



高等学校精品规划教材

SHUILIXUE

水力学

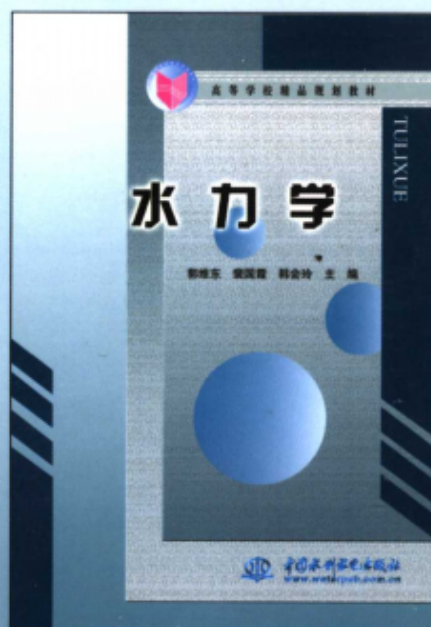
郭维东 裴国霞 韩会玲 主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 宋 晓

高等学校精品规划教材



ISBN 7-5084-2966-4



9 787508 429663 >

ISBN 7-5084-2966-4

定价：54.00元

高等学校精品规划教材

水 力 学

主 编 郭维东 裴国霞 韩会玲
副主编 李文果 高金花 张维江



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书作为高等学校水利类专业的教材,全书共分十六章,包括:导论、水静力学、水运动学、水动力学基础、液流型态及水头损失、量纲分析和液流相似原理、管道恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、堰顶溢流和闸孔出流及洞涵过流、泄水建筑物下游的水流衔接与消能、管道非恒定流、明渠非恒定流、渗流、综合水力计算实例、水力要素的量测;还包括思考题、习题和附录等。

本书也可作为水土保持、环境工程、机械类、土建类专业的教材,并可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力学 / 郭维东, 裴国霞, 韩会玲主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005
高等学校精品规划教材
ISBN 7-5084-2966-4

I. 水... II. ①郭... ②裴... ③韩... III. 水力学
—高等学校—教材 IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 090649 号

书 名	高等学校精品规划教材 水力学
作 者	主编 郭维东 裴国霞 韩会玲
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales @ waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 36.25 印张 860 千字
版 次	2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	54.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编：郭维东（沈阳农业大学）
裴国霞（内蒙古农业大学）
韩会玲（河北农业大学）

副主编：李文果（沈阳农业大学）
高金花（长春工程学院）
张维江（宁夏大学）

参 编：（按姓氏笔画）
于国锋（辽宁省葭窝水库管理局）
孙 楠（东北农业大学）
朱永梅（山东农业大学）
李学森（辽宁省汤河水库管理局）
杨丽萍（沈阳农业大学）
徐 伟（沈阳农业大学）
栾 航（辽宁省抚顺市水利局）
郝拉柱（内蒙古农业大学）
梁 岳（沈阳农业大学）
谢立群（沈阳农业大学）
魏 巍（甘肃农业大学）

主 审：槐文信（武汉大学）

前 言

本书是根据 60~100 学时的《水力学教学大纲》编写的,可作为水利类及相关专业的水力学教材使用,也可供有关技术人员作为参考书。

本书编写的指导思想是为适应 21 世纪高等教育面临的新形势,结合高等院校、尤其农林院校工科专业特点,以培养和造就创造性复合型人才为宗旨,为水利类专业提供优秀教材。

本书特点:

(1) 编写力争做到充分反映近年来的教改成果,尽可能达到工科其他优秀教材的深度和广度,例题、习题等注意结合水利工程实际。

(2) 写出主要计算程序;每章最后有小结、思考题、习题;书后附英文专业名词。

(3) 适应面尽可能广,以满足不同学时、不同专业的需求。

(4) 注意与相关课程的融会、贯通、渗透,并以培养学生自学能力、独立思考问题的能力、建模能力和举一反三的能力为基本出发点。

(5) 为了培养计算分析能力和实际动手能力,单独列出工程计算实例和水力要素量测章节。

全书共分十六章,其中导论、水静力学、水运动学、水动力学基础、层流和紊流及水流阻力和水头损失、量纲分析和液流相似原理、管道恒定流、明渠恒定均匀流、堰顶溢流和闸孔出流及洞涵过流、泄水建筑物下游的水流衔接与消能,是水利类各专业的共同必修部分;而明渠恒定非均匀流、管道非恒定流、明渠非恒定流、渗流、综合水力计算实例、水力要素的量测为供不同专业选学部分。不带*号的条目是本课程的基本内容,有*号的条目是扩展内容,这部分内容在教学中可以精简或删除。

