

钢筋混凝土中钢筋锈蚀问题与防护措施

黑志文 邹淑清

吴忠市红寺堡区永进砧业有限公司 宁夏 吴忠 751900

摘要: 钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀是影响其耐久性的关键问题, 锈蚀会降低钢筋强度、引发混凝土开裂, 威胁结构安全。本文分析了钢筋锈蚀的主要原因, 包括混凝土碳化破坏钝化膜、氯离子侵蚀导致点蚀、混凝土密实度不足加速介质渗透, 以及应力腐蚀与杂散电流的叠加破坏效应。针对上述问题, 提出了多维度防护措施: 通过优化混凝土材料提升抗渗性, 增加保护层厚度与表面涂层进行结构防护, 采用耐蚀钢筋与涂层技术进行钢筋改性, 运用阴极保护与电化学除盐技术, 结合环境控制与定期检测, 为延长钢筋混凝土结构使用寿命提供系统性解决方案。

关键词: 钢筋混凝土; 钢筋锈蚀; 存在问题; 防护措施

引言: 钢筋混凝土结构因其力学性能优良、造价经济, 被广泛应用于各类建筑工程中。然而, 钢筋锈蚀问题长期制约着结构的耐久性与安全性, 尤其在海洋环境、工业污染区及高湿度地区更为突出。钢筋锈蚀不仅导致截面有效面积减小、力学性能退化, 还会因锈蚀产物体积膨胀引发混凝土保护层开裂剥落, 形成“锈蚀-开裂-加速锈蚀”的恶性循环, 最终引发结构承载力不足甚至坍塌。据统计, 全球因钢筋锈蚀导致的经济损失占GDP的较高比例, 且呈逐年上升趋势。因此, 系统研究钢筋锈蚀机理并制定针对性防护措施, 对保障结构安全、降低全生命周期成本具有重要现实意义。

1 钢筋混凝土中钢筋锈蚀的概述

钢筋混凝土作为现代建筑领域应用最为广泛的结构形式, 凭借其高强度、良好耐久性及经济性等优势, 在各类建筑工程中发挥着关键作用。然而, 钢筋锈蚀问题却成为影响钢筋混凝土结构耐久性与安全性的重要隐患。在正常环境下, 钢筋表面会形成一层致密的钝化膜, 这层膜能有效阻止钢筋与周围介质发生化学反应, 从而避免锈蚀。但当混凝土所处的环境条件发生改变时, 这层保护膜就可能遭到破坏。例如, 混凝土碳化会使内部的碱性环境逐渐中性化, 导致钝化膜失去稳定性而失效; 氯离子的侵入则会直接破坏钝化膜, 并在钢筋表面形成腐蚀电池, 引发点蚀。钢筋一旦开始锈蚀, 会产生一系列不利影响。锈蚀产物铁锈的体积比原钢筋体积大数倍, 这会在混凝土内部产生膨胀应力, 当应力超过混凝土的抗拉强度时, 就会导致混凝土保护层开裂、剥落。这不会进一步加速钢筋的锈蚀进程, 还会降低钢筋与混凝土之间的粘结力, 影响结构的整体受力性能。此外, 钢筋锈蚀还会导致钢筋的有效截面面积减小, 降低钢筋的力学性能, 使结构的承载能力下降, 严

重威胁到建筑物的安全使用。因此, 深入认识钢筋混凝土中钢筋锈蚀的机理、影响因素及危害, 对于采取有效的防护措施、延长结构使用寿命具有重要意义^[1]。

2 钢筋混凝土中钢筋锈蚀存在的问题

2.1 混凝土碳化导致钝化膜失效

混凝土内部呈碱性环境, 钢筋表面在此环境下会生成一层致密的钝化膜, 它能有效阻止钢筋与周围介质发生化学反应, 起到保护钢筋的作用。然而, 当混凝土与空气中的二氧化碳接触时, 会发生碳化反应。随着碳化过程的推进, 混凝土的碱性逐渐降低, 当碳化深度达到钢筋表面时, 钢筋所处的碱性环境被破坏, 钝化膜失去稳定性而逐渐失效。钝化膜失效后, 钢筋直接暴露在腐蚀性介质中, 在水分和氧气的作用下, 钢筋开始发生电化学腐蚀, 生成铁锈。铁锈体积膨胀, 会对周围的混凝土产生挤压应力, 导致混凝土开裂, 进一步加速钢筋的锈蚀进程, 严重影响钢筋混凝土结构的耐久性和安全性。

2.2 氯离子侵蚀引发点蚀

氯离子是引发钢筋锈蚀的又一重要因素。在海洋环境、使用除冰盐的道路桥梁等场合, 混凝土结构会接触到大量的氯离子。氯离子的半径较小, 具有很强的穿透能力, 它能够通过混凝土内部的孔隙和微裂缝渗透到钢筋表面。当氯离子在钢筋表面达到一定浓度时, 会破坏钢筋表面的钝化膜, 使钢筋局部暴露。而且氯离子会在钢筋表面形成腐蚀电池, 引发点蚀。点蚀是一种局部的、高度集中的腐蚀形式, 它会在钢筋表面形成小蚀坑。随着腐蚀的不断发展, 蚀坑会逐渐加深、扩大, 严重削弱钢筋的有效截面面积, 降低钢筋的力学性能, 对钢筋混凝土结构的承载能力造成极大威胁。

