



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目



高等院校力学教材

Textbook in Mechanics for Higher Education

工程流体力学 (下册)

Engineering Fluid Mechanics

李玉柱 江春波 编著

Li Yuzhu Jiang Chunbo



清华大学出版社



Springer



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目



高等院校力学教材

Textbook in Mechanics for Higher Education

工程流体力学 (下册)

Engineering Fluid Mechanics

李玉柱 江春波 编著

Li Yuzhu Jiang Chunbo



清华大学出版社
北京



Springer

内 容 简 介

本书分为上、下两册,上册共 11 章:绪论、流体静力学、流体动力学、流体动力学基础、有旋流动和有势流动、流动阻力和能量损失、量纲分析和相似原理、边界层理论基础及绕流运动、孔口、管嘴出流和有压管流、可压缩气流在管道中的流动、紊动射流和紊流扩散。下册共 7 章:明槽恒定均匀流、明槽恒定非均匀渐变流、明槽恒定急变流、堰流及闸孔出流、水工建筑物泄流衔接与消能、明槽非恒定流、渗流。书后附有习题答案和名词索引。

本书适合高等院校水利类、土建类各专业以及环境工程、交通工程、核工程与核技术等专业的大学本科学生使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学. 下册/李玉柱,江春波编著. —北京:清华大学出版社,2007.9

(高等院校力学教材)

ISBN 978-7-302-15631-4

I. 工… II. ①李… ②江… III. 工程力学:流体力学—高等学校—教材
IV. TB126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 100470 号

责任编辑:杨 倩 赵从棉

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:16

字 数:313 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版

印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:016815-01

前 言

《水力学》教材的第1版是在1959年出版发行的,主编是夏震寰、李丕济教授,1965年进行了第一次修订,是国内比较经典的一本《水力学》教材。1980年在余常昭教授主持下进行了第二次修订。1995年在董曾南、余常昭教授主持下进行了第三次修订。该教材的主要特色是理论联系实际,精选教学内容并使之符合学生的认识规律,重视物理概念的分析和水流现象的阐述。教材出版以来,一直受到全国各大专院校的广泛关注。很多学校的教师把它作为教学参考书。该教材的第3版1988年曾获教育部优秀教材一等奖。

这次修订除保持原教材的特色外,力求有所改进和提高。主要包括以下几个方面:

1. 内容上作出了较大调整,以拓宽专业适用面,适应多种专业的教学要求,使之不仅适用于水利、土建类各专业,而且也可用于环境工程、交通工程、核工程与核技术等各专业,并将书名由《水力学》改为《工程流体力学》。

2. 对经典内容的阐述进行了反复推敲,使之更加简洁、明了。删除部分偏深、偏难的内容。适当引入计算流体力学的有关内容,简化了列表试算和查表计算的内容,使之更加符合教学基本要求,并适当引进学科新内容。

3. 精选复习思考题、自测题和习题,利于学生自学,同时对每章的习题均附有答案。

本书分上、下册,上册11章,下册7章。其中下册第12、13、14、16、17、18由江春波编写,第15章由李玉柱编写,全书由李玉柱统稿。《工程流体力学》下册的编写是

在国家重点基础研究项目(2006CB403304)和国家自然科学基金项目(90610028)的资助下进行的,编写中用到了两个课题的部分研究理论和成果。

由于水平所限,时间较紧,书中不妥之处敬请批评、指正。

作 者

2007年5月于清华园

目 录

第 12 章 明槽恒定均匀流	1
12.1 明槽的分类	2
12.2 明槽均匀流的特征及其形成条件	3
12.3 明槽均匀流的基本公式	5
12.4 水力最优断面与复式断面渠道	8
12.5 明槽水力计算及实例	12
复习思考题	15
自测题	16
习题	17
参考文献	19
第 13 章 明槽恒定非均匀渐变流	20
13.1 缓流、急流、临界流	20
13.2 明槽恒定非均匀渐变流基本方程	28
13.3 明槽恒定非均匀渐变流水面变化的分析	31
13.4 明槽水面线计算	38
复习思考题	47
自测题	47
习题	49
参考文献	52

