

高等学校教材

水工建筑物

(供水利水电工程建筑专业用)

(第二版)

天津大学 祁庆和 主编

水利电力出版社

高等学校教材

水 工 建 筑 物

(供水利水电工程建筑专业用)

(第二版)

天津大学 祁庆和 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为“水利水电工程建筑”专业《水工建筑物》课程的教学用书，共分十二章，包括：绪论、岩基上的重力坝、拱坝、支墩坝、土石坝、水闸、岸边溢洪道、水工隧洞、闸门、过坝建筑物、渠首及渠系建筑物、水利枢纽、水工建筑物的管理及原型观测等。主要讲述岩基上的重力坝、土石坝、土基上的水闸、溢洪道及水工隧洞的设计、构造和地基处理等基本内容，简要介绍了拱坝的设计原理和构造以及水利枢纽设计的内容和枢纽布置；而对支墩坝、闸门、过坝建筑物、渠首及渠系建筑物和水工建筑物的管理及原型观测等则只作一般性叙述。

本书除作为本专业的教材使用外，还可供其它相近专业作为教学参考书和有关工程技术及科研人员阅读。

高等学校教材

水 工 建 筑 物

(供水利水电工程建筑专业用)

(第二版)

天津大学 祁庆和 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 28.5印张 650千字

1981年4月第一版

1986年12月第二版 1986年12月北京第二次印刷

印数25981—36800册 定价4.65元

书号 15143·6183

第二版前言

本书是根据1982年5月《水工建筑物》教材编审小组第一次会议商定,由天津大学负责在1981年第一版的基础上修订的。全书由原来的十一章改为十二章,“闸门”单另成一章。

第二版由天津大学祁庆和担任主编,具体分工如下:祁庆和(第一、四、八章)、赵代深(第二章)、马启超(第三章)、刘宣烈(第五、六章)、林继镛(第七章)、郭怀志(第九章)、陈式慧(第十、十一、十二章)。

本书由清华大学张宪宏教授负责审查,提出了很多指导性和具体的修改意见。在编写过程中,得到了许多兄弟院校和水利电力部天津勘测设计院,特别是原参加编写的五个兄弟院校的大力支持,并提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于我们水平所限,内容安排和材料取舍不一定得当,错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1986.1

前 言

本书依据原水利电力部制定的《一九七八~一九八一年高等学校、中等专业学校水利电力类教材编审出版规划(草案)》及同年三月《水工建筑物》教材编写会议通过的编写大纲编写。一九八〇年七月审稿会议时略有变更,将原定全书十章改为十一章,分上、下册出版。

本书由天津大学等六院校分工执笔:第一、三章天津大学;第二章武汉水利电力学院;第四章武汉水利电力学院及天津大学;第五章大连工学院;第六、十一章华东水利学院;第七、十章成都科技大学;第八章西北农学院;第九章成都科技大学及天津大学。全书由天津大学水利系陈道弘教授、祁庆和副教授主编。

本书由清华大学水工教研组张受天副教授等同志进行审核,提出很多修改意见。在编写过程中,受到清华大学副校长张光斗教授关心,并对全书的编写提出了很多指导性意见。天津大学水工教研室郭怀志、赵代深副教授等同志参加了全书的校阅工作。杨锦贤同志对部分章节的附图也重新进行了绘制。在编写大纲讨论会、初稿讨论会及审稿会议上,到会的兄弟院校都提出了不少宝贵意见,在此一并致谢。

由于我们水平有限,材料取舍不一定得当,对于书中的错误和不妥之处,诚恳地希望广大读者批评指正。

编 者
1980.11.

* * * *

参加上册编写工作的人有:

第一章 祁庆和;第二章 王鸿儒、陆述远、沈保康、曹学德;第三章 陈道弘;第四章 曹学德、郭怀志;第五章 赵山、金同稷、李玉琦。

参加下册编写工作的人有:

第六章 戴寿椿;第七章 赵兴义;第八章 戴振霖、张海东、吕兴祖;第九章 张启模、祁庆和;第十章 李国润;第十一章 陈慧远。

目 录

第二版前言

前言

第一章 绪论	1
第一节 水利工程建设	1
第二节 水利枢纽和水工建筑物	4
第三节 学习本门课程和解决水工问题的方法	8
第二章 岩基上的重力坝	9
第一节 概述	9
第二节 重力坝的荷载及其组合	11
第三节 重力坝的稳定分析	21
第四节 重力坝的应力分析	29
第五节 渗流场和温度场的有限元计算	45
第六节 重力坝的剖面及优化设计	50
第七节 重力坝的温度控制及裂缝的防止	53
第八节 重力坝的地基处理	57
第九节 重力坝的材料及构造	62
第十节 溢流重力坝	70
第十一节 重力坝深式泄水孔	87
第十二节 其它型式重力坝	93
第三章 拱坝	101
第一节 概述	101
第二节 拱坝的荷载和设计标准	107
第三节 拱坝的布置	115
第四节 拱坝的应力分析	121
第五节 坝肩岩体稳定分析	138
第六节 拱坝的坝身泄水	144
第七节 拱坝的构造和地基处理	151
第八节 浆砌石拱坝的特点	159
第四章 支墩坝	161
第一节 概述	161
第二节 大头坝	162
第三节 连拱坝	167

第四节	平板坝	170
第五章	土石坝	173
第一节	概述	173
第二节	土石坝剖面的基本尺寸	174
第三节	渗流分析	177
第四节	稳定分析	191
第五节	筑坝材料的选择与填筑标准的确定	199
第六节	土石坝的构造	204
第七节	土石坝的地基处理	211
第八节	土石坝与地基、岸坡及其它建筑物的连接	217
第九节	土石坝的裂缝及其控制	219
第十节	堆石坝	226
第十一节	非碾压式土石坝与溢流土石坝	233
第十二节	坝型选择	236
第六章	水闸	238
第一节	概述	238
第二节	水闸的孔口设计	241
第三节	水闸的消能防冲与防护	243
第四节	闸基的防渗设计	251
第五节	闸室各部件的布置和构造	262
第六节	闸室稳定计算、沉陷计算和地基处理	269
第七节	闸室结构计算	275
第八节	水闸与两岸的连接建筑	282
第九节	其它闸型和土基上的混凝土溢流坝	289
第七章	岸边溢洪道	295
第一节	概述	295
第二节	正槽溢洪道	296
第三节	其他型式的溢洪道	317
第四节	非常泄洪设施	324
第五节	溢洪道的布置和型式选择	326
第八章	水工隧洞	328
第一节	概述	328
第二节	泄水隧洞的线路选择	331
第三节	进口段	334
第四节	洞身段	338
第五节	出口及下游消能	343
第六节	多用途隧洞	345

第七节	洞室开挖时的围岩稳定性	350
第八节	隧洞的衬砌计算	351
第九节	锚喷支护	374
第九章	闸门	379
第一节	概述	379
第二节	平面闸门	381
第三节	弧形闸门	392
第四节	深孔闸门	396
第十章	过坝建筑物、渠首及渠系建筑物	401
第一节	通航建筑物	401
第二节	过木建筑物	411
第三节	过鱼建筑物	415
第四节	渠首及渠系建筑物	418
第十一章	水利枢纽	426
第一节	水利枢纽设计的任务与内容	426
第二节	水利枢纽对环境的影响	427
第三节	水利枢纽布置	429
第十二章	水工建筑物的管理及原型观测	435
第一节	概述	435
第二节	水工建筑物的原型观测	436
第三节	水工建筑物的养护与修理	446
主要参考文献	448

第一章 绪 论

第一节 水利工程建设

一、水利工程及其在国计民生中的重要作用

水资源是大自然赋予人类的宝贵财富，是人类生存和社会发展的一项基本因素。随着生产发展和生活水平的不断提高，人们对水的需求必将愈益增多。但是，由于河川径流在地区和年际、年内分配不均，使来水与用水之间不相适应，枯水季节容易出现干旱，而洪水季节又往往由于水量过多发生洪涝灾害。人们在多年的生产和生活实践中的经验总结是：解决这种矛盾的根本措施就是兴建水利工程。

水利工程的根本任务是：除水害和兴水利。前者主要是防止洪水泛滥和沥涝成灾；后者则是从多方面利用水资源为人民造福，包括：灌溉、发电、供水、航运、养殖、旅游、改善环境等。水利事业涉及面十分广泛，而作为重新分配径流、调节洪枯水量的主要手段就是兴建水库，把部分洪水或多余的水存蓄起来，一则控制下泄水量，减轻洪水对下游的威胁，再则可做到蓄洪补枯，以丰补欠，为发展灌溉、水电等兴利事业创造必要的条件。当然，从丰水地区向干旱缺水地区调水的跨流域调水工程，则是一种更艰巨宏伟的工程措施。

