

Scientific grounding system is set up to ensure reliable production operation

Haitao Wang

Central China Company, National Pipeline Network Group, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

Process piping systems serve as the “vascular network” of industrial production, where their safe and stable operation directly impacts production efficiency and safety protection. The grounding system acts as the “electrical safety barrier” for this network, playing an irreplaceable role in establishing low-impedance electrical pathways to discharge abnormal charges, balance potential differences, and suppress electromagnetic interference. Based on practical industrial field applications, this paper provides a detailed analysis of the core functions of grounding systems in process pipelines. It outlines technical considerations for scientific configuration in design theory, material selection, and topological structure design. Furthermore, by integrating the concept of full lifecycle management, it establishes an integrated maintenance framework encompassing condition monitoring, preventive maintenance, and emergency response. This work offers a systematic theoretical reference for optimizing design and standardizing management of industrial grounding systems.

Keywords

grounding system; process pipeline; important role; scientific setting; reasonable maintenance

科学设置接地系统确保生产运行可靠

王海涛

国家管网集团华中公司, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

工艺管道系统堪为工业生产的“血管网络”，其安全稳定地运行直接关乎生产效率及安全防护事宜。接地系统充当该网络的“电气安全防护墙”，依靠打造低阻抗的电流通路，在导泄异常电荷、让电位差达到平衡、抑制电磁干扰等方面发挥无可替代作用。本文依照工业现场的实践情况，细致剖析接地系统在工艺管道里的核心功能，在设计理论、材料甄选、拓扑结构样式等方面说明科学设置的技术要点，同时结合全生命周期管理理念，打造含状态监测、预防性维护、应急处置的维护整体架构，为工业接地系统的优化设计与规范管理提供一套系统的理论参考。

关键词

接地系统；工艺管道；重要作用；科学设置；合理维护

1 引言

在现代工业生产体系中，工艺管道身为物质输送与能量转化的核心载体，其运行的状态直接关乎整个生产系统的安全性和经济可行性，现阶段工业现场接地系统的设计及维护存在诸多困扰：高土壤电阻率的地区，接地电阻稳定控制不易，复杂环境里接地装置腐蚀失效，雷击与静电引发接地系统异常等问题屡发，这些情况均对工艺管道的安全稳定运行潜藏威胁。对工艺管道中接地系统的作用机制、科学设置手段及维护策略展开系统研究，呈现显著的工程实践价值及理论创新意义。

2 接地系统在工艺管道中的作用

2.1 保障设备安全运行的电气防护机制

在工艺管道系统中，由雷击过电压、操作过电压及静电积累产生异常电流，若管道遭遇直击雷的袭击，雷电流峰值可高达数十千安，若未能马上导泄处理，会导致阀门执行机构的绝缘击穿，不然传感器模块会烧坏，接地系统搭建出“管道-接地极-大地”的低阻抗通路，可以在微秒级瞬间把雷电流引入大地内，防止设备承受瞬间过电压冲击，如在气液联动阀系统这种情境下，倘若引压管绝缘卡套失去效用，若接地系统可有效泄放杂散电流，可杜绝异常电位差造成电磁阀线圈误动作，防止管道误关断引发相关生产事故。

2.2 抑制电磁干扰的信号稳定机制

智能传感器和数字化控制系统在现代工艺管道系统里普遍得到集成，但工业环境中的电磁干扰（以变频器谐波、

【作者简介】王海涛（1984-），满族，本科，工程师，从事油气管道安全生产研究。

高压设备放电为例)会引起测量信号失真,接地系统借助构建等电位的基准平面,可实现三重抗干扰效能:一是减小信号回路中的地电位差,防止“接地环路”引发的测量误差;二是为电缆屏蔽层打造可靠的接地环境,加大对空间电磁辐射的屏蔽力度;三是借助接地网的电流分散作用,让地中流动的干扰电流强度减弱如在 PLC 机柜间内,保证各通讯设备不受电磁干扰,彻底消除误触发信号。

2.3 保护人员安全的电位均衡机制

如果工艺管道设备绝缘出现了破损,外壳也许会带上危险的电压,接地系统借助将设备金属外壳与接地网相连,造就“漏电-接地-短路保护”的安全链条体系:由于接地电阻存在,漏电电流增大,促使断路器迅速实施动作;接地装置可把外壳电位限制在安全水平,就算人员碰到了带电的外壳,经人体的电流远不及安全阈值,在易燃易爆的环境里面,接地系统电位均衡作用意义非同小可,其可杜绝不同管道由于电位差引发放电火花,减小爆炸出现的几率。

3 接地系统的科学设置

3.1 接地方式的差异化选择策略

精准化设计工作接地,电源中性点接地可作为典型工作接地看待,其设计要顾及系统特性:处于 10kV 及以下低压系统的情境下,采用 TN-S 接地系统(三相五线制)可保证中性线与保护地线各自独立,杜绝三相不平衡电流对保护接地的干扰现象;针对高压系统的状况而言,中性点借助消弧线圈接地,可有力抑制单相接地故障时的过电压情况,就工艺管道中的仪表电源而言,宜采用单独的工作接地,其接地电阻要求 $\leq 4\Omega$,来保障信号电源维持稳定水平^[1]。

