

水 力 学

(中 册)

水利工程系水工、农水专业用

清 华 大 学

水利系水力学教研组编

1973年10月

水力学(中册)

目 录

第六章 明槽中的恒定流动	1
§ 6-1. 明槽水流的问题及其特征	1
§ 6-2. 明槽均匀流公式	4
§ 6-3. 河渠的糙率	7
§ 6-4. 渠道的水力计算	10
§ 6-5. 渠道的冲淤和允许流速	16
§ 6-6. 均匀流与非均匀流的发生条件	18
§ 6-7. 缓流和急流——两种明槽水流的流动状态	21
§ 6-8. 跌水和水跃——缓流与急流的过渡	29
§ 6-9. 明槽非均匀渐变流的基本公式	40
§ 6-10. 明槽非均匀渐变流水面变化的分析	43
§ 6-11. 人工渠槽中非均匀渐变流水面线的计算	50
§ 6-12. 天然河道中水面线的计算	61
§ 6-13. 缓流弯道水流问题	67
§ 6-14. 急流的冲击波问题	71
§ 6-15. 高速明流的掺气问题	74
第七章 泄水建筑物的流态与过水能力	85
§ 7-1. 闸孔出流与堰顶溢流的特点及其转化	85
§ 7-2. 闸孔出流	86
§ 7-3. 堰顶溢流	103
§ 7-4. 河岸槽式溢洪道的过流	123
§ 7-5. 隧洞(涵管)的过流	128
第八章 泄水建筑物出流与下游的衔接和消能	139
§ 8-1. 泄水建筑物出流的特性与衔接消能问题	139
§ 8-2. 底流水跃消能	143
§ 8-3. 挑流消能	157
§ 8-4. 关于消能问题的补充	166
第九章 渗流	172
§ 9-1. 水利工程中的渗流问题	172
§ 9-2. 渗流的特征和阻力定律	173

§ 9-3. 透水地基中的有压渗流·····	177
§ 9-4. 水电比拟实验法·····	184
§ 9-5. 无压渐变渗流的分析公式·····	186
§ 9-6. 井、截渗沟和渠道的渗流计算·····	188
§ 9-7. 均质土壩的渗流计算·····	196
第十章 水流相似原理与水力学模型试验·····	209
§ 10-1. 水力学模型试验的意义及其作用·····	209
§ 10-2. 水流的相似原理·····	210
§ 10-3. 水力学模型的设计问题·····	220
水力学上册勘误表·····	229

第六章 明槽中的恒定流动

内 容 提 要

本章讲述明槽恒定流的均匀流及非均匀流的基本特征、发生条件和流动的基本计算公式,以及如何运用这些公式去解决水利工程中的设计问题。在讲述均匀流计算中,着重分析糙率的影响因素。介绍两种水流状态缓流与急流,对水流运动现象的影响及判别水流状态的方法意义。由于水流状态的不同,当水流由一种状态向另一状态过渡时,可发生跌水或水跃现象,并对水跃现象作较详细的分析。对非均匀渐变流,讲述如何根据基本公式分析沿程水面线的变化,确定其是壅水或降水曲线,并讲述人工渠槽及天然河道中非均匀渐变流的水面曲线的计算方法。

§ 6-1 明槽水流的问题及其特征

在水利工程实践中,经常遇到修建人工渠槽或利用和改造天然河道等问题。例如为兴水利、除水害所修建的水利枢纽,要拦河筑坝,使上游河道的水位壅高而形成水库;需要计算壅水长度和估计淹没影响等;为宣泄多余洪水,还要修建河岸式溢洪道或泄洪隧洞;又如灌溉工程中的引水或排水渠道,水电站的引水明渠,航运工程中的运河和天然河道等,这些都属于明槽水流。一般需要计算其输水能力和设计合理的过水断面及底坡等。所以研究明槽水流的运动规律和水力计算方法对水利规划和水工设计均有重要实际意义。

无论人工渠道或天然河流都具有一个共同的特征,即水面显露在大气中,不受固体边界的约束,并且水面随流量的大小而自由升降,叫做自由表面。这种水流运动,叫做明槽水流,或称无压流动。水流的自由表面上只受大气压力作用,也就是水面各点上的压强,等于大气压强值。这是不同于有压管道水流的一个特点。

对于封闭式的输水管,如泄洪隧洞、或穿过路基的涵管或地下排水的沟管等,虽然都有顶盖,但只要洞内或管内水流不封顶,水面仍只受大气压力作用时,就仍属于明槽水流,它的运动规律仍具有明流的特征。

明槽中的水流运动,是在地心引力的直接作用下形成的。在运动过程中,水流必然要不断地克服阻力而消耗能量。河川及人工渠槽的断面尺寸和流速一般都比较大大,因此明槽水流的流动型态总是紊流,沿程阻力一般相应于水力粗糙区的情况,即沿程水头损失与流速的平方成正比。在重力的主导作用和粘滞阻力的作用下,随着边界条件的不

