

中等技术学校教材

# 水工结构

北京水利学校編

水利电力出版社

中等技术学校教材

# 水 工 结 构

北京水利学校編

水利电力出版社

## 內 容 提 要

本书是水利电力部教育司組織各中等技术学校編写的中等技术学校教材之一。

全书分十五章，书中詳細敘述了当地材料坝、放水建筑物、联結建筑物等結構，及其水力与結構計算，同时还列举了一些設計实例。本书的特点是吸取了許多苏联先进經驗。虽然它偏重于农田水利方面，但是敘述的内容还是比较广泛的，除可作为中等技术学校教材外，还可供水利干部自修和高等学校有关专业师生参考。

## 水 工 結 构

北京水利学校編

\*

2181S 661

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

\*

850×1168毫米开本\*10%印張\*270千字\*定价(第9类)1.60元

1960年3月北京第1版

1960年3月北京第1次印刷(0001—47080册)

# 目 录

第一章 緒論 .....	5
§1-1 水利事业及其內容 .....	5
§1-2 水工建築物的特点 .....	6
§1-3 灌溉渠系中的水工建築物及其分級 .....	6
第二章 水工計算 .....	8
§2-1 水工計算的任务 .....	8
§2-2 流網法 .....	9
§2-3 繪制流網的實驗法——电拟法 .....	12
§2-4 流網图的应用 .....	14
§2-5 直綫比例法 .....	17
§2-6 管涌及其防治 .....	19
§2-7 流土及其防治 .....	21
§2-8 水工建築物的防滲設備 .....	23
§2-9 水工建築物底部輪廓的選擇 .....	25
第三章 水閘 .....	27
§3-1 概述 .....	27
§3-2 水閘的型式 .....	27
§3-3 渠道上的閘樞紐 .....	30
§3-4 水閘的水力計算 .....	32
§3-5 水閘下游的消能設備 .....	38
§3-6 渠道淤积的核算 .....	46
§3-7 帷牆 .....	57
§3-8 水閘底板 .....	57
§3-9 閘墩及閘牆 .....	66
第四章 閘門及其启閉設備 .....	69
§4-1 概述 .....	69
§4-2 平面閘門 .....	69

§4-3	弧形閘門	79
§4-4	閘門的启閉、提升力量	82
§4-5	閘門的启閉机械	85
§4-6	工作桥	96
§4-7	水閘設計实例	108
<b>第五章</b>	<b>涵洞</b>	<b>124</b>
§5-1	涵洞的使用範圍及种类	124
§5-2	涵洞位置的选择	125
§5-3	涵洞的結構构造	128
§5-4	涵洞的水力計算	142
§5-5	盖板式涵洞之結構計算	145
§5-6	拱式涵洞之結構計算	148
<b>第六章</b>	<b>渡槽</b>	<b>153</b>
§6-1	概述	153
§6-2	渡槽的进出口	154
§6-3	渡槽的水力計算	155
§6-4	木渡槽	157
§6-5	磚石及混凝土渡槽	167
§6-6	鋼筋混凝土渡槽	168
§6-7	木渡槽設計实例	170
<b>第七章</b>	<b>虹吸管</b>	<b>186</b>
§7-1	倒虹吸的用途及形式	186
§7-2	倒虹吸管的构造	186
§7-3	倒虹吸管的水力計算	191
§7-4	倒虹吸管的結構計算	192
§7-5	木質倒虹吸管設計实例	194
<b>第八章</b>	<b>跌水</b>	<b>203</b>
§8-1	概述	203
§8-2	跌水的种类及构造	203
§8-3	跌水的水力計算	210
§8-4	跌水計算实例	216
<b>第九章</b>	<b>陡坡</b>	<b>220</b>

