

# 基于阴极保护技术对埋地输油管道防腐的技术研究

马斯然 汪斌 姜维\*

大庆海纳科技有限公司

DOI:10.12238/jpm.v3i8.5176

**[摘要]** 经济建设的发展离不开石油工程的进步,管道作为石油的主要运输方式,其自身的重要性非同小可。近年来,石油工程发展迅速,管道出现石油泄漏,不仅产生极大浪费,对环境亦有不利影响。加快石油工程的发展和优化埋地输油管道防腐工程势在必行,不断应用先进的防腐技术,对于减少输油管道泄漏、保护环境具有非常重要的现实意义。

**[关键词]** 阴极保护;埋地输油管;管道防腐;技术研究

**中图分类号:** V228.1+6 **文献标识码:** A

## Research on corrosion of buried oil pipeline based on cathodic protection

Siran Ma Bin Wang Wei Jiang

Daqing Haina Technology Co., Ltd

**[Abstract]** The development of economic construction cannot be separated from the progress of petroleum engineering, pipeline as the main way of oil transportation, its own importance is trivial. In recent years, the rapid development of petroleum engineering, the pipeline oil leakage, not only produce great waste, but also have an adverse impact on the environment. It is imperative to accelerate the development of petroleum engineering and optimize the anticorrosion engineering of buried oil pipeline. Continuous application of advanced anticorrosion technology is of great practical significance to reduce the oil pipeline leakage and protect the environment.

**[Key words]** cathodic protection; buried oil pipeline; pipeline anticorrosion; technical research

我国石油和天然气资源的长途运输主要是通过埋地管道进行的,埋地输油管道的输送方向不受限制,比公路、铁路和水路运输更安全、更高效、运输成本更低,是目前最重要的油气运输方式。然而,大部分埋地输油管道以钢管为主,远距离的大口径金属管道埋入地下后会严重腐蚀,阴极保护保护技术目前在国内外广泛应用于埋地钢管,起到有效的运输效果。

### 1 阴极保护技术的概述

埋地管道材质主要成分为金属铁,而吸氧腐蚀为埋地管道最为常见的腐蚀原因。条件:脏铁、空气、潮湿环境。脏铁(含碳)构成了许多小的铁-氧-水原电池。铁:负极: $\text{Fe}-2\text{e}^-=\text{Fe}^{2+}$  碳:正极: $2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2+4\text{e}^-=4\text{OH}^-$   $\text{Fe}^{2+}+2\text{OH}^-=\text{Fe}(\text{OH})_2$   $4\text{Fe}(\text{OH})_2+2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2=4\text{Fe}(\text{OH})_3$   $2\text{Fe}(\text{OH})_3$ 在空气中的失水量= $[\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}]$  (锈)  $+ (3-n)\text{H}_2\text{O}$ 。失去电子的铁与氧和水形成锈蚀并溶于水,使钢结构发生锈蚀。由于上式中的正极需要电子形成氢氧化物,我们通过阴极保护,使钢结构中的铁不失电子。阴极保护的基本原理是电化学原理。在对管道或者储罐进行保护时,应该保证被保护体与大地属于绝缘状态。阴极通电点的绝缘、埋地管道防腐层的破损、被保护管道两端绝缘接头的有无,都会造成电流流失,导致阴

极保护效果不佳,在翻新或扩建管道系统时,这个问题尤其重要。

### 2 石油运输管道组成分析

#### 2.1 输油站

输油管道主要由油站和管道两部分组成,管道的起点是油站,俗称“首站”。在第一站收集石油或原油后,第一站提供能量输送到下游管道。第一站主要配备油箱、输油泵和加油装置,如果输送的油因粘度高需要加热,还配备了加热系统。油泵提供动力,使油可以通过管道输送到最终点或另一个油站。终端油站通常被称为“终端站”,主要负责上游材料的收集,因此也有储罐和计量系统。

