

823732

SHUI LI
XUE

刘润生 主编

【上册】

水力学

511
—
7232
T·1



清华大学水利系
刘润生藏



上海交通大学出版社

511

7232

T·1

511
7232
T·1

水 力 学

上 册

刘润生 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是一本以阐述液体运动基本规律及其工程应用为主的教科书。全书分为基本理论、初步工程应用和模型试验基础三篇,共十三章。上册是水力学基本原理篇,介绍了液体的物理性质,液体静力学,液体的平衡微分方程及其积分,液体运动的基本概念和基本方程,液流才头损失与阻力。

为方便自学,书中各章均附有学习指导、复习思考题、总结、测验作业等辅助性材料。

本书可作为大专院校水利、土建及其它有关专业的函授或自学教材,也可供有关部门的工程技术人员阅读参考之用。

水 力 学

(上 册)

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

南京人民印刷厂排版

850×1168毫米 1/32 印张11.5 字数26,000

1986年8月第1版 1986年11月第1次印刷

印数 1—2600

统一书号: 15324·173 科技书目: 131—281

定价: 2.20元

序

本书内容以高等工业学校四年制水利类专业水力学教学大纲为依据，以1982年自编函授讲义为基础，参考了新近出版的国内外水力学和流体力学书籍，并考虑到自学特点编写而成。

全书分为三篇，共十三章。在内容安排上遵循由浅入深，循序渐进的原则。在阐述中尽可能以实际水流现象为导引，从中提出问题，然后根据基本原理加以分析；在论证较为复杂的问题时，首先交待思路，最后加以概括，使阐述具有启发性。在推导基本方程时采用了控制体方法，与传统写法相比，其优点是推导方法简便，物理意义明确；此外，还把虽然涉及的物理量不同但思维方法却是一致的几个方程的推导统一了起来。这样既避免了重复推导，又有利于对方程意义的深入理解。

本书除正文外，各章末还附有学习指导、提纲式的总结、复习思考题、测验作业等。正文中需做练习之处均附有带答案的习题。这样就使全书构成了一个便于自学的体系。编写学习指导及总结的目的是便于读者自学，但因这些大多是编者的经验体会，难免有欠妥之处，只宜作为学习时的导引与参考，希望读者发挥主动性和创造性，切勿受其束缚。

本书在编写过程中得到河海大学(原华东水利学院)函授部及工程力学系水力学教研室的大力支持。全书承王惠民老师仔细审阅并提出了许多宝贵意见和建议。对此,编者谨表示衷心的感谢。

参加本书编写工作的有:纪立智(绪论、第一、七、十章),刘润生(第二、三、四、五、八、十一、十二、十三章),李家星(第六、九章)。全书由刘润生主编。

但愿本书能成为读者自学中的良友。唯因编者水平所限,书中错误及不当之处在所难免,祈请读者指正。

编 者

1985年9月

关于本课程学习环节和方法的说明

水力学是高等工业院校水利类各专业的一门重要基础技术课程。

学习本课程的方式是根据学校统一安排的教学进度，以教材为主进行自学和函授，在一定的阶段进行短期集中面授和实验；课程结束时进行统一考试。应该特别强调的是，自学和函授是函授生学习的主要和经常的方式。自学包括：研读教材、解习题、进行章节小结和完成复习思考题及测验作业。函授是指用通信方式和辅导站教师联系、提问和答疑。面授是指在课程进展到一定阶段或结束时组织学生集中上课。函授生必须正确处理自学、函授和面授的关系。

现在把自学中的几个问题分别说明如下：

一、阅读、笔记和答疑

阅读教材是自学中最基本最重要也是最困难的环节。读者必须把大部分自学时间用于研读教材。

学习，自然是以章为单位，逐章进行。阅读时可以首先对全章必读内容粗读一遍。此时不必拘泥于繁复细节和详尽推演，而侧重于对内容的轮廓性认识，例如本章的中心问题是什么，引入了哪些物理概念，有哪些基本原理或方程，有哪些基本实验及其成果，有哪些水力计算的实际问题等等。某些难懂或不清楚之处可暂不管它，留待精读时解决。所有习题和作业也不必急于动手去做。