第 14 章 明槽恒定急变流	54
14.1 水跌——缓流到急流的过渡	55
14.2 水跃——急流到缓流的过渡	56
14.3 缓流弯段水流	68
复习思考题	73
自测题	73
习题	74
参考文献	76
 第 15 章 堰流及闸孔出流	78
15.1 概述	78
15.2 堰流的类型及计算公式	80
15.3 薄壁堰流	83
15.4 实用堰流	86
15.5 宽顶堰流	98
15.6 闸孔出流	104
复习思考题	111
自测题	112
习题	112
参考文献	116
 第 16 章 水工建筑物泄流衔接与消能	117
16.1 泄水建筑物的出流特性与衔接消能	117
16.2 底流型的衔接与消能	122
16.3 面流型和混合流型的衔接与消能	134
16.4 挑流型的衔接与消能	138
复习思考题	146
自测题	147
习题	148
参考文献	150
 第 17 章 明槽非恒定流	152
17.1 概述	152
17.2 一维明槽非恒定渐变流的基本方程	155

17.3 初始条件及边界条件·····	160
17.4 特征线理论·····	161
17.5 明槽中的非恒定急变流 溃坝波(断波)·····	171
17.6 二维明槽非恒定流的基本方程·····	175
复习思考题·····	180
自测题·····	181
习题·····	182
参考文献·····	183
 第 18 章 渗流 ·····	184
18.1 概述·····	184
18.2 渗流的达西定律·····	187
18.3 渗流运动的基本方程·····	191
18.4 一维无压渗流·····	197
18.5 二维恒定渗流·····	206
18.6 各向异性介质渗流模型·····	212
18.7 恒定渗流的有限元计算·····	217
18.8 渗流的实验方法——水电比拟法·····	225
复习思考题·····	229
自测题·····	229
习题·····	231
参考文献·····	234
 习题答案 ·····	236
名词索引 ·····	240
附图 I ·····	246
附图 II ·····	247
附图 III ·····	248

第 12 章

明槽恒定均匀流

明槽水流是指水体的部分边界与大气接触,具有自由水面的流动。在自由水面上各点压强均为大气压强,相对压强为零,故明槽流动又称无压流动。天然河道、人工渠道、明流涵洞、渡槽等人工输水道中的水流都是明槽流动。在水利工程,环境工程,给水、排水工程与交通运输工程中经常遇到这类流动问题。例如拦河筑坝形成水库,需要计算上游河道中水面的壅水长度,以估计淹没影响的范围;开挖溢洪道或泄洪隧洞需要有一定的输水能力,以宣泄多余的洪水;为城市给水、引水灌溉或发电而修建的渠道,应有合理的断面尺寸,等等。这些都需要掌握明槽水流的运动规律,研究明槽水流的水力计算的方法,为规划设计提供科学的依据。

明槽水流的水面不受固体边界的约束,明槽中常有各种干扰,例如槽底坡度的改变、断面形状或尺寸的变化、槽壁粗糙情况的不一致等,都将导致自由水面的升降。在一定的流量条件下,由于上下游控制条件的不同,同一明槽中的水流可以形成各种不同型式的水面线。明槽中水的运动,重力起主导作用,因水流的弗劳德数不同而形成不同的流态。由此可见,解决无压的明槽流动问题比解决有压流动问题要复杂得多。

明槽水流同样分为恒定流与非恒定流、均匀流与非均匀流。本章将讨论明槽水流中最基本的形式——恒定均匀流。

12.1 明槽的分类

明槽的槽身分棱柱形槽与非棱柱形槽两类。断面形状和尺寸保持不变的长直明槽称为棱柱形槽。棱柱形槽中过水断面面积 A 的大小只随水深 h 而变化。轴线顺直,断面沿程不变的人工渠、槽、洞、涵均属棱柱形槽。断面形状和尺寸沿程不断变化的明槽称为非棱柱形槽。非棱柱形槽中过水断面面积既随水深改变,又随位置改变。渠系建筑物进出口的渐变段就是典型的非棱柱形槽,天然河道的断面不规则,主流弯曲多变,也是非棱柱形槽。

明槽断面有各式各样的形状,见图 12-1。人工渠槽的断面形状既要考虑水力学条件,又要结构合理,施工方便,一般是对称的矩形、梯形、圆形、马蹄形或 U 形等。天然河道常有主槽与滩地之分,形成复式断面。

