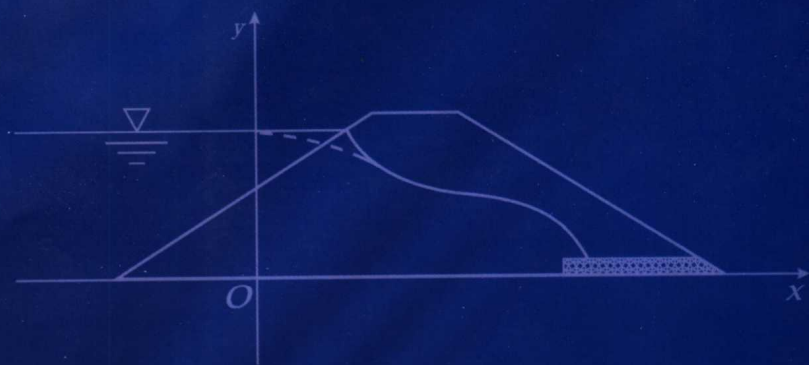


全国水利水电类高职高专统编教材

水工建筑物

郑万勇 杨振华 主编

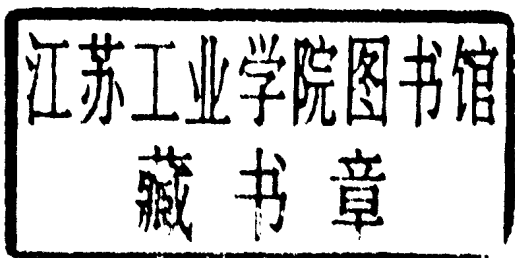


黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

水 工 建 筑 物

郑万勇 杨振华 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《水工建筑物》课程教学大纲编写完成的。全书内容共分9章,包括重力坝、拱坝、土石坝、水闸、河岸溢洪道、水工隧洞与坝下涵管、过坝建筑物、渠系建筑物、水利枢纽布置等。本书的编写全部采用新规范、新标准,广泛吸纳新技术,并针对高职高专教育的特点,突出实用性,注重理论知识的应用和学生实践能力的培养,结合教学改革实践,对课程内容进行了较大调整。

本书可供高等职业技术学院、普通高等专科学校水利水电工程、工程建设监理和水利工程等专业教学使用,也可作为其他相近专业的教学参考书,还可供水利水电工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物/郑万勇,杨振华主编. —郑州:黄河水利出版社,2003.8

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80621-710-X

I. 水… II. ①郑… ②杨… III. 水工建筑物-高等学校:技术学校-教材 IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 067267 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail: yrcp@public. zz. ha. cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:28.75

字数:664 千字

印数:1—4 100

版次:2003 年 8 月第 1 版

印次:2003 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-710-X/TV·325 定价:45.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的全国水利水电类高职高专统编教材。

《水工建筑物》是水利水电工程专业中一门主要理论与实践紧密结合的必修专业课,通过对本课程的基础知识、基本技能的学习,提高处理水利工程技术问题的能力,为今后从事本专业的技术工作打下坚实的基础。针对高职高专教育的特点,结合教学改革的实践经验,本书在编写过程中,按照突出实用性、突出理论知识的应用和有利于实践能力培养的原则,按照水利水电工程中的新规范、新标准、新技术要求,对课程内容进行了较大的调整。

本书全部采用新规范、新标准。编写时力求做到:基本概念准确;设计方法步骤清楚;各部分内容紧扣培养目标,相互协调,减少重复;文字简练,通俗易懂,不强调理论的系统性,努力避免贪多求全和高度浓缩的现象,以利于读者学习、实践和解决工程问题。为了开拓读者的思路,培养读者的创新能力,在阐述比较成熟的科学技术的同时,适当介绍水工结构发展的最新成果、存在问题和今后发展的方向。为利于读者理解、掌握和巩固专业知识和基本理论,本书的每章后均附有小结和复习思考题。

全书由黄河水利职业技术学院郑万勇、杨凌职业技术学院杨振华主编,长沙理工大学潘斌生、山西水利职业技术学院王自忠主审。本书的绪论、第一章由杨振华编写;第二章由长沙理工大学苏付安编写;第三章由安徽水利水电职业技术学院宋春发编写;第四章由沈阳农业大学高等职业技术学院谷云香编写;第五章、第九章由黑龙江水利高等专科学校杨革编写;第六章由四川水利职业技术学院岳江林编写;第七章、第八章由郑万勇编写。

