

油气储运中管道防腐技术研究

宋之林 朱崇秀 梁景玉 王象会 肖申玮（正和集团股份有限公司，山东 东营 257342）

摘要：石油和天然气在储存和运输过程中会产生很多的危险，比如管道腐蚀、油品挥发等。在众多的危险中，我们很难预料管道腐蚀产生的后果。管道属于重要的油气储运设备部件，为了高效输送油气，避免在输送过程中产生安全问题，需要做好油气储运管道的防腐工作。本文通过对管道发生腐蚀的有关因素进行了分析，然后对油气储运在管道防腐中所采用的几种技术进行了讨论，并对在进行管道防腐工作时需要考虑的一些问题进行了讨论，确保油气管输安全，顺利推进油气储运工作的开展。

关键词：油气储运；管道防腐；技术要点

0 引言

近年来，油气储运工程的现有施工规模正在日益实现扩展。油气储运工程的良好效益价值如果要得以最大程度的发挥，则不能够缺少油田管道作为重要的基础保障。油田工程的施工技术人员通过采取管道防腐的专业技术方案，应当能够有效防止油田管道存在明显的管道结构侵蚀或者损坏，确保油田地面管道的使用期限延长。

1 油气储运中管道防腐的重要性

随着科技的快速发展，在世界经济格局发展过程中能源发挥着重要的作用，直接关系到人类的生存和发展，在社会经济中有着非常重要的战略价值。但是，中国经济发达的城市大多集中在沿海，而相对来说，石油天然气资源贫乏，天然气丰富多样的区域则集中在西部，这种不发达的区域内，使得中国的经济发展受到了很大的制约。所以，以能源供给为基础，在我国建立了西气东输、南水北调等系统性工程项目，不仅解决了经济发展落后地区、电力能源和经济互换问题，也解决了经济发达城市能源匮乏问题^[1]。能源储存与输送是这类工程建设的关键环节，在各类工程建设中所占比重较大，尤其是石油、天然气管线与装备的防腐蚀。在实际应用过程中，有很多原因会引起管线及装置的腐蚀。因此需要合理选择管道防腐技术，优化管道使用性能，安全性的输送油气。

2 油气储运管道防腐的影响因素

2.1 油气性质因素

石油和天然气中含有的氧化成分（例如：硫化氢）对输油管线造成的危害也不尽相同。其次，由于 CO_2 在液态环境中呈强酸，极易与电解质发生化学反应，很容易破坏金属格晶，从而导致管线的内壁发生腐蚀问题^[2]。

2.2 外界因素

在特定的条件下，因为石油天然气管道周围的介质在特性上存在着一些差别，而且不同介质对管道产生的影响也具有一定的差异性，而管道腐蚀发生的主要外界因素包括施工因素和介质物理性能以及介质腐蚀性等^[2]。①施工要素：管线施工项目具有工期长、施工过程复杂的特征，所以在实际施工过程中为了预防管道腐蚀，需要加强控制工程质量；②介质物理性质：在石油和天然气的储存和运输过程中，引起管线发生侵蚀的主要原因是：土层含水量的变化，地下水位的变化等；③温度因素：在石油和天然气的储存和运输过程中，外界影响因素还包括管道因素。例如管道埋设深度关系到油气温度的变化，如果温度比较高，将会加快腐蚀管道；④介质腐蚀：石油和天然气储存和运输管道所处的环境，包括土壤和微生物等，这些介质的特性都会对其产生不同程度的影响。通常很难确定管线周围土体的腐蚀程度。

2.3 管道因素

已有多项有关的研究结果显示，在目前的技术水平下，管线防腐层失效是造成管线腐蚀并进一步扩大、加剧的重要因素。所以，在石油和天然气储存和运输的管线中，必须对其进行防腐蚀处理。根据管道发生腐蚀的主要原因，在对储运管道的防腐工作中，避免管道防腐层出现脱落的问题，从而保证油气储运在长期的持续运行中，杜绝出现变形、穿孔以及开裂等情况^[3]。

3 油气管道腐蚀的影响

油气管道腐蚀对油气行业和相关领域产生了广泛的影响，主要体现在以下几个方面：①安全风险：管道腐蚀可能导致管道结构的损坏和破裂，引发泄漏或爆炸事故，威胁人员生命安全和财产安全。这些事故

可能对周围环境造成严重污染,并对社会造成巨大损失^[1];②生产中断和供应中断:管道腐蚀引起的泄漏或管道损坏可能导致油气生产中断和供应中断,影响能源供应稳定性。这对于石油和天然气生产企业、输送运营商及能源市场都会产生重大经济影响;③维护和修复成本增加:管道腐蚀需要进行定期的检测、维护和修复工作,以确保管道的正常运行和安全性。这些维护和修复工作需要投入大量的人力、物力和财力资源,增加了企业的成本负担;④资源浪费:泄漏和管道破裂导致的油气泄漏会造成资源的浪费。这不仅会导致经济损失,还对环境造成负面影响,污染土壤、水体和大气;⑤环境影响:管道泄漏和腐蚀释放的化学物质会对土壤、水源和生态系统产生污染影响。这可能导致植被破坏、水源污染、生物死亡等环境问题,对生态平衡和可持续发展构成威胁。