本书由郭维东、裴国霞、韩会玲任主编;李文果、高金花、张维江任副主编;参编人员及编写分工如下:第一章郭维东、谢立群,第二章李文果,第三章郭维东、李学森,第四章裴国霞、郝拉柱,第五章张维江,第六章梁岳,第七章魏巍,第八章孙楠,第九章韩会玲,第十章朱永梅,第十一章杨丽萍,第十二章郭维东、徐伟、于国锋,第十三章高金花,第十四章郝拉柱、裴国霞,第十五章郭维东、栾航,第十六章黄树友。

本书承蒙武汉大学槐文信教授审阅,提出了许多宝贵意见,内蒙古农业大学李仙岳,沈阳农业大学张鹤、商艾华、王立松、冯亚辉硕士承担了部分插图和文字校对工作,在此表示诚挚感谢。

限于编者水平,本书中的错误和疏漏在所难免,热忱期望读者批评指正。

郭维东

2005 年 6 月

目 录

前言

第一章 导论	1
第一节 引言	1
第二节 水力学及其发展概况	2
第三节 液体的基本特征及连续介质的概念	4
第四节 液体的主要物理性质	5
第五节 液体的相变	11
第六节 理想液体	12
第七节 作用于液体上的力	13
思考题	13
习题	14
第二章 水静力学	16
第一节 引言	16
第二节 静水压强及其特性	16
第三节 液体的平衡微分方程式及其积分	19
第四节 重力及两种质量力同时作用下的液体平衡	23
第五节 压强的表示方法及量测原理	28
第六节 平面上的静水总压力	34
第七节 曲面上的静水总压力	39
第八节 浮力及水中物体的稳定性	44
思考题	47
习题	48
第三章 水运动学	53
第一节 引言	53
第二节 液体运动的两种描述方法	54
第三节 液体运动的一些基本概念	56
第四节 恒定一元流的连续性方程	64
第五节 液体质点运动的基本形式	65
第六节 液体运动的连续性微分方程式	72

第七节 恒定平面势流	74
思考题	83
习题	83
第四章 水动力学基础	85
第一节 引言	85
第二节 恒定流元流的能量方程	85
第三节 实际液体总流的能量方程	89
第四节 恒定总流动量方程	102
第五节 理想液体运动微分方程及积分	108
第六节 实际液体运动微分方程	113
思考题	117
习题	118
第五章 液流型态及水头损失	124
第一节 引言	124
第二节 水头损失及其分类	124
第三节 均匀流中的沿程水头损失	126
第四节 实际液流运动的两种型态	129
第五节 圆管层流中的沿程水头损失	132
第六节 紊流中的沿程水头损失	133
第七节 局部水头损失	156
第八节 边界层理论简介	165
思考题	173
习题	174
第六章 量纲分析和液流相似原理	178
第一节 引言	178
第二节 量纲	179
第三节 量纲分析的基本概念及方法	180
第四节 液流相似原理	185
第五节 模型相似准则	188
第六节 相似原理的应用举例	196
思考题	198
习题	198
第七章 管道恒定流	200
第一节 引言	200
第二节 管流的概念及其分类	200
第三节 简单管道的水力计算	201

