

文章编号:1001-4179(2015)22-0079-04

新型水工混凝土表面防护涂层抗冻融性能研究

梁 慧^{1,2,3,4}, 汪在芹^{2,3,4}, 李 珍^{2,3,4}

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 201198; 2. 长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010;
3. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010; 4. 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443000)

摘要:西部高寒地区地理位置独特,水文地质气候条件复杂,自然环境恶劣,造成该区域内水利工程混凝土材料易发生冻融劣化破坏。对此,选取课题组已研发的 3 种新型水工混凝土表面防护涂层材料(耐候型环氧涂层、不饱和聚酯树脂和聚脲涂层体系),进行室内加速冻融试验。试验结果表明,以环氧胶泥为底漆,聚脲材料为面漆的水工混凝土表面防护涂层的抗冻性能最优。随后在西藏地区水利水电工程进行了现场生产性试验,通过观测发现,新型聚脲材料起到了很好的抗冻防护效果。该材料有望应用于西部高寒地区水工建筑物的表面防护,提高水利水电工程建筑物的耐久性。

关 键 词:水工混凝土;冻融循环;表面防护涂层;西部高寒地区

中图法分类号:TV431

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.22.018

1 研究背景

西部高寒地区地理位置独特,地质气候复杂,自然环境恶劣。与其他地区相比,西部高寒地区特别是西藏地区的主要特点是严寒干燥、日温差大、深覆盖层冻土、紫外线辐射强烈、大风日数频繁等^[1-2]。该地区混凝土材料的病害形式多种多样,主要的劣化形式为混凝土的冻融破坏,且冻融破坏会加速其他破坏因素的作用,加快劣化进程,如冲刷、溶蚀及碳化过程^[3]。

水工混凝土表面防护是近年来兴起的提高混凝土耐久性措施之一,即通过在混凝土表面喷涂抗渗、耐腐的涂料,使水工混凝土表面形成一层防水不透气的保护层,隔离外部环境因子如空气、水和氯盐等对水工混凝土的侵害,弥补混凝土的多孔缺陷,有效阻止结构刚度降低、承载力下降或开裂,从而提高混凝土耐久性,延长水利工程使用寿命^[4-10]。

本文选取课题组已研发的 3 种新型水工混凝土表面防护涂层材料,开展混凝土试件室内加速冻融试验,对比不同防护涂层的抗冻性能,并进行现场生产性试验,从而判断制备的涂层材料是否适用于西部高寒地区水利工程。

2 试验材料及方法

2.1 原材料及试样制备

室内加速冻融试验所用混凝土试件、水泥砂浆试件的成型和养护均按照 SL 352-2006《水工混凝土试验规程》进行。混凝土试件配合比见表 1,试件尺寸为 100 mm×100 mm×400 mm;砂浆试件配合比见表 2,尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm。

分别选择耐候性环氧涂层、不饱和聚酯树脂、水工混凝土聚脲涂层体系作为抗冻涂层,其中水工混凝土聚脲涂层体系采用环氧胶泥作为底漆、自制的脂肪族

收稿日期:2015-07-03

基金项目:水利部公益性行业专项“西部高寒地区水利工程劣化防护措施研究”(201301023);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“西部高寒地区聚脲类水工混凝土防护涂层的劣化及防护机理”(2014B37314);科技部国际科技合作计划专项“水工新型防护涂层材料制备与应用的合作研究”(2010DFB70470)

作者简介:梁 慧,女,博士研究生,研究方向为新型水工建筑材料。E-mail:achoig@163.com

通讯作者:汪在芹,男,教授级高级工程师,博士生导师,研究方向为水工建筑材料。Email:wangzq@mail.crsri.cn

表 1 中热水泥混凝土配合比

粉煤灰 掺量/%	水胶 比	砂率/ %	HLC - IX/%	GYQ/ %	混凝土材料用量/(kg·m ⁻³)				
					水	水泥	粉煤灰	砂	石
15	0.39	40	0.5	0.025	117	255	45	810	1206

表 2 中热水泥砂浆配合比

水灰比	水/mL	中热水泥/g	ISO 标准砂/g
0.5	225	450	1350

聚脲作为面漆。

为增加涂料与试件之间的粘合力,在涂刷涂料之前,需用电动抛光打磨机打磨试件表面,直至试件表面无孔洞且平整,并洗去污物。待试件干燥后,混凝土试件分别涂刷 2 mm 厚的聚脲涂料、不饱和聚酯树脂涂料;水泥砂浆试件分别涂刷 2 mm 厚的耐候性环氧涂层、聚脲防护涂层体系(1 mm 环氧胶泥底涂、1 mm 聚脲面漆),涂刷两次,且两次涂刷之间至少间隔 8 h。上述工作完成后,按照 GBT 16777-2008《建筑防水涂料试验方法》,在室温为(23±2)℃、相对湿度为(50±5)%条件下养护 7 d 备用。

