

石油天然气管道腐蚀及其防护措施

刘 昕 (中海油天津化工研究设计院有限公司, 天津 300450)

摘要: 石油、天然气行业发展迅速, 管道行业的发展和技术的进步, 为其运输安全和效率提供了有力保障。同时, 也要认识到石油天然气管道运输中存在着的腐蚀问题, 并且予以充分重视, 通过技术、管理等手段, 强化石油天然气管道防腐蚀工作。本文主要针对海上采油工艺展开研究, 对石油天然气管道腐蚀情况做出简单介绍, 分析石油天然气管道腐蚀的原因, 并进一步探究石油天然气管道腐蚀控制技术以及石油天然气管道防护措施, 为石油天然气的安全、高效运输提供一定参考。

关键词: 石油天然气管道; 管道腐蚀; 防护措施

如今各行各业飞速发展, 对能源的需求量越来越大, 石油、天然气作为重要的能源, 其开采、生产、运输和利用受到广泛关注。尤其石油、天然气产地、储存地和使用地往往距离较远, 相关企业都在研究如何提升石油天然气运输的效率以及降低石油运输的成本。除了效率和成本之外, 石油天然气作为危险品, 其运输安全也十分重要, 必须做好石油、天然气管道的防腐蚀处理, 避免石油天然气泄漏。这需要相关企业结合管道腐蚀的现实情况采取有效措施。

1 石油天然气管道腐蚀概述

石油天然气管道的腐蚀问题可以分为内腐蚀和外腐蚀两大类。内腐蚀是指管道内壁与输送介质之间的腐蚀, 而外腐蚀则是指管道外部与环境介质之间的腐蚀。内腐蚀防护的关键是采用内涂层技术, 通过在管道内壁涂覆缓蚀剂形成保护膜, 防止腐蚀介质直接接触管道金属表面。因为我国的石油工业起步较晚, 技术层面上的完善程度与西方发达国家有一定的差距, 但是经过一段时间的发展, 也具备了适合我国国情的内涂层技术, 主要包括聚氨酯和改良环氧等防腐涂层。外腐蚀防护主要采用外涂层和阴极保护等技术。外涂层可以有效隔绝管道金属与环境介质的接触, 而阴极保护则通过施加电流或使用阴极保护剂来保护管道金属免受腐蚀。通过不断改进防腐材料和技术, 可以提高管道的使用寿命。这对于石油天然气管道的可靠运行和经济建设都起到了重要的贡献。

2 石油天然气管道腐蚀的原因

2.1 管道的应力情况

在石油天然气管道输送过程中, 增压是为了确保油气能够顺利输送到目的地。增压会产生压力波动, 这可能会对管道外表面的防腐层产生一定的影响。压力波动可能引起外部防腐层的开裂、脱落或破损, 从

而暴露出管道金属表面, 增加了外部腐蚀的风险。另外, 增压过程中的油气流动也可能导致管道内壁的摩擦和磨损, 进而影响管道的防护涂层。如果防护涂层破损且管道金属暴露, 就会增加外部腐蚀的风险。

2.2 管道腐蚀的环境因素

石油天然气管道的外腐蚀是一个重要的技术问题, 其中土壤环境对管道外腐蚀具有重要影响。不同土壤成分和含水量会形成不同的腐蚀环境。例如, 含有较高盐分的土壤或者具有酸性的土壤会增加管道外腐蚀的风险。土壤中的水分和盐分可以导致电解质环境, 促进电化学腐蚀的发生。管道内壁可能存在不平滑处、残留杂质等, 这些因素会增加管道外腐蚀的风险。不平滑的表面会导致流体过程中的涡流, 从而引起腐蚀集中现象。此外, 残留杂质可以起到促进腐蚀的作用。土壤中的金属离子可以与管道内的金属形成电流回路, 从而引发电化学腐蚀。当土壤环境中存在电解质和氧气时, 会形成腐蚀的电化学条件。这种电流回路以及相关的阳极和阴极反应会促使管道的外表面发生腐蚀。

2.3 管道腐蚀的材料因素

天然气管道主要采用钢材作为建设材料, 因为钢材具有较好的强度和耐久性。钢材属于金属材料, 对环境温湿变化敏感, 容易发生腐蚀现象。选择钢材作为管道材料是因为其具有较好的耐久性和封闭性能, 能够满足天然气输送的要求。管道的制作工艺和材质直接影响其抗腐蚀性能。合适的材质选择和制作工艺能够提高管道的抗腐蚀性。如果钢材本身存在缺陷或者制作工艺存在问题, 会降低管道的抗腐蚀性能。为了提高管道的抗腐蚀性, 需要控制钢材的质量, 改进制作工艺, 确保管道的质量达到要求。钢材的选用还需要考虑具体的腐蚀环境, 采取配套的防腐措施, 如

外涂层和阴极保护等，以增强管道的抗腐蚀性能。

2.4 管道腐蚀的管理因素

管道的设计、安装和使用都需要人工操作，人为因素对管道的腐蚀情况产生直接影响。操作人员的专业素质直接影响管道的腐蚀情况。缺乏专业知识和技能可能导致错误的操作，进而加速管道的腐蚀。

