

钢筋混凝土电渗除氯防腐性能研究

李浩然, 邹友泉, 高培伟, 徐少云, 赵哲辉, 李景松

Investigation on chlorine removal and corrosion resistance of reinforced concrete

LI Haoran, ZOU Youquan, GAO Peiwei, XU Shaoyun, ZHAO Zhehui, LI Jingsong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20201014001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

钢筋表面掺石墨烯水性导电防腐涂料的研究

Study on the water-based conductive anticorrosive coating by adding graphene applied on the surface of steel bar
水利水电工程学报. 2021(2): 138 <https://doi.org/10.12170/20200331004>

配筋率对混凝土 I-II 复合型断裂过程声发射特征的影响

Effect of reinforcement ratio on acoustic emission characteristics during I-II mixed-mode fracture process of concrete
水利水电工程学报. 2020(6): 55 <https://doi.org/10.12170/20191225002>

考虑率效应的混凝土压剪强度及破坏准则试验研究

Experimental studies on compressive shear strength and failure criterion of concrete considering rate effect
水利水电工程学报. 2018(4): 46 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.04.007>

带裂缝混凝土轴拉力学性能及Kaiser效应试验研究

Experimental studies on mechanical properties and Kaiser effect of concrete with cracks under axial tensile stress
水利水电工程学报. 2019(3): 67 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.03.009>

寒冷环境下国内大坝混凝土的保温抗冰技术现状

Current situations of thermal insulation and ice resistance technology of dam concrete in China under cold environment
水利水电工程学报. 2021(1): 78 <https://doi.org/10.12170/20200106003>

真三轴应力下混凝土的动态力学性能及破坏准则

Dynamic mechanical properties and failure criteria of concrete under true triaxial stress
水利水电工程学报. 2021(1): 133 <https://doi.org/10.12170/20200305003>



扫码进入官网, 阅读更多精彩内容



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20201014001

李浩然, 邹友泉, 高培伟, 等. 钢筋混凝土电渗除氯防腐性能研究 [J]. 水利水运工程学报, 2021(4): 138-144. (LI Haoran, ZOU Youquan, GAO Peiwei, et al. Investigation on chlorine removal and corrosion resistance of reinforced concrete[J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(4): 138-144. (in Chinese))

钢筋混凝土电渗除氯防腐性能研究

李浩然¹, 邹友泉², 高培伟¹, 徐少云¹, 赵哲辉¹, 李景松¹

(1. 南京航空航天大学 土木工程系, 江苏 南京 210016; 2. 江西昌铜高速公路有限责任公司, 江西 南昌 330025)

摘要: 海洋工程因长期经受海水侵蚀, 含有腐蚀介质的水分子渗入混凝土中, 使钢筋易发生氯盐腐蚀, 引起结构膨胀开裂, 极大地降低了海洋工程的使用寿命。随着海洋工程建设的加快, 采用水泥基导电复合材料除氯防腐逐渐得到重视。通过在水泥基材料中掺加导电材料制作导电复合材料, 在材料力学性能和导电性能的研究基础上, 探究了不同掺量的聚合物乳液和导电填料及灰砂比对材料除氯性能的影响, 并通过 SEM 扫描分析等手段分析了导电填料和聚合物乳液对材料性能的影响机制, 探究了材料除氯防腐的作用机理。研究表明, 掺适宜的导电填料和聚合物乳液, 经过 60 V 直流电压电渗 180 min 后, 可明显降低材料中氯离子含量, 除氯效率较未掺导电填料试件提升 84.24%。研究成果对降低海工混凝土中钢筋锈蚀、提升使用寿命提供了借鉴。

