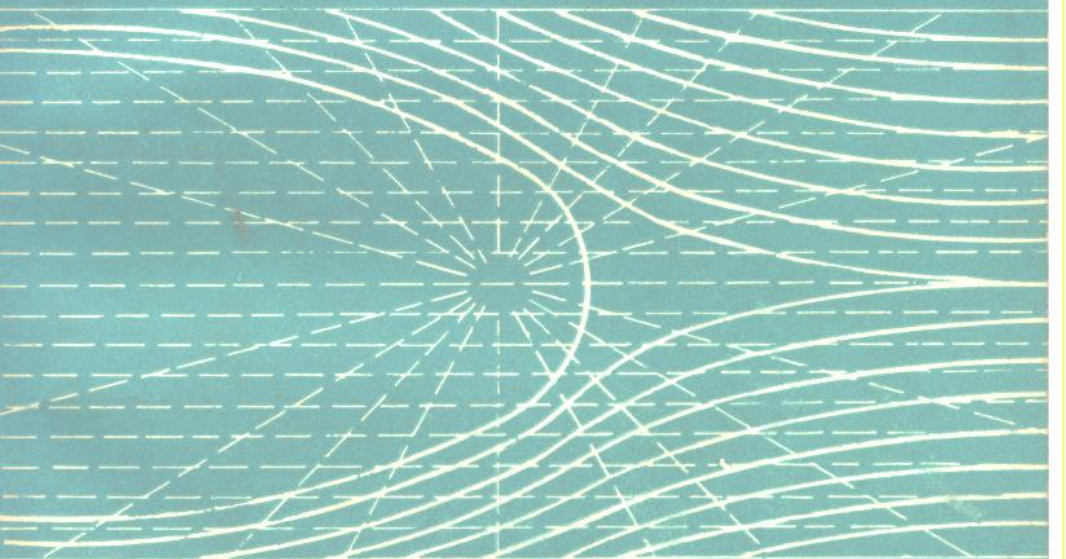


工程流体力学水力学题解

谢永曜 汝树勋 编译
陈亚梅 王贤敏



四川科学技术出版社

工程流体力学水力学题解

谢永曜 汝树勋
陈亚梅 王贤敏 编译

四川科学技术出版社

工程流体力学水力学题解

四川科学技术出版社出版 (成都盐道街三号)
新华书店重庆发行所发行
重庆印制一厂印刷

开本 850×1168毫米 1/32 印张22.75 插页4 字数566千
1984年8月第1版 1984年8月第一次印刷
印数: 1—11,460册

书号: 15298·11 定价: 3.85元

前 言

26570/06

《工程流体力学》、《水力学》是理工科高等院校许多专业的主要技术基础课。为帮助读者学好这门课程，巩固和加深对基本概念、基本原理的理解及应用，并配合近期出版的几种工程流体力学和水力学试用教材，特编译成本书。

本书内容约一半左右取材于道格拉斯著《流体力学题解》(John F. Douglas: Solution of Problems in Fluid Mechanics. Part One, Part Two); 其余取材于编者教学实践中积累的资料及国内外有关教材。

为便于读者自学，本书在每章的开始都简要地介绍了有关的主要概念、主要公式及解题思路。在解题过程中，特别注意从物理的基本原理出发，通过分析、讨论求得解答；叙述力求简明扼要，尽量避免照套公式的作法；希望对读者独立分析、解决问题的能力的提高有所裨益。

在取材的深度、广度上，本书考虑了不同专业的要求，并尽可能结合工程实际，以便读者有一定选择余地。

本书全部采用国际单位制。

本书由成都科技大学汝树勋(9、14、15、16章)和四川工业学院谢永曜(1、3、4、5、6、10、11、12、22、23、24章)、陈亚梅(2、7、8、13、19、20、21章)、王贤敏(17、18、25、

