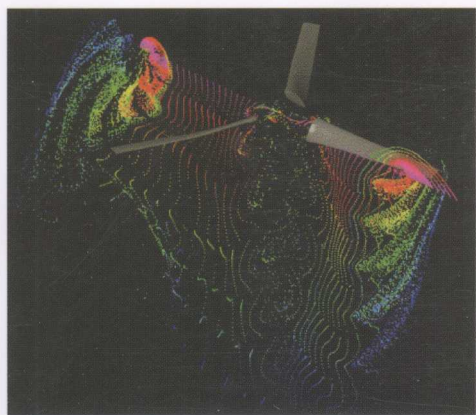





流体力学 (第二版)

FLUID MECHANICS



张鸿雁 张志政 王元 崔海航 编著

 科学出版社

014037178

035
88-2

流体力学

(第二版)

张鸿雁 张志政 王元 崔海航 编著



科学出版社

北京



北航

C1725330

035
88-2

内 容 简 介

本书系统地阐明了流体力学的基本概念、基本理论和基本方法,并且涉及流动的各种基本形式,如管流、明渠流、射流及绕物体的流动。全书共13章,前面4章介绍了流体运动的基本概念、流体运动所遵循的方程和主要的求解方法,让初学者对流体运动有所了解。第5章对工程中应用较多的相似理论做了较为详细的阐述。后续章节从一元流动入手,通过对流体运动控制方程的简化,逐步分析了黏性管流(第6章)、边界层与绕流阻力(第7章)、明渠流动(第8章)、堰流及闸孔出流(第9章)、渗流(第10章)、紊流射流(第11章)、一元气体动力学基础(第12章)及流体机械基础(第13章)。每一章均配有适量的例题与习题。

本书是一本工科院校流体力学的教学用书,可适用于建筑环境与设备工程、市政工程、环境工程、环境科学、土木工程及矿物资源工程等专业40~80学时时的教学要求,也可作为有关专业科研人员及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学/张鸿雁等编著. —2版. —北京:科学出版社,2014
ISBN 978-7-03-039686-0

I. ①流… II. ①张… III. ①流体力学 IV. ①O35

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第018084号

责任编辑:任加林/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年7月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2014年2月第 二 版 印张:19 1/2 彩插:1/4

2014年2月第七次印刷 字数:348 000

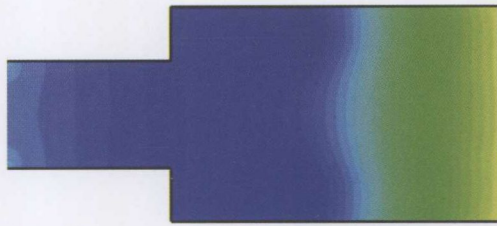
定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

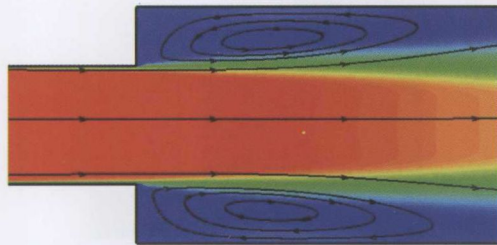
销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

