




SHUIKUDABAHUAXUEGUANJIANGYANJIUYUSHIJIAN

# 水库大坝化学灌浆 研究与实践

汪在芹 李珍 主编

非外借

 长江出版社

SHUIKUDABAHUAXUEGUANJIANGYANJIUYUSHIJIAN

# 水库大坝化学灌浆 研究与实践

汪在芹 李 珍 主 编  
韩 炜 邵晓妹 副主编

 长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

水库大坝化学灌浆研究与实践 / 汪在芹, 李珍主编.

—武汉: 长江出版社, 2018.10

ISBN 978-7-5492-6107-9

I. ①水… II. ①汪… ②李… III. ①水库—大坝—  
化学灌浆—研究 IV. ①TV543

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 242319 号

水库大坝化学灌浆研究与实践

汪在芹 李珍 主编

责任编辑: 郭利娜

装帧设计: 蔡丹

出版发行: 长江出版社

地 址: 武汉市解放大道 1863 号

邮 编: 430010

网 址: <http://www.cjpress.com.cn>

电 话: (027)82926557(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 武汉市首壹印务有限公司

规 格: 787mm×1092mm

1/16

29.75 印张

650 千字

版 次: 2018 年 10 月第 1 版

2018 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5492-6107-9

定 价: 98.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

## 编 委 会

---

主 编 汪在芹 李 珍

副主编 韩 炜 邵晓妹

编 委 (排名不分先后)

赵卫全 薛 炜 唐玉书 张 捷 屈高见

辜永国 黄金明 胡铁桥 李利平 陈 乔

党玉辉 邓敬森 许 宁 康德忠 韩 炜

邵晓妹

审 稿 (排名不分先后)

汪在芹 蒋硕忠 薛 炜 魏 涛 胡铁桥

韩 炜

# 中国水利学会地基与基础工程化学灌浆分会 第八届委员

主 任 汪在芹

常务副主任 李 珍

副 主 任 赵卫全 薛 炜 唐玉书 张 捷 屈高见 辜永国 黄金明  
胡铁桥 李利平 陈 乔 党玉辉 邓敬森 许 宁 康德忠

秘 书 长 韩 炜

副秘书长 邵晓妹

顾问（排名不分先后）

蒋硕忠 冯善彪 张声华 张良秀 李汉阳 杜嘉鸿 肖田元  
曹光钊 梅锦煜 熊厚金 谭日升 薛绍祖 朱祖熹 饶 明  
李 蓉 魏 涛

委员（排名不分先后）

汪 洋 邓金桥 尹作仿 王成明 王福君 王媛怡 叶林宏  
田科宏 艾文才 冯 菁 甘国权 任生元 邢光仁 师存禄  
位国喜 何 巍 杜天刚 张龙源 邱小佩 陆民安 杨政鹏  
潘水艳 张玉莉 陈建华 李小勇 陈 亮 肖承京 陈 昊  
陈森森 李建伟 陈广旭 李亚军 李晓鄂 张 达 邱本胜  
张 辉 李发权 李 娟 杨秀林 范冬冬 郑 卫 卓 彬  
林忠华 周建民 易 举 姚 昕 赵 毅 赵建明 骆晓腾  
赵少斌 宾 斌 郭国战 郭 臣 袁 航 徐海鹰 黄三弟  
曹 珂 梁利岩 景 锋 董建国 粮秋华 谢跃辉 赫世钢  
管学茂 蔡胜华 潘文亮 樊盛祥 范 明 王少华 蒋玉川

## 理事长、副理事长、理事和赞助单位

- 理事长单位** 长江水利委员会长江科学院
- 副理事长单位** 武汉长江科创科技发展有限公司  
中国水利水电科学研究院  
中科院广州化灌工程有限公司  
中国水电基础局有限公司  
中国水利水电第三工程局有限公司  
杭州国电大坝安全工程有限公司  
中国葛洲坝集团基础工程有限公司  
湖南省水利水电勘测设计研究总院  
中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司  
中国水电七局有限公司  
广东灌浆岛路桥新技术发展有限公司  
北京东方雨虹防水技术股份有限公司  
瑞派尔（宜昌）科技集团有限责任公司  
青海友邦特种工程有限责任公司
- 理事单位** 中国建材检验认证集团股份有限公司  
广州市泰利斯固结补强工程有限公司  
安康越泽工程技术有限公司  
北京恒建博京防水材料有限公司  
南京康泰建筑灌浆科技有限公司
- 赞助单位** 河南千兆建材有限公司

