

“十二五”国家重点图书

水利水电工程施工技术全书

第三卷 混凝土工程

NIANYA HUNNINGTU SHIGONG



第八册

碾压混凝土施工

黄巍 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利水电工程施工技术全书

第三卷 混凝土工程

第八册

碾压混凝土施工

黄巍 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是《水利水电工程施工技术全书》第三卷《混凝土工程》中的第八分册。本书系统阐述了水利水电碾压混凝土工程的施工技术和方法。主要包括：综述，碾压混凝土原材料及配合比设计，碾压混凝土施工，温度控制及防裂，诱导缝重复灌浆技术，碾压混凝土质量控制与检测，典型工程实例等。

本书可作为水利水电工程施工领域的工程技术人员、工程管理人员和高级技术工人的工具书，也可供从事水利水电工程科研、设计、建设及运行管理和相关企事业单位的工程技术人员、工程管理人员使用，并可作为大专院校水利水电工程及机电专业师生教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

碾压混凝土施工 / 黄巍等编著. — 北京：中国水利水电出版社，2017.3
（水利水电工程施工技术全书. 第三卷，混凝土工程；第八册）
ISBN 978-7-5170-5226-5

I. ①碾… II. ①黄… III. ①碾压土坝—混凝土坝—工程施工 IV. ①TV642.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第045889号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第三卷 混凝土工程 第八册 碾压混凝土施工 NIANYA HUNNINGTU SHIGONG
作 者	黄巍 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 14.75印张 350千字
版 次	2017年3月第1版 2017年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	60.00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

《水利水电工程施工技术全书》

编审委员会

顾问：潘家铮 中国科学院院士、中国工程院院士

谭靖夷 中国工程院院士

陆佑楣 中国工程院院士

郑守仁 中国工程院院士

马洪琪 中国工程院院士

张超然 中国工程院院士

钟登华 中国工程院院士

缪昌文 中国工程院院士

名誉主任：范集湘 丁焰章 岳曦

主任：孙洪水 周厚贵 马青春

副主任：宗敦峰 江小兵 付元初 梅锦煜

委员：(以姓氏笔画为序)

丁焰章 马如骐 马青春 马洪琪 王军 王永平

王亚文 王鹏禹 付元初 江小兵 刘永祥 刘灿学

吕芝林 孙来成 孙志禹 孙洪水 向建 朱明星

朱镜芳 何小雄 和孙文 陆佑楣 李友华 李志刚

李丽丽 李虎章 沈益源 汤用泉 吴光富 吴国如

吴高见 吴秀荣 肖恩尚 余英 陈茂 陈梁年

范集湘 林友汉 张晔 张为明 张利荣 张超然

周晖 周世明 周厚贵 宗敦峰 岳曦 杨涛

杨成文 郑守仁 郑桂斌 钟彦祥 钟登华 席浩

夏可风 涂怀健 郭光文 常焕生 常满祥 楚跃先

梅锦煜 曾文 焦家训 戴志清 缪昌文 谭靖夷

潘家铮 衡富安

主编：孙洪水 周厚贵 宗敦峰 梅锦煜 付元初 江小兵

主审定：谭靖夷 郑守仁 马洪琪 张超然 梅锦煜 付元初

周厚贵 夏可风

策划：周世明 张晔

秘书长：宗敦峰(兼)

副秘书长：楚跃先 郭光文 郑桂斌 吴光富 康明华

《水利水电工程施工技术全书》
各卷主（组）编单位和主编（审）人员

卷序	卷名	组编单位	主编单位	主编人	主审人
第一卷	地基与基础工程	中国电力建设集团（股份）有限公司	中国电力建设集团（股份）有限公司 中国水电基础局有限公司 葛洲坝基础公司	宗敦峰 肖恩尚 焦家训	谭靖夷 夏可风
第二卷	土石方工程	中国人民武装警察部队水电指挥部	中国人民武装警察部队水电指挥部 中国水利水电第十四工程局有限公司 中国水利水电第五工程局有限公司	梅锦煜 和孙文 吴高见	马洪琪 梅锦煜
第三卷	混凝土工程	中国电力建设集团（股份）有限公司	中国水利水电第四工程局有限公司 中国葛洲坝集团有限公司 中国水利水电第八工程局有限公司	席 浩 戴志清 涂怀健	张超然 周厚贵
第四卷	金属结构制作与机电安装工程	中国能源建设集团（股份）有限公司	中国葛洲坝集团有限公司 中国电力建设集团（股份）有限公司 中国葛洲坝建设有限公司	江小兵 付元初 张 晔	付元初
第五卷	施工导（截）流与度汛工程	中国能源建设集团（股份）有限公司	中国能源建设集团（股份）有限公司 中国葛洲坝集团有限公司 中国水利水电第八工程局有限公司	周厚贵 郭光文 涂怀健	郑守仁

