

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

# 工 程 流 体 力 学

Engineering Fluid Mechanics

丛书审定委员会

王思敬 彭少民 石永久 白国良

姜忻良 吴瑞麟 张智慧 李 杰

本书主审 马吉明

本书主编 陈长植

本书副主编 李晓燕 高 潮

本书编写委员会

陈长植 李晓燕 高 潮 杨纪委

李纯良 史艳娇 李清清 陈志峰

华中科技大学出版社  
(中国·武汉)

## 内 容 简 介

本书是根据教育部高等院校土木工程专业指导委员会关于土木工程专业本科教育(四年制)培养方案,为适应现阶段宽口径土木工程各专业本科教学的基本要求编写的。全书共分 10 章,系统讲述了流体力学研究对象、性质、任务及其发展简史,流体静力学,流体运动学,流体动力学基础,流动形态、水流阻力和水头损失,孔口、管嘴出流和有压管流,明渠流动,堰流,渗流,量纲分析和相似原理等内容。为了便于自学和加深读者对所学基本概念、基本理论的理解和掌握,每章都有要点提示和小结;每章后面都附有一定数量的思考题和习题,同时为便于读者进一步深入学习和钻研,在书后附有参考文献和习题参考答案。

本书适用面比较宽,注重加强基础理论的学习和能力的培养,力求重点突出,思路清晰,基本概念严格、确切,并做到理论联系实际。

本书适于作为普通高等院校宽口径土木工程(即大土木)各专业即建筑工程、地下工程、交通土建道桥工程,以及给排水和环保工程等各有关专业的大学本科教学用书,也可供有关科研人员和工程技术人员参考。

## 普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

### 总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一部好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材中不仅要内容上体现人文素质教育和科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下特点。

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡所谓“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、教材编写内容和数量等方面也做了相应改变,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士

王 思 敬

2006年6月于北京

## 前 言

工程流体力学(水力学)是工科高等院校多种专业必修的一门重要的技术基础课。

本书是根据当前市场经济对宽口径土木工程(或称大土木)各专业本科应用型人才培养的新要求,依据教育部高等学校土木工程专业指导委员会关于土木工程专业本科(四年制)培养方案,并结合当前教学基本要求而编写的。

本书的主要特点如下。

(1)注重加强基础理论,“削枝强干”,扎实打牢基础。严格把握内容的基本要求,突出重点和难点,删除了学习传统水力学中偏于专业的内容以及一些偏深、偏难的内容,使重点更加突出,力求做到少而精。

(2)以基本概念、基本原理为主,力求严格、确切,注重物理概念的阐明,避免大量烦琐的数学推导。

(3)注意拓宽知识面,加强理论联系实际,引导读者学以致用,加强能力的培养,力求贯彻知识与能力辩证统一的原则。

(4)内容分析上力求思路清晰,符合认识规律;文字上通俗易懂,便于自学。

为了使读者能更好地阅读,方便地复习及自学,本书各章开始均有“要点提示”,结束时均有“本章小结”;结合理论分析,配有一定数量的例题,以帮助理解和消化所学内容;每章后面都附有一定数量的思考题和习题,帮助读者加深对所学基本概念和基本理论的理解和掌握;为便于进一步深入学习和钻研,书后附有参考文献和习题的参考答案。

本书适用于 50~80 学时,考虑到各院校不同专业不同学时等要求,给教师留有调整教学内容的空间;任课教师在教学实践中,可根据各院校的不同情况,有针对性地教材的某些内容进行取舍。

本书由清华大学陈长植教授主编,哈尔滨商业大学李晓燕教授和大连水产学院高潮教授任副主编。

具体编写分工如下:陈长植编写第 1、4 章,合编第 2、3、5、6、7、8 章;李晓燕编写第 5 章;高潮编写第 3、6 章;杨纪委编写第 7 章;李纯良编写第 8 章;史艳娇编写第 9 章;李清清编写第 2 章;陈志峰编写第 10 章。全书由陈长植教授统稿审定。

