

油气管道常用直流干扰排流措施应用效果研究及讨论

张培洲 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 随着轨道交通、高压直流输电等基础设施的快速发展, 油气管道面临的直流杂散电流干扰问题日益突出。本文从直流干扰的机理出发, 结合国内外标准与实践案例, 系统分析了油气管道受直流干扰的成因、危害及排流防护技术, 对国内目前常用的直流排流措施应用效果进行验证和讨论, 为油气管道安全运行提供技术参考。

关键词: 油气管道; 直流干扰; 排流措施

中图分类号: TE988.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 012-0091-03

Research and Discussion on the Application Effect of Common DC Interference Drainage Measures in Oil and Gas Pipelines

Zhang Peizhou (Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the rapid development of infrastructure such as rail transit and high-voltage direct current transmission, the problem of DC stray current interference faced by oil and gas pipelines is becoming increasingly prominent. This article starts from the mechanism of DC interference and combines domestic and foreign standards and practical cases to systematically analyze the causes, hazards, and drainage protection technologies of oil and gas pipelines affected by DC interference. It verifies and discusses the application effects of commonly used DC drainage measures in China, providing technical references for the safe operation of oil and gas pipelines.

Keywords: oil and gas pipelines; DC interference; Drainage measures

1 直流干扰机理与危害

1.1 干扰源分析

直流杂散电流主要来源于以下设施:

1.1.1 地铁

地铁系统通常采用直流供电 (如 750V 或 1500V), 电流通过接触轨 (第三轨) 供给列车, 再通过轨道回流至变电所。由于轨道无法完全绝缘, 部分电流会泄漏到周围土壤中, 形成杂散电流。杂散电流从土壤进入管道 (电流流入点成为阴极区, 管道电位负移, 易引发防腐层剥离、氢脆等), 在远离地铁的区域重新流出管道进入土壤 (流出点成为阳极区, 管道电位正移, 易引发腐蚀)。由于直流电流的低损耗性, 其干扰范围一般可达数十至上百公里。由于地铁的车次一般高于交流电气化铁路, 所以其对管道电位造成的波动也更加频繁, 且一般会呈现出与地铁运行规律高度符合的波动规律。其干扰一般呈现图 1 中的规律。

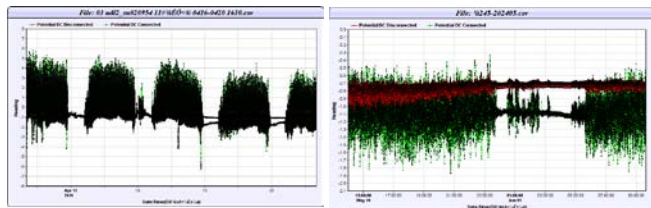


图 1 (a)

图 1 (b)

图 1 地铁对管道干扰的典型图

1.1.2 高压直流输电线路接地极

高压直流输电系统运行时, 电流通过接地极注入大地 (如单极运行或双极不平衡时), 形成以接地极为中心向四周扩散的电流场。接地极电流泄漏影响范围可达数十至上百公里。直流接地极虽然每年的放电时间较短 (通常为十几个小时至几天), 但放电电流较大 (通常可达几千安培), 对管道产生的电位变化一般也较大。其干扰一般呈现图 2 中的规律。

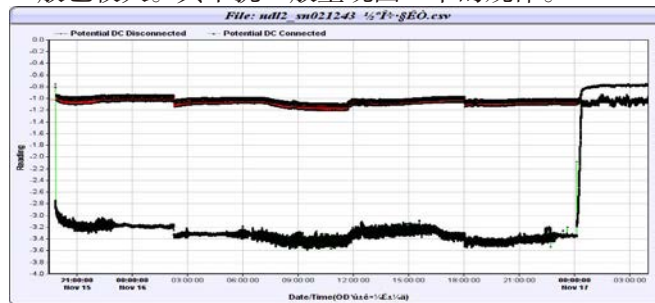


图 2 直流接地极对管道干扰的一般规律

1.1.3 其他阴极保护系统

邻近管道的阴保站等, 可对管道造成持续的干扰, 其干扰范围一般与阴保站的输出电流和辅助阳极形式有关。在此需要特别强调的是, 若管道仅交叉而附近无阴保站, 其影响一般较小, 可不考虑采取排流措施。第三方管道阴保站对管道造成的干扰随其恒电位仪启停一般呈现图 3 中的规律。

