

高等学校教材

工程流体力学

(第3版)

陈卓如 王洪杰 刘全忠 蔡伟华 编
陈卓如 主编

高等学校教材

工程流体力学

(第3版)

陈卓如 王洪杰 刘全忠 蔡伟华 编
陈卓如 主编

内容简介

本书是1992年出版的《工程流体力学》一书的第3版,第1版于1995年获国家教委优秀教材一等奖。本书注重基础理论,注意理论联系实际,力求培养学生运用基本理论分析和解决问题的能力。

全书共分15章,包括绪论、流体静力学、流体运动学、理想流体动力学基础、旋涡理论基础、粘性流体动力学、理想流体平面势流、流动相似原理基础、流体运动阻力与损失、管路的水力计算、粘性流体绕物体流动、可压缩流体的一维流动、可压缩流体的平面流动、流体要素测量、计算流体力学基础等,每章后均有较多例题和习题供选用。

本书各章节内容既相互联系,又相对独立,适当取舍组合,可以用作能源动力类、机械类专业本科生教材,也可供建筑环境与能源应用工程、环境工程、化学工程、土木工程、水利工程、船舶与海洋工程等相关专业本科生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学/陈卓如主编;陈卓如等编. —3版.

—北京:高等教育出版社,2013.12

ISBN 978-7-04-038946-3

I. ①工… II. ①陈… III. ①工程力学-流体力学
-高等学校-教材 IV. ①TB126

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第277046号

策划编辑 周 婷

责任编辑 周 婷

封面设计 李小璐

版式设计 于 婕

插图绘制 黄建英

责任校对 胡晓琪

责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印 刷 北京明月印务有限责任公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 34

字 数 640千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 1992年9月第1版

2013年12月第3版

印 次 2013年12月第1次印刷

定 价 49.00元

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 38946-00

第3版前言

本书自1992年出版以来,得到了有关院校和水力学及流体力学课程教学指导小组专家们支持和肯定,2004年第一次修订再版,本次是第二次修订。

本次修订仍保持了原书的体系特色,即从建立反映流体运动基本规律的纳维-斯托克斯方程等基本方程出发,讲述该运动方程在多种限制条件下的求解应用,导出流体力学的诸多基本公式。这一体系可使学生在流体力学的学习中,逐渐加深对基本方程的理解和应用;加强了理论基础,有利于学生分析和解决流体力学问题能力的培养。这一体系得到了有关院校多年的教学实践的肯定。

本次修订主要在下述方面作了增删:

1. 鉴于数值计算在流体力学工程应用中的发展和需要,新增了“计算流体力学基础”一章,以为相关专业学生打下相应的基础;

2. 为适应某些专业对叶片式机械相关教学内容的需要,增写了§7-12“叶栅中的库塔-茹科夫斯基升力公式”一节,并对原第6章和第7章顺序做了对调,使内容衔接编排更合理;

3. 由于在相关流体系统和元件中涉及弯管中流体流动的力学本质及其计算应用十分普遍,因此增写了弯管中速度和压强变化等相关内容,并对流体流经弯管的流体力学机理及局部损失原因作了更详尽的分析阐述;

4. 对第10章“管路的水力计算”章节进行了改写,删除了管路计算中的计算机应用内容;

5. 为更直观地分析有压管路水击时水击波在管路中的传播过程,改绘了水击波传播过程的图示;

6. 鉴于卡门涡街脱落的力学现象常在一些工程中引起严重后果,因而对脱落时柱体的受力与引起振动的力学机理作了较深入的分析;

7. 第14章“流体要素测量”中增加了薄壁堰流量计和转子流量计的内容。

此外,还按国家公布的《力学名词》(1993)、《量和单位》(1993)标准对某些量、单位、名词术语、符号表及外国人名进行了修订;对个别例题、习题作了适当增删改写;对个别图进行了改绘;对个别有误之处进行了订正;根据需

要,部分表格中增列了一些工程计算中常用的数据。修订中还一如既往地保持了原书重视物理力学概念和现象的表述,并注意叙述的严谨和准确。

本教材按照《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》编写,可以作为能源动力类、机械类、建筑环境与能源应用工程、环境工程、化学工程、土木工程、水利工程、船舶与海洋工程等相关专业的本科流体力学教材。全书各章节间既相互联系,又相对独立,各校授课教师可以根据本校特点和相应专业需要选取教学内容。其中绪论、流体静力学、流体运动学、理想流体动力学基础、粘性流体动力学、流动相似原理基础、流体运动阻力与损失、管路的水力计算等章内容适合机械类专业选用,而能源动力类专业可以选用本书的全部内容,其他类专业可根据专业特点适当选取教学内容。

