

船闸闸室墙表面修复砂浆性能试验

刘大智¹ 江朝华² 陈 达² 张 玮²

(1.河海大学力学与材料学院,江苏 南京 210098;2.河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 进行丙乳砂浆、硅粉砂浆、高强砂浆、聚丙烯纤维高强砂浆及玄武岩纤维高强砂浆等 5 种船闸闸室墙表面修复砂浆的抗压、抗折、抗冲磨及耐久性等系列性能试验研究。研究表明 加入丙乳明显降低了砂浆的抗压、抗折强度 尤其是抗压强度 说明丙乳砂浆的压折比降低 韧性增大 硅粉砂浆具有优良的力学性能 其 28 d 的抗压、抗折强度分别为 85.9 MPa、14.5 MPa 加入纤维极大地改善了砂浆的抗冲磨性能 与未加纤维的高强砂浆相比 加入聚丙烯后砂浆的磨损率和抗冲磨强度分别提高了 30%和 27% 各修复砂浆均具有良好的抗碳化性能 5 种修复砂浆中硅粉砂浆的抗冻性能最好 170 个冻融循环后抗压、抗折强度损失率分别为 2.2%和 4.1% 聚丙烯纤维高强砂浆及玄武岩纤维高强砂浆具有良好的抗渗性能 1.5 MPa 水压下的渗水高度分别为 1.0 mm 及 1.5 mm 表明加入聚丙烯纤维与玄武岩纤维可以有效地改善砂浆的耐久性能。

关键词 船闸;修复砂浆;力学性能;抗冲磨性能;耐久性

中图分类号 TU521.1 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2010)S1-0075-04

由于长期的船舶碰撞、水流冲蚀、自然碳化及水质污染等原因,船闸墙面风化损坏严重,钢筋裸露,已严重影响到船闸的安全运行和使用寿命,因此有必要开展船闸闸墙表面修复技术研究,为快速、优质、大面积修复混凝土表面创伤提供科学方法^[1]。针对船闸闸墙修复的具体情况,在选择修复材料时应考虑适宜的凝结时间、良好的工作性能、较高的早期强度以及与老混凝土良好的黏结性、耐久性等因素,以期找到高强高性能(耐磨耐撞)且与旧墙黏结牢固的材料防护闸墙,延长其使用寿命^[2-3]。

笔者在充分调研国内外现有修复技术的基础上,选取了丙乳砂浆、硅粉砂浆、高强砂浆、聚丙烯纤维高强砂浆及玄武岩纤维高强砂浆 5 种修复材料,结合工程应用经验数据及大量前期试验工作,确定磨耗层材料的配合比,在此基础上进行了各修复材料的抗压、抗折力学性能、抗冲磨性能及耐久性试验研究。

1 原材料及试验方法

1.1 原材料

修复砂浆所用水泥为江苏双龙集团有限公司制造的双猴牌 PO 42.5 普通硅酸盐水泥,其各项指标

均符合国家标准,修复砂浆用砂为宜兴河沙,细度模数为 3.28;减水剂应用 FDN 高效减水剂,试验分别采用了横店集团上海俄金玄武岩纤维有限公司及武汉汉森钢铁纤维有限责任公司生产的玄武岩连续纤维及改性聚丙烯纤维,其掺量根据最佳推荐掺量加入,分别为 1.2 kg/m³ 和 0.9 kg/m³。各组修复材料试样以流动度 115 mm±3 mm 成型,具体修复砂浆配合比见表 1。

表 1 各组修复砂浆配合比

试样名称	水泥	砂	水	丙乳	硅粉 混合物	高效 减水剂	纤维
丙乳砂浆	1	2.0	0.07	0.25			
硅粉砂浆	1	1.2	0.30		0.17		
高强砂浆	1	1.5	0.26			0.007	
聚丙烯纤维 高强砂浆	1	1.5	0.26			0.007	0.001 1
玄武岩纤维 高强砂浆	1	1.5	0.26			0.007	0.001 5

1.2 试验方法

抗压、抗折强度试验依据 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》进行,标准养护后的试件分别在 NYL-300D 压力试验机和 DKZ-5000 型电动抗折试验机上进行抗压、抗折强度测试。抗冲磨

