

水工混凝土建筑物 评估与修补

—— 第九届全国水工混凝土建筑物
修补与加固技术交流会论文集

鲁一晖 孙志恒 主编



海洋出版社

水工混凝土建筑物评估与修补

第九届全国水工混凝土建筑物修补
与加固技术交流会论文集

主 编 鲁一晖 孙志恒
副主编 付颖千 王国秉 成保才

海洋出版社

2007 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土建筑物评估与修补:第九届全国水工混凝土建筑物修补与加固技术交流会论文集/鲁一晖,孙志恒主编. —北京:海洋出版社,2007. 11

ISBN 978-7-5027-6924-6/TU · 19

I. 水… II. ①鲁…②孙… III. 水工结构:混凝土结构-建筑物-加固-学术会议-文集 IV. TV331-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 174737 号

责任编辑:张晓蕾 王 溪

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:25.5

字数:600 千字 定价:58.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

新中国成立以来,我国兴建了大量的水利水电工程,它们在水力发电、防洪减灾、工农业用水、航运、水产和环保旅游等方面,发挥了巨大的社会效益和经济效益。

水工混凝土建筑物和其他建筑物一样,建成投入运行后,在荷载及恶劣环境的交变、持续作用下,容易引起混凝土的衰变与老化,甚至产生众多的病害。同时,由于技术与认识的局限,规范不完善、设计欠妥、施工质量不佳、结构基础和建筑物本身存在问题以及地震影响等,加之运行条件变化、运行年限增加、运行管理存在问题等诸多不利因素的综合作用,致使为数不少的水工混凝土建筑物存在不同程度的病害,有些已严重影响工程安全运行。

因此,除加强对水工建筑物安全监测系统外,还要由有经验的工程技术人员定期进行现场检查,并结合对实测资料的分析,作出安全评价。经验表明,只有把监测系统与现场检查紧密结合起来,才能确保建筑物安全运行;只有定期检查并及时对建筑物进行养护和维修,才能延长建筑物的使用寿命。对水工建筑物进行维修,重要的问题是确认水工建筑物的目前工作状态和使用环境,恰当地鉴定建筑物的劣化损坏程度,合理地评价其使用寿命。在此基础上,才能正确地选择修补技术措施、修补材料和施工方法。也只有这样,才能使修补加固与工程维护工作卓有成效。

近年来,随着国家对病险水库加固工作的大量投入,西部大开发与南水北调工程的实施和国电系统第三轮水电站大坝安全定期检查等重大工作的开展,对水工建筑物的耐久性问题,将比以往更加重视,同时也对我们从事这方面工作的科技人员提出了更高的要求,促使我们努力工作,在水工混凝土建筑物的病害检测、评估与修补加固的新材料、新技术、新工艺和新理论等方面,与时俱进,开创新的局面。病险库问题是世界性的问题与难题,需要长期地关注。

本论文集征集了六十余篇文章,对近几年的水工建筑物维修技术做了重要的总结和展望,其中涉及了老坝的安全评价,高速水流抗冲磨技术、水工沥青混凝土防渗技术新进展,水库的除险加固技术,修补加固的新材料与新技术等。这些论文都是理论联系实际,具有实际工程背景和较大的应用价值。论文作者都是长期从事水利水电工程现场检测、安全评价和修补加固工作的科研、设计、施工、高校与运行管理领域的专家和专业工程技术人员,具有丰富的工程实践经验和基础理论知识。

本论文集的出版无疑会对我国在该领域的技术发展进步起着推动作用。同时,对从事现有水工建筑物检测、评估与修补加固工作的工程技术人员、修补新材料和修补新技术研究开发人员而言,也是一本有价值的参考技术文献。

鲁一晖

水工混凝土修补与加固技术委员会

主 任

中国水利学会水工结构专业委员会

副主任

中国水力发电工程学会水工及水电站专业委员会

副主任

2007 年 10 月

目 录

一、综述

丰满大坝长期安全评价与全面治理可行性方案研究综述	鲁一晖	张家宏(3)
喷涂聚脲弹性体技术在水利水电工程中的应用综述	孙志恒	(17)
高速水流下新型高抗冲耐磨材料的新进展	陈改新	(26)
水工沥青混凝土防渗技术——中国大坝技术发展水平综述	郝巨涛	刘增宏 陈 慧(32)
基于 SRAP 工艺的混凝土大坝结构修复加固技术	胡少伟	王承强(40)
新疆病险水库除险加固技术研究	李 山	邹世平 郭 新(45)
面板抗裂混凝土配合比设计新思路	吴春雷 冯 林 叶远胜 李艳萍 王德库 黄如卉	张 军 王辉伟(52)
灌浆技术在国内外大坝修补加固工程中的应用	王国秉	李新宇 张家宏(56)

