

江苏高校优势学科建设工程项目



普通高等教育“十三五”规划教材

河海大学重点教材

水利水电工程优化调度

唐德善 唐彦 黄显峰 史毅超 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

江苏高校优势学科建设工程项目

普通高等教育“十三五”规划教材

河海大学重点教材

水利水电工程优化调度

唐德善 唐彦 黄显峰 史毅超 等 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书系统介绍了水利水电工程优化调度的基本理论和分析计算方法,内容包括:绪论、水库调度的常规方法、水库优化调度、水电站厂内经济运行、水电站短期经济运行、水库水资源系统的不确定型模型、水库运行调度的实施以及水利水电工程可持续利用的基本知识。

本书可以作为高等院校水利水电工程、资源环境与城乡规划管理、水务工程、水资源管理与保护等涉水专业本科生及研究生“水利水电工程优化调度”课程的教材,也可作为水利水电工程规划、管理、调度及相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程优化调度 / 唐德善等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2016. 10

普通高等教育“十三五”规划教材. 河海大学重点教材

ISBN 978-7-5170-4807-7

I. ①水… II. ①唐… III. ①水利水电工程—工程管理—高等学校—教材 IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第245076号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 河海大学重点教材 水利水电工程优化调度 SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG YOUHUA DIAODU
作 者	唐德善 唐彦 黄显峰 史毅超 等 编著
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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 213千字
版 次	2016年10月第1版 2016年10月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	20.00元

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

水是生命之源、生产之要、生态之基^[1]。作为一种优质、清洁的可再生能源，水电在我国水资源开发史中占有极其重要的地位。近年来，随着社会经济的快速发展，一大批不同规模的水电站投入运行与使用，这对于缓解我国电力供需矛盾、促进社会经济快速发展具有十分重要的意义。目前，随着优化理念的不断深入，如何管理和利用好已建水电站，进一步搞好水库调度和水电站运行管理，从而在不增加额外投资的情况下获得更大的综合效益，日益成为人们普遍关心的问题。

2011年，中共中央国务院在“关于加快水利改革发展的决定”的中央一号文件中指出，合理开发水能资源，在保护生态和农民利益前提下，加快水能资源开发利用。统筹兼顾防洪、灌溉、供水、发电、航运等功能，科学制订规划，积极发展水电，加强水能资源管理。我国的水电发展经历了从“十五”的“积极开发水电”调整为“十一五”的“在保护生态基础上有序开发水电”再到“十二五”的“在保护生态的前提下积极发展水电”的阶段。我国水利水电工程建设在摆脱资金、技术等制约阶段后，进入到生态制约阶段。协调好河流开发和环境保护之间的矛盾，成为新时期水利工程建设亟待解决的问题^[2]。科学合理的水库调度正是解决这一现实矛盾的有效措施。所以，优化水库调度机制，不仅能最大限度的发挥综合效益，而且对于落实科学发展观，建设生态文明，实现人与水的和谐发展也具有十分重大的理论价值和现实意义。

为了适应新时期水利水电建设及整个国民经济和社会发展形势对水利水电工程专业人才培养的实际需要，作者结合多年教学经验编写了这本教材，详细阐述了水利水电工程优化调度的理论、方法与应用。其中，本书所讲的水库调度特指根据工程规划设计的要求，运用水库的调蓄能力，在保证大坝安全的前提下，有计划地对入库的天然径流进行蓄泄调节，以达到除水害兴水利、综合利用水资源、最大限度地满足国民经济各部门的需要^[3]。水库调度是水利水电工程经济运行管理的核心内容，是确保水库安全可靠运行、合理利用水资源、发挥水库综合效益的重要措施。

本书可以作为水利水电工程、资源环境与城乡规划管理、水务工程、水资源管理与保护等涉水专业本科生“水利水电工程优化调度”课程的参考教材。根据“水利水电工程优化调度”课程教学大纲的要求，本教材的主要教学目标是：通过系统的学习和研究，使学生熟练掌握水利水电工程优化调度的基本概念、理论、原理、内容和方法，使学生认识到科学高效的水利水电工程优化调度是解决水资源问题的有效途径，为进一步学习水科学知识奠定良好的基础；同时，初步培养学生应用所学知识分析和解决水利水电工程优化调度实际问题的能力。

