

碗窑水库加固改造工程 管理与技术创新

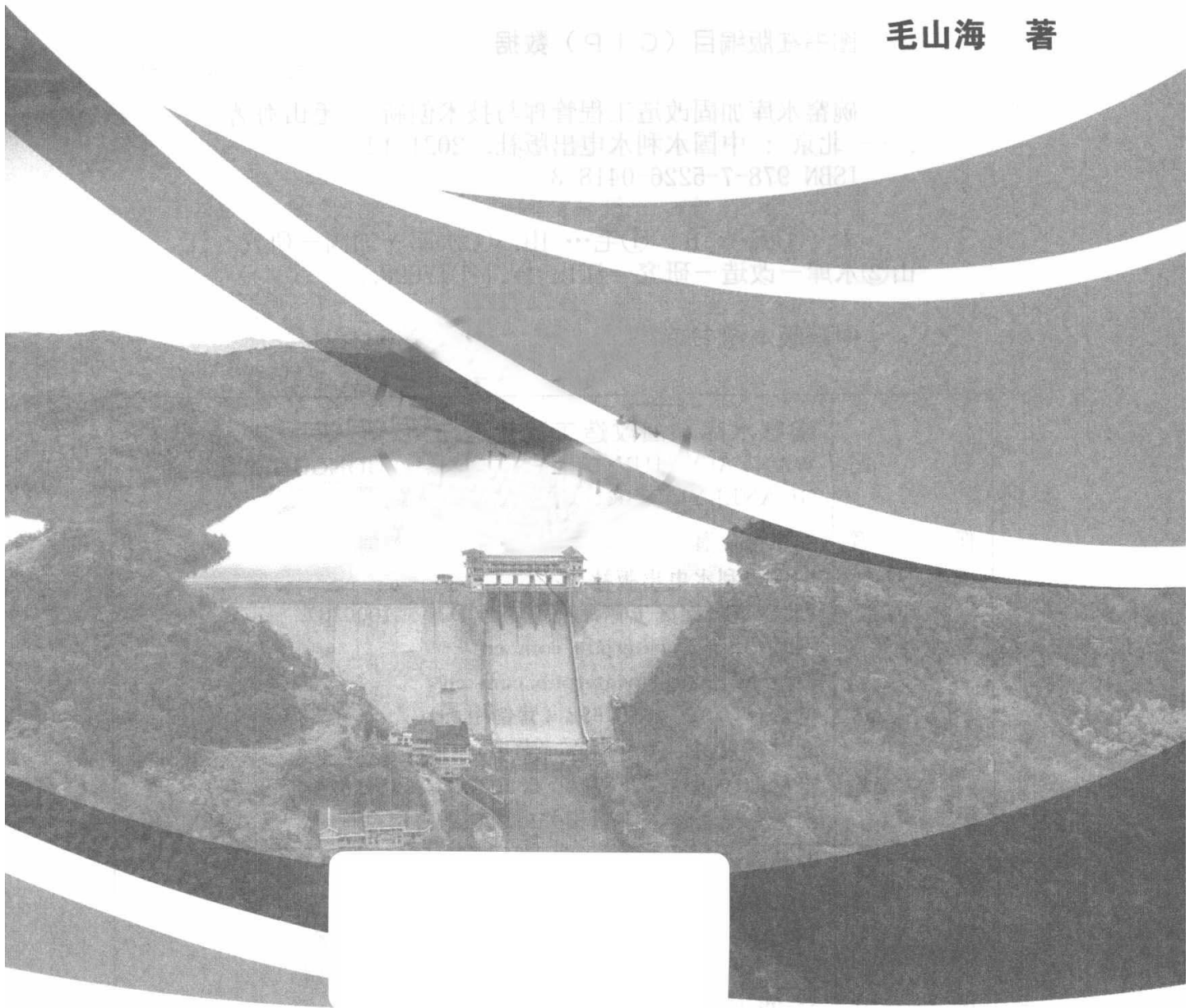
毛山海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

碗窑水库加固改造工程 管理与技术创新

水利部（911）水利部编目（CIP） 毛山海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书共6章,内容结合碗窑水库加固改造工程的建设实际,从总结工程中所应用的一系列创新理念与技术入手,着眼于推动水利工程建设事业发展。本书主要内容包括碗窑水库工程基本情况和存在的问题,碗窑水库加固改造工程建设管理创新举措,以及在设计、施工、质检方面的创新实践。

本书可供从事水利相关工作的建设、设计、施工、质检部门的管理和科研人员参阅使用,也可作为水利专业技术人员和高等院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

