

化工管道防腐蚀处理方法及其效果评估

王发荣(陕西中天名远建设工程有限公司,陕西 西安 710014)

摘要:随着城市发展,化工作为清洁能源被广泛应用,城镇化工管道的安全稳定运行至关重要。管道腐蚀问题严重威胁其安全性与可靠性,深入剖析化工管道腐蚀原因,涵盖化学、电化学及细菌腐蚀等因素,全面探讨多种防腐蚀处理方法,包括涂层防护法、阴极保护法等,并明确选择原则。通过腐蚀速率、涂层完整性等指标及定期检测法、电化学检测法评估防腐蚀效果,为保障化工管道安全运行、降低维护成本提供有力支持,对化工行业可持续发展意义重大。

关键词:化工管道;腐蚀原因;防腐蚀方法;评估指标与方法

中图分类号: TE988.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)023-0156-03

Anti-Corrosion Treatment Methods for Gas Pipelines and Their Effectiveness Evaluation

Wang Farong (Shaanxi Zhongtian Mingyuan Construction Engineering Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710014, China)

Abstract: With urbanization accelerating, natural gas—as a clean energy source—is widely utilized, making the safe and stable operation of urban gas pipelines critical. Pipeline corrosion poses a severe threat to system reliability and safety. This study conducts an in-depth analysis of corrosion mechanisms in gas pipelines, including chemical corrosion, electrochemical corrosion, and microbial corrosion. It comprehensively evaluates anti-corrosion treatment methods such as coating protection and cathodic protection (CP), while clarifying selection principles. By evaluating key metrics such as corrosion rate and coating integrity, along with methods including periodic inspection and electrochemical testing, the effectiveness of anti-corrosion measures is systematically assessed. The findings provide robust support for ensuring pipeline operational safety, reducing maintenance costs, and advancing sustainable development in the gas industry.

Keywords: Gas Pipelines; Corrosion Mechanisms; Anti-Corrosion Methods; Evaluation Metrics and Methods

在“双碳”目标引领下,清洁能源备受青睐,比如燃气在城市能源供应体系中的地位愈发关键。化工管道作为输送燃气的“血管”,其状况直接关乎城市能源供应的稳定与安全。但现实中,腐蚀却像隐藏在暗处的“杀手”,时刻威胁着管道。

从繁华都市到偏远乡镇,因管道腐蚀引发的泄漏、爆炸事故时有发生,不仅造成生命财产损失,还对环境造成破坏,深入研究化工管道防腐技术与维护管理迫在眉睫。这不仅是保障能源供应的需求,更是顺应绿色、安全发展理念的必然选择,对提升城市能源供应水平具有重要意义。

1 化工管道防腐蚀处理的重要性

1.1 化工管道腐蚀的危害

在安全性方面,腐蚀会使管道壁变薄,承受压力的能力下降,极易引发气体泄漏。比如燃气作为易燃易爆气体,一旦泄漏,遇到明火或静电等,瞬间就会引发爆炸、火灾等严重安全事故,直接威胁周边居民的生命财产安全。在稳定性上,腐蚀导致的管道损坏会使燃气供应时断时续,影响居民的正常生活和企业的生产经营,给社会带来诸多不便,同时也会造成巨大的经济损失。

1.2 防腐蚀处理对化工行业发展的意义

有效的防腐蚀处理能够极大地延长管道的使用寿命,减少频繁更换管道的高额成本。从维护角度看,降低了日常维护成本,包括检查、修复等费用。而且,保障了燃气供应的稳定,避免因管道腐蚀问题导致的供气中断,维持了化工行业的稳定运营^[1]。这不仅增强了企业的经济效益,还提升了行业的整体竞争力,为燃气行业的可持续发展奠定坚实基础。