§9-1	概述	220
§9-2	陡坡的种类及构造	221
§9-3	陡坡的水力计算	228
§9-4	陡坡的设计计算例题	232
<b>第十章 水庫的基本概念</b>		238
§10-1	概述	238
§10-2	水庫資料的收集	239
§10-3	水庫庫址的選擇	241
§10-4	水庫的組成	242
<b>第十一章 土坝</b>		244
§11-1	土坝的分类	244
§11-2	土坝对地基的要求	245
§11-3	土坝坝身的构造	247
§11-4	土坝各部分的尺寸	250
§11-5	土坝坝型的選擇	257
§11-6	土坝的渗透计算	258
§11-7	土坝坝坡稳定计算	265
§11-8	斜墙及其保护层的稳定性计算	273
§11-9	坝基的沉陷	274
§11-10	过水土坝	279
<b>第十二章 壅水坝</b>		284
§12-1	引水建筑物	284
§12-2	壅水坝的坝址及其布置	286
§12-3	壅水坝的构造	287
§12-4	壅水坝的结构计算	292
§12-5	壅水坝设计实例	297
<b>第十三章 堆石坝</b>		309
§13-1	概述	309
§13-2	堆石坝的类型及构造	310
§13-3	堆石坝对建筑材料及地基的要求; 堆石坝与基础的結合	311
§13-4	堆石坝的基本尺寸、形状及其稳定性	312

§13-5	塑性斜牆堆石壩的滲透計算	316
§13-6	干砌石壩	318
§13-7	混合式堆石壩	319
§13-8	在流水中用堆石攔堵河道	319
§13-9	堆石溢流壩	321
<b>第十四章</b>	<b>水庫的放水建築物</b>	<b>323</b>
§14-1	放水建築物的種類	323
§14-2	放水建築物的水力計算	328
<b>第十五章</b>	<b>水庫的泄水建築物</b>	<b>333</b>
§15-1	泄水建築物設計流量的確定	333
§15-2	泄水建築物的種類	334
§15-3	溢洪道位置及其型式的選擇(指河岸式溢洪道)	337
§15-4	開啟式溢洪道的水力計算	338
§15-5	溝槽式溢洪道	341

# 第一章 緒 論

## §1-1 水利事业及其內容

水在地球上的分布是很不均匀的，有些地区降水很丰富，河流很多，水量很大；但在另一些地区水就很少，河流也不多。几乎所有的河流，它的流量都随时间而变化着，枯水时期流量极小，不能满足人类的需要，而在洪水时期则流量很大，以致河槽容纳不下，泛滥成灾。所以无论是为了利用水利资源或是为了和水害作斗争，都需要修建一系列相应的建筑物。例如为了利用水流中的能量，需要建造抬高水位以形成水头的坝及水力发电站；为了利用河道进行航运，需要修建航道标志、码头、防波堤或船闸等；同样为了灌溉、排水、防洪等其他目的，也都需要修建相应的特种建筑物。所有这些建筑物统称为水工建筑物。为了修建这些水工建筑物所进行的规划、设计、施工及管理等一系列措施，称为水利建设。

利用天然水利资源来满足社会和国家的需要，所进行的各方面工作的总称，称为水利事业。

近代，水利资源已被用来为国民经济的许多部门服务，如：

- 一、农田水利 灌溉及排水；
- 二、水能利用 水力发电及水力推磨等；
- 三、水上运输 航运及浮运等；
- 四、给水与排水 供给农场、牧场、居民区及工矿业的水，城市及村镇污水的排除等；
- 五、防洪 根除水患，保障农田、工矿及城镇的安全；
- 六、渔业 修建渔池，进行人工殖鱼；
- 七、卫生工程 居民区的公共福利设备及卫生设施。

水利资源利用的上述各个方面，它们彼此之间并非孤立的，而是需要相互配合及密切联系的。因此在开发水利资源时必须考



考虑到水利资源的综合利用，这是充分利用水利资源的基本原则。

自从新中国成立以来，在伟大的中国共产党的领导下，我国的水利建设取得了极大的成就，十年来兴建了许多大型的及许许多多的中、小型水利工程，这些工程在我国的国民经济中都起着极大的作用。

通过1957年及1958年的水利建设高潮，我国的水利事业取得了新的巨大的发展，水利技术已日益为群众所掌握，因此水利建设也已发展成为一个巨大的群众运动。

### §1-2 水工建筑物的特点

、水工建筑物的主要特点在于它的工作是在水中，承受着极大的水压力，因此为了保证水工建筑物有足够的稳定性，就必须使建筑物具有足够的尺寸，所以水工建筑物的工程量是较大的，例如官厅水库，仅大坝工程的土石方量即达116万立方米。