碗窑水库加固改造工程管理与技术创新 / 毛山海著
— 北京:中国水利水电出版社,2021.12
ISBN 978-7-5226-0418-3

I. ①碗… II. ①毛… III. ①水库—加固—研究—江山②水库—改造—研究—江山 IV. ①TV698.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第002121号

书 名	碗窑水库加固改造工程管理与技术创新 WANYAO SHUIKU JIAGU GAIZAO GONGCHENG GUANLI YU JISHU CHUANGXIN
作 者	毛山海 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
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 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	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 6印张 118千字
版 次	2021年12月第1版 2021年12月第1次印刷
定 价	35.00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

《碗窑水库加固改造工程管理与技术创新》

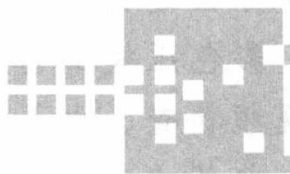
编 撰 委 员 会

主 任 许俊良 杨晓华

副主任 吴 衡 阮利明 李艳丽

委 员 洪苏科 王 栋 王帅勇 陈 雯

组织单位：江山市碗窑水库管理中心、浙江省围海建设集团股份有限公司、上海蛟龙海洋工程有限公司、浙江省水利水电工程质量与安全管理中心、浙江省水利水电勘测设计院、浙江省水利水电建筑监理有限公司



前 言

浙江省江山市碗窑水库建造于20世纪90年代，是大（2）型水利工程。碗窑水库大坝为浙江省第一座碾压混凝土坝，水库经过20多年运行后，逐渐暴露出一些问题，最主要的是外坝坡及廊道内的渗漏水问题。1999—2006年，针对上游防渗面板裂缝、廊道扬压力观测孔渗漏、坝体无砂排水管渗水等问题，进行过数次处理，但效果均不甚理想；2009—2012年，对大坝进行了安全鉴定，鉴定结论为二类坝。江山市碗窑水库管理局（2019年11月更名为江山市碗窑水库管理中心）随后开展了一系列的前期工作。拦河主坝加固方案经过多个方案的论证比选后，最终确定了在不放空水库的情况下新建上游防渗面板+坝体坝基补强灌浆+下游坝面处理的方案。《江山市碗窑水库加固改造工程初步设计报告》编制完成后，由浙江省水利水电技术咨询中心进行咨询、浙江省水利厅进行审查并批复。

碗窑水库加固改造工程是浙江省重大水利项目、衢州市“十项百亿防洪排涝工程”、江山市重点实施项目。受碗窑水库的历史、结构原因和现实需求等多方面因素的影响，工程建设过程中遇到了许多新问题和难问题，如大体积高水深的水下混凝土防渗面板如何进行施工和质量控制，坝体碾压混凝土灌浆参数和工艺如何确定，高陡坝坡彩色压模如何施工等。这些问题的相关技术在以往的高坝施工中未曾应用过，没有成功的经验可以参考，甚至在水利工程设计和施工规范中也没有相应的标准，碗窑水库加固改造工程实际上承担了实现新设计、创新新技术的任务。

本书研究总结了碗窑水库加固改造工程的建设经验，从破解工程建设中碰到的各种难题出发，介绍了从建设管理到设计、施工、质检各方面的创新理念、创新技术、创新工艺、创新方法。建设管理方面涉及了招投标管理及施工管理，对水上水下施工单位选择、

水上水下施工分工及协作进行了严格控制和动态管理；设计方面在上游防渗面板加固、坝体补强灌浆、下游坝坡加固等方面进行了创新设计；施工方面在水下施工工艺、补强灌浆工艺、彩色压模工艺等方面进行了试验、摸索和创新；质检方面在水下视频检查、水下锚筋拉拔、各种检查方法和标准等方面研究确定了一些新方法、新指标。

经过工程各参建单位齐心协力、攻坚克难，碗窑水库加固改造工程创造了浙江省三个“首例”，即全国最大规模、浙江省首例大坝水下防渗面板混凝土浇筑，全国首次、浙江省首例在高坝坝坡应用彩色印压模混凝土，浙江省首例碾压混凝土坝体补强灌浆。这些经验和技術凝聚了碗窑水库加固改造工程参建各方的智慧和心血，在水利工程建设中具有很强的推广和实用价值，必将对我国水利事业的发展作出一定的贡献，从而推动我国水利事业不断向前发展。

