

一流学校 一流老师 一流资源



三一丛书

流体力学

要点与解题

张志政 张鸿雁 刘云霞 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



三一丛书

一流学校 一流老师 一流资源



- 高等数学要点与解题
- 线性代数要点与解题
- 线性代数与空间解析几何要点与解题
- 概率论与数理统计要点与解题
- 概率统计要点与解题
- 数学分析要点与解题(上册)
- 复变函数要点与解题
- 计算方法要点与解题
- 数学物理方法要点与解题
- 大学物理要点与解题
- 大学化学要点与解题
- 有机化学要点与解题



- 理论力学要点与解题
- 材料力学要点与解题
- 工程力学要点与解题
- 流体力学要点与解题
- 传热学要点与解题
- 机械原理要点与解题
- 机械设计要点与解题
- 热工基础要点与解题
- 工程热力学要点与解题



- 电路要点与解题
- 电磁场要点与解题
- 电工技术(电工学 I)要点与解题
- 电子技术(电工学 II)要点与解题
- 模拟电子技术要点与解题
- 数字电子技术要点与解题
- 电机学要点与解题
- 自动控制理论要点与解题
- 信号与系统要点与解题



- 微型计算机原理及应用要点与解题
- 微机原理与接口技术要点与解题
- 操作系统要点与解题
- 数据结构要点与解题

责任编辑：邹林 封面设计：阎亮

ISBN 978-7-5605-2481-8



9 787560 524818 >

定价：9.80 元

要 點 容 內

西安交大教学资源文库 三一丛书

本书是《流体力学》课程的教学大纲，也是该课程的主要参考文献。本书共分三章，第一章为绪论，第二章为流体静力学，第三章为流体动力学。本书可作为高等院校工科专业流体力学课程的教学大纲，也可供从事流体力学工作的工程技术人员参考。

流 体 力 学

要点与解题

张志政 张鸿雁 刘云霞 编著

ISBN 978-7-5602-3481-8

本书可作为高等院校工科专业流体力学课程的教学大纲，也可供从事流体力学工作的工程技术人员参考。

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第082842号

编 著：刘云霞、张鸿雁、张志政
 出版发行：西安交通大学出版社
 社址：西安市兴庆南路10号(邮编：710049)
 电 话：(029)82688327 82697374(发行部)
 (029)82688318 82688088(编辑部)

印 刷：陕西西安宝印书局
 字 号：787mm×1092mm 1/32
 开 本：880mm×1230mm 1/32
 印 张：9
 版 次：2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷
 书 号：ISBN 978-7-5602-3481-8 · 280

西安交通大学出版社

版 权 所 有 受 法 律 保 护

内 容 提 要

本书是按照教育部流体力学(水力学)课程教学指导委员会制订的工科流体力学课程教学的基本要求编写而成的,是流体力学课程教学的辅导教材。全书共分9章,内容包括:流体的基本概念、流体静力学、流体运动学基础及平面势流;流体动力学、相似理论与量纲分析、孔口管嘴出流与管渠流动、紊流射流与紊流扩散、边界层理论与绕流阻力、一元可压缩气体流动。每章包括基本要求、基本知识点、典型例题和习题四个部分,强调基本概念和解题技巧。

本书可作为能源、建筑、机械、环境、水利等专业学生学习流体力学的辅导用书,也是相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学要点与解题/张志政,张鸿雁,刘云霞编著.
—西安:西安交通大学出版社,2007.9
(西安交大教学资源文库·三一丛书)
ISBN 978-7-5605-2481-8

I. 流… II. ①张… ②张… ③刘… III. 流体力学-高等学校-教学参考资料 IV. O35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 095345 号

书 名:流体力学要点与解题
编 著:张志政 张鸿雁 刘云霞
出版发行:西安交通大学出版社
地 址:西安市兴庆南路 10 号(邮编:710049)
电 话:(029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
印 刷:陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数:212 千字
开 本:880 mm×1 230 mm 1/32
印 张:6
版 次:2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 978-7-5605-2481-8/O·260
定 价:9.80 元

版权所有 侵权必究

丛书总序

为了使普通高等学校理工类专业的大学生更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,我们组织出版了这套“三一”丛书,目的就是提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,为今后的学习打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211 工程”建设的七所大学之一,1999 年被国家确定为我国中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996 年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。本丛书均由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书针对中少学时课程的特点和教学要求,以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有特色和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环

节进行编排。本丛书既可单独使用,也可与其他教材配合使用。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友,帮助您克服困难,进入大学学习的自由王国,并祝您早日成为国家的栋梁之材!

