

# 埋地油气管道外防腐层检测与修复研究

蔡 楠 (管网集团(徐州)管道检验检测有限公司, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 在能源输送体系中, 埋地油气管道作为保障能源稳定供应的基础设施, 其质量安全问题日益受到关注。由于管道长期深埋地下, 其所处环境的土壤复杂性容易引发管道的腐蚀及磨损, 定期性的油气管道外防腐层检测可以帮助相关人员及时发现管道的腐蚀缺陷, 从而采取相应的维修及更换措施, 可有效降低腐蚀事故的发生概率。本文通过对埋地油气管道外防腐层的作用的探讨, 对埋地油气管道外防腐层检测及修复技术进行研究, 旨在提高油气管道的运行安全与效率。

**关键词:** 埋地油气管道; 外防腐层; 检测与修复

中图分类号: TE988.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 022-0070-03

## Research on Detection and Repair of Buried Oil and Gas Pipeline External Anti-Corrosion Layer

Cai Nan(Pipeline Network Group (Xuzhou) Pipeline Inspection and Testing Co., Xuzhou Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** In the energy transportation system, buried oil and gas pipelines, as an infrastructure to ensure the stable supply of energy, are increasingly concerned about their quality and safety. As the pipeline is buried deep underground for a long time, the soil complexity of the environment in which it is located can easily cause corrosion and wear of the pipeline, and regular testing of the external anti-corrosion layer of oil and gas pipelines can help the relevant personnel find the corrosion defects of the pipeline in a timely manner, so as to take corresponding repair and replacement measures, which can effectively reduce the probability of the occurrence of corrosion accidents. This paper discusses the role of the external anti-corrosion layer of buried oil and gas pipelines, and researches the external anti-corrosion layer detection and repair technology of buried oil and gas pipelines, aiming to improve the operational safety and efficiency of oil and gas pipelines.

**Keywords:** Buried oil and gas pipelines; External anti-corrosion layer; Detection and repair

在当今能源主导发展的时代发展趋势下, 油气资源的稳定高效输送直接关系到现代能源体系和现代综合交通体系的有效构建, 其中埋地油气管道凭借输送量大、成本低且连续性强等优势, 成为油气资源长距离运输的核心方式, 而油气管道外防腐层作为隔绝管道与恶劣土壤环境的重要防护层, 能够有效减小埋地因素对管道的不利影响。因此针对埋地油气管道外防腐层的检测与修复研究能够保障能源的输送安全, 从而助力经济社会在能源驱动下的高质量发展。

### 1 埋地油气管道外防腐层检测方法

#### 1.1 交流电位梯度法

交流电位梯度法 (ACVG) 是一种基于电磁学原理的埋地油气管道外防腐层检测方法, 其核心原理是利用交变电流在管道中的传播特性, 将交流电置于管道内, 当外防腐层出现破损时, 施加于管道的交流电流会在破损处泄漏至土壤, 形成以破损点为中心的环形电位场。通过特制的 A 字架等检测设备, 在管道上方地面检测电位梯度变化, 从而实现对防腐层破损点的精准定位。

该检测方法能够帮助检测人员快速扫描管道沿线并在短时间内完成长距离管道的初步排查, 凭借检测效率方面的技术优势, 极大程度上提高了检测工作的

推进速度。同时由于其较高的定位精度, 检测人员可运用该方法准确确定破损点的平面位置, 从而为后续修复工作提供精确指引。然而交流电位梯度法也存在局限性, 由于其检测依赖于电流在土壤中的传导, 在沥青混凝土、水泥路面等特殊地面条件因素的干扰下, 土壤与管道之间的电接触不良, 会导致检测信号传输受阻, 检测效果会受到影响并产生一定误差。因此在使用交流电位梯度法进行埋地油气管道外防腐层检测时, 需要综合考虑地面条件、土壤电阻率等多重因素来确保检测结果的可靠性。

