



全国高等农林院校“十一五”规划教材

流体力学

LIUTI LIXUE

郭维东 主编



中国力学学会 中国力学学会 中国力学学会

流体力学

中国力学学会 中国力学学会

中国力学学会 中国力学学会

全国高等农林院校“十一五”规划教材

流 体 力 学

郭维东 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

流体力学/郭维东主编. —北京: 中国农业出版社,
2009. 2

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-13328-0

I. 流… II. 郭… III. 流体力学-高等学校-教材
IV. 035

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 210207 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 彭明喜

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 20.75

字数: 490 千字

定价: 29.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

LIU TI LI XUE 内容简介

本书作为高等院校土木工程、机械设计制造及其自动化、农业机械化及其自动化、环境工程的教材，全书共分十章，包括：绪论、流体静力学、流体运动学、流体动力学基础、流动形态及水头损失、量纲分析和流动相似原理、管道恒定流、明渠均匀流、渗流、气体动力学基础。各章后附有思考题、习题及答案。

本书也可以作为交通运输、农业建筑环境与能源工程、农业工程、建筑环境与设备工程专业及相关专业本科学生和技术人员参考用书。

主 编 郭维东（沈阳农业大学）

副主编 裴国霞（内蒙古农业大学）

时晓燕（中国农业大学）

陈振宇（山西农业大学）

参 编 迟 媛（东北农业大学）

杨吉民（青岛农业大学）

杨丽萍（沈阳农业大学）

赵春花（甘肃农业大学）

梁 岳（沈阳农业大学）

主 审 槐文信（武汉大学）

□□□□□□□□□□□□□□

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, 为土木、机械、环工类专业提供优秀教材。

(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、习题等注意结合工程实际。

(3) 适应面较广, 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、举一反三的能力为基本出发点。

全书共分十章，其中绪论、流体静力学、流体运动学、流体动力学基础、流动形态及水头损失、量纲分析和流动相似原理、管道恒定流、气体动力学基础是各专业的共同必修部分。而明渠均匀流和渗流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削。

本教材由郭维东任主编；裴国霞、时晓燕、陈振宇任副主编；参编人员及编写分工如下：第一章郭维东，第二章迟媛，第三章裴国霞，第四章陈振宇，第五章赵春花，第六章裴国霞，第七章杨吉民，第八章郭维东、梁岳，第九章杨丽萍，第十章时晓燕。

本教材承蒙武汉大学槐文信教授审阅,提出了许多宝贵意见,沈阳农业大学于冰、陈娟、李影卓、郭文卓、陈海山、魏爽、张久昌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。

2008 年 05 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
第一节 流体的定义及物理属性	1
一、流体定义	1
二、流体的物理属性	1
第二节 流体力学及其发展概况	2
一、流体力学的研究内容	2
二、流体力学的发展概况	3
第三节 流体质点、微团、连续介质、流场概念	5
一、流体质点	5
二、连续介质	6
三、流体微团	6
四、流场	6
第四节 流体的主要物理性质	6
一、流体的密度、比体积和相对密度	6
二、流体的压缩性和膨胀性	9
三、流体的黏滞性、牛顿内摩擦定律	13
四、液体的表面张力与汽化压强	25
第五节 作用于流体上的力	28
一、表面力	28
二、质量力	28
第六节 流体力学的研究方法	28
一、科学试验法	29
二、理论分析法	29
三、数值计算法	29
思考题	29
习题及答案	29

第2章 流体静力学	31
第一节 引言	31
第二节 流体静压强及其特性	32
一、流体静压强的概念	32
二、流体静压强的特性	32
第三节 流体平衡微分方程	34
一、流体平衡微分方程	34
二、压强微分方程和质量力的势函数	35
第四节 重力场中的平衡流体	37
一、液体静力学基本方程的两种表达式	37
二、气体压强的分布	39
第五节 压强的表示方法和量测原理	40
一、压强的表示方法	40
二、静压强的计量单位	41
三、流体静压强的测量	41
*第六节 液体的相对平衡	45
一、等加速水平直线运动容器中液体的相对平衡	45
二、等角速度旋转容器中液体的相对平衡	46
第七节 液体作用在平面上的总压力	49
一、解析法	49
二、图解法	51
第八节 液体作用在曲面上的总压力	53
一、作用在二维曲面(柱面)上的总压力	53
二、压力体	54
三、作用于一般曲面(三维曲面)上的作用力	55
*四、液体作用于潜体和浮体上的总压力	55
思考题	57
习题及答案	58
第3章 流体运动学	62
第一节 引言	62
第二节 描述流体运动的两种方法	62
一、拉格朗日法	62
二、欧拉法	63
第三节 流体运动的基本概念	65
一、恒定流与非恒定流	65

