

油气长输管道杂散电流干扰腐蚀与防护措施

钟港复 黄永宝 戴卓文 蔡 钦 曹华业

(中特检管道工程(北京)有限公司, 北京 100013)

摘 要: 油气长输管道在能源行业中起着承上启下的作用, 其重要性不言而喻。但在日常管道运行中, 常遇到一些问题, 如杂散电流干扰, 导致交流电力系统产生接地故障、电气设备漏电等情况。从影响角度来说, 杂散电流在长输管道上的存在会引发电化学腐蚀, 导致管道金属材料损坏与管道结构破坏, 危及管道安全, 造成经济损失, 甚至对环境造成污染。基于此, 探索油气长输管道杂散电流干扰的防护措施至关重要。

关键词: 油气长输管道; 杂散电流; 腐蚀防护

油气长输管道作为能源运输重要通道, 在国家经济发展中具有不可替代作用。但管道安全问题一直会制约其正常运行。其中, 杂散电流干扰腐蚀问题对管道安全影响较大, 会产生化学腐蚀等严重问题。长期工程实践中, 管道工程中杂散电流干扰腐蚀问题亟待解决, 这就要求相关人员明确如何有效监测与控制杂散电流, 以保障油气长输管道安全运行。

1 油气长输管道的基本情况和重要性

1.1 管道的基本情况

油气长输管道是将石油、天然气等能源从生产地运输到消费地的基础设施。在中国, 油气长输管道的建设和发展能追溯到 20 世纪 50 年代, 现已形成完善的管道网, 包括两个方面: 管道建设情况和管道运输能力。其一, 管道建设情况。目前我国已建成系列油气长输管道, 覆盖全国各地区, 包括东北石油管道、胜利石油管道、西气东输管道等重要管道, 不仅涉及国内油气资源的开发, 还涉及进口油气的输送。我国还在积极推进新油气长输管道项目, 如俄罗斯东线天然气管道、中缅原油管道等。其二, 管道运输能力。依据需求, 我国油气长输管道的运输能力不断提高, 以西气东输管道为例, 该管道最初设计输送能力为 120 亿 m^3/a , 后多次扩建, 目前已达到 330 亿 m^3/a 。另外, 我国仍积极推进对油气长输管道的技术升级, 以提高运输效率和安全性。

1.2 管道在能源运输中的重要功能

管道在能源运输中能为能源运输提供稳定支持, 对此可建设油气长输管道, 相对于其他运输方式, 如船运、铁路或公路运输, 管道运输具有持续和稳定的特点, 能实现能源资源从产地到消费地的连续供应, 避免因天气、交通等因素引起的运输中断和能源短缺

问题。同时, 管道运输在能源运输效率方面具备明显优势, 相较于其他方式, 如公路运输, 管道运输能实现大规模、长距离能源运输, 降低运输成本的同时, 还能减少能源损耗。在此基础上, 由于管道运输采用密闭系统, 还能避免能源运输过程中蒸发、泄漏等损失, 从根本上提高能源利用效率、减少环境污染。

2 油气长输管道杂散电流干扰腐蚀危害及监测方法

2.1 杂散电流引起的腐蚀危害

杂散电流干扰腐蚀的来源主要包括外部电流介质和金属结构本身两个方面。外部电流介质主要包括交流铁路电气化系统、交流电气化牵引系统、直流供电系统等, 会在接地电极与工程结构之间形成电位差, 产生传导电流, 导致金属结构出现阳极和阴极区域, 从而引发电化学反应, 加速金属腐蚀的发生。尤其在铁路沿线或有电力设备的场所, 尤为突出外部电流介质对金属结构的腐蚀影响。此外, 金属结构本身在使用过程中可能因为制造缺陷、安装问题、材料老化等原因产生局部腐蚀或损伤, 形成微观电池, 使得金属结构内部形成阳极和阴极区域, 从而引发自身腐蚀。并且金属表面杂质、氧化物等也会影响其电化学特性, 加剧腐蚀。

2.2 杂散电流对管道腐蚀的实验研究

管道腐蚀在管道输送领域中普遍存在, 其中杂散电流作为管道腐蚀主要原因, 对其进行实验研究能有效评估杂散电流对管道腐蚀影响, 为其防控提供科学依据。当前实验研究常见方法是基于实验装置中模拟管道腐蚀环境与杂散电流作用, 观测样品腐蚀程度与金属结构变化。根据具体研究目的与实验条件, 选择不同实验方法与测试手段, 例如, 采用电化学腐蚀

试验、宏观观测、扫描电镜等手段进行实验研究。电化学腐蚀试验能模拟金属不同介质中受到的电化学反应，测量杂散电流对金属腐蚀的影响。其中，宏观观测则利用观测手段来观察金属表面形貌与颜色变化来判断腐蚀程度，进一步观察金属结构变化，分析杂散电流引起的腐蚀机理和规律。