#### 1.2 直流电位梯度法

直流电位梯度法 (DCVG) 是适用于有外加电流阴极保护系统的一种埋地油气管道外防腐层检测技术, 其检测原理与应用特性使其在管道检测领域发挥着重要作用。该方法通过在管道上施加直流电源, 利用阴极保护电流在管道中的流动特性, 当电流通过管道内部破损的位置时, 就会通过土壤的介质作用进行传输, 在破损区域形成一个电位梯度场, 电位梯度场会随着破损位置的距离变化而改变, 位置越远, 产生的电流密度值越低, 那么相对的电位梯度场就会减弱, 从而提示检测人员在该位置处管道出现了破损<sup>[1]</sup>。检测人员通过测量破损点周围两电极间的电位变化, 不

仅能够精准定位破损点，还可以根据电位梯度曲线的特征，评估破损面积大小和严重程度。

直流电位梯度法受外界环境干扰相对较小，在检测过程中，即便在土壤电阻率较高或存在其他电磁干扰的复杂环境中，直流电位梯度法依然能够保持稳定的检测性能与较高的检测精度，其检测结果不易受到地面材质、湿度变化等因素的显著影响，还能够同步监测管道阴极保护系统的运行状态，因此在多种复杂工况下均表现出良好的适应性，并为管道的长期安全维护提供数据支持。然而直流电位梯度法也存在一定的应用局限性，其对阴极保护电流的依赖性较强，当管道未实施阴极保护或阴极保护电流不足时，该方法无法正常开展检测工作，在一定程度上限制了该检测方法的广泛应用。

### 1.3 密间隔电位测试法

密间隔电位测试法（CIPS）是一种用于评估埋地油气管道阴极保护效果及检测防腐层缺陷的高效技术。该方法是通过密集测量和分析管道沿线电位，根据管道沿线电位感应情况进行判断<sup>[2]</sup>，获取外防腐层的整体状况信息。检测人员沿管道以密间隔的方式连续测量管道对参比电极的电位，并绘制管道沿线的管地电位分布曲线，从而获取管道沿线的电位分布数据。当管道外防腐层存在破损时，破损处的管道金属会失去防腐层的保护，导致该区域的电位发生异常变化，通过对正常区域与异常区域的电位差异，即可实现对防腐层破损点的精确定位，同时能够帮助检测人员判断外防腐层是否存在破损、老化等问题，以及阴极保护是否达到有效保护水平，通过可视化分析可以判断出防腐层的总体平均质量优劣状况<sup>[3]</sup>。

密间隔电位测试法可以全面、系统地评估管道外防腐层的整体状况，并能够连续、高效地采集大量电位数据，通过数据分析软件对采集到的电位数据进行处理，从而可以直观地展示出沿线微小的电位变化并灵敏地识别防腐层缺陷，快速准确地确定防腐层的破损位置。此外，该方法还可以直观地反映阴极保护电流的分布情况，帮助检测人员对阴极保护系统的保护效果进行科学系统的评估，从而为管道的维护和管理提供数据支持。然而，密间隔电位测试法的检测过程较为复杂，检测人员需要使用同步电流通断器、高精度的电位测量仪等多种专业设备进行协同作业，对于管道的测量成本较高。同时密间隔电位检测工作对人员的专业技能要求严格，操作人员不仅需要熟练掌握设备的使用方法，还需具备数据分析和解读能力，才能从大量的检测数据中准确判断管道状况，由于检测点设置密集，数据采集量大，后期的数据处理和分析

