

GUANYINYAN SHUIDIANZHAN
HUNHEBA SHIGONG JISHU

观音岩水电站混合坝施工技术

于涛 申时钊 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

观音岩水电站混合坝施工技术

于涛 申时钊 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

观音岩水电站采用了混凝土重力坝与心墙堆石坝相结合的枢纽布置,两种坝型的连接段最大坝高达75m,为国内之最。本书分析了观音岩水电站工程的施工特点与难点,全面介绍了这种混合型坝体的施工情况及主要的施工技术。全书内容包括:土石方开挖、碾压混凝土重力坝施工、心墙堆石坝施工、三期截流及固结灌浆和金属结构安装。附录中总结了混合坝的施工管理经验。

本书图文并茂,资料翔实,具有很强的实用性和针对性,可供从事水利水电工程施工与运行管理技术人员使用,也可作为水利水电工程专业教学、科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

观音岩水电站混合坝施工技术 / 于涛, 申时钊主编
— 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 3
ISBN 978-7-5170-3022-5

I. ①观… II. ①于… ②申… III. ①水力发电站—混合坝—工程施工—施工技术—云南省 IV. ①TV641.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第047061号

书 名	观音岩水电站混合坝施工技术
作 者	于涛 申时钊 主编
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 21.5印张 516千字 4插页
版 次	2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	80.00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

作者简介



于涛（1972年7月出生），男，吉林德惠人，工程硕士学历，高级工程师。先后通过了一级建造师（水利和建筑工程两个专业）、监理工程师、投资建设项目管理师、投资（咨询）工程师和造价工程师等执业资格考试，另外，还通过了美国项目管理协会发起的PMP资格认证考试。在国内公开发行的期刊上先后发表了《长洲船闸工程基础约束区混凝土高温季节施工温度控制》《观音岩水电站堆石坝石料开采爆破试验与分析》《观音岩水电站导流明渠截流施工技术总结》《干热河谷地区碾压混凝土施工技术》《观音岩水电站心墙堆石坝填筑施工技术》等施工技术与管理论文10余篇，编写部级工法一部。自大学毕业后，一直从事水电工程建设方面的技术工作，先后参加了天生桥二级水电站、中山包水电站、龙滩水电站、长洲水利枢纽和观音岩水电站等工程建设，主要从事过引水隧洞、水电站厂房、公路、高边坡开挖与支护、船闸、碾压混凝土重力坝、心墙堆石坝、泄槽和闸门安装等工程项目施工，在水电工程建设方面积累了丰富的理论和实践经验。2014年8月参加了云南省鲁甸“8·3”地震牛栏江红石岩堰塞湖的排险工作，掌握了堰塞湖抢险的技术要点，为今后完成类似应急抢险任务积累了宝贵的经验。

现任中国人民武装警察部队水电第一总队观音岩工程项目部总工程师。



申时钊（1976年5月出生），男，云南昭通人，工程硕士学历，高级工程师。持有一级建造师执业资格证书，在国内公开发行的期刊上发表了《龙滩工程左岸进水口拦污栅施工工艺措施》和《龙滩工程左岸碾压混凝土施工质量控制》等多篇施工技术与管理论文，编写部级工法一部。自大学毕业后，一直从事水电工程建设方面的技术和管理工作，担任过工程技术科科长和项目经理等职务，先后参加了天生桥二级水电站、中山包水电站、龙滩水电站和观音岩水电站等工程建设，主要从事过引水隧洞、水电站厂房、公路、高边坡开挖与支护、碾压混凝土重力坝、心墙堆石坝、泄槽和闸门安装等工程项目施工，在水电工程建设方面积累了丰富的理论和实践经验。2014年8月参加了云南省鲁甸“8·3”地震牛栏江红石岩堰塞湖的排险工作，熟悉了堰塞湖抢险的现场指挥协调的要点，为今后完成类似应急抢险任务积累了宝贵的经验。