3 传统防护措施的总结与评价

3.1 阴极保护技术

阴极保护技术作为常用传统防护措施，通过在管道表面施加外部电流，使管道表面成为阴极，从而抑制电化学腐蚀反应的发生，广泛应用于管道腐蚀防护领域。优点是能有效延缓或消除管道的腐蚀问题，通过施加外部电流，能改变管道与环境介质之间的电位差，使管道处于保护状态，降低管道表面的腐蚀速率，延长管道使用寿命。并具有操作简单、成本相对较低等特点，相比其他防护措施，如涂层、金属牺牲等，阴极保护技术无须频繁地维护和更换，也不会对管道的运行产生过多的干扰，在实际工程中广泛应用。但此技术对于管道体积庞大、管道系统复杂的情况应用较为困难。同时，阴极保护技术受环境因素影响大，例如，土壤电阻率变化、海水电导率等因素都会对阴极保护效果产生影响，需进行准确检测和调整。

3.2 绝缘涂层技术

绝缘涂层技术决定着管道腐蚀防护领域发展，其核心目标是通过在管道表面形成一层密封的、耐腐蚀的绝缘层，从而隔离管道与外部介质的直接接触，阻止腐蚀物质对管道的侵蚀。优点是能提供全面保护，能有效隔离管道与潮湿、酸碱等腐蚀性环境的接触，减少管道受到的腐蚀损害。同时，绝缘涂层还能阻碍氧气和水分的渗透，降低管道内部的氧化反应速率，延长管道的使用寿命。此外，绝缘涂层技术具有施工简便、可靠性高等特点，相比其他防护方法，如阴极保护和金属牺牲，绝缘涂层技术不需要外部电源或添加剂，施工过程较为简单和直观。且合理选择和设计绝缘涂层材料能提供长期稳定防护效果，对管道运行和维护造成较少的干扰。并且，绝缘涂层技术需严格控制涂层施工条件，确保涂层质量的稳定性。避免在长期使用过程中出现磨损、划伤等问题，导致涂层的防护性能下降，需定期检测和维护。

4 油气长输管道杂散电流的防护措施

4.1 杂散电流防护的基本原则

杂散电流是导致管道腐蚀的主要因素，在工业生

产和输送领域中具有广泛的应用，为有效降低杂散电流对管道腐蚀的影响，制定科学合理的防护措施至关重要，基本原则包括减少电流密度、增加电流离散度和加强阴极保护。减少电流密度主要是在管道系统中降低通过金属表面电流密度，以减少腐蚀可能性，通过增加金属截面积、调整电流分布和优化接地方式等方法实现，合理设置电流源和电极间距，控制杂散电流的流动路径。增加电流离散度能减少杂散电流对局部区域的集中作用，从而降低腐蚀风险，常用方法包括增加接地电极数量、合理布置电流传感器和降低电流源的输出电压等。通过增加电流离散度，能使杂散电流在管道系统中得到更均匀分布，减少对单一区域的腐蚀影响。加强阴极保护是杂散电流防护的关键措施。阴极保护利用电化学原理，在管道金属表面形成一层保护性的阴极反应，以减少或阻止腐蚀反应的发生，采用外加电流和金属牺牲等方式实现阴极保护，并通过监测电位和电流密度等参数进行调控和管理。

4.2 常见防护方法

4.2.1 阳极保护

为确保被保护系统的安全性和长期稳定性，有多种防护方法能被采用。阳极保护作为有效防护技术受到了广泛的关注和应用，通过电流的作用，使钢结构上周围的金属物质成为主动阳极，从而减缓金属腐蚀的速度。阳极保护技术能分为被动式和主动式两种形式。被动式阳极保护适用于小规模、较简单的设备和管道系统，常见方式是在被保护物体周围覆盖一层阳极材料，如铝或锌。而主动式阳极保护则适用于大规模、复杂的设备和管道系统，采用金属牺牲阳极或外加直流电源的方式。

在实际应用中，阳极保护具体操作过程需严格按照标准操作规程进行，需对被保护物体进行彻底清洁和表面处理，以保证阳极保护剂与被保护物体表面形成紧密的结合，根据具体情况选择合适的阳极材料或外加电源，并进行安装和调试。在运行过程中，要对阳极保护系统进行定期的监测和维护，包括电位测量、电流密度的监测和附加阳极的更换等。技术人员要正确认知阳极保护技术优缺点进行方案选择，其中阳极保护技术具有防护效果好、操作简便、经济实用等优点，适用于大多数金属结构和管道的防腐蚀处理，但适用范围较窄，无法解决所有防腐蚀问题，如高温、强酸环境下的腐蚀问题。因此，在选择防腐蚀技术时，需根据具体情况进行综合考虑和权衡利弊。