26、27、28、29、30、31章)共同编写。全书由谢永曜、汝树勋
审校。

限于编者业务水平，书中难免存在缺点、错误，诚恳希望广
大读者批评、指正。

编者 1982年6月

本书常用符号表

符号	表示意义	单 位	符号	表示意义	单 位
A, a	面积, 横断面积	m ²	i	单位热焓	J/kg, J/N,
a	加速度	m/s ²	J	水力坡度	(m/m), P _a /m
a	音速	m/s	K	动量	N·S
B, b	宽度, 边长	m	k	系数, 指数	
C	常数		L, l	长度	m
C _f	摩擦阻力系数		M	力矩	N·m
C _p	压力系数		m	质量	kg
C _p	定压比热	J/kg·K	M _a , M	马赫数	
C _v	定容比热	J/kg·K	N	功率	W
C _x	阻力系数		n	转数	r/min
C _y	升力系数		n	倍数	
D, d	直径	m	N _e	牛顿数	
E	能	N·m, J	n _s	比转数	
E	弹性模数	N/m ²	P	压力	N
e	比能	m, J/N	p	压强, 相对压强	N/m ² , P _a
E _u	欧拉数		p _a	大气压强	N/m ² , P _a
F	力	N	p _m	表压	N/m ² , P _a
F _r	弗汝德数		p ₀	液面压强	N/m ² , P _a
G	重力	N	p _v	真空度	N/m ² , P _a
g, g	重力加速度	m/s ²	Q	流量(体积流量)	m ³ /s
H, h	水头, 扬程, 高度, 深度	m	Q _g	重量流量	N/S
h	液柱高度	m	Q _m	质量流量	kg/s
h _f	沿程能头损失	m	q	单宽流量	m ³ /s·m
h _l	局部能头损失	m	q	热量	J/kg, J/N
h _w	总能头损失	m	R, r	半径	m

续

符号	表示意义	单位	符号	表示意义	单位
R	水力半径	m	z	位置水头, 位高	m
R	气体常数	J/kg·K	α, β, γ	角度	rad, °
R	阻力	N	δ, θ, φ		
R_e	雷诺数		α	动能修正系数	
S	面积	m ²	β	动量修正系数	
s	弧长, 行程	m	β_p	体积压缩系数	m ² /N
St	斯特劳哈数		β_t	温度膨胀系数	1/K
T, t	时间	s	Γ	环量	m ² /s
T	温度	K, °C	γ	重度	N/m ³
T	摩擦力	N	Δ	绝对粗糙度	mm,
U	力函数	J	δ	附面层厚度, 间隙高度	mm
U	圆周速度, 牵连速度	m/s	ε	断面收缩系数	
V	容积, 体积	m ³	ξ	局部阻力系数	
\bar{V}	平均速度	m/s	η	效率	
v	(点) 速度	m/s	λ	沿程阻力系数	
\bar{v}	时均速度	m/s	μ	动力粘性系数	P _a ·s
v'	脉动速度	m/s	μ	流量系数	
v_x, v_y, v_z	速度在 x, y, z 座标上的分量	m/s	v	运动粘性系数	m ² /s
V _r	径向分速	m/s	ρ	密度	kg/m ³
V _u	周向分速	m/s	σ	正应力	N/m ² , P _a
W	相对速度	m/s	σ	表面张力系数	N/m
W _e	韦伯数		τ	切应力	N/m ² , P _a
X, Y, Z	单位质量力的分量	m/s ²	φ	流速系数	
x, y, z	直角坐标	m	φ	势函数	m ² /s
y _C	平面形心的 y 坐标	m	χ	湿周	m
y _D	压力中心的 y 坐标	m	ψ	流函数	m ² /s
			ω	角速度	1/s

内 容 提 要

本书是一本内容比较广泛的流体力学及水力学题解。全书共31章约四百道习题及其解答。

内容包括：流体静力学；流体动力学的基本原理；流动型态及能头损失；流体的测量；孔流、堰流、管流及明渠流；流体的动力相似与因次分析；附面层；有势流动及有旋流动；液体润滑与液力机械等。