《水利水电工程施工技术全书》

第三卷 《混凝土工程》 编委会

主 编：席 浩 戴志清 涂怀健

主 审：张超然 周厚贵

委 员：（以姓氏笔画为序）

牛宏力	王鹏禹	刘加平	刘永祥	刘志和
向 建	吕芝林	朱明星	李克信	肖炯洪
姬脉兴	席 浩	涂怀健	高万才	黄 巍
戴志清	魏 平			

秘 书 长：李克信

副秘书长：姬脉兴 赵海洋 黄 巍 赵春秀 李小华

《水利水电工程施工技术全书》

第三卷 《混凝土工程》

第八册 《碾压混凝土施工》

编写人员名单

主 编：黄 巍

审 稿：涂怀健 刘炎生 龙德海 刘文彦

编写人员：黄 巍 涂怀健 田承宇 姜命强

刘更军 韩可林 李跃兴 张祖义

方林飞 郭 峰 江世勇 郭国华

刘望明

序 一

水利水电工程建设在我国作为一项基础建设事业，已经走过了近百年的历程，这是一条不平凡而又伟大的创业之路。

新中国成立 66 年来，党和国家领导一直高度重视水利水电工程建设，水电在我国已经成为了一种不可替代的清洁能源。我国已经成为世界上水电装机容量第一位的大国，水利水电工程建设不论是规模还是技术水平，都处于国防领先或先进水平，这是几代水利水电工程建设者长期艰苦奋斗所创造出来的。

改革开放以来，特别是进入 21 世纪以后，我国的水利水电工程建设又进入了一个前所未有的高速发展时期。到 2014 年，我国水电总装机容量突破 3 亿 kW，占全国电力装机容量的 23%。发电量也历史性地突破 31 万亿 kW·h。水电作为我国当前重要的可再生能源，为我国能源电力结构调整、温室气体减排和气候环境改善做出了重大贡献。

我国水利水电工程建设在新技术、新工艺、新材料、新设备等方面都取得了突破性的进展，无论是技术、工艺，还是在材料、设备等方面，都取得了令人瞩目的成就，它不仅推动了技术创新市场的活跃和发展，也推动了水利水电工程建设的前进步伐。

为了对当今水利水电工程施工技术进展进行科学的总结，及时形成我国水利水电工程施工技术的自主知识产权和满足水利水电建设事业的工作需要，全国水利水电施工技术信息网组织编撰了《水利水电工程施工技术全书》。该全书编撰历时 5 年，在编撰过程中组织了一大批长期工作在工程建设一线的中青年技术负责人和技术骨干执笔，并得到了有关领导、知名专家的悉心指导和审定，遵循“简明、实用、求新”的编撰原则，立足于满足广大水利水电工程技术人员的工作需要，并注重参考和指导价值。该全书内容涵盖了水

水利水电工程建设地基与基础工程、土石方工程、混凝土工程、金属结构制作与机电安装工程、施工导（截）流与度汛工程等内容目标任务、原理方法及工程实例，既有理论阐述，又有实例介绍，重点突出，图文并茂，针对性及可操作性强，对今后的水利水电工程建设施工具有重要指导作用。

《水利水电工程施工技术全书》是对水利水电施工技术实践的总结和理论提炼，是一套具有权威性、实用性的大型工具书，为水利水电工程施工“四新”技术成果的推广、应用、继承、创新提供了一个有效载体。为大力推动水利水电技术进步和创新，推进中国水利水电事业又好又快地发展，具有十分重要的现实意义和深远的科技意义。