同，一定的流量在明槽中可以形成各式各样的水面，即不同的水面曲线型式。这是无压流动区别于有压流动的一个重要特点。

为了讨论明槽水流的运动规律，先介绍一些有关明槽槽身和水流运动的基本概念。

(一) 明槽槽身的型式

一般人工渠槽常用的断面形状有梯形、矩形、圆形和马蹄形等（图 6—1a、b、c、d 示）。槽身底面一般沿程微向下游倾斜。槽底面与纵剖面的相交线称槽底线。槽底线

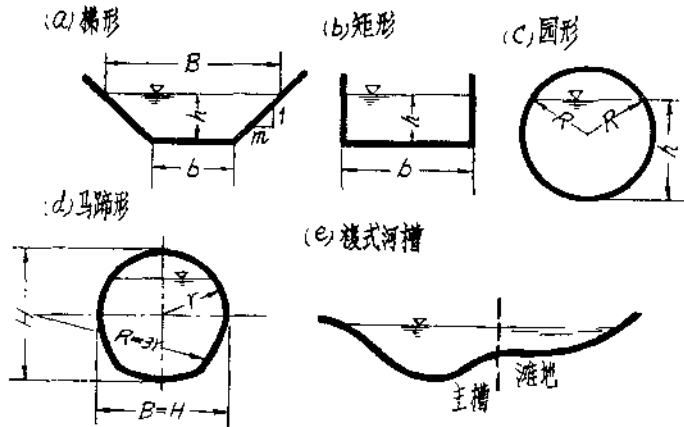


图 6—1

与水平线的交角的正弦叫做槽底纵坡，简称底坡，即

$$i = \sin \theta. \quad (6-1)$$

一般情况下 θ 角较小， $\sin \theta \approx \tan \theta$ ，所以按图 6—2 所示，可以认为

$$i = \tan \theta = \frac{z_{b1} - z_{b2}}{l}, \quad (6-2)$$

上式中 z_{b1} ， z_{b2} 是 1—1 和 2—2 断面的槽底在基准面上的高程， l 是两断面间的水

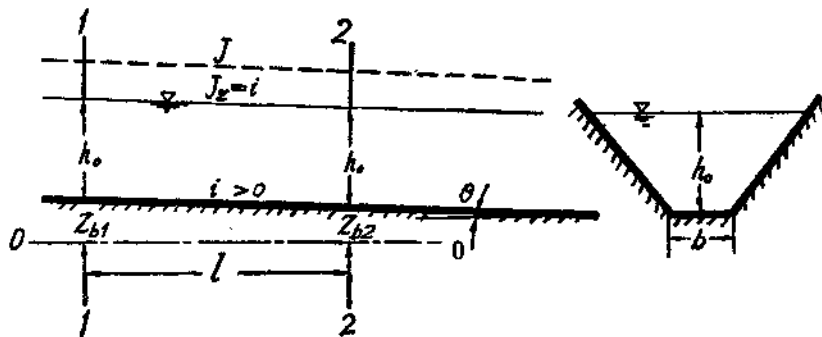


图 6—2

平长度，而不是沿程长度。

另一方面，在取过水断面的水深时，为了量测和计算的方便，采用铅直水深，即垂直于水平方向的水深，而不用与水面线（即水流流速方向）相垂直的水深值。在槽底坡度微小的情况下（ $i \leq 0.01$ ），采用近似的水平长度 l 和铅直水深 h_0 是合理的，因为由此而引起的误差在允许范围以内。

明槽底坡绝大多数是正坡（ $i > 0$ ，即槽底面向下游降低），偶尔有平坡（ $i = 0$ ）或反坡（ $i < 0$ ，即槽底面向下游仰起）的情况。

明槽槽身可分为稜柱形槽和非稜柱形槽两种。对于断面形状和尺寸沿程保持不变的长直的明槽，叫做稜柱形槽。例如断面很规则一致的长直渠道，或轴线顺直而断面形状一致的水工无压隧洞，均属于这种型式。在稜柱形槽中，因为它的断面几何形状和尺寸沿程保持不变，所以水流各处的过水断面面积 ω 的大小，将只随水深 h 而改变。

断面形状和尺寸沿程不断改变的明槽叫做非稜柱形槽。例如连接土渠和混凝土渡槽的浆砌块石渐变段，就是典型的非稜柱形槽。在非稜柱形槽中，因为槽身的断面形状和尺寸沿程不断改变，水流各处的过水断面既随水深而改变，同时还因断面不同而改变，所以在非稜柱形槽中，过水断面面积 ω 是水深和距离 s 两个变数的函数。