关键词: 混凝土; 除氯能力; 防腐; 聚合物; 电阻率

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2021)04-0138-07

海工建筑物因长期服役于海水环境中, 氯离子腐蚀造成工程结构开裂破坏已成为主要因素之一, 降低和除去海港钢筋混凝土结构中氯离子一直是国内外有待克服的技术难题^[1-4]。众所周知, 含有氯盐等腐蚀介质的水分子通过毛细孔渗透到结构材料中, 将会引发混凝土中钢筋锈蚀, 引起混凝土开裂, 造成混凝土内部结构劣化腐蚀破坏和表面剥落等, 降低海港工程服役性能和寿命。国内外学者对海工钢筋混凝土腐蚀机理与防护措施进行了大量的研究^[5-9], 目前, 常用的海工混凝土防腐方法有涂刷、添加防腐剂和电化学保护等, 表面喷涂和添加防腐剂花费大、保护寿命短, 须排除海水保持干燥, 受天气、海浪等环境因素影响大; 电化学保护主要是向被腐蚀金属结构物表面施加一个外加电流, 让钢筋腐蚀发生电子迁移而得到抑制, 避免或减弱了腐蚀的发生, 电子迁移的实现具有较大研究和应用空间。许泽启等^[10]采用统计学手段确定了海工混凝土结构表面自由氯离子含量与表面总氯离子含量间的关系; 崔宝慧等^[11]采用数值模拟的方法模拟了氯离子腐蚀海工混凝土的全过程。近几年来, 利用导电材料的导电除湿、除氯研究逐渐得到重视, 其中采用掺碳系和纳米导电功能材料的混凝土及应用研究报道逐渐成为热点^[12-13]。宋凯等^[14]研究发现, 掺 1.0% 碳纤维可有效改善导电混凝土力学性能, 在材料内部形成较好的导电网络; Chen 等^[15-17]发现用 25% 的炭黑替代碳纤维能满足水泥基导电材料力学和电热性能需求, 并极大降低成本; Aggarwal 等^[18-22]发现基于环氧聚合物乳液体系砂浆具有优异的力学性能、较好的抗渗和抗氯离子侵蚀能力, 适合应用于潮湿的环境。

采用电化学方法除氯防腐可有效降低结构内部氯离子含量, 减缓钢筋锈蚀、提升建筑结构耐久性和减少维护费用, 本文选用聚合物水泥基复合材料外掺功能材料进行性能研究分析, 以水泥基复合材料的除氯性能为研究对象, 基于通电促使导电材料中离子运动原理, 通过对掺不同组分水泥基功能材料力学和导电性能进行试验研究, 探究不同掺量导电填料、聚合物和灰砂比对新型材料导电和除氯性能的影响, 探讨掺导

收稿日期: 2020-10-14

基金项目: 江西省交通厅科技项目(2020H0047); 博士后基金资助项目(2020M671485, 2020Z321)

作者简介: 李浩然(1999—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事土木工程材料结构与性能研究。

E-mail: 1147484013@qq.com 通信作者: 高培伟(E-mail: gpw1963@163.com)

电填料和聚合物制备的新型导电材料微观结构和除氯机制,为降低钢筋混凝土中氯离子、减少钢筋锈蚀和提升海工建筑结构耐久性提供一定的理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验所使用的 P-II 42.5 普通硅酸盐水泥来自南京某水泥厂,性能指标符合 GB175—2007《通用硅酸盐水泥》规范要求;砂为天然河砂,细度为中度,其各项性能指标均符合 GB/T 14684—2011《建设用砂》中所列要求;硅灰采用江苏南京某厂生产的微硅灰,各项性能指标均符合 GB/T 27690—2011《砂浆与混凝土用硅灰》中所列要求;改性苯丙聚合物乳液来源于河南某化工有限公司,固含量为 45%;导电材料采用碳纤维和纳米级炭黑,碳纤维来自上海某公司,单丝直径小于 8 μm ,单丝根数为 12000 根,含碳大于 95%,拉伸强度大于 3500 MPa,拉伸模量大于 210 GPa,密度为 $(1.74\sim 1.79)\times 10^3 \text{ kg/m}^3$,电阻率为 1.0~1.6 $\Omega\cdot\text{cm}$;纳米炭黑产自上海,电阻率为 0.22 $\Omega\cdot\text{cm}$,比表面积 1056 m^2/g ,粒径约 33 nm。试验中用到的分散剂和消泡剂分别为来自山东青岛某厂生产的纤维素分散剂和自制的无机类消泡剂。