水利水电工程是人类文明进步的共同成果，是现代社会发展对保障水资源供给和可再生能源供应的基本需求，水利水电工程施工技术在近代水利水电工程建设中起到了重要的推动作用。人类应对全球气候变化的共识之一是低碳减排，尽可能多地利用绿色能源就成为重要选择，太阳能、风能及水能等成为首选，其中水能蕴藏丰富、可再生性、技术成熟、调度灵活等特点成为最优的绿色能源。随着水利水电工程建设与管理技术的不断发展，水利水电工程，特别是一些高坝大库能有效利用自然条件、降低开发运行成本、提高水库综合效能，高坝大库的（高度、库容）记录不断被刷新。特别是随着三峡、拉西瓦、小湾、溪洛渡、锦屏、向家坝等一批大型、特大型水利水电工程相继建成并投入运行，标志着我国水利水电工程技术已跨入世界领先行列。

近年来，我国水利水电工程施工企业积极实施走出去战略，海外市场开拓业绩突出。目前，我国水利水电工程施工企业在亚洲、非洲、南美洲多个国家承建了上百个水利水电工程项目，如尼罗河上的苏丹麦洛维水电站、号称“东南亚三峡工程”的马来西亚巴贡水电站、巨型碾压混凝土坝泰国科隆泰丹水利工程、位居非洲第一水利枢纽工程的埃塞俄比亚泰克泽水电站等，“中国水电”的品牌价值已被全球业内所认可。

《水利水电工程施工技术全书》对我国水利水电施工技术进行了全面阐述。特别是在众多国内外大型水利水电工程成功建设后，我国水利水电工程施工人员创造出一大批新技术、新工法、新经验，对这些内容及时总结并公

开出版，与全体水利水电工作者分享，这不仅能促进我国水利水电行业的快速发展，提高水利水电工程施工质量，保障施工安全，规范水利水电施工行业发展，而且有助于我国水利水电行业走进更多国际市场，展示我国水利水电行业的国际形象和实力，提高我国水利水电行业在国际上的影响力。

该全书的出版不仅能提高水利水电工程施工的技术水平，而且有助于提高我国水利水电行业在国内、国际上的影响力，我在此向广大水利水电工程建设者、工程技术人员、勘测设计人员和在校的水利水电专业师生推荐此书。

孙洪水

2015年4月8日

序 二

《水利水电工程施工技术全书》作为我国水利水电工程技术综合性大型工具书之一，与广大读者见面了！

这是一套非常好的工具书，它也是在《水利水电工程施工手册》基础上的传承、修订和创新。集中介绍了进入 21 世纪以来我国在水利水电施工领域从施工地基与基础工程、土石方工程、混凝土工程、金属结构制作与机电安装工程、施工导（截）流与度汛工程等方面采用的各类创新技术，如信息化技术的运用：在施工过程模拟仿真技术、混凝土温控防裂技术与工艺智能化等关键技术，应用了数字信息技术、施工仿真技术和云计算技术，实现工程施工全过程实时监控，使现代信息技术与传统筑坝施工技术相结合，提高了混凝土施工质量，简化了施工工艺，降低了施工成本，达到了混凝土坝快速施工的目的；再如碾压混凝土技术在国内大规模运用：节省了水泥，降低了能耗，简化了施工工艺，降低了工程造价和成本；还有，在科研、勘察设计和施工一体化方面，数字化设计研究面向设计施工一体化的三维施工总布置、水工结构、钢筋配置、金属结构设计技术，推广复杂结构三维技施设计技术和前期项目三维枢纽设计技术，形成建筑工程信息模型的协同设计能力，推进建筑工程三维数字化设计移交标准工程化应用，也有了长足的进步。因此，在当前形势下，编撰出一部新的水利水电施工技术大型工具书非常必要和及时。

随着水利水电工程施工技术的不断推进，必然会给水利水电施工带来新的发展机遇。同时，也会出现更多值得研究的新课题，相信这些都将对水利水电工程建设事业起到积极的促进作用。该全书是当今反映水利水电工程施工技术最全、最新的系列图书，体现了当前水利水电最先进的施工技术，其

中多项工程实例都是曾经创造了水利水电工程的世界纪录。该全书总结的施工技术具有先进性、前瞻性，可读性强。该全书的编者都是参加过我国大型水利水电工程的建设者，有着非常丰富的各专业施工经验。他们以高度的社会责任感和使命感、饱满的工作热情和扎实的工作作风，大力发展和创新水电科学技术，为推进我国水利水电事业又好又快地发展，做出了新的贡献！

