

# 水工混凝土建筑物 检测、评估与修补加固

——第十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

付颖千 王国秉 副主编



海洋出版社

# 水工混凝土建筑物检测、 评估与修补加固

第十届全国水工混凝土建筑物修补  
加固技术交流会论文集

鲁一暉 孙志恒 主 编

付颖千 王国秉 副主编

海洋出版社

2009年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土建筑物检测、评估与修补加固:第十届全国水工混凝土建筑物修补加固技术交流会论文集/鲁一暉,孙志恒主编. —北京:海洋出版社,2009. 10

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7587 - 2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 187613 号

责任编辑:张晓蕾 张 荣

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

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:23.75

字数:550 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

2009年金秋时节,我们迎来了新中国成立60周年的华诞。60年的时光如水,60年的岁月如歌。60年来,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,产生了巨大的社会效益和经济效益。但是,水工混凝土建筑物和其他建筑物一样,建成投入运行后,也会逐渐步入“中老年”,各种老化、病害问题逐渐显露出来,有些将严重影响工程安全运行。水工混凝土建筑物检测、评估与修补加固工作已成为当前我国水工界十分突出的问题和难题,需要长期重视和研究。

为保障国民经济的可持续发展,随着国家对病险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水电站大坝安全定期检查工作的开展,对水工建筑物的耐久性问题,已经成为21世纪重要关注焦点之一。时代向我们从事这方面工作的科技人员提出了更高的要求,促使我们调动全行业的技术力量,相互协作、攻坚克难。在水工混凝土建筑物的病害检测、评估和修补加固的新材料、新技术、新工艺和新理论等方面,我们要与时俱进,实现跨越。

本论文集征集了60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,其中涉及了老坝的检测与安全评价、水工混凝土抗冲磨和防渗技术新进展,水库的除险加固技术,修补加固的新材料与新技术研究和应用等。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。

本论文集是中国水利学会水工结构专业委员会,混凝土建筑物修补和加固技术分委会组织编写的第十本论文集,它凝聚着作者的心血,标志着混凝土建筑物修补和加固技术分委会走过的20多年的发展历程,它的出版无疑会对我国在该领域的技术发展进步起到了推动作用。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的研究开发人员而言,也是一本有价值的参考文献。

# 目 录

## 一、综述

- 渠道建筑物混凝土防护新材料及渡槽伸缩缝快速修补技术…………… 孙志恒(3)
- BP神经网络技术在碾压混凝土配合比设计中的应用…………… 李 蓉 鲁一晖(10)
- 安哥拉 Gandjelas 混凝土重力坝除险加固设计与施工…………… 屠清奎 孙春雷 柯敏勇(16)
- 混凝土结构碳纤维复合材料加固技术…………… 王国秉 孙志恒 李守辉 夏世法(23)
- 高寒地区水工混凝土建筑物施工质量缺陷原因分析及处理…………… 詹登民 邓 婷(30)
- 高拱坝上游面增设柔性防渗层方案现场试验…………… 马 宇 李守辉 孙志恒(36)
- 三峡水利枢纽工程泄洪深孔过流面的运行情况 & 检修效果分析  
…………… 范进勇 谭大文 李轲(40)
- 几种水工建筑物表面缺陷修补新技术简介…………… 王龙华 薛 龙(44)
- 浅析低弹模纤维提高混凝土耐久性机理及补强加固工程中应用…………… 胡志远(49)
- 滑坡治理方法的现状及展望…………… 李炳奇 夏新利(53)