保护接地分级防护体系下,工艺管道应构建三级保护接地:一级防护把管道本体作为对象,以焊接接地端子的方式实现全线电气联通;二级防护主要针对诸如阀门、流量计等关键设备,运用独立的接地引线与局部接地网相连接;三级防护聚焦于操作人员可触及的部位,建立等电位联结带。

工艺管道的防雷接地立体防护网络构建,需结合空间屏蔽及接地泄流:在管道上方架设接闪器(避雷针、避雷带)实现空间防护效果;在管道分支点安装浪涌保护器(SPD)抑制侵入的波;接地网采用边长为 60 米的网格结构,与管道平行铺设,保证接地电阻不超过 10Ω ,就埋地敷设的管道而言,需在进出站处配置防雷接地极,防止雷电借由管道侵入站内设备。

防静电接地的设计需对全流程进行把控,覆盖工艺全程:处于流体输送阶段,需在管道法兰连接处设置截面积 $\geq 6\text{mm}^2$ 的跨接导线,保障静电达成成功传导;就储罐这一环节,罐壁跟接地网之间需采用至少 2 处连接点;在实施装卸的阶段,需用防静电软管让鹤管与槽车实现等电位联结。

3.2 接地装置的精细化设计要点

接地极优化配置技术下,接地极布置需恪守“土壤特

性优先”原则:若土壤质地为均匀状态,把 2.5 米长的镀锌钢管用作垂直接地极,按 5 米间距作梅花形布置,可实现最佳的电流扩散效果;若遇到分层结构的土壤,要按照各层电阻率算出等效接地电阻,当有必要时,采用深井接地(井深 30-100m)以穿透高阻层。就水平接地的电极而言,选取 $60 \times 6\text{mm}$ 镀锌扁钢,将其埋深 0.8m。

接地网拓扑结构设计方面,网格密度直接关乎接地性能:普通工业场所采用 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的网格足以达成要求;针对精密电子设备区域,需把网格加密至 $5\text{m} \times 5\text{m}$;雷击高发的地区,可采用放射性水平接地体跟环形接地网的复合结构形式,接地网连接点应采用借助铜焊粉的放热焊接,保证接头的导电性能及机械强度达标,焊接接头搭接长度需达到扁钢宽度 2 倍或圆钢直径 6 倍以上^[2]。

接地引线低阻抗设计下的敷设需满足三项要求:一是引线长度应尽量做到短,以此降低电感所产生的效应,要是长度超出 50m 的话,要采用多根并联途径;二是要根据雷电流热效应校验引线的截面大小,取 171 作为铜引线热稳定系数,采用 87 作为铝引线的值;三是引线走向应杜绝与强电电缆平行铺设,间距需维持在 0.5m 及以上,预防出现电磁耦合,在高频接地情形下,应采用铜编织带作为引线,其高频阻抗比实体导线下降了 40% 以上。

3.3 特殊环境下的接地适应性方案

综合降阻技术在土壤电阻率 $\rho > 500\Omega \cdot \text{m}$ 的高土壤电阻率地带,采用单一降阻措施难以奏效,得采用组合搭配措施:先对土壤进行替换处理,将接地极周围 2m 区域内的高阻土壤置换成黏土;把长效降阻剂(以膨润土降阻剂为例)敷设进换土层,可将其电阻率降到 $10\Omega \cdot \text{m}$ 以下;最后采用深井式接地技术,30m 深度往下往往有低阻土壤层存在,经由 $\phi 150\text{mm}$ 的井孔安装管状接地极,再填充降阻材料,可将接地电阻降至不超过 10Ω 。

针对沿海盐雾、化工园区等强腐蚀环境的腐蚀性环境防腐接地技术,接地装置得采用多样防腐措施:从材料选取方面看,可优先采用铜质(T2紫铜)或锌合金(Zn-0.003Al)接地极;就表面处理而言,借助热镀锌(锌层厚度达到或超过 $85\mu\text{m}$)再用沥青漆涂刷;于连接方式这块,用铜焊粉实行焊接,然后对焊点开展二次防腐事宜,就埋地管道接地系统相关内容,能与阴极保护技术相配合,在接地极周边设置锌牺牲阳极,使接地极以 Cu/CuSO_4 电极为参照的电位维持在 -0.85V ,减少电化学腐蚀损害^[3]。

就易燃易爆场所的本质安全接地而言,这类场所接地系统需满足“双冗余+防爆”要求:采用独立方式设置接地网,与其余接地网的距离要达到 20m 及以上;防静电接地跟保护接地分开进行设置,然而最终汇聚于同一公共接地极;所有接地连接点处需采用防爆型接线盒,在气体爆炸危险的 0、1、2 区范围内,接地电阻应 $\leq 4\Omega$ 才行,另外需每季度做一次接地连续性检验,保证接地回路的阻抗不超过 0.03Ω 。

