

高等学校交流讲义

水工建筑物

下 册

天津大学水利系水工建筑物教研室编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校交流讲义



水 工 建 筑 物

下 册

天津大学水利系水工建筑物教研室編

中 国 工 业 出 版 社

全书共十八章分上下两册，上册包括緒論、水庫、当地材料坝、混凝土坝及水閘工程等九章；下册包括泄水及引水建筑物、閘門、渠道、樞紐专门建筑物、樞紐勘测設計、管理和观测研究等九章。

本书注意贯彻党的社会主义建設方針、密切結合我国生产实际、反映国内外最新科学技术成就；同时考虑到教学上的要求，遵循由浅入深、循序漸进的原则，在章节顺序上做了新的安排。

本书适合作为高等院校水利系河川樞紐及水电站建筑专业五年制或四年制的教材，为适应各院校教学时数的某些差别，采用此书时，可按具体情况选择其中部分内容讲授。

本书也可供水利系其它专业师生、水利工程技术人員及科学工作人員参考。

水 工 建 筑 物

下 册

天津大学水利系水工建筑物教研室編

*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張18 $\frac{3}{4}$ ·插頁3·字數412,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—2,327·定价(10-6)2.35元

統一书号: 15.765·908 (水工—157)

目 录

第十章 溢洪道	3
§10-1 概述	3
§10-2 开敞式溢洪道	3
§10-3 侧槽式溢洪道	12
§10-4 竖井式溢洪道	16
§10-5 虹吸式溢洪道	20
§10-6 溢洪道型式选择	22
第十一章 溢流土石坝	25
§11-1 概述	25
§11-2 溢流堆石坝	25
§11-3 溢流土坝	29
第十二章 泄水及引水建筑物	36
§12-1 概述	36
§12-2 泄水道及引水道的型式	37
§12-3 隧洞及管道的首部建筑物	43
§12-4 管道及隧洞的荷载及其组合	56
§12-5 隧洞及管道的构造	71
§12-6 隧洞和管道的结构计算	80
§12-7 坝身泄水道及引水道	110
§12-8 泄水建筑物的出口消能	125
第十三章 渠道及渠道上的建筑物	129
§13-1 概述	129
§13-2 渠道	130
§13-3 渠道上的交叉建筑物	144
第十四章 水工建筑物的闸门	154
§14-1 闸门的分类及工作条件	154
§14-2 平面闸门	161
§14-3 弧形闸门	178
§14-4 其他型式的顶孔闸门	185
§14-5 底孔闸门	188
§14-6 闸门的启闭机械和闸门的安装	196
第十五章 水利枢纽中的专门建筑物和临时建筑物	205
§15-1 通航建筑物	205
§15-2 过木建筑物	224
§15-3 过鱼建筑物	228
§15-4 围堰	235
第十六章 水利枢纽的勘测和设计	244
§16-1 水利枢纽勘测设计工作的任务、内容及方法	244

§16-2 坝址和坝型选择.....	246
§16-3 水利枢纽布置.....	248
§16-4 水利枢纽设计方案的选定.....	255
第十七章 水工建筑物的运用管理	258
§17-1 概述.....	258
§17-2 水工建筑物的管理养护.....	259
§17-3 水工建筑物的修理和修复.....	265
§17-4 水工建筑物的改建.....	269
第十八章 水工建筑物的观测研究	272
§18-1 概述.....	272
§18-2 观测研究的仪器设备.....	272
§18-3 观测布置.....	279
§18-4 仪器埋设、观测和资料分析.....	294
主要参考文献.....	299

第十章 溢 洪 道

§10-1 概 述

在水利樞紐中，一般都有泄水建築物，用以宣泄洪水。主要的泄水建築物是溢洪道，有時也用泄水孔。

溢洪道可以結合壩體建築或設在壩體以外的地方。各種溢流壩都屬於前者，這種利用攔河壩兼做溢洪道的方式一般是經濟合理的，但卻不是都能實現的。譬如，在大中型水利樞紐中，利用當地材料壩溢流目前還有一些技術問題尚待進一步研究；拱壩及其他輕型壩，由於水流對壩身的影響目前還研究得不够透徹，當水頭過高、單寬流量過大時不經過詳細論證和試驗研究，不宜於由壩身溢流；連拱壩一般也不宜做壩頂溢流；在有水電站的樞紐中，當河谷狹窄泄洪量又很大時，可以採用壩內式厂房或厂房頂溢流，也可以採用河岸式溢洪道，決定於技術經濟比較。當然，除上述情況以外，如果附近有適宜的地形和地質條件，在壩體外修建溢洪道可能比較經濟合理。

壩體以外的溢洪道的型式，可分為開敞式（陡槽式）、側槽式、豎井式及虹吸式等。溢洪道的泄洪量較大，工作也比較可靠，一般做為主要的泄洪建築物。

泄水孔有壩身底孔式、隧洞式及管式等。進口在水面以下，泄水量較小，工作也不十分可靠，但它能夠提前放水，對容量大的水庫來說，它們可以做為輔助的泄洪建築物。除小型水庫外，很少可以完全依靠它們泄洪。