水利工程是保证生产和人民生活的一项基本建设。建国三十多年来，这项建设已经取得了伟大的成绩。但水旱灾害还没有根本消除，防洪标准尚需提高，水资源的开发和利用还很不够，必须给以极大的注意和更多的努力，才能使水利工程在国计民生和祖国的四化建设中发挥作用。

二、我国水利工程建设的主要成就

我国幅员辽阔，河流众多。据统计，全国大小河流总长度约有42万km，流域面积在1000 km²以上的河流有1600多条，大小湖泊2000多个，年平均径流总量2.8万亿m³，居世界第六位，水力资源的蕴藏量达6.8亿kW，其中可开发利用的约为3.8亿kW，是世界上水力资源最丰富的国家之一。

几千年来，我国劳动人民在与洪水作斗争和开发利用水资源方面，积累了很多宝贵的经验。

从传说四千年前的大禹治水，至今天仍在使用的长达1800 km的黄河大堤，是我国历代劳动人民与洪水进行艰苦斗争取得的伟大成就和生动的记录。大堤的修建不仅保护了黄河两岸人民的生命财产，还为后来的江河治理、堤坝建设与养护提供了丰富的经验。

从公元前485年开始兴建到公元1292年全线通航，纵贯祖国南北，全长1794 km的京杭大运河，将海河、黄河、淮河、长江和钱塘江等天然河流联系起来，是世界上最早最长的大运河。对便利我国南北交通，起到了很好的作用。

约于公元前250年在四川灌县修建的著名的都江堰工程，由于工程布置合理，建筑物适合当时当地条件，既减轻了岷江两岸的洪水灾害，又保证了200多万亩的灌区用水。如

今灌区范围已扩大到27个县市，面积达853万亩。其它如引泾水的郑国渠，引黄河水的秦渠、汉渠等，不仅对当时当地的农业生产提供了有利条件，而且还在分洪、引水、排沙、放淤等方面积累了不少经验。

在水力利用方面，早在汉、晋时代，人们就开始利用水力推动水车、水碓、水碾和水磨，以提水灌田、舂米、磨粉或作为其它动力之用。

上面列举的一些历史成就，是我国劳动人民智慧的结晶。但由于长期处于封建社会，特别是解放前近百年又遭受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的剥削和压迫，劳动人民生活痛苦，生产力受到了极大摧残。水资源不仅不能很好地被利用来为人民造福，相反，劳动人民还经常遭受水旱灾害的威胁和祸害。有的地区，则是水旱交替，连年受灾，以黄河为例，在解放前3000年内竟决口1500次以上。

解放后，在中国共产党和毛主席的领导下，水利建设才得到了较快的发展。五十年代初就开始对淮河和黄河进行全流域的规划和治理，根据“统一规划，蓄泄兼筹”的原则，修建了许多山区水库和洼地蓄洪工程；第一个五年计划期间基本上完成了全国各主要河流的普查工作和对几条主要河流进行了治理。如治理后的黄河，在1958年遇到与1933年造成大灾害同样大的洪水($22300\text{m}^3/\text{s}$)，没有发生事故，经受住了考验；改变了淮河“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”的悲惨景象；1963年开始根治海河，在海河中、下游初步建立起防洪除涝系统，尾间不畅的情况也有所改善。到1984年全国已建成水库8.6万座，塘坝61.9万座，总蓄水量为4208亿 m^3 ，其中大中型水库2702座，总库容3646亿 m^3 ；水电装机由1949年的16万kW增加到2416万kW，小水电7.6万座，装机850万kW。机电排灌动力由9.6万马力（1马力=0.735kW）发展到7876万马力；灌溉面积由1949年的2.4亿亩增加到7亿亩。

水利工程建设的发展，促进了水利科学技术的普及和提高，三十多年来，在实践中培养并建成了一支勘测、设计、施工、管理和水利科研队伍。在“自力更生”和“艰苦奋斗”的精神鼓舞下，完成了许多大型水利水电工程的勘测、设计、施工以及设备制造与安装。与此同时，广大群众在大规模的水利建设中，结合当地具体条件，也积累了很多改造山河的宝贵经验。