二、水工建筑物防护研究设计与评价

松月水库加高工程温控仿真分析	胡 鹏	岳跃真	余凌云(67)		
喷涂聚脲弹性体抗冲磨技术现场试验 ...	孙志恒	李守辉	方文时	任宗社	屈章彬(73)
河南宝泉抽水蓄能电站下水库大坝加高加固的工程经验	王国秉	鲁一晖	刘致彬	张家宏	胡 鹏(80)
新安江大坝溢流面弹性环氧砂浆现场试验	张运雄	周华文	孙志恒	方文时	鲍志强(86)
首都国际机场扩建工程清水池混凝土裂缝成因分析及处理建议方案	王国秉	夏世法	关遇时	甄 理(92)	
富春江水电站船闸侧墙混凝土表面防护试验	朱德康	鲍志强	孙志恒	付颖千(96)	
丰满大坝全面治理方案的思考	刘致彬(100)				
浅谈普棚水库隧洞混凝土修补方案	袁黎明(106)				
浙江义乌巧溪水库除险扩容工程方案论证	唐 毅	许晓东	郑雄伟(109)		
高寒地区碾压混凝土坝越冬面保温方案研究	夏世法	李秀琳	鲁一晖	岳跃真	王国秉(114)
冲江河(扩容)水电站引水隧洞施工缺陷处理方法	陈 刚	辜晓原	李国会(123)		
福建水东水电站大坝补强加固的工程经验	王国秉	鲁一晖	刘致彬	张家宏	胡 鹏(129)
云南雨补水库导流泄洪洞混凝土防冲磨设计	袁黎明(134)				
减河防洪闸水工混凝土裂缝分析与防治	吕海江	韩星亮(137)			

东江水源一期工程隧洞存在的问题及修补方案

.....	汤金伟	朱新民	胡平	卢正超	(143)		
沥青混凝土防渗面板滑动接头的试验研究.....	郝巨涛	刘增宏	瞿扬	陈慧	(150)		
沥青混凝土防渗面板与黏土铺盖之间接触渗透性能的试验研究							
.....	郝巨涛	刘增宏	瞿扬	陈慧	(158)		
二滩坝下水垫塘布置与运行维修.....				周鸿汉	(163)		
白山水电站高孔挑流鼻坎开裂原因分析							
.....	叶远胜	冯林	吴春雷	王德库	李艳萍	姜雪宾	(170)

三、水工建筑物的检测与评估

北京十三陵抽水蓄能电站尾水隧洞无损检测及混凝土裂缝处理

.....	张秀梅	孙志恒	夏世法	鲍志强(179)		
三峡工程水工建筑物维护检修初探.....			范进勇	徐新田(184)		
漳泽水库溢洪道工程检测与缺陷处理						
.....	王国秉	任建营	鲍志强	李守辉	夏世法	甄理(190)
北京上庄拦河闸水利枢纽检测与安全评估						
.....	甄理	熊祥兵	于凌云	王进玉	李卫国	吴春中(200)
探地雷达技术在水工建筑物检测中的应用.....	鲍志强	曾凡林	吴春中	李卫国(206)		
金清新闸混凝土结构病害成因分析及修复对策.....			刘超英	卢良浩(209)		

四、水工建筑物修补新材料、新技术及应用

混凝土坝保温防渗复合板研究.....	朱伯芳	买淑芳	方文时	姚斌	李敬玮	(217)
单组分聚脲在水利水电工程中的应用前景.....	孙志恒	夏士法	付颖千	甄理		(228)
SPC 聚合物水泥砂浆系列材料在混凝土剥蚀修补工程中的应用.....					徐志军	(232)
喷射硅粉混凝土在水工建筑维修中应用研究.....					胡智农	(239)
龙口水利枢纽工程泄水底孔喷涂聚脲抗冲磨材料						
.....	成保才	尚泽宇	刘云慧	孙志恒	方文时	(243)
混凝土压力管环氧树脂补强技术效果分析						
.....	徐爱良	万宏臣	丛强滋	官照传	官淑华	(247)
硅粉混凝土砂率选择的正交试验设计研究.....			丁琳	洪岩	刘洪波	(250)
新材料、新工艺在 13.8 kV 母线室防渗工程中的应用.....					刘玉德	(253)