3 石油天然气管道腐蚀控制技术

管道腐蚀受到多种因素的影响，单一的防腐手段效果有限。应根据不同的腐蚀环境和机制，选择适合的防腐技术。通过多种防腐技术相互配合，实现综合防护效果。不同的防腐手段相互补充，可以提高防腐效果。综合防腐手段能够满足不同环境条件下的防腐需求。

3.1 阴极保护技术

尽管外涂层是一种重要的防腐手段，但它并不能完全避免管道的腐蚀。由于各种外界因素，如机械损伤、化学腐蚀或电化学反应，涂层可能会发生破损或脱落。当涂层破损时，破损处的裸露金属表面会成为小阳极，而涂层周围的完好部分则形成大阴极。这将导致腐蚀电流在破损处集中，使腐蚀速度加快。涂层本身并不能有效抑制腐蚀电流对管道金属的破坏。即使涂层存在，腐蚀电流仍然可以通过涂层破损处进入管道金属，引起腐蚀。为了增强管道的防腐能力，外涂层常常需要与阴极保护方法相结合。阴极保护利用直流电源，使管道成为阴极，从而降低其电位，减缓腐蚀反应的进行。

3.2 外涂层技术

外涂层技术是石油天然气管道防腐的传统且重要的技术之一。该技术通过在管道外部涂覆防腐涂层，将管道与外部环境隔离，利用涂层自身的耐腐蚀性能来提高管道的抗腐蚀能力。随着管道进入越来越复杂的环境，外涂层需要具备抵御不同腐蚀环境的能力。外涂层的工艺需要适应石油天然气管道的施工需求，包括施工速度、涂层附着力等方面的考虑。为满足复杂腐蚀环境的需求，需要研发既能抗复杂腐蚀又易施工的新型外涂层。

3.2.1 三层 PE 防腐层

三层 PE 防腐层是指由环氧粉末层、粘结层和聚乙烯外层组成的三层结构，其中环氧粉末层通常用来提高涂层与管道金属表面之间的粘附性；粘结层用来粘合环氧粉末层和聚乙烯外层；聚乙烯外层则主要用来提供最后一道屏障性保护层，以防止管道被自然界

中的化学物质侵蚀、氧化等。工艺方面，静电喷涂环氧粉末、涂胶粘剂和外涂聚乙烯的顺序是当前常用的生产工艺。经过这样的生产工艺处理，涂层表面非常光滑并且具有较高的耐磨性和耐水性，同时其具备一定的柔韧性，能够在一定程度上抵抗物理冲击。此外，三层 PE 防腐层还有许多优点，比如具有良好的耐候性能、稳定的电学性能、耐化学腐蚀性能以及优异的隔热性能等，因此广泛应用于石油天然气管道等机械强度较高、对防腐要求严格的环境中。

3.2.2 熔结环氧粉末

熔结环氧粉末涂层是一种用于地下管道防腐的涂层材料，可用于多种不同的土壤环境中，其防腐效果十分显著。与三层 PE 防腐层不同，熔结环氧粉末涂层的厚度相对较薄，因此其耐冲击和耐水性相对较差。但由于其结构形式特殊，可有效抵抗来自土壤的应力损伤。熔结环氧粉末涂层具有极强的抗土壤应力能力，能够在各种极端复杂的地质环境中顺利运行。由于熔结环氧粉末涂层的原材料主要为环氧树脂等高分子材料，因而其对环境污染很小。熔结环氧粉末涂层具备与钢材良好的粘结力，能够有效解决钢材与涂料之间的粘附问题，从而提高管道的使用寿命。熔结环氧粉末涂层可在土壤应力较大的粘性土中进行防腐，具有良好的适应性和应用范围。熔结环氧粉末涂层的原材料主要为环氧树脂等热固性材料，其在高温、高压等条件下仍能维持稳定性能。

3.2.3 煤焦油瓷漆防腐层

煤焦油瓷漆涂层的原料主要包括煤焦油、树脂、填料等，经过高温加热和混合得到。该涂层的施工方式包括喷涂、浸渍或刷涂，并不一定局限于热浇涂工艺。煤焦油瓷漆涂层具有良好的耐水性能，能够阻止水分的渗透和吸收，从而保护管道免受水腐蚀的侵害。在性能方面，该涂层的化学稳定性较高，能够抵御一定程度的腐蚀性环境，但在高酸、高碱等极端腐蚀条件下可能存在一定的腐蚀风险。

4 石油天然气管道防护措施

4.1 合理使用补口技术

管道出现缺口后，该位置容易受到腐蚀的影响。腐蚀可能是由于外部环境的侵蚀或管道内部介质的腐蚀作用。一旦发现管道出现缺口，需要及时采取补口技术进行处理，以防止进一步的腐蚀和泄漏问题。常见的补口技术包括使用沥青浇筑和聚乙烯材料。这些材料具有良好的防水和防腐性能，能够有效封堵缺口。

