

高职高专水利水电类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN SHUILISHUIDIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



水工建筑物

秦定龙 主 编
方 俊 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专水利水电类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN SHUILISHUIDIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



水工建筑物

主 编 秦定龙

副主编 方 俊

编 写 刘大文

何 毅

主 审 吴伟民

刘永纯

李咏梅

傅光柳

菊燕宁

尹清杰

张美新

杨 波

卓美艳



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专水利水电类专业规划教材。

全书共十二章。主要内容包括重力坝、拱坝、土石坝、水闸、河岸溢洪道、水工隧洞、过坝建筑物、渠首、渠系及河道整治建筑物、水工闸门与启闭机械、水工建筑物与水利工程设计、水工建筑物的监测与管理等。本书力求阐明基本理论,简化繁杂的公式推证,介绍经典成果,加强工程实例阐述,突出工程实际应用,图样鲜明、多样。本书内容信息量大、复习思考题较多,在满足水利类学生教学使用的同时,便于各类人员使用和参考。

本书可作为高职高专水利水电类专业水工建筑物的教学用书,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参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物/秦定龙主编. —北京:中国电力出版社, 2009

高职高专水利水电类专业规划教材

ISBN 978-7-5083-7518-2

I. 水… II. 秦… 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 (2009) 第 013809 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 37 印张 907 千字

定价 59.80 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序

进入 21 世纪,在人才培养模式结构改革过程中,职业技术教育中专体系和技校体系已不能满足现代企业对高等技术人才的需要。为了适应现代企业对高技术应用型人才的需要,一大批高等职业技术学院应运而生。截至 2008 年 7 月底,全国共有 1100 余所高职高专学校。这些高职院校组建后,进行了专业设置、教学计划、课程体系和课程内容等一系列教育教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可缺少的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足职业技术学院水利水电类各专业对“水工建筑物”课程教学工作的需要,从 2000 年初开始,四川电力职业技术学院水利水电建筑工程专业的教师根据高职教育的需要就有意识地着手编写具有高职院校特色的专业课教材。通过对教材改革的研究、探索和教材建设的安排部署,决定编写一本适合各类职业技术学院内水利类各专业实用的《水工建筑物》教材,并把编写教材的工作作为“教学研究重点课题”进行研究。

本教材以明确的岗位和职业需要为依托,以能力培养为主线,以开发学生能力为目标,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,传授知识同培训技能紧密结合;充实技术性、工艺性、实用性和普遍性的内容,体现先进性和科学性的原则,注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化部分内容理论、公式的推证,增强教材使用的灵活性,增加典型工程教学案例;理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际工程案例为中心,把讲授、实训、实习融为一体的教学方式,适应功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

参加本书编写的教师和工程技术人员具有丰富的教学经验,并积累了众多的水利水电工程实际案例,考察过国内众多的大中型水利水电工程,如三峡水利枢纽、葛洲坝水利工程、二滩电站、小浪底水利枢纽、丹江口水利枢纽、瀑布沟水电站、龙滩水电站、小湾电站、溪洛渡水电站、向家坝水电站等,因此,本书能很好地指导实际工程。

《水工建筑物》教材的编写和投入应用只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需继续深化教材改革,推进教材建设。

本书可作为高职高专水利水电建筑类、施工类、水利工程运行管理类、水资源勘测与环境保护类的教材。主要介绍水工建筑物的设计原理、结构形式、布置构造、主要作用等基础知识,同时对水利工程、水利枢纽、水工建筑物的监测和运行管理等内容做了较详细的介绍,为学生毕业后拓宽在大的水利行业内就业打下坚实的基础。分析多年来水利类的毕业生的工作去向主要是四个面向:面向水利水电建设施工企业,面向水利水电建设开发公司,面向市、地、州等中小型水利水电设计企业和水利局,面向水利工程或水力发电厂水工运行管理单位。本教材的内容完全适合四个面向的毕业生。本书编写时按照多学时编写,少、中学时可根据教学情况选择使用。书中的图形符号和文字符号采用新“国标”,图形及公式的处理编写按照水利水电类的传统处理方式编制。

编者

2009 年 3 月于成都

前言

中国水电资源位居世界第一，但水电资源又主要集中在西南地区。西南地区（川、藏、滇三省区）水电资源可开发量占全国的 61%，而四川省水电资源可开发量又位居全国第一。但全国与西南地区水电资源的开发程度很低；截至 2008 年底，仅达 1.71 亿 kW，约占全国水电资源可开发量的 31.5% 左右，远未达到世界发达国家 70% 左右的水平。在今后很长一段时期，国家将把优先发展水电作为我国能源政策之一，而四川“十一五”发展规划大纲中已明确规定优先开发水电清洁能源，以金沙江、雅砻江和大渡河“三江”为水电开发的重心，大幅度提高水力资源开发利用率，尽快在四川建成全国最大的水电能源基地。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》明确水电发展的总体指导思想为：在保护生态基础上有序开发水电；统筹做好移民安置、环境治理、防洪和航运工作；建设金沙江、雅砻江、澜沧江、黄河上游等水电基地和溪洛渡、向家坝等大型水电站；适当建设抽水蓄能电站；加强电网建设；继续推进西电东送战略，南北互济，全国联网。

