

油田地面设施腐蚀防护技术

马丽娅

大庆油田有限责任公司第六采油厂第七作业区维修班，黑龙江省大庆市，163000；

摘要：油田地面设施长期处于复杂工况环境，在运行过程中，受土壤、油气介质、湿度等多种腐蚀因素侵蚀，极易发生腐蚀现象。这些腐蚀不仅会造成设备损坏，还可能引发生产中断，甚至酿成严重安全事故，威胁油田作业安全与经济效益。本文围绕油田地面设施的腐蚀问题展开深入研究，系统剖析了腐蚀成因，包括化学腐蚀、电化学腐蚀等不同类型，详细阐述其对设施的损害机制。同时，全面探讨材料优选、涂层防护、阴极保护、缓蚀剂添加以及腐蚀监测等常用防护技术，通过对比各技术在成本、适用性、防护效果上的优劣，提出不同工况下的针对性防护方案。此外，对未来腐蚀防护技术发展进行展望，聚焦智能化监测预警、绿色环保型防护材料等前沿方向。文章期望为油田地面设施腐蚀防护筑牢理论根基，提供实用技术指导，助力延长设施寿命，护航油田安全生产。

关键词：油田地面设施；腐蚀防护；涂层保护；阴极保护；缓蚀剂

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.028

油田地面设施是石油开采、储运和加工过程中不可或缺的核心组成部分，其安全性和可靠性直接决定着油田生产效率与经济效益。然而，这些设施长期暴露于高温、高压、高湿及高盐等极端环境中，面临硫化氢、氯离子等腐蚀性介质的持续侵蚀，导致金属材料的氧化、点蚀、应力开裂等破坏形式频发。腐蚀问题不仅加速设备老化、增加维修频次，更可能引发泄漏、爆炸等连锁事故，威胁人员安全并造成环境污染。据行业统计，全球油田因腐蚀导致的设备故障率攀升、维护成本激增及生产中断等问题，每年造成数百亿元的经济损失。因此，系统研究腐蚀成因与防护技术，通过材料优化、涂层防护、阴极保护等综合手段抑制腐蚀进程，对保障设施长周期运行、降低运维成本及推动石油工业可持续发展具有重大现实意义。

1 油田地面设施腐蚀成因与类型

1.1 腐蚀成因

油田地面设施的腐蚀成因复杂多样，主要包括环境因素、材料因素和工艺因素。环境因素中，温度、湿度、盐分、氧气含量等是主要的腐蚀驱动力。高温环境会加速金属材料的氧化反应，高湿度则有利于电化学腐蚀的发生。盐分的存在，尤其是氯离子，会破坏金属表面的钝化膜，导致局部腐蚀。氧气含量高则会促进金属的氧化腐蚀。

材料因素方面，金属材料的化学成分、微观结构和表面状态对腐蚀行为有显著影响。例如，碳钢中的硫、

磷等杂质元素会降低其耐蚀性。微观结构中的晶界、夹杂物等缺陷也会成为腐蚀的起始点。表面状态，如粗糙度、氧化膜厚度等，也会影响腐蚀速率。

工艺因素包括设备的设计、制造、安装和维护等环节。设计不合理，如存在死角、缝隙等，会导致腐蚀介质积聚，加速腐蚀。制造和安装过程中的焊接缺陷、表面处理不当等也会降低设备的耐蚀性。维护不当，如未及时清理腐蚀产物、未定期涂覆保护层等，会加剧腐蚀。

1.2 腐蚀类型

油田地面设施的腐蚀类型主要包括均匀腐蚀、局部腐蚀和应力腐蚀。均匀腐蚀是指金属表面整体均匀地发生腐蚀，通常表现为金属厚度的均匀减薄^[1]。这种腐蚀类型虽然不会导致设备的突然失效，但长期积累会导致设备强度下降，最终失效。

局部腐蚀是指金属表面局部区域发生腐蚀，包括点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀等。点蚀是金属表面形成小孔状的腐蚀坑，通常由氯离子等腐蚀介质引起。缝隙腐蚀发生在金属表面的缝隙或夹缝中，由于腐蚀介质在这些区域积聚，导致局部腐蚀加剧。晶间腐蚀是金属晶界处发生腐蚀，通常由材料中的杂质元素或热处理不当引起。

应力腐蚀是金属在应力和腐蚀介质的共同作用下发生的腐蚀，通常表现为裂纹的扩展^[2]。这种腐蚀类型具有隐蔽性，一旦发生，往往会导致设备的突然失效，危害极大。

2 油田地面设施腐蚀防护技术

2.1 材料选择

材料选择是油田地面设施防腐的第一步，直接影响设备的使用寿命和成本。选择材料时需根据设备所处的环境特点（如温度高低、压力大小、介质成分）来决定。例如，在含氯或硫化氢的普通环境中，不锈钢能形成一层保护膜，延缓生锈，适合用于输油管道；在高温高压的酸性环境（如气田井口），镍基合金能长期抵抗腐蚀，常用于关键部件；而在海边或海上平台，钛合金因耐海水腐蚀且强度高，常用于采油设备。此外，某些钢材通过内部结构优化（如双重结构设计），既能抗腐蚀又不易变形，适合输送高含硫油气。

