

SHUIGONG HUNNINGTU JIANZHUWU JIANCE YU XIUBU JIAGU JISHU

水工混凝土建筑物检测与 修补加固技术

——第十二届全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集

主编 鲁一晖 孙志恒



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

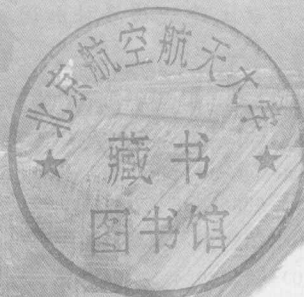
014005287

TV698-53
01

水工混凝土建筑物检测与 修补加固技术

——第十二届全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集

主 编 鲁一晖 孙志恒
参编人员 付颖千 岳跃真 黄国兴 蔡建成



TV698-53

01



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



北航

C1692523

内 容 提 要

本论文集选择录了 53 篇文章, 内容包括国内近几年来在水工混凝土建筑物的检测、评估与修补加固等方面的内容, 其中涉及了水工混凝土建筑物的检测与评估、修补加固及工程实例、新技术与新材料等。本论文集作者都是长期从事水利水电工程现场检测、安全评估与修补加固工作的专家 and 专业技术人员, 具有丰富的工程实践经验和基础理论知识。

本论文集内容丰富, 实用性强, 可供广大水利水电工程技术人员阅读, 也可供高等院校、科研、设计、施工及管理单位人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

水工混凝土建筑物检测与修补加固技术 : 第十二届
全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集 / 鲁一
晖, 孙志恒主编. — 北京 : 中国水利水电出版社,
2013.9

ISBN 978-7-5170-1260-3

I. ①水… II. ①鲁… ②孙… III. ①水工建筑物—
混凝土结构—学术会议—文集 IV. ①TV698-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第224724号

书 名	水工混凝土建筑物检测与修补加固技术——第十二届 全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集
作 者	鲁一晖 孙志恒 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 17.25 印张 410 千字
版 次	2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
印 数	001—800 册
定 价	78.00 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

会要編《東文館會通文淵閣》**則**世傳**言**士第新工本圖全

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。但是,随着运行年限的增加及运行条件的变化,大部分水工混凝土建筑物逐渐步入“中老年”,各种老化和病害问题已逐渐显露出来,有些已严重影响工程安全运行。水工混凝土建筑物修补加固工作已成为我国当前水利水电行业十分突出的问题和难题,需要长期重视和研究。党的十八大报告多处涉及水利工作,并把水利放在生态文明建设的突出位置。2013年,全国病险水库除险加固工作基本完成,已经除险加固的水库发挥了显著的经济效益和社会效益,同时,全国大中型病险水闸除险加固工作已经逐步开展。随着国家对病险水库加固工作的大量投入,对我们从事水利水电行业的同仁提出了更高的要求,要求我们与时俱进,在水工混凝土建筑物的病害检测、诊断与健康评估、寿命预测、修补加固的新材料、新技术、新工艺和新理论等方面开创新的局面。

全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会每两年召开一次，并正式出版反映当前最新技术和动态的论文集。经过筛选，本次论文集收集了53篇论文，其中涉及了水工混凝土建筑物的检测、评估、水工混凝土建筑物修补加固新材料、新技术及工程实例等。这些论文理论联系实际，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。反映了近年来水工行业科技工作人员的新思想、新成果、新技术和新观点。本论文集的出版无疑会对我国在该领域的技术与进步起着推动