天然河道的断面，往往是不规则的，（图 6—1，e），不但断面形状和尺寸沿程改变，并且河底纵坡，也有陡有坦，所以也可看作是非稜柱形槽。

（二）明槽恒定流分类

当恒定流动时，明槽水流运动，因槽身型式和长度、槽首进流和槽尾泄流等条件的不同，可形成两种形式的流动。

1. 均匀流动 在边界粗糙度一致、正坡的稜柱形长槽中，当槽身达到足够的长度后（如几百米以上），就可以发生均匀流动（图 6—2）。这时沿程断面上的各水力要素，包括流速分布、平均流速、水深和过水断面面积等均保持不变。这种流动叫做明槽均匀流动。由于流速和水深沿程不变，所以水头损失也是沿程不变的，并且水力坡度 J 、水面坡度 J_z 和底坡 i 彼此相等，即：

$$J = J_z = i. \quad (6-3)$$

所以在明槽均匀流动中，总水头线、水面线和槽底线是互相平行的。

2. 非均匀流动 在图 6—3 所示的正坡稜柱形长槽中，槽首和槽尾受建筑物的控

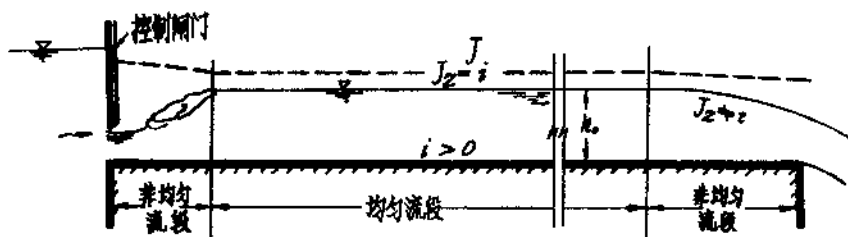


图 6—3

制, 使在长槽的上、下两段中, 断面上的各水力要素沿程不断改变。这两段中的水流运动叫做明槽非均匀流动。此时总水头线、水面线与槽底线互不平行, 水力坡度 J 、水面坡度 J_s 与槽底坡 i 互不相等, 即:

$$J \neq J_s \neq i. \quad (6-4)$$

对于非棱柱形槽, 由于断面形状和尺寸沿程不断改变, 使水力要素也随之改变, 所以总是非均匀流动。

在解决明槽水流问题中, 区别这两种水流运动形式有很大的实际意义, 因为均匀流动的计算虽然比非均匀流动简单的多, 但是均匀流动的出现远不及非均匀流动为普遍。我们处理问题时, 必须针对水流的实际情况, 进行计算分析, 才能有效。关于均匀流和非均匀流的发生条件, 将在 § 6—6 节中讨论。

思考题

6—1 在分析明槽水流运动时为什么要区分棱柱形明槽和非棱柱形明槽? 在平底的或反坡的棱柱形明槽中水流能形成均匀流动吗? 为什么?

§ 6-2 明槽均匀流公式

明槽中的均匀流动是明槽中最简单的流动形式。它的运动规律是渠、槽水力设计的基本依据。对于分析明槽非均匀流动问题, 也要应用均匀流动的某些概念。

多少年来劳动人民在与洪水进行斗争和生产实践中对水流现象进行观察和分析, 积累了丰富的知识, 发现河道中的流速变化是与河道断面、水面坡度和河床表面粗糙程度等因素有关。进一步的观测分析结果, 在 1775 年间提出了计算均匀流动的公式, 叫做谢才公式 (在第五章中已初步介绍), 即

$$v = C \sqrt{RJ}, \quad (5-43)$$

式中: v 为断面平均流速,

R 为断面水力半径,

J 为水力坡度, 对于明槽均匀流, 因流速和水深均沿程不变, 水头线和水面线与底坡线互相平行, 所以水力坡度也就是水面线或槽底线的坡度。

C 为谢才系数, 是一个具有量纲的系数。 C 的量纲为 $\left[\frac{L^{\frac{1}{2}}}{T} \right]$, 单位用米 $^{\frac{1}{2}}$ /秒。

C 值主要与明槽的粗糙程度有关。

谢才公式表示明槽中平均流速与 C 值、水力半径和水力坡度的变化关系。定性地说, 水力坡度愈大, 平均流速就愈大, 这是因为重力作用在水流上沿流速方向的分力随着水面坡度的愈陡而愈大。

水力半径反映过水断面上湿周对水流的阻力作用, 它表示单位长度湿周对过水断面所影响范围的大小。水力半径愈大, 意味着由于影响范围的增大, 单位长度对水流的阻力

作用减小，因而流速就加大。例如两个矩形过水断面的面积都是 10 平方米，断面 (1) 底宽 2 米，水深 5 米，水力半径

$$R_1 = \frac{2 \times 5}{2 + 2 \times 5} = 0.833 \text{ 米,}$$

断面 (2) 底宽 5 米，水深 2 米，水力半径

$$R_2 = \frac{5 \times 2}{5 + 2 \times 2} = 1.11 \text{ 米.}$$

可以看出，由于断面 (2) 的水力半径较大，因此平均流速 v_2 要比断面 (1) 的平均流速 v_1 大些。当表面的粗糙程度不变，对于一定的过水断面面积，最大的水力半径（即最小的湿周）可使平均流速为最大。这说明断面形状在一定程度上对平均流速的影响。

