

流体力学与水力学 的理论和问题

〔英〕R·V·基尔斯 著

何国桢译 麦乔威校

河南科学技术出版社

流体力学与水力学的理论和问题

(英) R.V.基尔斯著

何国桢 译

麦乔威 校

河南科学技术出版社

THEORY AND PROBLEMS
of
FLUID MECHANICS
and HYDRAULICS
BY
RANALD V. GILES, B.S., M.S. in C.E.

流体力学与水力学的理论和问题

(英) R. V. 基尔斯著

何国栋 译

麦乔威 校

责任编辑 史治五

河南科学技术出版社出版

河南第一新华印刷厂印刷

毫米16开本 18.25印张 381千字

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

印数1000册 ISBN 7-5349-0044-1/G·45

统一书号7245·82 定价4.00元

译 序

本书系由英国狄列谢尔工业大学 (Drexel Institute of Technology) 的基尔斯教授 (RANALD V. GILES) 所编著。原书共分12章,包括了流体力学与水力学的基本理论和实用问题,并有附表和附图。每章都有清晰的理论阐述,和一定量的例题及其求解方法,读者可以充分明了理论的实际应用。本书出版后,深受读者欢迎,后曾再版。为了适应国际标准单位制的需要,由英国谢来大学 (University of Surrey) 的波拉特 (D.J.POLLARD) 和威尔逊 (E.H.WILSON) 共同改编为国际标准单位制版发行。可以作为大专院校的教科书和参考书,对于从事水利、水力发电、水力机械、航运、造船、航空等方面实际工作的工程技术人员也极为有用。

本书由黄河水利委员会水利科学研究所何国楨高级工程师翻译,珠江水利委员会技术咨询袁乔威高级工程师校订。

本书的出版得到黄河水利委员会水利科学研究所的资助,该所领导和有关科室的大力支持,并承侯建国、王洪昌、徐惠玲等同志协助整理图表,徐锐同志作了文字统稿,一并深致谢意。

由于水平所限,疏误之处,希读者批评、指正。

内 容 提 要

本书译自英文版本。全书分12章。主要论述流体力学与水力学的基本理论和实用问题。每章附有大量的例题和求解方法以及公式的推导过程。

可作为大专院校教科书和从事水利、水力发电、水力机械、航运、造船、航空等工程技术人员参考书。

国际标准单位制版前言

由于教学和工业上的迫切需要，促成了这本“流体力学与水力学”国际标准单位制版的再版。目前虽已有了少数国际标准版的教科书，但一本附有例题的书尚不可多得，仍深受欢迎。

国际标准单位制还处于过渡阶段，在普遍使用的过程中，将不断修订。已有的大量资料大多以英尺—英磅为单位，有待更改。因此，本书包括了许多换算系数，特别是比速等一些无量纲数的换算。

本书实质上是修正再版。它保留了全部例题，同时对例题进行了换算。为了便于使用，一些数据已化成整数，但不少数据并未化整，俾便满足精度和实用的要求。鉴于从事实际工作的工程师所需处理的数据很少是整数，因此，我们相信这样做有很大好处。当换算数据要求有很高精度时，书中例题的答数，如用计算尺求得，则用方弧号标明。工程师希望计算数据真实而又有必要的精度，这是十分重要的，所以我们用这个办法加以处理。书中附表的数值已进行过必要的换算，以便统一，另有少数有用的英尺—英磅单位，仍予保留。

对于（英）麦格罗——赫尔(McGraw-Hill)出版公司工作人员的帮助合作，深表感谢。

波拉特(D.J. POLLARD)

威尔逊(E.H. WILSON)

符号与缩写

以下列出本书采用的字母符号，由于字母有限，不可避免要使用同一个字母来表达一个以上的概念。但由于每个字符第一次使用时已说明其含义，结果不会混淆。

- a 加速度，米/秒²；面积米²
- A 面积，米²
- b 堰长，米；水面宽，米；明渠床底宽，米
- c 流量系数，压力波速，米/秒（声速）
- c_c 收缩系数
- c_v 流速系数
- C 系数(Chezy)，积分常数
- C_g 重心
- C_p 压力中心，推进器功率系数
- C_D 绕流阻力系数
- C_T 推进器的推力系数
- C_L 升力系数
- C_T 推进器转矩系数
- C_1 哈森—威廉斯(Hazen-Williams)系数
- cfs 呎³/秒
- d, D 直径米
- D_1 单位直径，米
- e 效率
- E 体积弹性模量，帕或牛/米²；比能，牛·米/牛或焦/牛
- f 管流的摩擦系数(达西Darcy)
- F 力，牛；推力，牛
- g 重力加速度，米/秒²=9.81米/秒²
- gpm 加仑/分
- h 水头，米；高或深，米；压头，米
- H 总(能)头，米或焦/牛

