

油田埋地管道防腐层破损点检测

房瑞金（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：本论文聚焦于油田埋地管道防腐层破损点的检测问题。深入探讨了埋地管道在油田生产中的重要作用以及防腐层对于保护管道免受腐蚀的关键意义。详细阐述了当前常用的各类检测方法，包括直接检测法如外观检查、漏磁检测等，以及间接检测法如电位法、变频-选频法等，分析其原理、优势与局限性。同时对影响检测结果准确性的因素进行了剖析，涵盖了管道材质、土壤环境、检测设备精度等方面。通过理论推导与模拟分析，提出了一些提高检测精度与效率的策略和建议，旨在为油田埋地管道的安全运行提供可靠的技术保障，减少因防腐层破损引发的管道泄漏、土壤污染等安全隐患，提升油田生产的稳定性与经济效益。

关键词：油田；埋地管道；防腐层；破损点检测

0 引言

在现代油田生产过程中，埋地管道作为石油与天然气运输的关键基础设施，其安全稳定运行至关重要。随着时间的推移与复杂的土壤环境影响，管道外部的防腐层可能会出现破损情况。这些破损点若未能及时精准检测并修复，将导致管道本体暴露于腐蚀性介质中，加速管道腐蚀进程，进而引发泄漏事故，不仅造成资源浪费与经济损失，还可能对周边生态环境构成严重威胁。因此，深入研究油田埋地管道防腐层破损点的高效检测方法具有极为重要的现实意义。

1 埋地管道防腐层的作用与重要性

1.1 隔绝腐蚀介质

埋地管道长期处于土壤环境中，土壤中含有水分、氧气、各种盐类以及微生物等腐蚀性成分。防腐层作为管道与外界环境之间的屏障，能够有效阻止这些腐蚀介质与管道金属表面接触，从而显著降低管道发生腐蚀的可能性。它如同给管道穿上了一层“防护服”，使管道在恶劣的土壤条件下得以保持相对完整的状态，延长管道的使用寿命。

1.2 维持管道结构完整性

管道在输送油气过程中承受着内部压力、温度变化以及外部土壤压力等多种应力作用。防腐层的完好与否直接关系到管道的结构稳定性。当防腐层完整时，管道能够均匀地承受各种应力，不易发生局部变形或破裂。而一旦防腐层出现破损，在破损点处管道将局部失去保护，在腐蚀与应力集中的双重作用下，极易引发管道结构的损坏，如出现裂纹、孔洞等缺陷，严重影响管道的正常输运功能。

1.3 保障安全生产与环境保护

从安全生产角度看，埋地管道若发生泄漏，可能

会引发火灾、爆炸等重大安全事故，对油田设施以及周边人员生命财产造成巨大危害。从环境保护层面而言，泄漏的油气会对土壤、地下水等生态环境要素造成污染，破坏生态平衡，影响周边地区的可持续发展。因此，确保埋地管道防腐层的有效性是维护油田安全生产与生态环境稳定的重要环节^[1]。

2 埋地管道防腐层破损的原因分析

2.1 自然老化

随着管道服役时间的增长，防腐层材料会逐渐发生老化现象。在长期的自然环境影响下，如紫外线照射、温度变化、湿度波动等因素的综合作用，防腐层的物理与化学性能会逐步退化。例如，防腐层的柔韧性降低，变得脆硬，容易出现开裂；或者其粘结力减弱，导致与管道表面的附着力下降，部分区域可能发生剥离，从而使管道金属暴露在外，加速腐蚀进程。

2.2 土壤应力作用

土壤对埋地管道产生的应力是导致防腐层破损的重要因素之一。一方面，土壤的自重以及地面堆积荷载会使管道承受垂直方向的压力，当压力超过管道与防腐层的承载能力时，可能会在管道顶部或侧面的防腐层薄弱部位引发破裂。另一方面，土壤的不均匀沉降也会产生横向剪切力与拉伸力，这些力作用于管道上，会使管道发生弯曲变形，进而导致防腐层在变形较大处出现撕裂或断裂现象。

2.3 微生物腐蚀

土壤中存在着大量微生物，其中某些微生物如硫酸盐还原菌等能够参与并促进管道的腐蚀过程。这些微生物在管道表面附着生长，通过其代谢活动产生腐蚀性物质，如硫化氢等。在微生物腐蚀的作用下，管道表面会逐渐形成腐蚀坑或溃疡状蚀点，随着腐蚀的

