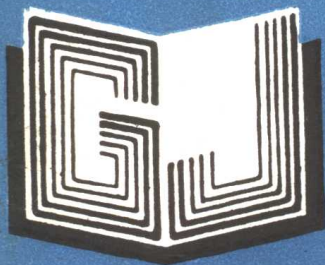


964595



TV6
4749

高等学校教材
专科适用

水工建筑物



河北水利专科学校 胡荣辉

黑龙江水利专科学校 张五禄

合编



前 言

本书根据水利电力部1988年11月在南昌召开的教材工作会议的精神编写的，本书作为水工、农水二专业专科的通用教材。1989年5月《水工建筑物》教材编写会议通过的编写大纲编写。经泰安会议和杭州统稿会再次讨论修改，最后将原定11章改为10章。教材内容力求面向地方，针对中、小型工程，贯彻“少而精”原则，突出重点和讲究实用。鉴于水工建筑物的管理部分内容，已另有专门教材，本书不另列章节叙述。

本书由河北水利专科学校等六校分工执笔编写。河北水利专科学校胡荣辉编写第1、7和8章，南昌水利水电专科学校李滨孙编写第2章、第3章第8节和第6章第3~6节；浙江水利水电专科学校常浚江编写第3章第1~7节和第9章第1~2节；黑龙江水利专科学校张五禄编写第4~5章；江苏水利专科学校严文群编写第6章第1、2、7节、第9章第3~5节、第10章第6节；山东水利专科学校姜锡强编写第10章第1~5节。

本书由河北水利专科学校胡荣辉统稿，并定稿。河北水利专科学校陈卫祖担任本书稿主审，提出了很多具体修改意见，对提高本书质量起了很大作用。

本书的清校样经河北水利专科学校胡荣辉和黑龙江水利专科学校张五禄共同审阅。

由于我们水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，诚望广大读者批评指正。

编 者

1992年6月

EAE/0105

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 我国的水利工程建设	1
第二节 水利枢纽和水工建筑物	2
第三节 本课程的内容和学习方法	7
第二章 重力坝	9
第一节 概述	9
第二节 重力坝的荷载及其组合	10
第三节 重力坝的抗滑稳定分析	21
第四节 重力坝的应力分析	25
第五节 非溢流重力坝的剖面设计	31
第六节 溢流重力坝	35
第七节 重力坝的深式泄水孔	47
第八节 重力坝的材料及构造	54
第九节 重力坝的地基处理	63
第十节 其它型式重力坝	68
第三章 拱坝与支墩坝	76
第一节 概述	76
第二节 拱坝的布置	83
第三节 拱坝应力分析的方法、荷载及地基变形位移计算	93
第四节 拱坝应力分析的纯拱法和拱冠梁法	105
第五节 拱坝坝肩稳定分析	121
第六节 拱坝坝身泄洪的特点	128
第七节 拱坝构造及地基处理的特点	134
第八节 支墩坝	141
第四章 土石坝	149
第一节 概述	149
第二节 土石坝剖面的基本尺寸	153
第三节 土石坝的渗流分析	157
第四节 土石坝的稳定分析	170
第五节 土料选择与填土标准确定	182
第六节 土石坝的构造	185
第七节 土石坝的地基处理	195
第八节 土石坝与地基、岸坡及其它建筑物的连接	203
第九节 土石坝裂缝及其控制	205
第十节 土石坝坝型比较	210

第五章 河岸溢洪道	213
第一节 概述	213
第二节 正槽溢洪道	215
第三节 侧槽溢洪道	227
第四节 非常泄洪措施	230
第六章 水工隧洞与坝下埋管	233
第一节 水工隧洞的类型、工作特点及工程布置	233
第二节 隧洞的进出口建筑物	236
第三节 隧洞洞身的型式、构造	243
第四节 作用在隧洞衬砌上的荷载	248
第五节 圆形有压隧洞的衬砌计算	253
第六节 隧洞的喷锚衬砌	264
第七节 坝下埋管	268
第七章 水闸	280
第一节 概述	280
第二节 闸孔设计	283
第三节 水闸的消能防冲	285
第四节 水闸的防渗排水设计	293
第五节 闸室的布置与构造	303
第六节 闸室稳定、沉降及地基处理	310
第七节 闸室结构计算	319
第八节 水闸的两岸连接建筑物	327
第九节 其它型式水闸	334
第八章 闸门与启闭机	344
第一节 概述	344
第二节 闸门的布置与构造	345
第三节 启闭力和启闭机	354
第九章 水利枢纽	358
第一节 水利枢纽设计的阶段、任务与内容	358
第二节 蓄水枢纽	359
第三节 引水枢纽	366
第四节 沉沙池	379
第五节 水利枢纽中的过坝建筑物	383
第十章 渠系建筑物	393
第一节 渡槽	393
第二节 倒虹吸管	424
第三节 涵洞	436
第四节 渠道上的桥梁	441
第五节 跌水和陡坡	456
第六节 量水设施	462
主要参考文献	469

第一章 绪 论

第一节 我国的水利工程建设

一、我国的水利资源

我国幅员辽阔、河流纵横。据统计,全国大小河流总长度42万km,流域面积在1000km²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。水能总蕴藏量达6.8亿kW,其中可开发利用的约为3.8亿kW,均居世界首位,是世界上水能资源最丰富的国家之一。由于我国人口众多,水资源总量虽名列前茅,但人均年径流量仅2400m³,少于世界上许多国家。另外,我国水资源在时间和地区上的分布也极不均匀。长江以南年降雨量达1000mm以上,而华北平原只500~600mm;南方长江、钱塘江、珠江三大河的平均年径流量为北方黄、淮、海、松、辽五大河的5倍多,其中长江的年径流量近万亿m³,而长度与它相差无几的黄河年径流量只及它的1/15。我国水资源在年内和年际之间分布也极不均匀,如不采取治水措施,不但丰富的水资源无从开发利用,而且极易出现洪旱灾害,影响国计民生。

