

“九五”国家重点图书

# 中国水力发电工程

施工卷

---



中国电力出版社

China Electric Power Press  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

“九五”国家重点图书

# 中国水力发电工程

## 施工卷

---

HYDROPOWER

ENGINEERING

IN CHINA

Construction



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. 施工卷 / 《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 7-5083-0310-5

I. 中… II. 中… III. ①水力发电工程-中国②水利工程-工程施工-中国 IV. TV752

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 06937 号

2020/30 08

**中国水力发电工程  
施工卷**

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 36.25 印张 772 千字  
印 数 3500 册  
定 价 100.00 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				

# 《施工卷》编审人员

主 编 谭靖夷  
 副主编 何本善 (常务) 纪云生 匡林生  
 主 审 谭靖夷 林伯洗  
 特约编审 肖焕雄

## 各章编写人、统稿人

篇序	章序	章 名	编写人	各篇主编
第一篇 施工导流	第一章	导流标准	匡林生	匡林生
	第二章	导流方式及泄水通航建筑物	匡林生	
	第三章	围堰工程	匡林生	
	第四章	截流	蒋乃明	
第二篇 土石方开挖	第五章	爆破技术	张正宇	孔祥千
	第六章	土石方明挖	孔祥千	
	第七章	岩质高边坡加固技术	陈祖煜、汪小刚	
	第八章	地下洞室开挖与衬护	陆万象	
第三篇 地基处理	第九章	灌浆技术	孙钊	孙钊
	第十章	混凝土防渗墙	高钟璞	
	第十一章	高压喷射灌浆技术	孙钊	
	第十二章	其他地基处理型式	高钟璞	

续表

篇序	章序	章名	编写人	各篇主编
第四篇 土石坝工程	第十三章	综述	曹克明  蒋国澄	蒋国澄
	第十四章	坝基处理		
	第十五章	筑坝材料		
	第十六章	坝体填筑		
	第十七章	混凝土面板堆石坝工程		
	第十八章	沥青混凝土防渗体土石坝		
	第十九章	安全监测		
第五篇 混凝土工程	第二十章	综述	周世明	周世明
	第二十一章	混凝土原材料及配合比设计	甄永严	
	第二十二章	砂石骨料和混凝土生产	阮光华、翁定伯	
	第二十三章	混凝土工程的温度控制	丁宝瑛	
	第二十四章	模板工程	曹荣发	
	第二十五章	混凝土浇筑	周世明	
	第二十六章	接缝灌浆	温文森	
	第二十七章	碾压混凝土坝	沈崇刚	
	第二十八章	砌石坝	黎展眉	

# 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谢意！

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，此类瑕疵恐在难免，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

近50年来尤其是改革开放近20年来,我国水电建设取得了巨大的成就,一大批100m以上各种类型高坝和100万kW级水电站已先后建成或基本建成。

1950年到1980年间全国水电装机总容量由不到40万kW增长到2032万kW,1980年到2000年将增长到7000万kW以上(包括抽水蓄能电站)。1980年全国100万kW级水电站仅刘家峡水电站一座,到2000年将增加至18座。继葛洲坝、龙羊峡水电站之后,包括岩滩、漫湾、隔河岩、白山、广州抽水蓄能、水口、五强溪、李家峡、天荒坪抽水蓄能、天生桥一级、天生桥二级、二滩、万家寨、小浪底等100万kW级大型骨干水电站均已在90年代建成或即将建成。到2000年大型水电站装机容量将占水电总装机容量的60%以上,使电力结构大为改善。

水电工程建设的大发展尤其是一批100m以上高坝和100万kW级水电站的建成,使我国在水电工程科学技术领域取得了重大的成就和进步,促进了高拱坝、高土石坝尤其是高混凝土面板堆石坝和高碾压混凝土坝以及大型地下工程的发展。

