

高等学校教材

水工建筑物

(供水利水电工程建筑专业用)

上 册

天津大学 主编

水利电力出版社

7,001
11

高等学校教材

水 工 建 筑 物

(供水利水电工程建筑专业用)

上 册

天津大学

主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

水利电力出版社

1-13504

高等学校教材
水 工 建 筑 物
(供水利水电工程建筑专业用)

上 册
天津大学 主编
(根据水利出版社纸型重印)

*

水利电力出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17 $\frac{1}{2}$ 印张 392千字
1981年4月第一版
1983年5月新一版 1983年5月北京第一次印刷
印数 00001—11060册 定价 1.80元
书号 15143·5093

内 容 概 要

本书为《水工建筑物》课程的教学用书，共十一章，分上、下两册出版。

上册包括：绪论、重力坝、拱坝、支墩坝及土石坝等五章。主要讲述岩基上的重力坝及土石坝的设计、构造及地基处理等基本内容，其次为拱坝及支墩坝的一般叙述。

本书为“水利水电工程建筑”专业通用教材，其它相近专业可作为教学参考，也可供有关工程技术及科技人员阅读。

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：第一章、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。

目 录

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
第二章 岩基上的重力坝	10
第一节 概述	10
第二节 重力坝的荷载及其组合	12
第三节 重力坝的稳定分析	23
第四节 重力坝的应力分析	28
第五节 非溢流重力坝的剖面设计	40
第六节 泄水重力坝的剖面及布置	44
第七节 泄水重力坝的下游消能	57
第八节 重力坝的材料及构造	68
第九节 重力坝的地基处理	84
第十节 浆砌石重力坝的特点	91
第十一节 宽缝重力坝及空腹重力坝	98
第三章 拱坝	103
第一节 概述	103
第二节 拱坝的荷载和设计标准	111
第三节 拱坝的布置	119
第四节 拱坝的应力分析	128
第五节 拱坝的坝身泄水	148
第六节 拱坝的构造和地基处理	155
第七节 浆砌石拱坝的特点	166
第四章 支墩坝	169
第一节 概述	169
第二节 大头坝	170
第三节 连拱坝	178
第五章 土石坝	182
第一节 概述	182
第二节 土石坝剖面的基本尺寸	185
第三节 土坝的渗流分析	187
第四节 土石坝的稳定分析	209
第五节 筑坝土石料	220
第六节 土石坝的构造	225

第七节 土石坝的地基处理234

第八节 土石坝的裂缝及其控制243

第九节 土石坝的抗震设计255

第十节 非碾压式土石坝与过水土石坝262

第十一节 坝型选择270

第一章 绪 论

第一节 水利工程建设

一、我国的水利资源及其在国民经济中的重要作用

在我们伟大祖国的辽阔土地上密布着成千上万条河流, 据统计[●], 流域面积在1000平方公里以上的有1598条, 总流域面积 667 万平方公里, 中小河流遍布全国, 正常年径流量约27800亿米³, 地下水资源估计在6000亿米³左右, 水能资源的蕴藏量达6.8亿千瓦, 其中可开发利用的为3.7亿千瓦, 是世界上水利资源最丰富的国家之一。

这些丰富的水利资源是大自然赋与我们的宝贵财富。但是由于河川径流在地区和时间上的分配不均, 形成了来水与用水之间的不相适应, 缺水地区在枯水季节容易出现干旱, 而在洪水季节或丰水地区又往往由于水量过多形成洪涝灾害, 人们在多年的生产和生活实践中的经验总结是: 解决这种矛盾的主要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。除水害主要就是防止洪水泛滥和沥涝成灾。兴水利则是从多方面利用水利资源为人民造福, 主要包括: 灌溉、发电、供水、航运、养殖等。水利事业包括的范围是十分广泛的, 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量暂时存蓄起来, 一则控制下泄水量, 减轻洪水对下游的威胁, 即防洪除水害; 再则可做到蓄洪补枯, 以丰补缺, 为发展灌溉、水电、供水、航运和养殖等兴利事业创造必要的条件。当然防洪工程除建水库外, 还有加固下游河道堤防、增设分洪道、利用洼淀湖泊蓄洪以及河道整治等措施。另外, 从丰水地区向干旱缺水地区调水, 即所谓跨流域调水工程, 也是一种兴利的工程措施。