五、水工建筑物的修补加固工程实例

北京三家店拦河闸混凝土建筑物防护处理

.....	张世清	倪明	朱正海	孙志恒	关遇时(259)
大红门闸闸室结构混凝土防碳化处理.....	焦怀金	张秀梅	孙志恒	付颖千(265)	
桃林口水库大坝防渗处理的探索与实践.....	祁立友	周世龙	王育琳(269)		

水布垭面板堆石坝一期面板混凝土裂缝处理及其修补技术

..... 林荣张 吴跃伟 徐汝霖 蔡 伟 汪健斌(272)

东风水电站尾水肘管钢衬内混凝土掏空、钢衬撕裂原因浅析及处理

..... 范雄安 彭 平 毛志浩(277)

岗南水库除险加固工程混凝土裂缝及处理技术研究..... 赵 逊 卢永兰(285)

新安江水电站大坝右岸坝段横缝灌浆及效果分析..... 何少云(290)

浙江天台桐柏抽水蓄能电站水工混凝土裂缝(渗水)修复处理

..... 林荣张 黄 斌 高秀梅(295)

李家峡水电站右中孔泄水道底板抗冲蚀层缺陷修复处理

..... 纪国晋 关遇时 陈改新 张福成 乔吉庆 潘青海 辛 龙(304)

深圳市东江水源工程隧洞裂缝处理及控制..... 曹小武 史 洁(308)

某水电站压力管道斜段混凝土缺陷的综合处理..... 林宝尧(312)

京密引水渠北旱河涵洞伸缩缝渗水处理..... 王 涛(317)

岗南水库溢洪道闸墩混凝土裂缝处理..... 张海波(320)

新安江大坝溢流面喷涂聚脲弹性体防护

..... 赵新华 陈连芳 卢 伟 孙志恒 鲍志强 方文时(323)

混凝土建筑物补强技术在怀柔水库西溢洪道中的应用..... 马柏林 彭玉柱 李守辉(326)

引滦入津隧洞顶拱喷锚混凝土加固技术试验研究..... 赵明志 方志国 郝志辉(332)

引滦输水隧洞裂缝的综合治理..... 张迎杰 徐 新 王 戎(339)

某碾压混凝土坝基础垫层裂缝处理..... 李秀琳 卢冰华 夏世法 刘 涛(344)

弧形闸门支承结构的预应力补强加固技术..... 张家宏 刘致彬 夏世法(349)

三峡船闸混凝土建筑物质量检查与缺陷处理..... 陈 磊 童 迪(356)

富地营子水库溢洪道闸墩裂缝处理..... 韩 韬 张喜武 景建伟 张建辉 齐立伟(364)

TK、KJ、JH 修补材料在混凝土缺陷处理工程中的应用 郭宏盛 杨天生 王大实(367)

六、其他

中小型水库除险加固中建设单位应注意的几个问题..... 李道庆(375)

ANSYS 软件在西霞院水库电站厂房地基回弹和沉降分析中的应用

..... 孙民伟 张 涛 谢 瑛 房后国(378)

高桩码头的锈损分析与维修对策研究..... 刁景华 马津渤(383)

大型混凝土工程强度质量监控体系研究与应用

..... 李广智 张 振 杨 慧 罗 莎(391)

滩坑水电站混凝土面板堆石坝基础覆盖层开挖技术..... 于凌云 王兴双(397)

一、综 述

丰满大坝长期安全评价与全面治理可行性 方案研究综述

鲁一晖 张家宏

(中国水利水电科学研究院)

摘 要:丰满大坝由于建坝时的施工技术水平差,施工质量低劣,大坝建成以来即存在着一些严重的先天性缺陷,如混凝土强度偏低,坝体分缝分块造成坝体整体性较差,扬压力偏高,渗漏、冻胀、化学溶蚀等因素引发的老化现象不断发展。大坝在不利的环境下已经蓄水运行近七十年,虽经 20 世纪 50 年代的续建、改建和以后多年的持续维修加固,大坝存在的缺陷得到了一定程度的处理,大坝老化进程也有所缓解,但坝体混凝土强度偏低、渗漏、扬压力偏高、溶蚀及冻胀等影响大坝长期安全性问题依然突出,迫切需要在国内外已有的研究成果以及已有的工程加固成功经验的基础上,全面评价大坝的长期安全性,并在此基础上论证大坝全面加固方案,为大坝全面加固处理设计提供技术依据。本文是在组织国内外专家进行现场调研、资料分析和国内外工程案例研究的基础上,提出丰满大坝长期安全性评价结论和大坝全面治理可行性方案。