## 二、检测技术与安全评估

- 黏贴钢板加固钢筋混凝土梁的有限元分析…………… 刘海祥 屠庆奎 柯敏勇(61)
- 隧洞低强混凝土检测方法初探…………… 赵明志 王戎 张 韦 董海霞(72)
- 某进水闸钢筋混凝土胸墙裂缝修补失效分析…………… 柯敏勇 刘海祥 叶小强(75)
- 安哥拉 NEVES 大坝工程病害、安全评价和除险加固设计  
…………… 刘富凯 屠清奎 孙春雷 柯敏勇(81)
- 青岛港某板桩码头现场检测与安全评估…………… 王立军 李 浩 王立强 马津渤(88)
- 汕头某高桩码头现场检测及安全评估…………… 李 浩 蔡忠田 蔡惊涛 王立强(93)
- 筏窝水库大坝除险加固效果简评…………… 岳 峰(97)
- 严寒地区保温混凝土内部温度场变化规律的反演分析  
…………… 杜 薇 周富强 吴 艳 美丽古丽(101)
- 斋堂水库混凝土防渗墙除险补强设计…………… 魏陆宏 欧阳建 赵晓红 葛会志(109)
- 东风水电站闸墩混凝土裂缝原因分析及评价…………… 李 莉(117)
- 桃林口水库大坝安全检测分析与评价  
…………… 韩晓锋 甄 理 王育琳 宣旭东 高春波 祁立友(121)
- 京密引水渠混凝土建筑物缺陷原因分析…………… 钟海涛 王智敏(127)
- 四川松潘县石嘴桥的安全性分析与评价…………… 皆洪利 朱贤哲(131)
- 龙潭节制闸的安全鉴定…………… 倪 明 贾云飞 孙粤琳 夏世法(138)
- 水工混凝土建筑物的安全评估技术…………… 岳跃真 张家宏 夏世法 鲁一晖(145)

北京玉渊潭进水闸安全检测评估与缺陷处理·····	禹作利	夏世法	杨伟才	李萌(152)
五强溪电厂三级船闸混凝土综合检测及检测方法·····				马冲林(160)
峡山水库溢洪闸混凝土病害原因及治理对策·····	马德富	王锦龙	杨萌	刘苏(170)

### 三、修补材料及修补工程实例

#### 龙羊峡大坝左表孔溢洪道混凝土底板缺陷修补

·····	李季	吴亚星	王进玉	孙志恒	鲍志强(175)
-------	----	-----	-----	-----	----------

斋堂水库大坝险情分析及加固设计·····					魏陆宏(182)
----------------------	--	--	--	--	----------

渠道修补用硅粉砂浆试验及其工程应用·····			刘富凯		孙春雷(191)
------------------------	--	--	-----	--	----------

放水河渡槽预应力主梁冷却水管冻胀混凝土裂缝修补加固技术·····					陈卫国(198)
----------------------------------	--	--	--	--	----------

西崔村涵洞伸缩缝及混凝土缺陷处理·····					李双(203)
-----------------------	--	--	--	--	---------

钢筋混凝土隧洞内衬钢板加固新技术·····	宋修昌	潘家锋			邵力群(208)
-----------------------	-----	-----	--	--	----------

小水电站厂房排水廊道渗漏水及结露水综合治理·····			车传东		韩天彪(213)
----------------------------	--	--	-----	--	----------

荆江分洪进洪闸混凝土裂缝的修补处理效果初探·····					蔡松(216)
----------------------------	--	--	--	--	---------

五强溪电厂船闸廊道结构缝修复技术·····					马冲林(224)
-----------------------	--	--	--	--	----------

#### 混凝土裂缝分析及潘家口水库主坝裂缝处理方法

·····		葛正海	王再民		韦淑阁(229)
-------	--	-----	-----	--	----------

#### 混凝土桁架拱渡槽杆件和底拱板开裂的处理

·····	徐爱良	邢占军	万宏臣	丛强滋	王占红(233)
-------	-----	-----	-----	-----	----------

沈阳市王家湾橡胶坝溢流面缺陷修复·····				夏海江	施建军(236)
-----------------------	--	--	--	-----	----------

混凝土面板表面防护材料现场试验研究·····		郭淑敏	孙志恒		张秀梅(238)
------------------------	--	-----	-----	--	----------

上桥节制闸大跨径连续反拱底板加固技术研究·····			张贵武		王龙华(243)
---------------------------	--	--	-----	--	----------

复掺纤维对硅粉混凝土抗冲耐磨特性的影响·····					李光伟(249)
--------------------------	--	--	--	--	----------

双牌灌区渠道无模混凝土衬砌技术·····			邓孟秋		张彩钰(258)
----------------------	--	--	-----	--	----------

冲久水库放水涵洞内壁混凝土防渗处理·····	方文时	杨延成	孙志恒		黄通泉(261)
------------------------	-----	-----	-----	--	----------