2.2 试验设备及方法

利用全自动混凝土冻融试验机(日本圆井公司, MIT-683-0-63 型)按照 SL352-2006《水工混凝土试验规程》中的混凝土抗冻性试验、水泥砂浆抗冻性试验方法进行冻融试验。此规范规定遇到下列情况之一即可停止试验:①已达到 300 次冻融循环;②相对动弹性模量下降到 60% 以下;③质量损失率不小于 5%。利用万能试验机(日本岛津公司生产, AG-IC 100kN 型)测试材料的抗拉、抗折和抗压性能。

3 结果与讨论

根据 GBT 16777-2008《建筑防水涂料试验方法》测试涂层材料的粘接强度和抗拉强度,并选择粘接性能、抗拉性能较好的涂层材料进行冻融试验。再依照 SL 352-2006《水工混凝土试验规程》,利用质量损失率和相对动弹性模量变化量来评判涂刷了表面防护涂层材料的混凝土、水泥砂浆试件的抗冻等级,并测试试件的抗折、抗压强度,评价涂层材料对水工混凝土的保护效果。

在大量配合比试验基础上,可选取抗拉性能较好的耐候性环氧涂层、不饱和聚酯树脂和聚脲涂层材料的配比,其抗拉强度分别为 23.01、28.02 MPa 和 10.91 MPa。

再对上述涂层材料进行粘接性能测试,发现耐候

性环氧涂层粘接力大于 3.5 MPa,且破坏多发生在混凝土基体上;聚脲涂层材料与混凝土的粘接性能次之。若以环氧胶泥为底涂,可提高聚脲材料的粘接性能。此外,聚酯与混凝土粘接性较差,破坏位置在混凝土与涂层之间,粘接力小于 2.0 MPa。

对耐候性环氧涂层材料在冻融破坏后的抗拉性能测试可发现(见图 1),经 150 次冻融循环后,其抗拉性能依然表现良好;但当冻融次数大于 200 次后,抗拉强度开始明显下降。对于聚脲材料本身而言,冻融破坏对其抗拉性能影响较小,经过 300 次冻融循环后,其抗拉强度仍为初始抗拉强度的 88.89%。而且,聚脲材料在 300 次冻融循环期间,材料表面未发生明显收缩变形或裂纹现象。

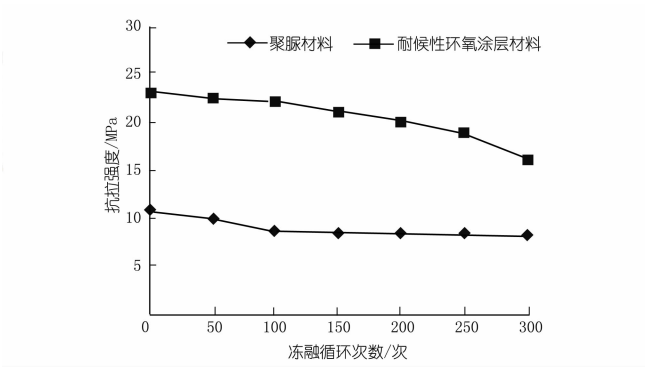


图 1 冻融破坏对涂层材料抗拉性能的影响

3.1 质量损失率与相对动弹性模量

分别对未涂刷任何防护涂层及涂刷了耐候性环氧涂层、聚脲类表面防护涂层体系的水泥砂浆试件进行室内加速冻融实验。

结果显示,经历 100 次冻融循环后,未涂刷任何防护涂层材料的水泥砂浆试件表面已严重破坏;试件质量损失达 42.16%,相对动弹性模量降至 11.77%,抗冻等级低于 F100(见表 3)。

表 3 未涂任何防护材料的水泥砂浆试件抗冻性能

冻融循环数/次	质量/g	质量损失率/%	自振频率/Hz	相对动弹性模量/%
0	597.61	0.00	3378.00	100.00
50	584.33	2.22	3126.00	85.64
100	345.67	42.16	1158.67	11.77

对只涂刷耐候性环氧涂层的水泥砂浆试件进行室内加速冻融实验,发现试件从 200 次冻融循环后开始出现裂隙,抗冻等级大于 F150(见表 4)。

涂刷聚脲体系材料的水泥砂浆试件经 200 次甚至 300 次冻融循环后表面未发现裂缝或损伤,可见聚脲涂层明显改善了试件的抗冻性能。涂刷聚脲的试件抗冻等级大于 F250;冻融后质量和相对动弹性模量出现

