进修的各兄弟铁道学院的教师,以及在本书初稿编写过程中提供材料的前我组教师阚译同志,均此致谢。

唐山铁道学院水力学教研组

1960年1月 唐山

目 录

第三版序	1
1965 年再版序	3
1962 版序	5
初版序(摘要)	6
第一章 绪论	1
§ 1-1 水力学的任务及其历史的发展	1
§ 1-2 液体的连续介质模型	3
§ 1-3 液体的主要物理性质	5
§ 1-4 作用在液体上的力	14
§ 1-5 水力学的研究方法	16
习题	18
第二章 水静力学	19
§ 2-1 静水压强及其特性	19
§ 2-2 液体的平衡微分方程及其积分	23
§ 2-3 重力作用下静水压强的分布规律	28
§ 2-4 测量压强的仪器	33
§ 2-5 重力和惯性力联合作用下液体的相对平衡	36
§ 2-6 作用在平面壁上的静水总压力	40
§ 2-7 作用在曲面壁上的静水总压力	45
§ 2-8 阿基米德原理、潜、浮体的平衡和稳定	50
习题	57
第三章 水动力学理论基础	64
§ 3-1 描述液体运动的两种方法	64
§ 3-2 欧拉法的几个基本概念	67
§ 3-3 连续性方程	75
§ 3-4 连续性微分方程	78
§ 3-5 理想液体的运动微分方程(欧拉方程)	81

§ 3-6	理想液体运动微分方程的伯诺里积分	83
§ 3-7	重力作用下理想液体元流的伯诺里方程	84
§ 3-8	理想液体元流伯诺里方程的物理意义与几何意义	87
§ 3-9	实际液体元流的伯诺里方程, 总水头线, 测压管水头 线及其坡度	90
§ 3-10	实际液体总流的伯诺里方程, 渐变流与急变流	92
§ 3-11	恒定总流的动量方程	101
§ 3-12	恒定总流的动量矩方程	107
§ 3-13	液体微团的运动	109
§ 3-14	有旋流动与无旋流动	114
§ 3-15	流速势与流函数、流网	117
§ 3-16	势流叠加原理	123
	习题	126

第四章 相似原理与量纲分析 138

§ 4-1	相似的基本概念	138
§ 4-2	相似准则	141
§ 4-3	模型实验	146
§ 4-4	物理方程的量纲齐次性	150
§ 4-5	量纲分析法	152
	习题	160

第五章 流动型态、水流阻力和水头损失 164

§ 5-1	水流阻力与水头损失的两种型式	164
§ 5-2	实际液体流动的两类型态	166
§ 5-3	均匀流动的沿程水头损失和基本方程式	172
§ 5-4	圆管中的层流运动	174
§ 5-5	液体的紊流运动	179
§ 5-6	圆管中的紊流	186
§ 5-7	圆管中沿程阻力系数的变化规律及影响因素	193
§ 5-8	边界层理论简介	204
§ 5-9	局部水头损失	209
§ 5-10	紊流扩散	220

§ 5-11 绕流阻力	222
习题	224
第六章 孔口、管嘴出流和有压管路	230
§ 6-1 液体经薄壁孔口的恒定出流	230
§ 6-2 液体经管嘴的恒定出流	235
§ 6-3 孔口(或管嘴)的变水头出流	240
§ 6-4 液体的紊动射流	241
§ 6-5 短管的水力计算	247
§ 6-6 长管的水力计算	259
§ 6-7 管网水力计算基础	273
§ 6-8 离心泵的工作原理	281
§ 6-9 有压管路中的水击	288
习题	296
第七章 明渠均匀流	307
§ 7-1 概述	307
§ 7-2 明渠均匀流的计算公式	310
§ 7-3 明渠水力最优断面和允许流速	317
§ 7-4 明渠均匀流水力计算的基本问题	322
§ 7-5 无压圆管均匀流的水力计算	326
§ 7-6 复式断面渠道的水力计算	332
习题	334
第八章 明渠非均匀流	338
§ 8-1 概述	338
§ 8-2 断面单位能量临界水深	340
§ 8-3 缓流、急流、临界流及其判别准则	345
§ 8-4 水跃	350
§ 8-5 明渠恒定非均匀渐变流的基本微分方程	357
§ 8-6 棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的分析	360
§ 8-7 渠道底坡变化时水面曲线的联接	368
§ 8-8 棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的计算	370
§ 8-9 天然河道中水面曲线的计算	383
习题	386

第九章 堰流	390
§ 9-1 堰流定义和分类	390
§ 9-2 堰流基本公式	392
§ 9-3 薄壁堰	394
§ 9-4 实用断面堰	402
§ 9-5 宽顶堰	404
§ 9-6 小桥孔径水力计算	411
§ 9-7 消力池水力计算	418
§ 9-8 无压长涵管水力计算	425
§ 9-9 侧堰	428
§ 9-10 闸下出流	429
习题	432
第十章 渗流	435
§ 10-1 概述	435
§ 10-2 渗流基本定律	436
§ 10-3 地下水的均匀流和非均匀流	442
§ 10-4 井和集水廊道	447
§ 10-5 应用流网解渗流问题	460
§ 10-6 电拟法	464
§ 10-7 非线性渗流	468
习题	472
附录 1-1 国际单位与工程单位对照表	475
附录 7-1 各种不同粗糙面的粗糙系数 n	476
附录 7-2 谢才系数 C 的数值表	478
附录 7-3 梯形渠道水力计算的诺谟图	479
附录 7-4 梯形渠道水力计算图解(插页)	

