

油气储运中天然气长输管道防腐工艺研究

彭 杨（四川中泽油田技术服务有限责任公司，四川 成都 620500）

摘 要：随着世界能源结构的转变以及环保意识的提高，对天然气长输管道防腐工艺的研究具有重要意义。文章针对管道的腐蚀机理，对煤焦油磁漆、聚乙烯涂层结构、阴极保护等物理及化学防护工艺进行详细的论述，提出了加强管道工艺监督、严格设计图纸审核、天然气净化等防腐蚀措施。通过文章的研究，对保障油气管道的安全运行，延长其服役寿命，降低运行成本，促进能源工业可持续发展具有重要意义。

关键词：油气储运；天然气长输管道；防腐工艺

0 引言

天然气作为一种清洁高效的能源，已成为能源转型的重要方向。然而，天然气长输管道在储运过程中，腐蚀问题日益突出，不仅威胁到管道的安全可靠运行，还增加了运行成本及环境风险。由于管道腐蚀而引起的泄漏事故频繁发生，严重威胁着公共安全与生态环境。因此，对长输管道防腐蚀工艺进行深入研究与优化已成为当前油气储运领域急需解决的重要问题。

1 油气储运中天然气长输管道防腐工艺的重要性

随着天然气需求量的持续增加，长距离输气管道的频次和输送压力也越来越大。输送过程中，受土壤腐蚀、气候变化等因素的影响，容易造成管道的腐蚀与破坏。一旦发生泄漏事故，不仅造成重大经济损失，而且可能引发重大安全事故，危及人身安全与环境安全。因此，采取有效的防腐蚀措施，可以有效地延长管道的使用寿命，保证天然气安全、稳定地输送^[1]。采取科学的防腐蚀措施，可有效地降低管道腐蚀速率，降低因腐蚀引起的故障率，降低维修次数，降低维修费用。如采用高性能涂层及阴极保护工艺，可大幅延长管道寿命、降低运行费用、提高整体经济效益。天然气是一种清洁能源，在输送过程中，其安全环保问题显得尤为重要。由于管道腐蚀而引起的泄漏，不仅浪费了天然气，而且还会污染周边的生态环境，从而影响到土壤、水源的质量。因此，完善的防腐蚀工艺可以有效地预防天然气泄漏事故，对保护生态环境、推动可持续发展具有重要意义。

2 管道腐蚀机理

2.1 杂质气体

天然气中普遍存在的二氧化碳、硫化氢、水蒸气等杂质会与管道材料发生反应生成酸性物质。这些酸性物质不仅对金属表面产生腐蚀作用，而且降低了金属的耐腐蚀性，降低了管道的使用寿命。在管道中，

由于流动不均匀、温度变化等原因，可能会导致杂质气体聚集，形成腐蚀环境。这种局部腐蚀会对金属表面造成损伤，而且会引起应力集中，从而增加管道断裂的危险。如硫化氢（ H_2S ）可引起氢脆现象，使其在应力作用下更容易断裂，严重影响管道的安全运行。天然气在输送过程中，如果不能有效地除去杂质气体，就会在管道中沉积，成为腐蚀源。这增加了管道的维修难度，而且可能造成检修次数增加，运行费用增加。因此，针对天然气长输管道中杂质气体的监控和控制成为保证天然气长输管道安全运行的关键^[2]。

2.2 土壤含氧量

在土壤环境中，许多腐蚀反应都离不开氧，特别是金属管道。氧气会与管道材料发生氧化反应，生成氧化物，造成管道材料性能恶化、强度降低。当土壤中氧气含量较高时，这种腐蚀效应将更加明显，并加速了管道的老化与破坏。土壤中氧含量的不均匀性可能是造成管道局部腐蚀加速的主要原因。如在管道与土壤接触处，若土层结构疏松、供氧充足，则会产生局部腐蚀“热点”，从而增加管道渗漏的危险。土壤微生物能在好氧条件下促进某些腐蚀性物质的形成，如硫酸盐还原菌在低氧条件下可将硫酸根还原成硫化氢，从而对管道材料产生腐蚀。因此，控制土壤中的氧含量，对抑制土壤中微生物活性和延缓腐蚀有重要意义。

2.3 土壤硫化物

硫化氢、硫酸盐等硫化物可与管道材料发生化学反应，生成硫化物等腐蚀性产物。这一化学反应不仅会造成管材物理性能的劣化，而且会造成管材表面的局部腐蚀，从而增加管材的破损与泄漏风险。在土壤环境中，硫化物可作为电子给体或受体参与电化学腐蚀。在水、氧等环境中，硫化物可促进电化学腐蚀电池生成，加快管道腐蚀速度。这种电化学作用常在管

道表面形成蚀坑,从而影响管道的完整性。硫酸盐还原菌(SRB)能够以硫化物为电子供体,在缺氧条件下产生硫化氢。硫化氢(H_2S)对管道材料特别是碳钢、低合金钢具有强烈的腐蚀作用,可导致材料发生氢脆、应力腐蚀等裂纹。因此,土壤中硫化物含量及活性是控制管道微生物腐蚀的关键^[3]。

