

高等学校教材

水 力 学

(1980年修订版)

上 册

清华大学水力学教研组编

高等教育出版社

高等学校教材

水 力 学

(1980 年修订版)

上 册

清华大学水力学教研组编

高等教育出版社

本书责任编辑 张元直

高等学校教材

水力学

(1980年修订版)

上册

清华大学水力学教研组编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 18.75 字数 440,000

1961年8月第1版

1981年2月第3版 1984年8月第3次印刷

印数 14,801—19,800

书号 15010·0316 定价 1.85 元

1980 年版修订说明

本书自 1964 年按部定教学大纲修订以来,已经十五年了。由于随着四化建设对水力学不断提出新的要求,和近年来水力学学科内容有了不少发展,以及在我们和其他兄弟院校的教学实践中取得了一些经验和教训,因此有必要对本书作一次较大的修订。

这次修订工作是在 1965 年版的基础上进行的,也采用了 1973 年和 1976 年我组编写的《水力学》交流讲义的部分内容。修订本除保持原书力求贯彻理论联系实际和符合学生认识规律等原则外,还着重注意加强理论基础,适当反映学科的新发展,以使学生学习后能获得较为宽广的水力学基础知识。修订本调整了章节的安排,以便适应更多专业的使用。修订后的主要变化如下:

一、上册主要为基础理论部分以及各专业均需应用的有压管流和新增加的水力要素量测一章。考虑到水力学是一门实验工作占有重要地位的学科,水力量测是研究水力学的重要手段,所以学生应对水力量测有一定的基础知识。这一章的内容可结合实验课重点讲解或供学生学习参考。明槽和建筑物水力学的内容集中在下册。这样,上册可供各种专业共用,下册则主要针对水利类的水工、农水等专业。

二、为加强水力学的理论基础,便于教学安排,在上册中将原书第二章“水动力学的理论基础”分成“恒定总流的基本方程”、“液体运动的微分方程与平面势流”及“量纲分析与相似原理”三章;原书第三章“流动型态·水流阻力和水头损失”分成“流动型态与边界层”及“水流作用力与水头损失”两章;并新增加“紊动射流与紊动扩散”一章。同时,对边界层、势流理论等内容也适当加强。

三、原书“明槽中的恒定流动”一章篇幅较重，这次修订分为“明槽中的恒定均匀流与非均匀渐变流”及“明槽中的恒定急变流”两章，这样便于阐明两者的特点。明槽中的非恒定流动一章对瞬态法精简较多，加强了特征线法和电算。原书“河渠泥沙运动的基本原理”一章改为“动床水力学基础”，内容有较大的变化。建筑物水力学部分对专业性较强的内容作了一定的压缩。

四、考虑到电子计算机在水力计算中的应用和发展趋势，在修订版中对管网、水击、水面曲线、明槽非恒定流和渗流等部分都介绍了应用电子计算机计算的例题，而且在不同的例题中分别采用不同的计算方法。选取的例题尽量不过于复杂，以利于学生在电算应用方面获得初步的知识。这些例题是在认为学生已具有程序编制及数值计算方法的初步知识的基础上编写的。编制了较详细的中文框图是为了便于采用不同的语言编制程序。附有 BASIC 语言程序和计算结果仅作参考。由于目前各专业教学计划不同，电算的发展也不平衡，因此，如教学上不具备条件，这部分内容可以略去。

五、各章按照内容和学习要求，选编了一定数量的习题，并附有参考文献。书末附有中英名词对照索引。

全书主要的、基本的内容用大字排印，自成系统；属于扩宽或加深的内容，则用小字排印。各种不同专业和不同学制可以根据各自的情况和要求，选学需要的内容，有些章节可以全部舍去。编写时在安排上尽量考虑了便于取舍。

