

碾压混凝土重力坝

设计施工技术发展与工程实例研究

司志明 秦根泉 编著

NIANYA HUNNINGTU ZHONGLIBA
SHEJI SHIGONG JISHU FAZHAN YU
GONGCHENG SHILI YANJIU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

014037765

TV642.3
02

碾压混凝土重力坝 设计施工技术发展与工程实例研究

司志明 秦根泉 编著



TV 642.3 / 02



中国水利水电出版社



北航

C1725854

内 容 提 要

本书内容主要包括：碾压混凝土重力坝的枢纽布置和坝体设计，碾压混凝土坝温度控制及坝体防裂安全措施，碾压混凝土材料和混凝土配合比设计，碾压混凝土施工质量控制，碾压混凝土坝安全监测设计，中国碾压混凝土坝发展与部分已建、在建工程设计及施工实例。同时，还附有严寒地区、热带地区碾压混凝土重力坝设计与施工质量安全控制工程实例，供参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

碾压混凝土重力坝设计施工技术发展与工程实例研究/
司志明, 秦根泉编著. — 北京: 中国水利水电出版社,
2014. 4

ISBN 978-7-5170-1878-0

I. ①碾… II. ①司… ②秦… III. ①碾压土坝—混
凝土坝—重力坝—设计②碾压土坝—混凝土坝—重力坝—
工程施工 IV. ①TV642. 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第067793号

书 名	碾压混凝土重力坝设计施工技术发展与工程实例研究
作 者	司志明 秦根泉 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 (发行部)
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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	160mm×235mm 16开本 13.5印张 235千字
版 次	2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	68.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

作者小传

司志明，1935年生于陕西省乾县。1958年毕业于交通大学（西安）水利系，教授级高级工程师，水利部水利水电规划设计总院原副总工程师。享受国务院政府特殊津贴专家。



1958~1969年，在水利电力部三局技术设计处任技术员、设计专业组长，负责黄河青铜峡水利枢纽工程施工组织设计、坝基断层混凝土塞设计和原型观测专题研究。工作期间，根据混凝土塞的实测应力应变规律，在国内首先对断层混凝土塞的传统设计理论和计算方法提出改进意见。

1970~1973年，在水利电力部汉江上游工程局生产组任副组长，主持褒河石门水利枢纽工程扩大初步设计，提出并付诸实施将坝址由老君崖下移7km至石门坝址，坝型由混凝土空腹重力拱坝改为混凝土双曲拱坝，简化了坝体结构，节约了投资，缩短了工期。

1974~1978年，在陕西省革委会生产组水电小组任工程师，负责石砭峪水库定向爆破筑坝及沥青混凝土防渗面板科研、设计工作。该项目当时为亚洲装药量最大的定向爆破沥青混凝土防渗面板堆石坝，1978年获全国科学大会奖；主持编制的《陕西省可能最大暴雨图集》，填补了省内本学科的空白，获陕西省人民政府科技成果二等奖。

1979~1981年，在水利部规划设计管理局任组长、高级工程师，负责全国水利区划编制工作。合著有《中国水利区划》、

《中国简明农业水利区划》等书，其成果分别获水利电力部科技成果二等奖及国家农业区划委员会科技成果一等奖。期间至1987年，参加了首部《中华人民共和国水法》起草工作，为主要起草人之一。在研究大量中国历史上的水法典和国外水立法后，率先提出将原拟“水利法”、“水资源法”更名为“水法”，并首次在法律上明确了水的所有权、使用权、管理权。合编有《国内外水法汇编》（上、下卷）。