自50年代至70年代的30年间,我国建成的100m以上高坝只有11座(未包括鸭绿江上的水丰坝和云峰坝以及台湾境内的高坝),其中5座是混凝土重力坝,3座是支墩坝,1座是空腹重力拱坝,1座是心墙土石坝,另一座是浆砌石坝,最大坝高为165m(乌江渡大坝),而80年代至2000年建成的100m以上高坝将达29座,不但建成的高坝在数量上大增,而且在结构上发生了明显变化。在这29座高坝中,双曲拱坝或重力拱坝8座,最大坝高达240m(二滩大坝);土石坝共12座,其中混凝土面板堆石坝9座,最大坝高178m(天生桥一级坝),心墙土石坝3座,最大坝高154m(小浪底坝);重力坝9座,其中常态混凝土重力坝7座(其中一座碾压混凝土占总量的22%),最大坝高132m(宝珠寺坝),碾压混凝土重力坝2座,最大坝高131m(江垭坝)。可见我国近20年来的坝工建设是与国际上优先采用拱坝、混凝土面板堆石坝和碾压混凝土坝的发展趋势相一致的。

与此同时随着水电建设向高山峡谷地区转移和高水头抽水蓄能电站的建设,一批大型地下厂房、长大引水隧洞、高压输水道以及大型导流隧洞在80年代后期和90年代相继涌现,到2000年大型地下厂房将达13座,装机容量计1442万kW。

各种类型高坝和大型水电站的建设,促进了相关工程科学技术的发展,这表现在以下各个方面:

### 1. 施工导流工程

我国江河众多,经过多年尤其是近20年来的工程实践,在大江大河立堵或平立堵截流,各种大流量挡水与导流建筑物包括围堰、明渠、隧洞、底孔等的修建、拆除与封堵,各种坝体拦洪或过水度汛,施工期通航过木以及围堰挡水提前发电受益等各个方面都积累了十分丰富的经验,并发展了各种类型的挡水或过水围堰及其相应的地基处理技术。如今我国已有能力驾驭各大江大河,大流量明渠或隧洞导流已非难题。二滩、小浪底等工程巨大过流断面导流隧洞的修建、运行和利用,当今世界上最大规模的长江三峡导流明渠工程的顺利通航,深水大流量截流,高挡水标准、巨大填筑量、高混凝土防渗墙,低渗漏量的二期上下游深水围堰工程的按期建成,就是最有说服力的例证,它们是工程科学技术进步的综合体现。

### 2. 土石方开挖工程

据50年代后期到90年代我国先后建成和在建的51座大型水电站( $\geq 25$ 万kW)统计,各种土石方开挖共4.45亿 $m^3$ ,其中开挖量在500万 $m^3$ 以上的有23座,在1000万 $m^3$ 以上的有6座,年开挖强度超过1000万 $m^3$ 的工程有葛洲坝和小浪底工程。在建的三峡工程土石方开挖总量达1.21亿 $m^3$ ,年最大开挖强度高达4400万 $m^3$ ,可见工程规模之大。很多大型工程例如安康、龙羊峡、天生桥二级、铜街子、漫湾、五强溪、隔河岩、李家峡、二滩、天荒坪、小浪底、长江三峡工程等在建设过程中还面临着各种不同的复杂的高边坡治理问题。此外,还有各种不同地质条件下的大型地下厂房、长大隧洞和高压输电道的开挖与衬砌支护问题。在完成上述各种不同规模和不同地质条件的开挖工程中,除不断提高施工机械化程度和水平外,还采用许多新技术:在爆破技术方面,广泛采用预裂爆破、光面爆破、孔内孔间微差顺序爆破;在岩体支护方面,针对不同的要求采用锚洞、锚杆、锚桩、预应力锚索及喷混凝土。这些在工程实践中不断发展起来的技术,使坝基开挖、地下工程开挖与围岩支护衬砌、高边坡治理以及石料场开采等得以顺利进行,提高了工程质量,保证了施工期和运行期的工程安全。

