

高等学校试用教材

水力学

下册

成都科学技术大学水力学教研室编

人民教育出版社

高等学校试用教材

水 力 学

下 册

成都科学技术大学水力学教研室编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材

水力学

下册

成都科学技术大学水力学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

重庆新华印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张20.875 字数485,000

1979年8月第1版 1980年11月第2次印刷

印数7,001—12,500

书号15012·0176 定价 2.05 元

目 录

第十章 渠道连接建筑物的水力计算	(1)
§10-1 明渠渐变段的水力计算	(1)
§10-2 渡槽的水力计算	(14)
§10-3 跌水的水力计算	(17)
§10-4 陡槽的水力计算	(28)
习 题	(34)
第十一章 隧洞的水力计算	(37)
§11-1 隧洞的水流状态及其判别方法	(38)
§11-2 有压隧洞的水力计算	(42)
§11-3 无压隧洞的水力计算	(56)
§11-4 隧洞水力设计中的一些补充问题	(65)
习 题	(72)
第十二章 明渠恒定变量流	(76)
§12-1 明渠恒定变量流的基本微分方程式	(77)
§12-2 设有侧堰的棱柱体明渠中水面曲线的形式	(86)
§12-3 侧堰的水力计算	(89)
§12-4 侧槽的水力计算	(98)
§12-5 有关侧槽设计中的一些问题	(105)
§12-6 水力相似原理在侧槽溢洪道设计中的应用	(111)
第十三章 有压管中非恒定流	(115)
§13-1 阀门突然关闭时有压管道中的水击	(116)
§13-2 阀门逐渐关闭时有压管道中的水击	(129)
§13-3 非恒定流的基本方程组	(132)
§13-4 水击的基本方程组	(135)
§13-5 简单管道中最大水击压强的计算	(140)
§13-6 调压系统中的非恒定流	(161)
习 题	(167)

第十四章	明渠非恒定流	(169)
§14-1	明渠非恒定流的特性及波的分类	(169)
§14-2	明渠非恒定渐变流的基本方程式	(173)
§14-3	初始条件及边界条件	(180)
§14-4	明渠非恒定流波速度和波形	(182)
§14-5	特征-差分法	(187)
§14-6	瞬时流态-差分法	(193)
§14-7	明渠非恒定急变流的基本方程式	(217)
§14-8	波额流量	(220)
§14-9	溃坝水流计算	(221)
	习 题	(236)
第十五章	液体运动的解析理论——三元分析法	(238)
§15-1	液体运动学	(239)
§15-2	理想液体动力学	(262)
§15-3	实际液体动力学	(277)
§15-4	边界层理论简介	(295)
§15-5	平面势流	(319)
	习 题	(334)
第十六章	渗流	(336)
§16-1	渗流的基本概念	(337)
§16-2	渗流的基本定律——达西(H. Darcy)定律	(342)
§16-3	地下河槽中的恒定均匀渗流和非均匀渐变渗流	(347)
§16-4	棱柱体地下河槽中恒定渐变渗流的浸润曲线形式 和计算	(350)
§16-5	普通井及井群的计算	(359)
§16-6	水平不透水层上均质土坝的渗流计算	(366)
§16-7	不透水地基上具有排水及心墙或斜墙的土坝渗流 计算简介	(371)
§16-8	用流网法解平面急变渗流	(377)
§16-9	用直线比例法计算闸坝底板上的渗透压力	(383)
§16-10	水电比拟法绘制流网	(386)