为了加强此书系统性和全面性，全书包含了“水利水电工程优化调度”的诸多内容。

本书由唐德善、唐彦、黄显峰、史毅超等编著。另外参与编写的有王桂智、张磊、汪旭鹏、尹笋、翟雨虹，史毅超、翟雨虹对全书进行梳理和修订。

在本书的编写过程中，参阅和引用了一些国内外文献和资料，编者在此向有关人员致以衷心的感谢！对未能列出的其他参考文献和资料的作者也一并致谢，并请谅解。

本书包括的内容丰富，对不同学校、不同专业、不同读者有可供选择的余地。尤其是水电站经济运行部分的内容，可按实际需要选择。

由于编者水平所限，对于书中疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。

编著者

2016年7月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 水利水电工程简介	1
第二节 水利水电工程优化调度	3
第三节 水利水电工程的可持续发展	5
第四节 本课程任务和主要内容	10
本章小结	10
思考题	10
第二章 水库调度的常规方法	11
第一节 水库调度概述	11
第二节 水库发电调度	14
第三节 水库防洪调度	23
第四节 水库综合利用调度	27
第五节 水库调度图的应用	28
本章小结	29
思考题	29
第三章 水库优化调度	30
第一节 水库优化调度基本概念	30
第二节 单一水库发电优化调度	33
第三节 库群发电优化调度	37
第四节 水库防洪系统优化调度	40
第五节 水资源合理配置	42
本章小结	47
思考题	47
第四章 水电站厂内经济运行	48
第一节 水电站厂内经济运行的任务及内容	48
第二节 水电站动力特性	49
第三节 等微增率法求解运行机组的最优组合和负荷分配	52
第四节 动态规划法求解运行机组的最优组合和负荷分配	55

第五节 电厂开停机计划的制订	59
本章小结	61
思考题	61
第五章 水电站短期经济运行	62
第一节 水电站短期经济运行概述	62
第二节 火电站厂内经济运行	63
第三节 水火电力系统中水电站的短期经济运行	67
第四节 短期经济运行实时控制简介	73
本章小结	74
思考题	74
第六章 水库水资源系统的不确定型模型	75
第一节 模糊决策数学模型	75
第二节 随机性数学模型	86
第三节 水库模糊优化调度方法研究	88
本章小结	92
思考题	93
第七章 水库运行调度的实施	94
第一节 水库调度方案的编制	94
第二节 水电站及水库年度运行调度计划的制订	96
第三节 水库调度的规程与制度	97
第四节 水库运行调度的实施方法	100
第五节 水库的生态调度	103
本章小结	108
思考题	108
第八章 水利水电工程可持续利用	110
第一节 水利水电工程可持续利用规划管理	110
第二节 水利水电工程可持续利用管理	125
第三节 水利水电工程可持续发展展望	129
本章小结	133
思考题	133
参考文献	134

第一章 绪 论

第一节 水利水电工程简介

水是一切生命的源泉，是人类生活和生产活动中必不可少的物质。在人类社会的生存和发展中，需要不断地适应、利用、改造和保护水环境。水利事业随着社会生产力的发展而不断发展，并逐步成为人类社会文明和经济发展的支柱。

人类社会为了生存和发展的需要，会对自然界的水和水域进行控制和调配，以达到兴利除害、开发利用和保护水资源的目的。在研究自然界水的特性、存在方式和运动规律的基础上，研究水的控制、开发、利用、管理和保护的知识体系称为水利科学。用于控制和调配自然界的地表水和地下水，消除水害和开发利用水资源而修建的工程称为水利水电工程。

一、水利水电工程发展简史

水利一词最早见于战国末期间世的《吕氏春秋》中的《孝行览·慎人》篇，其中的“取水利”系指捕鱼之利。西汉史学家司马迁所著《史记》中的《河渠书》首次赋予该词以防洪、灌溉、航运等兴利除害的含义。水利的发展历史大致可分为古代、近代和现代 3 个时期。古代水利是指 18 世纪产业革命前的时期，水利建设主要凭经验进行，多使用当地建筑材料，用人力畜力和简单机械施工。人类的水利活动可以追溯至远古：公元前 4000 年埃及人已经利用尼罗河水漫灌；南美洲的秘鲁在公元前 1000 年已有灌溉；而中国今河南登封在公元前 2800—前 2000 年已使用陶制排水管，公元前 256—前 251 年在今四川省都江堰市修建的都江堰是世界现存最古老的无坝引水枢纽。中国古代水利经历了秦汉、隋唐宋和元明清的 3 次统一与和平时期，带来了 3 次水利的大发展和人口的大增长。近代水利是指 18 世纪开始的产业革命到第二次世界大战期间，一些国家进入以工业生产为主的社会，水利进入一个新的阶段。但中国从 1840 年鸦片战争后，却沦为半殖民地半封建社会，水利建设趋于停滞。这时期水利的基础科学开始建立，从而推动了水利应用科学在 19 世纪中叶之后的长足进步，工业发达国家在水利建设上取得了重大突破，并使水利形成独立学科。1878 年法国建成世界上第一座水电站；1936 年美国建成高 221m 的胡佛坝，并创造性地发展了筑坝技术。现代水利是指第二次世界大战结束之后的时期，随着电子计算机的广泛应用，试验手段、计算技术和自动化技术的发展，机械制造能力的提高，大型施工机械的使用和新材料的出现，水利水电工程数量急剧增加，规模日益扩大，新结构不断涌现，高坝和大型水库大量兴建，从而带来了巨大的经济效益：1949 年中华人民共和国建立后，水利事业蓬勃发展，取得了巨大成就；1986 年世界灌溉面积为 2.33 亿 hm^2 ，占耕地总面积的 17%，其粮食产量占全世界总产量的 40%；中国在 20 世纪 80 年代灌溉面积为 0.48 亿 hm^2 ，居世界之首；1986 年全世界高 15m 以上的大坝共登记 3.66 万座，其