### 3. 地基处理工程

具有我国特色的高压水泥灌浆技术用于喀斯特和非喀斯特地层的帷幕灌浆和固结灌浆，为高坝大库防渗、高压输水道围岩的结构稳定和渗流稳定提供了保证。为满足不同工程的地基处理要求，各种灌浆材料包括超细水泥、胶状浆体和各种化学灌浆材料也相继得到应用和发展，并取得满意的效果。50年代末到70年代，我国相继在深厚覆盖层中建造混凝土防渗墙取得成功，促进了砂砾石地基土石坝或混凝土闸坝的发展。80年代至90年代革新了造墙机具和墙体材料，提高了施工效率和墙体质量，最大造墙深度达到82m（小浪底工程），并完成了深达101m的造墙试验（冶勒工程），使我国的造墙技术达到一个新的更高的水平；80年代以后，高压喷射灌浆成墙技术也广泛地用于围堰和坝基覆盖层的防渗；此外，沉井、抗滑桩和振冲加固技术也用于一些有特殊要求的地基处理。

### 4. 土石坝工程

50年代至70年代，当时我国施工机械化程度较低，以人力为主修建了一批均质土坝、黏土心墙或斜墙砂砾石坝，并将定向爆破筑坝技术成功地用于一批中小型工程。70年代以后，吸收国际上的筑坝技术和经验，引进并开发了各种大型土石方施工机械，使以碾压堆石为主的混凝土面板和土心墙堆石坝在我国得到迅速发展，90年代后期建成的天生桥一级混凝土面板堆石坝（高178m）和建于深覆盖层上的小浪底黏土斜心墙堆石坝（高154m）是其代表，其最高月填筑强度分别超过110万 $\text{m}^3$ 和150万 $\text{m}^3$ 。在提高混凝土面板抗裂、防渗和耐久性，改进周边缝止水结构和材料以及面板滑模施工技术等方面都有所发展和创新。此外，沥青混凝土也经常用于土石坝的防渗，并取得了新的经验。

### 5. 混凝土工程

不论采用何种坝型，现代水利水电工程建设都离不开混凝土。在我国已建成的1.2万kW以上的水电站中，混凝土坝约占70%，共浇筑各种水工混凝土2.48亿 $\text{m}^3$ 。在大型水电站中混凝土坝占84%，在已建成的39座100m以上高坝中，混凝土坝共25座，占64%，可见混凝土坝在我国占主导地位。要保证并提高混凝土质量，首先要优选原材料和优化混凝土配合比设计。60年代以前，我国各水电工程以使用天然砂石料为主，随着水电建设逐步向西部地区和各流域上游转移，当地天然砂石料资源渐趋短缺。70年代乌江渡工程建成以灰岩为料源的大型人工砂石料系统，产品质优价廉。此后人工砂石料相继为西南和中南地区一些大型工程所采用。除仍以石灰岩为

首选料源外,正长岩、玄武岩、花岗岩以至流纹岩、石英岩等强磨蚀性岩石都被成功地加工成人工砂石骨料。二滩水电站建成了以正长岩为料源的先进人工砂石料系统,产品性能和质量优越;长江三峡工程以花岗岩为料源,并大量利用开挖料,建成了当今世界规模最大的人工砂石料系统。