选材还需平衡成本和加工难度。普通碳钢价格低，但防腐蚀能力弱，需额外涂覆保护层或配合阴极保护使用；而镍基合金等高端材料虽性能强，但成本极高，仅用于核心高温高压部件。钛合金需要特殊焊接工艺，防止材料变脆；某些钢材加工时容易硬化，需调整工艺流程。综合来看，需根据设备重要性、环境腐蚀强度和预算，选择既能有效防腐蚀又经济可行的材料，避免过度投入或防护不足。

2.2 涂层保护

涂层保护是通过在金属表面覆盖一层特殊材料，形成“防护罩”来隔绝腐蚀介质（如水、盐、氧气）与金属接触，从而延缓设备生锈或损坏。例如，环氧树脂涂层能牢固附着在金属表面，适合用于储罐内壁或管道；聚氨酯涂层耐磨性强，常用于户外阀门或高温设备表面；氟碳涂料则特别耐用，能长期抵御紫外线和酸雨，适合海上平台等恶劣环境。这类涂层不仅能延长设施寿命，还能减少维修频率。例如，某油田储罐使用环氧涂层后，内壁腐蚀速率从每年 0.5 毫米降至 0.1 毫米以下。不同涂层针对不同环境设计，选择时需结合温度、湿度、介质类型等因素，确保防护效果与经济性平衡。

施工质量直接影响涂层寿命。表面需彻底清理（如打磨、除锈），确保涂层能紧密贴合；涂覆时要均匀覆盖，避免漏涂或过厚（过厚可能导致开裂）。例如，涂装前需用砂纸打磨金属表面，涂覆后需自然晾干或烘干以确保涂层固化。实际施工中，工人需佩戴防护装备，避免涂料接触皮肤或吸入挥发物。涂层完成后需定期检查，发现脱落或破损应及时修补。例如，某油田管道涂层每三年复涂一次，避免了频繁更换管道的高昂成本。合理的涂层设计和规范施工，能显著降低设备腐蚀风险，保障油田长期稳定运行。

2.3 阴极保护

阴极保护是通过外部手段让金属表面成为“被保护层”，从而延缓腐蚀。主要分为两种方式：外加电流法和牺牲阳极法。外加电流法类似给金属“充电”，通过外部电源输送电流，使金属表面带上负电荷，让腐蚀介质无法附着^[3]。这种方法适合大型设施（如长输管道、储油罐），能全面覆盖保护区域，但需定期检查电源设备和线路，确保电流稳定。例如，某油田的集输管道全程铺设电缆并连接电源，十年内管道腐蚀率下降 70%。

牺牲阳极法则像给金属安排“替身保护”，在设备表面安装更活泼的金属块（如镁块、锌块）。这些金属会优先被腐蚀，从而保护主体金属不被破坏^[4]。该方法常用于小型设备（如阀门、井口装置）或局部区域，成本较低且无需外接电源，但需定期更换阳极块。例如，某海上平台的采油树安装镁合金阳极，每两年更换一次，确保设备长期防腐蚀。两种方法可根据设施规模、环境腐蚀强度和预算灵活组合使用，例如在储罐底部同时铺设外加电流系统和牺牲阳极，实现双重防护。

2.4 缓蚀剂应用

缓蚀剂是油田常用的防腐蚀“缓冲剂”，通过向腐蚀性液体中添加微量化学物质，减缓金属的氧化或化学反应。根据成分不同，缓蚀剂分为三类：有机类（如胺类化合物）能在金属表面形成一层保护层，隔绝腐蚀介质；无机类（如铬酸盐）通过调节液体酸碱度或生成沉淀物阻挡腐蚀；复合类则结合两者优势，适应更复杂的腐蚀环境。例如，在含硫原油输送管道中，添加缓蚀剂可减少硫化氢对管壁的侵蚀，延长设备寿命^[5]。

实际应用中，缓蚀剂的选用需综合考虑腐蚀介质特性（如酸碱度、含盐量）和设备材质。浓度过低可能无法有效抑制腐蚀，过高则可能浪费成本甚至污染环境。例如，某油田在高含硫气井中，通过实验确定缓蚀剂最佳添加量为 20ppm，既能有效防护，又避免过量排放。此外，需定期监测缓蚀剂效果并调整用量，确保长期防护稳定性。合理的缓蚀剂方案能平衡防护效果与经济性，降低维护成本。

2.5 腐蚀监测技术

腐蚀监测技术就像给设备上“健康监测仪”，通过持续观察金属状态，提前发现腐蚀隐患。常见的监测方法包括：电化学监测，通过测量金属表面的电流或电位变化，判断腐蚀速度和类型，类似“听诊器”实时监