2.3 混凝土密实度不足加速介质渗透

混凝土的密实度对其抗介质渗透能力起着关键作

用。如果混凝土在搅拌、振捣和养护过程中施工不当,会导致混凝土内部存在大量的孔隙和微裂缝。这些孔隙和微裂缝成为腐蚀性介质进入混凝土内部的通道,大大降低了混凝土的抗渗性。当腐蚀性介质能够轻易地渗透到混凝土内部并到达钢筋表面时,就会加速钢筋的锈蚀过程。例如,水分和氧气的渗透会为钢筋的电化学腐蚀提供必要的条件;氯离子的渗透则会引发点蚀等严重腐蚀问题。此外,密实度不足的混凝土还容易受到冻融循环、化学侵蚀等外界因素的影响,进一步破坏混凝土的结构,使钢筋锈蚀情况更加恶化。

2.4 应力腐蚀与杂散电流加剧破坏

钢筋在承受拉应力的同时,如果处于腐蚀性环境中,就容易发生应力腐蚀。应力腐蚀是一种在拉应力和腐蚀介质共同作用下产生的脆性断裂现象。在钢筋混凝土结构中,钢筋通常承受一定的荷载,当混凝土保护层出现裂缝,钢筋暴露在腐蚀性介质中时,应力腐蚀就可能发生。应力腐蚀会使钢筋在远低于其屈服强度的应力水平下发生断裂,严重影响结构的安全性。另外,在一些特殊环境中,如电气化铁路附近、直流输电线路下方等,钢筋混凝土结构可能会受到杂散电流的影响。杂散电流会在钢筋中流动,加速钢筋的电化学腐蚀过程,使钢筋锈蚀速度大大加快,对钢筋混凝土结构的耐久性造成严重破坏^[2]。

3 钢筋混凝土中钢筋锈蚀防护措施

3.1 材料优化:提升混凝土抗渗性与密实度

在钢筋混凝土结构中,提升混凝土抗渗性与密实度是防止钢筋锈蚀的关键材料优化措施。(1)科学选用水泥品种是基础。不同类型的水泥具有不同的特性,对混凝土性能影响显著。低热水泥如矿渣硅酸盐水泥,水化热较低,能有效减少混凝土因温度应力产生的裂缝,降低介质渗透路径。高强度水泥可提高混凝土的密实度,增强其抵抗外界侵蚀的能力。同时,要关注水泥的细度和颗粒级配,细度适中、级配良好的水泥能更好地填充混凝土内部孔隙,提升密实性。(2)优化骨料质量与级配不可或缺。骨料是混凝土的骨架,其质量直接影响混凝土的强度和抗渗性。应选用质地坚硬、表面洁净、级配良好的骨料,严格控制骨料的含泥量和有害杂质含量。合理的骨料级配能使骨料之间相互嵌挤,形成紧密堆积结构,减少空隙率。通过试验确定最佳骨料比例,确保混凝土在搅拌和成型过程中达到最佳密实状态,有效阻挡水分和氯离子等有害介质的侵入。(3)合理掺加外加剂和矿物掺合料能显著提升混凝土性能。减水剂可减少用水量,降低水灰比,在不降低工作性的前提下提

高混凝土密实度。引气剂能在混凝土中引入均匀分布的微小气泡,改善混凝土的和易性,同时提高其抗冻性和抗渗性。矿物掺合料如粉煤灰、硅灰等,具有火山灰活性,能与水泥水化产物发生二次反应,填充混凝土内部孔隙,细化晶粒,增强混凝土的致密性,从而提高抗渗性和耐久性。

3.2 结构防护:增加保护层厚度与表面涂层

在钢筋混凝土结构中,采取增加保护层厚度与施加表面涂层的结构防护措施,对防止钢筋锈蚀起着至关重要的作用。(1)增加保护层厚度是较为直接有效的防护手段。混凝土保护层能将钢筋与外界的腐蚀性介质隔离开来,为钢筋提供物理屏障。适当增加保护层厚度,可延长腐蚀性介质(如水、氧气、氯离子等)到达钢筋表面所需的时间和路径,显著降低钢筋锈蚀的风险。在设计和施工过程中,需根据结构所处的环境条件、使用年限等因素,合理确定保护层厚度。例如,在海洋环境或使用除冰盐的道路桥梁等恶劣环境下,应适当加大保护层厚度,以增强结构的耐久性。(2)施加表面涂层也是一种重要的防护方式。在混凝土表面涂刷防水涂料、防腐涂料等,能形成一层致密的保护膜,阻止水分和有害介质的渗透。防水涂料可有效防止雨水等水分侵入混凝土内部,减少因水分引起的钢筋锈蚀;防腐涂料则能抵御化学物质的侵蚀,保护混凝土和钢筋免受腐蚀性介质的破坏。同时,表面涂层还能改善混凝土表面的外观,提高结构的耐久性和美观性。在选择表面涂层时,需考虑其与混凝土的粘结性能、耐候性、耐化学腐蚀性等因素,确保涂层能长期稳定地发挥作用,为钢筋混凝土结构提供可靠的防护。