2 化工管道腐蚀的原因分析

2.1 化学腐蚀因素

化工气体燃气中硫化氢、二氧化碳等成分是引发管道化学腐蚀的“元凶”。硫化氢在有水存在时,会与金属管道发生反应,生成硫化亚铁等腐蚀产物,这些产物疏松多孔,无法有效阻挡硫化氢继续侵蚀管道,使腐蚀不断深入。二氧化碳溶于水形成碳酸,碳酸会与金属管道发生化学反应,逐渐溶解金属,削弱管道壁的强度。若燃气中含有其他杂质,还可能发生更为复杂的化学反应,进一步加速腐蚀进程,严重威胁管道的结构完整性与使用寿命。

2.2 电化学腐蚀因素

土壤中的水分、溶解的盐类等构成了电解质,不

同金属材质的管道或同一金属不同部位存在电位差，在电解质作用下形成原电池。在这个原电池中，电位较低的部位成为阳极，发生氧化反应，金属不断溶解被腐蚀；电位较高的部位为阴极，发生还原反应^[2]。土壤湿度越高，电解质的导电性越好，离子迁移速度加快，会加剧电化学腐蚀。

土壤酸碱度也影响显著，酸性土壤中氢离子浓度高，会加速阳极金属的溶解；碱性土壤虽对某些金属腐蚀影响较小，但会改变金属表面的钝化膜性质，若钝化膜被破坏，也会加速腐蚀。

2.3 其他腐蚀因素

在特定环境下，如缺氧且富含硫酸盐的土壤中，硫酸盐还原菌会大量繁殖。这些细菌利用管道表面的有机物作为营养源，在新陈代谢过程中把硫酸盐还原为硫化氢，硫化氢与管道金属反应，生成硫化物腐蚀产物，加速管道腐蚀。铁细菌等微生物也会在管道表面附着生长，它们在获取能量的过程中，改变金属表面的化学和电化学状态，促进腐蚀反应的进行，使管道腐蚀速度远超正常水平，增加管道维护和更换的成本。

3 化工管道防腐蚀处理方法概述

3.1 涂层防护法

防腐漆凭借良好的附着性与耐腐蚀性，能有效隔绝管道与外界腐蚀介质接触，像环氧防腐漆，其固化后形成的致密漆膜，可阻挡氧气、水分等侵蚀管道。聚乙烯涂层则具有优良的化学稳定性、耐磨损性，能为管道提供长期保护。涂层的作用原理在于在管道表面构建起一道屏障，阻止腐蚀介质与管道金属发生化学反应或电化学反应^[3]。在施工工艺上，通常先对管道表面进行除锈、清洁处理，以增强涂层附着力；之后根据管道规格、涂层材料特性，选择刷涂、喷涂或浸涂等方式进行涂覆。例如大口径管道多采用喷涂工艺，以确保涂层均匀、高效覆盖。

3.2 阴极保护法

根据电化学原理，阳极金属更易失去电子发生氧化反应，从而优先腐蚀自身，使管道成为阴极得到保护。这种方法适用于土壤电阻率较低、管道分布相对分散的区域，操作要点在于合理选择阳极材料和规格，确保阳极的有效电位和使用寿命，并且要定期检查阳极的消耗情况，及时更换。外加电流法是通过外部电源向管道施加直流电，将管道连接电源负极成为阴极，辅助阳极连接电源正极。在土壤中形成电流场，促使管道表面发生还原反应，抑制腐蚀。该方法适用于长输管道、大型储罐等大型设施，使用时需精确控制电流大小和电压，依据管道的材质、长度、土壤环境等因素进行调整，同时要定期监测管道的保护电位，确

保阴极保护系统正常运行。

3.3 其他防腐蚀方法

缓蚀剂添加是在燃气或输送介质中加入少量缓蚀剂，其分子能在管道金属表面形成一层保护膜，抑制腐蚀反应的进行。这种方法具有操作简便、成本较低的特点，尤其适用于无法进行大面积防腐处理的管道内部。但需根据燃气成分和管道材质选择适配的缓蚀剂，同时要控制好添加剂量，避免对燃气质量或管道产生负面影响。管道内防腐层修复技术主要针对已出现腐蚀或损坏的管道内防腐层。修复方式包括内衬法，如使用聚乙烯、环氧树脂等材料在管道内部形成新的防腐内衬；补涂法，对局部损坏的防腐层进行修补。这种方法可在不更换管道的前提下，恢复管道的防腐蚀性能，延长管道使用寿命，常用于老旧管道的维护改造。

