

石油（天然气）仓储罐区的防腐技术新进展 与应用效果评估

郭 锐（山西赛福特安环科技有限公司，山西 太原 030006）

摘 要：石油（天然气）仓储罐区在能源存储与输送环节占据关键地位，其面临的腐蚀问题严重威胁罐区的安全、稳定运行以及油品（天然气）质量。本文深入探讨了石油（天然气）仓储罐区腐蚀的成因与机制，详细阐述了近年来涌现的防腐技术新进展，包括新型涂层材料、阴极保护技术的创新应用、缓蚀剂的研发突破以及腐蚀监测与智能预警系统的构建等方面。通过实际案例分析，对这些防腐技术的应用效果进行了全面评估，总结了其优势与存在的不足，并对未来石油（天然气）仓储罐区防腐技术的发展趋势进行了展望，旨在为石油（天然气）仓储行业的防腐工作提供理论依据与实践指导，提升罐区的防腐水平，保障能源存储设施的长期可靠性。

关键词：石油（天然气）仓储；仓储罐区；防腐技术

0 引言

石油（天然气）作为全球主要的能源资源，其仓储罐区的安全运营对于能源供应的稳定性和可靠性至关重要。然而，仓储罐区长期处于复杂恶劣的环境中，受到内部油品（天然气）介质以及外部大气、土壤等多种因素的综合作用，极易发生腐蚀现象。腐蚀不仅会导致罐体结构强度下降，引发泄漏事故，造成环境污染和能源浪费，还会增加罐区的维护成本与运营风险。因此，研究石油（天然气）仓储罐区的防腐技术新进展并评估其应用效果具有极为重要的现实意义。

1 石油（天然气）仓储罐区腐蚀成因与机制

1.1 内部腐蚀

1.1.1 介质成分影响

石油（天然气）中含有多种腐蚀性成分，如原油中的硫化物、有机酸、水以及天然气中的硫化氢、二氧化碳等。这些成分在一定条件下会与罐体金属发生化学反应，导致金属腐蚀。例如，硫化氢在有水存在的情况下会形成氢硫酸，对碳钢等金属材料具有强烈的腐蚀性，会引起金属的氢脆和硫化物应力腐蚀开裂。

1.1.2 温度与压力作用

仓储罐区内油品（天然气）的储存温度和压力波动会加速腐蚀过程，较高的温度会增加化学反应速率，使腐蚀介质的活性增强；而压力变化可能导致气体的溶解与析出，改变介质的腐蚀性。例如，在高温高压的原油储罐中，原油中的腐蚀性成分更容易与罐体金属发生反应，同时压力波动可能促使溶解在原油中的

硫化氢等气体析出，加剧局部腐蚀。

1.2 外部腐蚀

1.2.1 大气腐蚀

罐区暴露在大气环境中，空气中的氧气、水分、二氧化硫、氮氧化物等污染物会与罐体表面发生电化学腐蚀反应。在潮湿的气候条件下，罐体表面形成水膜，成为电解质溶液，金属与电解质之间发生电化学反应，导致金属表面逐渐被腐蚀。特别是在沿海地区或工业污染严重的区域，大气中的盐分和酸性气体含量较高，大气腐蚀更为严重。

1.2.2 土壤腐蚀

对于埋地储罐或罐区基础部分，土壤的性质对腐蚀起着关键作用。土壤的酸碱度、含盐量、含水量、透气性以及微生物含量等因素都会影响金属在土壤中的腐蚀速率。例如，酸性土壤会加速金属的溶解，而高含盐量土壤会形成强电解质环境，促进电化学腐蚀。此外，土壤中的硫酸盐还原菌等微生物会代谢产生硫化氢等腐蚀性物质，引发微生物腐蚀，这种腐蚀通常在局部区域形成坑蚀，对罐体结构的危害较大。

3 防腐技术新进展

3.1 新型涂层材料

3.1.1 纳米复合涂层

纳米技术的发展为涂层材料带来了新的突破。纳米复合涂层通过将纳米粒子（如纳米二氧化钛、纳米氧化锌、纳米二氧化硅等）添加到传统涂层树脂中制备而成。这些纳米粒子具有小尺寸效应、表面效应和

量子尺寸效应,能够显著提高涂层的性能。纳米粒子可以增强涂层的硬度、耐磨性和耐划伤性,同时提高涂层的耐候性和抗紫外线能力。例如,纳米二氧化钛具有良好的光催化活性,能够分解涂层表面的有机物,保持涂层的清洁,防止污垢积聚导致的腐蚀加速。纳米复合涂层还具有较好的阻隔性能,能够有效阻挡腐蚀介质与金属基体的接触,延长涂层的防护寿命。