为了实现到本世纪末工农业总产值翻两番的总目标，必须加速发展水利和水电建设。在水利建设上，要有效地控制各主要江河的常遇洪水，保证城市供水，搞好水资源的管理、保护和综合利用。水电建设到2000年要达到装机8000万kW。目前全国已有龙羊峡、东江、白山、安康、葛洲坝和鲁布格等大型水利水电工程正在施工；近期在西南、西北、东南等地还将有若干个大型水利水电工程陆续开工；举世瞩目的长江三峡水利枢纽也在积极筹建。与此同时，要大力发展小水电；要加强对现有工程的运用管理，进行挖潜配套，使之充分发挥经济效益。

三、当前水工建设的发展概况

随着生产和人民生活水平的不断发展和提高，水和电的需要量都在逐年增加，而科学技术和设计理论的提高，又为水利工程特别是大型水利水电工程的发展提供了有利条件。从国外看，近几年来大水库、大水电站和高坝在逐年增多。据统计，全世界库容在1000亿

m^3 以上的大水库有7座,其中最大的是乌干达的欧文瀑布,总库容为2048亿 m^3 ;设计装机在450万kW以上的大水电站有11座,其中最大的是巴西与巴拉圭合建的伊泰普水电站,设计装机容量为1260万kW;100m以上的高坝1950年前仅42座,现今已建和在建的有400多座。在坝型方面由于土石坝设计理论和施工技术的不断改进以及大型施工机械的采用,高土石坝(包括土坝、堆石坝和土石混合坝)愈来愈多,在100m以上的高坝中土石坝的数量接近混凝土重力坝和拱坝的总和。目前世界上最高的土石坝是苏联的罗贡坝,高325m;最高的重力坝是瑞士的大狄克桑斯坝(Grand Dixence),高285m;最高的拱坝是苏联的英古里坝,高272m;最高的堆石坝是印度的特里坝,高261m;最高的浆砌石重力坝是印度的纳加琼纳萨格坝,高125m。我国龙羊峡水电站的库容和坝高分别为265亿 m^3 和175m,是目前国内最大的水库和较高的拱坝;最大的水电站是葛洲坝水利枢纽,装机容量为2715万kW;最高的重力坝是乌江渡水电站的拱形重力坝,高165m;最高的土石坝是石头河心墙土石坝,高105m。

泄水建筑物的单宽流量在不断提高,国外采用的单宽流量已超过 $300\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,如美国胡佛坝泄洪洞为 $372\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,葡萄牙的卡斯特罗·杜·博得拱坝坝面泄槽为 $364\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,伊朗的瑞萨·夏·卡比尔岸边溢洪道为 $355\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 。我国乌江渡水电站溢洪道采用的单宽流量为 $201\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,泄水孔为 $144\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,而泄洪排沙中孔为 $244\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 。从总泄量看,葛洲坝枢纽已超过 $110,000\text{m}^3/\text{s}$,居全国首位;在拱坝中,则以凤滩水电站的泄流量为最大,总泄量达 $32,600\text{m}^3/\text{s}$,也是世界上拱坝泄量最大的工程。

对于建在深厚覆盖层上的坝和闸的地基防渗处理,广泛采用混凝土防渗墙,因为它能快速施工,防渗效果可靠。据统计,在已建成的深度在40m以上的30余座(包括我国的13座)防渗墙中,加拿大马尼克3级坝的混凝土防渗墙深达131m,是目前世界上最深的防渗墙。我国渔子溪、密云、碧口等工程采用的混凝土防渗墙,深度从32m至68.5m,防渗效果良好。此外,利用水泥或水泥粘土进行帷幕灌浆也是处理深厚覆盖层的一项有效措施,如法国的谢尔·邦松坝,高129m,帷幕深110m,从蓄水后的观测资料看,阻水效果较好。但是,由于这种方法施工工艺较为复杂,灌浆效果不易控制,费用也较高,因而在应用上受到一定的限制。

我国在乌江渡工程中总结出的一套处理深部岩溶的灌浆工艺,为在岩溶地区建坝提供了宝贵的经验。

为了处理坝基软弱夹层或加固大坝,以提高坝体稳定性,在国外广泛采用预应力锚固,如马来西亚的穆达支墩坝,在坝基夹层处理中用锚索205条深入基岩14~21m,每条锚索拉力为270t。我国从1964年开始,先后在梅山、陈村、双牌等工程采用预应力锚索来加固坝肩和坝基,并取得了成功。

近年来,不少国家对大坝的抗震设计日益重视。地震荷载从三十年代开始按静力理论计算,到1970年以后,随着电子计算机和有限单元法的广泛应用,对高拱坝、高土石坝和较重要的坝多采用动力分析法,即考虑地震荷载和结构动力特性的关系。另外,由于大型振动台和现场量测设备的发展,模型试验和原型观测也得到了相应的发展。

