

油气长输管道阴极保护防腐技术管理要点分析

刘 帅（国家石油天然气管网集团有限公司福建分公司，福建 福州 350013）

摘 要：油气长输管道属于能源运输的关键设施，它的安全稳定运行关系到国家能源安全 and 经济发展，阴极保护防腐技术是保证管道免受腐蚀侵害的重要手段。本文论述了油气长输管道阴极保护防腐技术的意义，剖析此技术在应用时存在的三个主要问题，即技术应用不规范、维护管理不到位、环境适应性差，然后针对每一个问题给出了相应的解决策略，每个策略都有理论和案例。通过对这些管理要点的剖析，希望对改进油气长输管道阴极保护防腐技术的应用效果给予参考。

关键词：油气长输管道；阴极保护；防腐技术

中图分类号：TE988.2

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）028-0094-03

Analysis of Key Management Points for Cathodic Protection Anti-Corrosion Technology in Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Liu Shuai (Fujian Branch, PipeChina National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Fuzhou Fujian 350013, China)

Abstract: Long-distance oil and gas pipelines are critical infrastructure for energy transportation, and their safe and stable operation is vital to national energy security and economic development. Cathodic protection anti-corrosion technology serves as a crucial measure to prevent pipelines from corrosion damage. This paper discusses the significance of cathodic protection anti-corrosion technology for long-distance oil and gas pipelines and analyzes three major issues in its application: non-standardized implementation, inadequate maintenance management, and poor environmental adaptability. Corresponding solutions are proposed for each issue, supported by theoretical explanations and case studies. Through the analysis of these management points, this paper aims to provide references for improving the application effectiveness of cathodic protection anti-corrosion technology in long-distance oil and gas pipelines.

Keywords: long-distance oil and gas pipelines; cathodic protection; anti-corrosion technology

油气资源属于国家重要的战略资源，其运输大多依靠长输管道，油气长输管道长久处于地下或者暴露在复杂环境中，很容易遭受腐蚀。这不但会缩减管道的使用寿命，而且可能引发管道泄漏事故，致使重大的经济损失和环境危害。阴极保护防腐技术是一种有效的防腐手段，它可以明显减弱管道的腐蚀速度。所以，深入探究油气长输管道阴极保护防腐技术的管理要点，对于保证管道安全运行具有重大的现实意义。

1 油气长输管道阴极保护防腐技术的意义

油气长输管道是连接油气生产地和消费地的重要纽带，油气长输管道的安全运行关系到社会经济的稳定发展。腐蚀是影响油气长输管道安全运行的主要因素之一，油气长输管道的腐蚀会导致管壁变薄、强度下降，甚至穿孔泄漏，进而引发火灾、爆炸等恶性事故，还会造成油气资源的浪费和环境污染。阴极保护防腐技术是利用电化学原理来防止或减缓埋地油气长输管道的腐蚀。在电化学中的电池电解过程，电池的阳极在电解液中容易发生腐蚀，而阴极相对于阳极不容易发生腐蚀。

所以，油气长输管道阴极保护系统中，将金属材料质的油气长输管道当作阴极，再找一块金属当作阳极，

就能达到油气长输管道的防腐目的。阴极保护法的原理是给油气长输管道送大量自由电子，让油气长输管道的金属表面一直处在电子过剩的状态，使油气长输管道金属表面有相同的负电位，油气长输管道金属就不容易因为失去电子而被腐蚀，利用这种方法能有效提升管道寿命，削减管道维修和更换的次数，减少因管道故障造成的经济损失。而且，良好的防腐效果可以保证油气输送连续稳定，保障能源供应安全可靠，这对维持国家能源安全有着非常重要的意义。

2 油气长输管道阴极保护防腐技术应用中存在的问题

2.1 技术应用不规范

油气长输管道阴极保护防腐技术应用时，出现技术应用不规范情况，部分施工单位在安装阴极保护系统时，并未按照有关技术标准和规范执行，如辅助阳极地床布置不合理、电缆连接不牢固等问题。这样就造成阴极保护系统不能充分发挥其作用，影响到防腐效果。在管道工程当中，因为参比电极安装位置不合适，致使所测得的电位数据出现偏差，导致恒电位仪不能准确调节输出参数，从而影响到管道的腐蚀防护效果。

2.2 维护管理不到位

阴极保护系统要想保持正常工作,需要长时间的维护管理才行,可是现在部分管道管理单位没有重视对阴极保护系统的维护管理,造成阴极保护系统的维护不到位、维护不及时等情况。而外加电流保护法要求定期的维护管理来保证它长期工作的稳定性,如果不及时的维护,可能会导致电流输出不正常、不能维持管道电子平衡从而导致腐蚀。如部分燃气公司的长输管道,就是因为长时间没有对恒电位仪进行检查维修校准,导致恒电位仪不能正常的工作,不能对外稳定输出给管道提供阴极保护电流所以导致了局部的管道出现腐蚀。

