

中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目  
水利工程专业课程建设成果

# 小型水工 建筑物设计

主 编 张春娟

副主编 刘儒博

主 审 黄炎兴



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目  
水利工程专业课程建设成果

# 小型水工 建筑物设计

主 编 张春娟  
副主编 刘儒博  
主 审 黄炎兴



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

## 内 容 提 要

本教材共分 8 个学习项目, 内容包括小型水工建筑物设计基本知识、小型重力坝、小型土石坝、河岸溢洪道、水工隧洞与坝下涵管、小型水闸、渠系建筑物、小型水利枢纽布置及运行管理。本教材的编写广泛吸纳新技术, 并针对高职教育的特点, 与行业企业专家共同开发完成。

本教材可作为高等职业技术学院、普通高等专科学校水利水电建筑工程、水利工程、工程建设监理等专业教学使用, 也可作为其他相近专业的教学参考书, 还可供水利工程技术人员阅读参考。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

小型水工建筑物设计 / 张春娟主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 1  
中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目水利工程专业课程建设成果  
ISBN 978-7-5170-5072-8

I. ①小… II. ①张… III. ①水工建筑物—建筑设计  
IV. ①TV6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第323218号

|      |                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目水利工程专业课程建设成果<br><b>小型水工建筑物设计</b>                                                                                                                                                                        |
| 作 者  | XIAOXING SHUIGONG JIANZHUWU SHEJI<br>主编 张春娟 副主编 刘儒博 主审 黄炎兴                                                                                                                                                                  |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www. waterpub. com. cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub. com. cn</a><br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心 (零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>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  | 三河市鑫金马印装有限公司                                                                                                                                                                                                                |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 20 印张 474 千字                                                                                                                                                                                              |
| 版 次  | 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                           |
| 印 数  | 0001—2000 册                                                                                                                                                                                                                 |
| 定 价  | <b>46.00 元</b>                                                                                                                                                                                                              |

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目 水利工程专业课程建设成果出版编审委员会

主 任：邓振义

副主任：陈登文 张宏辉 拜存有

委 员：刘儒博 郭旭新 樊惠芳 张春娟 赵旭升

张 宏 陈亚萍

秘 书：芦 琴

## 本教材编写团队

主 编：杨凌职业技术学院 张春娟

副主编：杨凌职业技术学院 刘儒博

参 编：杨凌职业技术学院 张 宏

杨凌职业技术学院 杨 川

杨凌职业技术学院 海 琴

杨凌职业技术学院 张 鸥

延安市市区河道管理处 卫 玲

主 审：中国水电建设集团十五工程局有限公司 黄炎兴

# 前 言

## Preface

按照《教育部 财政部关于支持高等职业学校提升专业服务产业发展能力的通知》(教职成〔2011〕11号)的要求,以提升专业服务产业发展能力为出发点,以整体提高高等职业学校办学水平和人才培养质量,提高高等职业教育服务国家经济发展方式转变和现代产业体系建设的能力为目标,教育部、财政部决定2011—2012年在全国独立设置公办高等职业学校中,支持一批紧贴产业发展需求、校企深度融合、社会认可度高、就业好的专业进行重点建设,以推动高等职业学校加快人才培养模式改革,创新体制机制,提高人才培养质量和办学水平,整体提高专业服务国家经济社会发展的能力,为国家现代产业体系建设输送大批高端技能型专门人才。

2009年,杨凌职业技术学院在顺利通过国家示范院校项目验收和全国水利示范院校建设的基础上,决定把水利工程专业列入“高等职业学校提升专业服务产业发展能力”计划项目,并根据陕西省水利发展需求制定了专业建设方案,计划使用中央财政425万元用于水利工程专业人才培养方案制定与实施、课程与教学资源建设、实习实训条件改善、师资队伍与服务能力建设等四个二级项目建设,该项目于2013年12月顺利通过省级验收。

