

**The Hydraulics of
Open Channel Flow**

明渠水力学

| 澳 | Hubert Chanson 著
可素娟 张学成 赵安林 等译

黄河水利出版社

明渠水力学

[澳] Hubert Chanson 著

可素娟 张学成 赵安林 等译

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

明渠水力学/(澳)钱桑(Chanson, H.)著;可素娟
等译.—郑州:黄河水利出版社,2001.12

书名原文:The Hydraulics of Open Channel Flow

ISBN 7-80621-529-8

I. 明… II. ①钱…②可… III. 明渠流动—水力
学 IV. TV133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 084919 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印张:26.25

字数:604 千字

印数:1—1 000

版次:2001 年 12 月第 1 版

印次:2001 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN7-80621-529-8/TV·252

定价:50.00 元

著作权合同登记号:图字 16-2001-071

译者前言

《明渠水力学》详细阐述了明渠水力学的基本原理、明渠输沙的基本特性、明渠水流的水力模拟及水工建筑物的设计,内容丰富,论述精辟,图文并茂,实用性强,具有很好的阅读性和参考价值。

我国河流众多,水利工程之多也属世界之最。因此,研究明渠水力学及水工建筑物的设计具有重要的意义。为了为我国在这些方面的研究提供有益的借鉴,并促进与国外同行的交流,我们将 1999 年出版的这本书翻译成中文出版,以供国内从事这方面研究、教学及实际工作的人员参考,也可作为高等学校教科书使用。

本书作者 Hubert Chanson 博士,于 1983 年和 1984 年先后在法国获水力学及原子能技术双学位,1984 年至 1986 年在法国原子能委员会工作,1986 年至 1988 年在新西兰堪特巴瑞大学做博士后研究。自 1990 年至今他任教于澳大利亚昆斯兰大学的环境流体力学及水工程学专业。Chanson 博士自 1995 年以来已有四部专著出版,即 1995 年出版的《梯级瀑布、渠道、堰及溢洪道水力学设计》,1997 年出版的《剪切流自由表面紊动掺气》,1999 年出版的《明渠水力学》及 2001 年出版的《阶梯陡槽及溢洪道水力学》。他在任教期间,先后到中国台湾及日本任过兼职教授和访问学者。他是一位社会活动能力强、专业知识面广、理论与应用相结合的水利工作者。现在是国际水力学研究协会会员和水力学结构专委会委员,经常参加在世界各国召开的水力学研究与应用技术的学术讨论会,并多次做过主要的邀请报告。他的著作深入浅出、结合实际,可以作为水力学工程设计、科研及教学的参考书。

本书由黄河水利委员会水文局水文水资源科学研究所组织翻译。第 1 章至第 4 章、第 12 章和第 13 章由可素娟翻译;第 5 章和第 6 章由潘启民翻译;第 7 章至第 11 章由张学成翻译;第 14 章至第 16 章由万隆翻译;第 17 章和第 18 章由杨汉颖翻译;第 19 章、第四部分复习练习和第四部分附录由赵安林翻译;问题由王芳玲翻译。第 1 章至第 12 章由社国翰审校,第 13 章至第 19 章及问题由李世明审校。全书由可素娟和王自玲统稿。黄河水利委员会水文局王玲副总工程师(教授级高级工程师)对本书的翻译出版十分关注,并对本书的中文稿进行了技术审核和把关。

本书是由中国水利水电科学研究院原外事办主任李桂芬教授推荐的。译者初次阅读本书时,即被文中系统而透彻的论述及生动的举例所吸引,决定将本书翻译成中文,介绍给国内同行。非常感谢李桂芬教授为我们推荐本书,也非常感谢 Hubert Chanson 教授允许翻译出版此书。他认为中国是一个水利工程最多的国家,希望与中国同行常联系。

翻译本书特作以下说明:

(1)本书英文原著由前言、作者简介、术语、符号说明、正文、附录、参考文献组成。正文分五部分,前四部分共 19 章,第五部分为问题。译文中,将术语、符号说明在正文中说明,没有单独列出,作者简介内容放入《译者前言》中,其他按照原著体系编排。

(2)原著中的英文人名、地名、河流名、单位名、含人名的方法(模型)名等在译著中均使用英文原名。

(3)原著所列参考文献不作翻译,译文中照列。

译 者

2001 年 5 月

前 言

本书详细阐述了明渠水力学的基本原理、明渠输沙的基本特性、明渠水流的水力模拟及水工建筑物的设计。选材主要针对从事土木工程、环境工程和水力工程研究专业的在校大学生,学生应具备流体力学基本知识,并熟知流体力学的基本原理:连续性、动量、能量及贝努里原理。