本书在编写过程中，参考了一些相关资料，在此对其作者表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了工程参建单位浙江省围海建设集团股份有限公司、上海蛟龙海洋工程有限公司、浙江省水利水电建筑监理有限公司、浙江省水利水电勘测设计院、江苏禹衡工程质量检测有限公司和工程质量监督单位浙江省水利水电工程质量与安全管理中心的支持与帮助，在此表示感谢。

限于编者水平，书中存在疏漏和不足之处，望读者批评指正。

作者

2021年2月

目 录



前言

第 1 章 水库概述	1
1.1 水库建筑物	1
1.2 水库存在的问题及处理	2
第 2 章 建设管理	5
2.1 工程招标管理	5
2.2 水上水下施工分界线管理	8
第 3 章 设计创新	10
3.1 上游坝面新建水下混凝土防渗面板	10
3.2 坝体灌浆排水处理	17
3.3 下游坝面处理	26
第 4 章 施工创新	29
4.1 上游坝面防渗面板水下施工	29
4.2 坝体补强灌浆施工	55
4.3 下游坝坡喷混凝土压模施工	70
第 5 章 质检创新	80
5.1 水下混凝土视频检查	80
5.2 水下锚筋拉拔力检测	83
第 6 章 结论	85
参考文献	87

第1章 水库概述

1.1 水库建筑物

碗窑水库位于浙江省江山市碗窑乡碗窑村上游约 600m 的峡谷地段。大坝建在钱塘江源头—江山港支流的达河溪上，坝址位于碗窑村，距江山市城区 10km，是一座以灌溉为主，结合供水、发电、防洪等综合利用的大（2）型水利工程，也是浙江省金衢盆地农业生产总体规划的重大开发项目。碗窑水库设计灌溉面积 32.1 万亩，设计向江山市市区日供水 10 万 t，坝后水电站装机容量 1.26 万 kW（ $2 \times 6300\text{kW}$ ），多年平均年发电量 3074 万 kW·h，10 年一遇洪水控制最大下泄流量 $350\text{m}^3/\text{s}$ ，极大地减轻了下游沿河两岸的洪涝灾害。

碗窑水库为多年调节水库，总库容 2.23 亿 m^3 ，正常蓄水位 194.24m（参照 1985 国家高程基准，下同），相应的正常库容 2.08 亿 m^3 。水库枢纽工程由拦河主坝、右岸副坝、坝后水电站等建筑物组成。为增加碗窑水库的来水量，1997 年成长台溪引水工程，引水面积 64km^2 ，引水渠长 1.04km，设计流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ ，长台溪引水首先流入长安水库，长安水库通过暗涵与长坑弄水库相连，然后经长坑弄水库溢洪道流入碗窑水库。

碗窑水库拦河主坝为碾压混凝土重力坝，坝顶高程 196.24m，最大坝高 79m，坝顶长 390m，宽 8.5m。全坝共分 11 个坝段，其中 5 号坝段为溢流段，其他为非溢流坝段。溢流坝段长 50m，分五孔泄洪闸，孔口尺寸为 $8\text{m} \times 10\text{m}$ （宽×高），闸底（溢流堰顶）高程 186.24m，安装 5 扇 $8\text{m} \times 10\text{m}$ 露顶弧形钢闸门。6 号坝段桩号坝 0+208.00、高程 143.24m 处埋设发电引水钢管，进口设事故闸门一扇，孔口尺寸为 $3\text{m} \times 3.5\text{m}$ （宽×高）；4 号坝段桩号坝 0+110.00、高程 138.24m 处布置直径为 1.2m 的放水孔一个，出口处设置锥形阀一台，锥形阀前设直径为 1.2m 的电动检修闸阀一台。

碗窑水库右岸副坝位于拦河主坝右侧约 100m 的一处山岙内，为细石混凝土砌石坝，坝顶高程 196.24m，最大坝高 16m，坝顶长 125m，坝顶宽 6m。

碗窑水库坝后水电站位于河床的右侧，属 4 级建筑物。水电站采用一管两机的引水方式，总管长约 80m，直径 3.0m；支管长约 11m，直径 1.75m。设计正常的发电流量 $2 \times 13.09\text{m}^3/\text{s}$ ，设计正常尾水位 119.87m。水电站机组由 HLA296-LJ-120 型水轮机和 SF-J6300-12/2600 发电机组成，装机高程



