

文章编号:2095-7386(2020)06-0040-07

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2020.06.007

海砂水泥砂浆力学性能与耐久性能研究

冯博文,刘杰胜,付弯弯,彭 浩,肖 扬,谭晓明
(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430023)

摘 要:随着近些年来建筑混凝土用料需求增长导致出现河砂被过度开采从而出现自然恢复率小于利用率的现象,而海水中存在的海砂自然成为了河砂的替代品。对淡化海砂后形成水泥砂浆与普通河砂砂浆进行对比,在力学性能的抗压与抗折强度以及抗渗性、抗硫酸盐腐蚀性、抗冻融性等耐久性进行了实验研究。结果表明:在 28 d 养护期条件下,随着海砂代替河砂所制备的水泥砂浆比例增大,水泥砂浆试件的抗折强度、抗压强度均呈现负相关,且第 28 d 时海砂水泥砂浆试件的抗折强度达到最小值为 3.671 8 MPa,抗压强度也达到最小值为 20.457 8 MPa;随着海砂代替河砂比例增加进行对照实验,砂浆试件的抗渗性、抗冻融性有所降低,而抗硫酸盐腐蚀性有所提高。

关键词:淡化海砂砂浆;抗折强度;抗压强度;抗渗性;抗酸腐蚀性;抗冻融性

中图分类号:TU 528

文献标识码:A

Research on mechanical properties and durability of sea sand cement mortar

FENG Bo-wen, LIU Jie-sheng, FU Wan-wan, PENG Hao, XIAO Yang, TAN Xiao-ming

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: With the increase in the demand for construction concrete materials in recent years, river sand has been over-exploited and the natural recovery rate is less than the utilization rate. The sea sand in the seawater has naturally become a substitute for river sand. This article mainly compares the performance of cement mortar formed after desalination of sea sand and ordinary river sand, and compares the basic mechanical properties of compressive strength and flexural strength, as well as durability, such as impermeability, sulfate corrosion resistance, and freeze-thaw resistance. The results show that under the curing period of 28 days, as the proportion of cement mortar prepared by increasing sea sand instead of river sand increases, the flexural strength and compressive strength of the cement mortar specimens are negatively correlated, and the minimum flexural strength of the mortar specimen of the sea sand cement was 3.6718 MPa, and the minimum compressive strength is 20.4578 MPa; with the increase in the proportion of sea sand instead of river sand, a control experiment is conducted. The impermeability and freeze-thaw resistance of the mortar specimen is reduced, and the sulfate corrosion resistance is improved.

Key words: desalinated sea sand mortar; flexural strength; compressive strength; impermeability; acid corrosion resistance; freeze-thaw resistance

收稿日期:2020-11-01.

作者简介:冯博文(1998-),男,硕士研究生,E-mail:vin312zzz@163.com.

通信作者:刘杰胜(1980-),男,副教授,E-mail:ljs628@163.com.

基金项目:湖北省教育厅科研计划项目(B2020064);2019年湖北省交通运输厅科技项目(2019-11).

1 引言

河砂作为建筑行业常用的主要原料,在水泥基建材中起骨架或填充作用的粒状松散材料,多年以来在建筑行业都具有显著和卓越的贡献。据统计^[1]我国砂石产量约占世界砂石总产量的 1/3,仅 2014 年我国的砂石需求量就高达 1.40×10^{10} t,预计 2030 年将比 2014 年高一倍以上。由于近些年的过量开采,河砂量不久将会出现供不应求的状况。河砂供需矛盾日趋严重导致价格飞涨,乱采乱挖的现象开始滋生,而储量丰富的海砂越来越被关注,近年来国内外对海砂进行了大量试验研究。然而,不良使用海砂会带来严重后果,世界各国“海砂屋”现象便是例证:1995 年韩国的“三丰大厦垮塌事件”和 1999 年土耳其大地震倒塌的建筑都是滥用海砂导致的恶果;泉州由于在建筑中滥用海砂,1993 年完工通车的惠安辋川大桥服役仅 7 年便被迫停用;2005 年奉化市市郊的锦山明珠小区因违规使用海砂导致钢筋外漏,危害极大^[2-3]。日本是世界上成功利用海砂的国家^[4],其沿海地区建筑混凝土用砂 90% 以上都是海砂,已经基本解决建筑用砂不足问题。然而,天然海砂要经过淡化处理后才能正常使用。海砂作为建筑材料,力学与耐久性是