究竟採用哪種泄洪方式，要從綜合性的技術經濟比較來最後決定。

本章着重介紹開敞式溢洪道、側槽式溢洪道、豎井式溢洪道及虹吸式溢洪道。關於溢洪道泄洪流量及孔口尺寸的決定與溢流壩相似這裡不再闡述。

§10-2 開敞式溢洪道

在當地材料壩樞紐中，開敞式溢洪道（陡槽式溢洪道）是廣泛採用的一種溢洪道，它的適應範圍很廣，一般多建築在岩基上，也可以修在非岩基上。

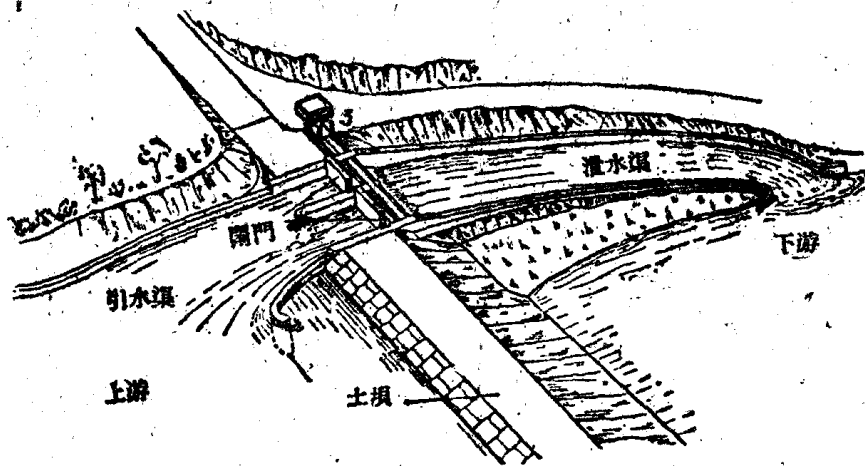


圖 10-1 開敞式溢洪道示意圖

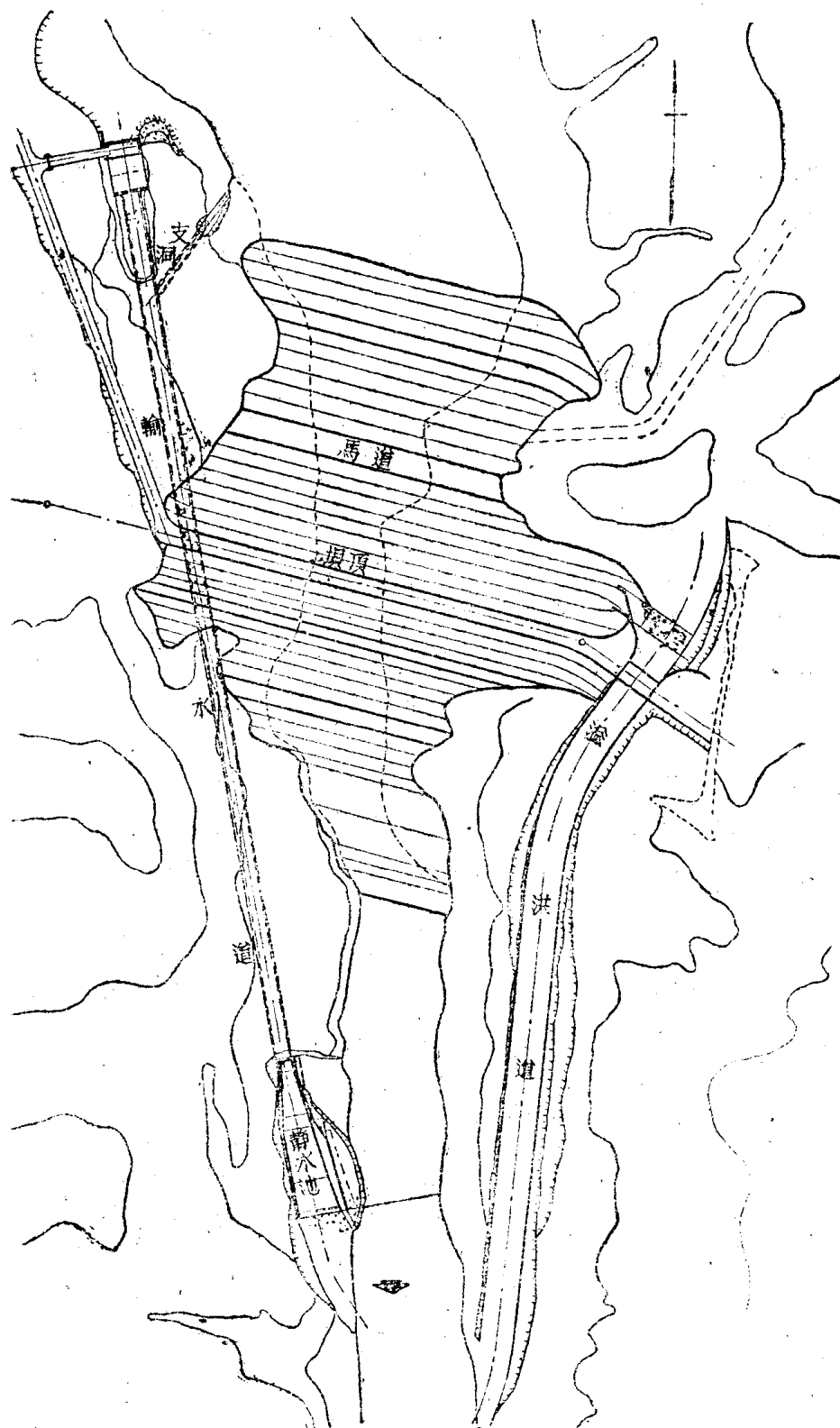


图 10-2 溢洪道平面布置图

河岸溢洪道在水利樞紐中的布置由技术經濟比較来决定。應該全面地考虑地形、工程地质条件、樞紐总体布置、施工条件和水流条件。

河岸溢洪道应尽量布置在平緩的岸坡上，以减少工程开挖方量(图10-2)。如在樞紐附近有合适的馬鞍山谷，則是布置溢洪道的好地方。不但开挖方量少，而且在樞紐布置上，由于它距其他建筑物較远，彼此干扰也少。

溢洪道应布置在穩固的地基上，在坍塌的岸坡上不宜于布置；在坚硬完整的岩石上的溢洪道可以不用衬砌，但若岩石过于坚硬亦会增加开挖費用，延长施工時間。溢洪道布置在非岩基上时，易于开挖，然而却要加強地基处理及溢洪道的衬砌。

从樞紐总体布置考虑，溢洪道进口最好距土坝远一些，以免进口附近的橫流冲刷坝坡。溢洪道出口附近常常造成很深的冲刷坑，产生回流以及水位波动等，这些現象都将影响樞紐中其他建筑物的运用及安全。所以也应把溢洪道出口布置在距离其他建筑物較远的地方。

