

Practical Hydraulics (Second edition)

实用水力学

(原书第2版)

[英] Melvyn Kay (梅尔文·凯) 著
何国桢 译 邓家泉 何用 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Practical Hydraulics (Second edition)

实用水力学

(原书第2版)

[英] Melvyn Kay (梅尔文·凯) 著

何国桢 译 邓家泉 何用 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.
北京市版权局著作权合同登记号：01-2016-8952

图书在版编目（C I P）数据

实用水力学：原书第2版 /（英）梅尔文·凯
（Melvyn Kay）著；何国桢译. — 北京：中国水利水电出版社，2016.12
书名原文：Practical Hydraulics
（Second edition）
ISBN 978-7-5170-5014-8

I. ①实… II. ①梅… ②何… III. ①水力学—基本知识 IV. ①TV13

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第317168号

书 名	实用水力学（原书第2版） SHIYONG SHUILIXUE
原 书 名	Practical Hydraulics（Second edition）
原 著 者	〔英〕Melvyn Kay（梅尔文·凯）
作 者	何国桢 译 邓家泉 何用 校
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 314千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	60.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究
All Rights Reserved

译者简介

何国桢(1931—)，原籍广东省佛山市南海区。教授级高级工程师，获国务院政府特殊津贴，钱宁泥沙科学个人奖。

1949年2月就读广州岭南大学土木系，1951—1952年参加治理淮河的实习。1952年院系调整转入华南工学院（现为华南理工大学）水利系，1953年毕业。1978年公派荷兰联合国水力工程环境学院（IHE）进修。

先后工作于燃料工业部水电总局设计处、黄河流域规划委员会水文泥沙专业组、黄河三门峡工程局、三门峡水电厂、黄河规划专家工作组、黄河水利委员会水科所、珠江水利委员会水科所，从事流域规划、水利工程施工以及水库调度、水库泥沙等科研工作达40余年。

曾任黄河水利委员会水科所所长、珠江水利委员会水科所所长、中国水利学会泥沙专业委员会委员、国际泥沙培训中心第一届管理委员会委员、联合国技术合作计划署专家候选人。

曾参加1964年12月由国务院召开、周总理主持的全国治理黄河会议。在会议上首次提出在增大泄流条件下，三门峡非汛期315m低水头发电；汛期敞泄排沙的“蓄清排泄”的具体方案，受到有关方面的重视。为了充分发挥径流发电的效益，提出了低水头水轮机组与低低水头水轮机组搭配联合运用的设想。其后继续研究三门峡坝前敞泄排沙的临界水流功率 $QJ=3000\times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ 的冲淤分界曲线，揭示并证实了天然河道冲刷—淤积—平衡的客观规律，被收入《泥沙输送理论与实践》（[美]杨志达著）一书。与研究团队发表在《人民黄河》1981年第3期的《三门峡水库调水调沙及其冲淤特点》以及2015年第6期的《提高黄河下游河道输沙能力的途径探讨》是关于应用水流功率治理黄河的新思路，也是几十年治理黄河实践的总结。在珠江水利委员会水科所（珠江水利科学研究院前身）创办期间，开创性地打开了对外交流的局面，该所有关科室首次承担了澳门港务厅委托的飞机场水工泥沙模型试验项目，并取得了较好的成果，不仅得到了资金支持，而且得到了工程实践的锻炼，为今后长远发展打下了坚实的基础。该项试验成果已被澳门方面采纳并加以实施，并得到澳门方面的高度评价。

