



“十三五”普通高等教育本科规划教材

水工建筑物

李芬花 编

非外借



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

水工建筑物

李芬花 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是“十三五”普通高等教育本科规划教材。本书根据多年的高等教育教学改革和水利水电工程专业建设的需要编写而成，全书共分十一章，主要内容包括重力坝、拱坝、土石坝、水闸、河岸溢洪道、水工隧洞与渡槽、过坝建筑物及其他水工建筑物、水工设计数值模拟及习题等。

本书可作为高等院校水利水电类相关专业的教材，也可供高职高专、其他相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水工建筑物/李芬花编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 5

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0394-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 028667 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 霍文婵 (010-63412545), 郑晓萌 (010-63412322)

责任校对: 朱丽芳

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 吴 迪

印 刷: 北京天宇星印刷厂

版 次: 2017 年 5 月第一版

印 次: 2017 年 5 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 11.5

字 数: 273 千字

定 价: 35.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前 言

水工建筑物是指兴水利除水害过程中修建的建筑物，历史悠久，是人们长期与自然和谐共处过程中创建的水利工程。最早记载的水工建筑物是埃及尼罗河上建造了一座高 15m、长 240m 的挡水坝，已经有 2900 多年的历史。我国公元前 256—前 251 年兴建并沿用至今的都江堰工程是目前我国水工建筑物的代表杰作，其利用鱼嘴分水，飞沙堰泄洪、排沙，宝瓶口引水，是引水灌溉工程的典范。我国的黄河大堤长约 1500km，是从春秋时期开始进行修建完善的代表性堤防工程。

我国已经建成的各类水库 8.78 万座，总库容 7162 亿 m^3 ，已建、在建超过 30m 高的大坝有 5564 座，水电装机容量 2.3 亿 kW。世界上最高的拱坝、最高的碾压混凝土重力坝、最高混凝土面板堆石坝都在中国。三峡、龙滩、水布垭等一批技术复杂的水利水电工程都已经投入运行，标志着我国水利水电工程已经在国际上处于领先的地位。我国“十三五”规划已经明确了加强水利水电工程建设及改革方向，强调了水利水电建设改革对国民经济的贡献。

水工建筑物是一门专业课，按照教学大纲的要求，学生应掌握水工建筑物基本概念、工作特点、类型、受到的荷载、荷载特点、受力分析、稳定分析、消能泄水方式、构造原理、所用到的材料等，理解并掌握水工建筑物设计的基础知识。通过本课程学习，学生能够具备从事水利水电工程水工建筑物设计的基本知识和基本技能。本书简要介绍了水资源及水利水电工程发展概况，目的是使学生对水利水电工程承担的任务、特点、设计要求、工程措施和相互间的关系有基本的了解，并建立水资源开发必须综合利用及全面规划的观念。本书着重介绍了重力坝、拱坝、土石坝、水闸、河岸溢洪道、水工隧洞等典型水工建筑物的工作原理、体形布置、构造特点、适用条件、运行维护及枢纽布置方法等，以及这些水工建筑物的设计基本理论和常用计算方法。每章后附有复习思考题，以利学生学习和掌握重点内容。另外，本书对水工建筑物进行了数值模拟分析，对重力坝和土石坝进行了 ANSYS 有限元数值模拟分析。

本书是编者多年讲授水工建筑物课程过程中采用的教案讲义，通过逐年累月的积累逐渐形成书稿，例如，重力坝应力分析内容部分，在给学生讲课的时候，这部分学生不容易听

懂，尤其是应力分析的方法，编者设计了一个简单的悬臂梁，通过该梁截面变化、所受荷载变化，旋转变形转变为重力坝承受外荷载图，这样学生就可以很容易用已经掌握的力学方法研究水利水电工程的实际问题。

本书在编写过程中，参考引用了有关书籍、教材等文献，并得到高等学校水利水电类教学指导委员会“水工建筑物教学组”和有关兄弟院校的热情支持和帮助，特别是郭怀志教授提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示衷心的感谢！

