

浅析石油管道工程的防腐技术

张博^{1*}, 段乃成², 赵鹏², 赫德明¹

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;

2. 中国石油天然气管道局, 河北廊坊 065000)

摘要:对石油管道的腐蚀机理及腐蚀的原因进行了分析, 提出石油管道工程防腐策略, 就如何提高防腐性能提出建议。

关键词:石油; 管道; 防腐技术

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)03-0195-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.03.049

Investigation of corrosion resistant techniques of pipelines

ZHANG Bo^{1*}, DUAN Nai-cheng², ZHAO Peng², HE De-ming¹

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

Abstract: The reasons and mechanisms of corrosion behavior of oil pipeline are analyzed. Furthermore, anticorrosive strategies for oil pipeline engineering are put forward. The suggestions about the improvement of anti-corrosion performance of oil pipelines are also proposed.

Key words: crude oil; pipeline; corrosion resistant technique

石油行业遭受腐蚀侵害非常严重, 伴随着我国油田的开发进入后期阶段, 油田采出液中含有二氧化碳、硫化氢等腐蚀介质, 以及与高温、高压等因素的相互作用下, 管道的内壁会遭受严重的腐蚀。而土壤电解质、微生物对埋地管道外壁造成很大的腐蚀^[1-2]。管道运输是石油运输的最为主要途径之一, 石油管道工程建设有效地减少了运输损失, 同时也提高了石油运输效率。为确保管道运输质量, 在石油管道工程建设的过程中, 必须加强管道的防腐处理, 才能有效提高石油运输效率。现阶段, 我国的石油管道工程, 例如天津港—华北石化原油管道工程, 除工艺采取的相关措施外, 主要运用防腐技术, 改善石油运输环境, 提高管道运输能力。由于石油本身具有一定的特殊性, 管道工程建设之重点就是提高管道的防腐性能, 做好防腐工作, 确保原油运输过程中的安全性以及维护管道运输的稳定性。

1 腐蚀机理分析

钢质的腐蚀可分为2类^[3], 化学腐蚀与电化学腐蚀。化学腐蚀是酸液对钢质的氧化反应; 电化学腐蚀实质上是一种存在于电解质溶液中的氧化还原

化学反应, 即电化学反应。油田设施周围环境能提供满足此类化学反应所需的条件, 如含有多种无机盐离子的地层水、注入水充当了电解质的作用, 构成了类似于原电池的结构。在电解质溶液中的其他离子或物质的作用下, 阳极表面的铁原子失去电子成为离子进入电解质溶液, 电子流动到阴极表面被溶液中的氧化性物质消耗, 从而实现了腐蚀。

在腐蚀开始后, 在防腐层缝隙内的腐蚀介质很难流通, 氧在土质中向腐蚀缝隙中扩散受阻, 致使缝隙深处和浅处或防腐层破损处之间形成一个宏观的氧浓差电池。缝隙深处是浓差电池的阳极, 浅处或防腐层破损处为阴极, 在阳极有 $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 的溶解反应, 阴极有 $\text{O}_2/2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^-$ 的反应, 显然阴极受到了保护。这就是管壁漏电部分(即防腐层脱落处)没有严重腐蚀, 而周围剥离的防腐层下缝隙内管外壁腐蚀严重的原因^[4]。

阴阳极分离, 腐蚀产物以及盐晶的堆积, 进一步阻滞了外界的阴极保护, 同时形成了具有催化作用的闭塞电池, 闭塞电池的形成标志着腐蚀进入了发展阶段, 以后缝隙内的金属阳离子就更难以扩散、迁移出去。随着 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 离子在缝隙内的积累, 造

成缝隙内正电荷过剩。土壤中的 Cl^- 与 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 离子结合并被水解,使腐蚀介质微观局部酸化,腐蚀速度加快,然后腐蚀环境又会进一步酸化,因而形成一个自催化过程。腐蚀速度随着时间的推移而加快,这就是埋地管道腐蚀速度比既没有防腐层保护又没有阴极保护的试验埋片的腐蚀速度大的原因。

2 石油管道腐蚀的原因以及防腐的重要性分析

引起石油管道腐蚀的因素很多,不同的原因对管道造成的腐蚀需要采取不同的防腐措施,引起腐蚀的主要原因有如下几个方面。

(1)化学因素引起的腐蚀。由外界的环境因素引起管道与空气中的氧或其他化学物发生了化学反应而产生的化合物依附于管道表面,被腐蚀的管道在埋入地下之后,由于地下环境潮湿而加快了腐蚀的速度^[5]。

