

Research on the Influence and Application of Cathodic Protection on Corrosion of Oil Pipelines

Yanke Gong¹ Ying Shi²

1. Central China Branch of PipeChina, Wuhan, Hubei, 437000, China

2. PetroChina Corporation Limited Hubei Sales Branch, Wuhan, Hubei, 437000, China

Abstract

As an effective cathodic protection measure, the corrosion protection technology has shown remarkable results in the field of corrosion prevention of oil pipeline. The technology is based on electrochemical principles, providing protective current through external power supply or sacrificial anode, significantly reducing the corrosion rate of the pipeline, thus extending its service life and reducing the risk of leakage accidents. In the oil pipeline application, the design and monitoring and maintenance of the cathodic protection system are crucial to ensure the stable operation of the system and the anti-corrosion effect. The continuous improvement and innovation of technology provide a broader space for the development of cathodic protection technology. This study deeply discusses the influence of cathodic protection technology on oil pipeline corrosion and its practical application, which provides important technical support and guarantee for the safe and stable operation of oil pipeline.

Keywords

cathodic protection; oil pipeline; anticorrosion technology

阴极保护对输油管道腐蚀的影响及应用研究

宫研科¹ 石营²

1. 国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司, 中国·湖北 武汉 430000

2. 中国石油天然气股份有限公司湖北销售分公司, 中国·湖北 武汉 437000

摘要

阴极保护技术作为一种有效的防腐措施, 在输油管道防腐领域展现出显著效果。该技术基于电化学原理, 通过外部电源或牺牲阳极提供保护电流, 显著降低管道的腐蚀速率, 从而延长其使用寿命并减少泄漏事故的风险。在输油管道应用中, 阴极保护系统的设计与监测维护至关重要, 确保系统的稳定运行和防腐效果。技术的不断改进与创新为阴极保护技术提供了更广阔的发展空间。本研究深入探讨了阴极保护技术对输油管道腐蚀的影响及其实际应用, 为输油管道的安全稳定运行提供了重要的技术支持和保障。

关键词

阴极保护; 输油管道; 防腐技术

1 引言

随着石油工业的快速发展, 输油管道作为石油运输的主要方式之一, 其安全性和稳定性受到了广泛关注。然而, 由于输油管道长期暴露在复杂的自然环境中, 容易受到腐蚀的影响, 导致管道泄漏、损坏甚至引发安全事故。因此, 对输油管道进行有效的防腐保护显得尤为重要。阴极保护技术作为一种经济、有效的防腐手段, 在输油管道防腐领域得到了广泛应用。论文将以兰郑长管道为例, 对阴极保护技术的应用进行深入研究。

2 阴极保护技术概述

2.1 阴极保护技术的基本原理

阴极保护技术是一种广泛应用的防腐措施, 其基本原理是通过人工干预电化学腐蚀过程, 以达到保护金属结构的目的。具体来说, 当金属结构(如输油管道)暴露于电解质(如土壤、水等)中时, 金属表面会发生电化学腐蚀, 即金属原子失去电子, 转变为金属离子, 从而导致金属结构的质量损失和性能下降。为了抑制这种腐蚀过程, 阴极保护技术采用了向金属结构表面施加一个外加电流的方法。这个外加电流使得金属结构成为电化学电池的阴极, 而与其相连的外部电源或牺牲阳极则成为阳极。当电流通过时, 金属表面的电位被降低到低于周围环境中的腐蚀电位, 从而打破了腐蚀电池的自发进行条件。在阴极保护的作用下, 金属表面的电

【作者简介】宫研科(1989-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 工程师, 从事油气储运工程、阴极保护研究。

化学腐蚀过程被有效抑制。这是因为当金属成为阴极时，它会接受来自外部电源或牺牲阳极的电子，从而避免了金属原子因失去电子而被腐蚀的情况。这种保护方式还能够促进金属表面形成一层致密的保护膜，进一步提高了金属结构的防腐性能。

2.2 阴极保护技术的分类

2.2.1 外部电源阴极保护

外部电源阴极保护是一种高效且广泛应用于工业领域中的金属结构防腐技术。其运作的核心原理是借助外部电源（通常是直流电源）来持续为被保护的金属结构提供稳定的阴极电流。这种电流的作用在于调整金属结构的表面电位，使其降低到腐蚀电位以下，从而有效地抑制了电化学反应的发生。外部电源阴极保护系统是一个复杂的体系，通常由多个关键组件组成。电源设备是整个系统的动力源，负责为系统提供稳定且可调节的电流输出^[1]。参比电极则起到监测金属结构电位变化的作用，为控制系统提供实时反馈，确保保护效果的准确性与可靠性。辅助阳极作为电流的输出端，其设计和布置对于保护效果至关重要，它们需要被合理安放在金属结构周围，以确保电流能够均匀分布并覆盖整个保护区域。电缆则负责将电源设备、参比电极和辅助阳极连接起来，形成一个完整的电流回路。外部电源阴极保护特别适用于大型金属结构或长距离管道的防腐保护。在大型工程中，金属结构往往面临着复杂的腐蚀环境和严苛的使用条件，而外部电源阴极保护能够提供广泛且均匀的保护，确保金属结构在长时间内免受腐蚀的侵害。