限于编写水平，书中缺点在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

2017年2月

目 录

前言

第一章 综述	1
第一节 水资源与水利工程	1
第二节 水利枢纽与水工建筑物	3
第三节 国内外水利工程建设的成就	5
第四节 水利建设的发展概况	8
第五节 水利工程的设计任务和特点	8
第六节 水工建筑物设计的步骤和特点	9
第七节 作用在水工建筑物上的荷载及其组合	11
第八节 水工建筑物的安全性与可靠度分析	14
第九节 水工建筑物的优化设计及状况分析	15
课后思考题	16
第二章 重力坝	17
第一节 坝概述	17
第二节 作用在重力坝上的荷载及其组合	18
第三节 重力坝的应力分析	21
第四节 非溢流重力坝的实用剖面	26
第五节 重力坝的抗滑稳定计算	27
第六节 重力坝的渗流分析	30
第七节 重力坝的温度应力、温度控制和裂缝的防止	32
第八节 重力坝的剖面	33
第九节 重力坝消能防冲设计原则	34
第十节 重力坝的材料和构造	37
课后思考题	41
第三章 拱坝	42
第一节 概述	42
第二节 拱坝的形式	43
第三节 作用在拱坝上的荷载及其组合	44
第四节 拱坝的应力分析	46
第五节 拱坝地基变形计算	51
第六节 拱坝优化设计与拱坝布置	54
第七节 拱坝坝肩岩体稳定性分析	57

第八节 拱坝的坝身泄水	60
课后思考题	62
第四章 土石坝	64
第一节 概述	64
第二节 土石坝的基本剖面	65
第三节 土石坝的稳定性分析	66
第四节 土石坝的渗流分析	69
第五节 固结沉降分析及坝体材料	72
第六节 坝基处理与土石坝和其他建筑物的连接	73
第七节 土石坝的抗震设计	79
第八节 混凝土面板堆石坝	80
课后思考题	82
第五章 水闸	83
第一节 概述	83
第二节 闸址选择和闸孔设计	85
第三节 水闸的防渗和排水设计	86
第四节 水闸的消能和防冲设计	89
第五节 闸室的布置和构造	91
第六节 闸室的稳定性计算	92
课后思考题	95
第六章 岸边溢洪道	96
第一节 岸边溢洪道类型和非常泄洪设施	96
第二节 溢洪道的布置和形式选择	99
第三节 正槽溢洪道	100
课后思考题	106
第七章 水工隧洞	108
第一节 水工隧洞概述	108
第二节 水工隧洞的布置及线路选择	109
第三节 水工隧洞的组成	109
课后思考题	114
第八章 渡槽	115
第一节 概述	115
第二节 渡槽设计	118
第三节 渡槽的水力设计	120
第四节 渡槽的荷载及其组合	122
第五节 渡槽及其地基的稳定性验算	126
第六节 渡槽的结构计算	129
课后思考题	131
第九章 过坝建筑物	132

第一节 通航建筑物	132
第二节 过木建筑物	140
第三节 过鱼建筑物	141
课后思考题	144
第十章 其他水工建筑物	145
第一节 倒虹吸	145
第二节 涵洞	148
第三节 跌水和陡坡	150
课后思考题	153
第十一章 水工建筑物数值模拟	154
第一节 重力坝数值模拟	154
第二节 土石坝数值模拟	161
参考文献	171

第一章 综 述

第一节 水资源与水利工程

一、水资源

水是自然界一切生命的源泉，又是人类社会不断发展必不可少的重要资源。在当前技术发展水平下，人类可以利用到的水资源主要是江、河、湖、海和地下水体中的淡水资源。

水资源通常被认为是可以再生的，人类可以不断地重复利用。但事实上受气候影响，水资源在时间、空间上分布是很不均匀的。不同地区之间、同一地区年际及年内汛期和枯水期的水资源量可能相差很大。水量偏多就会造成洪涝灾害，偏少往往造成干旱灾害。所以，在认识和掌握水资源变化规律的基础上，结合水资源天然的时间和空间的分布特点，根据国民经济各用水部门的需水情况，人工修建必要的蓄水、引水、提水或跨流域调水等水利工程，让水资源的分布可以与人类的需求相适应，以使水资源得到合理开发利用和保护，更好地造福人类。

二、地球水资源

据统计，地球上的总水量约 13.86 亿 km^3 ，其中海水占 96.5%，占到了绝大部分，但是海水是地球淡水循环必不可少的水源。而可直接为人类饮用并且可用于生产的，即当今称为水资源的天然淡水，仅占地球总水量约 2.5%，而且其中约 73%的天然淡水资源是处于两极冰盖及高山冰川之中，而剩余的近 30%是地下水。地下水中的 13.5%是在 800m 以下的底层深处，开采难度很大，对地球生物和人类的可持续性生存与发展而言，这样高难度的开采也并非易事。方便人类开发利用的世界江河湖泊中的地表淡水仅占全球淡水总量的 0.3% 左右，而最具有开发意义的流动在江河中的淡水仅占全球淡水的 0.006%，非常之少。由此可见，地球上可供人类开发利用的淡水资源并不充裕。

