

# 输送管道土壤腐蚀监测技术进展与智能防护策略

朱胜维（中海石油国际有限公司，北京 100027）

**摘要：**现如今，石油、天然气在人们的日常生活和工作中有着广泛的应用，如何确保其运输的安全性，是当前社会各界高度重视的问题。基于此，本文聚焦于输送管道土壤腐蚀监测技术进展与智能防护策略，首先剖析了土壤腐蚀对输送管道造成的严重危害，强调开展腐蚀监测与防护的重大意义，结合传统及新兴的输送管道土壤腐蚀监测技术，对比其优缺点。在此基础上，提出涵盖涂层防护、阴极保护、基于大数据和人工智能的防护以及微生物防护等一系列智能防护策略，最后对输送管道土壤腐蚀监测技术和智能防护策略的未来发展趋势进行了展望，希望能提高输送管道的抗腐蚀能力，保障能源输送安全和环境安全。

**关键词：**输送管道；土壤腐蚀；监测技术；智能防护策略

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 025-0133-03

## Advances in soil corrosion monitoring technology and intelligent protection strategies for pipeline transmission

Zhu Shengwei(CNOOC International Limited, Beijing 100027, China)

**Abstract:** Nowadays, oil and natural gas are widely used in daily life and work. Ensuring the safety of their transportation is a critical concern for all sectors of society. This article focuses on the advancements in soil corrosion monitoring technology and intelligent protection strategies for pipelines. It first examines the severe damage caused by soil corrosion to pipelines, highlighting the importance of corrosion monitoring and protection. By comparing traditional and emerging technologies for pipeline soil corrosion monitoring, it highlights their advantages and disadvantages. Based on this, the article proposes a series of intelligent protection strategies, including coating protection, cathodic protection, protection based on big data and artificial intelligence, and microbial protection. Finally, it looks ahead to the future trends in soil corrosion monitoring technology and intelligent protection strategies for pipelines, aiming to enhance the anti-corrosion capabilities of pipelines and ensure the safety of energy transmission and the environment.

**Key words:** pipeline conveying; soil corrosion; monitoring technology; intelligent protection strategy

在当今社会，输送管道作为石油、天然气等能源运输的关键基础设施，其安全稳定运行至关重要。然而，管道长期埋设于土壤环境中，不可避免地会遭受土壤腐蚀的侵害。土壤腐蚀不仅会削弱管道的结构强度，缩短其使用寿命，更可能引发管道泄漏事故，导致能源浪费、环境污染以及巨大的经济损失。因此，对输送管道土壤腐蚀进行有效的监测和防护，成为保障能源输送安全和环境保护的关键课题。随着科学技术的飞速发展，输送管道土壤腐蚀监测技术不断推陈出新，智能防护策略也日益丰富多样。深入研究这些监测技术的进展和智能防护策略，对于提高管道的抗腐蚀能力、延长管道使用寿命具有重要的现实意义。

### 1 输送管道土壤腐蚀的危害及监测防护的重要性

#### 1.1 土壤腐蚀的危害

土壤是一个复杂的多相体系，其组成成分和物理化学性质差异较大，而且土壤中的水分是电解质的良好溶剂，为电化学腐蚀提供了必要的条件。同时，矿物质成分如盐分等会增加土壤的导电性，加速腐蚀过程，而且微生物在土壤中也扮演着重要角色，某些细菌能够参与管道表面的化学反应，促进腐蚀的发生。

由于土壤腐蚀的形式多样，均匀腐蚀会使管道壁厚均匀减薄，降低管道的整体承载能力。一般来说，缝隙腐蚀通常发生在管道的连接部位、焊缝处等存在缝隙的地方，由于缝隙内和缝隙外的环境差异，导致局部腐蚀加速。一旦管道发生泄漏，能源的损失是直接且显著的。对于石油和天然气等宝贵资源来说，每一滴泄漏的液体或每一方泄漏的气体都是巨大的浪费，而且泄漏的介质还可能引发火灾、爆炸等灾难性事故，对周边人员的生命安全造成严重威胁。所以说，土壤腐蚀的危害是极大的，采取有效的措施进行防治势在必行。

#### 1.2 监测防护的重要性

及时准确地监测输送管道的土壤腐蚀状况，能够为管道的维护和管理提供科学依据。通过监测数据，可以了解管道的腐蚀速率、腐蚀位置和腐蚀程度，预测腐蚀的发展趋势，这在很大的程度上有助于提前制定维修计划，合理安排维修资源，避免因腐蚀问题导致的突发事故。此外，有效的防护措施可以显著降低管道的腐蚀速率，延长管道的使用寿命，不仅可以减少管道更换的成本，还能保障能源的持续稳定输送。