从施工条件来看，应考虑到出碴路綫及堆碴場所等問題，尽量避免各工程互相干扰。

开敞式溢洪道，由进水池、溢流堰、泄水池三部分組成。泄水池多为陡槽，也可以是多級跌水或綜合采用两种形式。

I、进水池及溢流堰

进水池应尽量做得平順，避免在堰前产生漩渦，影响堰頂泄水。流速也不宜太大，一般通过設計流量时，应使渠道內的流速 $V=1\sim 1.5$ 米/秒，最大不宜超过 3.0 米/秒。流速加大时，虽然进水池的开挖量較小，但增加了进口水头損失，降低了溢流堰上的工作水头，也可能增加衬砌工程量，不一定是經濟的。

在溢流堰前面，由于进水池收縮及水面降落，流速增加，在非岩基上这一部分渠道应采用砌石或混凝土板保护。

溢流前緣长度应根据泄洪量及堰上水头决定，泄洪量大小的規定可參閱溢流重力坝一章。溢流堰在平面布置上，一般为直綫形的。

溢流堰通常采用实用断面堰或寬頂堰两种型式。实用断面堰溢流系数大，需要的泄水前緣較短，但施工較复杂，在土基上为了使应力均匀需要的底板寬度較大。一般在岩基上尤其是在岸坡較陡的情况下，多采用实用断面堰以减少开挖方量。为了保持堰頂水流稳定，堰頂应当高于进水池底一定高度，其值不小于堰上水头的 $1/5$ 。

溢流堰的設計方法，如前緣长度的选定、是否采用閘門、防滲設備及排水設備的設計等，均与溢流坝或水閘的設計方法类似。

在岩基上，可以利用新鮮完整岩石作坝身的一部分，适当布置一些錨筋。

II、陡槽

开敞式溢洪道在溢流堰后多用陡槽和尾水池相接，在陡槽中常常是急流，流速較高，高速水流的掺气和冲击波对陡槽的設計有很大影响。

当水流速度較高时即产生水流掺气現象，使水深增加，需要加高陡槽的边牆。水流掺气是由于水面紊动而引起的，水流与边界的摩擦、进口不平順都会使水流紊动，流速愈高紊动的程度也愈激烈，水深愈浅由底部产生的扰动也就愈容易傳到水面，所以掺气程度与流速、水深、边界糙率以及进口形状等有密切关系。

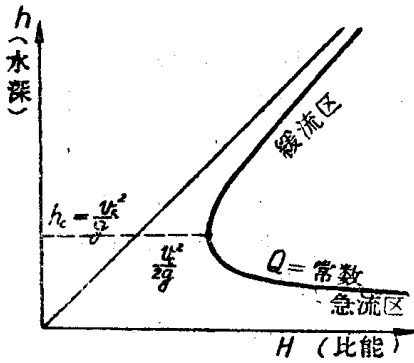


图 10-3 水深比能曲线

高速水流的特点是流速水头很大，超过水深很多，在比能中占很大比重(图10-3)。所以，当边界条件改变时，例如当边界墙有偏折角时，给水流以反推力，引起水流流速和水深的变化。虽然流速水头的变化不大，但相应的水面变化，即水面的跃起高度却很大，可达原来水深数倍以上。跃起高度与水流的佛劳德数 F_r 及边墙偏折角度有关。

冲击波和水跃类似，同属于驻波，这是因为急流流速大于波速(波速 $C = \sqrt{gh}$)，水流的扰动不能向上游传播，因而形成驻波。产生冲击波的陡槽，除非把边墙加高，否则将出现水流漫溢的现象，影响附近建筑物及

岸坡的安全。同时，当有冲击波存在时，水流极不稳定，对于出口消能亦非常不利。

由于上述高速水流的特性，在陡槽中应尽量使水流平顺，在平面布置上应尽量作成直线的和等宽度的。但是由于地形和地质条件的限制，为了减少开挖方量或绕过破碎地带，有时也不得不做成具有弯道的和变宽的陡槽，这时应设法消除冲击波的影响。

陡槽常常包括收缩段、槽身(顺直的或带有弯道的)、扩散段及消能工段四部分。

一、收缩段：在岸坡较陡的地方，为了减少挖方，有时在溢流堰下游做收缩段。此时由于边界条件变化可能产生冲击波。水面的跃起高度有时达水深的数倍以上。由于波的折射，波动的影响可能延伸很远，对于陡槽的工作及出口消能都是不利的。在设计中应尽量减少收缩角度，一般应小于 22.5° 。同时适当选择收缩段长度，使不同地点产生的冲击波起干涉作用，减低波高。

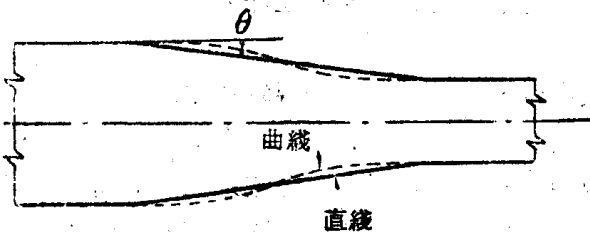


图 10-4 陡槽收缩段

当收缩段的长度一定时，直线连接比曲线连接的转折角小，所以在收缩段最好采用直线连接(图10-4)，转折的地方可以修圆。

二、槽身：槽身应尽量作成顺直的，以避免产生冲击波。陡槽底坡可随地形而变化，这样可减少开挖方量。一般坡度均

应大于临界坡度，通常可采用 $3 \sim 8\%$ 或更陡，在石基上有时甚至采用 $1:1$ 的坡度。当陡坡很长时应根据护面的允许流速决定坡度。在两个坡度相接的地方可以采用一段曲线，以免产生较大的负压。为了使水流平顺和施工便利，坡度变化不宜太多。

在平面上为了绕过破碎带或为了减少开挖方量，陡槽有时作成弯曲的(图10-5)。在转弯处由于离心力的作用水面向外侧壅高，水面倾角为：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V^2}{gR} \quad (10-1)$$

式中 R 为陡槽中线的曲率半径，其值应大于10倍槽宽。

在转弯处，由于边界条件改变，水流受边墙阻力的影响，产生冲击波，部分地区水面还更加壅高(图10-6a)。如果使槽底与水面有相同的斜度，减少边墙对水流的影响，就可以消除或减小水流的扰动，同时也可以使开挖方量减少(图10-6b)。槽底超高可以按下

