

# 燃气管道追加阴极保护防腐措施的分析与设计探析

赵春春

北京天兴燃气工程有限公司 北京 100166

DOI:10.12238/ems.v7i6.13873

**[摘要]** 本文聚焦于燃气管道的防腐需求, 透彻分析增添阴极保护防腐措施的必要性与可行性, 借助探讨各类阴极保护技术的原理, 结合燃气管道当下实际工况, 研究追加阴极保护措施设计流程及关键参数的确定途径, 还结合特定工程实例说明实施流程与效果评定, 意在为燃气管道增设阴极保护防腐给予系统的理论剖析与实践指引, 增长燃气管道服役寿命, 守护燃气输送安全无忧。

**[关键词]** 燃气管道; 阴极保护; 防腐措施; 设计; 电位

## 引言

作为清洁高效能源的燃气, 在城市能源供应体系里占据核心地位, 作为燃气输送关键设施的燃气管道, 其安全稳定运行状态, 直接和城市居民生活及社会经济发展挂钩, 燃气管道长期呈埋于地下的状态, 受到土壤腐蚀、杂散电流干扰等若干因素影响, 容易出现腐蚀穿孔故障, 引发燃气逸漏, 造成火灾、爆炸等重大安全事故。作为高效防腐技术, 依靠抑制金属管道的电化学腐蚀流程, 能切实延长管道使用年限, 在现有的燃气管道防腐系统里, 添设阴极保护防腐方式, 对提升管道的防腐水平、保障燃气安全输送意义非凡, 本文会针对燃气管道增设阴极保护防腐措施展开深度分析与设计研究。

## 一、燃气管道腐蚀现状与追加阴极保护的必要性

### (一) 燃气管道腐蚀现状分析

#### 1. 土壤腐蚀

土壤呈现为复杂的电解质环境, 其酸碱度 (pH 值)、含水率、含盐量等因素均能对燃气管道腐蚀速率造成影响, 处于酸性土质的环境中, 氢离子浓度偏大, 金属管道易诱发析氢腐蚀; 在我国南方一座沿海城市, 因为土壤里盐多且湿度大, 使用 5 - 8 年后, 部分埋地燃气管道有明显的腐蚀减薄现象出现, 某段管道壁厚从一开始的 8mm 减少到 5mm, 个别局部位出现腐蚀穿孔, 后续分析发现, 该区域土壤中氯离子含量高达 0.5%, pH 值接近 5.5, 该土壤环境极大地推动了管道的电化学腐蚀发展。

#### 2. 杂散电流腐蚀

伴随城市轨道交通、高压直流输电等工程开展, 杂散电流对燃气管道造成的腐蚀影响日益突显, 杂散电流会令管道局部成为阳极区域, 加快金属电化学腐蚀的步伐, 只要杂散电流密度达到  $1\text{mA}/\text{cm}^2$ , 管道的腐蚀率将大幅上扬, 或许在短时间造成管道穿孔。处在北方某城市的地铁施工地段, 因地铁运行所产生的杂散电流干扰, 周边的燃气管道半年内已然出现了多处腐蚀坑, 检测结果表明, 受杂散电流影响的区域里, 管道电位波动范围达到  $-1.2\text{V}$  至  $+0.8\text{V}$ , 远超正常波动区间, 引发管道腐蚀速率比正常状况快 5 - 8 倍<sup>[1]</sup>。

#### 3. 微生物腐蚀

土壤当中存在的硫酸盐还原菌、铁细菌等微生物群, 会介入金属管道的腐蚀进程, 硫酸盐还原菌可把硫酸盐还原成硫化物, 跟金属起化学反应, 造就出腐蚀的产物, 破坏掉管道表面的防腐层, 管道内壁集聚大量黑色的硫化亚铁腐蚀产物, 引起管道内径缩小化, 输气的效率下降, 使管道泄漏风险进一步增大。