1982~2002年，先后在水利部规划设计管理局、能源部、水利部水利水电总局和水利部水利水电规划设计总院（管理局）任副处长、处长、副总工程师、教授级高级工程师，负责全国数百项大型水利工程的设计审查、咨询及技术决策；主编多项国家和行业设计标准，其中《灌溉与排水工程设计规范》获建设部优秀国家标准奖。期间，兼任重庆大滩口水库设计总工程师及玉滩水库设计分管总工程师。1999年至2004年，作为专家组组长负责乌鲁瓦提、紫坪铺、百色等数十座大型水利枢纽工程蓄水安全鉴定工作，解决了工程设计、施工和水库、下闸蓄水的许多关键技术问题。作为中国国际工程咨询公司评估专家组组长和专家，曾参加南水北调东线、中线、乌鲁木齐供水、洞庭湖治理、黄河下游防洪堤防、黔中供水及全国防洪规划、全国易涝治理规划、全国抗旱规划等数十项规划设计工程的评估，提出了许多优化设计的重要意见和建议，其中几项工程获国家级优秀咨询奖。

曾在重要学术刊物上发表过数十篇水利工程规划设计论文，为《中国大百科全书》、《中国水利百科全书》水利篇撰写有关条目。

工作期间，根据工作需要曾多次出国考察水利水电工程设计与施工，并进行技术交流。其中，1981年在日本考察时发现长柄水库护坡工程采用土工模袋混凝土施工，回国后发表了“土工模袋混凝土设计与施工及其在国外的成功应用”，并积极

引进日本膜袋产品率先在内蒙古河套灌区排水沟防护工程上成功应用，之后又积极推动土工模袋的国产化生产，成为中国土工合成材料技术委员会成员。同时在日本还考察了碾压混凝土坝的设计与施工，回国后积极促进（RCD工法）筑坝技术在观音阁水库筑坝技术中应用。

1982年，应我国海军设计研究院邀请，为西沙群岛军港码头和飞机跑道水下土工膜袋混凝土护坡工程设计提供技术指导，之后又随海军首长赴工程现场指导工程成功施工。现在，每当从新闻报道中听到我国南海诸岛主权被侵犯的消息，我总会想到这个军港码头和军用飞机水下跑道护岸工程的地位和作用，是它和我们的海军将士为伟大的中华民族、伟大的国家构筑了保卫南海疆域的钢铁长城。

1992年，根据柬埔寨王国元首西哈努克亲王的邀请，时任国家主席杨尚昆批示外交部，要求经贸部和水利部组织专家组赴战时西哈努克亲王控制的解放区考察水利工作，作为专家组成员之一完成了柬埔寨战后水利工程复建和水利发展规划要点报告，得到了时任西哈努克军最高领导人那拉烈王子的认同和赞扬，对柬埔寨水利工程复建和水利发展起到了促进作用。回国后，撰写了“柬埔寨战时解放区考察漫记”包括在“水工程规划设计实践”一书中出版。

1994年，应邀出席在南非共和国德班市召开的第18届国际大坝会议，发表了“中国土石坝加高加固设计问题”论文，并刊于第18届国际大坝会议论文集。

1998年，根据工作需要赴欧洲考察玻璃钢夹砂管道的生产及其在水工程中的应用，回国后积极推动中国玻璃钢工业协会为我国某大型倒虹吸管道（ $D_{\max} = 3.1\text{m}$ ， $P_{\max} = 8\text{kg/cm}^2$ ，双管，管道总长度11.2km）的试验研究和试制及其在该工程的成功应用。

在职工作期间，曾随国务院总理朱镕基视察新疆水利规划

和工程建设，参加有关报告起草工作；随全国政协副主席钱正英先后赴陕西、新疆、贵州视察水利工程建设，参加调研报告起草工作。

2003年至今，继续作为水利部水利水电规划设计总院专家组组长，先后完成了黄河小浪底、淮河临淮岗等数十座大型水利水电枢纽工程蓄水安全鉴定和竣工技术鉴定报告，为水库安全蓄水和工程竣工验收提供了技术依据。期间，作为中国国际工程咨询公司项目评估专家组组长或专家组成员，先后完成了长江、黄河、淮河等流域规划及专项规划，以及叶尔羌河阿尔塔什大型水利水电枢纽等30余项报告的评估工作，为国家批准规划及工程立项提供了技术依据。期间，于2009年应中国机械进出口总公司的邀请，率领高级专家组赴刚果共和国对其所承包的刚果河英布鲁水电站工程（水库总库容10亿 m^3 ，电站装机容量12万kW）进行技术鉴定，为水库蓄水和工程竣工验收提出了一个科学、公正、客观的技术鉴定报告，作为水库安全蓄水和工程竣工验收的技术依据，得到了刚果共和国水利能源矿产部的认同和赞扬。该电站是刚果共和国电力系统最大的水电站，目前运行良好，成为中刚两国人民友好的象征。

