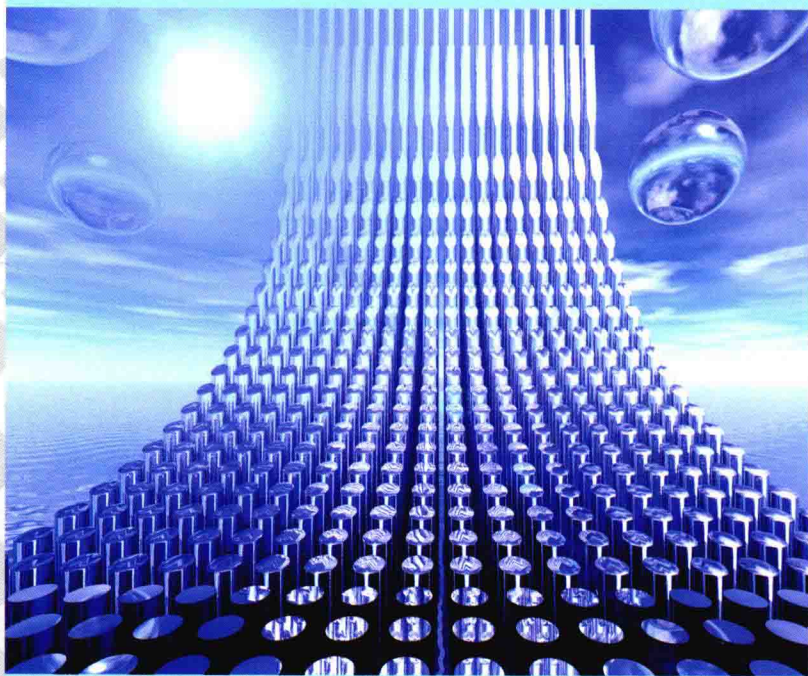


“国家示范性高等职业院校建设计划项目”中央财政支持重点建设专业
杨凌职业技术学院水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

水工建筑物

《水工建筑物》课程建设团队 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“国家示范性高等职业院校建设计划项目”中央财政支持重点建设专业
杨凌职业技术学院水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

水工建筑物

《水工建筑物》课程建设团队 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是“国家示范性高等职业院校建设计划项目”推出的工学结合系列教材之一，是根据水工建筑物课程标准编写完成的。全书内容共分5个模块，包括水利工程及水工建筑物基础知识、挡水类建筑物、泄水类建筑物、渠系类建筑物、水利枢纽布置与水工建筑物技术管理等。本书的编写依照工学结合的要求和基于工作过程的课程观，与行业企业技术专家共同从工作实际出发，以项目为基础，以实际工作流程为依据，构建教材内容，总体突出实用性和针对性。

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 / 《水工建筑物》课程建设团队主编

— 北京：中国水利水电出版社，2011.1

“国家示范性高等职业院校建设计划项目”中央财政支持重点建设专业、杨凌职业技术学院水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

ISBN 978-7-5084-7620-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第011174号

书 名	“国家示范性高等职业院校建设计划项目”中央财政支持重点建设专业 杨凌职业技术学院水利水电建筑工程专业课程改革系列教材 水工建筑物
作 者	《水工建筑物》课程建设团队 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 20.5印张 486千字
版 次	2011年1月第1版 2013年1月第2次印刷
印 数	3001—6000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

“国家示范性高等职业院校建设计划项目”
教材编写委员会

主任：张朝晖

副主任：陈登文

委员：刘永亮 祝战斌 拜存有 张 迪 史康立
解建军 段智毅 张宗民 邹 剑 张宏辉
赵建民 刘玉凤 张 周

《水工建筑物》教材编写团队

主 编：杨凌职业技术学院 张 宏

副主编：杨凌职业技术学院 杨振华 刘儒博

参 编：杨凌职业技术学院 海 琴

西北农林科技大学 杨 艳

陕西省水利电力勘测设计研究院 高欢欢

主 审：西北水电勘测设计研究院 王康柱

序 言

2006年11月，教育部、财政部联合启动了“国家示范性高等职业院校建设计划项目”，杨凌职业技术学院是国家首批批准立项建设的28所国家示范性高等职业院校之一。在示范院校建设过程中，学院坚持以人为本、以服务为宗旨，以就业为导向，紧密围绕行业和地方经济发展的实际需求，致力于积极探索和构建行业、企业和学院共同参与的高职教育运行机制，在此基础上，以“工学结合”的人才培养模式创新为改革的切入点，推动专业建设，引导课程改革。

课程改革是专业教学改革的主要落脚点，课程体系和教学内容的改革是教学改革的重点和难点，教材是实施人才培养方案的有效载体，也是专业建设和课程改革成果的具体体现。在课程建设与改革中，我们坚持以职业岗位（群）核心能力（典型工作任务）为基础，以课程教学内容和教学方法改革为切入点，坚持将行业标准和职业岗位要求融入到课程教学之中，使课程教学内容与职业岗位能力融通、与生产实际融通、与行业标准融通、与职业资格证书融通，同时，强化课程教学内容的系统化设计，协调基础知识培养与实践动手能力培养的关系，增强学生的可持续发展能力。

