

长输管道阴极保护电流流失解决措施研究

崔海生 刘 学 濮春明

(国家石油天然气管道有限公司西气东输分公司苏浙沪输气分公司, 江苏 南京 210002)

摘 要: 阴极保护系统的有效性直接影响长输管道的防腐效果, 电流流失问题会导致保护电流分布不均, 保护电位达不到预期, 从而影响管道的防腐效果。针对阴极保护电流的流失问题, 本次研究主要是对阴极保护电流流失的原因进行总结, 对其电流流失机制进行分析, 并提出合理的保护电流流失解决措施, 以此提高管道运行的安全性。研究表明: 杂散电流、地下水及土壤条件、管道防腐层破损是导致保护电流流失的主要原因, 因此, 需要增设钳位式排流器或固态去耦合器, 并定期检查及修复绝缘层, 以此防止出现阴极保护电流流失问题, 全面保障长输管道阴极保护的有效性。

关键词: 长输管道; 阴极保护; 电流流失; 机制分析; 解决措施

0 前言

长输管道作为能源运输的关键基础设施, 其安全性和可靠性直接关系到能源供应的稳定与社会经济的正常运行。但是, 长输管道在运行过程中不可避免地会受到各种外部因素的影响, 尤其是腐蚀问题尤为突出, 阴极保护作为一种有效的防腐措施, 被广泛应用于长输管道的防腐蚀保护中, 阴极保护的基本原理是通过外加电流或牺牲阳极, 将管道金属的电位降低到一个安全范围, 从而防止管道金属的腐蚀^[1]。在阴极保护系统运行过程中, 电流流失问题常常导致保护效果不佳, 甚至出现管道腐蚀加剧的现象。本次研究主要是对保护电流流失的原因、机制及解决措施分别进行研究, 为提高管道的阴极保护效果奠定基础。

1 长输管道阴极保护电流流失原因及机制分析

1.1 杂散电流导致的电流流失机制

杂散电流是指在地下或水下金属结构中由于外部电力设施或电气化铁路等原因引入的非正常电流, 这些电流会通过土壤或水体介质传播, 并影响周围的金属结构包括长输管道, 当杂散电流进入管道时, 会在管道表面形成电流回路, 改变管道的电位分布, 干扰阴极保护系统的正常工作。一个典型的杂散电流干扰源是电气化铁路和地铁系统, 在这些系统中, 电力牵引系统产生的电流通过轨道和地下金属设施形成回路, 当这些电流传播到管道周围的土壤时, 会引起管道表面电位的变化, 导致阴极保护电流被分流。当电气化铁路的牵引电流流过管道附近的土壤时, 部分电流会进入管道, 并在管道上形成电流回路, 从而影响阴极保护电流的分布, 导致保护效果减弱^[2]。

杂散电流的传播路径复杂多变, 这也增加了其对

阴极保护系统的干扰程度, 土壤和水体的电导率和化学成分等因素都会影响杂散电流的传播路径和强度, 在高电导率的土壤中, 杂散电流更容易传播, 并对地下金属管道产生更大的影响, 地下水的存在也会增加杂散电流的传播范围, 扩大其干扰影响。

另一个重要的杂散电流干扰源是大规模工业设备和电力设施, 这些设施在运行过程中会产生大量电流, 并通过土壤介质传播。大型变电站高压输电线路等都会产生强大的电磁场和电流, 这些电流通过土壤传播到地下管道上, 会引起管道表面电位的波动, 影响阴极保护电流的稳定性, 特别是在变电站和发电厂附近, 杂散电流的强度较高, 对阴极保护系统的干扰更为明显。管道自身的结构和材料特性也会影响杂散电流的干扰程度, 不同材料的电化学性质不同, 其在土壤介质中的电位分布也会有所差异, 长输管道的长度和结构复杂性也会增加杂散电流的干扰难度, 管道越长, 杂散电流在传播过程中累积的影响越大, 特别是在管道弯曲和分支处, 电流的干扰现象更为严重^[3]。

1.2 地下水、土壤条件导致的电流流失机制

土壤的电导率对阴极保护电流的流失有着显著的影响, 土壤电导率越高, 电流在土壤中的传播越容易, 这会导致阴极保护电流在传输过程中损耗增加, 高电导率土壤中含有大量的离子, 这些离子可以在电场作用下移动, 从而增加电流的流失。盐碱地和湿润土壤的电导率通常较高, 在这些环境中, 阴极保护电流更容易通过土壤传播到远离管道的地方, 导致保护电流不足。土壤的含水量对阴极保护电流的流失也有重要影响, 湿润土壤由于含有大量水分, 电导率通常较高, 从而增加了电流的流失。土壤中的水分可以形成连续

的导电路径,使得阴极保护电流更容易通过土壤流失,在雨季或地下水位较高的地区,土壤的含水量增加,电导率显著提高,从而导致阴极保护电流的大量流失,影响保护效果^[4]。