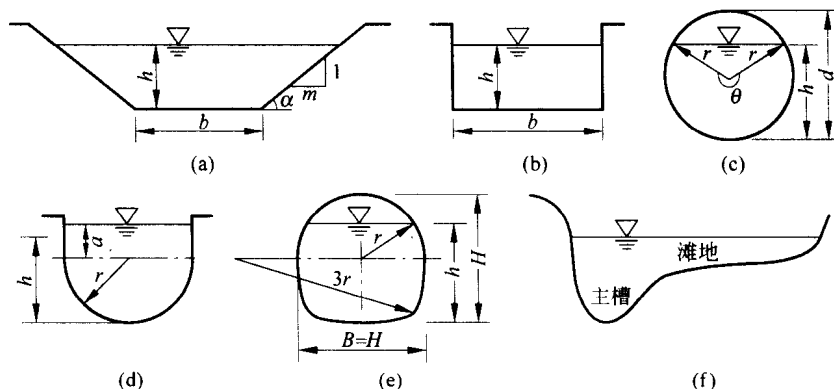


图 12-1 明槽断面形状

在土质地基上修建人工渠槽,往往修成梯形断面,其两侧的倾斜程度用边坡系数 m 表示, $m = \cot \alpha$ (参见图 12-1(a)), m 的大小取决于渠槽边壁的土壤性质或采用的护面材料,参见表 12-1。在岩石中开凿的渠槽或用混凝土、浆砌块石做护面材料时,

表 12-1 梯形渠道边坡系数 m 值

序号	渠壁土壤种类	边坡系数 m 值	序号	渠壁土壤种类	边坡系数 m 值
1	粉砂	3.0~3.5	5	砾石和卵石	1.25~1.5
2	细砂、中砂、粗砂	2.0~2.5	6	半岩性土	0.5~1.0
3	砂壤土	1.5~2.0	7	风化岩石	0.25~0.5
4	粘壤土或粘土	1.25~1.5	8	岩石	0.1~0.25

常可采用矩形断面,此时边坡系数 $m=0$ 。无压隧洞多采用圆形断面或马蹄形断面。钢筋混凝土渠槽还可以作为 U 形断面。对于通过的最大和最小流量相差较大的大型渠道也可以采用复式断面。

人工渠槽底一般向下游倾斜。槽底与纵剖面的交线称为槽底线。槽底线与水平线的夹角 θ 的正弦,称为槽底纵坡或底坡,以符号 i 表示。如果选取的两个断面的槽底高程各为 z_{b1} 和 z_{b2} ,其间流程长度为 s ,则

$$i = \sin \theta = \frac{z_{b1} - z_{b2}}{s} \quad (12-1)$$

通常 θ 角很小, $\sin \theta \approx \tan \theta$,因而也常以两断面之间的水平距离 L 来代替流程长度,见图 12-2,则

$$i \approx \sin \theta = \frac{z_{b1} - z_{b2}}{L} \quad (12-1a)$$

明槽水流的过水断面垂直于流动方向,因而水深 h 垂直于流向。但为了量测和计算的方便,也常取铅垂断面为过水断面,用垂直于水平方向的铅垂水深 h' 代替实际水深 h 。由图 12-2 可以看出 $h' = h / \cos \theta$ 。在底坡 $i \leq 0.1$ ($\theta \approx 6^\circ$) 的情况下,采用水平距离 L 代替流程长度 s 或用铅垂水深 h' 代替 h 引起的误差对于所讨论的工程问题是不大的。

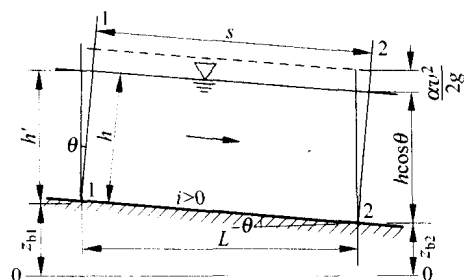


图 12-2 明槽的底坡

明槽的槽底沿程降低 ($z_{b1} > z_{b2}$), $i > 0$, 称为正底坡或顺坡;槽底高程沿程不变 ($z_{b1} = z_{b2}$), $i = 0$, 称为平底坡;槽底沿程抬高 ($z_{b1} < z_{b2}$), $i < 0$, 称为反底坡或逆坡。天然河道的底坡陡坦相间,参差不一,计算时采用的是一定河段上的平均底坡。

