

336424

成都工学院图书馆
基本馆藏

中等专业学校交流讲义

水电站水工建筑物

成都水力发电学校編

只限学校内部使用



中国工业出版社

PDG

中等专业学校交流讲义



水电站水工建筑物

成都水力发电学校編

中国工业出版社

本书是水利电力部教育司組織有关单位編写的中等专业学校教材之一。

全书共分十七章，书中詳細地叙述了水电站水利枢纽中的主要水工建筑物，包括挡水建筑物、泄水建筑物、取水建筑物、輸水建筑物以及船閘、过木、过魚建筑物等；并讲述了防洪治河与灌溉排水、水利枢纽布置、水工模型試驗基础、水工技术运用等。书中吸取了国内外水利水电建設的先进經驗，取材亦比較广泛。除可作中等专业学校“中小型水电站”专业的教材外，还可供从事中小型水利水电建設的干部自修及参考使用。

水电站水工建筑物

成都水力发电学校編

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京修武閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $21^{1/8}$ ·字数508,000

1962年3月北京第一版·1964年11月北京第三次印刷

印数1,123—1,762·定价(科四)2.15元

統一书号：K 15165·1393(水电-258)

目 录

第一章 緒論.....5	第二节 拱坝的計算原理.....85
第一节 水利事业及其与国民經济的关 系.....5	第三节 拱坝的构造.....96
第二节 我国水利水电事业的发展.....6	第四节 砌石拱坝.....99
第三节 水工建筑物的特点.....8	第五节 拱坝的发展趋势.....100
第四节 水利工程及水工建筑物的分类 和等級.....9	第六章 支墩坝.....101
第五节 本課程的科学基础和研究方法.....11	第一节 概述.....101
第二章 水工建筑物下面水的渗透.....12	第二节 平板坝.....102
第一节 概述.....12	第三节 連拱坝.....107
第二节 渗透压力的决定.....13	第四节 大头坝.....113
第三节 渗透流量的决定.....16	第七章 土坝.....116
第四节 地基土壤的渗透变形.....19	第一节 土坝的分类及工作条件.....116
第五节 坝基排水.....24	第二节 土坝的渗透計算.....119
第六节 防渗设备.....24	第三节 土坝边坡的稳定性.....128
第七节 非岩基上水工建筑物地下輪廓 的設計.....26	第四节 土坝对土料和地基的要求.....137
第八节 岩基上水工建筑物下面水的滲 透.....28	第五节 土坝的构造.....139
第三章 非溢流重力坝.....30	第六节 溢流土坝、冲积土坝和水中倒 土坝.....148
第一节 概述.....30	第七节 土坝坝型选择.....151
第二节 作用在水工建筑物上的力和負 載.....30	第八章 堆石坝.....152
第三节 非溢流重力坝的基本剖面.....36	第一节 概述.....152
第四节 重力坝的强度計算与稳定分析.....40	第二节 堆石坝的沉降.....155
第五节 重力坝的构造.....46	第三节 堆石坝的构造与計算.....157
第六节 砌石重力坝.....50	第四节 溢水堆石坝.....164
第七节 重力坝的改进.....54	第五节 混合坝.....167
第四章 溢流坝.....55	第六节 定向爆破堆石坝.....169
第一节 溢流剖面的形状.....55	第九章 泄水建筑物.....171
第二节 溢流坝的孔口設計.....60	第一节 概述.....171
第三节 上下游連接条件分析.....61	第二节 开敞式河岸溢洪道.....173
第四节 护坦和海漫.....71	第三节 側槽式河岸溢洪道.....180
第五节 閘墩和边墩.....76	第四节 井式溢洪道.....188
第六节 溢流坝地基的稳定性驗算.....80	第五节 水庫的放水设备.....189
第五章 拱坝.....83	第六节 深式泄水道.....193
第一节 概述.....83	第十章 水工建筑物的閘門.....196
	第一节 概述.....196
	第二节 平面閘門.....199
	第三节 弧形閘門.....210
	第四节 閘門的启閉设备.....215

第十一章 取水口	217	第一节 防洪工程	287
第一节 水电站取水口的分类及要求	217	第二节 河道治理	292
第二节 开敞式取水口的布置	218	第三节 灌溉与排水	296
第三节 开敞式取水口的组成部分	223	第四节 提水灌溉	301
第四节 开敞式取水口的水力计算	226	第十五章 水利枢纽布置	305
第五节 进水闸的构造	232	第一节 概述	305
第六节 开敞式取水口结构的 静力计算	235	第二节 影响水利枢纽布置的因素	307
第七节 深式取水口	235	第三节 水利枢纽布置	309
第十二章 水工隧洞	246	第十六章 水工模型试验基础	317
第一节 水工隧洞的类型	246	第一节 水工模型试验的意义及目的	317
第二节 山岩压力	247	第二节 水工模型的分类	318
第三节 水工隧洞的线路选择	251	第三节 水工模型试验的水力相似性	319
第四节 水工隧洞的构造	253	第四节 水工模型试验相似定律	320
第五节 水工隧洞的衬砌计算	257	第五节 结构模型试验	325
第六节 水工隧洞横断面尺寸的选择	267	第六节 水工模型试验的基本设备	326
第十三章 船闸、过木、过鱼建筑物	270	第七节 模型材料及模型制作与安装	327
第一节 船闸	270	第十七章 水工技术运用	328
第二节 过木建筑物	282	第一节 水工技术运用的任务及内容	328
第三节 过鱼建筑物	285	第二节 水工建筑物的原型观测	330
第十四章 防洪治河与灌溉排水	287	第三节 水工建筑物的修理与恢复	336