工作也需要耗费大量时间和精力，因此在实际应用过程中，密间隔电位测试法通常与其他检测方法联合使用，以保障埋地油气管道的安全运行。

## 2 埋地油气管道外防腐层修复方法

### 2.1 局部修复技术

局部修复技术针对埋地油气管道外防腐层的小面积破损、局部缺陷进行修复，从而帮助检测人员通过精准干预快速恢复防腐层。从技术原理方面，局部修复主要依赖高性能修复材料与精细化施工工艺的有机结合，利用防腐胶带通过特殊配方的胶粘剂与管道表面进行紧密贴合，并形成物理隔离层阻止腐蚀介质侵入油气管道外防腐层。同时在施工过程中对破损区域进行彻底的表面处理，技术人员通过清除油污、铁锈及松散涂层使管道金属表面达到一定的清洁度与粗糙度标准，从而增强修复材料的附着力。之后根据外防腐层的破损尺寸与形状选择合适规格的防腐胶带进行缠绕或粘贴，在此过程通过严格把控胶带的搭接宽度、缠绕张力等参数确保修复区域能够形成连续、致密的防护层。

其中不同的局部修复材料在外防腐层的修复效果上存在一定的差异，聚乙烯补伤片具有良好的耐化学腐蚀性及机械强度，能够适应多种土壤环境；粘弹体防腐胶带在修复方面具有高弹性和强粘结力，能够有效应对管道因热胀冷缩或土壤应力导致的微小缝隙，并对不规则形状的破损形状展现出良好的适应性，在受到轻微外力冲击后可自动恢复密封状态。局部修复技术在实际应用中对施工人员的操作技能和经验要求较高，因此技术人员在选择修复材料时需综合考虑管道的运行环境、破损程度及修复成本等因素，并严格遵守操作规程制定详细的施工方案，从而保障修复后的防腐层能够长期稳定地发挥防护作用。

### 2.2 补口修复技术

补口修复技术主要针对解决管道连接部位的防腐层破损问题，由于补口处结构特殊且受力复杂，因此补口处成为油气管道外防腐层中较为薄弱的环节，容易出现腐蚀、老化等问题。补口修复技术的核心在于实现修复材料与原有防腐层的无缝衔接，从而使油气管道形成连续统一的防护体系，并提高管道的整体防腐性能。其中常见的补口修复材料与工艺主要包括热收缩套（带）、三层PE补口以及液体环氧补口等。在补口修复过程中，技术人员需要对补口进行彻底清洁和处理，通过去除原有的老化、破损防腐层以及油污铁锈等杂质，确保修复材料与管道金属表面达到规定的清洁度和粗糙度并能够紧密贴合，同时补口修复技术通过专业的修复材料和工艺可以对补口处的防腐

层进行修复和加强，从而提高管道的整体防腐性能。之后技术人员可根据损坏点的外形最大半径来判断修复材料的选择<sup>[4]</sup>，并严格进行材料的填充和覆盖，在修复过程中工作人员需要注意对补口处的边缘和角落进行细致处理，以确保修复材料能够完全覆盖并形成良好的密封效果。在修复完成后，相关人员还需要检查对应的外观和漏点，做好修复记录和质量验收工作，对于缠绕修复施工，保证密封效果，胶带表面不能出现鼓包和破损<sup>[5]</sup>。

其中热收缩(套)补口以聚乙烯为基材，通过加热内部复合热熔胶层使材料收缩并熔融热熔胶，从而实现与管道表面及原有防腐层的紧密粘结，在复杂的土壤环境中长期保持其防护性能。同时在施工过程中，技术人员需对补口区域进行喷砂除锈处理，确保热熔胶能够充分润湿管道表面，并将热收缩套(带)准确套在补口位置，使用专用加热设备均匀加热，使材料沿着其原始形状均匀收缩并紧密贴合在管道表面，形成一层连续致密的防护层，有效隔绝腐蚀介质与管道金属的接触，从而阻止管道的进一步腐蚀。三层PE补口技术由环氧粉末底层、胶粘剂中间层和聚乙烯外层构成，主要应用于新建管道或对防护要求较高的修复场景，通过在补口处喷涂环氧粉末、缠绕热熔胶带和包覆聚乙烯补口带并加热熔合的方式帮助油气管道有效抵御土壤应力、机械损伤和化学腐蚀。而液体环氧补口则以双组分或多组分环氧涂料为基础，通过现场混合、喷涂或刷涂的方式施作，从而适应复杂的补口形状，并对不规则表面具有良好的覆盖性，在固化后形成具有优异的耐化学腐蚀性和机械性能的涂层，在补口修复过程中，技术人员需建立严格的质量检测和验收标准，确保补口处的防腐性能不低于管道主体防腐层。

