

中国水利教育协会

高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织

业建设工程资助项目 [PPZY2015A043]



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）  
“十三五”江苏省高等学校重点教材

# 水利工程概论

## （第2版）

主编 沈振中 王润英 刘晓青 蔡付林



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

水利教育协会

共同组织

学校水利类专业教学指导委员会

江苏高校品牌专业建设工程资助项目 [PPZY2015A043]



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）  
“十三五”江苏省高等学校重点教材

# 水利工程概论

## （第2版）

主编 沈振中 王润英 刘晓青 蔡付林



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了各种常见的水利工程。概述了水库、水利枢纽和水工建筑物的基本概念；简要介绍了挡水建筑物、泄水建筑物、输水建筑物、整治建筑物和过坝建筑物等各种水工建筑物的组成、类型、工作原理和主要特点等；介绍了泵站的结构组成和主要特点、水力发电的原理和水能开发方式、抽水蓄能电站的功能和建筑物组成；介绍了施工导流的概念、导流建筑物和施工导流的一般程序；阐述了水资源规划与利用的基本原则、方法和内容；阐述了大坝安全监控的概念、安全监测的内容、常用的安全监控模型以及实时监控和安全预警系统的开发原则和主要内容；阐述了生态水利工程概念，介绍了生态混凝土的特点和应用。

本书可作为水文、环境、土木、给排水、力学、岩土、计算机等专业本科生、专科生“水利工程概论”课程的教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水利工程概论 / 沈振中等主编. -- 2版. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2018. 8

全国水利行业“十三五”规划教材. 普通高等教育  
“十三五”江苏省高等学校重点教材  
ISBN 978-7-5170-6788-7

I. ①水… II. ①沈… III. ①水利工程—高等学校—教材 IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第202090号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材(普通高等教育) “十三五”江苏省高等学校重点教材 <b>水利工程概论(第2版)</b> SHUILI GONGCHENG GAILUN
作 者	主编 沈振中 王润英 刘晓青 蔡付林
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 (营销中心)
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	北京合众伟业印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.5印张 415千字
版 次	2011年1月第1版第1次印刷 2018年8月第2版 2018年8月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	<b>42.00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

## 第2版前言

随着水利工程的建设和发展，新技术、新材料、新方法和新工艺广泛应用，特别是近年来，随着科学发展观的进一步实践和贯彻落实，我国治水思路发生着深刻变化，水利工程设计理念、设计方法和设计标准规范也在不断发展与完善。因此，迫切需要对第1版教材进行修订完善，以更好地适应国内外水利工程相关学科的发展，满足实际需要，使理论与实践的联系更加密切。

第2版全书共分13章。第1章简要介绍水资源的特点和水利工程的分类，以及我国水利事业的建设成就和开发利用中存在的问题；采用第一次全国水利普查公报数据修订了部分内容，补充了新中国水利工程建设成就内容，水利事业发展展望增加了新时期河长制内容，将第1版教材使用以来，水资源规划领域最新技术成就包括进来，对有些叙述方式作了较大调整。第2章介绍水库、水利枢纽和水工建筑物的概念，以及水利枢纽工程和水工建筑物的等级划分；引入了水利枢纽和水工建筑物的新的设计理念，按照新规范修改了水利枢纽工程和水工建筑物的等级划分相关指标。第3章介绍重力坝、拱坝、土石坝和支墩坝等主要挡水建筑物的工作原理、基本功能特性和设计要点；根据新规范对挡水建筑物的相关内容做了补充和删减，补充了一些新建成的典型水利工程的资料。第4章介绍河岸溢洪道、溢流坝、水工隧洞和水闸等泄水建筑物的结构组成、功能特性和设计要点；根据新规范对泄水建筑物的相关部分做了补充和删减。第5章介绍渠道、渡槽、涵洞和虹吸管等输水建筑物的结构组成、功能特性。第6章介绍堤防、护岸、丁坝与顺坝等整治建筑物的基本特性；根据GB 50286—2013《堤防工程设计规范》对整治建筑物的相关部分做了补充和删减。第7章介绍船闸、升船机、鱼道、筏道等过坝建筑物的组成、功能特性；根据新规范修改了相关指标。第8章介绍泵站的类型、工作原理和结构特性；将第1版教材使用以来，水泵和泵站领域最新技术成就包括进来；对个别插图进行了更新；有些叙述方式作了进一步完善。第9章介绍水力发电的原理、水能开发的方式、水电站的组成建筑物以及抽水蓄能电站的功