121.14m, 主厂房地面高程 127.64m。

水库枢纽工程于 1993 年 4 月开工建设, 1996 年 7 月封孔蓄水, 1997 年底主体工程基本完工。

长台溪引水工程为碗窑水库的二期工程, 其从长台溪郭家堰坝引水, 经长安水库、长坑弄水库, 然后在长坑垄水库副坝(桃树坞坝)右坝头的溢洪道放水至碗窑水库, 设计引水流量 $20\text{m}^3/\text{s}$, 多年平均年引水量 5000 万 m^3 。工程由拦河堰坝、引水渠、输水暗涵(长安水库泄洪设施)、桃树坞溢洪道等组成, 引水渠全长 1.04km。

长坑垄水库是一座以灌溉为主, 兼有过水、发电的小(1)型水库, 正常库容 462 万 m^3 、总库容 528.2 万 m^3 。长坑垄水库由主坝、桃树坞副坝、华峰副坝、输水隧洞、溢洪道, 放水涵管等组成。主坝为黏土心墙坝, 最大坝高 24.17m, 坝顶长 95m, 坝顶宽 4m, 内坡为预制块护坡, 外坡为草皮护坡。主坝左坝头建有输水隧洞, 进口设有铸铁方闸门, 由螺杆启闭机控制, 出口设有 $\phi 500$ 放空闸阀, 主坝右侧设有宽浅式溢洪道。桃树坞副坝为黏土心墙坝, 最大坝高 14m, 坝顶长 83m, 坝顶宽 3m, 内坡为预制块护坡, 外坡为草皮护坡。华峰副坝为黏土心墙坝, 最大坝高 11.07m, 坝顶长 47m, 坝顶宽 4m, 内坡为预制块护坡, 外坡为草皮护坡, 坝下设有一输水涵管, 进口设有铸铁闸门, 由螺杆启闭机控制。

长安水库是一座以灌溉为主, 兼有过水功能的小(2)型水库, 长台溪水经过长安水库后通过泄洪暗渠进入长坑垄水库。长安水库正常库容 14.3 万 m^3 、总库容 23.1 万 m^3 , 水库由主坝、副坝、正槽式泄洪暗渠等组成。主坝为均质坝, 最大坝高 14.5m, 坝顶长 70m, 坝顶宽 4m, 内坡为预制块护坡, 外坡为草皮护坡, 溢洪道为正槽式泄洪暗渠与长坑弄水库相连, 溢流堰为无坎宽顶堰, 放水涵管位于左坝头, 进口设有铸铁闸门, 由螺杆启闭机控制。副坝位于长安村, 是引水渠的出口段, 长 150m, 采用混凝土挡墙形式。

1.2 水库存在的问题及处理

碗窑水库工程由江山市碗窑水库工程建设指挥部负责组织建设, 浙江省水利水电建筑总承包公司(原浙江省水利建设公司)承建枢纽工程中的主体工程, 对所承建的项目行使建设单位职能; 枢纽工程土建由浙江省正邦水电建设有限公司(原浙江省水电建筑第三工程处)承担, 机电设备安装由浙江江能建设有限公司(原浙江省水电设备安装公司)承担; 工程管理机构为江山市碗窑水库管理中心(原江山市碗窑水库管理局)。

碗窑水库大坝为浙江省第一座碾压混凝土坝, 工程运行初期就暴露出一些





问题,最主要的是外坝坡及廊道内的渗漏水。针对坝体渗漏及碾压混凝土工程的质量问题,1999年6月在浙江省水利厅主持下,召开了“碗窑水库碾压混凝土工程技术咨询会”,邀请了中国水利学会碾压混凝土筑坝专业委员会的7名碾压混凝土技术方面的专家参加,专家组对工程的设计、施工、管理提出了8条咨询意见。针对碾压混凝土专委会专家提出的8条咨询意见,浙江省水利厅及设计、施工、管理单位进行多次研讨,制定了处理方案,并落实了处理措施。

(1) 1999年4—5月,对U3扬压力测孔进行截渗灌浆处理,在原坝基主帷幕线上(轴下4.25m)共布置8个灌浆孔。经灌浆后,U3扬压力观测孔渗水量未明显减少。

(2) 2000年2—5月,对U3扬压力观测孔的渗漏问题进行第二次处理,共布置8个截渗灌浆孔。经灌浆处理后,仍未有效截断U3扬压力观测孔的渗水通道,最终决定对U3扬压力观测孔进行封堵灌浆。2000年5月3日,封堵灌浆处理后U3孔停止冒水,新设扬压力观测孔无明显出水,但其右侧5个排水孔出水量比U3孔封堵前明显增加,坝体总渗水量比封堵前有所减少。但到2001年底,U3扬压力孔左侧排水孔又开始出水,2003年4月,在高水位及低温的共同作用下,U3扬压力孔附近的渗漏流量达到2012mL/s,且下游坝坡的渗水点及出水量也逐渐增多。