习 题	(393)
第十七章 液体运动的相似原理和水利模型试验基础	(396)
§17-1 液流的力学相似	(396)
§17-2 相似准则	(399)
§17-3 变态模型	(416)
§17-4 模型设计举例	(422)
§17-5 量纲分析—— π 定理	(428)
第十八章 高速水流	(434)
§18-1 高速水流的脉动压强	(435)
§18-2 水利建筑物的气蚀问题	(447)
§18-3 高速掺气水流	(457)
§18-4 非棱柱体明渠中的急流冲击波	(463)
§18-5 陡槽中的滚波	(480)
习 题	(481)
第十九章 河渠泥沙运动的基本规律	(483)
§19-1 泥沙特性	(484)
§19-2 泥沙在静水中的沉降速度	(491)
§19-3 泥沙的临界推移力与起动流速	(498)
§19-4 推移质输沙率	(504)
§19-5 悬移质运动	(509)
§19-6 悬移质含沙量沿垂线分布	(510)
§19-7 水流挟沙能力	(514)
§19-8 冲积河流和挟沙水流的阻力变化	(516)
§19-9 渠道冲淤平衡断面	(520)
§19-10 泥沙连续性方程式	(527)
习 题	(528)

附录 I 引水系统的水力计算分析实例

第一部分 灌溉引水系统的水力计算分析	(530)
§I-1 工程概况简述及计算内容	(530)
§I-2 取水口的水力计算	(532)

§I-3	无压隧洞及闸后消能的水力计算	(540)
§I-4	渠道及渐变段的水力计算	(546)
§I-5	渡槽的水力计算	(550)
§I-6	陡槽的水力计算	(553)
第二部分	引水式电站的引水系统水力计算分析	(563)
§I-7	工程概况简述及计算内容	(563)
§I-8	输水明渠断面尺寸的设计	(564)
§I-9	开敞式取水口的水力计算	(566)
§I-10	前池的水力计算	(574)
§I-11	压力管道的水力计算	(580)

附录Ⅱ 实验数据的表示方法

§II-1	实验数据的列表表示法	(585)
§II-2	实验数据的图形表示法	(586)
§II-3	实验数据的方程表示法	(590)

附录Ⅲ 有限单元法在水力学(平面势流) 计算中的应用

§III-1	平面势流的数学方程	(611)
§III-2	变分法及平面势流中的变分问题简介	(615)
§III-3	平面势流的有限单元法	(635)

第十章 渠道连接建筑物的水力计算

当渠道与山谷、河流、公路或铁路交叉时，常修建渡槽、涵洞或倒虹吸管等建筑物来跨越这些障碍。当渠道通过地面坡度较陡或存在天然跌坎时，为避免大量的挖方或填方，常利用天然地形，作成跌水或陡槽，以便将高程不同的两段渠道连接起来。渡槽、涵洞、倒虹吸管及跌水、陡槽等建筑物，统称为渠道连接建筑物。

渠道连接建筑物水力计算的任务，是确定合理的建筑物尺寸，保证有足够的过水能力，并使水流平顺，减少水头损失，不致引起渠道的冲刷和淤积。在以上各种渠道连接建筑物中，倒虹吸管的计算比较简单，可按有压短管计算；涵洞的计算将放在第十一章讨论。本章只着重讨论渡槽、跌水及陡槽的水力计算方法。此外，在实际工程中，为节省造价，各种渠道建筑物的横断面尺寸总是比渠道断面为小，断面型式也往往不同于渠道本身。因而，在渠道与建筑物的连接处，如渡槽、涵洞的进、出口处，常须设置一适当的渐变段，以便将断面尺寸、形状不同的两种渠槽妥善的连接起来。渐变段是渠道连接建筑物的一个重要的组成部分，也是本章讨论的另外一个重点。

§10-1 明渠渐变段的水力计算

凡是在渠道断面(型式及尺寸)发生变化处都必须设置一定形式的渐变段。它的作用是使水流平顺过渡，避免产生过大的

能量损失，不出现横向回流，不引起水深的骤然变化。因为在急流中，明渠边界的变化必然伴随着冲击波的产生，使水流状态恶化，水流现象复杂。故本章主要讨论缓流中明渠渐变段的设计；急流中明渠边界变化段的水力计算问题，可参阅第十八章。