第一章 緒 論

第一节 水利事业及其与国民經济的关系

水和人类的关系非常密切，它对人类生产和生活有很大的影响。地球上儲存的水极其丰富，总蘊藏量约为13亿立方公里，其中与人类活动关系較密切的河川水流約有3亿立方公里，这些水可能为人类最有效地利用，是自然界所蘊藏能量的一部分，属于宝贵的水利資源，对国民經济的发展有很大的作用。

我国地大物博，河流众多，水利資源极为丰富。据初步統計，流域面积在100平方公里以上的河流約有5000条，正常的年徑流量达2,784立方公里，蘊藏着約5.8亿瓩的水力发电能力，通航里程达15万公里。这些为我国发展水利事业提供了优越的自然条件。

不过，这些水利資源在地区和时间上的分布很不均匀，河川中徑流变化較大，洪水枯水往往相差几百甚至几千倍；落差分布不够集中和理想；水质也不一定符合要求。同时，天然状况的水流常会形成山洪暴发、暴雨徑流等，給人們带来巨大灾害。这些，都不利于人类对水的利用。因此，为了控制和充分利用水利資源，达到兴利除害的目的，就需要采取各种措施，去改造天然的水利資源。如筑坝修堤，用水庫拦截水流，建閘开渠、凿洞引水等，来达到防洪、灌溉、发电、通航等目的。这些措施的綜合，形成了国民經济組成中的一项重要事业——水利事业。

水利資源的利用是多方面的，因而水利事业也包括很多方面，其主要部門有：

1. 水能利用——利用河流或潮汐蘊藏的能量来发电或作动能。
2. 农田水利——农田灌溉和排水、畜牧供水等。
3. 防洪治河——防洪、防澇、防止水土流失、整治河道等。
4. 水上运输——内河航运与筏运、海运等。
5. 給水与下水——工矿企业及居民区用水的供应和廢水的排除等。
6. 渔业水利——經營魚場、魚塘及修建过魚建筑物等。

水利事业包括了这許多方面，因此，它在国民經济建設中占有十分重要的地位。毛主席很早就說过“水利是农业的命脉”。在农业方面，在农业生产的“八字宪法”中，水是很重要的一条。实践証明，各项水利設施在保証农业丰收和抗灾斗争中都發揮了巨大效益。在工业方面，应该看到，建国以来，我国工业生产水平的不断跃进是和水利电力建設的高速度发展分不开的。因为，电力工业是国家的先行工业，水力发电則是现代电力供应的主要来源之一。所以水利事业和工农业生产有着非常密切的关系，是我国发展国民經济的重要因素。

水利事业既然如此重要，水利資源的利用又包括很多方面，那么，怎样才能最有效和最大限度地滿足国民經济发展多方面的要求呢？这就需要対水利資源进行全面的調查研究，作出正确的规划、設計，使河流同时服务于发电、灌溉、防洪、航运等各个方面。在社会主义国家里，开发水利資源、发展水利事业、兴修各种水利工程，都是以这

个原则作为指导的。这种对于河流水利资源的多方面利用，叫做河流的综合利用，这在资本主义国家是很难实现的。

第二节 我国水利水电事业的发展

人们很早就利用河川、湖泊来达到灌溉、航运及给水等目的，近代才用以发电。几千年来，在人类征服自然的斗争中，战胜水害是重要的一个方面。我国劳动人民在发展水利事业方面有着悠久的历史 and 光辉的成就。大禹治水的传说反映了早在四千多年前，我国人民就开始了大规模的防洪治河的斗争；春秋战国时代就已普遍修筑堤防。在长期的治理黄河过程中，劳动人民创造了许多修堤、堵口、抢险技术，例如黄河特有的埝工，北宋时即有较成熟的经验。在农田水利方面，自春秋战国时起，就已普遍采用了水利设施来为农业生产服务。秦汉时代就修建了郑国渠、唐徕渠、都江堰等著名水利工