第四节 复杂管道的水力计算	216
思考题	227
习题	227
第八章 明渠恒定均匀流	230
第一节 引言	230
第二节 明渠流的概念、底坡及其横断面	231
第三节 明渠均匀流特性及其产生条件	235
第四节 明渠均匀流的基本公式	238
第五节 明渠均匀流的水力计算	250
第六节 无压圆管均匀流水力计算	258
第七节 糙率不同的明渠和复式断面明渠的水力计算	262
思考题	266
习题	266
第九章 明渠恒定非均匀流	268
第一节 引言	268
第二节 明渠水流的流态	268
第三节 断面比能与临界水深	271
第四节 明渠中的底坡形式	277
第五节 明渠恒定急变流	279
第六节 明渠恒定渐变流的基本方程	292
第七节 明渠恒定渐变流水面曲线的定性分析	295
第八节 明渠恒定渐变流水面曲线的计算	301
第九节 河渠恒定非均匀流的流量与糙率的计算	313
第十节 河道水面曲线的计算	314
第十一节 弯道水流	318
思考题	323
习题	323
第十章 堰顶溢流、闸孔出流、洞涵过流	326
第一节 引言	326
第二节 堰顶溢流的类型及基本公式	326
第三节 薄壁堰溢流	329
第四节 实用堰溢流	333
第五节 宽顶堰溢流	341
第六节 闸孔出流	346
第七节 隧洞、桥涵的过流	353
思考题	358

习题	359
第十一章 泄水建筑物下游的水流衔接与消能	362
第一节 引言	362
第二节 泄水建筑物下游消能的基本形式	363
第三节 泄水建筑物下游的水流收缩断面的水力要素	364
第四节 底流型衔接与消能	369
第五节 挑流型衔接与消能	382
思考题	389
习题	390
第十二章 管道非恒定流	392
第一节 引言	392
第二节 水击现象	393
第三节 一维非恒定流的基本方程	401
第四节 水击的基本方程	404
第五节 水击计算的解析法	406
第六节 水击计算实例	412
第七节 调压系统中的水面振荡	417
思考题	420
习题	421
第十三章 明渠非恒定流	423
第一节 引言	423
第二节 明渠非恒定流的特性及其波动的分类	423
第三节 明渠非恒定渐变流基本方程	425
第四节 明渠非恒定流的直接差分法	428
第五节 非恒定流的特征线法	434
第六节 明渠非恒定急变流基本方程	442
思考题	445
习题	446
第十四章 渗流	447
第一节 引言	447
第二节 渗流的基本概念	447
第三节 渗流的基本定律——达西定律	450
第四节 恒定无压均匀渗流和非均匀渐变渗流	453
第五节 井的渗流	459
第六节 土坝渗流	465
第七节 渗流运动的基本微分方程	468

第八节 渗流计算的流网法	471
第九节 渗流场的水电比拟法	475
思考题	478
习题	478
第十五章 综合水力计算实例	483
第一节 引言	483
第二节 水闸水力计算实例	483
第三节 拦河溢流坝水力计算实例	490
第四节 河岸溢洪道水力计算实例	498
第五节 有压隧洞水力计算实例	504
第十六章 水力要素的量测	510
第一节 引言	510
第二节 量测的一般知识	510
第三节 水位量测	511
第四节 流速及流向量测	514
第五节 压强量测	517
第六节 流量量测	521
第七节 水力要素新型测试仪器	525
附录一 中英文专业名词对照	535
附录二 水力学名人简介	556
附录三 附表	560
附录四 附图	561
参考文献	565

第一章 导 论

第一节 引 言

水是世界上最丰富、分布最广、使用最多的物质。水对人类及其他生物是繁衍生存的基本条件，是人们生活不可替代的重要资源，没有水，就没有生命。水是生态环境中最活跃、影响最广泛的因素，具有许多其他资源所没有的、独特的性能和重多的使用功能，是工农业生产的重要资源。

在水利工程建设中，水力学占有十分重要的地位，被广泛应用于各个领域，如水利工程建筑、水力发电工程、农田水利工程、机电排灌工程、港口工程、河道整治工程、给排水工程、水资源工程、环境保护工程等。在这些水利工程的勘测、设计、施工和运行管理等各个过程中，都需要解决大量的水力学问题，为其提供合理的依据。

为了明确水力学的任务，以水资源综合利用的水利枢纽工程为例，来了解一下工程实际中常见的水力学问题。

为了满足防洪、灌溉、航运、发电和养殖等各方面的需要，常在河道上筑坝以抬高上游水位，形成水库。同时，修建泄洪、通航、引水及输水建筑物、水电站等，组成水利枢纽。这些建筑物的存在，调整和改变了天然的水流形态，使之按人们预定的调度方案运行。另外，由于水流反抗由建筑物所形成的人工边界条件的约束，水流与边界的相互作用形成了新的水流状态。在规划设计时，就必须分析自然河势与天然水流形态，因势利导，妥善布局每一个建筑物，正确确定水库的各种水位和下泄流量；合理设计引水、输水和泄洪建筑物过水断面的形状、尺寸以及过流能力的大小，以充分利用水资源，最大限度地发挥综合利用的效益。