用于大体积水工混凝土的水泥常以中热硅酸盐为主,除控制水泥的水化热和含碱量外,近年来更提倡使用具有微膨胀性的水泥。50年代三门峡工程即开始掺用粉煤灰,但直至80年代,粉煤灰才在水电工程中被广泛使用。一批混凝土高坝和碾压混凝土坝的兴建,又促进了商品粉煤灰的发展并提倡使用优质粉煤灰。一些工程还成功地使用凝灰岩和磷矿渣作掺合料。外加剂的使用在水电工程中已有较长的历史,各种商品外加剂近年来有较大的发展,在大体积水工混凝土中,提倡选用引气、缓凝、高效复合减水剂。在混凝土配合比方面,经过长期的工程实践,人们的认识已逐步从50年代以注重混凝土的强度和抗渗性为主转变到重视改善和提高混凝土的综合性能,即不但注意保证混凝土有足够的强度和抗渗性,更注意改善和提高混凝土的耐久性、抗裂性和抗蚀性。由于我国水电界从50年代开始即注意避免使用碱活性骨料并控制水泥含碱量,因此在已建成的大中型水电工程中,迄今尚未发现一例碱骨料反应。更由于原材料品质的提高和混凝土配合比的优化,一些工程例如东风、二滩、三峡工程等不但混凝土用水量少,胶凝材料用量少,且强度高、耐久性好、抗裂能力强。硅粉混凝土近年来常用于有抗冲耐磨要求的水工结构过流面,但如何防裂尚在探索中。

混凝土坝施工综合机械化程度和水平的提高,例如高效施工设备包括自动化拌和楼、高效缆索起重机、大型门机塔机以及胶带机运输系统的使用,使一些工程的年混凝土浇筑量达到 $100\text{万 m}^3$ 以至 $200\text{万 m}^3$ 以上,正在建设的三峡工程,1999年混凝土浇筑量高达 $458\text{万 m}^3$ 。采用水冷、风冷骨料以及加冰拌和等预冷工艺后,夏季能生产 $7\sim 10^\circ\text{C}$ 低温混凝土,可满足更严格的温度控制要求,使一些大型工程用通仓浇筑取代了长期沿用的柱状浇筑,既提高了结构的整体性,也加快了施工进度。此外,强力成组振捣器的使用、模板技术的革新、缝面处理与表面保护技术的改进,都有利于提高工程质量和施工效率。

碾压混凝土筑坝技术自1986年在福建坑口工程取得成功经验后,在我国发展很快,目前已建和在建的碾压混凝土坝达40座,总体积超过 $1000\text{万 m}^3$ ,此外,碾压混凝土也常用于围堰工程。我国碾压混凝土施工的特点是高掺粉煤灰、低稠度、短间歇、薄层全断面碾压、快速连续上升,近年还发

展了斜层铺筑碾压新工艺。

新技术、新材料和新工艺的采用和不断创新，施工机械化程度和水平的提高以及水电建设管理体制的改革，取得了巨大的经济效益，一批在90年代建成的大型水电站，从主体工程开工到第一批机组发电的时间由过去的8~10年缩短到5~7年。例如四川二滩水电站拱坝高240m，大型地下厂房装机330万kW，工程规模巨大，且地形险峻，地质复杂，施工难度大。该工程于1991年11月主体工程开工，1993年11月截流，1998年8月到10月第一批两台机组相继并网发电，从开工到开始发电工期不到7年，从截流到发电不到5年。高拱坝及电站进水口等混凝土年最大浇筑量超过200万m<sup>3</sup>，拱坝年最大上升高度达80m，工程质量优良。此外，如广州抽水蓄能电站、水口水电站和小浪底水利枢纽工程等在工期、质量和投资控制等方面也取得了令人瞩目的成就。

我国水利水电施工企业大体上可分为中央企业和地方企业。中央企业又称部属企业，主管部门为原电力部，现为国家电力公司，共有职工20余万人。其中由中国水利水电工程总公司归口管理的有16个工程局，由武装警察部队水电工程指挥部直接管理的有4个总队，还有国家电力公司直接管理的中国葛洲坝水利水电工程集团公司，他们均是国家级施工总承一级资质或国家级施工一级资质企业，技术力量雄厚，承建了我国绝大部分大中型水电站。已建成装机容量大于25万kW的大型水电站40座，其中百万kW级以上巨型水电站9座。1998年末拥有总资产230亿元，共有职工20万人，1998年企业总产值达139亿元，新装水电机组354万kW。地方企业又称省属企业，主管部门为各省（市自治区）水利水电厅（局）和电力局，约有职工10余万人，除少数几个省属企业外，技术力量较弱，主要从事中小型水电工程建设。