通过示范院校建设与实践，我院重点建设专业初步形成了“工学结合”特色较为明显的人才培养模式和较为科学合理的课程体系，制订了课程标准，进行了课程总体教学设计和单元教学设计，并在教学中予以实施，收到了良好的效果。为了进一步巩固扩大教学改革成果，发挥示范、辐射、带动作用，我们在课程实施的基础上，组织由专业课教师及合作企业的专业技术人员组成的课程改革团队，编写了这套工学结合特色教材。本套教材突出体现了以下几个特点：一是在整体内容构架上，以实际工作任务为引领，以项目为基础，以实际工作流程为依据，打破了传统的学科知识体系，形成了特色鲜明的项目化教材内容体系；二是按照有关行业标准、国家职业资格证书要求以及毕业生面向职业岗位的具体要求编排教学内容，充分体现教材内容与生产实际相融通，与岗位技术标准相对接，增强了实用性；三是以技术应用能力（操作技能）为核心，以基本理论知识为支撑，以拓展性知识为延伸，将理论知识学习与能力培养置于实际情景之中，突出工作过程技术能力的培养和经验性知识的积累。

本套特色教材的出版，既是我院国家示范性高等职业院校建设成果的集中反映，也是带动高等职业院校课程改革、发挥示范辐射带动作用的有效途径。我们希望本套教材能对我院人才培养质量的提高发挥积极作用，同时，为相关兄弟院校提供良好借鉴。

杨凌职业技术学院院长：



2010年2月5日

于陕西杨凌

前 言

水利水电建筑工程专业是杨凌职业技术学院国家示范性高等职业院校建设计划项目中央财政重点支持的4个项目之一,项目编号为062302。按照子项目建设方案,在广泛调研的基础上,与行业、企业专家共同研讨,在原国家教改试点成果的基础上不断创新“合格+特长”的人才培养模式,以水利水电工程建设一线的主要技术岗位核心能力为主线,兼顾学生职业迁移和可持续发展的需要,构建“工学结合”的课程体系,优化课程内容,进行专业平台课与优质专业核心课的建设。经过3年的探索实践取得了一系列的成果,2009年9月23日顺利通过省级验收。为了固化示范建设成果,进一步将其应用到教学之中,实现最终让学生受益,在同类院校中形成示范与辐射,经杨凌职业技术学院专门会议审核,决定正式出版系列课程教材,包括优质专业核心课程、工学结合一般课程等,共计16部。

本书《水工建筑物》属于优质专业核心课程教材,是根据水利水电建筑工程专业人才方案中“水工建筑物”课程的目标要求,以项目任务来讲解各类水工建筑物的设计原理及方法,从“工学结合”的要求和基于工作过程的课程观编排教材的内容体系。

本书内容分为5个模块,共计16个单元项目:

模块1 水利工程及水工建筑物基础知识(5个单元项目)。

模块2 挡水类建筑物(2个单元项目)。

模块3 泄水类建筑物(2个单元项目)。

模块4 渠系类建筑物(5个单元项目)。

模块5 水利枢纽布置与水工建筑物技术管理(2个单元项目)。

每模块前面有明确的预期学习成果要求。内容以各类水工建筑物设计计算为主线,每个模块中的单元项目首先提出工作任务,然后逐步讲解解决方法和要点,最后列出解决结果。每个模块列入知识拓展部分,开阔学生视野为后续学习打下基础。另外与本教材配套的还有《水工建筑物设计实训》教材将另行成册。

本教材编写团队由高职院校教师和行业企业专家共同组成。本书由杨凌职业技术学院张宏担任主编,负责统稿。其中模块1、模块2单元2.2、模块5单元5.1及附录由杨凌职业技术学院张宏编写,模块2单元2.1由杨凌职业技术学院杨振华编写,模块3单元3.1、模块5单元5.2由杨凌职业技术学院海琴编写,模块4单元4.2~单元4.5由杨凌职业技术学院刘儒博编写,模块3单元3.2由陕西省水利电力勘测设计研究院高欢欢编写,模块4单元4.1由西北农林科技大学杨艳编写。西北水电勘测设计研究院王康柱任主审。

教材编写中将工作任务与工作内容引入课程教学,实现“学中做”和“做中学”,体现了职业教育的最新理念。编写过程是示范建设中的一种大胆创新,虽有一定的新意,但错误与缺陷在所难免,恳望各位专家与同学们多提宝贵意见。

