

谈埋地输油管道的阴极保护策略

季 硕（华南蓝天航空油料有限公司湖北分公司，湖北 武汉 430000）

摘 要：埋地输油管道的阴极保护策略是一种常用的措施，旨在减少管道的腐蚀损伤。阴极保护通过在管道表面施加直流电流，将管道表面作为阴极，以降低其腐蚀速率。本文探讨了阴极保护策略的原理、常见的阴极保护方法，以及其在埋地输油管道中的应用。同时还介绍了阴极保护系统的设计要点和运行监测措施，以确保管道长期稳定运行和安全性能。

关键词：输油管道；阴极保护策略；运行监测

0 前言

地下输油管道是现代社会不可或缺的基础设施之一，主要承担着将石油和其他液体能源从生产地运送到消费地的重要任务。然而，地下环境对管道的腐蚀构成了巨大的威胁。为了保护输油管道免受腐蚀和损坏，阴极保护策略被广泛应用。阴极保护是一种通过控制管道表面的电位差，以减少或消除金属腐蚀的技术，该项措施不仅能延长管道的寿命，减少维护成本，还能提高输油系统的可靠性和安全性。在本文中，将详细探讨地下输油管道的阴极保护策略，包括其原理、常用的保护方法以及应注意的问题。

1 阴极保护概述

输油管道阴极保护是一种常见的防腐措施，旨在防止输油管道内金属材料发生腐蚀，主要通过向管道表面施加负电位，使其成为阴极，以减少或消除金属材料与环境中的氧气、水等物质发生电化学反应的可能性，从而达到保护输油管道的目的。阴极保护的基本原理是以外部直流电源为动力源，通过安装在输油管道上的阴极保护装置，将直流电流从外部导线引入管道内部。根据电流传输方式的不同，阴极保护可以分为外电源式阴极保护和自供电式阴极保护。外电源式阴极保护是指通过外部的直流电源为输油管道提供阴极保护电流，具体来说，阴极保护装置会将直流电源的负极（阴极极性）与管道表面相连，形成了一个闭合的阴极保护回路。通过这种方式施加的电位负级会使得管道表面保持一定的负电位，从而减少金属表面发生腐蚀的可能性；自供电式阴极保护是指使管道表面成为阴极，而不需要外部直流电源，该种保护方法适用于安装在电介质（如土壤）中的管道，利用土壤的电导率和含氧水分的传导性来提供阴极保护电流。

一般情况下，自供电式阴极保护采用铅基或铜基

合金的水合物作为电化学阴极材料，通过物理接触传递电化学反应所需的电流。无论是外电源式还是自供电式阴极保护，管道表面上的阴极保护装置主要由阴极材料、连接装置、电流源以及监测系统等装置组成。阴极材料的选择是根据输油管道的特性和环境条件来确定的，常用的阴极材料有铅、锌、铝等。连接装置用于将阴极材料与管道表面连接，并确保电流的传递。电流源是指外电源式阴极保护中提供直流电源的设备，通过对电流的控制来实现对管道的保护。监测系统用于实时监测管道的电位和电流信息，以确保阴极保护设备正常运行。阴极保护技术在输油管道工程中得到了广泛应用，可以有效地延长管道的使用寿命，降低维护成本，减少环境污染。然而，需要注意的是，阴极保护只是一种辅助手段，不能替代其他常规的防腐措施。在实施阴极保护之前，还需要进行管道材料的选用、涂层防护、环境腐蚀分析等工作，以确保输油管道的整体防腐效果。

2 阴极保护方法的分类

2.1 牺牲阳极法阴极保护

输油管道内部存在电化学腐蚀的主要原因是管道内外金属表面接触到电解质形成电池，产生了电流流动，导致金属腐蚀。阴极保护的作用就是通过向管道表面引入外加电流，使输油管道金属作为电化学阳极腐蚀，从而抑制管道内部的阴极腐蚀。而牺牲阳极法主要是通过向管道表面固定具有较活泼的阳极材料，使其优先被腐蚀，从而起到保护管道的作用。具体而言，该方法将金属阳极与输油管道紧密接触，并通过外部直流电源或直流电源设备提供一个电流，使得阳极材料处于电化学反应的阳极溶出状态，从而抑制管道内金属的电化学腐蚀。

牺牲阳极法常用的牺牲阳极材料有锌、铝或镁等，在选择阳极材料时应考虑其自腐蚀电位与管道材料的

差异,以确保阳极材料更容易被腐蚀。接下来需要选定阳极材料固定在管道表面,确保与管道金属充分接触。同时应当将阳极材料与外部直流电源或直流电源设备连接,通过电源向阳极材料提供恒定电流。最后,相关技术人员需要对管道阴极保护系统进行定期监测,确保阳极材料的性能稳定,并根据需要及时更换。