同时，良好的防护还能减少因管道泄漏造成的环境污染和安全事故，具有巨大的社会效益和环境效益。

## 2 输送管道土壤腐蚀监测技术进展

### 2.1 传统监测技术

#### 2.1.1 失重法

失重法是一种经典且直观的腐蚀监测方法，在实际应用中，需要将精心制备的试片按照一定的规范埋入管道周边的土壤中，实验需要的试片的材质、尺寸和形状都需要与被监测的管道相匹配，以确保测量结果能够准确反映管道的腐蚀情况。经过一段预先设定的时间后，小心地取出试片，对其进行清洗、干燥等处理，然后精确测量试片的质量变化。然后计算其质量损失，结合试片的暴露时间和表面积等参数，就可以得出腐蚀速率。失重法的优点在于其测量结果具有较高的准确性和可靠性，能够直观地展示管道在一定时间内的腐蚀程度。然而，该方法也存在明显的局限性，它的测量周期较长，通常需要数周甚至数月才能获得一次有效的数据，无法及时反映管道的实时腐蚀情况。

#### 2.1.2 电化学方法

电位测量法是非常常见的电化学方法，通过测量管道相对于参比电极的电位来判断管道的腐蚀状态，当管道的电位低于某一临界值时，说明管道处于腐蚀状态，该检测方法操作相对简单，只需要将参比电极和测量电极与管道连接，使用电位测量仪器即可快速获得测量结果。然而，该方法只能提供管道的宏观腐蚀状态信息，无法准确测量腐蚀速率，对于微小的腐蚀变化也不够敏感。另外，极化电阻测量法也能够实现对土壤腐蚀的测量，基于极化电阻与腐蚀电流之间的关系，通过测量管道的极化电阻来计算腐蚀速率，不仅具有较高的灵敏度和准确性，而且能够实时监测管道的腐蚀情况。但是，极化电阻测量法对测量环境要求较高，测量过程中容易受到土壤湿度、温度、电解质浓度等外界因素的干扰，需要采取严格的测量条件控制和数据修正措施。

#### 2.1.3 超声波检测法

超声波检测法是利用超声波在材料中的传播特性来检测管道内部的腐蚀情况，当超声波在管道中传播时，如果遇到腐蚀缺陷，如孔洞、裂纹等，超声波会发生反射和散射，然后通过分析反射和散射波的信号特征，如波的幅度、时间、频率等，可以确定腐蚀缺陷的位置、大小和深度。超声波检测法不仅有着高的检测速度快、检测精度高，而且整个检测过程不会对管道造成损伤。然而，该方法对检测人员的技术要求较高，需要检测人员具备丰富的经验和专业知识，能

够准确识别和分析超声波信号。

## 2.2 新兴智能监测技术

### 2.2.1 传感器监测技术

随着传感器技术的飞速发展，各种新型传感器被广泛应用于输送管道土壤腐蚀监测中。电阻式传感器的应用十分的广泛，它利用金属电阻随腐蚀程度变化的原理来监测管道的腐蚀情况，当管道发生腐蚀时，金属的横截面积减小，电阻增大，通过测量电阻的变化就可以反映管道的腐蚀程度。此外，电化学传感器可以实时监测管道周围土壤的电位、pH值、溶解氧等参数，从而判断管道的腐蚀状态。总的来说，传感器监测技术具有实时性强、灵敏度高、可远程监测等优点，可以通过将多个传感器组成传感器网络实现对管道全线的实时监测，而且传感器网络可以将各个监测点的数据实时传输到监控中心，监控人员可以通过计算机软件对数据进行分析和处理，及时掌握管道的腐蚀情况。

### 2.2.2 光纤传感技术

光纤传感技术是一种基于光纤对外界物理量敏感特性的测量技术，在输送管道土壤腐蚀监测中，光纤传感器可以测量管道的应变、温度、湿度等参数，从而间接反映管道的腐蚀情况。光纤传感技术具有抗干扰能力强、测量精度高、可分布式测量等优点，该技术能够实现对管道长距离、大范围的监测，而且不受电磁干扰和恶劣环境的影响。另外，光纤传感器可以埋入管道周围的土壤中，或者安装在管道表面，实时监测管道的各种物理参数。

### 2.2.3 无线传感网络技术

无线传感网络技术是将多个无线传感器节点组成一个网络，通过无线通信方式实现数据的传输和共享。在输送管道土壤腐蚀监测中，无线传感网络可以将各个监测点的数据实时传输到监控中心，实现对管道腐蚀情况的远程监控和管理。一般来说，无线传感网络节点通常由传感器、微处理器、无线通信模块和电源组成，其中传感器负责采集管道周围的环境参数和管道的腐蚀信息，微处理器对采集到的数据进行处理和分析，无线通信模块将处理后的数据发送到监控中心。电源为节点提供能量，可以采用电池供电或太阳能供电等方式。无线传感网络技术具有安装方便、成本低、可扩展性强等优点，它可以大大提高监测的效率和灵活性，降低监测成本。

## 2.3 传统监测技术与新兴智能监测技术的对比

传统监测技术经过长期的发展和应用，具有一定的成熟性和可靠性，可以在过去的管道腐蚀监测中发挥了重要作用，为管道的维护和管理提供了大量的基

础数据。然而，传统监测技术存在一些明显的缺点，例如，失重法测量周期长，无法实时监测；电化学方法对测量环境要求高，容易受到外界因素干扰。新兴智能监测技术则具有实时性强、灵敏度高、可远程监测等优点，传感器监测技术可以实时采集管道的腐蚀信息，光纤传感技术能够实现长距离、高精度的监测，无线传感网络技术则提供了便捷的数据传输和管理方式，这些新兴技术能够更好地满足现代管道腐蚀监测的需求，提高监测的准确性和可靠性。然而，新兴智能监测技术也存在一些不足之处。