2001~2004年，作为中国工程院重大咨询项目《西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究》课题组专家兼工作组副组长完成了“重大工程布局”专题报告。2008~2010年作为中国工程院《新疆水资源战略研究项目重大工程组》专家兼工作组副组长，完成了“重大水利工程布局研究专题报告”。上述报告为国家宏观决策提供了技术依据。

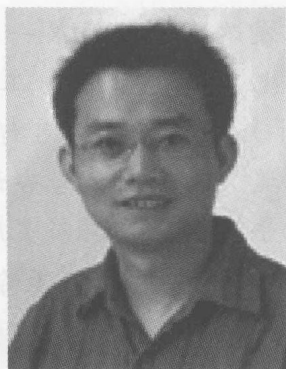
2011年开始签约为世界银行中国和蒙古局（驻华代表处）高级大坝和水利工程专家，负责中国江西浯溪口水利枢纽、新疆吐鲁番阿拉沟、二塘均、煤窑沟3座水库，和四川武引二期

灌区水库大坝及输水工程技术评估、工程质量安全检查等工作。

上述有关业绩，曾先后入编于水利部主编的《中国现代水利人物志》、人事部主编的《中国专家大辞典》等。

作者小传

秦根泉，1977年生于江西省南昌市。2000年毕业于南昌大学水利电力工程建筑系，本科学历、工学学士，2011年获得河海大学水利水电学院工程硕士学位，国家注册造价工程师。江西省水利规划设计院高级工程师。



2000年7月~2005年6月，参与了江西省赣抚大堤加固配套工程初设与招标、施工图设计，该项目为江西省重点工程，其中主设了赣东大堤樟树段新型景观防洪墙设计，在江西省防汛砂卵石料场的软弱地基上设计了20多米高的箱涵结构衡重式挡土墙。本项目获江西省第十三次勘察设计“四优”评选工程一等奖；2011年，获得江西省农业科教人员突出贡献二等奖。

2005年7月~2007年9月，参与了江西省大（2）型廖坊水利枢纽工程施工图的设计工作，并负责工地设代工作。该工程为省重点工程。本项目获2006年江西省抚州市科学技术进步一等奖、2007年江西省科学技术进步三等奖、江西省第十三次勘察设计“四优”评选优秀工程一等奖。

2007年5月至今，担任了萍乡市坪村水库招标、施工图阶段的项目负责人和设代组组长。坪村水库为中型水库，通过对除险加固方案的优化，节省了工程量和节约工程投资，保证了工程安全。目前，加固工程基本完成，2009年坪村水库被评为国家水利风景区。

2007年8月~2009年12月，担任了缅甸 DAPEIN（I）

水电站工程可研及招标、施工阶段的项目专业负责人，负责首部挡水坝枢纽的设计工作。DAPEIN (I) 水电站工程由首部枢纽、引水发电系统和厂区枢纽等部分组成。挡水建筑物为混凝土重力坝，最大坝高 45.5m，河床式溢洪道；有压引水隧洞长 3.3km，两支，洞径 8.0m；电站装机 $4 \times 60\text{MW}$ 。是近年来国家发改委核准的第一个利用境外水力资源用于我国经济建设的水电项目。目前，工程已建成发电。2008 年《缅甸 DAPEIN (I) 水电站工程可行性研究报告》被评为“省优秀咨询成果一等奖”、“全国优秀咨询成果三等奖”、采用的排箫式多向进口吸沙导沙涵获得国家实用新型技术专利。