在河道上筑坝后，坝上游水位将沿河道抬高，导致河道两岸的农田、村庄及城镇有可能被淹没，要确定筑坝后水库的淹没范围，必须解决坝上游河道水面曲线的计算问题。

水库蓄水后，大坝就会受到静水或动水压力的作用。在坝前水压力的作用下，水库中的水还会有部分沿坝基土壤或岩石的缝隙向下游渗透。在校核坝体稳定时，必须计算上、下游水对坝体的水压力及渗透对坝基的作用力。

泄洪时，因溢流坝段上、下游水位差一般较大，水流下泄时往往具有较大的动能，必须采取有效的工程措施，消除多余有害的动能，防止或削弱高速下泄的水流对下游河床的冲刷，以确保坝体的安全。

以上简单介绍了水利枢纽工程中的一些水力学问题。归纳实际工程中常见的水力学问题，大致可分为下述六个方面：一是水流对建筑物的作用力问题；二是建筑物的过流能力问题；三是水能利用和能量损失问题；四是河渠水面曲线计算问题；五是泄水建筑物下游水流的消能问题；六是建筑物的渗流问题。此外，还有一些特殊的水力学问题，如水泵、水轮机和其他水力机械中液体运动规律以及液体和机械之间的相互作用问题；管、渠非恒

定流问题，高速水流中的掺气、气蚀、脉动、振动和冲击波等问题，挟沙水流问题，有害物质对水资源的污染问题等。

水力学的任务，就是研究液体处于平衡和机械运动状态下的各种基本规律，研究和提出运用这些基本规律来解决工程实际中所遇到的各类水力学问题的具体方法。

第二节 水力学及其发展概况

一、水力学研究内容

水力学是一门技术科学，是高等工科院校很多专业特别是水利类专业的一门重要技术基础课。它是力学的一个分支。水力学的任务是研究液体（主要是水）的平衡和机械运动的规律及其实际应用。

研究内容可分为水静力学和水动力学。前者讨论液体的平衡及其与边界的相互作用；后者研究液体的运动、引起运动的力和伴随的能量变化。水流连续性方程、水流能量方程、水流动量方程与纳维—斯托克斯方程，是对液体运动作总流分析与流场分析的控制方程。水流阻力和水头损失是液流与边界相互作用在力和能量方面的反映，也是水动力学的重要课题。有关流动型态（层流和紊流）与边界层方面的知识，构成近代流体力学的重要内容，为水流阻力与水头损失分析计算提供理论基础。量纲分析与相似理论作为理论、实验研究的重要手段，也常纳入水力学的研究内容。

水力学和其他学科结合，又形成一些交叉性的分支学科，如河流动力学、海岸动力学、环境水力学等。

水力学在研究液体平衡和机械运动规律时，要应用物理学及理论力学中有关物体平衡及运动规律的原理，如力系平衡定理、动量定理、动能定理等。因为液体在平衡或运动状态下，也同样遵循这些普遍的原理。所以物理学和理论力学的知识是学习水力学课程必要的基础。

二、水力学的发展简史

水力学的发展同其他自然科学一样，既依赖于生产实践和科学试验，又受社会诸因素的影响，我国在防止水患、兴修水利方面有着悠久的历史。相传 4000 多年前的禹治水，就表明古代先民有过长期、大规模的防洪实践。秦代在公元前 256～前 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具有很高的科学水平和创造性，至今仍发挥效益。陕西兴平出土的西汉时期的计时工具实物——铜壶滴漏，就是利用孔口出流使容器水位发生变化来计算时间的，这说明当时对孔口出流，已有相当的认识。北宋时期，在运河上修建的真州复闸，与 14 世纪末在荷兰出现的同类船闸相比早 300 多年。14 世纪以前，我国的科学技术在世界上是处于领先地位的。但是，近几百年来由于闭关锁国使我国的科学技术事业得不到应有的发展，水力学始终处于概括的定性阶段而未形成严密的科学理论。