(2)生物因素引起的腐蚀。由于大部分石油管道是埋于地下的,土壤中含有大量的菌类,会直接对管道表面形成腐蚀,通常情况下菌类都是群体地存在,最容易发生管道局部腐蚀,同时,生物腐蚀还具有腐蚀速度快、影响面积宽等特点。

(3)电化学因素引起的腐蚀。如石油管道所处的环境含有大量的电介质,就容易发生电解反应,当管道的金属离子被电解之后,对管道的稳定性造成严重影响^[6-7]。

(4)金属材料不均匀性腐蚀。管材的性能不均匀性会造成电位差,改造后的管道的材料与原管材在成分、组织上存在着明显差异,会产生电位差。此外,由于个别管段改线,新老不同管道相连,新管道的电位比 16Mn 钢管道的电位负,会产生电位差而形成阳极区域,非常容易发生管体腐蚀,必须对管道腐蚀情况进行跟踪^[8]。

(5)石油管道防腐的重要性分析。由于石油管道都是运用钢材作为管道的原材料,随着使用时间、环境的变化会对管道产生腐蚀,使管道发生变形或遭到破坏等现象,严重地威胁到石油运输安全。金属材质管道受到腐蚀在外形与色泽上都会发生变化,同时其使用性能也受到严重影响,如果长时间受到腐蚀就会缩短使用寿命,如果一旦发生石油泄漏,会造成严重的环境污染,同时也会使石油企业受到严重的经济损失。因此,提高石油管道的防腐能力,采取有效的管道保护措施,才能有效地提高石油运输的安全性和稳定性。

3 石油管道工程防腐策略

石油管道工程建设对我国经济的发展具有重要的战略意义,只有增强石油管道的强度与柔韧性,做好防腐措施,减少腐蚀对管道的损害,才能有效地提高管道的运输能力。

3.1 加入缓蚀剂

在工程建设过程中,加入适量的缓蚀剂,在一定程度上可实现管道防腐。这种方法的优点在于技术要求不高,使用成本低。但是这种防腐方式工艺复杂,维护工作量大,同时由于管道材质的多样性,单一的一种缓蚀剂达不到防腐的目的,需要多种缓蚀剂同时使用,才能达到防腐的目的。

3.2 阴极保护

引起石油管道腐蚀的因素主要是化学腐蚀,由于石油自身携带的氧化物与金属会发生反应,使管道壁发生腐蚀。因此,运用阴极防护法对石油管道地下防腐具有不可替代的作用。阴极防护法是通过牺牲阳极来保护管道不受腐蚀。但是这种方法与现场的环境有很密切的关系,同时操作难度大,技术含量高,综合成本大,把这种方法运用到管道防腐工作中,还有一定的难度,在管道工程建设过程中,一般是把防腐绝缘与阴极防护相结合,来提高管道的防腐能力。

天津港—华北石化原油管道沿线地貌多属于华北平原,属滨海平原,管道沿线地势低平,多洼淀、鱼塘、虾池,地下水位高,属强腐蚀区域。阴极保护方案采用以强制电流保护为主,牺牲阳极保护为辅的方式进行阴极保护。对采用定向钻穿越的河流进行补充牺牲阳极阴极保护。

3.2.1 强制电流保护法

外加电流阴极保护是通过外部电源来改变周围环境的电位,使得需要保护的设备的电位一直处在低于周围环境的状态下,从而成为整个环境中的阴极,这样需要保护的设备就不会因为失去电子而发生腐蚀了。这种强制外加电流的阴极保护系统是由整流电源、阳极地床、参比电极、连接电缆组成的,主要用在大型设备的阴极保护或者土壤电阻率比较高的环境中的设备的阴极保护,比如长距离输油输气等埋在地下的工业管道,还有大型的储备石油等工业原料的储罐群都采用这种外加电流的阴极保护方式。

此外,强制电流保护法的主要特点是:①输出电流大,一次性投资相对较小;②安装工程量小,可对

旧管道补加阴极保护;③运行期间需要专业人员维护;④容易实现远程自动化控制。

3.2.2 牺牲阳极

牺牲阳极的阴极保护法又称牺牲阳极保护法,是一种防止金属腐蚀的方法。具体方法为,将还原性较强的金属作为保护极,与被保护金属相连构成原电池,还原性较强的金属将作为负极发生氧化反应而消耗,被保护的金属作为正极就可以避免腐蚀。因这种方法牺牲了阳极(原电池的负极)保护了阴极(原电池的正极),因而叫做牺牲阳极(原电池的负极)保护法。