关键词:丰满大坝 老化 长期安全性评价 全面治理 可行性研究

1 工程概况

丰满发电厂位于第二松花江上游吉林市东南 16 km 处,装机容量为 1 002.5 MW,是东北电网的骨干电厂,负责调峰、调频、事故和检修备用等任务,兼有防洪、灌溉及城市供水等综合作用。枢纽由混凝土重力坝、泄洪隧洞、发电引水隧洞、右岸一、二期坝后式电站厂房及左岸三期河岸式电站厂房等组成。始建于 1937 年,1942 年水库蓄水,1943 年第一台机组发电,1953 年大坝全部建成。丰满大坝为混凝土重力坝,坝顶高程 267.7 m,最大坝高 91.7 m,全长 1 080 m,共有 60 个坝段。大坝自左向右 9~19 号坝段为溢流坝段,21~31 号为发电取水坝段,其他为挡水坝段。

丰满水库为大(1)型水库,枢纽工程等级为一级,挡水坝、溢流坝、泄洪洞及电站厂房都为 1 级水工建筑物。校核洪水位 267.7 m,总库容 109.88 亿 m^3 ,设计洪水位 266.5 m 时相应库容为 107.8 亿 m^3 ,正常蓄水位 263.5 m 时库容 87.7 亿 m^3 ,死水位 242.0 m 时库容 27.6 亿 m^3 。大坝防洪标准按 500 年一遇洪水设计,1 万年一遇洪水校核。坝址区地震基本烈度为 7 度,设防烈度为 8 度。

表 1

工程特性表

水 库	校核洪水位	(m)	267.70	水文 特性	设计	重现期	(年)	500
	设计洪水位	(m)	266.86			洪峰流量	(m ³ /s)	25 100
	正常蓄水位	(m)	263.50		校核	重现期	(年)	10000
	汛限水位	(m)	260.50			洪峰流量	(m ³ /s)	36300
	死水位	(m)	242.00	主要 建筑 物	坝型	混凝土重力坝		
	总库容	(亿 m ³)	109.88		坝顶高程		(m)	267.70
	死库容	(亿 m ³)	26.85		坝顶长度		(m)	1080
	电站总装机容量	MW	1002.5		最大坝高		(m)	91.70
	厂区基本烈度	度	7		堰顶高程		(m)	252.50

2 研究背景

丰满大坝由于建坝时的施工技术水平差,施工质量低劣,大坝建成以来即存在着一些严重的先天性缺陷,如混凝土强度偏低,坝体分缝分块造成坝体整体性较差,扬压力偏高,渗漏、冻胀、化学溶蚀等因素引发的老化现象不断发展。大坝在不利的环境下已经蓄水运行近七十年,虽经 20 世纪 50 年代的续建、改建和以后多年的持续维修加固,大坝存在的缺陷得到了一定程度的处理,大坝老化进程也有所缓解,但坝体混凝土强度偏低、渗漏、扬压力偏高、溶蚀及冻胀等影响大坝长期安全性问题依然突出,迫切需要在国内外已有的研究成果以及已有的工程加固成功经验的基础上,全面评价大坝的长期安全性,并在此基础上论证大坝全面加固方案,为大坝全面加固处理设计提供技术依据。

丰满大坝是我国最早的混凝土高坝,在以往大量工作的基础上评价其长期安全性、研究全面加固方案具有典型意义。为此,东北电网有限公司委托中国水利水电科学研究院和中国大坝委员会全面负责本项工作。中国水利水电科学研究院和中国大坝委员会将组织国内外专家进行现场调研、资料分析和国内外工程案例研究,最终提出丰满大坝长期安全性评价报告和大坝全面加固方案。

3 技术路线

丰满大坝的全面治理工作是复杂的系统工程,事关重大。各有关单位高度重视此项工作,成立了项目工作组,项目工作组由中国水科院、丰满发电厂及东北电网公司共同组成,针对项目制订了详细的技术路线——“依靠专家分析论证,总结分析国内外类似工程研究成果和经验,通过对可利用资源或借鉴的国内外典型工程的实地考察,在以往大量研究评价成果的基础上,归纳与总结出丰满大坝长期安全性评价意见,提出丰满大坝全面加固设计可资借鉴的各种可能方案”。

项目执行过程中,工作组依靠专家论证确定重要技术路线,并邀请和组织国内外专家完成各分项工作内容,在各分项工作的基础上,汇总完成了丰满大坝长期安全性评价报告和丰满大坝全面加固建议方案。

