

# 庭院埋地钢质管道对地电位异常的研究

曾润奇 李相蓉 郭丹 邓诗瑶 曾绍丽(四川华油集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

**摘要:**近期, 我国燃气事故频发, 民众的生命财产安全正承受巨大压力。其中, 庭院埋地钢质管道自然电位阴极保护是保障终端用气安全的重要措施之一。本文以H公司庭院埋地钢质管道对地电位管理为例, 消除管道失效的安全隐患, 并期望为全国同类燃气公司庭院埋地钢质管道管理提供参考。

**关键词:**庭院埋地钢质管道; 对地电位; 异常; 建议

中图分类号: TE988 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)022-0154-03

## Research on Abnormal Ground Potential of Buried Steel Pipelines in Residential Compounds

Zeng Runqi, Li Xiangrong, Guo Dan, Deng Shiyao, Zeng Shaoli(Sichuan Huayou Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000, China)

**Abstract:** Recent frequent gas accidents in China have imposed significant pressure on public safety and property security. Among various safety measures, cathodic protection through natural potential for buried steel pipelines in residential compounds serves as a critical approach to ensure end-user gas safety. This study examines the ground potential management of buried steel pipelines in Company H's residential compounds, aiming to eliminate potential pipeline failure risks. The findings are expected to provide valuable references for similar gas companies nationwide regarding the management of buried steel pipelines in residential areas.

**Keywords:** Buried Steel Pipelines in Residential Compounds; Ground Potential; Abnormalities; Recommendations

社区燃气供应系统的核心部分里, 中压管道输送的燃气经调压箱降至低压(约2.5kPa), 随后通过低压庭院管网分配至用户。燃气管道安全事故的关键诱因之一为低压管道的腐蚀泄漏与失效现象。由于设计和历史的原因, 庭院低压管道防腐蚀层普遍较薄, 同时未施加有效的阴极保护, 就成为腐蚀漏气的高发区, 且失效比例居高不下。因此, 十分有必要研究庭院管网的泄漏失效原因, 并采取相应的措施, 降低管网泄漏失效频次。

### 1 庭院管网泄漏失效分析

#### 1.1 H公司庭院管网泄漏失效情况

H公司管理管网长度共计33362.66km(含立管), 其中输气管道504.21km, 高压(次高压)管道1125.03km, 中压管道11874.56km, 低压管道(含立管)19760.02km。

2022年H公司总计发生889次管道失效, 从管道失效模式分析, 其中781次由于钢质管道外腐蚀导致的失效, 比例为87.85%。这其中604次庭院管线失效, 占比为77.3%。2023年, H公司总计发生598次失效, 从管道失效模式分析, 其中546次由于钢质管道外腐蚀导致的失效, 比例为91.3%。这其中493次庭院管线失效, 占比为82.44%。根据以上管道失效数据统计, 埋地钢质管道外腐蚀导致的失效占比为90%左右, 其中庭院埋地钢质管道外腐蚀导致的失效

占比达到四分之三。

#### 1.2 H公司院管网泄漏失效原因分析

通过整理分析H公司管道失效台账、失效报告, 并查阅相关文献得知, 庭院管网埋地钢质管道外腐蚀泄漏失效高的主要原因有服役年限、防腐层质量、阴极保护状况、杂散电流、土壤电阻率等因素。通过综合分析, 认为服役时间和防腐层质量改变可能性较小, 土壤腐蚀性不是管道失效的关键因素, 阴极保护和杂散电流是影响埋地钢质管道腐蚀的重要因素, 其中直流杂散电流更是影响庭院管网腐蚀的主要因素。

目前, 审实GB/T 19285-2014《埋地钢质管道腐蚀防护检验手册》的编制流程图, 土壤表面电位梯度和管地电位是衡量管道杂散电流强度关键指标。土壤电位正向偏移逐渐露出端倪, 土壤表面的电势梯度已达到0.5mV/m的转折分界点, 直流干扰的苗头初现; 电位正向偏移已达到200mV的临界高度, 土壤表面电位梯度已触及5mV/m的临界分界点, 这一迹象充分揭示了直流干扰的严重程度; 对管道各特定点进行详尽考察, 管道与地面间的电位正向偏移已达到百毫伏的显著界限, 土壤电位梯度已达到2.5mV/m的显著阈值, 应启动直流排流防护程序以保护系统安全。直面杂散电流源特性的神秘领域之谜, 不妨实施静态与动态杂散电流检测途径, 对管道地电位与感应电流的波动效应进行测量。当管地电位波动值超过50mV或感应电

流波动值超过1A时，可被确认为动态杂散电流干扰的明确证据；若管地电位波动值超过350mV或感应电流波动值超过3A，则明确为动态杂散电流干扰案例；若管地电位波动值超过200mV或感应电流波动值超过2A，必须激活杂散电流的防御机制。

