

# 复杂工况下燃气场站管道阴极保护电位异常波动成因及调控分析

贾云鹤 (中石油昆仑燃气有限公司都凯分公司, 贵州 凯里 556000)

张少华 (中石油昆仑燃气有限公司中卫分公司, 宁夏 中卫 755100)

殷 芮 (嘉峪关中石油昆仑燃气有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

**摘要:** 燃气场站管道阴极保护电位它容易受到复杂工况的影响出现异常波动, 会给燃气场站管道的防腐效果造成一定的影响。研究从复杂工况角度, 对燃气场站管道阴极保护电位的异常主要形成原因进行了探讨, 同时针对异常波动的综合调控策略开展深入研究, 希望在本文论述后, 能够为燃气场站管道的安全稳定运行提供有用参考。

**关键词:** 燃气场站; 阴极保护; 电位波动; 杂散电流; 绝缘接头

**中图分类号:** TE988 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0105-03

## Analysis of Causes and Control of Abnormal Fluctuations in Cathodic Protection Potential of Pipeline in Gas Stations Under Complex Operating Conditions

Jia Yunhe (PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd. Dukai Branch, Kaili Guizhou 556000, China)

Zhang Shaohua (PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd. Zhongwei Branch, Zhongwei Ningxia 755100, China)

Yin Rui (Jiayuguan PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd. Jiayuguan Gansu 735100, China)

**Abstract:** The cathodic protection potential of gas station pipelines is prone to abnormal fluctuations due to complex working conditions, which can have a certain impact on the anti-corrosion effect of gas station pipelines. This study explores the main causes of abnormal cathodic protection potential in gas station pipelines from the perspective of complex operating conditions, and conducts in-depth research on comprehensive control strategies for abnormal fluctuations. It is hoped that after this discussion, useful references can be provided for the safe and stable operation of gas station pipelines.

**Keywords:** gas station; Cathodic protection; Potential fluctuation; Stray current; insulating joint

在现代城镇化加速以及能源转型不断进行的背景下, 城市内部燃气管网建设规模逐步扩大, 其核心节点包含门站、储配站、LNG接收站, 能满足燃气系统调峰、储存、计量以及分配的多样化功能。燃气场站管道分布密集、压力等级多样、材质新旧并存, 并且燃气管道和市政管网、电力设施、轨道交通交叉设置, 这导致其运行工况极为复杂。燃气场站管道阴极保护系统是防腐措施的重要形式, 其有效性主要是检测燃气管道电位是否稳定在  $-0.85\text{V CSE}$  (或更负) 至  $-1.20\text{V CSE}$  之间为依据。从调查来看, 燃气场站管道保护电位出现波动较大的情况, 甚至出现瞬时超出安全范围的现象, 进而出现燃气管道严重腐蚀问题。基于此, 深入探讨复杂工况下燃气场站管道阴极保护电位异常波动原因, 并采取适宜调控措施, 确保燃气场站管道运行达到安全性、可靠性。

### 1 复杂工况下电位异常波动的主要成因分析

#### 1.1 杂散电流干扰

燃气场站管道在复杂工况条件下, 杂散电流干扰

较为严重, 这是导致管道电位波动的主要原因。由于燃气场站周边分布大量的电气化铁路、地铁、有轨电车以及大功率工业设备, 这些设备在运行时给燃气管道输送杂散电流。而这些电流在土壤中流动遇到埋地管道时, 在管道某一点位流入, 再从另外一点位流出, 流入点管道电位被强制负移, 流出点电位则正向偏移, 进而出现管道局部腐蚀严重现象。

#### 1.2 多源阴保系统相互作用

大型燃气场站内部设置多个独立工艺单元, 每个单元都设置有单独阴极保护站。同时, 燃气场站进出管道和市政主干管网区域性阴极保护系统连接, 这些不同来源、不同控制模式的阴极保护系统在空间上临近时, 其输出的保护电流在土壤内相互叠加或抵消, 而导致燃气管道周边存在复杂的电流场。如果燃气场站管道各系统无法达到协调性, 其在区域内形成保护盲区或过保护区<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 土壤环境动态变化

燃气场站管道周边土壤环境并不是固定的, 其会

随着降雨、干旱引发土壤电阻率波动变化。降雨时土壤含水率升高、电阻率下降，管道阴极保护电流容易扩散，进而出现电位普遍负移现象；旱季土壤含水率下降、电流分布受限，此时的阴极保护电位正向漂移。同时，燃气场站周边存在消防喷淋、工艺排水、海水倒灌等事件，进而导致土壤性质发生变化，进而出现管道电位突变现象。

#### 1.4 绝缘接头 / 法兰失效

燃气场站电连续性隔离中，绝缘接头、绝缘法兰是重要部件，其主要是满足不同压力等级、不同产权、不同保护需求的管道隔离，从而避免出现管道保护电流流失现象。然而绝缘接头 / 法兰在长期使用过程中，出现损坏、密封失效、老化的现象，其内部短路引发绝缘性能降低问题。

