

“九五”国家重点图书

中国水力发电工程

运行管理卷

HYDROPOWER

ENGINEERING

IN CHINA

Operation and
Management



中国电力出版社

China Electric Power Press
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

中国水力发电工程. 运行管理卷/《中国水力发电工程》编审委员会编. - 北京: 中国电力出版社, 2000.8

ISBN 7-5083-0313-X

I. 中… II. 中… III. ①水力发电工程-中国②水力发电站-电力系统运行-中国③水力发电站-管理-中国 IV. TV752

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 06936 号

中国水力发电工程 运行管理卷

出版、发行 中国电力出版社

北京三里河路 6 号(100044 <http://www.cepp.com.cn>)

印 刷 水电印刷厂

经 售 各地新华书店

版 次 2000 年 8 月第一版

印 次 2000 年 8 月第一次印刷

规 格 787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 519 千字

印 数 3500 册

定 价 80.00 元

版权所有 翻印必究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

中国水力发电工程

HYDROPOWER ENGINEERING IN CHINA

工程水文卷(Engineering Hydrology)

规划经济卷(Planning and Economy)

移民环保卷(Resettlement and Environmental Protection)

工程地质卷(Engineering Geology)

水工卷(Hydraulic Structures)

机电卷(Electromechanical Equipment)

施工卷(Construction)

▲运行管理卷(Operation and Management)

《中国水力发电工程》

编 审 委 员 会

名誉主任	汪恕诚	陆佑楣	李鹗鼎			
主任	周大兵					
副主任	张学知	高安泽	程念高	郭建堂	陈东平	毛亚杰
	宗健	程忠智	张克让	邹范湘	沈崇刚	
	邴凤山(常务)					
委员	(按姓氏笔画排列)					
	丁学琦	王平	王冰	王信茂	王柏乐	王锐琛
	毛亚杰	方春阳	孔令兵	左东启	石瑞芳	冯涪生
	刘义洲	刘兰桂	安申义	纪云生	许百立	朱经祥
	朱建业	朱铁生	邴凤山	余卫国	汪先纯	宋德敦
	宗健	陈东平	陈叔康	陈祖安	陈道周	陈德基
	邹范湘	何璟	何格高	何根寿	李新	李维藩
	李鹗鼎	杨金栋	杨德晔	沈崇刚	沈淦生	沈维义
	沈磊	青长庚	范成贤	张庆堂	张克让	张进谦
	张学知	周大兵	林伯洗	单鹰	贺至刚	赵志钦
	赵毓昆	段荣国	高安泽	徐珍懋	梁瑞驹	郭建堂
	傅元初	曾念	程忠智	程念高	谭靖夷	潘家铮
主编	潘家铮	何璟				
副主编	邴凤山(常务)		贺至刚	沈崇刚	陈叔康	王锐琛
	赵毓昆	安申义	陈祖安	朱经祥	王冰	谭靖夷
	沈磊					

编审委员会办公室

主任	王宁					
副主任	杨万涛	王琪				
成员	朱军	王辉	祁宁春	谈鹏	姜萍	杨伟国
	丁莉	王玉				

《运行管理卷》编审人员

主 编 沈 磊
副主编 徐珍懋 李珍照 顾民臣
主 审 李维藩 杨金栋

各章编写人、统稿人

篇序	章序	章 名	编写人	统稿人
第一篇 概述	第一章	我国运行水电厂基本情况	沈 磊	沈 磊
	第二章	我国水电厂生产运行管理简况	沈 磊	
	第三章	我国水电在电网中的地位、作用和经济效益	沈 磊	
第二篇 水电厂机电设备 运行和检修	第四章	概述	孙嘉祯	徐珍懋 顾民臣
	第五章	水轮发电机组的运行	许 力 方仁治 唐俊达	
	第六章	水轮发电机的检修	方仁治 李海云	
	第七章	水轮机的检修	唐俊达	
	第八章	调速器的运行	唐俊达	
	第九章	变压器的运行和检修	孙嘉祯	
	第十章	高压断路器的运行	孙立范	
	第十一章	励磁装置和电气制动的运行	王科峰 高潮	
	第十二章	水电厂计算机监控系统的运行	王科峰 高潮	
	第十三章	水轮发电机组的技术改造	徐珍懋	