2008 年 12 月至今，担任江西省浯溪口水利枢纽工程可行性研究、初步设计、招标施工图阶段的项目副设总、项目施工设代处副处长。浯溪口水库是昌江干流上的一座大 (2) 型水利枢纽工程，是以防洪为主，兼顾供水、发电等的综合利用工程。目前，主体工程已开工建设。本项目为世界银行贷款项目，可行性研究报告获得 2012 年江西省优秀咨询成果一等奖。

作为项目负责人或主设人员完成了华能茅店水电站投资论证、预可行性研究、虬津水电站投咨论证、可行性研究等大中型水利枢纽工程的前期设计工作。在省级以上专业期刊上发表多篇论文。

序言

到 20 世纪末，世界上已建成的最高碾压混凝土重力坝为日本的官濑坝，最大坝高为 155m，碾压混凝土量 153.7 万 m^3 ；在建的最高碾压混凝土重力坝为中国的龙滩大坝，第一期的最大坝高为 192m，后期最大坝高为 216.5m，碾压混凝土量为 750 万 m^3 ，居世界首位，大坝设计与施工技术也有了新的突破和发展。

由于碾压混凝土重力坝（Roller Compacted Concrete Dams，简称 RCC 或 RCD）改变了传统的常态混凝土重力坝施工工艺，采用类似于土石坝分层填筑、分层碾压等快速施工的特殊工艺，因而在施工图设计阶段和工程施工前需要特别注重工程设计与施工质量安全的相关工作，如：要抓紧开展碾压混凝土和变态混凝土配合比的设计与室内试验及现场试验工作，及早确定施工配合比；要做好混凝土砂石料生产工艺、混凝土拌和、混凝土运输、混凝土入仓、混凝土摊铺、混凝土碾压、混凝土切缝、安全监测仪器埋设、现场试验取样、混凝土养护等工艺设计和技术质量控制标准；要做好混凝土温度控制设计及温控措施；要根据近期已取得的地质力学参数和试验提出的混凝土碾压层面的力学参数，对坝基抗滑稳定和坝体碾压混凝土层面的抗滑稳定进行分析，若坝基局部存在缓倾角不利结构面，还应进行坝基深层抗滑稳定分析；必要时，可采用有限元法进行大坝应力分析，在不宜作为平面问题分析时，可采用三维有限元进行应力分析等。认真做好上述主要工作，可以防范大坝设计与施工中可能出现的工程安全隐患，确保大坝安全运用。

本书主要内容包括：概述、碾压混凝土重力坝的枢纽布置

和坝体设计、坝体构造、碾压混凝土的温度控制及坝体防裂安全措施、碾压混凝土材料和混凝土配合比设计、碾压混凝土施工质量控制、碾压混凝土坝安全监测设计、中国碾压混凝土坝发展与部分已建工程设计及施工实例、浔溪口水利枢纽碾压混凝土重力坝设计、热带地区碾压混凝土高重力坝设计与施工质量安全控制实例、严寒地区碾压混凝土高重力坝设计与施工质量安全控制实例、严寒地区碾压混凝土中型重力坝设计与施工质量安全控制实例和对浔溪口碾压混凝土重力坝设计与施工的有关提示等。

近几十年来碾压混凝土筑坝技术在国内外发展很快，特别是我国已经建成了一批优秀的 RCC 高重力坝和 RCC 高拱坝，成为世界建坝数量最多，规模最大，技术水平最高的国家。但是，近年来一些大坝在设计、施工中由于疏于管理，不时出现大坝止水设施、安全监测仪器被损坏，混凝土仓面摊铺骨料分离与碾压混凝土层面处理不当，出现大坝浇筑层面和横缝漏水等质量问题，已引起国内坝工界的高度注意。江西省浔溪口水利枢纽为世界银行贷款项目，按照项目建设程序，在评估阶段项目启动前应由启动团进行大坝安全培训。因此，本书是根据世界银行中国和蒙古局（驻华代表处）高级项目官员蒋礼平先生的安排，为浔溪口水利枢纽项目启动团举办的 RCC 重力坝设计与施工安全培训班编写了主旨教材，嗣后又补充了浔溪口水利枢纽 RCC 重力坝的相关设计内容，并对教材进行了补充完善，编写了此书。