二、我国水利工程建设成就与发展概况

几千年来,勤劳勇敢的中国人民曾为治理水患、开发水利进行过长期的斗争,取得了光辉业绩,积累了宝贵的经验。相传4000年前的大禹治水,及以后的数千年中对黄河堤防的建设和加固,迄今已有1800km黄河大堤;从公元前485年开始兴建到公元1292年建成,贯通南北长达1794km的京杭大运河;公元前200多年秦代建成的四川都江堰分洪灌溉工程,以及引泾水的郑国渠、引黄河水的秦渠、汉渠等历史成就,都是我国劳动人民智慧的结晶,在繁荣我国经济、发展祖国文化等方面都起到了很好的作用。但由于长期的封建统治,尤其是近百年来又遭帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫,致使社会生产力低下,水利资源没有得到很好的开发利用,甚至造成水利工程长期失修,频繁出现水旱灾害。解放前有文字记载的几千年中,几乎平均每年有一次较大的水灾或旱灾。

新中国成立40年来,我国的水利事业有了巨大的发展,全国已建成水库8.28万座,总库容1617亿m³。其中:大型水库358座,总库容3357亿m³。中型水库2480座,总库容688亿m³。塘坝619万座,总蓄水量260亿m³;水电装机由1949年的16万kW,增加到3458kW;机电排灌动力由7.0万kW发展到6635万kW;灌溉面积由1949年的2.4亿亩增加到7.2亿亩;整修和兴修了21万km的堤防,开辟了海河和淮河的排洪出路,并普遍疏浚整治了排水沟渠,使3.6亿亩的易涝面积中有2.8亿亩得到初步治理,1.1亿亩的盐碱地中有0.7亿亩的面积得到改良。这些水利工程,在历次的洪涝灾害中,尤其是在1991年的特大洪涝灾害中发挥了重大作用,大大减轻了灾害的程度。通过1991年洪涝灾害的教训,也说明了新中国成立以来我国对大江大河的治理,虽已做了不少工作,但还未彻底根除水患。国家决定在

“八五”、“九五”期间，要进一步加强对大江大河的治理。具体内容有：1.实施太湖流域综合治理总体规划。“八五”期间解决好太湖洪水的出路问题。2.淮河流域继续贯彻“以泄为主、蓄泄兼筹”的方针，加快治理进度，用5年或更长一点时间完成淮河进一步治理的任务。3.根治长江、黄河洪水灾害的三峡工程和小浪底水库工程，在经过多方面的论证的基础上，也将被提上议事日程。4.其它江河（海河、松花江和辽河等）的治理，也将按规划要求，分批分期加高加固堤防，清除行洪障碍，进一步提高行洪能力。

水利工程建设的迅速发展，也促进了水利科学技术水平的普及和提高。在坝工建设方面，根据我国自然、经济和历史的条件，土石坝是我国修建最多的一种坝型，已建成的六万多座，占全国水坝总数的95%以上。土石坝建设中广泛采用了各种土料筑坝，以尽量就地取材。在筑坝方法上除一般的碾压筑坝外，有的地区还采用了水中填土筑坝、水中冲填筑坝和定向爆破筑坝等。水中填土坝最大坝高达60m，水力冲填坝最大坝高65m。我国还建成了大量土石混合坝，最高的土石坝为高达105m的陕西石头河大坝（世界上最高的为前苏联罗贡坝，高325m）。砌石坝在我国不仅数量多，且坝型也是多种多样，如实体重力坝、空腹重力坝、宽缝填碴坝、硬壳坝、拱坝、连拱坝、大头坝、浆砌石堆石混合坝和混凝土浆砌石混合坝等，已建成的最高砌石重力拱坝高达101m（印度纳加琼纳萨格坝高125m）。在修建当地材料坝同时，还修建了各种类型的混凝土坝，最高的刘家峡混凝土重力坝高达147m（瑞士狄克桑斯坝高285m），龙羊峡拱坝高达175m（前苏联在建的英古里坝高272m，我国在建的拉瓦西坝高252m）。

在渠系建筑物方面，新中国成立以来不仅修建的数量多，还涌现了不少新的结构型式和新技术。如双曲拱、桁架拱渡槽；各种拱形、薄壳形及预应力空心板式上部结构的农桥；预应力钢筋混凝土高压倒虹吸管等。建闸技术上，在结构轻型化和施工预制装配化方面都有一定进展，各地都建有不同型式的水力自控闸门和不同结构型式的钢丝网水泥闸门等。

另外，遥测、遥讯、遥控、电子计算机等先进技术逐步在水利工程中应用，均使我国的水利工程设计、科研和管理跃上新台阶。

第二节 水利枢纽和水利建筑物

为改变自然水在地区和时间上分布不均匀的状况，以达到防治水旱灾害、开发水利资源，满足国民经济各部门的不同需要，常需兴修水利工程。水利工程中采用的各种建筑物称为水利建筑物。由于自然条件和水利资源开发利用的要求不同，有的工程只建单个水利建筑物，如只修建排水闸、分洪闸等；有的工程则需修建多个建筑物，为了充分利用水利资源或兼顾防洪而集中兴建，协同运行的若干水利建筑物的群体称为水利枢纽。