我国水电发展的中长期目标为：常规水电装机容量至 2010 年、2015 年和 2020 年要分别达到 1.94 亿、2.71 亿 kW 和 3.28 亿 kW。国家水电发展的总体思路概括为四个字：快、稳、全、广。快就是要大力加快水力发电电源点的建设速度，也就是说今后 10 年的水电开发的建设速度相当于新中国成立后 60 年的水电建设速度。

四川省的水电发展的中长期目标为：常规水电装机容量至 2010 年、2015 年和 2020 年要分别达到 2820 万、4595 万 kW 和 6370 万 kW。在 2011~2020 年的 10 年期间，四川省的水电装机容量要净增 3550 万 kW。而突发的四川省汶川县境内 5·12 的特大地震，使穿过地震区内岷江上的各类水工建筑物，如都江堰枢纽工程、映秀湾水电站、渔子溪水电站、紫坪铺水库、图龙水库、耿大水电站等均遭受强烈地震影响，对地震灾后水工建筑物的重建和修复、恢复水电装机容量又需要大量的水工建筑人才予以支持。

为此，水电资源的加快开发、灾后水工建筑物的修复和重建，以及区域经济的发展长期（15 年左右）需要大量的既懂水电开发技术知识和水利水电建筑工程专业技能，又能在生产第一线从事现场施工操作和管理的水利水电建筑工程专业（简称水工专业）的建设人才。教育部、财政部在 2006~2008 年连续 3 年建设 100 所示范性高等职业技术学院的过程中，先后批准黄河水利职业技术学院、杨凌职业技术学院、安徽水利水电职业技术学院和四川电力职业技术学院中的水利水电建筑工程专业为全国 500 个重点精品建设专业之一，而重点精品专业建设中的重要一环是专业课程的建设。“水工建筑物”是水利水电建筑工程专业和相关水利类专业中一门非常重要的专业课。一门好的专业课教材，可以引领一个专业的健康发展，可以教会一大批专业人才，四川电力职业技术学院水利水电建筑工程专业的教师，紧紧抓住建设 500 个国家重点专业的机遇，不失时机地编写建设《水工建筑物》，作为国家重点示范专业建设中教材建设的第一次尝试，也是历史赋予我们的责任。立足西部地区大水电的开发，建设水工专业核心课程教材《水工建筑物》，将为培育更多的水工建设人才作出积极

的贡献，将为水利水电建筑工程专业建设增添光彩。

同时，本书根据高等职业技术学院水利类各专业对水工建筑物知识的要求，内容符合职业院校实施的“水工建筑物”的教学大纲。编写的基本思路为：从大水利类各专业的实际需求出发，调整现行的教学大纲，突出专业特色，淡化理论推导，强化能力的培养，将基本理论与专业实践相结合，做到有的放矢。本教材注重水工建筑物知识在工程中的应用，结合高职高专学生的实际情况，精讲多练，突出对基本知识掌握的要求，理论推导从简，注重针对性和实用性。

本书按照工科职业技术教育课程改革的原则和思路，力求贯彻能力为本的思想。充分吸取了各校水工建筑物课程教学改革的经验，以适应水工建筑物课程教学改革的现实。

本书由秦定龙担任主编，并编写第一、三、七、十一章，方俊编写第二章，何毅编写第四章，杨波编写第五章，菊燕宁编写第六章，刘永纯编写第八章，李咏梅编写第九章，尹清杰编写第十章，中国水电顾问集团成都勘测设计研究院刘大文编写第十二章。全书由福建水利电力职业技术学院吴伟民、傅光柳、张美新、卓美艳主审。