能特性；将第1版教材使用以来，水力发电领域最新技术成果和我国水电站建设的新成就添加进来；新增了“9.2.4 小型水电站”，对我国小水电发展的历程、小水电的特征及其在社会经济发展中的作用、未来发展的展望等方面作了简要介绍；对有些叙述方式进行了补充完善。第10章介绍施工导流的概念、导流建筑物、施工导流的一般程序和截流工程。第11章阐述水资源规划的内容、基本原则和方法。第12章阐述大坝安全监控的概念、安全监测的内容、安全监控模型以及实时监控和安全预警系统的开发原则和主要内容。新增的第13章阐述生态水利工程的概念和设计原则；介绍低水头壅水坝（包括橡胶坝、水力自动翻板坝、液压坝）、淤地坝的设计和布置；介绍生态混凝土与生态护坡的分类、特点和应用。

本书的第1章、第3章和第12章由沈振中修订编写，第2章、第7章和第10章由王润英修订编写，第4章、第5章和第6章由刘晓青修订编写，第8章、第9章和第11章由蔡付林修订编写。新增的第13章由沈振中、刘晓青、王润英编写。全书由沈振中统稿。

限于作者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2018年3月

# 第 1 版前言

水利是指人类社会为了生存和发展的需要，采取各种措施，对自然界的水和水域进行治理、调控，以防治水旱灾害，开发利用和保护水资源。它包括防洪、排水、灌溉、水能利用、水道、给水、城镇排水、港工、水土保持、水资源保护、环境水利和水利渔业等内容。用于调控自然界的地表水和地下水、以达到除害兴利目的而修建的工程称水利工程。

我国是农业大国，水利工程是农业生产和发展的基础设施，是农业稳产增收的基本保障。随着我国社会和经济的不断发展，水利工程的重要性亦越来越显著。水利工程种类繁多，其功能特性千差万别。本书较全面地介绍各种常见的水利工程及其相关概念，介绍其工作原理、功能特性。

全书共分 12 章。第 1 章简要介绍水资源的特点和水利工程的分类，以及我国水利事业的建设成就和开发利用中存在的问题；第 2 章介绍水库、水利枢纽和水工建筑物的概念，以及水利枢纽工程和水工建筑物的等级划分；第 3 章介绍重力坝、拱坝、土石坝和支墩坝等主要挡水建筑物的工作原理、基本功能特性和设计要点；第 4 章介绍河岸溢洪道、溢流坝、水工隧洞和水闸等泄水建筑物的结构组成、功能特性和设计要点；第 5 章介绍渠道、渡槽、涵洞和虹吸管等输水建筑物的结构组成、功能特性；第 6 章介绍堤防、护岸、丁坝和顺坝等整治建筑物的基本特性；第 7 章介绍船闸、升船机、鱼道、筏道等过坝建筑物的组成、功能特性；第 8 章介绍了泵站的类型、工作原理和结构特性；第 9 章介绍水力发电的原理、水能开发的方式、水电站的组成建筑物以及抽水蓄能电站的功能特性；第 10 章介绍施工导流的概念、导流建筑物、施工导流的一般程序和截流工程；第 11 章阐述水资源规划的内容、基本原则和方法；第 12 章阐述大坝安全监控的概念、安全监测的内容、安全监控模型以及实时监控和安全预警系统的开发原则和主要内容。

本书的第 1 章、第 3 章和第 12 章由沈振中编写，第 2 章、第 7 章和第 10

章由王润英编写，第4章、第5章和第6章由刘晓青编写，第8章、第9章和第11章由蔡付林编写。全书由沈振中统稿。

限于作者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2010年4月

# 目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 我国水资源基本情况 .....	1
1.2 水利工程分类 .....	3
1.3 我国水利工程建设成就 .....	5
1.4 我国水资源利用中存在的问题 .....	6
1.5 水利事业发展展望 .....	10
<b>第 2 章 水库、水利枢纽、水工建筑物</b> .....	13
2.1 水库 .....	13
2.2 水工建筑物及水利枢纽 .....	16
2.3 水利水电枢纽工程与水工建筑物的等级划分 .....	30
<b>第 3 章 挡水建筑物</b> .....	39
3.1 重力坝 .....	39
3.2 拱坝 .....	50
3.3 土石坝 .....	61
3.4 支墩坝 .....	82
<b>第 4 章 泄水建筑物</b> .....	88
4.1 河岸溢洪道 .....	88
4.2 溢流坝 .....	92
4.3 水工隧洞 .....	96
4.4 水闸 .....	99
<b>第 5 章 输水建筑物</b> .....	106
5.1 渠道 .....	106
5.2 渡槽 .....	108
5.3 涵洞 .....	109