三、我国的水资源

我国的水资源既存在着优势也存在着劣势。从总量上看，我国是水资源比较丰富的国家之一，年平均总量为 28 000 亿 m^3 。由于我国地域辽阔，河流众多，境内有七大水系（长江、黄河、珠江、淮河、海河、辽河与松花江水系）覆盖大部分疆土；澜沧江、怒江、雅鲁藏布江、黑龙江等国际性河流也均有一半以上的长度是位于我国境内；另外，西北地区也有一些内陆河流，所有河流的总长度共 42 万 km ，其中流域面积在 1000 km^2 以上的就达到 1600 多条。在世界前 12 位长河中，我国就有 4 条，分别是长江、黄河、澜沧江、黑龙江，分别列世界第 3、5、7、9 位。此外，我国还有众多的湖泊，水域面积在 1 km^2 以上的有 2800 多个，100 km^2 以上的有 130 多个。我国还有大小冰川面积约 6 万 km^2 ，约占世界总冰川面积的 0.36%。因此，就水资源总量而言，我国仅次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚，位居世界第 6 位。

由于青藏高原与海平面的巨大落差，我国拥有了得天独厚的水能资源。全国水能理论蕴藏量可达到 6.8 亿 kW ，其中可开发的有 3.78 亿 kW 。按照技术可开发容量，我国 300MW

级大型水电站约 270 座, 其中 300MW 级大型水电站约 100 座, 50~300MW 中型水电站约 800 座, 小型水电站上万座, 微型电站不计其数, 年发电量达 1900 多亿 kWh, 居世界第 1 位。可开发的年发电量按流域统计的水能资源理论蕴藏量及可开发容量见表 1-1。

表 1-1 中国水力资源复查成果汇总表 (按流域统计)

序号	流 域	理论蕴藏量		技术可开发量		
		年发电量 (亿 kWh)	平均功率 (MW)	装机容量 (MW)	年发电量 (亿 kWh)	电站座数 (座)
1	长江流域	24 335.98	277 808	256 272.9	11 878.99	5748
2	黄河流域	3794.13	43 312.1	37 342.5	1360.96	535
3	珠江流域	2823.94	32 236.7	31 288	1353.75	1757
4	海河流域	247.94	2830.3	2029.5	47.63	295
5	淮河流域	98	1118.5	656	18.64	185
6	东北诸河	1454.8	16 607.4	16 820.8	465.23	644+26/2
7	东南沿海诸河	1776.11	20 275.3	19 074.9	593.39	2558+1/2
8	西南国际诸河	8630.07	98 516.8	75 014.8	3731.82	609+1/2
9	西藏自治区诸河	14 034.82	160 214.8	84 663.6	4483.11	243
10	北方内陆及新疆诸河	3633.57	41 479.1	18 471.6	805.86	712
	合 计	60 829	694 399	541 635	24 739	13 286+28/2