水工建筑物课程建设团队

2009年9月

序言

前言

模块 1 水利工程及水工建筑物基本知识	1
预期学习成果	1
单元 1.1 水利工程常用名词	1
单元 1.2 水利枢纽介绍及开发利用概况	3
单元 1.3 水利枢纽的分等与水工建筑物的分级	8
单元 1.4 水利水电工程的洪水设计标准及堤坝安全加高	9
单元 1.5 水工建筑物常见的作用及计算方法	11
模块 2 挡水类建筑物	25
预期学习成果	25
挡水类建筑物的概论	25
单元 2.1 重力坝	26
单元 2.2 土石坝	75
模块 3 泄水类建筑物	122
预期学习成果	122
泄水类建筑物的概论	122
单元 3.1 河岸溢洪道	123
单元 3.2 水工隧洞	138
模块 4 渠系类建筑物	167
预期学习成果	167
渠系类建筑物的概论	167
单元 4.1 小型水闸	167
单元 4.2 渡槽	219
单元 4.3 倒虹吸管	248
单元 4.4 涵洞	263
单元 4.5 跌水与陡坡	269
模块 5 水利枢纽布置与水工建筑物技术管理	274
预期学习成果	274

单元 5.1	水利枢纽布置	274
单元 5.2	小型水工建筑物的技术管理	290
附录	水工建筑物设计常用软件简介	308
参考文献	320

模块 1 水利工程及水工建筑物基本知识

预期学习成果

通过本部分各单元的学习，学生应取得如下预期成果：

- (1) 能陈述水利枢纽及水工建筑物的概念。
- (2) 能陈述水利工程分等、水工建筑物分级的目的意义。
- (3) 能够依据规范、标准对水利水电工程分等对相应水工建筑物分级。
- (4) 能够根据水工建筑物的特点进行建筑物分类。
- (5) 能够准确判断作用于水工建筑物的常见荷载类型并计算。

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。水资源在自然循环过程中是一种可利用的和可再生的重要能源，也是改善环境和发展旅游事业的必要条件。地球上的总水量绝大部分是海洋水占全球总水量的 96.5%，在陆地运行的陆地水仅占全球总水量的 3.5%；陆地水淡水中的 69.6% 分布在南北两极冰川中以及陆地高山上的永久冰川与积雪中，仅有 30.4% 分布在陆地河、湖、水库、土壤以及地下含水层中，可供人类生存开发利用。

我国幅员辽阔，但水资源并不丰富，人口平均则仅约相当于全球平均数的 1/4。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，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，根据天然的时、空分布特点，国民经济各用水部门的需水需要，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、综合利用和有效保护。

我国虽然水的人均拥有量不算多，而由于从青藏高原到海平面之间的巨大落差，使我国可用于发电的水能资源却十分丰富。全国水能理论蕴藏量达 6.8 亿 kW，其中可开发的也达 3.78 亿 kW，年发电量可达 19100 亿 kW·h 以上，这些数字均居世界首位。因此，利用我国这一资源优势，大力开发水电资源，对解决我国新世纪经济发展中的能源问题以及带动区域经济的快速发展具有决定性意义。

中国水资源分布的总的特点是：年内分布集中，年间变化大；黄河、淮河、海河、辽河四流域水资源量小，长江、珠江、松花江流域水量大；西北内陆干旱区水量缺少，西南地区水量丰富。水能资源储备量丰富。

单元 1.1 水利工程常用名词

- (1) 地形：地物和地貌的总称。地物指地面上各种人为的或天然的固定物体，如房



屋、道路、河海、水塘等。地貌指地表面的高低起伏、倾斜缓急等的形状。地面的基本形状，主要有山头、洼地、山谷、鞍部等几种。

(2) 高程：地面点的高程，是指该点离平均海平面的铅垂距离。这种从平均水平面起算的高程，叫做绝对高程，又称海拔、标高。在局部地区或边远地区，当附近没有国家水准点时，可约定某一点的高程作为测算其他点高程的依据，这种高程叫做相对高程。

(3) 水文：自然界中水的各种现象的发生、发展状况及其规律和相互关系。按照水体存在的位置，水文可分为水文气象、陆地水文、海洋水文、水文地质等学科。工程水文学为水资源开发、兴利除害提供规划、设计、施工及运行管理的科学依据。

(4) 流域：河流的集水区域，是地表水及地下水分水线所包围的集水区域的统称，习惯上往往指地表水的集水面积。流域面积以平方千米计。

(5) 水系：又叫河系，由干流和它的全部支流构成的一个独立的水（河）道系统。水系常用干流的名称命名。

(6) 水文资料：指从实地调查、观测及计算研究所得与水文有关的各项资料。例如降水量、蒸发量、水位、流量、含沙量等，以及从这些资料求得在一定时期内的最大值、最小值、平均值、总量、过程线和等值线等。

(7) 重现期：即频率的倒数。常用 T 表示，即 $T=1/P$ （式中 P 为不小于该数值发生的频率）叫做“ T 年一遇”。例如防洪工程的设计标准 $P=1\%$ ，则重现期 $T=1/0.01=100$ （年），为“百年一遇”。

