

石油储罐内壁腐蚀机理分析及复合涂层防护技术研究

朱胜维（中海石油国际有限公司，北京 100027）

摘要：现如今，各大行业对石油的应用越来越广泛，如何确保石油运输的安全是当今社会重点关注的话题。基于此，本文就石油储罐内壁腐蚀问题，深入且全面地剖析了其腐蚀机理，同时，详细探讨了复合涂层防护技术在石油储罐内壁防护中的应用，包括涂层材料的选择、施工工艺等方面。通过实际案例研究，验证了复合涂层防护技术在提高石油储罐内壁抗腐蚀能力方面的有效性。此外，还对复合涂层防护技术的未来发展趋势进行了展望，希望能旨为石油储罐的长期安全运行提供重要的技术支持和理论依据，也为我国经济的快速发展打下夯实的基础。

关键词：石油储罐；内壁腐蚀机理；复合涂层防护技术

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）024-0130-03

Analysis of corrosion mechanism of oil storage tank inner wall and research on protective technology of composite coating

Zhu Shengwei(CNOOC International Limited, Beijing 100027, China)

Abstract: Nowadays, the application of oil in various industries is becoming increasingly widespread. Ensuring the safety of oil transportation is a critical concern in today's society. This article delves into the corrosion mechanisms of the inner walls of oil storage tanks and explores the application of composite coating protection technology for these tanks, including the selection of coating materials and construction techniques. Through case studies, the effectiveness of composite coating protection technology in enhancing the anti-corrosion capabilities of oil storage tank inner walls is demonstrated. Furthermore, the article looks ahead to the future development trends of composite coating protection technology, aiming to provide crucial technical support and theoretical basis for the long-term safe operation of oil storage tanks, and to lay a solid foundation for China's rapid economic growth.

Key words: oil storage tank; inner wall corrosion mechanism; composite coating protection technology

石油作为现代工业的“血液”，在国民经济中占据着举足轻重的地位，石油储罐作为石油储存和运输过程中的关键基础设施，其安全稳定运行对于保障石油供应的连续性和稳定性至关重要。然而，石油储罐内壁在长期使用过程中，不可避免地会受到各种因素的影响而发生腐蚀。腐蚀不仅会导致储罐内壁变薄、强度降低，缩短储罐的使用寿命，还可能引发泄漏等严重的安全事故，造成巨大的经济损失和环境污染。因此，深入研究石油储罐内壁的腐蚀机理，并采取有效的防护措施，是当前石油行业亟待解决的重要问题。

1 石油储罐内壁腐蚀机理分析

1.1 化学腐蚀

化学腐蚀是石油储罐内壁腐蚀的重要形式之一，由于石油是一种复杂的混合物，其中含有多种化学成分，如硫、氮、氧等化合物，这些物质在一定条件下会与金属发生化学反应，从而导致金属表面发生腐蚀，其中硫化合物是石油中常见的腐蚀性物质之一。在石油中的常见的硫以单质硫、硫化氢、等多种形式存在，其中单质硫具有较强的氧化性，在常温下就能与金属铁发生反应，从而反应生成硫化亚铁。硫化氢则是一种具有强烈腐蚀性的气体，它在有水存在的情况下，

会与金属铁发生反应，生成硫化亚铁和氢气；硫醇和硫醚在高温、高压等条件下也会分解产生硫化氢，进一步加剧金属的腐蚀。此外，石油中的有机酸也是导致化学腐蚀的重要因素，有机酸如环烷酸等，在高温下具有较强的腐蚀性，能够与金属铁发生反应，生成环烷酸铁，而环烷酸铁是一种油溶性物质，它会不断地从金属表面溶解到石油中，进而导致金属表面持续受到腐蚀。

