

海水环境下硫铝酸盐水泥耐久性及其腐蚀抑制策略

王金海

内蒙古蒙西水泥股份有限公司 内蒙古鄂尔多斯

【摘要】 海水环境下硫铝酸盐水泥因其优异的抗硫酸盐侵蚀能力在海洋工程中得到了广泛应用。长期暴露于海水中会导致硫铝酸盐水泥的耐久性下降，主要表现为水泥基材料的腐蚀和结构破坏。本文探讨了影响硫铝酸盐水泥耐久性的因素，如海水中氯离子、硫酸盐及其他化学成分的作用，并分析了腐蚀过程的机制。基于对这些影响因素的研究，提出了几种腐蚀抑制策略，包括改良水泥配比、外加防腐剂以及表面处理技术等，旨在提高硫铝酸盐水泥在海水环境中的长期使用性能和耐久性。

【关键词】 硫铝酸盐水泥；海水环境；耐久性；腐蚀抑制；化学成分

【收稿日期】 2025 年 5 月 18 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 22 日

【DOI】 10.12208/j.jccr.20250037

Durability and corrosion inhibition strategies of aluminosulfonate cement in seawater

Jinhai Wang

Inner Mongolia Mengxi Cement Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia

【Abstract】 Sulfate-aluminate cement has been extensively utilized in marine engineering due to its exceptional resistance to sulfate corrosion. However, prolonged exposure to seawater leads to reduced durability of this cement, primarily manifested as corrosion of cement matrix materials and structural failure. This study investigates factors affecting the durability of sulfate-aluminate cement, including chloride ions, sulfates, and other chemical components in seawater, while analyzing the mechanisms of corrosion processes. Based on these findings, several corrosion inhibition strategies are proposed, such as optimizing cement mix proportions, applying external corrosion inhibitors, and implementing surface treatment technologies. These measures aim to enhance the long-term performance and durability of sulfate-aluminate cement in marine environments.

【 Keywords 】 Sulfoaluminate cement; Seawater environment; Durability; Corrosion inhibition; Chemical composition

引言

随着海洋工程的不断发展，海水环境对水泥材料的耐久性提出了更高的要求。硫铝酸盐水泥因其优良的抗硫酸盐侵蚀性能，逐渐成为海洋结构中常用的建材。海水中的化学成分，尤其是氯离子和硫酸盐，会对水泥材料产生破坏作用，导致其性能逐渐退化。因此，研究硫铝酸盐水泥在海水环境中的耐久性及其腐蚀抑制措施成为提高工程安全性和延长结构使用寿命的关键。如何有效防止腐蚀过程并延缓水泥材料的劣化，已成为材料科学和工程界关注的重要课题。

1 海水环境中硫铝酸盐水泥耐久性面临的主要问题与挑战

在海水环境下，硫铝酸盐水泥的耐久性面临着—

系列复杂的问题。海水中的氯离子、硫酸盐及其他溶解性成分会对水泥基材料产生严重的腐蚀作用，导致水泥结构的强度下降与性能退化。硫酸盐与水泥中的钙铝水化物反应，生成膨胀性产物，导致裂缝的形成并加剧水泥基材的劣化^[1]。氯离子的渗透作用不仅使钢筋产生氯离子诱发的腐蚀，还可能加速水泥表面的破坏，降低水泥与钢筋之间的粘结力。硫铝酸盐水泥在海水环境中使用时，长期暴露会显著影响其结构的稳定性和安全性。

除了化学成分的影响外，海水的温度和湿度变化对水泥的物理性能也产生了不小的挑战。海水的温度波动使水泥材料经历频繁的热膨胀与收缩，这种物理应力反过来加剧了水泥裂缝的产生。海水的含盐量及

其蒸发的影响,使得水泥基材料表面形成盐结晶,进一步导致表面剥离和性能退化。水泥的微观结构在海水长期浸泡下发生变化,孔隙结构的增大使水泥的抗渗透性变差,导致水泥基材料更容易受到化学侵蚀,从而加剧了腐蚀现象。尤其是在潮汐交替的环境下,水泥结构频繁浸泡与干燥的交替变化也使其耐久性进一步降低。

面对海水环境的挑战,硫铝酸盐水泥的耐久性提高成为亟待解决的问题。材料的化学稳定性和物理强度的平衡需要更多的研究与技术突破。许多研究集中在如何通过优化水泥配比,改良其微观结构以提高抗渗透性与抗腐蚀性。外加剂和防腐涂层的使用也被认为是有效的抑制腐蚀策略^[2]。尽管有一些进展,如何在不同的海洋环境条件下保持硫铝酸盐水泥的长期稳定性依然是一个需要持续攻克的难题。通过综合考虑海水中各种化学成分的影响,寻找合适的水泥配方与防护技术,是解决这一问题的关键所在。