近年来，我国水利水电工程建设快速发展，各类施工技术日臻成熟，相继建成了三峡、龙滩、水布垭等具有代表性的水电工程，又有拉西瓦、小湾、溪洛渡、锦屏、糯扎渡、向家坝等一批大型、特大型水电工程，在施工过程中总结和积累了大量新的施工技术，尤其是混凝土温控防裂的施工方法在三峡水利枢纽工程的成功应用，高寒地区高拱坝冬季施工综合技术在拉西瓦等多座水电站工程中的应用……，其中的多项施工技术获得过国家发明专利，达到了国际领先水平，为今后水利水电工程施工提供了参考与借鉴。

目前，我国水利水电工程施工技术已经走在了世界的前列，该全书的出版，是对我国水利水电工程建设领域的一大贡献，为后续在水利水电开发，例如金沙江上游、长江上游、通天河、黄河上游的水电开发、南水北调西线工程等建设提供借鉴。该全书可作为工具书，为广大工程建设者们提供一个完整的水利水电工程施工理论体系及工程实例，对今后水利水电工程建设具有指导、传承和促进发展的显著作用。

《水利水电工程施工技术全书》的编撰、出版是一项浩繁辛苦的工作，也是一项具有创造性的劳动过程，凝聚了几百位编、审人员近5年的辛勤劳动，克服各种困难。值此该全书出版之际，谨向所有为该全书的编撰给予关心、支持以及为此付出了辛勤劳动的领导、专家和同志们表示衷心的感谢！



2015年4月18日

前 言

由全国水利水电施工技术信息网组织编写的《水利水电工程施工技术全书》第三卷《混凝土工程》共分为十二册,《碾压混凝土施工》为第八册,由中国水利水电第八工程局有限公司组织编写。

碾压混凝土施工是近 40 年来发展起来的一项新技术。碾压混凝土坝综合了混凝土坝运行安全和土石坝施工快速的特性,具有工期短、工程造价低等优点,因此,碾压混凝土坝一经问世便在世界各国广泛应用,发展迅猛。中国自 20 世纪 80 年代初开始对碾压筑坝技术进行全面研究探索以来,该技术便得以迅速推广及应用。目前,我国已成为世界上建造碾压混凝土坝最多的国家,碾压混凝土筑坝技术已由低坝向高坝发展,重力坝向拱坝和薄拱坝发展,并推广应用于围堰工程等方面,碾压混凝土筑坝技术日益成熟。

通过多年施工实践,我国碾压混凝土筑坝技术在国家“八五”“九五”科技攻关已取得重要成果的基础上,又有了进一步发展和突破。不仅掌握了高温、高寒、干热河谷、多雨多风等复杂地域条件下的碾压混凝土筑坝技术,而且在碾压混凝土重力坝和拱坝设计施工等方面取得了许多重大突破,形成了具有我国特色的技术模式。我国施工采用的碾压混凝土具有掺合料掺量高、低水泥用量、胶凝材料用量适中、混凝土绝热温升低、抗渗和抗冻性能良好等特点,并普遍采用不设纵缝、富浆碾压混凝土防渗、低 VC 值、薄层全断面大仓面快速短间歇连续浇筑以及变态混凝土、斜层铺筑碾压施工工艺等。尤其在研究和应用新技术、新材料、新工艺和新设备方面取得了一批突破性的科技成果,很多施工关键技术的研究已走在世界前列。

本书主要根据我国碾压混凝土施工实践经验,总结介绍碾压混凝土施工技术和近年来所取得的创新成果。这些成果是广大水利水电工程技术人员、施工人员和科研人员的实践经验与科研攻关的智慧结晶。本书力图反映当前我国碾压混凝土筑坝施工方面的新技术、新材料、新设备和新工艺,以促进碾压混凝土筑坝技术的发展。

本书编写得到了谭靖夷院士的指导，宗敦峰、梅锦煜、周厚贵、付元初、郑平、王鹏禹、郭光文等专家对本书的编写提出了许多宝贵意见，并对本书进行了审查。在此，对各位专家的辛勤工作和支持帮助表示衷心的感谢。在本书编写过程中参考了大量的研究报告、工程报告及总结、论文和综述文献等，书中有关引用资料除附注于编末之外，未能逐一列举，特向各单位和有关人员表示感谢并请谅解。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