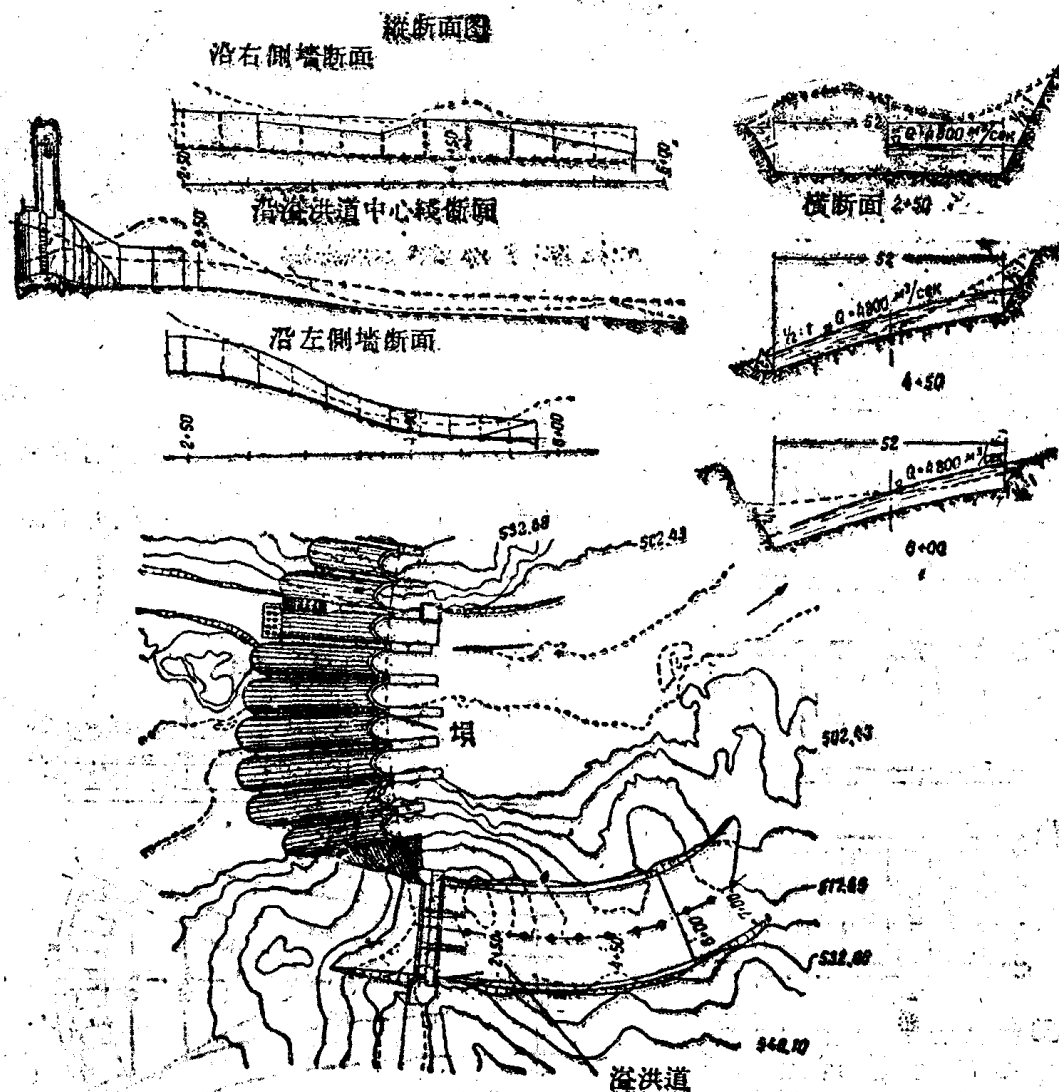


图 10-5 在連拱坝旁帶有曲綫超高的陡槽

式計算：

$$h = \frac{V^2}{g} \ln \frac{R_H}{R_B} \quad (10-2)$$

式中 R_H ——外側边牆的曲率半徑；

R_B ——內側边牆的曲率半徑。

为了平緩的引入超高，使水流平順，有时在弯道两端用漸变曲綫与直綫連接。

在弯道中設导流牆也能减少水面的超高(图 10-6c)。如果能利用这些导流牆作桥墩，也不致增加太多的造价。

为了限制槽內流速，使不超过护面的不冲流速，或为了消能的目的減輕出口消能工的負担，有时在陡槽中采用人工加糙的方法。常用的人工糙面有条坎、交錯式坎及曲折坎等(图 10-7)，可以根据对限制流速的要求定出坎高及間距。槽內流速已然很高的地方，人工糙面将引

