

水利部科技情报室  
图书编号 中2979  
分类号 TV 13

# 水力学

武汉水利电力学院水力学教研室编



人民教育出版社

# 水 力 学

武汉水利电力学院水力学教研室编

人民教育出版社

---

# 水 力 学

武汉水利电力学院水力学教研室编

\*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 四 厂 印 装

\*

1974年6月第一版 1974年10月第一次印刷

印数 0001—23,000册 插页 4

书号 15012·3 定价 1.60元

# 前 言

遵照毛主席关于“教育要革命”、“教材要彻底改革”的教导，无产阶级文化大革命以来，我们在党的统一领导下，努力学习马、列和毛主席著作，深入水利工地，到三大革命运动第一线，实行开门办学，同工农兵和专业人员一起，共同批判修正主义教育路线，对旧《水力学》教材，加以分析、批判和改造，推陈出新，编写了《水力学》新教材。

在编写过程中，我们在教材体现党的方针、政策，为无产阶级政治服务，为社会主义经济基础服务，为培养无产阶级革命事业接班人服务方面作了一些努力，并注意了以下几个问题：

1. 遵循“由特殊到一般”、“由一般到特殊”和“从感性认识而能动地发展到理性认识，又从理性认识而能动地指导革命实践”的认识规律组织教材内容。章节的安排，注意从简单的、常见的明渠均匀流入手，通过这种特殊水流，引出一般的水流运动——非均匀流；在较为丰富的感性认识的基础上，系统地阐述连续方程、动量方程、能量方程等基本理论，然后再应用这些基本理论去解决水闸、溢洪道、隧洞等工程的水力计算问题。各章内容的阐述，依据它们的特点和相互关系，或从实际工程水流现象提出问题，引出概念和公式；或先运用已学的知识对水流运动进行水力计算，再深入分析水流运动的特殊本质，进而导出其特定的分析和计算方法。

2. 按照理论与实际统一的原则，教材内容力求做到理论的阐述紧密联系工程实际。为此，新教材引用了一些我国的工程实例。同时，根据我国水利建设发展的需要，增加了隧洞、高速水流、溢洪

道水力计算等内容，并对我国生产实践和科学研究的新成果也作了适当反映。

3. 应用理论对典型工程进行综合分析，以培养工农兵学员分析和解决实际问题的能力。在对各种水流现象分别进行分析的基础上，新教材分阶段地结合典型工程水流运动安排了一些综合分析。例如在分别阐述了能量方程等几个基本理论问题之后，将几个基本方程进行综合分析和应用，以加深对这些基本理论的理解。又如在阐述了明渠水流、堰闸水流及消能等内容后，结合溢洪道的水力计算，对这些知识进行综合应用，以提高学员分析和解决实际工程问题的能力。

本教材共十三章。我院在试用过程中，把前十章和第十三章的第一、二、三节，作为《农田水利》、《水利工程建筑》、《水利工程施工》等专业必学内容，其余章节供不同专业选用。在实际教学中，为了适应结合典型工程组织教学的需要，根据所选典型工程的不同，前后次序有所变动。为了与其他课程密切配合，土坝渗流计算，截流水力学等内容，将在有关水工建筑物的设计与施工等课程中介绍。

批林批孔运动进一步推动了教育革命，教材改革步步深入。我们将进一步在试用的基础上对这本教材进行修改。限于我们的水平，教材中缺点和错误在所难免，殷切地期望广大读者批评指正。

在编写和修改本教材的过程中，得到了广大工农兵以及许多水利工地、工程单位和兄弟院校的热情指导和帮助，在这里表示衷心的感谢。

武汉水利电力学院水力学教研室

一九七四年五月

# 目 录

前言	i
第一章 明渠均匀流及渠道的水力计算	1
§ 1-1 明渠均匀流的水力特性和计算公式	2
§ 1-2 渠道的水力计算	10
第二章 水流运动的一般分析及连续性原理	23
§ 2-1 水流运动的一般分析	23
§ 2-2 水流运动的连续性原理	31
第三章 水流作用于水工建筑物上的力和动量定律	36
§ 3-1 静水压强及其分布规律	36
§ 3-2 静水总压力计算	46
§ 3-3 动水压强及其分布规律	62
§ 3-4 水流动量方程和动水作用力的计算	66
第四章 水流运动的能量守恒及其转化规律	75
§ 4-1 恒定流的能量方程	76
§ 4-2 能量方程的讨论	86
§ 4-3 能量损失的分析 and 计算	95
§ 4-4 能量方程的应用	113
综合分析 I 水流运动基本规律的综合分析	123
第五章 明渠及天然河道非均匀流水面曲线计算	135
§ 5-1 用分段求和法计算渠道的水面曲线	136
§ 5-2 明渠水流的特性	142
§ 5-3 明渠非均匀渐变流水面曲线定性分析	152
§ 5-4 明渠恒定渐变流水面曲线的简化计算	163
§ 5-5 天然河道水面曲线推算	172
综合分析 II 明渠水流的综合分析及计算实例	199
一、实例	201
二、渠道的各种局部水头损失的计算	209