小幅增加(见表 5),可能是由于聚脲材料表面吸附了少量水分所致。

表 4 涂刷环氧胶泥材料的水泥砂浆试件抗冻性能						
冻融循环数/次	质量/g		质量损失率/%	自振频率/Hz		相对动弹性模量/%
	冻融前	冻融后		冻融前	冻融后	
0	626.00	—	0.00	3378.00	—	100.00
50	623.00	623.33	-0.05	1925.00	1915.33	99.00
100	625.00	625.33	-0.05	2080.67	2103.50	102.21
150	631.67	632.00	-0.05	2106.00	2056.17	95.32
200	623.67	615.67	1.28	1819.33	1405.00	59.64
250	629.00	535.00	14.94	2024.00	1093.50	29.19
300	632.33	481.33	23.88	2143.67	—	—

表 5 涂刷聚脲材料的水泥砂浆试件抗冻性能						
冻融循环数/次	质量/g		质量损失率/%	自振频率/Hz		相对动弹性模量/%
	冻融前	冻融后		冻融前	冻融后	
0	636.86	—	0.00	1460.69	—	100.00
50	614.50	605.67	1.44	1398.00	1401.33	100.48
100	643.67	649.33	-0.88	1295.00	1296.67	100.26
150	641.67	653.00	-1.77	1459.67	1562.33	114.56
200	646.00	672.33	-4.08	1274.00	1430.00	125.99
250	657.67	672.33	-2.23	1292.67	1496.67	134.05
300	660.33	668.00	-1.16	1338.67	1150.00	73.80

3.2 力学性能

分别将单一的耐候性环氧涂层和聚脲防护涂层体系涂刷到砂浆试件表面,并开展三点弯曲抗折测试。结果显示,两种涂层与水泥砂浆之间界面粘接均较好,未出现因冻融作用产生应变差异而出现的界面破坏,表明这两种涂层材料与水泥砂浆均具有较协同的温度变形率。

图 2 为涂刷耐候性环氧涂层的水泥砂浆试件经历不同冻融循环次数后的力学性能变化曲线。可以看出,此水泥砂浆试件经受 150 次冻融循环期间,其抗折强度和抗压强度变化甚微。从 200 次冻融循环后,由于环氧涂层出现裂隙,试件内部的水泥砂浆浸水,使得其冻融破坏加剧,试件整体的抗折和抗压性能降低,该

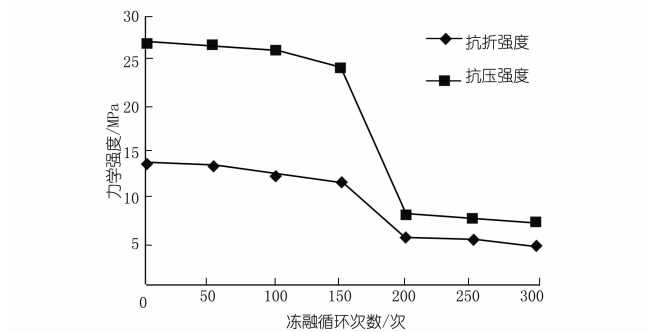


图 2 冻融破坏对涂刷耐候性环氧涂层材料的水泥砂浆试件力学性能影响

结果与耐候性环氧涂层材料经冻融循环破坏后的抗拉效果一致。

图 3 为涂刷聚脲防护涂层体系的水泥砂浆试件经历不同冻融循环次数后的力学性能变化曲线。随着冻融次数的增加,该水泥砂浆试件强度特性呈下降趋势,其中抗折强度下降幅度较大,而抗压强度下降趋势略缓。从冻融循环 100 次的情况来看,试件抗折强度剩余 87.5%,抗压强度剩余 91.15%;200 次循环后抗折强度剩余 31.18%,抗压强度剩余 74.63%;300 次循环后抗折强度剩余 1.7%,抗压强度剩余 74.43%。

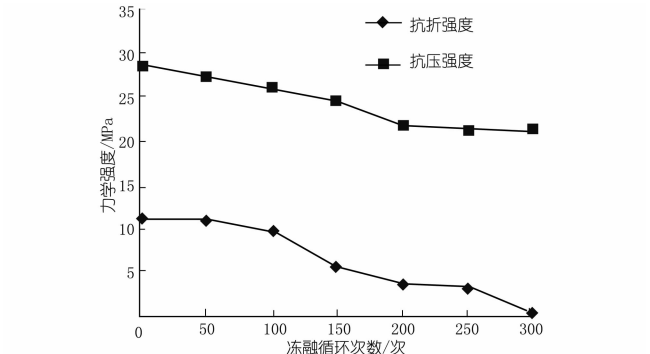


图 3 冻融破坏对涂刷聚脲防护涂层体系的水泥砂浆试件性能影响

3.3 现场生产性试验

为验证新型聚脲涂层在水利水电工程中实际应用的抗冻融防护效果,2014 年陆续在藏木水电站、满拉水库、丹江口水电站等水利水电工程进行现场生产性试验。经过观测发现,新型聚脲防护涂层体系不仅可以有效防止水工混凝土表面因冻融产生剥蚀和裂纹,而且还能阻止渗漏和冲蚀,进一步防止冻融破坏。

