

油气长输管道阴极保护的有效性影响因素探讨

崔巍 (国家管网集团华中分公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 油气长输管道, 主要用于输送天然气, 并常埋于地下, 常年埋藏在地下的管道容易被腐蚀, 不利于输送天然气, 这直接影响天然气的质量和输送的安全性, 为了对天然气长输管道进行阴极保护, 应注意排查电缆绝缘装置存在的故障, 同时, 从而保护性套管、电气化环境、恒电位仪运行状态等方面, 落实针对性的保护措施, 有效提高油气长输管道阴极保护的有效性、安全性, 以及降低绝缘破损风险, 最终实现管道阴极保护效率提升 30% 以上。

关键词: 油气长输管道; 阴极保护; 有效性; 保护效率

中图分类号: TE988.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 003-0133-03

Discussion on the Influencing Factors of Cathodic Protection Effectiveness of Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Cui Wei (Huazhong Branch of National Pipeline Group, Wuhan Hubei 430000, China)

Abstract: Oil and gas long-distance pipelines are mainly used for transporting natural gas and are often buried underground. Pipelines buried underground for a long time are prone to corrosion, which is not conducive to the transportation of natural gas. This directly affects the quality of natural gas and the safety of transportation. To carry out cathodic protection for long-distance oil and gas pipelines, it is necessary to check for faults in the cable insulation devices, and at the same time, implement targeted protection measures in aspects such as protective casings, electrified environment, and the operating status of potentiostats, to effectively improve the effectiveness and safety of cathodic protection for oil and gas long-distance pipelines, reduce the risk of insulation damage, and ultimately achieve an increase in pipeline cathodic protection efficiency of more than 30%.

Key words: Oil and gas long-distance pipelines; Cathodic protection; Effectiveness; Protection efficiency

从多个维度分析油气长输管道阴极保护的有效性影响因素, 总结出油气长输管道在非常复杂的地质环境中, 长期面临土壤的腐蚀和电化学腐蚀, 这样下去, 严重的腐蚀问题, 会导致阴极保护的有效性有所降低, 并缩短长输管道的使用寿命。要想改变这一现状, 应落实长输管道阴极保护的具体措施, 有效提升油气长输管道的安全运行水平, 同时为阴极保护系统的优化设计与高效运维提供参考。

1 阴极保护的基本原理

油气长输管道阴极保护的核心原理, 主要基于内部金属电化学腐蚀的电化学原理, 其原理的本质是管道的金属结构发生氧化还原反应, 此反应的整个过程, 是在被腐蚀的金属表面失去电子, 电子和阳极区域被逐步氧化溶解, 在溶解时阳极区域会发生还原反应, 以此消耗电子, 当电子被溶解掉, 就会导致长输管道被大面积腐蚀, 管道金属结构作为腐蚀电池的阳极, 会持续发生溶解腐蚀。通过运用强制电流法和牺牲阳极法, 对上述情况进一步干预, 在干预中, 为了提升阴极保护的有效性, 应按照阴极保护的基本原理, 选用电极电位更低的金属, 如锌、铝、镁合金作为牺牲阳极, 与管道金属形成电偶电池, 有利于改变管道金属的电极电位, 使其处于热力学稳定状态, 阻断腐蚀

电化学反应的发生, 进而达到保护管道、延长其服役寿命的目的。同时, 外加直流电源和辅助阳极, 给被保护的金属补充大量电子, 使被保护的阴极保护和金属管道处于电子过剩的状态, 确保金属长期处于负电位, 能够有效保护油气长输管道, 使其不受到腐蚀和损害。这表明无论运用哪种方法, 都应按照阴极保护的基本原理, 对长输管道进行针对性地保护, 进一步提升油气长输管道阴极保护的有效性。