本书在编写过程中,引用了大量的规范、专业文献和资料,未在书中一一注明出处,在此对有关作者表示感谢。并对所有热情支持和帮助本书编写工作的人员,表示感谢。

对书中存在的缺点和疏漏,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 4 月

目 录

绪 论	(1)
第一节 水资源与水利工程建设	(1)
第二节 水利枢纽与水工建筑物	(2)
第三节 现代水利水电工程的发展概况	(6)
本章小结	(8)
复习思考题	(8)
第一章 重力坝	(9)
第一节 概 述	(9)
第二节 重力坝上的作用及作用效应组合	(11)
第三节 重力坝的可靠度设计原理简介	(23)
第四节 重力坝的稳定计算与应力分析	(27)
第五节 重力坝的剖面设计	(40)
第六节 溢流重力坝	(43)
第七节 重力坝材料及构造	(51)
第八节 重力坝的地基处理	(57)
第九节 其他型式重力坝及轻型坝	(61)
本章小结	(67)
复习思考题	(67)
第二章 拱 坝	(69)
第一节 概 述	(69)
第二节 拱坝分类	(74)
第三节 拱坝的体形和布置	(76)
第四节 拱坝的荷载与荷载组合	(87)
第五节 拱坝的应力分析	(92)
第六节 拱座稳定分析	(103)
第七节 拱坝的坝身泄水	(108)
第八节 基础处理	(113)
第九节 坝内布置和构造	(115)
第十节 浆砌石拱坝	(118)
本章小结	(119)
复习思考题	(120)
第三章 土石坝	(122)
第一节 概 述	(122)

第二节	土石坝的基本剖面及构造·····	(125)
第三节	土石坝的渗流分析·····	(134)
第四节	土石坝的稳定分析·····	(145)
第五节	筑坝材料与填筑标准·····	(155)
第六节	土石坝的地基处理·····	(158)
第七节	土石坝与坝基、岸坡及其他建筑物的连接·····	(163)
第八节	堆石坝与土石混合坝·····	(165)
	本章小结·····	(168)
	复习思考题·····	(168)
第四章	水 闸·····	(170)
第一节	概 述·····	(170)
第二节	闸址选择与闸孔设计·····	(175)
第三节	消能防冲设计·····	(181)
第四节	防渗排水设计·····	(191)
第五节	闸室的布置与构造·····	(207)
第六节	闸门与启闭机·····	(214)
第七节	稳定计算及地基处理·····	(217)
第八节	闸室结构计算·····	(225)
第九节	两岸连接建筑物·····	(234)
	本章小结·····	(239)
	复习思考题·····	(240)
第五章	河岸溢洪道·····	(242)
第一节	概 述·····	(242)
第二节	河岸溢洪道的类型特点·····	(242)
第三节	开敞式正槽溢洪道·····	(245)
第四节	侧槽溢洪道及非常泄洪设施·····	(257)
	本章小结·····	(263)
	复习思考题·····	(263)
第六章	水工隧洞与坝下涵管·····	(265)
第一节	水工隧洞的类型、特点及组成·····	(265)
第二节	隧洞的线路选择及工程布置·····	(269)
第三节	隧洞的进出口建筑物·····	(271)
第四节	隧洞洞身的型式及构造·····	(276)
第五节	隧洞衬砌的荷载及结构计算·····	(281)
第六节	新奥法与喷锚支护·····	(286)
第七节	坝下涵管·····	(292)
	本章小结·····	(303)
	复习思考题·····	(304)

第七章 过坝建筑物	(305)
第一节 船 闸.....	(305)
第二节 升船机.....	(318)
第三节 过木建筑物.....	(321)
第四节 过鱼建筑物.....	(326)
本章小结.....	(330)
复习思考题.....	(330)
第八章 渠系建筑物	(332)
第一节 概 述.....	(332)
第二节 渠 道.....	(334)
第三节 渡 槽.....	(339)
第四节 桥 梁.....	(382)
第五节 倒虹吸管.....	(406)
第六节 跌水与陡坡.....	(423)
第七节 涵 洞.....	(431)
本章小结.....	(437)
复习思考题.....	(438)
第九章 水利枢纽布置	(440)
第一节 水利枢纽设计任务与阶段.....	(440)
第二节 水利工程对环境的影响.....	(442)
第三节 坝址、坝型选择和枢纽布置	(444)
本章小结.....	(451)
复习思考题.....	(451)
参考文献	(452)

绪 论

第一节 水资源与水利工程建设

水是大自然中的一种重要资源,是人类生存和工农业生产必需的物质,是自然循环过程中可利用和可再生的重要能源。同时,也是发展航运交通、水产养殖的必要物质及改善环境和发展旅游事业的必要条件。

据统计,全球年径流总量为 47×10^4 亿 m^3 , 人均 $9\,000\text{m}^3$, 我国正常平均径流总量为 2.78×10^4 亿 m^3 , 人均仅为全球平均值的 $1/4$ 。所以,从人均意义上讲,我国是一个贫水的国家。我国水能资源蕴藏量达 6.8 亿 kW, 可开发的水能资源装机容量为 3.78 亿 kW, 居世界首位。

