

高等学校教材

水工建筑物

第三版

天津大学 祁庆和 主编



高等学校教材



水工建筑物

(第三版)

天津大学 祁庆和 主编

中国水利水电出版社

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,水工建筑物设计综述,岩基上的重力坝,拱坝,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,水利工程设计和水工建筑物管理。

本书除作为本专业的教材使用外,还可供其他相近专业作为教学参考书和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物/祁庆和主编. —3版. —北京:中国水利水电出版社,1996
高等学校教材

ISBN 7-80124-256-4

I. 水… II. 祁… III. 水工建筑物-高等学校-教材 IV. TV6

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第17457号

书 名	高等学校教材 水工建筑物 (第三版)
作 者	天津大学 祁庆和 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路6号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 32.25印张 752千字
版 次	1981年9月第一版 1986年12月第二版 1997年5月第三版 1998年3月北京第八次印刷
印 数	54071—64110册
定 价	30.90元

第一版前言

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。

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

第三版前言

本书是根据 1991 年 12 月“高等学校水利水电类专业教学指导委员会水工建筑物教学指导组”会议商定编写的。

本书力求在内容上理论联系实际,在叙述上浅显易懂。着重阐明基本概念、基本理论,并适度反映学科的新进展,使学生较为全面、系统地获得水工设计方面的知识。

随着水利学科理论和电子计算机的发展,优化设计、可靠度设计、动态设计和计算机化设计等相继出现,使工程设计方法经历了一场变革。为此,本书第二章对水工建筑物设计的新思想、新方法做了简要的介绍,这些内容可以根据具体情况配合有关章节讲授,也可单独讲授。由于支墩坝篇幅较小,并入第三章,不单独成章。这样安排,是否得当,尚需在实践中接受检验。

本书由天津大学祁庆和主编,大连理工大学林皋、西安理工大学戴振霖、天津大学郭怀志、马启超、刘宣烈、崔广涛、林继镛、张社荣参编。具体分工如下:祁庆和(第一、十、十一章和第三章的第九、十一、十二、十四、十五节)、郭怀志(第二、九章)、张社荣(第三章的第一至第八节和第十三节)、马启超(第四章)、林皋(第五章)、刘宣烈(第六章送审稿)、林继镛(第三章的第十节和第七章)、戴振霖(第八章)、崔广涛(第十二章)。

本书由清华大学吴媚玲教授主审,对送审稿提出了许多建设性和具体的修改意见。在编写过程中,水利部、电力工业部天津勘测设计研究院石栋副总工程师和天津大学部分教师对某些章节提出了很多宝贵意见,一些工程单位的工程师也为本书提供了不少有用的资料,在此一并致谢。

由于我们的水平有限,内容安排和材料取舍不一定得当,错误和不妥之处也在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1996. 7. 1

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
第一章 绪论	1
第二章 水工建筑物设计综述	7
第一节 水利工程的设计任务和特点	7
第二节 水工建筑物设计的工作步骤和特点	9
第三节 水工建筑物上的作用及作用效应组合	13
第四节 水工建筑物的安全性	24
第五节 水工建筑物的可靠度分析	27
第六节 水工建筑物的优化设计	34
第七节 水工建筑物的抗震分析	37
第八节 水工建筑物施工过程的状况分析	40
第三章 岩基上的重力坝	42
第一节 概述	42
第二节 重力坝的荷载及其组合	45
第三节 重力坝的抗滑稳定分析	50
第四节 重力坝的应力分析	57
第五节 重力坝的渗流分析	70
第六节 重力坝的温度应力、温度控制和裂缝的防止	73
第七节 重力坝的剖面设计	77
第八节 重力坝的可靠度设计	79
第九节 重力坝的抗震设计	82
第十节 泄水重力坝	84
第十一节 重力坝的地基处理	111
第十二节 重力坝的材料及构造	116
第十三节 碾压混凝土重力坝	125
第十四节 其他形式重力坝	128
第十五节 支墩坝	133
第四章 拱坝	141
第一节 概述	141
第二节 拱坝的荷载及其组合	147
第三节 拱坝的体形和布置	152
第四节 拱坝的应力分析	158
第五节 坝肩岩体稳定分析	172
第六节 拱坝体形的优化设计	181
第七节 拱坝的坝身泄水	184
第八节 拱坝的材料和构造	193