加剧，防腐层在这些蚀点处可能会被穿透或剥落，进一步扩大防腐层的破损范围，使管道处于更加不利的腐蚀环境中。

3 埋地管道防腐层破损点检测方法综述

3.1 直接检测法

第一，外观检查：外观检查是一种较为直观的初步检测方法。通过对管道露出地面的部分以及在开挖暴露的区域进行肉眼观察，可以发现一些明显的防腐层破损迹象，如防腐层的脱落、起泡、开裂等现象。这种方法简单易行，不需要复杂的设备与技术，但只能检测到地表附近或已开挖区域的明显破损，对于埋地较深或隐蔽部位的破损点难以察觉，且无法确定破损的程度与范围，具有一定的局限性。

第二，漏磁检测：漏磁检测是基于铁磁性材料的磁导率差异原理。当管道防腐层存在破损时，管道金属暴露部分会在磁场作用下产生漏磁场。利用磁敏传感器检测漏磁场的变化，即可判断防腐层是否存在破损以及大致确定破损位置。该方法对于检测铁磁性管道的防腐层破损较为有效，具有较高的检测灵敏度，能够检测到较小的破损点。然而，其检测精度受管道材质、壁厚以及磁场强度等因素影响较大，且对于非铁磁性管道无法应用，同时检测设备相对复杂，操作要求较高。

3.2 间接检测法

第一，电位法：电位法包括管地电位法与电位梯度法等。管地电位法是通过测量管道与土壤之间的电位差来判断防腐层的状况。当防腐层完好时，管地电位相对稳定且处于正常范围；当防腐层出现破损时，破损点处的管地电位会发生异常变化，通过检测电位异常区域可初步推断防腐层破损位置。电位梯度法则是利用相邻两点间的电位差变化来检测，当沿着管道方向电位梯度出现突变时，往往预示着该区域可能存在防腐层破损。电位法具有检测范围广、对环境干扰小等优点，但容易受到土壤电阻率不均匀、杂散电流干扰等因素影响，导致检测结果出现偏差，需要结合其他方法进行综合判断^[2]。

第二，变频 - 选频法：变频 - 选频法是一种基于电磁感应原理的检测方法。通过向管道发射特定频率的电磁波，当电磁波在管道中传播遇到防腐层破损点时，会发生反射与散射现象。接收反射回的信号并进行分析处理，根据信号特征确定破损点的位置与大小。该方法能够在非开挖条件下对埋地管道进行检测，对

管道周围环境破坏小，且检测深度较大。但其检测精度受管道材质电磁特性、土壤介电常数等因素影响，对于复杂地质条件与多管道并行的情况，信号解析难度较大，容易出现误判。

4 影响埋地管道防腐层破损点检测结果准确性的因素分析

4.1 管道材质因素

不同材质的管道具有不同的电磁特性、导电性与导热性等物理性质。例如，铁磁性管道在漏磁检测中由于其高磁导率会产生较强的漏磁场信号，但对于非铁磁性管道则无法采用此方法检测。而一些新型复合材料管道的导电性较差，在使用电位法检测时可能会出现电位传递不畅、信号微弱等问题，导致难以准确判断防腐层破损情况。此外，管道材质的均匀性与微观结构也会对检测结果产生影响，材质不均匀可能会导致局部电位或电磁信号异常，干扰对真实破损点的识别。

4.2 土壤环境因素

土壤类型多样，其电阻率、介电常数等物理参数差异较大。高电阻率土壤会使电位法检测中的电流传播困难，降低检测信号强度与范围；而高介电常数土壤则会对电磁波的传播产生较大衰减作用，影响变频 - 选频法等电磁检测方法的准确性。土壤的含水量也是一个重要因素，含水量过高会增加土壤的导电性与腐蚀性，加速管道腐蚀的同时也会干扰电位检测信号；含水量过低则可能导致土壤颗粒间电阻增大，影响检测设备的接地效果，使检测结果不稳定。此外，土壤中的杂质如石块、金属碎片等也会对检测信号产生散射与屏蔽作用，增加检测结果的不确定性。

4.3 检测设备因素

检测设备的精度、灵敏度与可靠性直接影响检测结果的准确性。高精度的检测设备能够更敏锐地捕捉到微弱的破损信号，但在实际应用中，设备的精度往往受到多种因素制约。例如，磁敏传感器在漏磁检测中的性能会随着使用时间增长而逐渐下降，需要定期校准与维护；电位检测仪器在测量管地电位时可能会受到电极极化现象的影响，导致测量误差；变频 - 选频仪的发射功率与接收灵敏度设置不当也会造成信号遗漏或误判。此外，检测设备的抗干扰能力也是关键因素之一，在复杂的电磁环境下，若设备不能有效滤除杂散电流、无线电信号等干扰源，将会使检测结果失真。