续表

篇序	章序	章 名	编写人	统稿人
第三篇 水工建筑物安全管理、安全监测和维修加固	第十四章	大坝安全管理	李珍照	李珍照
	第十五章	大坝安全监测技术	李珍照	
	第十六章	大坝性态分析	李珍照	
	第十七章	混凝土坝的维修和加固	杨金诚	
	第十八章	土石坝的维护和加固	高官堂	
	第十九章	引水、泄洪和厂房建筑物的维修	俞介刚	
	第二十章	水电厂金属结构的维修	崔永山	
第四篇 水情测报、水文预报和水库调度	第二十一章	水情测报	刘凤林 曾宪富	沈 磊
	第二十二章	水文预报	宋雅坪	
	第二十三章	水库调度	宋雅坪 高官堂	

序

半个世纪以来,我国的水电建设事业有了飞跃发展,特别是近20年,建设规模之大,速度之快,技术创新之多,令世界水电同行注目。我国的水力发电整体技术水平,已跻身于世界先进行列,并且可以预见,不久的将来,我国将成为世界水电第一大国。

为实现我国21世纪社会经济的持续发展,最近,党中央提出了西部大开发的伟大战略决策。发展水电,西电东送是实施西部大开发战略的重大课题之一,也是实现我国电力资源优化配置的关键。西部大开发,水电要先行。我们要审时度势,不失时机地实施水电开发规划,把我国水电开发推上一个新台阶。

水电的开发,一靠改革,二靠政策,三靠科技。改革是解放和发展生产力,政策是生产力发展的保障,科学技术是第一生产力。

知识的力量是无穷的,人们把后工业经济时代称为知识经济时代,在这个时代中,主导因素是知识,是科学技术。在即将进入21世纪之际,编纂一部大型水力发电工程技术专著,总结50年的经验,指导21世纪的水电开发,是十分有益的。为此,三年前,电力工业部要求科技司、水电开发司和中国水力发电工程学会等单位开始组织编写《中国水力发电工程》专著,并由潘家铮、何璟两位著名水电专家出任主编。在各有关单位的支持下,经过参编各位专家三年的共同努力,终于实现了这一计划。这部约500万字、分八卷、被列为“九五”国家重点图书的水电技术专著,今天终于与广大读者见面了。

这部专著,系统反映了中国特色工程技术和江河治理开发规划思想。它以工程建设新成就为主体,以科技进步为主线,全面展示了水电各学科的发展。这部专著是半个世纪我国水电建设伟大实践和科学技术创新的实录,也是我国广大水电职工创造性劳动的结晶,它集中了水电界200余名专家、学者们的智慧,堪称为中国水电工程技术大全,是一部水电事业的史鉴。这本专著是献给新世纪水电事业的一份厚礼。它的出版,必将促进水电事业的进一步发展。

展望未来,前程似锦,一个水电大开发的新高潮即将到来。水电界的同仁们,努力吧,再创辉煌!

汪恕诚

2000年8月

总 前 言

我国水电建设历经坎坷曲折，从小到大，从弱到强，不断发展。旧中国水电建设十分落后，1912年，在云南建成的石龙坝水电站是中国的第一座水电站，其后的几十年间，也建设了一些水电站，但规模都较小。1949年，全国水电装机容量仅为36万kW，年发电量12亿kW·h，其中主要的还是日本侵略者为掠夺我国资源在东北修建的丰满等水电站。