### (二) 追加阴极保护的必要性

#### 1. 现有防腐措施的局限性

就目前而言, 燃气管道常用的防腐方式主要为防腐涂层和牺牲阳极保护, 尽管防腐涂层在一定程度上可隔离管道与腐蚀介质, 但于施工阶段或许有涂层的缺陷, 伴着使用年限的递增, 涂层会渐次陈旧、剥离, 失去防护效果, 牺牲阳极保护受制于阳极材料性能和服役寿命, 若阳极消耗至无剩余

后, 保护成效会明显变差, 添入阴极保护能填补现有防腐措施的空白, 成就更全面化的防腐系统。

## 2. 保障燃气管道安全运行

若燃气管道出现腐蚀泄漏状况, 必将带来严重的安全隐患和经济亏空, 依靠追加阴极保护的防腐途径, 可高效减缓管道腐蚀的速率, 延展管道使用年限, 减小泄漏事故发生几率, 保证燃气管道安稳可靠运行, 维持社会公共安全和居民生命财产无恙。国家相关行业的标准与规范对燃气管道防腐保护作出了明确规定, 鼓励采用像阴极保护这样的先进防腐技术, 添加阴极保护防腐方法, 促使燃气管道运营企业达到行业规范, 促进企业合规管理水平。

## 二、阴极保护防腐技术原理与类型

### (一) 阴极保护基本原理

阴极保护借助电化学原理达成, 采用向被保护金属管道施加外部电流或连接牺牲阳极, 使金属管道表面阳极区过渡为阴极区, 进而实现对金属电化学腐蚀过程的抑制, 在正常情况下, 金属管道表面存有微电池, 阳极区金属实施氧化反应, 因丢失电子而遭腐蚀; 还原反应在阴极区开展, 若实施阴极保护措施后, 众多电子被输送到金属管道表面, 使整个管道表面全都成为阴极, 阻止金属原子脱出电子, 实现防管道腐蚀目的。

### (二) 阴极保护类型

#### 1. 外加电流阴极保护

外加电流阴极保护借助外接直流电源, 为受保护金属管道输送阴极电流, 使管道表面极化实现保护电位, 该系统主要是由直流电源 (以恒电位仪为例)、辅助阳极、参比电极和受保护的管道组成, 辅助阳极一般采用高硅铸铁、石墨之类的材料, 其用途是把电流引入到土壤里, 造就电流闭合回路; 参比电极可测量管道的保护电位值, 给恒电位仪呈上反馈信号, 保证管道处于有效防护状态, 长距离、大口径的燃气管道能采用外加电流阴极保护, 防护覆盖范围大, 可借助调节电源输出电流的大小, 满足不同工况里的保护要求<sup>[2]</sup>。

#### 2. 牺牲阳极阴极保护

采用牺牲阳极阴极保护时, 将电位较负的金属 (如镁合金、锌合金) 与待保护的燃气管道相连, 造就原电池模式, 处于原电池体系里, 作为阳极的牺牲阳极进行氧化反应, 一直消耗自身金属元素, 燃气管道作为阴极这一极, 获取电子达成受保状态, 牺牲阳极阴极保护展现安装不复杂、无需外部电源输入、对周边环境干扰小等长处, 适用于距离短且分布分散的燃气管道, 以及外加电流阴极保护实施困难的区域。

## 三、燃气管道追加阴极保护防腐措施的设计

### (一) 设计前期准备

采集燃气管道的材质、管径、壁厚、铺设长度、防腐涂层类型及状态等基础数据, 掌握管道运行的压力、介质成分等相关运行参数, 采集管道沿线土壤的物理化学性质 (如 pH 值、含盐量、电阻率等)、地下水位及杂散电流分布等环境数据, 为阴极保护设计给出依据, 实地查探燃气管道沿线情形,

确定管道精准位置及其埋深, 查验现有防腐层的破损迹象, 标识或许存在腐蚀隐患的区域, 实施勘察过程里, 还应知晓周边建筑物、地下其余管线等情况, 防止阴极保护系统的安装波及周边设施。

