

油库区域阴极保护技术研究

黄文辉（中国石化销售股份有限公司华南分公司，广东 广州 510000）

摘要：为有效解决油库区域电流严重流失、电位分布不均匀以及干扰屏蔽引起的储罐、管道及设备设施防腐问题，本文以促进油库稳定运行为研究目标，结合X油库及外管道阴极保护运行经验，先后研究分析了牺牲阳极和外加电流阴极保护的区域阴极保护技术，从保护方式、参数设定、运行管理等方面研究，之后分析了阴极保护失效原因，提出解决措施。研究结果表明，通过应用区域阴极保护技术，有助于大幅提升设备防腐效果，推动油库稳定运行。

关键词：油库；区域阴极保护；技术

中图分类号：TE988.2

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）020-0148-03

Research on Regional Cathodic Protection Technology for Oil Depot Facilities

Huang Wenhui (Sinopec Sales Co., Ltd. South China Branch, Guangzhou Guangdong 510000, China)

Abstract: To address severe current leakage, uneven potential distribution, and corrosion of storage tanks, pipelines, and equipment caused by interference shielding in oil depot areas, this study focuses on enhancing the operational stability of oil depots. Drawing on the cathodic protection practices of Depot X and its external pipelines, the paper investigates regional cathodic protection technologies, including sacrificial anode and impressed current cathodic protection (ICCP). Key aspects such as protection methods, parameter configuration, and operational management are analyzed. Additionally, the causes of cathodic protection failures are examined, with corresponding mitigation measures proposed. The results demonstrate that implementing regional cathodic protection technology significantly improves anti-corrosion performance and supports stable oil depot operations.

Keywords: Oil Depot Regional Cathodic Protection; Sacrificial Anode; Impressed Current Cathodic Protection (ICCP); Failure Analysis; Anti-Corrosion Efficiency

阴极保护领域中区域阴极保护属于一项全新的技术，以一定区域内金属结构复合体为保护对象，全面保护油库生产设备、储罐、管网等，解决传统技术保护对象单一化的问题。查阅有关资料可知，国外关于区域阴极保护技术的研究起步较早，近年来国内在油库罐区、输油站、油田、输油（气）管线等领域逐渐应用区域阴极保护技术，有效减缓目标保护金属设施的腐蚀速度，规避环境污染、爆炸、火灾等事故。对此，需深入研究油库区域阴极保护技术，掌握技术应用要点。

1 油库基本情况

分析X油库运行资料可知，油库区域及周围有大量的金属结构物，整体分布较为复杂，需根据油库基本设施分布情况，全方位检测油库及周边土壤的腐蚀性能，客观地评估储罐、管道运行状态，加深对金属结构、整体布局、接地面积等内容的了解。调研结果显示：X油库具设有油库区、工艺区，周边区域存在多家化工企业，区域内设有20余座储罐、火车发油台、发油泵区、变电所、变压器等设施，区域内设施分多次建设，地质结构复杂，含有大量回填土、建筑垃圾，废弃管道、接地线等，该区域内已建成运行7套阴极保护系统。

2 油库区域阴极保护技术对比选择

结合X油库基本情况，研究分析牺牲阳极保护及强制电流保护等阴极保护技术的优缺点。

2.1 牺牲阳极保护

利用土壤、水体等导体介质，连接一种或多种高活性、电位更负金属（如镁、锌、铝等合金）与被保护的金属连接，建立原电池腐蚀体系。在此期间，牺牲阳极因电位较低，极易失去电子，释放电流保护目标金属，进而被腐蚀，以此保证被保护结构的完整，具有便于安装简便、维护成本较低、适应性较强的优势，但会受到牺牲阳极驱动电压和输出电流的影响，造成保护效果不理想，阳极材料在保护过程中会不断被消耗，消耗完之后就需要更换，这可能增加了维护成本。

2.2 强制电流阴极保护

通过外部电源提供直流电向被保护金属施加电流，表面产生阴极极化效应，抑制腐蚀现象，防止金属结构腐蚀的技术，其优点显著且多样，可提供精确的电流控制，多应用于大型结构或者牺牲阳极保护效果差的场景，初期投资虽高，但长期运营成本低于牺牲阳极，配合稳定电源，系统寿命长。

2.2.1 深井阳极地床

优点：深井阳极地床埋设较深，可充分保证电流

更均匀地辐射至被保护结构；土壤湿度、温度相对稳定，消除或屏蔽多种干扰信号，具有占地小、接地电阻小的特点，使用寿命长；电流路径集中于深部地层，减少杂散电流对附近其他金属设施的干扰风险。

缺点：需专业钻探设备和技术，施工成本较高，如遇到硬岩、高水位地质条件复杂时，安装成本显著高于浅埋阳极；阳极故障时，可能需重新钻孔，增加维护成本；需精确计算埋深、间距及电流需求，否则可能导致保护不足或过保护，引发局部腐蚀或材料氢脆。