12.2 明槽均匀流的特征及其形成条件

12.2.1 明槽均匀流的特征

如果长直明槽的过水断面形状、糙率在足够长的流程内保持不变,水流在这样的明槽上将会达到稳定,明槽内各种水力运动要素,如水深、流速、流量等将保持沿流程不变,流线为一组与槽底平行的直线,这样的流动称为明槽均匀流。定义水面坡度 J_z 和总水头坡度 J 如下:

$$J_z = \frac{(z_{b1} + h_1) - (z_{b2} + h_2)}{L} \quad (12-2a)$$

$$J = \frac{(z_{b1} + h_1 + v_1^2/2g) - (z_{b2} + h_2 + v_2^2/2g)}{L} \quad (12-2b)$$

其中, h 为水深; v 为断面平均流速。对于明槽均匀流, 水面线、总水头线与槽底线平行, 也就是水面坡度 J_z 、总水头线坡度 J 又称水力坡度(在均匀流中只有沿程水头损失 h_f , 总水头线坡度 J 也可用 J_f 表示)和底坡 i 都相等, 如图 12-3 所示, 即

$$J_f = J_z = i \quad (12-2c)$$

明槽均匀流既然是一种等速直线运动, 则作用在水体上的力必然是平衡的。在图 12-3 所示均匀流中取出断面 1—1 和断面 2—2 之间的水体进行分析, 作用在水体上的力有重力 G 、阻力 F 、两端断面上的水压力 P_1 和 P_2 。沿流动方向写出平衡方程

$$P_1 + G \sin \theta - F - P_2 = 0 \quad (12-3)$$

因为是均匀流, 其压强符合静水压强分布规律, 水深又不变, 故 P_1 和 P_2 大小相等, 方向相反, 互相抵消。因而 $G \sin \theta = F$, 也就是明槽均匀流中阻碍水流运动的摩阻力 F 与促使水流运动的重力分量 $G \sin \theta$ 相平衡。

从能量的观点来看, 在明槽均匀流中, 对于单位重量水体, 重力所做的功正好等于阻力所做的功。在一定的距离上, 水流因高程降低所引起的势能减少正好等于克服水流阻力所损耗的能量, 而水流的动能维持不变。这也就是式(12-2c)的物理意义。

通常将明槽内形成均匀流时的水深称为正常水深, 以符号 h_0 表示。

12.2.2 明槽均匀流形成的条件

形成明槽均匀流的条件是明槽中的水流必须是恒定的, 流量保持不变, 沿程没有水流分出或汇入。渠槽必须是长而直的顺坡($i > 0$)棱柱形槽, 粗糙情况沿程不变, 没有建筑物的局部干扰。而且, 只有离渠槽进口一定距离, 边界层充分发展以后才能形成均匀流。

由于种种条件的限制, 明槽均匀流往往难以完全实现, 在渠槽中大量存在的是非均匀流。然而, 对于顺直的正底坡棱柱形槽, 只要有足够的长度, 总是有形成均匀流的趋势。例如, 由于边界条件的控制, 若明槽内水深小于正常水深, 则这时重力作用因水深减小而相应减小, 但平均流速却大于均匀流的平均流速。明槽中多数为紊流粗糙区, 水流阻力与流速的平方成正比。这样, 阻力就大于重力沿流动方向的分力, 促使水流作减速运动。随着流速的减小, 阻力相应减小, 水深不断增加, 经过一段流程, 重力分量与阻力在新的状态下达到平衡, 水深等于正常水深。反之, 如果边界条