第九节	拱坝的建基面与地基处理	198
第十节	浆砌石拱坝	202
第五章	土石坝	205
第一节	概述	205
第二节	土石坝的基本剖面	207
第三节	土石坝的渗流分析	209
第四节	土石坝的稳定分析	218
第五节	土石坝的固结、沉降与应力分析	228
第六节	筑坝用土石料及填筑标准	239
第七节	土石坝的构造	246
第八节	土石坝的坝基处理	257
第九节	土石坝与坝基、岸坡及其他建筑物的连接	264
第十节	土石坝的抗震设计	266
第十一节	堆石坝	277
第十二节	土石坝的坝型选择	285
第六章	水闸	287
第一节	概述	287
第二节	闸址选择和闸孔设计	290
第三节	水闸的防渗、排水设计	292
第四节	水闸的消能、防冲设计	302
第五节	闸室的布置和构造	308
第六节	闸室稳定分析、沉降校核和地基处理	313
第七节	闸室的结构计算	321
第八节	水闸与两岸的连接建筑	329
第九节	其他闸型和软基上的混凝土溢流坝	334
第七章	岸边溢洪道	340
第一节	概述	340
第二节	正槽溢洪道	341
第三节	其他形式的溢洪道	358
第四节	非常泄洪设施	364
第五节	溢洪道的布置和形式选择	365
第八章	水工隧洞	367
第一节	概述	367
第二节	水工隧洞的布置及线路选择	368
第三节	进口段	375
第四节	洞身段	380
第五节	出口段及消能设施	384
第六节	高流速泄水隧洞的脉动压力、空化、空蚀及减蚀措施	389
第七节	洞室开挖时的围岩稳定性	395
第八节	隧洞衬砌计算	399
第九节	隧洞的喷锚支护	422

第九章	闸门	429
第一节	概述	429
第二节	平面闸门	431
第三节	弧形闸门	440
第四节	深孔闸门	444
第十章	过坝建筑物、渠首及渠系建筑物	449
第一节	通航建筑物	449
第二节	过木建筑物	457
第三节	渠首及渠系建筑物	460
第十一章	水利工程设计	477
第一节	设计阶段的划分	477
第二节	设计所需的基本资料	478
第三节	水利工程对环境的影响	478
第四节	水利枢纽设计的主要内容	480
第十二章	水工建筑物管理	488
第一节	概述	488
第二节	大坝安全	489
第三节	水工建筑物监测	491
第四节	大坝安全评价与监控	500
第五节	水工建筑物维修	503
参考文献		505

第一章 绪 论

一、水资源与水利工程

水既是自然界一切生命赖以生存不可替代的物质,又是社会发展不可缺少的重要资源。在目前的经济技术条件下,人类可利用的水资源(主要是指地表水体,如:江、河、湖、海和地下水体中的淡水资源)是有限的。水资源可以再生,可以重复利用,但受气候影响,在时间、空间上分布不均匀,不同地区之间、同一地区年际及年内汛期和枯水期的水量可能相差很大。如:我国内陆的某些地区干旱少雨,而东南沿海季风区则雨水充沛;同一地区,汛期(东部地区的北方,一般为6~9月,南方为5~8月)可集中全年雨量的60%~80%,而汛期中最大一个月的雨量又占全年的25%~50%。水量偏多或偏少往往造成洪涝或干旱等自然灾害。因此,必须认识水资源的变化规律,根据天然水资源的时、空分布特点,国民经济各用水部门的需水要求,修建必要的蓄水、引水、提水或跨流域调水工程,以使水资源得到合理开发利用和保护。兴修水利工程是除水害、兴水利最有效的工程措施。所谓水利工程,是指对自然界的地表水和地下水进行控制和调配,以达到除害兴利目的而修建的工程。在时间上重新分配水资源,做到蓄洪补枯,以防止洪涝灾害和发展灌溉、发电、供水等事业;改善水域环境,疏浚航道,建造码头,以利于水上运输;以及为防止水质污染、维护生态平衡,都需要因地制宜地修建一系列水利工程。

