

天然气集输管道腐蚀机理及防腐蚀技术研究

刘 彤 (中国石油长庆油田公司第二采油厂采气作业区, 甘肃 庆阳 745100)

摘 要: 针对天然气集输管道腐蚀问题, 本次研究首先对天然气集输管道腐蚀机理进行系统分析, 在此基础上, 提出管道防腐措施, 为保障管道的运行安全和延长管道的使用寿命奠定基础。研究表明: 腐蚀问题是威胁管道安全和使用寿命的重要问题, 提高管道的抗腐蚀效果十分关键, 天然气集输管道的腐蚀机理主要可以分为四种类型, 分别是化学腐蚀、电化学腐蚀、微生物腐蚀以及冲刷腐蚀, 因此, 需要从改善管道材质、采取合理的电化学防腐措施、定期开展管道检测、添加缓蚀剂、优选防腐涂层材料、定期开展清管作业以及强化流速控制等角度出发, 采取多项有效措施, 全面提高天然气集输管道的抗腐蚀效果。

关键词: 天然气; 集输管道; 腐蚀机理; 防腐蚀; 技术研究

0 前言

天然气集输管道的防腐是非常重要的, 因为它直接涉及到管道的安全性、可靠性和持久性。天然气是一种易燃易爆的气体, 如果管道发生泄漏, 可能会引发火灾或爆炸事故, 对人身安全和环境造成严重威胁, 采取合理防腐措施可以提高管道的密封性, 减少泄漏的风险, 保障运输过程的安全, 管道内壁的腐蚀和堵塞会增加天然气在管道中的阻力, 降低运输效率, 通过防腐处理可以减少管道内壁的摩擦, 提高天然气的流通效率, 减少能源损耗^[1]。本次研究主要是对管道腐蚀机理进行总结分析, 以此提出合理的防腐措施, 保障天然气集输管道运行安全。

1 天然气集输管道腐蚀机理分析

1.1 化学腐蚀

天然气集输管道腐蚀的机理中, 化学腐蚀是一种常见的情况, 化学腐蚀是指管道材料与介质中的化学物质发生反应, 导致管道表面的腐蚀和损害。天然气中常含有水分, 特别是在天然气的提取、处理和输送过程中, 水分会与管道材料中的金属离子或氧发生反应, 形成腐蚀性物质, 如氢氧化物、酸等, 这些物质会侵蚀管道表面并导致腐蚀, 天然气中可能含有一些酸性物质, 如硫化氢等, 硫化氢是一种强酸性气体, 容易与金属表面发生反应, 产生硫酸和其他腐蚀性物质, 这种酸性腐蚀会削弱管道的强度和耐久性, 在某些情况下, 管道中的天然气可能含有氧气, 当氧气与管道材料接触时, 会引发氧化反应, 形成氧化膜, 这种氧化膜可能不稳定, 会破坏管道表面的保护层, 暴露金属材料, 导致腐蚀, 天然气中可能含有一些杂质和污染物, 如硫化物、氯化物、颗粒物等, 这些物质会与管道材料发生反应, 引发化学腐蚀, 特别是硫化

物和氯化物具有很强的腐蚀性, 容易导致管道表面的腐蚀和损害^[2]。

1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是指在管道中存在电化学反应时引起的腐蚀现象, 当天然气集输管道中存在不同金属材料或金属异物接触时, 形成了一个类似电池的系统, 这种情况下, 金属表面处于不同的电位, 导致了电流的流动, 从而引发电化学腐蚀, 在这个过程中, 电流的流动会引起阳极反应和阴极反应, 导致阳极区域的金属腐蚀。天然气中可能含有一些腐蚀性物质, 如氯化物、硫化物等, 这些物质能够提供电解质, 形成导电介质, 促进电化学腐蚀的发生, 当这些腐蚀介质存在于管道表面时, 它们可以增加电解质的浓度, 使电化学反应更容易发生, 天然气集输管道可能会受到外部电流干扰, 例如交流电力线路或电气设备的电流, 这些外部电流会导致管道表面的电位变化, 引发电化学腐蚀, 特别是在土壤中埋设的管道, 由于地下电流的存在, 容易出现电化学腐蚀。管道所处的环境条件也会影响电化学腐蚀的发生, 例如高温、高湿度、酸性或碱性环境都可能加速电化学腐蚀的进程, 这些条件会改变电化学反应的速率和类型, 增加腐蚀的风险^[3]。

