

# 长输油气管道阴极保护系统安装质量对运行可靠性的影响分析

鞠海波 王 斌

四川经准特种设备检验有限公司 四川 广安 638000

**【摘要】**：长输油气管道作为国家能源输送的关键基础设施，其运行可靠性直接关系到能源供应安全与生态环境稳定。阴极保护技术是抑制管道腐蚀、延长服役寿命的核心手段，而系统安装质量则是决定阴极保护效果能否有效发挥的关键环节。通过分析强制电流阴极保护与牺牲阳极阴极保护两种主流技术的安装工艺要点，从阳极地床施工、电缆敷设连接、绝缘装置安装、测试桩布设等关键工序入手，探讨安装质量缺陷对管道保护电位、电流分布、防腐层完整性等核心指标的影响，剖析安装不规范引发的保护不足、过保护、局部腐蚀等运行风险。总结安装质量管控的关键要点与优化策略，为提升长输油气管道阴极保护系统运行可靠性、保障管道长期安全稳定运行提供理论参考与实践依据。

**【关键词】**：长输油气管道；阴极保护；安装质量；运行可靠性；腐蚀控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.058

## 引言

长输油气管道具有输送距离远、穿越地形复杂、服役环境恶劣等特点，土壤腐蚀、介质腐蚀等因素极易导致管道壁减薄、穿孔泄漏，引发能源损失、环境污染甚至火灾爆炸等安全事故，严重威胁公共安全与能源战略安全。当前，国内长输油气管道建设规模持续扩大，对管道运行安全的要求日益提高，然而关于阴极保护系统安装质量与运行可靠性关联性的系统性研究仍较为缺乏。基于此，本文深入分析阴极保护系统各安装工序的质量控制要点，探究安装质量缺陷对系统运行性能的具体影响机制，提出针对性的质量管控措施，对于完善油气管道防腐工程管理、提升管道运行可靠性具有重要的现实意义。

## 1 长输油气管道阴极保护系统概述

### 1.1 阴极保护技术原理

阴极保护的核心原理是基于电化学腐蚀理论，通过外部手段为金属管道提供持续的电子，使管道表面的电极电位降低至保护电位区间，从而抑制金属原子失去电子发生氧化反应，实现腐蚀控制。根据提供电子的方式不同，长输油气管道阴极保护主要分为强制电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护两种技术类型。强制电流阴极保护通过外部直流电源，将辅助阳极的电流导入土壤或电解质中，电流流经电解质后到达被保护管道，使管道极化至保护电位，适用于长距离、大口径、高土壤电阻率的油气管道工程；牺牲阳极阴极保护则依靠比管道金属（碳钢）电位更负的金属材料（如镁合金、锌合金阳极）作为阳极，通过阳极自身的腐蚀溶解为管道提供保护电流，适用于短距离、低土壤电阻率、局部区域的管道保护。

### 1.2 阴极保护系统组成

长输油气管道阴极保护系统主要由核心设备、连接装置、

辅助设施三部分构成。核心设备包括强制电流系统的恒电位仪、整流器，以及牺牲阳极系统的阳极块；连接装置主要有阳极电缆、阴极电缆、均压线等，负责电流的传输与分配；辅助设施包含阳极地床、绝缘接头/绝缘法兰、测试桩、参比电极等，是保障系统稳定运行、实现参数监测的重要组成部分。各组成部分的安装质量相互关联、相互影响，共同决定了阴极保护系统的整体运行效果。

## 2 阴极保护系统关键安装工序及质量控制要点

### 2.1 阳极地床安装质量控制

阳极地床是强制电流阴极保护系统的核心组成部分，其安装质量直接影响电流的输出效率与分布均匀性。阳极地床分为浅埋式、深井式两种，浅埋式阳极地床适用于土壤电阻率较低的区域，安装时需控制阳极埋设深度、间距，确保阳极周围填充焦炭粉等导电填料的密实度；深井式阳极地床适用于高土壤电阻率区域，需严格把控钻孔深度、垂直度，以及阳极电缆与阳极体的焊接质量、密封性能，避免因接地电阻过大导致电流输出不足。

### 2.2 电缆敷设与连接安装质量控制

电缆作为电流传输的载体，其敷设与连接质量是保障电流稳定传输的关键。电缆敷设需避开岩石、积水、腐蚀性介质区域，采用穿管保护或直埋敷设，控制埋深与弯曲半径；电缆与恒电位仪、阳极、管道的连接部位需采用焊接工艺，确保连接牢固、接触电阻小，同时做好防腐密封处理，防止连接处受潮、腐蚀引发接触不良，导致电流传输中断或损耗。

