

工程流体力学

ENGINEERING FLUID MECHANICS

主编 陈长植

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

主审 马吉明

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)

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学/陈长植 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年4月
ISBN 978-7-5609-4372-5

I.工… II.陈… III.工程力学:流体力学 IV.TB126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 202233 号

工程流体力学

陈长植 主编

责任编辑:蒋玉霞
责任校对:朱霞

封面设计:张璐
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:龙文排版工作室
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1065mm 1/16 印张:31.75 字数:620 000
版次:2008年4月第1版 印次:2008年4月第1次印刷 定价:58.00元
ISBN 978-7-5609-4372-5/TB·99

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

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的对象、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。

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,有针对性地对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 曲面上的静水总压力 | (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 λ 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) |

| | |
|-----------------------------|-------|
| 【思考题】 | (417) |
| 【习题】 | (417) |
| 第 9 章 渗流 | (420) |
| 【要点提示】 | (420) |
| 9.1 孔隙介质和渗流模型 | (420) |
| 9.1.1 土壤的渗透特性及土壤的分类 | (420) |
| 9.1.2 水在土壤中的状态 | (421) |
| 9.1.3 渗流的简化模型 | (422) |
| 9.2 渗流的达西定律 | (423) |
| 9.2.1 达西定律 | (423) |
| 9.2.2 达西定律的适用范围 | (424) |
| 9.2.3 渗透系数及其确定方法 | (425) |
| 9.3 恒定的无压渗流 | (428) |
| 9.3.1 无压均匀渗流 | (428) |
| 9.3.2 无压渐变渗流的裘皮幼公式 | (429) |
| 9.3.3 无压渐变渗流的浸润线 | (430) |
| 9.4 井的渗流 | (434) |
| 9.4.1 完全普通井(完全潜水井) | (435) |
| 9.4.2 完全自流井(完全承压井) | (437) |
| 9.4.3 井群 | (438) |
| 【本章小结】 | (443) |
| 【思考题】 | (445) |
| 【习题】 | (445) |
| 第 10 章 量纲分析和相似原理 | (450) |
| 【要点提示】 | (450) |
| 10.1 量纲和谐原理 | (450) |
| 10.1.1 量纲分析的概念 | (450) |
| 10.1.2 无量纲量 | (453) |
| 10.1.3 量纲和谐原理 | (454) |
| 10.2 量纲分析法 | (456) |
| 10.2.1 瑞利法 | (457) |
| 10.2.2 π 定理 | (459) |
| 10.2.3 量纲分析法的主要用途和局限性 | (464) |
| 10.3 相似理论基础 | (465) |
| 10.3.1 相似概念 | (465) |
| 10.3.2 相似准则 | (467) |

| | |
|---------------------|-------|
| 10.4 模型实验 | (472) |
| 10.4.1 模型律的选择 | (473) |
| 10.4.2 模型设计 | (474) |
| 【本章小结】 | (477) |
| 【思考题】 | (479) |
| 【习题】 | (480) |
| 习题答案 | (483) |
| 参考文献 | (494) |

第 1 章 绪 论

【要点提示】

本章是工程流体力学的开篇。概述了有关流体力学研究对象、性质、任务及其发展简史。介绍了流体力学的基本概念,主要有流体的流动性、流体质点、连续介质模型。研讨了流体的主要物理力学性质(尤其是黏性)以及作用于流体上的力。以上内容是建立流体力学系统理论的基础。

1.1 流体力学的性质、任务及其发展简史

1.1.1 流体力学的定义、性质和任务

流体力学是介于基础科学和工程技术之间,起着承上启下作用的一门技术基础科学。它一方面根据基础科学中的普遍规律、基本理论,结合流体的特点,建立自身的理论基础,同时又紧密结合工程实际发展自身的学科内容。

流体力学是力学的一个分支,是研究流体的平衡和宏观机械运动规律及其在工程实际中应用的一门学科。流体力学的研究对象是流体,包括分别以水和空气为代表的液体和气体。

流体作为物质的一种基本形态,它同其他任何一种物质一样,必须遵循自然界中一切物质运动所必须遵守的普遍规律,如质量守恒(物质不灭)定律、能量转换与守恒定律、动量原理和牛顿力学定律等有关物体宏观机械运动的一般规律。因此,流体力学中所研究的基本定理其实质都是自然界中这些普遍规律在流体力学中的具体体现和应用。

必须强调,流体力学研究的是流体机械运动的“宏观”规律。流体作为一种物质,它和自然界中其他物质一样都是由分子组成的,无论流体宏观处于何种状态,其分子本身都在做永不停息的、无规则的运动,且分子之间还存在相互作用力等,这些都属于微观范畴且不是流体力学所研究的范围。从刚开始学习流体力学的时候起就必须牢固地树立这一观念,随着今后学习的不断深入,会逐步认识到在研究流体宏观机械运动规律时,没有必要而且也不可能研究其组成的每一个分子的运动规律。

流体力学广泛适用于土木工程各个领域。例如建筑工程、地下建筑、公路、铁路、桥梁等交通、土建工程,基坑排水、地基抗渗稳定处理、围堰修建、桥渡设计等。尤其在给排水工程中,取水、水处理、输配水等都是在水流动过程中实现的。流体力学

理论是给排水系统设计和运行控制的理论基础,在建筑环境与设备工程中,供热、通风与空调设计以及设备选用等都离不开流体力学。

流体力学不仅用于解决土木工程中的水和气的问题,更能帮助工程技术人员进一步认识土木工程与大气和水环境的关系。大气和水环境对建筑物的作用是长期的、多方面的。例如台风、洪水可直接摧毁房屋、桥梁、堤坝等并造成巨大的自然灾害。另一方面,兴建大型工程、厂矿、公路和铁路、桥梁和隧道、江海堤防、水坝等也会对大气和水环境造成不利影响,导致生态环境恶化,甚至加重灾害。只有处理好土木工程与大气和水环境的关系,做到减轻灾害,保护环境,才能实现国民经济的可持续发展。