本书在编写过程中得到了梁晶和周翀同志的帮助，谨此一并表示感谢！

司志明

2013 年 12 月

目 录

序言

第 1 章 概述	1
1.1 碾压混凝土坝的应用和发展	1
1.2 碾压混凝土坝设计与施工的重点安全问题	5
1.2.1 中国现行规范中规定的碾压混凝土坝与传统常态混凝土坝的相同之处	5
1.2.2 国内外设计规范中规定的碾压混凝土坝与传统常态混凝土坝设计不同之处	5
1.2.3 中国碾压混凝土坝设计与施工依据的主要规范	6
1.3 碾压混凝土坝的主要特点	6
第 2 章 碾压混凝土重力坝的枢纽布置和坝体设计	10
2.1 碾压混凝土重力坝的枢纽布置	10
2.2 碾压混凝土重力坝设计的一般规定	10
2.3 碾压混凝土重力坝的坝体结构	11
2.3.1 碾压混凝土重力坝的坝体结构设计	11
2.3.2 国内外坝体构造的一般情况	13
2.4 碾压混凝土重力坝的稳定及应力计算	17
2.4.1 设计参数确定	17
2.4.2 坝体稳定计算	18
2.4.3 坝体应力计算	21
第 3 章 碾压混凝土的温度控制及坝体防裂安全措施	23
3.1 温度控制设计要求	23
3.2 温度控制安全措施	24
3.3 碾压混凝土的基础容许温差	26
3.4 横缝	29
第 4 章 筑坝材料和混凝土配合比设计	30
4.1 设计要求	30

4.2	碾压混凝土材料	31
4.2.1	胶凝材料	31
4.2.2	水泥	31
4.2.3	掺和料	32
4.2.4	粗骨料	33
4.2.5	细骨料	34
4.2.6	骨料级配	34
4.2.7	外加剂	35
4.3	碾压混凝土配合比选择	36
4.3.1	混凝土抗渗性	36
4.3.2	混凝土密度	37
4.3.3	混凝土强度	38
4.3.4	混凝土抗分离性	38
4.3.5	混凝土工作性	39
4.3.6	混凝土耐久性	39
4.3.7	混凝土施工条件	39
4.4	碾压混凝土配合比设计方法	40
4.4.1	试验室试验	40
4.4.2	现场试验室试验配合比	40
4.4.3	现场工艺试验	40
4.5	典型碾压混凝土配合比	41
第5章	碾压混凝土坝的施工和质量控制	42
5.1	碾压混凝土坝的施工	42
5.1.1	骨料生产	42
5.1.2	混凝土拌和	42
5.1.3	混凝土运输与摊铺	43
5.1.4	混凝土铺层厚度	43
5.1.5	混凝土碾压	44
5.1.6	碾压混凝土层面	45
5.1.7	横缝	45
5.1.8	碾压混凝土坝上游及下游坝面施工	45
5.1.9	廊道	46
5.1.10	碾压混凝土的养护与保护	47
5.2	碾压混凝土施工质量控制	47

