

# 成品油管道防腐保护施工技术研究

刘思明 乔若凡 (国家管网集团北方管道有限责任公司西安输油气分公司, 陕西 西安 710018)

**摘要:** 我国一直以来都是能源需求大国, 由于国内石油资源分布不均匀, 并且目前石油大部分都是依赖于进口, 所以成品油的长距离运输在国内十分常见。输油管道在使用的过程中会无法避免的发生腐蚀现象, 不管是露天管道还是埋地管道都会长时间与空气环境和土壤环境相接触, 土壤及空气中杂散电流等因素会让管道表面发生氧化反应和电化学反应, 最终造成管道穿了或破裂, 对输油安全造成威胁。所以, 分析管道腐蚀的影响因素, 寻找能够有效缓解成品油管道腐蚀的方法是本文研究的重点。先是对管道腐蚀的原理以腐蚀的类型作了介绍, 然后讨论了涂层防腐技术下选材的性能要求及方法, 最后介绍了除涂层防腐之外其他技术以及加强防腐施工质量控制的策略。

**关键词:** 输油管道; 防腐技术; 涂层材料; 施工技术

## 0 引言

成品油管道的防腐就是解决管道在不同环境因素下因产生化学或电化学反应而发生的结构变性问题, 正常情况下成品油管道会直接与土壤及空气相接触, 即使使用防腐材料加以保护也很难完全避免建材的腐蚀。在成品油管道运输过程中, 管道会处于一个复杂多变的环境中, 再加上输送的油料也存在一定的腐蚀性, 所以成品油管道的内外两侧都会面临腐蚀的危险<sup>[1]</sup>。一旦成品油管道因为腐蚀而造成穿孔就会引起成品油的渗漏, 不仅会造成大量的经济损失, 还会对环境造成严重的污染甚至引发火灾, 再加上油品渗漏排查难度大, 所以会为了减少管道被腐蚀的风险就需要在管道建设工程进行时对其加以防腐保护<sup>[2]</sup>。成品油管道的防腐保护施工应做到对症下药, 首先搞清楚管道腐蚀的原因再从选材的防腐手段两个角度来加强管道的抗腐蚀性, 鉴于油品泄漏危害十分巨大, 防止成品油管道腐蚀已经成为了输油管道工程中十分重要的环节。下面将对此进行深入分析, 希望能为相关领域提供一些参考。

## 1 成品油管道防腐保护的重要性

就目前来看, 我国现阶段的成品油运输主要方式就是管道运输, 而管道在遭受长期腐蚀的情况下会产生形变或破损, 内壁腐蚀还会产生金属氧化物污染成品油, 让成品油的原有品质难以得到保障。成品油管道的施工成本高、施工难度高, 管道的使用寿命决定着成本的大小, 一旦管道发生较为严重的腐蚀就会进行维修和更换, 不仅会让新旧管道产生电位差而难以处理, 还会提高造价成本, 让石油运输的成本增加。

当然, 最重要的一点是管道因腐蚀而发生形变或损坏时极易引起成品油的泄漏, 石油泄漏不仅会对周边的环境造成严重的污染, 破坏管道周边的生态环境和土壤环境, 还会存在引发火灾的风险, 当发生火灾时又会对管道本身造成直接威胁, 形成一种恶性连锁反应, 造成国家和人民生命财产上的损失。由此可见, 做好成品油管道的防腐保护施工是十分重要的工作, 应当得到足够

的重视, 同时也应针对其技术提高而投入更多的科研力量<sup>[3]</sup>。

## 2 管道腐蚀的原理及因素

### 2.1 管道腐蚀的原理

从本质上来说, 管道发生腐蚀就是管道材料与其他介质产生化学反应的过程。在管道的内外环境中会存在其他化学分子, 而能与管道材料产生化学反应而使其分子结构发生改变的介质被称为腐蚀介质。在实际的输油管道中, 最为常见的腐蚀介质就是  $H_2S$ 、 $CO_2$ 、有机硫化物、盐、地层水及氧等, 这些物质极易与管道材料发生化学反应, 管道由于长期暴露在空气环境或者土壤环境中会慢慢受到其他物质的腐蚀, 从而最终导致结构上的变化<sup>[4]</sup>。

在实际的情况中, 大多数发生的管道腐蚀都为电化学反应, 成品油的输送管道为埋地管道, 而土壤环境中存在大量的电解质溶液, 当管道表面的保护材料破损或因为不均匀而使金属材料与电解质液相接触时就会产生缓慢的电化学反应。

### 2.2 影响管道腐蚀的因素

成品油管道腐蚀的相关因素主要为化学腐蚀、电化学腐蚀和管材不均匀性腐蚀三种。

#### 2.2.1 化学腐蚀

化学腐蚀是成品油管道最常见也是破坏性最强的腐蚀因素, 一般发生化学腐蚀时都是因为管道周围存在腐蚀性化学物质, 在输送过程中由于成品油的组成成分相对复杂, 油中含有一定量的腐蚀性物质比如硫化物等, 这些腐蚀性物质对金属的腐蚀性很强, 而目前世界上绝大部分的输油管道都是由钢材所制成, 所以在管道内侧面容易与成品油发生化学作用而造成腐蚀。另一方面, 除了深埋在地下的管道部分之外, 一部分管道也会直接暴露在空气当中, 空气中也存在可与活泼金属发生化学反应的物质, 当空气温度较高或温度较高也使得分子运动更为活泼时就会产生管道腐蚀现象, 这一腐蚀过程大多为氧化反应过程, 金属管道在氧化反应中产生结构强度

不足的氧化物从而使管道受到破坏, 久而久之造成破裂或穿孔<sup>[5]</sup>。

### 2.2.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀在管道腐蚀的原理中有过介绍, 具体来讲就是当外界环境的温度达到一定程度时管道外壁就会覆盖一层很薄的水膜, 水膜中的杂质会与管道材料中的活跃金属接触而产生电化学反应, 一般情况下发生化学反应的金属分子为铁分子, 铁元素会首先被电解成游离态, 随之而产生的电子进入到水膜之中后会向水中的杂质偏移进而发生氧化反应, 最终形成铁的氧化物。铁的氧化物结构强度差, 当管道中过多的铁元素被氧化之后就会在管道上形成孔洞, 由于输油压力的作用而造成管道的破裂或穿孔从而造成成品油泄漏。

### 2.2.3 管材不均匀性腐蚀

在成品油管道制造的过程中由于各种原因以及技术、成本等因素的限制, 不可能做到整个管道材料完全均匀, 金属管材的不均匀性会导致电位差的产生, 电位差也是腐蚀管道的一个重要因素。另一方面, 成品油管道在使用一段时间之后就进行维护的改造或者再加工, 经改造之后的管道材料必然会与原管材存在一些细微的差别, 这些差别也会导致电位差的产生。当管道的某一段因质量原因而进行更换时, 新的管道也会与旧管道产生材料不均匀效应而造成电位差存在, 只要存在电位差管道就有被腐蚀的风险。

## 3 成品油管道防腐层施工及材料选择

### 3.1 防腐涂层性能要求

使用防腐涂层来达到管道保护的目的是需要涂层材料有着和阴极保护的结合性, 同时也有足够机械强度来面对来自于土壤的应力, 另外还需要绝缘、耐腐蚀性强以及极低的渗水性和透气性<sup>[6]</sup>。

首先, 耐腐蚀性是涂层最基本的要求, 材料本身应由化学性质不活泼的稳定分子组成, 或者像铝一样有致密的氧化膜来保护外表面。在土壤环境中, 土壤的微生物、杂散电流以及腐蚀介质都会对材料的化学性质产生影响, 其中杂质电流对于金属材料的影响最大, 能够让金属在电化学反应下变得极不稳定, 所以保护涂料应有较强的抗土壤腐蚀性, 这也是对涂层的基本要求。

其次, 低渗水性和低透气率也是非常重要的参数, 涂层的透气性低能够更好的管道金属材料与外界空气环境隔绝, 防止金属与氧气直接接触。低渗水性则可以保证管道金属表面不会形成覆水膜而发生电化学反应。另外为了降低腐蚀电流的影响, 涂层材料还应具备绝缘性的特点, 防止腐蚀电流通过其周围的土壤及电管道构成回路。

最后, 防腐涂层应具备良好的机械强度和粘结力, 粘结力是为了使涂层能够更轻易的与管道金属相结合, 降低防腐涂层施工难度。足够的机械强度能够保障涂层可以抵抗来自于外界土壤环境的应力, 避免在土壤应力

的作用下而碎裂<sup>[7]</sup>。

### 3.2 防腐层材料的选择

在选择防腐层材料时, 不仅要考虑材料的质量是否能够满足需求, 还要考虑采购、运输、造价、维护成本、运行条件、施工作业条件等各个方面的因素, 如果材料的造价及后期维护费用过高, 已经超过当前管道更换或精细化保养的成本, 那么即使材料的性能再强大也不符合实际需求。在实际的应用中, 还要针对土壤条件等更多的因素来选择最为合适的防腐涂层材料。