性能试验依据 DL/T5150—2001《水工混凝土试验规程》中的水下钢球法进行 ,试件的尺寸为 300 mm × 100 mm ,试验中 3 个试件为 1 组。成型后将试件在养护室中标准养护 28 d 后进行抗冲磨性能试验 ,抗冲磨时间为 3 d ,通过冲磨前后磨损率及抗冲磨强度评价材料的抗冲磨性能。抗碳化、抗冻性及抗渗性试验根据 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》进行。抗碳化试验在江苏省建筑科学研究院研制的 CCB-70A 型碳化试验箱中进行 ,砂浆抗冻性试验在美国 HUMBOLDT MFG 公司生产的 H-3185 型全自动快速冻融试验机中进行 ,试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 160 mm ,成型后于水中养护 28 d 后进行抗冻性试验 , 170 个循环后分别测定冻融组 and 对照组的抗压与抗折强度 ,计算强度损失率。砂浆抗渗试件尺寸为 :上口直径 70 mm ,下口直径 80 mm ,高 30 mm ,成型后的试件在水中养护 28 d 后取出 ,静置 24 h 后进行抗渗性试验。

2 试验结果及分析

2.1 抗压、抗折性能试验结果及分析

各修复砂浆 3 d ,7 d ,28 d ,90 d ,180 d 的抗压、抗折强度试验结果见表 2。

由表 2 可知 ,加入丙乳虽然有效地改善了砂浆的工作性能 ,但明显降低了砂浆的抗压强度 ,原因可能有 :①试件养护条件为水养 ,不利于聚合物空间网膜的发展 ;②加入丙乳聚合物后砂浆孔含量及孔径增大^[4]。另外 ,由于丙乳的掺入形成网络结构 ,促使因应力作用而产生的微裂纹被阻断 ,避免了裂纹的进一步扩展 ,因而丙乳对砂浆抗折强度的不利影响没有对抗压强度的不利影响明显 ,同时丙乳砂浆的压折比降低 ,韧性增大。由于硅粉微粒填充及火山灰反应使得硅粉的加入有效地改善了砂浆的抗压、抗折强度 ,与空白样相比 ,28 d 抗压、抗折强度分别提高了 24% 和 18%。高效减水剂对普通修补砂浆有显著影响 ,由于其对新拌砂浆的减水和塑化作用 ,显著提高了不同龄期修复砂浆的抗压、抗折强度。

表 2 修复砂浆抗压、抗折强度试验结果

试件名称	抗折强度/MPa					抗压强度/MPa				
	3 d	7 d	28 d	90 d	180 d	3 d	7 d	28 d	90 d	180 d
丙乳砂浆空白样	6.0	9.2	11.5	12.8	14.2	31.4	52.2	66.5	87.1	90.4
丙乳砂浆	5.9	7.5	8.3	9.9	10.6	23.7	27.1	30.3	32.1	35.5
硅粉砂浆空白样	9.8	10.2	12.2	13.8	14.1	42.5	66.1	69.1	83.7	87.5
硅粉砂浆	11.6	12.9	14.5	16.2	17.2	58.4	72.3	85.9	91.1	91.2
高强砂浆空白样	8.3	10.3	11.2	12.3	13.6	40.6	64.2	68.2	82.1	86.8
高强砂浆	8.7	10.9	11.5	13.5	14.5	54.9	74.5	81.2	93.3	93.6
聚丙烯纤维高强砂浆	9.9	11.9	12.0	16.7	17.8	56.7	73.9	80.3	91.9	91.5
玄武岩纤维高强砂浆	9.7	11.2	12.4	17.2	17.7	55.3	72.6	81.1	90.3	92.7

注 :各修复砂浆对应的空白样成分只有水、水泥和砂 ,与修复砂浆的灰砂比相同 ,加水量以相同的流动度控制。

加入纤维对砂浆早期抗压、抗折强度有一定的促进作用 ,以最佳掺量掺入聚丙烯纤维和玄武岩纤维后砂浆的 3 d 抗压强度相比高强砂浆的分别提高了 1.8 MPa和0.4 MPa ,随着龄期的增加 ,相比高强砂浆 , 2 种纤维高强砂浆的抗折强度仍有一定程度的提高 ,但抗压强度均有一定程度的降低。