清华大学马吉明教授担任本书主审并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

由于时间紧迫,加之编者水平所限,错误及疏漏之处在所难免,恳请读者批评、指正。

编 者

2007 年 4 月于北京

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	(1)
【要点提示】 .....	(1)
1.1 流体力学的性质、任务及其发展简史 .....	(1)
1.1.1 流体力学的定义、性质和任务 .....	(1)
1.1.2 流体力学的发展简史 .....	(2)
1.2 连续介质模型 .....	(5)
1.2.1 流体质点的概念 .....	(5)
1.2.2 连续介质模型 .....	(6)
1.3 流体的基本特征和主要物理力学性质 .....	(7)
1.3.1 流体的基本特征 .....	(7)
1.3.2 流体的主要物理力学性质 .....	(8)
1.4 作用于流体上的力 .....	(20)
1.4.1 质量力 .....	(20)
1.4.2 表面力 .....	(21)
【本章小结】 .....	(22)
【思考题】 .....	(22)
【习题】 .....	(23)
第 2 章 流体静力学 .....	(26)
【要点提示】 .....	(26)
2.1 静止流体中的压强特性 .....	(26)
2.2 流体平衡微分方程及其积分 .....	(29)
2.2.1 流体平衡微分方程 .....	(29)
2.2.2 流体平衡微分方程的积分 .....	(30)
2.3 重力场中流体的平衡 .....	(32)
2.3.1 重力作用下的流体平衡方程 .....	(33)
2.3.2 流体压强的度量及其量测 .....	(36)
2.4 非惯性坐标系中流体的平衡——相对平衡 .....	(44)
2.5 重力场中作用于物体表面的静水总压力 .....	(48)
2.5.1 平面上的静水总压力 .....	(48)
2.5.2 曲线上的静水总压力 .....	(55)
2.5.3 作用于物体上的静水总压力——浮力 .....	(61)

【本章小结】 .....	(64)
【思考题】 .....	(65)
【习题】 .....	(66)
第3章 流体运动学 .....	(73)
【要点提示】 .....	(73)
3.1 描述流体运动的方法——拉格朗日法和欧拉法 .....	(74)
3.1.1 拉格朗日法 .....	(74)
3.1.2 欧拉法 .....	(75)
3.2 流体运动的基本概念 .....	(77)
3.2.1 迹线与流线 .....	(77)
3.2.2 流管、元流和总流 .....	(79)
3.2.3 过流断面、流量和断面平均流速 .....	(80)
3.2.4 系统和控制体 .....	(81)
3.3 流体运动的分类 .....	(82)
3.3.1 一维、二维和三维流动 .....	(82)
3.3.2 恒定流与非恒定流 .....	(82)
3.3.3 均匀流与非均匀流 .....	(83)
3.3.4 渐变流与急变流 .....	(84)
3.3.5 有压流、无压流和射流 .....	(85)
3.4 流体运动的连续性方程 .....	(85)
3.4.1 总流的连续性方程 .....	(85)
3.4.2 三维流动的连续性方程 .....	(87)
3.5 流体微团的运动形式 .....	(89)
3.5.1 线变形速度 .....	(91)
3.5.2 角变形速度 .....	(91)
3.5.3 旋转角速度 .....	(92)
3.5.4 流体微团运动的合成 .....	(93)
3.6 有势流动和有涡流动 .....	(94)
3.6.1 有势流动 .....	(95)
3.6.2 有涡流动及其涡量 .....	(95)
【本章小结】 .....	(99)
【思考题】 .....	(100)
【习题】 .....	(101)
第4章 流体动力学基础 .....	(104)
【要点提示】 .....	(104)
4.1 流体的运动微分方程 .....	(105)