牺牲阳极法能在一定程度上抵御管道内部的电化学腐蚀,其优点在于实施简单、成本较低,并且不需要外部电源的供电设备。然而,牺牲阳极法的缺点是阳极材料的寿命有限,需要周期性更换,并且需要维护监测系统,确保其正常运行。

2.2 外加电流法阴极保护

输油管道是将原油或石油产品从产地运输到加工、储存或销售地点的重要设施。由于管道常常暴露在恶劣的自然环境和化学物质的侵蚀下,容易受到腐蚀和损坏。为了保护输油管道免受腐蚀的影响,常常采用电流法阴极保护技术。输油管道外加电流法阴极保护的原理是利用电化学方法,使管道表面成为电极,在管道金属表面产生负电荷(阴极),从而抑制管道金属的阳极腐蚀。

在进行外加电流法阴极保护之前,需要进行一系列的设计计算,包括管道的电化学参数测试、保护电流的计算和设计阴极保护系统。接下来需要根据设计要求,安装阴极保护系统,该系统应当由直流电源、负极耐腐蚀材料的阳极和连接电缆等组成。阳极通常是一种具有良好电导性和抗腐蚀性的金属或合金,在敷设于管道上。其次应当准确连接阳极与管道,确保电流能够流入管道。通过直流电源,将一定的阴极保护电流引入管道系统,该电流的大小需要通过计算确定,从而保证管道适当的阴极保护效果。最后,阴极保护系统的运行需要进行监测和维护,技术人员需要定期检查电流供应系统、阳极、连接、电流密度等,以确保系统的正常运行和管道的保护效果。除了上述步骤,还需要进行专门的防腐措施,例如涂层保护、阴极保护装置的隔离保护、电位测试和精确的监测系统等。此外,针对不同的土壤和环境条件,还需根据具体情况进行相关设计和技术改进。

3 埋地输油管道的阴极保护策略存在的缺陷

3.1 电耗问题

阴极保护系统需要通过向管道供电来产生保护电流,以抵消外界腐蚀因素对管道的影响。然而,这个

过程需要消耗大量的电能。长距离的输油管道系统会耗费大量的电力,增加了成本负担,并对能源消耗产生不可忽视的影响。因此,如何减少电能的消耗,提高阴极保护的效率成为一个重要问题。

3.2 维护困难

埋地输油管道一般跨越大片地区,对于长距离和复杂地形的管道来说,维护和检查是非常困难和昂贵的任务。常规的阴极保护系统需要定期检查、维修和更换,这不仅需要大量的人力、物力和时间成本,还会对管道的运行造成一定的中断和安全风险。

3.3 地质环境差异

不同地段的地质环境差异会导致地下电阻率不均匀,从而对阴极保护系统产生负面影响。此外,地下环境的变化,如土壤特性、湿度、离子浓度等,也会导致电流传递的效果不一致,部分区域可能会存在防护缺陷,从而增加腐蚀的风险。

3.4 监测技术限制

当前阴极保护系统的监测技术还存在局限性,传统的电位监测方法只能提供离散的数据点,无法实时全面地监测阴极保护系统的工作状态。对于长距离、复杂地形的管道来说,单一的监测手段无法全面评估管道的腐蚀状况,无法及时发现和解决问题。

4 埋地输油管道的阴极保护优化策略

4.1 阴极保护系统设计

技术人员需要了解管道材料的腐蚀特性,不同材料对腐蚀的抵抗能力不同,例如碳钢、不锈钢、铝合金等。因此,在设计阴极保护系统时,需要考虑管道材料的抗腐蚀性能,以选择合适的保护措施和参数。而且还需要考虑土壤环境的影响,土壤的湿度、化学成分和电阻率等因素会影响阴极保护系统的效果。湿润的土壤通常会促进腐蚀,而干燥的土壤则相对较好。土壤的化学成分也会影响管道的腐蚀速率,例如一些酸性土壤会加速腐蚀。因此,在设计阴极保护系统时,需要基于土壤环境的特性进行合理选择。

除此之外,技术人员也需要选择适当的阴极保护方法,常见的阴极保护方法包括印可耐阳极、铝锌钢阳极等。印可耐阳极主要用于深埋管道,通过施加电流来提供阴极保护;铝锌钢阳极适用于较浅的埋地管道,具有更好的耐腐蚀性能,因此在选择阴极保护方法时,需要综合考虑管道材料、土壤环境和管道长度等因素。在此基础上,需要合理确定阴极保护的电流密度。电流密度过低可能导致保护效果不够,电流密

度过高则会导致阳极消耗过快。最后,需要考虑阴极保护系统的监测与维护,技术人员需要定期监测管道电位和保护电流是评估阴极保护系统运行状况的重要手段。如果出现电位过高或保护电流异常的情况,需要及时进行治疗和修复,例如更换阳极、修补涂层等。