作为衡量其实用价值的硬性指标。因此在本文中,笔者以淡化海砂水泥砂浆作为研究对象对海砂淡化后的抗压与抗折强度以及抗渗、抗冻和抗硫酸腐蚀性进行试验,探索海砂的力学性能与耐久性,为海砂混凝土的利用提供参考。

2 海砂淡化及砂浆制备

要使海砂中的 Cl^- 含量降低到标准浓度之下,主要采用自然放置法和淡水冲洗法。与自然放置法相比,淡水冲洗法所需时间短,效率较高,但会提高工程造价^[4]。本实验采用淡水冲洗法,将淡化后的海砂烘干后加入水泥进行干拌,制备砂浆按照 GBJ203-83《砖石工程施工及验收规范》进行,后装入已准备好的试模磨具并振荡捣鼓成型,48 h 后脱模并养护 28 d,制备完成。图 1—图 4 为河砂和海砂及其砂浆示意图。

3 海砂的力学性能与耐久性实验

3.1 试验材料及设备

3.1.1 原材料

河砂为普通混合砂,海砂选自于南海西沙群岛。表 1 为所选砂的性质。

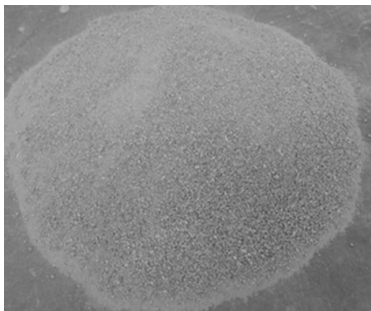


图1 河砂



图2 海砂

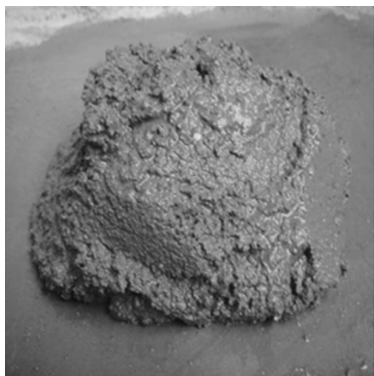


图3 普通河砂砂浆

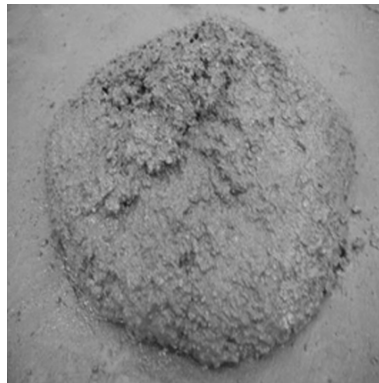


图4 海砂淡化砂浆

表 1 砂的性质

材料名称	密度 /(g/cm ³)	细度模数	最大 粒径/mm	级配
海砂	2.65	2.2	1.6	良好
河砂	2.65	2	2	良好

水泥的选用参考规范《蒸压加气混凝土砌块 GB11968 - 2006》中的要求确定为普通硅酸盐水泥,质量符合现行国家技术标准《通用硅酸盐水泥 GB175 - 2007》,采用 P. O 42.5 普通硅酸盐水泥。表 2 为所选水泥的物理性能。

表 2 水泥的物理性能

细度方孔	比表面积	标准稠度用水量	初凝时间	终凝时间
筛余/%	/(m ² /kg)	/%	/min	/min
0.65	353	27	130	170

3.1.2 实验配合比与参数

实验配合比与参数如表 3 所示。

表 3 每吨海砂砂浆的质量配合比

试验	水泥/kg	淡化海砂/kg	河砂/kg	水/kg	替代比例/%
1	250	0	750	180	0
2	250	187.5	562.5	180	25
3	250	375	375	180	50
4	250	562.5	187.5	180	75
5	250	750	0	180	100