5.2.1	碾压混凝土配料与拌和	47
5.2.2	原材料	47
5.2.3	现场试验	48
5.2.4	浇筑过程的质量监督与检测	48
5.2.5	浇筑仓面混凝土质量控制	48
5.2.6	硬化混凝土质量控制	49
第6章	碾压混凝土重力坝的安全监测设计	51
6.1	安全监测设计要求	51
6.2	现场安全监测和资料整理要求	52
第7章	中国碾压混凝土重力坝的发展及已建工程设计与 施工实例	53
7.1	中国碾压混凝土筑坝技术的发展	53
7.2	中国已建碾压混凝土重力坝的设计与施工实例	53
7.2.1	江垭水利枢纽碾压混凝土重力坝 (RCC)	53
7.2.2	观音阁水利枢纽碾压混凝土重力坝 (RCD)	56
7.2.3	大朝山水电站碾压混凝土重力坝 (RCC)	59
7.2.4	石漫滩水库碾压混凝土重力坝 (RCC)	61
第8章	涪溪口水利枢纽碾压混凝土重力坝 (RCC) 设计	63
8.1	工程概况	63
8.2	枢纽布置及坝型选择	63
8.3	碾压混凝土重力坝设计	67
8.3.1	挡水坝结构布置	67
8.3.2	结构稳定设计计算	69
8.3.3	坝体构造	74
8.3.4	大坝温控措施	77
8.3.5	安全监测设计	79
第9章	热带地区碾压混凝土高重力坝 (RCC) 设计与施工质量 安全控制实例	82
9.1	碾压混凝土重力坝布置	82
9.2	碾压混凝土重力坝坝体构造设计	87
9.3	大坝应力、应变及坝体和坝基深层抗滑稳定计算	90
9.4	碾压混凝土坝施工及施工质量控制	112
9.5	大坝安全监测成果	120

第 10 章 严寒地区碾压混凝土高重力坝 (RCC) 设计与施工	
质量安全控制实例	122
10.1 碾压混凝土重力坝布置	122
10.2 碾压混凝土配合比设计	122
10.2.1 试验配合比	122
10.2.2 工程施工配合比	126
10.3 变态混凝土配合比设计	127
10.4 混凝土质量控制检测结果	128
10.4.1 碾压混凝土质量控制	128
10.4.2 变态混凝土质量控制检测结果	130
10.4.3 对碾压混凝土配合比及质量控制评价	130
10.5 大坝应力应变及抗滑稳定计算	130
10.5.1 材料力学法	130
10.5.2 有限元静力分析及动力分析计算	133
10.5.3 大坝抗震模型试验	139
10.6 大坝侧向抗滑稳定分析	140
10.7 大坝深层抗滑稳定分析	140
10.8 混凝土温度控制及防裂措施	141
10.8.1 大坝碾压混凝土温度控制的特点研究课题	141
10.8.2 防止温度裂缝产生的结构措施	142
10.8.3 大坝施工及运行期温度场和应力场仿真分析	142
10.8.4 施工期的温度控制	154
10.8.5 永久保温及越冬层面保温初期检测成果	163
10.9 坝体临时度汛缺口段混凝土温度应力仿真计算及分析	166
10.10 大坝施工期及运行期温度场和应力场 仿真计算成果综合分析	167
10.11 混凝土施工及施工质量控制	168
10.11.1 碾压混凝土施工	168
10.11.2 变态混凝土施工	169
10.11.3 施工质量控制	169
10.12 大坝安全监测成果	170
第 11 章 严寒地区碾压混凝土中型重力坝 (RCC) 设计与施工质量	
质量安全控制实例	171
11.1 碾压混凝土重力坝布置	171

11.2	碾压混凝土重力坝坝体构造设计	171
11.3	大坝抗滑稳定分析与应力计算	178
11.4	混凝土温度控制与防裂措施	181
11.4.1	大坝温度控制的主要环境因素	181
11.4.2	大坝温控指标的确定	182
11.5	碾压混凝土施工及施工质量检测	185
11.5.1	混凝土配合比	185
11.5.2	大坝碾压混凝土施工	185
11.5.3	碾压混凝土的温度控制措施	186
11.5.4	碾压混凝土施工现场检测	187
11.5.5	碾压混凝土抗压强度检测	187
11.5.6	碾压混凝土抗冻及抗渗性能检测	188
11.5.7	钻孔取芯检查情况	188
11.5.8	对碾压混凝土施工质量评价	189
11.6	碾压混凝土坝安全监测成果	190
11.7	对碾压混凝土重力坝的安全鉴定意见	191
第12章 对涪溪口碾压混凝土重力坝 (RCC) 设计与施工的有关提示		
	有关提示	193
参考文献		196