5 提高埋地管道防腐层破损点检测精度与效率的策略研究

5.1 多检测方法融合

为了克服单一检测方法的局限性，提高检测结果的准确性与可靠性，采用多种检测方法融合的策略具有重要意义。例如，将外观检查作为初步筛查手段，快速发现明显的防腐层破损迹象；再结合电位法对管道整体状况进行评估，确定可能存在破损的区域；最后利用漏磁检测或变频-选频法等高精度方法对疑似破损点进行精确定位与量化分析。通过这种多层次、多角度的检测方法组合，能够相互验证检测结果，减少误判与漏检情况的发生。

5.2 优化检测设备性能

研发与应用高精度、高灵敏度且抗干扰能力强的检测设备是提高检测精度的关键。对于漏磁检测设备，可采用新型高性能磁敏传感器，提高其对微弱漏磁场的检测能力，并优化传感器的布局与阵列设计，增强信号采集的全面性与准确性；在电位法检测仪器方面，改进电极材料与结构，降低电极极化效应，同时提高仪器的分辨率与数据采集速度；对于变频-选频仪，提升其发射功率稳定性与接收信号处理算法的有效性，增强对复杂环境下信号的识别与解析能力。此外，建立完善的检测设备校准与维护体系，定期对设备进行检查、校准与更新，确保设备始终处于最佳工作状态。

5.3 建立智能化检测系统

借助大数据、人工智能等技术构建智能化检测系统是未来埋地管道防腐层破损点检测的发展方向。通过收集大量的历史检测数据、管道运行数据以及土壤环境数据等，利用机器学习算法建立防腐层破损预测模型。在实际检测过程中，将实时采集的数据输入模型进行分析处理，模型能够自动识别潜在的破损点位置、评估破损程度，并对检测结果进行智能判断与决策支持。智能化检测系统不仅能够提高检测效率，还能够及时发现一些潜在的、难以察觉的防腐层破损隐患，为管道维护管理提供科学依据。

5.4 基于物联网的实时监测与数据传输

在埋地管道系统中引入物联网技术，通过在管道沿线布置大量的传感器节点，实现对管道运行状态和防腐层状况的实时监测。这些传感器可以采集包括管地电位、土壤湿度、温度、腐蚀速率等在内的多种参数，并通过网络将数据实时传输到中央监控平台。中央监控平台利用大数据分析技术对这些海量数据进行

快速处理和分析，一旦发现数据异常波动，如某段管道的电位突然下降或腐蚀速率加快，即可及时发出预警信号，提示可能存在防腐层破损点。这种基于物联网的实时监测系统能够实现对管道防腐层状况的动态跟踪，大大提高了检测的时效性和精准度，使维护人员能够在问题发生的初期就采取针对性措施，避免管道泄漏等事故的发生。

5.5 采用先进的无损检测技术集成

除了上述常见的检测方法外，积极探索和应用其他先进的无损检测技术，并将其集成到埋地管道防腐层破损点检测体系中。例如，采用红外热成像技术，通过对管道表面温度分布的测量来间接判断防腐层的完整性。当防腐层存在破损时，热量会通过破损处散失，导致局部温度异常，红外热成像仪能够捕捉到这种温度变化并形成图像，从而确定破损位置。此外，还可以运用超声波相控阵检测技术，该技术具有高分辨率、大检测范围和能够定向发射超声波等优点。通过向管道壁发射超声波并接收反射回波，分析回波的声时、幅值等信息，就可以精确地检测出防腐层内部的缺陷和破损情况。将这些先进的无损检测技术与现有方法有机结合，形成一套完整的集成化检测方案，能够从不同角度对防腐层进行全面评估，提高检测的准确性和可靠性。

6 结束语

油田埋地管道防腐层破损点检测是保障油田安全、高效生产与环境保护的重要环节。通过深入分析埋地管道防腐层的作用、破损原因以及现有检测方法的特点与影响因素，我们认识到准确检测防腐层破损点对于预防管道事故、延长管道使用寿命具有极为关键的意义。在未来的研究与发展中，应不断探索创新检测技术与方法，加强多学科交叉融合，提高检测精度与效率，建立完善的管道防腐层维护管理体系。只有这样，才能更好地应对日益复杂的油田生产环境与管道安全挑战，确保油田埋地管道的安全、稳定运行，为油田行业的可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献：

- [1] 陈海彬.油田埋地管道防腐层破损点检测探讨[J].全面腐蚀控制,2023,37(01):118-120.
- [2] 巴爱叶.油田埋地管道防腐层破损点检测及影响因素分析[J].全面腐蚀控制,2020,34(05):57-59.

作者简介：

房瑞金（1981-），男，汉族，山东莱州人，本科，工程师，研究方向：检验检测技术及应用。