粗读以后，可参考各章末的学习指导，以明确学习要求和重点，然后逐节仔细精读。精读的要求是弄清基本概念和原理，分

析公式中各物理量之间的关系及公式的物理意义，正确掌握公式的适用条件、应用时的注意事项等，并结合例题了解公式的具体应用方法。特别应注意定义及定律叙述的准确性。对难懂或模糊之处，应再三研读和思考，如仍不能解决，则应及时向辅导站教师提问，争取得到书面答疑和指导，免得影响后续内容的学习。

在精读中可以适当做笔记，这有利于培养自学能力。笔记贵在“精”，并不是抄书，而是把每一节的重要概念、分析问题的理论根据和方法步骤、简明的数学推导和必要的图示、重要的定律、公式和结论加以整理，也可以写上自己的学习心得或从其他参考书上获得的补充材料以及自己对复习思考题的某些解答等。

如果时间不允许，即或不做笔记，而是在书上用彩色笔做上一定的记号，或利用每页的空白写上自己的体会也是有益的。做笔记是自己对所读内容加以提炼的过程和结果，它对自己的学习有督促作用，对日后复习也十分有益。

二、解 题

解题指的是完成习题和测验作业。解题是巩固理论知识和联系实际的必要环节。

习题和测验作业必须由读者独立完成。解题的步骤是：

(1) 搞清题意，找出已知量和未知量，必要时可画简图说明题意。

(2) 根据问题要求，决定解题途径，提出所依据的定律，并写出所用公式。

(3) 运算时应首先写出所要求的未知量的表达式，然后代入已知各项数据。进行运算时必须注意各个量的单位，要按同一单位制选用。运算过程不必写出，仅需给出最终答案。举例如下：

已知液体容重 $\gamma = 8.5 \text{ kN/m}^3$ ，表面压强为 $p_0 = 60 \text{ kN/m}^2$ ，今测得某点压强为 $p = 77 \text{ kN/m}^2$ ，问该点在液面以下深度 $h = ?$

解：已知压强关系式为

$$p = p_0 + \gamma h$$

由此解得
$$h = \frac{p - p_0}{\gamma} = \frac{77 - 60}{8.5} = 2\text{m}$$

还应注意，答案必须是最终的完整的。有的同学把答案写成一个分数或某数的平方根。例如 $\frac{3}{8}\text{m}$, $\sqrt{7}\text{kN}$ 等，这种写法是不妥的，因为实际上没有算完，应该写成 0.38m 和 2.65kN ，这才是最终的答案。所谓完整的，是指如果答案有单位，应把单位注明，不可省略。如果是向量，还应说明其方向。在注明单位时可以用中文，如“米”，也可用代号，如“m”。但应该同一，不能两者混用，例如速度的单位可写为“米/秒”或“m/s”，而不可写为“米/s”及“m/秒”。

对习题和作业的质量要求是：叙述简要，步骤清楚，演算正确，答案完整，书写工整简洁。简图也要正规地绘制，不可潦草。

三、复习和总结

每章末备有复习思考题，其中包括复习各节内容的自我检查性问题和为深化内容结合实际并带有启发性的问题。这些题的作用是衡量自己对所学内容的掌握程度和从中发现自己的不足之处，也可提高自己对问题的思考分析能力。

有些章末还附有总结。主要是帮助读者对全章有一个概括的了解。学完每章之后，可以先自行总结一下，然后再参考书上的总结。本书各章总结多以表格形式给出，许多细节未能表示出来，并不完善。如果读者能按自己的方式和思路总结，效果可能更好。

复习和总结是在对全章内容有了深入了解之后所做的回顾和提高，是学习的必要环节。如果说粗读和精读是把书“越读越多”。

那么，复习和总结则是把书“越读越少”。

四、实验、面授和考试

水力学实验是重要的学习环节之一。通过实验可以培养对水流现象的观察能力，获得水流运动的感性知识，验证所学理论，熟悉实验方法并训练实验操作技能和书写实验报告的能力。

水力学实验项目参照所发的实验报告和指示书，根据所在地区的实验室条件适当安排。要求每个函授生必须自己动手观测计算，而不要在一旁作旁观者，把别人的成果一抄了事。

面授是在函授生完成了一定阶段或全部内容的自学并交了足够数量的测验作业以后举行的总结性讲课。其作用一方面是在复习的基础上着重讲解难懂的章节。另一方面是把平时分散和孤立进行的学习内容给予前后联系，以达到巩固提高和融会贯通的目的。