大体积水工混凝土裂缝的防止·····					王国秉(264)
--------------------	--	--	--	--	----------

#### 东江水源工程6号隧洞裂缝成因分析及修复对策研究

·····	王国秉	朱新民	孙志恒	胡平	唐红波(273)
-------	-----	-----	-----	----	----------

潮河总干渠6座机闸混凝土修补加固·····	周吉群	钟海涛	毋志钊		赵志楠(279)
-----------------------	-----	-----	-----	--	----------

京密引水渠东流水涵洞混凝土补强加固技术浅析·····					宋兴鹏(282)
----------------------------	--	--	--	--	----------

老旧涵闸加固工程应用实例·····			毛少波		王学荣(285)
-------------------	--	--	-----	--	----------

龙茜供水工程隧洞混凝土缺陷处理现场试验·····	钟俭雄	瞿向东			鲍志强(288)
--------------------------	-----	-----	--	--	----------

成屏一级水库大坝裂缝成因分析及处理方法·····	吴文峰	唐毅			金国兴(292)
--------------------------	-----	----	--	--	----------

混凝土防渗墙在钟祥市石门水库除险加固工程中的应用·····		叶俊荣			李涛(299)
-------------------------------	--	-----	--	--	---------

#### SB-R 修补砂浆结合无模板围裹加固技术在桥桩修补中的应用

·····		张恒	刘兴元		张守杰(302)
-------	--	----	-----	--	----------

#### 无机高抗冲磨混凝土修补材料性能与应用

·····	李焰	程润喜			陈军琪(305)
-------	----	-----	--	--	----------

聚脲涂层和环氧涂层对海工混凝土抗冻性的影响 .....	李志高 马红亮 吕平 黄微波(312)
陆水水利枢纽升船机牛腿裂缝成因分析及处理方案 .....	张俊文 曾曲星(317)
五强溪水电厂溢流面的修复技术 .....	马冲林(322)
水下封堵门技术在水口水电站2号泄水底孔事故检修门修复工程中的应用 .....	单宇翥 陈洋(327)
水工混凝土结构的防裂及裂缝处理技术 .....	岳跃真 杨伟才(331)
喷涂聚脲在引黄灌区渡槽工程中的应用 .....	王锦龙 马德富 孙志恒 杨萌 刘甦(340)
混凝土养护材料在渠道衬砌工程中应用试验研究 .....	王飞 刘珊文 于方明 张广贞 张爱民 朱传磊 赵鑫(343)
化学灌浆技术在混凝土工程中的应用 .....	杨萌 马德富 王锦龙 刘甦 赵鑫(346)

#### 四、其他

贝叶斯(Bayes)更新概率在结构维修中应用的讨论 .....	冯兴中(351)
复合注浆法在桩基缺陷加固中的应用 .....	余俊高 余金煌(356)
影响水工混凝土钢筋保护层测试与评定准确性的因素 .....	严太勇(359)
试验设计方法在坝工建设中的应用与发展 .....	刘致彬(361)
严寒地区某水利枢纽施工质量管理实践 .....	潘旭勇(367)



# 一、综述







# 渠道建筑物混凝土防护新材料 及渡槽伸缩缝快速修补技术

孙志恒

(中国水利水电科学研究院结构材料所,北京中水科海利工程技术有限公司)

**摘要:**水工混凝土渠道建筑物常常出现裂缝、渗漏、冻融剥蚀、冻胀、冲磨空蚀以及渡槽伸缩缝漏水等病害。为了及时消除病害,采用有效的修补材料及修补技术,乃是水工界研究的重要课题。文中介绍了渠道建筑物混凝土表面防护的一些新材料及渡槽伸缩缝漏水快速修补技术,通过大量工程实践,取得了较显著的效果,可供类似工程借鉴。

**关键词:**渠道建筑物;防护材料;渡槽伸缩缝;修补技术

## 1 前言

建国以来,我国兴建了大量水工建筑物,它们对国民经济的发展发挥了重要作用。由于建筑物本身存在的问题,规范不完善、设计欠妥、施工材料选择不当、施工质量不佳、运行条件变化、运行年限增加,运行管理存在问题以及地震等不利因素,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。作为水工混凝土建筑物重要建筑物之一,渠道建筑物是引水系统中的主体结构,但是,渠道建筑物混凝土常常出现裂缝、渗漏、冻融剥蚀、冻胀、冲磨空蚀及渡槽伸缩缝漏水等病害。为此,对渠道建筑物进行诊断、开发经济适用、防渗防冻胀性能好、成本低的新型渠道防渗材料、保温防冻材料、伸缩缝快速修复材料是必要的,也是非常迫切的。