一、水利枢纽类别

水利枢纽按其作用可分为蓄水（水库）枢纽和引水枢纽。当河道中的流量和水位在各年间及年内变化较大，不能满足用水要求时，常需在河道上修建拦河坝挡水，形成水库，以调节流量并壅高水位。水库除修建拦河坝外，为保证大坝的安全，还需修建溢洪道、泄洪洞或泄水孔等泄水建筑物，以及放水隧洞或放水孔等放水建筑物。拦河坝、泄水建筑物

和放水建筑物组成蓄水枢纽。蓄水枢纽除上述“三大件”外，还可根据需要，设置一些专门性建筑物，如水电站、船闸、鱼道等。

当河道来水流量能满足需要，但水位较低；或河水位能满足要求，但引取河水的相对流量较大时，则需修建拦河闸，以壅高上游水位、保证引水；壅水闸（坝）高度一般较小，闸（坝）前库容不大，不能调节径流量。除此之外，根据工程需要设进水闸、防砂设施和发电、通航、过鱼、过木等专门建筑物，这些与壅水闸（坝）组成在一起的综合体，称有坝引水枢纽；如河道流量和水位均能满足引水要求，河道中不设壅水闸（坝）的引水枢纽，称无坝引水枢纽。

二、水工建筑物的类别

水工建筑物种类较多，按其在工程中作用分类有：挡水或壅水建筑物，如闸、坝、堤防及各种拦截河流并承受一定水头的建筑物；泄水建筑物，如溢洪道、泄水孔、泄洪隧洞等；取水建筑物，如进水闸、水泵站等；渠系建筑物，如输水渠道、隧洞、埋管及渡槽等；整治建筑物，如导流堤、丁坝、顺坝、护岸护底等；专用建筑物，有压力前池、调压室、水电站、船闸、鱼道、筏道等。

按其在工程中使用时间分类有：永久性建筑物和临时性建筑物。永久性建筑物是指工程长期运行的建筑物。根据其重要性又分为主要和次要建筑物，前者指工程失事后将严重影响工程效益或使下游造成灾害，如坝、闸、泄洪建筑物及电站厂房等；后者系指工程失事后不致造成下游灾害或对工程效益影响不大，且易于修复的，如挡土墙、导水堤（墙）及护岸等。临时性建筑物系指工程施工期间使用的建筑物，如围堰和导流建筑物等。

三、水工建筑物的特点

水工建筑物与其它土木建筑物相比，有如下特点：

1. 在水压力下工作条件的复杂性

水工建筑物在水中工作，挡水时建筑物将承受静水压力，其压力大小随建筑物上下游水头差的加大而剧增。此外，还将因风浪和地震而承受附加的浪压力和地震的水压力，对建筑物稳定产生不利影响；泄水时往往因高速水流使建筑物产生振动和空蚀，对下游河床也将产生冲刷，严重影响建筑物的安全；在上下游水头差作用下，水将在建筑物及其地基和两岸产生渗流。渗流将减轻建筑物的有效重量，对稳定不利，而且会引起地基的渗透变形破坏，招致失事。

2. 水工建筑物的独特性

水工建筑物的型式、构造和尺寸与建筑物所在地的地形、地质、水文等条件密切相关，尤以地质条件对建筑物的型式、尺寸和造价的影响更大。由于各个地区情况不同，加上自然条件千差万别，因而水工建筑物具有较大的独特性，除非特别小的建筑物，一般不能采用定型设计。但水工建筑物中某些结构部件的标准化，还是必需和可能的。

3. 施工条件的艰巨性

水工建筑物施工条件比其它土建工程要复杂和困难得多。首先要把拟要施工的河床，处于无水状态，进行施工导流，如果这项工作处理不好会影响施工，甚至延误工期，其次是往往要进行很深的水下基坑开挖和复杂的地基处理；对于挡水建筑物还要求在有限的时间

间内，将工程抢修到特定高程，以保证汛期拦洪，这些都给工程带来紧迫性和艰巨性。

4. 工程与周围环境的相关性

水利工程是除水害兴水利的有力工具，它不仅可以免除洪水灾害、水力发电、改善航运条件、改良农田灌溉与排水，同时由于工程的兴建和运用，对周围的自然环境和社会环境也将产生影响。工程将改变河流的水文、地质和小区气候状况，对河流中生物，如水中细菌、藻类、鱼类等水生动物以及沿岸植物，生长繁殖均产生影响，也即对沿河两岸生态环境产生影响。另外，由于工程的实施，占用土地、库区淹没，而引起人口迁移和对人群的健康、文物古迹和矿藏资源等产生影响。因此，为了合理利用水、土等资源，保护环境和促进环境质量的提高，保持生态平衡，在进行水利工程规划、设计时，必须同时考虑工程实施后可能引起的自然环境和社会环境的改变影响，研究提出技术、经济和环境各指标最优的工程实施方案，以对国民经济最有利，而对环境不利影响减小到最小的程度。

另外，还必须考虑其失事的后果是非常严重的。特别是较高的堤坝一旦溃决，会给两岸或下游造成灾难性乃至毁灭性的后果，在这方面国内外都有惨痛的教训。因此，在进行工程勘测、设计、施工和管理中，必须要以高度的负责精神，认真对待工作，以确保工程质量和安全。

四、水利工程的等别和水工建筑物的级别

水利工程的等级划分及设计标准，关系到工程及下游人民生命财产和经济建设的安全，也关系到工程造价和建设速度等各个方面。根据我国《水利水电枢纽工程等别划分及设计标准》(试行)规定，水利水电枢纽工程按其工程规模、效益和在国民经济中的重要性划分为五等，等别按表1-1、表1-2确定。

表 1-1 水利水电枢纽工程分等指标(山区、丘陵部分)

