

碳纤维布在三道河水库低输水隧洞 加固工程中的应用

张建华 周波 杨立涛

(襄阳市三道河水电工程管理局,湖北襄阳 441500)

【摘要】 碳纤维布加固技术是利用高性能黏结剂将碳纤维粘贴在结构件表面,通过共同作用,大幅度提高结构件承载力和耐久性,达到对结构件补强加固及改善受力性能的目的。该材料应用在三道河水库输水隧洞加固工程中,施工简便,性能可靠,缩短了工期,降低了施工成本,达到了防漏和补强加固效果。

【关键词】 隧洞;碳纤维布;应用

中图分类号:TV672+.2

文献标志码:B

文章编号:1005-4774(2017)03-0003-04

Application of CFRP in Sandaohe Reservoir low water conveyance tunnel reinforcement project

ZHANG Jianhua, ZHOU Bo, YANG Litao

(Xiangyang Sandaohe Hydropower Engineering Management Bureau, Xiangyang 441500, China)

Abstract: CFRP reinforcement technology can greatly improve structure bearing capacity and durability through mutual effect refers, which is utilized high-performance adhesives for attaching carbon fiber on the surface of structures. Thereby reaching the purposes of reinforcing and strengthening structures, and improving mechanical properties. The material is applied in Sandaohe Reservoir low water conveyance tunnel reinforcement project. It is characterized by simple construction, reliable performance and construction duration reduction. Leakage prevention and reinforcement effects are reached.

Key words: tunnel; CFRP; application

1 工程概况

三道河水库位于湖北省南漳县蛮河上游,由主坝、副坝(1号、2号、3号、4号)、溢洪道、灌溉高输水隧洞及低输水隧洞、4座水电站等组成,是一座以灌溉、防洪为主,兼顾供水发电、养殖等综合利用的大(2)型水库。工程于1958年兴建,1966年基本建成并发挥效益。

低输水隧洞位于3号副坝坝下,长250m,进口底

部高程112.70m,出口底部高程111.08m,纵坡1/280。洞身为0.40m厚、直径1.60m半圆形和1.60m×0.90m矩形城门洞形钢筋混凝土结构。1977年,为提高水资源利用率,在低输水隧洞出口修建电站,隧洞内衬直径1m、厚度10mm引水钢管,钢衬和隧洞之间用块石混凝土填充。低输水隧洞承担着南漳县城区生活用水、农业灌溉用水及几个大型厂矿工业用水的供水任务。

2 隧洞渗漏成因分析

2011年10月28日,水库管理人员在例行检查时,发现低输水隧洞出口处存在渗漏现象,渗漏量为25~30L/s。

经对该隧洞历史资料考证、分析,隧洞内衬钢管渗漏,主要是受建设时施工工艺、条件和环境限制,隧洞与内衬钢管间块石混凝土填充不密实,焊接质量不高,且在水侵蚀下,缺陷及薄弱部位锈蚀洞穿,形成渗漏通道所致。

3 隧洞补强加固设计

3.1 方案一:拆除重建方案

拆除重建内衬压力钢管,直径为1.20m、壁厚为10mm,内衬钢管与隧洞间回填灌浆(见图1)。

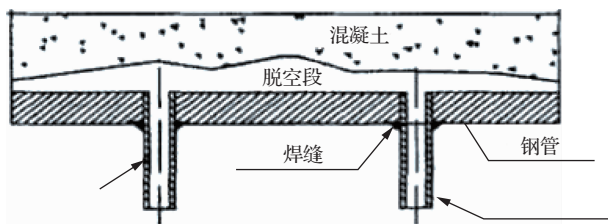


图1 灌浆管路布置示意图

3.2 方案二:补强加固方案

钢管漏水部位封堵,全断面粘贴碳纤维布补强加固,内衬钢管与隧洞间回填灌浆(见图2)。

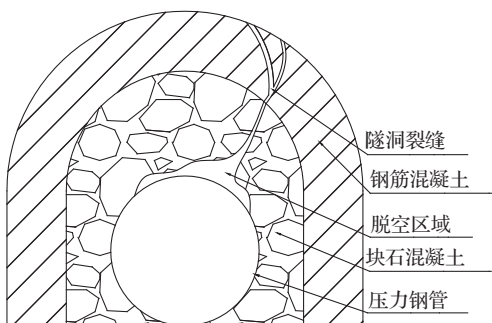


图2 压力钢管与脱空区域及裂缝示意图

3.3 方案比较

根据工程特点及实际运行情况,经三道河水库低

输水隧洞加固项目设计审查会审查,同意采用碳纤维布补强加固方案(见表1)。

表1 工程加固方案比较

方案	方案优点	方案缺点
方案一	可彻底解决渗漏问题	1. 施工难度大; 2. 人员、工程的安全防护难度大; 3. 投资大; 4. 工期较长,影响水库蓄水和下游灌溉及生活供水
方案二	1. 高抗拉强度,能够承受内水压力; 2. 抗酸碱腐蚀,高耐久性,不会生锈; 3. 可搭接黏结任意延长,无明火作业; 4. 碳纤维布具有较高的防渗性能; 5. 该方法简单、方便,易施工; 6. 工程投资比较节省	施工空间狭小,止水、排水困难

