

油田天然气管道检测及管道的防腐蚀控制策略

李明龙（中石化胜利海上石油工程技术检验有限公司，山东 东营 257000）

摘 要：石油天然气需求增加的过程中，大量建设了石油天然气管道工程。因为石油与天然气资源的特殊性，对管道敷设等的要求较高。做好管道检测及防腐工作，可降低石油天然气输送风险，减少石油天然气泄漏造成的火灾、爆炸等事故。虽油田天然气管道检测及防腐技术越发先进、多样，但每种技术都有各自的适用条件，必须选择更为适用的检测与防腐技术，以保障管道安全。基于此，本文重点分析油田天然气管道检测技术及防腐策略，以期为实际工作提供参考与借鉴。

关键词：油田天然气管道；检测技术；管道防腐

随着油田天然气管道项目的增加，管道安全日渐成为了行业的关注重点。通过管道检测与防腐，可创造相对理想的石油天然气输送条件。行业内针对油田天然气管道检测及防腐陆续出台了各项技术标准，实际的工作中必须参考这些标准，根据石油天然气管道情况，科学选择管道检测技术及防腐工艺，以实现管道问题的早发现、早处理。许多企业在油田天然气管道检测及防腐方面还存在技术及管理问题，未来这些企业需立足现状，按照行业规定，创新管道检测技术及管理措施。

1 油田天然气管道检测技术

1.1 直接检测

1.1.1 人工巡逻检测

油田天然气管道检测方面，人工检测由来已久，就是由人工在管道敷设区域展开一系列实地巡查。传统的工作模式下，为检测油田天然气管道是否存在渗漏问题，专业人员率先确定管道沿线的情况，实现合理分段，每一分段再安排专人进行巡逻检测。相对而言，人工检测方式很难发现管道问题，只有在严重泄漏时，石油或天然气可在地面肉眼可见或者气味散开，方可被发现，造成的损失较大。因此，人工巡逻检测的便捷性不高，无法第一时间发现管道泄漏等问题。当前技术进步的过程中，直接检测法较为常用，需借助便携式检测设备来检测微量泄漏。该设备的灵敏度高，可快速发现管道是否存在泄漏，完成定位。

1.1.2 电缆泄漏检测

针对油田天然气管道检测，电缆泄漏检测的应用频次较高、效果理想。检测时需准备油溶性电缆等特殊电缆，一旦局部位置管道存在泄漏问题，必将引发电缆性能的变化，此时通过检测电缆性能，可依据检测结果判定是否存在管道泄漏情况，并确定泄漏点位

置。电缆泄漏检测方法的便捷性较高，能获取高精度检测结果，使相关人员能利用结果锁定泄漏点位置，采取更有针对性的修复措施^[1]。但是，电缆泄漏检测也存在缺点，并非全部电缆都适用，需要使用特殊材质、性能的电，这类型专用电缆的生产难度大、成本高，且电缆仅能进行一次泄漏检测，更换频繁。

1.1.3 光线泄漏检测

利用光线泄漏法检测油田天然气管道时，需提前准备光缆，用光缆来测定管道泄漏时的温度、压力等参数，与此同时，由分布式传感器传输检测信号，通过分析信号来确定泄漏点位置、影响程度等。油田天然气管道检测中，光线泄漏检测的方法为：光纤布拉格光栅，主要需获取纤芯的折射周期值、变化规律，以此确定管道泄漏缺陷；使用光时域反射仪，依据此仪器采集的光纤信号，分析光纤的均匀度，确定光纤曲线，检测管道泄漏情况；采用干涉型泄漏检测技术，通过混合光纤干涉原理，测定泄漏点附近声音^[2]。

1.2 间接检测

1.2.1 物质平衡法

此方法测定油田天然气管道泄漏时引入了物质平衡原理，关键是要获取管线两端的油气流量值，计算两端数值的差异，在此条件下相关人员能准确判定管道是否出现泄漏问题。物质平衡法虽属于一种间接检测法，但此方法应用效果相对理想，无论为轻微的油气泄漏还是严重的油气泄漏问题，利用此方法均可获取管道缺陷情况，以安排专人快速修复。但是，物质平衡法检测管道缺陷时也存在一定的限制，就是一旦油气流量差计算结果不准，检测精度大大降低。

1.2.2 压力检测法

为获取油田天然气管道是否存在泄漏问题，有关人员也需科学利用压力检测法，此方法检测的本质就

是获取、分析压力检测信号。目前压力检测法方面产生了很多理论和实践成果,按照现有情况,主要可细分为两种方式:①压力梯度检测,仅以压力信号作为判定管道泄漏的依据,无需在管道中间布设中间泵、流量计;②波敏检测法,此方式下需计算管道上下游中间的负压力波时差,再综合管线长度等基本因素判定管线泄漏问题。波敏检测法的可靠性、灵敏度高。