第3版修订分工为:陈卓如修订第4、5、6、7、8、11、13、14章;王洪杰修订第1、2、3、9章及全部例题和习题;刘全忠修订第10、12章;蔡伟华增写第15章。全书由陈卓如主编定稿。

修订稿由刘鹤年教授审阅,他对书稿提出了许多宝贵的修改意见和建议,使书稿质量得到了提高。哈尔滨工业大学流体力学教研室对本次修订给予了热情的支持和帮助,部分研究生协助完成了部分书稿的整理和绘图工作,在此一并表示深切的感谢。

限于作者水平,书中难免存在不足之处,恳望读者指正。

编 者

2013年6月

第2版前言

本书自1992年出版以来,得到了有关院校和水力学、流体力学课程教学指导组专家们的支持和肯定,1995年获得了国家教委第三届优秀教材一等奖。

本次修订面临21世纪教育改革,正值高等学校专业调整,要求拓宽专业、加强基础,对培养高素质人才提出了新的要求,因此,第2版按照课程教学组新编制的高等工业学校机械、能源动力类工程流体力学课程教学基本要求进行。修订中保持了原书的体系特色,即从推导普遍适用的纳维-斯托克斯方程等基本方程出发,讲述该运动方程在多种特殊限制条件下的求解应用,导出流体力学的基本公式,力求加强理论基础,培养学生分析解决问题的能力。这一体系受到了有关院校的欢迎。

修订中注意删除了一些陈旧重复的内容,对某些章节进行了合并和改写。比如删除了§2-5节,将中学已学过的帕斯卡定律删去,并将液体测压计原理部分内容归入新增加的“流体要素测量”一章中;删去了§2-9节,将其浮体的阿基米德原理作为压力体内容的延伸;将原书§3-2和§3-3节合并为一节;将§4-4节删除,并对其余节中的部分内容作了改写,使表述更为准确;将§6-3和§6-4节合并,对原书§6-8绕圆球流动进行了改写,并对圆柱绕流中的马格努斯效应和绕翼型的平顺绕流假设等力学现象作了更为直观的解说;第9章中增加了一些常用的管路局部阻力,并列表予以表示;将第10章管路水力计算的§10-1~§10-7节合并,其中短管的水力计算和简单长管的水力计算合并改写为等径无分支管路的水力计算,对枝状管路和网状管路的水力计算重写,对计算机在管路水力计算中的应用采用了更为通用的高级语言;增写了第14章流体要素测量,既讲述了压强、流速、流量测量的基本原理,同时介绍了在工程实际和研究中常用的一些近代量测技术。为了增强学生应用流体力学基本理论分析解决问题的能力,修订中还适量增加了例题和习题,使教师和学生有更多选用的余地。

本次修订中按照国家标准对全书的名词术语和符号单位作了修正。在保持原书中重视物理力学概念表述的同时,还注意了文字叙述的严谨和准确,对文字和内容作了进一步斟酌和润色,力图以此对学生产生潜移默化的影响。

全书各章节间既相互联系,又相对独立,因此各校授课教师可以根据学校

特点和相应专业需要选取教学内容。其中绪论、流体静力学、流体运动学、理想流体动力学基础、粘性流体动力学、流体运动阻力与损失、管路的水力计算、流动相似原理基础、可压缩流体的一元流动等章内容适合机械类专业选用，并可适当选用流体要素测量的部分内容，而能源动力类专业可以选用本书的全部内容。

第2版分工如下：陈卓如修订第4、5、6、7、8、11、13、14章；金朝铭修订第1、3、9、12章和第10章的§10-1、§10-2、§10-4；王成敏修订第2章；王洪杰修订全部例题和习题，以及第10章的§10-3。全书由陈卓如主编定稿。

本书的修订，得到了高等学校工科水力学、流体力学课程教学指导组的悉心关怀和指导，兄弟院校在原书使用过程中也曾提出了不少有益的意见和建议，哈尔滨工业大学流体力学教研室对本书的修订给予了热情的支持和帮助，谨在此向他们表示深切的谢意。修订稿由上海交通大学刘桦教授审阅，提出了许多宝贵的修改意见，谨在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免存在不足和谬误之处，恳望读者和专家们指正。