另外, 由于我国人口众多, 人均水资源占有量却很少, 仅为世界人均水量的 1/4, 美国的 1/5, 退居世界第 88 位, 从这个角度看我国的水资源并不丰富。加之我国自然降水在时空上分布不均匀, 水资源的地区分布与人口、耕地等的分配不均衡等, 贫水情况进一步加剧。在时间上, 我国天然降水年内分布很不均匀, 年内约 70% 的雨水集中在夏、秋的 2~4 个月内, 很多地区会出现暴雨, 而暴雨形成的径流在短时间内大量即归入大海, 不仅难以有效利用, 甚至引起洪灾, 造成巨大损失。其他月份则降水量稀少, 来水量常常满足不了用水需求; 丰水年雨多量大易形成洪灾, 枯水年则少雨, 甚至无雨造成旱灾是我国降水的明显特点。在空间上, 我国天然降水的分布有如下规律: 东南多、西北少、华南多、华北少。东南沿海平均降水量可以达到 1600mm 以上, 形成明显对比的是华北、东北的大部, 仅为 400~800mm, 而西北广大地区小于 250mm, 缺水情况严重。根据统计, 少雨地区面积约占全国面积的 1/2。在水、土等资源的匹配上, 我国长江及江南各流域年径流量占全国总量的 82%, 占了一多半, 而耕地面积仅占全国总耕地面积的 38%; 而我国最大的黄淮平原耕地面积占全国的 40%, 是小麦、棉花等重要作物的集中产区, 同时也是煤炭、石油、钢铁、重工业及化工业的重要基地, 其农业产量占全国的 40%, 人口和国民生产总值占全国的 1/3。但是对于该地区极为重要的水资源却严重缺乏, 黄河、淮河、海河三大流域年径流量的总和仅仅占全国的 6.6%; 京、津、冀、鲁地区是北方地区经济发展中心, 整个地区人口达到 1.8 亿, 占全国总人口的 14.1%, 国民生产总值占全国的 19.3%, 工业总产值占全国的 19.2%, 而水资源却仅占全国的 2.2%, 人均水资源量仅为全国平均水平的 15.5%。该地区工农业生产对全国经济持续发展和粮食安全十分重要, 而水资源的严重匮乏制约了其经济发展。

四、水利工程

人类需要的是适时适量的水，水量偏多或偏少往往会造成洪涝或者干旱等灾害。自古以来旱、涝灾害一直是世界自然灾害中损失最大的两种灾害。受气候影响，水资源在时间、空间上分布常常是不均匀的。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，因此，常常来水与用水需求是不匹配的。为了解决这一矛盾，满足国民经济各用水部门的需求，让水资源在时间和空间上的合理分配，就必须修建水利工程。

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，以达到兴利除害的目的而修建的工程。兴建水利工程是除水害、兴水利最为有效的措施。水利工程可以实现在时间上重新分配水资源，做到蓄洪补枯，以防止洪涝灾害，避免旱灾，同时可以发展灌溉、发电、供水等事业；兴建水利工程还可以改善水域环境，疏浚航道，建造码头，促进水上运输；防止水质污染、维护生态平衡。因此在国民经济发展中都需要因地制宜地修建一系列水利工程。

五、水利工程的分类

(1) 水利工程按其承担的任务可分为防洪工程、灌溉排水工程或农田灌溉工程、水力发电工程、城市供水和排水工程、航道及港口工程、环境水利工程等。

(2) 按其对水的作用可分为蓄水工程、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。

一项工程同时兼有几种任务的称为综合利用水利工程。现代水利工程多是综合利用的工程。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。

六、水利工程的特点

- (1) 工作条件复杂受自然条件制约。
- (2) 施工难度大。
- (3) 结构形式的特殊性。
- (4) 对自然环境及社会环境影响大。
- (5) 失事后果严重。

第二节 水利枢纽与水工建筑物

一、水工建筑物

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，这些建筑物统称为水工建筑物。

(一) 水工建筑物按作用分类

(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，沿江河海岸修建的堤防、海塘等。

(2) 泄水建筑物。用以宣泄多余的水量、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。

(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、过坝需要而修建的建筑物,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。

同一种水工建筑物有时可起不同的作用,有时可兼有多种作用。前者如枢纽中的隧洞,有的是配合溢流坝或河岸溢洪道作为泄水建筑物,有的则是作为水电站或者灌溉的取水建筑物;后者如水闸,既起挡水作用,又起泄水作用。

(二) 水工建筑物按使用期限分类

(1) 永久性建筑物。这种建筑物在运用期长期使用,根据其在整体工程中的重要性又分为主要建筑物和次要建筑物。主要建筑物是指在失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物,如闸、坝、泄水建筑物、输水建筑物及水电站厂房等;次要建筑物是指失事后不至于造成下游灾害和对工程效益影响不大,且易于检修的建筑物,如挡土墙、导流墙、工作桥及护岸等。

(2) 临时性建筑物。这种建筑物仅在施工期间使用,如围堰、导流建筑物等。

二、水利枢纽

在某一地点集中修建的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,但大多数是兼有几种功能的,称为综合利用水利枢纽。

水利枢纽的分类如下:

(1) 水利枢纽按其所在地区的地貌形态可分为平原地区水利枢纽和山区(包括丘陵区)水利枢纽。

(2) 水利枢纽按承受水头的大小可分为高、中、低水利枢纽。一般水头 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。