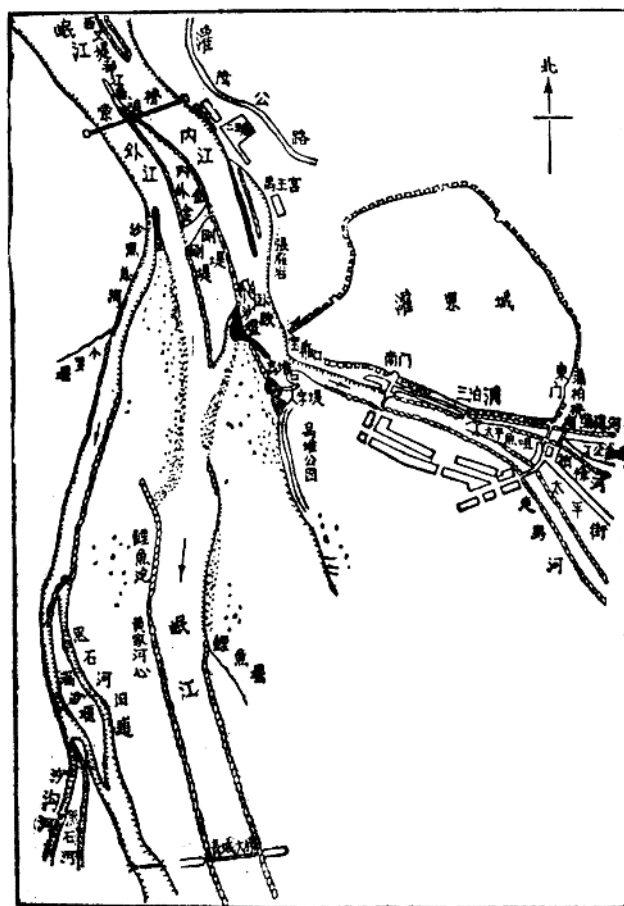


图 1-1

程。都江堰(見圖1-1)至今仍聞名于世,两千多年来,在灌溉防洪方面發揮了巨大效益,其工程规划和施工技术,基本上符合近代水工科学原理。它包括了一系列的分水、护岸、泄水、排沙及进水建筑物,不仅位置选择适宜、布置合理,且全部工程就地取材,利用竹籠樁樁護岸、截流、分水,简单易行,經濟可靠。同時在經營管理方面也有一套完善的制度。这些充分地显示了我国古代水利科学的光辉成就。在内河航运方面,春秋时代就开凿了以太湖为中心的人工运河;二千多年前就修建了連貫湘、漓二水的灵渠,其上設有相当于近代船閘作用的斗門,用来分段阻水,保証通航,較欧洲出現船閘早400多年。此外,元代基本完成的南北大运河,至今仍是世界上最长、規模最大的运河。

我国劳动人民的智慧和創造是极为丰富的。但是,由于长期的封建統治和国民党的反动統治,以及帝国主义的侵略,使我国的水工科学技术沒有得到应有的发展,丰富的水力資源未能很好地加以开发。到解放前夕,全国灌溉面积仅有2.4亿亩;内河通航不过7.3万公里;水电事业则更落后,水电站寥寥无几,总的发电能力,若不計入日本帝国主义侵占东北和台湾时修的电站,則只有12,000瓩。

解放后,在党和毛主席的英明领导下,国家十分重视水利事业的发展。很快开始了大規模的水利水电建設,仅仅十多年,至今已取得了輝煌的成績。1950年毛主席提出了“一定要把淮河修好”,先后几年時間就在淮河上建成了佛子岭、梅山等一系列大型山谷水庫和三河閘等許多水利工程。同时期內,也大力加强了黄河、长江的堤防,兴建了引黄济卫工程、荆江分洪工程等。这些措施及时地減輕了我国的洪水災害。1955年起又开始了大規模的黃河流域规划、治理和开发工作,随着群众性水土保持工作的大力开展,以及黄河上的大型水利樞紐的兴建,黄河将根本改变它过去的面貌。和江河治理相配合,农田水利也有了迅速发展,不仅整修和扩建了都江堰、唐徕渠等古老灌溉工程,同时新建了苏北灌溉总渠、山东打渔張灌溉工程等大型排灌工程。十年中新增加的灌溉面积已經超过了过去几千年的灌溉面积的总和,根本改变了我国灌溉事业的落后面貌。在水电建設方面,成績也十分显著,解放初期,在党的领导下,就很快修复和改建了被国民党破坏的丰满、鏡泊湖、上硃、下硃等水电站;同时不久就开始了官厅、獅子滩、上犹江、三門峽等大中型水电站的建設;至1958年,新增加的水电站装机容量等于旧中国的几倍;在建設大中型电站的同时,也新修了大批中小型电站,到1957年底,中小电站的容量就比解放前增长了三倍。1958年以来,在大規模的水利水电建設中,取得的成績更加显著。

随着水利水电建設事业的突飞猛进,我国水利水电科学技术水平已經迅速提高,在水电站和水工建筑物的設計、施工和科学研究方面有了不少新的創造和发展。目前我国已能自己設計和建造几万、几十万以至上百万瓩的水电站;在許多电站的建設中,采用了坝內式、溢流式或地下式等新型結構的厂房;在千万条大小河流上,建成有各种型式的拦河大坝,其中,有較早建成的世界最高速拱坝,也有能節約混凝土、鋼材并适合于散热条件的寬縫重力坝和大头坝,也有适应峡谷地区充分发挥材料强度的拱坝,以及各式溢流或非溢流的当地材料坝等;在采用定向爆破筑坝和水中倒上筑坝等先进技术方面,也取得了成功的經驗。此外,在研究松軟地基上建造水工建筑物、防渗处理、高速水流研究以及異重流研究等方面都获得了一定成績;同时,在开展水工結構应力試驗、