新中国建国后的50年，特别是改革开放以来，由于党和政府重视水电开发，水电建设迅猛发展，工程规模不断扩大。代表性的工程50年代有新安江、柘溪、新丰江、盐锅峡等水电站；60年代有刘家峡、丹江口、三门峡等水电站；70年代有葛洲坝、乌江渡、龚嘴、凤滩、东江等水电站；80年代有龙羊峡和广蓄、水口、岩滩、隔河岩、漫湾“五朵金花”；90年代有五强溪、李家峡、天荒坪、十三陵、莲花、二滩、天生桥等水电站；世纪之交有三峡、小浪底、大朝山、棉花滩等水电站。据初步统计，全国已建、在建大中型水电站约220座，其中100万kW以上的大型水电站就有20座。三峡枢纽是世界上最大的水利枢纽，也是最大的水电工程。截至1999年底，全国水电装机总容量达7297万kW，年发电量2129亿kW·h，均居世界第二位。

半个世纪以来，水电建设不仅在规模上有了腾飞性的进展，而且整体实力更是今非昔比。我们坚持自力更生、独立自主的方针，同时积极引进和学习外国的先进技术，不断培养壮大自己的力量，培养造就了一支训练有素、实力强大的勘测、设计、施工、科研、制造、安装、运行队伍，积累了丰富的经验。50年中，我们依靠自己的力量，在长江、黄河等大江大河上兴建了不同类型的水电站，解决了一系列设计、施工技术难题，取得了许多重大成就，技术水平不断提高，很多已达到甚至超过世界先进水平。比如在坝工建设上，在建成大量100~150m高度的混凝土坝和土石坝的基础上，我们进行了一批200m以上乃至300m量级高坝的研究、设计和建设工作，使坝工设计理论与筑坝技术有了新的突破，特别是已建成并顺利蓄水发电的二滩水电站，混凝土抛物线双曲拱坝坝高240m，是我国第一座坝高超过200m

的高拱坝水电站，其坝高目前在世界同类型坝中名列第三，如考虑泄洪等条件，综合难度应居首位。80年代以来，我国大力推广混凝土面板堆石坝和碾压混凝土坝。目前，百米以上的混凝土面板堆石坝至少有10座，天生桥一级最大坝高达178m；在建的水布垭工程大坝将达233m。已建、在建的碾压混凝土坝约50座，已形成了有中国特色的碾压混凝土技术。刚建成的江垭碾压混凝土坝，最大坝高131m，列世界第三位；待建的龙滩大坝初期就将达192m，后期将达216.5m；在建的沙牌大坝是世界上最高的碾压混凝土拱坝。水电机设备制造、安装技术也明显进步，继刘家峡、龙羊峡水电站之后，岩滩、隔河岩、广蓄等电站的一批单机容量30万kW以上的大型水轮发电机组相继投产发电，李家峡电站单机容量为40万kW，二滩电站单机容量为55万kW，已先后投产发电，三峡电站单机容量为70万kW，正在建设中。

尽管我们已取得了很大的成就，我国水电开发仍潜力巨大。我国水能资源理论蕴藏总量（未包括台湾省）达6.76亿kW，可开发容量约3.78亿kW，相应年发电量19200亿kW·h，居世界第一。但是，目前我国水电开发程度仍较低，开发率按电量算只有10%左右，不但远远落后于美国、加拿大、西欧等发达国家，而且也落后于巴西、埃及、印度等发展中国家。我们的征途尚远，前程似锦。