一般在实际检测中，受到杂散电流的影响，无法测得准确的管道自然腐蚀电位，因此采用“电位正向偏移”指标无法判断杂散电流的情况；而“土壤表面电位梯度”和“感应电流波动量”的测试结果受到敷设环境的影响也非常大，一般作为辅助的判断指标；通常采用记录仪记录“管地电位波动量”来评估杂散电流是相对准确的。项目组认为可以通过控制杂散电流干扰，减少庭院管网外腐蚀造成的泄漏。通过前期资料收集和分析，发现庭院管网受到杂散电流干扰源主要来自楼栋防雷接地、配电箱、变压器等，具体表现为管网的自腐蚀电位出现较大偏移，造成天然气管道变成阳极，牺牲电子保护其他设备设施。

## 2 管道自然电位偏移分析

### 2.1 管道自然电位腐蚀原理

两种不同的金属放在同一电解质中会发生氧化还原反应，即电化学腐蚀。阳极为氧化反应发生地，阴极为还原反应发生地。电势差的微妙迹象初见端倪，电流在电池的电流路径上游弋，阳极的腐蚀速度开始加快，阴极腐蚀现象受到了有效抑制，进而为阴极金属筑起了稳固的防线。在实际应用中往往采用电偶序，这是一种按照金属和合金在指定介质中所实测的稳定电位而排列的电位序列表，给出了金属和合金土壤中的电偶序。电位序列表中各金属和合金在介质中的电位也称为自腐蚀电位。两种不同电位的金属发生氧化还原反应时，阳极和阴极因为失去电子或者得到电子，电位就会发生偏移，采用万用表及标准饱和硫酸铜参比电极，就可以测量电位偏移情况，从而确定腐蚀情况。

### 2.2 管道自然电位负向偏移

在实际应用中，天然气埋地钢质管道正常的自腐蚀电位（即测试的自然电位）为-0.5v，我们希望管道在土壤环境中属于阴极，及电位发生负向偏移，管道就受到保护，不会发生腐蚀。

天然气管道的保护通过将电位低于钢管的金属与被保护钢管道连接，在土壤电解质中构成原电池。电极电位较高的钢管道作为阴极，电流从电位较低的阳极经电解质（土壤）流向阴极，从而实现埋地管道的防护。通常选用电极电位低于钢铁的金属作为牺牲阳极材料，诸如镁、锌及其合金等金属系列群系族。

### 2.3 管道自然电位正向偏移

庭院内设备设施，因为受防雷接地强制规定的要

求，庭院燃气管网经常通过接地与建筑物的防雷接地、电气井母线接地、配电间配电柜、电器设备等电位联结线等互通，造成了庭院燃气管网电位异常

庭院燃气钢质立管，因为防雷接地的要求，一般通过扁钢与楼栋接地网连接在一起。管道埋地部分通过土壤与接地网形成原电池结构，存在电化学腐蚀的可能性。混凝土中钢自腐蚀电位为-0.2v，同时电器、电气设备设施主要以铜金属为材料，铜在土壤中的自腐蚀电位为-0.2v。而天然气埋地管网自腐蚀电位为-0.5v，这样天然气管道就变成阳极，建构筑物钢筋和电气、电器设备的接地变成阴极，天然气管道防腐层破损处金属流出电子，发生腐蚀。所以，从理论上分析可以看出，庭院燃气立管防雷接地是造成庭院埋地钢质管道外腐蚀和失效的主要因素。

## 3 庭院管网现场检测

此次庭院管道电位异常检测龙泉、中和、华阳三个地区，合计10座庭院管道。测试对象和内容主要包括：立管自然电位、楼栋防雷接地自然电位、配电箱接地自然电位、路灯接地自然电位、杂散电流干扰测试等项目。

### 3.1 电位测试

#### 3.1.1 检测方法

采用地表参比法测量管道自然电位：①仪器：宜选用数字万用表：内阻为 $10M\Omega$ ，精度不低于0.5级。②参比电极：铜一饱和硫酸铜电极（CSE）成为首选电极的翘楚领袖，电流密度必须维持 $5\mu A/cm^2$ 的临界要求，并保持电位波动在30mV以下稳定。

#### 3.1.2 测试接线示意图

图2坚定地撕开了测试接线的神秘面纱。①管道；②测试站；③数字万用表；④参考电极。

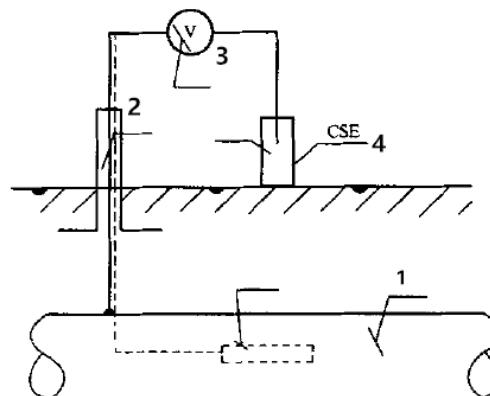


图1：测试接线示意图

#### 3.1.3 测试步骤

①将参比电极放在管道顶部上方地表潮湿的土壤上，应保证参比电极与土壤电接触良好。②将电压表

调至适宜的量程上，读取数据，做好记录，注明该电位值的名称。

从测试数据看出：①庭院埋地钢质管网自然电位多数位于-0.2V至-0.3V之间，而钢质管网正常自腐蚀电位为-0.5V，电位值发生正偏移。②所有庭院埋地钢质管网自然电位和本楼栋防雷接地的电位基本相同，表明天然气管网电位发生正偏移的主要原因是防雷接地造成的，这也是庭院埋地钢质管道电位管理的主要方向。③有个别楼栋的防雷接地和调压箱电位为正，则存在家里电气设备接地的可能性或者小区配电箱搭接的可能性。