地下水是另一个导致阴极保护电流流失的重要因素,地下水的存在会显著增加土壤的电导率,使得电流更容易在土壤中传播,在地下水位较高的地区,水分会渗透到土壤中,形成连续的导电路径,增加阴极保护电流的流失。地下水中的离子成分也会影响电流的流失量,高矿化度地下水含有大量的溶解盐类,这些离子在电场作用下会移动,从而增加电流的流失。阴极保护系统的设计和维护也是影响地下水及土壤导致电流流失的重要因素,如果阴极保护系统的设计不合理,无法提供足够的保护电流,或者保护电流分布不均匀,都会导致管道某些区域保护不足,发生腐蚀。阴极保护系统在运行过程中需要定期维护和监测,如果维护不到位,保护电流的效果会大打折扣,阳极材料的老化和损耗、连接线的损坏等都会导致保护电流的流失,加剧地下水和土壤的影响。

1.3 管道防腐层破损导致的电流流失机制

外防腐层是管道防腐的重要屏障,其主要功能是隔离管道金属与外界腐蚀介质的接触。外防腐层在长期运行过程中可能会由于机械损伤和施工缺陷等原因出现破损,这些破损点直接暴露在腐蚀环境中,使管道金属表面与外界介质直接接触,导致腐蚀加剧,同时阴极保护电流也容易在这些破损点处流失。在施工过程中,如果防腐层受到划伤或冲击,局部破损将成为电流流失的通道,影响阴极保护效果。外防腐层破损后,裸露的金属表面与土壤或水中的腐蚀性物质接触,形成微电池效应,导致局部腐蚀加剧,在这些腐蚀区域,阴极保护电流会集中流向破损点,以补偿腐蚀电流,从而导致电流流失增加。当管道经过酸性或碱性土壤时,破损处的金属表面更容易发生电化学反应,形成电位差,使阴极保护电流迅速流失,降低保护效果。

外防腐层破损还会导致阴极保护电流分布不均匀,阴极保护系统设计时通常考虑的是整个管道的均匀保护,但一旦防腐层破损,电流会优先流向破损点,导致其他区域的保护电流不足,长输管道经过山区或地质活动频繁的地区时,地质运动可能会造成防腐层的局部破损,这些破损点将成为电流流失的主要通道,影响整个管道的阴极保护效果。防腐层破损还会导致

阴极保护系统的电流需求增加,由于破损处需要更多的电流来抑制腐蚀,阴极保护系统必须提供更大的电流输出。这不仅增加了系统的能耗和运行成本,还可能导致电源设备过载,影响系统的稳定性和可靠性,在长输管道的弯曲或接头处,防腐层更容易破损,电流流失增加,导致电源设备需要提供更高的电流输出,增加了系统的负担。

2 长输管道阴极保护电流流失解决措施研究

2.1 钳位式排流器

钳位式排流器的工作原理是通过钳位电路来控制 and 引导杂散电流,从而减少对阴极保护电流的干扰,钳位电路是一种电压调节装置,能够在电压超过设定值时,将多余的电流引导到地线或其他低电位区域,以防止电流对管道的负面影响。钳位式排流器由电压感应器、钳位电路和导流装置组成。当管道表面的电位超过预设的安全值时,电压感应器会触发钳位电路,将多余的电流通过导流装置排出,从而维持管道的正常电位,保护阴极保护系统的正常运行。在使用钳位式排流器的过程中,在长输管道的设计过程中,应首先确定杂散电流干扰最严重的区域,这些区域包括管道经过电气化铁路和大型工业设备附近,以及土壤电导率较高的区域,使用电位测量设备检测管道表面的电位差,以确定具体的安装位置,电位差较大的区域通常是杂散电流集中的区域,需要优先安装钳位式排流器。根据管道的运行环境和杂散电流的强度,选择合适的钳位式排流器型号,确保设备能够承受管道的运行电流和环境条件。

在安装前,清理安装现场,确保无杂物和障碍物,根据设计要求,挖掘适当的安装坑,确保钳位式排流器的稳定性,根据设计要求预埋导线管道,确保导线能够顺利连接到钳位式排流器和阴极保护系统。将钳位电路装置固定在预定位置,确保其稳定性。使用螺栓或其他固定装置将钳位电路装置牢固地安装在管道或支架上,将电压感应器安装在管道表面,并连接到钳位电路装置,确保电压感应器能够准确监测管道表面的电位变化。根据设计要求,将导流装置安装在预定位置,确保其能够有效引导多余的电流排出,导流装置通常连接到地下接地系统或其他低电位区域,将钳位电路装置与导流装置通过导线连接,确保电流能够顺利排出,使用绝缘材料包裹导线接头,防止漏电和短路。