<b>第六章</b>	<b>堰流及闸孔出流的水力计算</b>	213
§ 6-1	堰、闸水流现象分析及水力计算的任务	213
§ 6-2	堰流分类及宽顶堰的水力计算	217
§ 6-3	实用堰堰型及其水力计算	234
§ 6-4	闸孔自由出流的水力计算	244
§ 6-5	闸孔淹没出流的水力计算	255
<b>第七章</b>	<b>堰、闸下游水流衔接和消能的水力计算</b>	266
§ 7-1	底流消能的物理过程和水力计算	268
§ 7-2	挑流消能的物理过程和水力计算	285
§ 7-3	面流消能的物理过程和水力计算	294
§ 7-4	三种基本消能方式综述	299
<b>综合分析Ⅲ 明渠、堰、闸与消能水力计算的综合应用</b>		302
<b>第八章</b>	<b>水工隧洞(涵管)的水力计算</b>	312
§ 8-1	隧洞的水流状态及其判别	312
§ 8-2	有压隧洞的水力计算	316
§ 8-3	无压隧洞的水力计算	329
<b>第九章</b>	<b>渗流及其在水利工程中的应用</b>	340
§ 9-1	渗流特征及其基本定律	342
§ 9-2	有压渗流的计算	347
§ 9-3	无压渗流的计算	361
<b>第十章</b>	<b>水工模型试验相似原理</b>	372
§ 10-1	水工模型试验的目的	372
§ 10-2	重力相似律	373
§ 10-3	模型相似原理	381
<b>第十一章</b>	<b>有压输水管道中的水击</b>	391
§ 11-1	水击的产生原因和传播过程	392
§ 11-2	水击方程	400
§ 11-3	水击的计算	407
§ 11-4	减少水击压强的措施	417
<b>第十二章</b>	<b>水工建筑物的高速水流问题</b>	420
§ 12-1	高速水流的脉动压强	421
§ 12-2	水工建筑物中的气蚀问题	426
§ 12-3	高速水流的掺气	435
§ 12-4	明渠急流冲击波	439

### 第十三章 紊流和边界层的基本知识及水流运动的三度分析

法	446
§ 13-1 紊流的基本知识	447
§ 13-2 边界层的基本知识	454
§ 13-3 沿程能量损失系数的变化规律	457
§ 13-4 水流运动的基本方程	462
§ 13-5 平面势流的基本知识	476
附录 I 梯形断面渠道底宽求解图	插页
附录 II 梯形断面渠道均匀流水深求解图	插页
附录 III 谢才系数 $C$ 值表	插页
附录 IV 梯形、矩形、圆形断面渠道临界水深求解图	插页
附录 V 梯形断面渠道水跃共轭水深求解图	插页
附录 VI 矩形断面渠道收缩断面水深及水跃共轭水深求解图	插页
附录 VII 圆形断面水力要素求解图	插页



水力学是研究液体机械运动规律及其应用的一门科学。它是劳动人民在长期生产实践中不断总结经验逐步发展起来的。

在我国历史上,法家历来注意农田水利,他们革新、进步的政治路线和唯物主义自然观也对农业生产和水力学的发展起了促进的作用。商鞅变法之后,秦国执行法家路线,先后由四川灌县和陕西关中一带广大农民和工匠建成的都江堰和郑国渠,使蜀郡和关中成了秦国两大粮仓,对秦始皇统一中国作出了贡献。宋朝王安石变法,颁布了农田水利法之后六、七年间,全国兴修了大量水利工程,推动了农业生产的发展。这些都是我国水力学史上光辉的篇章。新中国成立后,在毛主席和中国共产党领导下,我国水利建设事业的发展,无论在规模上和数量上,都是史无前例的。水利事业的发展,带动了水力学学科的发展。