#### 2.2 管线

长输管道系统的管道部分主要由以下设备组成:管道主体、沿线阀门及其控制系统、阴极保护装置。埋地管道穿过普通道路、通讯系统等,长输管道采用钢管焊接而成,在一定距离或穿越较大障碍物时,管道上装有阀门,在发生事故时将物料挡住,以防止事故蔓延,便于设备维修。通信设备是管道运输调度的重要指挥工具,随着通信卫星和自动化技术的发展,相关技术已广泛应用于管道运输。输油管道主要包括等温输送、加热输送和

顺序输送。管道腐蚀及如何防腐蚀是管道维护的重要环节之一, 输油管道已成为石油运输的主要工具之一, 未来有相当大的发展潜力。

### 3 埋地输油管道防腐现状

管道在运输中容易生锈、腐蚀。管道腐蚀的主要类型有: 原电池原理引起的钢材吸氧腐蚀; 酸雨对管道表面的强酸性硫化物(二氧化硫和硫化氢)造成的氢腐蚀; 二氧化碳、大气降水引起的酸性腐蚀; 管道表面能代谢硫酸盐的细菌引起的细菌腐蚀和管道内积水引起的腐蚀等。其中, 吸氧腐蚀是最具腐蚀性的情况。根据腐蚀情况的不同, 有几种不同的方法可以预防管道腐蚀。

(1) 合理选择材料, 根据不同的运输方式选择不同的材料。基于环境, 设定预防保护条件。(2) 阴极保护, 阴极保护分为牺牲阳极与强制电流保护。牺牲阳极中, 可以将相对化学活性更高的金属与管道相连接, 两者都形成一个原电池。在该原电池中, 活性更高的金属被腐蚀, 管道本身受到保护。而强制电流阴极保护是通过外接电源改变周围环境的电位, 使管道的电位始终低于周围环境, 从而成为整个环境中的阴极, 使管道不会由于电子损失而腐蚀。这种强制阴极保护系统由电源、贵金属阳极、参比电极和连接电缆组成。主要用于长输管道中及储罐的阴极保护。例如, 埋地工业管道, 如石油和天然气的长距离输送, 以及大型工业原材料(如石油)的储罐, 都是利用这种外加电流进行阴极保护的方法。不被腐蚀。(3) 中等处理, 包括去除中等强度的腐蚀性成分或调整其PH值。(4) 涂上防腐涂层(例如油漆)。使钢管在金属表面与地下沙土、水分隔绝, 以达到保护作用。(5) 添加“缓蚀剂”以抑制腐蚀。具有剂量低、投资少、效果显著的优点, 是管道等领域防腐技术发展的主要方向。

由此可见, 通过研究我国埋地输油管道防腐现状, 高性能防腐涂层和阴极保护是管道腐蚀与防护大趋势, 二者拥有独特的防腐原理。

### 4 应用阴极保护设备要素

#### 4.1 强制外加电流阴极保护设备—恒电位仪

4.1.1 恒电位仪构成。在天然气管道阴极保护技术中, 恒电位仪是一种负反馈放大输出系统, 它与受保护对象(例如埋地管道)形成闭环调节, 调整极化电流输出以保持套件中的电源。恒电位仪本身是整流器下的一个分支, 具有恒电位和直流功能。恒电位是指使用参考电极反馈作为恒定标准来控制整流器输出, 恒电位仪出现问题, 如干扰、参比电极损坏等, 需要直流功能、直流输出, 即电流输出不变, 电压变化。

只要仪器的放大倍数计算设计合理, 采样信号特性和仪器的输入输出特性有足够的线性且调节好, 恒电位仪可能会降低通电位, 对象受到保护, 控制器设置为额定工作范围。电位相同, 误差通常小于5V。之所以称为恒电位仪, 是因为它具有使能点电位几乎恒定的特性。阴极保护法是管道防腐的有效方法, 恒电位仪是阴极保护系统的控制中心和电源。恒电位仪电缆接辅助阳极, 地下通电后产生半球形电场, 负电极接通保护管道。参比电极端可以设置为管道附近, 测量管道的电位并监测保护效果。当

