

水泥基渗透结晶型防水涂料在跌水建筑物中的应用

李 银，王 明 阳，任 勇

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:由于人工开挖渠道与周边天然河道存在不同落差及夹角,导致汇渠水流的跌落势必对航道造成冲刷或横向流速等不利影响,因此,设计上多采用跌水建筑物用以控制天然河道的汇渠流速、流态等以实现渠道的稳定运行及通航安全。流经跌水建筑物的水流呈自由抛射状自上游向下跌落至消力池内,因此而对跌水建筑物过流断面的施工质量要求较高,通常采用钢筋混凝土结构+水泥基防水涂料的方式应对上游来水条件复杂、泥沙块石夹杂较多的情况。以尹河跌水建筑物为研究对象,对水泥基渗透结晶型防水涂料的施工工艺进行了研究并付诸实施,取得了较好的效果。

关键词:引江济淮工程;跌水建筑物;结晶型;防水涂料;混凝土;防渗;施工

中图分类号:TV7;TV44;TV41 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)04-0051-04

Application of Cement-Based Permeable Crystalline Waterproof Coating in Water Drops

LI Yin, WANG Mingyang, REN Yong

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd, Chengdu, Sichuan 610213)

Abstract: Due to the head difference and angle between the artificial channel and the natural river reach, the drop of the water flow in the confluence will inevitably cause adverse effects on the channel such as scouring or lateral flow velocity, etc. To achieve the stable operation of the channel and the safety of navigation, water drops are commonly used to control the velocity and flow regime. Since the flow passing the drops is in a free projectile shape before entering the downstream stilling basin, the construction quality of the flowing surface is relatively high, and reinforced concrete + cement-based waterproof coating are usually adopted when the flow regime is complicated with mixed sand and rocks. This paper takes the Yinhe water drop as the research object, and summarizes the experience by studying the construction technology of cement-based permeable crystalline waterproof coatings, aiming to provide reference for similar projects.

Key words: Yangtze-Huaihe diversion project; Water drop; Crystalline type; Waterproof coating; concrete; impervious; construction

1 概 述

引江济淮工程是一项以城乡供水和发展航运为主的综合性工程,对航道横向流速的控制要求为不大于 0.3 m/s。为满足输水及航运要求,确保成型渠道的通航条件及安全稳定性,其沿线支流的水系需平顺汇入,为此,共设计重建或新建滚水坝跌水建筑物 47 座,用以控制天然河道入渠的流速与流态。其中尹河跌水建筑物位于菜子湖输水线路主渠道桩号 54+200 的左岸边坡上,设计采用开敞式多级跌水结构形式,依次由引渠、进口连接段、消力池、出口连接段等组成,现状河底宽约 80 m,规划 10 a 一遇设计流量为 688 m³/s,20 a

一遇设计流量为 989 m³/s^[1],对应流速为 7~10 m/s,冲刷流速较大。

跌水建筑物主体采用普通 C25 钢筋混凝土,其抗冲耐磨性能相对较差。进口底板底高程为 10.5 m,出口底板底高程为 4.5 m,渠道运行水位为 9.5 m,左右侧翼墙多处于水流冲刷及长期淹没区域,受风浪及水位落差影响干湿交替,贝类聚居,构件易产生冻融及腐蚀;同时,受行船碰撞影响,对结构物混凝土的抗冲耐磨、防碰撞以及防渗要求较高。针对上述问题,对水泥基渗透结晶型防水涂料在跌水建筑物中的应用情况进行了研究与分析。

2 涂料防水的原理

钢筋混凝土浇筑成型后,胶凝材料与水发生

水化反应后主要生成氢氧化钙、钙矾石、凝胶、氧化钙等,使存在于水化物之间的水分被利用或蒸发,形成混凝土多孔特点,在其硬化过程中,内部会产生不规则分布的细微裂缝或宏观裂缝。水泥基渗透结晶型材料(CCCW)作为一种浓缩型防水涂料,以特种水泥、石英砂为基料,掺入了可溶于水的多种活性化学物质和辅助材料,利用其本身的可溶性并以水为载体,借助其强有力的渗透性,通过钢筋混凝土结构内部的细微孔洞渗透扩散进入构件内部,其可与水化产物发生物化反应,生成硅酸钙水化物(一种枝蔓状结晶体),结晶体在内部发生膨胀并堵塞混凝土内部的渗水通道,与混凝土结合形成整体,从而使混凝土致密防渗,起到防水、裂缝自愈合效果,同时能够增强结构混凝土的强度。