3.2 海砂的力学性能试验方法

本实验主要从抗折强度与抗压强度两个力学性能进行研究。抗折、抗压强度随着养护时间的增加而增加,即呈正相关趋势。通过比较 28 d 养护期时河砂水泥砂浆与淡化海砂水泥砂浆抗压与抗折强度来研究海砂淡化后的力学性能。

3.2.1 抗折强度

实验采用 WANCE 抗压抗折一体机。按照 GB/T 17671 所规定的 40 mm × 40 mm × 160 mm 的三联试模;捣棒,直径为 9 mm,长 300 mm,顶端呈半球状的钢棒;镋刀等,按《DL/T5126—2001 - 聚合物改性水泥砂浆试验规程》在 28 d 养护期下进行抗折测试实验。

当养护期为 28 d 时,按照表 3 的试验配比,通过公式(1)计算

$$f_b = \frac{1.5PL}{b^3}. \quad (1)$$

式中: f_b ——抗折强度,MPa;

P ——破坏荷载,N;

L ——两个支点的间距,取 100 mm;

b ——棱柱体正方形截面的边长,取 40 mm。

3.2.2 抗压强度

同样采用 WANCE 抗压抗折一体机,按照《DL/T5126—2001 - 聚合物改性水泥砂浆试验规程》的规定养护,采用受压面积为 40 mm ± 40 mm 的抗压夹具,在 28 d 养护期下进行抗压强度实验。当养护期为 28 d 时,按照表 3 的试验配比,通过公式(2)计算

$$f_c = \frac{P}{S}. \quad (2)$$

式中: f_c ——抗压强度,MPa;

P ——破坏荷载,N;

S ——受压面积,取 40mm × 40mm。

3.3 海砂的耐久性试验方法

耐久性越高,材料寿命越长。本试验主要从抗渗性、抗硫酸盐腐蚀性与抗冻性三个性能测试河沙与不同比例下海砂的耐久性差别。

3.3.1 抗渗性

实验采用金属试模:上口直径 70 mm,下口直径 80 mm,高 30 mm 的截头圆锥带底金属试模、砂浆渗透仪。按照 GB/T50082 - 2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》实验,如图 5 — 图 8 所示。

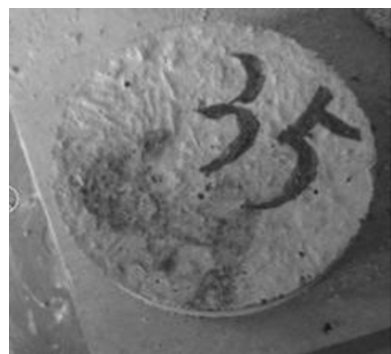


图 5 抗渗实验试块

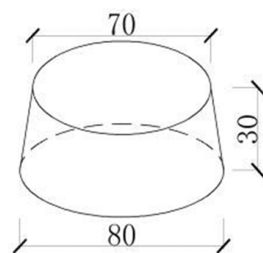


图 6 抗渗实验试块示意图



图7 SS-15 型砂浆抗渗仪

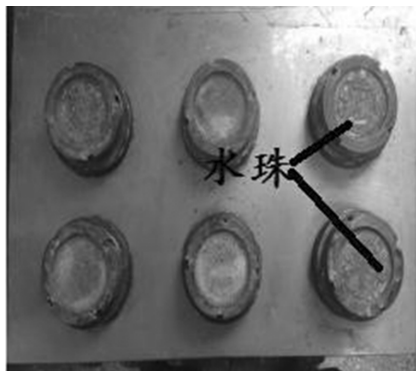


图8 试验现象

3.3.2 抗硫酸盐腐蚀性

依据规范《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准 GB/T 50082 - 2009》和《蒸压加气混凝土试验方法 GB 11969 - 2008》成型试块。试验采用全浸泡法。两组实验浸泡时间为 28 d, 28 d 后从溶液中取出, 擦干称量, 按试验设计龄期分别测定各组砂浆试件抗压强度, 求出抗腐蚀系数值。按照式 (3) 与实验计算抗酸腐蚀系数 K_f