在第五章中指出，这一经验公式，本质上与计算管道的沿程水头损失公式 (5-1)

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

是相同的。

另从水流作用力的观点来分析，谢才公式表示重力分力与沿程阻力（即由于水的粘滞性而引起水与周界接触的摩擦阻力）相互平衡的关系。图 6-4 示明槽中 1—1 和

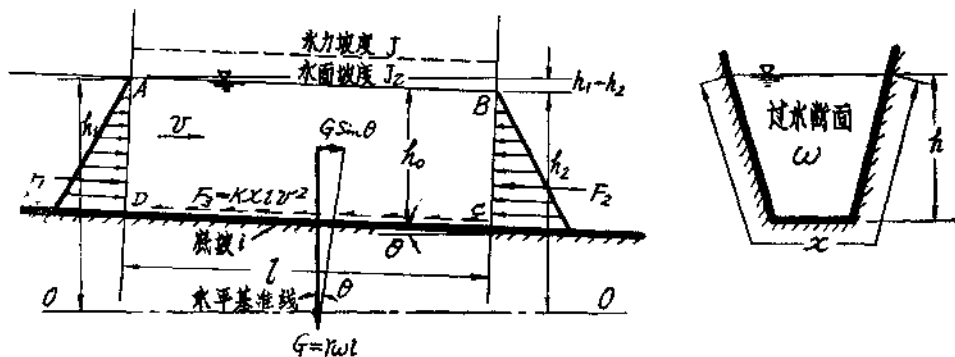


图 6-4

2—2 断面间的一段均匀流的受力情况，沿流动方向写出作用力的平衡方程：

$$F_1 + G \sin \theta - F_2 - F_3 = 0,$$

式中 $G \sin \theta$ 为作用于水柱 ABCD 的重力沿水流方向的分力。

$$G \sin \theta = \gamma \omega l \times \frac{h_1 - h_2}{l},$$

γ 为水的容重。 F_1 及 F_2 各为水柱上下游两端所受的水压力。由于水深不变，显然 $F_1 = F_2$ ，这样 $G \sin \theta = F_3$ 。 F_3 为水柱沿周界所受的阻力。试验证明，当流动是水力

粗糙区的情况，单位面积上阻力的大小与流速的平方成比例，所以 $F_s = K \lambda l \cdot v^2$ ， K 为与阻力有关的系数。当水流分力与阻力互相平衡，即

$$\gamma \omega (h_1 - h_2) = K \lambda l v^2,$$

或
$$v^2 = \frac{\gamma}{K} \cdot \frac{\omega}{\lambda} \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{l} = \frac{\gamma}{K} R J,$$

或
$$v = \sqrt{\frac{\gamma}{K}} \sqrt{R J}.$$

式中 $\sqrt{\frac{\gamma}{K}}$ 即相应于式 (5—43) 中的 C 值。这样就可以从理论上对这一经验公式做出合理的解释。

明槽均匀流动是断面平均流速、流速分布和水深沿程不变的水流运动。在这种形式的流动中，水流移动单位距离重力对单位重量水体所做的功恰好等于阻力所做的功。因此在一定距离上水流单位势能的减小恰好等于阻力所损失的单位能量，而水流的动能维持不变。这就是式 (6—3) 中 $J=i$ (图 6—4) 的物理意义。

均匀流动的水深，是一个代表性指标；为了与非均匀流的水深有所区别，我们将明槽均匀流动的水深叫做正常水深，用符号 h_0 表示。相应于正常水深的过水断面面积和水力半径用 ω_0 和 R_0 表示。

前面讲过，当均匀流动时，水力坡度 J 等于槽底坡度 i ，所以在应用谢才公式时，均匀流动的平均流速可写成

$$v = C_0 \sqrt{R_0 i}. \quad (6-5)$$

式中 C_0 为相应于正常水深的 C 值。这就是明槽均匀流动的运动方程式。

均匀流动形式下通过明槽的流量为 $Q = \omega_0 v$ ，将式 (6—5) 代入，得

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i}. \quad (6-6)$$

谢才公式虽然是一个经验公式，对于均匀流动的基本规律性，没有能做出全面的概括，但是因为它是在丰富的实践资料基础上，所以在一定的范围内，可以满足生产上的要求，至今仍被广泛地采用。目前如管道中阻力系数的分析方法，虽然在理论上更较合理，但推广到明槽上尚不够成熟。所以在没有更完善的公式以前，对这一公式的应用，仍需要很好地掌握它。