4 丰满大坝长期安全性评价意见与建议

(1) 大坝混凝土质量与整体性差

由于历史原因,大坝混凝土没有明确的设计指标,只规定了水泥用量。混凝土施工质量很差,存在着大量的低强混凝土、蜂窝空洞等严重缺陷。同时,坝体被纵缝与各种子纵缝和子横缝严重切割,且施工期间纵缝没有灌浆、水平施工缝未打毛处理,因此,大坝的整体性很差。

大坝结构纵缝的存在会增加大坝的拉应力和拉应力范围,会增加大坝的水平位移。在地震情况下,按整体计算,坝踵、上部坝头和下游折坡处部位均会出现拉应力,如考虑纵缝存在情况会更加不利。尤其对坝基应力状态的影响更大,特别是各柱状块上游面会出现较大拉应力。

(2) 大坝抗滑稳定及结构安全裕度偏低

由于大坝整体性差,存在低强混凝土及施工纵缝的不利影响,使大坝处于较高且较复杂的应力状态。分析表明:在今后高水位遇地震条件下可能出现结构物的局部损坏。

纵缝的存在不利于承受正反向地震荷载的反复作用。在正反向地震荷载作用下,既减小了 A、B 坝块刚度和顺水流方向的稳定性,同时还会使 BC 缝和 CD 缝张开或扩宽,使 C、D 坝块移动,从而造成大坝失稳或破坏。因此,所采用的综合治理方案必须使大坝的整体性得到改善,以保证在各种荷载作用下大坝的安全和稳定。

(3) 大坝渗漏问题突出、混凝土耐久性差

丰满大坝的渗漏途径是沿坝体混凝土、裂缝和接缝而形成,使得大坝混凝土遭受溶蚀、冻融和冻胀破坏。而渗漏、溶蚀、和冻融、冻胀破坏通常是同时出现又互相加重,导致大坝混凝土的持续老化和力学性能持续的降低。

影响丰满大坝耐久性的根本原因是渗漏问题。渗漏引起坝体混凝土的溶蚀破坏和密实性的下降,使坝体混凝土处于饱水状态。冬季大坝混凝土受冻破坏,表层脱落,深层冻胀,坝顶上抬,加剧了大坝混凝土的老化。

经过采取局部修补、外包混凝土等措施,大坝混凝土的老化问题得到了一些改善。但仍存在很多问题:大坝上游面混凝土的修补加固不全面,未能形成完全封闭的防渗结构;上下游面外包混凝土的厚度有限,在上游面防渗和下游面排水不彻底的情况下难以有效阻止大坝表层负温区混凝土的进一步劣化;新浇筑的溢流面混凝土出现较多裂缝,还存在新老混凝土结合面、平行坝表面的裂缝;水平施工缝冻胀脱开等诸多问题。

因此,遏制由于严重渗漏而引起的大坝混凝土快速劣化趋势,是丰满大坝补强加固处理方案应解决的首要问题。

(4) 进行地质断层活动性及地震参数准确性的补充论证

对坝基 F67 断层带进行垂直、水平变位的监测是必要的, F67 断层属松花江断裂的一部分,其活动性需要进行补充论证。坝址区地震参数的选取与论证,非常重要。应进一步论证现有地震参数的合理性与科学性。

(5) 大坝泄洪能力不足

丰满水库在防洪基本资料,防洪预报方面存在一定的问题,调洪计算不符合现有的规范

要求,丰满水库现有的泄洪能力不能满足要求。因此,丰满大坝综合治理方案中,要考虑增设坝体泄洪设施,增加泄量,以满足可调节 1 万年一遇洪水的要求,并确保大坝的防洪安全。

(6) 论证全面的、综合性的大坝加固处理方案

由于丰满大坝在不利的环境下已经蓄水运行六十多年,虽经 20 世纪 50 年代的续建、改建和以后多年的持续维修加固,大坝存在的缺陷得到了一定程度的处理,大坝老化进程也有所缓解,但坝体混凝土强度偏低、渗漏严重、扬压力偏高、溶蚀及冻胀等影响大坝长期安全性问题依然突出。

因此,迫切需要在总结与借鉴国内外已有的研究成果以及已有的工程加固成功经验的基础上,提出全面的、综合性的大坝加固处理方案,使得丰满大坝的病害问题得到全面的、根本性解决,保证大坝安全运行和延长电站使用寿命,继续为国家的经济建设与社会发展做出更大的贡献。

5 丰满大坝全面治理方案可行性研究

5.1 论证科学的、全面的综合性大坝加固处理方案

本次丰满大坝全面治理方案可行性研究,是在充分借鉴国内外大坝加固经验的基础上,结合丰满大坝实际,按照“彻底解决、不留后患、技术可行、经济合理”的原则,对大坝加固及重建等各种技术方案进行深入研究和充分论证,科学选择丰满大坝全面加固技术方案。