修订工作仍采用集体讨论，分工执笔，主编审订的方式。参加执笔的有：张任（绪论）、陆琦（第一、二、十一章）、余常昭（第三、七、十二、十四章）、冬俊瑞（第四、十三章）、董曾南（第五、六章）、肖佐庭（第八章）、周雪漪（第九、十五章）、黄继汤（第十、十六章）、夏震寰（第十七章）、张永良（第十八章）等同志，由余常昭主编。工作

中得到张任、夏震寰两同志的指导。

修订稿由大连工学院李士豪同志和武汉水利电力学院徐正凡同志主审。审稿会议由教育部水利学课程教材编审小组主持，除有关编委和主审人外，参加上册审稿会的还有天津大学、华东水利学院、武汉水利电力学院、成都科学技术大学、浙江大学、华北水利水电学院等院校代表；参加下册审稿会的还有天津大学、大连工学院、武汉水利水电学院、成都科学技术大学、浙江大学、郑州工学院、广西大学、华北水利水电学院、西北农学院及江苏农学院等院校的代表。与会同志提供了许多宝贵的意见和建议；此外，各院校的有关教研组也提供了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳切希望得到各方面的指正。

编 者

1980年12月

序

本书曾于1959年出版了上册,在1961年编完了其余部分。全书改分为上中下三册,作为水力学课程的试用教科书出版。由于教学改革的继续深入,特别是贯彻“少而精”的原则以后,对教材提出了更高的要求。为此,在初版的基础上,我们进行了全面的修订再版付印,以便适应当前教学工作的需要。

在本书的修订过程中,我们力求贯彻理论联系实际和符合学生认识规律的原则,并对运用辩证唯物主义观点阐述水流现象作了一些尝试。此外,我们根据“少而精”的原则,参照了1962年审订的高等工业学校本科五年制水利类各专业适用的“水力学教学大纲”(试行草案),重新选择了内容。但由于全书包括了各专业所需要的内容,在使用时自应按照各专业的教学大纲的要求,作必要的取舍。为了分清内容的主次,将一部分次要内容印成小号字,便于删减。在文字叙述上,也力求详略有别,以示重要性的不同。全书篇幅也加以控制,力求份量适中。

修订工作中,虽对上述原则作了努力,但限于我们的水平,体现得还很不够,也会存在不少缺点。尤其是教育革命进一步深入开展以后,更会有较大的差距。希望有关同志多提意见,以便将来作进一步的改进。

修订版分上、下两册。上册包括绪论、水静力学、水动力学的理论基础、液流型态及水头损失、管路及明槽的恒定流动以及泥沙运动的基本原理等六章。下册包括孔口管嘴、堰流、衔接消能、渗流、有压及无压的非恒定流动以及波浪理论基础等七章。

修订工作系在教研组的教学实践的基础上,通过集体讨论,分

工执笔,再由主编审订的方式完成的。参加执笔的有冬俊瑞,李丕济,余常昭,周定邦,夏震寰,张永良,曹俊及惠遇甲等,由夏震寰,李丕济主编。

修订稿蒙武汉水利电力学院张瑞瑾同志审阅,水力学课程教材编审小组审查,并提供了许多宝贵的改进意见及建议。此外,各院校的有关教研组也提供了许多有益的意见,特此一并致谢。

编 者

1964年12月

目 录

1980年版修订说明	I
序	IV
绪论	1
§ 0-1 水力学的任务及发展简史	1
§ 0-2 液体的基本特征和主要物理性质	5
(一) 液体的基本特征	5
(二) 液体的主要物理性质	6
(三) 作用于液体的力	14
§ 0-3 水力学的研究方法	15
习题	18
第一章 水静力学	20
§ 1-1 静水压强及其特性	20
§ 1-2 液体的平衡微分方程	24
§ 1-3 重力作用下的液体平衡	28
(一) 重力作用下的平衡方程	28
(二) 绝对压强、相对压强、真空	29
(三) 位置水头、压强水头、测管水头	31
(四) 测压原理	34
§ 1-4 几种质量力同时作用下的液体平衡	37
§ 1-5 平面上的静水总压力	40
(一) 压强分布图的绘制	40
(二) 压力图法求矩形平面上的静水总压力	41
(三) 分析法求任意形状平面上的静水总压力	42
§ 1-6 曲线上的静水总压力	47
§ 1-7 浮力和潜体及浮体的稳定	53
(一) 浮力和物体的沉浮	53
(二) 潜体的平衡及其稳定性	55
(三) 浮体的平衡及其稳定性	56