1.3 微生物腐蚀

微生物腐蚀是指由微生物活动引起的管道腐蚀现象, 天然气中含有微生物, 如细菌、真菌、藻类等, 当这些微生物附着在管道表面形成生物膜时, 它们可以利用管道中的氧、水和营养物质进行代谢活动, 这些代谢活动可能产生酸性物质、硫化物、有机酸等, 促进管道的腐蚀^[4]。微生物可以形成黏附于管道表面的生物膜, 也称为生物胶或粘附膜, 这些生物膜提供了一个保护层, 使微生物能够在其中生长和繁殖, 但

是这些生物膜也可能导致局部腐蚀，因为它们可以吸附和保持腐蚀介质，加速管道的腐蚀过程，微生物在代谢过程中产生的酸性物质、硫化物和有机物等物质具有腐蚀性，例如某些细菌可以通过产生硫酸来引发酸性腐蚀，而硫酸会腐蚀管道材料，微生物腐蚀通常是多种微生物的协同作用结果，不同类型的微生物在不同环境条件下相互影响，形成复杂的微生物群落，这些微生物可以通过协同作用增加腐蚀的程度和速率。

1.4 冲刷腐蚀

冲刷腐蚀是指由于流体在管道内部产生高速流动或液固两相流动时，流体对管道表面的冲击和摩擦作用导致的腐蚀现象。天然气在管道中以一定的流速进行输送，特别是在高压和大流量条件下，流速可能很高，当流速超过一定阈值时，流体对管道表面产生冲击和剥蚀作用，导致冲刷腐蚀的发生，在天然气输送过程中，可能存在液体和固体颗粒的混合物，形成液固两相流动，这种两相流动会增加对管道表面的冲刷和磨擦作用，加速腐蚀的发生，固体颗粒的冲刷作用可能会削弱管道表面的防护层，暴露金属材料，导致进一步的腐蚀。在管道中流体流动会产生分离和湍流现象，使流体在管道表面形成涡流和涡旋，这些涡流和涡旋会增加流体对管道表面的冲击和剥蚀作用，导致冲刷腐蚀的发生，管道系统中的特殊构件，如弯头、收缩口、阀门和接头等，由于流体流动的改变和速度变化，容易出现冲刷腐蚀，这些区域可能形成流速增加、流动方向改变或涡流区，加剧了冲刷腐蚀的发生^[5]。

2 天然气集输管道腐蚀防护措施研究

2.1 改善管道材质

在天然气集输管道的腐蚀防护中，改善管道材质是一个重要的方面。使用高合金钢可以提高管道的耐腐蚀性能，高合金钢通常包含一定比例的铬、镍、钼等元素，这些元素能够增加管道的耐腐蚀能力，抵抗化学腐蚀、电化学腐蚀和微生物腐蚀，耐腐蚀合金是一类专门设计用于抵抗腐蚀的材料，如不锈钢、钛合金和镍基合金，这些合金材料具有良好的耐腐蚀性能，能够在恶劣的环境条件下保护管道免受腐蚀。在一些特定情况下，使用塑料管道也是一种防腐蚀的选择，塑料管道具有优异的耐腐蚀性能，特别是对一些特定的化学介质和环境条件，常见的塑料管道材料包括聚乙烯、聚氯乙烯和玻璃钢等。