(3) 水利枢纽按承担任务的不同,可分为防洪枢纽、灌溉(或供水)枢纽、水力发电枢纽和航运枢纽等。

多数水利枢纽承担多项任务,也就是为了实现多个目标兼有多种功能。枢纽正常运行中各部门之间对水的要求是不同的,如防洪部门希望汛前降低水位加大防洪库容,而兴利部门则希望扩大兴利库容而不愿汛前过多降低水位;水力发电只是利用水的能量而不消耗水量,发电后的水仍可用于农业灌溉或工业供水,但发电、灌溉和供水及用水时间不一定一致。因此在进行水利枢纽设计时,应使上述矛盾得到合理解决,以做到降低工程造价,满足国民经济各部门的需要。

例如:丹江口水利枢纽是南水北调中线渠首蓄水工程,具有防洪、灌溉、发电、航运、渔业等综合效益,总库容 209 亿 m^3 ,枢纽主要组成如图 1-1 所示。其拦河坝段为宽缝重力坝,长 1141m,高 97m,用以截断水流,挡水蓄水形成水库。溢流坝段位于河床中部,总长 264m,设有 20 个宽 8.5m 的开敞式溢流孔和 12 个宽 5m、高 6m 的深孔,用以宣泄洪水期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。水电站是用水能转化为电能的专门水工建筑物,坝后式厂房位于河床左部,装机容量为 90 万 kW。升船机

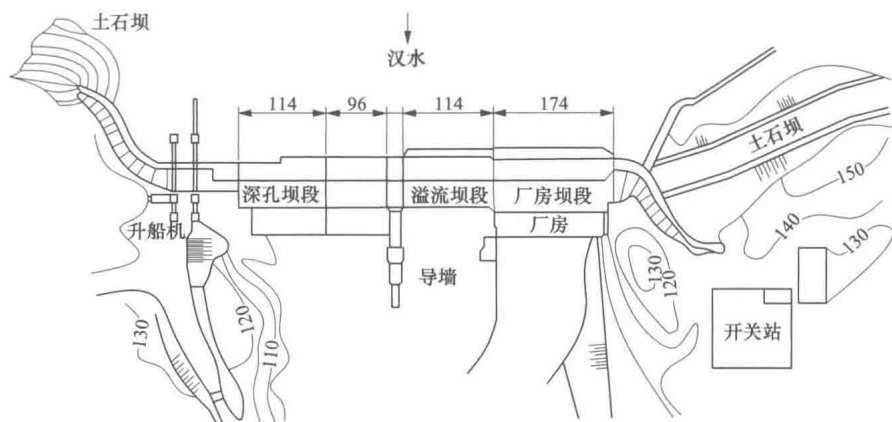


图 1-1 丹江口水利枢纽示意图 (单位: m)

的作用是向上、下游运送过坝船只。采用垂直升船机与斜面升船机相结合的形式，布置在右岸。

第三节 国内外水利工程建设的主要成就

一、我国古代水利建设成就

几千年来，我国劳动人民在用水、治水方面发挥了极大的聪明才智，积累了许多宝贵经验并取得了辉煌的业绩。相传在夏商时期，黄河流域就出现了用以灌溉的排水渠道。公元前 600 年，楚国人民利用天然湖泊构筑了有名的芍坡水库，引潞河水进行灌溉。公元前约 390 年，魏国人西门豹和人民一起修建了具有 12 级低坝的引漳水灌溉的十二渠工程。公元前 251 年，秦国李冰父子领导人民在四川灌县修建了我国古代最大的无坝引水水利工程——都江堰。该工程巧妙的总体布局和结构设置，使得岷江水乖乖宜人，据记载：“旱则引水浸润，雨则堵塞小门，水旱从人，时无荒年”，使得川西广袤的土地成为美丽富饶的天府之国，至今仍灌溉着成都平原 10 余个县，40 多万 hm^2 的农田，成为水利史上应用最为久远的伟大水利工程。从公元前 485 年开始兴建至公元 1292 年全线通航，贯穿我国南北，联通黄河、淮河、海河、长江、钱塘江等天然水系，全长达 1794km 的京杭大运河，为我国古代水上运输发挥了巨大作用，也是世界上最早最长的大运河，这一不朽历史杰作，现今又作为我国南水北调东线工程输水的主干线，调引长江水入津，焕发其新的光彩。在防洪治水方面，又相传 4000 年前的大禹治水，到至今仍在使用的长达 1800 多 km 的黄河大堤，就是其生动的记录。但是，由于漫长的封建统治和近代帝国主义列强的侵略，在新中国成立以前的 1000 多年间，我国水利事业发展速度十分缓慢，使劳动人民饱尝洪旱灾害之苦。例如黄河，据有记载的 2540 年间，决口竟达 1590 多次。仅 1933 年黄河大堤就有 50 余处决口，淹没冀、鲁、豫 3 省 67 个县，受灾面积达 1.1 万 m^2 ，受灾人口 364 万人，死亡 1.8 万人。又如长江，1931 年的特大洪水使自湖北沙市至上海的沿江城市全部被淹，武汉在一片汪洋中受淹百日，鄂、湘、皖、赣、苏、浙、豫 7 省 205 个县，300 多万 hm^2 农田，2.8 亿多人口受灾，死亡 14.5 万人。农业水利方面，在新中国成立前，我国 1.067 亿 hm^2 耕地中，灌溉面积只有 0.16 亿 hm^2 。