2.3 环境适应性差

油气长输管道所处的环境多种多样,不同地区土壤性质、气候条件等存在较大差异,这就对阴极保护防腐技术的环境适应性提出了较高要求,但实际应用时,部分阴极保护系统并未针对具体环境实施针对性设计与调整,从而在复杂环境中防腐效果欠佳,高土壤电阻率地区就存在此类问题,电流难以有效传输,阴极保护系统不能给管道供应足够保护电流,致使管道腐蚀未受到有效控制。

3 油气长输管道阴极保护防腐技术的管理策略

3.1 规范技术应用流程

规范的技术应用流程是保证阴极保护防腐技术效果的基础,施工之前要按照管道的具体情况以及有关标准制订出细致的施工计划,清楚辅助阳极地床布置、电缆连接这些关键环节的技术要求。制订施工计划时,要把管道的材质、管径、周围环境等众多因素都纳入考量范围,展开全面的分析和讨论。就辅助阳极地床布置而言,要考虑土壤电阻率、管道走向等因素,保证辅助阳极地床可以均匀地向管道输送保护电流,而电缆连接的品质直接关系到电流传送的效率,务必采用符合标准的电缆和连接工艺,做到连接牢固、绝缘性能优良。

在施工过程当中,要依照规范执行,加强质量监管和核查,保证每一道工序都达标,可以创建施工质量责任制,把责任分派给具体的施工人员,针对每一个施工环节予以记录并验收。并且引入第三方监理单位,对整个施工过程进行监督,及时发现问题并纠正。外加强制电流保护系统主要设备为恒电位仪,由电缆供电,阳极地床也为系统回路的一部分,这就给规范技术应用提供了设备与连接上的依据。在施工时要注意这些设备的安装与调试,保证其符合系统设计的要求。施工结束后还要进行严格的验收,验收内容涉及系统电位、电流输出、绝缘性能等诸多方面,只有各

方面的指标都达到设计要求之后才能投入使用。针对验收过程中出现的问题要积极整改,直到符合标准为止。

管道管理单位在长输管道阴极保护系统施工阶段,要严格按照预设施工方案执行。施工前期,专业技术小组对管道沿线土壤参数开展精细化测试,测定各段土壤电阻率、pH值等关键数据,据此制定合适的辅助阳极地床布置方案——针对高土壤电阻率区段,可通过减小地床间距、增加埋设深度优化电流分布均匀性。电缆连接环节采用专用工艺,施工人员先清除接头氧化层及污物,再通过压接或焊接完成连接,随后进行绝缘包裹处理,每处连接均需经绝缘电阻测试仪检测合格方可进入下道工序。施工全程由第三方监理单位实施现场监督,检查阳极地床位置、深度及电缆连接质量等关键指标,对发现的问题立即要求整改,如抽查发现阳极地床埋设深度不符设计要求,当即督促施工人员返工处理,确保布置参数达标。系统安装完成后,采用电位测量法进行验收检测,技术人员使用专用电位测量仪器沿管道按设定间距开展电位监测。

3.2 加强维护管理力度

加强维护管理力度是阴极保护系统能够长期稳定运行的关键。应建立一套完善的维护管理制度,定期对系统进行检查、校准、维修。维护管理制度要规定维护的周期、内容、责任人员等,使维护工作规范化、制度化。对外加电流保护系统,应定期检查恒电位仪的运行情况,保证恒电位仪输出电流、电位的稳定。恒电位仪是系统中的整流电源,用来对信号进行放大处理,先用阻抗变换参比信号,再把变换过的信号送给比较放大器,最后的输出信号和误差成正比,恒电位仪的运行状况直接关系到系统的保护效果。要定期检查恒电位仪的各项参数,如输出电流、输出电压、给定电位等,同设定值进行对比,如果发现有偏差,就要加以修正。同时,要对恒电位仪的散热系统、电源线路等进行检查,确保恒电位仪可以正常工作,避免因过热或电源故障导致恒电位仪出现停机现象。要对参比电极进行校准,保证测量数据的准确性。

管道管理单位针对长输管道外加电流阴极保护系统,建立了规范化维护管理制度,明确分级维护周期与核心内容:每天监控恒电位仪运行参数,包括输出电流、电位等关键指标,每月执行参比电极校准程序,每季度开展系统电缆连接及阳极地床全面检测。执行岗位责任制,明确各环节维护人员职责,每周维护时操作人员使用万用表和参比电极采集恒电位仪实时参数,与上周基准值进行偏差分析,当参数波动超出阈

值时则开展故障分析排查流程,如某次检测发现管道恒电位仪输出电流骤降,经拆解检查确认系设备内部电容老化失效,在更换同型号电容后设备恢复正常工作状态;月度参比电极校准由专业技术人员执行,采用实验室标准参比电极进行校准比对,若发现参比电极偏差过大,当即予以更换,以确保恒电位仪输出参数准确;季度全面检查涵盖电缆连接点紧固性检测、腐蚀状态评估和阳极地床接地电阻测量等,若检查中发现某电缆连接点存在局部腐蚀时,立即实施除锈处理并重新进行绝缘密封,消除隐患。