由于我国地域辽阔,地形复杂,大陆性季风气候非常显著,造成了降水、径流在时间和地域上的分布很不均匀,降水总趋势是由东南沿海向西北内陆递减。不同地区之间,南方一日雨量可远超过西北全年降水量;同一地区,一次暴雨可超过多年平均降雨量。水量偏多或偏少往往造成洪涝或干旱等自然灾害。因此,要想控制和利用天然水资源,达到除水害兴水利的目的,就必须大力发展水利事业,通过多目标水利工程建设,解决兴利除害问题的同时,以取得在经济、社会、生态等诸多方面的效益,真正体现水利不仅是国民经济的命脉,而且将成为中华民族生存和发展的命脉。

数千年来,我国劳动人民在水利工程建设方面取得了辉煌的成就。例如,早在 4 000 年前修建目前仍在使用的 1 800km 的黄河大堤;1293 年全线通航的,纵贯我国南北全长 1 794km 的京杭大运河;公元前 251 年建成的中外闻名的都江堰分洪引水灌溉工程等,至今仍在发挥巨大的效益。

新中国成立以来,我国水利水电建设事业取得了举世瞩目的成就。据统计,到 1994 年底,全国共整修和新建江河堤防 24.5 万余公里;建成水库 8.46 万座,总库容达 4 717 亿 m^3 , 其中大中型水库 2 936 座,库容 4 134 亿 m^3 ;兴建大、中型水闸约 3 万座;建成了万亩以上的灌区 5 567 处,全国有效灌溉面积 0.50 亿 hm^2 , 为农业稳产、高产创造了条件;内河航道由新中国成立时的 7.3 万 km 发展到 11 万 km, 建成吞吐量 10 万 t 以上的港口 800 多处,渠化航道里程 1 500km, 建成通航建筑物 800 多座,提高了内河航道的质量;水电站装机容量由 1949 年的 16 万 kW 增加到 4 906 万 kW, 年发电量 1 668 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。这些成就都为我国国民经济和社会发展提供了必要的基础条件,在工农业生产、交通运输和人民生活等方面发挥了巨大的作用。

尽管我国的水利水电事业已取得巨大的成就,但随着工农业生产的发展和人民生活水平的不断提高以及人口的增长,使得电和水的需求量日益增长。当前的水利设施与现代化建设的要求还不适应,主要表现在如下几方面。

(1)防洪标准不高。我国对主要江河还只能控制 10~20 年一遇的普通洪水,不能抵御历史上发生过的特大洪水,一般中小河流防洪标准更低。

(2)供水能力的保证程度较低。新中国成立以来虽然兴建了大量水利工程,形成了 4 717 亿 m^3 的供水能力,但河川径流的调节程度不高,供水能力明显不足。在现有的耕地面积中,还有半数以上的农田没有灌溉设施,已有的灌溉面积标准还不够高,所以迫切要进一步解决灌溉问题,提高农田的抗灾能力。

(3)城市供水矛盾较为突出。我国工业、城市用水增加速度很快,不少城市都不同程度地存在着水源不足、供水紧张情况。随着时间的推移,城市供水问题将会更加突出。

(4)水能资源开发利用率低。我国水电装机容量已居世界第六位,但仅占可开发量的 13% 左右,水能资源利用率远低于水电事业发展较先进的国家。

(5)内河航运量不足。我国是世界上开发水运最早的国家,目前内河航道总长虽然已达 11 万 km,但内河航运量不足全国货运总量的 9%,与欧美的一些国家相比还有很大的差距。

综上所述,我国在洪水防治、农田灌溉、城市给水、水力发电、内河航运以及其他综合利用水利水电工程建设方面,任重而道远。

第二节 水利枢纽与水工建筑物

一、水利枢纽

水工建筑物就是在水的静力或动力作用下工作,并与水发生相互影响的各种建筑物。为了综合开发水资源,在水域的适当地段,集中布置若干个不同类型与功能的水工建筑物,以达到控制水位、便于协调运行和管理的目的。这一由多种水工建筑物构成的有机综合体,称为水利枢纽。

水利枢纽功能可以是单一的,如防洪枢纽、水力发电枢纽、取水枢纽等。一般情况下,一个枢纽可能为实现多目标兼有几种功能,这种枢纽称为综合水利枢纽。

水利枢纽有高、中、低水头之分,一般以水头 70m 以上者为高水头枢纽,30~70m 者为中水头枢纽,30m 以下者为低水头枢纽。

正在建造中的三峡水利枢纽是当今世界最大的水利枢纽(见图 0-1)。

三峡枢纽的主要建筑物由大坝、水电站、通航建筑物三大部分组成。拦河大坝为重力坝,最大坝高 181m。大坝的泄洪坝段居河床中部,共设有 23 个深孔和 22 个表孔。表孔和深孔都采用鼻坎挑流消能,全坝最大泄洪能力为 11.6 万 m^3/s 。