水利工程按其承担的任务可分为:防洪工程、灌溉排水工程或称农田水利工程、水力发电工程、供水和排水工程、航道及港口工程、环境水利工程等。一项工程同时兼有几种任务的,称为综合利用水利工程。

按其在水中的作用分为:蓄水工程、排水工程、取水工程、输水工程、提水工程、水质净化和污水处理工程等。

二、水利枢纽与水工建筑物

(一)水利枢纽

图1-1是位于漳河上的河北省岳城水库工程布置图。这是一座以防洪为主,结合灌溉、发电等综合利用的大型水利工程。水库总库容10.9亿 m^3 ,最大坝高51.5m,水电站装机1.7万kW。主要建筑物有:①用以截断水流、挡水蓄水的均质土坝(包括主坝和3座副坝);②用于保证工程安全,宣泄多余洪水的溢洪道和泄洪洞;③用于向河南、河北两省输水的灌溉渠首;④由发电引水洞和电站厂房组成的水电站建筑物等。

从岳城水库的工程实例可以看出,为了满足防洪要求,获得发电、灌溉、供水等方面的效益,需要在河流的适宜地段修建不同类型的建筑物,用来控制和分配水流,这些建筑物统称为水工建筑物,而由不同类型水工建筑物组成的综合体称为水利枢纽。

一个水利枢纽的功能可以是单一的,如:防洪、灌溉、发电、引水等,但多数是兼有几种功能的,称为综合利用水利枢纽。水利枢纽按其所在地区的地貌形态分为:平原地区水利枢纽和山区(包括丘陵区)水利枢纽。也可按承受水头的大小分为高、中、低水头水利枢纽。有些

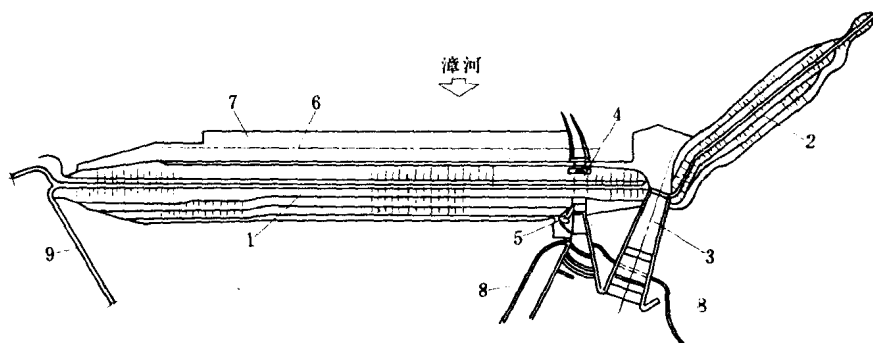


图 1-1 岳城水库工程布置图

1—主坝；2—副坝；3—溢洪道；4—坝下埋管（泄洪廊道 8 条，发电引水洞 1 条）；

5—电站；6—截水墙中心线；7—铺盖；8—渠道；9—公路

水利枢纽常以其主体工程（坝或水电站）或形成的水库名称来命名，如：埃及的阿斯旺高坝，中国的新安江水电站及官厅水库等。

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，以便能够拦蓄更多的洪水，而兴利部门则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，在进行枢纽规划时，应当在流域规划的基础上，根据枢纽所在地区的自然条件、社会经济特点以及近期与远期国民经济发展的需要等，统筹安排，最合理地开发利用水资源，做到以最少的投资，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