### 2.3 绝缘装置安装质量控制

绝缘接头、绝缘法兰是实现管道分段保护、防止电流流失

的重要装置,安装时需保证绝缘垫片、绝缘套筒的完整性,避免垫片破损、套筒错位导致绝缘失效;同时做好绝缘装置的密封处理,防止土壤水分、盐分渗入引发绝缘电阻降低,造成阴极保护电流泄漏,影响保护范围与效果。

## 2.4 测试桩与参比电极安装质量控制

测试桩用于监测管道保护电位、电流等参数,参比电极用于提供稳定的电位参考标准。测试桩需沿管道均匀布设,安装位置应避开交通要道、腐蚀性强的区域,确保桩体牢固、接线准确;参比电极需埋设至管道中心线同一水平位置,与管道保持合理间距,保证电极与土壤接触良好,避免因安装位置偏差、接触不良导致监测数据失真,影响系统运行状态的判断。

## 3 安装质量缺陷对阴极保护系统运行可靠性的影响

### 3.1 阳极地床安装缺陷的影响

阳极地床埋设深度不足、导电填料填充不密实,会导致阳极接地电阻增大,恒电位仪输出电流无法有效传输至管道,造成管道保护电位达不到设计要求,出现保护不足现象;深井阳极钻孔垂直度偏差过大、阳极电缆密封失效,会引发阳极体腐蚀、电缆断裂,导致局部区域阴极保护系统瘫痪,管道失去保护而发生腐蚀穿孔。

### 3.2 电缆连接安装缺陷的影响

电缆焊接不牢固、接触电阻过大,会造成电流传输损耗增加,系统运行效率降低;电缆防腐密封处理不到位,连接处易发生电化学腐蚀,引发电缆断路,使阴极保护系统停止工作;电缆敷设路径不合理,与其他金属构筑物交叉接触,会导致电流分流,减少管道有效保护电流,影响保护均匀性。

### 3.3 绝缘装置安装缺陷的影响

绝缘垫片破损、绝缘套筒错位,会造成绝缘装置短路,阴极保护电流通过短路点流失至相邻管道或构筑物,导致被保护管道电流不足,保护范围缩小;绝缘装置密封失效,水分渗入后绝缘电阻急剧下降,引发漏电现象,不仅降低保护效果,还可能导致恒电位仪过载运行,损坏设备。

### 3.4 测试桩与参比电极安装缺陷的影响

测试桩接线错误、参比电极埋设位置不当,会导致监测的

保护电位数据失真,无法准确反映管道实际保护状态,易造成运维人员误判,错过腐蚀隐患整改时机;参比电极与土壤接触不良,会使电位测量误差增大,影响恒电位仪的自动调节精度,引发管道过保护或保护不足,过保护会导致管道防腐层剥离、氢脆开裂,保护不足则加速管道腐蚀。

## 4 提升阴极保护系统安装质量的优化策略

### 4.1 强化施工前期技术准备

施工前需结合管道沿线土壤电阻率、地形地貌、腐蚀环境等勘察数据,优化阴极保护系统设计方案,明确各工序的安装标准与技术参数;组织施工人员进行技术交底与培训,熟悉施工图纸、规范要求及质量控制要点,确保施工人员具备专业的操作技能。

### 4.2 严格施工过程质量管控

建立全过程质量监督机制,对阳极地床施工、电缆连接、绝缘装置安装等关键工序实行旁站监理,重点检测接地电阻、接触电阻、绝缘电阻等核心指标;加强施工材料与设备的进场检验,杜绝不合格的阳极材料、电缆、绝缘装置等投入使用,从源头保障安装质量。

### 4.3 完善竣工验收与运维管理

工程竣工后,严格按照相关规范进行阴极保护系统调试与验收,检测保护电位、电流分布、绝缘性能等指标是否符合设计要求;建立完善的运维管理体系,定期通过测试桩监测系统运行参数,及时发现并处理安装质量遗留问题,定期对电缆连接、绝缘装置等部位进行检查维护,保障系统长期稳定运行。

## 5 结语

在长输油气管道工程建设中,必须高度重视阴极保护系统的安装质量管控,通过强化前期技术准备、严格过程施工监督、完善竣工验收与运维管理等措施,最大限度减少安装质量缺陷,确保阴极保护系统发挥最佳防腐效果。未来,随着油气管道向长距离、高压、复杂环境方向发展,还需进一步优化阴极保护安装工艺,引入智能化监测技术,提升安装质量管控的精细化水平,为长输油气管道的长期安全、高效运行提供坚实保障。

## 参考文献:

- [1] 肖冠宇.基于突发中断条件的城市轨道交通应急客流疏运研究[D].四川:西南交通大学,2012.
- [2] 巨玉祥.城市轨道交通突发中断事件时公交应急联动研究[D].兰州交通大学,2020.
- [3] 熊宏志.成网条件下城市轨道交通客流应急疏散方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.