

石油天然气管道防腐质量控制探讨

熊凡玖（国家管网集团西气东输公司南昌输气分公司，江西 南昌 330038）

摘要：能源需求量不断增加的情况下，油气管道作为一种主要的能源运输手段，其防腐质量控制就变得非常重要。论述了油气管道防腐的重要意义，对现行防腐技术的使用状况进行了分析，着重对施工中的质量保证进行了探讨。本文首先对管线的腐蚀类型及其影响因素进行了简要的论述，并就防腐材料的选择、施工工艺、检测方法及维修保养等方面进行了较为详尽的论述。

关键词：石油天然气管道；防腐质量控制；施工技术；检测方法；维护策略

石油与天然气是世界上最主要的能源之一，对人类的生产、生活起着举足轻重的作用。油气管道是连接生产基地与用户基地的纽带，其安全稳定对保障能源的可靠供给具有重要意义。长时间服役于多种苛刻条件下，其腐蚀问题已成为制约其安全运行的重要原因。为了保证管道的长期、平稳运行，必须对其进行质量控制。

1 石油天然气管道腐蚀问题分析

1.1 腐蚀类型

1.1.1 化学腐蚀

石油天然气管道，是在无外加电场的条件下，使管道与外界酸、碱、盐等介质发生化学腐蚀，引起管道的退化和失效。管道的腐蚀主要集中在管道与外界介质的接触面上，其腐蚀速度与管线的化学性质、管道材料的化学稳定性、工作条件的温压等密切相关。化学侵蚀属于表层侵蚀，会造成管壁厚度减薄、强度降低，甚至引起渗漏甚至断裂，对管道的安全运行造成极大的危害^[1]。

1.1.2 电化学腐蚀

石油天然气管道的电化学腐蚀是常见的腐蚀形式，涉及介质中与介质进行电化学反应，使其失效。在此过程中，管道内壁会生成大量的金属纳米颗粒，这些颗粒以金属离子为阳极，以金属离子为负极，碳或其他杂质作为阴极，从而发生电化学反应。环境湿度、温度、pH值、溶解氧含量、管材的电化学性能等都会对其进行影响。石油天然气管道的电化学腐蚀既有整体的，也有部分的。总体腐蚀一般是均匀的，但点蚀和缝隙腐蚀等局部腐蚀却会出现在某些部位，并且破坏力更强。采用防腐涂层、阴极保护（例如：牺牲阳极保护）和加入阻锈剂等，降低其对环境的危害。在此基础上，采用交流阻抗、线性极化电阻、电化学噪音等多种电化学检测手段，对管道的锈蚀状态

进行实时监控、实时保护。

1.1.3 微生物腐蚀

微生物侵蚀（MIC）是由硫酸根还原菌（SRB）、铁细菌（IB）、腐生细菌（TGB）等组成，通过在管壁上生成生物被膜，进而影响点蚀的发生。微生物通过其生命活动影响金属的腐蚀过程，包括促进或抑制腐蚀的电极反应，改变周围环境条件，如溶解氧、盐度、pH值等，以及通过代谢产物促进腐蚀。例如，SRB通过还原硫酸盐产生硫化氢，增加了腐蚀电池的电动势和金属腐蚀的敏感性。SRB能将硫酸盐还原为H₂S，从而提高其对腐蚀性的敏感程度。在此基础上，综合运用电化学、生物分析、辐射检测、显微及生物传感等手段，建立基于风险评估、物质传递和电化学机制的预测模型^[2]。然而，微生物芯片检测体系的复杂程度决定了其在微生物污染发生发展中的作用。

2 腐蚀影响因素

2.1 环境因素

石油天然气管道腐蚀是受到土壤化学成分、温压变化、输送介质腐蚀性物质、管道材料抗腐蚀性、杂散电流干扰、大气条件和流速等多方面的综合影响。由于多种环境条件的共同作用，可能造成管线发生化学腐蚀、电化学腐蚀或生物腐蚀，从而造成管壁变薄或穿孔，增加管线的泄漏风险，为此，应采取防腐涂层、阴极保护、严格选材及维修保养等多种手段，以延缓管道腐蚀，保证管道的安全，提高其服役年限。

2.2 材料特性

石油天然气管道的腐蚀是一项十分复杂的工艺，材料的化学组成、组织结构、力学性能以及表面改性等因素均会对金属的耐蚀性能有重要的影响。比如，管道钢材的强度等级，晶粒尺寸，夹杂物的含量，和焊接过程都会对其耐腐蚀性产生影响。高强钢材中氢扩散速率与其力学性能密切相关，但高强钢中氢扩散速率偏小，容

易造成氢在局部聚集，进而引发氢致开裂。另外，通过改性管道表面，可以提供额外的保护层，降低其与管道的直接接触，达到延缓管道锈蚀速度的目的。石油天然气管道的设计与选用时，应充分重视其性能，以保证管道具有良好的防腐性能和较长的使用寿命。