4 碳纤维布材料性能及施工程序

4.1 碳纤维布材料性能

碳纤维布是一种含碳量高于90%的无机高分子单向碳纤维加固产品,是一种力学性能优异的新材料,兼具碳材料强抗拉力和纤维柔软可加工性两大特征,具有重量轻、强度大、模量高、密度低等特点。材料与浸渍胶配套使用可提高结构件承载力和耐久性,达到对结构件补强加固及增强受力性能的目的。该材料基本不增加构件自重及截面尺寸,施工便捷,无需大型机械与固定设施,工效高,不生锈,具有抗酸碱腐蚀和高耐久性,特别适合腐蚀环境中扭曲面、节点等复杂结构的补强加固(见表2、表3)。

表2 碳纤维布主要物理性能

指标名称	单位	GB 50367—2006 标准要求 (单向织物高强度I级)	检验结果
抗拉强度标准值	MPa	≥3400	3643
受拉弹性模量	MPa	≥2.4×10	2.43×10
伸长率	%	≥1.7	1.72
弯曲强度	MPa	≥700	788
层间剪切强度	MPa	≥45	50

续表

指标名称	单位	GB 50367—2006 标准要求 (单向织物高强度 I 级)	检验结果
仰贴条件下纤维复合材料与混凝土的正拉黏接强度	MPa	≥2.5 且混凝土内聚破坏	4.2 且混凝土内聚破坏
单位面积质量	g/m ²	≤300	197

注 试验用混凝土强度为: C40; 拉伸速度: 2mm/min; 理论厚度: 0.111mm。

表3 WSX 碳纤维黏接材料主要物理性能

指标名称	单位	GB 50367—2006、 GB/T 7124—2008 标准指标(A 级胶)	检验结果
抗拉强度	MPa	≥40	40.6
受拉弹性模量	MPa	≥2500	3140
伸长率	%	≥1.5	1.64
抗弯强度	MPa	≥50, 且不得呈脆性(碎裂状)破坏	68.6 不呈脆性破坏
抗压强度	MPa	≥70	84.1
钢-钢拉伸抗剪强度标准值	MPa	≥14	15.4
钢-钢不均匀扯离强度	kN/m	≥20	26.3
与混凝土的正拉黏结强度	MPa	≥2.5 且为混凝土内聚破坏	3.5 且混凝土内聚破坏

4.2 碳纤维布施工程序

基本步骤: 施工导流→施工准备→标记渗漏点→内壁除锈→修补找平→回填灌浆→粘贴碳纤维布→检查养护→表面防护→洞外恢复。

5 施工工艺要点及质量控制

5.1 施工导流

采用圆形钢板夹环形堵水气囊, 中间焊接导流管, 平整管道内壁, 堵水气囊置于进水口处充气, 阻塞水流。上游闸后渗漏水由导流管、排水管排至隧洞外, 建造干燥施工环境。如图3所示。

5.2 质量控制

④检查施工机具、黏结剂、碳纤维布配备情况, 详细标记加固部位; ⑤清除管壁锈蚀层, 露出新鲜层, 压缩空气吹净表面, 酒精擦拭、碘钨灯加温保持干燥, 修补胶封堵渗漏点, 表面修复平整; ⑥灌浆压力 0.20MPa,



图3 施工导流

水泥浆密度 $1.50\text{g}/\text{cm}^3$, 对脱空区域回填灌浆, 灌浆孔拆除补强; ④将 A、B 两组 WSX 黏接料按重量比 4:1 比例配制基底胶, 搅拌均匀, 涂刷均匀, 不平部位反复涂刷, 厚度不超过 1mm; ⑤将 A、B 两组 WSX 黏接料分别搅拌均匀, 按重量比 4:1 比例倒入容器搅拌。电动搅拌时间一般不少于 5min, 一次调胶一般以 6~10kg 为宜。均匀涂刷于修复面, 将碳纤维布用手轻压贴于管壁, 沿隧洞环向粘贴, 纵向搭接 100mm, 上游环箍边缘粘在下游环箍边缘上, 搭接长度 50mm。纤维方向搭接长度不小于 10mm, 各层搭接位置相互错开。专用滚筒或刮刀沿纤维方向反复滚压, 挤出气泡, 使浸渍胶充分浸透碳纤维布。多层粘贴时重复上述步骤, 待纤维布表面干燥时即进行下一层粘贴, 最后一层碳纤维布表面涂刷一层浸渍胶。

5.3 养护、质量检查

碘钨灯加温养护固化后, 检查粘贴质量, 小锤轻轻敲击碳纤维布表面, 以回声判断粘结效果。如出现空鼓等不密实现象, 应采取措施进行修复: 当单个空鼓面积小于 1000mm^2 时, 用注射器注胶修复; 当单个空鼓面积大于 1000mm^2 时, 沿空鼓边沿, 将空鼓部分碳纤维布割除, 以每边向外缘扩展 100mm 大小的碳纤维材料补贴在原处。

