

阴极保护在长输石油天然气管道中的应用与效果评估

刘建国

长园长通新材料股份有限公司，广东 深圳 518000

摘 要： 阴极保护在长输石油天然气管道防腐中占有重要地位，它通过外加电流的作用，在管道表面产生负电位来抑制腐蚀。长输管道阴极保护系统设计优化，运用先进技术，强化监测管理，提升智能化水平和维护体系的建立等是保障其有效性的重点策略。评价阴极保护效果主要有阴极保护电位，电流，管道腐蚀速率，系统运行效率等。对这几项指标进行综合评价，才能保证管道长期安全运行、降低维护成本、延长使用寿命。

关 键 词： 阴极保护；石油天然气管道；防腐

Application and Effectiveness Evaluation of Cathodic Protection in Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Liu Jianguo

Changyuan Changtong New Material Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： Cathodic protection plays a vital role in the anti-corrosion of long-distance oil and gas pipelines. By applying an external current, it generates a negative potential on the pipeline surface to suppress corrosion. Key strategies to ensure the effectiveness of cathodic protection include optimizing system design, adopting advanced technologies, enhancing monitoring and management, improving intelligent systems, and establishing robust maintenance frameworks. The effectiveness of cathodic protection is primarily evaluated through indicators such as cathodic protection potential, current, pipeline corrosion rate, and system operational efficiency. A comprehensive evaluation of these parameters is essential to ensure the long-term safe operation of pipelines, reduce maintenance costs, and extend service life.

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

引言

在我国石油天然气产业飞速发展的背景下，长输管道是能源输送过程中重要的基础设施，长输管道的安全平稳运行直接影响着国家能源安全与经济社会发展。管道腐蚀对管道安全运行有重大影响，所以采取有效防腐措施非常关键。阴极保护技术具有高效，经济和环保的特点而被广泛用于长输管道的防腐。文章将对长输石油天然气管道阴极保护的运用策略及效果评价进行论述，旨在为管道防腐工作提供科学依据与技术支持。

一、阴极保护在管道防腐中的作用

阴极保护作为长输石油天然气管道防腐广泛采用的一项有效工艺，通过对管道金属表面产生电流，将金属表面电位降至不易被腐蚀的程度，以延缓或阻止腐蚀^[1]。阴极保护有牺牲阳极法与外加电流法。牺牲阳极法是以较活泼金属为阳极使之优先受到电化学腐蚀而对管道金属起到防护作用；外部电源通过外加电流法则为管道金属提供电流，使其转变为阴极，从而实现防腐的目的^[2]。将阴极保护应用于石油天然气管道不仅可以延长管道使用寿命，而且可以显著减少腐蚀造成的泄漏风险及维修成本，保障管道安全运行。

二、阴极保护在长输石油天然气管道中的应用策略

（一）阴极保护系统的设计优化

设计优化是保证阴极保护系统运行效果的关键环节。有必要开展细致的现场调查与数据收集工作，主要涉及土壤电阻率，管道材料以及环境条件。利用这些信息可以精确地确定阴极保护电流的要求及保护电位的取值范围。下一步，我们需要选择适当的阴极保护策略，例如牺牲阳极或采用外加电流的方法，并依据管道的尺寸如长度、直径和深度等因素，对阳极和电缆系统进行合理布局^[3]。对外加电流法来说，还要设计安装电源系统以保证其输出电流的稳定性与可靠性。在设计过程中要考虑环境因素及经济

成本等因素，选用经久耐用，安全可靠的材料及设备才能保证阴极保护系统长期有效运行。另外，设计优化还应包括定期维护及监测计划等，以便及时发现并解决潜在问题，保证阴极保护系统连续工作。