世界公认最早的水力学原理是公元前 250 年左右希腊人阿基米德（Archmedes）提出的浮体定律。此后，欧洲各国长期处于封建统治时期，生产力发展非常缓慢，直到 15 世

纪文艺复兴时期，尚未形成系统的理论。

16 世纪以后，资本主义处于上升阶段，在城市建设、航海和机械工业发展需要的推动下，逐步形成了近代的自然科学，水力学也随之得到发展。如意大利的达·芬奇（Vinci, L. da）是文艺复兴时期出类拔萃的美术家、科学家兼工程师，他倡导用实验方法了解水流流态，并通过实验描绘和讨论了许多水力现象，如自由射流、漩涡形成、水跃和连续原理等。1586 年斯蒂芬（S. Stevin）把研究固体平衡的方法应用于静止液体；1612 年伽利略（G. Galileo）建立了物体沉浮的基本原理；1643 年托里拆利（E. Torricelli）提出了液体孔口出流的关系式；1650 年帕斯卡（Pascal, B.）建立了平衡液体中压强传递规律——帕斯卡定理，从而使水静力学理论得到进一步的发展。1686 年牛顿（Newton, I.）提出了液体内部摩擦的假设和粘滞性的概念，建立了牛顿内摩擦定律。

18~19 世纪，水力学与古典流体力学（古典水动力学）沿着两条途径建立了液体运动的系统理论，形成两门独立的学科。古典流体力学的奠基人是瑞士数学家伯努利（Bernoulli, D.）和他的朋友欧拉（Euler, L.）。1738 年伯努利提出了理想液体运动的能量方程，即伯努利方程；1755 年欧拉首次导出理想液体运动微分方程——欧拉运动微分方程。到 19 世纪中叶，大体建成了理想液体运动的系统理论，习惯上称为“水动力学”或古典流体力学，使它发展成为力学的一个分支。古典流体力学这一理论体系在数学分析上系统、严谨，但忽略了液体粘性，计算结果与实际不尽相符，而且由于求解上的数学困难，当时难以解决各种实际问题。为了适应工程技术迅速发展的需要，一些工程师和实际工作者，采用实验和观测手段，得出经验公式，或在理论公式中引入经验系数以解决实际工程问题。如 1732 年毕托（Pitot, H.）发明了量测流速的毕托管；1769 年谢才（Chezy, A. de）建立了明渠均匀流动的谢才公式；1856 年达西（Darcy, H.）提出了线性渗流的达西定律，等等。这些成果被总结为以实际液体为对象的重经验重实用的水力学。古典流体力学和水力学都是关于液体运动的力学，但前者忽略粘性、重数学、重理论，后者考虑粘性、偏经验、偏实用。

临近 19 世纪中叶，1821~1845 年，纳维（Navier, C. L. M. H.）和斯托克斯（Stokes, G. G.）等人成功地修正了理想液体运动方程，添加粘性项使之成为适用于实际流体（粘性流体）运动的纳维—斯托克斯方程。19 世纪末，雷诺（Reynolds, O.）于 1883 年发表了关于层流和紊流两种流态的系列试验结果，提出了动力相似律，后又于 1895 年建立了紊流时均化的运动方程——雷诺方程。这两方面成果对促进前述两种研究途径的结合有着重要的作用，可以说是建立近代粘性流动理论的两大先驱性工作。

生产的需要永远是科学发展的强大动力。19 世纪 20 世纪之交，由于现代工业的迅速发展，特别是航空工业的崛起，提出了许多复杂问题，而古典流体力学与水力学都不能很好地说明和解决，这在客观上要求建立理论与实验密切结合的，以实际流体（包括液体和气体）运动为对象的理论。1904 年普朗特（Prandtl, L.）创立的边界层理论，揭示了水、空气等低粘性流体的实际流动与理想流动之间的实质性联系，使流体力学与水力学两种研究途径得到了统一。后经许多学者的努力，边界层理论和紊流理论都有很大的发展，逐渐形成了理论分析和试验相结合的现代流体力学和现代水力学。