4.2 阴极保护监测与维护

阴极保护系统的监测是保证有效性的基础,常用的监测手段包括电位测量和保护电流测量。电位测量是通过测量管道与参比电极之间的电位差来评估管道的腐蚀状况。参考电极可以是铜电极或银/银氯化银电极。保护电流测量是测量阴极保护系统提供的电流大小,确定是否足够保护管道。其次,定期检查和维持阴极保护系统是确保其有效性的的重要手段,检查包括检查阳极的状况和保护电流输出的稳定性,阳极如果出现损坏或严重消耗的情况,需要及时更换,而且电流输出的稳定性也可以通过定期校准设备来保证。另外,还需要检查电缆和连接设备的状态,确保其完好无损。在此基础上,技术人员需要根据监测和检查结果,及时采取维护措施进行修复或更换。如果发现阴极保护系统的电位过高或保护电流异常,技术人员需要立即进行维修、更换阳极、修复涂层等。技术人员也需要记录监测数据的变化可以帮助评估系统的运行状况和效果,并辅助制定适当的维护计划,数据的分析可以帮助发现潜在的问题或异常情况,并及时采取相应的措施。最后,定期进行系统的完整性测评是保证阴极保护系统有效性的关键环节。完整性测评主要是通过通过对管道和相关设备进行可视检查、电位测量以及非破坏性测试等方法来评估阴极保护系统的覆盖范围和效果。

4.3 土壤预处理措施

某些土壤的化学成分可能促进管道的腐蚀,例如酸性土壤或含有高浓度的化学物质。因此,在进行土壤预处理时,应根据土壤化学成分的特性采取相应的措施,如土壤中添加碱性物质,以中和土壤的酸性,减少腐蚀风险。而且控制土壤的湿度对于减轻管道腐蚀风险也至关重要,湿润的土壤通常会加速管道腐蚀的速度。因此,相关部门需要采取对应措施,如在管道周围建立排水系统,确保土壤湿度的控制和排除。此外,选择合适的土壤改良措施也是重要的预处理方法,通过改良土壤的性质,可以减少对管道的腐蚀影响。例如,添加合适的土壤改良剂,可以增加土壤的碱性,提高阴极保护的效果。同时还可以采取地下隔

离层的措施,减少土壤中有害物质对管道的侵蚀。地下隔离层可以通过将管道与土壤隔离,或使用具有抗腐蚀性的材料进行包覆,避免直接接触土壤。最后,进行土壤预处理时,需要综合考虑实际情况和成本效益。

4.4 阴极保护与其他防腐措施的结合

外部涂层或涂覆物是常见的防腐措施,通过在管道表面施加一个防腐涂层或涂覆物,可以有效隔离管道与土壤之间的接触,减少对管道的腐蚀效果,阴极保护系统可以进一步增加这种防腐效果,即使涂层受损,阴极保护仍然提供保护电流。而且防腐油漆也常与阴极保护系统结合使用,防腐油漆可以在管道表面形成一层防腐保护层,从而减轻对管道的腐蚀。阴极保护系统可以提供额外的保护电流,增强防腐油漆的防护效果。同时,阴极保护系统还可以减少防腐油漆的老化和受损,延长其使用寿命。除此之外,防腐膜可以与阴极保护系统结合使用,防腐膜是一种直接应用在管道表面的屏障材料,能够有效隔离管道与土壤之间的接触,防止腐蚀。最后,还可以采取增加防腐层厚度、选择更耐腐蚀的管道材料等措施,结合阴极保护系统,以提高管道的防腐效果。相关部门需要根据管道的具体情况和环境要求,制定综合的防腐策略,将阴极保护与其他措施相结合,从而最大限度地减少管道的腐蚀风险,延长其使用寿命。

5 结束语

阴极保护是一种应用电化学原理的技术,通过外加的电流或金属阴极,将管道表面的电化学反应从“腐蚀”转变为“保护”,以阻止金属腐蚀的发生。这种先进的技术能够有效地降低管道的腐蚀速率和损坏风险。在实施阴极保护策略时,技术应该充分考虑土壤特性、湿度、温度和管道的材料,以确定合适的阴极保护电流密度和阴极保护剂使用方式。此外,定期检测和维护也是至关重要的环节,可以确保阴极保护系统的有效性和运行状态。

参考文献:

- [1] 唐金鑫,郑配.长输石油管道阴极保护技术研究[J].化工管理,2021(22).
- [2] 何显荣.影响油气长输管道阴极保护系统的因素及对策分析[J].华东科技:综合,2021(9).
- [3] 董爽.长输天然气管道防腐及阴极保护常见缺陷及对策研究[J].化工中间体,2021(014).