如果绝缘接头、法兰出现失效情况，原本隔离的燃气管道出现电连接现象，进而导致管道阴极保护电流被分流到非目标区域，这就出现受保护的燃气管道主电位正向漂移而导致阴极保护效果无法达到要求。这种失效形式并不是突然出现的，而是随着燃气管道运行时间延长逐步形成的，并且电位主要表现为缓慢、持续的正向偏移。

### 2 电位异常波动的综合调控策略

#### 2.1 强化智能监测与精准诊断

燃气场站管道监控过程中，通过智能监测与精准判断掌握管道运行状态。在该监测体系建设过程中，需在燃气场站管道走向绝缘接头两侧与其他管线交叉位置、临近地铁或电气化铁路等关键位置，安装智能数据记录仪。该设备按照每秒 1 次以上的频率采集燃气管道运行数据，持续掌握燃气管道电位、交流干扰电压、周边土壤电阻率等参数。而在监测过程中将监测数据直接传输到中央控制平台，并由技术人员根据监测的参数分析电位波动曲线的频谱，再了解电位波动变化参数以掌握管道受腐蚀现象。

同时，技术人员根据掌握的各项参数信息，通过分析管道阴极保护电位异常特征和外部运行参数，如地铁列车发车与回库时刻、电网日负荷曲线，精准识别两者同步性或相关性，再判断杂散电流对管道腐蚀性产生的影响<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 实施针对性排流与防护

如果燃气场站管道周边已经识别存在杂散电流严重干扰，这需要在燃气管道的电位正向偏移阳极区段设置排流点。在排流点布置过程中，需在每个点位上安装一台极性排流器，其输入端利用焊接或铜缆方式和燃气管道本体连接，输出端则利用电缆直接引接至干扰源的负回流系统，如地铁牵引变电站负母排或钢

轨。排流器内部安装二极管或可控硅元件，其运行中保证电流从管道单向流向干扰源，避免反向电流进入管道而引发阴极保护系统失效。如果燃气管道杂散电流干扰较强，且波动幅度比较大，需在燃气管道周边布置强制排流装置。

强制排流装置内设置可调直流电源和自动控制单元，并结合实际测量的管道地电位动态调整输出电流，使燃气管道的电位处于保护范围内。在燃气管道排流点两侧各延伸 10m 范围的管顶上方埋设宽度 50mm、厚度 3mm 的连续锌带，锌带和燃气管道之间采用截面积超过 16mm<sup>2</sup> 的铜芯电缆连接，各点位设置热缩套密封达到良好保护效果。如果燃气管道处于电阻率异常高的土壤条件，或者燃气管道涂层破坏较为严重，则需在燃气管道中更换铝合金牺牲阳极块，每块重量 15kg，间隔 5m 布置，阴极包填充专用低电阻率回填料。上述所有排流和牺牲阳极设施的安装位置、电缆走向与连接方式做好记录，并将其作为燃气场站日常巡视检查的内容管理。

#### 2.3 优化多源阴保系统协同

燃气场站内部各工艺独立区域的阴极保护站统一整合，从而构建形成覆盖燃气场站的阴极保护运行管理架构。在燃气场站进行阴极保护系统设置过程中，其需要综合考虑到燃气场站三维地理信息和管道网络拓扑，从而构建完善的阴保系统数字孪生模型，再将各区域内土壤电阻率、涂层状况、管道规格、现有阳极地床等参数输入到系统，模拟不同恒电位仪输出条件下保护电流在土壤中分布以及叠加效应。该环节中进行精准的模拟运算，从而确定燃气场站各点位的最佳电位以及输出限流值，进而形成协同化的燃气管道阴极保护方案。

上述运行方案将分散的恒电位仪更换或加装通信模块，再利用 4G 或工业以太网接口传输，使控制系统能及时获取燃气场站管道阴极保护的电压、电流、管道电位以及设备状态。中央控制系统根据掌握的各项数据信息，如果发现某个位置的电位偏离正常区间，则平台立即发送调整指令，使管道阴极保护系统达到运行要求<sup>[3]</sup>。

#### 2.4 动态调整系统运行参数

燃气场站管道阴极保护电位异常区域中，通过动态调整系统运行参数构建联动动态调整机制，以保证阴极保护系统达到正常运行。燃气场站管道运行中落实现场监测工作，分为雨季、旱季、过渡季节全面性监控，利用独立恒电位仪对各环境下进行系统监控。雨季设定电位值为 -0.9V CSE，输出电流上限降低 15%；旱季设定电位置调整为 -1.05V CSE，电流

上限提高 20%。上述监控方案在切换的过程中,需结合当地气象预报和土壤电阻率月度均值提前 7 天执行。如果系统监测发现土壤电阻率值在 2h 内下降超 30%,其因为消防喷淋或暴雨造成的,需立即进入到应急模式,将影响区域恒电位仪设定值临时上调 0.05V CSE,并限制最大输出电流控制在额定值 80% 以内。如果燃气场站管道周边土壤电阻率连续 24h 恢复到正常状态,则将监控模式切换为该季节原方案<sup>[4]</sup>。