由于水利资源的利用是多方面的, 所以水利工程建设对发展国民经济, 实现农业、工业、国防和科学技术的现代化有着十分重要的作用。

二、我国水利工程建设的主要成就

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

从四千年前“大禹治水”的传说, 到今天仍在使用的长达1800公里的黄河大堤, 是我国古代劳动人民与洪水进行艰苦卓绝斗争的生动记录和伟大成就。大堤不仅保护了黄河两岸人民的生命财产, 也为后来的河道治理、堤防修建与养护提供了宝贵经验。

纵贯我国南北的京杭大运河, 从公元前485年开始兴建到公元1292年全线通航, 全长1700公里, 将华北水系、黄河、淮河、长江和钱塘江等天然河流联系起来, 其规模之大在世界上是罕见的。

● 《水力发电》1980年8月, 第二期, 7~8页。

公元前 250 年左右修建的四川灌县都江堰分洪灌溉工程，既能防洪，又能灌溉，至今仍在发挥着巨大作用。该项工程从布局到施工都充分体现了勤劳勇敢的中国人民的创造性和科学性。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创造了有利条件，而且在分洪、引水、排沙、放淤等方面积累了不少经验。

此外，早在两千年以前的汉、晋时代，人们就开始利用水力推动水车、水碓、水碾和水磨，用来灌田、舂米、碾米和磨粉。

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间又遭受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的剥削和压迫，劳动人民的智慧和力量受到极大的摧残和压抑。水利资源不仅不能很好地为人民造福，相反，劳动人民还经常遭受水旱灾害的折磨，有的地区，水旱交替，连年受灾。以黄河为例，在解放前3000年内决口1500次以上，仅1933年一次洪水就决口72处，淹没河北、河南、山东等省67个县共12000平方公里的土地，而1938年，由于国民党反动派实行“消极抗日，积极反共”的策略，在花园口炸决黄河大堤，使黄河改道入淮，造成人为的黄泛区，死亡89万人，受灾人口达1200余万人。

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。1951年和1952年毛主席相继发出“一定要把淮河修好”和“要把黄河的事情办好”的伟大号召，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；1963年毛主席发出“一定要根治海河”的号召后，又开始了根治海河的伟大斗争。通过对几条主要河流的治理，使黄河在1958年经受住了与1933年同样大的洪水考验（ $22300\text{米}^3/\text{秒}$ ）；改变了淮河“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”的悲惨景象；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1979年全国已建成水库84000余座，其中大型水库319座，中型水库2200座；水电装机由1949年的16万千瓦增加到1605万千瓦（不包括1万千瓦以下的小水电，而1.2万千瓦以下的电站装机容量为600多万千瓦）；灌溉面积也由1949年的2.4亿亩增加到7亿亩。

水利工程建设的不断发展，促进了水利科学技术的普及和提高，近三十年来，在实践中培养并建成了一支勘测、设计、施工和水利科研队伍及相应的机构。在“自力更生”和“艰苦奋斗”的精神鼓舞下，许多大型水利水电工程从勘测、设计、施工到设备制造与安装都是我国自行完成的。与此同时，广大群众在大规模水利建设中，结合各地具体条件，创造了很多改造山河的宝贵经验。

为了要在本世纪末把我国建设成为具有四个现代化的社会主义强国，就水利战线讲，必须加快建设步伐，在切实做好各主要江河流域规划的基础上选定河流开发的第一期工程。预计近期在我国西南、西北、东南等地将有若干个大型水利水电工程陆续上马，同时，配合全国主要河流的治理与开发，各地的中、小型水利工程也必将得到更为普遍的发展。