水电站采用坝后式,分设左、右两组厂房。左、右岸分别安装水轮发电机组 14 台和 12 台。全电站机组均为单机容量 70 万 kW 的混流式水轮发电机组,总装机容量为 1 820 万 kW,年平均发电量为 846.8 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

通航建筑物包括船闸和升船机。船闸为双线五级连续梯级船闸,升船机为单线一级垂直提升式。

三峡枢纽建成后将有巨大效益:防洪控制流域面积可达 100 万 km^2 ;水库防洪库容为

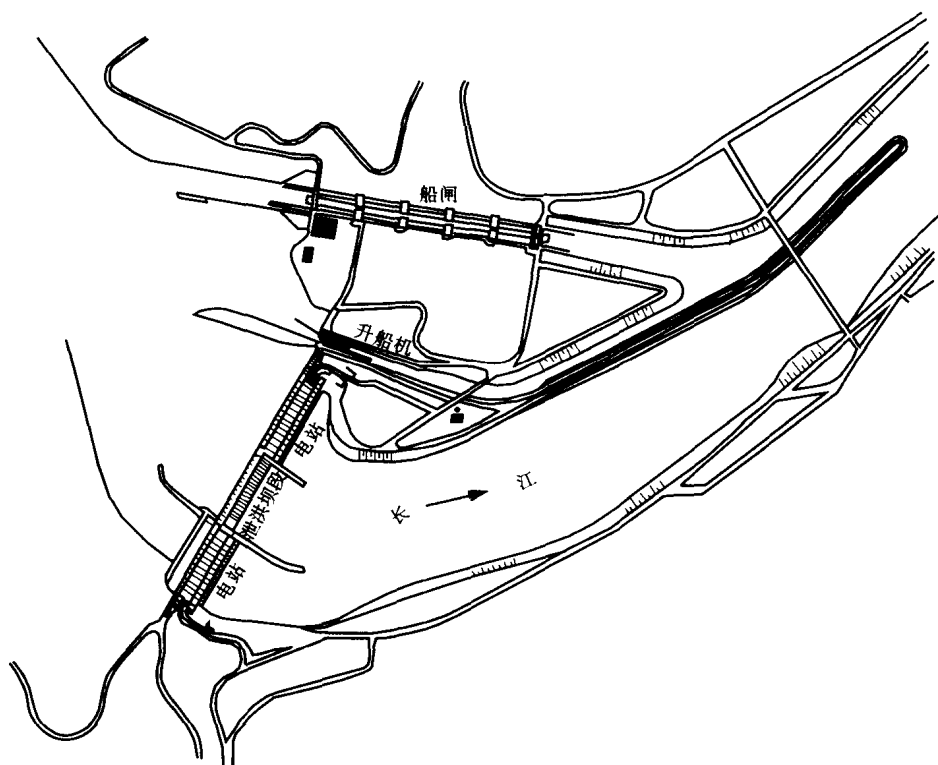


图 0-1 三峡工程枢纽布置

221.5 亿 m^3 , 可使荆江河段防洪标准从十年一遇提高到百年一遇; 千年一遇或更大洪水, 配合分洪、蓄洪工程的运用, 防止荆江大堤溃决, 减轻中下游洪灾损失和对武汉市的洪水威胁, 并为洞庭湖区的根治创造条件。但是, 三峡水库也存在对环境、生态等不利影响和移民、淹没损失等问题。

二、水工建筑物的分类

水工建筑物种类繁多, 型式各异, 但按其用途可分为一般水工建筑物和专门性水工建筑物两大类。当一种型式的水工建筑物, 在不同场合或在同一场合, 可以服务于几个水利事业部门时, 这种水工建筑物称为一般水工建筑物。专门为某一水利事业服务的水工建筑物, 称为专门性水工建筑物。

水工建筑物按其在水利枢纽中所起的作用通常可分为以下几类。

(1) 挡水建筑物。用以拦截或约束水流、壅高水位、调蓄水量, 如蓄水或壅水的各种拦河坝、堤防、闸、施工围堰等。

(2) 泄水建筑物。用以排泄水库、湖泊、河渠等多余水量, 或为人防、检修而放空水库, 以保证枢纽安全的水工建筑物, 如溢流坝、泄水闸、泄水孔、溢洪道、泄水隧洞等。