显然，为保证水流平顺过渡，比较理想的渐变段，水面应为平缓、光滑的曲线；渐变段的底宽、水面宽以及边坡系数沿水流方向都应呈曲线变化；许多时候，相应的渠底高程在流动方向也呈曲线变化。这种渐变段称为曲线渐变段（见表10-1中①型）。曲线渐变段，虽然具有良好的水力特性，但造价较高和施工较难，故一般只用于水头十分宝贵的大型发电或灌溉渠道中。对中小型渠道，常把渐变段作成比较简单的型式（见表10-1中的②、③、④、⑤型），既便于施工，也能基本上满足水力条件的要求。

一、明渠渐变段水力计算的基本公式

渐变段的设计，一般是在流量及被连接的两段渠道断面尺寸已知的条件下，要求确定渐变段的长度，平面轮廓尺寸及底部轮廓尺寸。显然，渐变段是一种非棱柱体渠道，其水流在一般情况下均近似于渐变流。因此，可利用非棱柱体渠道中非均匀渐变流的公式进行水力计算。过去，在计算明渠非均匀渐变流的水面曲线时，通常略去局部水头损失，但对于渐变段的计算，由于断面沿程变化显著，局部水头损失必须考虑。此外，在有些情况下，渐变段的底部轮廓并不是直线，若仍用水深表示水面变化是不方便的；所以我们改用水面高程 z 。

如图10-1所示，取长度为 dl 的微小流段来研究。应用能量方程可求得1-1与2-2断面间的水位差为

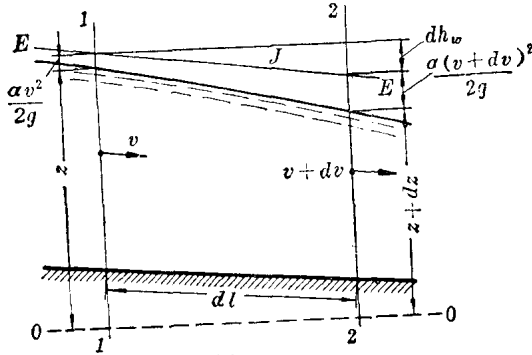


图 10-1

$$-dz = d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + dh_f + dh_j$$

将上式中各项用差分分量代替, 可得

$$-\Delta z = \Delta\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \Delta h_f + \Delta h_j \quad (10-1)$$

式中: Δz 为 2-2 与 1-1 断面间的水位差

$$-\Delta z = -(z_2 - z_1) = z_1 - z_2;$$

$\Delta\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)$ 为 2-2 与 1-1 断面间的流速水头差

$$\Delta\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g};$$

Δh_f 为 1-1 至 2-2 断面间的沿程水头损失, $\Delta h_f = \bar{J} \cdot \Delta l$,

$$\bar{J} = \frac{1}{2}(J_1 + J_2), \quad J_1 = \frac{Q^2}{K_1^2}, \quad J_2 = \frac{Q^2}{K_2^2};$$

Δh_j 为 1-1 至 2-2 断面间的局部水头损失

对收缩渐变段

$$\Delta h_j = \xi \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right);$$

对扩散渐变段

$$\Delta h_j = \xi \left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right);$$

ξ 为渐变段的局部水头损失系数, 决定于渐变段收缩或扩

散的类型，如表10-1所示。

将以上各值代入式(10-1)，则得渐变段进出口水位差的计算公式：

对收缩渐变段

$$z_1 - z_2 = (1 + \bar{\zeta}) \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) + \bar{J} \cdot \Delta l \quad (10-2)$$

对扩散渐变段

$$z_2 - z_1 = (1 - \bar{\zeta}) \left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \bar{J} \cdot \Delta l \quad (10-3)$$