按照子项目建设方案,通过广泛调研,学院与行业企业专家共同研讨,在国家示范院校建设成果的基础上引入水利水电建筑工程专业“合格+特长”的人才培养模式,以水利工程建设一线的主要技术岗位职业能力培养为主线,兼顾学生职业迁移和可持续发展需要,构建工学结合的课程体系,优化课程内容,实现“五个对接”,进行专业平台课与优质专业核心课的建设。同时,为了提升专业服务能力,在项目实施过程中积极承担地方基层水利职工的培训任务,通过校内、校外办班,长期和短期结合等方式先后为基层企事业单位培训职工2000多人次,经过三年的探索实践取得了一系列的成果。为了固化项目建设成果,进一步为水利行业职工服务,经学院会议审核,决定正式出版中央财政支持提升专业服务产业发展能力项目成果系列教材。

本教材立足于学生实际能力的培养,编写过程中广泛吸纳新技术,并针

对高职教育的特点,与行业企业专家共同开发完成,确定了以下八个学习内容:小型水工建筑物设计基本知识、小型重力坝、小型土石坝、河岸溢洪道、水工隧洞与坝下涵管、小型水闸、渠系建筑物、小型水利枢纽布置及运行管理。每个项目后面都附有相应的复习思考与技能训练题。

本教材由杨凌职业技术学院张春娟主编并统稿,杨凌职业技术学院刘儒博担任副主编,中国水电建设集团十五工程局有限公司黄炎兴担任主审。项目1、项目5由杨凌职业技术学院张春娟编写;项目2由杨凌职业技术学院杨川编写;项目3由杨凌职业技术学院张宏编写;项目4、项目8由杨凌职业技术学院海琴编写;项目6由杨凌职业技术学院张鸥编写;项目7由杨凌职业技术学院刘儒博编写;项目5的工程实例与参考文献由延安市市区河道管理处卫玲编写。

教材在编写过程中,课程建设团队的全体老师同心协力,霍海霞、韩红亮两位老师提出了宝贵意见,水利工程分院与教务处领导也给予了大力支持,同时还得到了兄弟院校及中国水电建设集团十五工程局有限公司、陕西省延安市市区河道管理处的积极参与与大力支持,在此表示最真挚的感谢。

本教材引用了大量的规范、专业文献和资料,恕未在书中一一注明,因此,对有关作者表示诚挚的谢意。

本教材内容体系属首次尝试,由于作者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大师生和读者批评指正,编者不胜感激。