作用。同时，对广大从事水工建筑物检测、评估、修补加固及运行管理工作的工程技术人员、修补新材料和修补新技术研发人员而言，也是一本极有价值的参考技术文献。

由于时间仓促，亦难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

《全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集》编委会

2013年9月

水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集，是水利部为深入贯彻落实科学发展观，推动水利科技进步，提高水利工程建设质量，促进水利行业又好又快发展，特组织编印的。本书汇集了全国水利系统从事水工混凝土建筑物修补加固工作的工程技术人员、研究人员、管理人员等，在各自专业领域内，结合工程实际，对水工混凝土建筑物修补加固技术进行了系统的总结和归纳。本书共分五大部分：第一部分为绪论，主要介绍了水工混凝土建筑物修补加固技术的发展概况、现状及趋势；第二部分为检测与评估，主要介绍了水工混凝土建筑物检测与评估的方法、标准及规范；第三部分为修补加固材料，主要介绍了各种修补加固材料的性能、特点及应用；第四部分为修补加固技术，主要介绍了各种修补加固技术的施工工艺、质量控制及验收标准；第五部分为工程实例，主要介绍了各种水工混凝土建筑物修补加固工程的实例及经验教训。本书可作为水利系统从事水工混凝土建筑物修补加固工作的工程技术人员、研究人员、管理人员等的参考用书，也可供从事水工混凝土建筑物修补加固工作的工程技术人员、研究人员、管理人员等参考。

本书共分五大部分：第一部分为绪论，主要介绍了水工混凝土建筑物修补加固技术的发展概况、现状及趋势；第二部分为检测与评估，主要介绍了水工混凝土建筑物检测与评估的方法、标准及规范；第三部分为修补加固材料，主要介绍了各种修补加固材料的性能、特点及应用；第四部分为修补加固技术，主要介绍了各种修补加固技术的施工工艺、质量控制及验收标准；第五部分为工程实例，主要介绍了各种水工混凝土建筑物修补加固工程的实例及经验教训。本书可作为水利系统从事水工混凝土建筑物修补加固工作的工程技术人员、研究人员、管理人员等的参考用书，也可供从事水工混凝土建筑物修补加固工作的工程技术人员、研究人员、管理人员等参考。

目 录

前言

一、综 述

3 《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》综述

张家宏 鲁一晖 孙志恒 岳跃真

9 丰满发电厂一期厂房排架加固

苏加林 张殿双 付 欣 张小涛

13 广州抽水蓄能电站水工运行经验总结与思考

华丕龙 张明华 刘海洋

19 《江苏省水工建筑物混凝土耐久性技术规范》综述

朱炳喜 王珍兰 肖志远

24 引汉济渭调水工程总体布局方案论证

刘 斌 彭穗萍

32 寒冷地区混凝土坝上游面冻融剥蚀破坏的修复与防护

付继东 杨东伟 李雪冬 黄镇浩

37 东江水源工程输水隧洞裂缝处理分析

吴 穹 曹小武

43 布尔津山口混凝土拱坝施工期裂缝处理与防渗措施

丁照祥 李新江 徐元禄

51 浅谈粘贴碳纤维补强加固桐溪渡槽的设计

韩 峰 沈贵华

56 大型渠道混凝土裂缝成因分析及预防措施

胡智农 韦 华 单国良 余 熠 杨 黎

61 茨榆山水库除险加固设计方案与施工

高春波 董殿江

- 67 某水闸闸墩修补加固方案优化设计及施工
李红文 孙从炎 裘建平
- 71 某倒虹吸箱涵与桥墩碰撞受力研究及其修补方案
赵 妍 孙粤琳 王荣鲁 吕小彬

二、检测与评估

- 81 渡槽结构病害检测评级与安全评估
张家宏 黄 昊
- 85 黄坛口水电站引水隧洞检查及缺陷处理
施永新
- 90 冲击弹性波技术在水工混凝土结构无损检测中的应用
吕小彬 鲁一晖 王荣鲁 吴佳晔 岳跃真
- 97 李家峡水电站主坝 2087 层右岸扬压力异常检查及处理
李 媛
- 102 向家坝水电站消力池汛期水下检查方法探讨
戴雷霓 俞洪明 孙志恒 邱祥兴
- 107 龙羊峡水电站大坝定期检查工作回顾
王 鑫 张 治 费新峰
- 112 富春江水电站 220kV 开关站构架混凝土病害检测及修补
朱德康
- 116 三维超声层析成像技术在渡槽病害检测中的应用
牛志国 陆 俊 颜天佑
- 119 盾构隧道结构检测与服役状态评定
袁 勇
- 125 基于红外热成像探查技术的埋地管道渗漏研究
赵丽娜 朱新民 金可礼 陈春浩 岳松涛
- 130 CCD 垂线坐标仪在白山大坝安全监测中的应用
戴江鸿 荆 凯 田 甜
- 135 潘家口水利枢纽西城峪副坝沉陷资料分析
付立文 江岩麓 张晓刚