该涂料还能在结构表面形成一道保护薄膜,成膜后可将结构表面同外界有害物质隔离开,从而增强结构物的耐久性。

3 防水涂料具有的特点

- (1)具有自愈合功能,可自动愈合 0.4 mm 宽的混凝土裂缝^[2];
- (2)无毒、环保、防腐、耐酸碱,可增强混凝土强度;
- (3)可消除结构物表面的模板印痕、拉杆孔洞修补痕迹等,进而提高结构的整体美观度;
- (4)以特种水泥、精选石英砂为基料,掺入多种分装刚性防水材料,可在混凝土中渗透扩散,使混凝土致密防渗,能够长期承受较大的水压,具有优异的二次抗渗性能以及结构相容性;
- (5)涂刮施工简单,稳定性好,不易老化,抗渗、抗冻性能好,黏结强度高;
- (6)通过枝蔓状结晶体堵塞毛细孔洞,能够提高混凝土内部的密实度,增强混凝土强度约 20% 左右,使其不惧船舶、漂浮物的碰撞摩擦;
- (7)水泥基渗透结晶型防水涂料属无机材料,所生成的结晶体不易老化,反应过程持续时间较长,可进行自我修复。

(7)水泥基渗透结晶型防水涂料属无机材料,所生成的结晶体不易老化,反应过程持续时间较长,可进行自我修复。

4 施工工艺

4.1 施工工艺流程

尹河跌水建筑物表面防水涂料的施工分为左右两幅,采用人工搭设双排脚手架施工。

涂料的主要施工工艺流程:施工准备→涂刷

试验→基面杂物清理、缺陷修补→基面打磨润湿→涂料制备→涂料涂刷→涂层养护→质量检验→施工完成。

4.2 施工要点

4.2.1 施工准备

- (1)准备水泥基渗透结晶型防水涂料、水、钢丝刷、打磨机等材料;
- (2)配置满足施工需要的工人及施工机具。

4.2.2 涂刷试验

- (1)湿基面黏结强度试验检测^[3]:
 - ①湿基面黏结强度检测采用具有足够灵敏度及量程的拉伸强度试验仪器,仪器精度为 1%;试验参数的选取:重量配合比为水泥基渗透结晶型防水涂料:水=5:2,涂刷 2 遍。
 - ②拉伸黏结强度成型框采用硅橡胶材料制成,其表面平整光滑,成型框内孔尺寸为 50 mm×50 mm,厚度为 3 mm,精确至±0.2 mm。拉拔钢板采用尺寸为 50 mm×50 mm 并具有足够强度的正方形钢板,其最小厚度为 10 mm,钢板顶面焊接有与拉伸强度试验仪器连接的部件。
 - ③试件制备前,将准备好的标准混凝土板(400 mm×200 mm×50mm)浸泡 24 h,清洗其表面,取出并用湿毛巾擦干表面,无明水后将制备好的涂料试样倒入覆盖在标准混凝土板上的成型框中均匀抹平,放置 24 h 后脱模,并对完成脱模的试件在标准条件下浸水养护,养护时注意不要将水浸到涂层试件。制作时每 10 个试件为一组,整个成型过程 20 min 完成。待试件达到 28 d 凝期后,用砂纸打磨掉涂层表面的浮浆,然后用高强黏结剂将拉拔钢板黏接在涂层表面,标养 24 h 后开始试验。

④用拉伸强度试验仪测定试件的拉伸黏结强度,将加荷速度控制在 250±50(N/s)。

⑤拉伸试验结束后,计算其黏结强度:
$$P=F / S \tag{1}$$
式中 P 为拉伸黏结强度,MPa; F 为最大破坏荷载,N; S 为黏结面积,mm²。

湿基面黏结强度试验检测记录见表 1。
计算完成后,试样的黏结强度取 10 个计算结果的平均值。经计算得出水泥基渗透结晶型防水涂料湿基面黏结强度试验检测结果为 1.8 MPa>1 MPa,满足设计要求。

表 1 湿基面黏结强度试验检测记录表				
序号	试样编号	最大破坏荷载 /N	黏结面积 /mm ²	拉伸黏接强度 /MPa
1	①	3 250	2 500	1.3
2	②	4 000	2 500	1.6
3	③	4 400	2 500	1.76
4	④	4 700	2 500	1.88
5	⑤	5 400	2 500	2.16
6	⑥	5 000	2 500	2
7	⑦	3 950	2 500	1.58
8	⑧	5 150	2 500	2.06
9	⑨	4 900	2 500	1.96
10	⑩	4 350	2 500	1.74
黏接强度平均值				1.8