译者的话

本书译自 [英] 梅尔文·凯 (Melvyn Kay) 所著的 2007 年版《实用水力学 (原书第 2 版)》(Practical Hydraulics, Second edition), 全书共 9 章, 涉及相关力学基础、静水力学、水动力学、管道、明渠、波浪、明渠水工建筑、水泵以及浴缸水力学, 内容广泛、新颖。作者着重于各种水流现象的物理意义的描述, 然后是公式的提出与应用。书中详述了静水力学与动水力学的区别、牛顿三大定律、阿基米德原理、伯诺里总能量公式、能量—功—功率相互转化, 以及确定管流与明渠流的达西-韦斯巴赫 (Darcy-Weisbach) 摩阻系数公式。在管道一章中, 特别强调管线的埋设高程要在水力坡降线以下, 管的尺寸选择要保证所需流量通过。在明渠一章中, 详尽描述了如何区别次临界流与超临界流及其对水工建筑物设计的要求, 并着重指出连续方程式与能量方程式是解决明渠问题特别有用的方法。在水力学应用方面, 对人类在航空, 海洋活动的亚、超音速飞机, 油轮货船以及日常生活中的运动、游泳、打球、打水漂等, 特别对农田灌溉系统的蓄水、供水、消防用水及相应水工建筑物的建设、虹吸作用与利用、水泵抽排水、水能发电、水电站、蓄能电站建设等, 都做了深入浅出的详尽分析与例证, 并力求避免过于复杂的数学演算。在浴缸水力学一章, 引人入胜地各种水流现象与洗澡全过程对应, 并做了系统、生动的解释与概括。值得一提的是: 本书全部采用国际 SI 计量单位代替旧的英美通用的 fps (英尺、磅、秒) 制以及欧洲大陆的 cgs (厘米、克、秒) 制的计量系统, 并对质量与重量单位有明确的界定, 给人们一个严谨的科学感受。本书适用于大专以上专业人员研读, 是一本很好的自学用书及水利专业教材。

原版书中存在部分图、表未加编号的现象, 在翻译出版过程中未予更改, 特此说明。

本书除“水轮机”一节由知名水轮机设备设计专家何国任教授翻译外, 其他部分由何国桢翻译。本书前言及第 1~4 章由水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室主任邓家泉博士、教授级高级工程师校审, 第 5~9 章由水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室副主任、河流海岸所所长何用博士校审, 邓家泉博士全书统筹校核, 最终定稿, 并负责与中国水利水电出版社协调出版工作。

本书的出版，是在珠江水利科学研究院王现方院长的直接领导与陈文龙副院长的协助下进行。由于译文是手写稿，大量文字打印、公式编排、图表整理与校对，均由研究生王斌、张海丽、陈辰以及高级英语教师李艳具体负责完成，特此致谢。

因水平所限，疏误之处，希读者批评指正。

何国桢

2015年12月于广州

原版前言

谁想去了解水力学？从我6岁大的女儿开始说起，她想知道为什么当她洗澡时，水会不断转从水龙头孔中流下且为何似乎总是流向同一方向？各行各业的人们免不了与水打交道，设计与建设我们住房的供水系统以及水电工程大坝的工程师们，担心我们天然河流与湿地环境保护的科学家们，灌溉农作物的农民，应用水泵、高压水管灭火的消防员们，他们想蓄水、抽水、喷水或利用管道或明渠将水从一地输往到另一地。不论他们需求如何，他们都需要了解水的特性，如何处理它，这就要学习水力学。

水力学不单只是讲水，还涉及影响人们的类似水的其他流体。医生需要了解像水泵一样的心脏以及血液流入像细小管道的动脉与静脉。飞机设计者要了解环绕着机翼流动着的空气如何能够产生上升力。汽车设计者要了解环绕着汽车的空气如何流动以便改进路面控制并减少风的阻力以节省燃料。运动员也要很快学会一个球由于改变其速度以及环绕它气流可以使球以曲线途径运动，从而扰乱对手。

对于水，仍有许多不正确的概念与误解，很少人对水有真正的概念。我们都生活在“固体”世界里，因而，我们自然地认为水与我们周围其他事物一样，但这种假设可能导致各类问题，一些问题很令人吃惊，而一些问题则很严重，而还有一些甚至是致命的。

