

盐渍土硫酸盐侵蚀机理及其对水利工程耐久性的影响研究

冯甜甜 朱文正

新疆北方建设集团有限公司 新疆 胡杨河 834034

【摘要】：本文通过分析新疆地区盐渍土中硫酸盐的侵蚀机理，探讨其对水利工程耐久性的影响。盐渍土中的硫酸盐在与水利工程材料反应过程中，可能导致工程材料的结构破坏及性能退化。研究表明，硫酸盐侵蚀不仅会加速混凝土等建筑材料的腐蚀，还可能影响水利工程的稳定性与安全性。通过对硫酸盐侵蚀过程的详细分析，提出了相关防治措施，旨在提升水利工程在盐渍土环境中的耐久性。

【关键词】：盐渍土；硫酸盐侵蚀；水利工程；耐久性；腐蚀

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.096

引言

新疆地区的盐渍土广泛分布，且其独特的盐渍环境给水利工程带来巨大挑战。硫酸盐作为盐渍土中的主要成分之一，其与水利工程材料的化学反应，已成为影响工程耐久性的重要因素。硫酸盐侵蚀不仅会导致混凝土等材料的结构损坏，还可能威胁工程的安全性及使用寿命。了解硫酸盐侵蚀机理，进而提出有效的防治措施，对于新疆地区水利工程的可持续发展具有重要意义。

1 新疆盐渍土中硫酸盐的主要来源及其化学特性

新疆地区的盐渍土广泛分布，硫酸盐是其中的主要成分之一，具有较强的侵蚀性。盐渍土中的硫酸盐通常来源于自然沉积和地下水的溶解作用。在自然环境中，硫酸盐往往以钙、镁、钠等阳离子的形式与水分结合存在于土壤中。新疆地区的气候干旱少雨，蒸发强烈，使得地下水中的溶解物质在水分蒸发过程中逐渐积累，形成盐渍土。地下水流动将溶解的硫酸盐带至土壤表层，随着水分蒸发，硫酸盐在土壤中沉积，进一步加剧盐渍土的形成。

硫酸盐在盐渍土中的化学特性决定了它对水利工程材料的侵蚀作用。硫酸盐主要以硫酸钙（石膏）、硫酸镁等形式存在。硫酸钙在水分存在的环境中，易与水利工程材料中的水泥矿物反应，尤其是与水泥中的氢氧化钙发生化学反应，生成石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。这一过程可能导致水泥中的矿物质膨胀，从而引起材料的破裂和剥离。硫酸镁则可能与水泥中的钙铝矿反应，形成膨胀性物质，进一步破坏水利工程的稳定性。

硫酸盐在盐渍土中的高浓度和反应活性，使其具备较强的腐蚀性。土壤中的水分和湿度变化，加剧了硫酸盐的侵蚀作用。在湿润的季节或降水增加时，硫酸盐溶解进入地下水，通过毛细作用被带到土壤表层，在水利工程基础部分沉积。长时间的累积和反应，导致土壤结构的不稳定，进一步影响工程的耐久性。对于一些特别盐渍的土壤，硫酸盐的浓度较高，侵蚀作用更为明显，甚至可能导致混凝土等建筑材料的彻底破坏。理解盐渍土中硫酸盐的来源及其化学特性，对于研究水利工程在该环境下的耐久性具有重要意义。

2 硫酸盐对水利工程材料的侵蚀机理分析

硫酸盐对水利工程材料的侵蚀机理是一个复杂的化学反应过程，主要涉及硫酸盐与水利工程中使用的建筑材料，如混凝土、钢筋等之间的相互作用。在水利工程中，混凝土作为最常用的建筑材料，其耐久性对整个工程的安全性和使用寿命至关重要。硫酸盐侵蚀通常通过与水泥基材料中的矿物质反应，导致结构的破坏与退化。

硫酸盐在与混凝土反应时，首先与水泥中的氢氧化钙（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）反应，生成石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。这种反应使得原本稳定的水泥结构发生变化，产生膨胀性物质，造成水泥基材料的体积膨胀，进而导致混凝土的裂缝形成和剥落。随着反应的持续进行，石膏的积累进一步增强了混凝土内部的应力，促使裂缝扩展，降低混凝土的结构强度和耐久性。在一些特殊条件下，硫酸盐还可能与水泥中的铝酸钙矿物反应，生成膨胀性矿物如钙铝硫酸盐（ettringite），这种反应进一步加剧了水泥基材料的膨胀，导致水利工程材料的破坏。