思考题

6—2. 谢才公式表示平均流速与哪些主要影响因素有关？它的主要缺点是什么？

6—3. 有一长渠道，水流是均匀流。现在要改建这渠道，使在输送相同流量时流速减小，但水流仍是均匀流？问有哪几种改建方法？

§ 6-3 河渠的糙率

在应用均匀流公式 (5-43) 时需要根据实际情况, 确定合理的 C 值。在渠道设计中, 如 C 值选用过大, 则当通过设计流量时, 就会因为渠道断面尺寸不足而发生漫溢造成事故损失。反之, 如 C 值过小, 就会因为断面尺寸偏大而造成浪费。所以 C 值的确定, 对渠道的设计有重要的实际意义。

C 值是反映与明槽周边有关的影响流速的一个综合性系数, 它主要取决于明槽表面的粗糙程度。后者包括粗糙突起的高低及形状与分布的不规则性等, 它对流速的影响通常用一个系数来表示表面的粗糙程度, 叫做粗糙系数, 简称糙率, 用符号 n 来表示。 C 值与糙率 n 的关系, 世界各国根据自己实践的经验, 提出很多的计算 C 值的经验公式。在第五章中, 介绍了两个常用的公式, 其中有满宁公式, 即

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (5-45)$$

将式 (5-45) 代入式 (6-5), 得

$$v = \frac{1}{n} R_0^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

这是目前各国应用较广的一个公式, 在我国也得到较广泛的应用。

按照式 (5-45) C 值是糙率 n 和水力半径 R 的函数, 但 R 对 C 值的影响要比 n 小的多。明槽表面材料愈光滑平整, n 值愈小, 阻力作用就愈小, 这样平均流速就愈大。

一般根据经验, 将明槽表面的糙率, 按不同材料分别拟定 n 值范围, 列表如上册附录 I。例如表中第五类无抹灰的混凝土面, n 值范围为 0.013—0.017。选用时应针对某具体渠道的实际情况, 作出判断。当渠道施工质量较好, 断面形状很规则, 表面也很平整时, 就可以采用较光滑值 0.013。或者考虑到几年之后表面粗糙程度可能稍增, 就采用 0.014, 切忌主观随意忆断。实际上材料的平整是很难完全均匀一致的, 总有些局部的不规则地方, 所以要对边界作整体的估计, 包括局部的不规则影响。

为了便利计算工作, 将不同的 n 与 R 值, 按式 (5-45) 算出 C 值, 并将计算结果列表, 以便查用。常用的 C 值见上册附录 III。

对于人工渠槽, 因过水断面的形状和尺寸以及表面的粗糙程度沿程变化较小, 所以对 n 值的判断较为容易。但对于天然河道, 因总是不规则的非棱柱形槽, 总是非均匀流动。 n 值的正确估计就较为困难, 常要通过实际河流的量测来确定 n 值。一般将河道划分为若干槽身比较顺直、水面宽度与断面形状比较一致的河段, 当做均匀流动来处理。根据实测的流量、水力半径和水面坡度, 反算出 n 和 C 值。

* * *

对于天然河道, n 值的影响因素较多, 首先是河床的表面粗糙度。当已测得河床泥砂颗粒组成资料时, 就可以用公式来估算糙率。例如黄河和长江下游河道采用的糙率公式为

$$n = \frac{d_{65}^{\frac{1}{6}}}{19}, \quad (6-8)$$

d_{65} 为泥砂颗粒直径, 以米计, d_{65} 表示小于该粒径的泥砂重量占砂样总重量的 65%。其次是河滩的复盖情况如树木杂草等, 既影响河床表面的粗糙度又影响过水断面的大小。又如多泥砂的河流, 由于河底沙波起伏, 使 n 值随水位涨落而变化。图 (6-5) 示黄河土城子站的实测资料, 从图可以看出, 当水位较低时, 糙率一般都较大; 随着水深的增加, 糙率急剧地减小, 一直达到一个最小值; 水深再增加时, n 值又略有回增。这是因为在低水位时, 泥沙在河底运行形成沙波, 因此粗糙度便较大, 所以 n 值大。随着水深渐增, 相对粗糙逐渐减小; 当水深和流速增加到一定程度使沙波消失时, 相对粗糙达到最小值, 所以 n 值也达最小值。水位继续上升后, 由于沙波的再现使阻力增加, 但相对糙率比低水位时要小些。而在山区河道中, 水深对糙率的变化, 并无一定的规律性。

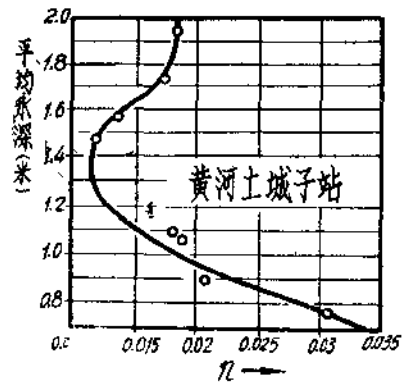


图 6-5

总之, 对于天然河道, 河槽断面的不规则性、河身的线形、河流的含沙量及河道的阻碍程度 (如桥墩等), 都对 C 值有一定的影响。但除断面形状的影响可由 $R^{\frac{1}{3}}$ 反映外, 所有其他因素都必须在选用 n 值时考虑进去。所以 n 值的选择, 对 C 值的确定是个关键因素。