H_L, h_L 水头损失, 米 (有时用LH)

hp 马力 = 0.746 千瓦

I 惯矩, 米⁴

I_{xy} 惯性积, 米⁴

k 比热比值, 等熵 (绝热) 指数, 卡门 (von Karman) 常数。

K 梯形渠道流量系数, 扩散的水头损失系数, 任一常数

K_c 收缩的水头损失系数

l 混合长度, 米

L 长度, 米

L_E 当量长度, 米

m 巴森 (Bazin) 公式的粗糙系数, 坝堰系数

$\dot{m}$ 质量流量

M 质量, 公斤; 分子质量

n 粗糙系数, 指数, 库特 (Kutter) 和满宁 (Manning) 公式的粗糙系数

N 转速, 转数/分

N_s 比转速

N_u 单位转速

N_F 佛劳德 (Froude) 数

N_M 马赫 (Mach) 数

N_w 韦伯 (Weber) 数

p 压力, 湿周, 米

p' 压力

P 力, 牛; 功率, 千瓦

P_u 单位功率

psf 英磅/英尺²,

psia 英磅/英寸², 绝对压力

psig 英磅/英寸², 测压计压力

q 单宽流量, 米³/秒/单宽

Q 流量, 米³/秒

Q_u 单位流量

r 任一半径, 米

r_o 管半径, 米

R 气体常数, 水力半径, 米

R_E 雷诺数

rl dn 相对密度

S 水力坡降线, 能坡线

S_0 河床坡降

$sp\ gr$ 比重

t 时间, 秒; 厚度; 粘滞度, 塞布(Saybolt)秒

T 温度; 转矩, 牛·米; 时间, 秒

u 转动构件的圆周速度, 米/秒

u, v, w 在 X, Y 和 Z 方向的流速分量

v 体积, 米³; 局部流速, 米/秒; 水力机械中的相对速度, 米/秒

v_s 比体积 $= 1/\rho = \text{米}^3/\text{公斤}$

v_* 剪速, 米/秒 $= \sqrt{\tau/\rho}$

V 平均流速, 米/秒 (或另据定义)

V_c 临界流速, 米/秒

w 重量, 牛/米³

W 重量, 牛; 重量率 (Weight flow), 牛/秒 $= \rho g Q$

x 距离, 米

y 深度, 米; 距离, 米

y_c 临界水深, 米

y_N 正常水深, 米

Y 可压缩流体的扩散系数

z 高程 (水头), 米

Z 床面以上的堰顶高

$\alpha(\text{alpha})$ 角, 动能改正系数

$\beta(\text{beta})$ 角, 动量改正系数

$\delta(\text{delta})$ 边界层厚度, 米

$\Delta(\text{delta})$ 水流修正项

$\epsilon(\text{epsilon})$ 表面粗糙度, 米

$\eta(\text{eta})$ 涡流粘滞度

$\theta(\text{theta})$ 任一角度

$\mu(\text{mu})$ 绝对粘滞度, 帕·秒 (或泊)

$\nu(\text{nu})$ 运动粘滞度, 米²/秒 $= \mu/\rho$

$\pi(\text{pi})$ 无量纲参数

$\rho(\text{rho})$ 密度, 公斤/米³

$\sigma(\text{sigma})$ 表面张力, 牛/米; 拉应力强度, 牛/米² (或帕)

$\tau(\text{tau})$ 切应力, 牛/米² (或帕)

$\varphi(\text{phi})$ 转速系数, 速度势, 比值

$\psi(\text{psi})$ 水流函数

$\omega(\text{omega})$ 角速度, 弧度/秒

常用换算系数

1英尺³ = 7.48美制加仑 = 28.32升 = 0.02832米³

1美制加仑 = 8.338磅水 (在温度60°F) = 3.785×10^{-3} 米³

1英尺³/秒 = 0.646百万加仑/日 = 448.8加仑/分 = 0.02832米³/秒

1磅-秒/英尺²(μ) = 478.7泊 = 47.87帕·秒 (或公斤/米·秒)

1英尺²/秒(ν) = 929厘米²/秒 = 0.0929米²/秒

1马力 = 550英尺-磅/秒 = 0.746千瓦

30英寸水银柱 = 10.3米水柱 = 14.7磅/英寸² = 101353帕

1巴 = 10⁵帕

1泊 = 10⁻¹帕·秒

1斯(stokes) = 10⁻⁴米²/秒

目 录

国际标准单位制版前言	(1)
符号与缩写	(1)
第一章 流体的性质	(1)
流体力学与水力学	(1)
流体的定义	(1)
国际单位制	(1)
质量密度	(1)
相对密度	(2)
粘滞度	(2)
蒸气压力	(3)
表面张力	(3)
毛细管作用	(4)
流体压力	(4)
单位压力	(4)
压差	(4)
可压缩流体的压力变化	(5)
压头 h	(5)
体积弹性模量	(5)
气体的压缩	(5)
等温条件	(5)
绝热或等熵条件	(6)
压力扰动	(16)
第二章 面上的静水压力	(22)
作用在平面面积上的力	(22)
力作用线	(22)
水平与垂直分力	(22)
环向拉力	(22)
纵向拉应力	(23)