电子计算机是当代科学技术的重大成就,它具有计算速度快、精度高等优点,可以完

成过去用人力难以解决的数字计算和数据处理，目前在水利水电建设中已广泛使用。随着高速度、大容量电子计算机的出现，水工结构、水工水力学和水利施工中许多课题都可以通过电算得到解决。如结构应力和稳定分析、温度场、动力分析、坝面与泄水孔过流计算、流体介质的扩散、流体紊动随机模拟和坝体施工的优化设计等。由于在计算中可以很方便地变更参数，因而可以迅速地进行方案比较和选择建筑物的最优方案。

水利水电工程，由于工程量大，所以建设工期较长。国外修建一座大型水电站约需5~10年，修建100m以上高坝的高峰人数从几百人到超过万人。

第二节 水利枢纽和水工建筑物

一、水利枢纽

图1-1是甘肃省碧口水电站工程布置示意图，它是一座以发电为主，结合防洪、灌溉、养鱼等综合利用的大型水利水电工程，工程中的主要建筑物有：

心墙土石坝：用以截断水流，挡水蓄水，形成水库；

溢洪道：用以宣泄水库中的多余洪水，保证工程安全；

泄洪洞：作用与溢洪道相似，但可在库水位较低时提前泄水；

排沙洞：用以将库内部分淤沙排至下游；

电站建筑物：包括发电引水洞、调压室和电站厂房等；

过木道施：向下游运送原木。

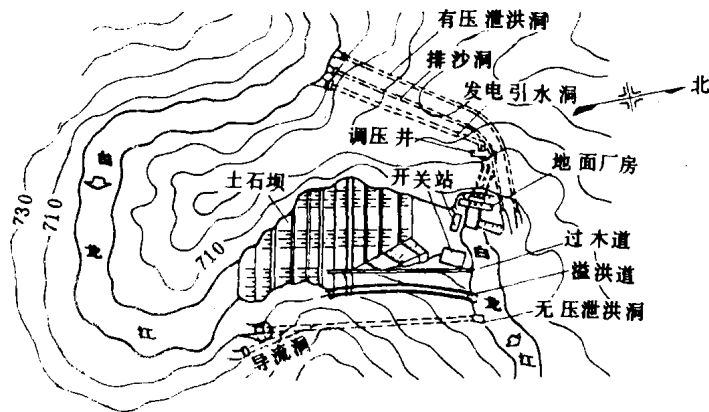


图 1-1 碧口水电站工程布置示意图

从上述工程实例可以看出，为了满足防洪要求，获得发电、灌溉、供水等方面的效益，需要在河流的适宜河段修建不同类型的建筑物，用来控制和支配水流。这些建筑物通称为水工建筑物，而由不同类型水工建筑物组成的综合体称为水利枢纽。

防洪、发电、灌溉等部门对水的要求不尽相同。如城市供水和航运部门要求均匀供水，而灌溉和发电需要按指定时间放水；工农业及生活用水需要消耗水量，而发电则只是利用了水的能量；又如，防洪部门希望尽量加大防洪库容以便能够存蓄更多的洪水，而兴利部门则总是希望扩大兴利库容，如此等等。为了协调上述各部门蓄泄之间的矛盾，在制订流

域规划时必须遵循综合利用水资源这样一项基本原则。所谓综合利用就是根据河流的自然条件，结合近期与远期国民经济发展的需要，统筹规划，全面安排，做到以最小的投资，最合理地利用水资源，最大限度地满足国民经济各个部门的需要。

二、水工建筑物的类别

水工建筑物种类繁多，按其作用，可以区分为以下几类：

(1) 挡水建筑物：用以拦截江河，形成水库或壅高水位，如各种坝和水闸以及为抗御洪水防止泛滥所用的堤防等；

(2) 泄水建筑物：用以宣泄设计确定的库容所不能容纳的洪水或为人防、检修而放空水库，以保证坝和其它建筑物的安全。泄水建筑物可以与坝体结合在一起，如各种溢流坝、坝身泄水孔；也可设在坝体以外，如各式岸边溢洪道和泄水隧洞等；