## 2 渠道建筑物病害修复的工作程序

渠道建筑物混凝土病害修复采用治标与治本相结合、维修与保护相结合的原则。通过检测对建筑物进行全面了解、对病害进行诊断,制定修补方案,选择合适的材料,组织专业化队伍进行施工。

### 2.1 病害诊断

对混凝土输水渠道建筑物的病害进行诊断是一切维修工程的基点,只有对病害的表现形式、严重程度、形成原因做出科学、正确的判断,才能确保维修工程的顺利进行。渠道及渡槽混凝土病害表现为:裂缝、渗漏溶蚀、变形、冲磨空蚀、冻融冻胀、混凝土碳化钢筋锈蚀、破碎、沉降、瓦解、剥落、分层、伸缩缝止水失效等。可以采用现场普查及专项检测的方法对存有缺陷的渠道及渡槽进行检测。通过检测和必要的复核计算,了解建筑物的现状,对建筑物进行诊断。

### 2.2 修补方案的制定

对于任何一个结构病害,业主往往有多种选择,这些选择对制定维修方案有着很大的影

响。这些选择可能包括:

- 1) 不采取任何措施,放任自流;
- 2) 降低对建筑物使用要求;
- 3) 采取尽可能简单的方法防止或减缓病害的进一步发展;
- 4) 彻底维修恢复或增强原有建筑物的功能。

在制定方案时,一定要弄清楚业主的需要。同时,还要从技术角度进行分析:

- 1) 用户需要:对外观的要求、对技术性能的要求、维修预算、维修的紧迫性和使用寿命;
- 2) 技术分析:安全影响、环境影响、维修结果对结构功能影响等。

经过全面的调查分析后,制定出科学的维修方案,同时选择合适的维修材料。对于渠道混凝土表面的防护材料一般要满足以下基本要求:

(a) 与基层面的黏结强度大于 1.5 MPa;(b) 收缩率低;(c) 密实度高;(d) 满足抗冲磨要求;(e) 稳定性好;(f) 耐老化;(g) 施工性好;(h) 成本低。

对于渡槽伸缩缝漏水的修补材料一般要满足以下基本要求:

(a) 与基层面的黏结强度大于 2.0 MPa;(b) 柔性好,断裂伸长率高(大于 350%);(c) 拉伸强度大(大于 16 MPa);(d) 防渗性好;(e) 稳定性好;(f) 耐老化;(g) 施工性好;(h) 成本低。

### 2.3 专业化施工

修复工作是一项专业性很强的工作,要有一支经过专门培训、具有资质的专业化队伍施工,遵循科学的施工程序,严格保证施工质量是工程取得良好维修结果的基础。

## 3 混凝土表面防护及伸缩缝修复新材料

### 3.1 渠道建筑物混凝土表面防护新材料

#### 3.1.1 聚合物水泥砂浆类材料

自 20 世纪 80 年代初在国内首先推出新型防渗、防腐、防冻材料丙乳砂浆后,我国相继研制成功并在工程中推广氯丁、氯偏、丁苯、偏氯乙烯、水溶性环氧等各种聚合物水泥砂浆。聚合物水泥砂浆是通过向水泥砂浆掺加聚合物乳胶改性而制成的一类有机无机复合材料。这类砂浆的硬化过程是:伴随着水泥水化形成水化产物刚性空间结构的同时,由于水化和水分散失使得胶乳脱水,胶粒凝聚堆积并借助毛细管力成膜,填充结晶相之间的空隙,形成聚合物相空间网状结构。聚合物相的引入提高了水泥石的密实性、黏结性,又降低了水泥石的脆性。与普通水泥砂浆相比,聚合物水泥砂浆的弹模低、抗拉强度高、极限拉伸率高、与老混凝土的黏结强度高,因此聚合物水泥砂浆层能承受较大振动、反复冻融循环、温湿度强烈变化等作用,耐久性优良,适用于恶劣环境条件下水工混凝土结构的薄层表面修补。施工方法有人工涂刷,喷涂及灰浆机湿喷,大大提高了施工速度及施工质量。该材料主要用于修补混凝土的剥蚀。