2 海水化学成分对硫铝酸盐水泥腐蚀机理的影响分析

海水中含有大量的溶解性化学成分,这些成分对硫铝酸盐水泥的腐蚀过程产生了深远的影响。氯离子是海水中最具破坏性的成分之一,它能够通过渗透进入水泥内部,与水泥基材料中的钙铝水化物反应,导致水泥基体的腐蚀。氯离子的侵入不仅破坏了水泥的结构,还通过影响钢筋的锈蚀过程,加速了整个结构的退化。氯离子对水泥材料的渗透性较强,在潮湿或潮汐交替的环境中,氯离子容易积聚,形成浓度梯度,这加剧了水泥的劣化^[3]。硫酸盐在海水中的浓度较高,它能与水泥中的钙铝水化物反应,生成膨胀性化合物,造成体积膨胀并引起水泥裂缝。这些裂缝提供了更为直接的通道,使得海水中的氯离子和其他腐蚀性物质能够进一步侵入,形成恶性循环,导致水泥材料的强度迅速下降。

除了氯离子和硫酸盐外,海水中还含有大量的其他溶解性盐类、溶解氧和微生物等成分,这些成分共同作用,进一步加剧了水泥的腐蚀过程。海水中的溶解氧是钢筋腐蚀的主要驱动力,特别是在缺氧环境下,水泥基体与钢筋之间的电化学反应更为剧烈,腐蚀现象更加明显。某些海洋微生物的存在也加速了水泥的降解,这些微生物通过代谢产物与水泥基体发生化学反应,产生腐蚀性物质,进一步破坏水泥的结构。海水中的酸碱度变化对水泥的腐蚀性也有重要影响,酸性环境能加速水泥的溶解反应,导致其结构破坏。在实际应用中,海水中的化学成分不仅取决于地理位置,还受到温度、

湿度和水流等因素的影响,因此不同环境下的水泥腐蚀机理可能有所差异。

海水中的硫酸盐与氯离子的相互作用对水泥的腐蚀机理也不容忽视。硫酸盐的存在可以促进氯离子向水泥深层的扩散,尤其在温度较高或海水波动较大的环境中,硫酸盐与氯离子的联合作用加速了水泥的劣化过程。这种化学反应不仅破坏了水泥的强度和稳定性,还可能使水泥表面发生剥离,暴露出新的表面,这为水泥的进一步腐蚀提供了条件^[4]。在实际工程中,对海水化学成分的精确定分析和监控,对于预测水泥的腐蚀风险和评估其耐久性具有重要意义。如何通过合理调整水泥的配比或采取外加剂措施,以减少这些化学成分的影响,已成为海洋工程中亟待解决的关键问题。

3 提高硫铝酸盐水泥耐久性的腐蚀抑制策略与技术措施

为了提高硫铝酸盐水泥在海水环境中的耐久性,采取有效的腐蚀抑制策略是至关重要的。水泥的耐久性不仅依赖于其原材料的质量,还与水泥的配比、外加剂使用以及表面处理技术密切相关。在配方设计上,通过优化水泥的矿物组成,减少易受腐蚀的成分,比如降低硫铝酸盐水泥中铝酸盐的含量,可以有效减缓腐蚀过程^[5]。对于海水环境中较为严重的氯离子侵蚀问题,通过引入耐氯性较强的外加剂,如某些类型的防腐剂、抗氯剂等,能够显著提高水泥的抗渗透性,减少氯离子向水泥深层的渗透与扩散。这些外加剂不仅改善了水泥的物理性质,还增强了其在恶劣环境中的抗腐蚀能力,从而延长结构的使用寿命。

表面处理技术的应用也是提升硫铝酸盐水泥耐久性的有效手段之一。表面涂层和膜材料可以形成物理屏障,减少海水中腐蚀性成分的直接接触。通过涂覆防腐涂层或采用其他类型的保护膜,可以有效隔离海水中的氯离子和硫酸盐对水泥表面的侵蚀,降低水泥的水化反应速率和腐蚀速率^[6]。某些特殊的防腐涂层还具有自修复功能,可以在水泥表面形成保护性薄膜,当出现微裂缝时,涂层能够自动修复,避免进一步的腐蚀损害。结合表面处理与水泥改性技术,能够实现水泥基材料的多重防护,显著提高其耐久性。

在腐蚀抑制的技术措施方面,近年来,许多研究探索了使用纳米材料和高效抗腐蚀添加剂作为硫铝酸盐水泥的增强材料。纳米材料如纳米二氧化硅、纳米粘土等,能够填充水泥中的微小孔隙,改善水泥的致密性和抗渗透性,从而提高其抗腐蚀性能。加入具有抗硫酸盐侵蚀效果的复合材料或外加剂,能够在水泥基体中形

