

复杂地质条件下天然气长输管道阴极保护技术的应用

代永秀 蔡辉 徐勇 韩嵩

国家管网集团北京管道有限公司山西输油气分公司 山西 忻州 034000

摘要: 在天然气输送领域,长输管道的安全性和稳定性至关重要。复杂地质条件对管道的安全运行带来了诸多挑战,其中腐蚀问题是需要重点关注的方面。阴极保护技术作为防止金属腐蚀的有效手段,在天然气长输管道中得到了广泛应用。本文从复杂地质的影响出发,详细阐述了阴极保护技术在天然气长输管道中的具体应用,深入分析了应用过程中面临的挑战,并提出了相应的解决措施。

关键词: 复杂地质条件;天然气长输管道;阴极保护;腐蚀防护

引言

随着天然气需求的不断增长,长输管道在复杂地质条件下的安全运行问题日益凸显。地质条件的复杂性不仅影响管道的施工和运营,更对管道的防腐保护提出了更高要求。阴极保护技术作为一种经济有效的防腐手段,对于保障天然气长输管道的安全具有重大意义。

1 复杂地质条件对天然气长输管道的影响

复杂地质条件对天然气长输管道的影响深远且多方面。在众多的地质因素中,高盐碱、高湿度、多雨以及多泥炭等环境尤为引人关注。首先,高盐碱环境是天然气管道面临的一大挑战。在这样的环境下,土壤中的高盐分会导致电化学腐蚀的加速。盐分中的氯离子、硫酸盐等具有高导电性,它们与管道金属发生化学反应,形成腐蚀电流,从而加速了管道的腐蚀速度。其次,高湿度和多雨的环境也是管道腐蚀的促进因素。在这样的条件下,管道表面容易形成一层水膜,这为电化学腐蚀提供了必要的电解质环境。长时间的潮湿和雨水冲刷,不仅会使管道表面的防腐涂层失效,还会加速金属的氧化过程。最后,泥炭等软土地区的地质条件对管道的稳定性也构成了威胁。这些地区的土壤承载力较弱,容易发生沉降和变形,从而影响管道的支撑和固定。长时间的土壤移动和沉降会对管道产生额外的应力,甚至导致管道断裂或泄漏。

2 阴极保护技术原理及在天然气长输管道中的具体应用

2.1 技术原理

阴极保护技术是电化学防腐的重要手段,其基本原理在于通过外部手段向被保护金属施加阴极电流,引发金属的阴极极化现象。在这一过程中,金属表面获得了足够的电子,从而转变为阴极状态,有效地降低了金属的腐蚀速率,甚至可以达到完全消除腐蚀的效果^[1]。

具体来说,实现阴极保护有两种主要方式:一是利用外部直流电源,通过辅助阳极将电流导入金属,使其成为阴极;另一种方法是采用牺牲阳极,即选择一种电位更负的金属与被保护金属连接,形成一个原电池,在此过程中,牺牲阳极会逐渐溶解,从而保护了阴极金属不受腐蚀。这种技术的关键在于确保被保护金属处于阴极状态,因此需要精确控制电流的大小和保护电位,以达到最佳的防腐效果。通过阴极保护技术,可以显著延长金属结构的使用寿命,提高设备的安全性和可靠性。

2.2 技术应用

2.2.1 外加电流阴极保护

外加电流阴极保护是阴极保护技术中的一种重要方法,特别适用于大型、长距离的天然气管道。这种方法的核心是通过外部直流电源和辅助阳极,向管道施加连续的阴极电流,确保管道金属始终处于阴极保护状态,从而有效降低或消除腐蚀风险。在具体应用中,首先需要根据管道的材质、长度、直径以及所在地区的地质和环境条件,精确计算出所需的保护电流和保护电位。接着,选择合适的外部直流电源和辅助阳极。直流电源的稳定性、可靠性和调节范围是关键考虑因素,而辅助阳极的材料、形状和布置方式也会直接影响到阴极保护的效果。实施外加电流阴极保护时,辅助阳极通常被埋设在管道附近的土壤中,通过电缆与直流电源和管道连接。电源提供稳定的直流电,通过辅助阳极注入到土壤中,进而传递到管道上,使管道金属成为阴极。这样,管道金属就不易失去电子而被腐蚀,从而达到了防腐的目的。此外,为确保阴极保护系统的有效性,还需要定期进行检测和维护。这包括检查保护电位的稳定性、电源的输出电流是否正常、辅助阳极的工作状态等。通过这些措施,可以及时发现并解决问题,确保阴极保护系统始终处于最佳工作状态。