工程 等 别	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	$10\sim 1$	重要城市、工矿区	$500\sim 100$	$150\sim 50$	$75\sim 25$
三	中 型	$1\sim 0.1$	中等城市、工矿区	$100\sim 30$	$50\sim 5$	$25\sim 2.5$
四	小(1)型	$0.1\sim 0.01$	一般城市、工矿区	<30	$5\sim 0.5$	$2.5\sim 0.05$
五	小(2)型	$0.01\sim 0.001$			<0.5	<0.05

- 注 1.总库容系指校核洪水位以下的水库静库容;
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。

综合利用的水利水电枢纽工程，当分等指标分属几个不同的等别时，整个枢纽工程的等别应以其中的最高等别为准。

位于堤防上的水工建筑物等别，应不低于堤防等级。

规模巨大且在国民经济中占有特别重要地位的水利水电枢纽工程，经上级领导部门批准，其等别与设计标准另行确定。

表 1-2

水利水电枢纽工程分等指标(平原、海滨部分)

工程 等别	工程规模	水库总库容 (亿m ³)	防 洪		排 涝	灌 溉	供 水	水电站
			保护城镇及工矿区	保护农田面积 (万亩)	排涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	供给城镇 及工矿区	装机容量 (万kW)
一	大(1)型	>10	特别重要	>500	>200	>150	特别重要	
二	大(2)型	10~1.0	重 要	500~100	200~60	150~50	重 要	
三	中 型	1.0~0.1	中 等	100~30	60~15	50~5	中 等	25~2.5
四	小(1)型	0.1~0.01	一 般	30~5	15~3	5~0.5	一 般	2.5~0.05
五	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<0.05

注 1.总库容指校核洪水位以下的静库容;

2.灌溉面积和排涝面积均系指设计面积;

3.挡潮工程的等别参照防洪工程规定划分,在潮灾特别严重地区其工程等别可适当提高;

4.供水工程重要性应根据城市及工矿区的工业和生活供水规模、经济效益和社会效益分析确定。

水利水电枢纽工程的水工建筑物,根据其所属工程的等别及其在工程中的作用和重要性分为五级,级别按表1-3确定。

按表1-3确定水工建筑物的级别时,如该建筑物同时具有几种用途,应根据其中所属最高等别确定其级别;仅有一种用途的水工建筑物,应根据该项用途所属等别确定其级别。

表 1-3 水工建筑物级别划分

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	

不同级别的水工建筑物,在以下四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 如选用的品种、质量、标号及耐久性;

(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。

在同一级别的水工建筑物中,当采用不同型式时,其要求也可有所不同。

对于二至五等的工程,在下述情况下,经过论证,可提高其主要建筑物的级别。

1) 水库的大坝,其坝高超过表1-4者,可提高一级,但洪水标准不予提高;

表 1-4

水库大坝提级的指标

坝 的 原 级 别		2	3	4	5
坝 高 (m)	土坝、堆石坝、干砌石坝	90	70	50	30
	混凝土坝、浆砌石坝	130	100	70	40

2) 当水工建筑物的地质条件特别复杂或采用实践较少的新坝型、新结构时,可提高一级,但洪水标准不予提高;

3) 综合利用的水利枢纽工程, 如按库容和不同用途的分等指标, 其中有两项接近同一级别的上限时, 其共用的主要建筑物可提高一级;

4) 平原、滨海工程位置特别重要, 失事后将造成重大灾害者, 可适当提高。

临时性水工建筑物, 如一旦失事将造成严重灾害或严重影响工程施工时, 可提高一级或二级。对于低水头或失事后损失不大的水利水电枢纽工程, 经过论证, 其水工建筑物可适当降低级别。

五、设计洪水标准

1. 永久性水工建筑物的设计洪水标准

设计永久性水工建筑物所采用的洪水标准, 分为正常运用(设计)和非常运用(校核)两种情况。正常运用和非常运用的洪水标准, 应根据工程规模、重要性和基本资料等情况, 在表1-5规定的幅度内分析确定。

表 1-5 永久性挡水和泄水建筑物洪水标准

建 筑 物 级 别			1	2	3	4	5
洪 水 重 现 期 (年)	正 常 运 用	山区、丘陵区	500	100	50	30	20
		平原、滨海区					
		水库枢纽	300~100	100~50	50~20	20~10	10
		拦河闸枢纽	100~50	50~30	30~20	20~10	<10
	非 常 运 用	山区、丘陵区	土石坝、干砌石坝	10000或可能最大洪水	2000	1000	500
			混凝土坝浆砌石坝	5000	1000	500	200
		平原、滨海区	水库枢纽	2000~1000	1000~300	300~100	100~50
			拦河闸枢纽	300~200	200~100	100~50	50~20

注 1. 水电站、灌溉建筑物(相当4、5级), 根据具体情况可以适当降低标准;

2. 当采用土石坝时, 失事后对下游将造成特别重大灾害的一级永久性挡水和泄水建筑物的非常运用洪水标准应采用可能最大洪水, 2~4级建筑物非常运用洪水标准可提高一级, 但二级挡水和泄水建筑物只提高到10000年一遇;

3. 采用混凝土坝的一级建筑物, 当洪水漫顶可能造成严重损失时, 经专门论证并报上级主管部门批准, 可以10000年一遇洪水作为非常运用洪水标准;

4. 低水头或失事后损失不大的水利水电枢纽工程的永久性挡水和泄水建筑物, 经专门论证和上级主管部门批准, 其非常运用洪水标准, 可以降低一级。

水利水电枢纽工程的泄洪设施, 在有条件时, 可分为正常和非常设施两部分。宣泄正常运用洪水时, 泄洪设施应保证安全和正常运行。宣泄非常运用洪水时, 泄洪设施应保证满足泄量的要求, 可允许消能设施和次要建筑物部分破坏, 但不应影响枢纽工程主要建筑物的安全或发生河流改道等重大灾害性后果。