式(10-2)及(10-3)即为渐变段水力计算的基本公式。由此，不难看出：

对于收缩渐变段(如渡槽进口的渐变段)，水流自低流速流向高流速，势能转化为动能，水面要下降；即 $z_1 - z_2$ 为正值(如图10-2, a)；

对于扩散渐变段(如渡槽出口的渐变段)，水流自高流速流向低流速，动能恢复为势能，水面要上升；即 $z_1 - z_2$ 为负值(如图10-2, b)。

渐变段的长度对形成良好的水力条件有较大的影响。实验表明：明渠渐变段的长度与被连接的两个断面的尺寸有关，常用下列经验公式计算

$$L_t = \eta \cdot (B_{\max} - B_{\min}) \quad (10-4)$$

式中： L_t 为渐变段的长度；

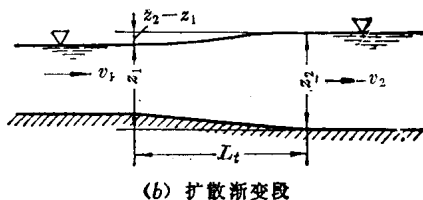
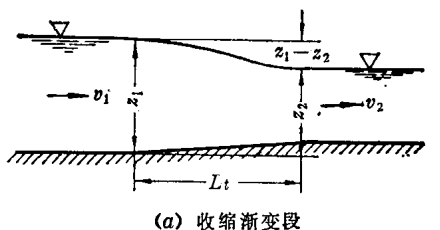


图 10-2

B_{max} 为渐变段进口及出口断面中较大的一个水面宽度；
 B_{min} 为渐变段进口及出口断面中较小的一个水面宽度；
 η 为系数，对进口的收缩渐变段，取 $\eta = 1.5 \sim 2.5$ ；对出口扩散渐变段，取 $\eta = 2.5 \sim 3.0$ 。

当水流扩散时，流速分布在横断面上是极不均匀的。如果扩散渐变段的长度过小，相应的扩散角过大，容易引起主流脱离边壁而产生回流，主流则过度集中，而有冲刷下游渠道的危险。所以要求扩散渐变段的长度较收缩渐变段为长。

表10-1 渐变段的局部水头损失系数 $\bar{\zeta}$ 值

渐变段的型式	示意图 (以梯形断面和矩形断面连接为例)	$\bar{\zeta}$ 值	
		收缩渐变段	扩散渐变段
① 曲线型		0.10	0.30
② 楔型		0.20	0.50
③ 圆弧形		0.20	0.50
④ 八字型		0.30	0.50
⑤ 直角型		0.40	0.75

二、曲线型渐变段的水力计算

在设计曲线型渐变段时，应首先假定一条水面曲线的形状，亦即假定渐变段内各点的水面高程。渐变段的长度则按式(10-4)计算。然后，将渐变段分成若干等份，并利用式(10-2)或(10-3)求各断面的流速及过水断面面积。因为过水断面面积是水深、底宽及边坡系数的函数，这时，可给定底宽及边坡系数值(也即假定渐变段的平面轮廓尺寸)求水深，即可定出各等分断面的底部高程(也可给出底部高程反求平面轮廓尺寸)。显然，这样的计算必然是一个反复的过程，因为事先给定的水面曲线形状及平面轮廓尺寸都是任意的，当所求出的底部轮廓不是一条光滑曲线时，必须调整平面轮廓尺寸，直至光滑为止。

具体的计算步骤见例10-1。

例 10-1 有一梯形土渠与一钢筋混凝土渡槽相接，试设计曲线型的进口收缩渐变段。已知：

土渠(梯形断面)	渡槽(矩形断面)
i_1 为0.000122	i_1 为0.00088
n_1 为0.018	n_1 为0.014
v_1 为0.782米/秒	v_1 为1.97米/秒
b_1 为5.5米	b_1 为3.8米
h_1 为1.39米	h_1 为1.32米
m_1 为2.0	m_1 为0

流量 Q 为9米³/秒。

解：

(一)确定渐变段的长度

由
$$L_t = \eta(B_{max} - B)_{min}$$

首端断面的水面宽

$$\begin{aligned} B_1 &= b_1 + 2m_1h_1 \\ &= 5.5 + 2 \times 2 \times 1.39 = 11.06 \text{ m} \end{aligned}$$