水工建筑物的尺寸及形状常决定于建筑地区的水文条件、地质条件及地形条件。水文条件中包括河道的水位、流量、含沙量等水文因素，这些因素都决定着作用于水工建筑物上的力的大小，因而也就影响到建筑物的尺寸。地质条件对水工建筑的影响也极大，因为它将直接影响到建筑物的稳定性及其构造。由于自然条件在各个地区几乎都不是相同的，所以每一座水工建筑物都具有不同的特点。因此，在水工建筑物的设计中，就不能墨守成规，而应对每种情况，进行专门的研究和分析，使建筑物都能适应自然条件，以便使它的结构及尺寸既安全又经济合理。

但是对于灌溉系统中的小型水工建筑物，由于自然条件对它的影响较小，为了使施工简单而迅速，大量采用定型设计及装配式建筑是完全可以的。

### §1-3 灌溉系统中的水工建筑物及其分级

灌溉所需的水由灌溉水源（河流、水库等）经渠道系统及渠系上的建筑物输送到灌溉田地。

灌溉渠系中建筑物种类很多，分述如下：

一、引水建筑物 它位于灌区总干渠的渠首，用以从水源引进灌溉所需要的水量，它包括有壅水坝、拦河闸、沉沙池、筏道等；

二、渠系配水建筑物 包括进水闸、节制闸、分水闸、泄水闸等；

三、交叉建筑物包括涵洞、渡槽、倒虹吸；

四、联接建筑物包括跌水和陡坡；

五、灌溉系统中的水电站；

六、渠道上的船闸。

水工建筑物可分为主要的、次要的和辅助的三种。凡其工作中断（由于事故或修理）将使水力发电、灌溉等工作停止者，均属主要水工建筑物；凡其工作中断可能使水利系统的管理复杂化，但不致使水利系统发生如上所述的损失的建筑物均属次要水工建筑物；辅助的水工建筑物系指主要及次要水工建筑物在施工或修理时所需要的临时建筑物。

表 1-1 建筑物的分级表

级次	水 电 站		土 壤 改 良		
	容量(10 <sup>6</sup> 瓩)	年发电量 (10 <sup>6</sup> 瓩)	面 积(千公顷)		
			灌溉排水	引 水	围 堰
一 级	250以上	1000以上	250以上	—	—
二 级	{ 25~250 250以上	{ 100以上 1000以下	250~50	500以上	250以上
三 级	{ 1~25 25以上	{ 4以上 100以下	{ 50~20 20~5	{ 500~50 50~5	250~50
四 级	{ 0.1~1 1以上	{ — 4以下	5以下	5以下	5以下
五 级	0.1以下	—			

在苏联的水工设计中(国定全苏标准 3315-46 规定)，常将主要、次要及辅助的水工建筑物根据其重要性及生产效益分为五等及五级：

- I 等——特别重要的；  
 II 等——重要性较大的；  
 III 等——重要性一般的；  
 IV 等——重要性较小的；  
 V 等——重要性特别小的。

水工建筑物的等级存在下列关系：

表 1-2 建筑物等级表

建筑物的作用及使用年限	建 筑 物 的 级 次				
	一 级	二 级	三 级	四 级	五 级
	建 筑 物 的 等 次				
永久性建筑物					
1. 主要的建筑物	I	II	III	IV	IV
2. 次要的建筑物	III	III	IV	IV	V
临时性的建筑物					
1. 主要建筑物，使用年限不超过五年者	III	III	IV	IV	V
2. 次要建筑物，使用年限不超过五年者	IV	IV	IV	V	V
3. 辅助建筑物	IV	IV	IV	V	V

## 第二章 水工计算

### §2-1 水工计算的任务

水工建筑物的地基，除了少数极为密实的岩层及粘土，由于透水性很小，我们可以认为它不透水外，绝大多数情况下的地基都是透水的，即水流可以沿着土壤的孔隙而流动，这种现象，我们称为渗透。