平原地区河道堤上建筑物的洪水标准, 应不低于该段堤防的洪水标准。

潮汐河口段水利水电枢纽工程的潮水标准, 应根据防护对象的重要性、工程规模和洪潮灾害情况, 结合历史最高潮水位参照表1-6分析确定。

表 1-6 潮汐河口段水利水电枢纽工程潮水标准

建 筑 物 级 别	1	2	3	4、5
潮水位重现期(年)	>100	100~50	50~20	20~10

2. 临时性水工建筑物的设计洪水标准

平原地区临时性水工建筑物的洪水标准，应根据被保护工程的结构特点、工期长短、淹没影响及河流水文特性等情况，按表1-7分析确定。山区临时性水工建筑物的洪水标准，按有关专业规范确定。

表 1-7 平原临时性水工建筑物洪水标准

临时性建筑物类型	临时性水工建筑物级别			
	2	3	4	5
	洪水重现期 (年)			
土石建筑物	>25	25~15	15~10	10~5
混凝土、浆砌石建筑物	>10	10~5	5~3	3

山区坝体施工期临时渡汛的洪水标准，应根据坝体升高而形成的拦洪蓄水库容，一般在表1-8规定的幅度内分析确定。根据失事后对下游的影响，还可适当提高或降低洪水标准。

表 1-8 坝体施工期临时渡汛的洪水标准

坝 型	拦洪库容 (亿m ³)		
	>1.0	1.0~0.1	<0.1
	洪水重现期 (年)		
土石坝、干砌石坝	>100	100~50	50~20
混凝土坝、浆砌石坝	>50	50~20	20~10

六、堤坝顶安全超高

非溢流堤坝（包括水闸和挡水围埝）顶安全超高应不小于表1-9数值。

表 1-9 非溢流堤坝顶的安全超高下限值

堤坝类型及运用情况		堤 坝 级 别			
		1	2	3	4、5
		安全超高 (m)			
土坝、土堤	正 常	1.5	1.0	0.7	0.5
	非 常	1.0	0.7	0.5	0.3
混凝土闸坝、浆砌块石闸坝	正 常	0.7	0.5	0.4	0.3
	非 常	0.5	0.4	0.3	0.2

- 注 1. 堤坝顶的安全超高是指波浪计算高以上，距离堤坝顶的高度；
 2. 波浪高的计算按有关专业规范确定；
 3. 正常运用的水位，指正常高水位或设计洪水位；非常运用的水位，指校核洪水位；
 4. 如堤坝顶设有稳定、坚固和不透水且与堤坝防渗体紧密结合的防浪堤时，则表中安全超高可改为对防浪堤顶的要求，但堤坝顶不得低于非常运用时静水位。

第三节 本课程的内容和学习方法

本课程是一门综合性和实践性很强的专业课。课程涉及的知识面很广，要综合、运用基础理论，并通过作业、实验、实习和设计等环节的锻炼，才能逐步掌握水工建筑物的设

计原理和方法，并为施工管理工作打下基础。

本课程的基本内容是：介绍一般性水工建筑物的型式、构造和特点；基本尺寸和工程布置；建筑物的工作条件、荷载和设计条件的选择；水力、渗流计算和稳定与强度分析。学习应着重于了解建筑物的型式、构造、特点和工作条件，掌握其工程布置、基本尺寸的拟定以及设计计算的原理、方法和步骤。水工建筑物种类繁多，型式又是多种多样，在学习过程中，只能通过几种典型建筑物的分析，了解水工建筑物设计的一般规律和方法。

由于水工建筑物所受荷载和工作条件的复杂性，设计中有不少问题尚不能完全用理论分析方法解决，工程上常用类比法和方案比较法予以解决。即比照条件相似而工作良好的已建工程的设计，借鉴其有关尺寸和参数于设计工程中，并对设计工程拟定若干方案进行技术经济比较，以选定最优方案。大型和重要的工程，除进行设计计算外，还需要通过模型试验研究进行论证，或进一步通过实地原型观测，以验证理论分析和试验研究的成果，并指导下一步的实践。这些也是研究水工建筑物的重要方法。

第二章 重 力 坝

第一节 概 述

重力坝在水压力作用下，主要依靠坝体重力所产生的抗滑力来保持稳定，因此得名。它可以用混凝土浇筑而成；也可以用水泥砂浆（或细石混凝土）砌块石构筑。由于混凝土和浆砌石具有耐水流冲刷的能力，所以，重力坝既可以做成非溢流的，也可以做成溢流的，如图2-1所示。

由于重力坝工作可靠，便于布置泄水建筑物，便于施工导流，特别是混凝土重力坝便于机械化施工，因而，在水利工程中得到广泛的应用。

一、重力坝的特点

1) 重力坝剖面尺寸大，筑坝材料用量较多，坝体边缘应力较大，坝内应力较小，坝体材料强度不能充分发挥。因而坝体不同部位可以分别采用不同强度等级的材料，以降低坝体的工程造价。

2) 坝体与坝基的接触面积大，坝体承受的扬压力较大，抵消了坝体的部分重力，对坝体的稳定不利。因此必须采取各种有效措施削减扬压力，以减小坝体剖面尺寸。

3) 重力坝坝体重力大，加上坝体承受的水压力和其它荷载的共同作用，使坝体传给地基的压应力较大，一般都要修建在岩基上。因此对基岩的地质构造和物理力学性质应有清楚的了解，以便对坝基进行处理加固。重力坝对地基的要求比土石坝高，比拱坝和轻型坝低。低矮的小型重力坝经论证也可修建在非岩石地基上。