## (二) 阴极保护方式选择

综合考量燃气管道的长度、管径、运行状况以及土壤环境等要素, 综合权衡后抉择外加电流阴极保护或牺牲阳极阴极保护, 若遇到长距离、穿越复杂地形以及土壤电阻率较高区域的燃气管道, 不妨采用牺牲阳极阴极保护。在实际工程开展中, 也可采用两种保护方式相联合的途径, 充分释放各自长处, 增进保护功效, 若管道穿越如河流、铁路这类特殊地段, 必须结合具体状况对保护方式做优化修正, 若进行穿越河流这一操作, 可采用外加电流的阴极保护模式, 而且要加大辅助阳极的防护力度, 杜绝水流冲刷造成阳极毁坏; 在实施铁路穿越之际, 应考量列车运行造成的振动与电磁的干扰, 妥当安排阴极保护系统的电缆及设施, 保障系统平稳运转。

## (三) 关键参数确定

### 1. 保护电位确定

保护电位是阴极保护设计的核心参数, 合适的保护电位确保管道实现有效防护, 同时防止出现过保护、欠保护情形, 针对钢制燃气管道而言, 一般要求其保护电位要达到  $-0.85V$  (相对于铜 / 饱和硫酸铜参比电极, CSE) 也或电位变得更负, 处于存在硫酸盐还原菌的环境里, 保护电位应抵达  $-0.95V$ , 若管道附近有其他金属构筑物存在, 还需考量彼此间的电偶腐蚀效应, 对保护电位做恰当调整, 使各金属构筑物均得到有效保护<sup>[3]</sup>。

### 2. 保护电流密度确定

保护电流密度与诸如土壤电阻率、管道防腐层质量等因素存在关联, 就防腐层状况佳的燃气管道而言, 普遍情况下, 保护电流密度为  $5 - 10 \mu A/m^2$ ; 若管道的防腐层破损情况严重, 保护电流密度也许要达到  $50 - 100 \mu A/m^2$  才行。可利用现场测试或借鉴相仿工程经验, 选定恰当的保护电流密度, 而后计算所需保护电流的大小规格, 在实际的计算里, 还应考虑温度、湿度等环境因素对保护电流密度起到的影响, 在高温潮湿的环境当中, 土壤的导电特性增强, 也许应合理降低保护电流密度, 以防出现过度保护局面; 而在干燥低温寒冷的环境, 大概需合理地增大保护电流密度, 保证管道实现有效保护。

### 3. 阳极材料选择与尺寸确定

在外加电流阴极保护的操作里, 辅助阳极材料要呈现良好导电性、耐腐蚀性与较低接地电阻, 按照土壤环境及保护需求, 选定恰当的辅助阳极材质与规格, 处于土壤电阻率偏高的区域, 可采用高硅铸铁制的阳极; 在土壤电阻率偏低的区域, 采用石墨阳极是较好的方案。选择牺牲阳极材料应考量其电位、电流容量与耐腐蚀性, 高电阻率土壤适配镁合金阳极, 低电阻率土壤选用锌合金阳极为宜, 针对某些特殊的土壤情形, 诸如强酸性或强碱性的土壤, 应选取具有特殊防腐特性的阳极材料, 好比钛基氧化物阳极这种, 从而保障阳极的使用寿命及防护效果。

## (四) 阴极保护系统设计

### 1. 外加电流阴极保护系统设计

拟定直流电源的安装位置及容量, 保障电源能稳定供应保护电流, 筹划辅助阳极的分布方式, 一般采用线性的布置或是网状的布置, 为保证电流实现均匀分布, 判定参比电极的安装位置及数量, 一般每隔一段距离 (如  $500 - 1000m$ ) 设置一个参比电极, 用以监测管道的保护电位。构思阴极保护电缆的规格及连接模式, 保证电流输送稳定又可靠, 在直流电源跟参比电极处装配防雷装置, 防止设备被雷击损坏; 对电缆采取防潮处理方法, 防止潮湿引起绝缘性能的降低, 影响系统的平稳运行。

### 2. 牺牲阳极阴极保护系统设计

确定牺牲阳极的安装间距及个数, 依照保护电流密度和阳极性能算出所需阳极总质量, 安排牺牲阳极的埋设模式, 一般采用立式埋设抑或卧式埋设, 阳极与管道的距离宜保持在  $0.3 - 0.5m$ , 埋设深度须低于管道中心的实际标高, 选取恰当的填包料, 填包料可令阳极接地电阻下降, 提升阳极运行效率, 定期检验阳极的运行情形, 迅速更换消耗完毕的阳极, 维持系统持续有效运行<sup>[4]</sup>。