第一章 绪 论

§ 1-1 水力学的任务及其历史的发展

水力学是用实验和理论分析的方法来研究液体平衡和机械运动的规律及其实际应用的一门科学。在一定的条件下,其运动规律也适用于气体。本书主要是探讨液体的运动。

在地球上,物质存在的主要形式是固体、液体和气体。液体和气体统称为流体。从力学分析的意义上看,流体和固体的主要差别在于它们对外力抵抗的能力不同。固体有能力抵抗一定数量的拉力,压力和剪切力。当外力作用于固体时,固体将产生相应的变形以抵抗外力,相应的科学是材料力学、弹性力学等。而流体几乎不能承受拉力,处于静止状态下的流体还不能抵抗剪切力,即流体在很小剪切力的作用下将发生连续不断的变形,直到剪切力消失为止。流体的这种特性称为易流动性。至于气体与液体的差别在于气体易于压缩,而液体难于压缩。由于液体所具有的物理力学特性与固体和气体不同,在历史的发展中,逐渐形成了水力学这样一门独立的科学。

水力学的萌芽,人们认为是从距今约 2200 年以前西西里岛上的阿基米德写的“论浮体”一文开始的。他对静止时的液体力学性质作了第一次科学总结。而这些实际知识也早已在我国、印度、埃及、巴比伦等国家里,由劳动人民累积起来。

十五世纪中叶至十八世纪下半叶,生产力有了很大的发展,遇到许多水力学问题,由于科学水平的限制,人们主要用实验的方法

或直觉来解决。

1738年伯诺里利用伽里略-牛顿力学和压强的概念,提出了液体运动的能量估算; 1769年欧拉提出了液体运动的解析方法。这些成就为研究液体运动的规律奠定了理论基础。在此基础上形成一门属于数学的古典“水动力学”(或古典“流体力学”)。

由于古典水动力学所用数学的复杂性和理想液体模型的局限,不能满意地解决工程问题,工程技术人员主要用实验方法来制定一些经验公式,以满足工程的需要,形成了“实用水力学”。其中有些经验公式缺乏理论基础,使应用范围狭窄且缺乏进一步发展的基础,但却为后人留下了不少宝贵的遗产。

从十九世纪起,由于生产发展对水力学进一步的要求,人们开始将实验方法和理论分析方法相结合,相辅相成地研究实际液体模型,以解决各种水力学问题,形成了现代的水力学。使实验与理论分析方法相结合的知识包括相似原理和量纲分析(第四章)、边界层理论和紊流理论(第五章)等。

我国是文明古国,我们的祖先在与水的斗争中,逐步加深了对水流运动规律的认识。如相传四千多年以前的大禹治水,秦朝在公元前256—210年间修建了都江堰、郑国渠和灵渠,这些工程说明当时对明渠水流(第七、八章)和堰流(第九章)已有一定的认识。古代的铜壶滴漏是一种计时工具,就是根据孔口出流(第六章)使盛水容器水位发生变化来计算时间的,表明对孔口出流的规律已有相当的认识。清朝雍正年间,何梦瑶在《算迪》一书中提出了流量等于过水断面面积乘以断面平均流速的计算方法等等。但由于反动的封建统治,使我国的科学得不到应有的发展,在水力学逐渐形成严密科学的过程中未能做出应有的贡献。在今后社会主义现代化建设事业中,我们要为国家建设和水力学学科的发展作出贡献。

本书根据专业的需要,探讨一些现代水力学的内容。

水力学在很多工程中有广泛的应用。在土建工程中,如城市的生活和工业用水,一般都是从水厂集中供应,水厂利用水泵把河、湖或井中的水抽上来,经过净化和消毒后,再通过管路系统把水输送到各用户。有时,为了均衡水泵负荷,还需要修建水塔。这样,就需要解决一系列水力学问题,如取水口的布置,管路布置,水管直径和水塔高度等的计算,水泵容量和井的产水量计算等等。

与工农业发展相适应,需要发展交通运输业。在修建铁路、公路、开凿航道,设计港口等工程时,也必需解决一系列水力学问题。如桥涵孔径的设计,站场路基排水设计,隧道通风、排水的设计等等。

随着生产的发展,还会不断地提出新课题。学习水力学的目的,是根据有关专业的需要,获得分析和解决有关水力学问题的能力,并为进一步研究打下基础。

§ 1-2 液体的连续介质模型

液体是由大量不断运动着的分子所组成,而且每个分子都在不断地作无规则的热运动。从微观的角度看,由于分子之间存有空隙,因此描述液体的物理量(如流速、压强等)的空间分布也是不连续。同时,由于分子的随机热运动,又导致物理量在时间上的不连续性。

但是,在标准情况下,每立方厘米液体中,约有 3.3×10^{22} 个液体分子,相邻分子间的距离约为 3×10^{-8} 厘米。可见,分子间的距离是相当微小,而在很小的体积中,包含了难以计数的分子。在一般工程中,所研究液体的空间比分子尺寸大得多,而且要解决的工程问题是液体大量分子运动的统计平均特性,即宏观特性。1753年欧拉采用了一个基本假说,认为液体和气体充满一个体积时是