三、当前水工建设的发展概况

随着工农业生产的不断发展和人民生活水平的提高，电和水的需要量都在逐年增加，

而科学技术和设计理论的提高, 又为水利水电工程朝大型方向发展提供了有利条件。从国外看, 近年来高坝在逐年增加。100米以上的高坝, 1950年前仅42座, 至今已建和正建的约400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100米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。有的如澳大利亚的克利克坝和塞萨那坝甚至由于地质上的原因而将原设计的混凝土坝方案改为土石坝。目前在世界上最高的土石坝是正在施工中的苏联罗贡坝, 高325米; 最高的重力坝是瑞士大狄克桑斯坝, 高285米; 最高的拱坝是苏联的英古里坝, 高272米; 最高的浆砌石重力坝是印度的纳加琼纳萨格坝, 高125米。到1976年为止, 我国已建和正建的100米以上的高坝有16座, 其中最高的重力坝是乌江渡水电站的拱型重力坝, 高165米; 最高的拱坝是白山水电站的重力拱坝, 高146米; 最高的土石坝是正在施工中的陕西石头河心墙土石坝, 高105米。至于中、低的坝, 由于土石坝具有就地取材, 对地基适应性强的优点, 因而采用得更为普遍了。

对于建在深厚覆盖层上的土石坝地基防渗处理, 广泛采用的是混凝土防渗墙, 因为它能快速施工, 防渗效果可靠。目前, 国外已建成深度大于40米的防渗墙有16座, 其中8座深度超过70米, 2座超过100米, 最深达131米, 据认为可达200米。我国碧口水电站土石坝的防渗墙深达44米, 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。例如, 法国的谢尔·邦松坝, 高1235米, 帷幕深100米; 瑞士的麦特玛克斜墙堆石坝, 坝高120米, 帷幕深100米; 埃及的阿斯旺高土石坝, 坝高111米, 帷幕深170米。从蓄水后的观测资料看, 阻水效果均较好^①。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。

近十几年来, 由于在一些国家发生的强烈地震和中强地震对一些坝产生了不同程度的震害, 使不少国家对大坝的抗震设计日益重视, 并进行了大量的研究工作。1975年国际大坝委员会抗震委员会建议所有的大坝都应考虑地震荷载(低坝或人口稀少地区的坝, 经论证后, 可以除外)。地震荷载从30年代开始按静力理论计算, 即将地震荷载作为静荷载考虑。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, 由于大型振动台和量测技术的发展, 模型试验和原型观测也得到了相应的发展。我国《水工建筑物抗震设计规范》规定, 高度不超过150米的坝, 按在动力理论上简化了的拟静力法确定地震荷载; 超过150米的坝, 则应进行动力分析。

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, 因此, 在许多方面都得到了广泛应用。在水利水电建设中, 从规划、设计、施工到科研、管理也在逐步推广使用。随着高速度、大容量电子计算机的出现和发展, 又为使用有限单元法提供了重要的物质条件。有限单元法不受几何形状、荷载和边界条件的限制, 可以解决水工建筑物的应力、稳定、温度场、动力分析和一些流体力学问题; 不仅能解决弹性范围内的平面问题, 而且可以解决各向异

① 《国外水利水电发展概况》水利电力部科学技术情报所, 1977.10。

性、弹塑性、复杂地基和有间隙裂缝等非线性问题和空间问题。又由于其计算速度快，可以任意变更参数，因而便于进行方案比较和自动选择建筑物的最优方案。

水利水电工程的建设工期一般是较长的。国外修建一座大型水电站约需5~10年，如莫桑比克的卡博拉巴萨水电站（双曲拱坝，高163米，初期装机200万千瓦），自修建150公里的进厂公路起至开始发电的工期共5年半；美国的渥洛维尔土石坝，高236米，体积5964万米³，建筑工期4年。修建100米以上高坝的高峰人数，美国、加拿大和日本约500~2000人，瑞士和瑞典数百人，而苏联、巴基斯坦和印度超过万人。我国大型水利水电工程建设工期一般为3~7年，如密云水库库容43.75亿立米，装机8.8万千瓦，新丰江水电站水库库容139亿立米，装机29.25万千瓦，这两项工程从开工兴建到第一台机组投产都只用了二年多一点的时间；湖南柘溪水电站水库库容35.7亿立米，装机44.75万千瓦，从开工到竣工共用5年。