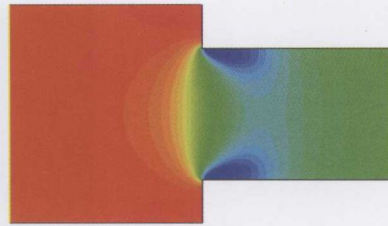


(a) 压强

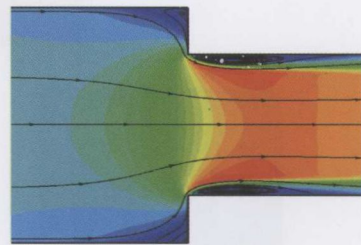


(b) 速度场与流线

彩图 1 突然扩大截面处的流动

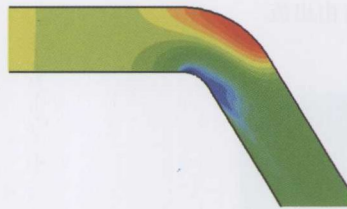


(a) 压强

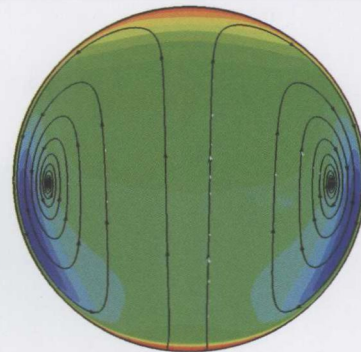


(b) 速度场与流线

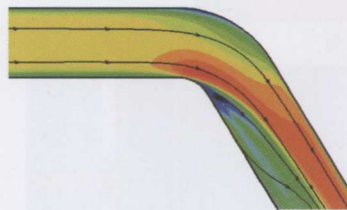
彩图 2 突然收缩截面处的流动



(a) 静压强



(b) 二次流

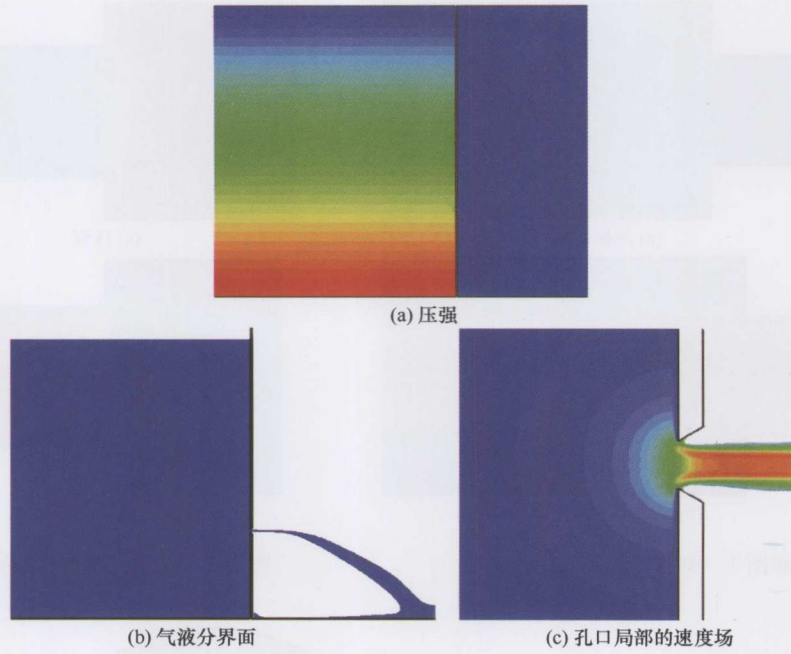


(c) 整体的速度场与流线

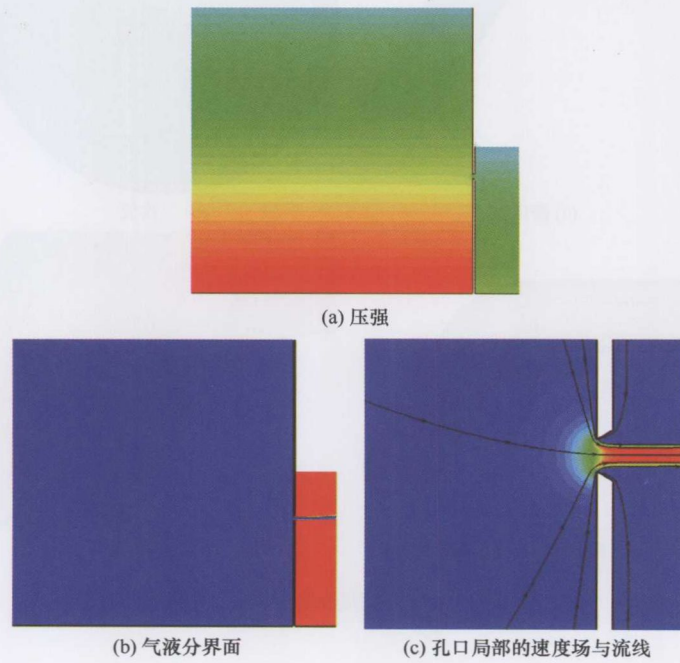


(d) 局部放大

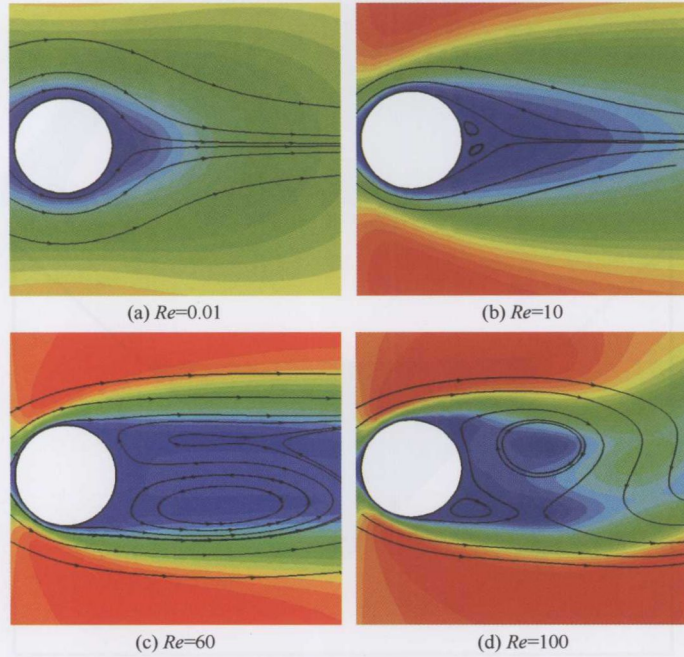
彩图 3 弯管的局部损失与二次流



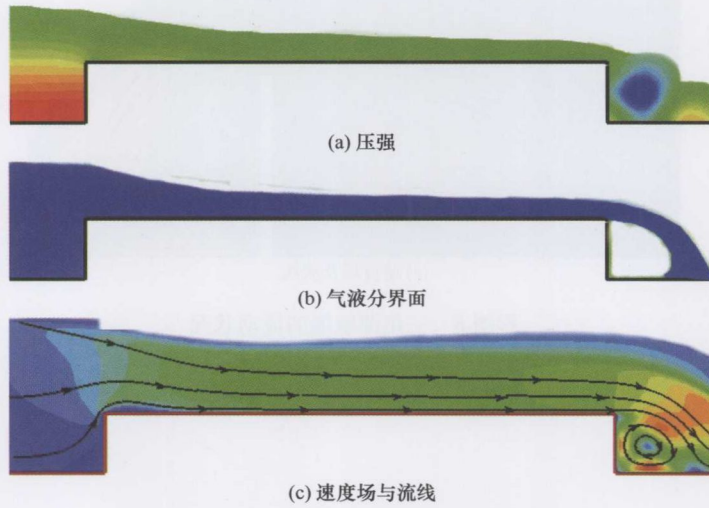
彩图 4 自由出流