作为一名讲师，我发现，许多学生由于水力学过于数学化或过于复杂的口碑而害怕。而大多数教科书没有减轻这种恐惧，这些书常专为工程师们而写，并假定读者在数学上有相当造诣。因此，在写本书时，我力图克服这些误解，并表明水力学确实是容易了解，是一门值得欣赏而不是让人恐惧的学科。你没必要必须成为工程师或数学家后再去了解水力学。水总是伴随着我们，而且是我们每天生活的重要部分。翻开第9章可直接看到，从简单的洗澡中就可学到许多水的知识。

除了浴缸，水力学还能解释许多其他日常事情，比如飞机如何飞？为何风刮过大楼之间通道时楼门就开始砰砰作响？为何大风会将高高的烟囱或者桥梁吹倒塌？为什么与火搏斗时，要两个消防员抓住一条小小的消防水管？当你快速关上水龙头时，为什么在水管内有强烈的砰砰声音？游泳选手如何改进他们的泳衣以增加在水中的游泳速度？还有，为什么当你搅动杯中茶叶

时，茶叶常落在杯的中心？

水力学还有更重要的方面，那就是关于建设水库，选择正确水管与水泵的尺寸以供给城镇居民用水，控制野生湿地的水位，或选择适当明渠的尺寸，供给农场灌溉水或解决排涝问题。

略去复杂的水流概念写一本“简化”水力学将会更容易，但这将是以牺牲真实性为代价的简化。这就像根据食谱写一本烹饪书一样，而不是当各种食材混合在一起时，去解释为什么一定会发生的事。因此，我试图为了迎合各种口味而备办菜肴。本书的一个层次，是描述与提供对水力学有本质的了解，而另一层次是更为严格与量化，对希望深造的人会更多一些数学化。正如物理学家开尔文勋爵（Lord Kelvin）（1824—1907年）所说：如果我们想真正了解事物，则以数字描述之，这是最根本的。如果你对解题产生好奇，我已经包括一定数量的范例以及一些更有兴趣的公式推导，并将它们放入本书的示范箱内，以便你能很快将之找出来，当然，你也可以忽略之。

应该意识到，了解水力学与数学求解问题是两种不同能力，许多人对水的特性有很好的了解，却因为不能很容易地应用数学求解而灰心。这是个普遍问题，作为教师，我的经验是可通过大量的练习获得这种能力。这就是为什么本书包括了许多实例的理由。我亦在每一章末尾给出了一系列问题让你小试牛刀。这有助于获得一些数学的能力——基础代数，作为开始应该足够了。

本书是《实用水力学》的第2版，为回应已读过或使用过第1版读者，我加入了许多新的“故事”以帮助读者更好地了解水力学，还加入了许多的工作例题，特别是在水泵与管流方面。我还将“浴缸水力学”作为一个章节包括进来，你会发现既享受又实用，洗澡的时光将与以往再也不同。

享受学习水力学吧！

Melvyn Kay

2007年10月

致谢

我要特别提到对我这本书的写作有极大帮助的两本书：第一本是 H. R. Vallentine 所著的《服务于人类的水》，由 Pelican 图书出版有限公司 1967 年出版；第二本是 N. B Webber 所著的《土木工程师的流体力学》，首次由 E&FN Spon 有限公司 1965 年出版。遗憾的是两本书现在都没有再版，但复印本仍能在亚马逊公司找到。

我要感谢书中引用的方法，这些方法出自 H. W. King 与 E. F. Brater 的应用曼宁公式（见 5.5.4 节 1[●]），以及设计明渠出自 1963 年出版的《求解静水力学与流体水流问题的水力学手册》所阐述。

我要感谢，从《经济学人》在游泳衣应用边界拖曳力（见 3.10 节）、《新科学家》有关动量转换（见 1.12 节）及板球的水动力学（3.12 节）的思想启发。

我也非常感谢下列人士与组织，允许我采用有关图像与曲线图：

Chadwick, A. and Morfett, J. (1988) *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering*. 3rd edition E&FN Spon, London for Figure 5.24.

FC Concrete Ltd, Derby UK for Figure 7.14.