4 油气管道防腐的方法和技术

4.1 阴极保护技术

阴极保护法是一门被广泛运用且相对成熟的油气管道保护技术。阴极保护法根据供电电流方式不同可以分为:外加电流阴极保护法和牺牲阳极阴极保护法。保护方法的选择应根据实际的环境和管道参数,一般情况下采用外加电流阴极保护法,选取石墨等优质材料充分发挥阴极保护法的作用。在穿跨越铁路、公路、河流或江河带等情况下,由于管道带的套管具有屏蔽作用,宜采用锌、镁、铝及其合金阳极等为阳极的牺牲阳极保护法。陈波等运用阴极保护数学模型准确地对某在役海管及其牺牲阳极保护系统进行了评估,为其确定了最优的牺牲阳极保护方案,为阴极保护法的选取提供了参考。油气管道存在防腐涂层、土壤环境、杂散电流和管道并行等复杂情况,同时磁暴现象会使油气管道内产生地磁感应电流,对阴极保护设备产生干扰^[4],阴极保护在油气管道保护中的运用还有许多问题有待研究。

4.2 补口技术

补口技术使用打底漆料涂抹于腐蚀缺口,外部往往利用聚乙烯胶带缠绕,从而提高管道外部性能对油气管道进行有效保护。石油管道出现缺口时用补口技术进行修补可以保证管道的完整性,常用的补口技术有:热沥青浇注补口技术、聚乙烯材料补口技术。补口技术在保证管道完整性上起着重要的作用,补口的失效会导致管道出现腐蚀缺陷。国内石油与天然气管道多使用 3LPE 防腐涂层,与之对应的补口材料一

般是热收缩带,而热收缩带的失效将导致油气泄漏。研究显示,热收缩带的失效和剥离试验中破坏性质、热熔胶高温吸水率相关性较高,而与热熔胶降解相关性较低,稳定性较高的是发生内聚破坏和热熔胶高温长期吸水率低的热收缩带^[5]。

4.3 管道缓蚀的防腐施工技术

近年来,油气储运管道的缓蚀施工技术已经得到了较为普遍的采用,并且表现为管道缓蚀工艺技术的良好使用价值。缓蚀剂的重要作用就在于延缓管道结构出现腐蚀的速度,从而确保了油田管道能够实现更长的管道使用期限目标。在目前的现状下,油田管道专用的缓蚀化学材料主要涉及到无机与有机的两种类型材料,那么必须要通过采取专业化的缓蚀防腐施工处理措施,避免对于油田管道所在的工程区域造成生态污染的风险。

除了以上的油田管道安全防腐保护措施以外,目前针对于油气储运的大体积输油管道还要合理采用管道弯头部位的保温施工措施。油田管道的弯头端口部位通常容易存在程度明显的管道结构破坏,那么必须要视情况采用保温块的成型工艺方法,确保实现了管道弯头部位的全面防护施工效果。

4.4 聚合物驱的管道防腐技术研究

从上世纪的末期开始,大庆油田首先针对于聚合物的驱油技术采取了先导研究措施。现阶段的聚合物驱管道防腐技术已经得到了较为显著的完善,针对于输油管道内壁存在严重的结垢现象以及腐蚀现象表现为良好的驱油实施效果。工程研究人员通过采取电化学测试等试验技术手段,目前已经验证得到了高浓度的聚合物能够用于实现全面有效的驱油实践操作,证实了氧气浓度、矿化度、油含量与温度都会改变聚合物原有的特性。因此可见,采取聚合物作为管道防腐驱油的物质来源具有降低管道腐蚀速率的良好效果,应当结合驱油管道的腐蚀程度来进行缓蚀剂、阻垢剂与内涂层物质的合理选择。

4.5 FBE 内防腐

①除锈等级影响。除锈等级评定主要是判定基材表现经除锈后是否还有锈蚀存在,决定环氧粉末与铁分子之间是否有良好的范德华力。除锈等级低直接导致阴极剥离宽度大;②灰尘度影响。灰尘度检测采用亚敏胶带法,SY/T0442-2018 要求灰尘度不低于 2 级。灰尘度对 FBE 附着力产生直接影响;③钢管加热温度。钢管加热温度应与粉末原料提供温度相一致。当钢管

加热温度低时,环氧粉末与Fe原子未全部结合、分子力低、导致阴极剥离宽度大。环氧涂层易处于玻璃态,未达到高弹态,此时粉末涂层晶莹、反光,但易碎。当钢管加热温度高于推荐温度时,环氧粉末涂层颜色暗淡、有结块、麻团、烧弧等现象。