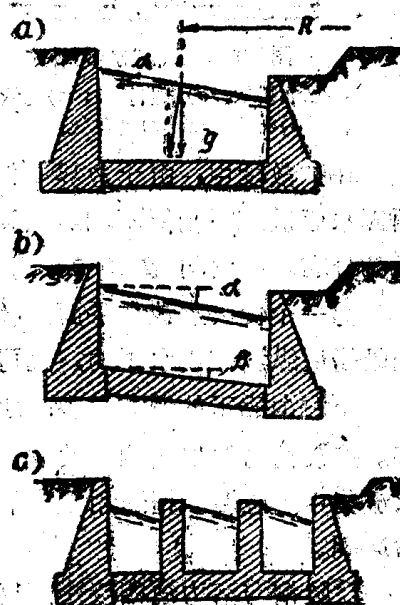


图 10-6 弯道上的陡槽

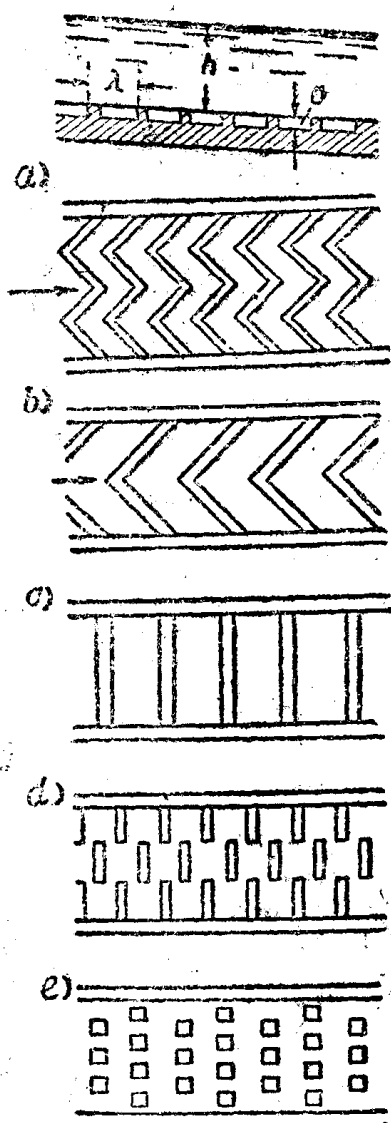


图 10-7 人工加糙型式

a) 双曲折坎; b) 单曲折坎; c) 条坎;
d) 交错条坎; e) 棋枰坎。

起空蚀, 不宜采用。

三、出口扩散段及下游消能工

在很多工程中, 在陡槽末端均设有扩散段, 以减少出口处的单宽流量, 利于下游消能。边墙扩散角度不宜过大, 否则水流将与边墙脱离。水流扩散角与其佛劳德数有关, 阿格罗斯金建议边墙的扩散角采用

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{F_r} \quad (10-3)$$

合适的扩散角应由试验决定。例如有的水库采用 $\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{1.3 F_r}$, 式中 $F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$, h_1 为水深, V_1 为流速。

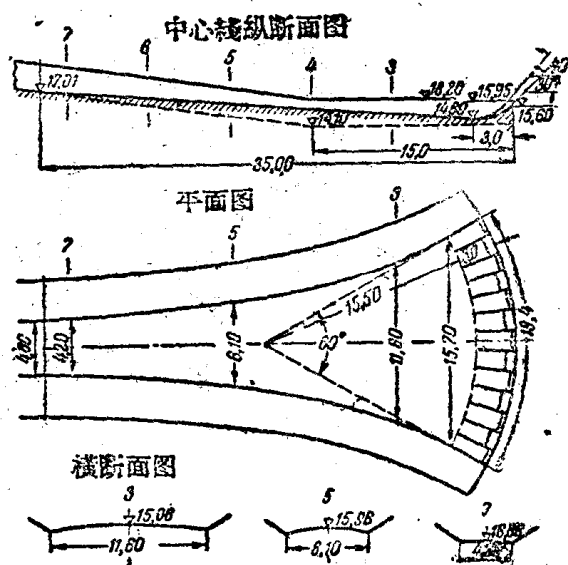


图 10-8 陡槽出口扩散段及挑流消能工

在扩散段中, 由于边界条件的改变, 使水流在横断面上分布不够均匀, 中间水面高, 两侧水面低, 对消能不利。如果渠底采用弧形的, 就可以改善这种情况, 使水流在横断面的分布趋向均匀(图10-8), 弧面半径由试验决定。

另一个促成水流在平面扩散的方法如图 10-18 所示, 在陡槽末端扩散段开始范围将一段槽底纵坡作成水平的, 也可使水流在平面上分布趋向均匀。

下游消能工的型式很多, 通常采用的有扩散消力池、自由射流消能工及悬臂跌槽等。扩散消力池边墙的扩散度一般采用 $1/5 \sim 1/4$, 扩散度太大时在两侧形成回流, 使当中水流集中。悬臂跌槽适用于小型工程(图10-9), 在悬臂槽下面柱脚附近应加以保护, 以防冲刷。

在陡槽与消力池相接处有集中落差时, 衔接段最好做成抛物线形状(图10-10), 以避免产生负压。抛物线方程式简单地可以用:

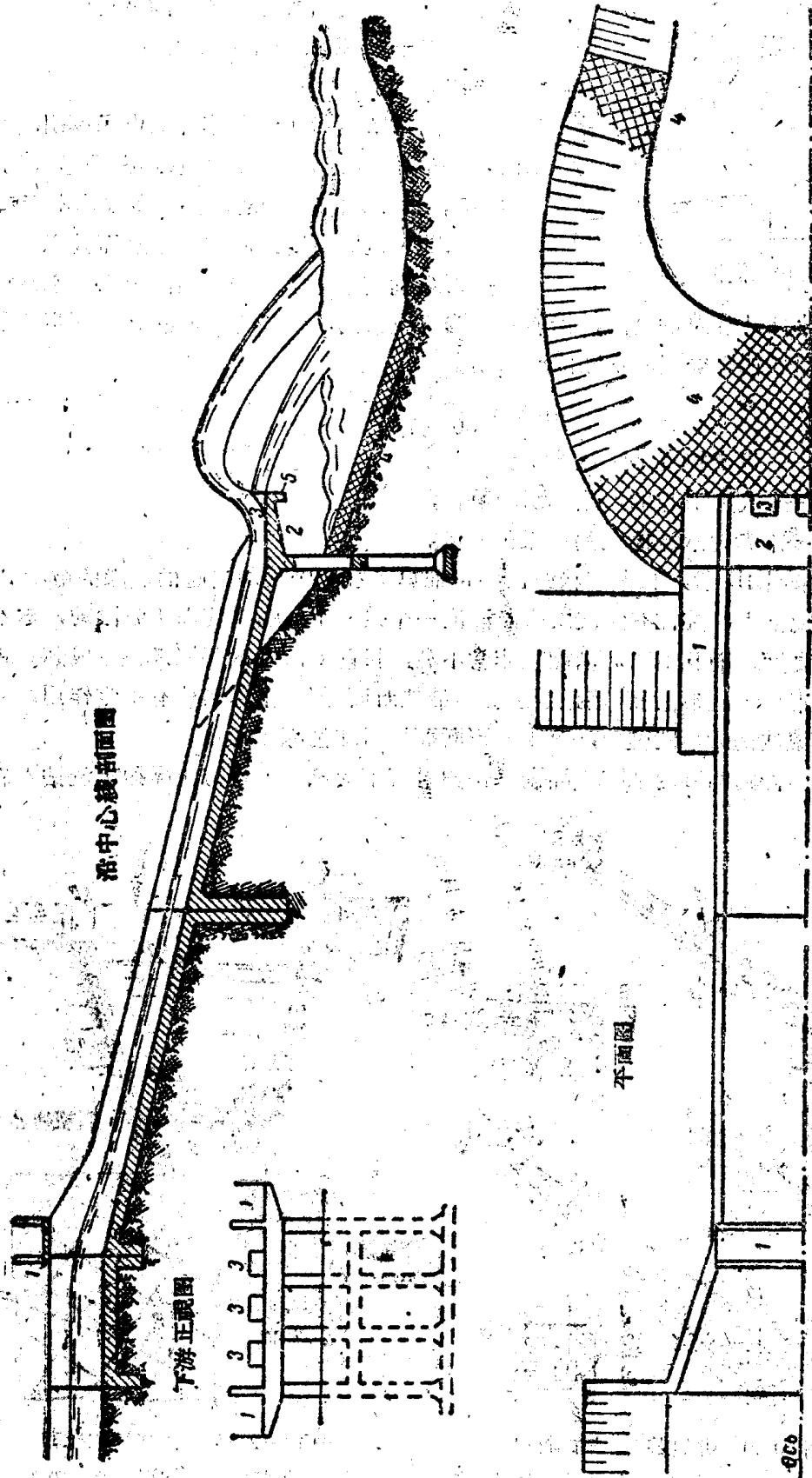


图 10-9 悬臂跌槽

1-工作桥; 2-悬臂; 3-齿坎; 4-护底; 5-盖板。

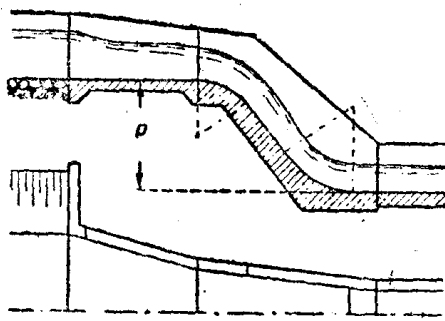


图 10-10 衔接段曲线

$$x = 0.45V \cos \alpha \sqrt{y} \quad (10-4)$$

式中 α ——陡槽底与水平线的夹角；

V ——陡槽末端的流速。

四、构造

1. 陡槽断面形状：在非岩基上多采用梯形断面，边坡不宜太缓，以防止水流外溢，通常采用1:1~1:1.5。在石基挖方中的陡槽，多采用矩形断面。

2. 陡槽边墙高度：应在最高水面线以上，水面曲线可以利用水力学方法求出。但由于水流掺气的关系，实际水面比计算的要高，目前关于掺气现象的研究还不很成熟，在初步设计中可用下列公式粗略估算掺气后水深的增量 Δh ：

$$\Delta W = \frac{1}{200} \frac{V^3}{gh} W \quad (10-5)$$

式中 W ——不考虑掺气的水流体积；

ΔW ——掺气所引起的水流体积的增量；

h, V ——不考虑水流掺气的水深和流速。

按上式求出 ΔW 后，根据陡槽断面即可推算出水流掺气所引起的水深的增量 Δh 。

在长的陡槽中，往往有滚波发生，波浪一个接一个地顺水流向下游滚动，这不但需要增加边墙高度，而且对下游消能也非常不利，目前对滚动的研究还很不成熟。根据试验观测，弓形和多边形断面（接近于水力学最佳断面）对于消除滚波有一定作用，在一个建成后发现滚波的矩形陡槽中，改成弓形断面以后即消除了滚波。