二、迹线、流线及其微分方程	66
三、流管、元流、总流	68
四、过流断面、流量、净通量	69
五、断面平均流速、动能修正系数、动量修正系数	69
六、湿周、水力半径、水力直径	71
第四节 流体运动的类型	72
一、一维流、二维流、三维流	72
二、均匀流和非均匀流	73
三、渐变流和急变流	75
*第五节 流体微团运动的基本形式	75
一、平移运动	76
二、线变形运动	76
三、边线偏转	77
*第六节 有旋流与无旋流	78
一、有旋流与无旋流的判别	78
二、无旋流与速度势	79
三、有旋流	81
第七节 流体的连续性方程	83
一、控制体的概念	83
二、流体运动的连续性微分方程	84
三、恒定总流的连续性方程	85
思考题	87
习题及答案	87
第4章 流体动力学基础	89
第一节 引言	89
第二节 恒定流体元流的能量方程	89
一、理想流体元流的能量方程	89
二、理想流体元流能量方程的意义	91
三、相对运动的能量方程	92
四、实际流体恒定元流的能量方程	94
五、实际流体恒定元流能量方程的意义	94
第三节 恒定流体总流能量方程	94
一、实际液体总流的能量方程	95
二、实际液体总流能量方程的意义	96
三、能量方程的应用条件及推广	98
四、实际气体总流的能量方程	101

第四节 能量方程应用举例	103
一、毕托管测流速	103
二、文丘里流量计	104
三、风机压力及热水器抽吸热水计算	105
四、孔口恒定出流	106
五、管嘴出流	109
* 六、射流泵的真空度计算	111
七、射流的高度及射程的计算	112
第五节 恒定总流动量方程	113
一、恒定总流的动量方程	113
二、动量方程应用	115
* 第六节 恒定总流动量矩方程	119
* 第七节 流体的运动微分方程	122
一、理想流体的运动微分方程	122
二、实际流体质点的应力状态	123
三、实际流体应力与变形的关系	124
四、实际流体运动微分方程	125
思考题	128
习题及答案	128
第5章 液流形态及水头损失	133
第一节 引言	133
第二节 水头损失及其分类	133
一、水头损失的物理概念及其分类	133
二、液流边界几何条件对水头损失的影响	134
第三节 均匀流中的沿程水头损失	135
一、均匀流切应力公式	135
二、均匀流切应力分布	136
三、沿程水头损失计算公式	137
第四节 实际液流运动的两种形态	138
一、雷诺试验	138
二、层流和紊流的判别	139
三、雷诺数的物理意义	140
第五节 圆管层流中的沿程水头损失	141
第六节 紊流中的沿程水头损失	142
一、紊流的形成过程	142
二、紊流及其水力特征	144

三、半经验半理论公式计算紊流运动的沿程水头损失	153
四、谢才公式及其谢才系数	162
第七节 局部水头损失	167
一、边界层的概念及其分离现象	167
二、局部水头损失的计算	170
*第八节 边界层理论简介	175
一、边界层的几种厚度定义	176
二、边界层微分方程	177
三、边界层动量方程	178
四、平板层流边界层	180
五、平板紊流边界层	181
六、绕流阻力的计算	183
思考题	183
习题及答案	184
第6章 量纲分析与流动相似原理	186
第一节 引言	186
第二节 量纲的概念	186
一、量纲和单位	186
二、基本量纲和诱导量纲	187
三、无量纲数	187
第三节 量纲和谐原理及量纲分析法	188
一、量纲和谐原理	188
二、量纲分析法	188
第四节 流动相似原理	194
一、几何相似	194
二、运动相似	195
三、动力相似	195
四、牛顿一般相似原理	196
第五节 模型相似准则	196
一、重力相似准则	197
二、黏滞力相似准则	198
三、紊流阻力相似准则	199
四、压力相似准则	201
第六节 相似原理的应用举例	201
一、雷诺准则的应用	203
二、弗劳德准则的应用	205