(3) 输水建筑物。输送库水或河水以满足灌溉、发电或工业给水的要求, 如引水隧洞、渠道、渡槽、倒虹吸管、输水涵洞等。

(4) 取水建筑物。为引水建筑物的上游首部建筑物, 如渠首、引水隧洞的进口段、进水

闸、扬水站等。

(5)整治建筑物。用以加固河岸、整治河道、改善河道水流条件等,如丁坝、顺坝、导流堤、护底、护岸等。

(6)专门建筑物。是为某种特定的单项任务而专设的水工建筑物,如专用于通航过坝的船闸、升船机、鱼道、筏道,专用于水电站的前池、调压室、厂房、压力管道等。

实际上,同一种水工建筑物其功能并非单一,有时可兼有多种功用。所以,难以严格区分其类型,如溢流坝、泄水闸,都兼有挡水和泄水功能。

按使用期限,水工建筑物可分为永久性建筑物和临时性建筑物两大类。永久性建筑物是指枢纽工程运行期间使用的建筑物,根据其重要性又分为重要建筑物和次要建筑物。重要建筑物是指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物,如拦河坝、水闸、电站厂房等;次要建筑物是指失事后不致造成下游灾害,对工程效益影响不大且易于修复的建筑物,如导流墙、挡土墙、工作桥、护岸等。工程施工期间使用的建筑物称为临时性建筑物,如导流建筑物、施工围堰等。

三、水工建筑物的特点

水工建筑物与一般土建工程相比,除了工程量大、投资多、工期较长外,还具有如下几个特点。

(一)工作条件复杂

对水工建筑物而言,工作条件的复杂性主要是来自于水的作用。例如,挡水建筑物,在上下游水位差的作用下,一方面将使其承受相当大的水平推力,可能使建筑物产生滑动或倾翻;另一方面,上游的水还将通过建筑物和地基向下游渗透,形成对建筑物稳定不利的渗透压力,渗流也可能引起建筑物及地基的渗透变形而危及建筑物的安全。因此,必须妥善解决防渗和渗透控制问题。对泄水建筑物而言,由于下泄流量大且集中,对下游河床及岸坡有很大的冲刷作用,当高速水流通过泄水建筑物时,可能产生掺气、负压、空蚀、空化及冲击脉动和对建筑物表面冲刷作用。为此,对泄水建筑物,要做好消能防冲设计工作。此外,库区泥沙淤积减少水库寿命等,也是值得重视的问题。

由于水工建筑物工作条件受所在区域的地质、水文、气象等条件的影响,自然条件千差万别,因而水工建筑物的设计选型(型式、构造、尺寸)只能按各自的特征进行,即具有一定的独特性。除非规模特别小,一般不能采用定型设计。

(二)施工条件复杂

在河道、湖泊等水域修建水工建筑物,主要困难是解决施工导流问题,尤其是截流施工期防洪、度汛和处理复杂地基,大体积混凝土施工温控问题等。

(三)对自然环境及社会环境影响大

水利工程的兴建和运用,对发展国民经济、美化环境将起到重要作用。但随之而来,对自然环境、局部区域气候、环境地质等也会产生一定的影响;同时也会因修建工程造成移民迁建及施工对社会环境产生影响。

水利工程对环境影响存在有利和不利两个方面,水利工程与自然、社会环境是互为影响的。

(四)失事后果严重性

水工建筑物失事后会产生严重的后果,特别是拦河坝等挡水建筑物,一旦溃决,将会给下游带来灾难性乃至毁灭性的后果。因此,在勘测、规划、设计、施工、管理等方面都必须慎重对待,妥善解决好安全与经济的矛盾。

四、水利枢纽与水工建筑物等级划分

水利水电工程的建设对国计民生存在着重要影响,不仅关系到工程自身安全,而且关系到其下游人民生命财产、工矿企业和设施的安全,还直接影响工程效益的正常发挥、工程造价和建设速度,而不同规模的工程影响程度也不同。能否妥善地解决工程的安全可靠性与其造价的经济合理性问题,是工程建设的关键。为此,应对水利工程进行分等,对水工建筑物进行分级。

水利水电工程的等别,应根据其工程规模、效益及在国民经济中的重要性进行划分。按照 SL252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》,共分为五等,见表 0-1。

表 0-1 水利水电工程分等指标

工程 等别	工程 规模	分 等 指 标						
		水库 总库容 (亿 m ³)	防 洪		治涝	灌溉	供水	发电
			保护城镇及 工矿企业的 重要性	保护农田 面积 (万亩)	治涝 面积 (万亩)	灌溉 面积 (万亩)	供水 对象的 重要性	装机 容量 (万 kW)
I	大(1)型	≥10	特别重要	≥500	≥200	≥150	特别重要	≥120
II	大(2)型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	重要	120~30
III	中 型	1.0~0.1	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
IV	小(1)型	0.1~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
V	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

注:1. 水库总库容是指水库最高水位以下的静库容。

2. 治涝、灌溉面积等均指设计值。

水利水电工程的永久性水工建筑物的级别,应根据其所在的工程等别和建筑物的重要性划分,共分为五级,见表 0-2。

对于综合利用的水利水电工程,如按表中指标分属几个不同等别时,整个枢纽的等别应按其中的最高等别确定。

永久性水工建筑物级别确定时,对于下述情况可提高或降低其主要建筑物级别。

(1)对于失事后损失巨大或影响十分严重的水利水电工程的 2~5 级主要永久性水工建筑物,经过论证,可提高一级;失事后损失不大的水利水电工程的 1~4 级主要永久性水工建筑物,经论证后可降低一级。