## 四、燃气管道追加阴极保护防腐措施的实践案例

### (一) 案例背景

某座城市中  $30km$  长的 DN400 燃气管道, 采用三层 PE 防腐涂层, 以  $0.4MPa$  压力运行, 管道沿线穿过市区、郊区跟农田, 土壤环境繁杂, 某些区域土壤电阻率大, 存在杂散电流干扰现象, 运行 5 年后检测揭示出,  $12\%$  的管道防腐层出现破裂, 部分区域金属腐蚀状况严峻, 最严重处的壁厚降低幅度达  $30\%$ , 存在燃气逸漏的风险, 由此决定再追加阴极保护防腐措施。

### (二) 实践过程

选用外加电流跟牺牲阳极阴极保护组合的方案, 市区人员密集, 电磁环境错综, 采用牺牲阳极式阴极保护; 郊区与农田空旷的地方, 采用外加电流阴极保护做法, 经现场试验计算得, 判定保护电位为  $-0.90V$ , 经计算平均保护电流密度  $15 \mu A/m^2$ , 总保护电流近似  $18A$ 。

实施活动开展期间, 在外加电流实施保护的区域, 装配 5 台  $5A$  恒电位仪, 将 20 组间距  $1000m$  的高硅铸铁辅助阳极进行埋设, 以  $800m$  为间隔设置一个铜/饱和硫酸铜参比电极; 于牺牲阳极保护区域, 按  $250m$  间距埋设 120 块镁合金牺牲阳极, 填充材料采用石膏粉: 膨润土: 硫酸钠占比为  $7: 2: 1$ ; 严把把好施工质量关, 详实记录安装参数数值, 调试之际发现某段管道保护电位呈现不稳现象, 排查得知是电缆连接出现松动, 加固后电位回归正常, 运行时创立每日电位电流测量、每周系统检查的监测规范。

### (三) 实践效果

一年后检测呈现出, 管道平均保护电位稳定达  $-0.92V$ , 合乎设计要求, 腐蚀速率从每年  $0.15mm$  减少到每年  $0.03mm$ , 切实延长管道服役寿命, 且未出现由腐蚀引发的泄漏事件, 虽前期有设备采购及施工相关投入, 但预计 5 年内能借助削减维修更换成本、降低泄漏造成的损失收回投资, 同时提高了企业的社会地位形象。

## 结语

对燃气管道实施阴极保护防腐追加措施, 是提升管道防腐性能、保障燃气输送安全的关键措施, 经过对燃气管道腐蚀情况的剖析, 辨明了追加阴极保护的必要性, 在设计的进程里面, 应全面顾及管道基础数据、运行工况与环境状况, 恰当抉择阴极保护方式, 准确勘定关键参数, 恰当设计阴极保护系统设置。实践案例证实, 恰当设计并实施阴极保护可显著降低管道腐蚀速率, 增加管道服役寿命, 良好的运行维护及管理手段是保障阴极保护系统长期稳定运行的关键, 在未来的燃气管道建设及运营工作里, 要重视阴极保护技术的采用, 持续精进设计方案, 狠抓运行维护管理落实, 实现燃气管道安全稳定运行, 伴着新材料、新技术的不断推进, 尚需进一步钻研更高效、经济的阴极保护防腐技术, 为燃气行业的跃进提供有力辅佐。

## 【参考文献】

- [1] 李云海. 长输天然气管道防腐层与阴极保护常见缺陷分析[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35 (08): 126-127+134.
- [2] 单庆伟. 长输天然气管道防腐层及阴极保护技术分析[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35 (08): 128-129.
- [3] 董爽. 长输天然气管道防腐及阴极保护常见缺陷及对策研究[J]. 当代化工研究, 2021 (14): 101-102.
- [4] 乔勇. 天然气长输管道腐蚀因素、缺陷检测技术及防护措施探讨[J]. 云南化工, 2021, 48 (06): 120-122.