在钢筋的腐蚀过程中,硫酸盐的作用也不容忽视。硫酸盐通过与钢筋表面的氧化物反应,降低钢筋的抗腐蚀能力。在混凝土内部,钢筋通常被一层钝化膜保护,这层膜能防止钢筋与外界环境发生直接反应。当硫酸盐渗入混凝土内部时,便能与这些保护性钝化膜发生反应,使其逐渐失去防护作用。钢筋就会暴露于外部环境,开始发生腐蚀。硫酸盐通过与钢筋表面的水合氧化铁反应,生成更大体积的腐蚀产物,这些产物会膨胀,产生内应力,进而使混凝土出现裂缝或剥离。

硫酸盐的侵蚀不仅限于水泥和钢筋,还涉及到其他水利工程材料的退化。对于一些采用含有石膏或类似矿物质的建筑材料,其在硫酸盐环境下的稳定性可能较差,尤其是在湿润的环境中,硫酸盐与这些矿物质的反应速度更快,导致材料劣化。与此同时,土壤中较高的硫酸盐浓度与湿度的变化也加速了这种反应的发生。在长时间的硫酸盐侵蚀作用下,材料的强度逐渐下降,工程的稳定性和安全性受到威胁。硫酸盐通过与水利工程材料的化学反应,破坏了其内部结构,导致材料性能的退化,最终影响水利工程的耐久性和使用寿命。

3 预防与修复硫酸盐侵蚀的有效措施

硫酸盐侵蚀对水利工程材料的影响逐渐引起了广泛关注,因此采取有效的预防和修复措施显得尤为重要。在硫酸盐侵蚀的防治过程中,关键在于控制硫酸盐的来源、减少其对材料的侵蚀作用,并在材料退化时及时进行修复处理。控制硫酸盐的来源是预防措施中的首要环节。在水利工程建设前,详细的地质勘察和土壤检测至关重要。通过对建设区域内土壤和地下水中的硫酸盐含量进行分析,可以提前评估硫酸盐对工程材料的潜在威胁。对于高硫酸盐含量的土壤区域,可通过选择适合的建筑材料或调整设计方案来降低硫酸盐的侵蚀风险。采用抗硫酸盐侵蚀的水泥混凝土或添加矿物掺合料(如飞灰、矿渣等)来增强混凝土的抗侵蚀能力。设计时可以考虑采用防水层或防渗措施,减少水分和硫酸盐的直接接触,从而减缓侵蚀过程。

在材料选择方面,采用具有良好抗硫酸盐侵蚀性能的混凝

土是关键。低水灰比的高密度混凝土能有效降低硫酸盐的渗透性,从而提高其耐久性。对于某些特殊区域,可以使用防硫酸盐侵蚀的特殊水泥或添加剂,如高性能水泥或增强型矿物掺合料,这些材料能够减少水泥基材料与硫酸盐之间的反应,减缓膨胀和裂缝的产生。还可以通过表面处理技术,如涂覆防护涂料或采用防护膜,进一步提高材料的耐硫酸盐能力。

对于已经受到硫酸盐侵蚀的工程结构,及时的修复工作是不可忽视的。首先,应评估侵蚀的程度,并针对不同的损伤情况采取合适的修复措施。对于表面裂缝或轻度侵蚀的区域,可通过填补裂缝或施加修复材料来修复受损部分。常见的修复材料包括专门设计的抗硫酸盐侵蚀型砂浆或胶凝材料,这些材料能够有效隔离硫酸盐与混凝土的接触,防止进一步的侵蚀。在更严重的情况下,可能需要对整个结构进行加固,特别是当钢筋腐蚀导致混凝土结构失去承载力时,采用钢筋加固或更换部分结构是必要的。

定期的监测和维护也是确保水利工程长期耐久性的必要手段。通过对工程材料进行周期性检查,及时发现和处理因硫酸盐侵蚀带来的问题,能有效防止结构性损坏的进一步扩展。监测手段可包括对混凝土内部湿度、温度以及硫酸盐浓度的检测,从而为修复决策提供科学依据。通过综合应用这些预防与修复措施,可以显著减缓硫酸盐侵蚀对水利工程的影响,提高工程材料的耐久性,确保水利设施在盐渍环境中长期安全运行。

4 结语

硫酸盐侵蚀是影响水利工程耐久性的主要因素之一,通过有效的预防与修复措施,能够显著延长水利工程的使用寿命。了解硫酸盐的来源、反应机理及其对水利工程材料的影响,能够为工程设计和材料选择提供理论依据。进一步的研究和技术创新,将有助于提升水利工程在盐渍环境中的抗腐蚀能力,确保其长期稳定运行。

参考文献:

- [1] 王浩,张璐.盐渍土中硫酸盐对混凝土耐久性的影响研究[J].土木工程学报,2023,56(4):112-118.
- [2] 李明,刘峰.硫酸盐侵蚀机制与水利工程耐久性分析[J].建筑材料学报,2022,40(3):225-231.
- [3] 高新,周杰.水泥基材料的硫酸盐侵蚀防治措施[J].混凝土与水泥制品,2023,44(5):137-142.