编 者

2016年3月

# 目 录

## Contents

### 前言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 项目1 小型水工建筑物设计基本知识 .....          | 1  |
| 1.1 我国水资源与水利工程建设 .....           | 1  |
| 1.1.1 我国水资源及其特性 .....            | 1  |
| 1.1.2 我国水利工程建设 .....             | 2  |
| 1.1.3 我国水利发展存在的主要问题 .....        | 3  |
| 1.1.4 加快水利发展的对策措施 .....          | 4  |
| 1.2 水利枢纽与水工建筑物 .....             | 5  |
| 1.2.1 水利枢纽 .....                 | 5  |
| 1.2.2 水工建筑物 .....                | 5  |
| 1.2.3 水利枢纽与水工建筑物等级划分 .....       | 7  |
| 1.2.4 水利水电工程的洪水设计标准及堤坝安全加高 ..... | 8  |
| 1.2.5 水工建筑物设计的内容 .....           | 10 |
| 1.3 知识拓展——重点水利工程介绍 .....         | 11 |
| 1.3.1 长江三峡水利枢纽工程 .....           | 11 |
| 1.3.2 黄河小浪底水利枢纽工程 .....          | 12 |
| 1.3.3 南水北调工程 .....               | 13 |
| 1.3.4 陕西省引汉济渭工程 .....            | 14 |
| 1.3.5 陕西省泾河东庄水利枢纽工程 .....        | 15 |
| 复习思考与技能训练题 .....                 | 16 |
| 项目2 小型重力坝 .....                  | 18 |
| 2.1 基本知识 .....                   | 18 |
| 2.1.1 重力坝的特点及类型 .....            | 18 |
| 2.1.2 重力坝的作用及作用效应组合 .....        | 20 |
| 2.1.3 非溢流重力坝的剖面设计 .....          | 30 |
| 2.1.4 重力坝的结构设计 .....             | 32 |
| 2.1.5 溢流重力坝 .....                | 39 |
| 2.1.6 重力坝材料及构造 .....             | 48 |
| 2.1.7 重力坝的地基处理 .....             | 54 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 2.2 设计实例·····               | 58  |
| 2.2.1 基本资料·····             | 58  |
| 2.2.2 设计要求·····             | 58  |
| 2.2.3 非溢流坝剖面的设计·····        | 59  |
| 2.3 拓展知识·····               | 63  |
| 2.3.1 碾压混凝土重力坝·····         | 63  |
| 2.3.2 其他型式重力坝·····          | 66  |
| 2.3.3 重力坝稳定分析·····          | 70  |
| 复习思考与技能训练题·····             | 74  |
| <b>项目3 小型土石坝</b> ·····      | 76  |
| 3.1 基本知识·····               | 76  |
| 3.1.1 土石坝的特点及类型·····        | 76  |
| 3.1.2 土石坝的剖面设计·····         | 78  |
| 3.1.3 土石坝的材料与构造·····        | 82  |
| 3.1.4 土石坝的渗流分析·····         | 88  |
| 3.1.5 土石坝的稳定分析·····         | 96  |
| 3.1.6 土石坝地基处理·····          | 103 |
| 3.2 设计实例·····               | 106 |
| 3.2.1 基本资料·····             | 106 |
| 3.2.2 设计任务·····             | 108 |
| 3.2.3 任务解析·····             | 108 |
| 3.3 拓展知识·····               | 112 |
| 3.3.1 面板堆石坝·····            | 112 |
| 3.3.2 淤地坝·····              | 114 |
| 复习思考与技能训练题·····             | 119 |
| <b>项目4 河岸溢洪道</b> ·····      | 121 |
| 4.1 基本知识·····               | 121 |
| 4.1.1 河岸溢洪道的特点及类型·····      | 121 |
| 4.2 设计实例·····               | 130 |
| 4.2.1 基本资料·····             | 130 |
| 4.2.2 设计任务·····             | 132 |
| 4.2.3 任务解析·····             | 132 |
| 4.3 拓展知识——侧槽溢洪道及非常泄洪设施····· | 138 |
| 4.3.1 侧槽溢洪道·····            | 138 |
| 4.3.2 非常泄洪设施·····           | 140 |
| 复习思考与技能训练题·····             | 142 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 项目 5 水工隧洞与坝下涵管 .....     | 143 |
| 5.1 基本知识 .....           | 143 |
| 5.1.1 水工隧洞的特点及类型 .....   | 143 |
| 5.1.2 隧洞的线路选择与工程布置 ..... | 144 |
| 5.1.3 隧洞的进出口建筑物 .....    | 147 |
| 5.1.4 隧洞的洞身型式及构造 .....   | 150 |
| 5.1.5 坝下涵管 .....         | 155 |
| 5.2 设计实例 .....           | 159 |
| 5.3 拓展知识 .....           | 162 |
| 5.3.1 新奥法与喷锚支护 .....     | 162 |
| 5.3.2 TBM 掘进机施工技术 .....  | 163 |
| 复习思考与技能训练题 .....         | 164 |
| 项目 6 小型水闸 .....          | 166 |
| 6.1 基本知识 .....           | 166 |
| 6.1.1 水库概述 .....         | 166 |
| 6.1.2 闸址选择与闸孔设计 .....    | 170 |
| 6.1.3 消能防冲设计 .....       | 172 |
| 6.1.4 防渗排水设计 .....       | 178 |
| 6.1.5 闸室的布置与构造 .....     | 188 |
| 6.1.6 稳定计算及地基处理 .....    | 193 |
| 6.1.7 两岸连接建筑物 .....      | 200 |
| 6.2 设计实例 .....           | 204 |
| 6.2.1 基本资料 .....         | 204 |
| 6.2.2 设计任务 .....         | 205 |
| 6.2.3 设计计算过程 .....       | 205 |
| 6.3 拓展知识 .....           | 211 |
| 6.3.1 涵洞式水闸 .....        | 211 |
| 6.3.2 装配式水闸 .....        | 212 |
| 6.3.3 水力自动翻板闸 .....      | 212 |
| 6.3.4 浮体闸 .....          | 214 |
| 6.3.5 橡胶坝水闸 .....        | 215 |
| 复习思考与技能训练题 .....         | 216 |
| 项目 7 渠系建筑物 .....         | 218 |
| 7.1 渡槽 .....             | 218 |
| 7.1.1 基本知识 .....         | 218 |
| 7.1.2 设计实例 .....         | 234 |
| 7.1.3 拓展知识——拱式渡槽简介 ..... | 241 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 7.2 倒虹吸管 .....                 | 244        |
| 7.2.1 基本知识 .....               | 244        |
| 7.2.2 设计实例 .....               | 252        |
| 7.2.3 拓展知识——倒虹吸管的结构计算 .....    | 255        |
| 7.3 涵洞 .....                   | 260        |
| 7.3.1 概述 .....                 | 260        |
| 7.3.2 涵洞的工作特点和类型 .....         | 261        |
| 7.3.3 涵洞的构造 .....              | 263        |
| 7.3.4 涵洞的布置和水力计算 .....         | 264        |
| 7.3.5 涵洞的结构计算 .....            | 265        |
| 7.4 跌水与陡坡 .....                | 265        |
| 7.4.1 跌水 .....                 | 266        |
| 7.4.2 陡坡 .....                 | 268        |
| 7.5 渠道上的桥梁 .....               | 270        |
| 7.5.1 渠道上桥梁的类型 .....           | 270        |
| 7.5.2 桥面净宽与桥面构造 .....          | 271        |
| 7.5.3 钢筋混凝土梁式桥 .....           | 272        |
| 7.5.4 拱桥简介 .....               | 275        |
| 复习思考与技能训练题 .....               | 278        |
| <b>项目8 小型水利枢纽布置及运行管理 .....</b> | <b>281</b> |
| 8.1 基本知识 .....                 | 281        |
| 8.1.1 小型水利枢纽布置 .....           | 281        |
| 8.1.2 小型水工建筑物技术管理 .....        | 291        |
| 8.2 拓展知识——小型水工建筑物的养护与维修 .....  | 296        |
| 8.2.1 加强养护维修工作的意义 .....        | 296        |
| 8.2.2 养护维修工作的内容 .....          | 297        |
| 复习思考与技能训练题 .....               | 306        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>307</b> |