面授时间短暂，只能是重点地、提纲挈领地讲。因此参加面授必须有充分的自学基础。切不可平时不抓紧而期望把拉下的学习进度在面授中补上。

考试是检查教学效果，评定学生学习成绩的重要依据，也是促进学生学习的有力手段。函授生必须完成学校规定数量的习题作业以后才能参加考试。

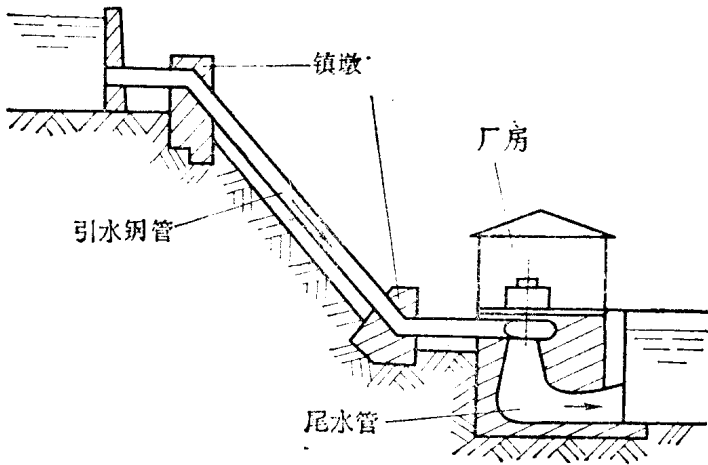
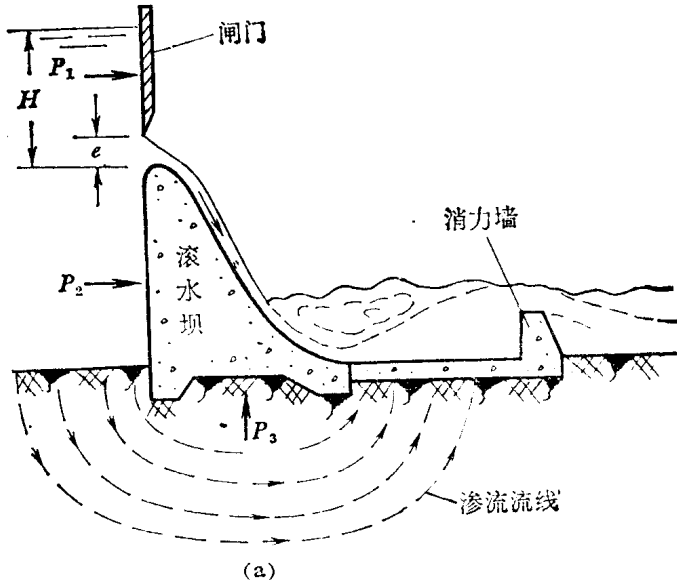
绪 论

一、水力学的定义及其在水利类专业中的应用

水力学是研究液体运动规律及其工程应用的一门科学。液体的种类很多，如水、石油、水银和酒精等等。由于工程中接触最多的液体是水，便以水作为研究液体的代表，故称水力学。实际上，水力学的基本原理与水力计算的一般方法不仅适用于水，而且也适用于其他一些液体。

现代工农业生产的各个部门，几乎无不与液体发生密切的联系，需要解决与液体运动有关的各种技术问题。因此，水力学是高等工业院校许多专业，特别是水利类专业的一门主要基础技术课程。在此，以水利工程为例，说明水力学的实际应用：