第三章 浮力与浮体	(35)
阿基米德原理	(35)
潜没体与浮体的稳定性	(35)
第四章 液体质量的平移与旋转	(42)
水平运动	(42)
垂直运动	(42)
开敞容器的旋转	(42)
封闭容器的旋转	(51)
第五章 量纲分析与水力相似	(51)
量纲分析	(51)
布京汗 (Buckingham) P_4 定理	(51)
水力模型	(51)
几何相似	(51)
运动相似	(52)
动力相似	(52)
惯性力比值	(52)
惯性——压力比 (欧拉数)	(52)
惯性——粘滞力比 (雷诺数)	(52)
惯性——重力比	(53)
惯性——弹力比 (柯茨数)	(53)
惯性——表面张力比 (韦伯数)	(53)
时间比值	(53)
第六章 流体流动的基本原理	(73)
流体流动的三个主要概念	(73)
流体流动	(73)
稳定流	(73)
均匀流	(74)
流线	(74)
流管	(74)
连续方程式	(74)
流网	(75)
能量方程式	(75)
流速头	(75)
伯诺里定理的应用	(76)
能坡线	(76)

水力坡降线	(76)
功率	(77)
第七章 管路的流体流动	(101)
能量原理	(101)
层流	(101)
临界流速	(101)
雷诺数	(101)
紊流	(102)
管壁的切应力	(102)
流速分布	(102)
层流的水头损失	(103)
达西—威士巴赫公式	(104)
摩阻系数 f	(104)
其他水头损失	(105)
第八章 当量管、异径管、并联管与叉管	(121)
管路系统	(121)
当量管路	(121)
异径管、并联管与叉管	(121)
求解方法	(121)
哈森—威廉斯 (Hazen-Williams) 公式	(121)
第九章 流体流量的测量	(138)
皮托管	(138)
流量系数	(138)
流速系数	(139)
收缩系数	(139)
水头损失	(139)
堰	(139)
理论的堰流公式	(139)
用作堰的坝	(141)
放空水箱的时间	(141)
确定管路的过流时间	(141)
第十章 明渠的水流	(166)
明渠	(166)
稳定均匀流	(166)
非均匀流或变速流	(166)

层流	(166)
谢才 (Chezy) 公式	(166)
系数 c 公式	(167)
流量 (Q)	(167)
水头损失 (h)	(167)
流速的垂线分布	(167)
比能	(168)
临界水深	(168)
最大单宽流量	(168)
非矩形渠道的临界流	(168)
非均匀流与回水曲线	(169)
宽顶堰	(169)
水跃	(169)
第十一章 运动流体所产生的力	(200)
冲量——动量原理	(200)
动量改正系数 β	(200)
绕流阻力	(201)
升力	(201)
总绕流阻力	(201)
绕流阻力系数	(201)
升力系数	(201)
马赫数	(202)
边界层理论	(202)
平板公式	(202)
水锤	(203)
超声速	(204)
第十二章 流体机械	(233)
流体机械	(233)
旋转通道	(233)
转速系数	(233)
单位转速	(234)
单位流量	(234)
单位功率	(234)
比转速	(235)
效率	(235)

气蚀	(236)
螺旋浆推进器	(236)
螺旋浆的系数	(236)
附录	(255)
表 1 空气、水和一些气体的性质	(255)
表 2 某些液体的比重与运动粘滞度	(256)
表 3 水的摩擦系数 f	(257)
表 4 典型的水头损失项	(258)
表 5 收缩与扩大的 K 值	(259)
表 6 哈森——威廉斯系数 c_1 的一些数值	(259)
表 7 垂直锐缘圆形孔口的流量系数	(260)
表 8 可压缩水流的扩散系数 Y 流经管嘴流量计与文德里水表	(261)
表 9 库特和满宁公式的 n 与巴森公式的 m 平均值	(262)
表 10 库特公式的 c 值	(262)
表 11 梯形渠道公式 $Q = (K/n)y^{8/3}s^{1/2}$ 的流量系数 K 值	(264)
表 12 梯形渠道公式 $Q = (K'/n)b^{8/3}s^{1/2}$ 的流量系数 K' 值	(265)
表 13 圆的面积	(267)
表 14 铸铁管的重量与尺寸	(267)
工作曲线图	(268)
A-1 莫迪摩擦系数 f 的工作曲线图	(268)
A-2 修正的莫迪摩擦系数 f (直接求解流量 Q) 的工作曲线图	(268)
B 哈森——威廉斯公式 ($c_1 = 1000$) 的诺模图	(269)
C 管的孔口系数	(270)
D 水流喷嘴系数	(271)
E 文德里水表系数	(272)
F 绕流阻力系数与 R_E 关系	(273)
G 光滑平板绕流阻力系数	(274)
H 超声速绕流阻力系数	(275)