第二节 水利枢纽和水利建筑物

一、水利枢纽

为了达到防洪、灌溉、发电、供水、航运等目的，通常需要修建不同类型的建筑物，用来挡水、泄水、输水、排沙等。这些建筑物称为水利建筑物。

由于防洪、灌溉、发电、供水、航运和养殖等各个部门对治理和开发河流所提出的要求不尽相同，其间，既有统一，又有矛盾。例如，在一般情况下，治理与开发河流需要修建水库，这是统一的。但在用水方面，有些部门如城市供水和航运，需要均匀供水，有的如灌溉和发电，则按指定时间放水；有的消耗水量（如灌溉、工业及居民用水），有的则只是利用水的能量而不消耗水（如发电）；在水库容积的利用上，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等等，又是矛盾的。为了使上述矛盾能够得到合理的统一，在制订流域规划时必须遵循综合利用水利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安排，做到以最少投资，最合理地利用水利资源，尽可能满足国民经济各个部门的需要，从而得到国民经济的最大效益。

图1-1是甘肃省白龙江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，但可提前泄水；
- 排沙洞：用以将库内的部分淤沙排至下游；
- 电站建筑物：（包括发电引水洞和电站厂房等）；
- 过坝设施：向下游运送原木。

从这项工程实例可以看出，为了综合利用水利资源，需要修建几种不同类型的水利建筑物，用来控制和支配水流，这些建筑物的综合体就称为水利枢纽。

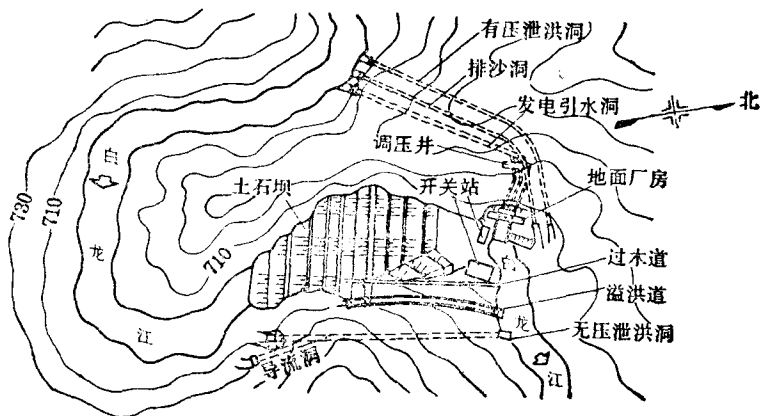


图 1-1 碧口水电站工程布置示意图

图 1-2 是海河流域子牙河水系上的献县枢纽工程布置示意图，该枢纽位于滹沱河、滏阳河和滏阳新河的汇流处，主要任务是控制子牙河不担负主要泄洪任务，而只作为向天津市输水、航运、两岸排沥及相机泄洪之用。非汛期上游来水经节制闸由子牙河下泄，小水年或遇麦黄水，提开进洪闸经子牙新河主槽下泄，来水大于 $600\text{米}^3/\text{秒}$ 时，子牙新河滩地行洪。枢纽中的建筑物有：