流体力学作为一门技术基础学科并非局限于土木工程领域,而是在国民经济几乎所有的工程技术部门、工业生产部门中都有着广泛的应用,如水利、电力建设、农田排灌、水资源开发利用、金属冶炼、化工流程、石油开采、流体输送、船舶航运、航空航天工程、交通运输、环境保护和液压传动等。而且随着国民经济建设的不断发展,科技的不断进步以及人类生存和生活环境需求的不断提高,必然会出现一些新的领域和部门,提出大量新的与流体力学有关的、需要解决的问题。同时,也必然会出现流体力学与其他学科相互渗透、结合而派生出一些新的分支学科,如计算流体力学、随机流体力学、环境流体力学等新学科。但是各个不同部门的流体种类可能不同,流动的外界条件也有差异,这些都会影响流体运动规律的变化,因此,各不同部门应用流体力学解决生产实际中的问题时,都会有其特殊要求及不同侧重的研究任务。

流体力学在土木工程建设中的主要任务是研究流体与边界(约束流体流动的固体边壁,如输水隧洞或管道的边壁及河床等)的相互作用,分析研究在各种相互作用条件下所形成的各种水(气)流现象以及在边界上所受的各种力的作用。为土木工程的勘测、规划、设计、施工以及建成后的运行管理等提供流体力学方面可靠的科学依据。

1.1.2 流体力学的发展简史

流体力学的发展同其他自然科学一样,既依赖于长期生产实践和科学实验,又受科技的发展和社会等因素的影响与制约。

流体是以水为代表的液体和以空气为代表的气体的总称。研究流体力学的发展,首先要从人类对以水为代表的液体运动规律的认识开始。更确切地说,人类对流体运动规律的认识是从水开始的。人类为了生存,首先要与自然界的洪水作斗争。人类就是在不断与洪水抗争,除水患、兴水利,发展农业和水上运输的长期实践中,逐步积累和加深了对水流运动规律的认识。在我国,可以追溯到远古时代。距今大约4 000年前,在原始公社制末期部落社会中就有大禹治水的传说。大禹采用以疏导为主的治水方针,带领群众“疏九河,凿龙门”,“高高下下,疏川导滞”为民除患兴利。这

表明我国远古时代就已进行过大规模的治水工程。人们通过与洪涝灾害斗争的长期实践,总结、认识到治水必须“顺水之性”。

秦代(前256—前210年)修建了著名的都江堰、郑国渠和灵渠三大水利工程,至今已有2000多年历史,说明当时对水流运动规律的认识,尤其对明渠水流和堰流的认识都已达到相当高的水平。如位于四川成都平原西部灌县境内岷江干流上的都江堰工程,在规划、设计、施工等方面都具有科学性和创造性,并具有灌溉、分洪和航运的综合功能,至今仍在发挥作用。

早在春秋时代就开始开凿兴建,最后由隋朝完成,又经元朝裁弯取直最终形成的京杭大运河,流经京、津、冀、鲁、江、浙6省市,纵贯南北11个纬度,贯通了海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系,全长1794 km,“自是天下利于转输”,“运漕商旅,来往不绝”。它不仅是我国而且也是世界上最长的人工运河,举世闻名,享有与万里长城相同的盛誉。

东汉初年(约公元31年)杜诗制造的“水排”,利用山溪水流带动鼓风机转动,鼓风炼铁。不仅对冶金工业技术的发展有重大意义,而且其水力装置原理也是近代水轮机的先驱。古代的铜壶滴漏,正是利用孔口出流的原理制成的古代计时工具,说明当时对孔口出流已有相当的认识。又如现存于世的古桥,皆因“顺水之性”,跨江河逾千年而不毁,其中隋朝工匠李春在今河北省中部洺河上建造(605—618年)的古石拱桥——赵州桥(又称安济桥),迄今已有1400年的历史,依然完好。北宋时期,在运河上修建的真州复闸,与14世纪末在荷兰出现的同类船闸相比早了约三百多年。这些名垂千古的伟大工程,是人类文明史上的光辉业绩。

宋、元以来,随着堤防、抢险、堵口、分洪、导流等治水技术的不断改善,治河的理论水平也有所提高。如明朝的潘季驯提出了“筑堤束水,以水攻沙”和“借清刷黄”的正确治水方针。关于水力计算,清初雍正年间的何梦瑶在其著作《算迪》一书中提出了流量为过水断面上的平均流速乘以过水断面积的计算方法。这些都是流体力学的珍贵历史资料。

14世纪以前,我国科学技术在世界上是处于领先地位的。但是,由于封建制度的长期统治,生产关系阻碍了生产力的发展,因而也阻碍了我国科学技术的正常发展,致使我国古代人们对水流运动的规律虽有不少卓越的认识和见解,并已将其应用于水利工程建设,但大多只是停留在定性的概括阶段,还没有形成严密系统的科学理论。流体力学形成自身完整的系统理论并成为一门独立的学科,是于公元17世纪末至18世纪中叶由欧洲人完成的。这个时期,作为近代自然科学基础的经典力学已经相当成熟,为流体力学的建立奠定了理论基础。另外,从15世纪下半叶开始的欧洲文艺复兴运动使欧洲开始由封建社会进入资本主义社会。在这人类伟大的历史变革时期,生产关系发生了根本改变并有力促进了生产力的发展,从而使科学技术以神奇的速度发展起来。欧洲资本主义工商业的崛起以及航海、造船、水利和城市建设等新