水工建筑物按其作用可以分为以下几类：

（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；以及为抗御洪水或挡潮，沿江海岸修建的堤防、海塘等。

（2）泄水建筑物。用以宣泄多余水量、排放泥沙和冰凌或为人防、检修而放空水库、渠道等，以保证坝和其他建筑物的安全。水库枢纽中的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（进）水建筑物。是输水建筑物的首部建筑，如：引水隧洞的进口段、灌溉渠首和供水用的进水闸、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。

（6）专门建筑物。为灌溉、发电、过坝需要而兴建的建筑物，如：专为发电用的压力前池、调压室、电站厂房；专为灌溉用的沉沙池、冲沙闸；以及专为过坝用的船闸、升船机、鱼道、过木道等。

应当指出的是：有些水工建筑物的功能并非单一，难以严格区分其类型，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。

(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、工期较长之外,还具有以下几点的特点:

1. 工作条件复杂

地形、地质、水文、施工等条件对选定坝址、闸址、洞线、枢纽布置和水工建筑物的型式等都有极为密切的关系。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个别性。

水文条件对工程规划、枢纽布置、建筑物的设计和施工都有重要影响,要在有代表性、一致性和可靠性资料的基础上进行合理的分析与计算,以做出正确的估计。

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。为此,在设计前,必须进行周密的勘测,作出正确的判断,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,挡水建筑物要承担相当大的水压力,为了保证安全,建筑物及其地基必须具有足够的强度和稳定性。与此同时,库水从坝基、岸边和坝体向下游渗透形成的渗透压力不仅对建筑物的稳定和强度不利,而且还可能由于物理的和化学的作用使坝基受到破坏;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,也应当作为一项主要荷载。

由泄水建筑物下泄的水流能量大,而且集中,对下游河床及岸坡有很大的冲刷作用,必须采取适当的消能及防护措施。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,以及挟沙水流对过水表面的磨损等。

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,产生其他不利影响。在我国一些含沙量较大的河流上修建水利枢纽时,如何防沙、排沙、减小淤积是一个值得重视的问题。

地震时,建筑物要承受地震惯性力,库水、淤沙对建筑物还将产生附加的地震动水压力和动土压力。

2. 受自然条件制约,施工难度大

在河道中兴建水利工程,首先,需要解决好施工导流,要求施工期间,在保证建筑物安全的前提下,让河水顺利下泄,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、度汛需要抢时间、争进度,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,特别是高山峡谷地区更为突出,等等。

3. 效益大,对环境影响也大

水利工程,特别是大型水利枢纽的兴建,对发展国民经济,改善人民生活具有重要意义,对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、湿度的变化,改变了库区小气候并使附近的生态平衡发生变化;在地震多发区修建大、中型水库,有可能诱发地震等。

4. 失事后果严重

作为蓄水工程主体的坝或江河的堤防,一旦失事或决口,将会给下游人民的生命财产和国家建设带来巨大的损失。据统计,近年来全世界每年的垮坝率虽较过去有所降低,但仍在0.2%左右。1975年8月我国河南省遭遇特大洪水,加之板桥、石漫滩两座水库垮坝,使下游1100万亩农田受淹,京广铁路中断,死亡达9万人,损失惨重;又如,1993年8月青海省沟后水库垮坝,使下游农田受淹,房屋倒塌,死亡320余人。

三、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开发利用水资源方面,作出了突出的成绩,积累了很多宝贵的经验,例如:①从春秋时期开始,在黄河下游沿岸修建的堤防,经历代整修加固至今,已形成近1600km的黄河大堤,为江河治理,堤坝建设与养护提供了丰富的经验;②从公元前485年开始兴建到公元1293年全线通航,纵贯我国南北,全长1794km的京杭大运河,是世界上最长的运河,对便利我国南北交通,发挥了重要作用;③公元前256~前251年在四川省灌县建成的都江堰工程,利用鱼嘴分洪、飞沙堰泄洪排沙、宝瓶口引水,是世界上现存历史最长的无坝引水工程,至今仍有巨大的效益。