本书可作为水利、土建、机械、动力类专业人员教、学《工程流体力学》或《水力学》课的参考书；并对船舶、航空、化工等专业师生教、学这门课时也有一定参考价值；还可供从事有关专业工作的工程技术人员参考。

目 录

第 一 章	绪论	1
第 二 章	静止流体的压强和压力	23
第 三 章	浮力与浮体的稳定性	60
第 四 章	液体的相对静止	81
第 五 章	液流的基本方程	96
第 六 章	射流的作用力	120
第 七 章	流动型态——层流和紊流	138
第 八 章	管流的能头损失	173
第 九 章	有压管中的恒定流	203
第 十 章	流速与流量测量	225
第十一章	孔口、管嘴出流	246
第十二章	堰流	265
第十三章	明渠均匀流	285
第十四章	明渠恒定非均匀流	301
第十五章	水跃	324
第十六章	变液位下的出流	338
第十七章	间隙流动	356
第十八章	液体润滑支承	379
第十九章	水击	402

第二十章	静态气体	440
第二十一章	气体一元稳定流动	452
第二十二章	有旋流动	473
第二十三章	平面有势流动	497
第二十四章	附面层	523
第二十五章	因次分析	544
第二十六章	流体动力相似	569
第二十七章	水库	595
第二十八章	冲击式与反击式水轮机	619
第二十九章	离心泵与风机	645
第三十章	往复泵	675
第三十一章	液压机械	696

第一章 绪 论

工程流体力学是应用力学的一部分，既研究液体，也研究气体，其内容包括流体静力学、运动学和动力学。这里所说的流体通常指的是“牛顿流体”。在工程流体力学中所用到的速度、力、动量和能量等概念与一般力学中所遇到的并无两样，但在流体力学中往往是讨论流体的流动，而不象固体力学中讨论的是物体的运动。

固体既能抵抗法向力——压力与拉力，也能抵抗切向力。而流体仅能抵抗压力，不能承受拉力，抵抗拉伸变形；又，即使在微小的切向力作用下，也很容易变形或流动，故流体不能保持一定的形状。由于流体的形状改变是由切向力引起的，因此，有切向力作用，流体就要流动。反过来说，若流体处于静止状态，就无切应力作用在流体上，所有作用在流体上的力将垂直于作用平面。

液体与流体都属于流体。但两者有所不同：液体不容易压缩，一定质量的液体总是占有一定的体积，并在与空气接触的面上形成“自由表面”，作为液体与其上面的空气的分界面。气体却很容易压缩，也很容易膨胀，它总会膨胀到占据容器的整个空间，没有自由表面。

固体与流体的区别在于：（1）在弹性限度之内，固体形状的变化是遵循应变与所作用的应力成正比之规律；对于流体，则是应变率与应力成正比。（2）固体的应变与力作用的时间无关，只要未超过弹性极限，当应力去除时，形变也消失；对于流体，只

要有应力作用，它将继续流动，当应力去除时，它不能恢复到原先的形状。

以下对流体的特性及流体力学中所采用的单位作一介绍。

一、国际单位制

1956年国际度量衡局制定了新单位制，命名为国际单位制 (Système International d'Unités)，规定用“SI”为其国际符号。1977年我国国务院及教育部已先后指示应在教材中逐步采用国际单位制，所以本书采用国际单位制。国际单位制7个基本单位，见表1-1。

其它物理量的单位均可由以上这7个基本单位导出，称为导出单位。这是因为国际单位制是一种相参单位制，其它量的单位

表1-1 国际单位制的基本单位

长度单位	米	m
质量单位	千克 (公斤)	kg
时间单位	秒	s
热力学温度单位	开尔文	K
电流单位	安培	A
光强度单位	坎德拉	cd
物理量单位	摩尔	mol