二、新中国成立后水利建设的巨大发展

新中国成立后，水利事业在以毛泽东同志为首的老一辈无产阶级革命家积极倡导下突飞猛进地发展，取得了举世瞩目的成就。继葛洲坝水利枢纽建成后，三峡水利枢纽的竣工、南水北调工程的建设等壮举进一步展示出人民水利蓬勃发展的强劲势头。目前，我国在水利工程规模、水利人才素质及水利科技水平等方面已达到世界前列。主要有以下几方面的成就：

(1) 防洪建设。新中国成立后的 40 多年间，江河防洪取得巨大进展，主要成就和效益如下：从长远来看，主要江河普遍编制了全流域的综合性规划，规划中都将防洪作为重点问题，对防洪的目标、总体部署、主要措施和实施步骤做了全面规划，并通过建设和运用的实践，进行补充和修正。全国修建了大、中、小型水库 86 000 多座，总库容约 4500 亿 m^3 ，不同程度地控制和调节了山丘区的洪水。全国修建加固堤防约 20 万 km 。保护耕地 4.83 亿亩（1 亩 = $6.6667 \times 10^2 \text{m}^2$ ），保护人口 3.22 亿人；其中重点堤防约 5.61 万 km ，保护人口 2.15 亿人。同时，疏浚河道，并为淮河和海河等水系开辟了新的排洪入海通道。在主要江河开辟了行洪、分蓄洪区 100 多处，分蓄洪容量约 1200 亿 m^3 ，以处理江河的超标准洪水，逐步建立了非工程措施。主要江河建立了水情预报、防汛通信和调度指挥系统；开始建立对河道、水域和分蓄洪区的系统管理，包括法规体系、规章制度和组织机构，并进行防洪保险的试点，大力推行水土保持。据统计，初步治理水土流失面积约 50 万 km^2 。黄河中游黄土高原的治理，对黄河下游河道的减淤取得明显效果。

(2) 农田水利。新中国成立以后，经过 40 多年大规模的农田水利建设，灌溉排水事业有了很大的发展。主要江河都得到了不同程度的治理，如黄河扭转了过去“三年两决口”的险恶局面；淮河流域改变了“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”。海河流域摆脱了洪、涝、旱、碱四大灾害的严重威胁；各地的水利资源也得到了初步开发和利用，并取得了明显效益。到 2007 年，全国有大中小型水库 8 万多座，总库容 6345 亿 m^3 ，还有小型塘堰 600 多万处；万亩以上大、中型灌区 5523 多处，其中 30 万亩以上的大型灌区 172 处；农用机电排灌动力设备 674 万台，容量达 6690 万 kW （其中农用配套机井 306 万眼，2799 万 kW ）；全国灌溉面积由 1949 年的 2.4 亿亩发展到 8 亿亩。治理低洼易涝地 3 亿亩，改造盐碱地 8020 万亩，改造渍害低产田 4100 万亩，分别占应治理面积的 81%、70% 和 31%。灌溉排水事业的发展，使很多过去经常受旱涝灾害、产量低而不稳的农田，成为高产稳产的丰产田。