水力模型試驗和原型觀測等試驗研究方面也有了較大發展。

這些成就的取得，是由于黨和毛主席的英明領導以及社會主義制度的無比優越，是在總路綫、大躍進、人民公社三面紅旗光輝照耀下，正確貫徹執行“兩條腿走路”的方針和水利建設的方針的結果。不過，也應該看到，由于我國原來經濟很落后，解放以來的水利水电建設雖然成績顯著，有了很大發展，但在整個國民經濟不斷進步、工農業生產不斷發展的狀況下，仍然不能滿足形勢發展的需要。要全面開發綜合利用我國豐富的水利資源，徹底消除水旱災害，還要進行十分艱巨的工作，還必須進一步發展水利水电事業。

我國的水利水电事業有着光輝燦爛的遠景。不但水力資源豐富，而且自然條件優越，地理分布比較理想，大多具有綜合利用的條件，許多河流的地形、地質條件對開發也十分有利。我們相信，在黨和毛主席的英明領導和三面紅旗的光輝照耀下，繼續貫徹執行水利水电建設的方針政策，在已有成績的基礎上，進行調整、鞏固、充實、提高，我國的水利水电事業必能繼續闊步前進。

第三節 水工建築物的特點

要開發水利資源、發展水利事業，必須採取各種人工措施。在水利事業的各種措施中，主要的一項是工程措施，也就是因地制宜地興修各項水利工程。如要攔截河流，就須建造攔河堤壩，要引取河水，就須修建取水 and 輸水建築物等，這些在水利工程中採用的特殊建築物，都稱為水工建築物。

水工建築物和一般建築物（如工業與民用建築物等）不同，它具有以下特點：

一、水工建築物經常受水的作用

1. 水對建築物的機械作用：

水工建築物壅高水位形成水庫後，作用在建築物上的力有靜水壓力、動水壓力、浪壓力、冰壓力、地震時水對建築物作用的激蕩力以及水庫中淤積的泥砂產生的泥砂壓力。此外，水工建築物下面水的滲透，還會引起滲透壓力。這些力的作用使水工建築物的工作條件變得複雜起來。

2. 水對建築物的物理-化學作用：

表現為水流對水工建築物的沖刷、磨損及侵蝕等。高速水流（特別是水流中挾帶泥砂很多時）從泄水建築物、輸水管道中流過時，對混凝土、砌石、金屬管壁等有很大的磨蝕作用，這些屬於物理作用。地基中滲透水流對混凝土、砌石等也有侵蝕作用，象石灰岩、石膏等岩石，在水的侵蝕下會形成溶洞，這些屬於化學作用。

3. 水對建築物的生物作用：

生活在水里的某些微生物的活動，可能引起水工建築物某些建築材料（如木材）的腐蝕。

由于天然河道中流量、水位、溫度等水文因素時常變化，水對建築物的作用和影響也不斷改變，使其工作條件複雜起來。在設計水工建築物時，應當全面考慮各種可能出現的情況，保證它們在各種情況下都有足夠的安全度。

二、水工建筑物和地质的关系密切

水工建筑物的体积和重量都比较大，基础又处于水下，难于及时观察，因此它对地质要求较其他建筑物高，常需进行大规模的地质勘探工作，需研究了解的範圍和钻探深度一般都较大。只有对地质情况有了充分了解，才能正确选择建筑物位置和形式，采取有效的基础处理和改善措施。

三、水工建筑物对各方面的影响重大

在河川上修建水工建筑物后，河流的现状被改变了。一方面筑坝蓄水后，天然状态的河川径流受到调节，可免除洪水灾害，灌溉农田，便于发电和通航；另一方面，水库及其回水要淹没上游农田，影响一些工矿企业和居民必须搬迁；邻近地区地下水位将会升高；同时，经水库下泄的含沙量很少的水流，可能使下游河床遭受冲刷，也会引起下游邻近地区地下水位的降低。但影响更大的是，假如拦蓄巨大水量的坝一旦失事，将使下游遭受巨大洪水的侵袭，其造成的损失和后果将不堪设想。因此，在规划、设计水工建筑物时，必须对其上下游的可能影响进行充分的调查研究，加以详尽分析，采取正确措施，并保证施工的质量。

四、水工建筑物施工复杂

由于水工建筑物的工程量一般都比较大，不仅本身的修建需要较多劳动力、机械设备和较长工期，同时建筑材料的开采、加工和运输工作量也较大，而且水工建筑物多建造在山区、峡谷地带，这样便增加了施工组织管理的困难。另一方面，水工建筑物的施工多在河床中进行，不可避免地要受变化多端的水流交往影响，而且还必须保证照常宣泄河水和维护正常通航和筏运。因此，水工建筑物的施工远比修建其他建筑复杂，必须做出妥善的安排，采取有效的施工技术和组织措施。

五、水工建筑物的个别性

水工建筑物的总体布置形式、尺寸及构造、工作和运用条件以及施工方法等，都与所在地区的地形、地质、水文、气象等自然条件和社会经济条件密切相关。由于各个地方的这些条件绝不可能完全相同，因此，每一水工建筑物都有它独自的特点，也就是个别性。在设计时，必须预先进行许多调查研究工作，按照当地的具体条件和特点，进行具体分析，才能因地制宜地设计出适于该条件的总布置、结构型式、尺寸和构造，而不是一成不变。不过，在注意水工建筑物个别性的同时，也应看到它们仍有不少共同的地方，对于广泛使用的中小型水工建筑物和装配式水工建筑物的构件，也存在定型化和标准化的可能性。