水力学研究的内容大致有三个方面:水的力学特性和水流运动形态;水流运动的基本规律;渠道、堰、闸等工程水力学问题。

毛主席指出:“就人类认识运动的秩序说来,总是由认识个别的和特殊的事物,逐步地扩大到认识一般的事物。”遵照毛主席的教导我们首先从研究水利工程中常见的渠道水流入手,然后再逐步研究水流运动的一般规律及其应用。

## 第一章 明渠均匀流及渠道的水力计算

渠道是一种常见的水利工程。例如灌溉渠道(如图 1-1 所示),

排水渠道和水电站引水渠道等。如目录前的照片是河南省林县人民奋战十年建成长达一千五百公里的红旗渠，就是灌溉渠道。渠道的水力计算任务主要是设计渠道所需的断面尺寸，以保证通过所要求的水量，或校核已建成的渠道是否满足输送水量的要求。

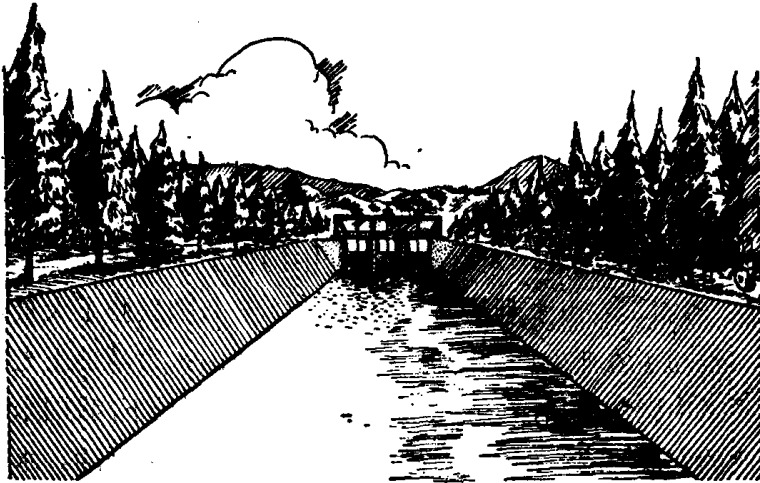


图 1-1

渠道的过水能力，通常是按明渠均匀流来计算的。下面先介绍明渠均匀流的特性。

### § 1-1. 明渠均匀流的水力特性和计算公式

#### 一、明渠均匀流的水流现象和水力特性

我们经常看到，水在渠道中流动有快有慢，通过的水量有多有少，为了确切地反映这些现象，需引入“流速”和“流量”这两个概念。

我们知道，物体运动的快慢，通常用速度来描述。速度不仅有大小，而且有方向。在水力学中，就用“流速”来描述水流运动的快慢，并将某一质点在单位时间内所移动的距离称为点流速(用符号 $u$ 表示)。当我们用流速仪测量渠道断面上各点的流速时，将

会发现，同一断面上各点的流速并不相等，例如图 1-2 是渠道断面上沿某一垂线上各点的流速分布图，图中线段的箭头代表点流速的方向，线段的长度代表点流速的大小，例如带箭头的线段  $u_1$  代表点 1 的流速。

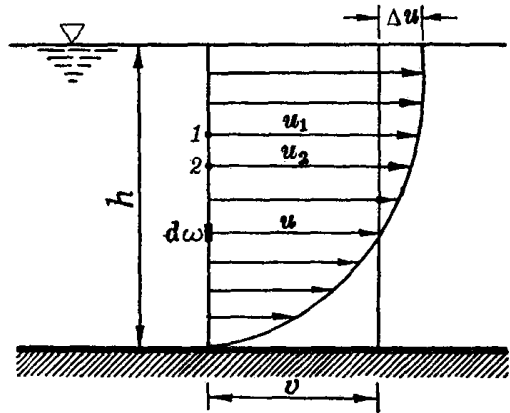


图 1-2

渠道中流过的水量，我们用“流量”来反映。

流量是指在单位时间内流过某一过水断面的水的体积，例如每秒钟通过渠道某过水断面水的体积为 20 米<sup>3</sup>，则流量为 20 米<sup>3</sup>/秒。要注意，在这里指的是过水断面，而不是任意断面；过水断面是指垂直于水流方向的横断面（过水断面面积用符号  $\omega$  表示）。显然，当同一断面上各点的流速方向平行时，其过水断面为一平面，如图 1-3a 所表示的为顺直渠道上的过水断面；如果断面上各点的流速方向不平行，则过水断面为一曲面，如图 1-3b、c 所表示的为渠道收缩段和扩散段上的过水断面。