2.2 抗冲磨性能试验结果及分析

由于船闸、泄洪坝等受高速含沙水流冲蚀 ,其表面修复材料的抗冲磨性能检验非常重要。表 3 为各修复砂浆抗冲磨性能试验结果。各修复砂浆抗冲磨后的外观见图 1。

表 3 修复砂浆抗冲磨性能试验结果

砂浆名称	磨损率/%	抗冲磨强度/ (h·kg ⁻¹ ·m ²)
丙乳砂浆空白样	5.10	9.1
丙乳砂浆	4.44	10.1
硅粉砂浆空白样	4.10	10.9
硅粉砂浆	2.74	17.0
高强砂浆空白样	4.37	10.3
高强砂浆	3.29	14.6
聚丙烯纤维高强砂浆	2.33	20.1
玄武岩纤维高强砂浆	3.01	16.3

从表 3 可看出 ,相比空白样 ,各修复砂浆的磨损率显著降低 ,而抗冲磨强度显著提高。所以砂浆里掺加丙乳、硅粉、高效减水剂、聚丙烯纤维及玄武岩纤维均可降低磨损率 ,提高抗冲磨强度。5 种修复材料中 ,聚丙烯纤维高强砂浆的磨损率最低 ,抗冲磨强度最高 ,分别为 2.33% 和 20.1 h/(kg·m⁻²) ;其次是硅粉砂浆和玄武岩纤维高强砂浆 ,其磨损率和抗冲磨强度分别为 2.74% ,17 h/(kg·m⁻²)和 3.01% ,16.3 h/(kg·m⁻²) ,与相同配合比但未加纤维的高强砂浆相比 ,加入聚丙烯后抗冲磨强度提高了 30% ,说明加入聚丙烯纤维极大地改善了砂浆的抗冲磨性能 ;玄武岩纤维高强砂浆的抗冲磨作用虽没有聚丙烯纤维高强砂浆的显著 ,但相对于没有加纤维的高强砂浆有显著改善 ,并且价格便宜 ,在水利工程中必将有广阔的应用前景 ,它也是替代聚丙烯、聚丙烯腈

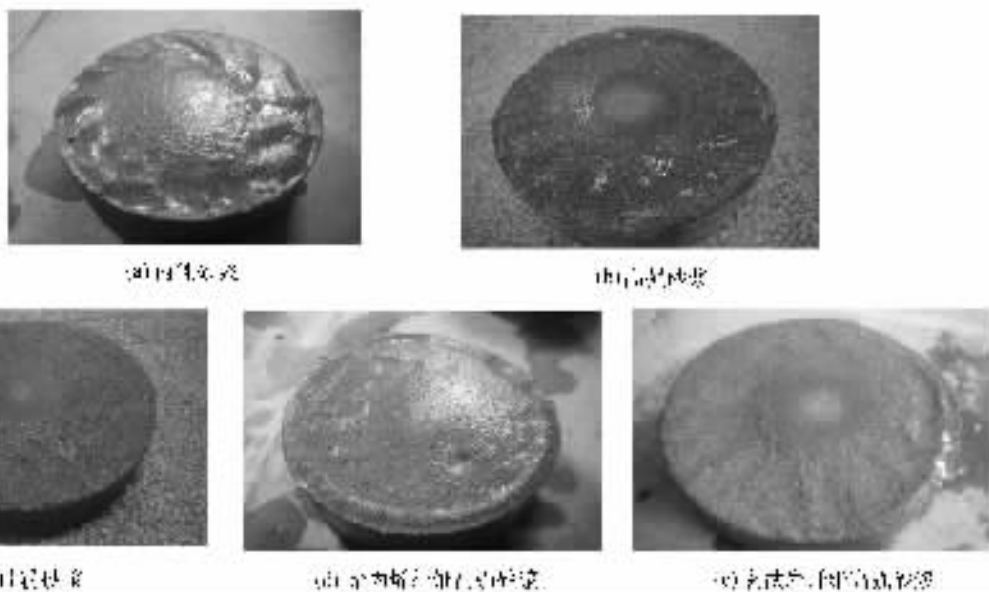


图1 各修复砂浆抗冲磨后外观

用于增强砂浆混凝土性能的极具竞争力的产品^[5-7]。

2.3 耐久性研究

进行了修复砂浆抗碳化性、抗冻性和抗渗性试验。表4为修复砂浆抗冻性能试验结果。分别测量了修复砂浆7d、14d、21d、28d的碳化深度,试验结果表明试件在这4个龄期完全没有碳化。由于28d碳化试验的砂浆碳化效果相当于自然环境下50a的碳化效果^[8],所以本试验所选磨耗层的抗碳化能力足以满足建筑功能需要。