5.4 其他输水建筑物 .....	111
<b>第 6 章 整治建筑物</b> .....	113
6.1 堤防 .....	113
6.2 护岸 .....	117
6.3 丁坝与顺坝 .....	118
<b>第 7 章 过坝建筑物</b> .....	120
7.1 船只过坝建筑物 .....	120
7.2 过鱼建筑物 .....	130
7.3 过木(竹)建筑物 .....	135
<b>第 8 章 水泵与泵站</b> .....	139
8.1 水泵的类型、工作原理 .....	139
8.2 水泵的基本参数、运行工况及其调节 .....	145
8.3 泵站的规划与选址 .....	152
8.4 泵站的主要建筑物与建筑物组成 .....	154
<b>第 9 章 水力发电</b> .....	159
9.1 水力发电原理 .....	159
9.2 水电站的类型和典型布置 .....	171
9.3 水电站主要组成建筑物 .....	179
9.4 抽水蓄能电站 .....	185
<b>第 10 章 施工导流</b> .....	189
10.1 施工导流的任务、设计标准及导流方式 .....	189
10.2 导流建筑物 .....	193
10.3 施工导流的一般程序 .....	200
10.4 截流工程 .....	205
<b>第 11 章 水资源规划与利用</b> .....	211
11.1 水资源规划的涵义、目标和内容 .....	211
11.2 水资源规划与利用应遵循的基本原则 .....	214
11.3 水资源规划的类型、基本方法与发展趋势 .....	216
<b>第 12 章 大坝安全监控</b> .....	219
12.1 安全监控的目的和要求 .....	220
12.2 监测项目 .....	222
12.3 监测资料分析和监控模型 .....	228
12.4 大坝安全实时监控和预警系统 .....	232

<b>第 13 章 生态水利工程</b> .....	241
13.1 基本概念和设计原则 .....	241
13.2 低水头壅水坝 .....	244
13.3 淤地坝 .....	253
13.4 生态混凝土与生态护坡 .....	261
<b>参考文献</b> .....	268

# 第 1 章 绪 论

水是一切生命赖以生存的物质基础，也是最重要的自然资源之一，可用于灌溉、发电、给水、通航、养殖等，为社会兴利。但是，通常水在时间和空间上分布不均匀，来水与用水不相适应，因此需要修建水利工程，除害兴利，造福人类。

## 1.1 我国水资源基本情况

### 1.1.1 世界水资源概况

地球上的水资源，从广义上来说是指水圈内的总水量。由于海水难以直接利用，因而通常所说水资源主要指陆地上的淡水资源。通过水循环，陆地上的淡水得以不断更新、补充，满足人类生产和生活需要。

水是地球上最丰富的资源之一，覆盖地球表面 71% 的面积。但是，地球上的水，尽管数量巨大，能直接被人们生产和生活利用的却少得可怜。地球上的水有近 98% 是既不能供人饮用，也无法灌溉农田的海水，淡水资源仅占地球总水量的 2.53%，而在这极少的淡水资源中，有 70% 以上被冻结在南极和北极的冰盖中，加上难以利用的高山冰川和永冻积雪，有 87% 的淡水资源难以利用。人类真正能够利用的淡水资源是江河湖泊和地下水的一部分，约占地球总水量的 0.26%，占全球总水量的十万分之七，即真正有效利用的全球淡水资源每年约为 9000km<sup>3</sup>。

世界上不同地区因受自然地理和气象条件的影响，降雨和径流量有很大差异，因而产生不同的水利问题。

非洲是高温干旱的大陆。按面积其平均水资源在各大洲中为最少，不及亚洲或北美洲的一半，并集中在西部的扎伊尔河等流域。除沿赤道两侧雨量较多外，大部分地区少雨，沙漠面积占陆地的 1/3。非洲尼罗河是世界上最长的河流，其水资源孕育了埃及古文明。

亚洲是面积大、人口多的大陆，雨量分布很不均匀。东南亚及沿海地区受湿润季风影响，水量较多，但因季节和年际变化雨量差异甚大，汛期的连续降雨常造成江河泛滥。如中国的长江、黄河，印度的恒河等都常给沿岸人民带来灾难。防洪问题是这些地区沉重的负担。中亚、西亚及内陆地区干旱少雨，以致无灌溉即无农业，必须采取各种措施开辟水源。