# 项目 1 小型水工建筑物设计基本知识

## 1.1 我国水资源与水利工程建设

水是生命之源,是自然界一切生命赖以生存和发展不可替代的物质,是一种可循环再生的有限的自然资源。一般来讲,可供利用或可能被利用,且有一定数量和可用质量,并在某一地区能够长期满足某种用途的水源,称为水资源。水资源是人类社会进步和经济发展的生命线,是实现社会与经济持续发展的重要物质基础。

人类可利用的水资源主要指地表水体(如江、河、湖、海)和地下水体中的淡水资源。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,可供人类开发利用。

### 1.1.1 我国水资源及其特性

我国南北跨度大、地势西高东低,大多地处季风气候区,加之人口众多,与其他国家相比,我国的水资源具有特殊性,主要表现在以下四个方面:

(1) 水资源时空分布不均,人均占有量少。根据最新的水资源调查评价成果,我国水资源总量 2.84 万亿  $\text{m}^3$ ,居世界第 6 位。但人均水资源占有量约 2100 $\text{m}^3$ ,仅为世界平均水平的 28%;耕地亩均水资源占有量 1400 $\text{m}^3$ ,约为世界平均水平的一半。从水资源时间分布来看,降水年内和年际变化大,60%~80%主要集中在汛期,地表径流年际间丰枯变化一般相差 2~6 倍,最大达 10 倍以上;而欧洲的一些国家降水年内分布比较均匀,比如英国秋季降水最多,占全年的 30%,春季降水最少,也占全年的 20%,丰枯变化不大。从水资源空间分布来看,北方地区国土面积、耕地、人口分别占全国的 64%、60%和 46%,而水资源量仅占全国的 19%,其中黄河、淮河、海河流域 GDP 约占全国的 1/3,而水资源量仅占全国的 7%,是我国水资源供需矛盾最为尖锐的地区。