(2)对于水库大坝按表 0-2 规定为 2 级、3 级的永久性水工建筑物,如坝高超过表 0-3 中数值者可提高一级,但洪水标准不予提高。

(3)对于永久性建筑物的工程地质条件特别复杂,或采用缺少实践经验的新坝型、新

结构时,对 2~5 级建筑物可提高一级,但洪水标准可不提高。

表 0-2 永久性水工建筑物级别划分

工程 等别	建筑物级别	
	主要建筑物	次要建筑物
I	1	3
II	2	3
III	3	4
IV	4	5
V	5	5

表 0-3 水库大坝级别提高的界限

级别	坝型	坝高(m)
2	土石坝	90
	混凝土坝、浆砌石坝	130
3	土石坝	70
	混凝土坝、浆砌石坝	100

水利水电工程施工期使用的临时性挡水和泄水建筑物的级别,应根据保护对象的重要性、失事后果、使用年限和临时性建筑物规模,按表 0-4 确定。根据表中指标分属不同级别时,其级别应按其中最高级别确定,但对 3 级临时性水工建筑物,符合该级别规定的指标不得少于两项。

利用临时性水工建筑物挡水发电、通航时,经过技术经济论证,3 级以下临时性水工建筑物的级别可提高一级。

表 0-4 临时性水工建筑物级别划分

级别	保护对象	失事后果	使用 年限 (年)	临时性建筑物规模	
				高度 (m)	库容 (亿 m ³)
3	有特殊要求的 1 级永久性建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟总工期及第一台(批)机组发电,造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1、2 级永久性建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响工程总工期及第一台(批)机组发电,造成较大经济损失	3~1.5	50~15	1.0~0.1
5	3、4 级永久性建筑物	淹没基坑,但对总工期及第一台(批)机组发电影响不大,经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

第三节 现代水利水电工程的发展概况

随着我国水利工程建设事业的蓬勃发展,水利科学技术迅速提高,加之流体力学、岩土力学、结构理论、地基处理、施工技术以及计算技术的发展,为水工建筑物的发展创造了有利的条件,因而促进了以高坝为代表的现代水工建筑物的发展。

在混凝土坝方面,我国在 20 世纪 50 年代依靠自己的力量设计、施工建成了坝高

105m,总库容 220 亿 m^3 ,装机容量为 66 万 kW 的新安江水电站,首次采用坝后厂房顶溢流的枢纽布置型式。60 年代,在黄河干流强地震区建成坝高 147m 的刘家峡水电站,在高坝技术、抗震设计以及相应高水头泄水建筑物高速水流问题的解决方面,取得了相当大的进展和宝贵经验。

70 年代在石灰岩岩溶地区建成了坝高达 165m 的乌江渡重力拱坝,成功地进行了岩溶的地基处理。80 年代在长江干流上修建了我国最大的水电站——葛洲坝水电站,装机容量为 271.5 万 kW,成功地解决了大江截流、大单宽流量泄水闸的消能防冲、大型船闸的建造等一系列复杂的技术问题。以高坝工程为代表的龙羊峡重力拱坝,坝高 178m,库容 247 亿 m^3 ,该坝成功地解决了坝肩稳定、泄洪消能布置等一系列结构与水流问题。目前我国已具有设计和建造各种型式高坝的能力,如雅鲁江二滩双曲拱坝,坝高达 240m,是目前我国最高的拱坝。

在土石坝方面,我国是建造这种当地材料坝最多的国家。已建成的高土石坝以甘肃碧口水电站和陕西石头河水库两座心墙土石坝为代表,坝高分别为 101m 和 105m,在深覆盖层地基处理技术方面取得了很大的进展。如碧口土石坝的砂砾石坝基防渗墙深达 44m,效果较好。黄河小浪底工程,大坝为壤土斜心墙堆石坝,最大坝高 154m,坝高居世界第六位,库容 126.5 亿 m^3 。塔吉克斯坦罗贡斜心墙土石坝,坝高 335m,是世界上最高的坝。

水工建筑物特别是坝工以高坝作为发展趋势,目前世界上 100m 以上的高坝超过 400 座(其中 200m 以上高坝超过 25 座),大约是 1950 年以前的 10 倍。高土石坝在高坝中所占比例越来越大,就目前数量而言,大致相当于重力坝与拱坝之和。