中国有 1.88 万座。截至 2014 年 6 月,中国最高的水坝是坐落在四川省境内的锦屏一级水电站大坝,属双曲拱坝,高 305m,也是世界第一高水坝。中国最高的土石坝是云南省境内的糯扎渡大坝,高 261m。中国最高的重力坝是位于广西壮族自治区的龙滩水电站大坝,高 216.2m。湖北省境内还拥有世界上最高的混凝土面板堆石坝:高 233m 的水布垭水电站大坝。四川省境内正在建设的双江口大坝预计高度将达到 312m,建成后将成为新的世界第一高坝。位于我国湖北省宜昌市的三峡水利枢纽工程是世界上最大的水利水电工程。三峡工程建筑由大坝、水电站厂房和通航建筑物三大部分组成,大坝为混凝土重力坝,坝顶总长 3035m,坝高 185m,设计正常蓄水位枯水期为 175m (丰水期为 145m),总库容 393 亿 m^3 ,其中防洪库容 221.5 亿 m^3 。水电站左岸设 14 台机组,右岸 12 台机组,总共 26 台机组,水轮机采用混流式机组,单机容量均为 70 万 kW,总装机容量为 1820 万 kW,年平均发电量 847 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。后又在右岸大坝山体内建地下电站,设 6 台 70 万 kW 的水轮发电机,年发电量可达 1000 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。公开数据显示,截至 2009 年年底,三峡工程已累计完成投资 1849 亿元。

二、水利水电工程特点与分类

水利水电工程是实现水利规划目标的主要手段,其主要作用是控制和调配地面水和地下水,达到兴利、除害的目的。自然界中水的运动存在偶然性,并与其他环境要素互相影响,水利工程的工作条件十分复杂。大型水利工程的投资大、工期长,对社会、经济和环境都有很大影响,既有利也有弊,需要进行必要的经济风险评估。随着社会生产力的发展和人民生活水平的提高,水利建设日益成为社会文明和经济繁荣的重要支柱。

水利水电工程与其他工程相比,具有如下特点。

(1) 影响面广。水利水电工程规划是流域规划或地区水利规划的组成部分,而一项水利工程的兴建,对其周围地区的环境将产生很大的影响,既有兴利除害有利的一面,又有淹没、浸没、移民、迁建等不利的一面。为此,制定水利水电工程规划,必须从流域或地区的全局出发,统筹兼顾,以期减免不利影响,收到经济、社会和环境的最佳效果。

(2) 施工建造艰巨。水利水电工程与陆地上的土木工程相比施工更为困难,条件更为复杂。主要考虑水的因素,水对挡水建筑物有静水压力,随挡水高度的加大而剧增,为此工程必须具有足够稳定性。另外建筑物及地基内的渗流也威胁工程安全。施工导流复杂,施工进度往往与洪水“赛跑”,加大了工程建造的复杂性。

(3) 失事后果严重。水利水电工程一般规模大,投资多,工期较长,工程失事将会产生严重后果,如果拦河坝溃决,则会给下游带来灾难性及至毁灭性的后果,这在国内外都不乏惨重实例。

水利水电工程学科按服务对象划分如下。

(1) 防洪。研究洪水规律及其灾害防治的学科。

(2) 城镇供水和排水。研究按水质、水量、水压标准向城镇供给生活用水和工业用水,以及使废水在达到规定水质要求的情况下顺利排放或重复使用的学科。

(3) 灌溉和排水,又称农田水利。研究通过工程措施对农业水资源进行拦蓄、调控、分配和按质量标准适时适量地将水输送到农田、草场、林地,并将田地内多余的水适时排泄,以利植物生长的学科。

(4) 水力发电。研究将水能转换为电能的工程技术、经济和管理学的学科。

(5) 航道和港口。研究船舶及排、筏安全航行的线路和设施,以及研究供船舶停泊、避风、供应燃料及物资、进行维修和客货转载作业的场所的学科。

(6) 水土保持。防治水土流失,保护、改良与合理利用山丘区或风沙区水土资源的学科。

(7) 海洋工程。研究海洋资源开发、海洋空间利用、海洋能利用和海岸防护的学科。

(8) 环境水利。研究环境与水利的相互关系和相互作用的学科。

(9) 水利渔业。研究利用水利工程进行水产养殖和发展捕捞业的学科。

水利科学按水利工程的工作程序可分为水利勘测、水利规划、水工建筑物设计、水利工程施工、水利管理等。综合性分支学科包括水利史、水利经济学和水资源学等。此外,水利科学的基础学科有水文学和水资源学、水力学、固体力学、土力学、岩石力学、河流动力学、水文地质学、工程测量学及建筑材料等。