(8) 设计标准：进行各种水利设施的设计时所考虑采用的一定标准，作为确定建筑物规模的依据。例如，设计防洪水库，需要考虑以多大的洪水作为确定库容和溢洪道尺寸的标准。这种标准就叫做设计标准。

(9) 设计水位：按照一定的设计标准，如频率为 5% 、 10% 、 50% 等，对各种水文特征值通过水文计算而得出的当地可能出现的水位，它是用来分析各建筑物的工作条件、受力情况，进行规划设计的基本数据。

(10) 设计洪水位与校核洪水位：设计洪水位指水库拦蓄一定设计标准的洪水时，相应于防洪库容的水位。校核洪水位是为校核验算在特大洪水的非常条件下水利工程设计的更安全情况的水位。一般校核洪水位的出现频率较设计洪水位更为少见。

(11) 水利勘测：对计划治理和开发的流域或地区进行调查、收集资料并进行初步分析、明确工程的范围、性质及修建的价值，同时为规划、设计提供资料依据。

(12) 农田水利：为发展农业生产服务的水利事业。基本任务是通过各种工程技术措施，改造对农业生产不利的自然条件，改良土壤，并提高土壤肥力，为农业高产稳产创造条件。

(13) 灌区：指一个灌溉系统内受益的土地范围。根据面积的大小，灌区划分为大型、中型、小型三类。根据灌溉水源，灌区分为利用地表水的渠灌区和利用地下水的井灌区。根据取水方式不同，分自流灌区与提水灌区。

(14) 灌溉系统：指灌溉的整套设施，分为水源及渠道建筑物、输水和配水系统三个部分，由各级渠道建筑物组成及田间灌溉网。

(15) 坝堰：坝有两种涵义，一是拦截住水流的挡水建筑物，用以调节流量，抬高水位，并形成水库；二是治导河流，保护岸床的建筑物。堰则是指较低的溢流坝。



(16) 重力坝：依靠自重保持稳定的一种挡水坝。由混凝土或浆砌块石筑成。

(17) 拱坝：平面呈拱形的挡水坝。上游水压力部分通过拱的作用传到河谷两岸，部分通过坝体悬臂梁的作用传到坝基。

(18) 土坝：利用当地土料筑成的一种挡水坝。其类型按筑坝的材料及断面结构，可分为均质坝、各种土质坝、心墙坝、斜墙坝。

(19) 溢流坝：顶部允许过水的坝。

(20) 水闸：修建在河流、渠道上的低水头挡水、泄水建筑物，其作用是调节水位、控制流量或宣泄流量、控制泥沙等。

(21) 单机容量：指一台发电机组的铭牌出力。

(22) 总装机容量：电站所有发电机组容量之和。

(23) 保证出力：指电站在某一保证率下最少能提供的电力。

(24) 年发电量：电站一年运行所生产的电能。

(25) 年利用小时：指发电机组满载发电时的年小时数，用来衡量机组的利用率。

单元 1.2 水利枢纽介绍及开发利用概况

1.2.1 水利建设

1. 三峡水利枢纽工程

此工程全称为长江三峡水利枢纽工程。坝址位于湖北宜昌市三斗坪，在已建成的葛洲坝水利枢纽上游约 40km。三峡工程建筑物由大坝、水电站厂房和通航建筑物三大部分组成。整个工程包括一座混凝土重力式大坝，泄水闸，一座坝后式水电站，一座永久性通航闸和一架升船机。枢纽平面布置如图 1.2.1 所示。