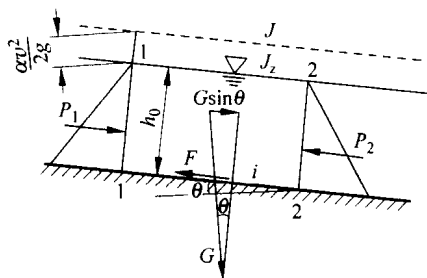


图 12-3 明槽均匀流受力分析

件使得明槽内水深大于正常水深,则平均流速小于均匀流动的平均流速,这时重力沿流动方向的分量大于水流阻力,促使水流作加速运动。随着流速的增加,阻力相应加大,水深不断减小,经过一段流程,重力分量与阻力也能平衡,这时水深又等于正常水深。所以,无论是水深大于还是小于正常水深的非均匀流,只要渠槽足够长,又没有其他干扰,水流的趋势总是向均匀流动发展的。

人工渠道一般都是尽量使渠线顺直,底坡在较长距离内维持不变,并且采用同一材料做成规则一致的断面,这样就基本上能保证均匀流形成的条件。因此,按照明槽均匀流来设计渠道是符合实际情况的。天然河道中一般不容易形成均匀流,但对于某些顺直整齐的河段,也有按均匀流作近似估算的。其他人工非棱柱形槽通常采用分段计算,各段的沿程水头损失按均匀流的情况处理,一般情况下也可以满足生产上的要求。因此,均匀流理论是分析明槽水流的一个基础。

均匀流动是明槽中最简单的流动型式。均匀流的运动规律是渠槽水力设计的基本依据,均匀流的特征及其形成条件在分析明槽非均匀流问题时有重要的作用。

12.3 明槽均匀流的基本公式

明槽水流根据流动雷诺数的大小也呈现层流和紊流两种流动类型。不过一般明槽均匀流雷诺数都较大,多属紊流粗糙区,沿程水头损失主要与固体边界的形状尺寸以及粗糙情况有关,其大小与断面平均流速的平方成正比。

明槽均匀流水力计算的基本公式是连续方程(见上册式(3-34))

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{或} \quad A_1 v_1 = A_2 v_2$$

和谢才公式(见上册式(6-51))

$$v = C \sqrt{RJ}$$

在明槽均匀流的情况下,水力坡度 J 等于槽底纵坡 i ,水深为正常水深 h_0 ,相应的过水断面面积为 A_0 ,水力半径为 R_0 ,谢才系数为 C_0 ,则明槽均匀流的流量公式为

$$Q = A_0 C_0 \sqrt{R_0 i} \quad (12-4)$$

在第9章有压管流中称 $K = AC \sqrt{R}$ 为流量模数,明槽均匀流中与此类似,称

$$K_0 = A_0 C_0 \sqrt{R_0} \quad (12-5)$$

为明槽均匀流的流量模数,则式(12-4)可写为

$$Q = K_0 \sqrt{i} \quad (12-6)$$

均匀流公式中的谢才系数 C ,在上册已有说明,通常采用曼宁公式(见上册式(6-53))

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}$$

或者巴甫洛夫斯基公式(见上册式(6-54))

$$C = \frac{1}{n} R^y$$

来确定,其中,

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10)$$

谢才系数 C 是反映断面形状、尺寸和粗糙程度的一个综合系数。从计算式可以看出,它与水力半径 R 值和粗糙系数 n 值有关,而 n 值的影响远比 R 值大得多。明槽表面材料愈光滑平整, n 值就愈小,相应的水流阻力也小,在其他条件不变的情况下,通过的流量就愈大。如果在设计中选择的 n 值与实际相比偏大,则势必增大断面尺寸,增加工程量,不仅造成浪费,而且渠中实际流速大于设计值,还可能引起土渠的冲刷。反之,如果选择的 n 值偏小,渠槽建成后实际流速达不到设计值,会影响渠槽的过流能力,造成渠槽漫溢或渠中淤积。所以,正确选择粗糙系数 n 值是明槽均匀流计算中的一个关键问题。

对于人工渠槽的粗糙系数值,多年来积累了较多的实验资料和工程经验。例如混凝土的 n 值为 $0.013 \sim 0.017$; 浆砌石的 n 值为 0.025 左右;土渠的 n 值为 $0.0225 \sim 0.0275$;开挖的岩石面 n 值为 $0.025 \sim 0.035$ 。详细的资料可查阅水力计算手册。