- 子牙河上的节制闸；
- 子牙新河主槽上的进洪闸；
- 子牙新河滩地上的溢流堰及其上的京开公路大桥。

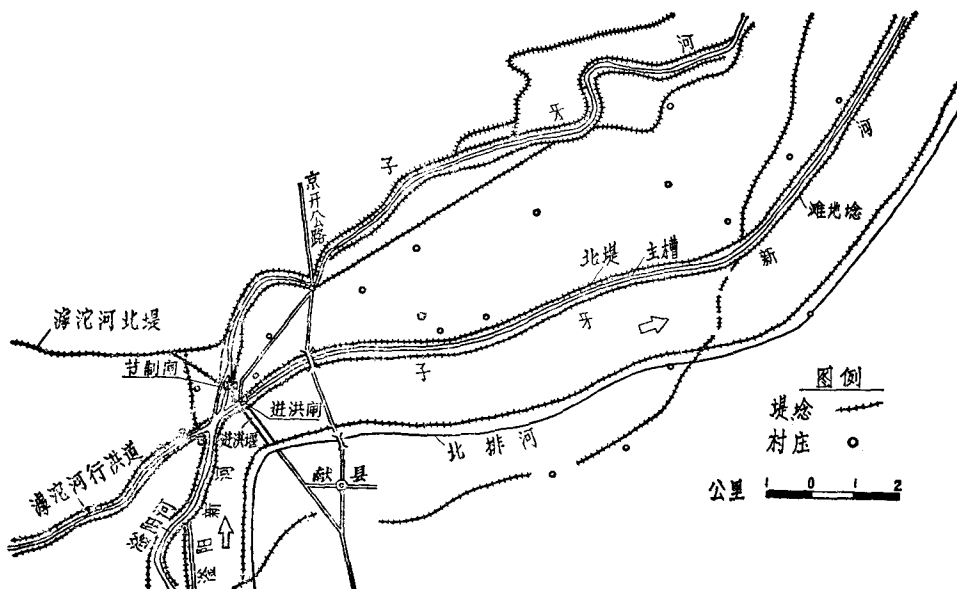


图 1-2 献县枢纽平面图

一个水利枢纽通常需要包括几种不同类型的水工建筑物，而各种建筑物的型式、尺寸及其相互位置又与当地的地形、地质、水文及施工等条件紧密相关。具体到一个枢纽地段的一条坝轴线，可以选用几种不同的建筑物型式和枢纽布置方案，而不同的方案又与工程造价、工期以及日后的运行条件有着直接关系。因此，枢纽布置是水工设计中一个复杂而重要的问题，设计时应对各种可能的方案进行技术经济比较，从中选定最优方案。有关这方面的知识，在本书第十章水利枢纽中将作进一步的论述。

二、水工建筑物的类别

水工建筑物按其在枢纽中所起的主要作用，可以区分为以下几类：

(1) 挡水建筑物 用以拦截河流，形成水库或壅高水位。如各种坝和水闸以及为抗御洪水用的堤防等；

(2) 泄水建筑物 用以宣泄水库（或渠道）在洪水期间或其它情况下水库（或渠道）的多余水量，以保证坝（或渠道）的安全。如各种溢流坝、溢洪道、泄洪隧洞和泄洪涵管等；

(3) 输水建筑物 为灌溉和发电、供水等，从水库（或河道）向库外（或下游）输水用的建筑物，如引水隧洞、引水涵管、渠道和渡槽等；

(4) 取水建筑物 是输水建筑物的首部建筑，如为灌溉、发电、供水用的进水闸、扬水站等；

(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；

此外还有专门为灌溉、发电、航运、供水等用的建筑物，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、渠系及渠道上的建筑物；以及专为过坝用的船闸、升船机、鱼道、过木道等等。

应当指出的是：有些水工建筑物在枢纽中所起的作用并不是单一的，例如：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，还能作为灌溉、发电及供水用的取水建筑物等。

三、水工建筑物的特点

水工建筑物与其它建筑物相比，具有如下几个特点：

(一) 水的作用使建筑物的工作条件复杂化 以挡水建筑物为例说明如下：

①由于上、下游的水位差，建筑物要承受一定的水平推力，其大小随坝的增高而急剧加大。为此，建筑物要有足够的抗推力（可以靠自重产生摩擦力，也可靠两岸岩体的支撑）以维持其自身的稳定。同时，坝基及坝体内的浮托力和渗透压力不仅会降低建筑物的稳定性，而且还可能由于物理的和化学的作用而使坝体及坝基受到破坏；

