



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 应用流体力学

*Applied Fluid Mechanics*

毛根海 主编

毛根海 邵卫云 张燕 编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 应用流体力学

毛根海 主编

毛根海 邵卫云 张燕 编



高等教育出版社  
Higher Education Press

### 图书在版编目(CIP)数据

应用流体力学/毛根海主编;毛根海,邵卫云,张燕编. —北京:高等教育出版社,2006. 11  
ISBN 7-04-020068-6

I. 应... II. ①毛... ②毛... ③邵... ④张...  
III. 应用力学:流体力学 IV. O368

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第119030号

策划编辑 姜 凤 责任编辑 葛 心 封面设计 张 楠 责任绘图 尹 莉  
版式设计 马静如 责任校对 殷 然 责任印制 毛斯璐

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
		网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×960 1/16	版 次	2006年11月第1版
印 张	20.5	印 次	2006年11月第1次印刷
字 数	380 000	定 价	31.70元(含光盘)

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20068-00

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581896/58581879

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)58581118

## 内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据教育部力学教学指导委员会非力学类专业力学基础课程教学指导分委员会制订的《流体力学课程教学基本要求》,在浙江大学工科基础课程力学教学基地长期建设经验的基础上编写而成的。以本书为基础的工程流体力学课程已获“2005年国家级教学成果二等奖”,并被评为了2004年度国家精品课程。

本书除阐述必要的基础理论外,着重于流体力学在土建、水利等工程中的应用。本书共12章,内容包括流体静力学、流体运动基本原理、恒定总流基本方程、量纲分析和相似理论、流体阻力及能量损失、孔口出流及管嘴出流、有压管道流动、明渠流动、堰流、渗流、可压缩气体一元流动等。书中有丰富的例题,每章末有理论与应用结合的思考题和习题。

本书的主要特点是:深入浅出,通俗易懂;适当压缩了部分传统、经典内容,尽量反映一些学科的新内容;以数值方法取代传统的图解法,反映了计算机技术的应用;采用“推论”形式,以开拓读者思维。

书后附有光盘1张,包括各章小结、电子资料、教学辅助动画、智能型求解器、科技名词摘录、参考论文等。另外,本书配有网络课程和电子教案,以充分发挥多媒体先进的表现手段,营造一种良好的学习环境,既可供工科学生在网络环境下自主、完整、系统地学习流体力学课程,也可作为从事土建、水利等领域工程技术人员知识更新的自学环境。

本书可作为高等院校土木工程、给水排水、水利水电等专业的教材或教学参考书及全国注册土木工程师考试的参考书,也可供有关专业技术人员参考。

# 前 言

本教材是在浙江大学工科基础课程力学教学基地长期建设经验积累的基础上编写而成的。以本书为基础的工程流体力学课程建设成果已获 2005 年国家级教学成果二等奖,并被评为 2005 年度国家级精品课程。

本教材的体系结构承传了我的本校导师 郝中堂、周均长编写的《应用流体力学》教材,浙江大学出版社 1991 年出版(1994 年台湾科技图书股份有限公司以繁体字再版)。按照“大土木、宽基础”的教育改革发展所提出的新的课程基本要求,2001 年毛根海、邵卫云、张燕对该教材进行了重编,并在教学中试用了 4 年。本着与时俱进、精益求精的原则,现再次重编,并作了以下较大的改进。

1. 流体力学作为大土木类专业的基础课程,按照 2004 年最新修订的高等学校土建类专业的《流体力学课程教学基本要求》,本教材在内容上突出了基本概念、基本理论、基本计算方法及其工程应用。

2. 配以光盘,将电子资料、教辅动画、求解器等丰富多彩的教学内容、形象生动的多媒体资源及卓有成效的工程应用软件等直接提供给读者,使教学基地的优秀课程建设成果沥尽其效。

3. 尽量反映学科新内容。在不失基本理论的系统性、严密性的基础上,适当压缩了部分传统、经典的内容(另收录于光盘中),如适当压缩了湍流沿程损失分区理论的叙述;精简了损失因数  $\lambda$  经验公式的数量,而以 1975 年发表的巴尔公式为首选推荐公式;删除了流区判别的传统公式,并代之以由穆迪图拟合得出的实用判别式等。