末端断面的水面宽

$$B_1 = b_1 = 3.80 \text{ m}$$

则渐变段长度为

$$L_t = (1.5 \sim 2.5)(11.06 - 3.80) = 10.88 \sim 18.15 \text{ m}$$

取 $L_t = 17 \text{ m}$

将渐变段长度分成10等分(令 $n = 10$)，每等分段的长度为

$$\Delta L = \frac{L_t}{n} = \frac{17}{10} = 1.7 \text{ m}$$

(二) 求各等分断面处的水面落差

渐变段水面的总落差可按式(10-2)计算。为简化，初步计算时可不计沿程损失，则

$$z_1 - z_1 = (1 + \bar{\zeta}) \left(\frac{\alpha_2 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{令} \quad z_1 - z_1 &= s \\ \alpha_1 &= \alpha_2 = 1 \end{aligned}$$

由表10-1查得，局部损失系数 $\bar{\zeta} = 0.1$ 。

将已知值代入，可求得渐变段的总落差

$$s = (1 + 0.1) \left(\frac{1 \times 1.97^2}{2 \times 9.8} - \frac{1 \times 0.782^2}{2 \times 9.8} \right) = 0.146 \text{ m}$$

假定渐变段内水面曲线为两段反对称的抛物线 AB 及 BC ^①，彼此在 B 点相切；并分别在 A 点及 C 点与上游及下游渠道的水面相切^②，如图10-3所示。根据抛物线的定义，在 AB 段内，任一断面 i 与断面 I 间的距离 l_i 应与该断面的水位降落值 Δz_i 成下述关系

$$l_i^2 = 2P \cdot \Delta z_i$$

式中： P 为抛物线焦点至准线的距离；

Δz_i 为 $I-I$ 断面至 $i-i$ 断面的水面降落值。

① 也可假定水面曲线呈圆弧反曲线，见吴持恭著《明渠水力学》龙门联合书局。

② 严格来讲，抛物线 AB 及 BC 在 A 点及 C 点是与水平面相切，但由此引起误差甚小。

当 $i = 5$ (即为断面B)时, 由图10-3可以看出:

$$l_5 = 5 \times \Delta l$$

则有
$$\Delta z_5 = \frac{1}{2} z$$

当 $i = 1$ (即为①-①断面)时, $l_1 = 1 \times \Delta l$, 设水面降落为 Δz_1 。

将以上各值代入抛物线方程得

$$(5 \times \Delta l)^2 = 2p \times \frac{1}{2} z$$

$$(1 \times \Delta l)^2 = 2p \times \Delta z_1$$

比较以上二式, 可求得I-I断面至①-①断面间的水位降落值

$$\Delta z_1 = \frac{1}{2} \times z \times \frac{(1 \times \Delta l)^2}{(5 \times \Delta l)^2} = \frac{1^2}{2 \times 5^2} \cdot z$$

同理, 可求得I-I至②-②断面间的水位降落

$$\Delta z_2 = \frac{1^2 \times 2^2}{2 \times 5^2} \cdot z$$

$$\Delta z_3 = \frac{1^2 \times 2^2 \times 3^2}{2 \times 5^2} \cdot z$$

.....

根据反对称抛物线的性质, BC段内任何点的水面降落值, 应等于AC间总的水面降落减去AB上对应断面的水面降落, 即

$$\Delta z_6 = z - \Delta z_4$$

$$\Delta z_7 = z - \Delta z_3$$

$$\Delta z_8 = z - \Delta z_2$$

.....