# 前 言

自 1968 年第一次全国化学灌浆会议在浙江富春江举办以来,已经过去了整整 50 个春秋。伴随着 25 次化学灌浆会议的召开,我国化学灌浆技术 50 年来不断得到改进和提升,在这期间涌现出了一大批创新性的化学灌浆技术、化学灌浆材料以及优秀的化学灌浆人,推动着中国化学灌浆事业的飞速发展。

2018 年正值改革开放 40 周年,中国的化学灌浆事业在广大化学灌浆从业科技工作者的共同努力下,取得了令人瞩目的成绩。筚路蓝缕、风雨辉煌,化学灌浆事业从落后西方 30 年的开始起步到今天引领世界潮流,一路走来,创业不可谓不艰辛、经验不可谓不丰富。第十七次全国化学灌浆学术交流会既是对前期工作的阶段性总结,又是对未来的规划与展望,意义重大。


由中国水利学会地基与基础工程专业委员会主办,长江水利委员会长江科学院和武汉长江科创科技发展有限公司承办的第十七次全国化学灌浆学术交流会于 2018 年 11 月 22 日在湖北省丹江口市召开。

会议以“水库大坝化学灌浆研究与实践”为主题,旨在加强全国相关科研、高校、建设、设计、施工等单位的学术交流与合作,展示近年来化学灌浆领域的新材料、新工艺、新技术以及相关工程的研究和应用成果,并进一步发挥化学灌浆技术在我国工程领域的重要作用。

本次会议论文征集工作得到了广大专家、学者的大力支持,共收到论文 70 余篇,内容既有理论又有实践,涵盖了会议所涉及的主题及议题。根据本次会议宗旨,经专家审核、推荐,汇集其中具有代表性的论文形成论文集,以《水库大坝化学灌浆研究与实践》为题由长江出版社正式出版,内容主要包括综述、材料研究、设备研制、问题探讨、施工工艺和施工应用等方面,切实反映出了近年来我国化学灌浆领域的最新水平。

在会议论文集的征集、审稿和出版过程中,得到了各界的大力支持,这其中既有长期从事化学灌浆工作的专家学者,又有时刻心系化学灌浆事业发展的领导前辈,还有长江出版社工作人员以及全体会务人员,是他们严谨、细致的工作以及不计得失的付出,才使得论文集顺利出版。此外,会议的筹办,还得到了长江水利委员会长江科学院、武汉长江科创科技发展有限公司和国内多家知名企业的支持与帮助。在此,我谨代表中国水利学会地基与基础工程专业委员会化学灌浆分会挂靠单位长江科学院对长期以来提供无私支持与帮助的同仁致以衷心感谢和崇高敬意。

另外,由于工作量较大、时间仓促等诸多原因,本次论文集的疏漏之处在所难免,敬请读者谅解,并提出宝贵意见。



2018 年 9 月 20 日

# 目 录

## 综 述

水电站大坝坝体贯穿性裂缝处置的实践与思考 .....	陈通权,张 彰,常震州,王泽军	2
----------------------------	-----------------	---