三、修补加固及工程实例

- 143 公伯峡水电站溢洪道底板缺陷修复
孙志恒 鲍志强 杨勇福 李得英
- 148 松山河口水电站引水隧洞防渗处理
刘 纯 鲍志强 杨延成 陈 鑫
- 152 西土城沟渠道混凝土直墙防碳化处理
张春禄 王慧智 郑建华
- 156 安徽天马桥水电站拱坝竖向裂缝综合处理
时永年 王龙祥
- 160 某供水工程大坝表孔溢洪道混凝土表面防护技术
甄 理 赵成先 陈 鑫 杨延成
- 165 水工混凝土建筑物缺陷的修补
巩 娜 巩加仕 殷志才
- 170 SK 单组分聚脲在 PCCP 管承插口渗漏处理中的应用
杨伟才 段杰辉 李守辉 马 宇
- 174 某水库大坝溢流堰面混凝土裂缝处理
裘建平 周苏波 李红文
- 178 玉渊潭进水闸混凝土表面防碳化及修补加固
吴 云 甄 理 陈 鑫 杨延成
- 182 某电站上水库前池裂缝水下修补
覃林涛 崔博涛 赵 磊
- 186 广西三利水库溢洪道控制段闸墩混凝土修补加固技术
彭 琦 彭 柳 位 敏
- 191 混凝土原材料的选择与施工缝处理
巩 娜 殷志才 巩加仕
- 195 京密引水渠首闸墩混凝土缺陷处理
兰驹东 孙乙升 穆 超
- 200 某水电站水垫塘混凝土表面缺陷修补施工技术
岳名涛 李 焰
- 206 某水电站面板混凝土裂缝成因及处理措施
张 伟