在本例中, $z = 0.146\text{m}$, 代入以上各式可求得:

AB段

$$\Delta z_1 = 0.0029\text{m}$$

$$\Delta z_2 = 0.0117\text{m}$$

$$\Delta z_3 = 0.0263\text{m}$$

BC段

$$\Delta z_6 = 0.0993\text{m}$$

$$\Delta z_7 = 0.1197\text{m}$$

$$\Delta z_8 = 0.1343\text{m}$$

$$\Delta z_4 = 0.0467 \text{ m}$$

$$\Delta z_9 = 0.1431 \text{ m}$$

$$\Delta z_5 = 0.0730 \text{ m}$$

$$\Delta z_{10} = 0.1460 \text{ m}$$

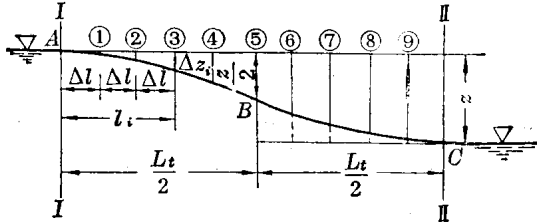


图 10-3

将以上各值列入表10-2中第1列。

(三) 计算任意断面与起始断面间的流速水头差 Δh_{v_i}

当不计沿程水头损失时, 由式(10-2)得

$$\Delta z_i = (1 + \zeta) \left(\frac{\alpha_i v_i^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) = 1.1 \times \Delta h_{v_i}$$

所以

$$\Delta h_{v_i} = \frac{\Delta z_i}{1.1}$$

将已知的 Δz_i 代入, 即可计算得各断面的 Δh_{v_i} 值,

并列入表中第2列。

(四) 计算各断面的流速水头 h_{v_i}

第 i 断面的流速水头 h_{v_i} 应等于 $I-I$ 断面(即首端断面)的流速水头 $\frac{v_1^2}{2g}$ 加上相应的流速水头差 Δh_{v_i} , 即

$$h_{v_i} = \frac{v_1^2}{2g} + \Delta h_{v_i}$$

$$\text{因为 } v_1 = 0.782 \text{ m/s} \quad \frac{v_1^2}{2g} = \frac{0.782^2}{2 \times 9.8} = 0.0312 \text{ m}$$

所以

$$h_{v_i} = 0.0312 + \Delta h_{v_i}$$

计算结果列入表10-2中第3列。

(五) 计算各断面的平均流速 v_i 及相应的过水断面面积 A_i

由

$$v_i = \sqrt{2gh_{v_i}}$$
$$A_i = \frac{Q}{v_i} = \frac{9}{v_i}$$

即可求得各断面的平均流速及过水断面面积。其结果列入表中第4、5列。

(六) 假定渐变段的平面轮廓尺寸

根据经验或参考已成工程，给定渐变段的底宽线和水边线(即水面与堤岸的交线)，并按比例绘在图10-4上。从图中，即可量出各等分断面的水面宽 B_i 及底宽 b_i ，并将 $B_i/2$ 及 $b_i/2$ 分别列入表10-2中第6、7列。

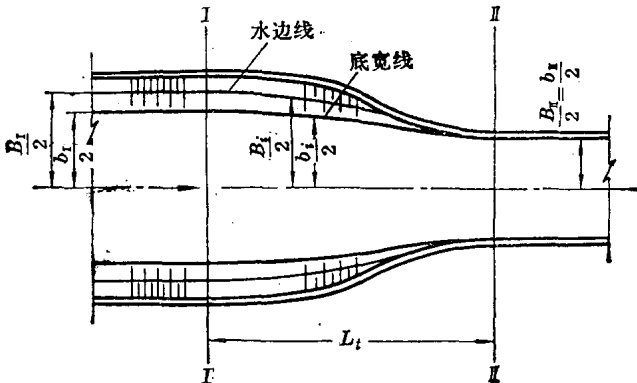


图 10-4

(七) 计算各断面的水深 h_i

对梯形断面，其水深为 $h_i = \frac{A_i}{\frac{1}{2}(b_i + B_i)}$

计算结果列入表10-2中第8列。

(八) 计算各断面的边坡系数 m_i

由
$$m_i = \frac{\frac{1}{2}(B_i - b_i)}{h_i}$$

可求出各断面的边坡系数值，列入表中第9列。

(九) 确定渐变段的底部轮廓