限于编者水平，加之时间较紧，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2009年3月于成都

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 水资源与水利工程建设	1
第二节 水利枢纽与水利建筑物	4
第三节 现代水利水电工程的发展概况和可持续发展方针	10
第四节 课程的内容和学习方法	17
复习思考题	19
第二章 岩基上的重力坝	20
第一节 概述	20
第二节 重力坝的荷载及荷载组合	29
第三节 重力坝的抗滑稳定分析	40
第四节 重力坝的应力分析和强度控制指标	47
第五节 重力坝的渗流问题和防止渗流的工程措施	51
第六节 重力坝的温度应力及温度裂缝控制措施	53
第七节 非溢流重力坝的剖面设计	56
第八节 重力坝的极限状态设计法简介	59
第九节 溢流重力坝的构造和泄水问题	63
第十节 重力坝的深式泄水孔	78
第十一节 重力坝的材料和构造	84
第十二节 重力坝的地基处理	94
第十三节 碾压混凝土重力坝	101
第十四节 其他形式的重力坝与支墩坝	106
复习思考题	112
第三章 拱坝	113
第一节 拱坝概述	113
第二节 拱坝的分类	122
第三节 拱坝的体形和布置	125
第四节 拱坝的荷载及荷载组合	139
第五节 拱坝的应力分析简介和强度控制指标	148
第六节 拱坝坝肩的稳定分析	156
第七节 拱坝的坝身泄水和消能设施	163
第八节 拱坝的材料和构造	177
第九节 拱坝的建基面和地基处理	185
第十节 浆砌石拱坝	195
第十一节 碾压混凝土拱坝	199

复习思考题	207
第四章 土石坝	210
第一节 概述	210
第二节 土石坝的基本剖面	216
第三节 土石坝的渗流分析	220
第四节 土石坝的稳定分析	231
第五节 筑坝土石料的选择和填筑标准	239
第六节 土石坝的地基处理	242
第七节 土石坝的构造	256
第八节 土石坝与坝基、岸坡及其他建筑物的连接	270
第九节 堆石坝与土石混合坝	273
第十节 土石坝坝型选择	277
复习思考题	280
第五章 水闸	282
第一节 概述	282
第二节 闸址选择和闸孔设计	288
第三节 水闸的消能和防冲处理的工程措施	293
第四节 水闸的防渗和排水处理的工程措施	302
第五节 闸室的布置和构造	308
第六节 闸室的稳定计算、沉降校核及地基处理	316
第七节 闸室的结构布置设计	323
第八节 水闸与两岸的连接建筑物	330
第九节 其他类型的水闸和软基上的混凝土溢流坝	335
复习思考题	341
第六章 河岸溢洪道	343
第一节 概述	343
第二节 正槽式溢洪道	343
第三节 侧槽式溢洪道	355
第四节 井式溢洪道与虹吸式溢洪道	358
第五节 非常溢洪设施	361
第六节 溢洪道的布置和形式选择	362
复习思考题	363
第七章 水工隧洞与坝下涵管	365
第一节 水工隧洞的类型、特点及组成	365
第二节 水工隧洞的线路选择及工程布置原则	369
第三节 水工隧洞的进口建筑物	375
第四节 隧洞洞身段的形式与构造	382
第五节 水工隧洞的出口段及消能建筑物	387
第六节 水工地下洞室围岩的稳定性	392
第七节 水工隧洞衬砌的荷载及荷载组合	402
第八节 水工隧洞衬砌的结构计算	410
第九节 新奥法与锚喷支护	426

复习思考题	434
第八章 过坝建筑物	436
第一节 船闸	436
第二节 升船机	448
第三节 过木建筑物	453
第四节 过鱼建筑物	456
复习思考题	462
第九章 渠首、渠系及河道整治建筑物	463
第一节 渠首建筑物	463
第二节 渠系建筑物	477
第三节 河道整治建筑物	494
复习思考题	496
第十章 水工闸门与启闭机械	497
第一节 概述	497
第二节 平面闸门	498
第三节 弧形闸门	504
第四节 深孔闸门	508
第五节 启闭机械	510
复习思考题	513
第十一章 水工建筑物与水利工程设计	514
第一节 水利工程设计的任务和特点	514
第二节 水工建筑物设计的步骤	518
第三节 水利工程建设程序及设计阶段的划分	520
第四节 设计各阶段所需的基本资料	523
第五节 水利枢纽布置设计的原则及主要内容	523
第六节 水利枢纽布置设计实例	527
第七节 水利水电工程对环境的影响	539
复习思考题	543
第十二章 水工建筑物的监测和管理	544
第一节 概述	544
第二节 水工建筑物的安全监测	545
第三节 水工建筑物监测的阶段和监测项目	546
第四节 水工建筑物监测仪器设备简介	557
第五节 大坝安全评价与监控	563
第六节 水工建筑物维护	569
第七节 水工建筑物的工程安全监测管理	570
第八节 水工建筑物的运行与管理	575
复习思考题	578
参考文献	579