彩图 5 淹没出流



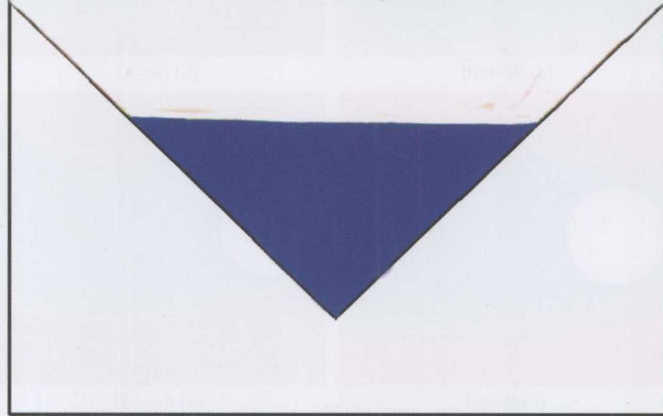
彩图 6 不同 Re 数下的圆柱绕流



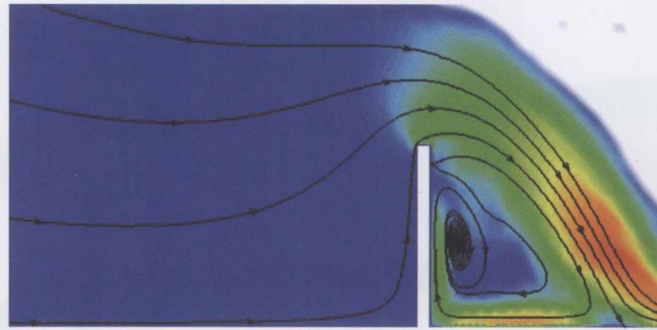
彩图 7 宽顶堰的流动状况



(a) 气液分界面的正视图



(b) 气液分界面的侧视图



(c) 速度场及流线

彩图 8 三角薄壁堰的流动状况

第二版前言

流体力学是研究流体静止与运动下的规律以及流体与固体间相互作用的一门学科，其教学目标在于帮助学生了解流体受力及运动的基本原理，分析实际工程流动现象，掌握解决流动问题的基本方法。本书是面向一般工科院校的建筑环境与设备、给水排水、环境工程、环境科学及土木工程等专业的本科生教材。在长期的使用中，教材章节编排的灵活性及内容的可选择性得到了师生的广泛认可。本教材出版以来的教学实践，使我们对教材的体系有了更进一步的认识，结合新形势下的教育改革，针对拓宽专业、加强基础、培养高素质人才的新要求，结合本次修订在教材建设方面进行了新的尝试。