1.2 试验方案与试件制备

在前期研究基础上,将硅灰掺量定为 10%,灰砂比定为 1:3,导电填料为水泥质量的 1.2%,其中纳米炭黑替代 50% 碳纤维,研究导电填料、聚合物乳液和灰砂比对材料力学、导电和除氯性能影响。试件配合比见表 1,其中聚灰比为聚合物乳液含量中聚合物固含量与水泥及硅灰质量之比,水胶比为满足一定流动度下需水量而确定的值。

在烧杯中加入 60 $^{\circ}\text{C}$ 的水,将纤维素类分散剂缓慢地加入水中并搅拌,在水中充分溶解。在烧杯中加入碳纤维和纳米材料进行搅拌,加入无机类消泡剂

并采用超声波使功能材料充分分散,分散一定时间后得到分散液,最后将水泥与碳纤维分散液混合并按不同时速搅拌,最后分两次均匀倒入 40 mm \times 40 mm \times 160 mm 模具中振动成型,在距试件两端 10 mm 位置处和距中心 40 mm 位置处预埋 4 片 30 mm \times 50 mm 铜电极。试件在标准养护室养护 1 d 后拆模,再在标准条件下养护到规定龄期 28 d 进行试验。

1.3 导电除氯材料测试方法

材料强度测试参照 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》进行,数据精确至 0.1 MPa。采用四电极法测试电阻率。

除氯性能测试方法:首先将同组两块试件浸入 2.5% NaCl 溶液 30 d 使其完全饱和,取出擦去表面水分,其中一块做对照,另一块与电渗设备连接,电源可提供 60 V 直流脉冲电压。外部电极连接到电流表上,内部电极相连以电压表来计算电阻率,电阻测试方式示意图见图 1。将两块试件自然晾干处理后,在其表面同轴距阴极不同距离钻芯取样,通过化学滴定法测定各点处样品氯离子浓度,最后计算比较电渗前后氯离子浓度变化情况。

水溶性氯离子含量测定方法参考 JTJ 270—1998《水运工程混凝土试验规程》进行。在试件表面同轴处每隔 20 mm 处钻芯取粉,采样位置及编号见图 2, A 点距阴极 20 mm, G 点距离 140 mm,其余各点依次编号(见图 2)。

表 1 除氯材料配合比

Tab. 1 The mix of chlorine-removal material

试件组号	导电填料与水泥质量比/%	聚灰比/%	灰砂比	水胶比
S1	0	15	1:3	0.55
S2	1.2	15	1:3	0.65
S3	1.2	0	1:3	0.61
S4	1.2	5	1:3	0.64
S5	1.2	15	1:2	0.62
S6	1.2	15	1:0	0.54