4.1.1	理想流体的运动微分方程——欧拉方程 .....	(105)
4.1.2	黏性流体的运动微分方程——纳维-斯托克斯(N-S)方程 .....	(107)
4.2	理想流体运动微分方程的伯努利积分 .....	(110)
4.2.1	伯努利积分 .....	(110)
4.2.2	重力场中理想流体元流的伯努利方程 .....	(112)
4.3	实际流体的伯努利方程 .....	(116)
4.3.1	元流的伯努利方程 .....	(116)
4.3.2	总流的伯努利方程 .....	(117)
4.3.3	总流的伯努利方程应用的扩展 .....	(130)
4.4	实际流体恒定总流的动量方程 .....	(137)
4.4.1	恒定总流的动量方程 .....	(137)
4.4.2	动量方程的应用 .....	(139)
4.4.3	恒定总流动量方程的应用条件和应用方法 .....	(143)
4.5	恒定平面势流 .....	(144)
4.5.1	恒定平面势流的流速势函数与流函数 .....	(144)
4.5.2	基本的简单的平面势流及其叠加原理 .....	(152)
【本章小结】	.....	(159)
【思考题】	.....	(160)
【习题】	.....	(162)
第 5 章	流动形态、水流阻力和水头损失 .....	(171)
【要点提示】	.....	(171)
5.1	流动阻力和水头损失的分类 .....	(171)
5.1.1	流动阻力和水头损失的分类 .....	(171)
5.1.2	水头损失的一般表达式 .....	(172)
5.2	黏性流体的两种流动形态——层流与紊流(湍流) .....	(174)
5.2.1	两种不同的流态——雷诺实验 .....	(174)
5.2.2	沿程水头损失与断面平均流速的关系 .....	(175)
5.2.3	两种流态的判别——雷诺数 $Re$ .....	(176)
5.3	沿程水头损失与切应力的关系 .....	(179)
5.3.1	均匀流基本方程 .....	(179)
5.3.2	圆管过流断面上切应力分布 .....	(181)
5.3.3	摩阻流速 .....	(181)
5.4	圆管中的层流流动 .....	(182)
5.4.1	断面流速分布 .....	(182)
5.4.2	沿程水头损失的计算 .....	(184)
5.5	紊流运动的基本概念 .....	(186)

5.5.1	紊流的基本特征	(186)
5.5.2	紊流中物理量的表示方法——紊流运动的时均化	(188)
5.5.3	紊流的切应力	(191)
5.5.4	黏性底层	(196)
5.6	紊流的沿程水头损失	(199)
5.6.1	尼古拉兹实验	(199)
5.6.2	流速分布	(202)
5.6.3	沿程阻力系数 $\lambda$ 的半经验公式	(205)
5.6.4	阻力分区的判别标准	(205)
5.6.5	实用管道和柯列勃洛克公式	(206)
5.6.6	紊流沿程阻力系数的经验公式	(210)
5.6.7	非圆管的沿程水头损失	(214)
5.7	局部水头损失	(218)
5.7.1	局部水头损失产生的原因	(218)
5.7.2	局部阻力系数的影响因素	(220)
5.7.3	常用的局部阻力系数	(220)
5.7.4	局部阻力之间的相互干扰	(226)
5.8	边界层的基本概念和物体的绕流阻力	(228)
5.8.1	边界层的基本概念	(228)
5.8.2	曲面边界层的分离现象和压差阻力	(230)
5.8.3	绕流阻力	(235)
	【本章小结】	(241)
	【思考题】	(243)
	【习题】	(243)
第6章	孔口、管嘴出流和有压管流	(248)
	【要点提示】	(248)
6.1	孔口出流	(249)
6.1.1	薄壁小孔口恒定出流	(249)
6.1.2	大孔口出流	(251)
6.1.3	孔口非恒定出流	(252)
6.2	管嘴出流	(254)
6.2.1	圆柱形外管嘴恒定出流	(255)
6.2.2	圆柱形管嘴内收缩断面处的真空	(256)
6.2.3	圆柱形外管嘴的正常工作条件	(257)
6.2.4	其他形状常用管嘴的出流	(257)
6.3	有压管道恒定流动	(258)