(2) 河流水系复杂,南北差异大。我国地势从西到东呈三级阶梯分布,山丘高原占国土面积的 69%,地形复杂。我国江河众多、水系复杂,流域面积在 100 $\text{km}^2$  以上的河流有 5 万多条,按照河流水系划分,分为长江、黄河、淮河、海河、松花江、辽河、珠江等七大江河干流及其支流,以及主要分布在西北地区的内陆河流、东南沿海地区的独流入海河流和分布在边境地区的跨国界河流,构成了我国河流水系的基本框架。河流水系南北方差异大,南方地区河网密度较大,水量相对丰沛,一般常年有水;北方地区河流水量较少,许多为季节性河流,含沙量高。河流上游地区河道较窄、比降大,冲刷严重;中下游地区河道较为平缓,一些河段淤积严重,有的甚至成为地上河,比如黄河中下游河床高出两岸



地面,最高达13m。加之人口众多、人水关系复杂,决定了我国江河治理难度大。

(3) 地处季风气候区,暴雨洪水频发。受季风气候影响,我国大部分地区夏季湿热多雨、雨热同期,不仅短历时、高强度的局地暴雨频繁发生,而且长历时、大范围的全流域降雨也时有发生,几乎每年都会发生不同程度的洪涝灾害。比如,1954年和1998年,长江流域梅雨期内连续出现9次和11次大面积暴雨,形成全流域大洪水;1975年8月,受台风影响,河南驻马店林庄6h降雨量高达830mm,超过当时的世界纪录,造成特大洪水,导致板桥、石漫滩两座大型水库垮坝。我国的重要城市、重要基础设施和粮食主产区主要分布在江河沿岸,仅七大江河防洪保护区内就居住着全国1/3的人口,拥有22%的耕地,约一半的经济总量。随着人口的增长和财富的积聚,对防洪保安的要求越来越高,防洪任务更加繁重。

(4) 水土流失严重,水生态环境脆弱。由于特殊的气候和地形地貌条件,特别是山地多,降雨集中,加之人口众多和不合理的生产建设活动影响,我国是世界上水土流失最严重的国家之一,水土流失面积达356万 $\text{km}^2$ ,占国土面积的1/3以上,土壤侵蚀量约占全球的20%。从分布来看,主要集中在西部地区,水土流失面积297万 $\text{km}^2$ ,占全国的83%。从土壤侵蚀来源来看,坡耕地和侵蚀沟是水土流失的主要来源地,3.6亿亩坡耕地的土壤侵蚀量占全国的33%,侵蚀沟水土流失量约占全国的40%。此外,我国约有39%的国土面积为干旱半干旱区,降雨少,蒸发大,植被盖度低,特别是西北干旱区,降水极少,生态环境十分脆弱。比如塔里木河、黑河、石羊河等生态脆弱河流,对人类活动干扰十分敏感,遭受破坏恢复难度大。

### 1.1.2 我国水利工程建设

新中国成立之初,我国大多数江河处于无控制或控制程度很低的自然状态,水资源开发利用水平低下,农田灌排设施极度缺乏,水利工程残破不全。60多年来,围绕防洪、供水、灌溉等,除害兴利,开展了大规模的水利建设,初步形成了大、中、小微结合的水利工程体系,水利面貌发生了根本性变化。

(1) 大江大河干流防洪减灾体系基本形成。七大江河基本形成了以骨干枢纽、河道堤防、蓄滞洪区等工程措施,与水文监测、预警预报、防汛调度指挥等非工程措施相结合的大江大河干流防洪减灾体系,其他江河治理步伐也明显加快。目前,全国已建堤防29万km,是新中国成立之初的7倍;水库从新中国成立前的1200多座增加到8.72万座,总库容从约200亿 $\text{m}^3$ 增加到7064亿 $\text{m}^3$ ,调蓄能力不断提高。大江大河重要河段基本具备防御新中国成立以来发生最大洪水的能力,重要城市防洪标准达到100~200年一遇。