(3) 水力发电及其技术。水能是一种最理想的永续能源。油、气、煤源有尽时，水能绵绵无尽期。它不消耗水量，也不污染环境，所以水力发电是我国能源建设的长远战略方针。水能利用的基本原理是：将获得巨大能量的水流通过高压管道去推动水轮机，使水能转变为机械能，水轮机再带动发电机，将旋转机械能转变为电能。我国的水电装机容量由 1949 年的 16 万 kW 增加到现在的 3788.35 万 kW ；2010 年，我国成为世界上最大的水力发电国。全国已建和在建的 30m 以上的大坝有 5200 余座，其中坝高在 100m 以上的大坝有 145 座；已投产 5 万 kW 以上的大中型水电站 450 余座（含抽水蓄能电站 21 座）、30 万 kW 以上的水电站 100 余座（含抽水蓄能电站 15 座）、百万千万以上的水电站 40 座（含抽水蓄能电站 7 座），数以万计的小水电站和微型水电站遍布全国各地，并创造了多项世界水电之最。近 20 年，中国已经成为世界上水电发展最快的国家。21 世纪以来，先后投产了小浪底、三峡、水布垭、龙滩、小湾、拉西瓦、景洪等大型水电工程。水能资源开发程度按发电量计已达到 26.3%，按装机容量计达到 38.5%。

(4) 水土保持。①土地利用率提高,利用方式改善。治理前土地利用率一般为40%~60%,未利用的大部分是水土流失严重的光山秃岭;治理后土地利用率普遍提高20%左右,利用方式日趋合理,耕地面积占总面积的比例由34.3%下降到9.8%,林草面积由31.2%上升到54.7%,荒山荒地面积由22%下降到4.7%。②土地生产率提高,亩产值增加。治理前后相比,农业产值提高74.9%,林业产值提高178.7%,牧业产值提高99.5%,副产业产值提高255%,土地总产值提高109%,亩均产值由36.4元提高到74.7元,增加105%。③粮食继续增产,农林牧全面发展。农业方面:坡耕地的改造,把跑水、跑土、跑肥的“三跑”田修成水平梯田;利用荒地荒沟及小股水泉发展小片水地,建设旱涝保收田,恢复水冲沙压的耕地;改善农业耕作技术,增施肥,提高单产。通过治理,使基本农田达到总耕地的80%。④蓄水削洪效益显著。减洪效益均随水土流失的治理程度而增加,既能减少流入江河的泥沙,又能削减洪峰流量。通过节节拦蓄,把地面水变为地下水,增加江河枯水流量,充分发挥水资源的作用。⑤林草覆盖率增加,生态效益显著。治理区内林草覆盖率由31%上升到55%。⑥农民增加收入,山区走向富裕。治理前人均收入144元,其中100元以下的有12个,150元以上的只有4个,治理后人均收入319元,提高122%。

(5) 内河航运。经过40多年的发展建设,使内河航道的质量有很大提高,据1985年统计,全国通航里程碑10.9万km,其中全年通航的有8.8万km,通航300t驳船的五级航道3700km,通航500t驳船的四级航道4000km,能航1000t驳船的三级航道5300km,即累计能通航300t驳船的航道有1.3万km。建成吞吐量10万t以上的港口800多处,渠化航道里程1500多km,建成通航建筑物800多座。川江全线实现昼夜通航,船舶吨位已有较大提高,3万t的大型分节驳、定推船队可通航长江下游各港。水运资源丰富的江苏省,内河通航里程2.4万km,货运量8000t,在全省的货运中占有绝对的优势。湖南、湖北、广东、四川和安徽等省在内河航道整治或渠化建设上也取得不少成就。

三、国外水电工程建设成就

伊泰普水电站建在流经巴西和巴拉圭两国之间的巴拉那河上。两国联合建坝,从20世纪70年代中期开始,直到1982年竣工,耗资200亿美元。大坝有176m高,坝后的水库沿河延伸达161km,目前共有20台发电机组(每台容量为70万kW),总装机容量为1400万kW,是当今世界装机容量和发电量均为第二的水电站。伊泰普水电站生产的电能由巴西与巴拉圭两国分享。但是,巴拉圭只使用了发电量中极小的一部分。所以,巴拉圭将其份额中的大部分卖给了巴西。

世界高重力拱坝之一——胡佛大坝,于1931年4月开工建设,1936年3月竣工。水库名米德湖,总库容352亿 m^3 。水电装机容量为1134.5万kW,两个泄洪隧洞引水明渠长约198m,泄流量为11340 m^3/s 。4个进水塔每个底部直径为25m,最大坝高222.5m。该坝于1955年被评为美国现代土木工程七大奇迹之一。该工程建成后,在防洪、灌溉、城市及工业供水、水力发电等方面发挥了巨大的作用,为开发和建设美国西部各州作出了贡献。