## 材料研究

XT101 环保型环氧堵漏材料的固化行为研究 .....	曾娟娟,陈绪港,张文超	12
水性丙烯酸盐—环氧树脂互穿网络复合灌浆材料的制备及性能研究 .....	邓淑玲,曾娟娟,黎新基,钟国锋,蔡铭辉	18
水性聚氨酯—环氧树脂互穿网络聚合物乳液灌浆材料的合成及性能研究 .....	陈绪港,杨元龙,曾娟娟,张文超	24
动水可控聚氨酯—水泥凝胶注浆材料研制与应用 .....	叶长文,李乔斌,洪佳礼,钟久安	30
环保型混凝土防护与灌浆补强新材料 .....	叶林宏,刘 宇	38
CW 系环氧基弹性嵌缝材料的制备与应用研究 .....	陈 亮,肖承京,魏 涛,汪在芹	44
纳米二氧化硅改性环氧树脂灌浆材料的制备方法研究 .....	李 娟,韩 炜,李 珍,汪在芹	50
隧道渗漏水成因及新型防水材料现场试验研究 .....	李利平,刘振华,王 升,张延欢,丁若松,屠文锋	55

## 水下修补环氧砂浆的制备及性能研究

..... 汪文涛,廖灵敏,陈亮,魏涛,汪在芹 65

## 设备研制

双液灌浆泵的原理及应用 ..... 陈小华,杨鹏 71

## 化学灌浆泵在丹江口大坝的工程应用及发展

..... 张慧,李发权,李珍,韩炜,邱本胜 75

## 问题探讨

浅析铁路隧道衬砌混凝土缺陷整治 ..... 李建伟,王满仓 83

## 高水头下考虑浆液粘度时变性的流固耦合渗透扩散机理研究

..... 景锋,韩炜,赵青,李珍,邱本胜 87

## 地下水封洞库水泥—水玻璃防渗灌浆材料耐久性试验研究

..... 邵晓妹,李珍,甘国权,李发权 95

## 示踪试验在水垫塘渗流路径分析中的应用

..... 范冬冬,孙正,付挺,王宁,李珍,韩炜 104

混凝土裂缝修补处理技术初探及应用 ..... 刘超 110

## 《环氧树脂灌注砂浆》行业标准制定及行业产品质量现状分析

..... 蒋玉川,张宇燕,王清 119

环氧砂浆检测技术方法探讨及标准化建议 ..... 张宇燕,蒋玉川,王阳 124

## 斜卡水电站堆石面板八坝深覆盖层水泥—丙烯酸盐复合灌浆技术

..... 姚昕,何巍,谭日升 129

## 施工工艺

- 某抽水蓄能电站下库大坝趾板帷幕化学灌浆试验研究  
..... 杨 猛,宋大海,俞 丰,谢锦炜 137
- 关于福清嘉儒风电场工程风机基础环松动化学灌浆工程技术讨论  
..... 余 勋,汪 俊 142
- 化学灌浆技术在复杂地质隧道工程中的应用 ..... 吴启民,高 浩,叶 谦 147
- 古盐田地质条件海湾隧道盾构竖井的堵漏和加固新技术 ..... 陈森森,王 军 151
- 山西中部引黄工程隧洞突涌水治理实践 ..... 刘 义,吴 胜,夏 伟 161
- 混凝土重力坝横缝骑缝钻孔聚氨酯灌浆工艺与止水效果分析  
..... 邱本胜,周 荣,景 锋,张 辉,黄志芳,李发权 165
- 深圳抽水蓄能电站输水隧洞高压岔管化学灌浆研究与应用  
..... 马军峰,曾 刚,李发权,刘 波 170
- 德国德累斯顿茨温格艺术宫地下扩建工程化学注浆方法进行土壤加固  
..... 张 毅,梓承茂 179
- 用 DCG 工法在海上快捷堵水工程实例 ..... 邓敬森,蔡大昌 186
- DCG 工法治理水库涵管涌水的技术应用 ..... 陈雪云,谢志方 194

## 施工应用——地基加固

- 高水头下坝体加固施工中化学补强灌浆法的应用 ..... 祝金川 200
- 运行中地铁隧道不均匀沉降基底加固处理 ..... 杨 洋,邱小佩 205
- 复合灌浆技术在风机锚栓基础加固处理中的应用研究  
..... 周建华,赵卫全,张金接,黄立维 212
- 基于微生物成因的砂土地基防渗加固技术研究 ..... 李 娜,王丽娟,李 凯,符 平 221
- 新疆哈密八大石水库断层破碎带化学灌浆与效果评价研究  
..... 陈亮,关洪涛,魏涛,汪在芹,李 珍 231