②由于库区水面宽阔，水深加大，在风的作用下，产生波浪，波浪对建筑物产生波浪压力，对船只航行也不利；

③泄流时，高速水流对建筑物有冲蚀作用，或使建筑物产生振动。下泄水流的多余能量对下游河床具有较大的冲刷和破坏作用。挟沙水流还会使建筑物的表面受到磨损；

④遇地震时，库水对建筑物还将产生附加的地震动水压力。

（二）施工条件复杂

水工建筑物的施工首先要解决的一个问题就是施工导流，要求在整个施工期间，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比较重要的问题。其次，水工建筑物施工受自然条件影响大，冬季气温过低、夏季气温过高或雨季过长，都会给施工带来不利影响（甚至有的工程需要季节性施工）。第三，洪水对施工有很大威胁，一是工程进度紧迫，一般要在洪水到来之前完成关键性工程，否则就有可能将工期拖后一年；二是如对水文资料估计不足，一旦基坑受淹，就会给工程施工带来损失，当然，估计偏高，也会造成浪费。第四，水工建筑物的工程量一般都较大，一座大、中型水利水电工程动用的土石方可达几百万至几千万立方米，混凝土工程量自十几万至几百万立方米。工期也较长，一般需要几年至十几年。第五，要在较短时间内完成这样大的工程量，需要采用先进的施工技术、大型施工机械，并要建立健全科学管理体制和严密的规章制度等。

（三）对国民经济和附近地区自然条件的影响大

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作用。例如，刘家峡水电站装机122.5万千瓦，库容60.9亿立方米，对我国西北地区的甘肃、宁夏以及华北地区的内蒙古等省区的工农业发展起了巨大作用。

大水库就是人工湖，水库蓄水后，一面可以调节当地的气候条件，美化周围环境，同时，由于库水位抬高，在库区内造成淹没损失，需要迁建居民点，在库区周围使地下水位升高，对矿井、房屋、耕地有不利影响。

大型蓄水工程，一般是库大、坝高。作为枢纽中的关键性工程——坝的设计施工，与当地的地形、地质、水文及施工条件等因素密切相关，而这些因素又是千差万别，有时情况还非常复杂，万一工程失事，如溃坝，就会给下游人民的生命财产和国家建设带来极大灾难。1963年意大利的瓦依昂拱坝，由于库岸发生大滑坡，在30~60秒时间内滑下2.7~3亿立方米的土石方，使库中5000万立方米的水被挤向上下游，最大飞溅高度达250米以上，倾泻而下的水体以150米的浪高通过拱坝坝顶冲向下游，从滑坡开始到下游地区被冲毁，总共只经历了七分钟，毁灭了一座城市和几个小镇，死亡3000人。因此，对一个水利工作者来说，在进行枢纽规划、勘测、设计、施工管理等过程中，都必须以高度负责的精神，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，以确保工程安全。

四、水利枢纽分等和水工建筑物的分级

水利工程的特点是：工程量大、投资多、工期长、施工条件复杂、影响面大、需要考虑的因素多，有些技术问题至今仍处在发展阶段。工程建成后，可以为社会主义建设创造巨大的物质财富，给人民带来幸福生活，然而，一旦工程失事，又会给下游人民造成很大的灾难。为了使工程安全和工程造价合理地统一起来，应先对水利枢纽按其规模、效益及其在国民经济中的重要性分等；然后，再将枢纽中的不同建筑物按其作用和重要性分级。建筑物的级别不同，对它们的设计和施工要求也各异，级别高的，要求高，级别低的则可适当降低要求。这种分等分级、区别对待的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，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划分为五等，如表1-1所示。

表 1-1 水利水电枢纽工程的分等指标

工程 等别	工程 规 模	分 等 指 标				
		水库总库容 (亿立方米)	防 洪		灌 溉 面 积 (万亩)	水电站装机 容 量 (万千瓦)
			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

注 (1)总库容指校核洪水位以下的水库库容。
(2)分等指标中有关防洪、灌溉两项系指防洪或灌溉工程系统中的重要骨干工程。
(3)灌溉面积系指设计灌溉面积。

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

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，体现区别对待的精神，对不同级别的建筑物，在以下几个方面应有不同的要求：