第一章

绪 论

第一节 水资源与水利工程建设

一、水、水资源与水环境

水是大自然的重要组成物质,是生命的源泉,是人类生活和生产活动不可缺少的重要资源,是经济社会可持续发展的基础,也是生态环境中最活跃的要素之一。可以说,没有水就没有生命,没有水就没有人类社会的发展和进步。因此,水是人们赖以生存和生活的一种重要资源,称之为水资源。水资源主要是指某一地区可逐年天然恢复和更新的淡水资源。水资源具有储量的有限性、补给更新的循环性、时空分布的不均匀性、利与害的双重性、可储藏可输移等特点。水资源用途十分广泛且不可替代,需要人们去研究、开发、控制、利用和保护。

地球表面积的 70.8%^[1] 被水所覆盖,藏水总量约为 13.8 亿 km³,但绝大部分是海水,淡水资源很少,约为 0.35 亿 km³,占地球藏水总量的 2.53%。大部分淡水又被储藏在极地冰盖和高山冰川之中,可供人类使用的淡水资源不足淡水总量的 1%,约为 0.77%^[1]。目前,世界上已有一些国家和地区出现水资源短缺,为了控制和争夺水资源,不惜引发国际争端甚至发动战争。例如中东地区,虽然石油资源非常丰富,但水资源却很少。中东地区气候干燥,河流稀少,还有大面积没有河流的沙漠地区。匮乏的水资源对中东各国的生产以至人们的生活影响很大,如果说美国和中东是为了石油而战,那么中东国家之间的战争有的就是为了水资源而战。可以预计,随着人类社会人口的增长和社会的发展,未来的水资源形势将十分严峻,水资源的重要性也就不言而喻了。

天然水体中蕴藏有水能,采用工程措施可将天然水能转换为电能服务于人类。根据世界能源会议的资料,全世界水力资源理论蕴藏量为 50.5 亿 kW,可能开发利用的达 22.61 亿 kW。水能具有可再生、清洁、价廉等优点,在世界各国得到广泛利用。同时,在能源的开发和利用方面,逐渐对水力资源产生了一定依赖性。2005 年的统计资料表明,水电年发电量占经济可开发量的比例为:美国 79.8%,加拿大 65.9%,日本 80.6%,法国 97%,挪威 56.7%,巴西 44.1%。可见,一些西方发达国家水力资源开发程度已远远超过中国的 22.5%。由于一些国家和地区对水力资源的过度开发和使用,对生态环境的破坏和影响很大,并给人类的生活和生存带来了不利的影响。因此,对水力资源开发和使用的同时,要注重对生态环境的保护。

水既是重要资源又是环境要素,良好的水环境是维持生态平衡的基础条件。无论是自然因素还是人为影响致使水环境退化或恶化,都将引发生态问题,如河湖萎缩、水体污染、地下水衰竭、水土流失、海水入侵、生物物种减少等。实践证明,人类在对自然进行开发利用的同时,要重视水环境保护,学会与自然和谐共处,否则人类将受到自然界的惩罚并付出沉痛代价。

二、我国水资源的现状和基本特点

我国水资源现状和特点可根据国家每年发布的《中国水资源公报》进行评价和分析。

1. 水资源总量多, 人均占有量少

我国多年平均年水资源总量为 28 124 亿 m^3 。其中, 多年平均河川径流量为 27 115 亿 m^3 , 多年平均地下水资源量为 8288 亿 m^3 , 重复计算水量为 7279 亿 m^3 。我国水资源总量不少, 仅次于巴西、俄罗斯、加拿大居世界第四位。但由于中国人口众多, 人均水资源占有量低。1997 年人均占有水资源量为 2200 m^3 , 仅为世界平均值的四分之一。预计到 2030 年, 我国人均水资源占有量将下降到 1760 m^3 。按国际上现行标准人均年拥有水资源量在 1000~2000 m^3 时, 会出现缺水现象; 少于 1000 m^3 时, 会出现严重缺水的现象。我国黄河、淮河、海河流域(片)人均水资源占有量在 350~750 m^3 之间, 松辽流域(片)人均水资源占有量只有 1700 m^3 , 这些地区的用水紧张情况将长期存在, 处于国际公认的中度缺水状况。

2. 河川径流年际、年内变化大

我国河川径流量的年际变化较大。在年径流量时序变化方面, 北方主要河流都曾出现过连续丰水年和连续枯水年的现象。例如, 黄河曾出现过连续 11 年(1922~1932 年)的枯水期, 其平均年径流量比正常年份少 24%; 也出现过连续 9 年(1943~1951 年)的丰水期, 其平均年径流量比正常年份多 19%。海河流域在 20 世纪 80 年代也出现了连续枯水年。这种连续丰、枯水年现象, 是造成水旱灾害频繁、农业生产不稳和水资源供需矛盾尖锐的重要原因。