1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是石油储罐内壁腐蚀的主要形式，在整个石油储罐中，由于存在电解质溶液，如石油中的水分和溶解的盐类，金属表面会形成许多微小的原电池。当金属与电解质溶液接触时，金属表面的原子会失去电子，形成金属离子进入溶液，而电子则留在金属表面。这些电子会通过金属导体流向电位较高的部位，在那里与溶液中的氧化性物质发生还原反应。由于电化学腐蚀的速度与多种因素有关，如电解质溶液的导电性、金属的电位差、温度等，电解质溶液的导电性越好，金属的电位差越大，温度越高，电化学腐蚀的速度就越快。由此可见，电话线腐蚀对石油储罐内壁负面影响巨大。

1.3 微生物腐蚀

微生物腐蚀是近年来受到广泛关注的一种腐蚀形式，在石油储罐中，存在着各种微生物，如硫酸盐还原菌(SRB)、铁细菌等。硫酸盐还原菌是一种厌氧菌，它能够在无氧或低氧的环境中生存，而且SRB以有机物为营养源，将硫酸盐还原为硫化氢，进而会生成的硫化氢会与金属铁发生反应，生成硫化亚铁，大大的加速了金属的腐蚀。此外，SRB还会在金属表面形成生物膜，生物膜中的微生物代谢产物会改变金属表面的化学环境，促进腐蚀的发生。铁细菌是一类能够氧化亚铁离子为高铁离子的细菌，铁细菌在氧化亚铁离子的过程中，会产生大量的氢氧化铁沉淀，这些沉淀会覆盖在金属表面，形成一层疏松的锈层。锈层的存在会阻碍氧气和水分的扩散，导致金属表面局部缺氧，从而形成氧浓差电池，加速金属的腐蚀。

2 复合涂层防护技术概述

2.1 复合涂层的组成

复合涂层通常由底漆、中间漆和面漆组成，其中底漆是复合涂层的基础，它直接与金属表面接触，主要起到与金属表面良好结合、提供防腐基础的作用。底漆中通常含有活性颜料，如锌粉、铬酸盐等，这些颜料能够与金属表面发生化学反应，形成一层钝化膜，从而有效的阻止金属的腐蚀。同时，底漆还具有良好的附着力，能够牢固地附着在金属表面，为后续的涂层提供良好的基础。中间漆位于底漆和面漆之间，主要起到增加涂层厚度和屏蔽性能的作用，中间漆中通常含有片状颜料，这些片状颜料能够在涂层中形成多层屏障，阻止腐蚀介质的渗透。而且中间漆的厚度一般较大，能够提高涂层的整体防护性能。面漆则是复合涂层的最外层，它直接与外界环境接触，主要起到保护中间漆和底漆不受外界环境侵蚀的作用。面漆不仅具有良好的耐候性、耐磨性和耐化学品性，能够抵抗紫外线、雨水、风沙等自然因素的侵蚀，而且颜色和光泽度也可以根据需要进行调整，以满足不同的使用要求。

2.2 复合涂层的性能特点

复合涂层具有多种优异的性能特点，首先，复合涂层具有良好的防腐性能，通过底漆、中间漆和面漆的协同作用，复合涂层能够在金属表面形成一层连续、致密的保护膜，有效地阻止腐蚀介质与金属表面的接触，从而延长金属的使用寿命。其次，复合涂层具有较高的附着力，底漆能够与金属表面形成牢固的化学键，中间漆和面漆之间也具有良好的结合力，使得复合涂层能够牢固地附着在金属表面，不易脱落。此外，复合涂层还具有良好的柔韧性和耐磨性，在石油储罐的使用过程中，储罐会受到温度变化、内压变化等因素的影响而发生变形，复合涂层的柔韧性能够使其适应这种变形，而不会出现开裂或脱落的现象。同时，复合涂层的耐磨性能够抵抗石油流动过程中对涂层表面的摩擦，保证涂层的完整性。