在建筑物地基范围内，水的渗透通常可分为两种形式。第一种渗流形式是渗入土中的水充满土壤的全部空隙，并与当地的地下水相连接；第二种渗流形式是渗入土中的水并未充满土壤的全部空隙，同时在与当地地下水联接前各成单独的流束。对于第一种渗流通常又可分成两种不同的方式。一种是压力渗流，这种

9

渗流通常是在建筑物底部地基土壤中所产生的，因为在这种情况下，渗透水流的上面受到建筑物底部轮廓的限制，而其下部又受到地基不透水层的限制，所以水流就成了压力流动；第一种渗流的另一种方式是无压渗流，或称自由渗流，在这种情况下渗透水流的四周不受任何限制，而在渗透水流的表面形成自由水面，即其压力等于大气压力。

在上述渗透中，我们仅研究第一种渗流形式，因为这种渗流形式是在水工建筑物的运用中最常遇到的。例如压力渗流多出现于重力坝及水闸等建筑物的地基中，无压渗流则多出现于土坝及堆石坝等建筑物中。

渗透对水工建筑物的工作条件产生很大的影响，它将对建筑物的底部产生压力，从而减轻其有效重量，并降低其稳定性；它也可将地基土壤的细小颗粒带走或者溶解岩层，而产生管涌；有时渗流也可将整块基土托起，产生所谓流土；此外，由于水流的渗透也可造成水的大量损失。上面所列举的这些现象对水工建筑物来说，都是极其不利的，并且是应该尽量设法避免的。然而要避免这些现象的发生，首先我们必须对水的渗流现象进行科学的分析，从而用它来验证水工建筑物的工作情况，使其满足建筑物正常工作的要求，这一方法，称为水工计算。

水工计算的内容可归纳如下：

1. 建筑物范围内渗透水流的流线；
2. 渗透水流对建筑物各部分的压力；
3. 在渗流作用下，建筑物保持正常工作所必需的最小尺寸；
4. 渗透水流的流速及流量；
5. 建筑物地基土壤产生管涌及流土的可能性。

进行建筑物的水工计算通常采用流网法及直线比例法。

## §2-2 流网法

土壤中水的渗透现象是非常复杂的，它受着各种因素的影响，所以要想求得一个精确的理论来解决是困难的。为了使渗透

的分析較為簡單，在計算中通常採用下列假定：

1. 在整个渗透区域内均系同一种土壤，并且它在各点以及各点的各个方向上的性質也是完全相同的。
2. 渗透水流是不可压缩的，并且它充滿土壤的全部空隙。
3. 渗透水流系一稳定的平面流。
4. 渗透水流处于层流状态，并符合达賽(Darcy)定律，即

$$V = Ki = K \frac{H}{L} \quad (2-1)$$

式中  $V$ ——渗透水流的渗透速；

$i$ ——渗透水流的水力坡降；

$H$ ——渗透水流之水头；

$L$ ——渗透路綫之长度；

$K$ ——渗透系数，与土壤之性質有关，可由表2-1查得。

表 2-1 渗透系数  $K$  值表

土 壤 名 称	渗 透 系 数 (厘米/小时)	土 壤 名 称	渗 透 系 数 (厘米/小时)
卵 石	1800~8000	粉砂质細砂	10~74
砾 石	800~4000	粉砂质微砂	1~40
粗 砂	200~1400	砂 壤 土	0.01~36
中 砂	50~547	粉 土	0.51~1.62
中砂质粘土	36~360	砂 粘 土	0.06~5.0
細 砂	16~124	粘 土	0.00002~0.001

水流沿着土壤的空隙渗透时，在渗流过程中为了克服土顆粒間的阻力，必須不断消耗其能量，如若将渗透水流中能量相等的各点联接成綫，則可求得一組光滑的曲綫，称为等势綫或等位綫。沿土壤孔隙流动的水分子(质点)的运动軌迹，則称为流綫。等位綫与流綫所相交成的网状图形，称为流网。