3.3 钢筋改性:采用耐蚀钢筋与涂层技术

在钢筋混凝土结构中,对钢筋进行改性处理,采用耐蚀钢筋与涂层技术,是防止钢筋锈蚀、提升结构耐久性的有效途径。(1)耐蚀钢筋是专门为应对恶劣环境而研发的特殊钢筋。这类钢筋通过调整化学成分,添加铬、镍、铜等耐蚀元素,改变了钢筋的微观组织结构,使其在腐蚀性环境中能形成稳定的钝化膜,有效抵御氯离子等侵蚀性介质的破坏。例如,不锈钢钢筋具有优异的耐腐蚀性能,能在海洋环境、化工腐蚀环境等极端条件下长期使用,大大延长了结构的使用寿命。(2)钢筋涂层技术则是通过在钢筋表面涂覆一层防护涂层,将钢筋与外界腐蚀性介质隔离开来。常见的涂层材料有环氧树脂涂层、镀锌层等。环氧树脂涂层具有良好的附着力、耐化学腐蚀性和绝缘性能,能有效阻止水分、氧气和氯离子的渗透,保护钢筋不受腐蚀。镀锌层则是利用

锌的牺牲阳极保护作用,当镀锌层出现破损时,锌会优先被腐蚀,从而保护钢筋不被锈蚀。

3.4 电化学保护:阴极保护与电化学除盐

电化学保护技术为钢筋混凝土结构中钢筋的防锈蚀提供了高效且科学的解决方案,主要包括阴极保护与电化学除盐两种方法。(1)阴极保护是基于电化学原理,通过向钢筋施加外部电流,使其成为阴极,从而抑制钢筋的电化学腐蚀反应。具体实施时,可设置辅助阳极,如高硅铸铁阳极、钛基混合金属氧化物阳极等,将其埋设在混凝土结构附近,并与钢筋通过导线连接形成回路。施加电流后,钢筋表面的电子增多,阳极溶解反应受到抑制,有效防止了钢筋的锈蚀。该方法适用于海洋环境、化工厂等腐蚀性较强的场合,能显著延长钢筋混凝土结构的使用寿命。(2)电化学除盐则是针对已受到氯离子侵蚀的钢筋混凝土结构。氯离子是引发钢筋锈蚀的重要因素,电化学除盐通过在混凝土表面设置电极,施加直流电,利用电场力将混凝土中的氯离子迁移至混凝土表面,再通过排水系统将其排出结构外。此过程能有效降低混凝土内部氯离子含量,破坏钢筋锈蚀的电化学条件,阻止锈蚀的进一步发展。

3.5 环境控制与定期检测

在钢筋混凝土结构的防护体系中,环境控制与定期检测是保障结构长期安全、防止钢筋锈蚀不可或缺的环节。(1)环境控制旨在减少结构所处环境中的腐蚀性因素。对于处于潮湿环境、沿海地区或使用除冰盐的道路桥梁等结构,需采取有效措施改善周边环境。例如,在结构周边设置排水系统,及时排除积水,降低空气湿度,减少水分对混凝土的渗透和对钢筋的锈蚀作用;对于海洋环境中的结构,可通过设置防波堤等防护设施,

减少海浪飞溅带来的氯离子侵蚀。同时,控制结构周边土壤的含水量和化学成分,避免有害物质渗入混凝土内部。(2)定期检测则是及时发现钢筋锈蚀隐患的关键手段。应制定科学合理的检测计划,采用无损检测技术,如超声波检测、雷达检测、电化学阻抗谱等,对混凝土内部的钢筋锈蚀状况进行评估。这些技术能在不破坏结构的前提下,准确检测钢筋的锈蚀程度、混凝土保护层厚度和密实度等参数。通过定期检测,可以及时发现钢筋锈蚀的早期迹象,采取相应的维修和加固措施,防止锈蚀进一步发展,避免结构出现严重损坏^[3]。

结束语

钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀问题,犹如潜藏的“定时炸弹”,严重威胁着结构的安全与耐久性,给建筑、桥梁等工程带来巨大隐患与经济损失。不过,通过材料优化提升混凝土性能、结构防护增强保护屏障、钢筋改性提高自身抗蚀能力、电化学保护提供科学防护以及环境控制与定期检测及时发现问题并干预等综合防护措施,我们能够有效应对钢筋锈蚀挑战。未来,随着材料科学与工程技术的发展,我们需持续探索创新,完善防护体系,让钢筋混凝土结构在漫长岁月中屹立不倒,为社会发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]廖晓,季涛,李伟华.海工混凝土结构钢筋锈蚀防护研究进展[J].混凝土,2021(03):15-18+23.
- [2]程兆俊,宋丹,江静华,游凯,马爱斌.混凝土中钢筋腐蚀与防护研究进展[J].热加工工艺,2021,45(06):14-19.
- [3]马凤娜.氯离子侵蚀对钢筋混凝土的影响及预防措施[J].商品混凝土,2021(09):71+73.