

混凝土结构修复与加固技术 在工程中的应用

王宏伟

(北京市水利建设管理中心 100036)

摘 要 混凝土结构在使用过程中由于种种原因会出现裂缝、渗漏、碳化、冻融及构件承载力不足等问题。在总结国内混凝土结构修复与加固技术研究成果基础上,分析高压灌浆法在永定河倒虹吸工程中的应用检测数据,以及外加预应力加固技术在斋堂水库的使用情况,结果表明永定河倒虹吸高压灌浆压力控制在8~12MPa为宜,斋堂水库外加预应力加固技术应用效果良好。

关键词 混凝土 结构修复 加固技术

中图分类号 TU57

文献标志码 B

文章编号 1673-4637(2013)03-0017-04

混凝土结构作为一种结构形式,在水利工程、工民建、道路以及桥梁等领域得到了广泛的应用。使用过程中由于原材料质量不合格、施工方法不当、养护不及时、环境条件恶劣以及设计不合理等原因,往往会出现裂缝、渗漏、碳化、冻融及构件承载力不足等问题。因此,如何采用适当的措施,对出现问题的混凝土结构进行修复补强成为工程技术人员探讨的课题。本文以水利水电工程的相关技术规范为依据,对国内相关部门在混凝土结构补强修复技术研究及其在工程中的应用情况进行了简要的介绍。

1 混凝土渗漏修复技术

混凝土结构常见的渗漏主要是漫渗和集中渗漏。漫渗是由于混凝土内部不密实引起游离 C_3A 析出,加速中性化,腐蚀钢筋降低其力学性能,影响混凝土结构寿命。集中渗漏是由于混凝土有孔洞、裂缝或止水失效等原因造成流沙、流土,危及结构的稳定性并造成水资源浪费^[1]。

混凝土渗漏处理的主要方法包括表面粘贴法、表面嵌填法、化学灌浆法及表面喷涂法等。

(1) 表面粘贴法是通过在混凝土表面粘贴片状防

水材料来防止渗漏的方法,适用于混凝土表面大面积的龟裂、漫渗等缺陷的修复。一般采用橡胶防水卷材或其他片状纤维材料,要求粘合剂能够在潮湿或有明水的界面快速黏结固化。

(2) 表面嵌填法是指通过沿裂缝凿槽,在槽中嵌填止水密封材料,封闭裂缝,实现防渗漏的目的。对无渗漏的裂缝,一般可采用聚合物砂浆、环氧砂浆、弹性环氧砂浆或聚氨脂砂浆等强度较高的材料嵌填;对有水渗漏的裂缝,一般在填入遇水膨胀止水条后再用聚合物砂浆、环氧砂浆、弹性环氧砂浆或聚氨脂砂浆等封闭。

(3) 化学灌浆法是指将高分子化合物浆液通过一定的压力灌入混凝土裂缝中的一种工程措施。目前采用的灌浆材料主要为环氧树脂类、聚氨酯、丙烯酸以及由上述材料复合或改性的其他新型材料^[2]。

(4) 表面喷涂法是指在混凝土表面喷射或涂刷防水材料达到防渗的目的。适用于混凝土表面存在面渗、大量细小龟裂纹等较大面积缺陷的修复^[3]。在喷涂前应对渗水量较大的漏水点和渗漏裂缝进行封堵,防止喷涂材料在固化前被水浸泡或冲刷。表面喷涂的材料一般分为无机材料和高分子材料两大类。

收稿日期: 2013-04-17

作者简介: 王宏伟(1975—),男,工程师。

2 混凝土加固技术

混凝土构件在使用过程中由于养护不当、环境条件恶劣以及使用条件改变等原因往往会出现承载力不足的问题,对其进行补强加固可采用以下几种方法:增大截面加固法、置换混凝土加固法、外加预应力加固法、粘钢加固法及碳纤维复合材料加固法等^[4]。

(1) 增大截面加固法是用增大结构截面面积进行加固的一种方法,它可以提高构件的承载力,增大其截面刚度,改变其自振频率。这种方法常用于加固混凝土结构的梁、板、柱等构件。其优点是原理简单、受力可靠和费用低廉;缺点是作业工作量大、养护周期长、增加结构自重以及占用空间较多等。

(2) 置换混凝土加固法是将原结构、构件中的破损混凝土用高一级的混凝土浇筑置换,使新、旧两部分粘合成一体共同工作。此法适用于承重构件受压区混凝土强度偏低或有严重缺陷的局部加固,既可用于新建工程混凝土质量不合格的返工处理,又可用于已有混凝土承重构件结构受腐蚀、冻害、火灾损害以及地震、强风和其他破坏后的修复。