- 210 浅议拉西瓦水电站钢衬接触灌浆施工
姚 浩

四、新技术与新材料

- 215 SK-EC 高韧性环氧防护涂层在水工隧洞防护工程中的应用
杨伟才 李敬玮 赵 波

- 220 潘家口水库大坝溢流面缺陷修补现场试验
张会文 蔡建成 孙志恒 李 萌

- 225 钢管筒混凝土管道施工及安装新工艺应用
马从茗 巩 娜 曲玉增

- 229 控制性灌浆技术在某水电站围堰工程中的应用
石本福 石 卉

- 233 高落差涵洞事故门井筒加固技术应用研究
马 军

- 239 聚氨酯低压注浆技术在桃林口水库大坝渗漏缺陷处理中的应用
董殿江 高春波

- 244 钢纤维硅粉混凝土在节制闸混凝土补强加固中的应用
张林明

- 248 聚合物纤维砂浆在寒冷地区水工建筑物修补中的应用
张守杰 张 恒 刘兴元

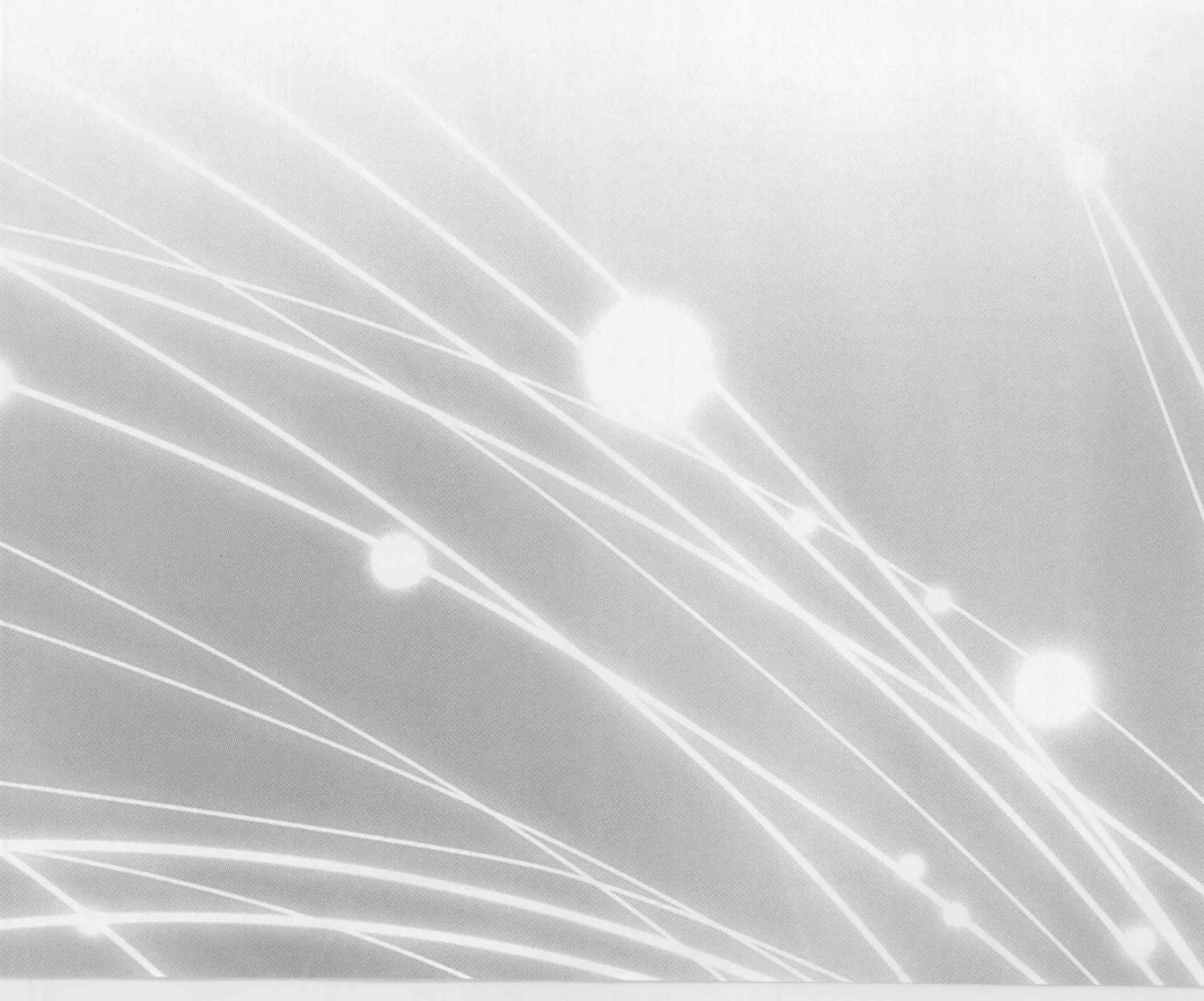
- 252 抽水蓄能电站堆石坝混凝土面板裂缝处理
郝 峰 朱小锋 赵 磊 张 雄

- 255 静态爆破技术在陈村水坝底孔扩机围堰拆除中的应用
赵 元

- 259 某挡潮闸闸室底板混凝土裂缝化学灌浆处理技术
朱炳喜 王珍兰 王小勇 周少亭

- 263 化学灌浆新技术在混凝土修复方面的应用
尹作仿 余 强

一、综 述



《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》综述

张家宏 鲁一晖 孙志恒 岳跃真

(中国水利水电科学研究院)

摘要:《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》为电力行业标准,主要内容包括水工混凝土结构修补加固的基本规定、裂缝修补、渗漏处理、剥蚀修补、结构补强加固及水下修补加固技术等,本文进行了综合介绍。