罗贡坝是世界最高的土石坝,工程于1975年开工建设,1989年完工。位于塔吉克共和国阿姆河支流瓦赫什河上。工程主要任务是灌溉与发电。最大坝高335m,坝顶长660m,坝顶宽20m,底宽1500m。坝体体积为7550万 m^3 。水库库容为133亿 m^3 。水电装机容量为360万kW。

埃及尼罗河上的大型水利工程——阿斯旺高坝,位于开罗以南约700km,工程于1961

年开工建设,1970年竣工。大坝采用黏土心墙堆石坝,高111m,顶宽40m,底宽980m,坝顶长3830m。阿斯旺大坝在黏土心墙内布置灌浆和廊道是大胆创新,廊道净宽3.5m,高5m,为钢筋混凝土结构。水库总库容为1689亿 m^3 。枢纽建筑物包括大坝、引水工程和电站。电站装机容量为210万kW。阿斯旺水库具有灌溉、水力发电和防洪等作用。

第四节 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,近几年来大型水库、大型水电站和高坝在逐年增加。

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技术不仅成功地用于重力坝,而且已开始拱坝上采用。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。泄水建筑物的单宽流量在不断提高,国外采用的单宽流量已超过 $300\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$,从总泄流量看,葛洲坝水利枢纽已达到 $110\,000\text{m}^3/\text{s}$,居全国首位;拱坝中,则以凤滩水电站的泄流量为最大,总泄流量达 $32\,600\text{m}^3/\text{s}$,也是世界上泄流量最大的工程。对于建在深厚覆盖层上的拱坝的地基防渗处理,广泛采用混凝土防渗墙,因为它能快速施工,防渗效果可靠。我国的渔子溪、密云、碧口等工程采用混凝土防渗墙,深度为 $32\sim 68.5\text{m}$,防渗效果良好。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。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,收到很好效果。

近年来,不少国家对大坝的抗震设计日益重视。1970年后,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、结构与地基的动力的相互作用。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复杂问题都可以通过电算得到解决。由于可以很方便地通过计算机改变参数,因而可以迅速地进行比较和选择建筑物的最优方案。

第五节 水利工程的设计任务和特点

一、水利工程的设计任务

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

(2) 工程规划。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部署。

(3) 工程设计。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。

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

(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尽心调度、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、新结构等, 以提高水利工程的科学技术水平。

设计水利工程一般经历几个步骤: 技术预测—信息分析—科学类比—系统分析—方案分析—安全分析—施工分析—经济分析—综合评价。

二、水利工程设计特点

(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。不容许采用在原模型上做试验的方法来选择决定最理想的结构。

(3) 重视规程规范的指导作用。由于设计还没有摆脱外界的影响经验模式, 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, 用不同形式总结规范条文, 以期能传播经验, 少走弯路。

(4) 在施工过程中, 不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完工之前, 已建成的部分结构已开始承担各种外部作用。

三、水利工程设计类型

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。

(2) 更新型。在建筑物总体上采用常规的形式和设计原理的同时, 改进局面的建筑设计原理, 使其具有新的质和量的特征。

(3) 适配型。设计中的建筑物采用常规的设计原理和形式, 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。

评价工程设计优劣的标准是适用性、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。

第六节 水工建筑物设计的步骤和特点

水利工程建设系统大致如图 1-2 所示, 社会和自然环境是系统的外部, 与系统相互作用。社会经济决定了水利工程的功能要求及资金、人力的投入量。自然环境条件将影响可能动用的物力、资源, 水利工程的结构形式及工作特点等。

一、建筑物设计阶段的主要工作步骤

(1) 收集资料及信息, 如水文、气象、地形、地质资料、地区经济资料, 施工力量, 资金渠道, 国家及地方的有关政策及法规等。

(2) 设计目标是明确工程总体规划及其对枢纽和建筑物的功能要求。

(3) 提出方案, 以初步选择的建筑物类型为基础, 考虑与外部的联系和制约条件 (如与其他建筑物的配合, 与施工、管理、投资等的关系等), 修正方案使其成为可行的方案。

(4) 筛选可行的比较方案。

(5) 对方案进行分析、比较、评价, 选定设计方案。