3.1.2 石墨烯涂层

石墨烯作为一种新型的二维碳材料,具有优异的物理化学性质,如超高的导电性、导热性、机械强度和化学稳定性。石墨烯涂层在石油(天然气)仓储罐区防腐领域展现出巨大的应用潜力。石墨烯片层能够在金属表面形成紧密排列的防护层,有效阻挡氧气、水分和其他腐蚀介质的渗透。同时,石墨烯的高导电性可以使涂层具有阴极保护作用,当涂层局部破损时,能够将金属基体作为阴极,抑制金属的阳极溶解反应,起到自修复的效果。此外,石墨烯涂层还可以与其他防腐材料复合使用,如与环氧树脂复合,进一步提高涂层的附着力、耐腐蚀性和耐温性。

3.2 阴极保护技术创新应用

3.2.1 牺牲阳极与外加电流联合保护系统

传统的阴极保护技术主要包括牺牲阳极法和外加电流法。近年来,为了提高阴极保护的效果和适应性,出现了牺牲阳极与外加电流联合保护系统。这种系统结合了两者的优点,在罐区不同部位根据实际腐蚀情况灵活采用不同的保护方式。在腐蚀较轻的区域或对电位分布要求不太严格的部位采用牺牲阳极法,利用牺牲阳极材料(如镁合金、铝合金等)的自然腐蚀电流为金属基体提供阴极保护;而在腐蚀较为严重、需要精确控制电位的区域则采用外加电流法,通过外加电源提供稳定的直流电流,使金属基体的电位保持在保护电位范围内。联合保护系统能够更好地适应罐区复杂的腐蚀环境,提高阴极保护的均匀性和有效性,延长储罐的使用寿命。

3.2.2 智能阴极保护系统

随着自动化和智能化技术的发展,智能阴极保护系统应运而生。该系统通过在罐区安装智能监测传感器,实时采集金属基体的电位、电流、电阻等参数,并将这些数据传输至监控中心。监控中心利用数据分析算法和智能控制模型,根据实时监测数据自动调整外加电流的大小和方向,确保金属基体始终处于最佳的保护电位状态。例如,当罐区局部区域由于环境变化或涂层破损导致腐蚀加剧,电位发生变化时,智

能阴极保护系统能够及时检测到这种变化,并相应地增加或减少外加电流,使电位恢复到正常保护范围。智能阴极保护系统还具备远程监控和报警功能,管理人员可以通过手机或电脑远程查看罐区的阴极保护状态,当系统出现故障或保护效果不佳时,能够及时收到报警信息,采取相应的措施进行处理。

3.3 缓蚀剂的研发突破

3.3.1 绿色环保型缓蚀剂

传统的缓蚀剂大多含有重金属离子或有毒有害物质,在使用过程中会对环境造成污染。近年来,绿色环保型缓蚀剂的研发成为热点。这些缓蚀剂主要来源于天然植物提取物、生物聚合物或可生物降解的合成材料。例如,从某些植物中提取的生物碱、黄酮类化合物等具有良好的缓蚀性能,能够在金属表面形成吸附膜,抑制金属的腐蚀反应。生物聚合物如壳聚糖及其衍生物也被广泛应用于缓蚀剂领域,壳聚糖分子中的氨基和羟基等官能团能够与金属表面发生化学键合作用,形成稳定的保护膜。绿色环保型缓蚀剂不仅具有较好的缓蚀效果,而且对环境友好,符合可持续发展的要求,在石油(天然气)仓储罐区防腐中具有广阔的应用前景。

3.3.2 多功能缓蚀剂

为了满足石油(天然气)仓储罐区复杂腐蚀环境的需求,多功能缓蚀剂的研发取得了进展。多功能缓蚀剂除了具有缓蚀性能外,还具备其他功能,如杀菌、阻垢、分散等。例如,一些缓蚀剂中添加了杀菌剂成分,能够抑制罐区介质中微生物的生长繁殖,防止微生物腐蚀的发生;同时,添加了阻垢剂成分的缓蚀剂可以防止罐内结垢,保持管道和罐体的畅通,提高传热效率。多功能缓蚀剂的使用可以简化罐区的防腐处理工艺,减少药剂的使用种类和用量,降低运营成本,提高防腐效果的综合性能。

3.4 腐蚀监测与智能预警系统

3.4.1 在线腐蚀监测技术

在线腐蚀监测技术能够实时、连续地监测石油(天然气)仓储罐区的腐蚀状况,为及时采取防腐措施提供依据。常用的在线腐蚀监测技术包括电化学阻抗谱(EIS)、线性极化电阻(LPR)、电阻探针、电感探针等。电化学阻抗谱通过测量金属/电解质界面的阻抗变化来评估腐蚀速率和涂层性能,能够提供丰富的腐蚀信息,如涂层的完整性、金属的腐蚀类型等;线性极化电阻则是根据金属在极化过程中的电阻变化来计算腐蚀电流密度,从而确定腐蚀速率,其测量简单、