#### 3.2.1 合理材料及修补技术选择

为了满足施工技术要求, 选择的材料首先要保证能够在现有技术条件下完成施工作业, 通常会选择简易施工要求的涂层材料, 在施工时通过严格的质量管理控制来保证涂层的性能可以完全发挥。但是在实际的施工环节中, 涂层的损伤是无法完全避免的, 特别是管道焊接处的涂层施工难度尤其大。考虑到管道防腐层的完整性要求, 煤焦油瓷漆应当选用煤焦油热烤缠带, 熔结环氧防腐管应当选用环氧粉末喷涂, 3PE 技术应当使用热收缩套及环氧粉末喷涂打底的补口技术。在施工时最基本的要求是保留涂层的全部防腐性能, 严格控制施工手册的技术规格开展施工作业, 同时也应具备包括涂层涂敷、表面处理及定型的实用现场作业手段。

#### 3.2.2 从经济性角度来考虑选择

经济性问题是防腐施工无法避开的问题之一, 为了能够最大程度的减少成本费用, 要在长寿命涂层和经济性涂层两者之间找到一个平衡点, 这是由于目前几乎所有的涂层材料其使用寿命越长价格就越高, 而涂层本身就非一次性投资材料, 后期的维护费用、保养费用以及修补费用等都是经济性角度考虑的重要因素。

#### 3.2.3 从涂层的应用历史情况来选择

市面上的防腐涂层品种多且性能各有各的特色, 想要一一加以试验来甄别好坏显示是十分不现实的, 这时就可以根据涂层在实际应用中的具体表现数据来确定最为合适的涂层, 同时再参考涂层厂商所给出的实验数据, 最终确定一款性能和寿命都符合预期的经济性材料。

## 4 管道的其他有效防腐保护措施

除了管道的内外涂层防腐技术之外, 内外壁防腐技术、阴极保护防腐技术以及缓蚀剂防腐也是常用的成品油管道防腐技术, 下面将针对这几种技术展开研究。

### 4.1 内外壁防腐技术

外壁防腐技术的应用已有很长的历史, 最初的技术是使用沥青等传统且易获取的材料将外壁厚厚的包裹, 后来经过技术的发展又演化出了很多新型的复合材料。新材料较沥青来说防腐性能更加优越, 比如环氧树脂等材料不仅容易制取且对于外壁的保护效果更好, 经过防腐材料的覆盖之后, 管道外壁与外界环境接触的机会更少, 管道的使用寿命也得到很大的提升。内壁的防腐技术主要靠添加防腐缓蚀剂的方法来实现, 缓蚀剂能

够有效的减轻管道与成品油之间的摩擦,降低成品油管道内壁的腐蚀性。和内外涂层技术一样,只有内外壁防腐的双重作用,才能更好的提升埋地型成品油输送管道的腐蚀危害,增加管道的使用寿命以降低管道使用成本。

#### 4.2 阴极防腐技术

对于钢制管道来说,阴极防腐技术也是非常常用且有效的防腐技术之一,是对涂层防腐技术的一种缺陷弥补。这是由于仅仅使用涂层防腐不仅防腐效果控制比较被动,还会受到施工技术和防腐工艺等因素的影响,导致实际的防腐效果与实际的预期差距很大。同样的是,阴极防腐技术使用起来成本较高,只使用阴极防腐来达到管道防腐的目的会让成本陡增,容易超出工程的成本预算。为了既能保护经济性又可以达到防腐效果预期,让防腐效果控制不再被动,将涂层技术与阴极保护技术相结合是较为合理的选择,能够有效的提高防腐性能。

阴极防腐技术可分为牺牲阳极防腐法和外加电流阴极防腐法两种。牺牲阳极防腐法被更广泛的使用于锌合金材质的管道中,原理为选择比管道材质更加活跃的金属用作阳极材料,通过将其与管道相接触的方式来传输电极电位以达到有效防腐的目的。外加电流阴极防腐法是在管道上施加直接电源等方式来迫使管道变成阴极,以达到降低管道电化学反应的目的。