在学习使用过程中,您如果发现书中有不妥之处或有好的建议,敬请批评指正并反馈给我们,我们会进一步改进自己的工作,力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址:<http://press.xjtu.edu.cn>

<http://www.xjtupress.com>

理工医事业部信箱: jdlgy31@126.com

西安交通大学出版社

2006年6月

前言

前言

1980年5月

流体力学在宏观尺度上考察流体的力学行为,采用连续介质模型,用理论分析、实验和数值计算的方法研究流体的平衡和宏观运动规律。是工科很多专业的技术人员必须掌握的一门与工程实际紧密结合的技术基础课程。课程内容涉及到较多的基本概念,描述流动原理的数学表现也较为复杂,分析具体问题时又常常灵活多变,不少学生感觉在基本概念的理解上不够深入,分析具体问题时无从下手,难以掌握要领。本书作为辅导教材,根据教育部流体力学(水力学)课程教学指导委员会制订的工科流体力学课程教学的基本要求,贯彻理论联系实际的原则,注重学生分析问题和解决问题能力的培养,结合作者长期从事教学实践与改革的经验编写而成。

全书共分9章,内容包括:流体的基本概念、流体静力学、流体运动学基础及平面势流,流体动力学、相似理论与量纲分析、孔口管嘴出流与管渠流动、紊流射流与紊流扩散、边界层理论与绕流阻力、一元可压缩气体流动。每章包括基本要求、基本知识点、典型例题和习题四个部分。在“基本要求”中,提出每章要求识记的概念、理解的原理和要求掌握的应用问题,并指出重点和难点。在“基本知识点”中,比较详细地说明了概念的内涵、方程公式的形式和意义。“典型例题”的编排结合各章重点内容,重在解题思路,并有注释或讨论总结。“习题”中已知条件的给定和问题的提出尽可能从实际出发,围绕重点问题由浅入深。为了方便学生学习,习题均附有答案,附录中列出了常用计算图表,以及硕士研究生入学考试模拟试题。

本书由张志政统稿主编,并具体编写了1、4、6、7章,第8、9章由张

主要符号表

A ——面积
 a ——比阻,加速度,音速,射流紊流系数
 B ——水面宽度
 b ——底宽
 C ——谢才系数,常数值
 c ——水击波速,污染物浓度
 D_m ——分子扩散系数
 D_t ——紊流扩散系数
 d ——管径
 Eu ——欧拉数
 e ——断面单位能量
 Fr ——弗劳德数
 G ——重力
 g ——重力加速度
 H ——作用水头,水泵扬程
 h_w ——水头损失
 h_f ——沿程水头损失
 h_m ——局部水头损失
 h_v ——真空高度
 I ——惯性力
 i ——渠道底坡
 J ——水力坡度
 J_p ——测压管水头线坡度
 K ——流量模数,体积弹性系数
 L ——长度量纲

μ ——动力粘度,流量系数
 ν ——运动粘度
 π ——圆周率,无量纲量
 ε ——收缩系数
 η ——效率
 κ ——卡门常数
 λ ——沿程阻力系数
 ζ ——局部阻力系数
 φ ——流速系数,速度势函数
 ψ ——流函数
 χ ——湿周
 ω ——角速度
 Ω ——涡量
 τ ——切应力
 Γ ——速度环量
 Δ ——壁面粗糙度
 δ_i ——粘性底层厚度