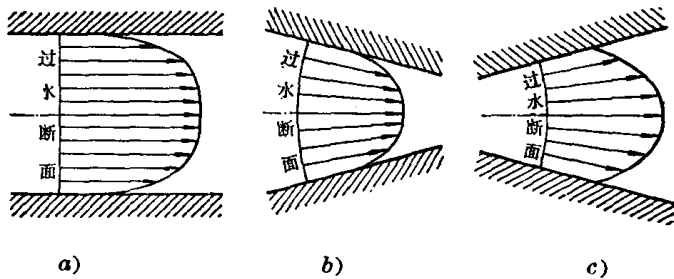


图 1-3

为了计算简便，我们常用断面平均流速(简称平均流速)来描述水流运动，这里所说的断面平均流速(用符号  $v$  表示)，就是认为

过水断面上所有各点的流速是相等的，而用它计算的流量与用实际流速(点流速)计算的流量相等。因此在过水断面的某些点上，实际流速大于平均流速，而在另一些点上则小于平均流速，如图 1-2 中的  $\Delta u$  为水面的实际流速与平均流速之差。根据流量及平均流速的概念，在图 1-2 中取一微小过水断面面积  $d\omega$ ，设通过  $d\omega$  上的流速为  $u$ ，则通过  $d\omega$  的流量为  $dQ = u d\omega$ 。若该渠道的过水断面面积为  $\omega$ ，则其流量为

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = v \int_{\omega} d\omega = v\omega. \quad (1-1)$$

因此，流量  $Q$ 、平均流速  $v$  及过水断面面积  $\omega$  之间存在以下的关系，即

$$v = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega}.$$

当我们观察一段断面均一的长、直渠道中的水流时，将会发现，渠道中各断面的水深，断面平均流速，断面上的流速分布都一样，如图 1-4 所示。

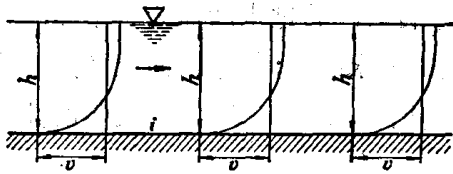


图 1-4

水力学中把具有水深(用  $h$  表示)、断面平均流速和流速分布都沿流程不变的水流，称为明渠均匀流。

明渠均匀流的实质，就是物理学中的匀速直线运动。要保持这种水流运动特性，从力的作用讲，就是作用在水流中任何微小水体上的外力的合力为零。

明渠中的水流运动，主要是在重力作用下形成的。而水流运动时会受到阻力(水流运动阻力将在第四章中进行分析)，因此，在水深沿水流方向不变的情况下，作用在微小水体(如图 1-5 中有阴影线的微小水体  $abcd$ )上的重力沿水流方向的分力  $G \sin \theta$  与阻

力平衡时，水流就形成均匀流。

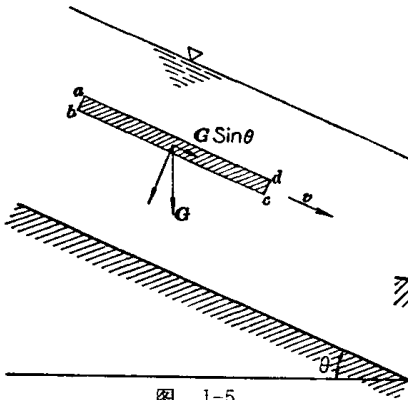


图 1-5

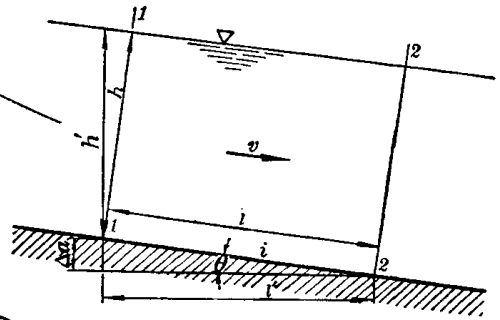


图 1-6

要保持这样的力学条件，渠道应满足：

(1) 渠道的底坡  $i$  必须是正坡(用  $i > 0$  表示)，而且在一段较长的距离内保持不变(如图 1-6 所示)。因为只有这样，才能保证水流有  $G \sin \theta$  的主动动力。显然，底坡为平坡( $i = 0$ )，沿水流方向就没有重力分量。