(2) 水资源配置格局逐步完善。通过兴建水库等蓄水工程,解决水资源时间分布不均问题;通过跨流域和跨区域引调水工程,解决水资源空间分布不均问题。目前,我国初步形成了蓄引提调相结合的水资源配置体系。例如,密云水库、潘家口水库的建设为北京和天津提供了重要水源,辽宁大伙房输水工程、引黄济青工程的兴建,缓解了辽宁中部城市群和青岛的供水紧张局面。随着南水北调工程的建设,我国“四横三纵、南北调配、东西互济”的水资源配置格局将逐步形成。全国水利工程年供水能力较新中国成立初增加6倍多,城乡供水能力大幅度提高,中等干旱年份可以基本保证城乡供水安全。



(3) 农田灌排体系初步建立。新中国成立以来,特别是20世纪50—70年代,开展了大规模的农田水利建设,大力发展灌溉面积,提高低洼易涝地区的排涝能力,农田灌排体系初步建立。全国农田有效灌溉面积由新中国成立初期的2.4亿亩增加到目前的8.89亿亩,占全国耕地面积的48.7%,其中建成万亩以上灌区5800多处,有效灌溉面积居世界首位。通过实施灌区续建配套与节水改造,发展节水灌溉,反映灌溉用水总体效率的农业灌溉用水有效利用系数,从新中国成立初期的0.3提高到0.5。农田水利建设极大地提高了农业综合生产能力,以不到全国耕地面积一半的灌溉农田生产了全国75%的粮食和90%以上的经济作物,为保障国家粮食安全做出了重大贡献。

(4) 水土资源保护能力得到提高。在水土流失防治方面,以小流域为单元,山、水、田、林、路、村统筹,采取工程措施、生物措施和农业技术措施进行综合治理,对长江、黄河上中游等水土流失严重地区实施了重点治理;充分利用大自然的自我修复能力,在重点区域实施封育保护。已累计治理水土流失面积105万 $\text{km}^2$ ,年均减少土壤侵蚀量15亿t。在生态脆弱河流治理方面,通过加强水资源统一管理和调度、加大节水力度、保护涵养水源等综合措施,实现黄河连续11年不断流,塔里木河、黑河、石羊河、白洋淀等河湖的生态环境得到一定程度的改善。在水资源保护方面,建立了以水功能区和入河排污口监督管理为主要内容的水资源保护制度,以“三河三湖”、南水北调水源区、饮用水水源地、地下水严重超采区为重点,加强了水资源保护工作,部分地区水环境恶化的趋势得到遏制。

### 1.1.3 我国水利发展存在的主要问题

我国水利发展虽然取得了很大成效,但与经济社会可持续发展的要求相比,还存在不小的差距,有些问题还十分突出,主要表现在以下六个方面:

(1) 洪涝灾害频繁仍然是中华民族的心腹大患。洪涝灾害是我国发生最为频繁、灾害损失最重、死亡人数最多的自然灾害之一。据史料记载,公元前206—1949年,2155年间,平均每两年就发生一次较大水灾,一些大洪水造成死亡人数达到几万甚至几十万。新中国成立以来,仅长江、黄河等大江大河发生较大洪水50多次,造成严重经济损失和大量人员伤亡。据统计,近20年来,洪涝灾害导致的直接经济损失高达2.58万亿元,约占同期GDP的1.5%,而美国仅占0.22%。随着全球气候变化和极端天气事件的增多,局地暴雨洪水呈多发、频发、重发趋势,流域性大洪水发生几率也在增大,而我国防洪体系中还有许多薄弱环节,一旦发生大洪水,对经济社会发展将造成极大的冲击。

(2) 水资源供需矛盾突出仍然是可持续发展的主要瓶颈。我国是一个水资源短缺国家,特别是随着工业化、城镇化和农业现代化的加快推进,水资源供需矛盾将日益突出。

(3) 农田水利建设滞后仍然是影响农业稳定发展和国家粮食安全的最大硬伤。我国的农业是灌溉农业,粮食生产对农田水利的依存度高。目前,农田水利建设严重滞后,主要表现在灌溉排水设施老化失修严重、配套不全、标准不高、灌溉规模不足等。