#### 4.3 缓蚀剂防腐

缓蚀剂是专门用于进行防腐的一种防腐材料,在油品中适当加入一定量的缓蚀剂,能够进一步减缓石油对管道内壁的腐蚀性。相比于其他防腐手段来说,缓蚀剂造价低,但是其缺点也非常明显,即在石油当中加入缓蚀剂的过程过于复杂,并且需要配套有大量的维护工作,再加上不同的管道内输送的石油也存在成分上和油品上的差异,在加入缓蚀剂时也需要不同的种类混合配比才能达到理想的管道防腐效果<sup>[8]</sup>。

### 5 成品油管道防腐施工质量控制策略

合理的技术使用和选材是实现管道防腐的关键因素,但也不能忽略了施工环节中人为因素的干扰,施工环节的质量控制策略是为了保障防腐施工能够发挥出防腐技术本身的理想效果,尽量避免因人为因素而造成的防腐材料性能下降等情况。下面将重点从加强防腐监测、寻找防腐创新方法两个方面展开分析,从而更好地为成品油管道防腐施工质量控制提供具体化的对策。

#### 5.1 加强防腐监测,提高防腐监测效果

输油管道线路长且地形跨度大,当某一部分发生腐蚀现象时很难通过人工日常保养的方式来及时发现。随着防腐监测技术的进步,一些新型监测方式被引入到管道维护工作中,比如可以通过在管道易于发生腐蚀的关键地方安装数据收集传感器,通过不断的收集和分析数据来判断腐蚀现象是否发生。其次,可以使用音频检测仪对成品油管道进行定期检测,音频检测仪能够通过不断的发生和接收声波来判断管道的材质分布是否均

匀,进而判断出管道中是否存在腐蚀点。通过建立输油管道防腐检测中心,构建信息平台来不断的收集和分析与管道腐蚀有关的各项数据,不断提高防腐监测效果。

#### 5.2 加大科研投入,寻找防腐创新方法

加大防腐技术科研力度,寻找防腐创新方法也成为了进一步推进石油化工产业发展的要求之一。现有的涂层材料以及防腐工艺虽然已经相对较为成熟,但无论是在材料性能还是涂层施工方法等方面都存在一些难以解决的问题,比如涂层施工时与管道的贴合度等。比如,中国石化江苏石油工程技术研究院攻克了生物防腐的难题,虽然距离生物防腐的实际应用还有一段路要走,但技术的创新本身就需要不断的科研积累。

### 6 结语

成品油的管道运输主要国内最为常见的运输方式,管道在使用的过程中会不可避免的发生内外壁腐蚀现象,通过添加防腐涂层、添加缓冲剂等有效方法来降低管道腐蚀的危害,最大程度的保障管道的使用寿命,不仅使得成品油管道输送的费用降低,还能有效防止因管道腐蚀泄漏而引发的各种危害性事件。输油管道如果因腐蚀严重而造成漏油情况,在危害环境的同时还有可能引发严重火灾,使环境和人民的生命财产安全遭受威胁,所以加强管道的防腐技术创新,做好防腐保护施工质量控制是管道维护的主要目的。

#### 参考文献:

- [1] 杨彬. 成品油管道敷设方式及防腐材料选用分析 [J]. 清洗世界, 2019, 35(09): 49-50.
- [2] 戴世玉. 油管道的腐蚀原因和防腐措施探讨 [J]. 石化技术, 2019, 26(06): 347+360.
- [3] 张中捷, 董宝平. 远海岛礁机场航煤供油管道防腐技术及应用 [J]. 山东工业技术, 2018(21): 92+90.
- [4] 宋飞, 潘红丽. 一种管道阴极保护电流在线检测新技术 [J]. 石油和化工设备, 2016, 19(02): 57-60.
- [5] 罗深明. 油田集输油管道防腐现状及措施应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2015, 41(19): 20-21.
- [6] 张漪, 何舒, 杨光. 塔河油田长输热油管道的防腐工艺设计 [J]. 江汉石油职工大学学报, 2014, 27(05): 63-65+75.
- [7] 李伟. 管道防腐层检测技术在油田生产中的应用 [J]. 科技创业家, 2013(15): 127.
- [8] 梁建国, 陈国顺. 干膜法防腐补口工艺在兰郑长成品油管道工程中的应用 [J]. 石油工程建设, 2009, 35(01): 36-38+85.

#### 作者简介:

刘昱明 (1970-), 男, 汉族, 辽宁瓦房店人, 大本, 中级工程师, 研究方向: 油气储运。

乔若凡 (1973-), 女, 汉族, 辽宁瓦房店人, 大专, 助理管道工程师, 研究方向: 油气储运。