5.4 表面防护

表面采用 107 胶水掺入高标号水泥涂刮 2 遍。

6 施工注意事项

若环境温度小于 5°C ,采取加温、保温措施,方可施工;工业酒精、结构胶应密闭储存,远离火源,工作场地严禁烟火;碳纤维布为导电材料,应尽量远离电器设备及电源;WSX浸渍胶要涂刷厚些,专用滚筒或刮刀碾压时要始终保持一个方向,使黏结料充分渗透碳纤维;配置及使用黏结剂必须通风良好,做好防护;碳纤

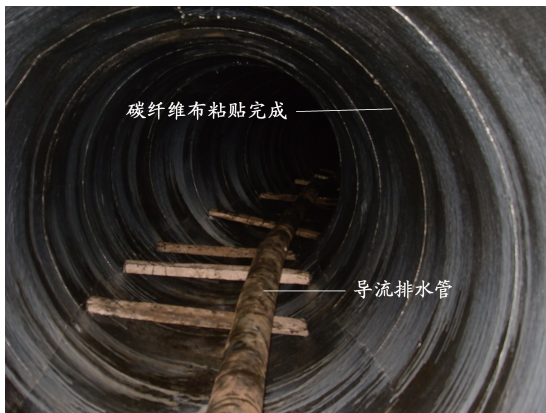


图4 三道河水库低输水隧洞加固效果

(上接第26页)

4 结语

a. 大体积混凝土结构容易产生表面裂缝,而环境气温的变化是导致裂缝产生的主要原因,本文对混凝土结构的环境气温影响机理等方面进行了探讨,认为防止它们出现有效的措施之一是准确掌握环境气温影响下的混凝土温度和应力情况,进而制定实时合理的防裂措施,指导施工。

b. 12号坝段的仿真计算结果表明,混凝土最高温度能满足温控技术要求,均小于 27°C ,寒潮温降使混凝土层面的拉应力达到 1.0MPa ,接近临界值,存在较大风险,仓面需做好保温措施。

c. 17号坝段的仿真计算结果表明,在目前气温相对较高的季节(5月),如果仅考虑长周期应力,早龄期混凝土大部分处于温升阶段,主要以压应力为主,开裂风险不大,但如果叠加上17日出现的 11°C 昼夜温差应力,则仓面应力出现超标现象,有开裂风险存在,需做好必要的保温措施。◆

维布粘贴后,严禁进行敲击、焊接、开孔等;施工中做好隧洞内通风、照明及防毒面具的佩戴等防护工作。

7 结语

碳纤维布在三道河水库低输水隧洞补强加固工程中的应用表明:碳纤维布补强加固技术,衬管受力性能得到增强;施工便捷,工期短;节省工程投资。工程完工后运行4年来,未发现渗漏现象,值得借鉴与推广。◆

参考文献

- [1] 李涛,陈来发,上官江,等. 碳纤维布在青山水库引水隧洞加固中的应用[J]. 人民长江,2011(12).
- [2] 秦庆红. 青岗峡水电站引水钢管回填补强施工[J]. 东北水利水电,2007(10).
- [3] 李彦军,刘志奇. 碳纤维布加固技术在水工隧洞中的应用[J]. 人民黄河,2007(4).
- [4] 魏晓斌,雷艳,霍国良,等. 水电站压力钢管碳纤维布补强加固试验研究[J]. 武汉大学学报,2010(6).
- [5] 何芳芳,周安,陈凯,等. 圆形钢质压力管道碳纤维布加固研究[J]. 工程与建设,2013(3).

参考文献

- [1] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京:中国电力出版社,1999年.
- [2] 张子明,郭兴文,杜荣强. 水化热引起的大体积混凝土墙应力与开裂分析[J]. 河海大学学报,2002,30(5):12-16.
- [3] 丁宝瑛,王国秉,黄淑萍,等. 国内混凝土坝裂缝成因综述与防止措施[J]. 水利水电技术,1994(4):12-18.
- [4] G. De Schutter. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws[J]. Computers and Structures,2002(80):2035-2042.
- [5] 曹为民,吴健,闪黎. 水闸闸墩温度场及应力场仿真分析[J]. 河海大学学报,2002,30(5):48-52.
- [6] 王振红,朱岳明,李飞. 墩墙混凝土结构施工期温控防裂研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,27(2):227-229.
- [7] 马跃峰,朱岳明,刘有志,等. 姜唐湖退水闸泵送混凝土温控防裂反馈研究[J]. 水力发电,2006,32(1):33-35.
- [8] 马跃峰,朱岳明,曹为民,等. 闸墩内部水管冷却和表面保温措施的抗裂作用研究[J]. 水利学报,2006,37(8):963-968.
- [9] 王振红,朱岳明,于书萍. 薄壁混凝土结构施工期温控防裂研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2007,39(6):773-778.