2.2 采取合理的电化学防腐措施

在天然气集输管道的腐蚀防护中，采取合理的电

化学防腐措施是至关重要的。阳极保护是一种常用的电化学腐蚀防护技术，它基于将管道材料设为阴极，以减缓或阻止电化学腐蚀的发生，主要的阳极保护方法包括两种类型：①通过在管道周围埋设专用的阳极材料来提供保护电流，使管道表面保持负电位，从而抑制腐蚀；②通过在管道内部注入保护电流的阴极保护剂（如镁合金或铝合金），使管道内表面保持负电位，达到防腐目的。通过在管道中施加外部电流，使管道表面发生电化学极化，改变电位以抑制腐蚀，极化方法通常用于特定部位或特殊材料的防护，如焊缝区域，通过监测和控制管道的电位来防止电化学腐蚀的发生，维持管道表面的电位在一个安全范围内，可以减少腐蚀的风险。

2.3 定期开展管道检测

通过定期检测管道的腐蚀情况，可以及时发现为题并采取相应的修复和预防措施。内部检测是通过在管道内部使用检测设备进行检查的方法。

常见的内部检测方法包括：①腐蚀测量，使用腐蚀测量仪器，如超声波测厚仪或电化学腐蚀传感器，测量管道壁厚度的变化，以评估腐蚀的程度；②内窥镜检测，使用内窥镜或摄像设备，对管道内部进行直接观察，以检查腐蚀、裂纹、焊缝和接头等部位的情况；③气体或液体探测，通过在管道内部注入特定的气体或液体，检测泄漏、渗漏或管道壁面的异常情况。外部检测是通过在管道外部使用检测设备进行检查的方法。

常见的外部检测方法包括：①超声波检测，使用超声波探头在管道外部扫描，检测管道壁面的腐蚀、裂纹和疏松部位；②磁粉检测，在管道外部施加磁场，并在管道表面涂布磁粉，通过观察磁粉的分布来检测管道表面的裂纹和缺陷；③电磁检测，使用电磁探测器检测管道表面的电磁信号变化，以发现管道壁面的缺陷和腐蚀。无损检测是一种非破坏性的检测方法，通过使用X射线、磁粒子检测、涡流检测等技术，对管道进行全面的检查，以发现管道内外的腐蚀、裂纹、焊缝问题等。

2.4 添加缓蚀剂

缓蚀剂是一种化学物质，可以减缓或抑制腐蚀的发生，通过在管道内部形成保护膜或改变管道表面的电化学特性来起作用。选择适合特定管道材质和运行条件的缓蚀剂非常重要，缓蚀剂应具有良好的耐高温、耐压力和耐化学介质的性能，常见的缓蚀剂包括有机缓蚀剂、无机缓蚀剂以及缓蚀剂添加剂，缓蚀剂可以

通过多种方式添加到天然气中,以实现管道的缓蚀保护,将缓蚀剂以液态形式注入到管道中,通常通过注入设备和管道连接点实现,将缓蚀剂以微量的形式加入到天然气中,通过控制添加剂的浓度来达到缓蚀效果,将缓蚀剂封装在特殊的包袋中,通过将包袋置于管道内部,使缓蚀剂逐渐释放到管道表面形成保护膜。

添加缓蚀剂后,需要进行定期监测和控制,以确保缓蚀剂的浓度和效果符合要求,通过定期取样和分析,可以评估缓蚀剂的浓度是否合适,并根据需要进行补充和调整,在选择和使用缓蚀剂时,需要考虑其安全性和环境影响,缓蚀剂应符合相关的安全标准和法规,并且对环境友好,必要时应采取相应的措施来防止缓蚀剂对环境造成不良影响。