4 接地系统的全周期维护体系

4.1 多维维护内容与技术方法

接地电阻精准测量技术中,测量方法的选取直接关乎数据准确性。常规接地网可采用三极法,被测接地极与电压极的距离选取 $0.618D$;四极法能把土壤接触电阻的影响消除掉,适合精密测量之需;采用变频法(异频测量)可抑制工频干扰情况,适用于强电磁干扰场合。可按照重要性对测量周期进行分级:以DCS接地为代表的一类接地系统,每季度要测量一次,诸如工艺管道接地的二类接地系统,需每半年测量一回,每年对三类接地系统(如一般设备接地)开展一次测量,测量期间应记录环境温度与土壤湿度,用以实施季节系数修正。

接地装置无损检测采用传统目视检查方式存在局限,得采用专业检测手段。采用超声测厚仪对接地极腐蚀程度检测,若壁厚减薄达到20%以上,采用红外热像仪对接地引线接头开展检测,温差超过 $15K$,提示接地引线接头接触不佳;借助接地回路阻抗测试仪测量连接点的阻抗,把阈值设为 0.05Ω ,就埋地式接地网而言,可运用探地雷达扫描此拓扑结构,与电化学工作站结合评估腐蚀速率,构建剩余寿命预估模型。

针对土壤环境动态评估技术,土壤条件变化是接地性能劣化的主因,应定期对四项指标加以监测。采用四极法测量土壤电阻率,当数值较初始值增加30%,就需要采取降阻做法;采用pH试纸测定土壤酸碱度,若土壤pH值低于4或高于9,需强化防腐工作;采用土壤水分仪测定含水率,若土壤含水率 $<10\%$,降阻剂存在失效风险;采用X射线荧光光谱仪对土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量进行分析,当超过 $500ppm$ 这个数值,需采用防腐接地极^[4]。

接地装置防腐维护为实现防腐体系的完整性管理,需构建“检测-评估-修复”闭环。首先用涂层测厚仪去检查防腐层厚度,规定厚度 $\geq 200\mu m$,破损处先用砂纸打磨一番,接着涂刷环氧富锌底漆;之后采用牺牲阳极电位测试仪测量保护电位,一旦发现电位 $>-1.2V$,就必须更换阳极;最后对关键节点(比如接地极和引线的连接位置)实施 $1500V$ 电压的电火花检测,保证无针孔样的缺陷,就采用了阴极保护的接地系统而言,每半年得对保护电流密度测试一次,保证契合 $100-150mA/m^2$ 的保护要求。

在防雷防静电专项检测里,防雷接地检测需留意冲击接地特性。以冲击电流发生器测试接地极的冲击接地电阻,

要算出冲击系数,应维持小于1.5的状态);用SPD综合测试仪对浪涌保护器的残压、漏电流等参数做检查,若漏电流超过了 $10mA$,防静电接地检测的核心要点为:采用静电电位计对管道表面电位进行测量,采用接地连续性测试仪检测跨接电阻。

4.2 维护策略的时间维度设计

日常巡检流程标准化,采用“五步巡检法”:一瞧接地引线长度是否合理,观察引线外观是否有断裂、锈蚀的迹象;二摸接地引线接头温度,看看有无异常发热迹象;三闻接地引线是否存在绝缘烧焦的怪味;四探防雷接地处是否出现放电声;五测防静电接地的面电位。将红外测温仪、静电检测仪、便携式接地电阻仪纳入巡检工具范围,巡检记录应囊括时间、位置情况、参数情况、异常表现描述等要素,创建数字化巡检相关日志^[5]。

快速响应的应急维护机制建立起三级应急响应体系:遇到一级响应(接地系统失效),应在30分钟内抵达现场,先让设备断电,接着设置临时接地;若发生二级响应(接地电阻超标),需在24小时内制定相应整改方案,运用临时降阻手段保障生产;三级响应涉及的轻微腐蚀情况,可纳入下一次计划维护工作,应急工具包应装有便携式接地极、临时接地线、快速降阻剂等物资,每年需针对应急流程开展两次实战演练。

5 结论

接地系统作为工艺管道安全运行根基保障,其技术价值已由单一的电气安全防护范畴,扩充至工业系统全生命周期的可靠性治理。未来可探索将物联网传感器与接地装置深度融合,构建全参数实时监测的“数字接地网”,为工业生产的本质安全与高效运行筑牢技术根基。

参考文献

- [1] 方永亮.配电网小电流接地系统单相故障定位研究[J].光源与照明,2024,(12):59-61.
- [2] 雷松,朱骏鸿.500kV变电站二次系统的防雷接地技术应用[J].电工技术,2024,(S2):291-293+296.
- [3] 章丽.单相接地故障管理系统设计应用[J].电工技术,2024,(S2):723-724+727.
- [4] 巨民尚,赵军科.小电阻接地系统中提高零序过电流保护灵敏度举措[J].电气应用,2024,43(12):65-69.
- [5] 杨鼎,张霞,宋维庭.基于零序电压投影系数的灵活接地系统故障选线方法[J].电工技术,2024,(24):221-224.