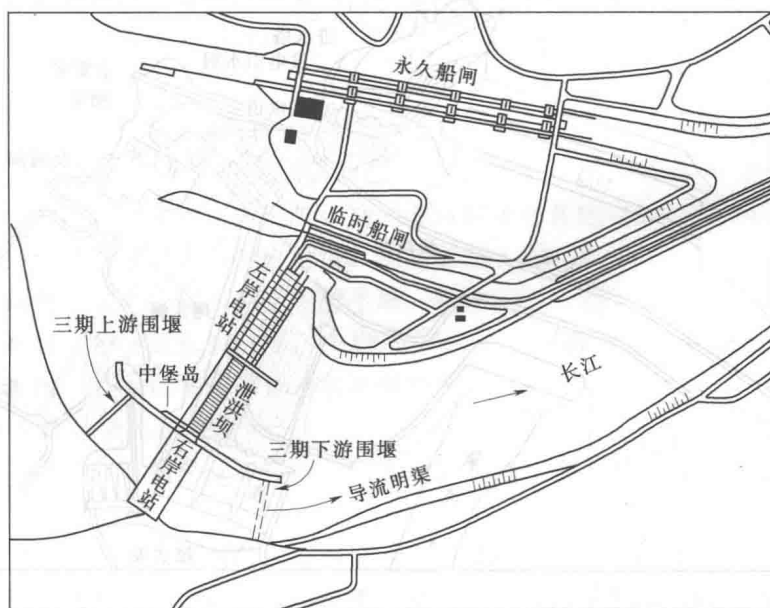


图 1.2.1 长江三峡水利枢纽工程平面布置图



坝轴线全长 2309.47m, 坝顶高程 185m, 正常蓄水位 175m。水电站左岸厂房全长 643.6m, 安装 14 台水轮发电机组; 左岸厂房全长 584.2m, 安装 12 台水轮发电机组。全电站 26 台机组均为单机容量 70 万 kW 混流式水轮发电机组, 总装机容量为 1820 万 kW, 年平均发电量 846.8 亿 kW·h。通航建筑物位于左岸, 永久通航建筑物为双线五级连续梯级船闸, 单级闸室的有效尺寸为 280m×34m×5m (长×宽×坎上水深), 可通过万吨级船队。升船机为单线一级垂直提升式, 承船厢有效尺寸 120m×18m×3.5m, 一次可通过 3000t 级的客货轮。

三峡工程总工期 18 年, 分 3 期。一期 5 年 (1992~1997 年), 主要工程除准备工程外, 主要进行一期围堰填筑, 导流明渠开挖。修筑混凝土纵向围堰, 以及修建左岸临时船闸 (120m 高), 并开始修建左岸永久船闸、升船机及左岸部分石坝段的施工。二期工程 6 年 (1988~2003 年), 工程主要任务是修筑二期围堰, 左岸大坝的电站设施建设及机组安装, 同时继续进行并完成永久特级船闸, 升船机的施工, 2003 年 11 月左岸第一批机组发电。三期工程 6 年 (2003~2009 年), 本期进行的右岸大坝和电站的施工, 并继续完成全部机组安装。

三峡工程是当今世界最大的水利水电枢纽工程, 在防洪、发电、航运等方面具有巨大的综合效益。

2. 小浪底水利枢纽工程

小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市以北、黄河中游最后一段峡谷的出口处, 上距三门峡水利枢纽 130km, 下距郑州花园口 128km, 控制流域面积 69.42 万 km², 占黄河流域面积的 92.3%, 是黄河最下游的控制性骨干工程。其开发目标以防洪、防凌、减淤为主, 兼顾供水、灌溉和发电。

小浪底水利枢纽工程由拦河大坝、泄洪排沙系统和引水发电系统三部分组成, 枢纽平面布置如图 1.2.2 所示, 拦河大坝为壤土斜心墙堆石坝, 最大坝高 154m, 坝顶长 1667m,

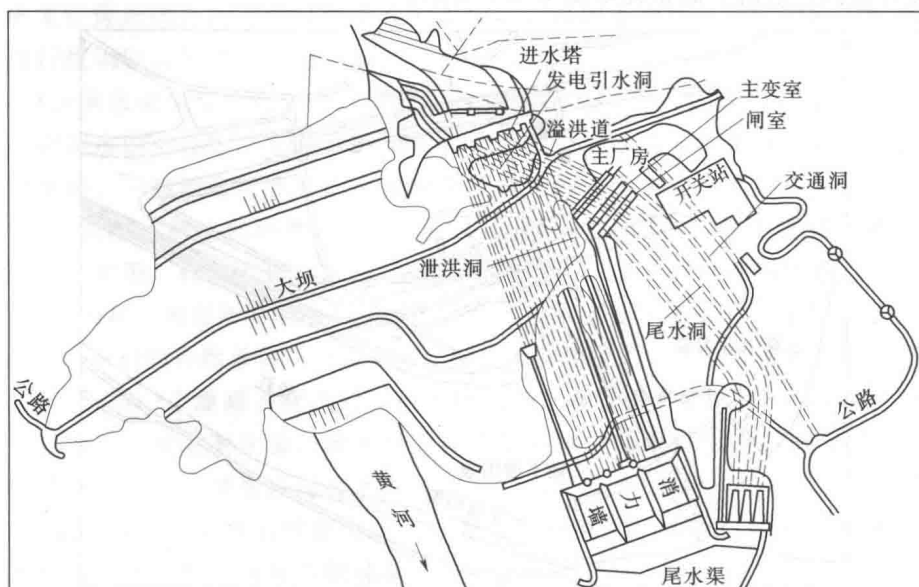


图 1.2.2 黄河小浪底水利枢纽工程平面布置图



坝顶宽 15m, 最大坝底宽 864m。坝体总填筑量 5185 万 m^3 , 其混凝土防渗墙是国内最深、最厚的防渗墙 (墙宽 1.2m, 最深 80m)。泄洪排沙系统分进水口、洞群和出口 3 个部分; 引水发电系统由 6 条引水发电洞、1 座地下厂房、1 座主变室、1 座尾闸室和 3 条尾水洞组成; 主厂房最大开挖高度 61.44m、宽 26.2m、长 251.5m, 是目前国内最大的地下厂房之一。