2.2.2 浅埋阳极地床

优点：电极埋深1—5m，施工简单，材料和人工成本较低，阳极数量和布局可根据保护目标灵活设计，对土壤电阻率要求较低，在小型或中等规模保护效果稳定；故障时易于挖掘检修或更换。

缺点：受土壤湿度、温度变化或季节性干旱、冻结引起周边区域电阻率偏高，接地电阻增加，电流分布不均匀，缩小保护范围；阳极暴露于氧气含量较高的土壤层中，腐蚀速率加快，寿命较短，增加后期维护费用；占地面积大可能受限于周边建筑或地形；电流可能泄漏至邻近地下金属结构，存在杂散电流干扰风险。

2.2.3 线性阳极地床

优点：线性阳极地床具与目标保护对象距离较近，能适应弯曲、复杂走向、起伏地形或受限空间，避免局部过保护或欠保护的问题，沿着长度分布电流可快速传输至目标对象，防止向其他埋地建筑流入，提高电流利用率；表面积较大，在高电阻率土壤中仍能保持较低的接地电阻，减少电能损耗；耐腐蚀性强，寿命可达数十年，维护需求低；相较于集中式阳极（如深井阳极），线性阳极的分散布局可降低对邻近金属结构的杂散电流干扰。

缺点：初期成本较高，对于地下管网交错复杂，材料及安装费用较高，且人工作业任务量偏大；施工复杂度高需沿管道全程开挖或水平定向钻孔安装，施工难度和工期较长；埋设于地下的线性阳极可能因土壤移动、第三方施工等外力受损，导致保护失效；一旦出现电缆、管道等开挖不合理的情况，将引发线性阳极断开的问题，维护难度大。

3 区域阴极保护技术应用要点

采用区域阴极保护技术时，从辅助阳极合理布局、推动邻近设备绝缘、电流自由化分区入手，采取一系列保护措施，达到全方位保护储罐、生产设备、工艺管线以及其他附属设施的目的。结合油库基本情况，设计区域阴极保护技术系统时，需在全面掌握油库区金属结构分布、防腐、绝缘、多项功能等基础上，依据阳极安装位置，展开详细化计算分析，强化被保护

设备设施的防腐效果。

3.1 技术方式设计

结合油库区多为回填土，土壤腐蚀性高、地下管网分布较为密集、油罐底板接地面积大等特点；结合结构材质、保护电位需求、土壤电阻率及庞大的地下金属结构网络，罐区周边设有多套阴极保护系统，杂散电流干扰明显，储罐设有多处防雷接地且无电流阻断措施，阴保电流不断流失对保护电流需求较大，为促使电流均匀分布于目标保护，选择强制电流保护法提供一个稳定长效的阴极保护系统对钢制储罐保护；

考虑到阴极保护系统可与储罐同期施工，阳极采用可以弯曲，适合复杂地形的柔性阳极；故此可采用线性阳极保护技术，单罐形成独立的阴极保护体系，能合理优化阴极保护电流布局，降低阳极附近区域的电位梯度，减少对其他埋地建筑干扰；在罐底板增设多个汇流点并安装多支参比电极，实时监控阴极保护运行情况及保护电位；若保护期间出现阴极保护效果差的情况，可采取添加牺牲阳极阴极保护的措施。

3.2 参数设定

以增强阴极保护效果为目标，科学设定保护参数，具体为：阴极保护电位，在罐底板表面与土壤接触壁板采用阴极保护方法时，应注重罐/介质电位的设置，结合铜/硫酸铜饱和溶液的性能参数，将电位控制于100~−850mV之间；阴极保护电流密度，且地下埋设高性能的避雷接地体、管道，这就需要加强对避雷接地体、罐底板外侧、地下管网的保护力度，根据各个保护对象的基本情况、保护面积，针对性计算阴极保护电流密度。

3.3 在线监控系统

从油库基本情况出发，设计阴极保护在线监控专家系统，配备消除IR降电位测量探头，安装数控高频开关恒电位仪，测量地下管网阴极保护电位，远程智能化监测阴极保护情况，做好控制、故障分析；系统运行过程中，设置数据库，开放化管理数据库，可随时访问、查询数据库内容，为后期数据分析提供必要的支持；将人工智能（AI）技术引入阴极保护系统的运行监测，整合电位、电流、土壤电阻率、环境温湿度、杂散电流等传感器数据，结合管道/储罐的材质、涂层状态等信息，构建动态监测网络，能够显著提升腐蚀防护的智能化水平、数据分析和预测能力，同时降低人工维护成本。

3.4 运行管理

区域阴极保护过程中，定期检测阳极接地、极化回路电阻，一般不得超过4Ω，优化阴极保护参数，严格管控输出电压、电流。同时，全方位监控测量保护电位的分布情况，掌握电位分布规律、阳极电场大

小, 针对性管控极化电位, 使其在 $-1.2 \sim -0.85V$ 范围内, 还需定期系统性检测防腐层、绝缘装置、自然电位、阴极保护电源设备等。系统稳定运行后, 需专业技术人员定期开展管理维护, 做好系统设施巡检管理与日常维护工作, 充分利用在线监控系统的实时监测、数据传输功能, 精准掌握区域阴极保护效果, 智能调节系统运行参数。