（二）采用先进的阴极保护技术

在工业技术不断进步的今天，管道防腐技术得到了创新。其中阴极保护技术是管道防腐中的一种重要方法，阴极保护技术的先进性对管道使用寿命及安全运行有着直接的影响。在现有技术条件下，智能阴极保护系统由于具有效率高，准确性好等特点而成为管道防腐领域中优选技术之一。智能阴极保护系统采用集成传感器，数据采集与通信技术实现阴极保护参数实时监控与远程控制^[4]。该系统能实时监控管道电位变化情况并适时调节保护电流以保证管道时刻保持在最佳保护状态。另外，该智能系统可以通过数据分析对可能存在的腐蚀风险进行预测并提前采取应对措施，有效地延长了管道使用寿命和减少了维护成本。深井阳极阴极保护系统是一项专为特定环境条件而设计的高级防腐方法。常规阴极保护技术对高电阻率土壤及地下水水位高区域往往难以取得理想效果。深井阳极阴极保护系统是通过阳极埋在地下较深，并利用土壤低电阻特性提供稳定电流输出来达到管道金属综合防护目的^[5]。该技术在提高保护效率的同时，也降低了环境影响，是一项既环保又有效防腐技术。微生物辅助阴极保护技术则是一种新兴的生物防腐技术。将特定微生物培养于管道表面形成生物膜可有效地隔绝管道和腐蚀介质接触以实现防腐。该技术在增强防腐效果的同时又具有环保和可持续等特性，成为今后管道防腐技术的一个重要发展方向。这些先进阴极保护技术在管道防腐过程中的运用，在提高管道防腐效率与可靠性的同时，也给管道防腐带来了更多可供选择的途径。在科技不断进步的今天，今后管道防腐技术会越来越智能化，环保化，这对于确保管道安全运行，延长使用寿命等方面提供了更强大的技术支持。实际工作中选择适宜的阴极保护技术需考虑管道所处环境，土壤特性和维护成本。智能阴极保护系统在多数环境中都有应用，深井阳极阴极保护系统更适宜在具体高电阻率土壤及地下水水位高区域应用。

（三）加强阴极保护系统的监测与管理

加强对阴极保护系统监控和管理，对保证系统长期高效运行具有十分重要意义。要实现这一目标，就需要有一个完整的监测体系，主要有定期检测与实时监测。定期检测一般采用现场测量与实验室分析相结合的方法进行，对阴极保护电位，电流密度等重要参数进行评价。这些资料的采集与分析对系统运行状况提供了重要的线索，有利于及时发现可能存在的问题及制定解决措施。依赖于尖端的传感器技术和数据收集系统，实时监控可以实时地记录和分析阴极保护系统的核心参数^[6]。设置该实时监控机制有利于出现问题后迅速作出响应，以免对系统造成进一步破坏。通过不断地实时监控，异常情况可以得到及时地识别与处理，以确保系统平稳地运行。就数据管理而言，建立和完善数据库非常关键。对长期监测数据进行记录与分析，有助于确定系统潜在问题及发展趋势，并为系统维护与优化提供了重要基础。对这些数据进行分析，既有利于防止问题出现，又可以对系统长期运行起

到指导作用，延长了管道使用寿命。

（四）提高阴极保护系统的智能化水平

提升阴极保护系统智能化水平，是目前管道防腐领域中最重要的发展方向。通过物联网，云计算以及大数据先进技术的引进，能够全面提高阴极保护系统智能化程度，并有效地提高其运行效率以及响应速度，减少了维护成本及管理难度，提供了一种更加有效的管道防腐解决方案。在物联网技术的支持下，各种传感器及设备能够互联互通，对阴极保护系统中的参数进行实时监控并把数据传送到中心控制系统。该实时监控与远程控制相结合的机制使运营人员能及时掌握系统运行状态并在第一时间做出反应，从而有效地防止了事故发生。采用云计算与大数据技术对监测数据进行处理，该系统能够实现对数据实时处理，分析与存储。通过深度分析数据，可尽早发现潜在风险并给出优化方案及决策支持，以保证阴极保护系统稳定可靠运行。该智能化分析与预测能力对运营管理起到有力支撑作用，使管道防腐更科学、更有效。