北美洲的雨量自东南向西北递减，大部分地区雨量均匀，只有加拿大的中部、美国的西部内陆高原及墨西哥的北部为干旱地区。密西西比河为该洲的第一大河，洪涝灾害比较严重，美国曾投入巨大的力量整治这一水系，并建成沟通湖海的干支流航道网。美国在西部的干旱地区，修建了大量的水利工程，对江河径流进行调节，并跨流域调水，保证了工农业的用水需要。

南美洲以湿润大陆著称, 径流模数为亚洲或北美洲的两倍有余, 水量丰沛。其北部的亚马孙河是世界第一大河, 流域面积及径流量均为世界各河之冠, 水能资源也较丰富, 但流域内人烟较少, 水资源有待开发。

欧洲绝大部分地区为温和湿润气候, 年际与季节降雨量分配比较均衡, 水量丰富, 河网稠密。欧洲人利用优越的自然条件, 发展农业、开发水电、沟通航运, 使欧洲的经济发展较快。

全球淡水资源不仅短缺而且地区分布极不平衡。按地区分布, 巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果等 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源的 60%。约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区严重缺水。2016 年, 全球 80 多个国家的约 15 亿人口面临淡水不足问题, 其中 26 个国家的 3 亿人口极度缺水。2017 年联合国水资源发展报告指出全球 2/3 人口生活在缺水地区。预计到 2025 年, 全世界将有 30 亿人口缺水, 涉及国家和地区达 40 多个。21 世纪水资源正在变成一种宝贵的稀缺资源, 水资源问题已不仅仅是资源问题, 更成为关系到国家经济、社会可持续发展和长治久安的重大战略问题。

### 1.1.2 我国水资源的分布

根据水利部对水资源评价的结果, 我国多年平均降水总量为 6.08 万亿  $\text{m}^3$  (648mm), 通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量为 2.77 万亿  $\text{m}^3$ 。其中, 地表水 2.67 万亿  $\text{m}^3$ , 地下水 0.81 万亿  $\text{m}^3$ , 地表水与地下水相互转换、互为补给的两者重复计算量为 0.71 万亿  $\text{m}^3$ , 与河川径流不重复的地下水资源量为 0.1 万亿  $\text{m}^3$ 。我国水资源总量居世界第 6 位, 人均水资源量不足 2200 $\text{m}^3$ , 约为世界人均占有量的 1/4, 在世界银行连续统计的 153 个国家中居第 88 位。

我国水资源地区分布很不平衡。长江流域及其以南地区国土面积只占全国的 36.5%, 其水资源量却占全国的 81%; 淮河流域及其以北地区的国土面积占全国的 63.5%, 其水资源量仅占全国水资源总量的 19%。2016 年, 有 16 个省(自治区、直辖市)人均水资源量(不包括过境水)低于严重缺水线, 有 6 个省、自治区(宁夏、河北、山东、河南、山西、江苏)人均水资源量低于 500 $\text{m}^3$ 。按照国际公认的标准, 人均水资源低于 3000 $\text{m}^3$  为轻度缺水, 人均水资源低于 2000 $\text{m}^3$  为中度缺水, 人均水资源低于 1000 $\text{m}^3$  为严重缺水, 人均水资源低于 500 $\text{m}^3$  为极度缺水。

从我国大陆水资源总量的变化趋势看, 最近 20 多年来, 由于环境变化, 如受气候变化和人类经济活动导致的土地利用和覆被变化的影响, 我国各地区的水资源有不同程度的变化, 降水和水资源数量略有减少, 特别是中国北方地区(如华北地区等)水资源数量减少的趋势比较明显。北方缺水地区持续枯水年份的出现, 以及黄河、淮河、海河与汉江同时遭遇枯水年份等不利因素的影响, 更加剧了北方水资源供需失衡的矛盾。

### 1.1.3 我国水资源的特点

我国的地理位置特殊, 地形变化大, 气候差异也大, 水资源分布呈现明显的特点。从全国来看, 目前我国水资源的主要特点主要有以下几个:

(1) 水资源总量丰富, 人均占有量低。中国水资源多年平均总量为 2.77 万亿  $\text{m}^3$ , 居世界第 6 位, 平均径流深度约 284mm, 为世界平均值的 90%, 居世界第 6 位。虽然中国