底坡  $i$  是表示渠道单位长度上渠底下降的高度，例如图 1-6 中断面 1-1 与 2-2 间的距离为  $l$ ，两断面的渠底高差为  $\Delta a$ ，那么它的底坡  $i = \frac{\Delta a}{l} = \sin \theta$ 。当底坡较小时， $\sin \theta \approx \text{tg} \theta$ ，因此可用两断面间的水平距离  $l'$  代替沿渠底的斜距离  $l$ ；水深  $h$  也可用铅垂线的水深  $h'$  代替。

(2) 必须是长而直的渠道，弯道中不可能出现均匀流。因为弯道中各断面上的流速方向不同，不能满足匀速直线运动的特性。

(3) 渠道的过水断面形状和大小、渠道表面粗糙程度都沿程不变。

当渠道流量一定时，若断面沿程发生变化，那么，渠道的水深、流速都要发生变化，当然就不可能产生均匀流；当底坡  $i$  一定时， $G \sin \theta$  也就一定，而阻力与渠道表面粗糙程度有关，若表面粗糙程

度沿程发生变化,阻力也随之沿程发生变化,这样就不能满足均匀流的力学条件。

(4) 渠道中的水流应保持恒定流。

✓ 在任一断面上的水深和流速不随时间改变的水流称为恒定流(或稳定流),否则为非恒定流(或不稳定流)。

例如当渠道的闸门在开启或关闭过程中,渠道的水流必然受到影响,每一断面的水深和流速,将随时间改变,属非恒定流,这时各断面的水深和流速彼此不相等,因此不是均匀流。

## 二、均匀流公式

前面已经提到,渠道水力计算的主要任务是解决渠道的过水能力,而过水能力又用流量来反映,因此,渠道的水力计算主要是解决流量的计算问题。根据式(1-1),流量与过水断面、平均流速三者的关系为

$$Q = \omega v.$$

式中:  $Q$ ——流量(单位:米<sup>3</sup>/秒);

$\omega$ ——过水断面面积(单位:米<sup>2</sup>);

$v$ ——断面平均流速(单位:米/秒)。

从上式可知,如果知道了某过水断面面积和流速,那么流量即可求得。对明渠均匀流来说,各断面水深不变,只要知道断面形状、水深,就可算出过水断面面积。因此要计算出渠道的流量,关键在于如何找到流速的数值。下面我们介绍均匀流流速的计算方法。

实践告诉我们渠道均匀流流速和下面一些因素有关:

(1) 渠道的流速与渠底的底坡有关。在相同的条件下,底坡陡,水就流得快;反之,水就流得慢。

(2) 渠道的流速与渠道断面的形状和尺寸有关。如渠道断面形状是梯形、矩形还是半圆形,断面尺寸是大还是小,都会对流速产生影响。

(3) 渠道的流速还与渠道表面粗糙情况有关。如渠道是土质

还是岩石,是管理良好还是杂草丛生,都直接影响流速的大小。

通过对渠道大量实测资料的分析 and 整理,得出上面所分析的因素之间有如下的关系

$$v = C\sqrt{Ri}, \quad (1-2)$$

此关系就是均匀流流速的计算公式,叫做均匀流公式或谢才公式。

式中:  $v$ ——渠道过水断面的平均流速;

$C$ ——谢才系数;

$i$ ——渠道底坡;

$R$ ——水力半径。它是过水断面面积与湿周的比值,即  $R = \omega/\chi$ 。湿周  $\chi$  是指过水断面中水流与固体周界接触的周长,如图 1-7 所示。

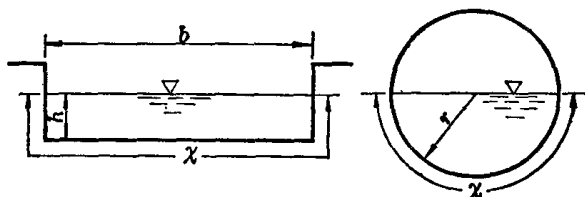


图 1-7

图 1-7 所示。

水力半径  $R$  反映渠道过水断面的形状和尺寸对平均流速的影响。例如湿周越长,

水流受到的阻力就越大。在过水断面面积相等时,湿周小的渠道,阻力小,水流得快,过水能力就大;反之,湿周大的渠道,过水能力就小。另一方面,如果湿周相等时,过水断面大,周界对水流的约束小,水流得快;反之,过水断面小,周界对水流的约束大,水流得慢。我们采用过水断面面积  $\omega$  与湿周  $\chi$  之比值  $R$  来反映过水断面与湿周对水流运动的影响。现举例说明水力半径的物理意义。