现任中国人民武装警察部队水电第一总队观音岩工程项目部项目经理。



观音岩水电站上游侧全景



观音岩水电站下游侧全景



软接头部位上游侧



三期截流成功



碾压混凝土坝 23.15m 长的芯样



软接头部位施工



架桥机吊装钢闸门



水电指挥部及总队首长与项目部主要成员合影



业主现场检查工作

《观音岩水电站混合坝施工技术》

编撰委员会

主任委员：李虎章

副主任委员：王永兴 申时钊 于 涛

顾 问：梅锦煜 刘斯宏

委 员：（按姓氏笔画）

王 玮 王朝阳 李植丰 李高正 吴维明

张志刚 高明友 郭世强 彭克龙 韩春影

熊昌林 瞿祖旭

主 编：于 涛 申时钊

主要撰稿人：（按姓氏笔画）

于 涛 王朝阳 申时钊 李高正 吴维明

张志刚 高明友 韩春影 瞿祖旭



序

观音岩水电站挡水建筑物为一座碾压混凝土重力坝、黏土心墙坝组成的混合坝型，最大坝高 159m，电站总装机容量 3000MW。中国人民武装警察部队水电第一总队承担了右河床碾压混凝土重力坝和右岸黏土心墙坝的施工任务，涵盖了土石方工程、混凝土工程、基础处理灌浆工程、金属结构安装等多个相关专业。碾压混凝土大坝施工期间，于 26 坝段部位，钻取了 188mm 直径的两根三级配碾压混凝土芯样，其中最长芯样 23.15m，穿越了 78 个 30cm 厚的浇筑层，为有记录的世界最长碾压混凝土芯样。

部队施工技术人员利用业余时间撰写了《观音岩水电站混合坝施工技术》一书，按专业设置章节，记录了施工方案，描述了施工工艺，结合施工进行了试验研究和计算分析，附设了照片、图表，并列出了质量控制及检测报告。建设一个电站，干一个工程，撰写出版一部专著，团队成员齐心协力，积极参与。记述施工过程，提升施工技术，留下了珍贵的技术财富，专著中还记录了有关工程管理和部队管理的内容，可为其他工程借鉴，确是一件值得倡导的事情。

武警水电一总队的前身为中国人民解放军基建工程兵，1985 年转隶为武警水电部队，是一支以部队管理形式参加国家建设的水电工程建设队伍，长期从事水电工程建设，参加了很多国家大中型水电站施工，1987 年 4 月于天生桥二级（坝索）水电站首部重力坝进行了碾压混凝土填筑，是我国首批进行碾压混凝土筑坝施工的单位，为开拓我国碾压混凝土筑坝技术作了研究和实践。

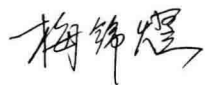
我国的碾压混凝土筑坝技术自 20 世纪 80 年代开始引进，已经历了近 30 年时间，实现了从引进研究，到创新发展，开发形成了变态混凝土施工工艺、斜层碾压施工工艺、各类诱导缝施工技术、接缝重复灌浆技术、长距离胶带机运送混凝土、各类垂直入仓方法、大型翻升模板、双曲拱坝组合曲面模板、

现场小气候工艺，使用多种掺合料为胶凝材料的混凝土……，逐步形成了以施工技术创新为主体，具有中国特色的碾压混凝土筑坝技术，编制了相应的设计规范，多次修订施工规范，建成了世界最高的 200m 级碾压混凝土重力坝，我国已建碾压混凝土大坝的数量也为世界最多，碾压混凝土筑坝技术已拓展应用于施工围堰和坝基填塘混凝土等工程的施工。我国碾压混凝土筑坝技术，仍在深入研究，继续发展，近几年研究制作了适用于大仓面变态混凝土施工的高压注浆设备，采用大功率双钢轮振动碾，对四级配混凝土进行了 40~60cm 的厚层碾压施工试验和实践，研究进一步改进层间施工工艺和上游防渗层施工技术，有针对性地实施科学合理的温控防裂措施，以控制混凝土裂缝，加强层面接触强度，并进一步提高生产效率。

在建设观音岩水电站期间，云南昭通鲁甸发生 6.5 级地震，部队立即响应，摩托化行军 760km，日夜兼程，快速进点，抢修通道，实施红石岩堰塞湖排险，开挖泄流槽，排除险情。部队已整体纳入国家应急救援力量建设体系，调整转型为一支国家应急救援部队，将部队建设成为经济战场上的建设力量，抗击自然灾害的骨干力量，维护社会稳定的支援力量，遂行战时保障的突击力量。部队通过参加水电工程建设，锻炼队伍，练兵培训，提高技能，为完成抢险任务打下基础。