在没有实际资料的情况下, 对 n 值的选择, 可以参考表 6-1。

前交通和铁道科学研究院曾对全国各河流的洪水糙率进行调查研究, 按河流为山区、前山区及平原区分类编制了各大地区的河流洪水糙率系数 ($\frac{1}{n}$ 值) 表, 可供选用 n 值的参考。

从分析 C 值与 λ 的关系中, 我们知道 C 是包括了重力影响 ($\sqrt{g}$) 的系数, 所以单位为米^{1/2}/秒。又从管道阻力分析中知道, 当流动是紊流粗糙区的情况, 对水头损失的主要作用是相对粗糙的影响。根据这种规律性, $\frac{R^{\frac{1}{3}}}{n}$ 就应该是一种相对粗糙的度量, 而 n 就应具有长度 $L^{\frac{1}{3}}$ 的量纲, 它应是一种绝对粗糙的量度。但在经验公式中, n 的含义和量纲, 却和 C 值一样是不够明确的, 这也是经验公式在理论上的明显缺点。因此关键在于密切联系实际, 总结实践经验, 提高对糙率的规律性认识, 才能合理地选用 n 值。

表 6—1 河流的糙率 n 值

河 槽 类 型 及 情 况	最小值	正常值	最大值
第一类 小河（汛期最大水面宽度约 30 米）			
甲、平原河流			
1. 清洁，顺直，无沙滩，无潭	0.025	0.030	0.033
2. 同上，多石，多草	0.030	0.035	0.040
3. 清洁，弯曲，稍许淤滩和潭坑	0.033	0.040	0.045
4. 同上，但有草石	0.035	0.045	0.050
5. 同上，水深较浅，河底坡度多变，平面上迴流区较多	0.040	0.048	0.055
6. 同 4，并多石	0.045	0.050	0.060
7. 滞流的河段，多草，有深潭	0.050	0.070	0.080
8. 多丛草河段，多深潭，或林木滩地上的过洪	0.075	0.100	0.150
乙、山区河流。（河槽无草树，河岸较陡，岸坡树丛过洪时淹没）			
1. 河底：砾石、卵石间有孤石	0.030	0.040	0.050
2. 河底：卵石和大孤石	0.040	0.050	0.070
第二类 大河（汛期水面宽度大于 30 米）相应于上述小河的平原和山区河流的各种情况。由于河岸阻力较小， n 值略小。另当			
甲、断面比较规整，无孤石或丛木	0.025		0.060
乙、断面不规整，床面粗糙	0.035		0.100
第三类 洪水时期的漫流滩地			
甲、草地、无丛木			
1. 短草	0.025	0.030	0.035
2. 长草	0.030	0.035	0.050
乙、耕种面积			
1. 未熟禾稼	0.020	0.030	0.040
2. 已熟成行禾稼	0.025	0.035	0.045
3. 已熟密植禾稼	0.030	0.045	0.050
丙、矮丛木			
1. 疏稀，多杂草	0.035	0.050	0.070
2. 不密，夏季情况	0.040	0.060	0.080

表 6—1 續

河 槽 类 型 及 情 况	最小值	正常值	最大值
3. 茂密, 夏季情况 丁 树 木	0.070	0.100	0.160
1. 平整田地, 干树无枝	0.030	0.040	0.050
2. 同上, 干树多新枝	0.050	0.060	0.080
3. 密林, 树下少植物, 洪水位在校下	0.080	0.100	0.120
4. 同上, 洪水位淹没树枝	0.100	0.120	0.160

* * *

思 考 题

6—4 试说明糙率 n 对 c 值的影响关系? 怎样理解 c 值和 n 所具量纲的物理意义?

6—5 拟实测清华园小河的糙率 n 值, 问需怎样选择河段和量测哪些水力要素及如何计算?

6—6 为什么天然河道糙率 n 的影响因素和变化范围要比人工渠道复杂的多? 试针对参观过的河流和渠道讨论并选用其糙率 n 值的范围。

§ 6-4 渠道的水力计算

(一) 水力计算问题概述

明槽均匀流公式一般应用于渠道设计的水力计算, 但对于天然河道, 可以将槽身划分为若干大致均匀一致的河段, 分段进行计算。

渠道的计算问题可分为三类, 以常见的梯形和矩形断面渠道为例, 分述如下。

1. 第一类问题, 求渠道的输水能力, 即流量 Q 。对于梯形断面 (图 6—1 a), 根据已知的底宽 b , 水深 h , 边坡系数 m , 糙率 n , 和底坡 i , 利用公式

$$Q = \omega c \sqrt{R i}$$

求出流量。

2. 第二类问题, 求渠道的底坡 i 。对于梯形断面根据已知的 b, h, m, n , 和 Q , 先求出 C, R 和平均流速 v , 然后由公式 $i = \frac{v^2}{C^2 R}$ 求出底坡。