2.3 复合涂层的防护原理

复合涂层的防护原理主要包括屏蔽作用、缓蚀作用和阴极保护作用，屏蔽作用是指复合涂层能够在金属表面形成一层连续的保护膜，阻止腐蚀介质的渗透。底漆、中间漆和面漆中的颜料和树脂能够形成多层屏障，延长腐蚀介质到达金属表面的路径，从而降低腐蚀的速度。缓蚀作用是指涂层中的缓蚀剂能够与金属表面发生化学反应，形成一层钝化膜，从而抑制金属的腐蚀。缓蚀剂可以是无机缓蚀剂，如铬酸盐、磷酸盐等，也可以是有机缓蚀剂。阴极保护作用是指在某些情况下，复合涂层中的金属粉能够作为牺牲阳极，为金属提供阴极保护。当涂层中的锌粉与金属铁接触时，锌粉会优先发生氧化反应，失去电子，从而保护金属铁不被腐蚀。

3 复合涂层防护技术在石油储罐内壁防护中的应用

3.1 涂层材料的选择

在选择复合涂层材料时，需要考虑多种因素，如石油的性质、储罐的使用环境、涂层的性能要求等。对于储存不同类型石油的储罐，需要选择不同性能的涂层材料，例如，储存含硫量较高的石油的储罐，需要选择具有良好耐硫腐蚀性能的涂层材料；储存高温石油的储罐，需要选择具有良好耐高温性能的涂层材料。储罐的使用环境也是选择涂层材料的重要依据。如果储罐处于潮湿、多雨的环境中，需要选择具有良好耐水性和耐候性的涂层材料；如果储罐处于海洋环境中，需要选择具有良好耐盐雾腐蚀性能的涂层材料。此外，涂层的性能要求也是选择涂层材料的关键因素，涂层的防腐性能、柔韧性、耐磨性等性能都需要满足石油储罐内壁防护的要求，同时，涂层的施工性能也需要考虑，如涂层的干燥时间、施工工艺等。

3.2 涂层施工工艺

涂层施工工艺对于复合涂层的防护效果至关重要，在施工前，需要对储罐内壁进行表面处理，表面处理的主要目的是去除油污、铁锈、氧化皮等杂质，进而提高涂层的附着力。机械除锈可以通过采用喷砂、抛丸等方法进行去除，化学除锈可以采用酸洗、碱洗等方法。表面处理后，金属表面的粗糙度和清洁度需要符合涂层施工的要求，在施工的过程中，应严格按照涂料的使用说明进行操作，涂料的调配需要按照规定的比例进行，确保涂料的性能稳定。涂层的施工可以采用刷涂、喷涂、滚涂等方法，不同的施工方法适

用于不同的涂层材料和施工环境。施工过程中,需要控制涂层的厚度和干燥时间,确保涂层的质量。同时,还需要注意施工环境的温度、湿度等因素。为了确保涂层的性能稳定,涂层施工的适宜温度为5℃~35℃,相对湿度不超过85%。

3.3 实际案例分析

为了验证复合涂层防护技术在石油储罐内壁防护中的有效性,我们对某石油储罐进行了实际应用研究。由于储罐储存的是含硫量较高的原油,在使用复合涂层防护技术之前,内壁腐蚀严重,存在多处泄漏点,经过对储罐内壁的检测和分析,确定采用环氧底漆+环氧云铁中间漆+聚氨酯面漆的复合涂层体系进行防护。在施工过程中,严格按照上述涂层施工工艺进行操作,首先对储罐内壁进行喷砂除锈处理,使金属表面达到Sa2.5级标准,然后依次涂刷环氧底漆、环氧云铁中间漆和聚氨酯面漆,每层涂层的干燥时间都严格按照涂料的使用说明进行控制。经过一段时间的运行监测,发现储罐内壁的腐蚀情况得到了明显改善,涂层表面完好无损,没有出现新的腐蚀现象,泄漏点也得到了有效修复,这表明复合涂层防护技术能够有效提高石油储罐内壁的抗腐蚀能力,延长储罐的使用寿命。