(3) 输水建筑物：为灌溉、发电和供水的需要，从上游向下游输水用的建筑物，如引水隧洞、引水涵管、渠道、渡槽等；

(4) 取水建筑物：是输水建筑物的首部建筑，如灌溉渠首和供水用的进水闸、扬水电站等；

(5) 整治建筑物：用以改善河流的水流条件，调整水流对河床及河岸的作用以及为防护水库、湖泊中的波浪和水流对岸坡的冲刷，如丁坝、顺坝、导流堤、护底和护岸等；

(6) 专门为灌溉、发电、过坝需要而兴建的建筑物：如专为发电用的引水管道、压力前池、调压室、电站厂房；专为灌溉用的沉沙池、冲砂闸、渠系及其上的建筑物；以及专为过坝用的船闸、升船机、鱼道、过木道等。

但是，应当指出的是：有些水工建筑物的功能并非是单一的，如各种溢流坝，既是挡水建筑物，又是泄水建筑物；水闸既可挡水，又能泄水，有时还作为灌溉渠首或供水工程的取水建筑物等等。

三、水利工程的特点

水利工程与一般土建工程相比，除了工程量大、投资多、工期长之外，还具有以下几方面的特点：

(一) 工作条件复杂

地形、地质、水文、施工等条件对坝址选择、枢纽布置和水工建筑物型式选择关系极大。具体到每一个工程都有其自身的特定条件，因而水利枢纽和水工建筑物都具有一定的特殊性。

水文条件对枢纽规划、布置、建筑物的设计和施工有重要影响，要在有代表性、一致性和可靠性资料的基础上合理分析，做出正确估计。

水工建筑物的地基，有的是岩基、有的是土基。在岩基中经常遇到节理、裂隙、断层、破碎带、软弱夹层等地质构造；在土基中，可能遇到压缩性大的土层或流动性较大的细砂层。设计前，必须进行周密勘测，作出正确判断，以便为建筑物选型和地基处理提供可靠的依据。

由于上下游水位差，挡水建筑物要承受相当大的水平推力，为了维持建筑物与地基的稳定性，必须具有足够的抗推力；与此同时，库水从坝基和坝体渗向下游，形成渗透压力，

渗透压力不仅降低了建筑物的稳定性，而且还可能由于物理的和化学的作用而使坝基受到破坏。另外，渗流对地下工程（隧洞、调压室、埋藏式压力钢管、地下厂房等）产生的外水压力，也是一项主要荷载。

泄水建筑物下泄水流的能量大，而且集中，对下游河床有很大的冲刷作用，必须采取适当的消能防冲及防护措施。对高水头泄水建筑物，还需处理好由于高速水流带来的一系列问题，如空蚀、掺气、脉动和振动等。

在多泥沙河流上修建水库，泥沙淤积不仅会减小有效库容，缩短水库寿命，而且还将由于回水延长和抬高，产生其它不利影响。如何防止和减小水库淤积，在我国，特别是在一些含沙量较大的河流上修建水利枢纽时值得重视的问题。

地震时，库水对建筑物将产生附加的地震动水压力。

挟沙水流使建筑物表面受到磨损等等。

（二）受自然条件制约，施工难度大

水利工程施工首要解决的就是施工导流，要求在施工期间，在保证建筑物安全施工的前提下，让河水改道并顺利下泄，这是水利工程设计和施工中的一个重要课题；其次，工程进度紧迫，截流、渡汛需要抢时间、争速度，否则就要拖延工期；第三，施工技术复杂，如大体积混凝土的温控措施和复杂地基的处理；第四，地下、水下工程多，施工难度大；第五，交通运输比较困难，特别是在高山峡谷地区更为突出，等等。

（三）效益大，对附近地区影响也大

水利工程，特别是大型水利枢纽的兴建，对发展国民经济，加速实现四化具有重要意义，对改善、美化环境也将起到重要作用。例如，丹江口水利枢纽建成后，防洪、发电、灌溉、航运和养殖等效益十分显著：在防洪方面，大大减轻了汉江中下游的洪水灾害，装机容量90万kW，自1968年10月开始发电至1983年底已发电524亿kW·h，经济效益达34亿元，相当于工程总造价的四倍。另一方面，由于水库水位抬高，在库区内造成淹没，需要移民和迁建；库区周围地下水位升高，对矿井、房屋、耕地等产生不利影响；由于水质、水温等因素使库区附近的生态平衡发生变化；在地震多发区修建大中型水库，有可能引起诱发地震等。