本书首先介绍了流体力学的基本原理在明渠中的应用,明渠流的计算要比管流计算复杂。因为,自由水面的位置事先是未知的。接着本书又进一步介绍了输沙的基本概念和水力模型(物理模型和数值模型),最后,介绍了水工结构的设计。

本书主要目的是让读者对水力学在河流、水道、人工渠道中的应用有一个基本的了解。按照难度递增的顺序共分四个部分:

第一部分介绍基本原理。基本流体力学原理在明渠中的应用,主要介绍贝努里原理和动量方程在明渠流中的应用。

第二部分介绍明渠中的输沙。通过简单的应用,说明一些最基本的概念;明渠流中泥沙运动的出现;输沙率(流速)的计算;泥沙运动和流体运动的相互作用。

第三部分介绍明渠水流模拟。明渠流物理模拟,明渠流数值模拟。

物理模拟:基本的相似分析原理和维量分析原理在明渠中的应用。

数值模拟:能量方程的数值积分:一维流模型。

第四部分介绍用于蓄水和输水的水工结构设计。坝、堰及溢洪道的水力设计;跌水陡槽、梯级的设计;涵洞的水力设计,其中包括标准箱式涵洞和最小能量损失涵洞。本部分对水工结构的专业设计做了基本介绍,还介绍了基本原理在实际设计中的应用,并对整个系统进行详细分析。

本书中将包括应用、分析介绍及练习的三项内容分为四块:包括应用及基本原理介绍的正文、每章练习、复习练习(每一部分后的总复习练习)和存在的主要问题。该书的主要篇章为应用部分提供了完善、详细的解释和说明,有些练习配有数值答案。复习练习及习题可在互联网上获取,网址为:

<http://www.arnoldpublishers.com/support/chanson>

书后附有建议、修改表,为改进和提供该书今后的再版质量,欢迎提出各种建议和意见。犯错乃人之天性,如发现书中有错,请将该页的复印件寄给作者。

目 录

译者前言

前言

第一部分 明渠水流基本原理介绍

第一章 绪论	(3)
1.1 简介	(3)
1.2 流体特征	(3)
1.3 静态流体	(4)
1.4 明渠水流	(5)
1.5 练习	(7)
第二章 基本方程	(8)
2.1 简介	(8)
2.2 基本方程	(8)
2.3 练习	(16)
第三章 Bernoulli 方程在明渠流中的应用	(18)
3.1 简介	(18)
3.2 Bernoulli 方程的应用——比能	(18)
3.3 Froude 数	(33)
3.4 普通明渠形状的特性	(39)
3.5 练习	(40)
第四章 动量定律在明渠水跃、涌浪和水流阻力中的应用	(43)
4.1 动量定律及其应用	(43)
4.2 水跃	(46)
4.3 涌浪和涌潮	(55)
4.4 明渠水流阻力	(60)
4.5 工程实践中水流阻力的计算	(70)
4.6 练习	(75)
第五章 均匀流和渐变流	(81)
5.1 均匀流	(81)
5.2 非均匀流	(87)
5.3 练习	(94)
第一部分复习练习	(96)
第一部分附录	(102)

A1.1 常数和水流特性	(102)
A1.2 单位换算	(106)
A1.3 数学	(108)
A1.4 明渠水流中的交替水深	(118)

第二部分 明渠输沙概论

第六章 明渠输沙概论	(123)
6.1 绪论	(123)
6.2 泥沙输移的重要性	(123)
6.3 术语	(128)
6.4 本部分的结构	(128)
6.5 习题	(128)
第七章 泥沙输移和泥沙特性	(129)
7.1 基本概念	(129)
7.2 泥沙的物理特性	(132)
7.3 颗粒沉降速度	(136)
7.4 休止角	(140)
7.5 实验研究	(141)
7.6 习题	(142)
第八章 泥沙起动、推移质运动的产生	(144)
8.1 引言	(144)
8.2 冲积河流水力学	(144)
8.3 床沙运动的临界状态	(149)
8.4 习题	(155)
第九章 悬移质泥沙的起动	(156)
9.1 前言	(156)
9.2 悬移质起动和临界河床剪切应力	(156)
9.3 高含沙水流的起动	(158)
9.4 习题	(158)
第十章 泥沙输移机制 1:推移质输移	(160)
10.1 前言	(160)
10.2 推移质输沙率经验公式	(162)
10.3 推移质计算	(164)
10.4 应用	(167)
10.5 习题	(172)
第十一章 泥沙输移机制 2:悬移质输移	(173)
11.1 前言	(173)
11.2 悬移质泥沙的平流扩散	(174)