快速,适用于实时监测;电阻探针和电感探针通过测量金属丝或线圈在腐蚀过程中的电阻或电感变化来反映金属的腐蚀量,具有较高的灵敏度和可靠性。这些在线腐蚀监测技术可以安装在储罐内部或外部的关键部位,如罐底、罐壁、管道连接处等,实现对罐区腐蚀的全方位监测。

3.4.2 智能预警系统

基于在线腐蚀监测技术采集的数据,智能预警系统利用大数据分析、人工智能和机器学习等技术进行数据处理和分析。智能预警系统建立腐蚀预测模型,根据历史监测数据和实时监测数据预测罐区未来的腐蚀趋势和可能发生的腐蚀事故。当预测到腐蚀速率超过预设阈值或出现异常腐蚀情况时,系统自动发出预警信息,提醒管理人员采取相应的防腐措施。例如,通过对储罐罐底腐蚀数据的长期监测和分析,建立基于神经网络的腐蚀预测模型,当模型预测到由于罐底积水或涂层老化等原因导致腐蚀速率将在近期内急剧上升时,智能预警系统及时向管理人员发送预警短信或邮件,并提供详细的腐蚀位置和可能的腐蚀原因分析,以便管理人员能够提前安排维修和防腐处理工作,有效预防重大腐蚀事故的发生。

4 应用效果评估

4.1 新型涂层材料应用效果

4.1.1 纳米复合涂层案例分析

某石油仓储罐区对部分储罐采用了纳米复合涂层进行防腐处理。经过一段时间的使用后,对涂层的性能进行了检测。结果表明,纳米复合涂层的硬度较传统涂层提高了约30%,耐磨性提高了约50%,在模拟海洋大气环境下的耐候性试验中,涂层的变色和粉化时间延长了约一倍。在实际应用中,纳米复合涂层的储罐在运行三年后,涂层表面仅出现轻微划伤和少量局部腐蚀点,而采用传统涂层的储罐在相同时间内已出现大面积涂层剥落和较严重的腐蚀现象。这表明纳米复合涂层能够显著提高储罐的防腐性能,延长涂层的使用寿命,减少维护成本。

4.1.2 石墨烯涂层案例分析

在一个天然气储罐试点项目中应用了石墨烯涂层。通过定期对涂层的完整性和金属基体的腐蚀状况进行检测,发现石墨烯涂层在使用两年后仍保持良好的阻隔性能,金属基体未发生明显腐蚀。在涂层局部人为制造破损后,监测发现石墨烯涂层能够迅速将金属基体的电位调整至保护电位范围,抑制了金属的腐蚀反应,表现出良好的自修复能力。与未采用石墨烯

涂层的类似储罐相比,该储罐的腐蚀速率降低了约80%,大大提高了天然气储罐的安全性和可靠性,同时由于涂层的长效性,减少了储罐的停产检修时间,提高了运营效率。

5 结论与展望

石油(天然气)仓储罐区的防腐技术在近年来取得了显著的新进展,新型涂层材料、阴极保护技术创新应用、缓蚀剂的研发突破以及腐蚀监测与智能预警系统的构建等方面都为罐区的防腐工作提供了更有效的解决方案。通过对这些防腐技术应用效果的评估,可以看出它们在提高罐区防腐性能、延长设施使用寿命、降低运营成本、保障安全稳定运行等方面发挥了重要作用。目前的防腐技术仍存在一些不足之处,例如,新型涂层材料的成本相对较高,限制了其大规模应用;缓蚀剂的性能在某些极端环境下可能会受到影响;腐蚀监测与智能预警系统的准确性和可靠性还有待进一步提高等。展望未来,石油(天然气)仓储罐区防腐技术的发展将朝着更加高效、环保、智能的方向发展。随着材料科学、化学工程、自动化技术等领域的不断进步,有望开发出成本更低、性能更优的新型涂层材料和缓蚀剂;智能阴极保护系统将更加智能化、精准化,能够更好地适应复杂多变的罐区环境;腐蚀监测与智能预警系统将结合物联网、大数据、人工智能等技术,实现对罐区腐蚀的全方位、全天候、高精度监测与预警,为石油(天然气)仓储罐区的安全、可持续运营提供更加强有力的保障。

参考文献:

- [1] 李兵,魏瑞军,吕仁仁,张玉秋,房玉凤,郑玉倩,彭小军.油田回注水处理及回注管线防腐技术[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):197-199.
- [2] 吴斌,王晓天.钢结构建筑锈蚀及防腐处理的技术研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):93-95.
- [3] 曹登云,任银霞.临海地区水下钢结构防腐技术试验研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):176-179.
- [4] 刘旭文.城镇小区燃气埋地钢质管道防腐层检测及新型防腐修复技术应用[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):200-203.
- [5] 蒋煜.浅谈石油仓储合资公司派驻人员管理优化——以K公司为例[J].能源,2024,(07):76-80.

作者简介:

郭锐(1971.03-)男,汉族,山西太原人,本科学历,中级工程师1995年毕业于北京化工大学,主要从事化工安全管理与安全评价工作。