作者

2015年4月2日

目 录

序一
序二
前言

1 综述	1
1.1 碾压混凝土的发展历程	1
1.2 碾压混凝土坝类型	8
1.3 碾压混凝土防渗型式	12
1.4 我国碾压混凝土筑坝技术特点及成果	13
1.5 碾压混凝土筑坝技术展望	22
2 碾压混凝土原材料及配合比设计	23
2.1 碾压混凝土原材料选择	23
2.2 碾压混凝土配合比设计	28
2.3 碾压混凝土试验	43
3 碾压混凝土施工	47
3.1 施工规划	47
3.2 仓面工艺设计	57
3.3 模板工程	62
3.4 碾压混凝土生产	83
3.5 碾压混凝土运输入仓	92
3.6 仓面施工工艺	113
3.7 异种混凝土结合浇筑技术	123
3.8 变态混凝土施工技术	123
3.9 特殊气候条件施工	125
3.10 碾压混凝土信息化管理与数字化施工	130
4 温度控制及防裂	135
4.1 简述	135
4.2 碾压混凝土温度控制标准	136
4.3 温度控制实用计算	139

4.4	碾压混凝土温度控制措施	149
4.5	工程实例	156
5	诱导缝重复灌浆技术	163
5.1	诱导缝重复灌浆系统	163
5.2	重复灌浆施工	167
5.3	重复灌浆质量控制	173
5.4	工程实例	174
6	碾压混凝土质量控制与检测	180
6.1	质量控制标准	180
6.2	质量控制	181
6.3	质量评定	195
7	典型工程实例	200
7.1	普定水电站碾压混凝土拱坝	200
7.2	沙牌水电站碾压混凝土拱坝	203
7.3	龙滩水电站碾压混凝土重力坝	209
7.4	光照水电站碾压混凝土重力坝	214
	参考文献	219

1.1 碾压混凝土的发展历程

1.1.1 碾压混凝土筑坝发展历程

碾压混凝土技术是采用类似土石方填筑施工工艺，将无坍落度的混凝土用振动碾压实的一种新的混凝土施工技术。碾压混凝土坝是随着土力学理论的发展和大型土石方施工机械的使用，人们将混凝土坝的安全性和土石坝的高效率施工相结合而探索出的一种新坝型。碾压混凝土坝既具有混凝土坝体积小、强度高、防渗和耐久性能好、坝身可溢流等特点，又具有土石坝施工简便、快速、经济、可使用大型通用机械等优点。采用碾压混凝土技术筑坝，突破了传统的混凝土大坝柱状法浇筑对混凝土浇筑速度的限制，具有施工简便、机械化程度高、工期短、工程造价低等特点，发展极为迅速，目前已广泛应用于世界各国水利水电工程。

(1) 20 世纪 20—60 年代，起源于贫混凝土。碾压混凝土筑坝施工的历史可追溯到干贫混凝土在公路和回填工程中的应用，从 20 世纪 20 年代末起，常用于高速公路路基和机场地面，当时被称为贫混凝土或干贫混凝土。

1941 年，有学者发表文章首次建议将碾压混凝土用于大坝施工，直到 1960—1961 年，碾压混凝土才开始应用于大坝围堰施工。中国台湾石门坝的围堰防渗心墙采用了土坝施工方法进行连续级配混凝土摊铺和碾压，骨料最大粒径 76mm，胶凝材料掺量 107kg/m³，摊铺层厚 30cm，采用自卸汽车运输入仓和推土机平仓，并借助其压实。

1961—1964 年，意大利阿尔佩盖拉 (Alpe Gera) 重力坝采用了类似土坝不分块、全断面上升的贫混凝土筑坝施工方法，采取全断面通仓薄层浇筑低流态贫混凝土、斜轨斗车垂直运输混凝土、自卸汽车入仓、推土机平仓（铺层厚 70cm）、悬挂于推土机后部的插入式振捣器振捣和切缝机切割横缝的施工方法，在坝体上游面铺设钢板防渗，取消了坝内冷却水管，坝体从河床一岸到另一岸全线同时浇筑上升，现场试验表明在混凝土浇筑后很早期龄期开始，车辆通行不会损坏混凝土，这些突破为碾压混凝土筑坝奠定了基础。

1965 年，加拿大魁北克曼尼科甘一号 (Manicougan I) 坝建造了两座高 18m 的重力式翼墙。内部采用贫浆混凝土，推土机铺筑，插入式振捣器振捣；上游面采用富浆混凝土和垂直滑模施工工艺；下游面采用预制混凝土块。

(2) 20 世纪 70 年代，碾压混凝土筑坝进入世界性科研试验阶段。20 世纪 70 年代开始，世界各国纷纷开展碾压混凝土筑坝科研试验研究工作，前期主要在美国、英国和日本