

# 补强防碳化施工技术在七星渠清水河渡槽加固工程中应用

周玉国

宁夏回族自治区七星渠管理处 宁夏 中宁 755100

**摘要：**渡槽工程补强防碳化加固一直是灌区老旧建筑物提升改造中的难题之一，以宁夏回族自治区七星渠清水河渡槽加固技术应用实践为例，介绍了环氧乳液水泥砂浆、粘贴碳纤维布、涂刷防腐涂料对渡槽缺陷修复、结构补强、防碳化处理技术特点、实施以及处理效果。结果表明，补强防碳化施工技术应用大大提高了渡槽的承载力和耐久性，提高了渡槽的过流能力，值得其他渡槽工程的技术应用借鉴。

**关键词：**补强防碳化技术；清水河渡槽；应用成效

## 1 工程概况

为保障同心扬水工程、高干渠新规划农田及人畜饮水的用水需求，1973年，七星渠向上延伸，跨清水河与中卫羚羊夹渠合并，在27+615km处跨清水河新建渡槽。渡槽为双曲拱钢筋混凝土矩形渡槽，设计流量46m<sup>3</sup>/s。进口段长24.5m，出口段长为29m，槽长为84m。上部为装配式矩型槽壳，高2.96m，宽7.0m。下部支承为单跨双曲拱结构，跨度48m。2020年1月清水河渡槽安全鉴定四类渡槽，建议降低标准运用或加固处理。同年3月对渡槽内壁采用刮涂聚脲技术进行了防渗处理。

## 2 存在缺陷及处理方案

### 2.1 存在的缺陷

清水河渡槽经过多年运行，渡槽混凝土蜂窝麻面和钢筋锈胀现象较普遍，部分钢筋外露锈蚀；渡槽支撑结构部分排架存在顺筋裂缝、混凝土剥蚀、露筋等现象，存在一定的安全隐患，威胁工程的安全运行。

2.1.1 槽壳外侧缺陷。槽壳外侧面普遍出现轻微剥蚀现象，11节槽壳侧墙均出现自上而下的竖向贯穿裂缝，并有明显渗漏痕。

2.1.2 支撑结构缺陷。槽壳底部混凝土大面积剥蚀、返碱，病害面积几乎达到100%，多处出现混凝土脱落、钢筋外露锈蚀等病害。70%的槽壳底部纵梁存在钢筋锈胀、混凝土保护层崩落、露筋等病害。拱圈局部出现混凝土脱落、返碱。排架顶部横梁普遍出现渗漏引起的返碱，个别横梁出现竖向贯穿裂缝，个别排架立柱出现钢筋锈胀破坏。

### 2.1.3 渡槽结构质量检测。(1)混凝土强度。通过普通

**作者简介：**周玉国，1972年10月出生，男，宁夏同心县人，2009年毕业于华北水利水电大学水利水电工程专业，大学本科，正高级工程师，从事水利工程建设管理工作。

回弹法、超声回弹法和钻芯测试，拱梁、槽壳、排架及槽壳底梁混凝土满足原设计C20砼强度。(2)混凝土碳化。槽壳外侧、底部、梁、排架柱、拱梁等部位的混凝土碳化深度已经大于原设计保护层的厚度。(3)钢筋保护层厚度。排架、槽壳底部、槽壳底梁、拱圈等结构钢筋保护层厚度基本满足原设计要求。

## 2.2 修复补强方案

依据清水河渡槽的现状调查分析、质量检测与安全鉴定评价报告的相关结论，确定渡槽修复和补强采取对结构影响较小的粘贴碳纤维布加固补强方案。加固内容主要包含缺陷修复、钢筋锈蚀问题的结构补强和耐久性提升<sup>[1]</sup>。

2.2.1 缺陷修复。渡槽潜在的问题是混凝土结构的耐久性劣化问题，混凝土剥蚀、返碱、钢筋外露、局部锈蚀使截面受弯承载力降低、对渡槽的稳定造成影响。对渡槽疏松、破损、严重碳化和裂缝的结构部位清除表面松散混凝土、钢筋除锈、采取掺阻锈剂的W12环氧乳液水泥砂浆或置换W12、C30微膨胀聚合物水泥混凝土恢复截面和裂缝处理等措施进行修复。

2.2.2 结构补强。槽壳底部、槽壳底梁和部分排架柱的钢筋已大面积锈蚀，截面承载力受到不同程度的削弱。在缺陷修复的基础上，采取底层粘贴碳纤维布，表面喷抹环氧乳液水泥砂浆保护层，补强渡槽主要承重构件的承载力。