我们认为流体力学作为专业基础课，在不削弱传统讲授内容的同时，应尽量采用现代的观念和方法来进行叙述。此外，还应注意流动现象数学模型的形成、简化以及运用基本方程分析流动问题的过程，引导学生学以致用，为学生后续学习流体力学的高级课程打下基础，同时也要有助于引导学生去阅读流体力学的相关文献。随着科学技术的发展，特别是计算机技术的迅猛发展，使得计算流体力学，包括计算机模拟以及虚拟现实技术的广泛应用，这些也需要在教材中有所反映。

在第二版中，我们首先对排版格式进行了较大改进，增加了版面宽度，在重点、难点及拓展内容所对应的位置处加入了题注，并留出一定的页面空间供学生笔记。其次在内容上做了部分调整，将理想流体平面无旋运动内容缩减，与流体运动学内容合并；增加了能量方程和流动的数值求解简介，体现了对流动问题完整的分析和求解过程，并以彩图形式给出了本书所涉及的典型问题的 CFD 流动图像；将动量矩方程部分扩充为新增的流体机械基础一章；增添了英文关键词和相关的高等数学内容，方便查阅。最后，第二版还特别注意了文字叙述的严谨和准确，对文字内容进行了进一步斟酌与润色。

参加第二版修订的有张鸿雁、张志政、崔海航，新增的第 13 章由崔海航编写。西安建筑科技大学热工流力教研室的周宇、常志英、朱军等老师提供了部分素材，教研室的部分研究生在文字与插图方面提供了帮助，第二版同样得到西安建筑科技大学重点教材项目的资助，在此一并表示感谢。