牺牲阳极保护方法的主要特点是:①适用范围广,尤其是中短距离和复杂的管网;②阳极输出电流小,发生阴极剥离的可能性小;③随管道安装一起施工时,工程量小;④运行期间,维护工作简单;⑤阳极输出电流不能调节,可控性较小。

3.3 涂层外防腐

在我国石油管道工程中运用最广泛的就是涂层外防腐技术,其最大特点是防护成本适中,防护效果明显等优点。运用的原理是隔绝含氧物质与管道的接触,运用合理的涂料保护管道壁。通常运用的涂料有无机非金属涂料、环氧涂层以及改性涂层等。

天津港—华北石化原油管道的天津27 km 鱼塘虾池段埋地保温管道的防腐层采用吸水率低的普通级3层PE防腐。其余部分(定向钻穿越除外)埋地保温管道防腐层采用加强级熔结环氧粉末防腐层。定向钻穿越段属于强腐蚀地区,在大、中型河流定向钻穿越段采用加强级3层PE防腐。

3.3.1 无机非金属涂层

这种方法是对传统的涂层技术进行改进,运用新技术来提高管道的抗氧化与抗腐蚀能力。无机非金属涂层是将陶瓷类介质制成绝缘涂层,刷于管道的外壁之上,有效地防止管道的化学反应,确保金属管道的稳定性。除了陶瓷以外,还有玻璃、搪瓷等都可以制成涂料,不仅可以有效预防管道腐蚀,还能提高管道的耐磨性。这种技术在长期的实践中已逐渐成熟,广泛地应用于钢制石油管道工程中,其防腐效果显著,有效地延长了石油管道的使用寿命。

3.3.2 环氧涂层

环氧涂层技术较为复杂,不仅需要环氧材料、复合材料、黏合剂等,还需要配合涂料,配成新型的防蚀涂料。这种涂料机械性能高,适用于各种材质的石油管道,是现阶段最先进的防蚀技术,并且防腐能力强。

3.3.3 改性涂层

改性涂层是运用先进的纳米技术,运用有机和无机材料的涂层,实行改进之后,运用于石油管道防腐之中,具有较强的防水、防腐能力。

3.4 内衬层防腐

内涂层和衬里保护常用的内涂层有聚乙烯粉末涂层、环氧树脂粉末涂层^[9-10],也有采用可耐300℃左右高温的热喷玻璃防腐的新工艺,使管内的硫化氢等酸性气体无法与碳钢接触。采用环氧液体涂料内涂装工艺以及环氧粉末涂装,可对遭受严重腐蚀的管道进行返修。

复合管由于其优良的抗腐蚀能力得到广泛的应用,其内衬层采用抗腐蚀能力很强的材料,如316L、Ni625等,厚度一般为3 mm。外层为普通的管线钢。这样既能使管道的耐腐蚀能力得到很大提高,又能满足强度要求。按照生产方式的不同,复合管主要分为冶金复合管与机械复合管。

3.5 表面处理技术

良好的基层是防腐工程的最为基本保证^[11]。金属管道寿命在很大程度上取决于防腐质量,防腐质量又在很大程度上取决于涂层与基体的黏接程度,而黏接程度又取决于管道表面处理质量。在除锈质量、涂层厚度和施工条件诸因素中,除锈质量对整个防腐质量和管道使用寿命的影响是最大的。长期生产实践证明,除锈质量好的比除锈质量差的或未经除锈处理的防腐涂层的使用寿命要长3~5倍。因此,在防腐施工之前,必须将钢管、容器表面的氧化皮、铁锈彻底除掉。

4 石油管道防腐技术展望

现阶段,我国对石油管道的防腐处理都运用了科学的防腐技术,在管道工程建设的过程中进行防腐干预,如果防腐技术出现问题,将无法抑制腐蚀现象的发生。现行防腐技术只是单纯地预防腐蚀性物质与管道接触,无法从根本上解决管道腐蚀的问题。因而,通过对石油管道工程的深入了解,把开发防腐材料作为提高防腐技术的新方向,如运用新材料、新技术改变管道材料,让管道自身具有较高的防腐能力。避免因技术不足而引起的局部腐蚀现象发生,提高管道整体防腐能力。石油管道防腐工程还处在开发实践阶段,只有在发展中不断改进,把先进的科学技术运用到管道防腐之中,充分体现管道防腐的技术能力。