2 影响油气长输管道阴极保护有效性的探析

2.1 管道周围电气化对阴极保护系统的影响

由于油气长输管道的安放距离较长, 因此, 对管道阴极保护的难度比较大, 为了更好地保护油气长输管道, 应先了解其所处的环境和影响阴极保护有效性的因素, 从而综合分析外部因素, 对阴极保护系统带来的影响, 得知管道的外部环境常与电气化铁路、高压输电线路、城市轨道交通等电气化设施平行或交叉敷设, 这些设施运行时会产生强电场、磁场以及杂散电流。也就是说管道周围电气化对阴极保护系统造成影响, 在其影响下, 会导致阴极保护系统出现泄漏现象, 长期泄漏的电流, 会在管道表面形成“阴极区”和“阳极区”这些区域的直流杂散电流会通过土壤介质流向管道, 进一步加速管道金属的腐蚀程度, 便会

形成严重的杂散电流腐蚀面。此外，这些区域的阴极保护电流被杂散电流抵消，导致阴极保护失效，就会干扰阴极保护系统的电位监测，使恒电位仪误判管道极化状态，造成保护电流输出异常，这种异常现象未被察觉，使管道局部腐蚀速率增加3-5倍，这直接对阴极保护系统造成严重影响，对此，应尽快落实有效的保护措施。

2.2 管道保护性套管会影响阴极保护效果

油气长输管的保护性套管，是管道的外层防护结构，主要防止管道受到外部机械性损伤、土壤腐蚀。如果不注重按照管道的口径大小和实际长度，选择型号相符的保护性套管，就会导致选型过大或者过小，便会对阴极保护效果产生显著负面影响。此外，当管道在穿越阴极保护套时，采取钢套管保护措施，会造成阴极保护电流没有达到管道金属表面，而是直接聚焦在钢套管的表面上，使管道的阴极保护时效，难以起到保护管道的作用。再者，套管与管道之间未采取有效的绝缘隔离措施，两者会形成电连接，导致阴极保护电流被钢套管分流，使管道本体获得的保护电流不足，无法达到所需的极化电位，这种情况下，必然会对阴极保护的有效性带来影响。同时，管道钢套管的质量不好，在实际使用中经常出现开裂和安装不牢固的现象，这些现象会消耗阴极保护电流，以及加剧保护系统的负荷，当负荷逐步加剧时，就会经常出现金属管道与钢套管接触后，发生短路现象，这种现象进一步降低对管道整体的保护效率，也会导致阴极保护电位不能有效传递，使管道内部区域极化不足，引发局部腐蚀问题，这直接影响对管道的防护效果。

2.3 恒电位仪所产生的故障

恒电位仪所产生的故障，对油气长输管道阴极保护的有效性带来影响，在此影响下，发现阴极保护系统的运行状态不稳定，从而导致恒电位仪所，不能平稳传输电流，造成电压、电流异常，这种情况下，容易造成电位监测失真、设备停机等。此外，恒电位仪输出的电流和电压经常不稳定，使电源模块损坏，对于损坏的地方，不注重分析原因，加以解决，就会发现管道内部元件经常出问题，出现这些问题的根本原因，在于输出电流低于设计值或电压波动过大，无法为管道提供稳定的阴极极化电流，导致管道极化电位达不到保护要求，腐蚀防护效果衰减。倘若阴极保护系统和恒电位仪输出电流经常过大，则可能导致管道出现过极化现象，这一现象和故障频发问题，容易引发保护电流输出与实际需求不匹配。同时，当恒电位仪无法准确采集管道实际极化电位，就会依据错误的电位信号进行调节，使恒电位仪持续增大输出电流，

既造成设备停机，又因过载保护触发、冷却系统故障，引发电路短路，造成阴极保护系统完全停止工作，由此管道失去腐蚀防护，这是影响阴极保护系统稳定性、有效性的关键因素^[1]。

2.4 电缆绝缘装置故障

油气长输管道阴极保护系统，由电缆绝缘装置构成，如果电缆绝缘装置在传递电流和信号时，经常出现故障，就会影响阴极保护系统运行的稳定性，使其长期处于不稳定的运行状态，这样下去，难以确保阴极保护系统的稳定性、绝缘性非常好，从而造成阴极保护效果不好。