三、水力发电简介

水力发电作为水利水电工程的主要内容,其在社会经济发展中的地位也越来越重要,下面将就水力发电的概念作出单独介绍。

水力发电是一种将天然水流蕴藏的势能与动能转换成电能的发电方式,是水能利用的主要形式。在自然状态下,河川水流的这种潜在能量以克服摩擦、冲刷河床、挟带泥沙等形式消耗掉,而兴建水电站可利用这部分能量,将其转化为服务于大众的电力资源。1878年法国建成世界上第一座水电站,1880年冲击式水轮机诞生,1918年研制了轴流式转桨水轮机,1957年造出了斜流式水轮机,并开始出现可逆式抽水蓄能机组。随着机械制造业和超高压输电技术的发展,世界各国的水力资源得到大力开发。至20世纪90年代中期最大的水轮发电机的单机容量已超过70万kW,最大的水电站装机容量已达1260万kW(见伊泰普水电站)。

水力发电突出的优点是以水为能源,水可周而复始地循环供应,是一种可持续发展的清洁能源。更重要的是相对于火力发电,水力发电对自然环境的危害较小,运行成本也要低得多,能大大改善能源结构。世界各国都提倡尽可能多地开发本国的水能资源。我国的水能资源储藏量居世界首位,然而地区分布却不均匀:西南地区的水能蕴藏量最多,主要分布在长江上游金沙江、通天河及长江支流嘉陵江、岷江、乌江等,西藏的雅鲁藏布江,云南的怒江、澜沧江等。西部地区水能蕴藏量仅次于西南,主要分布在长江及其支流,洞庭湖水系的湘、资、沅、澧等河流,汉江、赣江及珠江等。华东地区水能蕴藏量主要集中在闽、浙两省,也可向潮汐电站发展。东北地区已开发的水能资源比较多,主要在松花江、嫩江、鸭绿江和镜泊湖等,华北地区多为平原河流,水能蕴藏量不多,主要在滦河和海河水系中。

第二节 水利水电工程优化调度

水利水电工程调度的基本任务是:科学经济地治理、调配、利用和保护水资源,调节地表水和地下水的水位、流量、水深,适时适量地输送水量,按标准保护水质,以满足国

民经济各部门和社会对水利水电工程的要求；保护水利工程建筑物及设备的完好与安全，使之能正常持久地发挥作用，防止发生或减少事故和灾害；保持水域环境蓄水、过水、排水的能力及正常使用的条件；不断进行技术改造，以适应水利管理事业发展和科学技术进步的要求。

一、水利水电工程优化调度基本原则与主要工作内容

水利水电工程优化调度应遵循的基本原则是：在首先保证工程安全的前提下，根据规划设计的合理开发利用目标及主次关系，考虑各种水利工程措施与非工程措施的最优配合运用，统一调度，充分发挥水利水电工程的除害兴利作用，使获得的国民经济效益尽可能最大；当遇到工程设计标准以上的特大或特枯水情时，要本着局部服从全局的原则，兴利服从防洪，经济性服从可靠性，使灾害损失或正常运行的破坏损失尽可能最小^[4]。

水利水电工程运行调度的主要工作内容包括：制订和编制水资源系统最优的运行调度方案、方式和计划；按照所编制的方案、方式和计划，根据面临的实际情况，进行实时调度和操作控制，尽可能实现水资源共享系统的最优运行调度；做好水资源系统运行调度实际资料的记录、整理和分析总结；开展与运行调度有关的其他各项工作，如收集工程、设备及水利枢纽上、下游特征等基本资料，组织有关建筑物和设备的运行特性试验，开展水文气象预报，建立和健全本系统及其组成单元的运行调度规程及各项管理工作的规章制度，开展有关的科学试验研究和技术革新等。

二、水电站水库的运行调度

由于水电站水库在水利水电工程中占有举足轻重的地位，对其运行方式的研究构成了水资源系统运行调度的主体。一般将水电站水库的运行调度在时空域内划分为三个子问题，即水电站厂内经济运行、水（火）电站短期经济运行及长期经济运行（或水库调度）。

1. 水电站厂内经济运行

水电站厂内经济运行主要是研究出力、流量和水头平衡，机组的动力特性和动力指标，机组间负荷的合理分配，最优运转机组台数和机组的启动、停用计划，机组的合理调节程序和电能生产的质量控制及用计算机实现经济运行实时控制等。