尽管如此，修订工作还需要加倍的努力以便对教材不断地完善和改进。不足和不妥之处仍恳请批评指正。

第一版前言

为了适应科学技术和高等教育事业改革与发展的需要,新世纪之初,全国土建、环境类专业教学指导委员会都重新修订了各自的本科生培养计划,力图在教学中充分反映本学科的最新发展,并加强课堂教学与实践性教学环节的有机结合,建设具有各专业的教材体系。为此,在多年为工科院校的学生教授“流体力学”课程的基础上,我们对教材内容、教材结构加以改革和调整,编写了此书。

当今科学发展的趋势是学科间的相互渗透,基础科学是技术革新的源泉。在科学技术迅速发展的今天,要具体地预见工程师将来要处理什么问题,实际上是不可能的,因此仅仅依据今天工程的需求来决定学习的内容也是不明智的。本书在内容筛选中,首先强调流体力学的基本概念、基本理论和基本方法的学习和掌握,因为只有这样,才能使认识本学科的普遍规律,同时有助于发展学生的创造性思维能力和善于运用自己所学到的理论和知识去寻找解决实际问题的本领。作为工科专业基础课,也作为本科生流体力学的初级课程,本书希望在保持传统讲授方法优点的同时,尽量用现代观念和办法来叙述,注意数学模型的建立、简化以及运用基本方程对流动问题进行分析,同时也希望能使学生了解流体力学这门学科的发展,领会其内涵,掌握其应用。

全书共13章,前面4章探讨流体运动的基本概念、流体运动所遵循的基本方程,让初学者对流体运动的基本规律有所了解。第5章对工程应用较多的相似理论做了较为详细的分析。第6章以后讨论了工程上常常遇到的各类流动问题及现在常用的分析手段和方法。教学时数可在40~90学时之间灵活掌握,在讲授部分或全部内容时均不破坏本课程的系统性。本书的目的是希望通过对流体力学这门学科简洁、明晰且易于初学者所接受的论述,为学习流体力学的高级课程打下基础,同时也有助于学生阅读流体力学各专题的文献资料,真正做到引导学生打好基础、学以致用。

本书第1、2、4、6、7、8、13章由张鸿雁编写,第3、9、11章由张志政编写,第5、12章由王元编写,第10章由张志政、张鸿雁编写。本书的编写获西安建筑科技大学重点教材资助,由张鸿雁主编,西北工业大学的李华星教授主审。在编写过程中得到过不少专家、同事的帮助和鼓励,在此表示衷心的感谢。疏漏和错误之处恳请读者给予批评指正。

物理符号表

α	1. 角度; 2. 动能/动量修正系数
β	角度
μ	1. 动力黏性系数; 2. 流量修正系数; 3. 孔口流量系数
ν	运动黏性系数
γ	容重 (重度)
ζ	局部阻力系数
θ	线变形速度
ϵ	角变形速度
ω	旋转角速度
Θ	温度量纲
Ω	涡量
λ	沿程阻力系数
τ	切应力
σ	表面张力系数
φ	1. 势函数; 2. 流速系数
ψ	流函数
dim	量纲符号
m	质量
i	底坡
Q	流量
V	体积
v	断面平均流速
u	流体局部速度
T	温度
t	时间
ρ	密度

A	面积
L	1. 长度; 2. 升力
l	长度
F, f	力
(X, Y, Z)	单位质量力分量
P	压力
p	相对压强
p'	绝对压强
p_a	大气压强
p_v	真空度
a	加速度
C	1. 形心; 2. 谢才系数
D	1. 压力中心; 2. 阻力
D_f	摩擦阻力
D_p	压差阻力
d	直径
H	1. 高度; 2. 总水头
J	1. 惯性矩; 2. 水力坡度
h	高度
h_l	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
h_p	1. 测压管高度; 2. 压强水头
at	工程大气压
atm	标准大气压
R	1. 半径; 2. 水力半径
Re	雷诺数