水资源总量丰富,但是平均占有量很少。水资源人均占有量不足  $2200\text{m}^3$ ,约为世界人均量的  $1/4$ ,排在世界第 110 位,被列为世界 13 个贫水国家之一。水资源耕地的平均占有量为  $28320\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,仅为世界平均数的 80%。

(2) 水资源在空间上分布不平衡。我国水资源在空间分布上总体是南多北少,西南多、西北少。北方人口占全国总人口的  $2/5$ ,但水资源占有量不到全国的  $1/5$ 。在全国人均水资源量不足  $1000\text{m}^3$  的 10 个省区中,北方即占了 8 个,而且主要集中在华北。另外,北方耕地面积占全国耕地面积的  $3/5$ ,而水资源量仅占全国的  $1/5$ 。南方每公顷耕地水资源量  $28695\text{m}^3$ ,而北方只有  $9645\text{m}^3$ ,前者是后者的 3 倍。水资源空间分布的不平衡性与全国人口、耕地资源分布的差异性,构成了我国水资源与人口、耕地资源不匹配的特点。

(3) 水资源在时间上分布不平衡。我国河历年际间最大和最小径流的比值,长江以南地区中等河流在 5 以下,而北方地区多在 10 以上,径流量的年际变化存在明显的连续丰水年和连续枯水年。年内分布则是夏秋季水多,冬春季水少。大部分地区年内汛期连续 4 个月降水量占全年的 70% 以上,短期径流过于集中,易造成洪水灾害。例如:1998 年属于丰水年,全国河川径流量比正常年份多 6247 亿  $\text{m}^3$ ,其中长江偏多 3491 亿  $\text{m}^3$  (多 36.7%),松花江偏多 693 亿  $\text{m}^3$  (多 90.9%),长江、嫩江出现了特大洪涝灾害;2001 年干旱严重,全国大部分地区河川径流量偏少,松花江、辽河、海河、黄河、淮河比正常年份来水量偏少 23%~67%,长江也偏少 6%~9%,仅东南、华南沿海、西南和西北内陆来水偏丰。

(4) 水资源分布与人口、耕地配置不相适应。据 2012 年统计:我国长江流域及其以南地区水资源总量占全国的 81%,人口占全国的 54.7%,人均水资源量  $4170\text{m}^3$ ,为全国平均值的 1.5 倍,耕地占全国的 36.5%,亩均水资源量  $4134\text{m}^3$ ,为全国平均值的 2.3 倍;北方地区水资源总量占全国的 14.4%,人口占全国的 43.2%,人均水资源量  $938\text{m}^3$ ,为全国平均值的 35%,耕地占全国的 8.3%,亩均水资源量  $454\text{m}^3$ ,为全国平均值的 26%。由于水土资源和人口配置极不平衡,因此,形成了北方水资源十分紧张的局面。

## 1.2 水利工程分类

水利工程是指为控制和调配自然界的地表水和地下水、达到除害兴利的目的而修建的工程。修建水利工程,可以在时间上重新分配水资源,做到防洪补枯,以防止洪涝灾害和发展灌溉、发电、供水、航运等事业;也可以在空间上调配水资源,使水资源与人口和耕地资源的配置趋于合理,以缓解水资源缺乏问题。

水利工程所承担的任务通常不是唯一的,具有多种作用和目的,其组成建筑物也是多种多样,因此水利工程也称为水利枢纽。按照所承担的任务,水利工程主要可分为以下几类。

### 1.2.1 河道整治与防洪工程

河道整治主要是通过整治建筑物和其他工程措施,防止河道冲蚀、改道和淤积,使河流的外形和演变过程都能满足防洪与兴利等各方面的要求。一般防治洪水的措施是“上拦下排,两岸分滞”。

“上拦”是防洪的根本措施，不仅可以有效防治洪水，而且可以综合地开发利用水土资源。主要是两个方面：①在山地丘陵地区进行水土保持，拦截水土，有效地减少地面径流；②在干、支流的中上游兴建水库、拦蓄洪水，调节下泄流量不超过下游河道的过流能力。

水库是一种重要的防洪工程。作为一种蓄水工程，水库在汛期可以拦蓄洪水，削减洪峰，保护下游地区安全，拦蓄的水流因水位抬高而获得势能、并聚集形成水体，可以用来满足灌溉、发电、航运、供水和养殖等需要。