3 管道防腐技术概述

3.1 防腐涂料

3.1.1 传统涂料

传统涂料在石油天然气管道防腐中起到了很大的推动作用，但是，随科技进步，以环保高效为代表的新型涂料正日益成为人们关注的焦点。采用静电喷涂和高温固化的方法制备的涂料，由于其无溶剂，环境友好，涂膜均匀，已逐渐取代了常规的涂料。但是，传统涂料因其造价低廉，施工工艺成熟，至今仍是众多建筑施工的第一选择^[3]。在环境保护要求日趋严苛以及对高性能涂料的要求下，改善现有涂料，开发环境友好型涂料仍是当前涂料研究的热点。

3.1.2 高性能涂料

高性能的石油天然气管道防腐涂料是针对管道的特殊要求而研制的一种新型涂料，其具有优良的耐化学稳定性、耐温变性及耐大气腐蚀性，可在高温高压下对管道起到一定的防护作用。该涂料采用环氧树脂，聚脲，氟碳等高效树脂，在涂层表面形成一层连续无孔隙的保护膜，将水、氧及腐蚀性的物质隔绝开来。另外，他们也可以加入一些特别的附加物质，例如抗氧化剂，紫外线吸收剂，以及微生物抑制剂，以达到更好的保护作用。

3.2 防腐层材料

3.2.1 聚乙烯涂层

聚乙烯（HDPE）涂层是一种常用的管道外部防腐蚀工艺，其主要特点是在管道的外表面上形成连续、均匀、封闭的防护层，有效地将土壤、水及腐蚀性介质与钢管之间的直接接触。该涂层化学稳定性高、抗环境应力开裂能力强、力学防护能力强，可有效防止土壤化学及微生物对其的侵蚀，降低由外界力学破坏引起的管线腐蚀。PE涂层一般是通过特定的卷制或挤压成型技术，使涂层与管道的外表面形成一种完美的无缝连接，使其具有长效可靠的防腐功能。

3.2.2 环氧树脂涂层

环氧树脂涂层是一类用于石油天然气管道的防腐涂料，其主要成分为环氧树脂基料、固化剂及各种助剂，在钢管的外表面涂敷一层具有较好附着力的薄膜。该涂料耐化学腐蚀，机械强度高，电气绝缘等优良特

性，可防止土壤腐蚀，抗水，抗微生物腐蚀，提高管道的使用寿命。环氧树脂涂覆技术对涂膜质量及涂膜质量提出了严格的要求，其应用范围广泛，适合于苛刻的土质或高腐蚀性地区，具有良好的防腐蚀性能^[4]。

3.2.3 玻璃钢

玻璃钢（FRP）是以玻纤为基体，将玻纤与各种不同类型的树脂（如环氧树脂，不饱和聚酯树脂等）进行复合，形成轻质、高强、抗侵蚀的涂层。玻璃纤维增强塑料制品的耐酸碱、耐酸、碱、盐、有机溶剂等多种介质的综合作用，并具有优良的防水和防腐性能，适合在多种苛刻的环境中使用。将玻璃纤维布用于钢管的内衬或保护，可以有效地避免由于腐蚀引起的损坏与渗漏，提高了管道的耐久性与安全性能。同时，由于其优异的耐紫外、耐高温等特性，使得该产品在室外长期服役，已成为油气管道领域的一种主要防腐材料。

3.3 外加电流阴极保护

外加电流阴极保护是一种高效的电化学防护技术，广泛应用于石油天然气管道防腐领域。它通过连接外部直流电源至辅助阳极，直接向管道等金属结构施加阴极电流，使金属表面富集电子并发生阴极极化，有效降低甚至完全抑制金属腐蚀。这种方法由辅助阳极、参比电极、智能控制的直流电源及相关连接电缆组成，能够根据环境条件的变化自动调节保护电流，确保管道始终处于良好的保护状态。外加电流阴极保护技术的优势在于其保护效果好、施工周期短、成本相对较低，但也需要注意电流密度分布的均匀性和电极材料的选择，以确保技术的可靠性和有效性。

4 管道防腐质量控制的关键环节

4.1 材料选择与检验

4.1.1 材料性能标准

防腐材料性能标准是指为保证管线在不同工况下的长时间、稳定工作而制订的一套技术规程。这类准则一般包含了防腐蚀物质的物理性能，化学稳定性，耐环境腐蚀性能和应用技术^[5]。比如，防腐蚀的材料要求有很好的附着力，耐高温，抗化学腐蚀，并能在高温高压下保持稳定。同时，对材料的环境友好性以及其长远的经济效益也应加以重视。在使用过程中，应严格遵守 ISO、API（美国石化）等有关国内外规范，并结合中国天然气管道系统等多个领域的规范。该规范覆盖了从材料实验到现场施工的所有阶段，保证防腐涂层的品质，保证管道的安全。比如，《石油、石化和天然气工业用涂层和衬里对立管进行外腐蚀防护