4 结语

针对西部地区的高寒特性,本文选取课题组已研制的耐候性环氧涂层材料、新型聚脲防护体系涂层材料和不饱和聚酯树脂材料,通过室内加速冻融试验对比发现,以环氧胶泥为底漆、聚脲材料为面涂的水工混凝土表面防护涂层的抗冻性能最优。西藏藏木等水电站进行的现场生产性试验结果表明,新型聚脲材料初步起到了抗冻效果。因此,该材料有望应用于西部高寒地区水工建筑物的表面防护,提高水利水电工程建筑物的耐久性。

参考文献:

[1] 周世华,汪在芹,李家正,等. 西藏地区的气候特征及对混凝土的影响[J]. 水力发电,2012,38(6):44-47.
[2] 董瑞琨,许兆义,杨成永,等. 青藏高原的冻融侵蚀问题[J]. 人民长江,2000,31(9):39-41.
[3] 商怀帅,尹全贤,宋玉普,等. 冻融循环后普通混凝土变形特性的

试验研究[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 58-61.

[4] 韩炜, 杜科, 李珍, 等. 大坝混凝土裂缝修补材料的制备研究[J]. 人民长江, 2011, 42(10): 80-86.

[5] Chen L, Li Z, Xiao C J, et al. Size - controlled synthesis of highly dispersed silver particles[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2013, (24): 1469-1474.

[6] 廖波, 袁江, 董建军, 等. 高耐候性抗碳化氟碳涂层材料的研制[J]. 人民长江, 2011, 42(3): 99-102.

[7] 王卫英, 于志鹏, 吕平, 等. 钢筋混凝土的腐蚀与防护[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 104-108.

[8] 冯菁, 韩炜, 李珍, 等. 新型聚脲混凝土保护材料开发及工程应用研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(2): 64-67.

[9] 刘磊, 陈亮, 汪在芹, 等. 水工金属结构水性无机富锌涂料研究进展[J]. 人民长江, 2013, 44(20): 61-65.

[10] 魏涛, 廖灵敏, 韩炜, 等. CW 系列混凝土表面保护修补材料研究与应用[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(10): 175-179.

(编辑: 胡旭东)

Study on freeze - thaw resistance property of new surface protective coatings of hydraulic concrete

LIANG Hui^{1,2,3,4}, WANG Zaiqin^{2,3,4}, LI Zhen^{2,3,4}

(1. College of Water Conservancy and Hydroelectric Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China; 3. National Dam Safety Research Center, Wuhan 430010, China; 4. Collaborative Innovation Center for Geo - hazards and Eco - Environment in Three Gorges Area, Hubei Province, Yichang 443000, China)

Abstract: The geographic position of alpine - cold region of west China is unique, the hydrological conditions and climatic conditions are complex and the natural environment there is harsh, therefore the freeze - thaw damage of the concrete materials occurs frequently. Freeze - thaw resistance property tests were conducted for three newly - developed surface protective coating materials of hydraulic concrete, namely the weathering epoxy coating, unsaturated polyester resin and polyurea coating system. The freeze - thaw resistance property of the polyurea coating system, using epoxy mortar as primer, polyurea material as paint, has the best effects under indoor accelerated freeze - thaw tests. And it is proved by the field production test that the material can protect the hydraulic concrete effectively in Tibet region, which is expected to be applied to the surface protection of hydraulic structures for improving the durability of water conservancy and hydropower projects in alpine - cold regions of west China.

Key words: hydraulic concrete; freeze - thaw cycle; surface protective coating; western alpine - cold region

(上接第 78 页)

Application of weathering model in particle breakage study of coarse granular soil

JIA Yufeng WANG Bingshen CHI Shichun

(Institute of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The particle breakage tests were carried out to the basalt coarse granular soil of Gushui concrete face rockfill dam. The relationship between the parameters of weathering model and particle breakage was studied according to the grading curves of the soil before and after the tests. The study shows that the weathering model can well simulate the grading curves of the soil before and after the tests, especially for the particle with large diameter (larger than 5mm), the simulation effect of weathering model is better than that of the fractal model. The weathering model parameter reflects the size and distribution of the area enclosed by the grading curve and the largest particle size curve. The relative breakage parameter of Br, a function of the parameter of the weathering model, can be directly calculated by using the weathering model parameters of the grading curves of the soil before and after the tests.

Key words: coarse granular soil; particle breakage; weathering model; relative breakage parameter