习题	60
参考文献	69
第二章 恒定总流的基本方程	70
§ 2-1 描述流动的方法	70
(一) 拉格朗日法和欧拉法	70
(二) 流体质点的加速度, 恒定流与非恒定流, 均匀流与非均匀流	73
(三) 迹线与流线	76
(四) 元流与总流	78
(五) 流量与断面平均流速	79
§ 2-2 恒定总流的连续方程	80
§ 2-3 恒定总流的能量方程	82
(一) 恒定元流的能量方程	82
(二) 恒定总流的能量方程	86
(三) 能量方程应用举例	96
(四) 有能量输入或输出的能量方程	103
§ 2-4 恒定总流的动量方程	107
(一) 恒定总流的动量方程	108
(二) 动量方程应用举例	111
(三) 恒定总流的动量矩方程	117
习题	119
参考文献	127
第三章 液体运动的微分方程与平面势流	128
§ 3-1 液体微团运动的基本形式	129
§ 3-2 有势流动和有涡流动	134
§ 3-3 液流的连续性微分方程	139
§ 3-4 液流的运动微分方程	141
(一) 流体质点的应力状态	141
(二) 以应力表示的液体运动基本方程	146
(三) 粘滞性液体的运动方程——纳维埃·司托克斯方程	147
(四) 理想液体的运动方程——欧拉方程	148
(五) 运动方程的积分	149
§ 3-5 恒定平面势流	154
(一) 恒定平面势流的流速势与流函数	155

(二) 流网及其近似绘制法	158
(三) 几个基本的简单平面势流	165
(四) 势流的叠加原理和举例	173
(五) 解决势流问题的其他途径	183
§ 3-6 简单旋涡运动	185
(一) 线涡附近的流速分布	185
(二) 自由旋涡与强迫旋涡及其组合涡的压强分布	190
§ 3-7 空化和空蚀	193
(一) 空化(气穴)现象与空蚀(气蚀)问题	193
(二) 发生空化的条件与空穴数	195
习题	199
参考文献	204
第四章 量纲分析与相似原理	205
§ 4-1 量纲分析的概念	205
(一) 量纲和单位	205
(二) 无量纲数	208
§ 4-2 量纲的和谐原理	210
§ 4-3 量纲分析法之一——雷列法	214
§ 4-4 量纲分析法之二—— π 定理	217
§ 4-5 现象相似的意义及相似的特征	223
(一) 几何相似	224
(二) 运动相似	225
(三) 动力相似	225
§ 4-6 相似的条件	233
§ 4-7 相似原理的应用和举例	235
(一) 重力相似准则	235
(二) 粘滞力相似准则	236
(三) 弹性力相似准则	238
(四) 表面张力相似准则	239
(五) 惯性力相似准则	239
(六) 压力相似准则	239
习题	243
参考文献	245