$$K_f = \frac{f_{cn}}{f_{co} \times 100\%} \quad (3)$$

式中: K_f ——耐酸腐蚀系数(%) ;

f_{cn} ——溶液中浸泡 28 d 龄期抗压强度 MPa, 精确至 0.01 ;

f_{co} ——清水中浸泡 28 d 龄期抗压强度 MPa, 精确至 0.01

3.3.3 抗冻性

参照规范《建筑砂浆基本性能试验方法标准 JGJ/T70 - 2009》、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准 GB/T50082 - 2009》和《蒸压加气混凝土性能试验方法 GB11969 - 2008》对冻融循环试验的要求, 确定抗冻试验应在气体中冷冻在水中融即采用气冻水融试验方法^[11]。

4 结果与讨论

4.1 力学性能

由图 9 可知, 随着海砂代替河砂比例增加, 海砂砂浆的抗折强度逐渐减小, 且海砂砂浆在 28 d 时抗折强度较河砂砂浆减少 3.143 7 MPa。

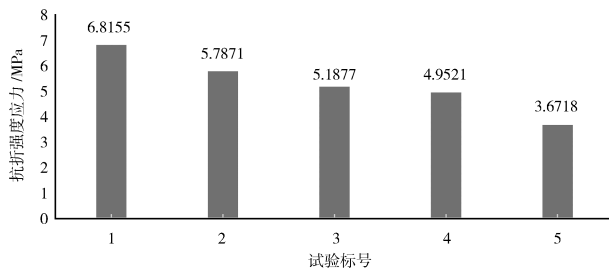


图9 不同比例下海砂与河砂的抗折强度关系图

由图 10 可知, 当养护期为 28 d 时, 随着海砂代替河砂比例增加, 海砂砂浆的抗压强度也逐渐减小, 且海砂砂浆在 28 d 时抗压强度比河砂砂浆减少 12.861 6 MPa。

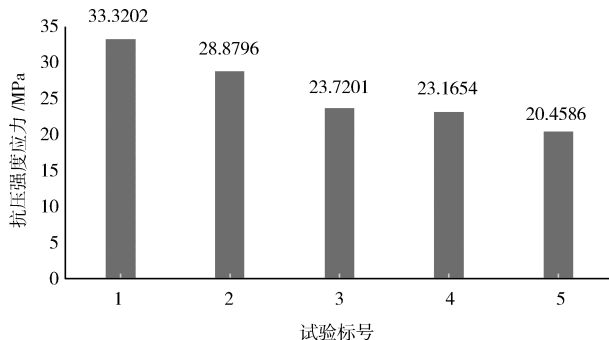


图10 不同比例下海砂与河砂的抗压强度关系图

淡化海砂砂浆力学强度较河砂砂浆偏低是因为随着试件海砂比例增加, 这样的海砂水泥砂浆体系的砂浆试块成型后, 由于海砂中可能还存在部分贝壳类尺寸较海砂大的颗粒形成的混合结构导致水泥砂浆中的孔隙增多, 孔隙率增加, 内部结构较河砂水泥砂浆形成的体系结构疏松, 海砂较为松散的结构被部分或全部加入原本密实的河砂结构中, 导致海砂水泥砂浆试块的抗折、抗压强度降低。还可能因为海砂掺杂少量贝壳随着原材料掺入砂浆中, 虽不影响水泥的水化过程, 但这些轻物质因呈薄片状, 表面光滑, 本身强度低, 且较容易沿节理断裂, 因而影响与水泥的粘结能力, 这种影响要比单纯颗粒孔隙对砂浆的早强作用效果要大, 导致了海砂砂浆的抗折、抗压强度较河砂砂浆有所下降^[5]。