思考题	206
习题及答案	206
第7章 管道恒定流动	209
第一节 引言	209
第二节 管流的概念及管道的分类	209
一、管流的概念	209
二、管道的分类	210
第三节 简单管道的水力计算	210
一、简单管道的水力计算	210
二、管道直径的选择	214
三、管道中压强沿程变化及水头线的绘制	215
四、虹吸管及离心抽水泵系统的水力计算	216
第四节 复杂管道的水力计算	221
一、串联管道的水力计算	222
二、并联管道的水力计算	223
* 三、沿程均匀泄流的水力计算	224
* 四、枝状管网的水力计算	227
* 五、环状管网的水力计算	231
思考题	238
习题及答案	238
第8章 明渠恒定均匀流	242
第一节 引言	242
第二节 明渠流的概念、底坡及其横断面	243
一、明渠流	243
二、明渠的底坡	244
三、明渠的横断面	245
四、明渠渠道的分类	245
第三节 明渠均匀流的特性及其产生条件	247
一、明渠均匀流特性	247
二、明渠均匀流的形成条件	248
第四节 明渠均匀流的基本公式	249
一、过流断面的几何要素	249
二、明渠均匀流的计算基本公式	251
三、水力最佳断面	256
四、实用经济断面	258

五、渠道中的允许流速	260
第五节 明渠均匀流的水力计算	262
一、校核已有明渠的过水能力	262
二、设计新渠道的水力计算	263
* 第六节 糙率不同的明渠和复式断面明渠的水力计算	269
一、糙率不同的明渠的水力计算	269
二、复式断面明渠的水力计算	271
思考题	273
习题及答案	274
第9章 渗流	275
第一节 引言	275
第二节 渗流的基本概念	275
一、水在土壤中存在的形式	276
二、土壤的渗流特性及分类	276
三、渗流模型	277
第三节 渗流的基本定律	278
一、达西定律	278
二、达西定律的适用范围	279
三、渗透系数	280
第四节 地下明渠均匀渗流和渐变渗流	281
一、均匀渗流	281
二、渐变渗流的基本公式	282
三、地下河槽渐变渗流的浸润曲线	282
第五节 井的渗流	287
一、普通井	287
二、承压完全井	290
三、井群	291
* 第六节 渗流的基本微分方程	293
一、渗流的连续性方程和运动方程	293
二、渗流的流速势和拉普拉斯方程	294
思考题	295
习题及答案	296
第10章 气体动力学基础	299
第一节 引言	299
第二节 声速与马赫数	299

一、声速	299
二、马赫数	301
第三节 可压缩流体一元恒定流动的基本方程	302
一、连续方程	302
二、运动方程	303
三、能量方程	303
第四节 理想气体的一元恒定等熵流动	305
一、滞止状态	306
二、临界状态	307
三、极限状态	307
四、气流参数与通道面积的关系	308
第五节 收缩喷管与拉瓦尔喷管的计算	310
一、收缩喷管	310
二、拉瓦尔喷管	312
思考题	312
习题及答案	313
主要参考文献	314

第 1 章

绪 论

[本章导读]

本章在先说明流体的概念及其物理属性的基础上,对流体力学研究内容和发展进行概述,然后介绍流体概念模型、物理性质及作用力。学习中应重点理解和掌握的主要概念有:流体的质点、理想流体、流体连续介质模型、黏滞性与黏度、牛顿流体、质量力等。还应掌握流体区别于固体的重要特征、重力等质量力的表示。应熟练掌握牛顿内摩擦定律及其应用。

第一节 流体的定义及物理属性

一、流体定义

我们通常将易流动的物质称为流体,这是用以区别于固体而言的。

流体是液体和气体的统称。常见的液体有水、酒精、石油等,常见的气体有空气、煤气、氧气等。

二、流体的物理属性

流体与固体是物质的不同表现形式,它们都有下列三个基本物理属性:

- (1) 由大量分子组成;
- (2) 分子不断作随机热运动;
- (3) 分子与分子之间存在着分子力的作用。

不过这三个物质基本属性表现在气体、液体与固体方面却有量和质的差别;同样体积内的分子数目,气体少于液体,液体又少于固体;同样分子距上的分子力,气体小于液体,液体小于固体。于是气体的分子运动有较大的自由程和随机性,液体则较小,而固体分子却只能围绕自身位置做微小的振动。

这些微观的差异导致宏观表象是:固体有一定的体积和一定的形状。液体有一定的体积而无一定的形状;液体可随容器而改变其形状,并在容器中形成自由表面,与同容器中的其他流体(气体或互不相溶解的其他液体)明显的区分开;液体在一定的压强作用下,几乎不改变其原有体积。气体既无一定的体积也无一定的形状;气体在容器中总是充满容纳它的整个容器空间,而

没有自由表面；一定质量的气体所占有的体积随着它所受的压强和温度而变化。

这些微观结构和宏观表象使得流体在力学性能上表现出下述两个特点：

① 流体不能承受拉力，因而流体内部永远不存在抵抗拉伸变形的拉应力。

② 流体在宏观平衡状态下不能承受剪切力，任何微小的剪切力都会导致流体连续变形、平衡破坏、产生流动，直到切应力完全消失，变形才会终止。而当切应力消失后，流体也不会恢复到受力前的形状。

固体显然没有这两个特点。它能承受拉力、压力和剪切力，内部相应产生拉应力、压应力和切应力以抵抗变形，外力或应力不大到一定数值，固体形状不会被破坏。

流体的这两个特点简称为流体的易流动性，易流动性既是流体命名的由来，也是流体区别于固体的根本标志。

第二节 流体力学及其发展概况

一、流体力学的研究内容

流体力学是研究流体平衡和运动规律及其应用的科学，有学者将流体力学划分为理论流体力学和工程流体力学，它们的主要区别在于前者偏重数理分析，以严密的数学推论为主，从理论上处理问题，是连续介质力学的一个组成部分，属于基础科学范畴；后者着眼于工程应用，以试验研究为主，是工程力学的一个组成部分，属于应用科学范畴。本书偏重于工程流体力学。

在工程类专业教学计划中，工程流体力学是一门技术基础课，它的任务是为学生学习后续课程及从事专业工作奠定初步的流体力学理论基础。

从内容上来说，学科之间的分工越来越细，但从方法上来说，随着计算机的推广和应用，原来存在于理论流体力学和工程流体力学之间的差异已在逐步消失。现在是综合运用一切理论、实验和计算手段来促进流体力学发展及应用的时期。

流体力学中研究得最多的流体是水和空气。它的主要理论基础是牛顿运动定律、质量守恒定律和动量定理，常常还要用到热力学知识，有时还用到宏观电动力学的基本定律、本构方程和物理学、化学的基础知识。

1738年伯努利(D. Bernoulli)首先采用了水动力学这个名词，1880年前后出现了空气动力学这个名词，1935年以后，人们概括了这两方面的知识，建立了统一的体系，统称为流体力学。

大气和水是最常见的两种流体，大气包围着整个地球，地球表面的70%是水面。大气运动、海水运动乃至地球深处熔浆的流动都是流体力学的重要研究内容。

随着流体力学的发展，针对于不同研究对象产生了许多流体力学的分支。

20世纪初，世界上第一架飞机出现以后，飞机和其他各种飞行器得到迅速发展。20世纪50年代开始的航天飞行，使人类的活动范围扩展到其他星球和银河系。航空航天事业的蓬勃发展是同流体力学的分支学科——空气动力学和气体动力学的发展紧密相连的。这些学科是流体力学中最活跃、最富有成果的领域。

空气动力学是力学的一个分支，它主要研究物体在同气体作相对运动情况下的受力特性、气体流动规律和伴随发生的物理化学变化以及传热传质规律等。例如，航空要解决的首要问题是如