“下排”就是疏浚河道，修筑堤防，提高河道泄洪能力，减轻洪水威胁。虽然这是治标的办法，不能从根本上防治洪水，但是在“上拦”工程没有完全控制洪水之前，筑堤防洪仍是一种重要的有效工程措施。

“两岸分滞”是在河道两岸适当位置，修建分洪闸、引洪道、滞洪区等，将超过河道安全泄量的洪水通过泄洪建筑物分流到该河道下游或其他水系，或者蓄于低洼地区（滞洪区），以保证河道两岸保护区的安全。滞洪区的规划与兴建应根据实际经济发展情况、人口因素、地理情况和国家的需要，由国家统筹安排，且必须做好通信、交通、安全措施和水文预报等工作，只有在万不得已时才运用分洪措施，以减少滞洪区的损失。

### 1.2.2 农田水利工程

农业是国民经济的基础。通过建闸修渠等工程措施，可以形成良好的灌、排系统，调节和改变农田水分状态和地区水利条件，使之符合农业生产发展的需要。农田水利工程一般包括取水工程、输水配水工程和排水工程。

取水工程是指从河流、湖泊、水库、地下水等水源地适时适量地引取水量用于农田灌溉的工程。在河流中引水灌溉时，取水工程一般包括抬高水位的拦河坝（闸）、控制引水的进水闸、排沙用的冲沙闸、沉沙池等。当河流流量较大、水位较高能满足引水灌溉要求时，可以不修建拦河坝（闸）。当河流水位较低又不宜修建坝（闸）时，可以修建提灌站来提水灌溉。

输水配水工程是指将一定流量的水流输送并配置到田间的建筑物综合体，如各级固定渠道系统及渠道上的涵洞、渡槽、交通桥、分水闸等。

排水工程是指各级排水沟及沟道上的建筑物。其作用是将农田内多余水分排泄到一定范围以外，使农田水分保持适宜状态，满足通气、养料和热状况的要求，以适应农作物的正常生长，如排水沟、排水闸等。

### 1.2.3 水力发电工程

水力发电工程是指将具有巨大能量的水流通过水轮机转换为机械能，再通过发电机将机械能转换为电能的工程。

水力发电的两个基本要素是落差（水头）和流量。天然河道水流的能量消耗在摩擦、旋滚等作用中。为了能有效地利用天然河道水流的能量，需采用工程措施，修建能集中落差和调节流量的水工建筑物，使水流符合水力发电的要求。在山区常用的水能开发方式是拦河筑坝，形成水库，它既可以调节径流又可以集中落差。在坡度很陡或有瀑布、急滩、弯道的河段，或者上游不许淹没时，可以沿河岸修建引水建筑物（渠道、隧洞）来集中落差和调节流量，开发水能。

### 1.2.4 供水和排水工程

供水是将水从天然水源中取出,经过净化、加压,用管网供给城市、工矿企业等用水部门;排水是排除工矿企业及城市废水、污水和地面雨水。城市供水对水质、水量及供水可靠性要求很高;排水必须符合国家规定的污水排放标准。

我国水资源不足,现有供、排水能力与科技和生产发展以及人民物质文化生活水平的不断提高不相适应,特别是城市供水与排水的要求越来越高;水质污染问题也加剧了水资源的供需矛盾,而且恶化环境,破坏生态。

### 1.2.5 航运工程

航运包括船运和筏运(木、竹浮运)。发展航运对物质交流、繁荣市场、促进经济和文化发展具有重要意义。它运费低廉,运输量大。内河航运有天然水道(河流、湖泊等)和人工水道(运河、河网、水库、闸化河流等)两种。

利用天然河道通航,必须进行河道疏浚、河床整治、改善河流的弯曲情况、设立航道标志等,建立稳定的航道。当河道通航深度不足时,可以通过拦河建闸、建坝抬高河道水位;或利用水库进行径流调节,改善水库下游的通航条件。人工水道是人们为了改善航运条件,开挖的人工运河、河网及渠化河流,可以缩短航程,节约人力、物力、财力。人工水道除可以通航外,还有综合利用的效益,例如,运河可以作为水电站的引水道、灌溉干渠、供水的输水道等。

## 1.3 我国水利工程建设成就

### 1.3.1 古代水利工程建设成就

5000多年来,勤劳勇敢的中国人民为兴水利、除水害进行了不懈的努力,兴建了许多水利工程,积累了宝贵的经验,取得了举世瞩目的成就。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,已形成1800多千米的黄河大堤,为治河防洪、堤防工程的建设与管理提供了丰富的经验。