第四节 水利工程及水工建筑物的分类和等级

一、水利枢纽和水工建筑物的分类

因某种水利事业需要而建造的各种水工建筑物，为了达到全面综合利用水利资源的目的，时常相互配合运用，组成为协同工作的综合体，这种综合体就称为水利枢纽。水利枢纽因其功用、主要建筑物的材料、水头的大小等的不同可分为：蓄水枢纽，取水枢纽或防洪枢纽，发电枢纽，灌溉枢纽，航运枢纽，当地材料坝的枢纽，非当地材料坝的枢纽，高水头、中水头和低水头枢纽等。假如一个枢纽在国民经济中具有多方面作用，则叫综合性水利枢纽。

組成各種水利樞紐的水工建築物的類別也相當多。為了研究方便，我們按其工作條件和作用將水工建築物分成一般的與專門的兩大類：

1. 一般的水工建築物：

凡是不僅僅服務於一個水利部門的水工建築物，都叫做一般的水工建築物。這類建築物包括：

1) 擋水建築物——它的作用是攔截水流，壅高水位，形成水庫。在河川、湖泊、海岸上修建的各種壩或堤等都是。

2) 輸水建築物——作引水(或排水)之用。如渠道、水槽、涵管、隧洞等。

3) 泄水建築物——用以從水庫或渠道中排泄水流。各種溢洪道、泄水孔以及泄洪閘等均屬這類。

4) 取水建築物——用以從水庫或河道中引取水量，它位於輸水建築物的首部。

5) 整治建築物——用以整治河道、保護河岸、河床及水庫岸坡等的建築物。例如各種護岸村砌、導水堤、丁壩、攔沙設備、防浪堤等。

2. 專門的水工建築物：

凡是專門服務於一個水利事業部門的水工建築物，叫做專門的水工建築物。其中包括：

1) 水電站建築物——如水力發電站的廠房、壓力前池、壓力管道及調壓室等。

2) 土壤改良建築物——如灌溉渠道上的節制閘、分水閘或量水設備及排水閘等。

3) 水運建築物——為了保證河道通航及浮運木材而修建的建築物，如船閘、升船機、筏道、船塢和碼頭等。

4) 給水及下水建築物——專門的進水閘、抽水站、濾池、地下水取水建築物、冷卻池、噴水池、窰井以及排除污水的下水道等。

5) 漁業建築物——如能使魚通過攔河壩的魚道、舉魚機、魚閘及魚池等。

按照建築物所起的作用又可分為：

1) 主要的建築物——當進行修理或發生事故時，可使水利工程的全部或絕大部分工作停頓，因而完全喪失或大大降低其工作效能的建築物，屬於主要建築物。如攔河大壩，水電站廠房等。

2) 次要的建築物——當修理或發生事故時，不致發生上述情況的建築物，都是次要建築物。如擋土牆、堤防、渠道護面等。

3) 輔助的建築物——這種建築物是臨時性的，只在修建主要或次要建築物時使用，事後即拆去。如基坑圍堰、棧橋、模板等。

按照建築物使用期間分則有：

1) 永久性水工建築物——在水利工程運用期間所使用的建築物。其使用期間較長，如大壩、廠房、溢洪道等。

2) 臨時性水工建築物——在水利工程施工期間或個別建築物修理期間所使用的建築物。其使用年限較短，輔助性建築物均屬於這類。

二、水利工程建築物的等級

水利工程往往規模巨大，技術複雜，與當地的條件密切相關，而且影響十分廣泛。為了保證它們經濟合理和安全可靠，通常按照它們的重要性劃分等級，以便確定勘測和

設計的內容及範圍，設計流量的大小，所用建築材料的種類和質量，建築物的計算方法和構造上的要求，以及強度和穩定方面的安全係數等。

水利工程按其在我國經濟中的作用和生產效能分為五等，如表1-1所列。

表1-1 水利工程的等別

等 別	電 站 容 量 (瓩)	灌 溉 面 積 (萬畝)	防 洪 受 益 面 積 (萬 畝)
1	>500000	>500	主要城市及工農業區；農田面積>1000
2	50000~500000	100~500	次要城市及次要工農業區；農田面積1000~200
3	5000~50000	10~100	一般城鎮及人口較密的農業區；農田面積200~20
4	500~5000	1~10	農田面積20~2
5	<500	<1	農田面積<2

水工建築物按其所在水利工程的等別、本身所起的作用和使用期限，可劃分為5級，如表1-2所列。

表1-2 水工建築物的級別

工程等別	永 久 性 水 工 建 築 物 的 級 別		臨 時 性 水 工 建 築 物 的 級 別
	主 要 水 工 建 築 物	次 要 水 工 建 築 物	
1	I	III	IV
2	II	III	IV
3	III	IV	V
4	IV	IV	V
5	V	V	—

對於綜合性水利樞紐，可按下述原則確定級別：

1) 對於保證整個樞紐進行工作的建築物，如壩及溢洪道等，按這一樞紐在所服務的各國經濟部門中的最高等別來確定它的級別；

2) 對於只能服務於一個國民經濟部門的建築物，按這一個國民經濟部門所要求的等別來確定它的級別。

在個別情況下，當建築物失事將使下游的企業或居民遭受嚴重損失時，或當建築物承受的水頭較高而地質條件不良，需要考慮較大的安全性時，允許將建築物或其一部分的級別提高一級來設計；而在另一些有利情況下，如建築物承受的水頭不大，地基十分良好，不易發生事故，或即使發生，損失也不嚴重時，也可允許按規定的級別降低一級來設計。