11.3	悬移质泥沙输沙率·····	(178)
11.4	高含沙水流运动·····	(182)
11.5	习题·····	(184)
第十二章	输沙能力和总输沙量·····	(185)
12.1	前言·····	(185)
12.2	总输沙率(输沙能力)·····	(185)
12.3	侵蚀、淤积及河床演变·····	(188)
12.4	冲积河流泥沙输移·····	(191)
12.5	应用·····	(198)
12.6	习题·····	(202)
第二部分复习练习·····		(203)
第二部分附录·····		(204)
A2.1	水库泥沙淤积例子·····	(204)

第三部分 水力模拟

第十三章	基本水力原理概述·····	(211)
13.1	引言·····	(211)
13.2	基本原理·····	(211)
13.3	水流阻力·····	(212)
第十四章	水力学的物理模拟·····	(214)
14.1	引言·····	(214)
14.2	基本原理·····	(214)
14.3	量纲分析·····	(217)
14.4	全封闭水流模型·····	(221)
14.5	自由表面流的模拟·····	(223)
14.6	物理模型的设计·····	(226)
14.7	概要·····	(227)
14.8	练习·····	(228)
第十五章	数值模拟:壅水计算·····	(233)
15.1	引言·····	(233)
15.2	基本方程·····	(233)
15.3	壅水计算·····	(237)
15.4	数值积分·····	(239)
15.5	讨论·····	(243)
15.6	计算机模型·····	(244)
15.7	练习·····	(244)
第三部分复习练习·····		(246)
第三部分附录·····		(247)

A3.1 动床水力学的物理模拟	(247)
A3.2 壅水方程的扩展	(250)

第四部分 水工建筑物设计

第十六章 水工建筑物设计简介	(257)
16.1 简介	(257)
16.2 第四部分的组成	(257)
16.3 专业设计方法	(259)
第十七章 堰和溢洪道的设计	(257)
17.1 简介	(259)
17.2 堰顶设计	(263)
17.3 斜槽设计	(273)
17.4 消力池和消能结构	(275)
17.5 设计步骤	(282)
17.6 练习	(288)
第十八章 跌水建筑物和阶梯式急流的设计	(293)
18.1 简介	(293)
18.2 跌水建筑物	(293)
18.3 阶梯瀑布上的水舌流	(297)
18.4 练习	(298)
第十九章 涵洞设计	(301)
19.1 简介	(301)
19.2 涵洞的基本特征	(301)
19.3 标准涵洞的设计	(305)
19.4 最小能量损失涵洞的设计	(316)
19.5 练习	(329)
第四部分复习练习	(333)
第四部分附录	(340)
A4.1 溢洪道斜槽的流量计算	(340)
A4.2 最小能量损失堰的举例	(346)
A4.3 最小能量损失涵洞和水道实例	(349)
A4.4 标准的涵洞水力学计算机计算结果	(358)

问题

P1 Marib 大坝及其泄洪系统研究(公元前 115~公元 575 年)	(365)
P1.1 简介	(365)
P1.2 水力学问题	(369)
P1.3 水文学研究:Marib 水库洪水衰减	(371)

P2	Moeris 水库, Ha - Uar 大坝及连接 Nile 河和 Moeris 湖(公元前 2900 ~前 230 年)的河道研究	(373)
P2.1	简介	(373)
P2.2	水力学问题	(378)
P2.3	埃及 Moeris 湖水文学	(380)
P3	Moche 河灌溉系统研究(秘鲁,公元 200~1532 年)	(382)
P3.1	介绍	(382)
P3.2	水力学问题	(387)
P3.3	秘鲁西部水文学	(389)
	参考文献	(392)

第一部分

明渠水流基本原理介绍

第一章 绪论

概要

本章首先简要回顾流体基本特征及静水的一些重要研究成果,然后介绍明渠水流的概念及一些基本应用。

1.1 简介

术语“水力学”与流体力学原理在水工结构、土木工程设施和环境工程设施中的应用有着密切关系,特别是在水工建筑物(如渠道、大坝、水库及水处理厂等)中的应用。

在本书中,我们主要研究明渠中具有自由表面的流体(即水)的流动,明渠的例子是天然小溪与河流。人工河渠包括灌溉和航运渠道、排水沟、污水道、半满状的涵洞管道和溢洪道。

在明渠水流分析研究中,重点是自由表面的位置,这在以前是未知的,自由水面的升与降随水流的扰动而变化(如河槽坡度或宽度的变化)。水力研究的主要参数是河槽的边界条件(如宽度、坡度和粗糙度)、流体的特征(如密度、粘滞性)和水流参数(如流速、水深等)。