4.2.2 电位控制

电位控制能通过控制金属结构电位,使其保持在安全范围内,避免腐蚀的发生和进一步发展。阴极保护是常见和广泛使用的技术,通过在金属结构或管道上施加外部电流,使其成为阴极,从而减缓金属腐蚀的速率,阴极保护技术分为外部电流阴极保护和阴极保护剂两种形式。外部电流阴极保护通常采用惰性阳极材料(如铝或镁)作为电源,并通过连接到被保护结构的导线将电流引入,以达到保护的效果。阴极保护剂则是通过在金属表面形成保护层。电位控制需先对金属结构或管道进行电位测量,以了解其腐蚀状态,根据测量结果,选择适当的电流密度或阴极保护剂,并进行施工和调试。在运行过程中,对阴极保护系统进行定期监测和维护,包括测量电位、监测保护层的完整性和性能等。电位控制技术具有操作简便、效果可靠等优点,但也存在对电源要求较高、无法应对某些特殊环境的腐蚀等条件,应综合考虑不同因素并结合具体情况选择合适防腐蚀技术。

4.2.3 涂层防护

涂层防护是常用防腐蚀技术,通过在金属表面形成一层特殊涂层来提供保护,能有效隔离金属材料与外界环境的接触,减少腐蚀发生的可能性,包括有机涂层和无机涂层两种类型。有机涂层主要是指使用有机聚合物作为基材制成的涂层,常见有环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸等。有机涂层具有较好附着力和耐腐蚀性能,适用于大多数常规的防腐蚀需求。无机涂层则是指使用无机材料制成的涂层,如锌涂层和陶瓷涂层等,无机涂层具有耐高温、耐酸碱等特点,适用于特殊环境下的防腐蚀需求。涂层防护的施工过程需经过表面处理、底漆涂装和面漆涂装等步骤,需要对金属表面进行清洁和预处理,如除锈、除油等,以保证涂层与金属表面的良好附着,具有广泛应用领域,包括船舶、桥梁、建筑物、化工设备等,防腐蚀效果好、施工方便、成本相对较低等优点,要合理选择并进行定期的检测和维护,以确保防腐蚀效果的持久性和可靠性。

4.3 设计有效的防护方案

4.3.1 自适应杂散电流防护措施

在实际工程应用中,由于管道系统所处环境和运行条件的多样性,针对不同情况的杂散电流防护措施需因地制宜、因情制宜地进行选择。针对海底管道,海水电导率较高,导致更大杂散电流密度,要考虑增

加阴极保护电流以弥补电流损失;海水腐蚀性较强,要考虑使用耐腐蚀材料或涂层以增强管道的耐腐蚀性能;同时,海底管道长期处于潮湿环境,防护措施应具有良好的耐久性和稳定性,可考虑采用远离海岸的深水井阴极保护系统等。对于城市地下管道,由于环境复杂多变,防护措施的选择需要考虑地表建筑物、交通道路等因素,要采取地下电流屏蔽或隔离、增加接地电极数量、定期检测和维护等方式来防护杂散电流的影响,同时,考虑防止防护设施被破坏或意外损坏的情况。对于工业生产管道,通常需要根据管道材料、介质特性、电流来源等因素,选择合适防护措施。例如,能采用阴极保护、电位极化、金属牺牲等方式来实现对杂散电流的有效防护。

4.3.2 方案设计原则

方案设计应充分考虑被保护系统的特点和环境条件,包括材料、使用环境、操作条件等,确保防护方案与实际情况相适应。考虑可行性和经济性,确保在达到防护效果的前提下,尽量减少成本支出,并且便于实施和维护。同时,方案设计应当综合考虑多种防护手段的优劣,将不同的防护措施结合起来,形成综合的防护体系,以提高整体的防护效果。例如,在管道腐蚀防护领域,能结合使用防腐涂层、阴极保护、金属牺牲等多种手段,形成多层次、多角度的防护体系,从而提高管道的整体防腐能力。此外,考虑未来的技术发展和系统改进,具有灵活性和可持续性,能适应未来环境变化和技术更新的需求。

5 结语

本文介绍了油气长输管道杂散电流干扰腐蚀问题的相关内容,包括杂散电流的来源、腐蚀危害、监测方法和防护措施等。通过现场应用效果探究,提出了多种有效防护措施,保障油气长输管道安全运行。未来研究可进一步深入探讨杂散电流对管道腐蚀的机理,并寻求更好防护方案。

参考文献:

- [1] 王刚. 油气长输管道阴极保护系统的影响因素与措施研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(01): 75-77.
- [2] 杨志勇. 油气管道的杂散电流腐蚀防护措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(04): 98-100.
- [3] 郭有志. 油气长输管道杂散电流干扰腐蚀与防护措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(05): 75-77.
- [4] 赵志峰. 长输管道腐蚀防护系统安全性动态评价方法研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2017.