我国降雨年内分配也极不均匀, 主要集中在汛期。长江以南地区河流汛期(4~7 月)的径流量约占年径流总量的 60%, 华北地区的部分河流汛期(6~9 月)则可达 80%以上。但由于我国雨热同期的优势, 农作物生长时节既有适合的温度又有充分的雨水, 为提高农业产量创造了有利条件。

然而随着人类对自然资源的过度开发和使用, 人力作用影响气候变化的力度将会越来越大, 河川径流年际、年内变化大和不均衡的现象会更加突出。

3. 水资源地区分布与其他重要资源布局不相匹配

我国水资源的地区分布不均匀, 南多北少, 东多西少, 相差悬殊, 与人口、耕地、矿产和经济的分布不相匹配。据统计, 截至 2007 年, 北方六区(松花江、辽河、海河、黄河、淮河、西北诸河)人口约占全国总人口的 47%, 耕地约占全国的 65.3%, GDP 约占全国的 45.2%, 水资源只占全国的 19.5%; 南方四区(长江、珠江、东南诸河、西南诸河片)人口约占全国的 53%, 耕地约占全国的 34.7%, GDP 约占全国的 54.8%, 而水资源量为全国的 80.5%。北方六区人均水资源占有量约为 800 m^3 , 仅为南方四区人均占有量的 1/3 甚至还要少, 水资源在地区间的不平衡问题相当突出。根据水利部 2007 年的水资源公报, 我国人均水资源占有量为 1943 m^3 , 远远低于世界人均水资源占有量的平均水平。

4. 我国水力资源十分丰富, 居世界第一, 但开发程度远低于世界发达国家水平

我国水能资源非常丰富, 2005 年 11 月 26 日, 全国水力资源复查工作领导小组发布的水力资源复查的主要成果是: 我国大陆水力资源理论蕴藏量在 1 万 kW 及以上的河流共计 3886 条, 水力资源理论蕴藏量年电量为 60 829 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 平均功率为 69 440 万 kW; 技术可开发装机容量 54 164 万 kW, 年发电量 24 740 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$; 经济可开发装机容量 40 180 万 kW, 年发电量 17 534 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。我国水力资源理论蕴藏量、技术可开发量、经济可开发量及已建和在建开发量均居世界首位。水力资源是我国能源资源的最重要的组成部分之一, 如

果折算成标准煤,相当于我国能源总量的40%左右。水能是可再生能源,优先发展水电是我国能源发展战略之一;利用水能,开发水电,也是我国的基本国策之一。此外,水力资源复查的主要成果还表明,全国水力资源技术可开发量最丰富的三省(区)的排序依次为四川、西藏、云南,其技术可开发量装机容量分别为12 004万kW、11 000.4万kW和10 193.9万kW,分别占全国技术可开发量的22%、20%和19%,西南三省区水力资源占全国水力资源的61%,为此,国家实行了“西电东送”战略。

截至2008年底,我国的水电装机容量已达到1.71亿kW,占技术可开发量的31.5%,与发达国家的70%相比,我国水力资源的开发程度相当低。因此,我国水力资源开发利用潜力相当巨大,任重而道远。

三、水利工程

人类需要适时适量的水,水量偏多或偏少往往造成洪涝、干旱等灾害,旱、涝灾害是世界自然灾害中损失最大的两种自然灾害。水资源受气候影响,在时间、空间上分布不均匀,不同地区之间、同一地区年际之间及年内汛期和枯水期的水量相差很大,来水与用水矛盾突出,出现了来水和用水之间不相适应的问题。国民经济各用水部门为了解决这一矛盾,实现水资源在时间上、地区上的重新分配,做到蓄洪补枯、以丰补缺,消除水旱灾害,发展灌溉、发电、供水、航运、养殖、旅游、维护生态环境等事业,都需要因地制宜地修建必要的蓄水、引水、提水或跨流域调水工程,以使水资源得到合理的开发、利用和保护。对自然界的地表水和地下水进行控制和调配,以达到兴水利除水害的目的而兴建的各项工程,总称为水利工程。水利工程的兴建,必须做到因地制宜,统筹规划,在满足各种需要的同时,最大限度的保护环境和生态。

水利工程按其服务对象可分为防治洪水灾害的防洪工程,为农业生产服务的农田水利工程(也称灌溉排水工程),将水能转化为电能的水力发电工程,为水运服务的航道及港口工程(同时有防洪、水运作用时称为河道整治工程),为人类生活和工业用水及排泄、处理废水和雨水服务的城镇供水及排水工程。此外,还有防止水质污染、维护生态环境的环境水利工程,防御海潮、涌浪侵袭及保护沿海城市与农田的河口堤防和海塘工程,以及围海造陆以满足生产、生活、交通需要的海涂围垦工程等。水土保持中的工程措施和林牧渔业中有关水的工程措施,也都属于水利工程范畴。很多水利工程具有综合利用效益,称为综合性水利工程。水资源开发利用由原始的单一目标,向现代的多目标、整体优化转变,是人类文明进步的体现。