听设备状态；超声波监测，利用声波反射检测金属厚度损失，适合发现隐藏的局部腐蚀，像“B超”检查内部损伤；红外热成像监测，通过检测表面温度差异，快速定位腐蚀热点，如同“夜视仪”发现异常区域。例如，在储罐底部安装超声波传感器，可定期扫描壁厚变化，预防穿孔风险^[6]。

实际应用中需根据设备环境和需求选择监测方式。电化学监测适合长期在线跟踪，但需定期校准设备（如每月一次）；超声波监测适合精准检查焊缝等局部区域，但依赖专业人员操作；红外热成像适合大范围快速筛查，但高温或雨水可能干扰结果。例如，某油田在输油管道关键节点布置红外监测点，每年夏季高温前全面扫描，及时发现并修复因热胀冷缩加剧的腐蚀问题。合理搭配多种监测手段，能大幅提升防护效率，避免突发事故。

3 腐蚀防护技术应用案例

3.1 某油田储罐腐蚀防护案例

某油田储罐在长期运行过程中，由于受到高温、高湿、高盐等环境因素的影响，发生了严重的均匀腐蚀和局部腐蚀。为解决这一问题，采用了涂层保护和阴极保护相结合的方法。首先，对储罐表面进行喷砂处理，去除锈蚀和污垢，然后涂覆环氧树脂涂层，厚度为200 μm。涂层施工过程中，严格控制涂层的均匀性和附着力，确保涂层质量。随后，在储罐底部安装牺牲阳极，采用镁合金作为阳极材料，定期更换阳极，确保阴极保护效果。经过一年的运行，储罐的腐蚀速率显著降低，未发现明显的腐蚀现象，防护效果显著。

3.2 某油田管道腐蚀防护案例

某油田管道在输送高含硫原油过程中，发生了严重的应力腐蚀和点蚀。为解决这一问题，采用了缓蚀剂应用和腐蚀监测技术相结合的方法。首先，在原油中添加有机缓蚀剂，浓度为50ppm，通过实验确定最佳缓蚀剂配方和添加量。缓蚀剂在管道内形成吸附膜，隔离腐蚀介质与金属表面，抑制腐蚀的发生。随后，在管道沿线安装电化学监测设备，实时监测管道的腐蚀状态，及时发现和预警腐蚀问题。经过半年的运行，管道的腐蚀速率显著降低，未发现明显的腐蚀现象，防护效果显著^[7]。

4 结论与展望

4.1 结论

油田地面设施的腐蚀防护是保障安全生产的核心

环节。通过科学选材、涂层保护、阴极保护、缓蚀剂协同应用及腐蚀监测技术，可有效抑制腐蚀进程，降低设备故障率与维护成本，延长设施使用寿命。其中，耐蚀材料的选择需平衡性能与经济性，涂层技术需注重施工质量与长效性，阴极保护需根据工况灵活选用外加电流或牺牲阳极方案，缓蚀剂需适配介质特性并控制浓度，腐蚀监测则依赖电化学、超声波等技术的动态反馈。实践表明，多技术协同的防护体系能显著提升设施可靠性，减少泄漏、爆炸等事故风险，为油田高效稳定运行提供基础保障。

4.2 展望

未来油田地面设施的腐蚀防护将向智能化与绿色化方向突破。智能化方面，物联网与大数据技术将推动实时监测系统升级，实现腐蚀速率预测、风险预警与自适应决策，例如基于机器学习的腐蚀状态评估模型可优化维护周期。绿色化领域，环保型缓蚀剂（如生物基配方）和可再生涂层（如自修复聚合物）将减少环境污染，纳米涂层技术可通过微观结构设计提升耐腐蚀性与耐磨性。此外，3D打印工艺有望定制化制造抗腐蚀结构，减少焊缝等薄弱环节，而氢脆防护、微生物腐蚀抑制等前沿方向将拓展防护技术的覆盖维度。技术创新与跨学科融合将推动油田腐蚀防护向高效、低碳、长寿命方向迈进，支撑行业可持续发展。

参考文献

- [1] 喻智明. 注氮气驱井筒氧腐蚀行为研究[D]. 西南石油大学, 2017.
- [2] 南春苗. 不同工况下球阀镍基自熔性合金涂层的耐腐蚀性能研究[D]. 宁夏大学, 2020.
- [3] 吴迎归. 地聚合物涂层材料的制备及其防腐性能研究[D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [4] 于传波. 海上平台金属腐蚀与防护研究[J]. 石化技术, 2024, 31(03): 48-50+114.
- [5] 党砣砣. 基于安全考虑的油田地面建设工程优化[J]. 中国石油和化工, 2024, (12): 66-68.
- [6] 曲海涛, 刘立潜. 新型防腐防护涂料在油田地面工程中的应用[J]. 石化技术, 2023, 30(02): 67-69.
- [7] 王帅, 张金星, 李纪朋, 等. 国内油田地面系统防腐研究与应用进展[J]. 石油管材与仪器, 2022, 8(05): 1-7.