(3) 外加预应力加固的方法一般采用预应力索、预应力钢筋、预应力拉杆、预应力撑杆和预应力锚杆等。此法适用于不能较大增加构件截面,同时又要较大提高原结构承载力的构件加固。

(4) 粘钢加固法是指用特制的结构胶黏剂,将钢板或型钢粘贴在钢筋混凝土表面,达到增强原结构强度和刚度的目的。此法适用于钢筋混凝土结构受弯、受拉和受压构件的加固。按施工工艺的不同可分为直接涂胶粘钢法和湿包钢灌注粘钢法。直接涂胶粘钢法是将粘结剂直接涂抹在钢板表面,将其黏结在混凝土构件表面的方法;湿包钢灌注粘钢法是先将钢板逐块安装在构件的表面,焊接成一个整体,最后将粘结剂灌入钢板和混凝土缝隙内的一种加固方法。

(5) 碳纤维复合材料加固法是指用特制的结构胶黏剂,将纤维复合材料粘贴在钢筋混凝土表面,达到增强原结构强度的目的。纤维复合材料是一种单向受力材料,具有抗拉强度高、质量轻及施工简便等优点。主要有碳纤维、芳纶纤维及玻璃复合纤维等。目前,混凝土结构加固应用最广泛的是碳纤维材料。此法适用于钢筋混凝土受拉、受压和受弯构件的加固。

3 混凝土修复及加固技术在工程中的应用

(1) 永定河倒虹吸工程。在永定河倒虹吸工程中,永定河倒虹吸暗涵为连体双孔钢筋混凝土结构,过水

断面为 3.8 m×3.8 m,底板及顶板厚度为 100 cm,边墙及中隔墙厚度为 70 cm,分缝间距为 15 m,采用 C30F150W6 等级混凝土,施工顺序为先浇筑底板,后浇筑边墙和顶板,

由于单方混凝土水泥用量偏高(P.O.42.5 水泥 318 kg/m³)、水泥细度高,混凝土浇筑后出现较高水泥水化温升,产生温度应力,加上底板的约束作用,从而造成部分侧墙(包括左右边墙和中隔墙)出现竖向裂缝,其中大部分侧墙是在分缝段的中部出现 1 条垂直裂缝,个别侧墙约在三分处产生 2 条垂直裂缝。倒虹吸暗涵回填后,环境温度大幅度降低,裂缝宽度有所增加。鉴于倒虹吸工程的重要性和使用环境,计划对裂缝进行化学灌浆和嵌缝处理,以保证倒虹吸暗涵的整体功能和防渗功能,防止钢筋锈蚀,提高混凝土耐久性。为了确实保证裂缝灌浆达到恢复混凝土结构的防水性、耐久性、结构安全的目的,通过咨询和初步现场试验,最终确定采用 HW、LW 水溶性聚氨酯复合灌浆材料(LW:HW=6:4)对永定河倒虹吸混凝土裂缝进行高压灌浆处理。

HW\LW 水溶性聚氨酯复合灌浆材料的主要特点:①具有良好的亲水性能,浆液遇水后先分散乳化,进而凝胶固结;②可在潮湿或涌水情况下进行灌浆,对水质适应性强;③固结体具有一定的弹性和强度,可遇水膨胀,具有弹性止水和以水止水的双重功能;④浆液配制、施工简便,固结体无毒。HW 和 LW 水溶性聚氨酯灌浆材料可以任意比例混合使用,以配制不同强度、不同膨胀倍数的灌浆材料。

针对永定河倒虹吸混凝土裂缝处理具体情况,引进了一台美国生产的 395 型高压灌浆机进行了高压灌浆现场试验,其目的主要是探索适宜的灌浆参数(灌浆压力、灌浆时间和灌浆量),研究灌浆压力对裂缝以及混凝土的破坏状况。

高压灌浆压力对裂缝变形的影响及其灌浆效果的检测结果见表 1。

根据表 1 试验结果,大部分裂缝灌浆时都能达到甚至超出理论灌浆量,裂缝表面出浆,试验结果说明,高压灌浆可以把浆液注入混凝土微细裂缝内,使浆液基本充满裂缝,从而保证了灌浆效果。根据表 1 试验数据,灌浆压力达到 11 MPa 时,裂缝没有出现变形;灌浆压力达到 12 MPa 时,裂缝出现微小变形,随着压力升高,变形量有所增大,但停止灌浆后部分变形得到复原,因此在进行高压灌浆时,灌浆压力应控制在 8~12 MPa。裂缝较宽时,选用较低的灌浆压力;裂缝较窄时,可适当提高灌浆压力,但不能超过 12 MPa,