水泥—化学复合灌浆在向家坝水电站挤压破碎带防渗补强工程中的应用 .....	张健,魏涛,陈亮,肖承京	238
超细水泥在乌东德水电站上游围堰灌浆中的应用 .....	赵良呈,郭臣,景锋	244

## 施工应用——防渗堵漏

杭州地铁 1 号线渗漏水处理 .....	赵沈军,陈美玲	251
关于武汉大花岭明挖地铁站渗漏水处理方案的研究 .....	吴志平	261
水库大坝防渗堵漏施工技术 .....	谭功	269
大型构筑物地下结构涌水冒水问题的治理 .....	杨洋,梁健涛,邱小佩	275
丙烯酸盐化学注浆在公铁下穿渗漏水治理中的应用 .....	胡骏,何巍,谭日升	282
地下洞室高水头大流量涌水处理技术研究 .....	王少华,彭文祥,胡铁桥,李晶	288
重力坝坝体混凝土渗漏缺陷化学灌浆处理 .....	肖承京,周荣,郑光俊,邱本胜,李珍,汪在芹	298
化学灌浆技术在某引水隧洞渗漏缺陷处理中的应用 .....	张达,陈亮,魏涛,肖承京,汪在芹	306
CW 系列化学灌浆材料在放水隧洞渗漏处理中的应用 .....	刘佳,周璐,刘凰,李发权	312
丹江口大坝加高工程聚脲材料应用情况研究 .....	周璐,杨秀林,韩炜	317
抽水蓄能电站引水隧洞Ⅲ类围岩化学灌浆防渗补强试验研究 .....	李发权,刘波,马军峰,苗瞿	325
水工建筑物渗漏处理典型案例研究 .....	黄超群,胡铁桥,范明,曾来衡	330

## 施工应用——裂缝处理

浅谈化学灌浆在衬砌混凝土裂缝加固处理中的应用 .....	王峰	338
丹江口大坝加高工程老坝体裂缝检查与处理 .....	孙素泉,路郑郑	342

风机基础大体积混凝土裂缝加固技术研究 .....	李 凯,王丽娟,邢占清,赵卫全,符 平	349
渭天河右岸灌溉引水隧洞洞身裂缝及渗水处理 .....	黄金明	356
CW 系材料处理水工混凝土裂缝的工程实例 .....	付 挺,孙 正,邵晓妹,李 珍,韩 炜	363
多孔并联化灌工艺在混凝土裂缝修补中的应用 .....	党玉辉	371

## 其 他

抗冲磨型聚合物砂浆在高流速泄洪洞混凝土碳化处理工程中的应用 .....	易 明,郑 伟	376
哈大客运专线双城北站线间混凝土冻融防护试验 .....	田科宏,李建伟,罗 伟,屈高见	381
混凝土表面防护策略:高渗透改性环氧防水防腐涂料 .....	韦代东,曾娟娟,陈徐港	386
大渡河某水电站泄洪洞缺陷修复方案 .....	梁云环	394
大渡河某水电站泄洪洞缺陷修复施工 .....	梁云环	401
锦屏一级水电站泄洪洞混凝土缺陷处理技术 .....	刘 义,张 超,张鹏鸣	414
王甫洲水利枢纽船闸闸室混凝土抗碳化处理试验研究 .....	冯 菁,陈 亮,肖承京,杨 帆	420
水工防护修补材料的研究进展 .....	梁 慧,汪在芹,廖灵敏,肖承京,李 珍	426
碳纤维加固技术在工程上的应用 .....	曹 珂	433

## 附 录

附录 1 化学灌浆与化灌学会组织 .....	443
附录 2 我国化学灌浆行业历年学术活动 .....	454

## 综 述

# 水电站大坝坝体贯穿性裂缝处置的实践与思考

陈通权, 张 彰, 常震州, 王泽军

(杭州国电大坝安全工程有限公司, 浙江省杭州市, 310014)