这两类问题, 计算较为简单, 如 n 值选用适当, 结果能符合实际情况, 能满足工程上的要求。

例 6—1. 某灌溉渠道断面为梯形, 边坡系数 $m=1.5$, 底宽 $b=4$ 米, 底坡

$$i = \frac{1}{2000},$$

糙率 $n=0.025$, 试求水深 h 为 1.0 米时的流量。

解 已知 $m=1.5$, $b=4.0$ 米, $i=\frac{1}{2000}=0.0005$, $n=0.025$, $h=1.0$ 米。由图 6-1a 可见过水断面面积

$$\omega = \frac{b+B}{2} \times h = \frac{b+b+2mh}{2} \times h = (b+mh)h = (4+1.5 \times 1) \times 1 = 5.5 \text{ 米}^2,$$

$$\begin{aligned} \text{湿周} \quad \chi &= b + 2 \times \sqrt{h^2 + (mh)^2} = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 4 + 2 \times \sqrt{1+1.5^2} \\ &= 4 + 2 \times 1.8 = 7.6 \text{ 米}, \end{aligned}$$

$$\text{水力半径} \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{5.5}{7.6} = 0.724 \text{ 米},$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0.025} \times (0.724)^{\frac{1}{6}} = 40 \times 0.947 = 37.8,$$

(C 值也可从附录 II 中查得)。

$$\therefore Q = \omega c \sqrt{R i} = 5.5 \times 37.8 \times \sqrt{0.724 \times 0.0005} = 3.96 \text{ 米}^3/\text{秒}.$$

例 6-2. 某混凝土槽 (表面不抹灰, 较粗糙) 长 200 米, 按均匀流设计。采用矩形断面, 底宽 2 米, 当水深为 1 米时通过的流量为 5.25 米³/秒。问这一段中, 上下端水面落差是多少?

解 按均匀流公式 $Q = \omega C \sqrt{R i}$, 移项并乘方得 $i = \frac{Q^2}{\omega^3 C^2 R}$, 过水断面面积 $\omega = bh = 2 \times 1 = 2$ 米², 湿周 $\chi = 2 + 2 \times 1 = 4.0$ 米, 水力半径 $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{2}{4} = 0.5$ 米。取糙率 $n=0.017$, 从附录 II 查得 $C=52.4$, 则

$$i = \frac{5.25^2}{(2 \times 52.4)^2 \times 0.5} = 0.005,$$

因水面线与底坡线平行, 故上下端水面落差为

$$\Delta h = i l = 0.005 \times 200 = 1.0 \text{ 米}.$$

3. 第三类问题为求渠道断面尺寸, 这是在设计中经常需要解决的问题。渠道的底坡一般可根据地面自然坡度来确定。边坡和糙率则取决于土壤性质、密实程度和槽身表面或衬砌的粗糙程度。当 m 和 n 均已定出, 问题就是求 b 和 h 。在均匀流公式中有两个未知数, 所以可能有多对 b 和 h 的数值能满足这个方程式的解。在实际工作中, 一般是根据工程要求和经济的条件, 先定出底宽 (或水深), 或宽深比 $\beta = b/h$, 然后求得另一个未知数。

对于梯形断面, 将未知数 b 或 h 代入公式求解时不易计算, 所以一般采用试算和图解的方法。

例 6—3. 某灌溉渠道需要输送流量 $Q=3.0$ 米³/秒。为梯形断面，边坡系数 $m=1$ ，糙率 $n=0.025$ ，底坡 $i=\frac{1}{2000}$ 。设底宽 $b=2.0$ 米，求渠道中水深 h 。

解 如直接从公式 $Q=\omega C\sqrt{Ri}$ 求水深太麻烦，因此采用试算法，即先假设一个水深 h ，根据给出的底宽 b ，边坡系数 m ，底坡 i 和糙率 n ，可求出相应于这个水深的流量 Q ，与给定的流量相比较，根据两者的差，再修改假设的水深，直至算出的流量与给定的流量一致为止。这个水深，就是所要求的水深。

为了较快地得到答案并便利校核，常用列表和图解相结合的形式。具体步骤如下：

已知 $b=2.0$ 米， $m=1$ ， $\sqrt{1+m^2}=\sqrt{1+1}=1.414$ ，

$$i=\frac{1}{2000}, \sqrt{i}=0.0224, n=0.025.$$

计算结果列如下表：

假设水深 h (米)	过水断面面积 $\omega=(b+mh)h$ (米 ²)	湿 周 $\chi=b+2h\sqrt{1+m^2}$ (米)	水力半径 $R=\frac{\omega}{\chi}$ (米)	$\sqrt{Ri}$	$R^{\frac{1}{6}}$
1.0	3.0	4.83	0.622	0.01762	0.924
1.5	5.25	6.24	0.842	0.0205	0.972
1.3	4.29	5.68	0.756	0.01942	0.951
1.26	4.11	5.57	0.739	0.0192	0.951