恒电位保护启动时, 保护电流从正恒电位电极流出, 经辅助阳极进入土壤后流入管道。再沿阴极返回电源负极, 从而保护管道。

理想的恒电位仪电路主要由四部分组成, 运算放大器、三电极系统、样品溶液和反馈电阻。三电极系统由工作电极、参比电极和辅助电极组成。工作电极的作用是迫使试液在使用的电位下进行电化学反应, 测量电极上产生的电流; 辅助电极和工作电极形成导电回路, 参比电极作为工作电极和辅助电极。反馈电阻主要将工作电极产生的电流转换成电压, 以满足最终接收输入的要求。

4.1.2 恒电位仪运行注意事项。恒电位仪的核心是一个比较放大器, 由一个具有深度负反馈的差分放大器组成, 通常使用集成的高性能运算放大器。其输入为控制和参考(选择)电路, 输出后接放大、控制移相、振荡等电路产生触发脉冲, 极化电源由晶闸管整流电路组成, 通过改变电压来调节输出。

(1) 打开电源。A. 将电位器旋钮“手动”和“自动分配”旋钮逆时针转到底, 将“手动/自动”开关转到“自动”位置, 将“测量选择”开关转到“给定”位置。B. 打开主电源, 将设备上的电源开关拨到on位置, 恒电位仪当前处于开启状态。C. 将停止/运行旋钮转到运行, 恒电位仪将打开。D. 缓慢调节电位器“自动调节”旋钮, 监测电位器读数, 达到设定值时停止调节。E. 将仪器的“测量选择”开关拨到“C1”位置, 显示管道的保护电位。如果设备跳到“故障”, 按“复位”键恢复运行状态。H. 执行上述操作后至少观察0.5小时。当设备不发热且警报不响时, 记录电流表输出电流、电压表输出电压、电位器保护电位。(2) 关机。将恒电位仪上的电源开关转到“关闭”位置, 逆时针将自动调节旋钮完全调节。(3) 手动操作。如果设备发生故障, 电气工程师会确认可以手动操作恒电位仪。稳压器的安装位置必须适合通风散热, 设备必须轻拿轻放。安装接线时, 请确保电源适合指定的电位器电压值。将稳压器安装到油箱必须使用防爆电源, 电源通常安装在电器室中。

安装时务必按照接线图接线, 保证输出电源极性正确。并且有明确的“+”和“-”符号代替电线。首先用万用表检查端子是否准确, 然后尝试打开电源并密封电缆连接。安装后必须保证外壳有良好的接地。

在接通已安装的电位器之前, 首先要测量管道的自然电位, 电位值必须在-0.6V左右。关键如果是管道有临时使用的阴极保护设备, 这里测试的电位器可能是-1.10V或更低。然后测量阳极接地层的电位, 包裹焦炭的阳极电位值通常在+0.20V~+0.30VCSE之间。

#### 4.2 相应准备工作

4.2.1 阴极保护的类型。在对管道进行阴极保护的情况下, 相关人员必须提前做好准备, 掌握管道工程的各个要点, 选择最合适的阴极保护技术。

4.2.2 牺牲阳极材料。提供足够电流保护管道的牺牲阳极材料。因此, 需要有足够的负电位和小阳极设计, 以提高管道电位的稳定性, 并保持均匀溶解。由于负极材料种类较多, 可根据实

际情况合理选择。例如, 镁合金和锌阳极是非常重要的阳极材料, 采用镁合金适用于各种土壤环境。使用锌时, 适用于潮湿环境中的性能。当电位达不到要求时, 作为补充措施。

4.2.3 电流密度。为了更好地体现阴极保护技术的优势, 需要加强管道的耐腐蚀能力, 选择最佳的保护类型, 掌握基极电流密度。一般情况下, 阴极保护指标通过管道断电电位控制, 一般为-850到-1200mv之间, 因为新管道的耐腐蚀性很强。但如果管道比较老旧, 可以对防腐层进行泄漏试验, 确定电流密度。此外, 环境复杂多变, 电流密度的准确性无法准确确定, 因此主要通过投料实验来确定非常重要。