迅速发展的现代实验技术如激光、超声波、同位素等和建立在相似理论及量纲分析基

基础上的实验理论，大大提高了探索水流运动规律和对实验资料进行理论分析的水平。尤其是近半个世纪以来，电子计算机的广泛应用使许多比较复杂的水力学问题通过理论分析、试验研究和数值计算三者得到解决。可以预见，理论分析、试验研究和数值计算三者相辅相成的研究方法将赋予水力学以新的生机，使水力学在各个工程技术领域中发挥更大的作用。

三、水力学研究方法

研究和解决水力学问题有三种基本方法，即科学试验、理论分析和数值计算。三种方法取长补短，彼此影响，从而促使水力学得到不断地发展。

1. 科学试验

水力学理论的发展，在很大程度上取决于试验观测的水平。水力学中试验观测的方法主要有三个方面：一是原型观测，对工程实践中的天然水流直接进行观测；二是系统试验，在试验室内造成某种边界状况下的液流运动，进行系统的试验观测，从中找出规律；三是模型试验，以水力相似理论为指导，模拟实际工程的条件，预演或重演水流现象来进行研究。

2. 理论分析

掌握了相当数量的试验资料，就可以根据机械运动的普遍原理（质量守恒、能量守恒、动量定理等），运用数理分析的方法来建立某一水流运动现象的系统理论，并在指导工程实践中加以检验，进一步补充和发展。由于液体运动的复杂性，解决实际工程问题时，单纯依靠数理分析往往很难得到所要求的具体解答，因此必须采取数理分析和试验观测相结合的方法。在水力学中，有时先推导理论公式再用试验系数加以修正；有时要应用半经验半理论公式；有时是先进行定性分析，然后直接采用经验公式进行计算。

3. 数值计算

对于某些复杂的流动过程，完全用理论分析来解决还存在许多困难。近年来，随着计算机和现代计算技术的发展，数值计算已逐渐成为研究水力学问题的一个重要方法。数值计算的特点是适应性强、应用面广。首先流动问题的控制方程一般是非线性的，自变量多，计算域的几何形状任意，边界条件复杂，对这些无法求得解析解的问题，用数值解则能很好地满足工程需要；其次可利用计算机进行各种数值模拟，例如可选择不同的流动参数进行试验，可进行物理方程中各项的有效性和敏感性试验，以便进行各种近似处理等。它不受物理模型相似律的限制，比较省钱省时，有较大的灵活性。但数值模型必须建立在物理概念正确和力学规律明确的基础上，而且一定要接受试验和原型观测资料的检验。

科学试验、理论分析和数值计算三种方法相互联系、促进，又不能相互代替，已成为目前解决复杂水流问题的主要手段之一。

第三节 液体的基本特征及连续介质的概念

一、液体的基本特征

液体的性状介于气体与固体之间。一方面液体像固体一样能保持一定体积，很不容易被压缩；而另一方面液体又与气体一样，没有固体那样保持自身形状的能力，具有易流动

性。这就是液体与气体区别于固体的基本特征。通常，由于液体与气体都具有易流动性的特点，又将两者统称为流体。

从力学角度看，固体可以承受拉应力、压应力及切应力，只要拉应力及切应力在一定限度内，固体就能够形成平衡。但流体则不能承受拉应力，只能抵抗压应力，而且在微小切应力的作用下，很易发生变形或流动。说明流体不能在切应力作用下，维持平衡或静止，这一点与固体有着根本的区别。

液体与气体虽同属流体，但也不完全相同。液体很不容易被压缩，当容器的体积大于它的体积的时候，它不能充满容器，而会形成一个自由表面。气体极易被压缩，没有固定的体积，能够充满任何容器，不存在自由表面。

在本书的讨论中，一般都把液体作为不可压缩流体来看，只有在外力特别大的特殊情况下才计及液体的压缩性。可以看到，在不计其压缩性时，新建立的流体平衡及运动关系式，既适用于气体，也适用于液体。计及压缩性后，气体及液体就分别处理了。流体力学、气体力学、水力学之所以相通，其道理也就在这里。

二、连续介质的概念

液体和任何物质一样，都是由分子所组成，分子与分子之间是不连续而有空隙的。

水力学在研究液体运动时，只研究由于外力作用下的机械运动，不研究液体内部的分子运动，也就是说只研究液体的宏观运动而不研究其微观运动。这是因为分子间孔隙的距离与生产上需要研究的液流尺度相比，是极为微小的。