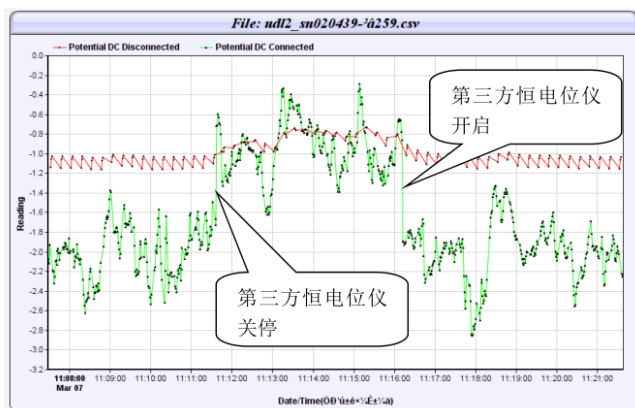


图 3 临近管道阴保站对管道干扰的一般规律

1.1.4 地磁场、潮汐

当地球表面的磁场强度受到地磁暴的影响发生变化时，会在油气管道中产生感应电流，从而引起管道点位的波动。潮汐的形成是海水受到月球引力变化的结果，但潮汐变化时，会在海洋中产生二次电场变化，从而影响海岸附近土壤中的电位变化，进而引起海岸附近油气管道的电位的变化。

1.2 干扰危害

①腐蚀加速：杂散电流流出点（阳极区）导致局部腐蚀速率达常规情况的数十倍，如山东某输气管道受青岛地铁干扰，经内检测发现与地铁交叉的位置六年时间内最大腐蚀深度 6mm，腐蚀速率达到了 1mm/年。直流干扰腐蚀最典型特征为炭黑状腐蚀产物，典型腐蚀样貌见图 4、图 5。②阴极保护设施无法正常运行：电位波动导致恒电位仪异常停机，保护电位不达标。③氢脆风险：电流流入点（阴极区）可能诱发管道氢脆，降低材料韧性。

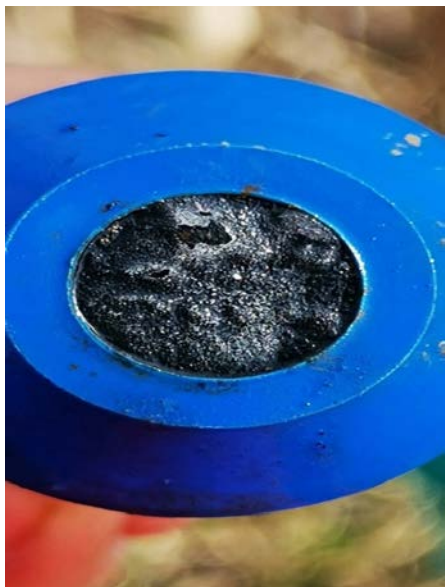


图 4 极化试片受直流干扰腐蚀样貌



图 5 管道受直流干扰腐蚀样貌

2 直流干扰排流防护技术

2.1 排流措施分类

根据 GB 50991-2014《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》，常用排流措施包括：①直接排流：通过金属导体连接干扰源与管道，适用管道阳极区较稳定且可以直接向干扰源排流的场景。②极性排流：采用二极管限制电流单向流动，防止反向电流腐蚀，需配合接地体进行使用。③强制排流：利用恒电位仪或整流器强制调整管道电位，适用于动态干扰。使用此方式前通常需先进行馈电实验，以验证其有效性。④接地排流：通过金属导体连接将管道与接地体相连，通过低电阻接地体向大地排流的方式。接地体通常为锌合金、镁合金牺牲阳极。

2.2 其他关键技术应用

①固态去耦合器（SSD）：兼具隔直通交功能，可抑制交流干扰并实现直流排流，但需结合接地系统设计。②极化探头与 ER 腐蚀监测：实时监测断电电位及腐蚀速率，综合评估排流效果和腐蚀速率。③防腐层修复：提升防腐层绝缘性，减少电流泄漏点，降低干扰敏感度。④分段绝缘：对于直流干扰，除排流措施外，还可以通过分段设置绝缘接头的方式来减小直流干扰的干扰范围。但应注意分段不宜过短，以避免划分的管段仍在干扰源的影响范围内。

3 工程实践案例分析

3.1 山东某天然气管道受地铁干扰排流治理

①问题：山东某输气管道与青岛某地铁交叉，受到其较为强烈的干扰，管道电位波动达 $-8.0\text{V} \sim +8.0\text{V}$ ，管道沿线大部分位置断电电位不达标。且此管线并行敷设的其他多条管线均受到此地铁的干扰。②措施：在电位偏正最严重的位置进行馈电实验，验证改善效果良好的前提下，在此位置设置微型恒电位仪进行强制排流；在其他位置设置极性排流器 + 镁

合金牺牲阳极组合；并在沿线部署 ER 腐蚀探头进行持续监测。③效果：在实施以上治理措施后，管道沿线电位波动降至 $-0.6\text{V} \sim -2.3\text{V}$ ，断电电位达标率超 95%。