4 区域阴极保护失效分析与解决措施

采用油库区域阴极保护技术时, 在油库结构复杂、空间不足等因素影响下, 可能出现局部保护不足、过保护等情况, 主要原因为地下金属结构复杂、接地体系规模大, 不仅限制地床设计, 还消耗大量的阴极保护电流。若未能正确处理油库干扰、屏蔽问题, 将显著增加后期维护工作, 降低阴极保护技术应用效果, 诱发保护失效的问题。

4.1 阴极保护失效故障

阴极保护失效故障包含: 土壤电阻率变化, 影响管道电流分布, 正常情况下若土壤电阻率较大, 管道电流密度则较小, 若土壤电阻率较小则管道电流密度大; 阳极或地床损坏, 导致阴极引线断开等, 不利于阴极保护系统稳定运行; 变压、整流器及供电系统故障, 影响阴极保护系统稳定运行; 防腐覆盖层故障, 属于阴极保护的重要组成部分, 若已严重老化, 将诱发重大系统故障。

4.2 解决措施

为有效规避土壤电阻率变化、阳极或地床损坏、变压、整流器及供电系统故障以及防腐覆盖层故障等阴极保护失效问题, 需引入智能控制技术, 搭建智能化阴极保护技术系统, 设置多样化的功能模块, 实现动态化监控阴极保护。应用油库区域阴极保护智能控制技术时, 包含智能测试模块、监测平台、恒电位仪, 以分组无线服务为载体进行数据信息传输^[4]。以智能恒电位仪为例, 具有自动化控制整流器的功能, 采用远距离无线电传输系统、GPRS 传输系统、以太网传输系统等, 辅以物联网、蓝牙等无线通信技术, 实时采集输出电流、保护电压等技术参数, 再采用数字接口、点对点等多种连接方式, 提高远距离传输、控制水平。相对于传统形式的电位仪, 在智能恒电位仪作用下, 智能试桩可采集多测试点极化电位、自然电位等参数, 再通过智能监控平台传输、处理、分析以及诊断数据, 大幅提高阴极保护控制水平, 如图 1 所示。

系统功能模块包含: 多点监测与实时监控模块, 结合油库运行的基本情况, 实时监控电流、电压等, 精准识别异常数据信息, 提高阴极保护监控的全面性; 自动调控与反馈机制模块, 根据监测数据针对性调整,

优化阴极保护参数, 调整电源输出, 减少电流的损耗, 强化保护效果; 远程监控与管理, 以互联网为载体, 帮助专业技术人员远程访问, 解决监测时效性不足的问题, 降低对技术人员的依赖性, 减少阴极保护成本; 故障预测与维护, 统一整理监测数据信息, 智能预测故障隐患, 提出预防性维护措施。另外, 为进一步提高油库区域阴极保护智能化水平, 利用计算软件, 模拟计算阴极保护电位, 输出可视化智能调节阴极数据。

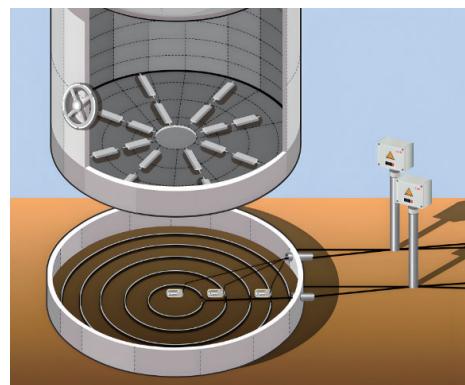


图 1 阴极保护智能控制

5 总结

总而言之, 纵观近年来油库持续性改革与创新发展, 罐底板外表面严重腐蚀, 地下管道密集分布, 产生安全运行隐患。文章结合 X 油库运行基本情况, 采用基于线性阳极地床的区别阴极技术, 制定技术应用方案, 科学划分阴极保护区域, 合理设定技术参数, 实行阴极保护管道跨接, 解决因电流衰减、土壤电阻率、管道绝缘性差等因素的影响, 而产生电流不均的问题。未来发展过程中, 为防止区域阴极保护失效的问题, 可引入人工智能 (AI)、大数据技术等, 推动油库智能化、信息化发展。

参考文献:

- [1] 刘晓龙, 刘凯, 裴世龙, 等. 深井阳极区域阴极保护技术在石化厂区地下供水管线中的应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(7):127-130.
- [2] 许实, 董如意, 王辉, 等. 有限元法在沉管隧道钢结构阴极保护设计中的应用 [J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(6):90-95, 102.
- [3] 延旭博. 输气站场区域阴极保护施工标准化研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20):4-7, 11.
- [4] 姚广玉, 陈胜, 强帅. 智能控制技术在油气站场区域阴极保护中的应用进展 [J]. 天然气与石油, 2024, 42(3):124-129.

作者简介:

黄文辉 (1985-), 男、汉族, 广东茂名人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 油库区域阴极保护。