该工程于 1991 年 9 月开始前期准备工作, 1994 年 9 月主体工程开工, 1997 年 10 月 28 日大河截流, 1999 年底首台机组发电, 2001 年 12 月 31 日全部竣工, 总工期 11 年。

小浪底水利枢纽工程建设全面推进了业主责任制、招标投标制、建设监理制, 与国际工程管理实现了全方位的接轨。该枢纽主体工程建设采用国际招标。以意大利英波吉罗公司为责任方的黄河承包商中标承建大坝工程; 以德国旭普林公司为责任方的中德意联营体中标承建泄洪工程; 以法国杜美兹公司为责任方的小浪底联营体中标承建引水发电设施工程; 水轮机由美国 VOITH 公司中标制造; 发电机由哈尔滨电机有限责任公司和东方电机股份有限公司联合制造; 机电安装工程由水电十四局、水电四局、水电三局组成的 FFT 联营体中标。

1.2.2 基本概念

1.2.2.1 水利工程

水利工程是为了控制和利用自然界的地面水和地下水, 以达到除害兴利为目的而兴建的各项工程的总称。按其承担的任务可分为: 防洪工程、灌溉排水工程或农田灌溉工程、水力发电工程、供水和排水工程、水质净化和污水处理工程等。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、水质净化和污水处理工程。

1.2.2.2 水利枢纽和水工建筑物

1. 水工建筑物

水工建筑物是为兴水利除水害目的而修建的建筑物。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, 这些建筑物称为水工建筑物。

2. 水利枢纽

由不同类型水工建筑物组成的综合体称为水利枢纽。

3. 水利枢纽分类

以某一单项为主而兴建的水利枢纽, 虽同时可能还有其他综合利用效益, 则常冠以主要目标名称, 如防洪枢纽、水力发电枢纽、航运枢纽、取水枢纽等。水利枢纽随修建地点的地理条件不同有山区、丘陵水利枢纽和平原、滨海地区水利枢纽之分; 随枢纽上下游水位差的不同, 有高、中、低水头之分, 一般以 70m 以上者称为高水头枢纽, 30~70m 者为中水头水利枢纽, 30m 以下者为低水头水利枢纽。

4. 水工建筑物按功能分类

(1) 挡水、壅水建筑物: 用以拦截江河水流, 抬高上游水位以形成水库, 如各种坝、闸等。

(2) 泄水建筑物: 用以宣泄洪水期河道入库洪量超过水库调蓄能力的多余洪水, 以保证大坝及有关建筑物的安全, 如河岸溢洪道、泄洪洞、重力坝溢流坝段、坝身泄水孔等。

(3) 输水建筑物: 用以满足发电、供水和灌溉的需求, 从上游向下游输送水量, 如输



水渠道、引水管道、水工隧洞、渡槽、倒虹吸管等。

(4) 取水建筑物：一般布置在输水系统的首部，用以控制水位、引水流量或人为提高水头，如进水闸、扬水泵站等。

(5) 河道整治建筑物：用以改善河道的水流条件，防治河道变形及险工的整治，如顺坝、导流堤、丁坝、潜坝、护岸等。

(6) 专门建筑物：为水力发电、过坝、量水而专门修建的建筑物，如调压室、电站厂房、船闸、升船机、筏道、鱼道、量水堰等。

5. 水工建筑物的特点

(1) 工作条件的复杂性。

水工建筑物工作条件复杂性主要是由于水的作用。水对建筑物有静水压力，随建筑物挡水高度的增加而剧增；水面有波浪产生浪压力；水面结冰时，将产生冰压力；发生地震时，将产生地震激荡力；水流经建筑物时，也会产生各种动水压力，都必须计及。

建筑物上下游的水头差，会导致建筑物及其地基内的渗流。渗流会引起建筑物不利的渗透压力，也会产生渗透变形，过大的渗流量会造成水库的严重漏水。为此建造水工建筑物要妥善解决防渗和渗流控制问题。

高速水流通过泄水建筑物时可能出现自掺气、负压、空化、空蚀和冲击波等现象；强烈的紊流脉动会引起轻型结构的振动；挟沙水流对建筑物边壁还有磨蚀作用；挑射水流在空中会导致对周围建筑物有严重影响的雾化；通过建筑物的水流多余动能对下游河床冲刷作用，甚至影响建筑物本身的安全。为此，兴建泄水建筑物，特别是兴建高水头泄水建筑物时，要注意解决高速水流可能带来的一系列问题，并做好消能防冲设计。

除上述主要作用外，还要注意水的其他可能作用。例如，当水具有侵蚀性时，会使混凝土结构中的石灰质溶解，破坏材料的强度和耐久性；与水接触的水工钢结构易出现严重锈蚀；在寒冷地区的建筑物及地基将有一系列冰冻问题要解决。

(2) 设计选型的独特性。

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。例如，规模和效益大致相仿的两座坝，由于地质条件优劣的不同，两者的型式、尺寸和造价都会迥然不同。由于自然条件千差万别，因而水工建筑物设计选型总是只能按照各自的特征进行。除非规模特别小，一般不能采用定型设计，当然这不排除水工建筑物结构部件的标准化。