目 录

丛书总序	1.1	(1)
前言	1.2	(1)
主要符号表	1.3	(1)
第1章 流体的基本概念	1.4	(1)
1.1 基本要求	1.5	(1)
1.2 基本知识点	1.6	(1)
1.3 典型例题	1.7	(5)
1.4 习题	1.8	(7)
第2章 流体静力学	2.1	(9)
2.1 基本要求	2.2	(9)
2.2 基本知识点	2.3	(9)
2.3 典型例题	2.4	(17)
2.4 习题	2.5	(24)
第3章 流体运动学基础	3.1	(31)
3.1 基本要求	3.2	(31)
3.2 基本知识点	3.3	(31)
3.3 典型例题	3.4	(41)
3.4 习题	3.5	(45)
第4章 流体动力学	4.1	(49)
4.1 基本要求	4.2	(49)
4.2 基本知识点	4.3	(49)
4.3 典型例题	4.4	(58)
4.4 习题	4.5	(70)

第 5 章 相似理论与量纲分析	(78)
5.1 基本要求	(78)
5.2 基本知识	(78)
5.3 典型例题	(81)
5.4 习题	(84)
第 6 章 孔口管嘴出流及管渠恒定流	(87)
6.1 基本要求	(87)
6.2 基本知识	(87)
6.3 典型例题	(100)
6.4 习题	(117)
第 7 章 紊流射流与紊流扩散	(127)
7.1 基本要求	(127)
7.2 基本知识	(127)
7.3 典型例题	(133)
7.4 习题	(137)
第 8 章 边界层与绕流阻力	(139)
8.1 基本要求	(139)
8.2 基本知识	(139)
8.3 典型例题	(142)
8.4 习题	(143)
第 9 章 一元气体动力学基础	(146)
9.1 基本要求	(146)
9.2 基本知识	(146)
9.3 典型例题	(150)
9.4 习题	(155)
附录一 硕士研究生入学考试模拟试题	(158)
附录二 常用计算图表	(166)

第1章 流体的基本概念

1.1 基本要求

本章是流体力学的开篇,通过本章的学习,理解流体的基本特征,作用在流体上的力,以及流体的主要物理性质,初步认识流体力学课程。

(1) 识记连续介质概念,质量力和表面力的定义,密度、容重及相对体积质量的定义,压缩系数和膨胀系数的定义式。

(2) 领会流动性的力学含义,单位质量力和应力的概念,粘性的物理概念。

(3) 应用牛顿内摩擦定律计算粘性效应;液体压缩性的计算。

重点:密度、容重的区别与联系,牛顿内摩擦定律。

难点:粘性及粘性力计算。

1.2 基本知识

1.2.1 流体力学的研究对象

流体是液体和气体的总称。流体力学研究流体的平衡和宏观机械运动的规律及其应用。因此提出连续介质的模型,认为流体是由无数质点组成充满于其所占有空间的连续体。

1.2.2 作用在流体上的力

从力的作用方式考虑,流体受力分为质量力和表面力两大类。

1. 质量力

质量力是指作用于流体的每一质点上,大小与流体质量成正比的力,如重力和惯性力。单位质量的流体所受的质量力称为单位质量力(质量力强度),常表示为

$$f = Xi + Yj + Zk$$

2. 表面力

表面力是指作用于流体的表面上,大小与作用面积成正比的力。如流体压力、流动阻力等。单位面积上作用的表面力称表面应力。一般分解为法向压应力(压强)和切应力。

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A}, \quad \tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A}$$

1.2.3 流体的主要力学性质

1. 流动性

流动性是流体的基本特性,指流体在静止时不能承受切力,任何微小的切力作用都将使流体质点之间产生相对运动,即流动。

2. 惯性与重力特性

惯性是物体保持原有运动状态的性质,质量越大,惯性越大。单位体积的质量称为密度。流体因受到地球引力作用而具有重力或重量的特性称重力特性。单位体积的重量称为容重或重度。密度 ρ 和重度 γ 的关系为 $\gamma = \rho g$ 。