3. 衬砌：衬砌的目的是防止冲刷、保护岩石不受风化、也防止高速水流钻入岩石缝

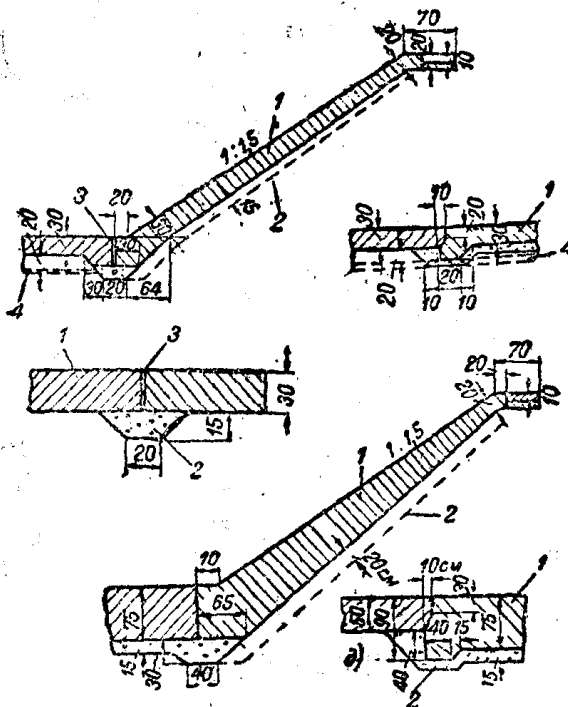


图 10-11 非岩基上陡槽的衬砌

1—混凝土板；2—排水层；3—沥青油纸填缝；4—排水管 $d=10$ 厘米。

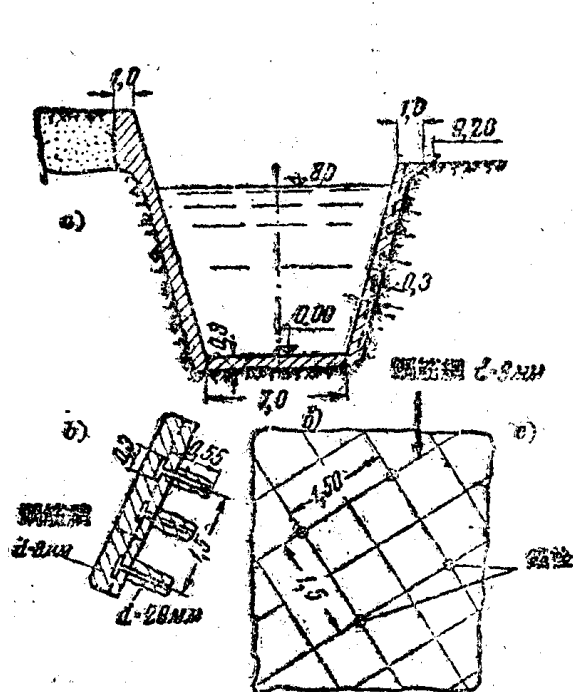


图 10-12 岩基上陡槽的衬砌

a) 横断面；b) 锚栓详图；c) 在边坡上锚栓的布置。

后把岩石掀起来。衬砌材料应足以抵抗槽内水流的冲刷, 衬砌厚度应足以抵抗地下水的浮托力及温度应力。在非岩基上混凝土或钢筋混凝土的护坡和护底(图10-11), 厚度自10厘米~40厘米, 向下游逐渐增加, 最厚的可达到100厘米。在坚强的岩石基上, 当流速不太高时, 可以不用衬砌, 只需将岩石加以平整即可。一般要求岩面凹凸不超过5厘米。当岩石较差时必须用混凝土衬砌(图10-12), 厚度约为15厘米~30厘米, 护面用温度缝分开, 缝的间距4~15米, 表层放温度钢筋, 含钢率0.2%左右。为了加强护面与基础的连接, 防止护面被水流掀起, 常常加设锚着钢筋, 一般采用 $\phi 20$ 毫米或更粗的钢筋。间距1~2米, 锚着深度1米左右, 边墙护面的出水高度一般采用0.3~1米。

4. 接缝: 接缝宽度一般采用1.0厘米左右, 缝中填沥青油纸。横缝较重要, 在较差的基础上应保证在接缝处不使下游的板翘起, 以防止护面被水流掀起, 缝的构造如图10-13所示。有时在护面板上游端作成齿坎, 起防渗防滑作用。



图 10-13 陡槽衬砌接缝构造

5. 排水: 为了降低地下水的浮托力, 在护面下面需作排水设备。在较不透水的非岩性地基上, 整个护面底部都要作排水设备。在透水性良好的地基上或是在石基上, 可以在温度缝的下面设置排水沟, 在排水沟顶面铺一层沥青麻片, 以防止水泥浆或泥砂将排水沟堵死。排水的构造如图10-14所示。纵向排水沟应一直通入下游。

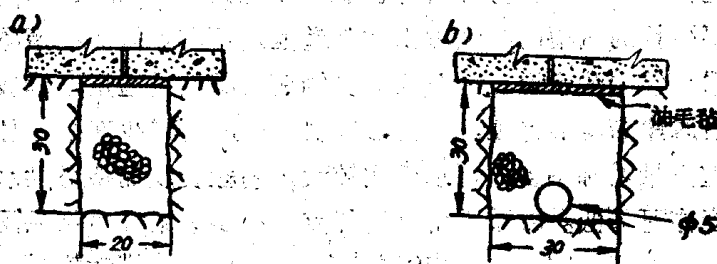


图 10-14 在岩基上的排水构造

6. 多级跌水: 多级跌水是由许多消力池组成的梯级(图10-15), 梯级高度应使池中水跃的共轭水深之比大于2, 当比值小于2时, 即不再产生完整水跃而成为波状水跃, 消能效果很差, 最常用的比值是5~6。每级高度为3~5米。每级长度应保证发生完整水跃, 一般不得小于高度的两倍。跌水的边墙与护底用缝分开, 以保证能独立沉陷, 在接缝处设止水。在布置跌水时应使池内水面低于天然地面, 以防接缝漏水时影响岸坡稳定。当单宽流量 $q < 2$ 立方米/秒时, 护底厚度可用0.35~0.4米。当跌水墙高度为3~5米、 $q > 5$ 立方米/秒时, 护底厚度采用0.8~1.0米。多级跌水的稳定应该用圆弧法作整体校核。进口防渗设备与水闸相同。

和陡槽比较, 只有在非岩基上当泄水渠坡度较大时, 多级跌水才是有利的。在溢洪道泄水渠中, 有时采用混合的办法, 平缓地带用陡槽, 陡峻地带用多级跌水。有时在陡槽中用一段跌水来减小流速。