沥青补口技术通常需要将沥青融化后,将其浇筑在缺口位置。融化的沥青会填充缺口并形成密封层,防止进一步腐蚀和泄漏。在沥青补口完成后,通常需要在补口位置上缠绕玻璃布进行隔绝保护。玻璃布可以提供额外的保护层,防止外界环境对补口的侵蚀。

4.2 防护技术的选择优化

在选择管道防护技术时,需要特别关注该技术对环境的影响,特别是当管道经过人口稠密区域时。应选择环境友好型的防护技术,避免对环境造成污染或其他不良影响。所选防护层必须能够满足管道的设计年限和运行环境要求。这包括考虑防腐层的耐久性、抗腐蚀性能以及耐候性等因素,确保防护层在整个使用寿命内能有效保护管道。防护材料的硬度、抗冲击力等特性对管道的稳定性和抗损伤能力有重要影响。选择具有适当硬度和良好抗冲击性的材料,以确保管道在受到外力冲击时仍能保持稳定。管道在运行过程中可能会发生一定程度的变形,因此防护材料应具备良好的柔韧性和可塑性,能够随着管道的变形而保持紧密贴合,不产生空隙或脱落。选择防护技术时需要综合考虑直接投入和后期维护的成本。这包括防护材料的采购成本、施工成本以及后续的检测、维护和修复费用等。确保经济合理性,使防护方案在长期运行中具有可持续性。

4.3 加强环境腐蚀检测

管道在不同的环境中受到的腐蚀作用会有所差异,例如海洋、化工厂等环境都可能对管道产生腐蚀影响。因此,在设计防腐措施时需要考虑管道所处的具体环境。不同土壤具有不同的物理化学性质,这会影响到管道的腐蚀机理。一些土壤可能含有酸性物质、盐分或湿度较高,这些因素都会对管道产生腐蚀作用。为了有效应对管道腐蚀问题,需要进行环境检测工作,了解各个环境对管道腐蚀的影响程度。通过环境检测,可以收集土壤样本并进行分析,以确定管道所处环境的腐蚀特性。根据环境检测结果,制定针对性的防腐设计方案。这可能涉及选择合适的防腐涂层、防腐材料或采取其他防腐措施,以提供最佳的管道防护效果。

5 石油天然气管道腐蚀防护优化策略

5.1 建立健全管道维修管理制度

建立健全的管道监督管理制度是确保维修工作规范化进行的关键。制定明确的维修标准、程序和流程,推动团队按照规范进行工作,提高维修质量和效率。建立专门的管道维修管理团队有利于统一管理和调度

维修工作。该团队可以负责维修计划的制定、资源的调配、工作的监督和评估等,确保维修工作的顺利进行。为团队成员提供持续的理论和实践培训是培养专业维修团队的重要手段。通过学习最新的维修技术、操作规范和安全知识,提高团队成员的业务能力和综合素质。

5.2 管道材料选择要求

选择合适的管道材料对于保障管道的防腐性能和运输安全至关重要。不合适的材料可能导致腐蚀、泄漏等问题,对管道的正常运行造成威胁。在建设或维护管道时,必须充分重视前期的管道选材工作。通过仔细评估材料的性能、适用场景以及防腐要求,选择合适的材料是确保管道长期稳定运行的基础。为了确保管道质量和防腐性能,应制定严格的质量规定要求,并严格执行。对于不符合要求的材料,应及时剔除,以确保管道的可靠性和安全性。

6 结束语

综上所述,石油、天然气不仅是重要的生产资源,还是易燃易爆的危险物品,因此石油管道的安全运行十分重要。石油管道很容易受环境、材质、管理、管道的应力情况等因素而出现腐蚀问题,需要针对这些因素采取针对性措施。相关部门应当合理利用外涂层技术、阴极保护技术等管道防腐技术,同时加强环境腐蚀检测,合理使用补口技术,对石油管道腐蚀问题加以控制。此外,还要严格控制管道质量,合理选材,完善管道日常监管制度,加强维修管理工作。

参考文献:

- [1] 翁国卿. 油气储运管道防腐技术现状与研究进展探讨 [J]. 工程技术, 2016(4):207-207.
- [2] 刘东斌. 油气储运管道防腐技术现状与研究进展探讨 [J]. 商品与质量, 2016(20):170-171.
- [3] 赵磊. 油气储运管道防腐技术现状与研究进展探讨 [J]. 商品与质量, 2017(19):33.
- [4] 姜峰, 郑运虎. 油气集输管道腐蚀剩余寿命预测软件开发 [J]. 兰州理工大学学报, 2016,42(1):76-80.
- [5] 贺红彦. 海底油气输送管道腐蚀缺陷评价研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [6] 黎春. 油气储运管道防腐技术的现状思考 [J]. 中国化工贸易, 2019,11(05):15.
- [7] 朱春阳, 周宏权. 油气储运过程管道防腐问题探讨 [J]. 商品与质量, 2015(12):15.