水利工程也可以按其对水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、污水处理工程等。

四、水利工程的组成

水利工程主要由各种控制和分配水流的具体建筑物组成,包括挡水的堤防、海塘和各种类型的挡水坝;泄水或取水的水闸、隧洞和涵管;输水的人工河道、渠道、隧洞、涵管、渡槽和倒虹吸管;河道整治的丁坝、顺坝、导流堤和护岸;水力发电系统的压力前池、压力管道、调压室和水电站厂房;取水和扬水的单井、群井、进出口流道和泵站厂房;城镇供水及排水系统的过滤池、配水管网、污水处理厂和排污渠(管)道;航运设施的船闸、升船机、船坞、码头和防波堤;过坝设施的筏道、鱼道、鱼闸等。组成水利工程的建筑物种类繁多,这些建筑物便是“水工建筑物”这门课程的主体研究内容。

五、水利工程建设

通过勘测、规划和设计,把体现使用目标与设计意图,用于控制及分配水流的图上建筑物变为实际的过程,称为水利工程建设。水利工程建设,是一个庞大而复杂的系统工程,涉及建设过程的管理、组织,地形、地质和环境因素的影响,以及建筑材料、施工机械、交通运输、施工技术、建设周期等诸多因素的制约。水利工程宏伟而壮观把体现设计意图的水利工程变为实际建筑物,要耗费人们大量的精力和时间去学习、研究和建设。

第二节 水利枢纽与水工建筑物

一、水利枢纽与水工建筑物

图 1-1 所示为中国湖北省丹江口水利枢纽的工程图,图 1-2 所示为丹江口水利枢纽工程。该枢纽位于湖北省丹江口市、汉水与丹江交汇口以下 800m 处,是汉水干流最大的水利枢纽。它是一处具有防洪、发电、灌溉、航运、养殖等综合效益的水利枢纽。

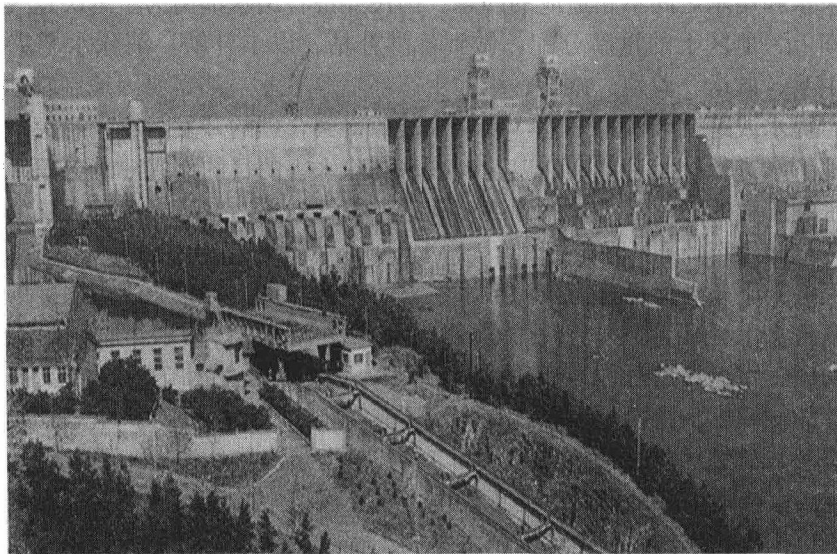


图 1-1 丹江口水利枢纽工程

丹江口水利枢纽不仅是治理和开发汉水的关键性工程,也是南水北调中线方案的水源工程。该水利枢纽分两期开发。第一期正常蓄水位高程 157.0m,设计洪水位高程 159.8m,校核洪水位高程 161.3m,坝顶高程 162m,总库容 174.5 亿 m^3 ,最大坝高 97m,两岸土石坝坝顶高程 165.2m;第二期正常蓄水位高程 170.0m,总库容 290.5 亿 m^3 。

枢纽主要由挡水建筑物、泄洪建筑物、通航建筑物、发电建筑物等组成(见图 1-1),一期工程坝顶长度 2461m。坝址上游左岸 30km 处支流丹江上建有两座灌溉取水渠首引水闸,其一为河南省灌溉用的陶岔引水闸,引水流量 $500\text{m}^3/\text{s}$;另一为湖北省灌溉用清泉沟引水闸,引水流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 。该工程主要建筑物包括:①用以截断水流、挡水蓄水的左右岸土石坝和非溢流混凝土坝段;②用于保证工程安全、宣泄多余洪水的溢流坝段和深孔坝段;③坝址上游左岸 30km 处用于向河南、湖北两省输水的灌溉渠首引水闸;④用于发电用的坝后