4 化工管道防腐蚀处理方法的选择原则

4.1 根据管道材质选择

钢管作为常用的化工管道材料，虽然强度高、耐压性好，但极易遭受腐蚀，尤其是在潮湿或酸性土壤环境中。对于钢管，涂层防护法效果显著，如环氧涂层、聚乙烯涂层等，能有效隔绝外界腐蚀介质，其原理是通过在钢管表面形成致密的保护膜，阻止氧气、水分和其他腐蚀性物质与钢管接触。由于钢管导电性良好，阴极保护法中的牺牲阳极法和外加电流法也十分适用，可利用电化学原理将钢管作为阴极进行保护。而塑料管，如聚乙烯管，本身具有良好的耐腐蚀性，但在长期使用过程中，可能因环境应力开裂等问题影响其性能。一般无需采用阴极保护法，重点在于防止外部机械损伤。可通过选择合适的安装方式和保护套管来避免管道受到外界的刮擦、挤压等破坏，同时在管材生产过程中添加抗老化剂等助剂，增强其抗环境侵蚀能力。选择依据主要是基于不同材质的化学特性和物理性能，以最有效地发挥防腐蚀方法的作用，延长管道使用寿命。

4.2 结合管道使用环境选择

在地理环境方面，处于沼泽、盐碱地等强腐蚀区域的化工管道，面临着高湿度、高盐分的土壤环境，对防腐蚀要求极高。这类地区的钢管可采用加强级的防腐涂层，如三层聚乙烯涂层，其具有优异的抗水、抗土壤腐蚀性能，同时搭配外加电流阴极保护法，通过精确控制电流，确保管道在恶劣环境下得到充分保护。在寒冷地区，涂层材料需具备良好的耐寒性，避免因低温导致涂层脆裂而失去防护效果；在炎热地区，则要考虑涂层的耐高温性能。对于土壤性质，酸性土壤中氢离子浓度高，会加速金属管道腐蚀，除了采用

耐酸的涂层材料外，还可对土壤进行改良，如添加石灰提高土壤 pH 值，降低腐蚀性^[4]。

4.3 综合经济成本考量

涂层防护法中，防腐漆成本相对较低，初期投入较少，但耐久性可能稍差，长期维护成本较高，需要定期检查和重新涂覆。聚乙烯涂层虽然初期采购和施工成本较高，但使用寿命长，后期维护成本低，综合来看在一些对耐久性要求高的场合更具优势。阴极保护法中，牺牲阳极法初期安装成本相对较低，不需要外部电源设备，但阳极材料需定期更换，长期维护成本较高；外加电流法初期需要投入电源设备、辅助阳极等，成本较高，但后期运行稳定，只要设备正常运行，维护成本相对较低。

缓蚀剂添加法初期投入成本低，但需要持续添加缓蚀剂，长期成本也不容忽视。在选择防腐蚀方法时，要综合评估管道的使用年限、预期腐蚀程度等因素。对于短期使用的管道，可选择初期投入低的方法；对于长期运行的重要管道，则应优先考虑防腐蚀效果好、长期维护成本低的方案，通过全面权衡各方面因素，实现防腐蚀效果与经济效益的最佳平衡。