关键词:水工建筑物 技术规程 综述

1 本标准制定的原则与适用范围

为了做好水工混凝土建筑物维护管理工作,规范其缺陷修补加固的程序和方法,提高其运行的安全和延长其使用寿命,特制定本规程。

本规程规范了水电水利工程混凝土建筑物修补加固技术要求,标准技术要求突出了水工混凝土修补加固的特点,符合我国水电水利建设发展的现状,与国内有关标准相协调,借鉴了国外相关标准。

本规程规定的水工混凝土建筑物修补加固的技术要求,适用于已建和在建水工混凝土建筑物的缺陷处理和修补加固。

2 总则与基本规定

水工混凝土建筑物的修补加固应按照《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程》(DL/T 5251—2010)的要求进行缺陷检测和评估,进行修补加固设计,制定施工方案和质量控制标准。

在修补加固工程中,遵循以下原则:

- (1) 鼓励采用新材料、新工艺和新技术,但应经过试验和论证。
- (2) 修补加固方案应综合考虑缺陷形成机理、修补材料与施工环境等各方面因素确定,做到技术可行、质量可靠、经济合理、安全耐久。
- (3) 修补加固的材料,应与被修复的基层混凝土及其他修补材料的性能相匹配,并满足设计要求。
- (4) 在新修补材料与基层混凝土接触面上宜采用界面剂。
- (5) 施工采用水泥基材料修补时环境温度宜为 5°C 以上,采用聚合物材料修补时温度按照材料本身使用条件确定。
- (6) 修补加固应避免损伤原结构,避免对相关的结构、构件和地基基础造成不利的影响。
- (7) 修补加固后应进行质量检查,结果不满足要求时,应进行处理。