4) 重力坝断面大，坝体材料抗冲能力强，适于在坝顶溢流和在坝身设置泄水孔。因此，在重力坝蓄水枢纽中可以不另设坝外溢洪道，在施工期也可以利用坝体导流，一般不需要另开导流隧洞，对洪水流量较大的河道具有明显的优越性。

5) 重力坝沿坝轴线用横缝分成若干坝段，各坝段独立工作，结构受力状态比拱坝和轻型坝明确。

6) 混凝土重力坝是用混凝土浇筑而成的，坝体混凝土用量大，需立模浇筑。其坝体混凝土在凝结过程中要产生水化热，施工期混凝土的温度应力和收缩应力较大，有时可能造成坝体裂缝，故一般要采取温度控制和散热措施。

浆砌石重力坝坝内温度应力和收缩应力较小，但也应予以一定的重视。由于这种坝型便于就地取材，施工操作简易，且易为群众掌握，故在中小型工程中亦得到广泛的应用。

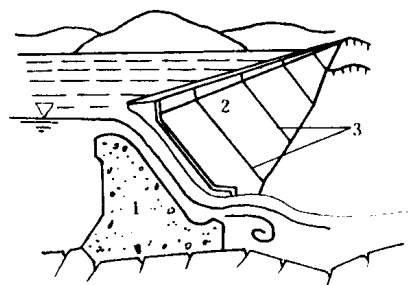


图 2-1 重力坝示意图

1—溢流坝段；2—非溢流坝段；3—横缝

二、重力坝的类型

(1) 按坝的高度分类 坝高低于30m的为低坝；大于70m的为高坝；介于30~70m的为中等高度的坝。坝高系指坝基最低面（不包括局部深槽或井、洞）至坝顶路面的高度。高坝和低坝在设计内容、设计方法和设计要求等方面不尽相同。

(2) 按筑坝材料分类 可分为混凝土重力坝和浆砌石重力坝。

(3) 按泄水条件分类 可分为溢流重力坝和非溢流重力坝。坝体内设有泄水孔的坝段和溢流坝段统称为泄水坝段；非溢流坝段也叫做挡水坝段（图2-1）。

(4) 按坝体剖面结构型式分类 可分为实体重力坝、宽缝重力坝、腹孔重力坝、预应力锚固重力坝、装配式重力坝，如图2-2。

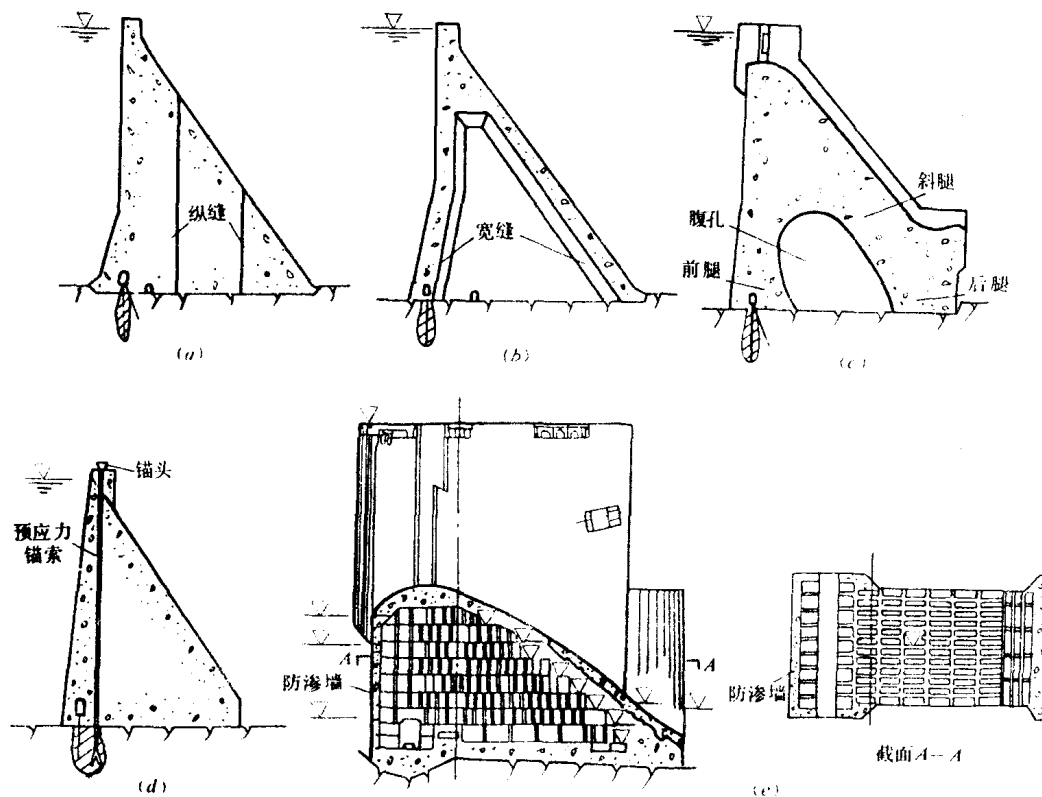


图 2-2 重力坝的型式

(a) 实体重力坝；(b) 宽缝重力坝；(c) 腹孔重力坝；(d) 预应力锚固重力坝；(e) 装配式重力坝

第二节 重力坝的荷载及其组合

作用在重力坝上的荷载主要有：①重力；②静水压力和动水压力；③扬压力；④泥沙压力；⑤浪压力；⑥冰压力；⑦地震荷载；⑧其它荷载。现分述如下：

一、重力坝的荷载

1. 重力

坝体重力是作用在重力坝上的主要荷载，其大小由坝体体积 V 与筑坝材料的容重 γ_s 的

乘积求得。在初步设计阶段或对中小型工程，混凝土的容重可取 $\gamma_k = 24 \text{ kN/m}^3$ ；浆砌块石的容重可取 $\gamma_k = 21 \sim 23 \text{ kN/m}^3$ 。在技施设计阶段，筑坝材料的容重应通过现场试验测定。