(2)公元前486年开始兴建到公元1293年全线通航的京杭大运河,全长1794km,是世界上最长的运河,为当时及今后的南北交通、发展航运等发挥了重要作用。

(3)目前灌溉面积达1000多万亩的四川都江堰工程已有2250多年的历史,至今仍在为我国的农业生产发挥着巨大的效益。

(4)其他如秦汉时代的秦渠、汉渠、郑国渠、灵渠(又名湘桂运河、兴安运河),始建于汉代的海塘等都是著名的水利工程,为我国古代经济和社会发展做出了重大贡献。

水利工程建设的成就是我国劳动人民智慧的结晶,在繁荣我国经济、发展祖国文化等方面都起到了很好的作用。

### 1.3.2 新中国水利工程建设成就

新中国成立以来,我国的水利事业建设得到了迅猛发展,水利科学技术水平也得到了迅速发展和提高,跨入了世界先进水平行列。

20世纪50年代初,我国开始对黄河和淮河进行全流域的规划和治理,根据“统一规划,蓄泄兼顾”的原则,修建了许多山区水库和洼地蓄洪工程,改变了淮河“大雨大灾,

小雨小灾，无雨旱灾”的悲惨景象；治黄功绩卓著，保证了黄河“伏秋大汛不决口，大河上下报安澜”；1963 年开始根治海河，目前全流域已初步形成了防洪除涝体系。根据第一次全国水利普查公报，截至 2011 年年底，全国共有水库 98002 座，总库容 9323.12 亿  $\text{m}^3$ ，其中已建水库 97246 座，总库容 8104.10 亿  $\text{m}^3$ ，在建水库 756 座，总库容 1219.02 亿  $\text{m}^3$ ，大型水库 756 座，总库容 7499.85 亿  $\text{m}^3$ ；兴建水闸 268476 座，其中大型水闸 860 座；灌溉面积由 1949 年的 2.4 亿亩增加到 10.02 亿亩，其中 30 万亩以上灌区 456 处；堤防总长度 413679km，泵站 424451 座，其中装机流量大于  $1\text{m}^3/\text{s}$  或装机容量大于 50kW 的泵站 88365 座。这些水利工程，极大地促进了我国经济和社会发展，在历次的洪涝灾害中，尤其是 1991 年及 1998 年的特大洪水灾害中发挥了重要作用，大大减轻了灾害程度。但是，据《2017 中国生态环境状况公报》：当年全国因洪涝灾害受灾人口 5515 万人，因灾死亡 316 人、失踪 39 人，洪涝灾害直接损失 2143 亿元。可见，时至今日我国的防洪问题还未彻底根治。

据 2005 年国家发展和改革委员会发布的中国水能资源复查成果，中国水能资源理论蕴藏量为  $6082.9\text{TW}\cdot\text{h}/\text{a}$ ，平均功率为 694.4GW；技术可开发装机容量 541.64GW，年发电量  $2474\text{TW}\cdot\text{h}$ ；经济可开发装机容量 401.8GW，年发电量  $1753.4\text{TW}\cdot\text{h}$ 。中国水能资源理论蕴藏量、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。但由于受到资金和技术方面的限制，水能开发程度却相对较低，按人口平均的经济可开发水能资源仅为世界平均数的 60%。根据中国电力企业联合会发布的《中国电力年度发展报告 2016》，截至 2015 年年底，中国已开发的水电装机容量约为 319.54GW，年发电量  $1112.7\text{TW}\cdot\text{h}$ ，我国水电装机容量位居世界首位，但在我国整个电力装机容量中仅占到 20.95%，水力发电量占全国发电量的 20.20%，详见表 1.1。

表 1.1 2015 年中国电力装机容量和发电量构成

项 目	装机容量/GW	所占比例/%	发电量/( $\text{TW}\cdot\text{h}$ )	所占比例/%
水电	319.54	20.95	1112.7	20.20
火电	1005.54	65.92	4230.7	73.71
核电	27.17	1.78	171.4	2.99
风电	130.75	8.57	185.6	3.23
太阳能及其他	42.27	2.78	39.5	6.87
总计	1525.27	100.00	5739.9	100.00

## 1.4 我国水资源利用中存在的问题

新中国成立以来，水利事业得到了迅速发展，取得了举世瞩目的成就。但是，由于我国人口众多、水资源相对贫乏、时空分布不均衡、开发利用管理不善等原因，我国对于水资源的利用还存在着不少问题，突出表现在以下几个方面。