Fox, J. (1977) *An Introduction to Engineering Fluid Mechanics*. The MacMillan Press Ltd London for Figure 5.28.

Fraenkel, P. L. (1986) *Water Lifting Devices*. Irrigation and Drainage Paper No. 43 Food and Agriculture Organisation, Rome for Figures 8.5a and b, 8.11 and 8.21.

Hydraulics Research Wallingford (1983) *Charts for the Hydraulic Design of Channels and Pipes*. 5th edition for Figure 4.8.

IPTRID-FAO (2000) *Treadle pumps for irrigation in Africa*. Knowledge synthesis paper No. 1 for Figure 8.3b.

ITT Lowara Pumps Ltd for Figure 8.19.

Marine Current Turbines TM Ltd for use of Figure 6.8.

Open University Oceanography COURIS Team (1995) *Waves, Tides and*

● 原文误为 5.8.4 节，应改为 5.5.4 节。——译者注

Shallow Water Processes. Butterworth and Heineman 1995, for Figure 6. 2 and 6. 6.

Pdphoto for the use of Figure 6. 1c.

Photographer Rene Kragelund for Figure 6. 7.

Photographer Tom Brabben for Figure 8. 3.

The Environment Agency, UK for Figure 6. 3.

Vallentine, H. R. (1967) *Water in the Service of Man*. Penguin Books Ltd, Harmondsworth, UK for Figures 2. 7, 8. 2a, b and c.

US Navy photo by Ensign John Gay for Figure 5. 15c.

Webber, N. B. (1971) *Fluid Mechanics for Civil Engineers*. E&FN Spon Ltd, London for Figures 8. 10b and 8. 21c.

目录

译者简介
译者的话
原版前言
致谢

第 1 章 相关力学基础..... 1

1.1 简介 1

1.2 单位与量纲 1

1.3 速度与加速度 2

1.4 力 3

1.5 摩擦力 3

1.6 牛顿运动定律 3

1.7 质量与重量 5

1.8 标量与向量 6

1.9 向量处理 6

1.10 功、能和功率 8

1.11 动量 10

1.12 水的性质 12

第 2 章 静水力学：静止中的水 16

2.1 简介 16

2.2 水压 16

2.3 力与压力是不同的 17

2.4 水压与水深 18

2.5 水压在各个方向均相同 19

2.6 静水力学似非而是的论点 20

2.7 压头 21

2.8 大气压 22

2.9 压力的度量 25

2.10 大坝设计 27

2.11 作用于水闸的力 31

2.12 阿基米德原理 33

2.13 测验例题 37

第3章 水动力学：当水在流动时	38
3.1 简介	38
3.2 实验与理论	38
3.3 水力学工具箱	39
3.4 流量与连续性	39
3.5 能量	41
3.6 能量方程式的应用	43
3.7 更多能量的应用	49
3.8 动量	52
3.9 真实流体	53
3.10 拖曳力	57
3.11 涡流的扩散	59
3.12 使球旋转的启示	59
3.13 大受欢迎的打水漂	61
3.14 测验例题	62
第4章 管道	63
4.1 简介	63
4.2 典型管流问题	63
4.3 能量损失与管的尺寸相关公式	64
4.4 λ 的故事	67
4.5 水力坡降	69
4.6 管道配件的能量损失	71
4.7 虹吸	71
4.8 管道尺寸实际选择	73
4.9 管网	80
4.10 管道的流量量测	82
4.11 管流动量	85
4.12 管道材料	87
4.13 管道配件	88
4.14 水锤	90
4.15 波动	92
4.16 测验例题	93
第5章 明渠	94
5.1 简介	94
5.2 管道与明渠的选用	94
5.3 层流与紊流	95
5.4 水力学方法的应用	96