**【摘要】** 水电站大坝坝体贯穿性裂缝严重威胁电厂运行安全和人们生命财产安全。如何全面、有效地预测、预防和处置贯穿性裂缝是水利水电行业的重大难问题。本文作者从全程参与的某水电站大坝坝体裂缝处置的施工实践出发, 分析了贯穿性裂缝形成的原因, 理清贯穿性裂缝处置的思路, 指出施工控制要点, 总结项目实施的经验, 为解决类似问题提供参考和借鉴。

**【关键词】** 贯穿性裂缝; 灌浆; 堵水; 补强; 大坝; 坝体

## 1 引言

### 1.1 贯穿性裂缝的定义

混凝土裂缝的一般性定义为混凝土由于内外因导致开裂形成的狭长的缝<sup>[1,2]</sup>。从混凝土裂缝的一般定义, 我们可以引申出贯穿性裂缝的定义, 即连续的贯通的裂缝。

### 1.2 贯穿性裂缝的成因

混凝土裂缝形成的原因主要有: 环境、原材料、配合比、过程控制、温差、应力、载荷等<sup>[3-11]</sup>。而大坝坝体的贯穿性裂缝属于结构性裂缝, 是由各种外载荷引起的裂缝, 包括外载荷直接引起的裂缝和在外载荷作用下结构次应力引起的裂缝<sup>[4,5,7,12]</sup>。

### 1.3 贯穿性裂缝的危害

大坝坝体贯穿性裂缝的存在将直接威胁大坝结构稳定<sup>[2,11,13,14]</sup>, 是不可忽视的大坝危害。大坝贯穿性裂缝的危害主要表现在以下几个方面:

- (1) 裂缝贯穿破坏大坝坝体主体稳定, 存在极大安全隐患<sup>[11,15]</sup>;
- (2) 廊道、坝后等出现贯穿性裂缝部位出现大的渗漏水, 水压进一步推动裂缝扩展<sup>[16]</sup>;
- (3) 渗漏水给大坝集水井抽水带来很大压力, 有水淹厂房的危险。

### 1.4 贯穿性裂缝处理一般思路

贯穿性裂缝处置思路可参照混凝土裂缝处理一般思路并结合贯穿性裂缝的特殊性给

**作者简介:** 陈通权(1989—), 男, 浙江瑞安人, 工程师, 主要从事各类工程建筑物的缺陷处理技术和项目管理。E-mail: chen\_tq@ecidi.com。

出,即优先采用发泡膨胀型化学灌浆材料对大漏水进行封堵,再采用高强型化学灌浆材料对坝体裂缝部位进行补强,尽量恢复大坝坝体的整体性和稳定性<sup>[2,17]</sup>。

### 1.5 某水电站大坝坝体裂缝概况

2017年4月1日凌晨,葛洲坝项目部19号坝段集水井值班人员发现:在集水井抽排设备集中抽排的情况下,集水井水位明显上涨,远远超出正常抽排能力。在发现此异常情况后,值班人员立即向项目部领导进行了反映,项目部领导及相关人员得知此情况后,会同监理及业主相关人员紧急赶往施工现场,在进行了简要讨论和分析后,立即对左岸大坝廊道进行了逐一排查,发现:14号坝段EL.1005m~EL.1063m区间的各层廊道均出现不同程度的漏水现象,漏水量大,各层廊道的合计漏水量约为700m<sup>3</sup>/h,具体漏水情况见表1,图1至图4。