3.2 山东某管道受第三方管道线路阴保站干扰治理

①问题：山东某管线一测试桩处在恒电位仪关停状态下电位仍达到 -2.5V 左右，且电位相对较稳定。经现场测试排查，此处干扰源为第三方管道阀室内线路阴保站。此线路阴保站辅助阳极地床距离本工程管道约 165m，根据调研，其恒电位仪采用恒电流模式运行，设定电流 3.5A。根据测试人员现场测试，其管道通电电位达到了 -5.0V 左右。在其恒电位仪关停后，本工程测 259 处通电电位由 -2.5V 降至 $-0.4\text{V} \sim -1.6\text{V}$ 左右，断电电位由 -1.18V 降至 -0.8V 左右。②措施：协调第三方管道管理单位对其管道进行断电电位的测试，并根据测试结果适当调低其恒电位仪输出电流，使其管道电位在合理范围内；在靠近第三方管道线路阴保站处设排流装置。③效果：在实施以上治理措施后，此处管道电位波动降至 -1.46V 左右，断电电位为 -1.12V ，符合规范的要求。

3.3 广西某输油管道受地铁干扰治理

①问题：广西某输油管道与地铁交叉，导致其临近阴保站恒电位仪通电电位波动达 $-3.0\text{V} \sim 2.0\text{V}$ ，即使在恒流模式下仍出现频繁停机的情况，无法运行，导致沿线电位大部分不达标。②措施：在管道与地铁交叉处、阴保站汇流点附近及线路其他位置设置带状锌阳极进行排流；并对干扰段内检测到的防腐层进行开挖修复；并在沿线干扰严重处设置腐蚀试片进行腐蚀速率监测。③效果：在实施以上治理措施后，管道沿线通电电位波动范围为 $-0.8\text{V} \sim -1.52\text{V}$ ，断电电位负于 -0.85V ，且较稳定，恒电位仪可正常运行。

4 现存问题与优化建议

4.1 设备标准化不足

目前固态去耦合器、极性排流器缺乏国家或行业标准，各厂家产品质量参差不齐，且阈值电位的设定通常未结合干扰管道电位波动情况和接地体材料，导致实际应用过程中排流效果不佳。

基于以上原因，提出如下建议：①推进标准规范的编制与发布；②在实际使用过程中针对管道干扰情况及接地体材料对每处干扰点设置合适的阈值电位；③采用接地排流的方式，但需根据管道干扰情况和土壤电阻率选择合适的接地材料。山东某管道受地铁干扰严重，设计时在干扰段每公里设 1 处极性排流器，接地体采用带状锌阳极，但排流效果不明显。发现问题后，现场人员将管道直接与锌带连接再次进行测试，

发现排流效果大幅改善，电位基本达到规范的要求。

4.2 与干扰源运营单位沟通不畅

根据工程经验，部分管道存在采取了足够多的干扰治理措施后，排流效果仍不明显，继续追加排流措施收益甚微。但是由于干扰源方一般为地铁、输电线路等重要基础设施，协调其进行干扰源治理的难度极大，造成管道管理方每年投入大量人力物力到干扰治理工作中。

因此，建议管道方与干扰源方建立跨部门协作机制，建立针对可能产生干扰和受到干扰的设施的信息共享平台，在设计阶段即规划双方布局，从源头预防干扰的产生。

5 结论

直流干扰排流需采取“预防 - 监测 - 治理”一体化策略：规划设计阶段规避干扰源，提升防腐层质量；直流干扰的治理应根据实际情况选择适宜的措施，运行期采用多模式排流组合，并结合实时监测技术；强化标准体系建设与跨行业协作。

未来研究方向应聚焦于基于 AI 的高精度干扰模拟分析、智能化排流设备开发及极端工况防护技术突破。

参考文献：

- [1] 杨杰, 王建华, 黄建芳. 埋地输油管道杂散电流腐蚀防护研究 [J]. 中国储运, 2022(07):140-142.
- [2] 汤丁, 何鑫, 许捷, 等. 埋地输气管道的直流杂散电流干扰分析与排流措施 [J]. 天然气勘探与开发, 2023(4):6-8.
- [3] 吕剑. 油气管道直流干扰的治理方法研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2021(05):29-31.
- [4] 李丹丹. 高压直流输电线路对某埋地金属管道的干扰规律研究 [J]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [5] 李茜, 宾帆, 周熙朋, 等. 油气管道动态直流与交流混合干扰分离检测方法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2023(4):192-203.
- [6] 范锋, 庞洪晨, 王朋, 等. 青岛地铁 13 号线对某管道直流干扰及治理研究 [J]. 天然气与石油, 2021, 39(3):66-68.
- [7] 姜子涛, 曹国民, 钟良, 等. 城镇基础设施对油气管道的干扰规律及其识别方法 [J]. 全面腐蚀控制, 2022(11):44-46.

作者简介：

张培洲 (1989-), 男, 汉族, 山东高密人, 本科, 高级工程师, 主要从事长输管道、站库防腐及阴极保护设计。