(2)涂层厚度试验。由于该涂层厚度较薄且无法直接检测其涂刷厚度,现场采用制作标准混凝土板试件进行涂刷厚度测定试验。试件共制作三组,每组六块,试验前首先测定所有混凝土板的净厚度,完成后在三组试件表面分别涂刷一层、两层、三层涂料,涂料终凝后再次测定混凝土板厚,即可得出涂层厚度并用于指导现场施工。选取其中一组说明如下:

①采取与黏结强度试验相同的方法制定标准混凝土板并进行浸泡。试件制作时,严格控制板体厚度均匀一致。试验涂料的配置及涂刷参数与黏结强度试验相同。

②待混凝土板浸泡时间满足要求后取出试件,擦干表面水分,采用游标卡尺测出每块板体的实际厚度并记录。

③采用硬质刷在试件表面均匀涂刷 2 遍涂料,并对涂刷完成的试件洒水养护。

④待试件达到 28 d 凝期后用砂纸打磨掉试件表面的浮浆,然后用 0.1 mm 精度的游标卡尺检测试件厚度:涂层厚度=检测厚度-原试件厚度。涂层厚度试验检测记录见表 2。

⑤通过对涂刷前板体厚度与涂刷后板体厚度进行检测并求差得出混凝土板表面防水涂料厚度平均值为 1.3 mm>0.8 mm,满足设计要求。

⑥根据试验结果进行该工程施工参数的选取:重量配合比为水泥基渗透结晶型防水涂料:水=5:2,硬质刷往返涂刷 2 遍,涂料用量控制为 0.8~1.5 kg/m²,其湿基面黏结强度及涂层厚度

表 2 涂层厚度试验检测记录表					
序号	试样编号	原试件厚度 /mm	检测厚度 /mm	涂层厚度 /mm	备注
1	①	50	51.5	1.5	涂刷 2 遍
2	②	50	51.2	1.2	
3	③	51	52.3	1.3	
4	④	51	52.3	1.3	
5	⑤	51	52.5	1.5	
6	⑥	50	51.2	1.2	
涂层厚度检测平均值				1.3	

均满足设计指标要求。

4.2.3 基面清理与缺陷修补

基面处理施工分两步进行:基面杂物的清理宜选择天气晴朗、混凝土凝期达到设计强度、建筑物混凝土外观质量验收完成后进行;缺陷修补应在表面杂物清理干净之后进行。防水涂料的基面应清洁、平整、打毛,并采用清水冲洗一至二次;基面缺陷的修补主要针对混凝土结构、蜂窝麻面、孔洞等,可采用环氧砂浆等材料进行修补加强。

对结构物表面存在宽度大于 0.4 mm 的裂缝,需要在涂刷前采用切割机顺裂缝开槽,并将切槽深度及宽度控制在 1~2 cm;切槽完成后,采用清水冲洗干净,排除积水,再涂刷一层涂料,涂刷完成后填入防水涂料半干性料团并由人工压实,或在槽内涂刷一层环氧树脂胶液后采用环氧砂浆填充,填充时控制环氧砂浆表面略低于周边混凝土平面。

4.2.4 基面打毛湿润

人工持小型打磨机械对清理修补后的基面进行表面打毛,然后采用高压水枪冲洗干净,确保其具有完全润湿的粗糙面。

用清水冲洗干净的基面在涂料涂刷前需要保证无积水且尚未干燥,从而有利于涂料中的化学物质随表面水分进入基面内部;基面过湿会导致涂料受影响发生配合比改变而影响到涂料涂刷的施工质量;基面过干会导致涂料无法与基面稳定粘连,出现空鼓等问题。

4.2.5 涂料的制备

(1)原材料。选用无杂质、无结块的粉状材料,并按照每 20 t 作为一个检验批次进行抽样检查。检查的主要内容包括外观质量检查、凝结时间检查以及抗渗压强等物理试验。水泥基渗透结

晶型防水涂料主要性能指标见表 3^[4]。

表 3 水泥基渗透结晶型防水涂料主要性能指标表

检验项目		单位	性能指标
抗压强度(28 d)		MPa	≥15
湿基面粘结强度(28 d)		MPa	≥1
混凝土 抗渗性能	基准混凝土 28 d 抗渗压力	MPa	0.4 ⁺⁰ _{-0.1}
	抗渗压力比 (带涂层)(28 d)	%	≥250
	抗渗压力比 (去除涂层)(28 d)	%	≥175
	带涂层混凝土的 第二次抗渗压力(56 d)	MPa	≥0.8

(2)配合比。配合比参数需根据试验结果确定。该工程跌水建筑物迎水侧采用涂刷法施工,清洁水拌料,水泥基渗透结晶型防水涂料:水=5:2,硬质刷往返涂刷 2 遍,涂料用量控制为 0.8~1.5 kg/m²。施工时严格掌握好水灰比并结合现场温差情况做出适当调整。