### 2.3 整体修复技术

整体修复技术主要针对油气管道的外防腐层大面积老化、破损严重以及防腐性能全面下降的问题，并通过系统性处理对管道防护能力进行全面恢复与提升，延长油气管道的使用寿命。与局部修复与补口修复技术不同，整体修复涉及范围广且工程量大，通常需要在管道停输或采取降压等措施后进行，在整体修复技术的运用过程中，技术人员需要通过去除原有防腐层后重新涂覆新的防腐层或采用内衬修复技术在管道内部构建新的防腐屏障两种方式进行，其中重新涂覆防腐层的技术流程通常从管道表面预处理开始，通过机械喷砂、抛洒或化学清洗等方式，彻底清除旧防腐层、铁锈及其他杂质，使管道表面达到规定的清洁度和粗糙度要求。同时在新防腐层材料的选择上，技术人员需综合考虑管道的运行环境、输送介质以及压

力温度条件等因素，选用高性能的防腐涂料或热塑性材料，以确保新防腐层具有优异的耐腐蚀性、机械强度和耐候性能。在涂覆过程中，技术人员需严格控制涂层的厚度、均匀性和附着力，通过采用专业的喷涂、刷涂或滚涂设备，确保新防腐层能够紧密贴合管道表面并形成连续致密的防护层。而内衬修复技术则通过在管道内部安装聚乙烯、环氧树脂等耐腐蚀高强度的内衬材料，从而在管道内部构建新的防腐屏障。内衬材料的选择需根据管道的直径、输送介质的性质以及运行条件等因素进行综合考虑，同时在内衬修复过程中，技术人员需确保内衬材料与管道内壁的紧密贴合，避免出现空隙或脱落现象，以保障内衬修复技术的长期有效性。整体修复技术不仅能够全面恢复油气管道的外防腐层性能，还能够提升管道的整体防护能力，延长管道的使用寿命，为油气的安全稳定输送提供有力保障。在所有的防腐层补伤工作都完成后，要对外观进行检查，表面平整且没有皱褶和气泡，才算补伤工作的完成，如果没有达到要求，要重新补伤。补伤处应100%进行电火花检漏，检漏电压为15kV，确保没有漏点<sup>[6]</sup>，同时整体修复技术的实施还需考虑环境保护和安全生产等因素，采取相应的措施减少对周边环境的影响，并确保施工过程中的安全。通过整体修复技术的运用，油气管道的外防腐层性能能够得到全面恢复与提升，为油气的安全稳定输送提供有力保障。

### 3 结束语

在油气输送工程中，对埋地油气管道外防腐层的检测与修复直接影响着油气输送的经济性与安全性。因此技术人员应根据管道的实际情况及所处环境选择合适的检测方法和修复技术，在加强对管道的日常维护与定期检测的同时持续推动检测技术的智能化升级以及修复材料的创新研发，从而有效提升管道防护水平，确保埋地油气管道的长期安全稳定运行。

### 参考文献：

- [1] 高云龙.埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨[J].石油和化工设备,2019,22(03):83-84.
- [2] 张闯.埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨[J].全面腐蚀控制,2020,34(07):113-114..
- [3] 贾兴臣.埋地油气管道外防腐层检测及修复技术分析[J].全面腐蚀控制,2021,35(01):52-53.
- [4] 初旭.埋地油气管道外防腐层检测及修复技术探讨[J].石化技术,2020,27(06):109-110.
- [5] 梁作平.埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨[J].全面腐蚀控制,2019,33(04):25-26+88.
- [6] 敦镇海.埋地油气管道外防腐层检测及修复技术[J].化工管理,2017(12):122.