

大型成品油储罐综合防腐蚀技术分析

梁文霖 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 本文深入探讨大型成品油储罐腐蚀问题, 分析外腐蚀 (大气、土壤、杂散电流等因素) 与内腐蚀 (油品中杂质、水分、微生物等作用) 的原因及危害, 阐述涂料防腐、阴极保护、表面处理等综合防腐蚀技术, 强调日常维护管理的重要性, 并对未来防腐蚀技术发展趋势进行展望, 旨在为保障大型成品油储罐安全稳定运行提供技术支持与参考。

关键词: 大型成品油储罐; 腐蚀原因; 综合防腐蚀技术; 维护管理

中图分类号: TE988 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 012-0139-03

Comprehensive Anti-Corrosion Technology Analysis for Large Oil Storage Tanks By

Liang Wenlin (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: This paper investigates corrosion mechanisms in large oil storage tanks, analyzing both external factors (e.g., atmospheric exposure, soil contamination, stray currents) and internal contributors (e.g., oil impurities, moisture, microbial activity). It details integrated solutions including coating protection, cathodic protection, and surface treatment, while emphasizing the critical role of routine maintenance. The study also outlines future trends in anti-corrosion technology, providing technical support and reference for ensuring the safe and stable operation of large oil storage tanks.

Keywords: large oil storage tank; corrosion causes; comprehensive anti-corrosion technology; maintenance management

随着我国经济快速发展、能源需求进一步上升, 成品油储存规模不断扩大, 大型储罐数量也越来越多。但这些储罐在长期服役中不可避免受到腐蚀因素影响, 导致性能下降、寿命缩短甚至引发安全事故。因此, 研究储罐腐蚀原因并采取有效的综合防腐蚀技术, 对保障储罐安全运行、延长寿命及保护环境具有迫切意义, 既是石油化工行业可持续发展的必然要求, 也是确保国家能源安全的大势所趋。

1 大型成品油储罐腐蚀原因

1.1 外腐蚀原因

1.1.1 大气腐蚀

大气腐蚀是储罐外腐蚀的主要因素, 大气中的水汽、酸性污染物及盐分等共同作用引发储罐表面的化学和电化学腐蚀。当空气湿度在 60% 以上时, 储罐表面易凝结水膜, 氧气和酸性污染物溶解其中形成电解质溶液, 加快金属表面发生电化学腐蚀, 金属原子失电子溶解, 最终形成铁锈。工业大气中, 二氧化硫等污染物经反应转化为硫酸, 加速腐蚀; 海洋大气中, 盐分里的氯离子能破坏金属氧化膜, 使腐蚀速率进一步提升^[1]。

1.1.2 土壤腐蚀

埋地或半埋地储罐易受土壤腐蚀, 土壤中水分、氧气及微生物等构成复杂的腐蚀环境。水分和电解质形成电解液, 氧气浓度分布不均形成氧浓差电池, 氧气匮乏区域的金属成为阳极被腐蚀。土壤酸碱度影响

腐蚀类型: 酸性土壤中氢离子浓度高, 易出现析氢腐蚀; 碱性土壤虽腐蚀速率较低, 但会破坏金属保护膜。硫酸盐还原菌等微生物可以将硫酸盐还原为硫化氢, 与金属反应生成疏松的硫化物, 加速腐蚀。

1.1.3 杂散电流腐蚀

杂散电流来自轨道交通、直流输电线路等, 按规定路径流动, 流经储罐时会形成腐蚀电池。杂散电流流出储罐的部位为阳极, 发生氧化腐蚀, 流入部位为阴极, 最终导致储罐出现点蚀、溃疡状腐蚀, 严重时引发穿孔泄漏。此类腐蚀的特点是速度快、局部性强以及部位难预测, 同时杂散电流的大小和方向随时间变化, 腐蚀防护难度进一步上升, 要针对性采取绝缘防护、阴极保护等方法^[2]。