4.2 耐久性

4.2.1 抗渗性

渗水压力值是检测水泥砂浆抗渗性能的重要指标,渗水压力值越高说明水泥砂浆抗渗性越好。砂浆耐久性的几种破坏形式过程均与水有密切的关系,对砂浆有害的流动水都是通过砂浆中的毛细孔隙进入其内部,砂浆抗渗性能的好坏将直接影响到砂浆的耐久性,砂浆的抗渗性越好,流动水和腐蚀性的物质越难以进入。抗渗性实验数据如图 11 所示。

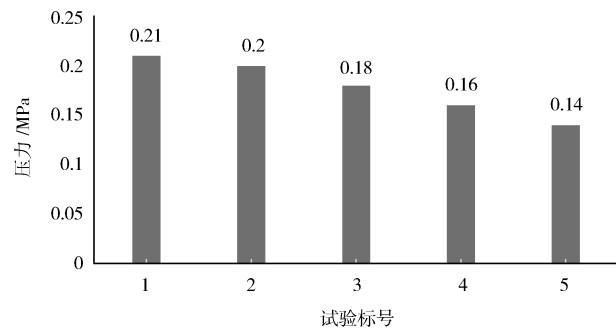


图 11 河砂、海砂砂浆抗渗性测试

由图 11 可知,河砂砂浆较海砂砂浆的抗渗性更为良好。这是因为,密实度是影响砂浆抗渗性能的一个重要因素。随着海砂替代原有的河砂,在水泥砂浆水化硬化的过程中,形成的海砂砂浆结构比河砂砂浆结构密实度小,海砂的替代降低了砂浆的密实性,也就降低了砂浆的抗渗能力^[6]。同时,海砂本身具有的表面张力和表面能使其具有较强的亲水性,海砂更易从环境中吸收水分,从而进一步削弱了海砂砂浆的抗渗性能。

4.2.2 抗酸腐蚀性

通过测定硫酸盐腐蚀实验进行性能测试,试块结果如图 12—图 16、表 4 所示。



图 12 试验 1 外观



图 13 试验 2 外观

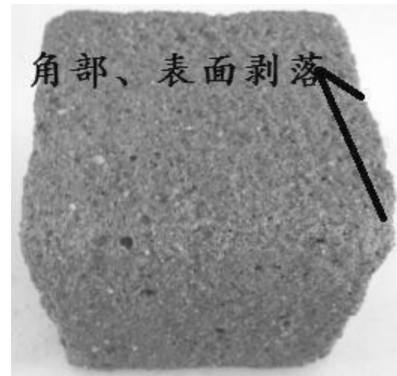


图 14 试验 3 外观



图 15 试验 4 外观

表 4 在溶液中浸泡 28 d 后的砂浆质量损失

标号	标养 28 d 后的 试件质量/g	浸泡 28 d 后 试件质量/g	浸泡 28 d 试件的 质量损失/%
1	0.769	0.632	17.8%
2	0.700	0.672	4.0%
3	0.665	0.662	0.4%
4	0.695	0.656	5.6%
5	0.640	0.622	2.8%