例如，传感器的稳定性和可靠性还需要进一步提高，光纤传感技术的成本相对较高，无线传感网络的通信质量容易受到环境因素的影响。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的监测技术，或将多种监测技术结合使用，以充分发挥各种技术的优势，提高监测的效果。

### 3 输送管道土壤腐蚀智能防护策略

#### 3.1 涂层防护

涂层防护是一种广泛应用的管道防腐方法，其原理是在管道表面涂覆一层具有良好防腐性能的涂层，将管道与土壤环境隔离开来，阻止腐蚀介质的侵入。常用的防腐涂层有环氧涂层、聚乙烯涂层等，其中环氧涂层具有良好的附着力、耐化学腐蚀性和耐磨性，它可以在管道表面形成一层坚韧的保护膜，有效抵抗土壤中的水分、氧气和化学物质的侵蚀。聚乙烯涂层则具有优异的柔韧性和耐候性，能够适应不同的土壤环境和管道变形，为了提高涂层的防护效果，可以采用智能涂层技术，它能够根据环境变化自动调节其性能。例如，具有自修复功能的涂层，当涂层表面出现损伤时，涂层中的修复剂会自动释放，填充损伤部位，恢复涂层的防护性能。

#### 3.2 阴极保护

阴极保护是通过向管道施加阴极电流，使管道电位降低，从而抑制管道的腐蚀。常用的阴极保护方法有牺牲阳极保护和外加电流保护，牺牲阳极保护是将电位比管道更负的金属与管道连接，形成一个原电池。在这个原电池中，牺牲阳极作为阳极被腐蚀，而管道作为阴极得到保护。

牺牲阳极保护具有安装简单、无需外部电源等优点，适用于小型管道和分散的管道系统。外加电流保护则是通过外部电源向管道施加阴极电流，它可以根据管道的实际情况精确控制保护电流的大小和方向，适用于大型管道和复杂的管道系统。智能阴极保护系统可以根据管道的腐蚀状况自动调节保护电流的大小和方向。

#### 3.3 基于大数据和人工智能的防护策略

随着信息技术的发展，大数据和人工智能技术在输送管道土壤腐蚀防护中得到了越来越广泛的应用。通过对大数据技术的应用，可以收集和整合大量的管道腐蚀监测数据，包括土壤环境参数、管道运行参数、腐蚀历史数据等。然后对这些数据的分析和挖掘，发现管道腐蚀的规律和影响因素，并且对测量的数据进行分析，可以利用机器学习算法建立腐蚀预测模型，根据历史数据和实时监测数据预测管道的腐蚀发展趋势。最后根据预测结果，提前做好采取防护措施，如调整阴极保护电流、更换涂层等，实现对管道腐蚀的智能防护。同时，人工智能还可以对防护措施进行优化，模拟不同的防护方案，评估其防护效果和成本，选择最佳的防护方案。

### 4 结语

综上所述，输送管道土壤腐蚀是一个复杂且严重的问题，对能源安全和环境安全构成了巨大威胁，随着科技的不断进步，输送管道土壤腐蚀监测技术取得了显著进展，智能防护策略也不断涌现，为管道的腐蚀防护提供了更加有效的手段。在未来，应进一步加强监测技术的智能化和集成化，提高防护策略的精准化和个性化，实现监测与防护的一体化。通过不断的创新和发展，提高输送管道的抗腐蚀能力，延长其使用寿命，保障能源的安全输送和环境的安全。同时，还需要加强跨学科的研究和合作，整合材料科学、电化学、传感器技术、信息技术等多学科的知识和技术，为解决输送管道土壤腐蚀问题提供更加全面和有效的解决方案。

#### 参考文献：

- [1] 马赟,赵黎.双碳背景下二氧化碳输送管道智能化技术应用及探索[J].新疆石油天然气,2024,20(04):87-94.
- [2] 张佳琦.轨道交通杂散电流干扰区段埋地管道腐蚀失效预测研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [3] 杨一潇.埋地X70钢油气管道腐蚀防护与远程监控的研究[D].西安:西安理工大学,2023.
- [4] 黄茹阳.基于内检测的曲西原油管道腐蚀剩余寿命预测及软件开发[D].西安:西安石油大学,2023.
- [5] 徐龙寅.基于改进智能优化算法的埋地腐蚀管道剩余寿命预测研究[D].西安:西安建筑科技大学,2023.
- [6] 廖静雯.基于数据挖掘的常减压装置塔器腐蚀分析和预测方法研究[D].北京:北京化工大学,2021.

#### 作者简介：

朱胜维(1972-)，男，汉族，天津人，本科，资深工程师，研究方向：腐蚀与防护。