根据现代物理研究指出，在常温下，每立方厘米的水中约含有 3×10^{22} 个水分子，一个水分子直径为 3×10^{-8} cm，相邻分子间距离约为 $3 \times 10^{-8} \sim 4 \times 10^{-8}$ cm，可见分子间距离是相当微小而在很小的体积中包含有难以计数的分子。

基于上述原因，在水力学中，把液体当作连续介质看待，即假设液体是一种连续充满其所占据空间毫无空隙的连续体。水力学所研究的液体运动是连续介质的连续流动。

连续介质的概念是由瑞士学者欧拉（Euler）在 1753 年首先建议的，它作为一种假定在流体力学的发展上起了巨大作用。如果把液体视为连续介质，则液流中的一切物理量（如速度、压强、密度等）都可以视为空间坐标和时间的连续函数，这样，在研究液体运动规律时，就可以利用连续函数的分析方法，根据长期的生产和科学实验证明：利用连续介质假定所得出的有关液体运动规律的基本理论与客观实际是十分符合的。只有在某些特殊水力学问题（例如空化水流、掺气水流等）中，才考虑水的不连续性。

第四节 液体的主要物理性质

物体运动状态的改变都是受外力作用的结果。分析研究液体运动的规律，也要从分析液体的受力情况着手，而任何一种力的作用，都要通过液体自身的性质来表现，所以在研究液体运动规律之前，须对液体的物理特性有所了解。和机械运动有关的液体的主要物理性质如下。

一、惯性、质量与密度

液体与任何物体一样，具有惯性，惯性就是物体保持原有运动状态的特性。惯性的

小由质量来度量，质量愈大的物体，惯性也愈大。当液体受外力作用使运动状态发生改变时，由于液体的惯性引起对外界抵抗的反作用力称为惯性力。设物体的质量为 M ，加速度为 a ，则惯性力为

$$F = -Ma \tag{1-1}$$

式中，负号表示惯性力的方向与物体的加速度方向相反。

根据国际单位制的规定，质量的单位用 kg （即千克），力的单位用 N （牛顿）。

密度是指单位体积液体所含有的质量。液体的密度常以符号 ρ 表示，若一均质液体质量为 M ，体积为 V ，其密度为

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{1-2}$$

若已知某均质液体的密度与体积，则该液体的质量为

$$M = \rho V \tag{1-3}$$

国际单位制中，密度的单位为 kg/m^3 。液体的密度随温度和压强而变化，但这种变化很小，所以水力学中把水的密度视为常数，采用在一个标准大气压即 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为 4°C 时的蒸馏水密度来计算，此时 ρ 为 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

在一个标准大气压下，不同温度时水的密度见表 1-1。

表 1-1 1 个标准大气压下不同温度时水的密度表

水温 T ($^\circ\text{C}$)	密度 ρ (kg/m^3)	重度 γ (kN/m^3)	粘度 μ ($10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$)	运动粘度 ν ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	体积模量 K (10^9 Pa)	表面张力系数 σ (N/m)
0	999.9	9.805	1.781	1.785	2.02	0.0756
5	1000.0	9.807	1.518	1.519	2.06	0.0749
10	999.7	9.804	1.307	1.306	2.10	0.0742
15	999.1	9.798	1.139	1.139	2.15	0.0735
20	998.2	9.789	1.002	1.003	2.18	0.0728
25	997.0	9.777	0.890	0.893	2.22	0.0720
30	995.7	9.764	0.798	0.800	2.25	0.0712
40	992.2	9.730	0.653	0.658	2.28	0.0696
50	988.0	9.689	0.547	0.553	2.29	0.0679
60	983.2	9.642	0.466	0.474	2.28	0.0662
70	977.8	9.589	0.404	0.413	2.25	0.0644
80	971.8	9.530	0.354	0.364	2.20	0.0626
90	965.3	9.466	0.315	0.326	2.14	0.0608
100	958.4	9.399	0.282	0.294	2.07	0.0589

二、重力与重度

万有引力特性是指任何物体之间相互具有吸引力的性质，其吸引力称为万有引力。地球对物体的引力称为重力，或称为重量。在研究液体所受的作用力时，重力常是一个很重