从1949年中华人民共和国成立以来,水利建设得到了较快的发展。50年代初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:过去的黄河,曾在3000年内决口1500次以上,而经治理后,在1958年尽管遭遇到与1933年大灾之年同样大的洪水($22300\text{m}^3/\text{s}$),却未出现决口,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1991年全国整修、新修各类江河堤防、海塘22万多km;水库8.38万座,总库容4677.5亿 m^3 ,其中,大型水库367座,库容3400亿 m^3 ;水闸2.9万多座,其中,大型水闸320座;建设蓄洪、滞洪区100多处,总面积约3万 km^2 ,总容量达1000多亿 m^3 ;水电装机3788.35万kW;灌溉面积7.3亿亩,其中,50万亩以上灌区73处;此外,还完成了引滦入津、引黄济青、引碧入连供水工程等。

在建的长江三峡水利枢纽,水电装机达1820万kW;双线五级船闸,总水头113m,可通过万吨级船队;垂直升船机总重11800t,过船吨位3000t,均位居世界之首。雅砻江二滩双曲拱坝,最大坝高240m,是目前国内最高的拱坝。

水利工程建设的发展,促进了水利科学技术的普及和提高。40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,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。

四、当前水利建设的发展概况

随着生产的不断发展和人口的增长,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塔吉克斯坦在建的罗贡坝,高 335m;最高的重力坝是瑞士的大狄克桑斯坝,高 285m;最高的拱坝是格鲁吉亚的英古力坝,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。在我国,龙羊峡水电站的库容和坝高分别为 247 亿 m^3 和 178m,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的水电站,装机容量为 271.5 万 kW;最高的重力坝是乌江渡水电站的拱形重力坝,高 165m;最高的土石坝是台湾省曾文粘土心墙土石坝,高 133m。

将土石坝施工中的碾压技术应用于混凝土坝的碾压混凝土筑坝新技术不仅成功地用于重力坝,而且已开始在拱坝上采用。随着大型碾压施工机械的出现,混凝土面板堆石坝,已在许多国家广为采用。我国在建的天生桥面板堆石坝,最大坝高 178m;设计中的龙滩碾压混凝土重力坝,第一期工程最大坝高 192m,均居世界前列。

泄水建筑物的单宽泄流量在不断提高,国外采用的单宽流量已超过 $300\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,如:美国胡佛坝的泄洪洞为 $372\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,葡萄牙的卡斯特罗·让·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 $201\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,泄洪中孔为 $144\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,而泄洪洞为 $240\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$;从总泄量看,葛洲坝水利枢纽已达 $110000\text{m}^3/\text{s}$,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 $32600\text{m}^3/\text{s}$,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:法国的谢尔蓬松坝,高 129m,帷幕深 110m,从蓄水后的观测资料看,阻水效果较好。20 世纪 70 年代初出现的利用水气射流切割掺搅地层,同时将胶凝材料(如水泥浆)灌注到被掺搅的地层中去的高压喷射灌浆,也已成功地应用于地基防渗和加固处理。

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,用 205 条锚索,深入基岩 14~21m,每条锚索的拉力为 2700kN,用于坝基夹层处理。我国从 1964 年开始,也先后在梅山、丰满、陈村、双牌等工程中采用预应力锚索加固坝肩和坝基,收到了良好效果。

近年来,不少国家对大坝的抗震设计日益重视。1970年以后,随着电子计算机和有限元法的广泛应用,对较高和较重要的坝,已从拟静力分析进入到动力分析阶段,并考虑结构与库水、结构与地基的动力相互作用。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的许多复杂问题都可以通过电算得到解决。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。