### 3.2 交流干扰检测

#### 3.2.1 交流干扰电流密度评价方法

对GB/T 50698-2011《埋地钢铁管道交流干扰防护规范》的条文进行详尽解读，该管道交流干扰电压未越界4V，无需执行防护措施；若电压超过4V，交流电流密度鉴定需详尽至细，这一步是计算流程中的关键节点：

$$J_{AC} = \frac{8V}{\rho \pi d}$$

式中：

$J_{AC}$ —交流电流密度评估值，单位为A/m<sup>2</sup>；

V—探索交流干扰电压平均有效值的未知数，单位为伏特（V）；

$\rho$ —土壤电阻率，单位为欧米（Ω·m）；

d—缺陷点直径，单位为米（m）。

注：①立刻启动交流干扰电压的检测程序，精准选取与测试点管道埋深一致的土壤电阻率实际测量值作为 $\rho$ 值。②d值按发生交流腐蚀最严重考虑，取0.0113。

探讨GB/T 50698-2011《地下钢铁管道交流干扰防护规范书》的指导性细节，直面交流干扰强度被评为“强”的严峻挑战，一丝不苟地执行防护要求；若被评为“中”，倡导实施防护程序；对于“弱”干扰，无需采取防护步骤。

#### 3.2.2 交流干扰电位测试结果

依照《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》(GB/T 50698-2011)的正式指导，对十个庭院实施数据记录仪交流干扰的精密检验程序，10座庭院管道均抽取了1处普查发现交流电位较大波动点的调压箱进行了2h监测。

深入挖掘《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》(GB/T 50698-2011)的条文深层含义，分析监测数据，监测结果均小于4V，10座庭院小区交流干扰均为弱，

不需进行交流电流密度计算，不用采取交流干扰防护措施。

通过以上10处庭院管道自然电位监测分析，按照GB/T 19285-2014《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》规定，管道直流干扰均为强，其余庭院管道自然电位正向偏移均大于20mV且小于200mV，管道直流干扰为中，即调查的10处庭院管道均存在直流干扰。

### 4 结论与建议

通过现场检测发现，所有庭院埋地钢质管道电位均比正常的自腐蚀电位偏正，燃气庭院埋地钢质管道在土壤介质中存在加速腐蚀的情况。针对该问题，可以采取以下措施进行控制和消除：①针对现有庭院埋地钢质管道，H公司制度要求低压管道的PCM检测周期为8年，从失效台账及本科研项目成果可以看出，庭院管线因为防雷接地等原因，在防腐层破损点处外腐蚀造成的穿孔泄漏比较严重，建议缩短庭院管网PCM检验周期；②根据规范要求，天然气立管必须连接接地网，以满足防雷击的安全要求。但是会造成钢质埋地管道外腐蚀加速穿孔泄漏的隐患，建议新建庭院管道采用PE管道；③现场发现小区配电箱接地直接焊接到立管的情况，建议巡护人员进行日常巡护时，加强此类隐患的排查工作，及时发现处理搭接问题；④对现有庭院管网追加阴极保护系统，使管道不再流失电子，管网本质安全得到有效保障。

### 参考文献：

- [1] 王庆余,王宁,李夏喜,等.北京燃气管网外腐蚀泄漏的关键影响因素[J].腐蚀与防护,2020,41(5):54-56.
- [2] 魏思佳.“最后一米”的安全落实难在哪——守住城镇燃气安全底线的话题评说[J].中国应急管理,2022(3):90-93.
- [3] 张玉星,邢琳琳,王一君,等.城镇燃气钢质管道腐蚀原因与对策研究[J].城市燃气,2019(11):22-25.
- [4] 李可彬,张鹏,王复兴,等.埋地钢制管道沥青涂层腐蚀调查与失效分析[J].四川轻化工学院学报,2004,17(1):55-60.
- [5] 许明明,周鹏飞,赵福兴.城镇埋地燃气管道防腐层检测方法探讨[J].全面腐蚀控制,2017,31(5):65-68.
- [6] 王亮,王鹤鸣,郭勇,等.城镇钢质燃气管道外防腐常见问题及治理措施[J].全面腐蚀控制,2015,29(3):27-29.
- [7] 孙健民,田念佩,杜艳霞.某低压燃气管道频繁泄漏的原因[J].腐蚀与防护,2022,43(2):74-78.
- [8] 郑焱文,黄小美,龚智利,等.埋地钢质燃气管网地铁杂散电流腐蚀防护模拟[J].煤气与热力,2020,40(7):35-42.