(3) 2001年4—5月,施工单位对坝体进行了一次全面的处理:一是对上游坝面进行检查,并对裂缝、冷缝、蜂窝等缺陷进行了相应的处理;二是采用潜水作业的办法对154.24m高程检查排水廊道内桩号坝0+208.00、坝0+211.00两个坝体无砂管排水孔的大流量渗水,采用水下防渗止水材料和水下防渗施工工艺,直接在漏水的源头—水库上游坝面发电引水钢管进口闸门井内进行水下快速防渗堵漏处理;三是对2号、3号、4号、5号、6号和9号坝段进行了碾压混凝土坝体的水泥灌浆处理,累计完成63个灌浆孔(总孔长1488m)、5个排水孔(总孔长173m)和4个检查孔(总孔长101m)。经采取上述处理措施后,大坝坝体渗水量有所减少。2003年3月13日,库水位192.39m时大坝总渗漏量为988mL/s,但下游坝坡出水点未见明显减少。

(4) 2006年5—6月,江山市碗窑水库管理局从加强坝基排水入手,对3号坝段和9号坝段原有基础排水孔进行扫孔,并在U3、U9扬压力孔附近补打基础排水孔,以减少U3扬压力孔附近伸缩缝及下游坝坡的渗水量,降低U9扬压力孔的扬压力系数。通过处理,U3扬压力观测孔附近伸缩缝渗水及3号坝段下游坝坡的两个集中渗水点的渗漏量均有所减少,U9扬压力测孔的压力表读数明显下降,但补打的排水孔出水量较大。

(5) 2009—2012年组织了碗窑水库大坝安全鉴定,认为碗窑水库目前存



在的主要问题如下:

1) 主坝碾压混凝土层面存在结合不良部位, 防渗面板平整度较差, 局部缺陷, 骨料离析明显; 下游坡渗漏点较多, 长期渗漏影响结构耐久性, 对结构安全不利; 部分扬压力测孔水位时效有增大趋势, 坝体、坝基渗流量较大, 两岸地下水位较高, 绕渗明显。

2) 5号闸门两吊点的高度差远超过标准规定值, 经加垫片的底部局部调整运行尚属正常, 但其属应急处理; 启闭控制台无电压、电流指示, 电气线路老化。输水系统锥形阀关闭不严, 漏水较大, 且作为检修闸门, 一旦发生故障将无法检修。

3) 安全监测设施陈旧落后, 且为人工观测, 遇极端天气无法实时监测。

4) 防汛管理设施陈旧, 坝内电梯故障频发, 且维修困难。

5) 下游泄洪渠两岸堤防为原建设单位修建的临时工程, 标准偏低, 局部堤段被冲毁。

6) 目前的上坝公路为经碗窑大桥从右岸上坝, 其设计标准偏低。

7) 洪水预报及水库调度自动化系统运行十余年, 设备陈旧, 信号不稳, 需改造。

大坝安全鉴定结论为: 该水库防洪安全性为“A”级, 大坝强度和稳定满足规范要求, 大坝变形和渗流性态基本正常, 工程质量合格, 运行管理为好; 金属结构安全性为“B”级, 碗窑水库大坝基本安全, 可在加强监控下运行, 应属“二类坝”。



第 2 章 建 设 管 理

大坝安全鉴定后，江山市碗窑水库管理中心（以下称项目法人）随即开始了碗窑水库加固改造的前期工作。2015年6月，江山市政府发布《江山市人民政府关于启动碗窑水库加固改造工程相关前期工作的批复》（江政发〔2015〕33号），同意碗窑水库管理中心自2015年6月开始启动碗窑水库大坝加固改造工程的前期相关工作，并要求确保该工程于2017年开始实施。2016年9月，江山市人民政府发布《江山市人民政府关于同意申报碗窑水库加固改造工程计划的批复》（江政发〔2016〕108号），同意申报碗窑水库加固改造工程计划。

2016年11月，浙江省水利厅下发《浙江省水利厅关于下达2017年全省水库海塘（沿塘水闸）除险加固建设计划的通知》（浙水管〔2016〕49号），将碗窑水库列入2017年除险加固建设计划。