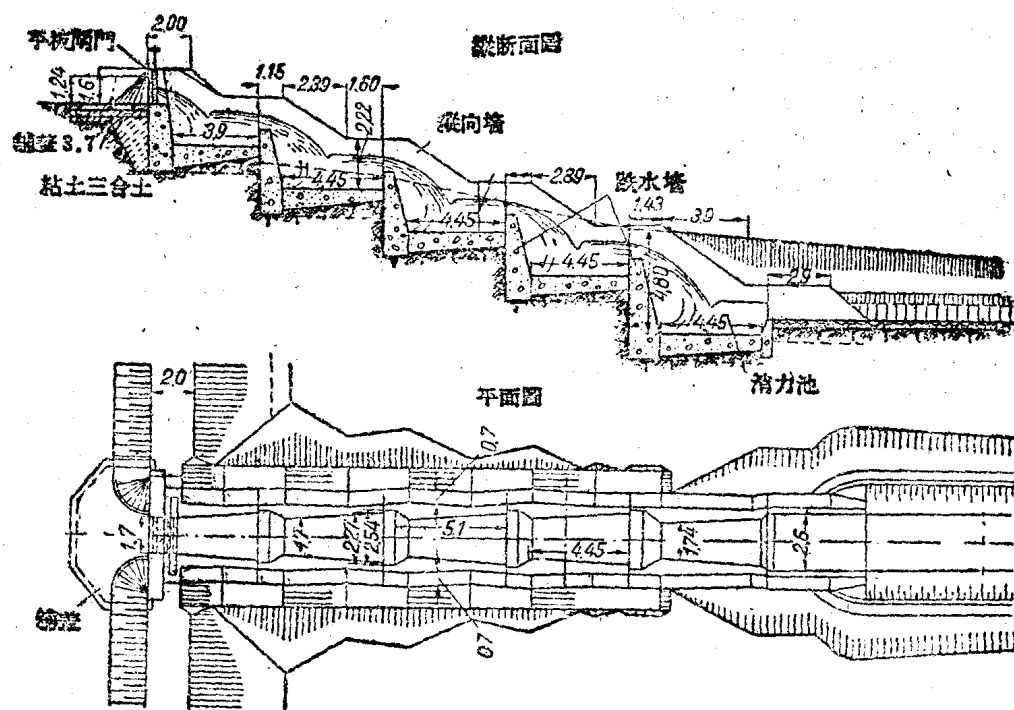


图 10-15 多級跌水

§10-3 側槽式溢洪道

側槽式溢洪道(图10-16)的特点是:溢流堰大致沿等高綫布置,水流經過溢流堰后即流入一个与溢流堰平行的側槽內,然后由泄水道泄入下游。因而側槽溢洪道一般由(1)溢流堰;(2)側槽;(3)泄水道三部分組成。側槽式溢洪道适用于岸坡較陡的情况,溢流前緣的长度可沿庫岸的地形伸延,受地形限制較少,可减少开挖方量。由于溢流前緣长度稍有增加开挖方量增加不多,可以采用較大的前緣长度而使溢洪水头降低,减少淹沒損失,坝身高度亦可降低。由于具备上述优点,在很多工程中都采用了側槽式溢洪道。但水由溢流堰流入側槽后,水流作 90° 轉弯,在槽內形成橫軸旋渦,泄水效率不高。

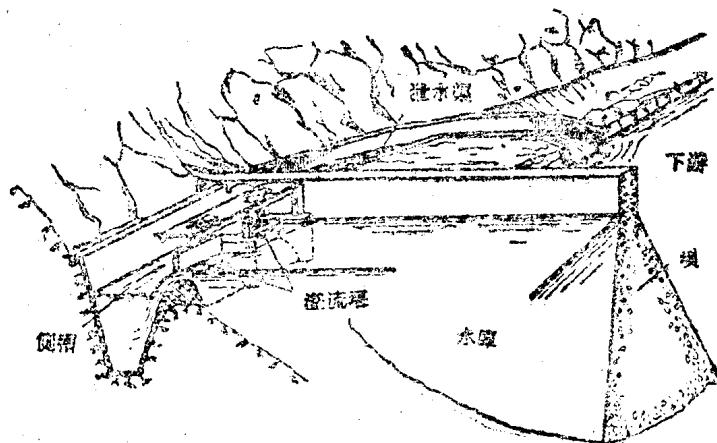


图 10-16 側槽式溢洪道示意图

这是侧槽溢洪道的一个缺点。

侧槽溢洪道的溢流堰和泄水道的設計与开敞式溢洪道相似。溢流堰頂上可設閘門，也可不設閘門。采用那种方案須經技术經濟比較后确定。泄水道可以是明渠式（图10-17），也可以是隧洞式的，如果施工时用隧洞导流，則利用隧洞作泄水道是有利的（图10-18）。

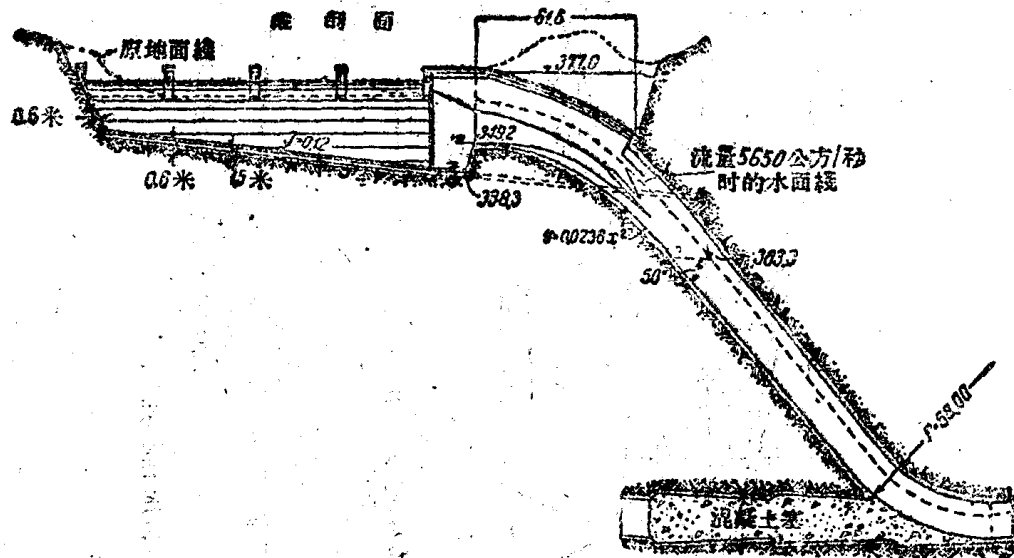


图 10-17 明渠式的侧槽溢洪道

为使侧槽断面滿足泄洪要求，必須进行側槽段的水面曲綫計算，才能确定側槽断面和槽底高程。但是在确定水面曲綫时又必須知道断面尺寸。因此設計时首先初步确定側槽断面尺寸，然后近似确定水面綫，由于槽內水流情况复杂，还没有精确的水力計算方法。

I、側槽断面尺寸的初步确定

首先根据泄洪流量定出溢流側堰前緣长度，根据地质及护面条件选定槽內流速大小，通常采用4~5米/秒。然后根据地形地质及施工条件定出側槽断面型式及槽底寬度，一般均采用逐渐增加底寬的側槽。沿槽的全长分若干断面，通过任一断面的流量是 $Q = q \cdot x$ ， x 为自溢流堰端点量起的距离， q 为堰頂单寬流量。已知流量 Q 及流速 V ，从而求得过水断面 $\omega = \frac{Q}{V}$ 。

II、側槽水面曲綫的确定(动量法)

初步定出断面以后，即可用近似法計算水面曲綫，下面介绍利用动量原理求水面曲綫的方法。

以矩形断面为例，計算图形如图10-19所示。图中所注的符号为： L ——溢流堰的长度； b ——側槽的寬度； q ——溢流堰的单寬流量； Q ——通过断面1—1的流量； x ——断面1—1距側槽起始断面間的水平距离； V ——断面1—1处的平均流速； ω ——断面1—1的过水断面面积； i ——断面1—1处的側槽底坡； g ——重力加速度。

在側槽段內取两个相邻的断面1—1和2—2，在断面1—1上水流沿 x 軸方向的动量为：