（四）失事后果严重

大型蓄水工程，一般是库大、坝高，作为枢纽中关键性工程的大坝，一旦失事，将会给下游人民的生命财产和国家建设带来巨大灾难。因此，在进行枢纽规划、设计、施工和管理过程中，必须要以高度负责的精神，认真对待工作，既要解放思想，敢于创新，又要实事求是，按科学规律办事，在确保工程安全的前提下，尽量降低造价、缩短工期和发挥工程效益。

四、水利枢纽分等和水利建筑物分级

为了将工程安全和工程造价合理地统一起来，首先应对水利枢纽按规模、效益及其在国民经济中的重要性进行分等；然后，再将枢纽中的不同建筑物按其作用和重要性分级。分等分级的目的在于对不同级别的建筑物提出不同要求，级别高的，对抗御洪水能力、强度和稳定性的安全系数等要求高，级别低的，则可适当降低要求，这种做法是体现经济政

策和技术政策的一个重要方面。

根据水利电力部《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准》(山区、丘陵区部分)(试行)的规定^[4],水利水电枢纽工程根据其工程规模、效益和在国民经济中的重要性分为五等,如表1-1所示。

表 1 1 水利水电枢纽工程的分等指标

工程等级	工程规模	分 等 指 标				
		水库总库容 (亿 m ³)	防 洪		灌溉面积 (万亩)	水电站装机容量 (万 kW)
			保护城镇及工矿区	保护农田面积 (万亩)		
一	大(1)型	>10	特别重要城市、工矿区	>500	>150	>75
二	大(2)型	10~1	重要城市、工矿区	500~100	150~50	75~25
三	中 型	1~0.1	中等城市、工矿区	100~30	50~5	25~2.5
四	小(1)型	0.1~0.01	一般城镇、工矿区	<30	5~0.5	2.5~0.05
五	小(2)型	0.01~0.001			<0.5	<0.05

枢纽中的水工建筑物,根据其所属工程等级及其在工程中的作用和重要性分为五级,如表1-2所示。

表 1-2 水工建筑物级别的划分

工程等级	永 久 性 建 筑 物 级 别		临 时 性 建筑物级别
	主要建筑物	次要建筑物	
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	4	5
四	4	5	5
五	5	5	

永久性建筑物 系指枢纽工程运行期间使用的建筑物;根据其重要性分为:

主要建筑物、系指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物。例如:坝、泄洪建筑物、输水建筑物及电站厂房等。

次要建筑物:系指失事后不致造成下游灾害或对工程效益影响不大,易于恢复的建筑物。例如:失事后不影响主要建筑物和设备运行的挡土墙、导流墙、工作桥及护岸等。

临时性建筑物、系指枢纽工程施工期间使用的建筑物。例如:导流建筑物等。

为了使建筑物的安全可靠性与其在国民经济中的重要性相协调,对不同级别的建筑物,在以下几个方面应有不同的要求:

- 1) 抗御洪水能力:如洪水标准、坝顶安全超高等。
- 2) 强度和稳定性:如建筑物的强度和抗滑稳定安全系数、防止裂缝发生或限制裂缝开展的要求及限制变形的要求等。
- 3) 建筑材料:如选用材料的品种、质量、标号及耐久性等。
- 4) 运行可靠性:如建筑物各部分尺寸裕度的大小和是否设置专门设备等。

确定建筑物级别的主要依据是表1-1和表1-2，但在某些情况下，经过论证，可以适当提高或降低。

第三节 学习本门课程和解决水工问题的方法

《水工建筑物》是一门综合性很强的专业课，涉及的知识面很广。在学习过程中，要综合、运用基础理论，通过课程设计、实验、实习和毕业设计等环节，锻炼培养解决实际问题的能力。

水工建筑物种类繁多，型式又是多种多样，在学习过程中，只能通过对几种典型建筑物的分析，了解其一般规律，进而学会并掌握其设计原则和方法。

水工建筑物所受荷载及工作条件十分复杂，不少问题至今尚未得到完满解决。为了进行工程设计，现阶段常用的方法有以下几种：

1) 理论分析：这是基本的也是最主要的方法。近年来，随着电子计算机的出现，为解决过去难以解决的数字计算提供了便利条件。但是，水工设计中有些问题到目前为止，还不能完全依靠理论计算来解决，而须借助其它手段去完成。

2) 试验研究：这种方法的优点在于它能够研究整个枢纽、建筑物的整体或局部在各种不同条件下的工作情况，而且能够解决许多至今理论分析还不能解决的问题。因此，试验研究在水工设计中起着重要的作用。