5 化工管道防腐蚀效果评估指标与方法

5.1 评估指标

在化工管道防腐蚀效果评估中，腐蚀速率、涂层完整性和阴极保护电位是关键指标。腐蚀速率指单位时间内管道材料因腐蚀导致的质量或厚度变化量，常用毫米/年（mm/a）衡量。测量方法有失重法，即安装试片称重换算；也可利用超声波测厚仪测量壁厚变化来计算。化工管道理想的腐蚀速率应控制在0.05mm/a以下，这样才能保障管道长期安全运行，若超出则需加强防护。检测涂层厚度可使用磁性测厚仪、涡流测厚仪等，不同涂层有相应标准厚度，厚度不达标会削弱防腐蚀性能。检查涂层破损可通过外观目视或电火花检漏仪检测。

涂层一旦破损，管道就会暴露在腐蚀介质中，加速腐蚀，哪怕微小破损也可能引发严重后果，所以保持涂层完整是维护管道防护性能的核心。通过监测该电位，能判断管道是否得到有效保护。不同管道材质和土壤环境，阴极保护电位标准不同。以钢铁管道在一般土壤环境为例，其阴极保护电位需达到-0.85V（相对于饱和硫酸铜参比电极）及更负电位。当电位满足标准，说明阴极保护系统正常工作；若高于标准值，则意味着阴极保护不足，管道有腐蚀风险，此时需要调整参数或检查系统故障。

5.2 评估方法

外观检查需定期对管道进行巡查，观察管道表面

有无变色、变形、破损等异常情况，及时发现涂层脱落、管道泄漏等问题。壁厚测量一般借助超声波测厚仪，对管道关键部位进行多点测量，检测频率根据管道使用年限、环境腐蚀程度确定，新建管道可1-2年检测一次，老旧管道或腐蚀严重区域应缩短检测周期至半年或更短。涂层检测包括厚度测量和完整性检测，使用专业仪器按一定的间距进行测量和检查。根据检测结果，若外观无异常、壁厚变化在合理范围内且涂层完整，表明防腐蚀效果良好；若出现异常，则需进一步分析原因并采取修复措施^[5]。

电化学检测法利用电化学工作站等设备，通过测量管道的电化学参数评估防腐蚀效果。其原理是基于管道在腐蚀过程中的电化学特性变化，如测量开路电位、极化曲线等参数。开路电位可反映管道的腐蚀倾向，极化曲线能分析管道的腐蚀速率和极化电阻。具体操作时，先将工作电极（管道）、参比电极和辅助电极连接到电化学工作站，在合适的电解质溶液环境中进行测量。根据测量得到的电化学参数，结合相关标准和经验数据判断管道的腐蚀状态。若极化电阻较大，说明管道的防腐蚀性能较好；若开路电位和极化曲线显示腐蚀倾向增加，则提示防腐蚀效果下降，需要进一步评估并改进防腐蚀措施。

6 结语

化工管道的防腐与维护管理是确保化工安全稳定供应的关键。化工管道腐蚀成因复杂，化学、电化学及细菌等因素均会引发腐蚀，威胁安全、影响稳定供应并造成环境污染。多种防腐技术，如涂层防护、阴极保护等，以及维护管理措施，包括定期检查、预防性维护和应急响应等，可有效应对腐蚀问题。综合考虑管道材质、使用环境和经济成本，选择合适的防腐方法和维护策略，对延长管道寿命、降低成本、保障化工行业可持续发展意义重大。未来还需持续探索新技术，提升化工管道安全保障水平。

参考文献：

- [1] 尹志彪,曹育军,邹健,等.城镇燃气埋地钢质管道防腐蚀现状[J].腐蚀与防护,2024,45(10):97-103+121.
- [2] 单武迪.城镇燃气管道防腐技术与维护管理[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(05):173-175.
- [3] 于芳蕾,吉彦彬.长输燃气管道的防腐控制技术研究[J].山东化工,2023,52(15):167-169.
- [4] 赵伟.燃气管道安装及其防腐技术探讨[J].河北农机,2021,(08):150-151.
- [5] 肖剑,孙轶,王怡,等.燃气管道安装及其防腐技术探讨[J].能源技术与管理,2020,45(02):155-156+177.