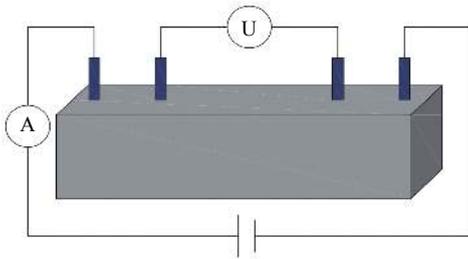


图1 四电极法电阻测试

Fig. 1 Four-pole method for measuring resistivity

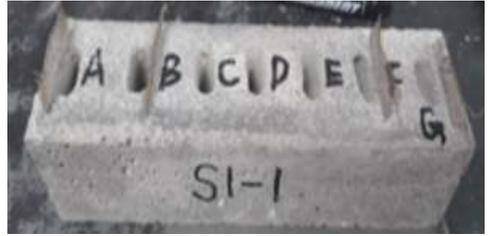


图2 氯离子含量取样位置

Fig. 2 Sampling position for chloride ion test

2 试验结果与讨论

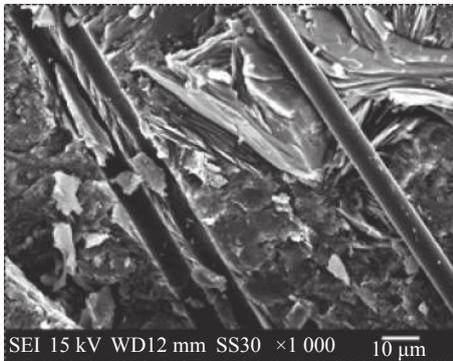
2.1 新型导电除氯材料力学与导电性能

新型导电除氯材料的强度及电阻测试结果见表2。由表2可见,当聚合物乳液和灰砂比一定时,增加导电填料含量,试件抗折与抗压强度逐渐提高,电阻逐渐降低。掺1.2%导电填料的试件S2其抗压强度较不掺的试件S1提高了15.23%,抗折强度提高了28.33%,而电阻降低了91.01%。通过和其他试件组对比可以发现,导电填料含量对试件导电性能的影响是最主要的。这是因为试件中的导电填料起到了纤维的作用,连接水泥与骨料,依靠自身的强度和与水泥基体间的黏结力,提高了试件的强度。从导电填料含量1.2%时的试件扫描电子显微镜(图3(a))可见,导电填料和基体间相互搭接形成了导电网络,有利于电子传输,提高导电性能。

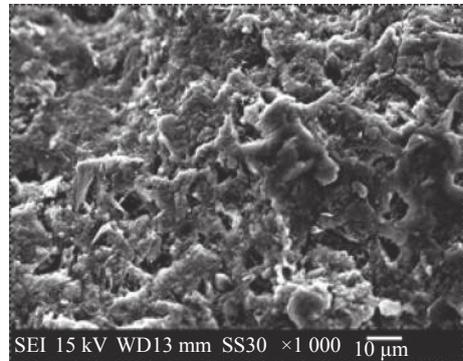
表2 导电材料的力学性能和电阻

Tab. 2 Mechanical properties and resistance of materials

试件组号	抗折强度/MPa	抗压强度/MPa	电阻率/($\Omega \cdot m$)
S1	6.0	21.0	310.05
S2	7.7	24.2	27.86
S3	6.5	25.6	37.31
S4	6.8	25.0	32.43
S5	8.1	29.6	18.10
S6	9.5	37.5	0.30



(a) 掺1.2%导电填料新型材料SEM图



(b) 聚合物乳液量为15%新型材料SEM图

图3 试件扫描电子显微镜图谱

Fig. 3 SEM images of materials

在导电填料含量和灰砂比一定的条件下,随聚合物乳液的增加,试件抗压强度、电阻逐渐降低,抗折强度逐渐提高。聚灰比为5%和15%的试件S4和S2的抗压强度较不含聚合物乳液的试件S3分别降低了2.34%和5.47%,电阻分别降低了13.08%和25.32%,抗折强度分别提高了4.62%和18.46%。

从图3(b)的SEM图可见,聚合物在材料内部形成了一种膜结构,这种结构具有塑性变形能力好、抗拉

强度大、较高黏聚力、化学稳定性好的特点^[15]。随聚合物乳液含量增加,这种膜结构对试件的抗折强度的影响逐渐加大。但作为一种新的组分添加到材料中,在受压时这种膜结构会产生滑移影响混凝土整体稳定性,从而导致混凝土抗压强度下降。聚合物乳液与导电填料对试件导电性能的作用机理类似。由于聚合物的逐渐加入,填充了基体孔隙,使得内部各组分之间的黏聚力增强,通过聚合物分子与水泥产物分子之间的联系更加紧密,使导电填料和水泥基体能形成良好的导电网络,提高试件的导电性能。

从表2可见,在导电填料含量1.2%、聚灰比15%的条件下,灰砂比越小,试件的强度越低,灰砂比为1:3和1:2的试件S2和S5相较灰砂比1:0的试件S6,抗折强度分别降低了28.42%、14.74%,抗压强度分别降低了35.47%、21.07%,而电阻跃升为27.86 $\Omega \cdot m$ 和18.10 $\Omega \cdot m$ 。这是因为水泥通过水化反应,形成的胶凝材料可以把各种材料牢固地粘结在一起,同时砂的强度一般比胶凝材料的强度高,随着砂的添加,胶凝材料和砂之间的粘结增加,材料的强度也会随之提高。但砂相对于水泥水化产物的导电性能较差,会影响试件内部导电网络的搭接,使试件的电阻提高,降低导电性能。