为了控制河水或利用水能，需要在河道上筑坝，于是坝前形成水库。为了调节库中水位和流量，坝顶或坝的一侧必须建有泄水闸(图0-1a)。这些闸、坝就受到水压力 P_1 、 P_2 的作用。水库中的水通过坝基岩石或土壤孔隙向下游渗流，对坝底也作用着压力 P_3 。水电站引水压力管道(图0-1b)中的水流使水轮机叶轮转动的力矩；以及水电站在运行过程中为适应负荷的变化，管道末端的阀门(或叶轮进口的导叶)突然启闭所产生的巨大的水击压力等是工程设计的基本依据，要通过水力计算才能确定。此外，为了保证管道或隧洞输水、设计与整治河渠、利用井水灌溉等，必须掌握水在管道、河渠以及土壤中运动的规律；为了迎接汛期洪水，要预先腾空库容而开闸泄水，这就需要了解通过闸门下泄的流量 Q 与闸门开启高度 e 、闸上水头 H 之间的关系；为避免泄流对下游河床的冲刷，以保证工程安全，应考虑消除水流多余动能的



(b)
图0-1

措施，因暴雨、潮汐、溃坝等因素使河道中水位与流量随时间变化的规律则是进行水文预报的重要依据。所有这些都是水力学研究的课题。在水电站厂房里的油、气、水管道系统上，通常安装着各种测量压力的压力表和测量流量的流量计，这些仪表的工作原理，也都应用水力学的知识。以上所述，充分表明水力学在水利类专业中的应用是非常广泛的。

二、水力学与有关课程的联系

液体运动遵循物质运动的普遍规律，例如：质量守恒定律、能量守恒定律和动量定律等等。运用这些普遍规律去研究液体运动，必须掌握普通物理学及理论力学的有关知识；在对液体运动进行理论分析和数值计算的过程中，必须掌握高等数学这个工具。所以，水力学是继高等数学、普通物理学、理论力学之后开设的课程。上述课程的有关内容为水力学的教学准备了必要的基础知识。

由于水力学在工程上的应用相当广泛，使水力学的基本概念、基本理论以及水力计算和实验研究的基本技能，成为学习许多专业课程和从事专业研究的必备基础。而工程实际中基本和典型的水力学问题的理论分析及解算方法也就成为本课程的重要组成部分。

根据上述特点，水力学在水利类各专业教学计划中，便成为重要的基础技术课。

因此，本书在内容安排上，以加强上述“三基本”为目标，同时适当结合专业实际，为学习后续专业课程提供必要的条件。

三、水力学发展简史和水力学的研究方法

水力学同其他自然科学一样，是随着人类活动和生产力的提

高而形成、发展的。

我国自古流传着四千多年前大禹治水的故事。公元前三世纪，在四川省灌县建成的都江堰水利工程，经连年维修，目前仍发挥着巨大效益。这是我国最著名、最古老的水工建筑物之一，是我国在明渠水流、堰流和泥沙输送诸方面水力学实践的历史见证。大约在此同期(公元前250年左右)，希腊哲学家阿基米德发表了《论浮体》，这是迄今发现的阐述水力学原理的第一篇著作。

从十八世纪中叶欧洲爆发工业革命以后，形成了研究流体运动的独立学科，并且分为流体力学与实验水力学两个分支。

流体力学是在古典力学的基础上，运用严密的数理分析方法建立理想流体运动微分方程(1755年)和粘滞性流体运动微分方程(1843年)，为研究流体运动奠定了理论基础。1883年紊流理论的发展和1904年边界层理论的提出，给流体力学增添了活力。然而，流体运动现象，在许多情况下是相当复杂的，单从理论上分析往往不能求得解答，以致影响了流体力学的发展与应用。

实验水力学则完全从工程需要出发，通过对大量河渠及水工实验观测资料的分析与整理，直接求得水力要素间的定量经验关系，其中最著名的有1775年提出的明渠均匀流谢才公式，以及各种型式的堰流和孔流公式等，这些经验公式为水利工程实践提供了可靠的依据。而量纲分析和相似理论的确立，大大提高了实验水力学的理论和实践水平。

由于现代流体力学的研究越来越深入到实际工程问题中去，越来越多地运用实验研究的方法；而现代实验水力学也广泛地应用流体力学中的数理分析方法，使得这两门科学之间的差别逐渐缩小。