2.2.2 牺牲阳极阴极保护

牺牲阳极阴极保护是一种广泛应用的金属结构防腐技术，其原理简单而高效。该技术的核心在于在被保护的金属结构附近安装一种电位更负的金属材料，这种材料被称为“牺牲阳极”。当这两种金属同时浸入电解质溶液（如土壤、海水等）中时，牺牲阳极由于其电位更负，会作为电化学电池的阳极而优先发生氧化反应，即优先被腐蚀。与此同时，被保护的金属结构则作为阴极，避免了腐蚀的发生，从而实现了防腐的目的。牺牲阳极通常选用锌、铝等电位较负的金属或其合金制成。这些材料不仅电位稳定，而且电流输出均匀，能够长时间为被保护的金属结构提供稳定的防腐保护。另外，牺牲阳极的安装也相对简便，可以根据具体需求进行定制和布置。

3 阴极保护对输油管道腐蚀的影响

3.1 降低腐蚀速率

降低腐蚀速率是确保兰郑长输油管道长期稳定运行的关键环节。在兰郑长输油管道中实施阴极保护技术，成为降低腐蚀速率的有效手段。阴极保护技术通过向管道施加特定的阴极电流，使得管道表面的电位降低到低于周围土壤等环境介质的腐蚀电位。这一变化打破了电化学反应的自然平

衡，有效抑制了金属与电解质之间的氧化还原反应，从而显著降低了管道的腐蚀速率。这种防腐措施的实施，不仅显著减少了管道的金属损失，降低了维修和更换的成本，而且确保了管道结构的完整性和稳定性。腐蚀的减少意味着管道壁的厚度能够保持在一个较为稳定的水平，减少了因腐蚀导致的管道穿孔、开裂等安全隐患。这对于维护输油管道的安全运行，确保油气的稳定供应具有重要意义。另外，阴极保护技术的应用还为输油安全提供了有力保障^[2]。通过降低腐蚀速率，减少了因腐蚀导致的管道泄漏和故障的风险，保障了油气在输送过程中的安全性和可靠性。阴极保护技术降低兰郑长输油管道的数据如表1所示。

表1 阴极保护技术降低兰郑长输油管道的数据

指标	实施前	实施后	降幅
腐蚀速率（毫米/年）	0.5	0.05	90%
金属损失（吨/年）	500	50	90%
维修和更换成本（万元人民币/年）	5000	500	90%
安全隐患事件（起/年）	5	0.5	90%
泄漏和故障风险概率（%/公里/年）	0.01	0.001	90%

3.2 延长管道使用寿命

延长管道使用寿命对于确保能源传输的持续性和经济性至关重要。在兰郑长输油管道中，阴极保护技术的应用显著地延长了其使用寿命。这一技术通过向管道施加阴极电流，有效地抑制了电化学反应过程，从而大幅降低了管道的腐蚀速率。由于腐蚀速率的显著降低，兰郑长输油管道的壁厚能够保持在一个相对稳定的水平，减少了因腐蚀导致的管道破损和更换的需求。这不仅降低了管道的维护成本，减少了因频繁维修和更换带来的生产中中断和额外支出，还提高了管道的可靠性和安全性。随着管道使用寿命的延长，兰郑长输油管道能够更长时间地稳定运行，减少了因管道老化、破损等原因导致的泄漏事故风险。这进一步保障了油气的稳定供应，满足了社会对于能源的需求，同时也为能源行业的可持续发展提供了有力支持。

3.3 减少泄漏事故

在兰郑长输油管道的安全运营中，减少泄漏事故是至关重要的。通过实施阴极保护技术，这一目标得到了有效实现。阴极保护不仅显著减少了管道的腐蚀，还确保了管道结构的稳定性，使其在面对油气压力和外部环境压力时展现出更高的安全性和可靠性。腐蚀是输油管道面临的主要威胁之一，它会导致管道壁变薄、穿孔甚至破裂，从而增加泄漏事故的风险。然而，在兰郑长输油管道上实施阴极保护后，由于电化学反应过程被有效抑制，管道的腐蚀速率大大降低，从而显著减少了因腐蚀导致的泄漏事故^[3]。