2. 水（火）电站短期经济运行

主要研究和解决电力系统在短期（日、周）内的电力电量平衡，各水电站间、水电站间负荷的合理分配，电网潮流和调频调压方式，备用容量的确定和接入方式，水电站水库日调节时上下游不稳定流对运行方式的影响，水资源综合利用和水电站运行方式之间的相互影响等。

3. 水电站长期经济运行（或水库调度）

长期运行方式通常是指较长时间（季、多年等）的运行方式，以水电站水库调度为中心，包括电力系统的长期电力电量平衡、设备检修计划安排、备用方式的确定、径流预报及分析、水库洪水调度和水库群优化调度等。

水电站厂内经济运行、短期经济运行与长期经济运行之间有着十分密切的联系，如图1-1所示。

当从理论角度来研究和分析水电站经济运行方案时，应首先解决厂内经济运行方式问题，在此基础上研究短期最优运行方式，进而研究和解决长期最优运行方式。在研究短期

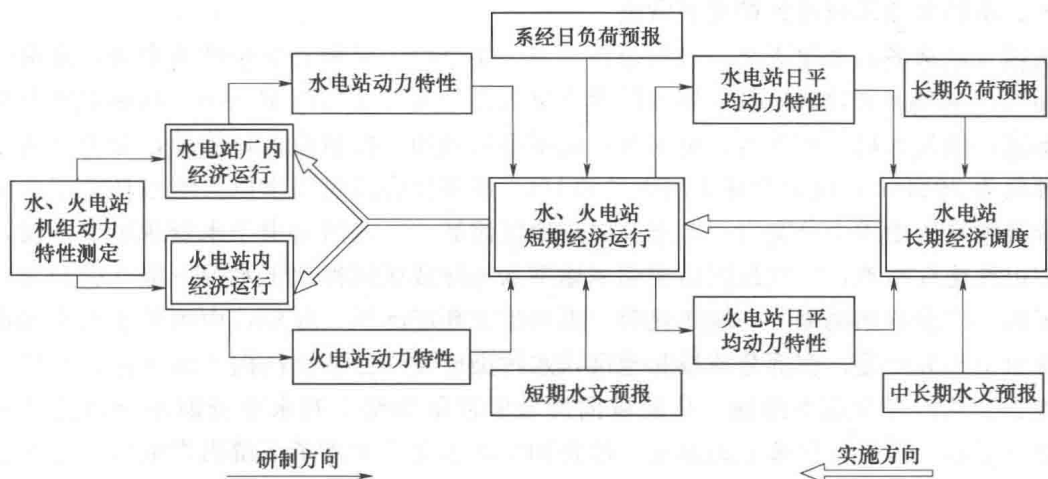


图 1-1 电力系统中水电站、火电站经济运行方式的研制与实施关系结构图

运行方式时，视一个电站为一个单元，认为厂内各动力设备的运行是按最优方式进行的，水电站的动力特性是在厂内经济运行的基础上做出的。在研究长期经济运行方式时，则认为厂内和短期都是按经济运行方式进行的，所具有的动力特性曲线叫做平均特性，它是在厂内和短期最优运行方式的基础上绘制而成的。

然而，在实际实施调度时，则与运行方案研制过程相反，一般先考虑水文和负荷的长期预报，按长期最优运行方案制订出长期最优运行方式和计划，得到即将面临的短期（日、周、旬、月）的运行决策量（时段电量或平均出力、供水量或平均供水流量），再由此决策量制定短期最优运行方式和计划，得出更短时段（日、小时）及瞬时决策量，最后据此决策量制定厂内机组的运行方式并进行实时操作控制。

应当指出，短期最优运行方式的制定，对具有短期（日、周）调节性能以上水库的水电站都有现实意义，长期最优运行方式的制定对具有长期（季、年、多年）调节性能水库的水电站才更为必要。此外，当水库有防洪任务时，汛期应根据水库调蓄情况进行具体防洪调度。

为了充分发挥水电站及其水库的作用，最大限度地利用水能及水资源，获得尽可能大的综合运行效益，应当全面开展水电站长期、短期及厂内经济运行。若条件不具备时，可先单独开展其中一项，也能获得较明显的经济效益。

第三节 水利水电工程的可持续发展

可持续发展，即为“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。它以两个关键组分为基础：一是人类需求，从水资源的角度讲特别是指世界上水资源短缺地区的需求；二是环境限度，如果它被突破，必将影响自然界支持当代和后代人生存的能力。水利水电工程可持续发展，即是在水利水电工程运行、维护的过程中，科学地运用可持续发展观，使水利水电工程维持在一个良好的、可持续运行下去的稳定状态，从而实现水利水电工程发展的可持续。