1.2.3 放射性检测法

管道检测中放射性检测法也较为常用,但需要注意的是,此方法被用在油田天然气管道时,需向管道中投放一定的放射性物质,如碘-131、钠-24等。此后,利用示踪计检漏仪检测管道周边的土壤情况,如测定结果中显示土壤中存在放射性物质,则说明油田天然气管道存在泄漏问题。但需要注意的是,利用此方式时可能伴随着一定的污染问题,且无法快速获取检测结果,成本投入高。

2 油田天然气管道腐蚀类型

2.1 化学腐蚀

管道在输送石油和天然气资源时,发生化学腐蚀的可能性较大。比如,以石油为例,其中的烷烃、硫化物等含量较高,一旦某种成分直接接触管道,将伴随着化学反应,加剧管道腐蚀。具体来说,管道中的活性金属铁元素、石油中的硫化物,两种物质一旦接触,将导致管道的局部腐蚀。另外,一些油田天然气管道长期裸露,管道金属物质与空气中的部分成分之间也会反应,引发管道腐蚀,这一过程也是化学腐蚀。

2.2 电化学腐蚀

对于油田天然气管道的电化学腐蚀,主要因电荷运动所导致。管道在输送石油和天然气时,因为很多管道长期埋设于地下,在潮湿的地下环境影响下,金属管道表层可能产生一层非常薄的水分子,一旦接触到其他杂质,将引发电化学腐蚀。具体来说,电化学腐蚀因管道环境中的电解质较多,易发生电解反应,电解金属离子所引起。

3 油田天然气管道防腐措施

3.1 药剂防腐

为提高油田天然气管道的防腐性能,药剂防腐较为有效,主要采取以下方法:①使用防腐杀菌剂,此方法的成本较低,能取得理想的管道防腐效果。具体应用时,可在单井井口中添加防腐杀菌剂,也可在管道系统中添加,特别是在部分SRB油套管中,除了需考虑添加的防腐杀菌剂种类,还需要严格控制用量;

②在管道中添加适量的缓蚀剂。针对长输石油天然气管道,通过添加缓蚀剂,可延缓腐蚀发生时间。目前市场上陆续出现了多种类型的缓蚀剂,为凸显缓蚀剂在管道防腐方面的作用,相关人员必须结合管道材质、防腐要求等,经综合对比选出最佳缓蚀剂。不同缓蚀剂的防腐机理存在明显差异,一些缓蚀剂靠吸附来达到防腐目的,部分通过氧化反应、沉淀反应等实现管道防腐^[3]。通过这些作用,可有效减小钢质管道等的腐蚀速率。一些石油天然气管道处于强酸弱碱环境,发生腐蚀的几率较高,从腐蚀原理来看,添加适量的酸性介质缓蚀剂,缓蚀剂能与水反应,电力处腐蚀性 H^+ ,与缓蚀剂中的 H^+ 构成带有正电性质的共轭电对物质,在管道表面带正电,应对土壤酸环境对管道的腐蚀。

3.2 阴极保护

阴极保护可实现油田天然气管道防腐,但依据操作过程,可细分为牺牲阳极保护、外加电流保护两种。虽两种方法的原理高度相似,但适用条件有所区别。如油田天然气为长输管道,且为大管径管道,外加电流保护法能达到理想的防腐效果。但此过程中也需要注意,以牺牲阳极作为辅助方式,强化管道的抗腐蚀性。围绕阴极保护防腐处理,可能导致阴极保护端的电流流失,为控制此现象,工艺管道的进出口位置应进行专门化处理,安装电绝缘装置。另外,为构成更为耐用的防腐层,保持绝缘装置可靠运行,在绝缘接头处应使用锌接地电池。一些油田天然气管道跨河敷设,为符合防腐规定,在河流岸边应分别安装一组锌合金电池,创造牺牲阳极条件来实现管道防腐。

3.3 内涂镀层

内涂镀层方式在油田天然气管道的防腐方面,主要侧重于处理管道内部,就是在管道内部喷涂一层惰性防腐涂料,构成防腐保护层。当在管道内壁涂抹防腐涂料后,不仅能确保管道内壁的光滑度,减小石油资源输送时对管道内壁的摩擦,还因惰性材料的特点,在管道内壁构成了一层实用、耐用的防腐保护层,可通过隔离来抑制管道腐蚀。内壁涂抹防腐材料时需注意材料的选择,如可利用环氧粉末材料。

以热熔结环氧粉末涂料涂装为例,施工过程中主要需注意以下方面:①处理管道表面。涂抹热熔结环氧粉末涂料之前,为保障涂料与管壁的黏结性,有关人员需在管道表面喷砂。具体来说,利用高压空气喷出钢砂,逐步冲击管道表面,去除表面的各类杂物。