续表

Re_k	临界雷诺数
Fr	弗罗德数
Eu	欧拉数
St	斯特劳哈勒数
π	无量纲数
K	1. 管壁粗糙高度; 2. 流量模数
K/d	相对粗糙高度
χ	湿周
C_D	阻力系数
G	1. 重力; 2. 质量流率
M	马赫数

目 录

第二版前言

第一版前言

物理符号表

第 1 章 绪论	1
1-1 流体力学及其任务	1
1-1-1 固体与流体	1
1-1-2 流体的连续介质假设	1
1-1-3 流体力学及其任务	2
1-2 流体的属性	3
1-2-1 流体的密度和容重	3
1-2-2 流体的压缩性和膨胀性	5
1-2-3 流体的黏性	7
1-2-4 表面张力	10
1-2-5 汽化压强	10
1-3 作用在流体上的力	11
1-3-1 表面力	11
1-3-2 质量力	11
1-4 物理量的单位与量纲	12
习题	13
第 2 章 流体运动学基础	15
2-1 流体运动的研究方法与分类	15
2-1-1 研究流体运动的方法	15
2-1-2 流体运动的分类	17
2-1-3 流线与迹线	18
2-2 流体微团运动的分解	20
2-2-1 微团运动的分解	20
2-2-2 微团运动的分析	21
2-2-3 有旋运动和无旋运动	24
2-3 平面无旋运动	26
2-3-1 势函数	27
2-3-2 流函数	28
2-3-3 平面无旋流动	29
2-4 基本平面势流	31

2-4-1	均匀直线运动	32
2-4-2	点源及点汇	32
2-4-3	点涡	33
2-5	势流的叠加	34
2-5-1	源环运动	35
2-5-2	偶极流	36
2-5-3	均匀直线流中的偶极流	37
	习题	38
第3章	流体静力学	41
3-1	流体静压强及其特性	41
3-2	流体平衡微分方程	43
3-2-1	流体平衡微分方程	43
3-2-2	流体平衡微分方程的一般积分	44
3-2-3	帕斯卡原理	45
3-2-4	等压面	45
3-3	重力作用下的流体静压强	46
3-3-1	流体静力学基本方程	46
3-3-2	静止液体中的等压面	46
3-3-3	流体静力学基本方程的意义	47
3-4	压强的度量与测压仪表	48
3-4-1	度量压强的两种基准	48
3-4-2	压强的度量单位	48
3-4-3	液柱式测压计	49
3-5	液体的相对平衡	52
3-5-1	匀加速水平直线运动中液体的平衡	52
3-5-2	匀角速旋转运动容器中液体的平衡	53
3-6	静止液体作用于平面壁和曲面壁上的总压力	55
3-6-1	静止液体作用在平面壁上的总压力	55
3-6-2	静止液体作用于曲面壁上的总压力	58
	习题	62
第4章	流体动力学基本方程	65
4-1	连续性方程	65
4-2	黏性流体运动微分方程式	67
4-2-1	流体中任一点的应力	67
4-2-2	以应力表示的运动微分方程	68
4-2-3	应力-应变率关系	69
4-2-4	黏性流体运动微分方程	72

4-3	流动问题的求解	73
4-3-1	初始条件与边界条件	73
4-3-2	圆管层流的解析求解	73
4-3-3	流动的数值求解简介	74
4-4	欧拉运动微分方程式	77
4-5	理想流体微分方程的积分	79
4-6	黏性流体的能量方程	81
4-6-1	总能方程	82
4-6-2	内能方程	84
	习题	84
第 5 章	相似原理与量纲分析	86
5-1	相似的基本概念	86
5-2	方程分析法	88
5-3	相似准数	90
5-3-1	Re	90
5-3-2	Fr	91
5-3-3	Eu 与 St	92
5-4	量纲分析法	92
5-4-1	量纲分析	93
5-4-2	π 定理	93
5-5	模型律	96
5-5-1	π 定理在确定相似判据中的应用	96
5-5-2	完全相似和部分相似	97
	习题	99
第 6 章	黏性管流	101
6-1	一元流动模型	101
6-2	一元流动基本方程	102
6-2-1	连续性方程	102
6-2-2	元流伯努利方程	103
6-2-3	恒定总流伯努利方程	106
6-2-4	恒定总流动量方程	114
6-3	流动水头损失	117
6-3-1	流动阻力与水头损失	117
6-3-2	黏性流体的两种流态	118
6-3-3	均匀流方程	120
6-4	圆管中的流动	121
6-4-1	圆管中的层流	121