对于天然河流,实际情况要复杂得多,因为它是不规则的非棱柱形槽,总是形成非均匀流, n 值的正确估计就很困难,常要通过对实际河流的量测来确定。一般是选取河道顺直、水面宽度和断面形状变化不大的河段,量测流量 Q ,测绘横断面图,量测河段长度、水面高差,利用均匀流的谢才公式(6-51)和曼宁公式(6-53)来反求 n 值。

影响天然河道 n 值的因素很多,正确选择比较困难。河床组成材料的粗糙不同、河床断面的不规则性、平面上河道弯曲变化情况、河滩的覆盖情况(如有无树木、杂草等)、河道中的障碍物情况(如有无桥墩等)对 n 值都有影响。而且,除了河槽本身的因素之外, n 值还与流量、含沙量等水文因素有关,即使在同一河段上,随着水位涨落、河底沙波起伏, n 值也有变化。在没有实测资料时,可参考表 12-2 所列数值。

表 12-2 河流的粗糙系数 n 值

河槽类型及情况	最小值	正常值	最大值
一、小河(洪水位的水面宽度小于 30 m)			
1. 平原河流			
(1) 清洁、顺直,无浅滩深潭	0.025	0.030	0.033
(2) 同(1),但石头多、杂草多	0.030	0.035	0.040
(3) 清洁、弯曲,有浅滩深潭	0.033	0.040	0.045
(4) 同(3),但有石块杂草	0.035	0.045	0.050

续表

河槽类型及情况	最小值	正常值	最大值
(5) 同(3),水深较浅,河底坡度多变,平面上回流区较多	0.040	0.048	0.055
(6) 同(4),但石块多	0.045	0.050	0.060
(7) 多杂草、有深潭,流动缓慢的河段	0.050	0.070	0.080
(8) 多杂草的河段、深潭多或林木滩地上的过洪	0.075	0.100	0.150
2. 山区河流(河槽无草或树、河岸较陡、岸坡过洪时淹没)			
(1) 河底为砾石、卵石,间有孤石	0.030	0.040	0.050
(2) 河底为卵石和大孤石	0.040	0.050	0.070
二、大河(洪水位的水面宽度大于 30 m)			
相应于上述小河的各种情况,由于河岸阻力较小, n 值略小			
1. 断面比较规则整齐,无孤石或林木	0.025		0.060
2. 断面不规则整齐,床面粗糙	0.035		0.100
三、洪水时期滩地漫流			
1. 草地、无树丛			
(1) 短草	0.025	0.030	0.035
(2) 长草	0.030	0.035	0.050
2. 耕地			
(1) 未成熟庄稼	0.020	0.030	0.040
(2) 已成熟成行庄稼	0.025	0.035	0.045
(3) 已成熟密植庄稼	0.030	0.040	0.050
3. 矮树丛			
(1) 稀疏、多杂草	0.035	0.050	0.070
(2) 不密,夏季情况	0.040	0.060	0.080
(3) 茂密,夏季情况	0.070	0.100	0.160
4. 树木			
(1) 平整田地、干树无枝	0.030	0.040	0.050
(2) 平整田地、干树多新枝	0.050	0.060	0.080
(3) 密林、树下植物少、洪水位在枝下	0.080	0.100	0.120
(4) 同(3),洪水位淹没树枝	0.100	0.120	0.160

12.4 水力最优断面与复式断面渠道

12.4.1 水力最优断面

从明槽均匀流的谢才公式中可以看出,当过水断面面积 A 、纵坡 i 、粗糙系数 n 为定值时,要使流量 Q 最大,则必须使水力半径 R 最大,也就是湿周 χ 最小,称这样的过流断面为水力最优断面。

在进行渠道设计时,纵坡一般由地形条件决定,粗糙系数取决于渠槽表面材料的性质。为了通过一定的设计流量 Q ,在纵坡 i 和粗糙系数 n 已定的情况下,总是希望有最小的过水断面面积,以减少工程量。或者反过来说,在过水断面面积、粗糙系数和渠底纵坡一定的条件下,使渠道所通过的流量最大。凡是符合这一条件的断面形式均为水力最优断面。