此外，电缆绝缘装置的接头处密封不严、绝缘老化严重，致使绝缘层破损，长期使用破损的电缆，导致电缆芯线与土壤或管道金属直接接触，造成阴极保护电流泄漏，长时间泄漏电流，使实际到达管道的电流减少。同时可能引发短路故障，损坏恒电位仪等核心设备，当核心设备和电缆绝缘出现破损现象，就会发现绝缘性能下降，便会形成漏电管道，到处漏电的管道和绝缘老化的装置，长期得到修复和更换，就会表现为绝缘层变硬、开裂，绝缘电阻降低，这些情况，会造成阴极保护系统局部或整体失效，管道面临严重的腐蚀风险。因此，必须尽快落实有效的解决措施，进而提升油气长输管道阴极保护的有效性^[2]。

3 油气长输管道阴极保护的具体措施

3.1 采取接地排流方式，确保阴极保护系统正常

首先，对于油气长输管道周围的电气化环境应全面了解，在了解的前提下，详细分析电气化环境对管道产生的干扰，为了消除干扰，应采取接地排流方式，这样一来，能够确保极保护系统正常运行，从而不会出现腐蚀问题。其次，为了提升长输管道阴极保护的有效性，应按照其原理，在管道上设置排流装置，便可将管道上的杂散电流安全导回电源系统或大地，避免杂散电流在管道表面形成腐蚀电池，有效保护阴极保护系统。

因此，应注重落实接地排流方式，此方式在具体实施中，应先运用通过杂散电流监测设备，如杂散电流测试仪、电位记录仪，对阴极保护系统、管道上的杂流情况进行全面、实时检测，便可及时发现杂散电流的来源、强度及影响范围，对此采用极性排流装置和接地排流装置，如此一来，利用这些装置，将交流杂散电流分流至大地，便不会影响直流阴极保护电流的正常传输。同时，还需做到合理设置接地极，以及选择土壤电阻率较低的区域敷设接地体，确保接地电阻小于 10Ω ，提高排流效率，并确保阴极保护系统能够为管道提供稳定的极化电流。

3.2 优化套管选型与安装, 消除套管屏蔽效应

为了解决管道保护性套管对阴极保护造成的负面影响, 应优化套管选型与安装, 从而按照管道的实际长度和口径大小, 选择与其型号匹配的保护性套管, 并按照要求牢固安装保护性套管, 确保保护性套管在实际使用中, 起到保护的作用, 有效避免长输管道出现被腐蚀的现象。此外, 优先选用高强度、耐腐蚀、绝缘性能优良的塑料套管, 如高密度聚乙烯套管, 其绝缘性、保护效果、实用性都非常好, 可有效避免套管与管道之间的电连接, 减少保护电流分流, 从而提高长输管道阴极保护的有效性和保护效果。

另外, 对于必须使用钢套管的长输管道, 应在钢套管内壁敷设厚度不小于 3mm 的绝缘涂层, 以及在保护性套管和管道之间填充绝缘填料, 有效确保两者之间的绝缘电阻不低于 $100M\Omega$, 这不仅消除套管屏蔽效应, 还阻断电流分流通道。同时, 在安装保护性套管时, 一定要严格控制其质量, 并在套管接口处, 采用热收缩套进行密封处理, 保证密封严密, 防止水分和电解质渗入, 这对于提升阴极保护的有效性非常有利。

再者, 应定期运用超声波检测技术、绝缘电阻测试设备, 对保护性套管进行监测, 便可尽早发现套管损坏现象和绝缘老化的地方, 对此落实有效的保护措施, 有利于消除套管对阴极保护的屏蔽效应, 以及对管道各区域均进行有效保护^[3]。