永久性的固定设备（如闸门、固定的启闭机等）的重力，在设计时都应计入。

2. 水压力

（1）静水压力 是作用在坝体表面的主要荷载，可按静水力学原理计算。为了计算方便起见，常将作用在坝面的水压力分为水平水压力 P_H 和垂直水压力 P_V 两部分计算，如图2-3所示。

（2）动水压力 溢流重力坝泄水时，在溢流坝面上作用有动水压力。下游反弧段 cd 上的动水压力（图2-4），可根据水流的动量方程求得。若假定水流为匀速流，忽略水重和

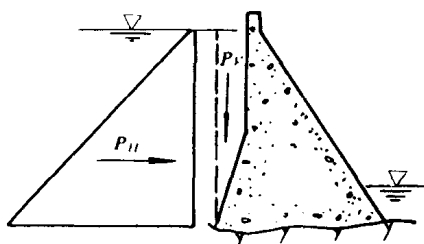


图 2-3 坝面静水压力计算图

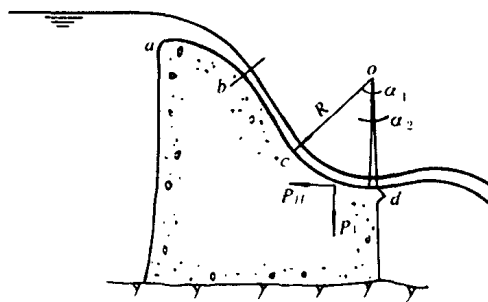


图 2-4 动水压力计算图

侧面水压力，则作用在单位坝长反弧段上的水平向动水压力 P_H 和竖向动水压力 P_V 可按下式计算：

$$P_H = \frac{\gamma_0 q}{g} v (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (2-1)$$

$$P_V = \frac{\gamma_0 q}{g} v (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \quad (2-2)$$

式中 γ_0 ——水的容重；

q ——单宽流量；

g ——重力加速度；

v ——反弧段上的平均流速；

α_1 、 α_2 ——反弧段 cd 的最低点至反弧两侧的弧段所对的中心角。

3. 扬压力

重力坝建成挡水后，在上、下游水位差的作用下，水将通过坝体、坝基和绕过两岸坝头向下游渗透。在某个截面上，由于渗透引起的水压力，称为渗透压力，由于下游水深引起的水压力称为浮托力，渗透压力与浮托力之和称为扬压力。下面讨论坝底与坝内扬压力。

（1）坝底扬压力 实体重力坝设计中采用的坝底扬压力分布图形，如图2-5所示。在上游坝踵 A 点，扬压力强度为 $\gamma_0 H_1$ ，下游坝趾 B 点的扬压力强度为 $\gamma_0 H_2$ ， H_1 、 H_2 分别为坝踵和坝趾处的水深， γ_0 为水的容重。

扬压力的分布情况与地质条件以及帷幕和排水的布置情况有关，下面分别讨论。

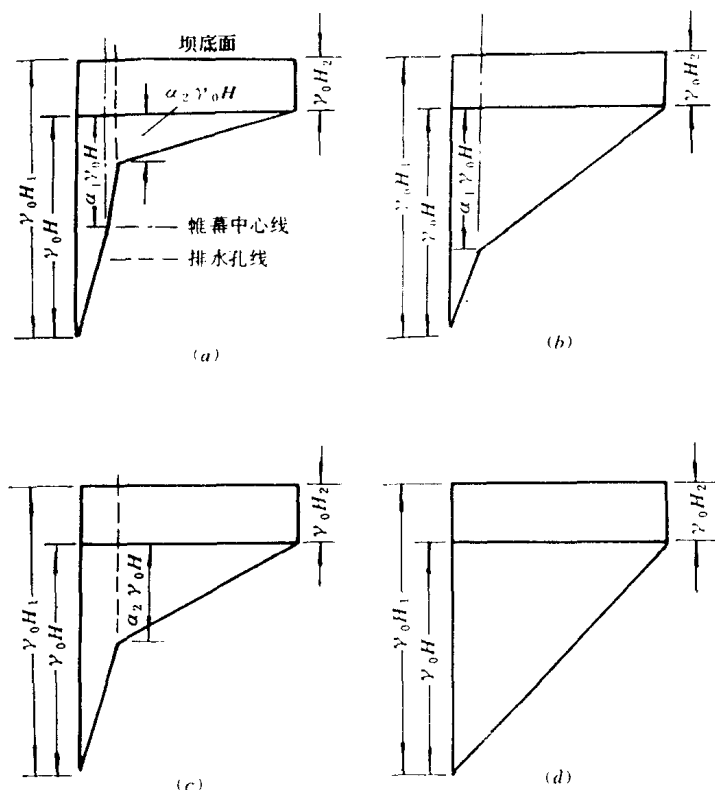


图 2-5 设计采用的坝底扬压力分布图

1) 坝基设有防渗帷幕和排水孔时, 帷幕中心线上的扬压力值为 $\gamma_0(H_2 + a_1 H)$, 排水孔线上的扬压力值为 $\gamma_0(H_2 + a_2 H)$, H 为上下游水位差, a_1 、 a_2 值根据坝基地质条件、防渗帷幕和排水设施情况拟定, 通常 a_1 值宜采用 0.45~0.6; a_2 值宜采用 0.2~0.4, 扬压力分布图形如图 2-5(a)。