流网图具有下列特性：

1. 上下游的河床各代表两根等位綫，建筑物的底部輪廓綫(或

称地下轮廓线)及地基不透水基的表面,均为流线。上述四条线也称为流网的边界条件。

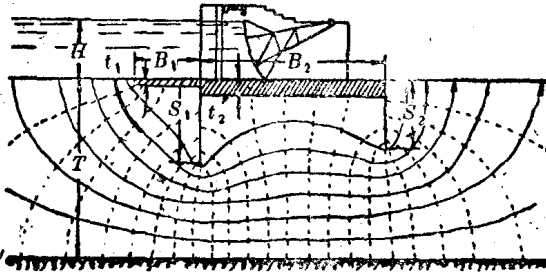


图 2-1 水闸底板下的流网图

2. 流线与等位线均为两组光滑的曲线,且相互成正交。
3. 流线不能与另一流线相交,等位线也不能与另一等位线相交。
4. 在一般情况下,两相邻流线之间所通过的流量相等,两相邻等位线之间水头的差值也相等。

为了使所绘得的流网便于应用起见,通常使流网的每一个网格均做成近似的正方形。

流网的绘制通常都是采用图解法。用图解法绘制流网的方法中,最简单的是徒手绘制。徒手绘制流网的方法是,首先根据建筑物地下轮廓线的形状及地基透水层的深度,以建筑物的地下轮廓线为第一条流线,以地基不透水层表面为最末一根流线,然后在其中酌量绘制数根流线。根据所绘得的流线,以上游河底为第一根等位线,以下游河底为最

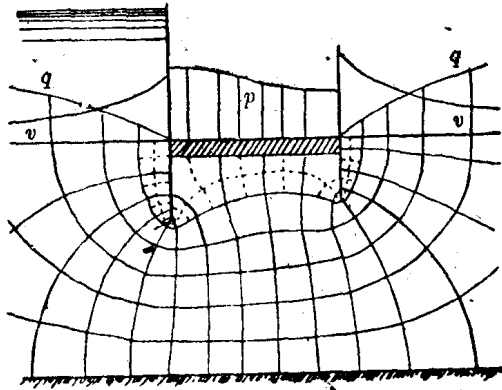


图 2-2 流网图

末一根等位綫，再在其間繪制若干等位綫，并与流綫成正交，这样就繪制成了初步的流网图。在初步繪制流网图中，流綫与等位綫并不可能都是光滑的曲綫，同时各网格也并不一定都近似于正方形。所以在繪得初步流网后，还应根据流网的前述要求，对流綫及等位綫进行局部的修正。

为了使流网图較为精密，可在修正后的流网图上加繪流綫及等位綫。

### S2-3 繪制流网的实验法——电拟法

实际上地下輪廓綫的形状也和透水地基的边界一样，是形形色色的。因为对这些情况沒有理論的解答，所以还可采用其他的繪制流网的方法，其中有一种是实验法。实验法就是使水的渗透在建筑物的模型中重新呈現出来。实验法有很多种，其中最常用且最簡便的方法是电拟法。

电拟法是一种非常便利的用电流做实验的方法，首先由苏联科学院士 H.H. 巴甫洛夫斯基建議和制定的，它的全称是电流水流动力比拟法。

电拟法中将均質土壤以导电液体(电解溶液)、薄金属片(如錫鉛片)或石墨粉来代表，水头以电流的电动势来代表，水流以电流来代表。

液体的实验器按下列形式进行安置。在注滿一层电解液的平面长方器皿中設置一非导体材料做成的不透水壁  $a$ 、 $b$ 、 $c$ …… $p$ 、 $r$ (图2-3)，此壁按建筑物的地下輪廓綫做成。上下游的河底或渠底綫(应取与填有相当的距离)在試驗器中就是銅母綫  $a_1a$  和  $rs$ (在渗透水流到排水设备的出口处也装有母綫)，位于透水基础下的不透水层頂部綫以器皿底  $OO'$  来表示，銅母綫  $a_1a$  和  $rs$  与电流发生器——电池或蓄电池相連。

电路系由电流发生器、安培計、电阻器、导綫4-C-D和2-B-A及实验液体1相組成。母綫上保持着电位差  $E$  的两个电位—— $E_1$  和  $E_2$ ，这与实际上的水头  $H = H_1 - H_2$  相当。电路的  $B$  和  $C$