2.2.3 耐久性维护和外观恢复。在缺陷修复和结构补强工作完成后，再对渡槽所有构件表面涂刷柔性混凝土结构防腐防渗涂料，作为防碳化保护层，提高结构耐久性。

## 3 修复补强施工技术

### 3.1 施工工艺

施工工艺流程：混凝土表面清理、打磨→高压风或丙酮吹洗→底层施工→环氧乳液水泥砂浆或C30混凝土混

混凝土修复→粘贴碳纤维布→粘刮钢丝网→喷抹环氧乳液  
水泥砂浆保护层→喷涂防碳化面层→养护

### 3.2 施工主要过程

3.2.1 混凝土表面清理。施工前应对渡槽各个部位进行检查,凡有砼缺损、蜂窝、麻面、不密实、离析、空洞和钢筋外露、锈蚀等现象均进行处理。清理原则:凿除破损、蜂窝、麻面、不密实等缺陷砼,将原砼结构表面凿毛露出石子。对碳化引起的钢筋锈蚀,将保护层全部凿除。除去浮碴,用高压风或丙酮吹洗干净,直至露出新鲜、坚硬的混凝土面或露出一半钢筋。

3.2.2 钢筋除锈。采用钢丝刷、砂盘手工除锈,除锈后在钢筋表面涂刷阻锈剂。

3.2.3 新老混凝土结合面处置。必须凿毛成凹凸面,凹凸面深度不少于6mm,凿毛痕的间距为30mm左右,凿毛率不小于90%。在混凝土表面涂刷一层厚度为1-2mm聚合物水泥净浆界面剂,涂刷界面剂应薄而均匀,界面剂涂抹完毕后,在其晾干之前及时做修补处理。

3.2.4 环氧乳液水泥砂浆修补。乳液类I级聚合物改性水泥砂浆—环氧乳液水泥砂浆,水泥应选用颗粒细、水化热较低、强度等级不低于42.5的水泥,混凝土及砂浆的水胶比宜小于0.40。

聚合物改性水泥砂浆基本性能鉴定标准以及其长期使用性能鉴定标准如表1、表2所示。

表1 聚合物改性水泥砂浆基本性能鉴定标准(MPa)

检验项目			检验条件	鉴定合格指标	
浆体性能	劈裂抗拉强度			I级	II级
	抗折强度		浆体成型后,不拆模,湿养护3d;然后拆侧模,仅留底模;再湿养护25d(个别为4d),到期立即在(23±2)°C、(50±5)%RH条件下进行测试	≥ 7	≥ 5.5
	抗压强度	7d		≥ 12	≥ 10
		28d		≥ 40	≥ 30
粘结能力	与钢丝绳粘结抗剪强度	标准值	粘结工序完成后,静置湿养护28d,到期立即在(23±2)°C、(50±5)%RH条件下进行测试	≥ 55	≥ 45
	与混凝土正拉粘结强度			≥ 9	≥ 5
				≥ 2.5,且为混凝土内聚破坏	

注:表中指标,除注明为标准值外,均为平均值。

表2 聚合物改性水泥砂浆长期使用性能鉴定标准

检验项目		检验条件	鉴定合格指标	
耐环境作用能力	I 级	II 级		
	耐湿热老化能力	在50°C、RH为98%环境中,老化90d(II 级聚合物砂浆为60d)后,其室温下钢丝绳与浆体粘结(钢套筒法)抗剪强度降低率(%)	≤ 10	≤ 15
	耐冻融性能	在-25°C ~ 35°C冻融交变流环境中,经受50次循环(每次循环8h)后,其室温下钢丝绳与浆体粘结(钢套筒法)抗剪强度降低率(%)	≤ 5	≤ 10
	耐水性能	在自来水浸泡30d后,拭去浮水进行测试,其室温下钢标准块与基材的正拉粘结强度(MPa)	≥ 1.5,且为基材内聚破坏	

3.2.5 置换聚合物水泥混凝土。采用W12、C30微膨胀聚合物水泥混凝土修复。混凝土的置换深度,板不应小于40mm;梁、柱采用人工浇筑时不应小于60mm,采用喷射法施工时不应小于50mm。梁的置换部分应位于构件截面受压区内,沿整个宽度剔除,或沿部分宽度对称剔,不得仅剔除截面的一侧。修复补强柱、梁等构件时,应对原结构在施工全过程中观测和控制,置换界面处的混凝土不应出现拉应力,当控制有困难,应采取支顶等措施进行卸荷<sup>[2]</sup>。