1.2 内腐蚀原因

1.2.1 油品中杂质的腐蚀

成品油中残留的无机盐、硫化物还有有机酸等杂质会对储罐内壁带来腐蚀。无机盐中的氯化物、硫酸盐遇水水解产生酸性物质, 降低储罐内环境 pH 值, 氯离子还能穿透金属钝化膜, 引发点蚀; 硫化物中腐蚀性最强的硫化氢, 电离产生的氢离子加速腐蚀, 硫离子与金属离子结合形成的硫化物无保护作用, 会加剧腐蚀循环。

1.2.2 水分的腐蚀

水分是储罐内腐蚀的关键因素, 油品脱水不彻底、储罐呼吸吸入潮湿空气等都会导致水分进入储罐并积

聚在底部形成水层。水分溶解油品中的氧气、硫化物等杂质，形成电解质溶液，引发电化学腐蚀。有氧条件下会出现吸氧腐蚀，生成金属氢氧化物并转化为铁锈；水与油品的界面处因氧气浓度差异和水流冲刷，易存在冲刷、缝隙腐蚀；储罐底部水层中，杂质沉积和微生物滋生会加剧局部腐蚀，形成坑蚀等形态^[3]。

2 现有大型成品油储罐综合防腐蚀技术

2.1 涂层防护技术

①涂料种类及性能特点。涂层防护是储罐防腐蚀的核心技术，涂料种类要结合使用环境以及介质特性进行选择。其中，环氧树脂涂料附着力强、耐化学腐蚀性和耐水性优异，其分子中的极性基团能与金属形成牢固化学键，能够有效抵御有机酸、硫化物等侵蚀，适合一系列成品油储罐；聚氨酯涂料耐磨性和耐候性突出，可抵御油品流动摩擦和户外紫外线、雨水等自然因素侵蚀，同时兼具一定装饰性，更加适合户外储罐以及储罐外表面涂装。此外，氯化橡胶涂料耐盐雾、耐水性好，适用于海洋或潮湿地区；氟碳涂料耐候性和化学稳定性极佳，但成本比较昂贵，仅用于高端防护需求。

②涂层施工工艺与质量控制。涂层施工质量直接决定防护效果，主要环节包括表面处理、涂装施工和质量检测。表面处理要全面清除储罐表面的油脂、铁锈和杂质，除锈常用喷砂除锈（需达到Sa2.5级标准），除油采用溶剂或碱液清洗，处理后在4h内涂装，避免发生二次污染或生锈^[4]。

2.2 阴极保护技术

①牺牲阳极阴极保护。该技术利用电化学原理，将电位比储罐金属更负的牺牲阳极（镁合金、锌合金、铝合金）与储罐连接，阳极优先氧化失电子，保护储罐金属（阴极）不被腐蚀。镁合金阳极电位负、驱动电压高，适用于土壤电阻率高的沙漠、山区，但电流效率低、消耗快，需定期更换。

锌合金阳极电流效率高、使用寿命长、维护成本低，适用于沿海、湿地等土壤电阻率低的环境，但保护范围较小。铝合金阳极电位适中、重量轻、适应性强，适用于各类储罐，尤其适合保护罐底板、罐壁下部等易腐蚀部位，但成本较高。实际应用中需根据环境选择阳极材料、尺寸和安装方式，确保电连接良好。

②外加电流阴极保护。该技术通过外部直流电源向储罐提供阴极电流，降低储罐金属电位实现保护，系统由直流电源、辅助阳极、参比电极和连接电缆组成。恒电位仪能自动调节输出电流，使储罐电位维持在保护范围，自动化程度高；整流器将交流电转为直流电，成本较低但控制精度不足。

辅助阳极用于传导电流，石墨阳极导电好、成本低，高硅铸铁阳极耐腐蚀性强，柔性阳极安装方便、电流分布均匀，适用于大型或复杂形状储罐。参比电极（饱和甘汞电极、银/氯化银电极等）用于测量储罐电位，为电源调节提供信号。系统需根据储罐参数合理设计安装，定期检测维护电源、阳极和电缆，确保稳定运行。