第五章 流动型态与边界层.....246

§ 5-1 流动的两型态——层流与紊流.....246

§ 5-2 层流运动.....251

(一) 平行壁面间的流动.....251

(二) 司托克斯流动.....254

§ 5-3 紊流运动的基本概念.....255

(一) 紊流的发生.....255

(二) 紊流中物理量的表示方法.....258

(三) 紊流的基本方程.....261

(四) 紊流的半经验理论.....266

§ 5-4 边界层理论基础.....272

(一) 边界层的基本概念.....272

(二) 边界层微分方程式.....276

(三) 边界层的几种厚度的定义.....281

(四) 边界层的动量积分方程式.....283

(五) 边界层的分离现象.....289

§ 5-5 壁面边界层.....294

(一) 平板上的层流边界层.....294

(二) 平板上的紊流边界层.....300

(三) 明槽水流边界层.....312

习题.....315

参考文献.....316

第六章 水流作用力与水头损失.....318

§ 6-1 水流作用力.....318

§ 6-2 升力.....320

(一) 带环量的圆柱体绕流.....320

(二) 儒可夫斯基升力定理.....323

§ 6-3 阻力.....325

(一) 边界层分离与压强阻力.....325

(二) 尾流中的流动型态.....327

(三) 二维物体的阻力.....329

(四) 三维物体的阻力.....331

(五) 减小绕流阻力的途径.....332

§ 6-4 沿程水头损失	335
(一) 沿程水头损失与切应力的关系	336
(二) 圆管层流的沿程水头损失	339
(三) 紊流的沿程水头损失	343
§ 6-5 局部水头损失	359
习题	372
参考文献	375
第七章 紊动射流与紊动扩散	376
§ 7-1 紊动射流的特性	377
§ 7-2 平面淹没射流	381
§ 7-3 圆形断面淹没射流	387
§ 7-4 大气中的水射流	391
§ 7-5 紊流扩散的基本方程	395
(一) 分子扩散	395
(二) 扩散物质的连续性方程	396
(三) 紊流扩散的基本方程	398
(四) 关于扩散方程的求解	400
§ 7-6 一维流动中的纵向移流分散	403
习题	408
参考文献	409
第八章 有压管道中的恒定流动	410
§ 8-1 概述	410
§ 8-2 简单管道的水力计算	412
(一) 基本公式及其计算	412
(二) 管道中水流压强的沿程分布	423
(三) 虹吸管的水力计算	426
(四) 离心泵管路系统的水力计算	428
(五) 有压泄水道的水力计算	431
§ 8-3 复杂管道的水力计算	433
(一) 串联管道	434
(二) 并联管道	436
(三) 沿程均匀泄流管道	438
(四) 管网水力计算原理及电算实例	441

习题	458
参考文献	467
第九章 有压管道中的非恒定流动	468
§ 9-1 一维非恒定流动的基本方程	469
(一) 连续方程	469
(二) 运动方程	471
§ 9-2 调压系统的水面振荡	474
(一) U形管中的液面振荡	474
(二) 调压系统中的水面振荡	477
§ 9-3 水击现象	479
(一) 弹性波及其传播速度	480
(二) 水击的基本现象	484
(三) 直接水击和间接水击	488
§ 9-4 水击基本方程	490
(一) 水击运动微分方程	490
(二) 水击连续微分方程	491
§ 9-5 水击计算的解析法	494
(一) 水击联锁方程	494
(二) 边界条件	497
(三) 水击压强的解析法	499
§ 9-6 水击计算的特征线法及电算实例	503
(一) 特征方程	504
(二) 有限差分方程	506
(三) 边界条件	508
(四) 差分格式的简单讨论	512
(五) 电算实例	513
习题	519
参考文献	521
第十章 水力要素量测	522
§ 10-1 概述	522
(一) 量测的一般知识	523
(二) 量测仪表的静态与动态特性	524
§ 10-2 水位量测	528

(一) 恒定水位的量测·····	523
(二) 非恒定水位的量测·····	530
§ 10-3 流速及流向量测·····	532
(一) 浮标法·····	532
(二) 压强法·····	536
(三) 旋桨式转数计法·····	539
(四) 激光测速·····	540
(五) 其他方法·····	542
(六) 流向的量测·····	543
§ 10-4 压强量测·····	544
(一) 机械式压强量测方法·····	544
(二) 非电量电测法·····	548
§ 10-5 流量量测·····	550
(一) 明流渠槽中的流量量测·····	551
(二) 有压管路中的流量量测·····	554
§ 10-6 量测的自动化及数据处理的一般概念·····	559
参考文献·····	560
附录 I 水力学中常用单位的换算·····	562
索引·····	565