五、我国水利工程技术人员的任务

我国幅员辽阔,跨越不同的气候和地理带,河流众多,流域面积在 1000km^2 以上的河流近 1600 条,大小湖泊 2000 多个。全国有七大江河——松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江和珠江,其中,长江和黄河按河流的干流长度分别排列在世界各大江河的第 3 位和第 5 位。全国年平均径流总量为 2.8 万亿 m^3 ,居世界第 6 位,但按人口平均却只有全球人均占有水量的 $1/4$ 。由于自然条件复杂,加上水资源在时空分布上的不均匀程度又大于同纬度的其他地区,洪涝和旱灾频繁,有时还很严重,有些地区的用水十分紧张。水能资源的总蕴藏量为 6.8 亿 kW ,其中可开发利用的为 3.8 亿 kW ,位居世界之首,而目前已开发的仅占可开发利用的约 10% ,与其他发达国家相比差距很大。

我国人口多、耕地少、水资源短缺而且在时空分布上很不均匀,这些都是制约国民经济和社会发展的不利因素。如何最大限度地减免水旱灾害,合理开发和保护水土资源,将是一项长期而艰巨的任务。

结合我国的实际情况,到本世纪末,在水利建设上要做到:①加快对大江、大河、大湖的综合治理,有效地控制常遇的洪水;②加速农田水利建设,将灌溉面积扩大到 8 亿亩;③水电装机达到 8000 万 kW ;④建设一些跨流域的调水工程,逐步缓解华北和其他重点缺水地区、城市的供水困难;⑤搞好水土资源的管理、保护和综合利用。

一项水利工程,需要经过勘测、规划、设计和施工等几个阶段才能最后建成。由于水利工程涉及面广,工作条件复杂,作为一名水利工程技术人员,必须在掌握一定广度和深度基本知识的基础上,积极参加工程实践。在工作中要以高度负责的精神,认真分析研究工程所在地区的自然条件和社会条件,合理选用各项参数,既要发扬创新精神,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,最大限度地发挥工程效益。

本书以几种典型的水工建筑物为代表,讲授水工建筑物和水利枢纽设计的基本原理和方法。

第二章 水工建筑物设计综述

第一节 水利工程的设计任务和特点

一、水利工程

水利工程是运用科学知识与技术手段,为满足社会兴水利除水害的需求而修建的工程。水利工程在地区的和全国的经济系统和社会系统中均占有重要地位,是他们中的重要子系统。现代水利工程具有以下特点:①受自然条件制约,工作条件复杂多变;②施工难度大,对环境和自然的影响也大;③社会经济效益高,与经济系统联系密切;④工程失事的后果严重等。这就要求水利工程技术人员必须广泛深入地掌握科学技术知识,在工程设计中以高度的责任心,深入实际,多方借鉴,反复比较,全面论证,才能圆满地做好设计工作。

二、水利技术工作

水利工作包含多方面的任务,工程技术人员的工作按其任务侧重点可分为:

(1) 勘测。为水利建设事业勘查、测量、收集有关的水文、气象、地质、地理、经济及社会信息。

(2) 规划。根据社会经济系统的现实、发展规律及自然环境,确定除水害兴水利的布置。

(3) 工程设计。根据掌握的有关资料,利用科学技术,针对社会与经济领域的具体需求,设计水利工程(水利枢纽及水工建筑物)。

(4) 工程施工。结合当地条件和自然环境,组织人力、物力,保质按时地完成建设任务。

(5) 工程管理。为实现各项兴利除害目标,利用现代科学技术,对已建成的水利工程进行调度、运行以及对工程设施的安全监测、维护及修理、经营等工作。

(6) 科技开发。密切追踪科学技术的最新成就,针对水利工程建设中存在的问题,创造和研究新理论、新材料、新工艺、新型结构等,以提高水利工程的科学技术水平。

“水工建筑物”就是重点传授有关设计水工建筑物及水利枢纽的知识的课程。

三、水利工程设计

设计水利工程与设计机械工程、电气工程等相似,其共同点是设计一个人工系统,都遵循大体一致的规律,一般经历下述几个步骤:技术预测→信息分析→科学类比→系统分析→方案设计→功能分析→安全分析→施工方案→经济分析→综合评价。