2.3 其他防腐蚀技术

①缓蚀剂应用。缓蚀剂通过抑制金属腐蚀的阳极或阴极反应，减缓腐蚀速率，作用机理分为电化学和物理化学两类。阳极抑制型缓蚀剂（重铬酸钾等）能在金属表面形成氧化膜，阻止金属溶解；阴极抑制型缓蚀剂（有机胺等）能提高阴极反应过电位，或吸收溶解氧减缓腐蚀；混合型缓蚀剂（磷酸盐等）可同时抑制两极反应。选择缓蚀剂需结合腐蚀介质酸碱度、杂质含量，以及储罐金属材质，确保溶解性、稳定性和兼容性。使用时需控制添加量，均匀分散在介质中，定期监测浓度和缓蚀效果，规范储存条件，避免变质。

②金属镀层防护。金属镀层通过在储罐金属表面镀覆其他金属实现防护，常用手段包括镀锌、镀镍等。镀锌的防护原理是锌的电位比铁更负，优先氧化腐蚀，而且锌氧化形成的氧化锌、氢氧化锌薄膜可以进一步隔离腐蚀介质，适合储罐外表面和小型构件，成本低、施工简便，但镀层较薄，要按时进行维护。镀镍镀层硬度高、耐腐蚀性和耐磨性优异，能抵御一系列腐蚀介质侵蚀，适合储罐内壁易磨损、腐蚀严重的部位，但成本较高且施工工艺复杂。应用中要基于防护需求和成本来科学选用镀层方法和厚度^[5]。

③储罐边缘板防腐。储罐边缘板作为罐壁与罐底的衔接部位，易积聚雨水、灰尘及腐蚀介质且受力不均易出现缝隙，属于腐蚀高发区。边缘板防护的材料多样，常用的有矿脂油性防腐材料、粘弹体防腐、CTPU弹性聚氨酯防水涂料、环氧煤沥青涂料，搭配局部牺牲阳极阴极保护，施工时重点处理边缘板焊缝及边角部位，确保涂层无破损、贴合紧密，减少缝隙腐蚀隐患。

3 大型成品油储罐防腐蚀技术的选择与优化

3.1 防腐蚀技术选择的影响因素

①储罐的使用环境。储罐使用环境是技术选择的关键依据，各个区域环境差异十分明显。沿海地区面临海洋大气和海水侵蚀，氯离子含量高、湿度大，应选择耐盐雾、耐潮湿的技术，如氯化橡胶涂料、氯磺化聚乙烯涂料搭配外加电流阴极保护和耐海水辅助阳极。内陆工业城市大气污染严重，酸性气体多，最好选用耐酸性强的环氧涂料，结合锌合金牺牲阳极阴极

保护。此外,沙漠地区干燥多风沙、土壤电阻率高,可以选择耐磨的聚氨酯涂料搭配高电位镁合金牺牲阳极,克服高电阻率带来的防护难题。

②储存介质的特性。储存介质的成分、酸碱度和腐蚀性决定着防腐蚀技术的选择。含氯化物多的油品要选用高致密性玻璃鳞片涂料,加强阴极保护电流密度,避免点蚀;酸性油品要采用耐酸的酚醛环氧涂料,添加有机胺类缓蚀剂,中和酸性物质、形成保护膜。高含硫等强腐蚀性油品,单一技术无法满足需求,要综合运用耐硫涂层、阴极保护和缓蚀剂,通过协同作用增强防护效果,加快储罐安全运行。

③经济成本因素。经济成本涵盖初期投资、运行成本和维护成本,需在防护效果和成本间寻求平衡。初期投资方面,氟碳涂料、外加电流阴极保护系统成本较高,环氧涂料、牺牲阳极系统成本相对较低;运行成本方面,外加电流系统需消耗电能,牺牲阳极和缓蚀剂需定期更换;维护成本方面,涂层需定期修复,阴极保护系统需定期检测校准。实际选择时,短期使用、腐蚀较轻的储罐,可选用低成本技术;重要、长寿命、腐蚀恶劣的储罐,需优先保障防护效果,适当增加投资,选用高端技术,降低长期综合成本。