4. 注重力学数学建模的系统性与完整性,并在计算方法上以数值方法取代传统的图解法,反映了计算机技术的应用。本教材构建了一系列迭代求解的数学模型,较系统、全面地解决了包含管流、明渠流及可压缩气体管流等隐式高阶、超越方程(方程组)的计算求解难题,并将有关参考文献全部收录于光盘中。

5. 注重开拓读者思维。本教材以知识点为叙述主线,在知识点之间的关联上及知识点的拓展外延上,采用以“推论”形式予以引伸,以引导、开拓读者的异域思维。

6. 注重工程规范,书中不能详述的内容,摘其要点录于光盘中。

7. 对存有异议的经典资料进行了严格的考证,如水银的表面张力系数  $\sigma$ 、斯特劳哈尔数  $St$  的定义、渗流影响半径  $R$  的计算公式等;对教材中引用的参数

(如土壤渗透系数等)做到严格取值,使其符合工程实际。

8. 所有的因数、量纲、单位、符号及其公式的书写表达力求符合出版规范。

本教材的重编工作得到了张土乔教授、孙志林教授和包志仁、胡云进、程伟平、章军军、张仪萍、杨玉龙等老师的协助;胡卫红女士及我的研究生为书稿的整理、光盘资料的制作及绘图等做了许多工作。全书由清华大学李玉柱教授审阅,为提高书稿质量提出了许多宝贵意见和建议。在此一并表示由衷的感谢。

精品课程需要打造精品教材,尽管主观上为此做出极大努力,但鉴于水平所限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