表1 各层廊道裂缝及漏水情况汇总表

漏水部位	裂缝形式或走向	漏水量情况	裂缝宽度	漏水总量	备注
EL.1100m廊道	横缝开裂(呈环向)	没出现漏水现象	1cm	/	廊道漏水 总量约 700m <sup>3</sup> /h
EL.1063m廊道	沿廊道呈环向开裂 (包括廊道底板)	漏水量大、漏水呈 有压喷射状态	上游缝宽4~5mm、 下游缝宽2~3mm	390m <sup>3</sup> /h	
EL.1021.5m 廊道	沿廊道呈环向开裂 (包括廊道底板)	漏水量大、漏水呈 有压喷射状态	2.5~3.2mm	240m <sup>3</sup> /h	
EL.1005m廊道	裂缝沿廊道呈环向 开裂,并向下游延 伸至贯穿观测房 (包括廊道底板)	漏水量较大、漏水 呈有压线状	0.6~1mm	40m <sup>3</sup> /h	
EL.1002m (1号纵向排水 廊道)	裂缝沿廊道呈环向 开裂(不包括廊道 底板)	漏水量较大、漏水 呈有压线状	0.3~0.5mm	20m <sup>3</sup> /h	
EL.1002m (2号纵向排水 廊道)	裂缝沿廊道呈环向 开裂(不包括廊道 底板)	漏水量较大、漏水 呈有压线状	0.2~0.3mm	10m <sup>3</sup> /h	
EL.1002m (3号纵向排水 廊道)	裂缝沿廊道呈环向 开裂(不包括廊道 底板)	漏水量较小、漏水 呈水滴状	0.1~0.2mm	/	
坝后下游面	从××号坝段右侧 向左侧延伸	裂缝1:漏水量较 小;裂缝2:漏水量 较大、漏水呈有压 线状喷射;裂缝3: 有一处漏水点	0.4~0.6mm	/	