2.1 工程招标管理

2.1.1 资格条件设置

工程招标投标制是项目建设三大制度之一，在我国已实施多年。一般来说，工程招标根据《中华人民共和国招标投标法》《中华人民共和国招标投标法实施条例》等法律法规和规章的规定实施，并不会存在太大问题。根据《水利水电工程施工总承包资质标准》的规定：一级资质可承担各类型水利水电工程的施工，二级资质可承担工程规模中型以下水利水电工程和建筑物级别3级以下水工建筑物的施工。碗窑水库为大型工程，应由一级资质水利水电施工总承包单位承担施工。

但是，碗窑水库加固改造工程存在着一个特别之处，大坝防渗面板分为水上施工和水下施工两部分。水上施工为常规施工，水下施工为潜水员水下施工，最大施工深度为40m。据了解，目前国内尚没有一家水利水电施工总承包单位具备潜水水下施工的能力。由此带来一些问题：由谁来承担水下部分的施工？是否可以将工程承包给具有一级资质的水利水电施工总承包单位，再由总承包单位将水下部分分包给具有潜水施工能力的其他单位呢？根据《中华人民共和国招标投标法》的规定：中标人按照合同的约定或者经招标人同意，可以将中标项目的部分非主体、非关键性工作分包给他人完成。碗窑水库加固改造工



程施工建安部分预算为 5887 万元，水下施工预算为 2311 万元，水下施工所占份额为 39%，施工内容又是最为关键的上游防渗面板，直接关系到大坝加固后的防渗效果，对工程的成败至关重要。因此，发包给总承包单位再由总承包单位将水下施工部分分包给具有水下施工能力的单位并不符合分包规定，而且不能保证能找到合适的水下施工队伍和保证水下工程施工质量。

目前国内并没有潜水作业的专门资质，而由中国潜水打捞行业协会负责会员潜水服务能力与信用评估的自律管理工作。潜水服务会员可按照其拥有的注册资本、潜水专业人员、技术装备、以往潜水作业业绩、职业健康安全控制能力和诚信体系水平等评估指标申请相应等级的证书。根据《潜水服务能力与信用评估自律管理办法》，潜水服务能力与信用评估等级由高到低分为：一级、二级、三级、四级 4 个等级，但对各等级的承包范围并没有明确的规定。

综合考虑以上因素，碗窑水库加固改造工程施工标设置的投标人主要资格条件如下：

(1) 应同时具备有效的水利水电工程施工总承包一级及以上资质和中国潜水打捞行业协会颁发的《潜水服务能力与信用评估等级证书》（潜水作业二级及以上），具有有效的营业执照和建设行政主管部门颁发的《安全生产许可证》及中国潜水打捞行业协会颁发的《潜水作业安全证书》（潜水作业），且具有类似项目施工业绩。

类似项目施工业绩是指：1997 年 7 月 15 日以来（以完工验收时间为准）已完工的：①大中型水库新建或大型水库除险加固（或加固改造）施工业绩；②水下混凝土浇筑业绩（须潜水作业）。投标人须同时具有上述两项业绩（联合体投标的，①项业绩须由联合体牵头人提供，②项业绩须由联合体非牵头人提供）。

(2) 投标人（联合体投标的，指联合体牵头人）的招投标领域企业信用等级须为“A”级及以上。企业信用报告须由浙江省发展和改革委员会（浙江省信用建设领导小组办公室）备案的第三方信用服务机构出具，且企业信用等级信息已在“信用浙江”网上公示，并在有效期内。

(3) 拟派项目负责人应持有注册在投标人单位（联合体投标的，指联合体牵头人）的水利水电工程一级建造师（含已延续注册的临时一级建造师）注册证书，并在投标截止日不得在其他任何在建合同工程中担任项目负责人。

(4) 项目副负责人（项目副经理）应持有有效的中国潜水打捞行业协会颁发的潜水作业项目经理任职资格证书。（联合体投标的，须由非牵头人委派）
同时，投标人在招标文件中明确接受联合体投标。联合体投标的，应满足下列要求：①联合体所有成员数量不得超过 2 个；②以水利水电工程施工总承包方作为联合体牵头人；③拟派项目负责人须由联合体牵头人委派。



2.1.2 价格区间设置

在招标过程中项目法人还对最高限价和单价区间进行了研究。项目（概）预算完成后，根据一些水下施工单位的反映及项目法人进一步了解的 market 情况，水下施工（概）预算严重偏低，有些单价明显不合理。例如，上游 C25W8F50 混凝土水下面板，预算单价为 2800 元/m³，市场价为 3500 元/m³ 左右； ϕ 25 锚筋（L=1.2m 水下），预算单价为 374.64 元/根，市场价为 900 元/根左右；水下混凝土切割开槽，预算单价为 4000 元/m，市场价为 8000 元/m 左右；还有水下钢筋制安，其市场价为 10000 元/t 左右，但其预算单价却为 6273.96 元/t，竟然和水上钢筋制安预算单价 6273.96 元/t 一样，明显不合理。