此外,采用碾压的高重力坝和高拱坝及采用刚性面板防渗的碾压式堆石坝将是很有发展前途的坝型。

除坝工以外,其他水工建筑物,也取得了令人瞩目的成果。以小浪底水利工程为例:①复杂众多的隧洞工程,整个工程有 16 条泄洪、导流、发电和灌溉引水隧洞,泄洪洞 6 条,其中 3 条为孔板泄洪洞;②工程量最大的进水塔,进水建筑物包括 16 个进水口组成的 10 座进水塔呈一字形排列;③世界上最大的消力池,最大池宽 356m,总长 210m,需要消散 3 条孔板泄洪洞、3 条明流泄洪洞、3 条排沙排污洞及正常溢洪道等 10 股水流的能量;④世界上著名的防渗墙,主坝坝基防渗墙最大深度 80m,墙厚 1.2m,全长 440m,为我国最深、世界上在砂卵石覆盖层中最厚的防渗墙;⑤砂页岩泥化夹层中最大的地下水电站厂房,厂房长 251.5m、宽 26.2m、高 61.44m,是目前世界上砂页岩泥化夹层不良地质条件下最大的地下水电站厂房。

随着高坝及其他水工建筑物的发展,待解决的如水工新材料、大型设备的研制,高速水流、消能防冲、抗震、高边坡稳定性、安全监控、地质处理等课题以及一系列设计、计算技术和施工技术,都要进行攻关研究。研究解决水工科技方面的问题可通过以下途径实现。

(1)理论分析与计算。理论分析是对实际工程问题的属性进行提高归纳,而成为某一物理力学问题,再对其普遍性规律进行推断,得到公式化、函数化的分析解,可引用于所有同类问题的求解。所以,对一般工程,常用材料力学法、弹性理论的解析法。材料力学法是一种基本方法。因工程中涉及的影响因素多、边界条件复杂,而弹性理论的解析法只对

边界条件简单的典型结构才有解,因此其使用受到限制。

随着计算数学和计算机的发展,可将各种工程问题数学模型化,并引入初始和边界条件,运用适当的离散方法求解。其计算方法有弹性理论的差分法、有限元法。弹性理论的差分法在力学模型上是严格的,在数学解法上采用差分格式,是近似的;由于差分法要求方形网格,故对复杂边界的适应性差。而有限元法在力学模型上是近似的,在数学解法上是严格的,它能解决弹性问题、弹塑性问题、静力问题、动力问题,不仅能计算单一结构,还能计算复杂的组合结构,因此成为一种综合能力很强的计算方法。

(2)模型试验研究。通过水工水力学模型、水工结构模型等物理模型试验途径来解决理论分析计算尚不能解决的问题。其特点是便于对三维复杂的建筑物或枢纽整体形态、水流边界以及地基情况进行模拟并取得直观的结果。物理模型还可结合数学模型,成为合交模型,以提高精度和效率。

(3)原型观测。对已建或在建的水工建筑物进行水流、结构或地基的各种观测,分析观测结果,找出一般规律,用以验证理论分析计算或物理模型试验结果,进而引用于其他工程。这也是解决水工问题的重要的、更可靠的途径。

(4)工程类比。通过调查研究,了解与本工程类似的已建且运行良好的工程的参数、尺寸,归纳总结其经验教训,从而参照进行本工程的设计。这也是水工设计中常用的方法。

显然,对兴建大型重要枢纽或其中主要建筑物而言,为解决一系列水工问题,上述诸途径往往是综合取用的。

本章小结

本章从我国水资源特点入手,针对当前水利设施与现代化建设要求不适应的方面,说明我国洪水防治、农田灌溉、城市给水、水力发电等综合利用水利水电工程建设任务较大。主要介绍了水利枢纽、水工建筑物的概念及其分类,对水工建筑物的特点进行了比较分析,重点介绍了水利水电工程分等、水工建筑物分级的意义和方法。

复习思考题

- 0-1 我国水资源的特点是什么?
- 0-2 为何说当前水利设施与现代化建设要求还不适应?
- 0-3 什么叫水利枢纽?水利枢纽如何分类?
- 0-4 什么叫水工建筑物?简述水工建筑物的分类。各自的作用是什么?
- 0-5 水工建筑物的特点是什么?
- 0-6 水利水电工程如何分等?水工建筑物如何分级?分等、分级的意义是什么?

第一章 重力坝

第一节 概 述

重力坝是世界历史最古老的也是采用最多的坝型之一。此种坝因主要依靠自重维持稳定而得名。

一、重力坝的工作原理及特点

重力坝是用混凝土或浆砌石修筑的大体积挡水建筑物。其工作原理是在水压力及其他荷载作用下,依靠坝体自重 在坝基面产生的抗滑力来抵抗水平水压力以达到稳定要求;利用坝体自重 在水平截面上产生的压应力来抵消由于水压力所引起的拉应力以满足强度要求。

重力坝基本断面一般做成上游面接近铅直的三角形断面,见图 1-1。

重力坝体积大、用料多,材料强度不能充分利用,其所以被广泛采用的原因,主要是与其他坝型相比,具有如下优点。

(1)对地形、地质条件适应性较强。任何形状的河谷都可以修建重力坝。地质上除承载力低的软基和难以处理的断层、破碎带等构造的岩基外,均可建重力坝,甚至在土基上也可修建高度不大的重力坝。