(3)涂料的拌制。现场采用电子秤进行计量称重,并将称重后的粉状材料以及水倒入搅拌容器后用手提电动搅拌器搅拌 3~5 min。搅拌时,严格控制拌制时间,使其充分搅拌均匀,确保不含有未分散的粉料干团。配料称量一定要准确,称量精度精确至 0.1 g,拌制要一次成型,严禁二次加水。

配置搅拌的涂料以色泽均匀、无结块、无粉团、涂刷顺利为判断条件,并严格控制搅拌及涂刷施工的时间:从加水时起计算,控制在 20 min 内使用完成。施工过程中不定时对涂料进行搅拌。搅拌完成后进行现场涂刷试验,其目的是通过现场涂刷确认所拌制的涂料是否符合施工要求。

4.2.6 涂料的涂刷

基面清洗完成并验收合格后进行涂刷施工。施工时,由工人采用硬质毛刷对阴角等特殊部位仔细涂刷到位后,将按比例调配好的涂料均匀涂抹在跌水结构迎水侧基面上,涂料的用量控制为 0.8~1.5 kg/m²,涂刷时采用涂刷遍数、单位面积涂层用量以及涂料总量控制法控制涂层是否均匀、涂层厚度是否一致。对可能存在渗水或冲刷力度较大的迎水侧的主要部位加厚涂刷。

局部凹凸不平的位置需要采用硬质刷子来回反复涂刷,确保其局部涂满、厚薄均匀,不能有过

厚的沉积,防止厚度过大出现开裂。

为保证防水材料的涂刷质量,第一遍涂刷时应按照从左往右或从右往左的方向依次水平涂刷,每次涂刷时需与上一次涂刷的区域边缘重叠 1~2 cm;第一遍涂刷完成约 1 至 2 h 后,待其表面初凝稍泛白、手触干时开始涂刷第二遍,如果第一遍涂刷后干燥速度过快时需要洒水润湿养护后再进行第二遍的涂刷施工,以利于上下两层涂料紧密结合;第二遍涂刷的方向与第一遍涂刷的方向相互垂直。

4.2.7 涂层检验

水泥基渗透结晶型防水涂料涂层施工结束后检查涂层涂刷是否均匀,并检查其是否出现爆皮现象;对厚度较小的区域需采取补刷措施。补刷前,需要对基面进行润湿;如出现爆皮现象,需要按基面清理方法进行处理后再次涂刷水泥基防水涂料。涂刷时,需要与周边区域重叠 2~3 cm,以利于形成整体防水面。

4.2.8 涂层的养护

涂料涂刷完成并终凝 3~4 h 后开始实施喷雾养护。养护时需要控制喷雾嘴的直径、喷雾压力以及雾化水珠的大小,防止对涂层造成冲刷破坏影响到防水效果;养护时间不少于 7 d,并采用湿润的土工布或麻布覆盖保护,避免雨淋、霜冻、日晒、污水影响。

4.3 质量控制

涂料施工结束可能会出现爆皮、涂刷不均等问题,施工时必须严格按照设计要求的配合比进行涂料配置,计量准确率应为 100%,采用专用的搅拌工具搅拌均匀。涂刷时,首先对墙面交界、排水管道等局部区域采取加强处理密封,处理完成后进行大面积涂刷施工,确保涂刷层厚薄均匀,涂刷遍数满足要求。

5 结 语

水泥基渗透结晶型防水涂料作为目前市场上常见的建筑工程混凝土防渗涂层材料,能够显著提高混凝土强度以及其抗渗、耐腐蚀性能,达到提高结构物使用寿命、降低后期维修成本的目的^[5],有效解决了常规混凝土工程因浇筑方式、材料批次等情况引起的外观色差、模板印痕等问题,提升了结构物表面的美观程度,一举多得。

(下转第 111 页)

分台阶开挖揭露岩性较好时改为全断面施工。

3.6 加强超前地质预报,用于指导后续施工

该工程运用美国 TRT 仪器进行超前地质预报^[5],预判隧洞掘进前方的围岩变化情况,经详细分析后编辑地质超前简报用于指导现场施工;使用 100B 钻机在掌子面施工深度为 30 m 的超前勘探孔 3 个,分别布置在易垮塌区的上半幅,顶拱 1 个,两侧各 1 个,分别对钻孔速度、声音、出水颜色和钻渣等情况进行详细记录,结合地质勘探资料做出正确的判定;现场钻工可根据钻孔速度和掌子面揭露的情况分析、控制钻孔的深度、间排距和装药量,以减少因爆破振动对周边围岩的扰动。及时跟踪,确保超前地质预报桩号每次搭接 20 m,100B 勘探孔桩号每次搭接 5 m,以保证连续性地指导施工。