表 1-2 水工建筑物级别的划分

工程等别	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	

注 (1)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。
(2)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。

(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。但遇下述情况，经过论证，可以提高建筑物的级别：坝高超过一定限度；建筑物的工程地质条件特别复杂或采用实践经验较少的新坝型、新型结构时；综合利用的枢纽工程，如按库容和不同用途的分等指标，其中有两项接近同一等别的上限时，其共同

的主要建筑物可提高一级；当临时性水工建筑物失事，将使下游城镇、工矿区或其它国民经济部门造成严重灾害或严重影响工程施工时，可提高一级或两级。而对水头较低，其它条件较好，失事后不致造成重大损失的建筑物，则可适当降低级别。

《水工建筑物》是一门专业课，涉及的知识面很广，与以前学过的各门课程和即将学习的《水电站》及《水利工程施工》都有密切联系。另外，水工建筑物型式多种多样，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，进而学会并掌握水工建筑物的设计原则和方法。据此，本课程的重点在于讲述挡水建筑物中的几种有代表性的坝型（如重力坝，土石坝）和水闸、溢洪道及泄水建筑物等。其它部分只作简要叙述。

第二章 岩基上的重力坝

第一节 概 述

重力坝的修建已有悠久的历史。早先重力坝是用石灰浆一类的粘结料浆砌块石筑成的；自从有了水泥，大型重力坝大多数用混凝土修筑；中小型工程中的重力坝也有很多是用水泥砂浆浆砌块石修建的。重力坝结构简单，工作可靠，至今仍是被广泛采用的一种挡水建筑物。

一、岩基上重力坝的特点

岩基上的重力坝依靠其自身重量 W 在地基上产生的摩擦力以及坝与地基面间的粘结力 F 来抵抗坝前的水推力 P 。当坝的上游面适当倾斜时，还可利用坝面上一部分水重 Q 来维持坝的抗滑稳定（图2-1）。

重力坝常沿坝轴线用横缝分成若干个坝段，结构形式类似悬臂梁。坝前水压力 P 在坝的水平截面上所产生的力矩将在坝体上游部分产生拉应力，而在坝体下游部分产生压应力（图2-1, a ）。混凝土（或浆砌石）的抗拉强度很低，在重力坝坝体内一般不允许出现拉应力。因此，由坝体重量所产生的压应力（图2-1, b ）应足以抵消由于水压力而产生的拉应力（图2-1, c ）。

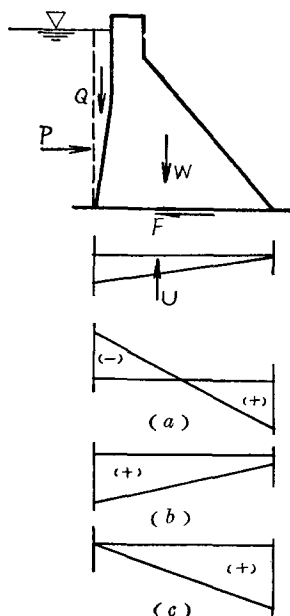


图 2-1 重力坝工作原理示意图

坝的地基和坝体材料在某种程度上都是可以透水的。水渗入地基或坝体内便形成孔隙水压力。对于上部坝体来说，分布于水平截面上的孔隙水压力方向是朝上的，所以又叫做“扬压力”（图2-1中的 U ）。扬压力抵消了一部分坝体的重量，对坝的稳定不利；同时它也减小了上游面的压应力，甚至变为拉应力，故对坝体的应力情况也不利。扬压力的形成及影响因素都比较复杂，经过长期的观测研究，现已对它有了一定的了解，并有了控制它的方法。

一般认为，上述抗滑稳定及无拉应力原则是保证重力坝安全工作的两个主要条件。对于这两个条件，不仅在坝基截面上要满足，在坝体的任何水平截面上也必须满足。重力坝断面的理论形状是三角形，近代修建的许多重力坝剖面也都接近这个形状。

重力坝和其它常见的坝型比较起来有如下一些