在设计过程中,有的步骤可能不甚明显,有的步骤会有重复、反馈、修改。但不论大到水利枢纽或者它的组成部分——一个水工建筑物,或者小到一个分解为局部的构件,每一个层次的设计大都经历类似的过程。

近代科学技术分支如:系统论、信息论、控制论的形成,推进了对设计工作共性的研究,提炼出普遍适用的技术,发展成有关的新兴学科。如:搜集资料提取信息的信息工程,分析系统特性的系统工程,结构功能分析的有限元法,安全性分析的可靠度理论,模型试

验、数学模型及算法,结构定型及施工管理的优化算法,模拟人的活动的计算机辅助设计(CAD)系统及专家决策系统等。这些新兴学科在革命性地改变着设计工作面貌,从经验型定性判断走向智能型定量决策。工程师今后可以方便地运用各门学科的知识 and 手段进行工作,因为现代学科的各种基本方法都可以形成知识性软件,工程师只要做到正确地提出问题,给出清楚的描述,严格地运行软件就能得到明确的答案。由此,工程师可以摆脱繁重的手工数字演算,能集中精力致力于方案比较和创新。

除了上述的共同点之外,水利工程设计工作也有其自身的特点,它们是:

(1) 个性突出。几乎每个工程都有其独特的水文、地形、地质等自然条件,设计的工程与已有的工程的功能要求即使相同,也不可套用,只应借鉴已有工程的经验,创造性地、个别地选定方案。

(2) 工程规模一般较大,风险也大。不容许采用在原型上做试验的方法来选择决定最理想的结构。模型试验、数学模型仿真分析都很必要,也能起到很好的参考效用,但还都不能达到与实际工程的高度一致,因此,在水工设计中经验类比还是一种重要的决策手段。

(3) 重视规程规范的指导作用。由于设计还没有摆脱经验模式,因此,设计工作很重视历史上国内外水工建设的成功经验和失败教训,用不同的形式总结为规范条文,以期能传播经验,少走弯路。

(4) 在施工过程中,不可能以避让的方式摆脱外界的影响。因此水工建筑物经常会在未竣工之前,已建成的部分结构就已开始承担各种外部作用。据统计 108 座大坝的失事,有 16.7% 是在施工过程中,有 26.8% 是在建成后第一次蓄水时发生。由于设计的是一个逐步建造的结构,建筑物边施工边工作,因此,必须充分考虑各个施工阶段的工程状态,使之都能得到满意的安排。

四、设计工作水平

按照设计工作中有无参考样本或已有工程经验的情况,可以将设计分成下述几种类型:

(1) 开发型设计。设计时根据对建筑物的功能要求,工程师在没有样板设计方案及设计原理的条件下,创造出在质和量两方面都能满足要求的建筑物新型方案。这种设计工作的风险最大,投入最多。

(2) 更新型设计。在建筑物总体上采用常规的型式和设计原理的同时,改进局部的建筑物设计原理,使其具有新的质和量的特征。例如:在我国推广的碾压混凝土坝、面板堆石坝以及我国创造的宽尾墩消能工等,都在局部范围内采用了新的设计原理。

(3) 适配型设计。设计中的建筑物采用常规的设计原理和型式,研究和选定结构的布置、尺寸和材料,达到适合当地自然环境、地质、地形条件及施工条件、功能要求的常规设计。

依创造性水平来评判,开发型设计最富创造性。但是评价工程设计优劣的标准是它的适用性、安全性、经济合理性,而不是单纯地求新,应摒弃刻意的标新立异。面对工程存在的实际问题和难点,能够适应当时当地条件,且具有前述三性的设计方案才是优秀的方案。

科学家的职责是认识世界,工程师的责任是经济而有效地改造世界。工程师需要了解科学原理,掌握科学技术的最新成就,选用最优的方案。在设计中,对一些在理论上还不