

石油化工混凝土防腐蚀设计要点探讨

刘 海

中国石油管道局工程有限公司第三工程分公司 河南 郑州 451450

摘 要：本文探讨了石油化工行业中混凝土防腐蚀设计的重要性及其具体措施。分析了影响混凝土防腐蚀性能的因素，提出了通过优化原材料选择、合理设计混凝土结构、施加表面涂层与防护层以及采用阴极保护与电化学防护等方法，提高石油化工混凝土结构的防腐蚀性能，确保生产安全、延长设施寿命并保护环境，为石油化工工程中的防腐蚀设计提供了科学指导和参考。

关键词：石油化工；混凝土防腐蚀；设计要点

引言在石油化工行业中，混凝土结构防腐蚀设计是确保生产安全、延长设施寿命及保护环境的关键环节。鉴于石油化工环境的复杂性和腐蚀性，混凝土结构的防腐蚀性能至关重要。本文探讨了影响混凝土防腐蚀性能的因素，并分析了石油化工混凝土防腐蚀设计的具体措施，旨在为石油化工工程中的混凝土结构防腐蚀设计提供科学指导和参考，确保设施的安全稳定运行。

1 石油化工混凝土防腐蚀设计的重要性

在石油化工行业中，混凝土结构广泛应用于各类设施，如储罐基础、反应釜基础、管廊支架等。然而，由于石油化工生产环境复杂，存在各种腐蚀性介质，因此混凝土防腐蚀设计至关重要。（1）从确保生产安全稳定角度看，良好的防腐蚀设计能保障混凝土结构的长期性能。石油化工生产连续性强，一旦混凝土结构因腐蚀受损，可能导致设备倾斜、管道破裂，引发物料泄漏。若未进行有效防腐蚀设计，可能引发严重的安全事故，造成人员伤亡和巨大经济损失，影响生产的正常进行。

（2）从延长设施使用寿命方面分析，合理的防腐蚀设计可大幅延长混凝土设施的使用寿命。石油化工建设投资巨大，若混凝土结构因腐蚀过早损坏，需频繁维修或重建，将增加巨额成本。通过采用耐腐蚀的水泥品种、添加防腐蚀外加剂、设置防护涂层等设计手段，可有效抵御氯离子侵蚀，延长设施使用寿命，降低全生命周期成本。（3）从环境保护层面考量，防腐蚀设计能防止因混凝土结构腐蚀导致的污染物泄漏。石油化工生产中的有害物质若因混凝土结构损坏而泄漏到土壤和水体中，会对周边环境造成严重污染。有效的防腐蚀设计可避免这种情况发生，保护生态环境，减少对周边居民健康的潜在威胁。

2 影响混凝土防腐蚀性能的因素

2.1 混凝土自身特性

（1）混凝土是由多种原材料组成的复杂体系，其化学成分之间的相互作用对防腐蚀性能有着深远影响。水泥作为混凝土的胶凝材料，其所含的碱（如氧化钠、氧化钾）在与外加剂、混合材料以及水中的碱共同作用下，若遇到骨料中的活性成分，极易引发碱骨料反应。这种反应会在混凝土内部产生局部膨胀应力，随着时间推移，应力不断积累，最终导致混凝土表面出现裂缝、剥落等破坏现象。（2）混凝土的孔隙率对防腐蚀性能起着关键作用。孔隙率越高，意味着混凝土内部存在更多可供腐蚀介质穿梭的通道，使得腐蚀介质能够快速渗透到混凝土内部，与其中的各种成分发生反应，从而极大地增加了腐蚀风险。相反，密实度高的混凝土，其内部孔隙率低，吸水率也相应较低。在这种情况下，外界的腐蚀介质难以大量渗入，与混凝土材料接触的表面积也相对较小。（3）混凝土在施工和使用过程中，不可避免地会出现一些裂缝和空鼓等缺陷。一旦裂缝形成，无论是微观的发丝裂缝还是宏观的贯穿裂缝，都成为了腐蚀介质的便捷通道。腐蚀介质顺着裂缝迅速渗透到混凝土内部，与其中的钢筋、水泥石等成分发生化学反应，加速腐蚀过程。而空鼓则是由于混凝土与基层粘结不牢造成的，同样为腐蚀介质提供了可乘之机。这些缺陷的存在，使得混凝土原本的防腐蚀屏障出现漏洞，大大降低了混凝土结构的耐久性和防腐蚀性能。

2.2 钢筋质量与设计

钢筋作为混凝土结构中的重要受力部件，其自身质量对混凝土结构的防腐蚀性能和整体稳定性有着至关重要的影响。钢筋表面若存在锈斑或其他缺陷，会加速其在混凝土中的锈蚀过程。锈斑的存在破坏了钢筋表面原本具有保护作用的钝化膜，使得钢筋直接暴露在腐蚀环境中。同时，锈斑的体积膨胀会对周围的混凝土产生应力，导致混凝土出现裂缝，进一步加速腐蚀介质的侵