都可以通过基本单位的组合来表示。例如，距离的单位（米）除以时间的单位（秒）就得速度的单位 $\left(\frac{\text{米}}{\text{秒}}\right)$ 。又如，力与质量之间的单位关系，可按牛顿第二定律 $F=ma$ 导出；因而，力的单位应

由质量的单位（公斤）和加速度单位 $\left(\frac{\text{米}}{\text{秒}^2}\right)$ 的乘积 $\left(\frac{\text{公斤}\cdot\text{米}}{\text{秒}^2}\right)$ 来表示，称之为牛顿。

在应用SI单位制时，在不同的科技领域内，有可能对同一物理量所使用的单位尺度相差万千倍，因而允许有些单位在规定的基礎上再增加倍单位和分单位。采用在主单位的符号前加上冠词，组成分单位或倍单位的符号。例如，“mm”表示 10^{-3} 米，即毫米。SI制的词冠列于表1-2。

除国际单位制外，还有一些单位制过去曾使用过，有的在某些地区、某些场合还会继续使用一段时期。常见的有：英美的呎-磅-秒制（f-p-s制）、物理上用的厘米-克-秒制（cm-g-s制）以及工程技术上采用的米-千克（公斤力）-秒制（M-K-S制）。表1-3列出了SI制中常用的流体力学单位；表1-4列出了一些常用单位

表1-2 SI词冠

因数	词 冠	代 号		因数	词 冠	代 号	
		国际	中 文			国际	中 文
10^{18}	艾克萨 (exa)	E	艾	10^{-1}	分 (deci)	d	分
10^{15}	拍它 (peta)	P	拍	10^{-2}	厘 (centi)	c	厘
10^{12}	太拉 (tera)	T	太	10^{-3}	毫 (milli)	m	毫
10^9	吉咖 (giga)	G	吉(千兆)	10^{-6}	微 (micro)	μ	微
10^6	兆 (mega)	M	兆	10^{-9}	纳诺 (nano)	n	纳(毫微)
10^3	千 (kilo)	K	千	10^{-12}	皮可 (pico)	p	皮(微微)
10^2	百 (hecto)	h	百	10^{-15}	飞母托(femto)	f	飞
10^1	十 (deca)	da	十	10^{-18}	阿托 (atto)	a	阿

表1-3 常用的流体力学单位 (SI制)

量	符号	类别	单位名称	SI		用基本单位 表示
				中文代号	国际代号	
长度	L	基本单位	米	米	m	m
质量	m		千克 (公斤)	千克(公斤)	kg	kg
时间	t		秒	秒	s	s
热力学温度	T		开尔文	开	K	K
角度	θ	导出单位	弧度	弧度	rad	
力	F		牛顿	牛	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
压强	p		帕斯卡 (=牛/米 ²)	帕	Pa	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
切应力	τ		牛顿每平方米	牛/米 ²	N/m^2	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
表面张力	σ		牛顿每米	牛/米	N/m	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
力矩	M		牛顿米	牛·米	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
动量	mv		牛顿米每秒	牛·米/秒	$\text{N} \cdot \text{m/s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
动力粘性系数	μ		帕秒 (= $\frac{\text{牛}}{\text{米}^2} \cdot \text{秒}$)	帕·秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
运动粘性系数	ν	平方米每秒	米 ² /秒	m^2/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	

续表

量	符号	类别	单位名称	SI		用基本单位 表示
				中文代号	国际代号	
密度	ρ	导出单位	公斤每立方米	公斤/米 ³	kg/m ³	m ⁻³ ·kg
重度	γ		牛顿每立方米	牛/米 ³	N/m ³	m ⁻² kg·s ⁻²
功(能)	W		焦耳(=牛·米)	焦	J	m ² ·kg·s ⁻²
功率	P		瓦特(=焦/秒)	瓦	W	m ³ ·kg·s ⁻³
比能	e, h		米	米	m	m
面积	A, S		米平方	米 ²	m ²	m ²
体积	V		米立方	米 ³	m ³	m ³
速度	v		米每秒	米/秒	m/s	m·s ⁻¹
角速度	ω		弧度每秒	弧度/秒	rad/s	s ⁻¹
加速度	a		米每秒平方	米/秒 ²	m/s ²	m·s ⁻²
流量	Q	立方米每秒	米 ³ /秒	m ³ /s	m ³ ·s ⁻¹	
环量	Γ	平方米每秒	米 ² /秒	m ² /s	m ² ·s ⁻¹	