(3) 施工建造的艰巨性。

在河川上建造水工建筑物，比陆地上的土木工程施工困难、复杂得多。主要困难是解决施工导流问题，即必须迫使河川水流按特定通道下泄，以截断河流，便于施工时不受水流的干扰，创造最好的施工空间；要进行很深的地基开挖和复杂的地基处理，有时还需水下施工；施工进度往往要和洪水“赛跑”，在特定的时间内完成巨大的工程量，将建筑物修筑到拦洪高程。

(4) 失事后果的严重性。

水工建筑物如失事会产生严重后果。特别是拦河坝，如失事溃决，则会给下游带来灾难性乃至毁灭性的后果，这在国内外都不乏惨重实例。据统计，大坝失事最主要的原因一



是洪水漫顶，二是坝基或结构出问题，两者各占失事总数的 1/3 左右。应当指出，有些水工建筑物的失事与某些自然因素或当时人们的认识能力与技术水平限制有关，也有些是不重视勘测、试验研究或施工质量欠佳所致，后者尤应杜绝。

1.2.3 我国水利水电建设面临的主要问题

21 世纪初期是我国实现社会主义现代化第三步战略目标的关键时期，根据我国对国民经济与社会发展的预测研究，到 2030 年前后，我国人口将接近 16 亿人，城市化水平将达到 45% 左右，人均 GDP 将超过 3000 美元。人口的持续增长，经济结构的优化，城市化水平的提高，生态环境的改善都对我国的水利水电事业提出了更高的要求。当前，我国的水利水电建设事业面临着以下主要问题。

1. 防洪减灾体系不够完善，江河防洪形势依然严峻

我国地处季风气候区，降雨集中，洪涝灾害频繁，是全世界洪涝灾害最严重的国家之一，全国受洪涝危险的平原地区约 80 万 km^2 ，主要集中在我国最发达的中东部，面积占全国土地面积的 8%，但耕地、人口和 GDP 却分别高达 29%，42% 和 64%，是全国主要的财富集中区。因此，目前全国 70% 以上的固定资产、44% 的人口、1/3 的耕地、数百座城市以及重要的铁路、公路、油田等国民经济基础设施和工矿企业受到洪水严重危险。

2. 水资源短缺导致供需矛盾突出

我国水资源总量约 2.8 万亿 m^3 ，占全球水资源的 6%，居世界第 4 位。但人均占有水资源仅为世界平均值的 31% 左右，亩均水资源量为世界平均值的 61% 左右。特别是，我国大部分地区降雨量少且时间空间分布极不均衡，使得我国的水资源，尤其是北方地区的水资源短缺。目前，全国 668 座城市中，缺水的超过 400 座，其中 108 座城市严重缺水。随着我国人口增长和城市化进程加快，人均水资源占有量将进一步减少，用水量却会进一步增加，水资源供需矛盾更加突出，水资源短缺已经成为影响我国经济发展、粮食安全、社会安定和环境改善的主要约束因素之一。北方黄河、淮河、海河、辽河流域的水资源开发利用程度已经超过 50%，最高已经达到 80%，生态环境已经受到破坏，仅靠节水和污水回用等措施难以满足水资源的需求，必须跨流域引水补充新的水源才能基本保证这些地区的用水需求，预计到 2020 年，年需调水量就要达到 250 亿 m^3 ，调水规模巨大，任务艰巨。西部内陆地区的水资源关键在节水，保护生态环境、局部地区的缺水也只能通过内部调配加以解决。部分沿海缺水城市还应该通过雨水和海水利用、海水淡化等措施综合解决水资源短缺。

3. 水生态环境恶化的趋势仍未得到有效遏制

全国水蚀和风蚀面积占国土面积的 38%，黄河中上游地区和长江上游地区水土流失非常严重，水土流失使得我国每年的流失土地面积在 100 万亩以上，还引起河湖淤积，加剧了洪水灾害。全国工业废水和城市生活污水排放造成河流的水污染，水污染又进一步加剧了部分地区的水资源短缺。我国的西部地区天然生态十分脆弱，加之人类活动影响，部分地区水资源过度开发利用，导致河流断流、河湖萎缩、胡杨林枯死、草场退化、沙漠化加剧、沙尘暴发生频次增加，水土保持、生态建设和水环境治理的任务更加艰巨。

4. 国民经济的发展对清洁能源的需求的不断增加

能源作为国民经济发展的基础产业，严重制约国民经济发展。21 世纪初，我国电力生产中，火电、水电、核电和油电的发电量比例为 68.9%、24.5%、0.6% 和 5.8%。