### 1.4.1 水资源时空分布不均严重阻碍社会经济发展

我国 20 世纪 90 年代的年均洪灾损失高达 1200 亿元，占国民生产总值的 2.4%。

1991年的江淮大水,1994年的珠江大水,1998年的长江和松花江、嫩江大水,都给国家造成了巨大的经济损失。2016年,全国遭受洪涝灾害人口10095.41万人,192座城市进水受淹或发生内涝,直接经济损失3643.26亿元。随着经济的发展和气候的变化,全国有1/4的国土面积缺水,1/10地区的水资源仅能满足人民生存的基本需求,不少地区连起码的生存需求也不能满足。我国农业,特别是北方地区农业,干旱缺水状况严重。目前,全国仅灌区每年就缺水300亿 $m^3$ 左右。20世纪90年代农田年均受旱耕地面积0.27亿 $hm^2$ ,粮食年平均减产200亿 $kg$ ,占总产量的4.7%,而过去5年期间,农田受旱面积年均达到3.85亿 $hm^2$ ,平均每年因旱减产粮食350亿 $kg$ ,干旱缺水成为影响农业发展和粮食安全的主要制约因素;全国农村有2400多万人口和数千万头牲畜饮水困难,3.2亿人饮水不安全。我国城市缺水现象始于20世纪70年代,以后逐年扩大,特别是改革开放以来,城市缺水越来越严重。据统计,全国每年缺水量近400亿 $m^3$ ,在全国660个建制市中,有400个城市供水不足,其中110个严重缺水,年缺水约100亿 $m^3$ ,每年影响工业产值约2000亿元。

自然资源的不合理利用也导致了洪涝灾害,尤其是滥伐森林,破坏水土平衡,生态环境恶化。事实上,我国水土流失严重,新中国成立以来虽已治理51万 $km^2$ ,但目前水土流失面积已达160万 $km^2$ ,每年流失泥沙50亿 $t$ ,河流带走的泥沙约35亿 $t$ ,其中淤积在河道、水库、湖泊中的泥沙达12亿 $t$ 。围垦也使湖泊面积日益缩小,致使湖泊调洪能力下降。根据第一次全国水利普查公报,至2011年年底,我国面积1 $km^2$ 以上的湖泊约有2865多个,总面积7.8万 $km^2$ ,占国土总面积的0.8%,其中淡水湖1594个,咸水湖945个,盐湖166个,其他160个。新中国成立以后的60多年中,我国的湖泊面积缩小约1.16万 $km^2$ ,占现有湖泊面积的14.9%。长江中下游水系和天然水面减少,1954年以来,湖北、安徽、江苏以及洞庭湖、鄱阳湖等湖泊水面因围湖造田等缩小了约1.2万 $km^2$ ,大大削弱了防洪抗涝的能力。此外,河道淤塞和被侵占,使其行洪能力降低,因大量泥沙淤积河道,使许多河流的河床抬高,减小了过洪能力,增加了洪水泛滥的机会,如淮河干流行洪能力下降了3000 $m^3/s$ 。此外,河道被挤占,束窄过水断面,也减小了行洪、调洪能力,加大了洪水危害程度。

人口增长和经济发展也使受洪涝灾害程度加深。一方面抵御洪涝灾害的能力受到削弱,另一方面由于社会经济发展使受灾程度大幅度增加。新中国成立以后人口增加了1倍多,尤其是东部地区人口密集,长江三角洲的人口密度为全国平均密度的10倍。全国1949年工农业总产值仅466亿元,至2008年已达565287亿元,增加了1212倍。近10年来,乡镇企业得到迅猛发展,东部、中部地区乡镇企业的产值占全国乡镇企业总产值的98%。因经济不断发展,在相同频率洪水情况下所造成的各种损失成倍增加。例如1991年太湖流域地区5—7月降雨量为600~900 $mm$ ,不到50年一遇,并没有超过1954年降雨,但所造成的灾害和经济损失都比1954年严重得多。此外,各江河的中下游地区一般农业发达,具有众多的商品粮棉油生产基地,一旦受灾,农业损失也相当严重。

#### 1.4.2 水资源供需矛盾严重,水资源利用效率低下

我国人均水资源量只有世界平均量的1/4。黄淮海及内陆河流域有11个省(自治区、直辖市)的人均水资源拥有量低于联合国可持续发展委员会研究确定的1760 $m^3$ 警戒线,