#### 3.1.2 SK 通用型水泥基渗透型防水涂料

SK 通用型水泥基渗透型防水涂料可以通过渗透和表面成膜双重作用起到防水的效果。

该材料由普通硅酸盐水泥 + 特种水泥、石英砂、多种添加剂等原材料组成,可直接应用于混凝土表面,其生成物能渗入混凝土的微孔和缝隙中,堵塞这些过水通道并与混凝土结合为一体,同时在混凝土表面形成附着力极强的密实、坚硬涂层,进一步起到防水作用;该材料具有较强的防腐蚀功能,能够抵抗硫酸盐、氯盐、碱类、盐类、弱酸类、微生物等介质的侵蚀。施工方便,易于涂刷,不流挂,立面和顶面施工性能好。该材料属刚性材料,可用于水下、水位变化区和水上。其主要指标见表 1。

表 1 SK 通用型水泥基渗透型防水涂料性能指标

项目	测定值	项目	测定值
初凝时间(min)	320	7d 抗压强度 (MPa)	23.4
终凝时间(h)	6.5	28d 抗折强度 (MPa)	6.4
7d 抗折强度 (MPa)	5.5	28d 抗压强度 (MPa)	31.5
湿基面黏结强度 (MPa)	1.5		

注:液粉比:0.25 - 0.27;液料:S88 混合液。

### 3.1.3 PCS 柔性防护涂料

SK - PCS 复合防水材料是由有机材料和无机材料复合而成的双组分的环保型防水材料,它既具有有机材料弹性变形性能好又具有无机材料耐久性好等优点,涂层可形成高强坚韧的防水涂膜,在水压力 2.0 MPa 时,稳定 24 h 不渗水;涂层材料与基层混凝土的黏结强度大于 1.0 MPa;材料的断裂伸长率(%)大于 100,拉断强度大于 1.5 MPa。

PCS 柔性防护涂料厚度涂刷 1 mm,可以全面提高混凝土的抗渗能力,延缓混凝土的碳化,提高混凝土的耐久性。该材料施工简单方便,可喷涂或涂刷,并可直接在潮湿面上施工。

### 3.1.4 喷涂聚脲弹性体材料

喷涂聚脲弹性体技术是国外近十年来为适应环保需求而研制、开发的一种新型无溶剂、无污染的绿色施工技术。聚脲弹性体材料的主要特性有:①无毒性:100% 固含量,不含有机挥发物,符合环保要求;②优异的综合力学性能:拉伸强度最高可达 25.0MPa,伸长率最高可达 600%,撕裂强度为 50kN/m;③较高的抗冲耐磨性,其抗冲磨能力是 C60 混凝土的十倍以上;④良好的防渗效果,在 2.0MPa 水头作用下 24h 不渗漏;⑤低温柔性好:在 -30℃ 下对折不产生裂纹,其拉伸强度、撕裂强度和剪切强度在低温下均有一定程度的提高,而伸长率则稍有下降;⑥耐腐蚀性:由于不含催化剂,分子结构稳定,所以聚脲表现出优异的耐水、耐化学腐蚀及耐老化等性能,在水、酸、碱、油等介质中长期浸泡,性能不降低;⑦快速固化:反应速度极快,5 s 凝胶,1 min 即可达到步行强度。由于快速固化,解决了以往喷涂工艺中易产生的流挂现象,可在任意曲面、斜面及垂直面上喷涂成型,涂层表面平整、光滑,对基材形成良好的保护和装饰作用。

聚脲喷涂设备是由专用的主机和专用的喷枪组成。专用设备的基本要求是:平稳的物料输送系统、精确的物料计量系统、均匀的物料混合系统、良好的物料雾化系统和方便的物料清洗系统。