由表 4 可知,普通水泥砂浆和海砂淡化后的水泥砂浆在硫酸钠溶液中浸泡后的质量损失均不大,且海砂水泥砂浆质量损失率较普通水泥砂浆要小。

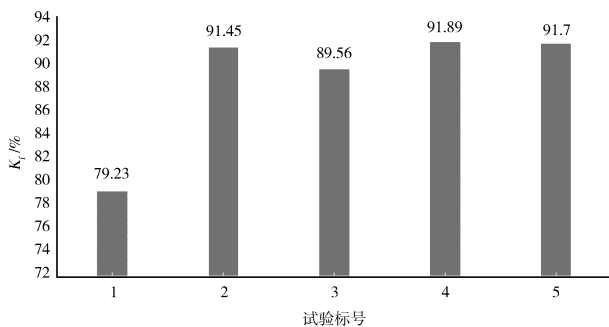


图 16 砂浆抗酸腐蚀性实验

由图 16 可知,海砂砂浆的抗酸腐蚀性明显较河砂砂浆耐腐蚀性增强,抗硫酸盐腐蚀系数 K_f 呈现先减小后增大再保持稳定的变化规律。这是因为,在 $\text{pH} < 6$ 的环境下,水泥砂浆会与硫酸根离子发生化学反应,生成的结晶产物会逐渐膨胀致使水泥砂浆浆体开裂。用海砂替代河砂的水泥砂浆在水泥水化过程存在氢氧化钙形成钝化膜,这种结构能填充砂浆表面的孔隙和微小裂纹,并在砂浆内部形成网络结构,降低硫酸根离子通过孔隙和裂隙进入水泥砂浆内部的几率,这使得用海砂较河砂具有较好的改善砂浆抗硫酸盐腐蚀的性能^[7-8]。

4.2.3 抗冻性

反复冻融后强度损失如图 17 所示。

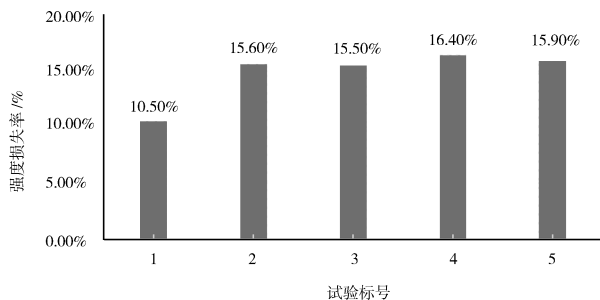


图 17 30 次冻融循环砂浆抗压强度损失率

由图 17 可知,随着海砂掺入量增加,水泥砂浆的抗冻性减弱且趋于稳定。淡化海砂砂浆与河砂水泥砂浆在冻融破坏时有相同的作用机理:试件温度在降低后,砂浆孔隙内的饱和溶液结冰体积膨胀,孔隙水溶液将会产生静水压力和渗透压力作用于砂浆内部结构中,这些微应力的积累是砂浆试件冻融破坏的共同原因。而海砂砂浆中的极少量盐与水泥中的三氯酸钙在一定条件也会生成不溶性的复盐,这些不溶性的复盐体积较大也会产生膨胀应力作用于砂浆内部孔隙,造成一些闭合孔贯通并发展为孔径更大的有害孔。海砂中的贝壳类物质也降低了砂浆的和易性,试件成型后对砂浆材料的约束能力较弱,

表面凹凸不平的轻物质也在砂浆中引入了大量有害孔^[9-10]。这样海砂较河砂水泥砂浆来说浆体内部颗粒之间的孔隙增加,小孔隙的增多使得砂浆体变得疏松不够密实。因此河砂较海砂砂浆来说,河砂拥有更好的抗冻融性能。同时用海砂替换河砂做细骨料会降低砂浆的抗冻性能且当替代比例为 75% 时,抗冻性能损失最多为 16.4%。

5 结论

通过测试不同比例下各淡化海砂所形成的水泥砂浆的性能,我们可以得出结论:

(1) 当养护期为 28 d 时,随着海砂代替河砂比例增加,海砂砂浆的抗折强度逐渐减小,海砂砂浆的抗压强度也逐渐减小,且海砂砂浆在 28 d 时较河砂砂浆抗折强度减少 3.143 7 MPa,抗压强度较河砂砂浆减少 12.861 6 MPa。

(2) 随着海砂代替河砂比例增加进行对照实验,砂浆试件的抗渗性、抗冻融性有所降低。海砂砂浆抗渗性降低主要是因为:随着海砂不断掺入比例不断增加,海砂颗粒间掺杂部分贝壳导致孔隙增加,且海砂具有的表面张力与表面能增加其亲水性使其更容易从环境中吸收水分,导致海砂水泥砂浆的抗渗性较普通河砂有所降低。同样,海砂因内部含少量盐与水泥中的钙质结构反应形成不溶性盐,体积发生膨胀,这使得海砂内部孔隙增加,从而导致砂浆结构不够密实,贝壳类因呈薄片状,表面光滑,本身强度低,且较容易沿节理断裂,这种物质在内部结构影响砂浆的和易性,使得海砂砂浆较河砂砂浆的抗冻性降低。