表4 修复砂浆抗冻性能试验结果

砂浆名称	对照组 强度/MPa		冻融后 强度/MPa		试件强度 损失率/%	
	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折
丙乳砂浆空白样	79.9	5.1	66.3	3.4	17.0	33.4
丙乳砂浆	75.8	6.0	45.6	3.8	39.8	36.7
硅粉砂浆空白样	87.3	5.7	82.1	4.9	5.9	14.0
硅粉砂浆	90.9	7.3	88.9	7.0	2.2	4.1
高强砂浆空白样	86.2	5.6	80.3	4.6	6.8	14.3
高强砂浆	91.0	7.1	85.1	6.1	6.4	14.0
聚丙烯纤维高强砂浆	92.3	5.6	88.1	5.0	4.5	10.7
玄武岩纤维高强砂浆	93.0	5.8	89.2	5.2	4.1	10.3

从表4可看出,丙乳砂浆的抗冻性最差,冻融170个循环后抗压、抗折强度分别降低了39.8%和36.7%。硅粉的加入显著提高了砂浆的抗冻性,各修复砂浆中硅粉砂浆的抗冻性最好,冻融170个循环后抗压、抗折强度损失率仅分别为2.2%和4.1%,加入纤维后试件冻融后的强度损失率降低,与没加纤维但配合比相同的高强砂浆相比,加入聚丙烯纤维后砂浆的抗压、抗折强度损失率也有一定的减少,即说明加入纤维对砂浆抗冻耐久性有提高作用。

在1.5MPa水压、恒压24h情况下,丙乳砂浆空白

样、丙乳砂浆均渗水,硅粉砂浆空白样、硅粉砂浆、高强砂浆空白样、高强砂浆、聚丙烯纤维高强砂浆、玄武岩纤维高强砂浆的渗水高度分别为9.0mm、5.0mm、10.0mm、4.0mm、1.0mm、1.5mm。由此可知,丙乳砂浆的抗渗性最差,与空白样相比,加入硅粉、高效减水剂及纤维后都有效改善了砂浆的抗渗性能。各修复砂浆中,聚丙烯纤维砂浆及玄武岩纤维砂浆具有良好的抗渗性能,1.5MPa水压下的渗水高度分别为1.0mm及1.5mm,这说明加入聚丙烯纤维与玄武岩纤维可以有效改善砂浆的耐久性能。

3 结 论

a. 5种修复砂浆中,硅粉砂浆由于硅粉的微粒填充及火山灰反应使砂浆具有优良的力学性能,其28d的抗压强度、抗折强度分别为85.9MPa和14.5MPa,加入纤维对砂浆早期抗压、抗折强度没有明显改善作用,但对砂浆长期力学性能有一定的衰减作用;丙乳砂浆具有良好的流动性,但加入丙乳明显降低了砂浆的抗压、抗折强度,尤其是抗压强度,说明丙乳砂浆的压折比降低,韧性增大。

b. 5种修复砂浆中,聚丙烯纤维高强砂浆具有最优异的抗冲磨性能,其次分别是硅粉砂浆、玄武岩纤维高强砂浆和高强砂浆。聚丙烯纤维高强砂浆的磨损率和抗冲磨强度分别为2.33%、20.1h/(kg·m⁻²),与未加纤维的高强砂浆相比,加入聚丙烯后磨损率和抗冲磨强度分别提高了30%和27%,说明加入纤维能极大地改善砂浆的抗冲磨性能。

c. 各修复材料均具有良好的抗碳化性能,28d碳化深度为零;5种修复砂浆中硅粉砂浆的抗冻性能最好,170个冻融循环后抗压、抗折强度损失率分

别为 2.2% 和 4.1% ;玄武岩纤维高强砂浆、聚丙烯纤维高强砂浆、高强砂浆其次、聚丙烯纤维高强砂浆及玄武岩纤维高强砂浆具有良好的抗渗性能,1.5 MPa 水压下的渗水高度分别为 1.0 mm 及 1.5 mm ,表明加入聚丙烯纤维与玄武岩纤维可以有效地改善砂浆的耐久性能。