第五節 本課程的科學基礎和研究方法

“水電站水工建築物”是一門實用的工程科學。我們要征服自然、充分開發利用水利資源，將水能變為電能，必須付出勞動，修建各種水工建築物。而要使這些建築物最經濟、最可靠地建造起來，並正常地運用，就必須了解水工建築物的工作條件、它們的構造原理和設計方法等。“水電站水工建築物”就是研究主要為水電站服務的水工建築物的工作條件、構造原理、設計計算方法以及如何正確運用這些建築物的課程。它不是一門

孤立的科学,而是有賴于一系列的科學基礎,其中包括水力学、水文学、水文水利計算和建筑力学、建筑材料、建筑結構、工程地质及水文地质、土力学两个系統。例如水工建筑物基本尺寸的确定,就应根据水文分析、水利水能計算和水力計算才能求得;水工建筑物及其各部分的稳定和强度,則应根据結構原理进行校核,从而进一步确定或修正建筑物的构造或尺寸;建筑物地基及两岸的稳定和强度,則根据工程地质与水文地质的勘测資料,运用土力学的知識来論証。

由于水电站水工建筑物在某些方面較一般工程建筑物更为复杂,因此,要正确地設計水工建筑物和研究它,必須具备上述較广泛的科学技术基础知識。这些知識虽然已有了很大发展,但目前的科学技术理論水平,还不能滿足实际工作的需要,所以在水工建筑物研究方法中,常須运用现有的理論基础,并結合模型实验、实地观测、方案比較和类比成例等方法进行分析。

模型試驗方法是根據相似关系做出水工建筑物的模型,并給出和实际建筑物相似的工作条件,观测其各种水力因素(如水位、流速、流量等)或結構因素(如应力、变形等),以推断在实际工程中可能发生的現象。实地观测方法是在工程現場或已建成的建筑物中进行,可获得更符合实际的資料,檢驗理論計算和模型試驗成果,并为提高理論提供数据。方案比較法是設計时对于同一座水利樞紐或水工建筑物拟定若干个解决问题的方案,进行技术經濟比較,以选择最优方案。类比方法是比照条件相似而工作良好的已成建筑物来进行的,由于水工建筑物有其个别性,因此这是一种带参考性的方法,在使用时应特別注意時間、自然和社会經濟条件以及設計任务的不同,既要防止墨守成規拘于成例,不敢进行改革和創造,也要避免不顾条件,生搬硬套。

总之,水工建筑物的研究方法是多种多样的,它的根本要求是理論和实践的統一。

第二章 水工建筑物下面水的渗透

第一节 概 述

水工建筑物的地基大都是透水的,只有无裂隙的坚硬岩层及致密的粘土,由于透水性很小,我們才认为它是不透水的。建造了擋水建筑物以后,形成了水头,在水头作用下水渗透到地基土壤中去,并在土壤中流动。水在土壤孔隙中流动的現象称为渗透。

渗透对水工建筑物的工作条件有很大影响,它对建筑物底部产生向上的渗透压力,渗透压力会減輕建筑物的有效重量,降低建筑物的稳定性,为此,水工建筑物常常需要加大体积;它可能把地基土壤中的細小顆粒带走,产生机械管涌,也可能溶解岩层而产生化学管涌。而管涌发生的結果是在地基中出現空隙、軟弱带、溶洞,增大渗透流量,引起建筑物沉陷及破坏;有时渗流也会把整块地基土托起来,即产生所謂流土現象;渗透还造成水庫中水的大量損失。上述現象对水工建筑物都是不利的,應該設法避免或减小。因此,必須对渗透現象进行科学分析,掌握渗透規律,并在水工設計时进行渗透計算,驗證水工建筑物的工作情况,使之滿足建筑物正常工作的要求。渗透計算的任务是:

1. 确定建筑物底部的渗透压力；
2. 确定渗透水流的流速及流量，并采取措施将其控制在允许范围以内；
3. 根据地基土壤不产生管涌和流土的条件，确定建筑物地下轮廓的长度，或者已知地下轮廓长度，校核产生管涌和流土的可能性。所谓地下轮廓是指结构物地下部分的外形，它包括铺盖、建筑物主体、护坦和板桩、截水墙、灌浆帷幕等。如果坝、护坦下面有排水，地下轮廓算至排水开始处止，如图2-1中1~13；

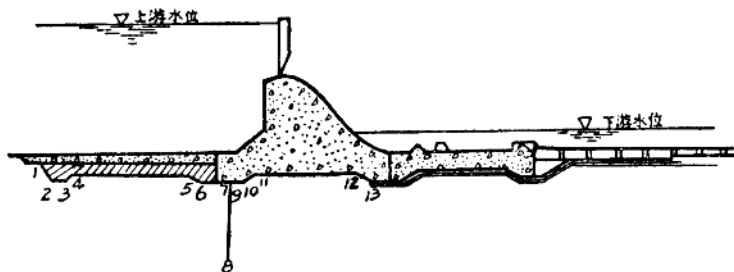


图 2-1

4. 确定防渗设备的构造及尺寸。

第二节 渗透压力的决定

非岩基上水工建筑物底部的渗透压力可以用流网法、直线比例法、精确的流体力学解法或水力学-流体力学解法求得。下面，我们只研究对中小型工程比较适用的流网法和直线比例法。