5.5	均匀流	100
5.6	非均匀流: 渐变流	108
5.7	非均匀流: 突变流	109
5.8	副流	125
5.9	泥沙输移	127
5.10	测验例题	129
第6章	波浪	130
6.1	简介	130
6.2	波浪的描述	130
6.3	海浪	131
6.4	河流与明渠中的波浪	132
6.5	洪水波	135
6.6	某种特殊波浪	136
6.7	潮汐发电	138
第7章	明渠水工建筑	140
7.1	简介	140
7.2	孔口建筑	141
7.3	堰与水槽	142
7.4	锐顶堰	143
7.5	实体堰	145
7.6	水槽	149
7.7	流量测量	151
7.8	流量控制	151
7.9	水位控制	152
7.10	消能	153
7.11	虹吸	155
7.12	涵洞	158
7.13	测验例题	160
第8章	水泵	161
8.1	简介	161
8.2	容积式水泵	161
8.3	旋转动力泵	164
8.4	抽水动力	166
8.5	抽水能	170
8.6	抽水的功率	171
8.7	旋转动力泵工况	175
8.8	正确选择水泵的类型	177

8.9 离心泵与管道的匹配	178
8.10 离心泵的串联与并联	183
8.11 变速泵	185
8.12 水泵的运行	186
8.13 功率单元	186
8.14 抽水主要管道的涌浪	187
8.15 水轮机	188
8.16 测验例题	190
第9章 浴缸水力学	192
参考文献及延伸阅读	195

第1章 相关力学基础

1.1 简介

相对于其他章节，本章是参考章节，用于介绍有关水的物理性质以及重温某些与水的特性直接相关的基础物理。

1.2 单位与量纲

正确地了解水力学，将压力、速度与流量等物理量赋予数值，以使它们有意义，这是基本的。仅仅说压力高、流量大是不够的，需要给出一些特有数值加以量化。只给出一个数也是没有意义的，例如说管长是 6，它可能为 6cm、6m 或 6km，所以，数字应为有意义的量纲。世界不同地区采用的计量单位有所不同。英尺、磅、秒系统（即 fps 系统）仍然广泛地在美国及英国一些地区使用。而米制系统以厘米、克与秒表示（即 cgs 系统）广泛用于欧洲大陆。但是在工程与水力学方面大多数的通用单位为 SI 系统，本书全部采用该系统。

1.2.1 SI 单位

国际单位制，简称 SI，是不难掌握的，相比其他系统，它有许多优点。它以米制度量为基础，逐渐地取代旧的 fps 系统和欧洲的 cgs 系统。所有长度的量度值以米计，质量以千克计，时间以秒计（表 1.1）。SI 单位使用简单，其最大优点是能避免应用其他单位制带来的许多困扰。例如，在 fps 系统与 cgs 系统中，质量与重量很容易混淆，因为在 fps 单位中两者都以 P（磅）计量，在 cgs 单位中两者则都以 kg（千克）计量。任何两者之间的混淆都有可能对工程设计产生严重后果。在 SI 系统，它们的区别是清楚的，因为它们有不同的量纲——质量以 kg（千克）计，而重量以 N（牛顿）计。这将在第 1.7 节讨论。

表 1.1

SI 基本单位

度量	单位	符号
长度	米	m
质量	千克（公斤）	kg
时间	秒	s

注意在表 1.1 中没有提及 cm（厘米），cm 是 cgs 单位，不属于 SI 基本单位，所以在水力学中和本书中没有用到。然而对很小的长度可以使用 mm（毫米），对很长的长度则

用 km (千米), 一般不用 cm。

1.2.2 量纲

每个度量一定要有一个量纲, 以赋予意义。度量所选择的单位不影响量测的量, 例如: 1.0m 正好与 3.28ft 相等。然而, 当求解问题时, 所有度量必须采用同一单位制, 否则它们混同一起 (如厘米或英寸代替米, 或以分代替秒) 并相加, 其答案是没有意义的。表 1.1 中的 SI 基本单位的常用导出单位见表 1.2。