### 3.1.5 SK - 优龙混凝土表面防碳化涂料

SK - 优龙混凝土表面防护涂料是一种可以使用在水工建筑物、港工、公路桥梁及桥墩上

混凝土表面防护的组合涂料,分别由底涂 BE14、中间层 ES302 和表层 PU16 组成。

BE 14 是一种 100% 固体环氧底漆,可允许在饱和或表干混凝土表面施工。它是采用特种高性能环氧树脂,含有排湿基团,能够在潮湿表面涂装和水中固化的高性能产品。BE 14 与老混凝土基底黏结强度大于 4 MPa,具有超常的防蚀和保护特性。ES 302 是一种优异的、含固量 100% 的环氧厚浆涂料,含有耐候性、抗老化性及排湿特性基团的高性能产品。可直接涂于 BE14 表面,具有优秀的抗腐蚀和防碳化性能。PU16 是一种优异的聚氨酯柔性涂料,有良好的装饰性能,可以涂装在 ES 302 上,达到极其坚韧和耐久。PU16 采用特种高性能改性聚氨酯树脂,含有酯键等强极性基团,漆膜强度高,耐热及耐候性好,具备超常的防蚀和保护特性。

### 3.1.6 水泥基渗透结晶型防水材料

水泥基渗透结晶防水材料是由波特兰水泥、硅砂和多种特殊的活性化学物质组成的灰色粉末状无机材料。这种材料具有特有的活性化学物质,涂刷在混凝土表面,利用水泥混凝土本身固有的化学特性和多孔性,以水为载体,借助于渗透作用,在混凝土微孔及毛细管中传输,再次发生水化作用,形成不溶性的枝蔓状结晶并与混凝土结合成为一整体。由于结晶体堵塞了微孔及毛细管孔道,从而使混凝土致密,达到永久性防水、防潮和保护钢筋、增强混凝土结构强度的效果,用于水下部位效果较好。

### 3.1.7 混凝土有机硅透气型透明保护涂料

混凝土有机硅透气型透明保护涂料,采用纯有机硅树脂为原料,经过先进工艺制成的清水混凝土专用透明保护涂料,哑光效果,质感细腻,兼具有机涂料和无机矿物质涂料的优点。有机硅树脂是高分子、三维交联化合物,它们在建筑材料表面形成稳定、高耐久、三维空间的网络结构,抗拒来自于外界液态水的吸收,但允许水蒸气自由通过。纯有机硅树脂外墙如同自然界中的树叶一样,雨水不能渗进叶子,但树叶上的水分仍可蒸发,从而保证混凝土内部的干燥,解决普通不透气涂料由于混凝土内部水分往外蒸发时导致的起皮脱落现象。

有机硅树脂涂料在涂刷到混凝土结构后与混凝土内 KOH 交联反应,形成辛基长碳链锚固在混凝土上,其化学键稳定,所以具有优异的耐候性能。

### 3.1.8 SK-2 环氧涂料

SK-2 防渗涂料它是一种改性环氧类材料,该种材料具有良好的防渗性和力学性能,在潮湿环境中能很好的固化,并且与基底混凝土有较好的黏结性能。该材料本体的抗拉强度大于 8 MPa,抗压强度大于 50 MPa。在干燥情况下,与混凝土的黏结强度大于 3.0 MPa,在潮湿情况下,与混凝土的黏结强度大于 2.0 MPa,涂刷厚度不小于 1.5 mm。

SK-2 防渗涂料施工简单,操作方便,可直接在潮湿的混凝土基面上涂刷,施工后形成完整无缝的、具有较高强度和弹性的防水涂层。SK-2 涂层材料性能见表 2。

表 2 SK-2 涂层材料性能

材料性能	数值	备注
涂层材料抗压强度 (MPa)	≥60	7d 龄期
涂层材料抗拉强度 (MPa)	≥10	7d 龄期

续表

材料性能	数值	备注
涂层材料黏结强度(MPa)	$\geq 3$	干面黏结,养护,7d龄期
涂层材料黏结强度(MPa)	$\geq 2.0$	潮湿界面黏结
材料断裂伸长率(%)	$\geq 2.5$	
材料适用期	40min	

### 3.2 渡槽伸缩缝漏水快速修复材料

#### 3.2.1 SK 手刮聚脲

SK 手刮聚脲由含多异氰酸酯——NCO 的高分子预聚体与经封端的多元胺(包括氨基聚醚)混合,并加入其他功能性助剂所组成。在无水状态下,体系稳定,一旦开桶施工,在空气中水分的作用下,迅速产生多元胺,多元胺迅速与异氰酸酯——NCO 反应,形成 SK 手刮聚脲。根据用途,SK 手刮聚脲可分为自流平聚脲和触变型聚脲,对坡度小于 $3^\circ$ 度的混凝土平面,使用自流平聚脲施工方便、速度快;对坡度大于 $3^\circ$ 度的混凝土平面、立面和顶面,使用触变型聚脲,每次刮涂厚度小于 1 mm,可以保证不发生流淌。SK 手刮聚脲的主要物理力学性能见表 3。