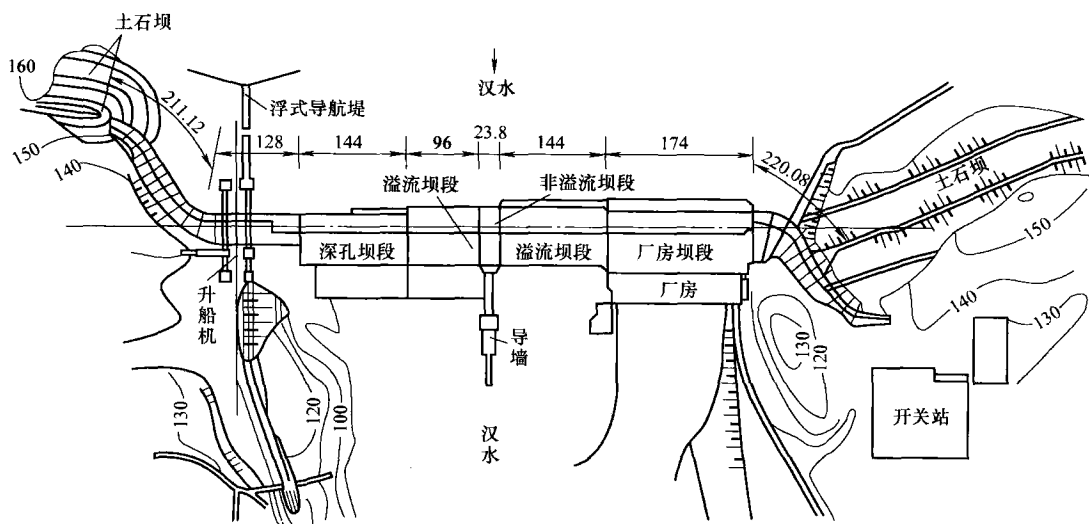


图 1-2 丹江口水利枢纽平面布置图 (单位: m)

式厂房; ⑤承运上下游船只过坝的升船机; ⑥平顺水流、船只的下游导墙、浮式导航堤等。

从丹江口水利枢纽的工程实例可以看出, 为了满足防洪要求, 获得灌溉、发电、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, 用以控制和分配水流, 同时承受水的作用, 进而达到兴水利除水害的目的, 这些建筑物统称为水工建筑物。图 1-2 中的土石坝、坝后式厂房、溢流坝段、灌溉渠首引水闸、下游导墙、浮式导航堤等即是水工建筑物的实例。

为实现兴水利、除水害的目标, 由若干座不同类型的水工建筑物构成的建筑物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、发电、灌溉、引水等。但多数兼有几种功能, 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。有些水利枢纽以其主体工程 (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。例如, 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, 而发电则是利用水的能量。又如, 防洪部门希望尽量加大防洪库容以便拦蓄更多的洪水, 而兴利部门则希望扩大兴利库容等。为了协调上述各部门供需之间的矛盾, 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、近期与远期国民经济发展的需要等, 统筹安排。水资源的综合利用原则就是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, 形式各异, 但按照其用途可分为一般水工建筑物和专门性水工建筑两大类。当一种形式的水工建筑物, 不同场合或在同一场合, 可以服务于几个水利事业部门时, 称其为一般水工建筑物; 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。

按其在水利枢纽中所起的作用通常可将水工建筑物分为以下几类。

(1) 挡水建筑物。用以拦截江河或约束水流, 形成水库或壅高水位, 调蓄水量, 如各种

坝和水闸,以及为抗御洪水或挡潮,沿江河海岸修建的堤防、海塘和导流施工用的施工围堰等。

(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。水利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、泄水隧洞等。

(3) 输水建筑物。为满足灌溉、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物,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、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。例如,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,专为过坝用的船闸、升船机、鱼道、过木道等。

应当指出,有些水工建筑物的功能并非单一的,难以严格区分其类型。例如,各种溢流坝,既是挡水建筑物,又是泄水建筑物;水闸不但既可挡水,又可泄水,有时还可作为灌溉渠首或供水工程的取水建筑物。

按照使用期限,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主要建筑物和次要建筑物。主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、水利工程的特点

水利工程多修建在江河、湖泊、海岸等范围内,既对水起控制作用,又起承受作用。因而,除了工程量大、投资多、工期长之外,水利工程还具有以下几方面的特点。

(1) 工作条件复杂。地形、地质、水文、社会经济、施工等条件对选定坝址、闸址、洞线、枢纽布置、水工建筑物的形式等都有着极为密切的关系。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性,特别是受到水环境因素的影响,其工作条件很复杂。