(4) 水利设施薄弱仍然是国家基础设施的明显短板。党和国家历来十分重视水利建设,60多年来,水利基础设施得到了明显改善,但与交通、电力、通信等其他基础设施相比,水利发展相对滞后,是国家基础设施的明显短板。

(5) 水资源缺乏有效保护仍然是国家生态安全的严重威胁。由于一些地方不合理的开



发利用, 缺乏对水资源的有效保护, 导致水生态环境恶化, 对国家生态安全造成威胁。

(6) 水利发展体制机制不顺是影响水利可持续发展的重要制约。目前制约水利可持续发展的体制机制障碍仍然不少, 突出表现在水利投入机制、水资源管理等方面。一是水利投入稳定增长机制尚未建立。我国治水任务繁重, 投资需求巨大, 由于没有建立稳定增长的投入机制, 长期存在较大投资缺口。二是水资源管理制度体系还不健全。目前我国的水资源管理制度体系与严峻的水资源形势还不适应, 流域、城乡水资源统一管理的体制还不健全, 水资源保护和水污染防治协调机制还不顺, 水资源管理责任机制和考核制度还未建立, 对水资源开发利用节约保护实行有效监管的难度较大。三是水利工程良性运行机制仍不完善。2002年以来, 国有大中型水利工程管理体制改取得明显成效, 良性运行机制初步建立, 但一些地区特别是中西部地区公益性水利工程管理单位基本支出和维修养护经费还不能足额到位, 许多农村集体所有的小型水利工程还存在没有管理人员、缺乏管护经费的问题, 制约了水利工程的良性运行, 影响了工程效益的充分发挥。

#### 1.1.4 加快水利发展的对策措施

2011年中央一号文件明确提出“把水利作为国家基础设施建设的优先领域, 把农田水利作为农村基础设施建设的重点任务, 把严格水资源管理作为加快转变经济发展方式的战略举措”, 实现水利跨越式发展。今后一段时间, 应按照科学发展的要求, 推进传统水利向现代水利、可持续发展水利转变, 大力发展民生水利, 突出加强重点薄弱环节建设, 强化水资源管理, 深化水利改革, 保障国家防洪安全、供水安全、粮食安全和生态安全, 以水资源的可持续利用支撑经济社会可持续发展。

(1) 突出防洪重点薄弱环节建设, 保障防洪安全。在继续加强大江大河大湖治理的同时, 加快推进防洪重点薄弱环节建设, 不断完善我国防洪减灾体系。在加快防洪工程建设的同时, 应高度重视防洪非工程措施建设, 完善水文监测体系和防汛指挥系统, 提高洪水预警预报和指挥调度能力; 加强河湖管理, 防止侵占河湖、缩小洪水调蓄和宣泄空间, 避免人为增加洪水风险; 在确保防洪安全的前提下, 科学调度, 合理利用洪水资源, 增加水资源可利用量, 改善水生态环境。

(2) 加强水资源配置工程建设, 保障供水安全。当前, 应针对我国水资源供需矛盾突出的问题, 在强化节水的前提下, 通过加强水资源配置工程建设, 提高水资源在时间和空间上的调配能力, 保障经济社会发展用水需求。

(3) 大兴农田水利建设, 保障粮食安全。我国农田水利建设的重点是稳定现有灌溉面积, 对灌排设施进行配套改造, 提高工程标准, 建设旱涝保收农田。同时, 大力推进农业高效节水, 在有条件的地方结合水源工程建设, 扩大灌溉面积。

(4) 推进水土资源保护, 保障生态安全。水土资源保护对维持良好的水生态系统具有十分重要的作用。针对我国经济社会发展进程中出现的水生态环境问题, 应重点从水土流失综合防治、生态脆弱河湖治理修复、地下水保护等方面, 开展水生态保护和治理修复。

(5) 实行以水权为基础的最严格水资源管理制度, 保障水资源可持续利用。在全球气候变化和大规模经济开发双重因素的作用下, 我国水资源短缺形势更加严峻, 水生态环境



压力日益增大。为有效解决水资源过度开发、无序开发、用水浪费、水污染严重等突出问题,必须实行最严格的水资源管理制度,确立水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污“三条红线”,改变不合理的水资源开发利用方式,从供水管理向需水管理转变,建设节水型社会,保障水资源可持续利用。