丰满大坝综合治理的关键是技术措施的选择,这一过程具有很大的困难,它需要考虑到许多因素,包括技术、经济、环境以及实践经验方面的因素等等。综合治理的目的是恢复大坝结构的整体性和安全性,使大坝安全使用年限得到保证和延长。

作为挡水建筑物,首先是在所有荷载作用下,混凝土材料本身要能为大坝提供足够的强度和稳定保障;其次是大坝混凝土材料应该有效地阻止库水的渗漏,自身形成有效的防渗屏障。大坝施工时采用柱状块浇筑,施工纵缝、子纵缝、子横缝以及水平施工缝等,均未采取有效的工程措施进行处理,进而影响了大坝的整体性。大坝因受冻害范围大,冻害较深,以致削弱了坝体的断面,影响到坝体的整体稳定和强度。

显然,大坝渗漏问题突出、混凝土耐久性差,大坝混凝土强度与整体性差,大坝抗滑稳定及结构安全裕度偏低等问题,尚不能采用同一种技术措施完全解决,必须采用不同技术措施进行综合治理。

5.2 大坝主要病害和缺陷及其治理措施

根据全面调查和分析,目前,威胁丰满大坝安全运行的主要病害和缺陷列入表 2。主要病害和缺陷归纳为五大类,每一类都有不同的治理措施。而综合治理措施的选择是至关重要的,它需要考虑到诸多因素,包括技术、经济、环保以及实践经验方面的因素等等。表 2 中亦简要说明了各种病害治理预期达到的目的,每种病害的治理措施及综合治理方案将在后面章节详细介绍。

将每种病害和缺陷的可能治理措施列出后,遵照国家发改委对丰满大坝全面治理的精神——“彻底解决,不留后患,技术可行,经济合理”的原则,进行综合分析比较后,给出可供选择与比较的综合治理方案。

表 2 大坝主要病害和缺陷及其治理措施

	病害和缺陷		治理措施	预期目的
1	渗漏问题突出	渗漏	A 或 B	①提高大坝防渗能力； ②有效地降低坝体浸润线高度； ③抵御水的有害的物理化学作用。
		溶蚀		
		冻融		
		冻胀		
2	混凝土低强,强度不均匀		A 或 B	防护老混凝土进一步劣化,特别是风化、冻融破坏；
3	整体性很差	纵缝、子纵缝	C	①纵缝治理根本目的是传递荷载,提高大坝整体性； ②封闭裂缝,提高大坝整体性； ③提高大坝抗震能力。
		水平施工缝		
		裂缝		
4	大坝抗滑稳定及结构安全裕度偏低		C、D	①增加大坝断面,增加坝体自重,改善坝体应力状态； ②减小坝底扬压力；

表中治理措施代号如下(表 2 ~6)：

- A 上游表面防渗措施

A1 上游面混凝土叠合层防渗

A2 上游面混凝土墙与柔性防渗膜联合防渗

A3 上游面沥青混凝土防渗

A4 上游面混凝土墙防渗

A5 上游面 PVC 复合柔性防渗体系防渗

A6 上游面挂钢丝网喷混凝土防渗
- B 坝体防渗加固技术措施

B1 坝体置换混凝土防渗

B2 坝体混凝土灌浆防渗

B3 坝体开槽防渗加固
- C 坝体加固技术措施

C1 纵缝的补强加固治理—混凝土塞 + 水平预应力锚索

C2 预应力锚索加固

C3 下游面的加固治理—下游面外包高性能混凝土

C4 坝体局部灌浆处理
- D 其他加固措施

D1 坝基帷幕加强处理

D2 坝基坝体排水

D3 坝顶防渗处理

5.3 综合治理方案分类

对于丰满大坝的治理方案论证工作,丰满发电厂、中国水利水电科学研究院、水利部东北勘测设计研究院、北京勘测设计研究院和华东勘测设计研究院等单位,均进行了深入细致的研究工作。

影响丰满大坝耐久性的根本原因是渗漏问题。对丰满大坝进行综合治理的基本思路是探索如何在不同的条件下,首先对大坝进行防渗治理,同时,采取配套措施对大坝其他病害进行全面治理,从而形成完整的综合治理方案。尽量达到治理工作不影响或少影响丰满电站的正常运行,能保证大坝的泄洪能力和对下游的供水要求。