（五）建立完善的阴极保护维护体系

建立健全阴极保护维护体系，要有周密的保养计划，主要有定期检查，清洗，校准及保养。定期检查主要是测量并记录阴极保护电位，电流密度及阳极状态，保证系统在正常运行。清洁和校准的任务主要集中在传感器和监测设备上，以确保它们的测量准确性和稳定性。维修工作要依据检查结果及时对故障设备及零件进行维修或替换，保证系统连续工作。要组建专业维护团队并定期开展培训与评估，以提升自身专业技能与工作水平。另外，还要制定应急预案对突发故障及异常情况进行及时处理，以保证系统能够安全、稳定地运行。通过构建良好的维护体系不仅能够有效地延长阴极保护系统使用寿命，而且能够提高管道运行的安全性与可靠性，降低腐蚀所带来的危险与损失。

例如，在中国西部某长输石油天然气管道项目中，阴极保护技术的应用取得了显著成效。该管道全长约1200公里，穿越了多种复杂地质和气候条件，对管道的防腐蚀要求极高。为了确保管道的安全运行，项目方采用了阴极保护技术，并建立了一套完善的维护体系。在维护体系的建立过程中，项目方制定了详细的维护计划，包括每季度进行一次全面的阴极保护系统检查，每月进行一次传感器和监测设备的清洁和校准，以及根据检查结果及时进行维修工作。通过这些措施，确保了阴极保护系统的正常运行。在实际应用中，通过定期检查，项目方发现阴极保护电位和电流密度均保持在设计标准范围内，有效减缓了管道的腐蚀速度。例如，在一次检查中，发现某段管道的阴极保护电位偏离了正常范围，项目方立即进行了校准和维修，确保了该段管道的阴极保护电位恢复至正常水平。通过这些及时的维护措施，管道的腐蚀速率得到了有效控制，延长了管道的使用寿命。此外，项目方还建立了专业的维护团队，并定期进行培训和考核，提高了团队的专业技能和工作效率。同时，制定了应急预案，确保在遇到突发故障和异常情况时能够迅速响应，保障了管道的安全稳定运行。通过这些措施，该长输石油天然气管道项目在阴极保护技术的应用上取得了显著成效，不仅有效延长了管道的使用寿命，

还提高了管道的安全性和可靠性，减少了因腐蚀导致的风险和损失。据统计，自阴极保护系统投入使用以来，管道的维护成本降低了约20%，而管道的使用寿命预计可延长10年以上，为项目带来了显著的经济效益和社会效益。

三、阴极保护在长输石油天然气管道中的应用效果评估指标

（一）阴极保护电位的评估

通过检测管道表面电位可判断阴极保护系统运行状态及防腐效果。一般情况下阴极保护电位都要控制在一定的范围之内才能保证管道金属不会被腐蚀。具体地讲，电位过低会造成防护不到位和管道表面腐蚀严重；而且过高的电位会诱发氢脆等现象，破坏管道材料^[7]。所以在实际工作中要通过对阴极保护电位进行定期的测量与监测来保证阴极保护电位处于合理的范围之内。另外，还要根据测量数据及时对阴极保护系统参数进行调节，例如调节电源电流和增加或减少阳极数量，使系统性能达到最佳。对阴极保护电位进行评价与管理可保证系统有效工作并延长管道使用寿命。

（二）阴极保护电流的评估

对阴极保护电流进行评价是判断管道系统防腐性能能否满足要求的关键步骤。对于不同管道材料，环境条件以及腐蚀情况都需要合理分配阴极保护电流来保证对管道表面进行全面防护。电流输出太小会造成阴极保护效果差，进而管道仍受腐蚀影响；反之，过大电流会导致能源浪费和系统运行成本增加^[8]。所以在实际使用时，对阴极保护电流值进行定期的测量与分析非常关键，从而保证其在合适范围之内。除测出阴极保护电流值外，还要根据数据对阴极保护系统参数进行适时整定。如通过调节电源电流和优化阳极布置可提高系统效率。综合评价阴极保护电流并加以管理可保证管道系统平稳运行并延长其使用寿命。所以，对阴极保护电流进行有效管理是确保管道系统长周期运行、降低维护成本的一个重要途径。在科技日益发展的今天，当代阴极保护系统越来越智能化、自动化。采用先进的监测设备及远程控制技术能够对管道系统电流输出情况进行实时监控并按需调节，在减少运行