表 1.2 常用的导出单位

度量	量纲	度量	量纲
面积	m^2	力	N
体积	m^3	质量密度	kg/m^3
速度	m/s	容重	N/m^3
加速度	m/s^2	压力	N/m^2
黏滞系数	$kg/(m \cdot s)$	动量	$kg \cdot m/s$
运动黏滞系数	m^2/s	固体的能量	$N \cdot m/N$
		流体的能量	$N \cdot m/N$

1.3 速度与加速度

在日常用语中, 经常用速度替代速率 (speed), 但两者是不同的。速率是表示物体移动的快慢, 以 m/s 计, 但它没有指明移动的方向。速度是速率加方向, 它指明运动在特定的方向, 它也是以 m/s 来计量, 在水力学中, 经常要知道水流运动的方向, 因此, 流速这个词便代替了速率。如一物体移动一已知距离, 所需的时间也是知道的, 那么速度可用下式计算:

$$\text{速度}(m/s) = \frac{\text{距离}(m)}{\text{时间}(s)}$$

加速度描述的是速度的变化, 当某一物体的运动速度是在增加, 那么它在加速, 而它在放慢速度, 就在减速。加速度以 m/s^2 来表示。如果初速与末速以及速度变化的时间都是已知的, 那么加速度可计算如下:

$$\text{加速度}(m/s^2) = \frac{\text{速度的变化}(m/s)}{\text{时间}(s)}$$

例题: 计算速度与加速度。

一物体以恒定的速度运动, 并以 150s 走完 100m 的距离, 计算它的速度。

解:
$$\text{速度} = \frac{\text{距离}(m)}{\text{时间}(s)} = \frac{100}{150} = 0.67(m/s)$$

如果一物体从静止开始, 如其末速为 1.5m/s 运动到达目的地时为 50s, 求其加速度。

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度的变化}(m/s)}{\text{时间}(s)} = \frac{1.5 - 0}{50} = 0.03(m/s^2)$$

1.4 力

力很难像某些实在物体一样用一句话的方式来描述。力习惯被理解为推或拉的作用，所以只能讲力会做什么，而不是说它是什么。利用这个概念，如果将力作用于某一个静止的物体，如该力足够大，那么物体会开始启动。如果作用力时间足够长，那么物体将运动加快，也就是物体移动将会加速。力作用于水以及其他流体也会是同样的，这可能很难想象推动着的是水。但如果水是沿着管道或一条明渠而流动，那么是需要使水流动的力的，所以，描述力的一种方法就是力引起流动。

1.5 摩 擦 力

阻止物体运动并使物体慢慢地停下来的力称为摩擦力 [图 1.1 (a)]。如果我们的脚与地面之间没有摩擦力，我们难以行走，每当我们踏上冰块或者光滑的油面时，便会提醒我们这一点。水如果没摩擦力，我们便不能游泳，尽管手臂划过水，却不能向前游动，就像孩子们在游乐场塑料球的“海洋”中游泳一样 [图 1.1 (b)]。



(a) 摩擦阻碍运动



(b) 试图“在无摩擦的流体中游泳”

图 1.1

摩擦力是我们生活的基础，但有时它又是一种麻烦，比如，在汽车发动机里，其转动部件之间会因摩擦力快速过热，并使发动机停转，而油可润滑其表面并减少摩擦力。

摩擦力也发生在管道的流动水流与管内壁之间，以及明渠流与渠道的河床及岸边之间。事实上，管流与明渠水力学中许多内容是关于预测这类摩擦力，以便选择能够通过给定水流的管道及明渠的正确尺寸（见第 4 章和第 5 章）。

摩擦力不是仅限制在边界上，它还存在于水流间内部（内摩擦力），这使得一些流体较其他流体更易流动。用黏滞力这个词表征内摩擦力（见第 1.12.3 节）。

1.6 牛 顿 运 动 定 律

牛顿（Sir Isaac Newton）（1642—1728 年）是开始研究力以及力如何引起运动的先驱之一，他的研究成果现在已记载在著名的牛顿运动三大基本定律。它们是非常简单的定