2) 坝基设有防渗帷幕而不宜设置排水孔或排水孔的作用不宜考虑时, 帷幕中心线上的扬压力为 $\gamma_0(H_2 + a_1 H)$, a_1 值宜采用 0.5~0.7, 扬压力分布图形如图 2-5(b)。

3) 坝基地质条件良好, 未设防渗帷幕但设有排水孔时, 排水孔线上的扬压力为 $\gamma_0(H_2 + a_2 H)$, a_2 值宜采用 0.3~0.5, 扬压力分布图形如图 2-5(c)。

4) 坝基未设防渗帷幕和排水孔时, 扬压力分布图形如图 2-5(d)。

当坝基地质条件复杂, 例如坝基极不均匀, 具有明显的各向异性的渗透性, 或具有影响渗流流态的软弱夹层、破碎带等情况时, 扬压力分布图要视具体情况经研究论证后确定。

(2) 坝内扬压力 由于坝体存在着孔隙, 坝体也是透水的, 在上、下游水位差作用下, 产生坝体渗流, 引起坝内扬压力, 如图 2-6 所示。坝体扬

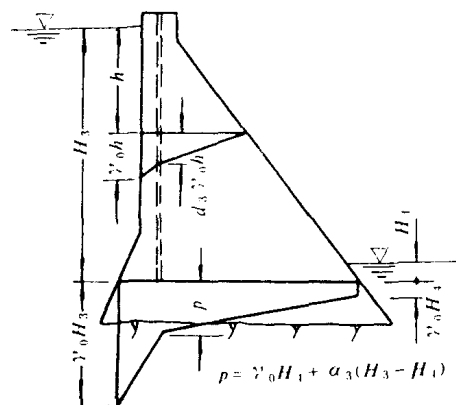


图 2-6 坝体水平截面上扬压力分布图

压力会影响坝内应力,甚至会使坝体上游边缘产生拉应力。为了减小坝内扬压力值,常在上游坝面附近3~5m范围内,提高混凝土的防渗性能,形成防渗层,并在防渗层后设置坝身排水管。

在计算实体重力坝计算截面上的扬压力时,先计算上游坝面处、排水管线处和下游坝面处三个控制点的扬压力值,按比例标在计算截面相应位置,其间用直线连接,即得该计算截面上的扬压力分布图。计算截面上游坝面处的扬压力强度为 $\gamma_0 H_3$;在坝体排水管线处扬压力强度为 $\gamma_0 H_4 + a_3 \gamma_0 (H_3 - H_4)$;下游坝面处的扬压力强度为 $\gamma_0 H_4$ (当计算截面位于下游水位以上时, $H_4 = 0$)。如坝内未设排水管时其上、下游坝面处扬压力强度不变,其间以直线连接,即得扬压力分布图。此处 H_3 为上游坝面处计算截面以上的上游水深; H_4 为下游坝面处计算截面以上的下游水深, γ_0 为水的容重, a_3 为排水管线处扬压力折减系数,规范^[12]建议采用 $a_3 = 0.15 \sim 0.3$ 。

4. 泥沙压力

水库建成后,入库水流挟带的泥沙逐渐淤积在水库内,淤积在坝前的泥沙对坝面产生压力。泥沙的淤积量和淤沙的内摩擦角随着水库的运用年限的增加而逐渐增大。计算时,可根据水库的淤积年限(对中、小型水库一般为20~50年)和水库的年平均淤沙量,估算出水库在规定的淤积年限内的淤沙总量,从水库的库容~高程关系曲线上查得淤沙高程,即可应用土压力公式计算泥沙压力:

$$p_n = \gamma_n h_n \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right) \quad (2-3)$$

式中 p_n ——作用在上游坝面任一点水平泥沙压力强度;

γ_n ——泥沙的浮容重;

φ_n ——泥沙的内摩擦角。对粗颗粒泥沙可取 $\varphi_n = 18^\circ \sim 20^\circ$;对较细的粘土质泥沙可取 $\varphi_n = 12^\circ \sim 14^\circ$;对极细的粘土或淤泥,取 $\varphi_n = 0$;

h_n ——计算点以上的泥沙深度。

当上游坝面倾斜时,作用在坝面上的铅直泥沙压力即为淤沙重力(图2-7)。

5. 浪压力

水库水面在风力作用下形成波浪,对坝面产生波浪压力。波浪压力大小与波高和波长有关。波高 h 系指波峰到波谷的高差;波长 λ 系指相邻两波峰或两波谷之间的距离(图2-8所示)。当波浪推进到坝前时,由于直立坝面的反射作用,发生驻波,其波高为 $2h$,而波长 λ 不变。

对于山区峡谷水库,库缘地势高峻,当风速在4~16m/s,吹程为1~13km时,可按

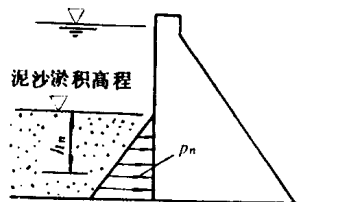


图 2-7 泥沙压力计算图

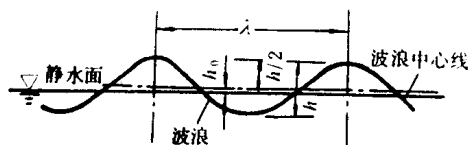


图 2-8 波浪几何要素图