6-4-2	紊流运动	123
6-4-3	圆管中的紊流	125
6-4-4	紊流沿程水头损失	126
6-4-5	非圆管的沿程水头损失	129
6-4-6	局部水头损失	129
6-5	有压管流	133
6-6	孔口及管嘴出流	136
6-6-1	薄壁孔口的恒定自由出流	137
6-6-2	薄壁孔口的恒定淹没出流	139
6-6-3	管嘴的恒定出流	140
	习题	143
第7章	边界层与绕流阻力	149
7-1	边界层概念	149
7-1-1	边界层的形成与发展	150
7-1-2	边界层的厚度	152
7-2	边界层微分方程式	153
7-3	边界层动量积分方程式	154
7-4	平板层流边界层	156
7-5	平板紊流边界层	157
7-6	曲壁边界层的分离	158
7-7	绕流物体的作用力	160
7-7-1	绕流阻力	161
7-7-2	低雷诺数下微粒的运动	162
	习题	163
第8章	明渠流动	165
8-1	明渠概述	165
8-1-1	棱柱形渠道的横断面	165
8-1-2	明渠的底坡	166
8-1-3	明渠水流受力分析	167
8-2	明渠均匀流	168
8-2-1	明渠均匀流的特征及形成条件	168
8-2-2	明渠均匀流的基本公式	168
8-2-3	明渠水力最优断面和允许流速	170
8-2-4	复式断面明渠均匀流	173
8-2-5	非均质渠道的综合粗糙系数	174
8-3	明渠均匀流的水力计算问题	175
8-3-1	校核渠道的输水能力	175

8-3-2	设计渠道底坡	176
8-3-3	设计渠道断面尺寸	176
8-4	无压圆管均匀流	179
8-4-1	无压圆管均匀流的水力计算	179
8-4-2	无压圆管的水力最优充满度	181
8-5	明渠非均匀流概述	182
8-5-1	断面比能	182
8-5-2	临界水深	183
8-5-3	临界底坡	184
8-5-4	明渠水流的三种流态	184
8-6	水跃和水跌	187
8-6-1	水跃	187
8-6-2	水跌	191
8-7	明渠恒定非均匀渐变流的微分方程	192
8-8	棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的分析	194
8-8-1	顺坡渠道 ($i > 0$) 的水面曲线	194
8-8-2	平坡渠道和逆坡渠道的水面曲线	197
8-8-3	定性描绘水面曲线	198
	习题	200
第 9 章	堰流与闸孔出流	202
9-1	堰流	202
9-1-1	堰流基本公式	204
9-1-2	薄壁堰流的水力计算	205
9-1-3	实用堰流的水力计算	207
9-1-4	宽顶堰流的水力计算	208
9-2	闸孔出流	211
9-2-1	底坎为宽顶堰型的闸孔出流	212
9-2-2	底坎为曲线型实用堰的闸孔出流	214
	习题	216
第 10 章	渗流	217
10-1	渗流基本概念	217
10-1-1	重力水和岩土渗透特性	217
10-1-2	渗流分类	218
10-1-3	渗流模型	218
10-2	渗流达西定律	219
10-3	地下水的渐变渗流分析	221
10-3-1	地下水均匀流	221