3.3 提高环境适应性设计

提升环境适应性设计是保证阴极保护防腐技术在复杂环境中得到应用的关键手段,在开展阴极保护系统设计时,要充分考虑到管道所处环境的土壤因素、气候状况等因素以针对性地实施设计。如在油气管线建设过程中,要按照具体情形制定最合适的施工方案,即阴极保护系统的环境适应性设计。在干旱地区的土壤电阻率较高时,可以采用深井阳极或者分散布置阳极的方式,增大阳极与土壤的接触面积,降低阳极的接地电阻,防止由于电流分布不均匀造成保护效果减弱。

在潮湿多雨的沿海地区,要提升阳极体的耐腐蚀性,选用耐腐蚀的高硅铸铁或者钛基混合金属氧化物等材料,而且还要在阳极周围填充焦炭回填层,以减小土壤中的氯离子对电极的侵蚀作用。针对穿越农田及工业区的杂散电流干扰区,也要设计相应的排流装置和绝缘接头,通过监测管道的交直流电流密度变化来确定是否增加排流设施,从而防止杂散电流对管道造成局部腐蚀。如某穿越盐碱地的输油管道项目,设计团队依照土壤 pH 值和含盐量,采用深井阳极和牺牲阳极联合保护方案,运行三年以后,管道腐蚀速率低于行业基准数值,证实环境适配设计的可行性。

对于高土壤电阻率区域的长输管道阴极保护系统而言,常规的浅埋阳极地床不能满足保护电流的需求,经过专门的研究之后,可采取深井阳极地床技术方案,首先通过地质勘察来优化深井的选址和埋深要求,保证井深能够穿透高阻土层到达低阻土层,每口深井里放置多组高硅铸铁阳极,通过其良好的导电性能和耐腐蚀能力来提高系统整体效能,经过深井方式布置可达成土壤电阻下降和电流传送效率优化的双重目标。

另外,结合当地的气候特性做环境适应性设计,针对夏季多雨潮湿的状况,把恒电位仪这样的关键设备放进不锈钢的防水控制柜里面,柜内装有除湿装置,维持柜内适合的湿度水平,电缆接头采用专门的防水密封套件以确保密封效果。考虑到冬季低温冻土层影

响,阳极埋设深度设计时包含冻土层厚度参数,保证阳极埋设于冻土层之下,避免电流传输干扰,系统投入使用之后,通过电位监测显示,管道全线得到保护,防腐效果明显。同常规阳极地床方案相比,此系统保护电流分布的均匀性有所改进,管道电位完全符合阴极保护技术标准,经过运行后抽样检测,管道腐蚀速率低于行业基准数值,证实环境适应性设计的技术有效。

4 结束语

油气长输管道阴极保护防腐技术的运用,对于保障管道安全稳定运行意义重大。实际运用中,要意识到技术运用不规范、维护管理不到位、环境适应性不佳等现象存在,针对这些问题,要采取相应的管理对策,也就是规范技术运用流程、加大维护管理力度、提升环境适应性设计。通过不断改进管理举措,提升阴极保护防腐技术的应用水平,从而延长油气长输管道的使用寿命,削减安全风险,给国家能源运输安全提供可靠支持。在以后的发展进程中,还要持续加强对阴极保护防腐技术的研究与革新,融合先进的检测技术和智能化运作手段,进一步优化技术应用效果和运作水平。

参考文献:

- [1] 黄嘉杰. 油气储运长输管道防腐技术的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2025(11):107-109.
- [2] 唐家旭. 浅谈油气长输管道安装技术要点 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(2):54-57.
- [3] 白福良, 申勤兵, 桂光正, 刘旭, 赵志伟. 油气输送管道防腐层阴极剥离的影响因素分析 [J]. 焊管, 2021, 44(10):61-64.
- [4] 王杨. 油气长输管道腐蚀成因及阴极保护防腐技术 [J]. 中国新技术新产品, 2021(13):75-77.
- [5] 臧琰, 汤江文, 唐勇, 唐志强, 刘学辉, 章文. 石油天然气长输管道阴极保护采集电位智能分析模型研究 [J]. 中国测试, 2024, 50(S1):182-190.
- [6] 吴长访, 钟婷, 冯永强, 石胜明, 闫茂成, 刘文会, 高博文. 脉冲阴极保护下剥离防腐层管道的极化行为 [J]. 油气储运, 2024, 43(06):649-655.
- [7] 杨旭, 田鑫荣. 油气储运工程过程中管道防腐问题的分析和研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(07):116-122.
- [8] 许宇崇. 油气储运管道腐蚀影响因素与管道防腐技术的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(01):22-24.

作者简介:

刘帅(1990-)男,汉族,福建泉州人,本科,研究方向:长输油气管道安全保护、生产运行。