2.2 导电材料的除氯防腐性能

图4为不同配合比导电材料试件电渗3h前后不同测点(图2中A~G)所得到的氯离子浓度。

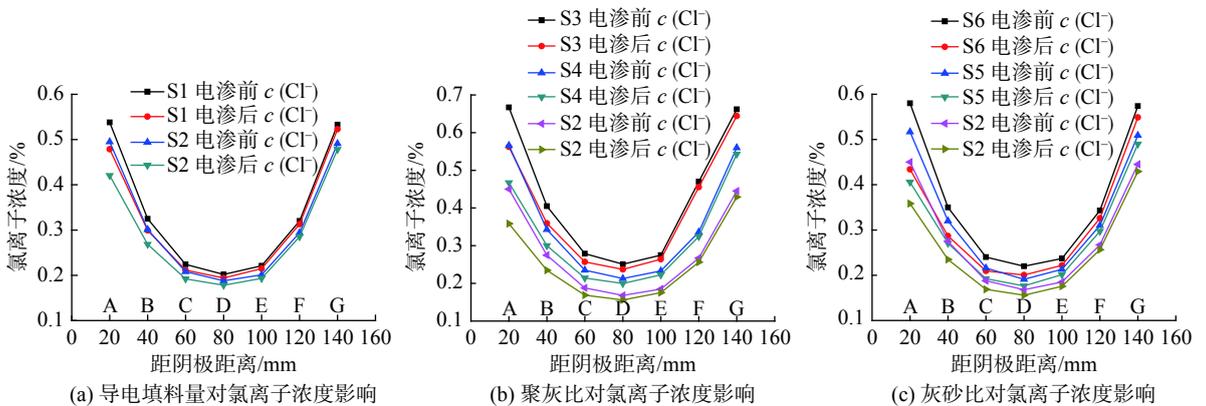


图4 导电材料电渗3h前后各处氯离子浓度

Fig. 4 Chloride ion concentration of conductive materials after electroosmosis for 3 hours

一般情况下,试件在氯盐浸泡液中,同一平面会等压浸透,同轴各点的氯离子初始浓度应相近。但由于在试件表面A(距离阴极20mm处)、B、F和G四处附近预埋了铜网电极,使氯盐更容易渗入基体内部,初始氯盐浓度大大高于中间部位;另外,由于A和G两点处于试件两端,该处氯离子浓度还受到从侧面渗入的氯离子影响,因而A和G两点初始氯离子浓度高于B和F两点。由图4可见,同轴的A到G点初始氯离子浓度曲线呈“两端高、中间低”的曲线形状。如S1组试件,电渗前位于试件中部D点的氯离子浓度为0.202%;B和F两点氯离子浓度为0.325%和0.320%,约为D点的1.6倍;试件两端A和G两点氯离子浓度为0.538%和0.533%,约为中心D点的2.7倍。

导电材料的除氯防腐主要利用电化学原理,以导电材料为电渗体,在电场作用下,内部的氯离子向阳极一端移动,通过阳极反应转化成氯气排出,达到快速除去氯离子的目的。同时由于各组的初始氯离子浓度存在差异,为统一量度比较各试件的除氯效果,将除氯度作为研究对象,除氯度是指电化学除氯的氯离子占试件初始氯离子的百分比。

从图5可见,A点到G点的除氯度呈逐渐降低的趋势。由于离子迁移累积作用,氯离子从阴极迁移到阳极的过程中,B点的氯离子浓度会受到从A点迁移的氯离子的影响。因此,G点的氯离子浓度受到从A点迁移到F点氯离子的影响,导致A点和G点之间的氯离子浓度差异很大。

图5(a)为不同导电填料含量砂浆电渗除氯度。导电填料含量为0和1.2%的试件组S1、S2在点A的

除氯度达到 11.04% 和 20.36%，试件 S2 的除氯度相较于 S1 提高 84.42%，结果表明导电材料相较于普通材料在电渗除氯防腐方面具有明显的改善。