某种流体的质量与 4℃ 时相同体积水的质量之比称为相对体积质量 s ,

$$s = \gamma / \gamma_w = \rho / \rho_w$$

常用数值 $\rho_w = 1\,000\text{ kg/m}^3$, $\gamma_w = 9\,800\text{ N/m}^3$, $s_{\text{Hg}} = 13.6$

3. 压缩性与膨胀性

流体受压,体积缩小密度增大的性质称压缩性;流体受热,体积膨胀密度减小的性质称为膨胀性。

液体的压缩性用体积压缩系数表示,即在一定的温度下,单位压强变化产生的体积变化率。压缩系数的倒数为弹性系数 K 。

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp} = \frac{1}{K}$$

液体的压缩系数随温度和压强而变化。水在 0℃ 时的压缩系数如表 1.1 所示。

表 1.1 水的压缩系数

压强/bar	5	10	20	40	80
$\beta / \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$	0.538	0.536	0.531	0.528	0.515

液体的膨胀性用温度膨胀系数表示,即在一定的压强下,单位温度变化产生

的体积变化率。

温度膨胀系数

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

液体的膨胀系数随温度和压强而变化。水在 1 个大气压时的膨胀系数如表 1.2 所示。

表 1.2 水的温度膨胀系数

温度/℃	1~10	10~20	40~50	60~70	90~100
$\alpha/\times 10^{-4} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	0.14	1.50	4.22	5.56	7.19

气体具有显著的压缩性和膨胀性。在常温常压下,服从完全气体的状态方程

$$p = \rho RT$$

气体常数 $R=8314/n$, n 为气体的分子量。空气的气体常数为 $287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 。

在液体和低速气流中,压缩性和膨胀性的影响很小,一般可以忽略,即视为不可压缩流体模型。均质不可压缩流体中,密度为常数。

4. 粘性

粘性是流体流层之间因为相对运动而产生内摩擦力以阻碍相对运动的性质。在牛顿流体中,内摩擦力或粘性力服从牛顿内摩擦定律,即

$$T = \mu A \frac{du}{dy}, \quad \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

可证明速度梯度等于流体微团的剪切变形速度,所以内摩擦力与剪切变形率成正比。

流体粘性大小的度量用动力粘性系数(粘度)或运动粘性系数来表示,二者的关系为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

影响液体粘度的主要因素是分子内聚力,故液体粘度随温度升高而减小;影响气体粘度的主要因素是分子热运动引起的动量交换,故气体粘度随温度升高而增大。水和空气的粘度随温度的变化如表 1.3 及表 1.4 所示。

理想流体指忽略粘性影响的无粘性流体模型,使得对流动的分析大为简化。

表 1.3 水的物理性质

$t/^{\circ}\text{C}$	$\gamma/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\mu/10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu/10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
0	9.805	999.8	1.781	1.785
5	9.807	1000.0	1.518	1.518
10	9.804	999.7	1.307	1.307
15	9.798	999.1	1.139	1.140
20	9.789	998.2	1.002	1.0023
25	9.777	997.0	0.890	0.893
30	9.764	995.7	0.798	0.800
40	9.730	991.2	0.653	0.658
50	9.689	988.0	0.547	0.553
60	9.642	983.2	0.466	0.474
70	9.589	977.8	0.404	0.413
80	9.530	971.8	0.354	0.364
90	9.466	965.3	0.315	0.326
100	9.399	958.4	0.282	0.294

表 1.4 标准大气压下空气的物理性质

$t/^{\circ}\text{C}$	$\gamma/\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\mu/10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu/10^{-5} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
-40	14.86	1.515	1.49	0.98
-20	13.68	1.395	1.61	1.15
0	12.68	1.293	1.71	1.32
10	12.24	1.248	1.76	1.41
20	11.82	1.205	1.81	1.50
30	11.43	1.165	1.86	1.60
40	11.06	1.128	1.90	1.68
60	10.40	1.060	2.00	1.87
80	9.81	1.000	2.09	2.09
100	9.28	0.946	2.18	2.31
200	7.33	0.747	2.58	3.45