进入新千年，水电建设将迎来新的高潮。特别是在西部大开发战略中，开发西部水电宝藏，实现“西电东送”，促进全国联网，实现资源优化配置是重要内容之一。近期即将开工建设龙滩、小湾、公伯峡、三板溪、洪家渡等一批大型水电站，接着将全面开发金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、红水河和黄河上游的水电资源，形成南、中、北三条“西电东送”大通道，这将是世界上最宏伟的水电基地和输电通道。在水能资源相对少和开发程度较高的东部地区，我们除对常规水电进行深度开发和改造外，还要开发一批100万kW级以上的大型抽水蓄能电站，如山东泰安、河北张河湾、浙江桐柏、江苏铜官山、山西西龙池等。根据国家“十五”计划和2015年远景规划，到2005、2010、2015年水电装机将分别达到9520万、1.25亿和1.5亿kW，分别占全国总装机的27%、28%和28%。这个计划完成之日，全国主要江河上条件最好的骨干工程都将建成，中小河流得到梯级开发，抽水蓄能电站将充分发挥效益，全国水能资源开发程度可达40%，并拥有较强的调蓄能力。全国建成统一、强大的电网，可以充分发挥水火、地区联调的效益。届时，中国将成为名副其实的水电和电力大国与强国。

我们取得的成就是举世瞩目的，而且今后的发展前景十分光明，但我们清醒地认识到，在过去工作中有过失误和教训，我们的技术水平、管理水平和效率有待继续提高，否则难以完成历史赋予我们的任务。在世纪交替之际，为了总结建国 50 年以来水电建设的成就、经验和教训，特别是“六五”、“七五”、“八五”和“九五”期间国家科技攻关成果中一些具有推广价值的新理论、新技术、新工艺，以便对 21 世纪的水电开发起参考、借鉴和指导作用，原电力工业部 1995 年决定编纂大型综合专著《中国水力发电工程》，具体由水电水利规划设计总院、水利水电工程总公司、中国水力发电工程学会、中国电力出版社共同组织完成。经过近一年的筹备，1996 年 7 月，原电力工业部办公厅正式下文成立了该书编审委员会。三年多来，在全国有关单位的大力支持下，经过近 200 名水电专家的共同努力，终于完成了全书的编审工作。在此，谨代表编审委员会，向所有支持和参与此项工作的单位和专家表示感谢！

这部巨著以其重要的影响和价值，已在 1996 年列为“九五”国家重点图书。全书共分八卷，分别为工程水文卷、规划经济卷、移民环保卷、工程地质卷、水工卷、机电卷、施工卷、运行管理卷。各卷的重点内容包括建国以来，该专业领域取得的成就和经验教训，以及当今国内外该专业领域的新技术、新理论、新成果、新发展等两方面。相信这套书出版发行后一定会对我国的水电建设起到重要的指导作用，受到广大水电工作者的欢迎。

相对这部专著的份量而言，编纂审查时间仍嫌仓促，书中内容可能不足以全面反映我国水电建设的辉煌成就，所列举的实例可能不够全面、典型，资料数据容有不精确或不一致之处，此类疵瑕恐在难免，敬请广大读者指正。联系地址：100761，北京宣武区白广路 2 条 1 号，中国电力出版社《中国水力发电工程》编委会办公室。

中国工程院副院长
中国科学院院士
中国工程院院士
国家电力公司顾问

潘家铮

2000 年 3 月于北京

本卷前言

《运行管理卷》是《中国水力发电工程》的最后一卷，是结尾卷。这是因为水电厂运行管理是水力发电工程的最终目的和归宿。一个水力发电工程的规划、设计、施工和设备的好坏及它的功能合理性、技术先进性等最终都反映到水电厂的运行管理上来，水电厂的运行管理水平高，它就能充分发挥甚至超出原设计的功能，就能充分体现和验证它的技术先进性，从而获得最大的经济效益。对于规划、设计、施工和设备存在的一些问题，通过运行中的技术改造，也能逐步加以解决。如果水电厂的运行管理水平差，那就会得到相反的结果。所以，从这个角度上说，一个国家的水电厂运行管理水平在一定程度上反映了这个国家的水力发电工程的水平。

本卷内容侧重于论述我国大中型水电厂的运行管理技术方面的成绩、经验教训和已达到的水平，以及与国外先进水电厂的差距。在几十年运行实践的基础上，详细总结了我国水电厂在机电设备运行、维护、检修和现代化改造方面，在水工建筑物安全管理、监测和维修加固方面，以及在水情测报、预报和水库调度运行方面的先进经验、技术成果和新技术、新工艺、新理论、新方法和新发展。