成保护层,防止硫酸盐对水泥的化学破坏。通过综合应用这些新型材料和技术,水泥的耐腐蚀性得到了大幅提升,并且在海水环境中的长期使用性能得到了有效保障。

4 硫铝酸盐水泥耐久性提升的实践应用与效果评估

在实践中,硫铝酸盐水泥的耐久性提升已在多个海洋工程项目中得到应用,并取得了显著成效。为了适应复杂的海水环境,许多工程采用了优化的水泥配方和外加剂技术,通过提高水泥的抗氯离子渗透性和抗硫酸盐侵蚀能力,有效延长了结构的使用寿命^[7]。某些海洋平台和沿海防护工程中使用改良的硫铝酸盐水泥,这些水泥在原材料选择上经过精心调配,使用了更高质量的铝酸盐和钙矿,减少了易受腐蚀的成分,提升了其抗渗透性。这种水泥在暴露于海水中的长时间试验结果表明,水泥的强度保持良好,裂缝和腐蚀的发生显著减少,表明改良配方有效提升了水泥在海水环境中的耐久性。

防腐涂层和表面处理技术的应用也在实践中取得了良好的效果。在多个沿海工程中,通过对水泥表面涂覆专用防腐涂层,可以显著提高其抗腐蚀性能。这些防腐涂层不仅有效隔绝了海水中的氯离子和硫酸盐,还在水泥表面形成了一个保护性膜,减少了物理和化学侵蚀的作用。在某些桥梁建设中,采用了纳米涂层与常规涂层相结合的方式,结果显示水泥基体在面对海洋环境中的长时间浸泡时,涂层层面的防护效果极为突出,延缓了水泥的裂缝产生与腐蚀扩展。涂层的自修复功能也能在微裂缝出现时自动修复,进一步加强了水泥基材料的抗老化性和耐久性。

通过对这些工程案例的效果评估,硫铝酸盐水泥的耐久性提升策略已被证明在实际应用中取得了显著的效果。实验数据和现场监测结果表明,改良配方、外加剂使用及表面处理技术的结合显著延缓了水泥基体的腐蚀进程,减少了结构性损伤,保证了建筑物和设施的长期稳定性。在某些海洋工程项目中,使用这些强化材料后,结构的维护成本大幅降低,工程的整体经济效益也有所提升^[8]。针对不同的海水环境及其变化条件,仍需要进一步开展针对性强的研究与实践,继续完善硫铝酸盐水泥的耐久性提升技术,以应对日益复杂的腐蚀问题。

5 结语

硫铝酸盐水泥在海水环境中的耐久性面临着严峻

挑战,海水中的化学成分对水泥材料的腐蚀作用不可忽视。针对这些问题,优化水泥配方、应用外加剂以及实施表面处理等技术措施,已被证明能有效提高水泥的耐腐蚀能力。实践应用表明,经过改良的硫铝酸盐水泥在实际工程中展现了优异的耐久性,显著延长了结构的使用寿命,降低了维护成本。面对不断变化的海水环境,未来仍需持续改进现有技术和材料,以提升水泥的长期稳定性和可靠性,确保海洋工程的安全性及经济性。

参考文献

- [1] 柳文奎.海水养殖中沉积物污染物的来源解析与环境影响评估[J].中国资源综合利用,2024,42(12):177-179.
- [2] 杨万国,丁国清,亓云飞,等.酸性海水环境对海水冷却塔用混凝土性能影响研究[J].全面腐蚀控制,2025,9(04):62-167.
- [3] 周重威,郭航,陈永强,等.船体外表面在海水环境的腐蚀评价体系及缓解措施[J].船舶标准化工程师,2025,58(03):19-21+32.
- [4] 王荣晓,赵阳国,刘磊,等.海水养殖环境中硫氧化菌的分离鉴定及其脱硫除氮特性研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2025,55(06):121-133.
- [5] 刘兴,郭家栋,杨浩泉,等.酸性环境和粉煤灰添加量对硫铝酸盐基注浆充填体早期强度的影响[J].矿业研究与开发,2025,45(06):68-77.
- [6] 周颖.硫铝酸盐水泥基微生物自修复材料的优化设计与性能评估[J].广东水利水电,2025,(06):71-76.
- [7] 朱建彬,钟圣钰,白峰,等.硫酸钠对硫铝酸盐水泥基材料性能的影响研究[J].新型建筑材料,2025,52(06):24-28.
- [8] 周峰,萧白,肖笛,等.矿渣硫铝酸盐水泥流态固化土力学性能与水稳定性研究[J].市政技术,2025,43(07):257-265.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS