

天然气管道腐蚀原因及防治措施分析

费卫荣

(重庆燃气集团股份有限公司输配分公司, 重庆 400020)

摘要 天然气管道作为能源输送的重要枢纽, 其防腐工作直接关系到输送系统的安全性、可靠性。然而, 在长期运行中, 天然气管道面临复杂的外部环境和多样化的腐蚀因素威胁, 内外部因素交互作用, 使管道腐蚀问题极为复杂, 若不采取科学合理的防护措施, 将导致管道强度降低、发生泄漏甚至断裂, 严重影响天然气的安全供应。本文从腐蚀原因分析出发, 提出了防治措施, 以期为天然气管道安全运营提供有益参考。

关键词 天然气管道; 腐蚀原因; 泄漏; 阴极保护

中图分类号: TE97

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.038

0 引言

天然气作为一种清洁能源, 需求量不断增加, 其远距离、高效输送是现代能源保障体系中的重要组成部分。而天然气管道由于长期埋设在地下或暴露在不同环境中, 易受到腐蚀性因素影响, 导致结构损坏甚至出现严重的泄漏事故, 不仅会造成巨大的经济损失, 也会给人们正常生产生活造成危害。为此, 深入分析天然气管道的腐蚀原因并研究切实有效的防治措施具有重要意义, 是提高管道安全性和使用寿命并降低维护成本的有效途径。

1 天然气管道腐蚀的主要原因

1.1 土壤腐蚀

由于天然气管道埋设在地下, 土壤中的多种成分和特性使管道易受到腐蚀^[1]。尤其是含有盐类、酸性或者其他化学成分的土壤, 就更容易与管道产生反应, 进而造成腐蚀。另外, 如果土壤较为潮湿, 会导致管道表面始终处于潮湿的环境中, 进而对管道表面造成腐蚀影响, 使得腐蚀持续加重, 如果温度较高、湿度较高, 腐蚀程度更为严重。土壤中含有的溶解盐, 如氯化物、硫酸盐、碳酸盐等, 也会在水分接触金属表面时形成腐蚀区域, 进一步恶化管道状态。与此同时, 土壤中的微生物, 尤其是硫酸盐还原菌和铁细菌等, 会分泌生物酸或形成生物膜, 进而加剧金属腐蚀过程。

1.2 微生物腐蚀

微生物腐蚀是一种因微生物活动而引发的特殊腐蚀现象, 主要表现为生物膜生成及酸性物导致发生腐蚀的情况。无论是水中、土壤中还是空气中, 都含有微生物, 很容易渗透到管道内部, 并且附着在管道的表面, 逐渐地形成一层黏膜, 对管道表面和防腐涂层

二者之间的接触面造成隔离, 由此使得天然气管道防腐能力下降^[2]。另外, 微生物进行新陈代谢时也会分泌出酸性物, 导致周围环境重大 pH 值出现下降的情况, 由此对金属保护层造成破坏, 使得腐蚀程度加重, 不仅减薄金属层, 还会因腐蚀孔洞或裂缝而带来天然气泄漏风险, 对管道正常运行构成重大隐患。随着腐蚀加深, 还会演变为管道结构失效, 增加管道运营维护难度, 并对周边环境和设施安全产生影响。

1.3 大气腐蚀

大气腐蚀是指由于管道暴露在空气中, 而空气中的水、各种物质会产生相互作用, 进而导致管道遭受腐蚀。此种腐蚀主要分为两种情况: 湿式腐蚀常发生在空气湿度较高或多雨的地区, 尤其是在沿海或气候潮湿的地方, 管道表面由于湿气影响会形成一层膜, 而空气中的酸性物会在上面产生反应, 使得管道表面的金属出现氧化的情况, 腐蚀加重, 在高湿度条件下会更快地破坏管道结构^[3]。而干式腐蚀则发生在空气较为干燥的环境中, 此时水分较少, 管道表面易聚集盐类和灰尘, 与空气中的氧气及其他气体产生反应, 逐渐形成腐蚀层。长时间暴露在腐蚀环境中, 会导致管道表面的强度持续下降, 最终出现损坏。

1.4 海水腐蚀

海水腐蚀是天然气管道在海洋环境中受到的严重腐蚀威胁, 主要由海水中的多种活性成分引发, 很容易与管道产生反应, 进而发生腐蚀情况。腐蚀程度受温度、氧气含量、盐分浓度等因素影响。通常情况下, 温度高、盐浓度高、氧气低的海水会加速腐蚀速率。此外, 海水流动产生的冲击力也会对管道表面产生磨损和破坏, 削弱管道防护层, 使其更加容易受到腐蚀。海洋微生物在此过程中起到重要的催化作用, 随着代

谢, 会产生酸性物质及其他腐蚀性代谢产物, 加速腐蚀速度。

1.5 管道内部腐蚀

管道内部腐蚀的形式多样, 主要包括均匀腐蚀、点蚀和还原腐蚀。均匀腐蚀是指管道内壁的腐蚀点较为均匀。点蚀是指局部出现腐蚀, 形成微小的孔洞或凹坑, 会进一步发展为贯穿的漏洞。而还原腐蚀由于还原性物质作用, 会使氧化层快速还原, 产生更深的凹陷甚至穿孔。内部腐蚀产生主要与输送气体成分有关, 天然气中夹带的硫化氢、二氧化碳等物质, 会与管道金属产生反应, 发生腐蚀。此外, 由于高温高压的影响, 管道内壁虽然有防腐涂层, 但消耗增快, 腐蚀防御效果减弱。管道内若存在水分、液态碳氢化合物等, 还会促使不同化学物质之间发生交互反应, 加剧腐蚀过程。

1.6 机械损伤引发的腐蚀

机械损伤是指管道在安装、运输或运行过程中因外力作用产生的物理损伤, 这种损伤不仅直接削弱了管道的结构强度, 还会破坏防腐涂层, 使裸露的金属区域直接暴露在腐蚀环境中。例如, 在施工过程中, 重型设备的操作可能会对管道外壁造成划伤或凹陷, 削弱防护层的完整性。此外, 地质运动、车辆冲击等外部因素也可能引发管道表面微裂纹的形成, 为腐蚀介质的渗透提供条件。随着时间推移, 这些微裂纹会逐渐扩大, 最终发展为严重的腐蚀区域, 威胁管道的正常运行。

2 天然气管道腐蚀的防治措施

2.1 应用耐腐蚀性管道材料

为保障天然气管道的安全和使用寿命, 应根据管道所处环境和气体特性引入不锈钢、镍基合金等新型材料, 具有较强的耐腐蚀性, 从而确保管道在长时间内保持稳定。在管材制造过程中, 需采用先进的成型工艺、焊接技术和热处理方式, 以确保管道质量达到行业标准, 减少制造缺陷对耐腐蚀性的影响^[4]。在安装阶段, 应严格执行技术规范, 保证管道之间连接牢固、密封良好, 防止气体泄漏和外部污染物侵入, 从而进一步减少腐蚀风险。此外, 可利用无损检测和压力测试等方法定期检查管道状态, 以便及时发现影响管道安全的隐患。对于已安装的耐腐蚀管道, 仍需进行常规的防护管理, 在管道外层涂覆防腐材料, 实施阴极保护技术等, 以延缓腐蚀速度, 保持管道结构的完整性, 增强防护层的耐久性。在应用耐腐蚀材料的同时, 应有一套完善的检测与维护机制, 以确保管道在各种

操作环境中的安全性。通过材料选择、制造工艺控制、科学安装和后续检测的综合措施, 可显著延长管道的使用寿命, 降低故障率, 为天然气安全输送提供可靠保障。

2.2 使用缓蚀剂

在天然气管道防腐过程中, 使用缓蚀剂的目的是形成保护层减缓腐蚀速度, 延长管道使用寿命。在选择缓蚀剂时, 需结合管道的材质、天然气成分及周围的环境条件, 以确保其发挥最佳效果。通常情况下, 缓蚀剂分为无机、有机和混合型三类, 不同类型的缓蚀剂具有各自的优势和适用场景。例如, 无机型在某些极端环境中能够稳定存在, 而有机型通常适合较为温和的腐蚀环境。针对特定的应用环境合理搭配缓蚀剂成分, 能有效提高其防腐能力^[5]。在管道施工完成后, 要先清理管道表面, 去除所有污渍、氧化层及其他杂质, 确保缓蚀剂能紧密黏附在管道金属上, 避免局部空隙产生的腐蚀加速效应。缓蚀剂涂敷可使用专用设备进行自动化喷涂或人工操作, 以保证管道表面均匀覆盖防护层, 隔绝管道与腐蚀介质的直接接触, 降低腐蚀速率。此外, 在缓蚀剂具体施用过程中, 也需重视环境保护, 采取限制扩散、设置隔离区域等必要的环保措施, 以确保缓蚀剂使用符合环保要求。需要注意的是, 缓蚀剂的有效性并非永久的, 随着时间推移和天然气流动产生的磨损, 缓蚀剂覆盖层会逐渐减薄甚至局部脱落, 因此需要定期进行检查和维护。维护工作包括检查缓蚀剂涂层的完整性、厚度和附着情况, 及时补充或重新喷涂, 以确保管道始终处于良好的防护状态。还要建立详实的管理和记录系统, 记录缓蚀剂的种类、用量、施用时间、覆盖情况等关键信息, 为未来的维护提供可靠的档案数据。

2.3 管壁增加涂层

在天然气管道的管壁中增加涂层可有效形成保护屏障, 阻隔腐蚀因素侵蚀, 延长管道寿命并确保运行安全性。对此, 首先应结合实际应用场景决定最佳涂层材料, 以实现耐腐蚀、耐温性和稳定性的要求。在正式涂覆前, 对管道表面进行清洁处理, 去除氧化层、油脂及其他附着物, 通过喷砂工序提升表面粗糙度, 使涂层能紧密附着在金属表面。涂层施工方式可选择喷涂、刷涂或浸涂, 需确保涂层分布均匀, 无遗漏区域。涂层厚度选择也需根据实际防腐需求进行调节, 以抵御特定的腐蚀环境。涂层固化处理会直接影响防腐效果, 因此要选择合适的固化工艺, 提升涂层附着力和耐久性, 减少因环境应力导致的剥落或损伤。最后一步是质量检测, 通过检测涂层的附着力、耐腐蚀性及厚度, 确保其防护效果符合管道运行要求。质量检查