我国第一座大型水电厂是1943年发电的东北吉林省丰满水电厂，第一座中型水电厂是1942年发电的黑龙江省镜泊湖水电站，因此我国大中型水电厂的运行管理已有五十七、八年的历史了。在这漫长的发展过程中，我国水电厂的运行管理模式经历了从最早日本40年代的运行管理模式，到“一边倒”照搬原苏联50年代的运行管理模式，逐步过渡到我国自己的运行管理模式。改革开放以来，特别是90年代以来，吸收了欧美发达国家先进水电厂的运行管理经验，使我国水电厂管理逐步与国际先进水平接轨。

本卷在编写过程中与其他各卷相比有以下难点：一是收集资料范围比较广，因为我国大中型水电厂有一百余座，遍布全国。在时间上还要追溯到建国前。二是按撰写技术专著的要求，本卷主要写水电厂运行管理技术，众所周知，水力发电技术门类很多，各类专业技术包罗万象，它们都出现在水电厂的生产运行上，要都写是不可能的，为此，我们根据实际情况，归结为水

机、电气、水工、水库调度等四个主要专业技术，分别论述。三是水电厂机电设备和水工建筑物种类繁多，不可能面面俱到地去写，我们根据其对安全经济运行的重要性，机电设备只选水轮机、发电机、变压器、调速器、励磁装置、高压断路器和计算机监控系统等七种，水工建筑物选了混凝土坝、土石坝、引水建筑物、泄水建筑物、厂房和金属结构等六类。

总的来说，半个世纪来，随着水电事业的飞跃发展，特别是最近 20 年的改革开放，我国水电厂的运行管理有了非常大的进步，取得了巨大的成绩。不断改进和完善了我国自己的水电厂运行管理体制和一整套规程规范，我国大、中型水电厂安全经济运行已达到一个新的水平，事故率较低，重大事故越来越少，经济效益越来越好，在运行管理技术上（包括对引进设备的运行管理）已积累了相当丰富的经验，而且有所创新。但是，总体而言我们与发达国家水电厂运行管理水平相比还有较大差距，主要表现在我国多数水电厂职工人数多，劳动生产率偏低，机组大修间隔短（我国规程规定为 3~5 年，而国外大都为 8~10 年），水电厂自动化程度还不高，无人值班水电厂的工作以及现代化管理和信息网络技术的应用尚处在起步阶段。作为本卷的编写者，我们希望年轻一代的水电厂运行管理人员，在新的世纪里，奋力大步直追，尽快与国际先进水平接轨，实现我国水电厂现代化。