尽管我国的水电建设取得了巨大的成就，但水电资源开发利用程度仍然较低，到2000年预计只能达到12%左右（按电量计算），这与我国拥有的居世界首位的水能资源极不相称。面对环境保护的严峻形势，在21世纪前50年，我国水电必将有一个更大的发展，以适应国民经济发展和建设全国大电网的要求。届时水电建设重心将进一步西移，将面临更险峻的地形和更复杂的地质（包括高地震烈度、高地应力、喀斯特岩爆等），要在更不利的条件下修建各类更高的坝，更多的大型地下厂房和更长或更大的水工隧洞，处理更高的边坡和更深厚的河床覆盖层。此外，还将面临当地人力资源短缺和交通不便等困难。为此，必须认真总结与吸取过去特别是近20年来我国在



水电建设方面积累的丰富经验。这是一笔十分宝贵的财富，是劳动和智慧结晶，是21世纪我国水电大发展的基础。只有总结好这些经验，才能更好地满足与适应今后水电建设的要求，修建规模更大、条件更复杂、难度更高的水电工程，并在工程安全、质量和工期、造价等方面取得更大的成就，达到更高的水平，这正是编写《中国水力发电工程》的主要宗旨。

《中国水力发电工程》施工卷共分五篇二十八章，按先后顺序第一篇为施工导流，主要总结我国自50年代以来各工程在导流标准、导流方式及泄水通航建筑物、围堰工程以及河床截流等各方面取得的成就和经验教训并予以评价。第二篇为土石方开挖，主要内容包括土石方开挖的规模、设备选型、质量控制及须引起注意的重大问题；各种爆破技术的应用及其效果；岩质高边坡加固技术涉及边坡失稳机理、加固措施及相应的工程实例；地下洞室开挖与支护着重介绍近年来我国在隧洞、竖井或斜井以及地下厂房等开挖支护技术的新成就和发展以及围岩变形监测在地下工程中的应用及其重要性。第三篇为地基处理，包括在不同地质条件下为满足工程要求所采用的各种地基处理技术及其发展情况，主要有各种灌浆技术、各种混凝土防渗墙造墙技术、高压喷射灌浆成墙技术以及预应力锚固、振冲加密、沉井等，各项技术均用工程实例予以阐明并作出评价。第四篇为土石坝工程，着重介绍我国近年来在土石坝施工方面取得的新成就，从地基处理、筑坝材料到坝体填筑分章论述，对最有发展前景的混凝土面板堆石坝还另辟专章介绍，此外还介绍了以沥青混凝土为防渗体的土石坝施工新技术和经验。篇末对土石坝的安全监测作概要介绍。第五篇为混凝土工程，包括混凝土工程的发展规模；混凝土原材料及配合比设计着重阐述设计的基本准则及混凝土原材料在我国的应用和发展情况；砂石骨料和混凝土生产着重介绍各种新技术、新设备和新工艺以及混凝土预冷技术和制冷设备；混凝土工程的温度控制除阐述设计计算及温度控制措施外，还对碾压混凝土的温度控制问题和有发展前景的微膨胀混凝土的应用专门予以论述。本篇除对混凝土模板工程、混凝土浇筑和接缝灌浆技术发展情况分章予以介绍外，还重点介绍了碾压混凝土筑坝技术在我国的应用及发展情况。篇末还介绍了在我国历史悠久和在中小型工程中应用最广的砌石坝。为方便读者，在本卷各章均有概述，并附有工程图表，卷末列出了主要参考文献。

参加本卷编写工作的执笔人员包括正副主编共23人。他们来自全国各科研、设计、施工等十余个单位，长期从事有关专业技术工作，对本专业和相关专业技术及其在国内外的的发展情况有比较丰富的实践经验和较深刻的理