安装完成后,对钳位式排流器进行初步调试,启

动阴极保护系统,观察钳位电路的工作状态,确保其能够在电压超过设定值时正确启动,使用电位测量设备对管道表面的电位进行测试,确保钳位式排流器能够有效降低电位差,减少杂散电流的干扰,记录测试数据,作为后续维护和优化的参考。

2.2 固态去耦合器

固态去耦合器是一种用于隔离直流电流和交流电流的设备,其主要作用是允许直流电流通过,同时阻止交流电流的通过,其基本原理是利用固态电子元件,如二极管和金属氧化物半导体场效应晶体管,在特定电压和电流条件下,实现电流的单向导通或阻断。固态去耦合器在正常工作状态下允许阴极保护电流自由流通,确保管道表面的阴极保护电流能够均匀分布,但是当存在杂散交流电流或过电压情况时,固态去耦合器会迅速响应,通过其内部的固态元件阻断交流电流的通过,保护管道免受交流电流的干扰和损害。

在使用固态去耦合器的过程中,需要根据测试结果,对固态去耦合器的设定值进行优化调整,确保去耦合器能够在适当的电压范围内工作,既能有效阻断交流电流,又不影响阴极保护系统的正常运行,对于干扰较为严重的区域,可考虑多点布置固态去耦合器,以确保整个区域的阴极保护电流稳定性。定期对固态去耦合器进行巡检,检查设备的工作状态和连接情况,确保设备无松动、损坏或腐蚀现象,使用电位测量设备定期监测管道表面的电位变化,确保固态去耦合器的有效性,及时记录和分析监测数据,发现异常情况及时处理。

当发现固态去耦合器工作异常或管道电位不稳定时,及时进行故障排查,检查连接线和导线接头的工作状态,确定故障原因并及时修复,对于无法修复的设备,应及时更换,确保阴极保护系统的正常运行,选择与原设备规格相同或更高的固态去耦合器,确保系统的连续性和可靠性。

2.3 定期检查及修复防腐层

在防腐层检查方面,定期对暴露在地面上的管道进行视觉检查,观察防腐层是否有明显的破损或气泡等现象,这种检查方法简单直观,但只能发现表面明显的缺陷。对于埋地管道,可以通过管道检测机器人进行检查,机器人携带摄像设备,可以深入到管道内部进行全面的视觉检查。通过测量管道周围土壤的电位梯度,确定防腐层的破损位置,该方法基于电流泄漏的原理,能够精确定位防腐层的破损点,利用直流

电源在管道表面施加电压,通过测量电压梯度变化来检测防腐层破损,该方法能够快速检测大范围内的破损情况。利用超声波探头对防腐层进行扫描,通过回波信号分析防腐层的厚度和完整性,该方法能够提供高精度的检测结果,适用于高风险区域的重点检查。

在防腐层修复方面,对于发现的防腐层破损区域,首先需要清除损坏部分,确保基材表面无锈蚀和污染物,选择与原防腐层相匹配的修复材料,如聚乙烯胶带或热缩套管等,按照制造商的说明进行涂覆和固化,修复完成后,通过电检测技术或超声波检测对修复区域进行质量检查,确保修复效果符合标准。对于防腐层严重破损且局部修复无法达到保护效果的区域,应考虑进行整体更换,首先需要彻底清除旧防腐层,确保管道表面干净光滑,选择高性能的防腐涂层材料,如三层聚乙烯或高分子材料等,按照规范进行涂覆和固化,确保防腐层的厚度和均匀性。在定期检查的基础上,对管道防腐层进行预防性维护,如清洁表面和定期涂覆保护剂等,对维护人员进行防腐层修复技术和安全操作培训,提高其专业技能和应对突发情况的能力。

3 结论

综上所述,管道腐蚀是影响其使用寿命的关键因素之一,有效的阴极保护可以显著延长管道的使用寿命,减少管道更换和维修的频率,从而降低维护成本。针对保护电流的流失问题,需要根据其问题出现的原因以及机制,采取必要的防控措施,以此防止阴极保护系统的有效性降低,全面延长管道的使用寿命。

参考文献:

- [1] 程凯.长输管道阴极保护电流流失解决措施研究[J].中国设备工程,2024,(09):186-188.
- [2] 李佳轩,刘涛,杨晨璐,等.长输管道阴极保护电流流失解决措施研究与应用[J].全面腐蚀控制,2023,37(08):1-7+31.
- [3] 周冰,王成,郭继银,等.埋地管道钢制套管内阴极保护电流漏失检测及治理[J].全面腐蚀控制,2017,31(05):9-12.
- [4] 李晓越,考丹丹,徐克明,等.埋地钢制管道防腐阴极保护电流漏损的检测与控制[J].石油库与加油站,2016,25(04):11-13+5.

作者简介:

崔海生(1989-),男,汉族,重庆人,本科,助理工程师,从事油气管道保护工作。