表 1 灌浆试验中裂缝灌浆压力及裂缝变形检测数据汇总

工程部位	变形测点 编号	裂缝变形记录 / mm	灌浆压力 / MPa								实际灌浆量 / 理论灌浆量 / (mL / m) (mL / m)	
			8	10	11	12	13	14	15	16		
右方涵 左边墙	1#	变形量	0	0	0	0.010	—	—	0.020	—	434	273
		残余变形量	0	0	0	0.010	—	—	0.020	—		
	2#	变形量	0	0	0	0	—	—	0	—		
		残余变形量	0	0	0	0	—	—	0	—		
	3#	变形量	0	0	0	0	—	—	0.005	—		
		残余变形量	0	0	0	0	—	—	0.005	—		
右方涵 中隔墙	1#	变形量	0	0	0	0	0	0	0.020	0.020	437	273
		残余变形量	0	0	0	0	0	0	0.020	0.020		
	2#	变形量	0	0	0	0.010	0.012	0.020	0.020	0.021		
		残余变形量	0	0	0	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020		
	3#	变形量	0	0	0	0.002	0.010	—	—	—		
		残余变形量	0	0	0	0.002	0.010	—	—	—		
右方涵 右边墙	2#	变形量	0	0	0	0	0.005	—	—	—	478	178
		残余变形量	0	0	0	0	0	—	—	—		
	3#	变形量	0	0	0	0	0	—	—	—		
		残余变形量	0	0	0	0	0	—	—	—		
右方涵 中隔墙	2#	变形量	0	0	0	0.002	0.004	0.005	—	—	523	168
		残余变形量	0	0	0	0	0	0	—	—		
	3#	变形量	0	0	0	0	0	0	—	—		
		残余变形量	0	0	0	0	0	0	—	—		

这样既能保证混凝土裂缝不扩展、不损坏混凝土结构，又能保证较好的灌浆质量和效果。

(2) 斋堂水库除险加固工程。斋堂水库位于永定河支流清水河上，门头沟区西斋堂村西南 0.5 km 处，距北京市城区约 80 km。水库于 1973 年建成，其设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 1 000 年一遇，水库总库容 4 602 万 m³，最大坝高 58.5 m，工程等别为三等。水库建成至今，从未达到设计水位，故闸墩未承受正常闸门推力荷载。由于对牛腿配筋设计规范的变更，通过复核计算表明，斋堂水库溢洪道和泄洪洞的弧形闸门支座原扇形钢筋不能满足现行规范的要求，需要进行补强加固处理。通过综合考虑，在不破坏原结构整体性的前提下采用了部分预应力加固方案。

采用预应力钢绞线加固，每束钢绞线由 7 根直径 5 mm 的钢丝构成，其配置及布置情况见表 2 和图 1。

考虑到闸墩混凝土标号较低，故将上游锚固端设在闸墩内部，采用挤压锚具，拉、压混合型锚固（见图 2）；下游锚固端作用在 40 b 槽钢上，槽钢垂直门推力方向支撑在牛腿背后，钢绞线基本上平行弧门推力方向布置，可以平衡部分弧门推力对牛腿的剪切力。整个钢绞线则通过预先开挖的沟槽埋入闸墩内，

表 2 斋堂水库溢洪道、泄洪洞闸门支座
预应力钢绞线配置表

	部 位	新增预应力钢绞线 / 束
溢洪道	中墩(两侧)	6×2
	左边墩	12
	右边墩	10
泄洪洞	左边墩	8
	右边墩	8

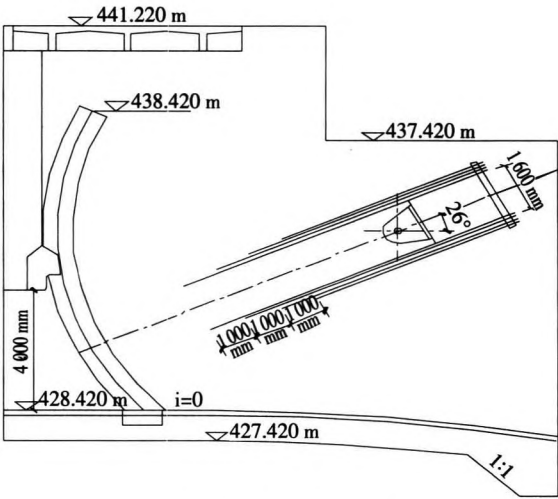


图 1 斋堂水库泄洪洞边墩预应力钢绞线布置图

待张拉完成后,填聚合物砂浆,嵌填压实抹平。

这种预应力加固体系的主要优点:简化了预应力钢绞线的布置,减小摩擦阻力损失;施工工艺简便;由于预应力钢绞线与闸墩混凝土通过聚合物砂浆粘结在一起,因而不影响原结构的整体性,并提高了原结构的耐久性。