1.2 流体特征

流体密度 ρ 的定义是单位体积该流体的质量。所有实际流体都具有抗力性,易引起一个层面在另一层面上移动,但是,只有在移动时阻力才会产生,层面间移动所产生的阻力即称为该流体的粘滞性。Newton 的粘滞性定律就是以此为前提的,因为,对于给定的平行移动流体,毗邻的层面间的切向应力与两层在垂直方向的流速梯度成正比。

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1.1)$$

式中: τ 为毗邻流体层间的剪应力; μ 为流体的动力粘滞度; v 为流速; y 指与流体流动方向呈垂直的方向。

遵循 Newton 粘滞性定律的流体称为 Newton 流体。在液体与气体、液体与固体或两种不能混合的液体的交界面上,受一张力作用,这种张力能最大程度地减小交界面面积。表面张力形成层面所需的外伸力,如平衡条件下单位长度层面的张力。

水与气体的基本特征详见附录 A。

注释

1. Issac Newton(1642~1727), 英国数学家。

2. 运动粘滞系数是粘滞系数与质量密度的比: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 。

3. Newton 流体为单向流时,其剪应力是与垂直于水流方向上的速度梯度测量的变

形率成比例的。常见的 Newton 流体有空气、水和轻石油。在第一章中我们将不涉及非 Newton 流体,在第二章中才会简单地涉及到(即高含沙水流)。

应用

常压下,20℃时水的密度和动力粘滞系数为:

$$\rho_w = 998.2 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_w = 1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

空气的密度约为: $\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 。

温度为 20℃ 时水与空气接触面的表面张力约为 0.073 N/m 。

考虑一液体中有一个圆气泡(直径为 d_{ab}),为抵消表面紧张引起的张力,需要增加的气压为 $\Delta p = 4\sigma/d_{\text{ab}}$ 。

1.3 静态流体

就一静态流体面言,该流体内任何一点上的压力变化都遵循 Pascal 定律,对于任何小的控制体积面言,控制表面上没有剪应力。作用于流体控制体上的力只有重力和压力^①。

在静态流体中,流体任一点上的压力,只有惟一值,与方向无关,这就是 Pascal 定律。在静态流体中,压力变化如下:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho \times g \quad (1.2)$$

该方程中: P 为压力; z 为垂直向上高度; ρ 为流体密度; g 为重力常数(见附录 A1.1)。

密度恒定且具有自由表面的静态流体(如湖泊),压力变化等于:

$$P(x, y, z) = P_{\text{atm}} - \rho g [z - (z_0 + d)] \quad (1.3)$$

该方程中: P_{atm} 为大气压(如在自由水面上的气压); z_0 为水库底的高程; d 为水库深(图 1.1); $(z_0 + d)$ 为自由水面高程。方程(1.3)表明压力与水平坐标(x, y)无关, $[-\rho g [z -$

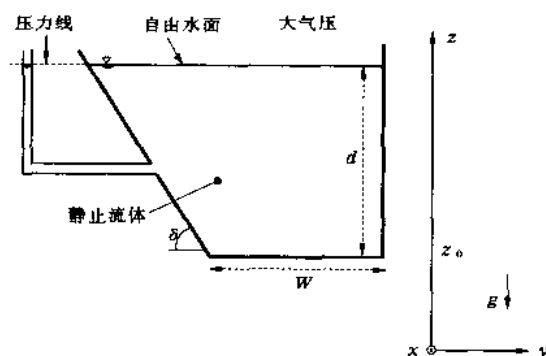


图 1.1 静态流体的压力变化

① 根据定义,压力总是垂直作用于表面,即压力沿表面切线方向没有分量。

$(z_0 + d)]$ 项在静态流体内为正,被称为是静水压力。

作用于与流体接触的限定区域表面上的压力,只分布在表面上,通过积分得到合力,即:

$$F_p = \int P dA \quad (1.4)$$

式中: A 为表面面积。

注释

Blaise Pascal(1623~1662),法国数学家、物理学家和哲学家,他研究出现代概率理论,阐明了压力概念(1646~1648),并说明了流体内的压力通过流体向各个方向传播(即 Pascal 定律)。