3 油气储运中天然气长输管道防腐工艺

3.1 物理防护之增设涂层

3.1.1 煤焦油磁漆

煤焦油磁漆主要由煤焦油、树脂等组成,能在钢管表面形成一层致密的保护膜,将外界的水、氧和其他腐蚀性物质隔绝开来。特别是在土壤环境下,煤焦油磁漆能有效地阻止土壤中酸性物质及盐分对管道的腐蚀,大大降低了管道的腐蚀速度。同时,煤焦油磁漆的耐化学腐蚀特性,使其能承受多种化学介质的腐蚀,从而保证了长期使用的安全稳定。在长距离输气管道中,由于受到外界物理冲击或环境变化的影响,煤焦油磁漆的耐久性决定了它在恶劣的环境中仍能保持很好的保护作用,降低外力作用引起的涂层脱落和损坏,延长了管道的使用寿命。与其他高性能涂料相比,煤焦油磁漆具有成本低、施工工艺成熟、操作简便等优点。因此,煤焦油磁漆涂料在管道的铺设与维修中,可以有效地降低施工费用,提高施工效率。同时,煤焦油煤焦油磁漆具有良好的流动性及附着力,能均匀地涂覆在钢管表面,保证防腐效果^[4]。

3.1.2 PE 两层结构

2PE 两层结构涂料是由两层聚乙烯材料构成,外层是增强聚乙烯,内层是粘合剂层。高密度聚乙烯(HDPE)具有优异的耐磨、耐冲击性能,可抵御岩石撞击、土压等外部物理破坏。这一物理保护层可以有效地防止涂层在运输、安装时损坏,降低维修费用,提高管道的整体耐久性。聚乙烯材料耐化学腐蚀能力强,耐腐蚀性强。这就意味着,即使在土壤中有腐蚀性物质,聚乙烯防腐层仍然可以有效地防止化学物质渗入管道内,从而降低管道的腐蚀风险。同时,由于聚乙烯本身是非极性的,所以它不容易吸水,也就不会被湿气侵蚀。聚乙烯涂层可与钢管熔接形成无缝保护层,既提高了施工效率,又保证了涂层的长期密封性。

3.1.3 PE 三层结构

PE 三层结构涂料具有优异的抗腐蚀性,一般由一层粘合剂层、一中间层及一层保护层所构成。内层粘

合剂层保证了涂料与钢管表面的结合力,防止水、腐蚀介质渗入。中间层为聚乙烯材料,使其具有更高的机械强度及抗冲击性,能有效抵抗外界的物理破坏。外层为高密度聚乙烯,具有优异的耐候、耐化学腐蚀性能,可以有效地防止土壤侵蚀。这种多层次结构的设计,使三层聚乙烯在恶劣的环境中仍能保持良好的防腐性能,大大延长了管道的使用寿命。采用热熔法施工,使涂料与钢管表面形成“无缝结合”,从而保证防腐层的完整性和密封性。该方法既可提高施工效率,又可减少因涂装缺陷造成的后期维修费用。聚乙烯具有优异的抗紫外、耐老化性能,即使长期暴露于室外环境中,仍能保持原有的理化性能。另外,聚乙烯吸水率低,抗化学腐蚀性好,因此,即使是在土壤潮湿或含有腐蚀介质的地方,也能起到很好的保护作用。

3.2 化学防护之电化学防护法

3.2.1 阴极保护法外加金属

在阴极保护装置中加入金属,可以显著地降低管道的腐蚀速度,改变管道的电位,通过施加电流,使管状金属表面形成阴极,抑制氧化反应的发生,能有效降低金属离子溶出量,降低腐蚀率。与传统防腐蚀方法相比,阴极保护方法具有覆盖面积广、分布均匀等优点,特别适合长距离管道的防腐蚀。通过对电流强度及分布的精确控制,可对管道不同部位进行有针对性的防护,保证管道整体安全。

采用阴极保护方法,采用金属外接法,具有较大的灵活性和适应性,可与其他防腐方法配合使用,形成一套完整的防腐系统。例如,为加强保护效果,可在管道关键部位或易发生腐蚀的部位单独设置阴极保护装置。另外,该装置设计、安装较为简便,可在管道施工及维修时灵活运用。采用阴极保护措施,无论在新管道建设阶段或老管道维护阶段,均能有效地提高管道的防腐性能。

3.2.2 阴极保护法之外加电流

采用阴极保护法之外加电流,改变管道的电化状态,达到防腐的目的。这种工艺可以抑制金属的氧化,它是把直流电加到管子上,把管子的表面变成阴极。这一工艺尤其适用于那些很难被镀层或牺牲阳极保护的部位,例如管道连接处以及复杂几何形状的部位。外加电流阴极保护能提供均匀、持续的保护,保证管道系统金属表面始终处于阴极状态,大大降低了腐蚀速度。通过改变电流强度、极性等参数,可实现