入。此外,钢筋生产过程中的杂质含量、加工工艺等因素也会影响其耐腐蚀性能。因此,保证钢筋的高质量,确保其表面光滑、无缺陷,对于提高混凝土结构的防腐蚀性能和整体稳定性至关重要。合理的结构设计是保障混凝土结构中钢筋防腐蚀性能的关键环节。在结构设计中,钢筋的覆盖层厚度是一个重要参数。混凝土的碱性环境能够使钢筋表面形成一层钝化膜,从而阻止钢筋的锈蚀。然而,当覆盖层过薄时,外界的腐蚀介质,如氯离子、二氧化碳等,能够更快地穿透混凝土保护层,到达钢筋表面,破坏钝化膜,引发钢筋锈蚀。此外,结构设计中的钢筋间距、混凝土构件的形状和尺寸等因素也会影响混凝土的防腐蚀性能。因此,在进行混凝土结构设计时,必须充分考虑这些因素,确保设计的合理性,以提高混凝土结构的防腐蚀性能。

2.3 环境因素

(1) 大气中的化学成分对混凝土的腐蚀起着关键作用。当大气中的 CO_2 含量超过一定限度时,它会与混凝土中的氢氧化钙发生反应,生成碳酸钙,这一过程被称为混凝土碳化。随着碳化深度的增加,混凝土的碱性逐渐降低,当碳化深度达到钢筋表面时,钢筋表面的钝化膜就会被破坏,从而引发钢筋锈蚀。而 SO_2 在大气中进一步氧化生成 SO_3 后,遇水形成硫酸,这些硫酸盐在混凝土内部结晶膨胀,对混凝土产生膨胀侵蚀作用,导致混凝土结构开裂、剥落,严重影响其耐久性和防腐蚀性能。

(2) 环境湿度和温度的变化,对其防腐蚀性能有着复杂而重要的影响。湿度方面,干湿循环是一种常见且极具破坏力的环境因素。在潮湿环境下,水分渗入混凝土内部,加速了钢筋的电化学腐蚀过程。而在干燥阶段,混凝土内部水分蒸发,进一步加剧腐蚀。温度方面,过高或过低的温度都会对混凝土结构产生不利影响。(3) 环境中的酸、盐、强碱等腐蚀性介质一旦与混凝土接触,就会引发一系列化学反应,对混凝土结构造成严重破坏。酸性介质,会与混凝土中的氢氧化钙等碱性物质发生中和反应,溶解混凝土中的水泥石,使混凝土结构逐渐疏松。盐类介质,具有较强的腐蚀性。氯离子能够穿透钢筋表面的钝化膜,引发钢筋锈蚀;而硫酸盐与混凝土中的某些成分反应,会生成膨胀性物质,产生裂缝。

3 石油化工混凝土防腐蚀设计的具体措施

3.1 原材料选择与优化

(1) 在石油化工混凝土防腐蚀设计中,水泥的选择至关重要。矿渣水泥、火山灰水泥以及粉煤灰水泥是较为理想的选择。这些类型的水泥,其水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量相对较低。在石油化工环境中,氯盐是常见的腐蚀性

物质。当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量低时,可有效预防氯盐对水泥石的溶解和溶出。同时,低 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量还能防止氯盐与水泥石发生碱集料反应。(2) 骨料的选择对于混凝土的防腐蚀性能同样起着关键作用。粗骨料宜优先选用高碱性的碳酸岩碎石。高碱性的碳酸岩碎石与水泥之间能够形成高强度的胶结力,为混凝土结构提供坚实的骨架支撑。钢筋钝化膜是防止钢筋锈蚀的重要屏障,高碱性环境有助于维持其稳定性,从而有效防止钢筋被腐蚀。对于细骨料,应尽量采用河砂。(3) 外加剂与掺合料的合理选用能显著提升混凝土的防腐蚀性能。要优选适合工程特点的钢筋阻锈剂,在混凝土的碱性环境中,它能够与钢筋表面发生化学反应,生成一层致密的 Fe_3O_4 氧化膜。这层氧化膜犹如一道坚固的盾牌,能够有效阻止 Cl^- 离子对钢筋的腐蚀。这些掺合料能够填充混凝土内部的孔隙,细化孔隙结构,从而提高混凝土的密实度。密实度的提高意味着混凝土的抗渗性增强,减少了腐蚀介质渗入的通道^[1]。

3.2 混凝土结构设计

(1) 在腐蚀性较强的石油化工环境中,混凝土结构构件的强度等级确定是一项严谨且关键的工作。必须依据环境类别和环境腐蚀性作用等级来精确设定。不同的石油化工生产区域,其环境腐蚀性差异较大。高强度等级的混凝土能够更好地抵抗腐蚀介质的侵蚀,减少因腐蚀导致的强度降低和结构破坏。同时,较高的强度等级也有助于混凝土在承受各种荷载作用时,保持结构的完整性,避免因变形过大而产生裂缝,为腐蚀介质提供侵入通道。(2) 混凝土的抗渗性是其防腐蚀性能的重要指标,而其密实性是决定抗渗性的关键因素。密实性又受到水胶比和胶材用量的显著影响。水胶比过高,会导致混凝土内部孔隙增多,降低密实度,使腐蚀介质容易渗入。相反,合理降低水胶比,可减少孔隙率,提高混凝土的抗渗性。同时,胶材用量也需严格控制。适量的胶材能够填充骨料之间的空隙,形成致密的结构。因此,在设计过程中,需要根据工程实际情况,通过试验和计算,精确确定水胶比和胶材用量,以满足混凝土抗渗等级的要求。(3) 控制裂缝和裂缝宽度是混凝土结构自身防腐蚀设计的核心要点之一。裂缝是腐蚀介质侵入混凝土内部的便捷通道,一旦腐蚀介质通过裂缝进入,会加速混凝土的腐蚀过程,尤其是对钢筋的腐蚀,严重影响结构的耐久性。通过合理的配筋可以有效减少混凝土内部的应力集中。此外,在设计时还可考虑设置伸缩缝、后浇带等构造措施,释放混凝土内部应力,进一步控制裂缝的产生^[2]。