毛根海

2006年6月

# 主要符号表

## 1. 拉丁字母

$A$  面积

$A_c$  收缩断面面积

$dA$  微元面积

$a$  加速度、矩形长度、墩形系数

$B$  渠道宽度、过流断面上液面宽度

$b$  宽度、矩形宽度

$C$  常数、谢才系数

$C_D$  绕流阻力因数

$Ca$  柯西数

$c$  水击波的传播速度、声速、积分常数、毕托管因数

$c_0$  滞止声速

$D$  直径

$d$  直径

$E$  单位机械能

$E_s$  断面单位能量

$Eu$  欧拉数

$e$  偏心距

$F$  力

$F_z$  浮力

$F_D$  绕流阻力

$F_f$  摩擦力

$Fr$  弗劳德数

$f$  质量力、振动频率、函数

$f_x, f_y, f_z$  质量力坐标方向分量

$f(x, y, z)$  坐标的函数

$g$  重力加速度

$H$  高度、液柱高度

$h$  高度、液柱高度、水深

$h_f$  沿程水头损失

$h_j$  局部阻力水头损失

$h_w$  总流水头损失

$h_v$  真空高度

$I$  惯性矩

$i$  底坡

$i, j, k$  单位矢量的  $x, y, z$  坐标分量

$J$  水力坡度

$K$  弹性模量、体积模量、流量模数、动量

$k$  渗透系数

$L$  混合长度

$L_0$  廊道影响距离

$l$  长度

$M$  作用力矩

$Ma$  马赫数

$\Delta M$  单位时间内流过微面积的流体质量

$m$  质量、边坡因数、质量因数

$N$  湍流度、功率

$N_p$  轴功率

$n$  糙率

$P$  堰高

$p$  压强

$p_0$  滞止压强

$p_a$  大气压强

$p_{abs}$  绝对压强

$p_v$  真空度、真空值

$p_{xx}, p_{yy}, p_{zz}$  法向压强力

$q_v$  体积流量

$q_m$  质量流量

$q_l$  单宽流量

$R$  水力半径、井的影响半径、气体常数

$Re$  雷诺数

$Re_c$  下临界雷诺数

$Re'_c$  上临界雷诺数



$r$ 半径、曲率半径	$\beta$ 角度、动量修正因数
$r, \theta, z$ 柱坐标系坐标	$\gamma$ 绝热指数
$S$ 距离、井的水位降深、比阻	$\delta$ 边界层厚度、粘性底层厚度、管壁厚度、堰顶厚度
$St$ 斯特劳哈尔数	$\Delta$ 绝对粗糙度
$T$ 热力学温度、时间、水击波的周期	$\bar{\Delta}$ 相对粗糙度
$T_0$ 滞止温度	$\varepsilon$ 侧收缩因数、应变率
$T_c$ 水击波的相长	$\eta$ 效率
$t$ 摄氏温度、时间、承压层厚度	$\theta$ 角度
$U$ 速度	$\lambda$ 沿程损失因数
$U_\infty$ 无穷远流速度	$\mu$ 动力粘度、流量因数
$U_{cr}$ 临界速度	$\mu_n$ 管嘴流量因数
$u$ 点速度	$\nu$ 运动粘度
$\bar{u}$ 时间平均速度	$\zeta$ 局部阻力因数
$u'$ 脉动速度	$\pi$ 圆周率
$u'_x, u'_y$ 脉动速度的坐标	$\rho$ 密度、定倾半径
$u_x, u_y, u_z$ 速度的坐标	$\sigma$ 表面张力、淹没因数、应力
$u, v, w$ 相对运动速度坐标	$\tau$ 切应力
$V$ 体积	$\tau_i$ 湍流附加切应力
$V_p$ 压力体体积	$\varphi$ 速度势函数、角度、流速因数
$v$ 流速、断面平均流速	$\psi$ 流函数、垂向收缩因数
$v_s$ 摩阻流速	$\chi$ 湿周
$W$ 压力体内液体垂向重力	$\Omega$ 压强分布图面积
$x, y, z$ 笛卡儿坐标	$\omega$ 角速度、角转速
$x_D, y_D$ 压力中心的坐标	$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 角速度的坐标、角转速的坐标
$y_c$ 形心的坐标	
$z$ 复数变量、位置水头、含水层厚度	
<b>2. 希腊字母</b>	<b>3. 其他</b>
$\alpha$ 角度、动量修正因数、充满度	$\nabla$ 哈密顿算子
	$\nabla^2$ 拉普拉斯算子

# 目 录

第一章 绪论 .....	1	习题 3 .....	85
§ 1.1 概述 .....	1	第四章 恒定总流基本方程 .....	87
§ 1.2 流体及其模型化 .....	5	§ 4.1 总流分析法 .....	87
§ 1.3 流体的主要物理性质 .....	6	§ 4.2 恒定不可压缩总流的连续性 方程 .....	90
§ 1.4 流体的分类 .....	14	§ 4.3 恒定总流伯努利方程 .....	91
§ 1.5 作用于流体上的力 .....	15	§ 4.4 恒定总流动量方程 .....	103
思考题 .....	16	思考题 .....	109
习题 1 .....	16	习题 4 .....	110
第二章 流体静力学 .....	17	第五章 量纲分析和相似理论 .....	115
§ 2.1 静止流体中应力的特性 .....	17	§ 5.1 量纲 .....	115
§ 2.2 流体平衡微分方程 .....	19	§ 5.2 量纲分析法 .....	117
§ 2.3 重力作用下流体静压强的 分布 .....	22	§ 5.3 流动相似理论基础 .....	122
§ 2.4 液体的相对平衡 .....	28	§ 5.4 模型实验 .....	129
§ 2.5 液体作用在平面上的总静 压力 .....	30	思考题 .....	132
§ 2.6 液体作用在曲面上的总静 压力 .....	38	习题 5 .....	132
§ 2.7 浮力及浮潜体稳定 .....	44	第六章 流体阻力及能量损失 .....	134
思考题 .....	47	§ 6.1 流动阻力与水头损失 概述 .....	134
习题 2 .....	49	§ 6.2 流体运动的两种流态 .....	138
第三章 流体运动基本原理 .....	52	§ 6.3 圆管层流运动 .....	141
§ 3.1 流体运动的描述方法 .....	52	§ 6.4 湍流运动 .....	144
§ 3.2 流体流动的若干基本 概念 .....	55	§ 6.5 圆管湍流的沿程损失 .....	148
§ 3.3 流体微团运动分析 .....	63	§ 6.6 非圆管湍流的沿程 损失 .....	156
§ 3.4 流体运动基本方程 .....	66	§ 6.7 局部水头损失 .....	157
§ 3.5 欧拉运动微分方程的 积分 .....	72	§ 6.8 边界层概念 .....	160
§ 3.6 恒定平面势流 .....	75	§ 6.9 绕流阻力 .....	163
思考题 .....	84	思考题 .....	165
		习题 6 .....	166
		第七章 孔口出流及管嘴出流 .....	169