表 3 SK 手刮聚脲物理力学性能

检测项目	固含量	拉拉强度	扯断伸长率	撕裂强度	表干时间
检测结果	100%	大于 16MPa	>400%	>22 kN/m	5 h

SK 手刮聚脲具有抗紫外线性能和抗太阳暴晒性能,在阳光照射下,SK 手刮聚脲本身有 20 年以上的使用寿命,并且 SK 手刮聚脲具有  $-40^\circ\text{C}$  的低温柔性,能适应高寒地区的低温环境,尤其是能抵抗低温时混凝土开裂引起的形变而不渗漏,并且施工方便、快速,对快速修补伸缩缝、裂缝漏水效果很好。

#### 3.2.2 BE14 潮湿面界面剂及潮湿面腻子

为保证 SK 手刮聚脲与混凝土之间有足够的黏结强度,聚脲涂层与底材的黏结面采用 SK-BE14 专用潮湿面界面剂,这是一种 100% 固含量的环氧底漆,该底漆可在饱和水或干表面施工。底面处理后,在混凝土表面涂刷 BE14 界面剂,涂刷厚度要求薄而均匀,无漏涂现象。保证聚脲与混凝土之间的黏结强度大于 2.5MPa。

#### 3.2.3 伸缩缝内嵌填柔性材料

伸缩缝内嵌填的 GB 柔性止水材料性能见表 4。

表 4 GB 柔性止水材料性能指标

性能	测试项目		控制指标	测试指标
抗拉性能	常温	断裂伸长率(%)	$\geq 800$	1 278
	$-30^\circ\text{C}$	断裂伸长率(%)	$\geq 800$	1 040

续表

性能	测试项目	控制指标	测试指标
	密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\geq 1.15$	1.22
环境保护	属橡胶类产品	无毒、无污染	

## 4 渠道建筑物混凝土表面防护及渡槽伸缩缝修复工艺

### 4.1 渠道混凝土表面防护工艺

渠道建筑物包括渠道混凝土衬砌、闸墩、渡槽、倒虹吸、涵洞、山洪桥等,对这些建筑物混凝土表面防护一般按如下工艺进行:

(1) 表面清理:要用适当工具对施工表面进行彻底清理,清除所有灰尘、浮浆、松动破损的混凝土、油污、污染物等,以获得清洁坚固的维修基层;

(2) 钢筋除锈:清除钢筋表面的锈迹;

(3) 钢筋阻锈:用水泥基阻锈剂对钢筋进行阻锈。同时防止发生强阳极现象,并为下一道工序提供良好的施工表面;

(4) 修复受损混凝土:用符合要求的修补材料(如聚合物水泥砂浆)进行修复,恢复结构的原有轮廓;

(5) 表面防护:用符合要求的防护材料对修复表面进行保护,提高结构的耐久性。

(6) 养护。

### 4.2 渡槽伸缩缝漏水快速修复工艺

(1) 修复伸缩缝两侧混凝土,对流速高的情况,伸缩缝两侧混凝土内要设置插筋(见图1)。混凝土固化后将表面打磨、清洗干净;

(2) 在伸缩缝内部充填柔性填料或密封膏;在原伸缩缝内部有填料的情况,如果材料未老化,可以直接使用,如果材料已经老化,剔除后重新充填柔性填料或密封膏;

(3) 混凝土表面涂刷 BE14 界面剂;