3.2 综合防腐蚀方案的优化设计

①多种防腐蚀技术的协同作用。涂层防护与阴极保护技术的协同作用是现阶段应用最为广泛且效果明显的其中一种组合方式。涂层是在储罐金属表面形成一层致密的物理屏障,隔绝腐蚀介质与金属的接触,以减少腐蚀概率。各类型的涂层性能特点不一,如环氧树脂涂料具有优异的附着力和耐化学腐蚀性,可以抵抗油品中各种化学物质的侵蚀;聚氨酯涂料则具有良好的耐磨性和耐候性,适用于应对储罐在使用过程中可能受到的机械摩擦和自然环境因素的影响。而涂层在长时间使用中,因为被一系列因素影响,如紫外线照射、机械损伤等,就会出现微孔、裂纹以及脱落等缺陷,使腐蚀介质渗透到金属表面,引起局部腐蚀问题。

此时,阴极保护技术则发挥了补充作用。阴极保护通过使储罐金属表面成为阴极,抑制金属的腐蚀。牺牲阳极阴极保护通过在金属结构周围放置电位更负的金属(如锌、铝等)作为阳极,使其优先腐蚀,释放出电子流向储罐金属,为其提供保护。当涂层与阴极保护结合使用时,涂层能够有效减少腐蚀介质与金属的接触面积,降低阴极保护所需的电流密度,从而减少阴极保护的能耗和成本,延长阳极的使用寿命。

②根据实际情况定制个性化防腐蚀方案。储罐的尺寸、结构和使用年限不同,腐蚀环境和介质特性各

异,所以要定制个性化方案。其中,大型储罐表面积大,可以选择施工便捷、覆盖均匀的涂料和科学的阳极布置;浮顶储罐的浮顶与罐壁连接处易摩擦、产生缝隙,要采用耐磨、耐缝隙腐蚀的涂层,加强阴极保护。新建储罐金属表面状态好,可采用常规技术,重视施工质量;老旧储罐先检测评估腐蚀状况,修复腐蚀部位后用高性能涂层+阴极保护的组合技术,延长剩余寿命^[6]。此外,应结合环境和介质特性进行精准防护,确保方案的实用性。

③储罐边缘板防腐的优化。根据边缘板腐蚀特点优化防护方案,选用高弹性、抗变形、寿命长、耐缝隙腐蚀的专用涂料,可同时搭配局部阴极保护形成协同防护。沿海及潮湿地区应加大边缘板涂层厚度,施工时防护层应按要求做好斜坡,确保排水顺畅,密封材料与混凝土层及储罐边缘板密封严密,无缝隙,按时清理表面的腐蚀介质;工业污染区域可在涂层表面增加封闭层,以此加强升耐酸性,减少维护次数。

4 结语

综上所述,虽然当前的防腐蚀技术已能满足大多数需求,但面对愈发复杂多样的腐蚀环境以及更严格的防护要求,依旧要大力探索创新。后续防腐蚀技术将朝着智能化趋势发展,结合传感器和人工智能,达到腐蚀持续性监测、自动预警以及精准防护目标;新型防腐蚀材料的研发将不断推进,最大限度增强防护性能、节省成本。此外,还需加强日常维护管理,提升操作人员技术水平和安全意识,确保防腐蚀措施落地见效,为大型成品油储罐安全稳定运行提供坚实支撑,推动石油行业可持续发展。

参考文献:

- [1] 赵九洲,高鹏.从汽油及航煤成品油储罐防腐工程返修谈防腐质量管控措施[J].石化技术,2023,30(06):285-286.
- [2] 侯明春.钢制成品油储罐的腐蚀机理与维修保护措施[J].化工设计通讯,2023,49(04):64-66.
- [3] 高斌.沿海地区成品油储罐防腐技术的应用实践[J].石油库与加油站,2023,32(02):1-3+51.
- [4] 段福朋,田继花.石油储罐内外防腐技术分析[J].山东化工,2022,51(12):158-159.
- [5] 王冰.大型成品油储罐综合防腐蚀技术分析[J].全面腐蚀控制,2022,36(04):87-88.
- [6] 林兴洋,曾华,李柯,等.漏磁检测技术在某油库油罐防腐检测中的应用[J].石化技术,2021,28(02):44-45.

作者简介:

梁文霖(1998-),男,汉族,广东茂名人,本科,助理工程师,研究方向:化工机械。