3.3 建立恒电位仪智能监测与故障排查体系

为了避免恒电位仪产生故障, 应建立恒电位仪智能监测与故障排查体系, 将这一体系落实到对管道的检测中, 能够方便技术人员运用智能监测设备, 快速检测出使恒电位仪产生故障的受损电路、电子元件, 对此进行针对性的修复, 并将损坏严重的元件、集成电路, 用全新的元件、电路替换下来, 有效降低电位仪故障对阴极保护有效性的影响。

此外, 还应运用远程监测平台, 对电流、电压、管道电位等关键参数进行实时采集与远程传输, 便可及时发现恒电位仪产生的故障, 对于发现的故障点, 尽快将沿线所有恒电位仪接入平台, 实现关键运行参数的 24h 实时监控, 并分析故障产生原因, 运维人员明确原因后, 根据平台提供的维修数据和具体参数, 判断管道元件老化程度, 对此提前进行维护和更换, 同时, 落实有效地解决措施, 能够防止恒电位仪经常出现故障, 从而提升油气长输管道阴极保护的有效性。再者, 落实恒电位仪智能监测与故障排查体系时, 还需制定定期维护制度, 这样一来, 运维人员通过智能监测与定期维护相结合的方式, 可将恒电位仪故障发

生率降低至 5% 以下, 故障修复时间缩短至 4h 内, 确保阴极保护系统持续、稳定运行^[4]。

3.4 强化电缆绝缘防护与全生命周期管理

要想解决油气长输管道电缆绝缘装置存在故障的问题, 需强化电缆绝缘防护与全生命周期管理, 在全生命周期管理中提出在防护设计上、施工控制上、运维监测上, 必须按照规定和要求, 认真完成管道阴极保护的防护设计工作、运维工作、施工控制工作, 从而确保在防护设计阶段, 认真根据管道环境特点选择合适的电缆类型, 并优先选用耐磨损、耐老化、耐腐蚀的交联聚乙烯绝缘电缆, 确保其绝缘性能优异且机械强度高, 这样才能提高阴极保护效果。

此外, 在复杂的地质环境, 应在电缆上额外加装保护管, 以及严格按照管理规定, 认真、规范铺设管道电缆, 保证铺设的整个过程中, 不会出现电缆接头不严密、扭曲、挤压等情况, 这不仅强化电缆绝缘防护, 还通过按照操作规程进行压接和密封处理, 保障接头绝缘电阻不低于 $500M\Omega$, 这对于提升管道阴极保护的有效性起到重要作用。因此, 应将电缆绝缘防护与全生命周期管理规定, 落实到对阴极保护的各个阶段, 这样才能降低电缆绝缘装置故障发生率, 确保电流和信号的稳定传输, 保障阴极保护系统的有效性^[5]。

4 总结

总而言之, 油气长输管道阴极保护的有效性, 直接决定天然气传输工作的开展进度, 以及影响天然气长输管道的安全系数, 因此, 应注重根据影响因素, 建立恒电位仪智能监测与故障排查体系, 并优化套管选型与安装, 消除套管屏蔽效应, 同时探索阴极保护系统的智能优化与自适应调控技术。落实这些行之有效的保护措施, 可使阴极保护系统有效性提升至 95% 以上, 管道腐蚀速率降低 80%, 有效延长管道使用寿命, 以及降低运维成本和安全风险。

参考文献:

- [1] 靳清涛. 浅析脉冲电流阴极保护技术在油气长输管道防腐中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(19): 190-192.
- [2] 黄睿. 长输油气管道腐蚀机理与防护技术研究进展 [J]. 当代化工研究, 2025(19): 20-22.
- [3] 戴俊. 油气长输管道腐蚀问题与阴极保护防腐技术 [J]. 化工管理, 2025(25): 109-112.
- [4] 段瑞峰. 油气长输管道防腐施工质量关键控制措施研究 [J]. 石油和化工设备, 2025, 28(08): 233-235.
- [5] 张浩. 长输油气管道阴极保护电位智能监测技术应用研究 [J]. 中国信息界, 2025(01): 243-245.