一、水利水电工程可持续发展背景

我国人口众多、资源匮乏、自然条件较差。受季风气候和自然条件的影响,降雨时空分布不均,水旱灾害频繁,是世界上洪涝干旱灾害最为严重的国家之一。我国水资源总量虽较丰富,但从人均、亩均占有量来看,是不容乐观的。按目前人口统计,全国人均占有水资源仅为 2044m^3 , 仅为全球平均水平的 $1/4$, 经济社会发展用水以及生态环境用水需求与水资源紧缺的矛盾十分突出。北方及内陆地区流域,一些河流由于水资源过度开发,河道干游出现连续断流,一些地区由于超采地下水,导致区域性地下水位下降,引起大面积地面沉陷、生态绿洲萎缩、环境恶化等一系列生态环境问题。此外,中国的水污染和水土流失现象也十分严重。在部分流域和地区,水污染已呈现出从支流向干流延伸、从城市向农村蔓延、从地表向地下渗透、从陆域向海域发展的趋势。对水土资源不合理的开发利用,加剧了水土流失,导致土地退化、沙化和生态恶化,加深了下游洪涝威胁。总之,洪涝灾害、水资源短缺、水污染和水土流失,即水多、水少、水脏、水浑问题,严重影响中国人口、资源、环境与社会经济的协调发展,是中国经济社会发展的重要制约因素。因此,必须实施可持续发展水资源战略,加强水利基础设施建设,加强生态环境建设和保护,节约和保护水资源,治理水污染,改善生态环境,促进水资源可持续利用,保障经济社会的可持续发展^[5]。

二、我国水利水电工程可持续发展面临的主要问题

我国是一个历史悠久的文明古国,也是在水资源开发利用最早的国家之一,经过数年的发展,已初步形成防涝、排涝、灌溉、供水、发电等工程体系,在抵御水旱灾害、保障经济社会安全、保护水土资源和改善生态环境等方面发挥重要作用。但是,也应该看到,随着经济社会发展,我国在水资源领域还面临着严峻的挑战,制约水利事业的发展。

1. 经济快速增长使水安全问题更加突出

改革开放以来,我国经济社会快速发展,对防洪安全、供水安全、水环境和生态环境保护的要求越来越高。洪涝灾害、水资源不足、水土流失和水污染问题日益突出,成为经济社会可持续发展的主要制约因素。21 世纪初期,我国经济社会仍将保持继续增长态势,随着人口的持续增加,城市化进程的加快,水资源供需矛盾将进一步加剧,如不及时采取有效措施,可能出现严重的水危机及诱发严重的生态环境问题,给社会经济的健康发展带来不良影响。

我国洪涝干旱灾害频发,对社会影响和经济损失巨大。1998 年长江、松花江、嫩江流域发生大洪水,洪涝灾害直接经济损失为 2550 亿元。目前,全国 70% 以上的固定资产、44% 的人口、 $1/3$ 的耕地,数百座城市以及大量重要的国民经济基础设施和工矿企业,分布在主要江河的中下游地区,受洪水威胁严重。我国又是水资源严重短缺的国家,全国正常年份缺水量 400亿 m^3 , 每年因干旱缺水造成的经济损失约 3000 亿元,相当于同期 GDP 的 3%。我国的水土流失及水环境恶化问题严重,全国水土流失面积 367万 km^2 , 约占国土面积的 38%, 其中水力侵蚀面积 179万 km^2 , 风力侵蚀面积 188万 km^2 。水土流失造成土地资源的破坏,加剧水旱风沙等自然灾害,已成为我国头号环境问题,水污染状况总体上还未得到有效控制。随着经济社会的发展,洪涝和干旱灾害的影响范围增加,风险程度加大,防洪抗旱减灾的任务十分艰巨。

2. 水利资金投入不足使基础设施建设严重滞后

水利基础设施建设与管理投入严重不足, 缺乏稳定的投入保障机制, 导致水利建设严重滞后于经济社会发展的需要。加上大量易于实施的水利工程已相继开发建设, 未来治水工程的难度和成本将越来越高, 所涉及的社会、经济、技术、环境等问题也将越来越复杂。

我国大多数水利工程建于 20 世纪 50—60 年代。由于历史原因, 设计标准偏低, 建设质量较差, 工程不配套, 管理粗放, 管理设施落后, 管理经费不足, 管理人员素质较低, 缺乏价格形成机制和工程良性运行机制。有些工程老化失修, 效益衰减严重。根据对全国 195 处大型港区调查, 骨干建筑物老化失修, 损坏率达到 40%。全国约有 40% (1200 多座) 的大中型水库存在不同程度的病险隐患。有些工程已达到设计使用寿命, 面临报废或重建, 一部分工程急需加固和改造, 任务十分繁重。