6.3.1 有压管道的分类 .....	(258)
6.3.2 短管的水力计算 .....	(259)
6.3.3 长管的水力计算 .....	(267)
6.4 有压管道中的水击 .....	(285)
6.4.1 水击现象 .....	(285)
6.4.2 水击压强的计算 .....	(289)
6.4.3 水击波的传播速度 .....	(290)
6.4.4 预防水击危害的措施 .....	(292)
6.5 离心泵的工作原理及其选用 .....	(292)
6.5.1 离心泵的工作原理 .....	(293)
6.5.2 离心泵的工作性能曲线 .....	(294)
6.5.3 管道的特性曲线 .....	(297)
6.5.4 泵工作点的确定及泵的选用 .....	(298)
【本章小结】 .....	(301)
【思考题】 .....	(304)
【习题】 .....	(305)
第7章 明渠恒定流动 .....	(314)
【要点提示】 .....	(314)
7.1 明渠流动的水流特点和明渠流动的分类 .....	(314)
7.1.1 明渠流动的水流特点 .....	(314)
7.1.2 明渠槽身的形式和明渠流形的分类 .....	(316)
7.2 明渠恒定均匀流 .....	(318)
7.2.1 明渠均匀流的特征及其形成条件 .....	(318)
7.2.2 明渠均匀流基本公式 .....	(319)
7.2.3 明渠均匀流的水力计算 .....	(320)
7.2.4 明渠均匀流水力计算中的允许流速、水力最优断面及其他问题 .....	(325)
7.2.5 无压圆管均匀流 .....	(332)
7.3 明渠水流的两种流动形态 .....	(337)
7.3.1 明渠恒定非均匀流动的特性 .....	(337)
7.3.2 缓流和急流 .....	(338)
7.3.3 微幅干扰波的波速和弗劳德数 .....	(339)
7.3.4 断面单位能量和临界水深 .....	(342)
7.3.5 临界底坡 .....	(345)
7.4 明渠水流两种流态的转换——水跃和水跌 .....	(348)
7.4.1 水跃——急流到缓流的过渡 .....	(348)
7.4.2 水跌——缓流到急流的过渡 .....	(359)

7.5	明渠恒定非均匀渐变流基本方程 .....	(361)
7.6	棱柱形明渠恒定非均匀渐变流水面曲线分析 .....	(363)
7.6.1	棱柱形明渠非均匀渐变流水深沿程变化的微分方程 .....	(363)
7.6.2	棱柱形明渠渐变流水面曲线形式 .....	(364)
7.6.3	水面线分析的一般原则 .....	(369)
7.6.4	水面线分析举例 .....	(371)
7.7	明渠恒定非均匀渐变流水面线的计算 .....	(373)
7.7.1	人工明渠水面曲线的计算 .....	(374)
7.7.2	天然河道水面曲线的计算 .....	(378)
附录 I	梯形、矩形断面明槽正常水深求解图 .....	(381)
附录 II	梯形、矩形、圆形断面明槽临界水深求解图 .....	(382)
【本章小结】	.....	(383)
【思考题】	.....	(386)
【习题】	.....	(388)
第 8 章	堰流 .....	(392)
【要点提示】	.....	(392)
8.1	堰流的水流特点 .....	(392)
8.2	堰和堰流的分类 .....	(393)
8.3	堰流的基本公式 .....	(395)
8.4	薄壁堰流 .....	(397)
8.4.1	矩形薄壁堰流 .....	(397)
8.4.2	三角形薄壁堰流 .....	(401)
8.4.3	梯形薄壁堰流 .....	(402)
8.5	实用堰流 .....	(403)
8.5.1	实用堰的分类 .....	(403)
8.5.2	计算公式 .....	(405)
8.5.3	影响实用堰流过流能力的因素分析简介 .....	(405)
8.5.4	侧收缩的影响 .....	(407)
8.5.5	淹没的影响 .....	(408)
8.6	宽顶堰流 .....	(410)
8.6.1	宽顶堰流的流动特点 .....	(410)
8.6.2	计算公式与流量系数 .....	(410)
8.6.3	侧收缩的影响 .....	(411)
8.6.4	淹没的影响 .....	(412)
8.6.5	无坎宽顶堰流 .....	(414)
【本章小节】	.....	(415)