(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问题。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。

(3) 效益大,对环境影响也大。一方面,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大意义,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、养殖等效益十分显著,在防洪方面也大幅减轻了

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 4 倍。但是，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、旁屋、耕地等产生不利影响；由于水质、水温、湿度的变化，改变了库区的小气候，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重大的损失。据统计，近年来世界上每年的垮坝率虽较过去有所降低，但仍在 0.2% 左右。例如，1975 年 8 月 5 日，我国河南省驻马店地区遭遇特大洪水，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 100 余天，死亡人数达 9 万余人，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。2006 年 6 月 1 日，前国家防汛抗旱总指挥部秘书长、水利部副部长鄂竟平说，水库安全度汛仍将是全年防汛工作的难点和薄弱环节。根据中华人民共和国水利部《2007 年全国水利发展统计公报》，截至 2007 年底，中国已建成各类水库 85 142 座；截至 2005 年底，中国每年平均有 68 座水库垮坝；1954~2005 年，中国共有 3486 座水库垮坝。

水库垮坝所带来的人员伤亡和财产损失，可能超过一次海啸，超过一次强烈地震，甚至不亚于一次局部战争。水库垮坝造成惨重的人员伤亡事故，既有不可抗拒的自然因素，也有因大坝设计不合理、防汛责任制不落实、安全管理不到位、下游人员转移不及时等人为因素，为此，大坝的安全工作是极为重要的。

四、水利枢纽的分等与水工建筑物的分级

水利工程是改造自然、开发水资源的举措，能为社会带来巨大的经济效益和社会效益。随着社会经济的发展，这种效益会越来越来大。但是，水利工程也有其脆弱的一面，即不能承受水利设施失效的影响。水利工作失事会直接影响经济收益，而工程失事将给社会带来巨大的财产损失和人为的灾害。直接损失尚可估量，间接损失就更为严重。水利是国民经济的基础产业，工作失事会导致社会经济运转受到阻滞和破坏，甚至形成社会问题。因此，应从社会经济全局的利益出发，高度重视工程安全，将之与经济性合理地统一考虑。有关规范将水利水电工程按重要性分等，将枢纽中的建筑物分级，就是体现了这种意图。

水利部、能源部颁布的水利水电工程分等分级指标中，将水利水电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，见表 1-1。

表 1-1 水利水电工程分等指标

工程 等别	工程 规模	水库总库容 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	防 洪		治涝	灌溉	供水	发电
			保护城镇及工 矿企业重要性	保护农田 ($\times 10^4$ 亩)	治涝面积 ($\times 10^4$ 亩)	灌溉面积 ($\times 10^4$ 亩)	供水对象 重要性	装机容量 ($\times 10^3 \text{ MW}$)
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. 水库总库容指水库最高水位以下的静库容。

2. 治涝面积和灌溉面积均指设计面积。

水利水电工程中的永久性水工建筑物，根据其所属工程等别及在工程中的作用和重要性划分为五级，见表 1-2。

表 1-2 永久性水工建筑物的级别

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

水利水电工程中的临时性水工建筑物的级别，根据其所属工程等别及在工程中的作用、失事后果、使用年限、临时性建筑物规模和重要性划分为三级，见表 1-3。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。

表 1-3 临时性水工建筑物的级别

级别	保护对象	失 事 后 果	使用年限 (年)	临时性水工建筑物规模	
				高度 (m)	库容 ($\times 10^8 \text{m}^3$)
3	有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物	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 级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响总工期及第一台(批)机组发电，造成较大经济损失	$3 \sim 1.5$	$50 \sim 15$	$1.0 \sim 0.1$
5	3、4 级永久性水工建筑物	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

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。

(1) 对于 2~5 级永久性水工建筑物，工程失事后损失巨大或影响十分严重的，经过论证并报主管部门批准，可提高一级；对失事后造成损失不大的 1~4 级主要永久性水工建筑物，经过论证并报主管部门批准，可降低一级。

(2) 对于 2~5 级永久性水工建筑物，当工程地质条件特别复杂或者采用实践经验较少的新型结构时，可提高一级，但洪水标准不予提高。其意义在于提高结构设计的安全系数。

(3) 对 2 级、3 级永久性水工建筑物，若超过规范中的坝高，其级别可提高一级，但洪水标准可不提高，见表 1-4。

(4) 对于 3 级以下临时性水工建筑物，当利用其发电、通航时，经过技术经济论证，可提高一级。

为了使建筑物的安全性、可靠性与其在社会经济中的重要性相协调，在水工设计中，对不同级别的建筑物在下列几个方面应有不同的要求。