4 结 语

固增水电站通过上述施工技术的研究与实施,成功地处理了本次突泥突水事件。处理过程中未发生安全事故,处理完成后该部位未再发生塌方变形等事件。总结、完善灾害处理经验并将其用于指导后续未开挖洞段的施工,减少不良地

质洞段的开挖塌方,促进了施工进度,确保了该工程长达 11.06 km 引水隧洞的开挖未出现一般及以上安全事故,降低了施工成本。

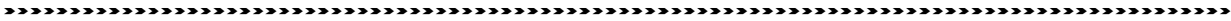
参考文献:

[1] 陈东. 纳米混凝土在不良地质隧洞支护中的应用[J]. 人民长江,2009,40(10):32-33.
[2] 张野,刘政儒,田兴举. 跟管钻进大管棚搭接在地下管廊暗挖下穿特大风险源施工中的应用[J]. 建筑技术,2020,51(7):809-812.
[3] 邢彦波. 水电站进水口边坡超前锚筋束的施工情况分析[J]. 硅谷,2012,5(20):145,160.
[4] 张剑波,吴长庚,刘竹. 南俄 5 水电站引水隧洞固结灌浆工程施工技术浅析[J]. 四川水利,2020,41(5):35-37.
[5] 刘康. 综合超前地质预报在隧道工程中的应用[J]. 四川建材,2020,46(11):75-76.

作者简介:

郭 益(1976-),男,四川眉山人,副局长兼项目经理,高级工程师,从事水利水电工程施工项目管理工作;
戚绍礼(1987-),男,四川南充人,项目总工程师,工程师,学士,从事水利水电工程施工项目管理工作;
王军红(1985-),男,甘肃渭源人,项目副总工程师,工程师,学士,从事水利水电工程施工项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



(上接第 54 页)

通过对尹河跌水建筑物水泥基渗透结晶型防水涂料施工工艺和相关参数的应用研究,确保了结构物表观质量,提升了施工质量,积累了相关施工经验,为水工建筑物混凝土结构致密防渗性能、抗腐蚀性能、美观度等的提升,以及该防水材料在水工建筑物中的推广起到了一定的探索作用。

参考文献:

[1] 李亮,宁博. 引江济淮工程三河跌水设计方案比选[J]. 治淮,2019,68(4):20-21.
[2] 何大亮. 桥梁裂缝处治中水泥基渗透结晶的应用研究[J]. 交通世界,2021,28(19):123-124.
[3] 李广彦. 水泥基渗透结晶型防水材料制备及其自修复性能

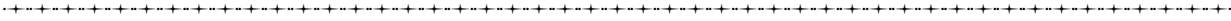
[D]. 华南理工大学,2018.

[4] 杨斌. 水泥基渗透结晶型防水材料及其产品合格判定[J]. 中国建筑防水,2017,34(24):1-5.
[5] 胡雄飞,危青,钟小帅. 水泥基渗透结晶型防水涂料在某码头工程中的应用[J]. 中国水运(下半月),2012,12(9):219-220.

作者简介:

李 银(1989-),男,湖北当阳人,项目副经理,工程师,学士,从事水利水电工程及市政工程施工技术与管理工作;
王明阳(1997-),男,重庆市人,项目技术质量部副主任,从事建筑工程施工技术与管理工作;
任 勇(1996-),男,四川南充人,项目技术质量部副主任,助理工程师,学士,从事水利水电工程及市政工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



(上接第 107 页)

[2] 冯凯,等. 天生桥一级水电站水轮机改造研究[J]. 大电机技术,2021,51(6):56-67.
[3] 童正权. 龚嘴电站改造工程水轮机增容及改善运行稳定性水力研究[J]. 水电站机电技术,2012,35(6):8-9,20.
[4] 尹国军,等. 大朝山电站水轮机转轮卡门涡共振分析[J]. 水电站机电技术,2005,28(4):80-82.
[5] 刘胜柱,等. 混流式水轮机导叶与转轮的匹配关系[J]. 西安

理工大学学报,2004,20(1):1-4.

作者简介:

向 升(1971-),男,重庆开州人,副总经理,高级工程师,学士,从事水利水电工程设计及技术管理工作;
郑 静(1971-),女,四川成都人,副教授/高级工程师,学士,从事水电站水力机械和电气工程(一次部分)教学与研究工作。

(责任编辑:李燕辉)