以实现大坝防渗为主要着眼点,就施工条件而言,大致可归纳分为三大类型方案：

- 第一类型:坝体上游面水下施工防渗方案；
- 第二类型:坝体上游面干场施工防渗方案；
- 第三类型:坝体内部防渗方案；

其中对于每一类型方案所选用的综合措施,根据其适用的条件又有不同的组合方法。

5.3.1 第一类型治理方案——坝体上游面水下施工防渗方案

(1) 方案概要

在大坝上游面水下施工的防渗加固方案可采用上游面水下安装 PVC 复合柔性防渗体系防渗方案。

本部分可分为“坝体上游面安装 PVC 复合柔性防渗体系”和“坝体上游面水下安装 PVC 复合柔性防渗体系与水上喷涂聚脲相结合”两种修补方案,这两种方案的不同点在于前者水上部分安装 PVC 复合柔性防渗体系,水位过渡区无需设置周边止水;但后者水上部分喷涂聚脲,水位过渡区需要设置周边止水。如图 1 所示。这两种方案的共同特点是水下部分均安装 PVC 复合柔性防渗体系,主要采用 CARPI 公司的 PVC 复合柔性防渗体系,即通过从坝顶到坝踵安装一个连续的抗渗屏障,这个屏障与基础和帷幕灌浆连接,同时在表面 PVC 复合材料与坝面之间安装了连续的表面排水系统,收集和排出渗漏水,以期在坝体上游面形成一个封闭完整的防渗系统,降低坝体渗漏量,减轻甚至避免渗漏水对坝体混凝土的溶蚀;同时降低坝体的扬压力,增强坝体稳定。

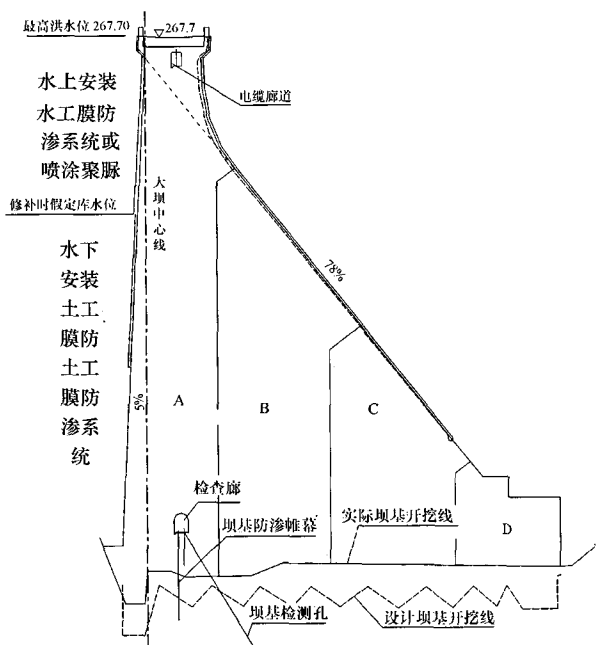


图 1 丰满大坝上游面安装 PVC 复合柔性防渗体系方案

(2) 上游面水下安装 PVC 复合柔性防渗体系类的综合治理方案

表 3 第一大类方案综合治理措施

	病害和缺陷		治理措施	预期目的
1	渗漏问题突出	渗漏	A5, C3, D3	①提高大坝防渗能力; ②有效地降低坝体浸润线高度; ③抵御水的有害的物理化学作用。
		溶蚀		
		冻融		
		冻胀		
2	混凝土质量低劣低强, 强度不均匀		C3, C4	防护老混凝土进一步劣化, 特别是风化、冻融破坏。
3	整体性很差	纵缝、子纵缝	C1 ~ C4	①纵缝治理根本目的是传递荷载, 提高大坝整体性; ②封闭裂缝, 提高大坝整体性; ③提高大坝抗震能力。
		水平施工缝		
		裂缝		
4	大坝抗滑稳定及结构安全裕度偏低		C3, D1, D2	①增加大坝断面, 增加坝体自重, 改善坝体应力状态; ②减小坝底扬压力。