第一章 流体的性质

流体力学与水力学

流体力学与水力学是应用力学的分支，它论述处于静止和运动状态下的流体特性。在流体力学原理的发展中，流体的特性起着主要作用；而其他则作用很小，甚至不起任何作用。在流体静力学中，重力是很重要的特性。而在流体流动中，密度和粘滞度是主要的特性。在可压缩性不可忽略时，必须考虑热力学的原理。当有负压时，蒸汽压力便十分重要。表面张力对细小通道的静止和流动条件有影响。

流体的定义

流体是可流动的物质，并与盛载流体的容器形状一致。当处于平衡时，流体不能承受切向力和剪应力。所有流体都具有某种程度的压缩性，对形状的改变几乎没有阻力。

流体可区分为液体和气体，它们之间的主要区别在于：一是，液体实际上是不可压缩的，而气体是可压缩的；二是，流体占有一定的体积和有自由表面，而一定质量的气体则可扩散至盛装容器的所有部分。

国际单位制

三个选用的参考量纲（基本量纲）是质量、长度和时间。本书采用的相应的基本单位是：质量为公斤，长度为米，时间为秒。所有其他单位将从这三个基本量纲导出。从这些单位导出力的单位为牛，体积的单位为米³，加速度的单位为米/秒²，功的单位为牛·米，称为焦(J)，压力的单位为牛/米²，称为帕(Pa)。如果给出的数据为其他单位，则应在解题前换算为标准国际单位。

本书单位系统的力的单位为牛，这是从质量和加速度的单位导出的。根据牛顿第二定律：

$$\text{力(牛)} = \text{质量(公斤)} \times \text{加速度(米/秒}^2\text{)} \quad (1)$$

1 牛的力使 1 公斤的质量以速率 1 米/秒² 加速运动。

质量密度

物质的密度为该物质的单位体积的质量。对于通常的压力变化，液体的密度可取作

常数。在4℃时，水的密度为1000公斤/米³，其他值见附录的表1c和表2。

气体的密度可用气态公式计算：

$$\frac{pv_s}{T} = R \quad (\text{波意耳(Boyles)和查理(Charles)定律}) \quad (2)$$

式中， p 为绝对压力，

v_s 为单位质量的比体积，米³/公斤；

T 为绝对温度，开氏度 K (273+摄氏度)；

R 为气体常数，焦/公斤·K。

因为 $\rho = 1/v_s$ ，上述公式可写成

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (3)$$

对于液体，则常采用乘积 ρg ，式中 g 为重力加速度，等于9.81米/秒²。在过去这个乘积称为比重，并使用符号 w 。但在标准国际单位制，前缀词“比”，只用于描述单位质量的性质，故比重这个词已不常用。

相对密度

物体的相对密度是一个纯数，它表示物体的质量与作为标准物质的同体积质量的比值。固体和液体把水(4℃)作为标准物质，而气体则常把空气游离的二氧化碳和氧(0℃和一个大气压=1.013×10⁵帕的压强)作为标准物质。例如，

$$\begin{aligned} \text{物质的相对密度} &= \frac{\text{物质的质量}}{\text{同体积水的质量}} \\ &= \frac{\text{物质的密度}}{\text{水的密度}} \end{aligned} \quad (4)$$

如果已知油的相对密度为0.750，则它的密度为0.75(1000公斤/米³)=750公斤/米³。
水的相对密度为1.00，水银的相对密度为13.57。在任一种量度系统中，某一物质的相对密度都是一样的；见附录的表2。

粘滞度

流体的粘滞度是确定流体力对剪力的抗阻数量的性质。粘滞度主要是由于流体分子之间的相互作用。参照图 1-1，考虑两块很大的相互平行的板，其相距距离很小，在两板之间的空间充满着流体，上面的板被一常数的力 F 所作用，因而以等速 v 移动。与上面的板接触的流体附着于板面，并以速度 v 移动，但是，与下面的固定板接触的流体，其速度为零。如果距离 y 和速度 v 不是太大，则速度变化(流速梯度)为直线变化。实验表明，力 F 的变化与平板的面积和速度 v 成正比，与距离 y 成反比。由相似三角形