2.2.2 牺牲阳极阴极保护

牺牲阳极阴极保护是一种被动防腐技术，特别适用于小型或分支天然气管道。其原理是利用了金属在电解质环境中的电化学行为差异，通过选择一种比管道金属更活泼的金属作为阳极，与管道直接连接。在电解质环境中，这种更活泼的金属会优先发生腐蚀，从而有效地保护了管道金属不受腐蚀的侵害。在实际应用中，选择适合的牺牲阳极材料至关重要。常用的牺牲阳极材料包括锌、铝和镁合金等，这些金属在电化学序列中比钢铁更活泼，因此能够在电解质环境中优先腐蚀。选择阳极材料时，需要考虑其电化学性能、耐腐蚀性、成本以及使用寿命等因素。牺牲阳极的设置也需要根据管道的具体情况进行。一般来说，阳极应均匀地布置在管道周围，以确保整个管道都能得到有效的保护。同时，阳极与管道的连接方式也需要精心设计，以确保电流能够顺畅地流过，并达到最佳的防腐效果。此外，牺牲阳极阴极保护的效果还受到环境因素的影响。例如，土壤电阻率、温度、湿度等都会影响阳极的腐蚀速率和保护效果^[2]。因此，在实施牺牲阳极阴极保护时，需要对这些因素进行综合考虑，以确保保护系统的有效性。值得注意的是，虽然牺牲阳极阴极保护技术具有简单、可靠等优点，但它也有一定的局限性。由于牺牲阳极会逐渐消耗，因此需要定期检查和更换阳极，以确保保护效果的持续性。同时，对于大型、长距离的天然气管道，牺牲阳极阴极保护可能不是最经济、最有效的选择。在这种情况下，可以考虑采用外加电流阴极保护等其他防腐技术。

3 阴极保护技术应用面临的挑战及应对措施

3.1 挑战

在复杂地质条件下应用阴极保护技术，确实会面临诸多严峻挑战。（1）电流分布不均是一个突出问题。由于土壤电阻率的不均匀性、管道涂层的差异以及阳极地床的位置和布局等多种因素影响，阴极保护电流在管道上的分布往往难以达到理想状态。这可能导致部分管道区域得到过度保护，而另一些区域则保护不足，从而影响整体防腐效果。（2）保护电位的控制也是一大难点。阴极保护的关键在于通过控制电位来减缓或阻止腐蚀过程，但在实际操作中，由于地质条件的复杂性和多变性，保护电位的稳定控制变得极为困难。土壤中的盐分、湿度、温度等环境因素都会对电位产生影响，使得保护电位的实时监测和调整变得复杂而繁琐。（3）杂散电流干扰也是不容忽视的问题。在城市化进程中，地铁、电气化铁路等基础设施的建设产生了大量的杂散电流。这些杂散电流可能通过土壤侵入到天然气管道中，

对阴极保护系统造成干扰，甚至引发管道的电化学腐蚀。这种干扰不仅降低了阴极保护的效果，还可能对管道的安全运行构成威胁。复杂地质条件下应用阴极保护技术所面临的挑战是多方面的，它们相互关联、相互影响，共同构成了阴极保护技术在实际应用中的难题。为了克服这些挑战，我们需要深入研究地质条件对阴极保护技术的影响机制，不断优化和完善阴极保护系统的设计、施工和运维流程，以确保天然气长输管道的安全稳定运行。

3.2 应对措施

3.2.1 优化电流分布

针对电流分布不均的问题，在阴极保护系统中，优化电流分布是确保整个管道得到有效保护的关键。为了解决这一问题，我们可以采取多种措施来优化电流分布。首先，增加辅助阳极的数量是一个有效的方法。通过增加阳极的数量，可以使得电流更加均匀地分布在管道上。这样做不仅能够提高管道各部分的保护程度，还能避免因电流集中而导致的局部过度保护或保护不足的问题。其次，合理布局阳极的位置也至关重要。阳极的布局应该根据管道的长度、直径、走向以及地质条件等因素进行综合考虑。通过将阳极均匀地布置在管道沿线，可以确保电流在整个管道上得到更加均匀分布。此外，还可以根据土壤电阻率的变化来调整阳极的位置，以进一步提高电流分布的均匀性。除了增加阳极数量和合理布局阳极位置外，使用导电性能更好的土壤改良剂也是优化电流分布的一种有效手段。这些改良剂可以降低土壤的电阻率，提高电流的传导效率，从而使得电流更加容易地流向管道的各个部分。通过这种方法，我们可以有效地改善电流分布不均的问题，并提高阴极保护系统的整体性能。在实施这些措施时，还应注意以下几点：一是要定期对阴极保护系统进行检测和维护，确保系统的正常运行；二是要根据实际情况灵活调整阳极的数量和位置，以达到最佳的电流分布效果；三是要选择质量可靠的土壤改良剂，并按照规定的比例和方法进行使用，以避免对土壤和环境造成不良影响^[3]。通过增加辅助阳极数量、合理布局阳极位置以及使用导电性能更好的土壤改良剂等方式，我们可以有效地优化阴极保护系统中的电流分布，提高管道的保护效果和使用寿命。这些措施的实施需要综合考虑多种因素，并根据实际情况进行灵活调整，以确保达到最佳的保护效果。