3. 水利发展缺乏法律体系机制的保障

目前, 我国水管理法规体系尚不健全。“多龙管水”的体制尚未理顺, 不利于依法进行水事活动的监督与执法、协调与裁决, 难以保证水资源的合理配置、高效利用和有效保护。管理人员业务素质与管理技术手段还远不能适应现代化水管理的要求。水管理的监控体系建设落后, 缺乏信息技术支持。与社会主义市场经济体制相适应的水利投资体制、水价形成机制、水电价格机制、市场激励机制尚不完善, 难以形成良性的发展机制, 对节水和高效用水以及水资源合理配置产生制约作用和“瓶颈”效应。因此, 加快投资体制、价格机制和管理体制改革, 健全法规体系是实现水资源可持续利用的重要保障。

4. 水利发展体制机制不顺制约水利可持续发展

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。

(1) 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。一方面, 水利在公共财政支出中的比重还不高, 波动性较大, 1998 年以来, 中央预算内固定资产投资中, 年均水利投资 367 亿元, 所占比重在 14%~24% 之间波动。另一方面, 水利公益性强, 又缺乏金融政策支持, 融资能力弱, 社会投入较少。此外, 农村义务工和劳动积累工政策取消后, 群众投工投劳锐减, 新的投入机制还没有建立起来, 对农田水利建设影响很大。

(2) 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。

(3) 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。

5. 水资源缺乏有效保护威胁国家水环境安全

从环保部最新公布的数据可知, 全国 70% 的河流湖泊受到严重污染, 十大水系、62

个主要湖泊分别有 31% 和 39% 的淡水水质达不到饮用水要求, 3.6 亿民众缺乏安全的饮用水。从某种意义上说, 水污染问题十分严峻。严峻主要体现在三个方面。

(1) 就整个地表水而言, 受到严重污染的劣 V 类水体所占比例较高, 全国约 10%, 有些流域甚至大大超过这个数。如海河流域劣 V 类的比例高达 39.1%。

(2) 流经城镇的一些河段、城乡结合部的一些沟渠塘坝污染普遍比较重, 并且由于受到有机物污染, 黑臭水体较多, 受影响群众多, 公众关注度高, 不满意度高。

(3) 涉及饮水安全的水环境突发事件的数量依然不少。防治水污染是当下治理水问题的重中之重^[6]。在此背景下, 《水污染防治行动计划》(简称“水十条”) 出台, 将有效改善当前严峻的水环境形势, 是实现生态水利, 落实科学发展观的重大举措。同时, “水十条”的出台也给水利产业带来了空前的“治水盛宴”。

6. 水利工程建设与生态环境矛盾凸显

水利工程对经济社会发展的巨大作用毋庸置疑。但是也必须看到水利工程对河流生态系统造成了不同程度的干扰。一条河流、一个河段及其周围地区在天然状态下, 一般处于某种相对平衡。水利工程建设会破坏原有的平衡, 对周围的自然和社会环境产生一定的胁迫。水利工程对于河流生态系统的胁迫主要表现在两方面。

(1) 自然河流的渠道化。包括平面布置上的河流形态直线化, 即将蜿蜒曲折的天然河流改造成直线或折线型的人工河流。包括河道横断面几何规则化, 即把自然河流的复杂形状变成梯形、矩形及弧形等规则几何断面。还包括河床和边坡材料的硬质化, 即渠道的边坡及河床采用混凝土、砌石等硬质材料。

(2) 自然河流的非连续化。筑坝造成顺水流方向的河流非连续化, 使流动的河流生态系统变成了相对静止的人工湖, 流速、水深、水温及水流边界条件都发生了重大变化, 极大地威胁了生态系统的平衡^[7]。

近年来, 随着生态问题的日益严峻, 党和中央对生态文明建设十分重视, 大型水利工程建设面临着生态因素的严重制约。在“十二五”规划中指出, 在保护生态的前提下积极发展水电, 生态放在了水电开发的前列。2015 年 4 月 9 日, 环境保护部罕见地叫停投资 320 亿元的小南海水电项目, 给水电开发敲响了生态警钟。“十三五”规划提出: 推进能源革命, 建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系, 加快发展风能、太阳能、水能。当下, 只有对传统的水利水电工程规划设计和运行的理念与技术方法进行反思, 进一步吸收生态学的理论知识, 探索与生态友好的水利水电工程技术体系, 才能妥善解决水利工程建设与生态环境的矛盾, 才能实现水电与自然和谐相处, 满足可持续发展目标的时代需求。

7. 农田水利建设滞后影响农业可持续发展

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。一是老化失修严重。现有的灌溉排水设施大多建于 20 世纪 50—70 年代, 由于管护经费短缺, 长期缺乏维修养护, 工程损坏率高, 效益降低, 大型灌区的骨干建筑物损坏率近 40%, 因水利设施老化损坏年均减少有效灌溉面积约 300 万亩。二是配套不全、标准不高。大型灌区田间工程配套率仅约 50%, 不少低洼易涝地区排涝标准不足 3 年一遇, 灌溉面积中有 1/3 是中低产田, 旱涝保收田面积仅占现有耕地面积的 23%。三是灌溉规模不足。我国现有耕地中, 半数以上仍为没有灌溉设施的“望天田”, 还有一些水土资源条件