一、流网法

土壤中水的渗透现象是很复杂的，它受各种因素的影响。为了使渗透的分析比较简单，在计算中假定：

1. 整个渗透区域内的土壤是均匀的，它各点及各点的各个方向的性质相同。
2. 渗透水流是不可压缩的，并且充满土壤的全部孔隙。
3. 渗透水流是一稳定的平面流。
4. 渗透水流的流动是层流，并服从达西(Дарси)定律：

$$V = KJ, \quad (2-1)$$

式中 V ——平均渗透流速(米/秒)；

K ——渗透系数(米/秒)；

J ——渗透水流的水力坡降。

水流沿着土壤的空隙渗透的过程中，为了克服土颗粒间的阻力，必须不断地消耗能量。如果将渗透水流中能量相等的各点联接成线，就可以求得一组光滑的曲线，称等势线或等位线。沿土壤空隙流动的水分子(质点)的运动轨迹则称为流线。等势线与流线交组成的网状图形称为流网(如图2-2所示)。显然，上下游河床代表两根等势线。建筑物的地下轮廓和地基不透水层表面是两根流线。这四根线也称为流网的边界条件。

流网具有下列特性：

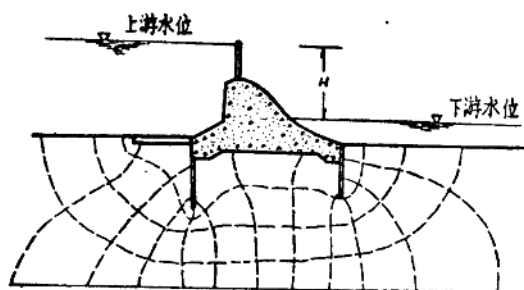


图 2-2

1. 流綫和等势綫都是兩組光滑的曲綫，而且互相垂直成正交。

2. 一根流綫不能与另一根流綫相交。一根等势綫不能与另一根等势綫相交。

为了使流网便于应用，通常使流网的每一网格均做成近似的正方形。因此，两相邻流綫之間所通过的流量相等，两等势綫之間水头的差值也相等。

流网常用图解法繪制。用图解法繪制流网的方法中最简单的是徒手繪制。徒手繪制流网的方法是，取定比尺，繪出建筑物地下輪廓形状及地基不透水层边界，以地下輪廓和不透水层边界为第一根流綫和最末一根流綫，在两根流綫間酌量繪几根流綫。再以上游河床为第一根等势綫，下游河床(或排水)为最末一根等势綫，根据等势綫与流綫成正交而且网格接近于正方形的特性，在其間繪若干根等势綫，这样就繪制成了初步的流网图。在初步繪制的流网图中，流綫与等势綫不够光滑，流綫与等势綫之間不完全垂直相交，或不近似于正方形，就根据上述流网特性对其进行修正，直到满意为止。

流网图也可以用实验法繪制，如电拟法、縫隙槽或土槽，其中以电拟法用得最广泛。电拟法是苏联科学院院士H.H.巴甫洛夫斯基于1922年首創的，它基于这样的原理：通过导电介质的电流現象与稳定渗流之間，具有数学上和物理上的相似性。电流中的电动势与渗流問題中的水头一样，电流的等位綫与渗流中的等势綫一样，电流中的欧姆定律 $I = C \frac{V}{r}$ 与渗流中的达西定律 $V = K \frac{H}{L}$ 一样。在模型中找出等水头面或等水头綫、流綫和渗透流量，根据相似关系求出原型的值。

实验时用半导体(常用硫酸銅、食盐水，也可用石墨粉)电解液倒入平盘中，盘的AB边做成建筑物的地下輪廓的形状，用有机玻璃、賽璐路、橡皮泥等不导电材料制成(图2-3)。模型上下游河底(CA, BD綫)用导体(多用銅片)。不透水层边界及盘的边牆也可用不导电材料做成。把盘底放平，注入电解液，深約2厘米。为了减少金属片的极化，模型用交流电，并用变压器降低电压。

模型电解液內的电位測量，通常用电桥平衡原理測得。設有如图2-3,a所示之閉合电路，电桥的臂AK、KB、AE、EB的电阻分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ，当K、E两点的电势相等时，敏感檢流計 r 的指針为零，这时下式成立：

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

現在再回到实验装置中来。它的桥臂是AK, KB, AE, EB。把K在可变电阻上移动，停在一个所需的电位上，我們用E針在电解液中移动，可以找到一点，該点至A点与B点的电阻，与K点至A点与B点的电阻满足于上述关系式。这时敏感檢流計指針为零，記讀下該点的位置，移动E針，可以找到若干点，将各点联成曲綫，显然这就是