2.5 优选防腐涂层材料

防腐涂层能够在管道表面形成一层保护层,隔绝管道与外界环境接触,从而提供有效的腐蚀防护,防腐涂层材料应具有良好的耐腐蚀性能,能够有效抵御管道表面的腐蚀介质,如水分、化学物质、氧气等,防腐涂层材料应具有良好的附着力,能够牢固地附着在管道表面,不易剥离或脱落,由于管道在使用过程中可能受到物理摩擦和冲刷,防腐涂层材料应具有一定的耐磨性,以保持其保护功能的持久性,防腐涂层材料应具备足够的耐温性能,能够适应管道所处的温度范围,不因温度变化而失效,在选择防腐涂层材料时,应考虑其环境友好性,避免使用含有有害物质的材料,减少对环境的影响,防腐涂层材料应具备较好的施工性能,便于在现场进行施工和涂装,以确保涂层的质量和一致性。

2.6 定期开展清管作业

清管作业旨在清除管道内部的污垢、沉积物和腐蚀产物,以维持管道的通畅性和防腐效果,根据管道的使用情况、运行环境和腐蚀风险评估等因素,制定合理的清管频率,一般来说,高腐蚀风险区域的管道应更加频繁地进行清管作业,清管作业可以采用多种方法,如机械刷洗、高压水冲洗、化学清洗等,选择适当的清管方法应根据管道的特点和腐蚀程度进行综合考虑,选择合适的清管设备和工具,包括刷洗工具、高压水清洗设备、化学清洗剂等,这些设备和工具应具备适当的清洗能力和操作安全性,清管作业涉及到工作人员的安全,应采取相应的安全措施,如佩戴适当的个人防护装备、确保通风和排气、防止火源等,清管作业完成后,应对管道进行评估和维护,评估管

道的清洁度和腐蚀情况,并根据需要进行进一步的修复和防护工作。

2.7 强化流速控制

通过合理控制管道内的流速,可以减少对管道壁的冲刷作用,降低腐蚀的风险,根据管道的设计和运行要求,制定合适的流速规范,将流速控制在一个适宜的范围内,既要保证管道的正常运行,又要尽量减少冲刷腐蚀的可能性,安装流速监测设备,实时监测管道内的流速情况,这可以通过安装流速计或差压传感器等设备来实现,定期对流速数据进行分析 and 评估,及时发现异常情况,根据监测结果和腐蚀风险评估,对流速进行调整,如果流速过大,可以通过减小流体流量或增加管道截面积的方式来降低流速,如果流速过小,可以采取增加流体流量,以保持适当的流速,在管道系统中设置合适的引流装置,以减少流体对特定部位的冲刷作用,引流装置可以将流体引导到缓冲区域或分流到其他管道中,减轻冲刷腐蚀的影响,管道系统的压力控制也与流速控制密切相关,通过合理控制管道的压力,可以间接地控制流速,从而减少冲刷腐蚀的风险。

3 结论

综上所述,通过对天然气集输管道运行过程中的风险事故进行分析发现,腐蚀是引起管道风险的重要因素,腐蚀也将会导致管道的使用寿命严重降低,引发管道腐蚀的因素相对较多,因此,需要根据管道腐蚀的机理,采取多种类型的防腐措施,以此降低管道腐蚀速率,提高管道运行的安全性。

参考文献:

- [1] 郭奕成,刘伟旭,张艺佳.天然气地面集输管道腐蚀原因分析及防治措施[J].化学与生物工程,2022,39(09):52-55.
- [2] 张哲,张新鹏,陈磊,等.天然气集输管道微生物腐蚀规律及腐蚀速率模型[J].腐蚀与防护,2022,43(05):30-33+73.
- [3] 林焕明,李清亮,吴振宙,等.天然气集输管道的腐蚀机理及防腐蚀技术研究[J].当代化工,2021,50(12):2849-2852.
- [4] 成行荣,刘桥,张兴旭,等.天然气集输管道的腐蚀机理及防腐蚀技术研究[J].冶金与材料,2020,40(02):53+55.
- [5] 张玉香,何鹏程,李程,等.天然气集输管道内腐蚀分析及防护[J].油气田地面工程,2019,38(08):95-100.