在各种几何形状中,同样的面积下,已知圆的湿周最小。而半圆形的水力半径与圆的水力半径是相等的,这说明在其他条件相同的情况下,半圆形的明槽比其他形状的明槽能通过更多的流量。因此,虽然渠道难以做成半圆形,但不少钢筋混凝土或钢丝网水泥渡槽仍采用底部为半圆的 U 形断面。

渠道常采用梯形断面,如图 12-1(a) 所示。边坡系数 m 是由边坡稳定要求和施工条件确定的。这样,不同的宽深比就有不同的湿周,因而过流能力是不一样的。根据水力最优断面的定义,当过水断面面积 A 为常数,湿周 χ 最小时,通过的流量最大。以梯形断面为例,梯形断面的底宽为 b ,边坡系数为 m ,则断面面积 A 与湿周 χ 的表达式可以分别写成

$$A = h(b + mh) \quad (12-7a)$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (12-7b)$$

从这两个公式中消去底宽 b ,可得

$$\chi = \frac{A}{h} + h(2\sqrt{1+m^2} - m) \quad (12-7c)$$

在式(12-7c)中, A 和 m 为定值,将湿周 χ 对水深 h 求极值,即令 $d\chi/dh=0$,解得梯形水力最优断面的宽深比 β_0 值为

$$\beta_0 = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (12-8)$$

可以看出梯形水力最优断面的宽深比 β_0 仅是边坡系数 m 的函数。对于不同的边坡,有不同的 β_0 值。矩形断面 $m=0$,则 $\beta_0 = b/h = 2$,也就是矩形水力最优断面的底宽是水深的 2 倍。

水力最优断面虽然过水断面面积小,工程量少,但是形状窄而深,例如土渠边坡系数 $m=2$, $\beta_0=0.472$,底宽不到水深的一半。对于较大的渠道,由于深挖高填,劳动效率低,养护也困难,往往不经济,所以一般不用。然而不少山区石渠、渡槽、涵洞都是按水力最优断面设计的。在山高坡陡处修盘山渠时,为避免大量劈坡,有时还采用比水力最优断面更为窄深的断面形式。

12.4.2 断面周界上粗糙度不同的渠道

修建渠道需要因地制宜,有时渠底渠壁采用不同的材料,形成断面周界上粗糙度不同的明槽断面。例如图 12-4(a)所示为沿山坡凿石筑墙而成的引水渠道;图 12-4(b)为底部为浆砌石、边坡用混凝土衬砌的渠道;图 12-4(c)为冬季被冰封盖的河渠。

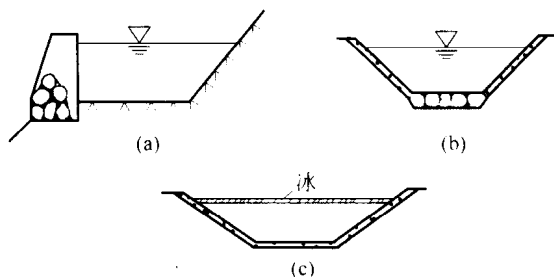


图 12-4 断面周界上粗糙度不同的渠道

对于周界上粗糙系数不同的渠道,可以采用一个综合的粗糙系数 n 来反映整个断面的情况。 n 综合值的取定有各种不同的方法。通常可以根据各粗糙系数所占湿周的长度,按比例平均,即

$$n = \frac{\chi_1 n_1 + \chi_2 n_2 + \cdots + \chi_k n_k}{\chi_1 + \chi_2 + \cdots + \chi_k} \quad (12-9)$$

式中 $\chi_1, \chi_2, \cdots, \chi_k$ 分别为相应粗糙系数为 $n_1, n_2, \cdots, n_k$ 的过流断面湿周。

12.4.3 复式断面渠道

深挖高填的大型渠道,如水深变化较大,常采用复式断面,以利于边坡稳定,如图 12-5 所示。河流漫滩也形成复式断面(见图 12-1(f))。复式断面的粗糙系数沿周界可能相同,也可能不同,由于断面上水深不一,各部分流速差别较大,如果把整个断面当作一个统一的总流来考虑,直接用均匀流公式(6-51)计算,将会得出不符合实际情况的结果。

计算复式断面明槽均匀流的方法也各不相同。通常的做法是先将整个断面划分