(2)枢纽泄洪及导流问题容易解决。由于筑坝材料的抗冲能力强,所以施工期可以利用较低坝块或预留底孔导流,坝体可以做成溢流式,也可以在坝内不同高程设置排水孔,重力坝一般不需另设溢洪道或泄水涵洞。因此,与土石坝相比,重力坝更易于解决永久性泄洪及导流问题。

(3)重力坝结构简单、体积大,有利于机械化施工。而且由于断面尺寸大,材料强度高,耐久性能好,抵抗洪水漫顶、渗漏、地震及战争破坏能力比较强,安全性较高,因此重力坝的失事率是较低的。

(4)传力系统明确,便于分析与设计,运行期间的维护及检修工作量较少。但需采用防渗排水设施及温控措施。

但是,重力坝也存在如下一些缺点。

(1)坝底扬压力较大。重力坝坝体与地基的接触面积大,相应的坝底扬压力也大。扬压力的作用会抵消部分坝体重量的有效压力,对坝体稳定不利,故需采用各种有效的防渗

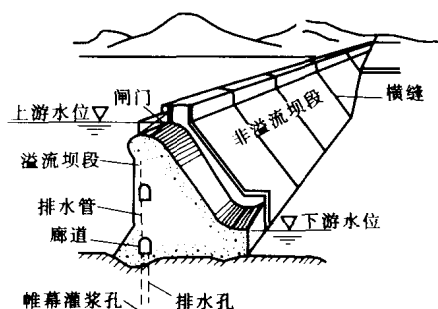


图 1-1 混凝土重力坝示意

排水设施,以减小扬压力,节省工程量。

(2)水泥水化热较大,可能导致坝体裂缝。重力坝体积大,水泥用量大,在施工期,水泥水化热引起的温度也很大,并将引起坝体内温度和收缩应力,可能导致坝体产生裂缝。为控制温度应力,特别在高坝施工中,需采取较复杂的温控措施。

二、重力坝的类型

重力坝按结构型式可分为实体重力坝、宽缝重力坝、空腹重力坝、预应力重力坝、装配式重力坝等,见图 1-2。

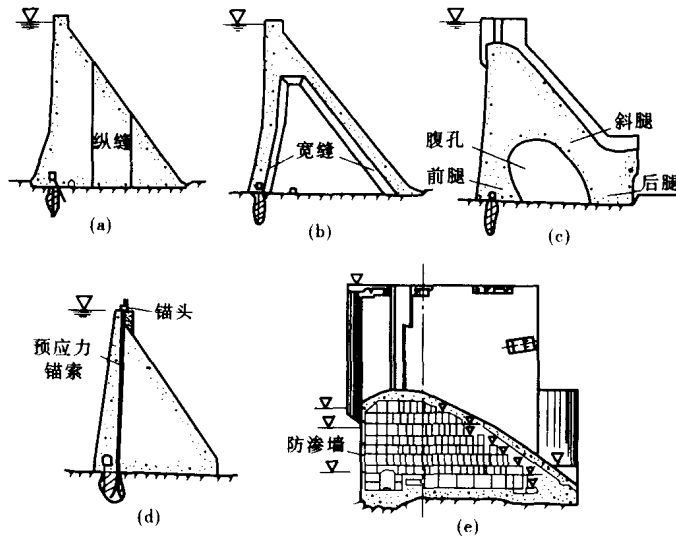


图 1-2 重力坝的类型

(a)实体重力坝;(b)宽缝重力坝;(c)空腹重力坝;(d)预应力重力坝;(e)装配式重力坝

实体重力坝,是最简单的型式,其优点是设计和施工均较方便,应力分布也较明确;缺点是扬压力大和材料的强度不能充分发挥,工程量较大。

宽缝重力坝,与实体坝相比,具有扬压力小、能较好利用材料强度、节省工程量和便于坝内检查及维护等优点;缺点是施工较复杂,模板用量较多。

空腹重力坝,可进一步降低扬压力,节省方量,还可利用坝内空腔布置水电站厂房,坝顶溢流宣泄洪水,以便解决在狭窄河谷中布置发电厂房和泄水建筑物的困难;缺点是腹孔附近可能存在一定的拉应力,局部需要配置钢筋较多,应力分析与施工较复杂。

预应力重力坝,特点是利用预应力措施来增加坝体上游部分的压应力,提高抗滑稳定性,从而可以削减坝体剖面。目前仅在小型工程和旧坝加固工程中使用。

装配式重力坝是采用预制块安装筑成的坝,可改善施工质量和降低坝的温度升高。但要求施工工艺精确,以便接缝有足够的强度和防水性能。

按照重力坝的顶部是否泄放水流的条件,可分为溢流坝和非溢流坝。坝体设有深式泄水孔的坝段和溢流坝可统称为泄水重力坝。按筑坝材料还可分为混凝土重力坝和浆砌石重力坝。