参考文献：

[1] 徐斌. 硅粉砂浆在修补船闸闸室墙的应用[J]. 水运工程, 2003, 10: 52-54.
[2] FOWLER D W. Polymer in concrete : a vision for the 21th century[J]. Cement and Concrete Composites, 1999, 21(5/6): 449-452.
[3] CHEN Pu-woei ,FU Xu-li ,CHONG D D L. Improving the

bonding between old and new concrete by adding carbon fibers to the concrete[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25 (3): 491-496.
[4] 王茹. 聚合物改性水泥砂浆性能及机理研究[R]. 上海：同济大学, 2005.
[5] 胡显奇, 申屠年. 连续玄武岩纤维在军工及民用领域的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 4(30): 7-13.
[6] 胡显奇, 益锋. 玄武岩连续纤维及其复合材料[J]. 高科技纤维与应用, 2004(2): 1-5.
[7] 王鲲鹏, 张伟. 玄武岩纤维的性能与应用[J]. 建筑技术与应用, 2004(4): 17-18.
[8] 支栓喜, 尚许阁, 贺科志. 新型水工抗冲磨护面材料的研制与应用[J]. 四川水力发电, 1995(12): 83-87.
(收稿日期 2009-06-08 编辑 骆 超)

(上接第 74 页)

3.4 不同围压方案对坝体应力水平的影响

a. 方案 2 河床 0+380 剖面坝体上游堆石区应力水平值为 0.4~0.6 , 上下游过渡层应力水平值为 0.4~0.5 , 心墙应力水平值约为 0.45~0.55 , 下游堆石区应力水平值为 0.3~0.6。上下游堆石区应力水平值较大值出现在岸坡浅表部区域。方案 3 坝体应力水平值比方案 2 稍小, 分布规律基本一致。

b. 不同围压计算方案对双江口心墙堆石坝应力水平影响不大, 河床坝段上游堆石、心墙内应力水平从方案 1 到方案 3 稍有减小的趋势, 上下游过渡层、下游堆石应力水平基本不变。

4 结 论

a. 不同围压计算方案下双江口心墙堆石坝坝体变形规律与主应力分布规律一致, 但是坝体变形与应力随着不同的侧向围压计算方案而有差异。

b. 不同侧向围压计算方案下双江口心墙堆石坝坝体变位值变化明显, 基准方案最大沉降为 2.805 m ; 方案 2 最大沉降为 2.571 m , 比基准方案减小 8.34% ; 方案 3 最大沉降为 2.386 m , 比基准方案减小 14.9%。计算结果表明, 侧向压力越大, 坝体沉降以及坝体变位越小。

c. 不同侧向围压下双江口心墙堆石坝坝体大主应力值变化微弱, 不同侧向围压计算方案下各节点大主应力值没有增大或减小的规律, 而是围绕某条曲线上下波动, 说明大主应力值主要由坝体自重决定, 不同侧向围压计算方案对坝体大主应力影响不大。

d. 方案 1、方案 2、方案 3 的双江口堆石坝坝体小主应力值依次递减, 与坝体变位相比小主应力递

减量值较小, 心墙中心面特征节点基准方案小主应力值为 0.891 MPa ; 方案 2 小主应力值为 0.861 MPa , 比基准方案减小 3.37% ; 方案 3 小主应力值为 0.830 MPa , 比基准方案减小 6.85%。

e. 不同侧向围压计算方案对双江口坝体的应力水平影响不大, 各方案下双江口堆石坝坝体应力水平分布规律一致, 量值变化不明显。

参考文献：

[1] 陈兴华. 脆性材料结构模型试验[M]. 北京：水利电力出版社, 1984.
[2] 路程, 李跃明, 陈翰. 考虑中主应力的邓肯模型[J]. 西安工业学院学报, 1992, 12(3): 13-19.
[3] 邹金锋, 罗恒, 李亮, 等. 考虑中主应力时土体劈裂灌浆力学机制的大变形分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2515-2520.
[4] 周小平, 张永兴, 周可善. 中低围压下细观非均匀性岩石本构关系研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(5): 606-610.
[5] 陈忠辉, 谭国焕, 杨文柱. 不同围压作用下岩石损伤破坏的数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 576-580.
[6] 张继宝, 陈五一, 李永红, 等. 双江口土石坝心墙拱效应分析[J]. 岩石力学, 2008, 29(增): 185-188.
(收稿日期 2010-06-03 编辑 高建群)