我国水力资源甲天下，在新世纪里，祝愿我国的水力发电事业也甲天下！

主编 沈 磊

目录

序

总前言

本卷前言

第一篇 概述

第一章 我国运行水电厂基本情况..... 3

第一节 全国水电装机容量和发电量情况..... 3

第二节 我国水电装机容量和年发电量
在世界上的排名..... 5

第三节 水电厂规模统计分析..... 6

第四节 水电厂及厂房类型统计分析..... 7

第五节 水电厂水库、大坝统计分析..... 8

第六节 水轮发电机组统计分析 11

第二章 我国水电厂生产运行

管理简况 13

第一节 我国水电厂生产运行管理的
发展过程 13

第二节 水电厂机电设备的运行和检修
技术简述 15

第三节 水电厂水工建筑物安全管理、监测和
维修加固技术简述 18

第四节 我国水电厂水库调度技术简述 20

第三章 我国水电在电网中的地位、

作用和经济效益 24

第一节 水电在我国各电网中的地位和作用 24

第二节 水电的经济效益 28

第二篇 水电厂机电设备运行和检修

第四章 概述 51

第一节 我国水电厂机电设备的技术进步 51

第二节	机电设备的运行管理	53
第三节	机电设备的检修管理	54
第四节	机电设备的安全管理	57
第五章	水轮发电机组的运行	59
第一节	水轮发电机的特殊运行方式	59
第二节	水轮发电机组振动、摆度的分析与处理	66
第三节	推力轴承运行故障的分析与处理	74
第四节	水轮机在非设计工况下的运行	79
第五节	抽水蓄能机组的运行	82
第六章	水轮发电机的检修	92
第一节	立式机组轴线的测量、处理与调整	92
第二节	推力轴承的检修	97
第三节	导轴承的检修	102
第四节	定子与转子机械部分的检修	103
第五节	发电机的绝缘损坏故障及其处理	104
第六节	发电机定、转子绕组的接头故障及其处理	109
第七章	水轮机的检修	115
第一节	水轮机磨蚀破坏的检修	115
第二节	水轮机叶片裂纹检修	121
第三节	导叶及其密封的检修	127
第四节	主轴密封装置的检修	133
第五节	转桨式水轮机转轮叶片密封的检修	137
第八章	调速器的运行	143
第一节	简述	143
第二节	现代调速器的运行	147
第九章	变压器的运行和检修	154
第一节	变压器的运行	154
第二节	变压器的检修	160
第三节	变压器的事故预防	167

第十章 高压断路器的运行..... 174

第一节 水电厂高压断路器的运行特点..... 174

第二节 高压断路器的运行和维护..... 176

第十一章 励磁装置和电气制动的运行..... 179

第一节 励磁系统的技术性能指标和功能..... 179

第二节 励磁方式..... 180

第三节 励磁调节器..... 183

第四节 灭磁装置..... 186

第五节 电气制动..... 189

第十二章 水电厂计算机监控系统的运行..... 191

第一节 水电厂计算机监控系统的任务和功能要求..... 191

第二节 水电厂计算机监控系统的类型与结构..... 193

第三节 现地控制层基础自动化设备的运行..... 199

第四节 AGC、AVC 功能..... 202

第五节 几个水电厂计算机监控系统的运行情况..... 202

第十三章 水轮发电机组的技术改造..... 215

第一节 概述..... 215

第二节 水轮机的改造..... 215

第三节 水轮发电机的改造..... 218

第四节 现代化改造实例..... 225

第三篇 水工建筑物安全管理、 安全监测和维修加固

第十四章 大坝安全管理..... 233

第一节 简述..... 233

第二节 大坝安全管理主要规章..... 235

第三节 大坝定期检查鉴定..... 240

第四节 我国水电厂大坝安全状况..... 243

第十五章	大坝安全监测技术	245
第一节	简述	245
第二节	大坝安全监测的内容和要求	247
第三节	变形监测技术	250
第四节	渗流监测技术	258
第五节	应力应变和温度监测技术	261
第六节	大坝监测数据采集自动化技术	263
第十六章	大坝性态分析	267
第一节	监测资料整理、整编和常规分析	267
第二节	监测资料分析的数学模型	269
第三节	监测信息处理系统	275
第十七章	混凝土坝的维修和加固	281
第一节	简述	281
第二节	混凝土坝缺陷和检查方法	281
第三节	混凝土坝表面破损的维修	283
第四节	混凝土坝渗漏溶蚀的处理	287
第五节	混凝土坝裂缝的处理	289
第六节	混凝土坝基础缺陷的处理	291
第七节	混凝土坝其他缺陷的维修	294
第八节	混凝土坝缺陷处理典型工程实例	297
第十八章	土石坝的维护和加固	301
第一节	简述	301
第二节	土石坝缺陷检查和维护	302
第三节	土石坝的防渗处理	304
第四节	土石坝的滑坡处理	308
第五节	土石坝的裂缝处理	310
第十九章	引水、泄洪和厂房建筑物的维修	313
第一节	简述	313
第二节	泄水建筑物冲刷、空蚀破坏和维修	314