§ 7.1 孔口恒定出流 .....	169	§ 10.5 宽顶堰 .....	254
§ 7.2 管嘴出流 .....	173	§ 10.6 小桥孔径水力计算 .....	257
§ 7.3 孔口、管嘴的非恒定 出流 .....	176	思考题 .....	260
思考题 .....	178	习题 10 .....	260
习题 7 .....	179	<b>第十一章 渗流</b> .....	262
<b>第八章 有压管道流动</b> .....	180	§ 11.1 渗流基本定律 .....	262
§ 8.1 等径短管的水力计算 .....	180	§ 11.2 恒定渐变渗流 .....	265
§ 8.2 长管的水力计算 .....	185	§ 11.3 集水廊道的渗流 .....	269
§ 8.3 管网水力计算基础 .....	192	§ 11.4 井的渗流 .....	269
§ 8.4 有压管道中的水击 .....	199	§ 11.5 潜水层中建筑物的竖向水 压力 .....	275
思考题 .....	204	思考题 .....	277
习题 8 .....	205	习题 11 .....	277
<b>第九章 明渠流动</b> .....	211	<b>第十二章 可压缩气体一元 流动</b> .....	281
§ 9.1 明渠分类 .....	211	§ 12.1 可压缩气体的一些基本 概念 .....	281
§ 9.2 明渠均匀流 .....	213	§ 12.2 理想气体一元恒定流动的 基本原理 .....	284
§ 9.3 无压圆管均匀流 .....	219	§ 12.3 可压缩气体管道流动 .....	287
§ 9.4 明渠非均匀流若干基本 概念 .....	222	思考题 .....	294
§ 9.5 棱柱形明渠渐变流水面曲 线的分析 .....	233	习题 12 .....	295
§ 9.6 明渠渐变流水面曲线的 计算 .....	239	<b>参考文献</b> .....	296
思考题 .....	242	<b>习题答案</b> .....	297
习题 9 .....	243	<b>索引</b> .....	302
<b>第十章 堰流</b> .....	247	<b>附录 光盘内容目录</b> .....	307
§ 10.1 堰流定义和分类 .....	247	<b>Synopsis</b> .....	310
§ 10.2 堰流的基本公式 .....	250	<b>Contents</b> .....	312
§ 10.3 薄壁堰 .....	251	<b>作者简介</b> .....	314
§ 10.4 实用堰 .....	252		

# 第 1 章 绪 论

**本章导读:**本章先对流体力学及其课程作概述,然后介绍流体及其模型化概念、流体的物理性质及作用在流体上的力。学习中应重点理解与掌握的主要概念有:流体的质点、理想流体、流体连续介质模型、粘滞性与粘度、牛顿流体、质量力等。还应掌握流体区别于固体的重要特性,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。

## § 1.1 概 述

### 1.1.1 流体力学的任务

流体力学(fluid mechanics)是力学的一个独立分支,是一门研究流体(fluid)(液体和气体)的平衡和力学运动规律及其应用的科学。

流体力学所研究的基本规律有两大组成部分。一是关于流体平衡的规律,研究流体处于静止(或相对平衡)状态时,作用于流体上的各种力之间的关系,这一部分称为流体静力学;二是关于流体运动的规律,研究流体在运动状态时,作用于流体上的力与运动规律之间的关系,以及流体的运动特征与能量转换等,这一部分称为流体动力学。

流体力学按其研究内容侧重方面的不同,分为理论流体力学(通称为流体力学)和应用流体力学(通称为工程流体力学)。前者侧重研究理论体系,注重数学推理,后者则侧重于解决工程实际问题。本教材根据大土木各专业的教学基本要求,以应用为主,属后者范畴。

### 1.1.2 流体力学的发展历史

#### 1. 流体力学发展的几个主要阶段

流体力学的萌芽,是从距今约 2 200 年以前西西里岛的希腊学者阿基米德写的《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。

1687 年牛顿在名著《自然哲学的数学原理》中讨论了流体的阻力、波浪运动等内容,使流体力学进入了主要发展时期,并经历了三个主要发展阶段:

第一阶段,伯努利提出的液体运动的能量估计及欧拉提出液体运动的解析方法,为研究液体运动的规律奠定了理论基础,在此基础上形成了一门属于数学的古典“水动力学”(或古典“流体力学”)。

第二阶段,在古典“水动力学”的基础上纳维和斯托克斯提出了著名的实际粘性流体的基本运动方程,为流体力学的长远发展奠定了理论基础。但由于其数学求解的复杂性和流体模型的局限性,不能满意地解决工程问题,故形成了以实验方法来总结经验公式的“实验流体力学”。初期的“实验流体力学”缺乏理论基础,发展受限。

第三阶段,从19世纪末起,古典流体力学和实验流体力学的内容不断更新,同时理论分析方法和实验分析方法相结合,形成了理论与实践并重的现代流体力学。在20世纪60年代以后,由于计算机的发展与普及,流体力学的应用更是日益广泛。

## 2. 18世纪以来主要的流体力学事件

1738年,瑞士数学家伯努利在其名著《流体动力学》中提出了伯努利方程。

1755年,瑞士数学家欧拉在其名著《流体运动的一般原理》中提出理想流体概念,并建立了理想流体基本方程和连续性方程,提出了流体运动的解析方法,同时提出了速度势的概念。

1781年,法国数学家拉格朗日首先引进了流函数的概念。

1823年,法国工程师纳维,1845年英国数学家、物理学家斯托克斯提出了著名的纳维-斯托克斯方程。

1876年,英国物理学家雷诺发现了流体流动的两种流态:层流和湍流。

1858年,德国物理学家亥姆霍兹指出了理想流体中旋涡的许多基本性质及旋涡运动理论,并于1887年提出了脱体绕流理论。

19世纪末,相似理论提出,实验和理论分析相结合。

1904年,德国力学家普朗特提出了边界层理论。

20世纪60年代以后,计算流体力学得到了迅速的发展,流体力学的内涵也不断地得到充实与提高。

在我国,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流体运动规律的认识。如:

4 000多年前的“大禹治水”,就已认识到治水应顺水之性,须引导和疏通。

秦朝在公元前256年—公元前210年修建了我国历史上的三大水利工程(都江堰、郑国渠、灵渠),隋朝(公元587年—610年)完成的南北大运河,说明当时对明渠水流和堰流的认识已达到了相当高的水平。尤其是都江堰,作为著名的水利工程历史典范,名扬天下。

距今1 000多年前的计时工具“铜壶滴漏”,已巧妙地利用了孔口出流原理。

距今 600 年前,郑和木舰队七下西洋,靠对海流、气流的认知与利用,创造了人类航海史上的奇迹。

水力计算方面,清朝雍正年间,何梦瑶在《算迪》一书中就已提出流量等于过水断面面积乘以断面平均流速的计算方法。

明朝潘季驯提出了“筑坝束水,以水攻沙”和“借清刷黄”的正确治水方针,提高了治河的理论水平。

### 1.1.3 流体力学的研究方法

#### 1. 理论研究方法

理论研究方法是通过对液体物理性质和流动特性的科学抽象(近似),提出合理的理论模型,再根据机械运动的普遍规律,建立控制液体运动的闭合方程组,将原来的具体流动问题转化为数学问题,在相应的边界条件和初始条件下求解。理论研究方法的关键在于提出理论模型,并能运用数学方法求出理论结果,达到揭示流体运动规律的目的。但由于数学上的困难,许多实际流动问题还难以精确求解。

理论方法中,流体力学引用的主要定律有:

(1) 质量守恒定律:  $\frac{dm}{dt} = 0$ 。

(2) 动量定律:  $\sum \mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{u})}{dt}$ 。