出现这种情况，要么调整（概）预算，要么直接进行招投标。但是，调整（概）预算是非常严肃和烦琐的，根据《水利水电建设工程调整概算管理办法》，水利建设项目实施过程中，由于下列原因之一造成工程投资突破原批准概算总投资的，可以要求编制调整概算：①超过初步设计范围的重大地质与设计变动；②主要材料、设备价格上浮超出预备费幅度；③发生不可抗力的自然灾害；④国家政策有重大调整；⑤由于投资主体方面的原因延长建设期。当完成工作量达 70% 以上时，项目法人可向初设审查部门提出调整概算的要求，并申述调概理由。经同意后，再进行调整概算编制工作。由此可见，碗窑水库加固改造工程当时尚处于招标阶段，并不符合调整概算的时机，也没有调整概算的理由，再退一万步讲，即使可以调整概算，这个过程也是十分漫长的，势必延误建设良机，对项目法人造成的损失也是十分巨大的。因此，尽管明明知道（概）预算偏低，也只能在预算范围内进行招投标，在招标细节上下功夫。

为使招标既合法合规，又能尽量减少预算偏低带来的不利影响，项目法人在招标控制总价和单价上进行了精准控制，根据《浙江省水利工程最高投标限价编制办法》，最高投标限价的综合下浮率为 2%~8%，结合其他同类工程的招标经验，项目法人最终确定了两个原则：一是施工标最高投标限价按预算价下浮 3% 控制；二是施工标建安部分设定单价区间（房建部分设定总价区间），区间的上下限按最高投标限价清单相应单（总）价的 105% 与 80% 控制。单价区间在工程量清单中随招标文件一起公开。

最终，碗窑水库加固改造工程施工标共有 8 家单位参加投标，均为联合体投标，招标一次成功。中标单位为浙江省围海建设集团股份有限公司和上海蛟龙海洋工程有限公司组成的联合体。从后期施工情况来看，中标单位是满足工程施工要求的，招标是成功的。



2.2 水上水下施工分界线管理

碗窑水库正常蓄水位 194.24m，相应库容 2.08 亿 m^3 ，发电最低死水位 158.24m，灌溉死水位 149.24m，系多年调节水库，设计洪水位 ($P=1\%$) 195.48m，校核洪水位 ($P=0.1\%$) 195.65m，水库总库容 2.228 亿 m^3 。施工期坝前限制水位的选择主要从两个方面考虑：一方面是水库集水面积较大 (212.5km^2)，泄水通道有限 (泄洪闸堰顶高程 186.24m；发电引水钢管进水口高程为 143.24m，直径 3.00m；放水孔进口底高程为 138.24m，直径 1.20m)，水位降低的过程较长。另一方面，施工期水库有临时供水、灌溉和生态供水任务，任务较重。在施工期间需保证碗窑乡 2 万人的生活供水任务，设计供用水量 3000t/d；并且保证碗窑灌区灌溉用水与下游河道生态用水，其中下游河道生态用水 1600 万 m^3 /年。综合考虑施工期供水、灌溉、生态用水要求并降低水下混凝土施工难度等原因，初定施工期坝前限制水位 158.24m。

水下工程自 2017 年 11 月底开工以来，因峡口水库供水工程供水管网建设工程延期，为确保城市供水，水库水位不能下降，错失了水下面板浇筑作业的最佳施工期，施工前期工程推进十分缓慢。2018 年 1 月底峡口供水管网建成后，因临近春节，春节后又逢主汛期，库区降雨量比常年偏多两成，碗窑水库没有放水孔，持续 24h 发电，仍无法在汛期将水位降至工程设计施工水位 158.24m，造成水下施工直至 2018 年 7 月才进入实质性施工阶段。

按照水上水下施工分界线 158.24m 来控制，水下混凝土方量为 5045m^3 ，水下施工节点工期为 6 个月，平均月浇筑强度高达 841m^3 。但实际上，水下工程全面铺开施工后，遇到了水下施工工艺复杂、水下作业环境浑浊，以及设计变更、质量检测等方面的重重困境，浇筑能力仅能达到 600m^3 /月左右，无法按时完成施工任务，更无法实现水库 2019 年汛期蓄水的关键目标。