$C=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$	流 量 $Q=\omega C\sqrt{Ri}$ (米 ³ /秒)	说 明
36.9	1.955	$Q<3.0$ 米 ³ /秒，∴要增加水深
38.9	4.18	$Q>3.0$ 米 ³ /秒，可看出水深在1.0~1.5米间
38.2	3.18	Q 仍稍 >3.0 米 ³ /秒，可用图解法，将三点绘在坐标纸上(图 6-6)连曲线，从曲线上求出 $Q=3.0$ 米 ³ /秒时 $h=1.26$ 米
38.0	3.0	如不用图解，再假定 $h=1.26$ 米，算出 $Q=3.0$ 米 ³ /秒

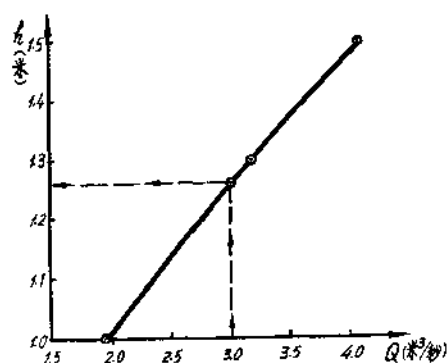


图 6-6

例 6-4. 已知某扬水站的扬水流量为 $10 \text{ 米}^3/\text{秒}$ ，渠道的底坡 $i = \frac{1}{3000}$ ，梯形断面，边坡系数 $m=1$ 。为了减少渗漏，渠道用三合土浆砌块石衬砌，水泥砂浆勾缝，表面中等粗糙，稍偏光滑。拟定渠道的宽深比 $b/h=5$ ，试计算渠道断面的尺寸。

解 本题与例题 6-3 的差别只是给出的已知条件为渠道的宽深比 $b/h=5$ 而不是底宽 b ，但由于宽深比已给出，所以我们只要假设一个 h (或 b)，另一个 b (或 h) 也就确定了。其他算法与例 6-3 相同，见下表。

已知 $\frac{b}{h}=5, m=1, \sqrt{1+1^2}=1.413, i=\frac{1}{3000},$

$\sqrt{i}=0.01826, n=0.020$ (从附录 I 中选定)

计算结果如下表:

从图 6-7 查得当 $Q=10 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 时,
 $h=1.34 \text{ 米}$; $b=5 \times 1.34=6.7 \text{ 米}$, 相应的
 的平均流速

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{10}{10.77} = 0.93 \text{ 米/秒}.$$

当明槽为复式断面时，如天然河道中的某些河段，由于各部分的糙率不同，水深不一，两者的流速相差很大，如果按整个断面考虑，计算流量往往和实际相差很大。较正确的计算方法，是将复式断面分成相应的几个部分，各部分流量之和即等于全部流量。

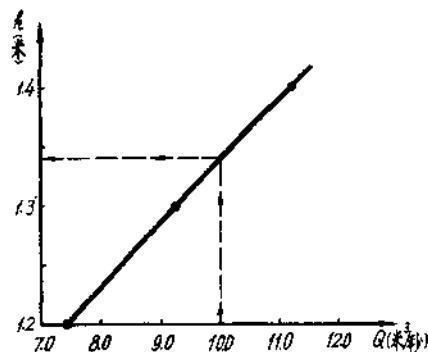


图 6-7

假设水深 h (米)	底宽 $b=5h$ (米)	过水断面面积 $\omega=(b+mh)h$ (米 ²)	湿 周 $x=b+2h\sqrt{1+m^2}$ (米)	水力半径 $R=\frac{\omega}{x}$ (米)	$\sqrt{Ri}$	$R^{\frac{2}{3}}$	$C=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$	流 量 $Q=\omega C\sqrt{Ri}$ (米 ³ /秒)	说 明
1.2	6.0	8.64	9.40	0.92	0.0175	0.986	49.3	7.45	连三点繪 曲线见图 6—7, 可 查得 $h=1.34$ 米
1.4	7.0	11.76	10.96	1.072	0.0189	1.012	50.6	11.24	
1.3	6.5	10.14	10.18	0.996	0.0182	0.999	50.0	9.24	
1.34	6.70	10.77	10.50	1.027	0.0185	1.004	50.2	10.0	不用图解时 再试算一次

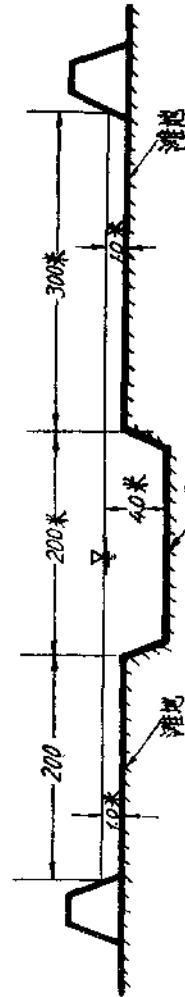


图 6—8