同时,在高压冲击下构成的锚纹,可增大底材、涂层的接触面积,促进涂料与管道的黏结,以确保在管道表面可构成一层完整、有效的涂料防腐层。需要注意的是,喷砂过程中相关人员需注意控制压力大小及喷砂速率;②预热管道。喷砂工作结束并经由专业化处理后,引入中频电磁涡流,适当预热管道,增大管道温度,为喷涂涂料创造良好条件;③喷涂。主要应利用静电喷涂工艺,由于此工艺的专业性,必须由专人负责此项工作。如操作人员需将静电喷枪固定于管道外壁一周,通过粉末输送管来输送热熔结环氧粉末,持续向喷枪供应涂料;规范操作喷枪工具,在管道外壁均匀、完整地喷涂一层涂料。喷涂作业中需注意控制涂层厚度,一般单层热熔结环氧粉末涂料的喷涂厚度为 $300 \sim 400 \mu\text{m}$,双层喷涂的情况下,涂层厚度保持在 $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 之间^[4];④固化。喷涂工作结束后,相关人员需检查喷涂情况,评估现场作业是否与施工要求相一致,当喷涂作业完全符合规范后,通过管道预热来加速粉末的固化。当涂料涂层完全固化后,在管道表面适当淋水,此过程与淬火过程高度一致,需遵循相应的操作规范,控制作业时间、参数;⑤检验。涂层喷涂作业全面完成后,应由专人检验施工效果。一旦喷涂效果不达标,后续将无法体现涂料喷涂的防腐保护作用。检验时相关人员需全面核对现场作业与施工标准,在有问题时及时反馈问题并修复。

3.4 聚氨酯泡沫保温管保温防腐施工

一些油田天然气管道的防腐施工中,除了需进行基本的防腐处理外,还需要注重保温施工,以通过防腐与保温形成特殊的管道结构,增强管道性能。以聚氨酯泡沫保温管保温防腐施工为例,保温管在专业工厂预制而成,其保温防腐结构为:内层为 3LPE 防腐管道,管道中间覆盖硬质聚氨酯泡沫保温层,外层为高密度聚乙烯保护层。近年来油田行业对管道防腐施工提出了严格要求,上述这种保温防腐工艺的应用范围逐步扩大,成为了行业的研究热点。在聚氨酯泡沫保温管保温防腐施工中,主要需关注以下方面:

①预热油田天然气管道。为达到预热温度,有关人员需率先将管道运输到车间,中频电磁涡流进行预热,预热温度为 $45 \sim 65^\circ\text{C}$ 。为避免预热过程中出现超温等现象,有关人员需使用红外线测温枪经常性测量预热温度,一旦温度达到要求,结束预热操作;

②制作乙烯外护管。此过程中需选用符合要求的聚乙烯专用料,将通过检验的材料放入自动上料机,

启动设备将聚乙烯粒料抽送到挤出机加热料仓。此后适当预热材料,再将加热后的材料输送到挤出机,经搅拌挤出、真空定径、冷却、牵引等生产出特定规格的聚乙烯外护管;

③直管保温。同时将防腐管、乙烯外护管置于顶管车床,通过操作车床顺利将防腐管顶进外护管中。顶进作业对操作有严格规定,必须保障每一人员严格执行作业要求,每顶进特定距离,在防腐管外侧设置一组支撑模块;

④发泡。防腐管按照相应要求顺利穿管后,应立即启动发泡车床,通过严格控制相应参数来发泡,以增强内层防腐管、外层保温管的整体性。同时,在此过程中相关人员需在封堵管道两端,利用法兰来实现封堵,当封堵作业全面结束后,有关人员还需依据总体的操作规范,调整发泡平台倾斜角度,实现液体异氰酸酯、聚乙烯多元醇的高压混合,将混合物注入外护管与钢管之间,发泡以后开始切割管段;

⑤切割。利用线位切割机来进行切割,相关人员需根据管道长度,在防腐管两端预留足够长度,按照要求来切割。

4 结束语

综上,油田天然气管道的检测及防腐工作尤为重要,这些工作与管道安全存在直接联系。目前油田天然气管道检测及防腐方面取得了一定的研究成果,无论是在理论还是实践方面。但油田天然气管道检测及防腐方面依旧存在,未来相关人员需立足现状,不断研究和应用管道检测、防腐的新技术。

参考文献:

- [1] 汪仙明,靳培培,王傲,曹瑞麒,舒琦琳.石油天然气管道腐蚀与防护[J].辽宁化工,2023,52(11):1602-1605.
- [2] 张小兵,刘超,王鲁鹏,刘鑫.基于 PCM 联合检测技术的某天然气长输管道防腐层检测及开挖验证[J].全面腐蚀控制,2023,37(06):118-122.
- [3] 戴翔,刘云轩,陈湘清,刘翔.穿越江河天然气管道外腐蚀检测技术应用研究[J].石油和化工设备,2022,25(09):155-159.
- [4] 王爱玲,冼国栋,余东亮,赵雄,黄文,胡绍磊,陈程.西南山区某油气并行管道阴极保护系统相互干扰检测分析[J].材料保护,2021,54(01):167-173+177.

作者简介:

李明龙(1988-)男,回族,山东菏泽人,本科,工程师,研究方向:设备检验,安全生产。