5.3.2 第二类型治理方案——坝体上游面干场施工防渗方案

在大坝上游面形成干作业场地的防渗加固方案可分为三个方案:①浮式拱围堰防渗加固施工方案;②双壁钢围堰防渗加固施工方案;③水库放空上游面防渗施工方案。

(1) 浮式拱围堰防渗加固施工方案

任何一座大型水库完全放空进行大坝上游面防渗修补,都会涉及到巨大的经济、社会 and 环境保护的后果。因此,在不放空水库的情况下,如何对大坝上游面进行防渗修补处理,对工程技术人员来说,确实是一个极具挑战性的不寻常的新课题。在国内外大量调研基础上,中国水科院提出采用浮式拱围堰施工方案。先围住一个或两个坝段,创造“干作业”环境,进行大坝上游面防渗层施工,完成后,将拱围堰内腔中的水排出,使拱围堰自动升起漂浮在水中,用拖轮牵引到下一个施工部位,充水下沉就位、对接止水、排干围堰内的积水,又创造出另一个“干作业”环境进行施工。由于拱围堰内空间有限,容易改善施工条件,因此可以全年抽水施工。由于拱围堰结构形式一致,制作、浮运转移及就位封堵都较方便,因此可以多座围堰同时施工,以加快施工进度,使水库水位降低对社会经济的影响尽可能减少到最低程度。

丰满大坝上游面混凝土的损坏几乎遍布整个上游坝面,所以考虑将大坝上游面全部覆盖进行防渗防护是十分必要的。因而应当研究对大坝上游面进行大面积修补的方法。经过详细研究,认为大面积修补大坝上游面确定在干燥的条件下进行施工是适宜的。目前,国外有类似的工程规模比较小的工程实例,其经验还是具有一定的借鉴意义。

浮式拱围堰具有两大特点:一是利用拱的工作原理,将承受的水平水压力变为轴向压力传递到大坝上游面,和拱坝不同,根本不存在坝肩稳定问题;二是拱结构断面采用双箱型结构。实际上,内部空腔是一个可以控制的气囊,利用充水或排水办法来调节拱围堰的沉浮。由于设有空腔,它不但可以随意沉浮,而且还可以离开河床底部任意距离漂浮在水中。这

样,它将很容易地被拖轮牵引到指定地点,重新创造出另一个“干作业”环境进行施工。

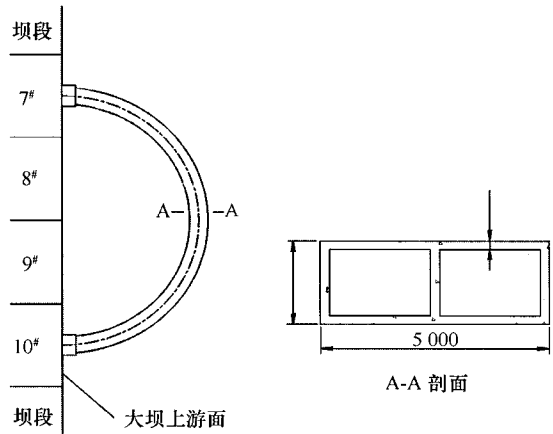


图2 浮式拱围堰总平面布置

(2) 双壁钢围堰防渗加固施工方案

双壁钢围堰是一个带有斜面双脚的圆筒形双壁水密钢结构在基础施工过程中起防水防土作用,不参与主体结构的受力,围堰内部也没有隔墙。根据施工条件围堰全高可分数节制造,每节又对称分数个单元制成单元体。施工时,将已拼就的底节围堰浮运就位起吊下水,然后接高并在围堰内灌水下沉,围堰落入河床后,视需要在围堰内槽注混凝土(或槽水)以增加围堰重量并在围堰内吸泥使其渐渐均匀地下沉到设计高程。

工法特点:

①利用双壁钢围堰重量轻、浮力大的特点,使钢围堰浮运就位起吊下水后能像船体一样稳定垂直地自浮于墩位处水面上;

②钢围堰制造、拼装、接高的所有焊缝,质量要求很高。所有焊缝除满足设计要求外,还必须经水密试验确保不漏水;

③双壁钢围堰平面为一回形钢环结构,钢度好,施工方便,是刚劲可靠的防水结构。

(3) 水库放空上游面防渗施工方案

影响丰满大坝耐久性的根本病害是坝体渗漏,而最直接、有效的防渗加固措施是在大坝上游面进行防渗处理。在无法进行水下施工,且没有可靠的措施在大坝上游面提供有效“干作业场地”的情况下,需要采取修筑上游围堰的措施,使坝体上游面完全处在干地上施工——即降低库内水位,抽除坝前基坑内积水,使坝体处在干地上进行防渗处理。这需要对丰满水库进行放空。对已建成的水库进行放空,一般可通过利用、改造原有的泄洪建筑物或新建放空洞泄放库内水量进行。

水库放空将涉及到放空的工程技术措施、施工导流方案、围堰设计、对国民经济及各行各业影响评价等诸多问题。在进行放空方案设计过程中,将尽量减少各方面的损失。