## 1.2 水利枢纽与水利建筑物

### 1.2.1 水利枢纽

为了改变水资源在时间、空间上分布不均的自然状况,综合利用水资源以达到防洪、灌溉、发电、引水、航运等目的,需修建水利工程。这些为兴水利、除水害目的而修建的建筑物,称为水利建筑物。不同类型水利建筑物组成的综合体称为水利枢纽。

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;水利枢纽还有高、中、低水头之分,一般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。

### 1.2.2 水利建筑物

水利建筑物是为了满足防洪要求,获得发电、灌溉、供水等方面的效益,在水域的适宜地段修建的不同类型的建筑物。

#### 1.2.2.1 水利建筑物的分类

水利建筑物种类繁多,型式各异,按用途可分为一般水利建筑物和专门水利建筑物两大类。同一种型式的水利建筑物,可以服务于几个水利事业部门时,称为一般水利建筑物,专门为某一水利事业服务的水利建筑物,称为专门水利建筑物。

水利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:用以拦截江河水流,抬高上游水位以形成水库,调蓄水量。如各种坝、堤、闸等。

(2) 泄水建筑物:用以宣泄水库、湖泊、河渠等多余水量,或为人防、检修而放空水库以保证大坝及有关建筑物的安全。如溢洪道、泄洪洞、溢流坝、泄水隧洞等。

(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:用以稳定或改善河势,调整水流所修建的水利建筑物。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。



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。

### 1.2.2.2 水工建筑物的特点

水工建筑物与一般土木工程相比,除具有土木工程的一般属性,如工程量大、投资多、工期长等共性外,还具有以下几个特点:

(1) 工作条件复杂。挡水建筑物要承受相当大的水压力,且随建筑物挡水高度的增加而增加;水面波浪将产生浪压力;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,在设计时都必须考虑。

建筑物上下游的水头差,会导致建筑物及其地基内的渗流。渗流会引起对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,因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;挑射水流在空中会使周围建筑物产生严重的雾化;通过建筑物的水流多余动能会对下游河床产生冲刷作用,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发生严重锈蚀;在寒冷地区的建筑物及地基有一系列的冰冻问题要解决。

(2) 设计选型独特。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) 施工建造艰巨。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) 失事后果严重。水工建筑物失事会产生严重后果,特别是拦河坝,如失事溃决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。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 水利枢纽与土工建筑物等级划分

为了使工程的安全可靠性与其造价的经济合理性统一起来，水利枢纽及其组成建筑物要分等分级，首先根据工程的规模、效益及其在国民经济中的重要性，将水利枢纽分等，然后再对各组成建筑物按其所属枢纽等别、建筑物作用大小及重要性进行分级。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 SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》，水利枢纽按其规模、效益和在国民经济中重要性分五等，见表 1.1。

表 1.1 水利水电工程分等指标

| 工程<br>等别 | 工程规模  | 水库总库容<br>/亿 m <sup>3</sup> | 防洪                    |             | 治涝          | 灌溉          | 供水          | 发电            |
|----------|-------|----------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
|          |       |                            | 保护城镇及<br>工矿企业的<br>重要性 | 保护农田<br>/万亩 | 治涝面积<br>/万亩 | 灌溉面积<br>/万亩 | 供水对象<br>重要性 | 装机容量<br>/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    | 1.0~0.10                   | 中等                    | 100~30      | 60~15       | 50~5        | 中等          | 30~5          |
| IV       | 小（1）型 | 0.10~0.01                  | 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。

表 1.1 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，如按表中指标分属几个不同等别时，整个枢纽的等别应以其中最高等别为准。按表 1.2 确定土工建筑物级别时，如该建筑物同时具有几种用途，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。

表 1.2 土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<br>物级别 |
|------|----------|-------|--------------|
|      | 主要建筑物    | 次要建筑物 |              |
| I    | 1        | 3     | 4            |
| II   | 2        | 3     | 4            |
| III  | 3        | 4     | 5            |
| IV   | 4        | 5     | 5            |
| V    | 5        | 5     |              |

对于 II~V 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 中数值时提高一级，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。