表1-4 一些常用的单位换算成SI制的单位

量	单位名称	代号	折合成SI制	量	单位名称	代号	折合成SI制
长度	呎	ft	0.3048米	压 强	毫巴	mbar	10 ² 帕斯卡
	吋	in	0.0254米		工程 大气压	$\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	9.80665帕斯卡
容积 面积	立方呎	ft ³	0.028317米 ³		标准 大气压	atm.	1.01325 帕斯卡
	平方呎	ft ²	0.092903米 ²		托	Torr	133.322帕斯卡
质量	磅	lb	0.4536千克 (公斤)		毫米汞柱	mmHg	133.322帕斯卡
	角速度	每分转数	rpm		$\frac{\pi}{30} \frac{\text{弧度}}{\text{秒}}$	毫米水柱	mmH ₂ O
每秒转数		rps	$2\pi \frac{\text{弧度}}{\text{秒}}$		应力	千克力每 平方毫米	$\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$
流量	立方呎 每秒	$\frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$	0.028317 $\frac{\text{米}^3}{\text{秒}}$			马力小时 (英制)	Hp·h
	达因	dyn	10 ⁻⁵ 牛顿	功 能	马力小时 (米制)	Hp·h	2.648×10 ⁶ 焦耳
力	千克力 (公斤力)	kgf	9.80665牛顿		瓦特· 小时	W·h	3600焦耳
	吨力	tf	9806.65牛顿		千克力米	kgf·m	9.80665焦耳
力矩	千克力· 米	kgf·m	9.80665牛顿· 米		功 率	马 力 (英制)	Hp
	泊	p	$1 \frac{\text{达} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2}$ (=0.1帕·秒)	马 力 (米制)		Hp	735.499瓦特 (=75 千克力米) 秒)
粘 度	斯托克斯	s	10 ⁻⁴ $\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$				
	巴	bar	10 ⁵ 帕斯卡				

折合为国际单位的换算关系；与国际单位制并用的单位列表于表1-5；过去常用的几种单位制的基本单位列表于表1-6。这些单位制中往往有两种形式：绝对单位制——以质量单位为基本单位，力的单位是导出单位；工程单位制——以力单位为基本单位，质量的单位是导出单位。力与质量的单位之间仍由牛顿第二定律相联系。至于 M-K-S 中的绝对单位制，就力学上所遇到的而论，是与 SI 制一致的。1 公斤的力 (kgf) 定义为：45° 纬度的海平面上（重力加速度 $g=9.80665\text{m/s}^2$ ）在真空中国际千克原器所受到的重力。在 SI 制中，力是导出单位，选取使 1kg 的质量的物体能获得 1m/s^2 的加速度的力作为它的单位尺度，称为牛顿 (N)，即 $1\text{N}=1\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 。按上述条件，国际千克原器在 45° 纬度的真空中将受到 $9.80665\text{N}\approx 9.81\text{N}$ 的重力，由此得出：

表1-5 与国际单位制并用的单位

量	单位名称	代号	折合成SI制
时 间	分	min	=60秒
	时	h	=3600秒
	日	d	=86400秒
平面角	度	°	$=\frac{\pi}{180}$ 弧度
	分	'	$=\left(\frac{1}{60}\right)^\circ = \frac{\pi}{10800}$ 弧度
	秒	"	$=\left(\frac{1}{60}\right)^\circ = \frac{\pi}{64800}$ 弧度
体积 (容积)	升	l	=1分米 ³ =10 ⁻³ 米 ³
质 量	吨	t	=10 ³ 千克 (公斤)