为了实现目标，在要求水下施工单位加强施工力量的基础上，项目法人开始了降低施工控制水位的分析和尝试。水上水下施工分界线为 158.24m，这是根据发电死水位来确定的。降低水上水下施工分界线有 3 个好处：①施工进度可大大加快，水下面板混凝土浇筑一个班组平均 5d 浇筑一仓，水上面板混凝土浇筑的平均周期为 2d 一仓，水上水下施工效率比为 2.5 : 1，而且对于水下施工，水位降低后，水压相应减少，亦可提高水下施工效率；②费用可大大节约，水下面板混凝土合同单价为 2450.85 元/ m^3 ，水上面板混凝土合同单价为 539.23 元/ m^3 ，水上水下价格比仅为 22%；③施工质量可得到保证，水下的施工条件较差，施工过程不直观，施工质量无法与相对成熟稳定的水上施工相比。



但是碗窑水库原先建造的放空洞已与城市供水取水管相连，无法通过放空洞有效放水降低水位，导流洞也已被厚厚的混凝土封堵，更是无法放水，仅能通过发电洞发电来降低水位。通过发电来降低水位，不仅受发电流量的限制，更是受到发电死水位的限制。能否把水位降低到发电死水位以下，能降多少，对发电机组会带来多大影响，这些问题都必须慎之又慎。为此，一方面，项目法人咨询了设计电站的相关专家，分析计算认为，在发电死水位下发电理论上还有一定的裕度，约为1m；另一方面，项目法人制定了严谨的措施，加强观察机组运行状态，加密监测机组温度、噪音、振动等参数，在保证机组发电安全的前提下，最多时将水位下降到发电死水位以下5m处，为工程施工创造了较好的条件。另外，项目法人还对水上水下施工分界线实行动态管理，只要水下混凝土浇筑完成露出水面，就采取水上施工方法施工。通过采取这些措施，碗窑水库加固改造工程上游防渗面板含有水下施工的6个坝段，5个坝段水上水下施工分界线由158.24m降为156.24m，超过300m³混凝土由水下浇筑变为水上浇筑，极大地加快了施工进度，保证了工程施工质量。水下工程于2019年1月底前完成水下面板浇筑，2019年3月底前完成上游坝面结构缝处理等其他水下工作，为后续水上面板施工和水库汛期蓄水创造了良好的条件。



第3章 设计创新

碗窑水库加固改造初步设计由浙江省水利水电勘测设计院承担。2016年6月,浙江省水利水电勘测设计院编制完成《浙江省江山市碗窑水库加固改造工程初步设计报告(送审稿)》。2016年7月,浙江省水利厅组织召开《浙江省江山市碗窑水库加固改造工程初步设计报告》审查会,并形成专家组评审意见。2016年10月,浙江省水利水电勘测设计院编制完成《浙江省江山市碗窑水库加固改造工程初步设计报告(报批稿)》。2016年12月,浙江省水利厅下发《浙江省水利厅关于江山市碗窑水库加固改造工程初步设计的批复》(浙水许〔2016〕69号),工程概算总投资为9550万元。

3.1 上游坝面新建水下混凝土防渗面板

3.1.1 水下不分散混凝土的应用

碗窑水库加固改造工程上游防渗面板施工涉及了水下混凝土和水下裂缝修补等特殊项目,设计对近年来水下混凝土材料、施工工艺、工程案例等资料进行了整理学习。

对于建筑物的水下部分修补和建造传统的处理方法是降低水位、建造围堰、放空水库等。近年来,水下工程新技术、新材料、新工艺不断发展提升,水下施工设备(图3.1)也越来越先进,许多水下工程新技术正挑战或改变着传统的施工方法。先进的水下工程检测与加固处理技术在水利水电设施运行管理和工程建设中得到越来越多的应用,国家先后发布了《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》(DL/T 5315—2014)、《水利水电工程水下混凝土施工规范》(DL/T 5309—2013)等规范。

水下不分散混凝土能在水位较深、混凝土浇筑厚度小、不具备振捣施工的条件下,达到水下自流平、自密实,达到振捣混凝土的同等密实效果。该技术在湖南省宝峰湖水库大坝渗流处理、江苏省常州市新闸防洪控制工程水下混凝土底板浇筑、云南省龙开口水电站消力池水下混凝土修补、四川省龚嘴水电站消力塘地面厂房左端墙及分水墙水下修补、湖北省水布垭水电站大坝面板检查及修补、湖南省遥田水电站水下工程等多个工程成功应用,并取得较好效果。

(1) 湖南省宝峰湖水库大坝水下混凝土防渗面板。宝峰湖水库始建于