观音岩水电站建设期间，我曾两次到达工地，在现场目睹感受了轰轰烈烈的建设过程，门机塔吊林立，吊罐徐徐运转，有条不紊的胶带机系统，各类机械设备穿行于宽阔的路面……。整洁宽敞的营房，红旗飘扬，阳光灿烂。绿水青山之间有一片繁忙，有一片宁静。多个一流施工单位齐心协力，协同作战，一派以先进设备建设水电工程的典型场景。今年将依托观音岩水电站工程，召开碾压混凝土筑坝技术与水电工程混凝土施工新技术研讨会议，交流学术，升华技术，期待着再次进入已投产发电的观音岩水电站。

中国水力发电工程学会碾压混凝土筑坝专业委员会主任



2015 年 2 月于北京



前言

观音岩水电站为金沙江水电基地中游河段“一库八级”水电开发方案的最后一个梯级水电站，位于云南省华坪县与四川省攀枝花市的交界处。工程为一等大（1）型工程，挡水建筑物为一级建筑物，采用混合坝方案，由左岸、河中碾压混凝土坝和右岸心墙堆石坝组成，在混凝土重力坝和堆石坝之间设置的连接坝段（简称“软弱接头”）最大高度达 75m，为国内之最，坝体种类多，结构复杂，施工要求高。此外，工程施工还面临混凝土温控防裂难度大，明渠坝段工期紧，混凝土入仓受堆石坝施工影响大，黏土心墙料含水率控制难度高等一系列难点与重点。因此，观音岩水电站混合坝的工程施工对施工单位是一个技术挑战，同时也是一个实现创新突破的机遇。

2007 年 12 月，武警水电第一总队官兵承接了这一重要的使命，由龙滩水电站转战观音岩水电站，正式拉开了水电部队参建观音岩水电站的序幕。武警水电一总队是一支以水利水电施工为主，同时执行处置突发事件、维护社会稳定的特殊部队，部队组建 30 多年来，承担了十余座大中型水电站的建设任务，为国家的经济建设和社会稳定作出了突出贡献。在观音岩混合坝施工项目中，主要负责右岸土石方开挖、碾压混凝土重力坝施工、心墙堆石坝施工、三期截流和固结灌浆以及金属结构安装等工程任务。

经历了观音岩水电站混合坝的施工，见证了一个个施工技术难题被攻克，作者心中充满了欣慰与感动。在激动之余，作者认为有必要对工程施工遇到的技术难题及解决方案进行梳理与总结，这对提高水电部队施工技术水平大有裨益，同时对其他相关混合坝工程的施工也能起到一个参考借鉴作用。因此，作者在总结观音岩水电站混合坝施工技术的基础上，编撰了本书，以予同行交流。全书共分为六章。第一章介绍了观音岩水电站工程的总体情况，着重概述了工程施工的特点与难点以及施工业绩；第二章介绍了土石方开挖施工过程及质量控制，重点介绍了爆破试验与监测技术；第三章重点介绍了

碾压混凝土重力坝施工技术，并总结了泄槽混凝土的施工技术；第四章介绍了心墙堆石坝的施工技术和施工期变形观测技术；第五章介绍了三期截流施工及坝基固结灌浆设计与试验；第六章介绍了金属结构安装施工及电气设备安装调试；最后附录归纳了项目管理纪实。

在本书的出版过程中得到了武警水电指挥部原总工程师梅锦煜少将的大力支持与鼓励；武警水电第一总队李虎章总工程师给予了全力的技术指导；在工程施工资料的整理过程中，全体参建技术官兵和指战员同志们给予了全力的配合与支持。河海大学水工结构研究所所长刘斯宏教授在本书的编撰过程中给予了大量的专业指导，并详细审阅了本书。在此向他们一并致以诚挚的谢意！

限于作者的水平和工作的局限性，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2015年2月



目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 观音岩水电站工程简介	1
第二节 自然条件	5
第三节 工程施工特点与难点	10
第四节 施工总体情况	11
第五节 主要施工业绩	14
第二章 土石方开挖	16
第一节 开挖施工条件及要求	16
第二节 施工特性分析	17
第三节 爆破试验与监测	20
第四节 主要施工方法	38
第五节 施工质量	48
第六节 土石方开挖施工总结	49
第三章 碾压混凝土重力坝施工	51
第一节 重力坝设计	51
第二节 碾压混凝土原材料	53
第三节 碾压混凝土配合比设计	57
第四节 碾压混凝土工艺试验	66
第五节 碾压混凝土施工	96
第六节 碾压混凝土施工质量控制	124
第七节 碾压混凝土温度控制	129
第八节 碾压混凝土特殊气候条件下施工	136
第九节 碾压混凝土钻孔取芯和压水试验	140
第十节 碾压混凝土施工经验总结和思考	144