2 燃气轮机现状

目前国外先进的燃气轮机厂家主要有RR、GE、西门子、索拉等公司,其中RR公司航改型燃气轮机在全世界天然气管道上得到了广泛的应用,公司已累计向世界范围的用户交付了54 000台燃气轮机,该公司的燃气轮机功率主要在4.1~8 MW。GE公司燃气轮机在国内西气东输管道上已开始使用,其公司的燃气轮机功率主要在11~130 MW。索拉公司的燃气轮机系列产品大约占据世界同等功率范围燃机市场的60%,该公司的燃气轮机功率主要在1~22 MW,该燃气轮机在中国用户包括中石油、中海油和中石化,燃机总数超过180台。西门子公司的燃气轮机在世界范围内也广泛被使用,其功率主要在5~50 MW。

3 燃气轮机功率影响因素分析

燃气轮机功率影响因素主要有环境温度、海拔高度、进气损失、排气损失、性能损失、污垢损失、湿度,其中湿度对热耗有影响,对功率通常不需要修正。

(1) 环境温度

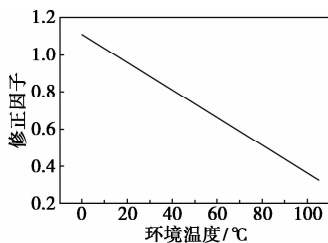


图1 温度影响燃气轮机功率修正图

对温度影响燃气轮机功率修正图(图1^[2])进行

定量处理,近似得到:

$$\eta_t = -0.00747t + 1.112119$$

式中, η_t 为温度对燃气轮机功率的修正值; t 为环境温度,°C。

由以上公式可见温度每升高10°C,燃气轮机的功率降低约7.47%。

(2) 海拔高度

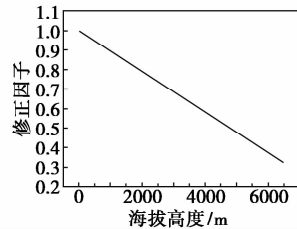


图2 海拔影响燃气轮机功率修正图

对海拔影响燃气轮机功率修正图(图2^[2])进行定量处理,近似得到:

$$\eta_h = -0.000103867h + 1$$

式中, η_h 为海拔高度对燃气轮机功率的修正值; h 为海拔高度,m。

由此可见,海拔高度每升高100 m,燃气轮机的功率降低1.03867%。

(3) 进气损失

进气损失是外面空气通过入口过滤器和消音器时产生的压降。

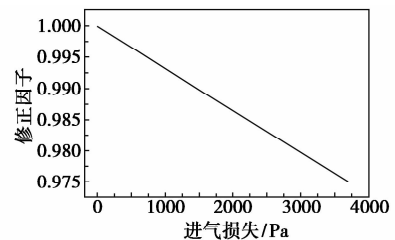


图3 进气损失影响燃气轮机功率修正图

(上接第197页)

参考文献

- [1] 漆萍.我国石油管道防腐技术取得新突破[J].炼油技术与工程,2013,(4):17.
- [2] 吴青.浅议油气输送管道腐蚀的原因及防腐措施[J].科技资讯,2012,(9):33.
- [3] 王玉春.绥靖油田腐蚀现状及腐蚀机理研究[J].榆林学院学报,2009,19(2):63-64.
- [4] 王平.对有阴极保护措施的埋地输油管道腐蚀现象的分析[J].油气储运,1991,10(2):33.
- [5] 王泉.以管道防腐为例浅谈防腐材料技术的新发展[J].科技创新导报,2014,(13):135.

- [6] 张绍举.石油管道硫化氢腐蚀与防护对策分析[J].石油化工设备技术,2011,(6):35-38.
- [7] 李江.石油管道勘察项目管理流程及应用[J].现代商业,2012,(21):154-155.
- [8] 王书浩,孟力沛.秦京输油管道腐蚀机理分析及腐蚀检测[J].油气储运,2008,27(2):36-39.
- [9] 胡洪宣,李明.埋地油气混输管道的腐蚀机理与防护研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(6):367-368.
- [10] 张宝岭,陈玉华,孟凡刚,等.管道无机非金属防腐涂层研究现状[J].管道技术与设备,2005,(2):36-38.
- [11] John E Strutt, Keith Alis opp, David Newman. Reliability prediction of corroding pipelines[J]. Pipeline Technology, ASME 1996,(5):495-509. ■