对管道电位的准确控制,使之适应不同环境条件及腐蚀风险。该工艺可实现远程监测与调整,提高维修效率。在此基础上,本项目提出了一种基于管道实际腐蚀状态与历史数据的优化设计方案,实现了智能管理,达到了既提高防腐效果又降低了能耗的目的。尽管初期投资较大,但由于其优良的防腐蚀性能,可大大延长管道的使用寿命,降低检修、更换次数,从而节约长期运行费用。并且项目成果将极大降低环境与公众安全风险,具有重要的社会与环境意义。

4 油气储运中天然气长输管道防腐策略

4.1 强化管道工艺监管

从设计、建设、运行及维护等方面,制定完善国家及行业标准,才能有效地提高管道的安全可靠。这些标准应包括钢管的选材、焊接工艺和涂层防腐蚀工艺,以保证每一步的科学、合理。此外,定期评估与更新标准,以配合新工艺、新材料之使用,确保管制措施之有效及前瞻。采用在线监测、无人值守、传感网络等先进监测工艺,可实时获取管道运行状态及环境变化信息。

这些数据不仅能够及时发现管道存在的安全隐患,而且能够为管道的维修与管理提供科学依据。定期分析、评价监测数据,结合人工巡检,形成闭环管理机制,保证管道安全稳定运行。通过定期组织专业培训及工艺交流,提高管道操作及维修人员的专业工艺水平及安全意识,使他们能熟练掌握管道工艺规范及监控设备的使用情况。同时,鼓励企业加强与科研院所的合作,开展工艺创新与应用研究,促进管道安全新工艺的推广应用。通过提高从业人员综合素质,加强管道工艺监督工作的实效性 with 执行力。

4.2 严格审核设计图纸

成立一支由资深工程师及技师组成的评审小组,对设计图纸进行全面、细致的审核。这些专业人士可以根据自己的专业知识与经验,找出设计过程中存在的隐患与风险,保证设计方案科学合理。同时,审计队伍也需要定期接受有关防腐蚀工艺及工业标准方面的培训,确保审计工作具有前瞻性和准确性。借助计算机辅助设计(CAD)软件与建筑信息模型(BIM)工艺,可在设计阶段对管道进行三维结构及施工全过程进行模拟,从而更直观地发现设计缺陷及施工难点。

4.3 天然气净化

采用膜分离、吸附、冷凝等先进净化工艺,可实现对天然气中二氧化碳、硫化氢和水等腐蚀性杂质的

高效脱除。膜分离工艺是利用气体的选择性渗透特性,将气体中的杂质从气体中分离出来,以确保输送的天然气质量符合要求。

另外,吸附法利用活性炭、分子筛等材料,可以有效地脱除气体中的湿气、酸气,减少管道腐蚀的可能。这些工艺的应用,不仅提高了天然气的纯度,而且为以后的输送提供了一个更加安全的环境。通过在管道关键节点上安装在线监测装置,实现了对天然气中杂质及水分含量的实时监测。这些监测装置能为运行人员提供实时的监测数据,使操作人员能够及时掌握燃气质量的变化情况,从而采取相应的对策。如在监测过程中发现杂质超标,及时启动净化系统对其进行处理,以保证输送的天然气始终达到安全标准。引进了在线监控系统,实现了天然气净化过程的智能化、高效化。

5 结语

随着世界范围内对清洁能源的需求量越来越大,天然气在能源结构中的地位也越来越重要。然而,天然气长输管道腐蚀问题依然严重制约着长输管道的安全性与经济性。油气资源特有的性质决定了在建设油气储运管道时的要求也相应比较严格,技术难度也比较高,需要油气储运管道具有很强的耐腐蚀性和稳定性,避免出现油气泄露的现象,造成人员和财产的损失。所以在油气储运管道的建设中要加强质量控制,提升建设队伍素质水平,保障油气储运的安全、可靠。文章在深入研究管道防腐工艺的基础上,从物理化学防护、工艺监督、设计图纸审核、天然气净化四个方面提出了有效的防腐对策。这些措施的实施可以大大降低管道的腐蚀风险,而且可以提高管道的总体安全、经济性能。

参考文献:

- [1] 韩超,王路远.油气储运中长输天然气管道防腐工艺研究[J].化学工程与装备,2024(07):37-40.
- [2] 王萌,王森,高杉,等.天然气长输管道运行中的风险及控制[J].化工管理,2017(35):271.
- [3] 黄俊华,毛文俊,郭芳林.天然气长输管道防腐措施及应用实践微探[J].中国石油石化,2017(05):1-2.
- [4] 吴东.天然气长输管道运行优化[J].石化技术,2015,22(07):109-110+134.

作者简介:

彭杨,男,汉族,本科,中级职称,主要从事天然气长输管道运行管理。