第2部分:立管防腐层的维护和现场修复》就是专门针对海上立管的防腐层维护和修复方法的标准,它规定了保护涂层系统的选择标准和最低要求,以及维护和修复的具体技术内容。

4.1.2 材料入场检验

入场检验一般涉及到材料的物理性质,化学稳定性,耐环境腐蚀的性能,和施工工艺。根据《管道防腐层性能试验方法》(SY/T 4113)的有关规范,进行耐划伤测试,剥离强度测试,阴极剥离测试,抗拉剪切强度测试,弯曲强度测试,硬度测试,厚度测试,耐磨损能力测试,抗液体介质浸泡能力,冲击强度测试,漏点测试等。同时,考虑到材料的环境友好性与长效经济性,保证其在高低温高压下的稳定运行,并具有良好的抗环境能力。入场检验可为合理选用防腐蚀材料,保证结构设计的安全性,防止脆性断裂。

4.2 防腐层施工过程控制

4.2.1 施工环境要求

在石油天然气管道防腐层施工过程中,施工环境的要求是至关重要的。根据《石油天然气站场管道及设备外防腐层技术规范》(SY/T 7036-2016),防腐材料应存放在通风、干燥的环境中,并防止日光直射和隔离火源。在装卸和运输过程中,要避免剧烈碰撞和雨淋,不得与腐蚀性或易燃物品混装。此外,施工现场应具备有效的消防措施和防护设备,以确保施工人员的安全和环境保护。在进行防腐层涂敷时,环境温度和湿度条件也需符合特定标准,以保证防腐层的质量和耐久性。

4.2.2 施工工艺规范

制定严密的施工技术规范,是保证石油天然气管道防腐层质量、保证管道长期稳定运行的关键。其主要内容有:对管道进行全面的前处理、选用适当的防腐蚀材料、涂层、卷绕的技术、适用于各种不同的环境。为满足《石油天然气站场管道及设备外防腐层技术规范》(SY/T 7036-2016)的规定,对管道的防腐层外观、厚度及结合强度进行检测,确保其在不同工况下的使用寿命与安全。

4.3 质量检测与评估

4.3.1 外观检查

外观检查一般包括对管道,绝缘层,防腐涂层,悬挂装置,支撑,阀门,法兰和扩展接头等进行细致的外观检查。对其进行检验,主要是确认其内部无渗漏,隔热层与保护层完好,且无异常震动,变形或

位移。另外还要注意悬挂装置有无松弛或扭曲,支撑部件有无破裂或其它破损,有无腐蚀,有无裂纹,有无其它故障,有无凸缘或扩张接头有无破损或渗漏。为保证管道的整体安全性,对管道的检验,一般参照GB/T 51172-2016《在役油气管道工程检测技术规范》进行检验。

4.3.2 厚度测量

为了保证管道的质量达到规范,对管道的施工工艺进行了严格的控制。对新建的管道,在投入运行之前,应先对其进行定位,并获取其初始壁厚资料。另外,按照GB/T 51172-2016《在役油气管道工程检测技术规范》规定,用超声波测厚仪进行管壁厚度的测定,并且要根据被测管线的管壁温度选用合适的探头和耦合剂。

5 结束语

石油和天然气作为全球能源的重要组成部分,通过对石油天然气管道防腐技术进行全面的剖析,探索出一种行之有效的质量管理方法,以期达到改善管道防腐效能、延长管道服役寿命的目的,进而保证我国的能源供给与环境安全。在此基础上,结合工程实际,从材料选择、施工工艺、检测技术、维修管理等多个角度,建立起一套完整的管道防腐蚀管理体系,为我国油气管道防腐工程的研究与应用奠定基础。

参考文献:

- [1] 张榕起,孙龙飞,谢刚刚,谭伟龙.浅谈石油天然气管道防腐质量控制方法[J].石油化工建设,2023,45(z1):73-75.
- [2] 谢刚刚,于长胜,李震铭.浅析石油天然气场站设备及管道防腐保温质量控制[J].石油化工建设,2023,45(z1):70-72.
- [3] 张富春,DUAN HONG,等.长输天然气管道防腐补口施工质量控制[C]//第三届中国油气储运技术交流大会论文集,2012:379-383.
- [4] 蒋学林,孙伟,刘清民.FBE复合覆盖层天然气管道外防腐施工实践[J].科技情报开发与经济,2004,14(4):247-248.
- [5] 王浩,薛立勇,张福永.埋地长输管道防腐方法及质量控制的要点分析[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(9):15-16.

作者简介:

熊凡玖(1988-),男,汉族,江西赣州人,本科,中级工程师,研究方向:长输管道腐蚀控制。