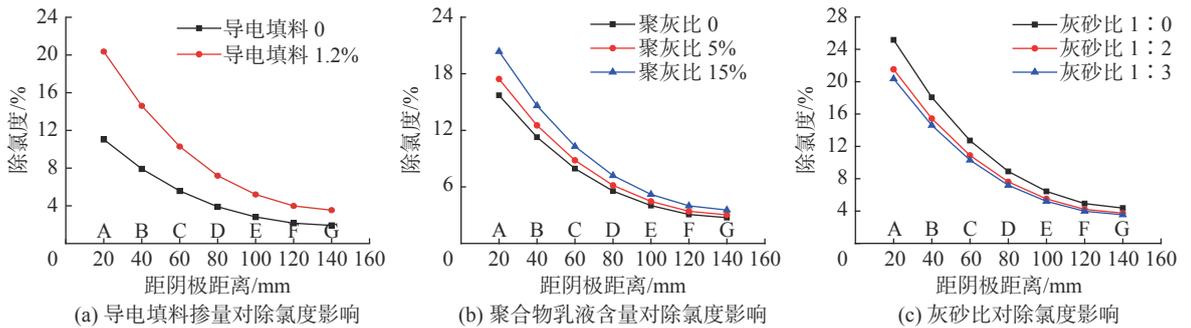


图5 不同配合比材料电渗3h的除氯度

Fig. 5 Three hours chlorine-removal rate of materials with different proportions

图 5(b) 为不同聚合物乳液含量对饱和氯盐砂浆的电渗除氯度影响。聚合物乳液含量为 0、5% 和 15% 的试件组 S3、S4 和 S2 在点 A 的除氯度达到 15.70%、17.44% 和 20.36%，试件组 S2、S4 的除氯度相较于 S3 提高了 11.08% 和 29.68%，说明聚合物乳液对导电材料电渗除氯具有一定的改进作用。

从图 5(c) 可见，灰砂比 1:0、1:2 和 1:3 的试件组 S6、S5 和 S2 阴极在点 A 的除氯度达到 25.17%、21.53% 和 20.36%，试件组 S6 和 S5 的除氯度较 S2 提高 23.62% 和 5.75%。通过对比发现，在电渗除氯方面，净浆相较于砂浆具有更大的影响，降低灰砂比对材料电渗除氯有一定的影响，但影响较小。

综上所述，在 60 V 直流电压下电渗 180 min，在一定程度上降低了试件内部的氯离子浓度，研究结果表明，掺适宜质量的导电填料和聚合物乳液可在一定程度上提升导电材料的除氯效果，在电流作用下，氯离子在电渗主方向下沿内部孔道向阴极移动，除氯速率有了一定的提高，采用导电材料进行电渗对混凝土结构除氯防腐具有一定的改善效果。

3 结 语

(1) 当聚灰比和灰砂比一定时，适当添加导电填料，试件抗压与抗折强度逐渐提高，电阻率逐渐降低；在导电填料含量和灰砂比一定时，适当增加聚灰比，试件抗压强度和电阻率逐渐降低，抗折强度逐渐提高；当聚灰比和导电填料一定时，适当提高灰砂比，试件强度与电阻率随之提高。

(2) 聚合物乳液可进一步降低导电材料电阻率，导电填料含量为 1.2% 时，15% 聚灰比的试件电阻率较不含聚合物乳液的试件降低了 33.92%。

(3) 掺适量的导电填料、聚合物乳液和灰砂比都可改善材料除氯效率，水泥净浆的除氯能力高于砂浆，高灰砂比材料的除氯能力高于低灰砂比材料。

(4) 导电材料的电渗除氯效率高于未掺导电填料的 (S1)，60 V 直流电压下，掺 1.2% 导电填料电渗除氯效率较未掺的提升 84.24%。

(5) 材料的除氯防腐性能与其导电性能具有一定相关性，添加适量的导电填料、聚合物乳液可以加速氯离子迁移，改善材料的除氯性能，有利于提升混凝土的抗腐蚀性。

参 考 文 献:

- Hongyao, YANG Zheng, SUN Gaoxia, et al. Application of silane hydrophobic agent to anti-corrosion of reinforced concrete[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2013(4): 1-5. (in Chinese))
- [2] DIAMANTI M V, BRENN A, BOLZONI F, et al. Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete[J]. *Construction and Building Materials*, 2013, 49: 720-728.
- [3] 雷智昊, 屈锋, 孙浩然, 等. 钢筋混凝土结构电化学除氯研究[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(9): 2834-2840. (LEI Zhihao, QU Feng, SUN Haoran, et al. Research on electrochemical chloride extraction of reinforced concrete structures[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2018, 37(9): 2834-2840. (in Chinese))
- [4] 张军, 金伟良, 张凯, 等. 混凝土结构内锈蚀钢筋的疲劳研究综述[J]. 水利水运工程学报, 2019(6): 22-30. (ZHANG Jun, JIN Weiliang, ZHANG Kai, et al. A review on fatigue research of corroded reinforcing steel bars inside reinforced concrete structures[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2019(6): 22-30. (in Chinese))
- [5] 许盛龙. 氯离子在海工混凝土中的传输性能研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019. (XU Shenglong. Study on transport properties of chloride ions in marine concrete[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019. (in Chinese))
- [6] 杨海成, 胡正涛, 于方, 等. 海水环境粉煤灰混凝土结构耐久性现场检测与评估分析[J]. 海洋工程, 2019, 37(2): 104-111. (YANG Haicheng, HU Zhengtao, YU Fang, et al. Field test and evaluation analysis on durability of fly ash concrete structures in seawater environment[J]. *The Ocean Engineering*, 2019, 37(2): 104-111. (in Chinese))
- [7] MA H Y, LI Z J. Microstructures and mechanical properties of polymer modified mortars under distinct mechanisms[J]. *Construction and Building Materials*, 2013, 47: 579-587.
- [8] 王元战, 吕彦伟, 龙俞辰, 等. 粗骨料对混凝土界面过渡区氯离子扩散性能影响[J]. 海洋工程, 2018, 36(2): 73-82. (WANG Yuanzhan, LYU Yanwei, LONG Yuchen, et al. Effect of coarse aggregate on chloride diffusion properties in the interfacial transition zone of concrete[J]. *The Ocean Engineering*, 2018, 36(2): 73-82. (in Chinese))
- [9] 孙红尧, 傅宇方, 陆采荣, 等. 处于盐渍土和盐湖环境下建筑物的腐蚀与防护现状[J]. 腐蚀与防护, 2012, 33(8): 652-656, 663. (SUN Hongyao, FU Yufang, LU Cairong, et al. Present situation of corrosion and protection of buildings in saline soil and salt lake environments[J]. *Corrosion & Protection*, 2012, 33(8): 652-656, 663. (in Chinese))
- [10] 许泽启, 麻海燕, 余红发, 等. 海洋混凝土结构表面自由氯离子含量时变规律及其对其寿命影响[J]. 海洋工程, 2017, 35(4): 126-134. (XU Zeqi, MA Haiyan, YU Hongfa, et al. Time variation law of free chlorine ion content in the surface of marine concrete structure and its influence on life[J]. *The Ocean Engineering*, 2017, 35(4): 126-134. (in Chinese))
- [11] 崔宝慧, 徐睿, 徐立, 等. 海工环境下钢筋混凝土结构腐蚀全过程研究[J]. 四川建材, 2017, 43(10): 29-30. (CUI Baohui, XU Rui, XU Li, et al. Study on the whole corrosion process of reinforced concrete structures under marine environment[J]. *Sichuan Building Materials*, 2017, 43(10): 29-30. (in Chinese))
- [12] 王榕. 导电聚合物水泥基材料除湿防腐效能研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019. (WANG Rong. Study on dehumidification and anticorrosion efficiency of conductive polymer cement-based materials[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2019. (in Chinese))
- [13] 黄华, 朱亮, 黄敏, 等. 不同材料改性混凝土的性能研究及现状分析[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(6): 1887-1896. (HUANG Hua, ZHU Liang, HUANG Min, et al. Research and analysis on the performance of modified concrete with different materials[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2018, 37(6): 1887-1896. (in Chinese))
- [14] 宋凯, 高培伟, 孙亚飞, 等. 碳纤维-石墨导电混凝土力学性能及受弯机敏性研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(12): 1-5. (SONG Kai, GAO Peiwei, SUN Yafei, et al. The mechanical-electrical-smart properties of conductive cement based materials[J]. *China Concrete and Cement Products*, 2016(12): 1-5. (in Chinese))
- [15] CHEN M, GAO P W, GENG F, et al. Mechanical and smart properties of carbon fiber and graphite conductive concrete for internal damage monitoring of structure[J]. *Construction and Building Materials*, 2017, 142: 320-327.
- [16] KOBAYASHI K, HAKODA M, HOSODA Y, et al. Electroosmotic flow through particle beds and electroosmotic pressure distribution[J]. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 1979, 12(6): 492-494.
- [17] 吴凯, 罗林, 毛江鸿, 等. 养护期介入电迁阻锈保障混凝土耐久性试验研究[J]. 海洋工程, 2019, 37(4): 117-123. (WU Kai, LUO Lin, MAO Jianghong, et al. Experimental study on concrete durability guarantee by applying electro-migrating corrosion inhibitor during curing period[J]. *The Ocean Engineering*, 2019, 37(4): 117-123. (in Chinese))
- [18] AGGARWAL L K, THAPLIYAL P C, KARADE S R. Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic

emulsions[J]. *Construction and Building Materials*, 2007, 21(2): 379-383.

- [19] 章凯. 环氧树脂乳液改性水泥砂浆性能与结构[J]. *新型建筑材料*, 2012, 39(12): 40-42, 46. (ZHANG Kai. Properties and structure of cement mortar modified with epoxy emulsion[J]. *New Building Materials*, 2012, 39(12): 40-42, 46. (in Chinese))
- [20] YANG J J, HAI R, DONG Y L, et al. Effects of the component and fiber gradient distributions on the strength of cement-based composite materials[J]. *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, 2003, 18(2): 61-64.
- [21] 温鸿浦, 张雷, 郭维克. 聚氨酯复合树脂砂浆在固海扬水泵站泵壳磨蚀防护中的应用[J]. *中国农村水利水电*, 2018(12): 126-128, 133. (WEN Hongpu, ZHANG Lei, GUO Weike. Application of polyurethane composite resin mortar in abrasion protection for pump case in Guhai Pumping Station[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2018(12): 126-128, 133. (in Chinese))
- [22] ZOU J F, YU Z Z, PAN Y X, et al. Conductive mechanism of polymer/graphite conducting composites with low percolation threshold[J]. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 2002, 40(10): 954-963.

Investigation on chlorine removal and corrosion resistance of reinforced concrete

LI Haoran¹, ZOU Youquan², GAO Peiwei¹, XU Shaoyun¹, ZHAO Zhehui¹, LI Jingsong¹

(1. *Department of Civil Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*; 2. *Jiangxi Changtong Expressway Co., Ltd., Nanchang 330025, China*)

Abstract: Due to the long-term erosion of marine engineering by sea water, water molecules containing corrosive media infiltrate into concrete, making steel bars prone to chloride corrosion, causing structural expansion and cracking, which greatly reduces the service life of marine engineering. With the acceleration of marine engineering construction, the use of cement-based conductive composite materials for chlorine removal and corrosion protection has gradually received attention. Conductive composite materials were prepared by adding conductive materials into cement-based materials. Based on the study of mechanical properties and conductive properties of materials, we explored the effects of different dosages of polymer emulsion and conductive fillers, and cement-sand ratio on the dechlorination performance of materials. The influence mechanism of conductive fillers and polymer emulsion on the performance of materials was analyzed by SEM scanning analysis, and the mechanism of dechlorination and anticorrosion of materials was explored. The results show that the chloride ion content in the material can be significantly reduced by adding suitable conductive filler and polymer emulsion after 60 V DC piezoelectric infiltration for 180 min, and the chlorine removal efficiency is 84.24% higher than that of the specimen without conductive filler. The research results provide reference for reducing steel corrosion in marine concrete and improving service life.

Key words: concrete; chlorine removal property; corrosion protection; polymer; resistivity