3 材料选用原则

按照缺陷和修补加固方法对材料的选择要求进行规定。

3.1 裂缝修补材料

(1) 表面裂缝与浅层裂缝的修补材料选用原则：

- 1) 涂刷或喷涂法宜选用柔性涂料。
- 2) 粘贴法宜选用柔性板材。
- 3) 凿槽嵌填法可选择刚性材料或柔性材料。

(2) 当采用灌浆法对深层裂缝和贯穿性裂缝进行补强加固时，灌浆材料宜选用环氧类浆材。

3.2 渗漏处理材料

渗漏处理宜选亲水性好的无机材料，并应具有水中固化速度可调、可灌性和耐久性好等特点。

(1) 表面粘贴法处理结构缝渗漏宜选用高分子卷材，凿槽粘贴材料宜选用柔性止水材料。

(2) 采用锚固法处理结构缝渗漏可选用高分子卷材或涂料、紫铜片、不锈钢板等锚固防渗材料，锚固件可选用锚固螺栓、钢压条等。

(3) 灌浆法处理结构缝渗漏灌浆材料选用原则：

- 1) 对有伸缩变形的结构缝，应选用弹性好、延伸性大的柔性灌浆材料。
- 2) 对蓄水后建筑物处于受压工作状态的结构缝，应选用刚性灌浆材料。

(4) 顶水灌浆法处理集中渗漏灌浆材料选用原则：

1) 选用化学浆材时，应按照《水工建筑物化学灌浆施工规范》(DL/T 5406—2010)的规定配置浆液。

2) 选用水泥浆材时，宜采用水灰比为 0.5 : 1 的浆液直接灌注。

(5) 导管堵漏法处理集中渗漏堵漏材料选用原则：

- 1) 能在潮湿和动水条件下速凝，且凝固时间可调控。
- 2) 能在潮湿和动水条件下与孔壁粘结牢固。

(6) 灌浆法处理散渗灌浆材料宜选用化学浆材，具体浆液品质可通过试验选定。

(7) 防渗面板法处理迎水面散渗，面板材料宜选用水泥混凝土、沥青混凝土、三元乙丙橡胶片材、氯丁橡胶片材、聚氯乙烯片材、聚乙烯片材、橡胶布及其他防水材料。

(8) 涂抹法、涂刷或喷涂法处理大面积散渗，材料宜选用聚合物水泥砂浆、聚合物砂浆或聚合物涂料。

3.3 冻融剥蚀修补材料

(1) 应根据混凝土剥蚀的原因进行选择，修补材料的性能不应低于修补部位基层混凝土设计指标，选用的修补材料与基层混凝土的弹性模量、线膨胀系数应相近。

(2) 对于小面积修补，宜优先考虑聚合物水泥混凝土或砂浆、聚合物砂浆。

(3) 表面涂层应选用具有防渗、耐水、抗冻及耐老化特性的涂料。

3.4 磨损和空蚀修补材料

(1) 根据混凝土表层磨损的情况、修补环境和设计要求,应选用高标号抗冲磨材料或高韧性抗冲磨材料。

(2) 推移质冲磨破坏的修补可选用高强硅粉水泥混凝土、高强铁矿石硅粉水泥混凝土、铁轨嵌高强混凝土、高弹性抗冲磨砂浆、高韧性聚合物砂浆及铺设钢板等。

(3) 对混凝土磨损及空蚀较严重的部位,宜选用高强水泥混凝土或聚合物水泥混凝土修复。高强水泥混凝土内可掺用硅粉、纤维、掺合料、密实剂,不宜掺用引气剂。

(4) 表面修补涂料应选择具有防渗、耐水、耐老化及抗冲磨等特性的材料。

(5) 对混凝土磨损深度小于 2cm 的部位,宜选用聚合物砂浆修复。

4 混凝土裂缝修补

4.1 裂缝修补原则

(1) 裂缝修补应按成因与性状选择恰当的修补方法。

(2) 应根据裂缝性质选择合适的修补材料和修补时机。

4.2 裂缝修补方法

混凝土裂缝修补分为表面与浅层裂缝、深层与贯穿裂缝两大类。表面裂缝与浅层裂缝的修补可选用涂刷或喷涂法、粘贴法和凿槽嵌填法等方法,其中缝口宽度大于 0.5mm 的裂缝宜选用凿槽嵌填法。深层和贯穿裂缝的修补应采用灌浆法。

本规程对各种裂缝修补方法的施工均作了相应的规定。由于《水工建筑物化学灌浆施工规范》(DL/T 5406—2010) 已对化学灌浆修补裂缝进行了详细规定,故参照执行即可。而《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2012) 中并未涉及混凝土结构裂缝施工的内容,故本规程进行了详细的规定。

5 混凝土渗漏处理

5.1 渗漏处理原则

(1) 渗漏处理宜在渗漏早期、低水位或无水情况下进行。

(2) 渗漏处理宜在渗漏水源处截堵,并应遵循“上堵下排、堵排结合”的原则。

(3) 当无法在水源处截堵或不能降低迎水面水位实施堵漏时,可在背水面堵漏。背水面堵漏应遵循“先排后堵、排堵结合”的原则。

(4) 对于混凝土结构迎水面裂缝、重要部位的裂缝、层间缝、结构缝、集中渗漏和散渗漏等混凝土渗漏,应进行专项设计采用综合方法处理。

5.2 渗漏处理方法

按照结构形式和几何形状将渗漏分为裂缝与层间缝渗漏、结构缝渗漏、集中渗漏和散渗漏。裂缝与层间缝渗漏处理可采用灌浆法、凿槽嵌填法、引排止漏法、涂刷法、喷涂法、粘贴防渗层法等。结构缝渗漏处理可采用凿槽嵌填法、粘贴法、锚固法、灌浆法、钻孔隔离法、综合法、补灌沥青等。集中渗漏处理可采用顶水灌浆法、导管堵漏法、引排灌

堵法。散渗处理可采用灌浆法、防渗面板法、涂抹法、涂刷法、喷涂法。

本规程对各种渗漏处理方法的施工以及质量检查的方法均作了相应的规定。

6 混凝土剥蚀修补

6.1 冻融剥蚀修补

(1) 冻融剥蚀修补材料应符合下列要求：

1) 修补材料的设计指标应根据建筑物设计要求确定，抗压强度等级应不小于 C30，抗冻等级应符合《水工混凝土结构设计》(DL/T 5057—2009) 的规定且不小于 F200，修补材料与基层混凝土之间的粘结强度应大于 1.0MPa 且满足设计要求。混凝土修补材料应掺用引气剂和引气型减水剂，其品质应符合《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100—1999) 的规定。