两点也接入可变电阻器。可变电阻器是一个胶木的圆筒，外面缠着拉紧的镍线。导线6-7-8从可动的接头经电流计到尖针，将尖针安放在任何液面点，则此导线就能测得该点的电位。

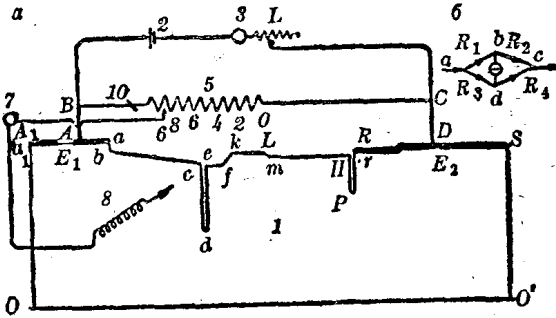


图 2-3 电拟法试验器的接线图

1—实验液体；2—电流发生器；3—安培计；4—电阻器；5—可变电阻器；  
6—可动接头；7—电流计；8—尖针。

电位测量是以惠斯登电桥原理为基础的(图 2-3)，这一原理是假定电流在  $a$  点上流向  $abc$  和  $adc$  两分支，则当电阻比  $R_1:R_2 = R_3:R_4$  时，不同分支上的  $b$  和  $d$  点间的导体上将无电流(接入导线的电位计指向零)。

图 2-3 中电拟法试验器的接线图中惠斯登电桥是由两分支组成的：分支  $B-A-1-D-C$  和分支  $B-5-C$ 。分支的联接线(在图 2-3 中，6 上为  $bd$ )就是导体 6-7-0，此导体可连接到可变电阻和液面的任何点上。

设试验器中全部的电动势  $E=1$ (因而  $H=1$ )，并把电阻分成  $n$  个等分(一般  $n=10$  或  $n=20$ )，这样就可以在液面上找出任何带中间电位的点。

用平滑曲线将具有相同电位的点相联接，就可以得到相差  $\frac{1}{n}E$  或  $\frac{1}{n}H$  的各等位线。流线可以绘成平滑曲线，这些曲线应与等位线正交，并与它形成一组相似的扭曲矩形。



## §2-4 流网图的应用

根据流网图我们可以解决水工计算中的一系列问题，如渗透压力、渗透坡降、渗透流速及渗透流量等。

### 一、渗透压力

根据流网图的性质可知，每一等压带(即相邻两等位线之间的条带)消耗同样大小的水头，即  $\Delta H = \frac{H}{\Pi}$ ，其中  $H$  为建筑物上下游的水位差， $\Pi$  为流网图中等压带的数目。因此，流网图中任意一点处的渗透压力水头为

$$h_i = H - (\Pi - n_i) \cdot \Delta H = N_i \cdot \Delta H. \quad (2-2)$$

式中  $\Pi$ ——流网图中等压带的数目；

$n_i$ ——自建筑物上游河床至所研究点的等压带数目；

$N_i$ ——自所研究点至建筑物下游河床的等压带数目。

**例2-1.** 若有如图2-4所示的流网图，试根据图中所示之尺寸及数据，计算水闸底板各点的渗透压力水头，并校核底板之厚度。

由图中可知，水闸上游水位为15.00米，下游水位为12.00米，故水位差  $H = 15 - 12 = 3.0$ 米，并由图中数得等压带的数目为13.6，故每一等压带所消耗之水头为

$$\Delta H = \frac{H}{n} = \frac{3}{13.6} = 0.22 \text{米}.$$

底板下任意一点处之压力水头等于

$$h_i = N_i \times 0.22.$$

底板之厚度通常按下式计算。

$$t = n \frac{h_i}{\gamma - 1}. \quad (2-3)$$

式中  $n$ ——安全因数，现取1.1；

$\gamma$ ——底板圬工材料的容重，取2.3吨/米<sup>3</sup>。

故

$$t = 1.1 \times \frac{h_i}{2.3 - 1} = 0.846 h_i.$$

根据上述公式所计算得的压力水头值及底板厚度的计算数值均列于表2-2内。