图 1-7 分别表示矩形和半圆形断面,矩形断面底宽  $b=3.14$  米,水深  $h=0.5$  米;半圆形断面水面宽等于直径,圆的半径  $r=1$  米。矩形过水断面面积  $\omega = bh = 3.14 \times 0.5 = 1.57$  米<sup>2</sup>,湿周  $\chi = b + 2h = 3.14 + 2 \times 0.5 = 4.14$  米,水力半径  $R = \omega/\chi = 1.57/4.14 = 0.379$  米;半圆形过水断面面积  $\omega = \pi r^2/2 = 3.14 \times 1^2/2 = 1.57$  米<sup>2</sup>,湿周  $\chi = \pi r = 3.14 \times 1 = 3.14$  米,水力半径  $R = \omega/\chi = 1.57/3.14$

=0.5 米。可见在过水断面面积相等的情况下，矩形的湿周比半圆形的大，而矩形的水力半径比半圆形的小。根据均匀流公式 ( $v=C\sqrt{Ri}$ ) 分析，在  $C$  和  $i$  相等的条件下，半圆形的流速比矩形的要大，因此半圆形断面渠道通过的流量要大于矩形断面渠道所通过的流量。这就说明了水力半径反映了过水断面对流速和过水

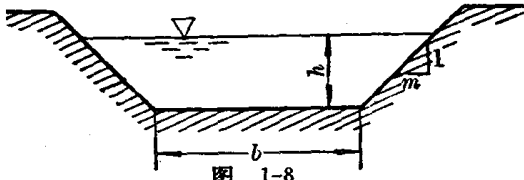


图 1-8

能力的影响。  
从上面分析知道，在过水断面面积相等的情况下，半圆形的断面过水能力较大，但在实际上渠道断面难以做成半圆形。建在土基上的渠道多采用梯形断面，如图 1-8 所示。渠道的边坡一般用 1:m 表示，1 表示斜坡的铅直距离，m 表示斜坡的水平距离，又叫边坡系数。m 越大，说明边坡越缓，反之，m 越小，说明边坡越陡；m=0，断面为矩形。m 的大小是根据土壤性质和施工要求决定的。

为便于计算，将几种常见的渠道断面的水力要素列于表 1-1 中。

表 1-1 渠道断面的水力要素表

断 面	面 积 $\omega$	湿 周 $\chi$	水力半径 $R$	水面宽 $B$
	$bh$	$b+2h$	$\frac{bh}{b+2h}$	$b$
	$(b+mh)h$	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$\frac{d^2}{8}(\theta - \sin\theta)$	$\frac{d}{2}\theta$	$\frac{d}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$	$2\sqrt{h(d-h)}$



式(1-2)中  $C$  值的确定有许多经验公式,常用的有曼宁公式

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (1-3)$$

式中:  $C$ ——谢才系数,单位只能用米<sup>1/2</sup>/秒;

$R$ ——水力半径,单位只能用米;

$n$ ——糙率。它反映边界表面的粗糙程度对水流阻力的影响,边界表面越粗糙,糙率  $n$  值就越大;表 1-2 可供确定糙率时参考。

式(1-3)是通过实测资料整理得出的,适用范围为  $n < 0.02$ 、 $R < 0.5$  米。经过长期实践,证明上式简便适用,工程单位广泛采用。

此外,计算  $C$  值还可用下式

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (1-4)$$

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

上式适用范围为 0.1 米  $< R < 3.0$  米,  $0.011 < n < 0.04$ 。作为近似的计算,

$$\text{当 } R < 1 \text{ 米时, } y = 1.5\sqrt{n},$$

$$R > 1 \text{ 米时, } y = 1.3\sqrt{n}.$$

根据流量表达式  $Q = \omega v$  及谢才公式  $v = C\sqrt{Ri}$ , 可以得到计算渠道均匀流的流量公式, 现以  $h_0$  表示明渠均匀流水深(又称正常水深) 相应于均匀流水深的过水断面面积、水力半径和谢才系数分别用符号  $\omega_0$ 、 $R_0$  和  $C_0$  表示, 则有

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i}. \quad (1-5a)$$

令  $K_0 = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0}$ , 则

$$Q = K_0 \sqrt{i}. \quad (1-5b)$$

上式中:  $K_0$ ——流量模数(单位: 米<sup>3</sup>/秒), 它综合反映明渠断面形状、大小和粗糙程度对过水能力的影响。在底坡一定的情况下,