(3) 海砂砂浆的抗硫酸盐腐蚀性明显较河砂砂浆耐腐蚀性增强,抗硫酸盐腐蚀系数呈现先减小后增大再保持稳定的变化规律。这是因为,在酸性条件下,水泥砂浆会与硫酸根离子发生化学反应,生成的结晶产物会逐渐膨胀致使水泥砂浆浆体开裂。用海砂替代河砂的水泥砂浆在水泥水化过程中存在氢氧化钙形成钝化膜,这种结构能填充砂浆表面的孔隙和微小裂纹,并在砂浆内部形成网络结构,降低硫酸根离子通过孔隙和裂隙进入水泥砂浆内部的几率,这使得用海砂较河砂具有较好的改善砂浆抗硫酸盐腐蚀的性能。

通过海砂水泥砂浆的基本性能与耐久性研究,更深入了解海砂的特征,对未来利用海砂混凝土进行实际应用提供指导帮助。

参考文献:

- [1] 周继凯,何旭,王泽宇,等. 海水海砂混凝土与潜在危害研究进展[J]. 科学技术与工程, 2018,18(24):179-187.
- [2] 洪乃丰. 海砂腐蚀与“海砂屋”危害[J]. 工业建筑,2004(11):65-67.
- [3] 施养杭,王丹芳,吴泽进. 海砂混凝土及其耐久性保护[J]. 工程力学,2010,27(S2):212-216.
- [4] 童斌,蒋婷,宋旭艳. 海砂及海砂混凝土研究进展综述[J]. 科技创新导报,2019(21),38-42.
- [5] 邢丽,薛瑞丰,曹喜. 海砂海水混凝土性能研究[J]. 混凝土,2015(11):137-141.
- [6] 苏卿,赵铁军,姜福香,等,2008. 淡化海砂混凝土的渗透性能研究[C]//中国土木工程学会.“全国特种混凝土技术及工程应用”学术交流会暨 2008 年混凝土质量专业委员会年会论文集. 西安:中国土木工程学会:267-270.
- [7] 秦斌. 海水海砂混凝土基本力学性能研究[J]. 混凝土,2019(2):90-91.
- [8] 田美灵,唐志波. 海砂混凝土耐久性研究现状综述[J]. 2010(11):117-118+127.
- [9] 张凯翔. 玄武岩纤维增强海砂混凝土抗冻性能试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院,2018.
- [10] 姜作杰. 冻融循环作用下混凝土毛细孔结构的劣化机制[J]. 2015(06):716-720.
- [11] 龚晓强,刘杰胜,邢姗姗,等. 稻壳灰水泥砂浆的耐久性研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2018(3):64-69.

(上接第 39 页)

- [13] Kone T, Hanna K, Usman M. Interactions of synthetic Fe(II)-Fe(III) green rusts with pentachlorophenol under various experimental conditions[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 2011, 385(S1-3):152-158.
- [14] 杨文嵩. 海泡石对链格孢毒素 AOH 和 AME 的吸附研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2019.
- [15] Barriga C. Hydrotalcites as sorbent for 2,4,6-trinitrophenol: influence of the layer composition and interlayer anion[J]. Journal of Materials Chemistry, 2002, 12(4):1027-1034.
- [16] Gasser M S, Mohsen H T, Aly H F. Humic acid adsorption onto Mg/Fe layered double hydroxide[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 2008, 331(3):195-201.
- [17] Wu J, Chen J. Adsorption characteristics of tannic acid onto the novel protonated palygorskite/chitosan resin microspheres[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 127(3):1765-1771.
- [18] Cheung W H, Szeto Y S, McKay G. Intraparticle diffusion processes during acid dye adsorption onto chitosan[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(15):2897-2904.