成本的前提下实现防腐效果最大化。通过这些先进技术的应用，管道运营商能够对阴极保护系统进行更有效的管理，保证管道能够在恶劣环境中长时间稳定的运行。

（三）管道腐蚀速率的评估

测定管道表面腐蚀速率可对阴极保护系统实际防腐效果进行评价。阴极保护系统要显著减小管道腐蚀速率才能保证管道长期安全地运行。在实践中，管道的腐蚀速率可以通过很多方法来进行测量，例如重量损失法和电化学测量法。定期对腐蚀速率数据进行测量与分析，能够及时发现并解决阴极保护系统存在的问题，使系统性能达到最优。另外，还要根据腐蚀速率变化趋势制定并调整管道防腐维护计划以保证管道安全运营。对管道腐蚀速率进行评价与管理能够有效地延长管道使用寿命并减少腐蚀带来的危险与损失^[9]。

（四）阴极保护系统的运行效率评估

阴极保护系统运行效率是评价系统性能与经济性的一个综合性指标。通过对系统运行效率进行评价，可对系统电流输出，能源消耗以及维护成本的综合性能进行评判。通常阴极保护系统在确保防腐效果同时要尽可能地减少能源消耗及维护成本以增加经济效益^[10]。在实践中可以采用多种手段对系统运行效率进行评价，例如电流效率和能耗比。定期对运行效率数据进行实测与分析，能够及时发现并解决系统低效环节并优化性能。另外，要根据运行效率评价结果及时对阴极保护系统进行参数调整与优化，例如调节电源电流，优化阳极布置来提高系统效率。对阴极保护系统运行效率进行评价与管理能够保证系统高效运行、延长管道使用寿命、增加经济效益。

四、结束语

阴极保护技术是长输石油天然气管道防腐的重要手段，经过合理的设计，先进的技术运用和严格的监测管理、智能化水平的提高以及维护体系的完善能够有效地改善阴极保护的效果，确保管道安全平稳的运行。在今后的发展过程中，由于科技的进步以及维护经验的累积，阴极保护技术也会越来越成熟，这对于我国能源输送的安全性也会有更扎实的保证。

参考文献

- [1] 姜泉涛. 临时阴极保护在长输天然气管道中的应用[J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(02): 28-30.
- [2] 廉飞, 程丽娜. 浅议天然气长输管道安全运行优化管理[J]. 当代化工研究, 2019, (05): 29-30.
- [3] 计政良. 石油天然气长输管道安全监管相关思考[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(06): 64-65.
- [4] 黄慧媛. 流动海水环境下沉管隧道外钢壳腐蚀规律及力学性能研究[D]. 南昌工程学院, 2023.
- [5] 曹健, 黄慧媛, 毛燕, 等. 流动海水环境下沉管隧道钢壳外壁冲刷腐蚀规律研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(10): 107-115.
- [6] 张梦梦, 徐友鹏, 胡贵斌, 等. 管道地铁杂散电流干扰腐蚀风险评估与防护措施[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(6): 82-89.
- [7] 孙伟栋. 近海海底管道阴极保护有效性的评估方法及应用[J]. 腐蚀与防护, 2024, 45(1): 93-98.
- [8] 吴明, 谢飞, 陈旭, 等. 埋地油气管道腐蚀失效研究进展及思考[J]. 油气储运, 2022(006): 041.
- [9] 李敏锋, 吴广春, 陈玉亮, 等. 苏州地区管道受地铁杂散电流干扰的规律[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(8): 83-88.
- [10] 华伟, 刘俐俐, 任勇, 等. 燃气管道整体阴极保护评估方法研究[J]. 材料保护, 2023, 56(12): 188-193.