3.2.2 精确控制保护电位

精确控制保护电位是阴极保护技术的核心要素，它直接关系到管道防腐的效果。在高电阻率土壤中，由于

土壤导电性能较差,阴极保护电流难以有效传递,因此保护电位的控制变得尤为重要。为了提高保护电位,应首先考虑提高阴极保护系统的输出电流。通过增加电源的输出功率或使用高效率的电源设备,可以确保足够的电流输送到管道,从而在管道表面形成稳定的阴极保护电位。同时,高性能的辅助阳极材料也是实现精确控制保护电位的关键。这些材料应具有良好的导电性和耐腐蚀性,以确保在恶劣的土壤环境中能够稳定工作。通过选用合适的阳极材料,可以降低阳极的接地电阻,提高电流的传递效率,进而提升保护电位的稳定性。除了上述措施外,定期检测和调整保护电位也是至关重要的。由于土壤环境、气候条件以及管道运行状态的变化,保护电位可能会随之波动。因此,需要定期对阴极保护系统进行检测,实时掌握保护电位的变化情况。一旦发现保护电位偏离预期值,应立即进行调整。调整的方法包括改变电源的输出电流、调整阳极的位置或数量等。通过这些措施,可以确保保护电位始终维持在预期范围内,从而有效防止管道的腐蚀。精确控制保护电位是阴极保护技术中的关键环节。在高电阻率土壤中,通过提高输出电流、采用高性能辅助阳极材料以及定期检测和调整保护电位等措施,可以确保阴极保护系统的有效性,从而延长管道的使用寿命,提高天然气输送的安全性和可靠性。

3.2.3 减少杂散电流干扰

减少杂散电流干扰是确保阴极保护系统有效运行的重要一环。特别是在城市环境中,地铁、电气化铁路等基础设施产生的杂散电流往往对天然气管道的阴极保护系统构成显著干扰。为了应对这一问题,我们可以采取隔离、屏蔽等防护措施。首先,隔离技术是一种有效的减少杂散电流干扰的方法。通过在管道与可能产生杂散电流的基础设施之间设置隔离带或隔离沟,我们可以切断杂散电流的流电路径。这种方法要求我们在规划和建设阶段就充分考虑管道与周边设施的相对位置,确保足够的隔离距离。同时,使用绝缘材料对管道进行包裹,也能进一步增强隔离效果,减少杂散电流对管道的直接

影响。其次,屏蔽技术同样不可忽视。在管道周围埋设屏蔽网或屏蔽层,可以有效地将杂散电流引导至屏蔽体上,从而减少对管道的干扰。这种屏蔽材料需要具有良好的导电性和耐腐蚀性,以确保在长期运行过程中能够稳定发挥作用^[4]。除了上述技术措施外,加强管道与周边设施的协调规划也是至关重要的。在城市规划和基础设施建设中,我们应充分考虑天然气管道的安全运行需求,避免在管道附近设置可能产生大量杂散电流的设施。对于已经存在的干扰源,应积极与相关部门沟通协调,寻求合理的解决方案,如调整运营时间、优化电流路径等,以最大程度地减少杂散电流的产生。通过采取隔离、屏蔽等防护措施,并加强管道与周边设施的协调规划,我们可以有效地减少杂散电流对天然气管道阴极保护系统的干扰。这些措施的实施不仅需要技术上的支持,还需要政策和管理层面的配合,以确保天然气管道的安全稳定运行。

结语

复杂地质条件下天然气长输管道的阴极保护技术应用面临诸多挑战。本文通过对复杂地质条件的影响分析,详细阐述了阴极保护技术在天然气长输管道中的具体应用,并针对应用过程中面临的挑战提出了相应的解决措施。这些措施对于提高天然气长输管道的安全性和稳定性具有重要意义。未来随着科技的进步和新型防腐材料的出现,阴极保护技术将不断优化和创新,为天然气输送领域的安全运行提供更有力的保障。

参考文献

- [1]李云海.长输天然气管道防腐层与阴极保护常见缺陷分析[J].全面腐蚀控制,2021,35(08):126-127+134.
- [2]单庆伟.长输天然气管道防腐层及阴极保护技术分析[J].全面腐蚀控制,2021,35(08):128-129.
- [3]齐大谦,张前.天然气长输管道阴极保护的有效性影响因素[J].石化技术,2021,28(08):182-183.
- [4]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].当代化工研究,2021(14):101-102.