编 者

2003年3月

第 1 版前言

工程流体力学是动力类各专业及相近有关专业的一门重要技术基础课,它为该类专业主要专业课程的学习打下必要的理论基础。

本书按照高等工业学校工程流体力学课程教学基本要求编写,是动力类各专业的教材,课程时数为 80 学时左右。本书也可作为机械工程类、仪器类等有关专业的参考书。

工程流体力学内容十分广泛,即使同一课程基本要求也可以有不同的讲授体系。在本书编写中,除注重加强理论基础外,注重联系工程实际。从推导普遍适用的纳维-斯托克斯方程等基本方程出发,讲述普遍运动方程在各种特殊限制条件下的求解应用,导出其他公式,力求系统地讲述流体运动的基本规律,使学生了解工程上处理流体力学问题的方法,并在推导过程中注意阐明其物理意义和应用条件。这样做既利于学生系统地学习基本理论,又利于培养学生运用基本理论分析和解决实际问题的能力。这样的讲授体系安排还避免了一些不必要的重复。

本书由陈卓如编写第 4、5、6、7、8、11、13 章和第 13 章习题及部分例题;金朝铭编写第 1、3、9、10 和 12 章,其中第 10 章 § 10-8 由包钢和王洪杰编写;王成敏编写第 2 章;包钢编写除第 13 章习题外的全部习题和大部分例题。全书由陈卓如主编。

山东工业大学孔珑教授审阅了全部书稿,对书稿提出了很多宝贵的修改意见,使书稿的质量得以提高。在本书编写过程中,哈尔滨工业大学流体力学教研室的同志们曾给予了热情的支持和帮助,在此一并表示深切的谢忱。限于作者水平,书中难免存在错误和不足之处,恳望读者指正。

编 者

1991 年 11 月

符号表

A	面积	D	直径
A_c	收缩断面面积	d	直径
dA	微元面积		相对密度
	气体对外作功	d_e	当量直径
a	加速度	E	材料弹性模量
	椭圆长半轴		恩氏粘度
	矩形长度		内能
	等边三角形边长		电压
B	磁感应强度	Eu	欧拉数
b	宽度	e	比内能
	椭圆短半轴		单位重力流体的总机械能
	矩形宽度		舍入误差
C	常数		偏心量
	流量计常数	de	气体内能增量
C_0	孔口流量因数	F	力
C_D	绕流阻力因数	F_D	绕流阻力
C_e	入口段效应流量修正因数	F_b	浮力
C_f	摩擦阻力因数	F_f	摩擦力
ΔC_f	摩擦阻力因数之差	ΔF_f	摩擦阻力之差
C_{fL}	层流边界层摩擦阻力因数	F_p	总压力
C_{fT}	紊流边界层摩擦阻力因数	F_{px}	总压力的水平分量
C_n	管嘴流量因数	F_{pz}	总压力的垂直分量
C_p	无量纲压强因数	F_Q	质量力
Cr	柯朗数	F_{Qx}, F_{Qy}, F_{Qz}	质量力坐标方向分量
c	声速	F_r	弗劳德数
	水击波传播速度	$\overline{F}_p$	作用力的共轭
	相似比例常数	f	单位质量力
c_0	滞止声速		变量
c_v	比定容热容	f_d	多普勒频移
c_{cr}	临界声速	f_R, f_{θ}, f_z	单位质量力的柱坐标分量
c_p	比定压热容	$f_R, f_{\theta}, f_{\phi}$	单位质量力的球坐标分量

II 符号表

f_k	卡门涡脱体频率	Ne	牛顿数
f_x, f_y, f_z	单位质量力的坐标分量	n	转数
$f(x, y, z)$	坐标的函数		指数
G	重力		时间轴第 n 个网格点
g	重力加速度	P	功率
H	焓		压力函数
	总能量	p	压强
H_0	滞止焓		动量
h	高度	p_0	滞止压强
	比焓	p_v	汽化压强、真空度
h_w	单位重力流体能量损失	p_a	大气压强
h_v	真空度	p_{cr}	临界压强
h_f	沿程水头损失	p_m	计示压强
h_z	局部水头损失	p_x, p_y, p_z	压强的坐标分量
I	电流	p_{xx}, p_{yy}, p_{zz}	法向压强
	x 方向总网格点数	p_∞	无穷远处压强
I_x, I_{Cx}	惯性矩	$\bar{p}$	时间平均压强
I_{xy}	惯性积	p'	脉动压强
i	x 方向第 i 个网格点	$\Delta p'$	入口起始段压强损失
J	旋涡强度	q	流量
	y 方向总网格点数	dq	传输给气体的热量
j	y 方向第 j 个网格点	q_m	质量流量
K	体积模量	q_v	体积流量
	流量模数	q_{cr}	临界流量
	z 方向总网格点数	R	气体状态常数
k	z 方向第 k 个网格点		内径
L	长度		水力半径
	动量矩		电阻
l	长度	$\Re$	谐波分量振幅
	混合长度	$\mathbb{R}$	余量
M	偶极矩	Re	雷诺数
	作用力矩	Re_{cr}	下临界雷诺数
Ma	马赫数	Re'_{cr}	上临界雷诺数
M_{cr}	无量纲速度	$Re_{x_{cr}}$	边界层由层流变为紊流的临界雷诺数
m	质量		紊流的临界雷诺数
m_0	流量因数	r	半径
N	基函数	r, θ, z	柱坐标系坐标分量
	时间轴总网格点数	r, θ, φ	球坐标系坐标分量