2) 混凝土、砂浆的配合比应通过试验确定，抗冻性能试验按《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150—2001) 规定的快冻试验方法执行。

(2) 冻融剥蚀的修补施工应符合下列规定：

1) 基面清理应凿除冻融损坏的基层混凝土及脱空的混凝土，直至出露新鲜坚硬的混凝土面。清洗干净后涂刷界面剂。

2) 当采用水泥砂浆修补时，一次涂抹厚度不宜大于 2cm，超过 2cm 时应分层涂抹；当采用混凝土修补时，一次浇筑厚度不宜大于 20cm，超过 20cm 时应进行分层浇筑，适当布设插筋，每层混凝土浇筑后应及时振捣。顶层砂浆或混凝土表面应抹光，并及时养护。

3) 选用聚合物砂浆修补时，总厚度不宜大于 3cm，基层混凝土强度等级应不低于 C25，施工时基面混凝土应干燥，若无法形成干燥条件，应选用亲水界面剂。

4) 冻融剥蚀深度小于 0.5cm 时，基面应打磨清理至新鲜坚硬的混凝土面，并清洗干净，干燥后宜在混凝土表面涂刷聚合物涂料。

6.2 磨损和空蚀修补

(1) 磨损和空蚀修补材料应符合下列要求：

1) 修补材料与基层混凝土之间的粘结强度应大于 2.0MPa 且满足设计要求。

2) 插筋宜采用螺纹钢筋，钢筋品种、直径、锚固端胶凝材料等应满足设计要求。

(2) 磨损和空蚀的修补施工应符合下列规定：

1) 当混凝土磨损和空蚀深度大于 2cm 时，凿除坑深度应大于 15cm，并布设插筋和钢筋网。插筋直径与深度、布置形式等应满足设计要求。

2) 选用聚合物砂浆修补时，基层混凝土强度等级应不低于 C25，施工时要求基面混凝土干燥。

6.3 钢筋锈蚀引起混凝土剥蚀的修补

钢筋锈蚀引起混凝土剥蚀的修补方法包括剥蚀混凝土修补、涂层保护和使用阻锈剂等。

(1) 修补材料应符合下列要求：

1) 薄层修补材料宜选用抗渗等级不低于 W12 的水泥砂浆、聚合物水泥砂浆；对遭受严重侵蚀的部位可选用聚合物砂浆；当修补厚度大于 10cm 时应选用抗渗等级不低于 W12 的水泥混凝土、聚合物水泥混凝土。

2) 对氯离子侵蚀引起的钢筋锈蚀的修补，应掺用钢筋阻锈剂。

(2) 钢筋锈蚀引起混凝土剥蚀修补施工应符合下列规定：

1) 对已生锈钢筋进行除锈、涂刷阻锈剂。钢筋截面不满足设计要求时应按设计要求补焊钢筋或植筋。

2) 混凝土或砂浆养护至设计龄期后表面采用涂层防护。

3) 涂层应具有抗渗、防碳化及耐老化等特性。位于水下和水位变化区的涂层还应具有耐水性及在干湿交替环境下耐老化的特性。

4) 涂层与混凝土之间粘结强度应大于 0.8MPa；有抗冲磨要求部位的涂层应具有良好的抗冲磨性能，其抗拉强度应大于 15MPa，涂层与混凝土之间的粘结强度应大于 2.0MPa。

7 混凝土结构补强加固

混凝土结构补强加固方案应根据结构的安全和耐久性要求、结构的缺陷情况及施工的可行性等制定。应保证新增构件和部件与原结构连接可靠，新增截面与原截面粘结牢固，形成整体共同受力；应避免对未加固部分、相关的结构、构件和地基基础造成不利的影响。