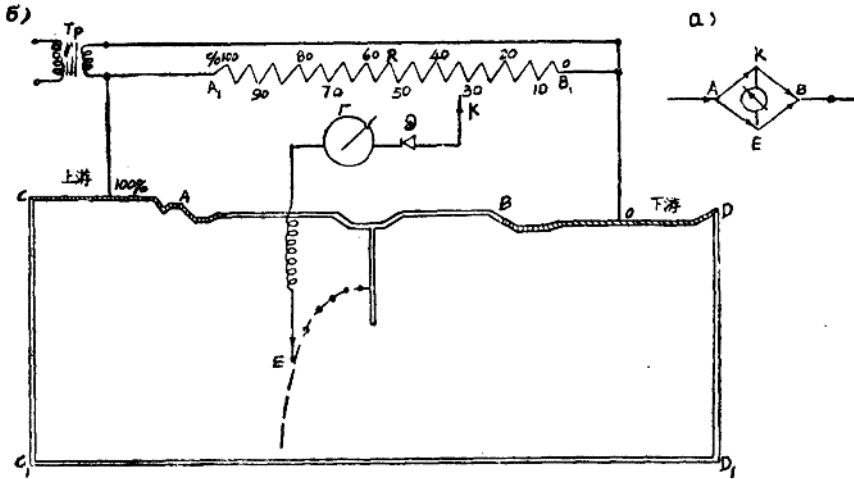


图 2-3

一根等压线，也就是一根等水头线。依上述方法，变动可变电阻器上 K 针的位置，可得出相应的各等压线。得出等势线后，根据流网特性绘出流线，即得该地下轮廓形状之流网图。

绘出了流网图，就可以很快地求出建筑物底部的渗透压力。根据流网性质，每一等压带(相邻两等势线之间的条带)消耗同样大小的水头，即 $\Delta H = \frac{H}{n}$ ，流网中任一点处的渗透压力水头为：

$$H_i = N_i \Delta H, \quad (2-2)$$

式中 N_i ——自所研究点至建筑物下游河床的等压带数目。

各等势线与地下轮廓交点处渗透压力已知，取定比例尺，以各点压力值为纵标绘出，联接各点所得的图形就是渗透压力图。坝单位长度(1米)上的渗透压力值，就是渗透压力图形乘水的容重。

二、直线比例法

直线比例法是一种简化计算方法，在实际工程中应用很广泛。它虽不如流网法精确，但是运用非常简单，因此在小型工程、次要建筑物和大型建筑物初步计算时常采用这种方法。

直线比例法假定建筑物底部的渗透水流形成许多流束，沿整个土层流动，在地基为均质土壤的情况下，不论建筑物地下轮廓的形状如何，沿地下轮廓全部渗透途径上(按展开长度计算，即考虑到经过垂直渗透途径消耗的水头比经过同样长度水平渗透途径消耗的水头要多，因此将垂直途径增加 m 倍。对嵌入基础的底板和有一道板桩 $m=1.3 \sim 1.7$ ；有两道板桩或三道板桩 $m=2.0 \sim 2.5$)的水头降落和所经过的渗透途径成正比，也就是说符合于直线规律。若水头为 H ，渗径为 L ，渗透坡降表示为：

$$J = \frac{H}{L}.$$

这个坡降应小于该种土壤的允许坡降。各种土壤的允许坡降列于表2-1中。

表2-1 土壤允许坡降表

地 基 土 壤 名 称			未 设 反 滤 层	设 有 反 滤 层
淤	砂	土	0.08	0.125
细	砂	土	0.10 ~ 0.11	0.166
中	砂 土 及 粗 砂	土	0.125	0.2 ~ 0.25
砾		石	0.14	0.25 ~ 0.286
卵		石	0.166	0.33
泥	炭	土	0.08 ~ 0.14	0.125 ~ 0.20
黄		土	0.125 ~ 0.14	0.25 ~ 0.286
粘	壤	土	0.14 ~ 0.166	0.286 ~ 0.33

由于水头是随渗径长度均匀消减的,所以,在展开的地下轮廓起点作一长度等于 H 的垂线,轮廓末端渗压力已减为零。联接两点所得之三角形还不是作用在坝底地下轮廓上的渗压力图形,因为其中有的压力已被垂直轮廓消耗掉了。从图中量取地下轮廓各点处的压力值,垂直于地下轮廓绘在各相应的点上,联接各点所得的折线图形才是地下轮廓上的渗压力图,方法详见后面的例2-1。

第三节 渗透流量的决定

一、流网法

如果已经绘出了流网图,求渗透流量是十分简便的。设若流网的流带(相邻两根流线间的区域)数目是 m ,等压带数目是 n ,我们取图2-4流网图中的一块面积 A 来分析,建筑物的水头为 H ,两根等势线之间的水头降落 $\Delta h = \frac{H}{n}$,这块面积的长度(沿流线方向)是 Δs ,宽是 Δl ,在这块面积内的平均渗透坡降表示为:

$$J = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{H/n}{\Delta s} = \frac{H}{n\Delta s}. \quad (2-3)$$

渗透流速(根据达西定律)为:

$$V = KJ = \frac{KH}{n\Delta s}. \quad (2-4)$$

通过一个流带的单宽渗透流量为:

$$\Delta q = V\omega = \frac{KH}{n\Delta s} \Delta l. \quad (2-5)$$

① 一般都取单位长度坝段(一米)计算,过水断面为 $\omega = \Delta l \cdot 1$,1多不写出。