s	距离 单位质量流体的熵	x, y, z	笛卡儿坐标分量
Sr	施特鲁哈尔数	x_D, y_D	压力中心的坐标分量
T	温度 时间 水击波的周期	x_T	转折截面至射流极点的距离
T_0	滞止温度	Y	y 方向总长度
T_{cr}	临界温度	Y_c	形心的坐标分量
t	温度 时间	Z	z 方向总长度
t_0	水击波的波相	z	复数变量
t_k	闸门关闭时间	α	角度
U	力的势函数		体胀系数
u, v, w	相对运动速度分量		冲角
V	断面平均速度 体积 压力体体积	α_0	动能修正因数
V_{cr}	临界速度	β	扩散系数
V^*	边界层外势流区中速度		动量修正因数
V_∞	无穷远流速度		角度
$\overline{V}$	复速度, 共轭速度	Γ	激波角
v	流速 比体积	γ	速度环量
v_m	射流截面轴心线上速度		角变形速度
v_x, v_y, v_z	速度的坐标分量	$\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$	比热容比
v_r, v_θ, v_z	柱坐标系的速度分量	Δ	角变形速度分量
v_r, v_θ, v_φ	球坐标系的速度分量	$\overline{\Delta}$	绝对粗糙度
v_∞	无穷远流速度	δ	增量
$\overline{v}$	时间平均速度		相对粗糙度
v'	脉动速度		边界层厚度
v'_x, v'_y	脉动速度的坐标分量	δ^*	粘性底层厚度
$\overline{v'}$	脉动速度的时均值	δ^{**}	折转角
$\overline{v_*}$	剪切速度、切应力速度	ε	位移厚度, 排挤厚度
W	权函数		动量损失厚度
$W(z)$	复位势函数	ζ	相对偏心率
w_f	单位质量流体摩擦阻力做功		孔口断面收缩因数
X	x 方向总长度	η	局部损失因数
X_{ci}	边界层长度	θ	数值误差
			效率
		κ	角度
			射流极角, 射流扩散度
		λ	压缩率
			等熵指数
			粘温指数
			沿程损失因数
			激光波长

IV 符号表

λ_p	压强损失因数	$\sigma'_{xx}, \sigma'_{yy}, \sigma'_{zz}$	附加法向应力
λ'_p	入口段压强损失因数	τ	切应力
μ	马赫角	τ'	紊流附加切应力
	动力粘度	Φ	热线散失的热流量
	流量因数	φ	速度势函数
ν	运动粘度		角度
ξ_e	附加压强损失因数	χ	湿周
ξ'_e	入口段效应附加压强损失因数	ψ	流函数
π	圆周率	Ω	平面有界矩形域
	π 定理	ω	角速度
ρ	密度	$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	角速度的坐标分量
ρ_0	滞止密度	ζ	离散误差
ρ_{cr}	临界密度	∞	无穷远, 无穷大
σ	应力	∇	哈密顿算子
	表面张力系数	∇^2	拉普拉斯算子

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进行严厉打击。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 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目录

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 流体力学研究的内容和方法	1
§ 1-2 流体力学发展简史	2
§ 1-3 流体的连续介质模型	6
§ 1-4 作用在流体上的力	7
§ 1-5 流体的主要物理性质	9
§ 1-6 表面张力和毛细现象	20
例题	22
习题	24
第 2 章 流体静力学	27
§ 2-1 流体静压强及其特性	27
§ 2-2 流体平衡微分方程式、力函数、等压面	29
§ 2-3 重力作用下流体平衡基本方程式	33
§ 2-4 流体中压强的表示方法、平衡基本方程式的物理意义	36
§ 2-5 重力和其他质量力同时作用下流体的平衡	39
§ 2-6 静止流体对平面壁的作用力	43
§ 2-7 静止流体对曲面壁的作用力、压力体	46
例题	50
习题	58
第 3 章 流体运动学	70
§ 3-1 研究流体运动的两种方法	70
§ 3-2 关于流体运动的一些基本概念	73
§ 3-3 连续性方程	80
§ 3-4 流体微元的运动分析	85
§ 3-5 有旋运动和无旋运动	90