应用

在图 1.1 中,作用于箱四边的压力(单位宽度)是:

$F_p = \rho g d W$, 作用于底部单位宽度上的压力。

$F_p = \rho g d^2 / 2$, 作用于右壁单位宽度上的压力。

对于左壁,压力的方向与壁面垂直,积分方程式(1.4) 化为:

$$F_p = \frac{1}{2} \rho g \frac{d^2}{\sin \delta}$$

为作用在左壁单位宽度上的压力。

1.4 明渠水流

1.4.1 定义

明渠指的是流体可以流动的水道、渠道或沟槽,在其中流动的流体有一自由表面。明渠水流描述了明渠中的流体运动(图 1.2)。在大多数应用中,流体为水,水流上面的空气是静止的,且是标准大气压(见附录 A1.1)。

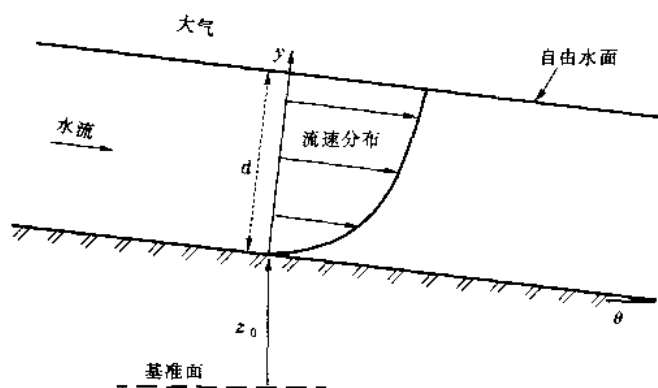


图 1.2 明渠水流示意图

注释

(1) 在一些实际情况下(如未满的封闭输水道), 流体上部的气压可能为负压。

(2) 在明渠水流自由表面下面, 由于与水面的摩擦作用进入一些空气, 即水与空气界面的无滑动条件, 导致空气的运移。有时会用术语“空气边界层”来描述通过动量转移, 空气被掺入到自由水面下的大气区域。

(3) 在清水的明渠流中, 自由表面定义明确, 即: 它指水与空气的交界面, 但如果是水与空气的混合流(也称掺气水), 自由表面的定义(即滚动的混合流体与周围空气的交界面)则比较复杂(如 Wood 1991, Chanson 1997)。

1.4.2 应用

明渠水流有天然的, 也有人工建筑物中的。天然明渠流可在一些大河的河口附近观测到缓流, 如 Nile 河上从 Alexandria 到 Cairo 这一段, Brisbane 河的 Brisbane 段。山区河流、河流急滩和急流中可能遇到冲击流。典型的实例有 Nile 的大瀑布、非洲 Zambesi 急流和 Rhine 瀑布。

人工明渠包括用于灌溉、发电、饮用水的供水渠道和净水处理厂的输水渠、暴雨排水道, 以及一些公共场所的喷泉、公路、铁路下的涵洞。

对于明渠流, 可进行小规模观测, 也可进行大规模观测。例如, 水流深度的测量可以小到净水处理厂几厘米的管道, 到大河流程 10m 以上; 平均流速小到静水中不足 0.01 m/s, 大到高水头溢洪道中 50m/s 以上; 总排放量^① 小到化工厂中 0.001L/s, 大到江河或溢洪道中 10 000m³/s 以上。但是在每种水流条件中, 自由水面的位置事先未知, 可应用水流的连续性原理和动量原理来决定。

1.4.3 讨论

明渠流与管流间有着特性上的区别(见表 1.1)。在明渠流中, 水体在大多数情况下是由于重力作用流动的, 而管流是在压力作用下流动的; 明渠流的另一个重要特征是存在自由液面。

表 1.1 管流与不可压缩明渠流的基本区别

项 目	管 流	明渠流
水流驱动力	压力作用	重力(即势能)
水流横断面	已知(由管的几何形状决定)	预先未知, 因为水流深度未知
水流特征参数	从连续方程推导出的流速	联解连续方程和动量方程, 得出深度和流速
特定边界情况		水流自由表面上为大气压

- 自由表面的位置预先未知的。
- 联解连续方程和动量方程才能求出它的位置。
- 自由表面上的压力为大气压。

① 在明渠流水力学中, 假定水流是不可压缩的, 通常用体积流量。