第十一节 泄槽混凝土施工	146
第四章 心墙堆石坝施工	165
第一节 心墙堆石坝设计	165
第二节 心墙堆石坝碾压工艺试验	170
第三节 反滤料掺和拌和工艺试验	184
第四节 心墙堆石坝填筑施工	189
第五节 心墙堆石坝填筑施工质量控制及检测	210
第六节 心墙堆石坝施工期变形观测	234
第七节 堆石坝施工经验总结及思考	247
第五章 三期截流及固结灌浆	249
第一节 三期截流	249
第二节 坝基固结灌浆及试验	267
第六章 金属结构安装	293
第一节 概述	293
第二节 金属结构安装施工	295
第三节 电器设备安装调试	318
第四节 安装施工进度编制与举例	321
第五节 施工总结	327
附录 项目管理纪实	329

第一章 绪 论

第一节 观音岩水电站工程简介

观音岩水电站位于云南省丽江市华坪县与四川省攀枝花市交界的金沙江中游河段，为金沙江中游河段规划的八个梯级电站的最末一个梯级，上游与鲁地拉水电站相衔接。电站坝址距攀枝花市公路里程约 72km，距华坪县城公路里程约 40km。攀枝花市距成都市公路里程约 768km，距昆明市公路里程约 333km。成昆铁路支线格里坪站距坝址直线距离约 10km，地理位置见图 1-1-1。

观音岩水电站为一等大（1）型工程，以发电为主，兼有防洪、灌溉、旅游等综合利用功能。水库正常蓄水位 1134m，库容约 20.72 亿 m^3 ，电站装机容量 3000MW（5×600MW）。

枢纽主要由挡水、泄洪排沙、电站引水系统及坝后厂房等建筑物组成。引水发电系统建筑物布置在河中，岸边溢洪道布置在右岸台地内侧，导流明渠溢洪道布置在导流明渠位置。枢纽的平面布置如图 1-1-2 所示，上游视图如图 1-1-3 所示。

挡河大坝由左岸、河中碾压混凝土重力坝和右岸黏土心墙堆石坝组成为混合坝，坝顶总长 1158m，其中混凝土坝部分长 838.035m，心墙堆石坝部分长 319.965m。混凝土坝部分坝顶高程为 1139m，心墙堆石坝部分坝顶高程为 1141m，两坝型间坝顶通过 5%的坡相连。碾压混凝土重力坝部分最大坝高为 159m，心墙堆石坝部分最大坝高 75m。混凝土大坝从左至右依次为：左岸非溢流坝段、左冲沙底孔坝段、河中厂房坝段、导流底孔坝段、双泄中孔坝段、导流明渠坝段、溢洪道过渡坝段、岸边溢流坝段、混凝土坝与堆石坝连接过渡坝段。

泄洪冲沙建筑物由岸边溢流表孔、导流明渠溢流表孔、双泄中孔和左冲沙底孔组成。岸边溢流道表孔孔数为 4 孔，孔口为 13m×21m，堰顶高程 1113m，坝后泄槽宽度为 69m，底坡为 3%~15%，泄槽尾部设挑坎，将水流挑入下游河道。导流明渠溢洪道表孔孔数为 3 孔，孔口为 9m×18m，堰顶高程为 1116m，坝坡尾部设跌坎，出口顶高程为 1017.50m，坝后消力池宽 45m，池底高程 1010m，池长 168m，尾部设消力坎，顶部高程为 1031m。双泄中孔进口高程 1045m，每孔进口设事故检修门，尺寸为 5m×10m，坝后工作弧门尺寸 5m×9m，工作弧门后紧接泄槽，泄槽尾部设舌形鼻坎。左冲沙底孔布置于厂房左侧，进口高程为 1040m，进口检修平板门尺寸为 5m×8m，中部采用直径 6.5m 的钢管下穿厂房安装间，末端设 4m×4m 工作弧门，之后接异形挑流扭鼻坎，将水流挑入下游河道。

引水发电系统布置在河中坝段内，包括坝式进水口、坝后背管、坝后主厂房及安装间、上游电气副厂房、下游水机副厂房及尾水闸室、尾水渠等。16~20 号坝段布置引水