上游锚头宜深埋入闸墩内部,锚固端采用拉、压混合型锚固结构,即挤压锚头—承压钢垫板— $8 \times \Phi 8$ mm 钢筋包围在钢绞线周围,钢绞线外面设置隔离层与粘胶脱开,封堵口设有注胶管及排气管。上游锚固端结构如图2所示。

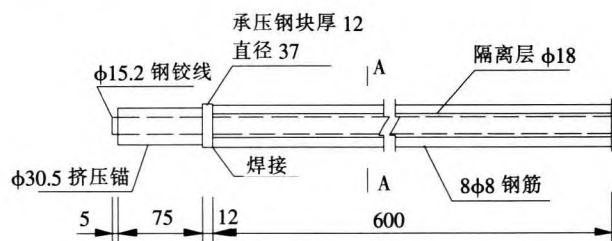


图 2(a) 拉、压混合型锚固端构造示意图 mm

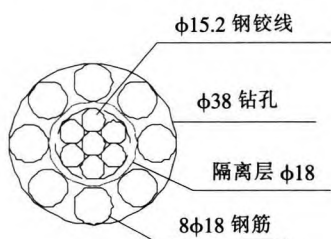


图 2(b) A-A 剖面图 mm

预应力钢绞线斜插入闸墩内部,必须通过转角变换方向才能沿弧门推力方向施加预应力。在转角部位与预应力钢绞线接触区域,由于摩擦力和横向挤压力作用,如果转角部位设计不当或构造措施不合理,预应力钢绞线容易出现局部硬化和摩擦阻力过大现象。

经验表明,如果预应力钢绞线的曲率半径 $R > a\Phi 0$ 时,其抗拉强度的降低值小于 5%。其中, a 为经验系数,对光滑管道 $a=20$,对波纹管道 $a=40$, $\Phi 0$ 为钢绞线的公称直径/mm。因此,采用钢垫板作为转角部位与混凝土之间的承压垫块,如图3所示,只需该部位的曲率半径大于 300 mm 即可,在该部位预应力钢绞线所产生的横向力则安全地传递给闸墩混凝土内。

下游张拉端位置选在牛腿背后,通过承压钢梁支撑在牛腿背面并锚固在闸墩混凝土内,为防止张拉过程中承压钢梁倾覆,在钢梁下游侧的闸墩上面安装锚固螺栓并与承压钢梁进行焊接固定。

施工工序:上游锚固端钻孔→转角弧线段的开凿→

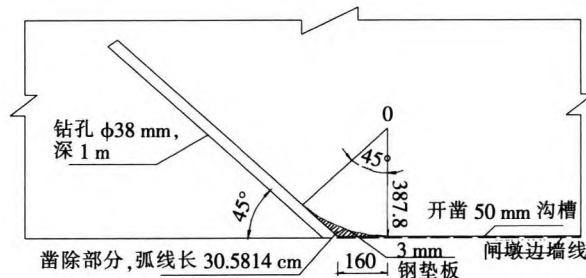


图 3 闸墩上游锚固端转角部位构造示意图

洗孔→张拉端承压钢梁的安装→预应力锚索的准备→注胶→固定钢绞线→对称顺序张拉→锚具封堵防腐等。

由于钢绞线基本上对称布置,预应力张拉也采用对称、分级循环张拉。张拉时采用 2 台液压千斤顶分别在对称的位置上张拉。张拉控制应力为 930 MPa (每根钢绞线 12.8 t),考虑 20% 的预应力强度损失,每根钢绞线设计抗拉强度 750 MPa (每根钢绞线 10.4 t)。张拉过程中,以油压表控制应力,并量测绞线实际伸长值,作为核对。

为防止承压梁及锚具长期在露天环境下锈蚀,张拉完成后观察数日,如未发现异常现象,即可进行沟槽回填处理。首先在钢绞线表面涂刷一层防锈剂,然后用聚合物水泥砂浆将槽填平压实,钢绞线保护层厚度不小于 20 mm。采用预应力钢绞线的加固方法对斋堂水库闸墩牛腿加固,取得了较为满意的效果。

4 结论

以上仅对混凝土结构修复、加固技术及其在工程中的应用效果进行了简要的介绍,每种技术及方法都有其局限性,工程所面临的情况更是千差万别,实际应用中应结合工程特点,在理论计算分析及试验的基础上选用适合的方法。

参考文献

- [1] 水利部水利建设与管理总站,黄河水利科学研究院,河南黄河勘测设计研究院. 病险水闸除险加固技术指南[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009:136-142.
- [2] 魏涛,李珍,董建军,等. 化灌法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:57-65.
- [3] 杨定华,李小平,董建军,等. 抗碳化法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:102-120.
- [4] 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,2004:23-29.

(责任编辑:侯德)