3.3 表面涂层与防护层

(1) 在混凝土表面施加防腐层是一种直接且有效的保护钢筋混凝土免遭侵蚀的方法。所选用的涂料需要满足多项严格要求。涂料必须与混凝土有良好的粘结力,能够牢固地附着在混凝土表面,形成紧密的防护层。其耐候性应满足石油化工设施的特殊要求。厚浆型环氧涂料具有较高的固体含量,能形成较厚的涂层,提供良好的屏蔽作用;聚氨酯涂料具有优异的耐磨性和耐候性,能有效抵抗紫外线照射;氯化橡胶涂料则对酸、碱、盐等化学物质有较好的耐受性,这些涂料能够在不同的石油化工环境中为混凝土结构提供可靠的防护。(2) 渗透型涂料是一种特殊的防护材料,它具有独特的防腐蚀机制。这类涂料能够渗入混凝土数毫米,利用其自身的分子结构和化学性质,填充并封闭混凝土的孔隙。混凝土内部存在着众多微小的孔隙,这些孔隙是腐蚀介质渗入的通道。渗透型涂料进入孔隙后,会在孔隙内形成一层保护膜,阻止水分、氧气以及其他腐蚀介质的进入。

(3) 聚合物混凝土防护涂层是一种采用先进材料技术制成的高性能防护层。它使用纳米级聚合物混合树脂形成乳胶性树脂核心结构涂层。纳米级聚合物的应用使得涂层具有极其微小的分子结构,能够更好地填充混凝土表面的微小孔隙,形成更加致密的防护层。这种涂层具有优秀的防腐效果,能够有效抵抗各种化学物质的侵蚀。在石油化工环境中,无论是强酸、强碱还是盐类等腐蚀性介质,都难以穿透这层防护涂层^[3]。

3.4 阴极保护与电化学防护

阴极保护是一种基于电化学原理的重要防腐蚀方法,在石油化工混凝土结构防腐蚀中具有重要应用。其原理是通过采用施加外加电流或牺牲阳极的方式,使混凝土内钢筋电位处于保护电位范围内,从而防止钢筋腐蚀。电流从辅助阳极流出,通过电解质(如混凝土孔

隙中的电解液或周围的土壤、水等)流向钢筋,使钢筋表面的电子密度增加,从而阻止钢筋失去电子而发生锈蚀。无论是哪种方式,阴极保护都能有效地防止钢筋在恶劣环境下的腐蚀,延长混凝土结构的使用寿命。电化学防护是通过改变混凝土内部的电化学环境来减缓钢筋腐蚀速率的一种有效手段。缓蚀剂能够在钢筋表面形成一层保护膜,阻止或减缓腐蚀反应的进行。缓蚀剂的作用机制主要有两种,一种是阳极型缓蚀剂,它能够抑制钢筋阳极的溶解过程,使钢筋表面形成钝化膜。这些缓蚀剂在混凝土的碱性环境中,与钢筋表面的铁离子发生反应,形成一层致密的氧化膜,阻止氧气和水与钢筋接触,从而减缓腐蚀。另一种是阴极型缓蚀剂,它通过抑制阴极反应,来减缓钢筋的腐蚀^[4]。

结语综上所述,石油化工混凝土结构的防腐蚀设计是确保生产安全、延长设施寿命及保护环境的关键环节,通过优化措施可以显著提升混凝土结构的耐久性和防腐蚀性能。在复杂且恶劣的石油化工环境中,综合运用多种防腐蚀策略,不仅能够有效抵御各种腐蚀介质的侵蚀,还能减少因腐蚀引发的安全事故和环境污染风险。在未来的设计实践中,应继续探索创新,不断提升混凝土结构的防腐能力。

参考文献

- [1]张玘璐,安然.侵蚀性二氧化碳强腐蚀条件下桩基及基础防腐[J].佛山陶瓷,2024,34(2):17-19.
- [2]孙迪,王泽亮,张以利,等.石油化工混凝土防腐蚀设计探究[J].石油化工设计,2020,37(3):9-11.
- [3]郑安雄.钢筋混凝土材料防腐问题研究[J].视界观,2020(11):0323-0324.
- [4]张冀男,史兰香.基于固废磷化渣的复合型防腐阻锈剂对混凝土性能的影响[J].河北工业科技,2024,41(2):108-113.