单元 1.3 水利枢纽的分等与水工建筑物的分级

为使工程的安全可靠性与其造价的经济合理性适当统一起来,水利枢纽及其组成建筑物要分等分级,即先按工程的规模、效益及其在国民经济中的重要性,将水利枢纽分等,而后再对各组成建筑物按其所属枢纽等别、建筑物作用及重要性进行分级。枢纽工程、建筑物的等级不同,对其规划、设计、施工、运行管理的要求也不同,等级越高者要求也越高。这种分等分级区别对待的方法,也是国家经济政策和技术政策的一种重要体现。

根据我国有关水利水电枢纽工程等级划分设计标准,水利水电枢纽工程按其规模、效益和在国民经济中重要性分五等,其中山区、丘陵区枢纽分等指标见表 1.3.1,平原、滨海地区枢纽分等指标见表 1.3.2,水工建筑物则按表 1.3.3 分级。

表 1.3.1 山区、丘陵区水利水电枢纽工程分等指标

工程等别	工程规模	分等指标				
		水库总库容 (亿 m ³)	防 洪		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 (万亩)		
一	大(1)型	>10	特别重要城市、工矿区	>500	>150	>75
二	大(2)型	10~1.0	重要城市、工矿区	500~100	150~50	75~25
三	中型	1.0~0.1	中等城市、工矿区	100~30	50~5	25~2.5
四	小(1)型	0.1~0.01	一般城市、工矿区	<30	5~0.5	2.5~0.05
五	小(2)型	0.01~0.001			<0.5	<0.05

表 1.3.2 平原、滨海地区水利水电枢纽工程分等指标

工程等别	工程规模	分等指标						
		水库总库容 (亿 m ³)	防 洪		排涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	供水 (供给城镇 以及矿区)	水电站装 机容量 (万 kW)
			保护城镇及 工矿区	保护农田 (万亩)				
一	大(1)型	>10	特别重要	>500	>200	>150	>75	
二	大(2)型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	75~25	
三	中型	1.0~0.1	中等	100~30	60~15	50~5	25~2.5	
四	小(1)型	0.1~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	2.5~0.05	
五	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5	<0.05	

表 1.3.3 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. 永久性建筑物系指工程运行期间使用的建筑物,根据重要性可分为主要建筑物和次要建筑物。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,如堤坝、水闸、电站厂房及泵站。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,并易于修复的建筑物,如挡土墙、导流墙及护岸等。
2. 临时建筑物系指工程施工期间使用的建筑物,如导流建筑物、施工围堰等。



表 1.3.1 及表 1.3.2 中的总库容系指校核洪水位以下的水库库容,灌溉面积等则均指设计值。对于综合利用的工程,如按表中指标分数几个不同等别时,整个枢纽的等别应以其中的最高等别为准。按表 1.3.3 确定水工建筑物级别时,若该建筑物同时具有几种用途,应按最高等别考虑,仅一种用途时,则按该项用途所属等别考虑。

对于二~五等工程,在下述情况下经过论证可提高其主要建筑物级别:①水库大坝高度超过表 1.3.4 中数值者提高一级,但洪水标准不予提高;②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、新结构时提高一级;③综合利用工程,如按库容和不同用途分等指标有两项接近同一等别的上线时,其共用的主要建筑物提高一级。对于临时性水工建筑物,如其失事后将使下游城镇、工矿区或其他国民经济部门造成严重灾害或严重影响工程施工时,视其重要性或影响程度,应提高一级或两级。对于低水头工程或失事损失不大的工程,其水工建筑物级别经论证可适当降低。

表 1.3.4 需要提高级别的坝高界限

坝 的 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

不同级别的水工建筑物在以下几个方面应有不同的要求。

- (1) 抗御洪水能力:如建筑物的设计洪水标准、坝(闸)顶安全超高等。
- (2) 稳定性及控制强度:如建筑物的抗滑稳定强度安全系数,混凝土材料的变形及裂缝的控制要求等。
- (3) 建筑材料的选用:如不同级别的水工建筑物中选用材料的品种、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及是否专门设备等。

单元 1.4 水利水电工程的洪水设计标准及堤坝安全加高

1.4.1 永久性水工建筑物设计洪水标准

水利水电工程永久性水工建筑物的设计洪水标准与工程所在地的类型、坝体结构型式、运用情况等因素有关,一般分山区和平原两种情况,其具体标准应按水利部颁发的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000)的相应规定确定。

山区、丘陵区永久性水工建筑物的洪水标准见表 1.4.1。对平原及滨海地区的水利水电工程的永久性建筑物的洪水标准应按表 1.4.2 确定。

表 1.4.1 山区、丘陵区水利水电工程水工建筑物洪水标准(重现期)

单位:年

运用情况		水工建筑物级别				
		1	2	3	4	5
设计情况		1000~500	500~100	100~50	50~30	30~20
校核 情况	土石坝	可能最大洪水(PME) 或 10000~5000	5000~2000	2000~1000	1000~300	300~200
	混凝土坝、浆砌石坝	5000~2000	2000~1000	1000~500	500~200	200~100