4 阴极保护技术在输油管道中的应用

4.1 阴极保护系统的设计

在兰郑长输油管道项目中，阴极保护系统的设计扮演

着举足轻重的角色。这一设计过程不仅要求设计人员具备深厚的专业知识，还需要他们对管道的实际情况有深入的了解。他们会细致分析管道的材质、尺寸以及敷设环境，这些因素将直接影响阴极保护方式的选择。例如，如果管道材质对电化学腐蚀敏感，或者管道所处的环境腐蚀性较强，设计人员可能会倾向于选择外部电源阴极保护，以确保足够的电流供应和均匀的电流分布。而在某些特定区域，如土壤电阻率较高或管道布局复杂的区域，牺牲阳极阴极保护可能更为适用，因为它能提供局部强化的保护效果。在确定了阴极保护方式后，设计人员会进一步精确计算所需的电流密度和阳极数量。这是一个至关重要的步骤，因为电流密度的大小直接影响到管道防腐效果的好坏。他们会根据管道的防腐需求和腐蚀速率，结合管道的材质、尺寸和敷设环境，通过科学计算来确定合适的电流密度和阳极数量。另外，设计人员还会充分考虑电源设备的选型、电缆的布置以及参比电极的安装位置等细节问题。电源设备的选型是确保阴极保护系统稳定运行的关键，他们会选择稳定性高、可靠性强的电源设备，以确保能够为阴极保护系统提供持续稳定的电流输出。电缆的布置则需要考虑其长度、截面积和绝缘性能等因素，以确保电流能够高效传输且不会因电缆故障而中断。参比电极的安装位置则需要选择在能够准确反映管道电位变化的位置，以便实时监测管道的电位状态，确保阴极保护系统始终在最佳状态运行。

4.2 阴极保护系统的监测与维护

阴极保护系统的监测与维护是保障兰郑长输油管道长期安全、稳定运行的基石。在这个项目中，为了确保阴极保护系统的持续有效性，建立了一套完善的监测系统。这一系统能够实时监测管道的电位、电流等关键参数，通过这些数据的收集和分析，我们能够及时捕捉到系统中可能存在的隐患或异常^[4]。监测系统不仅具备高精度和实时性，而且具备自动化和智能化的特点。它能够自动记录和分析数据，通过预设的警报阈值，当管道电位或电流等参数超出正常范围时，系统会自动发出警报，提醒维护人员及时处理。这样的设计大大提高了监测的效率和准确性，确保了阴极保护系统的稳定运行。

4.3 阴极保护技术的改进与创新

在兰郑长输油管道项目中，阴极保护技术的改进与创新是项目团队持续关注的重要方向。随着科技的飞速发展，团队致力于将最新的科技成果融入阴极保护系统，以显著提升其性能和效果。在设备方面，项目团队积极探索并引进先进的电源设备。这些新型电源设备采用了最新的电力电子技术，不仅具备更高的能效比，而且展现出卓越的稳定性和可靠性。它们能够精确控制电流输出，确保阴极保护系统在各种复杂环境下都能稳定运行，从而为管道提供持续且有效的防腐保护。团队也在寻求更高效、更耐用的阳极材料，这些新型阳极材料具有更高的电化学活性和更低的腐蚀速率，能够在更长的时间内为管道提供稳定的保护^[5]。引入这些新型阳极材料将大幅减少阳极更换的频率，降低维护成本，并显著提升阴极保护系统的长期效益。在监测技术方面，项目团队追求更加智能、精确的解决方案。

5 结语

在输油管道腐蚀防护领域，阴极保护技术凭借其显著降低腐蚀速率、延长管道使用寿命及减少泄漏事故等显著优势，已成为关键措施。通过精确设计阴极保护系统、实时监测维护并不断创新技术，阴极保护技术在保障输油管道安全运行方面发挥着不可替代的作用。未来，随着科技的不断进步，阴极保护技术将继续为输油管道的安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 马岭.输油管道防腐技术存在问题及措施[J].全面腐蚀控制,2022,36(9):94-95.
- [2] 刘晓龙,刘凯,董炳群,等.外加电流阴极保护技术在输油管道中的应用及效果评价[J].全面腐蚀控制,2021,35(10):17-19+131.
- [3] 程千.输油管道阴极保护防腐技术研究[J].全面腐蚀控制,2021,35(6):82-83.
- [4] 韩斌.油气储运中输油管道防腐工艺研究[J].化工设计通讯,2021,47(5):93-94+98.
- [5] 王涛.阴极保护在石化行业中的应用[J].全面腐蚀控制,2021,35(4):18-19+89.