相对较好、适合发展灌溉的地区,由于投入不足,农业生产的潜力没有得到充分发挥。农田水利设施薄弱,导致我国农业生产抗御旱涝灾害的能力较低,近30多年来,全国年均旱涝受灾面积5.1亿亩,约占耕地面积的28%。加之受全球气候变化影响,发生更大范围、更长时间持续旱涝灾害的概率加大,农业稳定发展和国家粮食安全面临较大风险。

三、我国水利水电工程可持续发展主要措施

当前,我国经济社会发展进入一个新的历史时期。中央提出,要坚持以人为本和全面、协调、可持续的科学发展观,实施“五个统筹”的发展战略,即统筹城乡发展、统筹区域发展、统筹经济社会发展、统筹国内发展和对外开放、统筹人与自然和谐发展。为了适应新时期我国经济社会发展战略的要求,实现水利水电工程的可持续发展可以采取以下措施^[8]。

(1) 建立水资源供给与高效利用体系。通过开源和节流,形成水资源合理配置的格局,提高水资源的利用效率和效益,加强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,建设节水清洁型社会。逐步建立用水总量控制和定额管理相结合的管理制度,通过社会制度的建设来解决干旱缺水问题,形成以经济手段为主的节水机制,推动整个社会走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。

(2) 建立较为完善的防洪减灾保障体系。按照“给洪水以出路”的思路,以提防为基础,以枢纽工程为主干,进一步加强大江大河大湖治理,蓄滞洪区建设和防汛调度指挥体系建设,形成河道、湖泊、水利枢纽、蓄滞洪区“四位一体”,拦、分、需、滞、排功能协调的综合防洪减灾体系,使主要防洪保护区的保障标准与其经济发展水平相适应,确保城市和重点地区的防洪安全。同时,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,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。

(3) 建立水生态系统安全保障体系。通过制定重要江河的水资源保护规划,进行水污染防治和水资源保护,切实搞好水土保持生态建设,有效控制和减少水土流失及水污染,提高水环境的承载能力,坚持人与自然和谐相处,科学确定生态流量,加强江河湖库水量调度管理,维持河湖生态用水需求,开源节流并重,确保水资源的可持续利用,改善人居环境。

(4) 建立现代化的水资源管理体系。通过健全法制,依靠科技创新和体制创新,建立流域管理与区域管理相结合的水资源管理体制,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”,实行水资源的统一管理和实时监控,优化配置资源、加强监测管理,保证水利工程的良性运行,充分发挥工程的综合效益,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。

(5) 建立水利投入稳定增长机制。以政府公共财政投入为主,社会投入为补充,建立水利投入稳定增长机制。一是稳定和提高水利在国家固定资产投资中的比重。二是大幅度增加财政专项水利资金规模。三是进一步充实和完善水利建设基金。四是落实好从土地出让收益中提取10%用于农田水利建设的政策。同时,特别加大对水利建设资金的监督管理,确保资金安全和使用效益,保障水利跨越式发展。

(6) 推进农业水利建设。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。

第四节 本课程任务和主要内容

“水利水电工程优化调度”是水利水电工程专业的一门专业课程。根据专业培养目标,本课程设置的任务是使学生比较系统地掌握水利水电工程优化调度方面的基本知识。为此,本课程的主要内容有:水库运行常规调度法;水库运行优化调度法,包括单一水库及水库群的联合运行调度;水电站厂内经济运行;水火电力系统中水电站的短期经济运行;水库调度的不确定型模型;水库运行调度的实施;水利水电工程持续利用研究等。

本章小结

本章主要讨论了水利水电工程的相关概念,依次阐述了水利水电工程的悠久历史,水利工程的特点与分类,水利水电工程优化调度的基本概念、原则与工作内容;详细说明了水利水电工程优化调度的三种运行方式,即厂内经济运行、短期经济运行和长期经济运行,并且解释了这三种运行方式的相互关系;最后,针对水利水电工程的可持续发展,分析了当前我国水利水电工程发展可能面临的主要问题以及相应的解决措施。本章是本书的绪论,目的是使读者对本书的内容有概括的了解,为后续更好的学习奠定基础。

思考题

1. 水利水电工程的分类及其特点?
2. 水利水电工程优化调度的原则是什么?
3. 水电站水库运行调度按调度周期分为哪几类?具体内容是什么?
4. 水利水电工程可持续发展的概念是什么?
5. 水利水电工程可持续发展面临哪些问题?有哪些主要措施?
6. 试论述如何解决水利水电工程建设与生态矛盾?