(3) 牛顿运动第二定律:  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ 。

(4) 机械能转化与守恒定律: 动能 + 压能 + 位能 + 能量损失 = 常数。

由于纯理论研究方法在数学上存在一定的困难,在计算机尚未发展的年代逐步完善了一套理论和实验相结合的分析求解方法,即理论公式、经验公式相结合的计算理论与方法,它简单实用,即便在计算机高度发达的今天,仍然适用。

#### 2. 实验研究方法

应用流体力学是一门理论和实践紧密结合的基础学科。它的许多实用公式和因数都是由实验得来的。至今,工程中的许多问题,即使是能用现代理论分析与数值计算求解的,最终还要借助实验检验修正。

(1) 实验研究的主要形式:一是原型观测,指对实际工程或天然的流场直接进行观测;二是系统实验,在实验室里对人工的流动现象进行系统研究;三是模型研究,模拟实际工程的条件,通过预演或重演流动现象来进行研究。

(2) 实验研究的基础理论:相似理论、量纲分析(因次分析)。

#### 3. 数值研究方法

数值研究方法是在计算机应用的基础上,采用各种离散化方法(有限差分

法、有限元法等)建立各种数值模型,通过计算机进行数值计算和数值实验,得到在时间和空间上许多数据组成的集合体,最终获得定量描述流场的数值解。近二三十年来,这一方法得到很大发展,已形成专门学科——计算流体力学。

#### 4. 流动分析的简化

由于流体物性比较复杂,要考虑流动流体中的全部物性及其各种物理量往往是很困难的,有时也是不必要的。因此,需要抓住主要的受力因素加以分析。例如,从静止的水库向外泄水时,坝顶起始段的水流可忽略水的粘性及由粘性引起的各项切应力,从而简化为只有压应力的理想流体进行分析。流体运动状态十分复杂,要考虑流体中全部运动变化因素是非常困难的,在许多情况下也是不必要的。因此,需要对各种运动状态进行分类、简化。例如,把流动分成一元与多元、恒定流与非恒定流、均匀流与非均匀流、急变流与渐变流、层流与湍流等,这也是在研究方法上流体区别于刚体的一大特点。

### 1.1.4 关于土建类工程流体力学课程

#### 1. 课程的性质与目的

(1) 性质 本课程是土木、水利类专业的一门必修的专业基础课程。研究对象以水为主体,还包括气体与可压缩流体;研究内容包括流体平衡和流体机械运动规律及其工程应用。

(2) 目的 通过各教学环节,使学生掌握流体运动的基本概念、基本理论、基本计算方法与实验技能,培养分析问题的能力和创新能力,为学习专业课程及在土木工程各个领域从事专业技术工作打下基础。

(3) 地位 本课程为水文学、专门水力学、土力学、工程地质、土木工程施工、水工建筑物、建筑设备等多门专业基础课和专业课阐释所涉及的流体力学原理,帮助学生进一步认识土木、水利工程与大气和水环境的关系。

(4) 其他 本课程是对建筑工程人才进行“力学文化”、“水文化”素质教育的必修课。

#### 2. 流体力学在土建中的应用

流体是人类生活和生产中经常遇到的物质形式,许多科学技术部门都和流体力学有关。例如,水利工程、土木建筑、交通运输、机械制造、石油开采、化学工业、生物工程等都有大量的流体问题需要应用流体力学的知识来解决。事实上,目前很难找到与流体力学无关的专业和学科。流体力学已广泛用于土木、水利工程的各个领域。

(1) 在建筑工程中的应用 如地基降水、路基排水、地下水渗透、水下与地下建筑物的受力分析、围堰修建、海洋平台在水中的浮性和抵抗外界扰动的稳定性等。

(2) 在市政工程中的应用 如桥涵孔径设计、给水排水、管网计算、泵站和水塔的设计、隧洞通风等。特别是在给水排水工程中,无论取水、水处理、输配水都是在水流动过程中实现的。流体力学理论是给水排水系统设计和运行控制的基础。