由于水工建筑物及其工作条件的复杂性，无论是理论分析还是试验研究，都不可能做到与实际情况完全一致。因此，理论计算值与试验成果都有一定程度的近似性。

3) 原型观测：在建造中或在建成使用中的水工建筑物上进行各种观测，从原型中找到一般的规律，用来验证理论分析和试验研究成果并指导今后的实践，这是研究和解决水工问题的重要方法之一。

4) 工程类比：参照已建成与本工程条件相近并运用情况良好的工程选定尺寸和参数，也是水工设计中一种较为常用的方法。

第二章 岩基上的重力坝

第一节 概 述

人类修建堰、坝已有数千年历史，而重力坝是出现最早的一种坝型。早在公元前2900年，埃及便在尼罗河上修建了一座高15m、顶长240m的挡水坝。重力坝结构简单，工作可靠，至今仍是一种被广泛采用的坝型。

一、岩基上重力坝的特点

岩基上重力坝的基本剖面呈三角形，通常上游面为铅直或稍倾向上游，坝底与基岩固接。筑坝材料为混凝土或浆砌块石，近代多用混凝土。

重力坝在水压力作用下，主要依靠坝体自重产生的抗滑力维持稳定，所以称为重力坝。由于混凝土或浆砌石能承受水流的冲刷作用，所以重力坝既可以做成非溢流的，也可以做成溢流的。图2-1是河南省故县水库工程布置及重力坝的剖面图。

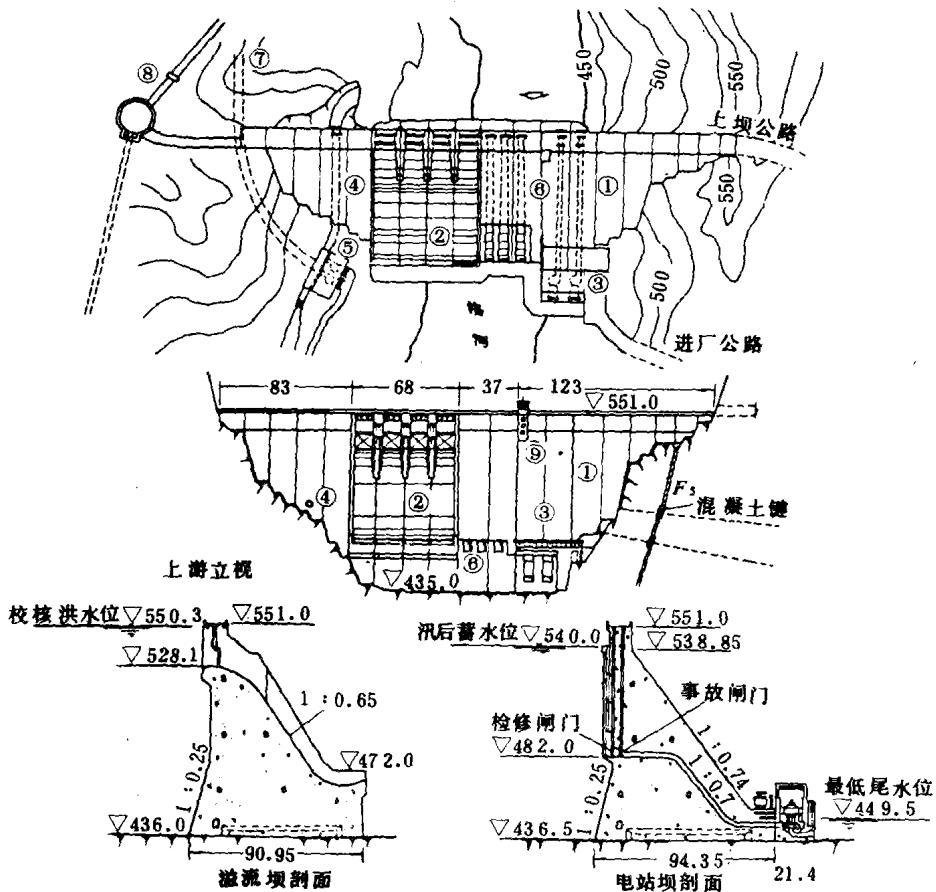


图 2-1 故县水库工程布置及重力坝剖面图

- 1—非溢流坝段；2—溢流坝段；3—水电站厂房；4—灌溉发电洞；5—渠首电站；
6—泄洪排砂底孔；7—导流洞；8—斜坡升船机（二期工程）；9—电梯房