(4) 界面剂固化后涂刷 SK 手刮聚脲,一般渡槽伸缩缝部位处 SK 手刮聚脲厚 4 mm、宽大于 60 cm,中间增设胎基布加强。

(5) 聚脲表面养护。

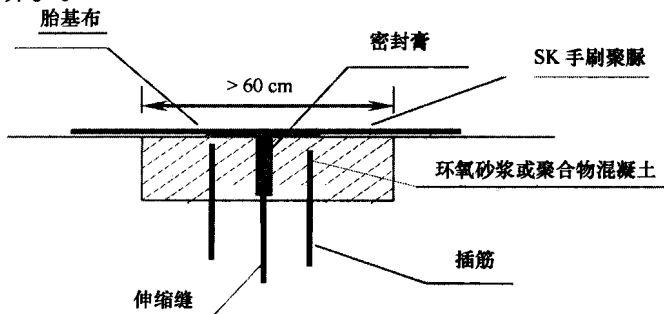


图1 伸缩缝表面止水处理示意图

由于止水采用涂刷 SK 手刮聚脲,代替了以往安装止水带的传统施工工艺,大大提高了施工速度,止水效果更好。

## 5 结 语

水工混凝土渠道建筑物常常出现裂缝、渗漏、冻融剥蚀、冻胀、冲磨空蚀以及伸缩缝漏水等病害。对这些病害的修复,首先要对病害进行诊断,制定合理的施工方案,选用有效的修补材料及先进的修补技术。同时,修复工作还要由一支经过专门培训、具有资质的专业化施工队伍来完成。遵循科学的施工程序,严格保证施工质量。只有这样才可以及时消除病害,做到事半功倍。

文中介绍的渠道建筑物混凝土表面防护新型材料及渡槽伸缩缝漏水修补技术已在许多水利水电工程中得到应用,通过我们大量工程实践,取得了较显著效果,可供类似工程借鉴。这些新型的混凝土防护材料可以大大提高混凝土的使用年限,渡槽伸缩缝漏水快速修补技术具有施工速度快、止水效果好的优点,将具有广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] 孙志恒、岳跃真,喷涂聚脲弹性体技术及其在水利工程中的应用[J]. 大坝与安全, 2005,(1)
- [2] 孙志恒,夏世法,等. 单组分聚脲在水利工程中的应用[J]. 水利水电技术, 2009,(1)
- [3] 孙志恒,鲁一晖,岳跃真. 水工混凝土建筑物的检测、评估与缺陷修补工程应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004. 1



# BP 神经网络技术在碾压混凝土配合比设计中的应用

李 蓉 鲁一暉

(中国水利水电科学研究院结构材料所)

**摘 要:**本文研究了 BP 神经网络模型及其学习算法在预测碾压混凝土性能中的应用,并通过实例预测结果证明,BP 网络学习方法具有较高的预测精度,对于碾压混凝土配合比的设计是可行的。

**关键词:**碾压混凝土;配合比设计;BP 神经网络

## 1 引 言

碾压混凝土在我国水利水电工程中有着广泛的应用,它是一种没有坍落度的干硬性混凝土,由于其用水量少,水泥用量小,因此温控措施简单,且有利于降低成本。现行的碾压混凝土配合比设计主要采用的是经验与试验相结合的方法,即先根据给定的设计指标和要求,确定若干设计参数,然后用配合比设计正交试验法进行试拌研究,最终确定配合比方案。显然,这种设计方法比较复杂,试验量较大,很难用定量的方式进行配合比优化。

近年来,人工神经网络技术异军突起。由于其非线性处理能力强,不需要明确的函数关系式等优点,在各个领域得到了广泛的应用。研究表明,一个常用的三层 BP 神经网络便可以任意精度逼近任何连续函数。将人工神经网络技术应用到碾压混凝土配合比设计,适应性强、准确度高,可以大大提高设计工作的效率。本文将深入探讨利用 BP 神经网络模型进行碾压混凝土配合比优化设计的可行性。

## 2 研究思想

- 1) 首先,建立碾压混凝土配合比试验样本数据库和 BP 神经网络模型;
- 2) 根据混凝土的设计要求检索数据库并建立训练样本集,以混凝土原材料和制作工艺作为输入向量,以混凝土的最终性能指标作为输出单元,训练、测试网络模型,并验证其稳定性和可靠性;
- 3) 通过调整,提高网络的泛化能力。

## 3 BP 神经网络模型

### 3.1 BP 神经网络模型概述

BP 神经网络采用误差反向传播(back propagation, BP)算法训练网络模型,其权值和阈值的修正是沿着误差性能函数梯度的反方向进行的。在人工神经网络的实际应用中,BP 神