(3) 在城市防洪工程中的应用 如河道的过流能力,堤、坝的作用力与渗流问题,防洪闸坝的过流能力等。

(4) 在建筑环境与设备工程中的应用 如供热、通风与泵站设计及设备的选用等。

(5) 在水利工程中的应用 水利工程对流体力学的要求更广、更深,光有本课程这一门土木公共专业基础课是不够的,还必须继续学习工程水力学课程,以满足本专业人才最起码的知识需求。

### 3. 本课程的基本要求

(1) 具有较为完整的理论基础,包括:

- ① 掌握流体力学的基本概念;
- ② 熟练掌握分析流体力学的总流分析方法,熟悉量纲分析与实验相结合的方法,了解求解简单平面势流的方法;
- ③ 掌握流体运动能量转化和水头损失的规律,对绕流阻力有一定了解。

(2) 具有对一般流动问题的分析和计算能力,包括:

- ① 水力荷载的计算;
- ② 管道、渠道和堰过流能力的计算,井的渗流计算;
- ③ 水头损失的分析和计算。

(3) 掌握测量水位、压强、流速、流量的常规方法。具有观察水流现象,分析实验数据和编写报告的能力。

(4) 重点掌握基本概念、基本方程、基本应用,即流体力学的基础知识。

## § 1.2 流体及其模型化

### 1.2.1 物质的三态

自然界的物质一般有三种存在形式: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,流体与固体的主要区别在于它们对外力的抵抗能力不同。固体由于其分子间距离很小,内聚力很大,所以能保持固定的形状和体积,既能承受压力,也能承受拉力,抵抗拉伸变形。而流体由于分子间距离较大,内聚力很小,只能承受压力,几乎不能承受拉力及抵抗拉伸变形;在任何微小



切应力作用下,流体很容易发生变形或流动,即流体具有易流动性。

同样是流体的液体与气体,二者又有一定的区别。液体分子间距离较小,密度较大,分子内聚力比气体大得多,所以液体能保持比较固定的体积,形成自由表面。而气体没有固定的体积和形状,能充满任意形状的容器。同时,液体和气体的另一个区别在于它们的可压缩程度不同。液体的压缩性很小,气体极易被压缩或膨胀。但当气流速度远小于声速时,在运动过程中其密度变化很小,气体也可被视为不可压缩。

### 1.2.2 流体质点与流体的连续介质模型

从分子物理学的观点看,流体和其他一切物质一样都是由大量做无规则运动的分子组成的,分子和分子之间存在空隙。由于分子间有空隙存在,故严格地说,流体是不连续的,描述它的物理量(密度 $\rho$ ,速度 $v$ ,压强 $p$ 等)在空间的分布也是不连续的,而且流体分子运动的随机性又导致任一空间点的物理量对于时间也是不连续的。

在标准条件下,1 cm<sup>3</sup>的流体中含有约 $3.3 \times 10^{22}$ 个分子,分子之间的距离是 $3 \times 10^{-8}$  cm。由此可见,流体分子和分子之间的距离都是极其微小的。由于流体力学的任务并不是研究分子的微观运动,而是研究整个流体的宏观特性及其宏观机械运动规律,在所研究的流体力学宏观问题中,在流动空间和时间上所采用的一切特征尺度和特征时间都比分子距离和分子碰撞时间大得多。所以,为研究流体的运动规律,引入了流体质点与连续介质模型的概念。

(1) 流体质点(fluid particle) 流体质点是指尺度大小同一切流动空间相比微不足道,又含有大量分子,具有一定质量的流体微元。在考虑尺度效应(旋转、变形)时,习惯上也称流体质点为流体微团。

(2) 连续介质模型(continuum model) 所谓流体的连续介质模型,即把流体视为没有间隙地由流体质点充满它所占据的整个空间的一种连续介质,其物理性质和物理量也是连续的。这样就排除了分子运动的复杂性,把物理量视为时空连续函数(但允许在孤立点、线、面上不连续),可应用数学分析中的连续函数理论来分析流体的运动,应用方便。这一假设对大多数流体都是适用的,但对于很稀薄的气体,应把它视为不连续体,而不能应用连续介质模型。

## § 1.3 流体的主要物理性质

流体具有惯性、压缩性、膨胀性、粘性和表面张力特性等重要物理性质,流体的粘性是本节介绍的重点。