## 2.5 定期检测与修复绝缘设施

燃气场站内所有的绝缘接头、绝缘法兰需进行年度巡检,按照每年至少进行一次全面性评估的方案,确保绝缘设施处于正常运行状态。在绝缘设施检测开始前,需将接头周边覆土清理干净,裸露出测试端子,再使用输出电压 500V 的兆欧表测量其本体绝缘电阻。如果测量参数值未达到 10M $\Omega$ ,则判定为异常。同时,燃气场站管道周边进行密间隔电位测量,沿着管道间隔 1m 采集通/断电位数据,主要分析绝缘接头上下游各 10m 范围内电位梯度。

如果测量两个管段在断电状态下电位差不足 0.1V CSE,或者通电状态下电流明显向非保护侧流失,则判定绝缘系统存在失效现象。如果经过判定绝缘系统达到失效状态,则制定如下检修方案:绝缘装置表面受潮或污损的情况,通过清洁、烘干、密封胶灌注等方式使其恢复绝缘性能;绝缘装置物理损伤或内部短路导致绝缘性能下降,则需要及时安排检修并更换合格的部件。在绝缘装置更换完成后进行绝缘性能测试,合格后再投入使用<sup>[5]</sup>。

## 3 案例分析

### 3.1 某沿海 LNG 接收站电位异常治理

某大型 LNG 接收站投入运行后,其外输管道监测点在夜间 22:00 至次日 02:00 反复出现管道地电位正向突跳现象,最低值 -0.60V CSE,远高于 -0.85V CSE 保护准则下限。为检查该问题发生原因,运维人员在现场安装线路监测仪,对管道持续 72h 电位、交流电压、环境参数进行监测。通过对监测数据分析发现,管道阴极保护电位异常波动期间和临近铁路线路末班车运行时刻保持同步,在列车进站制动时,管道电位发生瞬时正移,并持续时间 8~12min,这符合直流牵引系统杂散电流干扰特征。同时,通过对该接收站密间隔电位测量结果显示,场站内运行超 12 年的绝缘法兰上下游电位差长期保持 0.02 V CSE,并未达到间隔 0.3V CSE 以上的标准,这说明该绝缘法兰已经丧失绝缘性能<sup>[6]</sup>。

### 3.2 治理方案分两步实施

针对该 LNG 接收站的阴极保护系统运行状况,

制定如下两步实施措施:第一阶段,在该接收站计划停机时间内对于失效绝缘法兰整体更换,新安装绝缘法兰使用双密封结构,并在两侧焊接测试导线,再连接新建专用测试桩,以便后续定期检测。第二阶段,对于有些管道存在杂散电流严重的路段,其长度达 300m,设置 3 个排流点,每个点位安装一套智能极性排流装置。排流器负极利用 95mm<sup>2</sup> 铜缆连接到地铁轨道回流点,正极和管道焊接并安装数据采集模块,以掌握排流效果。在上述治理结束后经过 30 天持续监测,发现该接收站外输管道电位保持 -0.92V CSE 至 1.05V CSE 之间,夜间没有出现电流异常正移现象,且交流干扰电压从治理前 12V 下降到 1.5V 以下<sup>[7]</sup>。

## 4 结语

复杂工况下燃气场站阴极保护电位异常现象较为常见,其受到土壤、季节、人为等多方面因素影响。针对燃气场站阴极保护电位异常发生原因,通过建设“精准监测—深度诊断—靶向治理—动态优化”的全链条管理体系,实现燃气场站管道阴极保护系统运行效果提升。如此,能消除杂散电流干扰影响,提高燃气管道运行安全性、可靠性,为现代城市发展提供足够燃气资源。

## 参考文献:

- [1] 蔡成武. 强制电流阴极保护在城市燃气钢制管道中的应用 [J]. 城市燃气, 2022, (06): 1-8.
- [2] 赵悦春, 庄大伟, 杜艳霞, 等. 城市小区低压燃气管网开放式阴极保护方式及地床形式优化 [J]. 腐蚀与防护, 2022, 43(09): 93-98.
- [3] 高佳伟, 尹志彪, 邹健, 等. 钢质燃气管道动态直流杂散电流干扰的防护设计 [J]. 腐蚀与防护, 2022, 43(09): 79-83+98.
- [4] 伏喜斌, 黄启斌, 闫福磊, 等. 城镇燃气管道过海段牺牲阳极阴极保护仿真计算与分析 [J]. 城市燃气, 2023(12): 1-7.
- [5] 罗涛, 高观玲, 田晓江, 等. 无阴极保护燃气管道腐蚀危害的表征参量及规律 [J]. 腐蚀与防护, 2024, 45(07): 97-101.
- [6] 魏恩泽. 某天然气管道阴极保护电位波动问题的研究 [J]. 中国化工贸易, 2025(25): 88-90.
- [7] ZHANG Yong-fei, 张永飞, WANG Shu-li, 等. 长输埋地管道阴极保护故障诊断排除的实践与探讨 [C]// 中国腐蚀与防护学会. 中国腐蚀与防护学会, 2014.

## 作者简介:

贾云鹤 (1987-), 男, 汉族, 河北省邢台市人, 本科, 中级注册安全工程师, 研究方向: 天然气管道。