4 复合涂层防护技术的发展趋势

4.1 高性能化

随着石油工业的不断发展,对石油储罐内壁防护技术的要求也越来越高,未来,复合涂层防护技术将朝着高性能化的方向发展。一方面,涂层材料的性能将不断提高,新型的防腐颜料和树脂将不断涌现,如纳米颜料、高性能氟树脂等,这些材料能够提高涂层的防腐性能、耐候性、耐磨性等。另一方面,涂层的结构和配方将不断优化,通过采用多层复合结构、梯度功能涂层等技术,能够进一步提高涂层的防护性能。

4.2 环保化

环保问题是当今社会关注的焦点之一,未来,复合涂层防护技术将更加注重环保性能,传统的涂层材料中含有大量的有机溶剂,这些有机溶剂在施工过程中会挥发到空气中,对环境造成污染。除此之外,还会采用环保型涂料,如水性涂料、粉末涂料等,这些涂料不含有机溶剂或有机溶剂含量极低,能够减少对环境的污染。同时,涂层的生产和施工过程也将更加环保,采用绿色化学工艺生产涂层材料,减少能源消耗和废弃物排放;在施工过程中,采用先进的施工设备和工艺,提高涂料的利用率,减少涂料的浪费。

4.3 智能化

智能化是未来科技发展的趋势之一,复合涂层防护技术可能会引入智能化元素。例如,开发智能监测

涂层,能够实时监测涂层的腐蚀情况,通过在涂层中添加传感器,能够感知涂层的电位、电阻等参数的变化,从而判断涂层的腐蚀程度,当涂层出现腐蚀迹象时,能够及时发出警报,提醒管理人员采取措施。此外,还可以开发自动修复涂层,当涂层受到损伤时,涂层能够自动修复损伤部位,恢复涂层的防护性能。

4.4 多功能化

未来的复合涂层防护技术可能会朝着多功能化的方向发展,除了需要具备良好的防腐性能外,涂层还可能具有其他功能,如抗菌功能、自清洁功能等。抗菌功能的涂层能够抑制微生物的生长和繁殖,减少微生物腐蚀的发生;自清洁功能的涂层能够通过光催化、超疏水等原理,自动清洁涂层表面的污垢,保持涂层的清洁和美观。

综上所述,石油储罐内壁腐蚀是一个复杂的问题,涉及化学腐蚀、电化学腐蚀、微生物腐蚀和应力腐蚀开裂等多种因素。复合涂层防护技术作为一种有效的防护措施,具有良好的防腐性能、附着力和柔韧性等特点,能够有效提高石油储罐内壁的抗腐蚀能力。在实际应用中,需要合理选择涂层材料,严格控制施工工艺,以确保复合涂层的防护效果。同时,随着科技的不断发展,复合涂层防护技术将朝着高性能化、环保化、智能化和多功能化的方向发展,为石油储罐的长期安全运行提供更加可靠的技术支持。未来,还需要进一步加强对石油储罐内壁腐蚀机理和复合涂层防护技术的研究,不断探索新的防护方法和技术,以满足石油工业不断发展的需求。

参考文献:

- [1] 杨迎兵.改性氧化石墨烯聚脲树脂涂层的制备及防腐性能研究[D].大庆:东北石油大学,2024.
- [2] 李翊,刘杰,刘长沙,等.基于阴极电位保护的覆土式储罐化学稳定性与耐腐蚀试验[J].粘接,2023,50(05):126-129.
- [3] 冯拉俊,沈文宁,翟哲,等.地下管道腐蚀与防护技术[M].北京:化学工业出版社:201811.214.
- [4] 宋成立,林冠发,袁军涛,等.油田压力容器和储罐内涂层的应用技术研究[J].新技术新工艺,2016(02):88-92.
- [5] 邱露.5℃环境下含硫介质对原油储罐腐蚀影响的研究[D].北京:北京化工大学,2014.
- [6] 周小敏.环氧耐油导静电涂层的失效行为及寿命研究[D].广州:华南理工大学,2010.

作者简介:

朱胜维(1972-),男,汉族,天津人,本科,资深工程师,研究方向:腐蚀与防护。