随着现代光、电量测技术和电子计算机的应用，呈现出流体力学与实验水力学两者紧密结合的必然趋势。可以断言，这种趋势为水力学的发展开拓了广阔的道路。

水力学的发展历史，表明了它的正确研究方法是：数理分析

和实验研究相结合。

在水力学研究中，既要防止单纯强调数理分析，轻视实验研究的倾向，也应克服盲目实验，忽视理论指导作用的观点。读者在学习水力学课程期间，应注意观察、描述水力现象，努力掌握液体运动的基本概念、基本理论和水力计算的基本方法，应努力加强自己的实验研究能力，其中包括实验数据的量测和分析整理能力，以期为专业学习和工作实践创造条件。

上册目录

| | |
|--|----|
| 第一篇 水力学基本原理 | 1 |
| 第一章 液体的物理性质 | 3 |
| § 1—1 连续介质假设 | 3 |
| § 1—2 液体的主要物理性质 | 4 |
| § 1—3 作用于液体的力 | 16 |
| § 1—4 单位制和量纲 | 19 |
| 学习指导 | 20 |
| 复习思考题 | 21 |
| 测验作业 | 22 |
| 第二章 液体静力学 | 24 |
| § 2—1 静水压力, 静水压强及其性质 | 24 |
| § 2—2 液体静力学基本方程, 等压面, 压强分布图 | 29 |
| § 2—3 绝对压强、相对压强、真空、测压管高度 及测压管水头, 单位势能 | 37 |
| § 2—4 液体平衡微分方程及其积分, 几种质量力 同时作用下的液体平衡 | 45 |
| § 2—5 平面上的静水压力 | 55 |
| § 2—6 曲线上的静水压力 | 68 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| § 2—7 浮力, 潜体及浮体的稳定 | 80 |
| 学习指导 | 88 |
| 复习思考题 | 92 |
| 测验作业 | 95 |
| 第三章 液体运动导论 | 100 |
| § 3—1 描述液体运动的方法 | 100 |
| § 3—2 液体运动的分类 | 105 |
| § 3—3 迹线、流线、过水断面、元流、总流 | 108 |
| § 3—4 流量、断面平均流速、动能及动量 | 112 |
| § 3—5 均匀流、非均匀流, 渐变流、急变流 | 119 |
| § 3—6 加速度 | 125 |
| 学习指导 | 130 |
| 复习思考题 | 131 |
| 总结 | 132 |
| 第四章 液体一元运动基本方程 | 134 |
| § 4—1 控制体方法 | 134 |
| § 4—2 连续性方程 | 139 |
| § 4—3 动量方程 | 145 |
| § 4—4 动量矩方程 | 156 |
| § 4—5 能量方程 | 161 |
| 学习指导 | 187 |
| 复习思考题 | 188 |
| 测验作业 | 192 |
| 第五章 液体运动的基本微分方程与平面势流 | 201 |
| § 5—1 液体微团运动形式的分析, 有旋运动和无旋运动 | 201 |

| | | |
|-------------|---------------------|-----|
| § 5—2 | 连续性微分方程 | 217 |
| § 5—3 | 粘性液体的应力 | 223 |
| § 5—4 | 运动微分方程及其积分 | 232 |
| § 5—5 | 实际液体紊流雷诺方程 | 244 |
| § 5—6 | 平面无旋运动, 流网 | 250 |
| § 5—7 | 简单平面势流, 势流的叠加 | 267 |
| 学习指导 | | 276 |
| 复习思考题 | | 279 |
| 总结 | | 281 |
| 测验作业 | | 283 |

第六章 液流水头损失与阻力

284

| | | |
|-------------|------------------------------|-----|
| § 6—1 | 水头损失的分类 | 284 |
| § 6—2 | 雷诺试验——层流和紊流 | 286 |
| § 6—3 | 均匀流基本方程 | 293 |
| § 6—4 | 沿程损失的一般表达式 | 296 |
| § 6—5 | 圆管均匀层流 | 298 |
| § 6—6 | 紊流概述 | 301 |
| § 6—7 | 沿程阻力系数 λ 的试验研究 | 308 |
| § 6—8 | 谢才公式和谢才系数 | 318 |
| § 6—9 | 紊流的流速分布 | 321 |
| § 6—10 | 边界层概念及边界层分离 | 327 |
| § 6—11 | 局部水头损失 | 333 |
| 学习指导 | | 338 |
| 复习思考题 | | 341 |
| 总结 | | 343 |
| 测验作业 | | 344 |