过程中如发现瑕疵,应及时修复,确保涂层能有效地提供长效保护。

2.4 加强阴极保护

阴极保护是一种通过外加电流来降低管道电位,以使管道金属成为阴极,进而抑制腐蚀的有效措施。其原理如图1所示。

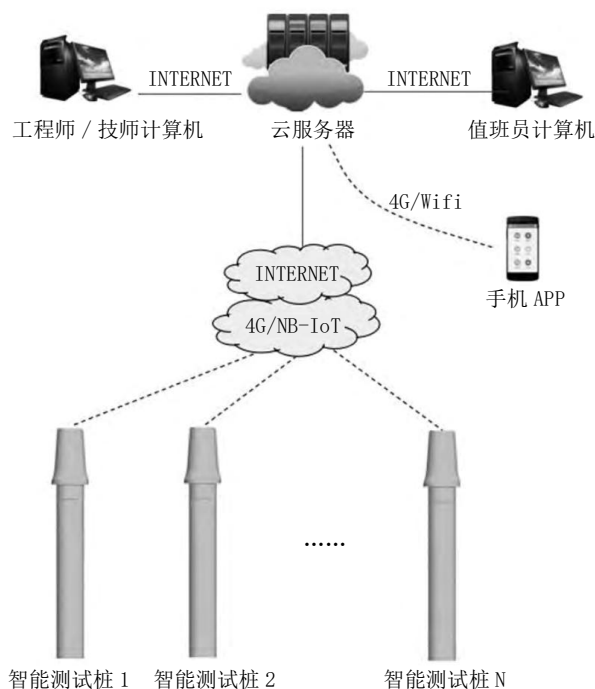


图1 天然气阴极保护原理图

阴极保护主要分为直流、交流两种形式,通过不同的电流类型来实现管道长效保护。保护系统组成包括电源、阳极、地床和管道。电源负责提供电流,以对阴极进行有效保护,阳极则是保持与管道连接,通过电流引入达到防护效果。阳极位置布置十分关键,通常会按照管道长度、直径及腐蚀环境等因素设置在固定间隔,以确保均匀的电流分布,从而实现全方位的防护效果。地床则是埋在地下的电极系统,提供电流的导电通道,确保电流能均匀分布至整个管道,避免局部腐蚀^[6]。地床设计需根据管道长度和铺设环境合理规划其尺寸和位置,以优化导电效果。为了达到理想的保护效果,可应用电流分配器,对电流分布进行优化调整,确保管道各处均受到充足保护。系统运行过程中还需对管道电位、电流密度等参数进行定期监测,数据分析可帮助及时识别腐蚀隐患,以便迅速采取维护措施。另外,阴极保护系统维护也不可忽视,必须确保阳极、连接电缆和地床的稳定性。阳极需定期清理,损坏的电缆和连接件要及时更换,确保接地

状态良好,以确保系统在各种环境条件下的持续稳定运行,为天然气管道提供持久的防护效果。

2.5 加强天然气管道日常管理

天然气管道日常管理是防腐工作的关键组成部分,贯穿于整个管道的使用周期中。日常管理应以预防为核心,将管道腐蚀防护任务精细化,形成常规性维护和监控体系。管理人员需详细记录防腐材料的应用情况和各项防腐技术的使用细节,确保防护措施得当并符合标准。同时,定期开展全面的管道检测,通过压力监控确保管道压力始终在合理范围内,减少因超压引发腐蚀风险。在管理流程上,需制定严谨的操作规范和检测标准,确保各类管理活动具有明确的执行依据和评估标准,以符合天然气公司的安全管理要求。为提升管理有效性,还需定期开展培训和安全教育,增强工作人员的安全意识和防腐知识,帮助员工掌握腐蚀防护的基本原理和操作方法,提高应对突发问题的能力,从而降低事故发生可能性。

3 结束语

天然气管道的腐蚀防护是一项复杂而重要的系统性工程,涉及多种学科和技术领域。只有通过综合运用科学的管理方法、先进的防腐技术和高质量的管道材料,才能实现对腐蚀问题的有效控制。天然气管道的腐蚀不仅对能源输送的稳定性提出了巨大挑战,也对环境和人类安全构成了潜在威胁。相关行业必须将管道防护纳入重点研究方向,通过技术创新和管理优化不断提高防腐能力。未来,随着新型材料和智能化检测手段的不断发展,天然气管道的腐蚀防治将更加高效和精准,从而进一步提升管道系统的整体安全性和运行效率,最终实现长效管理的目标,为保障社会能源需求贡献力量。

参考文献:

- [1] 刘持珂.天然气管道腐蚀原因及防治措施[J].当代化工研究,2024(17):131-133.
- [2] 许秀芹,徐敏,彭方超.基于风险管理的天然气管道建设与安全运行[J].石化技术,2024,31(08):288-290.
- [3] 李欣,王松.含 H_2S 天然气管道内腐蚀直接评价方法的改进[J].腐蚀与防护,2024,45(08):77-83.
- [4] 温少飞,谢晓东,张杨.天然气管道腐蚀的形成与防腐保护措施[J].中国设备工程,2024(10):178-180.
- [5] 张明.天然气管道腐蚀主要原因分析与防护措施[J].化工管理,2024(10):119-121.
- [6] 薛吉明,戴联双,张安妮,等.含 CO_2 湿天然气长输管道内腐蚀原因及其防控措施[J].腐蚀与防护,2023,44(09):113-117.