绪 论

§ 0-1 水力学的任务及发展简史

本书主要研究以水为代表的液体的机械运动规律以及如何运用这些规律于生产实际。从学科的角度来看,水力学是介乎基础科学和工程技术之间的一门技术科学。一方面根据基础科学中的普遍规律,结合水流特点,建立理论基础,同时又紧密联系工程实践,发展学科内容。

水力学在水利建设中应用比较广泛。人们经常通过修建水工建筑物及整治河道等措施来控制水流的边界条件,调整和改变原有水流的状态,以适应人们的需要;同时水流也力图反抗边界的约束,两者相互作用形成新的水流状态。水力学在水利建设中的主要任务是研究水流与边界(如水工建筑物及河床等)的相互作用,分析在各种相互作用条件下所形成的各种水流现象和边界上的各种力的作用,为水利工程的勘测、规划、设计、施工和运转管理等方面提供合理的水力学依据。例如,为了满足防洪、灌溉和发电等方面的需要,往往要在河道上筑坝,拦蓄河水,形成水库;同时要设置泄洪、输水等建筑物,这样就改变了原有的水流状态。在水库蓄水之后,坝体要承受巨大的水压力;有很小一部分水在水压力的作用下经坝基和两岸向下游渗透;如果用坝顶溢流,则溢流水股对坝体也有作用力;经泄水建筑物下泄的高速水流对下游河床常造成冲刷。因此,要正确地进行坝的设计,必须对有关的水力学问题,如确定水库水位及下泄流量,坝体所受的水压力及下泄水流对坝体和下游河床的冲刷作用,渗流的运动状态及其对建筑物的作

用等, 进行全面的分析。

在水利工程中经常遇见的水力学问题, 大致可分为下列四个方面: 一是建筑物(及河槽)的过水能力; 二是建筑物(及河槽)所受的水力荷载, 如所承受的静水压力、动水总作用力等; 三是水流的流动形态; 四是水流的能量消耗。在这四个方面中, 导致某些水流现象的内在原因往往还有待于研究。因此, 在研究应用基本规律解决水力学问题的同时, 对某些水流现象要深入观察、分析、研究, 不断改进和完善水力学的理论, 扩大其应用范围和精度。

水力学虽以水为主要研究对象, 但其基本原理同样适用于一般常见的液体和可以忽略压缩性影响的气体。水力学的全部内容不但在水利建设方面有着广泛的应用, 并且在许多国民经济部门, 如城市建设及环境保护、机械制造、石油开采、金属冶炼和化学工业等也都需要应用水力学知识。

同其他自然科学一样, 水力学的发展, 也既依赖于生产实践和科学实验, 又受社会其他因素影响。水力学的发展在时间上可以追溯到很久以前。我国水利事业的历史十分悠久, 人们在长期实践中, 逐步加深了对水流运动规律的认识。相传四千多年前的禹治水, 就表明我国古代进行过大规模的治河工作。人们在实践中认识到, 治水必须“顺水之性”。秦代在公元前 256~210 年间修建的都江堰、郑国渠和灵渠三大水利工程, 都说明当时对水流运动规律的认识, 如对明渠水流和堰流的认识, 已达到相当高的水平。尤其是都江堰工程在规划、设计和施工等方面都有相当高的科学水平和创造性, 至今仍发挥效益。

西汉武帝(公元前 140~87 年)时期, 为引洛水灌溉农田, 在黄土高原上修建了龙首渠, 因明挖易造成塌方, 就创造性地采用了开竖井沟通长十余里的穿山隧洞的施工方法, 叫做井渠法。对于多泥沙河流, 还取得灌田和放淤的宝贵经验。东汉初(约公元 31 年)