4.6 FBE 内防腐涂层

钢管熔结环氧粉末涂层具有优良的耐酸碱性能,环氧粉末熔结在钢管内壁后形成一次成膜内涂层,环氧粉末涂料的附着力强,熔融粘度低,流平性好,漆膜硬度高、耐划伤、耐腐蚀,基本无针孔和缩孔等缺陷。环氧粉末内涂层作防腐能有效延长管道使用寿命,FBE 涂层具有良好的耐酸、碱、盐及绝大部分有机溶剂腐蚀的性能,适用于油、水、气和各种污水介质的输送,FBE 防腐涂层粘结力强能够减少投资,提高整体经济效益。

4.7 金属涂层防腐

金属涂层防腐是一种常见的防腐方式,采用的涂层主要有环氧树脂、聚氨酯、聚乙烯等,其主要原理是将涂层涂在管道金属表面形成一个隔绝空气和水等外部污染物的保护层,使金属表面不受腐蚀。优点在于施工简单、成本适中、覆盖面广泛,同时在管道安装后仍然可以进行检测和维护。

4.8 FBE 内防腐涂层工艺流程

①钢管内壁除锈。熔结环氧粉末防腐涂料使用前需要对管道内壁进行处理,首先进行内喷丸除锈作业,钢管内壁锚纹应达到 Sa2.5 级,锚纹深度(μm)50 ~ 100;②钢管内壁吹扫。通过压缩空气将钢管内残余钢砂与灰尘进行清理,灰尘度不高于 2 级;③钢管加热。钢管进入加热炉持续对钢管加热,预热温度保证粉末喷涂时钢管温度符合粉末原料加热温度范围,对于高温粉末通常温度宜为 180 ~ 230℃(350 ~ 450°F);④粉末喷涂。对钢管内壁进行旋转喷涂,根据管径大小通过开启不同数量的粉末泵的数量。喷涂粉末泵压力为 0.28 ~ 0.42MPa(40 ~ 60PSI),文丘里泵压力 0.28 ~ 0.35MPa(40 ~ 50PSI),流化床供风压力为 0.014 ~ 0.035MPa(2 ~ 5PSI),喷涂旋转台转速为每分钟 50 ~ 80 转;⑤粉末喷涂。喷涂完毕后进入对涂料进行固化,固化温度应高于喷涂温度 10 ~ 20℃,并保温 15 ~ 20min。

5 管道防腐管理

5.1 腐蚀监测和评估

定期进行腐蚀监测和评估是管道防腐的关键步

骤。通过使用腐蚀监测技术,如电化学腐蚀监测、无损检测和金属腐蚀速率测试等,可以实时监测管道的腐蚀状况,并评估腐蚀的严重程度和发展趋势。根据监测结果,及时采取相应的防腐措施,以保障管道的安全运行。

5.2 严格检测油田工程管道的材料防腐性能

大型油田工程中的管道基础设施是否具有有良好的抗腐蚀性能,在根本上关系到油气储运管道的使用寿命长度,同时还会对于油田管道的工程经济效益产生显著的影响^[5]。在此前提下,油田工程的相关负责人员应当侧重于详细排查油气储运管道的结构材料缺陷,从而保证了地面输油管道的结构裂缝与损坏安全风险能够得到及早的排查。油田管道的工程结构材料必须要保证具备优良的抗腐蚀性能,严格把控油田管道的材料采购过程。近些年来,玻璃结构等新型的管道工程材料正在逐步适用于油气储运工程,进而保证了油气储运管道具备更好的耐酸碱与耐磨损效果。因此,对于地面输油管道的抗腐蚀特性必须要采取严格检查的措施。

5.3 妥善运输与保存管道施工设施

地面输油管道的运输实施过程应当采取专业化的防腐保护技术手段,主要体现在牢固绑扎管道,借助于尼龙绳或者胶皮带来辅助实施上述的绑扎施工操作。针对管道保温层的重要结构应当采取妥善的防腐保护手段,防止尖锐物品刺伤油田管道的防腐保温层。

6 结语

综上所述,油气管道防腐的方法和技术包括涂层防腐、阳极保护、绝缘防护、合金材料选择、定期检测和维护、高温防腐以及腐蚀监测和评估等。通过综合应用这些方法和技术,可以有效防止管道腐蚀,提高管道的使用寿命和运行安全性。

参考文献:

- [1] 邵婷,王芳静.输油管道腐蚀因素分析与防护措施[J].清洗世界,2021,37(12):56-57.
- [2] 张善泽.油气集输管道腐蚀与防腐措施研究[J].石化技术,2021,28(12):160-161.
- [3] 王长征.针对油气储运中管道防腐技术的分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(23):195-196.
- [4] 汪毅.油田管道防腐层检测技术及管理维修[J].化学工程与装备,2021(09):37-38.
- [5] 曹玉倩.腐蚀监测在油田污水管道防腐中的应用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(15):55-56.