### 3.2.6 粘贴碳纤维布补强。

(1)打磨。将构件修复补强后的表面凸出部分打磨平整除去表面粉尘、油污等杂质,并用清水清洗干净。

(2)基面找平。基面干燥后,表面凹陷部位用环氧腻子填平,修复至表面平整。

(3)粘贴碳纤维布。采用高强度I 级、厚度0.167mm的碳纤维布。按设计尺寸裁剪碳纤维布,采用配套的改性环氧树脂胶粘剂均匀涂抹于粘贴部位,将碳纤维布用手轻压于粘贴部位,用罗拉专用工具顺纤维方向滚压,排除气泡,使浸渍胶充分浸透碳纤维布。滚压时不得损伤碳纤维布,多层粘贴时重复上述步骤,最后一层碳纤维布的表面均匀涂抹浸渍胶。碳纤维布搭接宽度(顺碳纤维方向)应大于200mm。表3为I 级纤维复合材料主要力学性能指标。

表3 纤维复合材料主要力学性能指标

性能项目纤维类别		抗拉强度标准值(MPa)	弹性模量(MPa)	伸长率(%)	弯曲强度(MPa)	纤维复合材料与混凝土正拉黏结强度(MPa)	层间剪切强度(MPa)
碳纤维	材布	I级	≥ 3400	≥ 2.4x10 <sup>5</sup>	≥ 1.7	≥ 700	≥ 2.5, 且为混凝土内聚破坏
	材板	I级	≥ 2400	≥ 1.6x10 <sup>5</sup>	≥ 1.7	--	≥ 50

(4)养护。粘贴碳纤维布后,需要自然养护24h达到初期固化,保证固化期间不受干扰。

(5)粘贴技术要求。①纤维方向。混凝土柱粘贴补强时,条带应粘贴成环形箍,且纤维方向应与柱的纵轴线垂直。采用封闭式粘贴或U形粘贴对梁、柱构件进行斜截面补强时,纤维方向宜与构件轴线垂直或与其主拉应力方向平行。②搭接和截断。当碳纤维布绕过构件(截面)的外倒角时,构件的截面棱角应在粘贴前打磨成圆弧面。碳纤维布沿纤维受力方向的搭接长度不应小于200mm,当采用多条或多层纤维复合材加固时,其搭接位置应相互错开。③粘贴多层碳纤维布加固时,宜将碳纤维布逐层截断,并在每层截断处最外侧加压条,其粘贴形式采用内短外长式。

### 3.2.7 防碳化保护涂层

防腐防渗涂料应具有良好的耐酸性、耐碱性、耐盐性和耐水性,并应具有良好的附着力和抗冲击性。底漆应具有良好的渗透能力,中间漆应具有良好的屏蔽性,面漆应具有耐老化性。

(1)涂装底漆。涂覆应均匀,不得有露底现象。

(2)涂装中间漆。中间漆应涂装均匀,涂膜厚度应满足设计要求,漆膜不得有漏涂、裂纹、气泡、流挂、针孔等缺陷。

(3)涂装面漆。面漆涂装前,底涂层的流挂应打磨平整。漆膜要求光滑平整,颜色均匀一致,不得有漏涂、裂纹、气泡、针孔等缺陷,厚度满足设计要求。

(4)涂层间隔时间。涂层之间的涂装间隔参照材料要求和施工环境温度确定。达到最小涂装间隔时间后进行涂装,并应在上一道涂层的重涂间隔时限内完成。超过

最大涂装间隔时,应进行拉毛处理,并清洁表面粉尘后涂装。

(5)涂层厚度检测。用湿膜厚度规工具检查湿膜厚度,以控制涂层的最终厚度及其均匀性。涂装完成7d后,应进行涂层干膜厚度测定。

## 4 注意事项

(1)施工前,必须复核施工荷载,施工荷载大于结构使用荷载时,必须加设临时支撑,加固构件达到100%强度前不得拆除临时支撑。

(2)施工中必须做好对新旧混凝土浇筑界面的处理,凿毛、充分湿润、接浆(或使用其他界面剂),保证连接面的质量及可靠性。

(3)施工时,喷涂现场环境温度宜大于5℃,相对湿度小于85%。若温度低于5℃时,需采取保温措施。

## 结语

清水河渡槽缺陷修复、结构补强、防碳化加固工程于2025年2月10日开始,3月25日完成。环氧乳液水泥砂浆缺陷修复、粘贴碳纤维布补强均进行了粘贴强度拉拔试验,粘贴强度均满足设计。2025年3月31日通水后,渡槽运行平稳,各项检测、观测数据显示,加固质量、结构沉降变形、应力应变等各项指标完全满足设计要求,工程的加固技术取得良好的效果,渡槽按照46m<sup>3</sup>/s的设计流量可靠安全运行。

## 参考文献

[1]张带娣.水库除险加固工程中高压摆喷灌浆的施工技术[J].中国水能及电气化,2013,(9).8-10

[2]刘忠良.基于水工混凝土材料及修复利用[J].水科学与工程技术,2018,(5).67-69