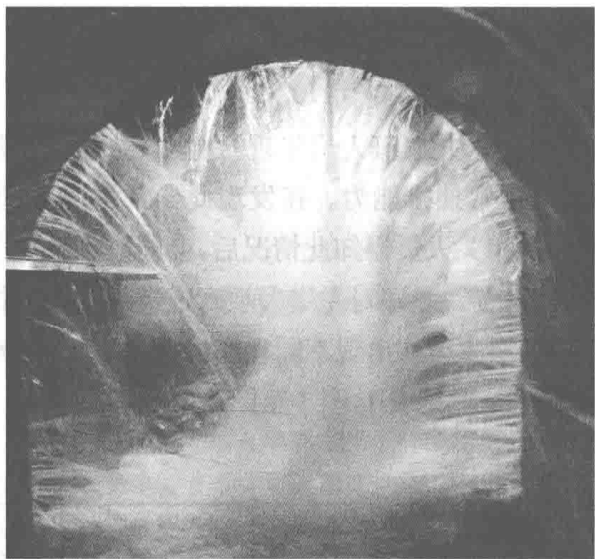


图1 EL. 1063m 廊道漏水情况

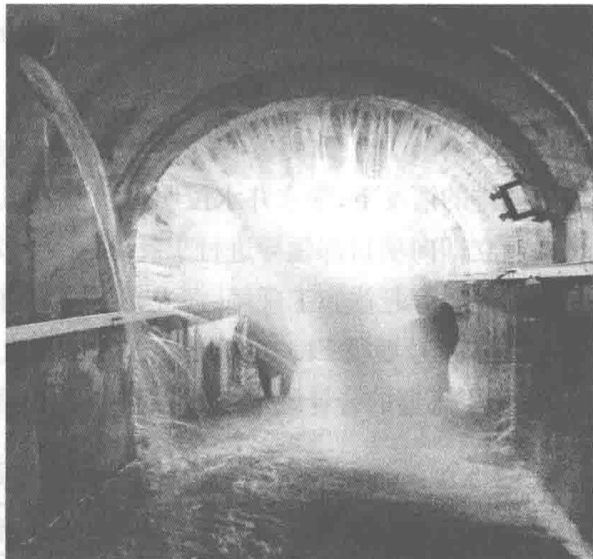


图2 EL. 1021.5m 廊道裂缝漏水情况

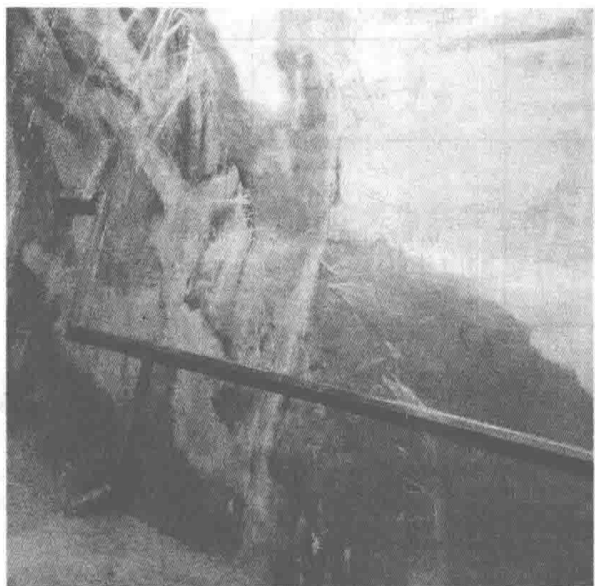


图3 EL. 1005m 廊道裂缝漏水情况



图4 EL. 1002m(1号纵向排水廊道)裂缝漏水情况

## 2 原因分析

形成裂缝的原因有很多,但形成贯穿性裂缝的原因则比较单一,主要是外荷载引起的开裂。一方面,该水电站大坝左岸和右岸均为直形坝体,呈一定角度,交界处弧形过渡。而发生贯穿性裂缝的坝段正是处于该过渡区,所以可以推测该区域为应力集中点,水压以及坝体自重产生的内应力在该坝段集中。另一方面,该水电站大坝右岸为黏土心墙堆石坝,左岸和过渡区为碾压混凝土重力坝,过渡区正好位于坝基斜坡处,左右岸存在相对位移的可能性。

### 3 处置总体思路

根据水电站设计要求《混凝土裂缝化学灌浆施工技术要求》，并结合现场实际情况，确定了该贯穿性裂缝的处置总体思路，即按先堵水后补强加固的方案实施。一期堵水处理采用穿缝深孔化学灌浆方案，穿缝部位距离大坝上游坝面 4~5m，同时考虑到缝面串通行性较好，相邻穿缝部位相距 4m 左右，灌浆材料采用 LW/HW 水溶性聚氨酯柔性灌浆材料，尽量在大坝上游侧封堵漏水，为坝体下游侧补强加固创造条件。二期补强集中于坝体下游侧，遵从自低到高、自上游向下游的原则，布孔原则为间排距 8m(水平)×8m(高度)，成梅花形布置，最下游孔距下游坝面约 7.8m，灌浆材料采用 HK-G-2 环氧灌浆材料。

### 4 施工控制要点

#### 4.1 堵水施工控制要点

##### 4.1.1 开槽、封缝和埋管控制

对于廊道内的所有渗水裂缝，须凿除裂缝两侧 20cm 内的预制板，开槽、封缝和埋管的深度必须大于廊道内预制板的厚度，至坝体混凝土。

##### 4.1.2 布孔、放孔和钻孔

按设计孔位布置图在不同廊道分批钻设灌浆孔，布孔需避开坝体监测仪器。采用地质钻钻孔，孔径 75mm，终孔孔深按距上游坝面不小于 4.0~5.0m 控制。钻孔过程应严格按设计角度及孔深控制，严禁超设计参数，同时做好钻孔记录，特别是孔内涌水陡增时的孔深记录。

##### 4.1.3 堵水灌浆材料的选择

结合工程实际和类似项目经验，采用 HW 和 LW 水溶性聚氨酯化学灌浆材料进行堵水。LW 是一种快速高效的防渗堵漏化学灌浆材料，对于各类工程中出现的大量涌水、漏水等有独特的止水效果，已在大量的工程中得到广泛应用。其特点是具有良好的亲水性能，水既是稀释剂又是固化剂。HW 浆液遇水后先分散乳化，进而凝胶固结。固结体为弹性，可遇水膨胀，具有弹性止水和以水止水的双重功能，适用于变形裂缝的防水处理。HW 与 LW 可以以任何比例混合使用，以配制不同强度和不同水膨胀倍数的材料用于不同现场工况，LW 和 HW 不同混合比例的性能指标见表 2。