混凝土建筑物补强加固可采用置换混凝土法、增大截面法、粘贴钢板法、灌浆法、预应力法、粘贴纤维复合材法、植筋法等，各处理方法的适用范围可按表 1 的规定执行。

表 1 结构补强加固方法及适用范围

序号	处理方法	适用范围
1	置换混凝土法	低强混凝土
2	增大截面法	混凝土结构的板、梁及柱结构和一般建筑物的加固
3	粘贴钢板法	钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的加固，如混凝土板、梁及柱；闸墩、隧洞衬砌等
4	灌浆法	混凝土结构的裂缝、混凝土内部不密实
5	粘贴纤维复合材法	钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏心受压和受拉构件的加固，如混凝土板、梁及柱；闸墩、隧洞衬砌等
6	预应力法	结构或构件因承载力、刚度及抗裂不足的补强加固，如闸墩、深层或贯穿裂缝、抗滑稳定不足的基础锚固等
7	植筋法	钢筋混凝土结构的锚固

本规程附录 C 对增大截面法、粘贴钢板法、粘贴纤维复合材法以及植筋法材料选用原则，加固时构造要求以及施工要求等作了详细规定。

8 水下修补

8.1 一般规定

本规程涉及的潜水作业安全应按《空气潜水安全要求》（GB 26123—2010）执行，潜

水员水下用电应按《潜水员水下用电安全技术规范》(GB 16636—1996)执行,空气潜水减压技术应按《空气潜水减压技术要求》(GB/T 12521—90)执行,并要求携带水下照明、摄像、录像和通信设备,全程监控。修补加固工程设计之前,应对缺陷部位进行水下检查,水下检查应编写检查大纲,查明缺陷位置、成因、范围和损伤程度,以及水流流速、水温、水质和水深等。修补加固工程水下施工之前,应对缺陷部位、状态进行水下复查,验证修补设计的合理性,并编写复查报告。

本规程也对水下作业的环境条件和所用材料进行了相应的要求。

8.2 水下修补加固方法

水下修补加固可采用潜水法、水下机器人法(ROV)、封堵门法、钢围堰法等方法。

钢围堰法适用于水深较浅部位的水下修补;封堵门法适用于各种水深的闸室、孔洞部位的修补;水下机器人法适用各种深度,尤其是超过60m以上的超大深度的水下作业;潜水法适用各种水下修补。

同时要求水下修补加固施工应有潜水员配合。

8.3 水下修补加固专项技术

水下修补加固技术包括水下清理、水下切割凿除、水下钻孔、水下锚固、水下铺贴、水下灌浆、水下浇筑、水下清淤、水下爆破、水下钢结构切割和焊接等。

本规程对上述水下修补加固技术的施工关键问题均作了相应规定。

8.4 水下缺陷的处理方法

针对混凝土裂缝、渗漏以及剥蚀提出水下处理方法,如下:

(1) 水下裂缝处理可采用粘贴法、凿槽嵌填法、灌浆法等,适用于混凝土结构迎水面裂缝的水下处理。

(2) 水下渗漏处理可采用粘贴法、凿槽嵌填法、灌浆法、防渗面板法等,适用于混凝土结构迎水面渗漏的水下处理。

(3) 水下剥蚀处理可采用填充法、填充锚固法等,适用于磨蚀、空蚀和钢筋锈蚀引起的混凝土剥蚀缺陷的处理。

本规程通过结构示意图直观反映了上述水下缺陷处理方法,并对施工关键技术进行了详细的规定。

9 结论

《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》制定工作自启动以来,编制组收集了大量国内外工程资料,对水工混凝土建筑物的修补加固技术进行了综合分析研究,为制定工作奠定了坚实的基础。在总结实践经验和科研成果、吸收先进技术以及广泛征求意见的基础上,提出了水工混凝土建筑物修补加固的技术要求。填补了我国水工混凝土建筑物修补加固技术标准的空白。