例题	91
习题	94
第 4 章 理想流体动力学基础	99
§ 4-1 理想流体运动微分方程式	99
§ 4-2 运动微分方程式的葛罗米柯-兰姆形式	101
§ 4-3 恒定有旋运动中沿流线的伯努利积分	103
§ 4-4 非恒定有势运动中的拉格朗日积分	105
§ 4-5 重力作用下的伯努利方程	106
§ 4-6 伯努利方程的意义	107
§ 4-7 相对运动中的伯努利方程	108
§ 4-8 非恒定有旋流动中的伯努利积分	110
例题	112
习题	116
第 5 章 旋涡理论基础	120
§ 5-1 涡线、涡管、涡束和旋涡强度	120
§ 5-2 速度环量、斯托克斯定理	121
§ 5-3 速度环量保持不变的汤姆孙定理	125
§ 5-4 涡管特性的亥姆霍兹三定理	127
§ 5-5 二维旋涡的速度和压强分布	129
例题	131
习题	132
第 6 章 粘性流体动力学	135
§ 6-1 粘性流体运动微分方程式	135
§ 6-2 粘性流体的葛罗米柯-斯托克斯方程	145
§ 6-3 葛罗米柯-斯托克斯方程的伯努利积分	146
§ 6-4 重力作用下实际流体微小流束伯努利方程式	147
§ 6-5 缓变流动及其特性	148
§ 6-6 动能和动量修正因数	149
§ 6-7 粘性流体恒定总流的伯努利方程	151
§ 6-8 动量方程	153
例题	157

习题	163
第 7 章 理想流体平面势流	168
§ 7-1 速度势和流函数	168
§ 7-2 几种简单的平面势流	174
§ 7-3 简单势流的叠加	178
§ 7-4 偶极流	180
§ 7-5 流体对圆柱体的无环量绕流	183
§ 7-6 流体对圆柱体的有环量绕流	188
§ 7-7 绕圆球流动	192
§ 7-8 复位势和复速度	197
§ 7-9 作用力与作用力矩的布拉休斯公式	200
§ 7-10 库塔-茹科夫斯基定理	203
§ 7-11 环量 Γ 的确定、翼型后缘无分离绕流的假设	205
§ 7-12 叶栅中的库塔-茹科夫斯基升力公式	207
例题	209
习题	214
第 8 章 流动相似原理基础	216
§ 8-1 流体力学相似条件	217
§ 8-2 粘性流体流动的力学相似准数	219
§ 8-3 决定性相似准数	222
§ 8-4 量纲分析方法	224
例题	228
习题	229
第 9 章 流体运动阻力与损失	232
§ 9-1 流动阻力的两种类型	232
§ 9-2 粘性流体的两种运动状态	233
§ 9-3 圆管中的层流运动	238
§ 9-4 间隙中的层流运动	243
§ 9-5 圆管中的紊流运动	248
§ 9-6 圆管内均匀紊流的沿程损失	259
§ 9-7 沿程损失因数的实验研究	264

§ 9-8 几种非圆形断面管中的流动	268
§ 9-9 局部阻力与损失计算	273
§ 9-10 薄壁小孔口恒定自由出流	282
§ 9-11 圆柱外伸管嘴恒定自由出流	286
例题	290
习题	293
第10章 管路的水力计算	301
§ 10-1 管路系统的分类	301
§ 10-2 简单管路的水力计算	302
§ 10-3 串、并联管路的水力计算	305
§ 10-4 均匀泄流的水力计算	307
§ 10-5 枝状管路的水力计算	309
§ 10-6 环状管网的水力计算	310
§ 10-7 有压管路中的水击	312
例题	318
习题	321
第11章 粘性流体绕物体流动	326
§ 11-1 边界层的概念	326
§ 11-2 边界层微分方程	328
§ 11-3 边界层动量积分关系式	332
§ 11-4 边界层的位移厚度和动量损失厚度	335
§ 11-5 平板层流边界层的近似计算	337
§ 11-6 平板紊流边界层的近似计算	339
§ 11-7 二维平板混合边界层近似计算	343
§ 11-8 曲面边界层及其分离	344
§ 11-9 不良流线型体的绕流、卡门涡和绕流阻力	348
§ 11-10 管道入口起始段	352
§ 11-11 小雷诺数平行流绕球体的阻力	356
§ 11-12 自由紊流射流	361
例题	366
习题	368