#### 4.3 优化工艺流程

除了上述准备工作外, 还需要实施一个基本的工艺操作, 并借助阴极保护技术进行防腐处理。

4.3.1 安装接地电池。在设置接地电池时, 如果要使其接地, 则必须吸收好保护电流, 并根据电气绝缘设置保护电流, 以免产生不良干扰。同时, 还需要在绝缘设备中安装接地电磁铁, 其目的是防止雷击。但是, 请务必定期检查接恒电位仪要接地的操作是否有短路或接地故障, 当某些领域地下水源较多时, 不宜使用接地电池。

4.3.2 安装集输管道。埋入阳极材料后安装收集和输送管道, 安装时加强对管道焊接质量的监督和控制, 选择最佳焊接方式, 做好焊接位置的工作, 搬运打磨后盖好管套。管段的连接位置也必须采用法兰连接, 以提高管道的电气绝缘效率。最简单的方法是安装绝缘接头, 控制管道与地网之间的距离, 最好在三米的距离, 并先进行防腐密封工作。

4.3.3 加大验收。在执行上述参考资料时, 为了充分体现良好的防腐效果, 需要对每个电路进行严格检查, 增加验收。具体方法如下, 检查测试桩的运行情况, 每公里安装一次测试杆, 设置完成后确定最佳测试方法。一般情况下, 试验一般用钢管进行, 参比电极放置在距管子一米远的地里, 调整电压范围, 确定操作, 得到准确的试验数据。

### 5 阴极保护技术在埋地输油管道中的使用

#### 5.1 牺牲阳极法

牺牲阳极法在埋地管道防腐工程中的应用是利用管道和设备中原电池的原理, 用阳极材料代替金属材料, 管道作为具有还原性的金属材料, 具有良好的连接性。在管道运行过程中, 阳极材料会发生氧化还原反应, 提高了管道的稳定性, 延长了管道的使用寿命。市场上的负极材料种类繁多, 主要由负极材料和辅料组成。在石油管道防腐技术的实际应用中, 阳极材料主要采用“镁-锰”、“镁-铝”和“锌-锡”、“锌-汞”、“铝-锌-钢”等。阳极助剂主要有铝银合金、氧化铁、混合金属氧化物等, 不同的阳极物质和助剂发挥不同的作用。镁元素的电位比较低, 密度小, 极化效率低, 适用于埋地输油管道的建设。锌元素复合金属阳极腐蚀较弱, 使用寿命长, 极化效率比较高, 适合使用在酸性和碱性土壤中。

#### 5.2 强制电流法

强制电流法在埋地输油管道防腐工程中的应用, 主要是利用恒电位仪, 让来自阳极的电流同时进入管道, 并在短时间内离开土壤并渗透, 以“流”的形式在金属管内。然后接管内阴极电路产生大电流, 将电流传递到恒电位仪位置, 使恒电位仪电流值恒定, 管电位控制在一个比较稳定的范围内。该方法采用电流保护功能, 可对管道进行长距离保护, 及时调整管理电流, 具有良好的应用价值, 广泛用于埋地输油管道的防腐工程。

#### 5.3 附加绝缘层

埋地输油管道防腐是一项长期工程, 需要灵活使用牺牲阳极法和强制电流法, 满足埋地输油管道的防腐要求。新技术创新主要是对管道表面进行热处理或添加防腐涂层, 以提高输送管道的防腐性能。应采用科学的防腐技术来提高管道的防腐性能, 防腐技术使用不当, 如果管道输送过程中发生电化学反应, 容易出现腐蚀问题, 会降低管道方法的效果。因此, 防腐涂装技术要求采用正确的涂装方式, 保持管道表面干燥, 保证施工工艺的科学性和效率。使用油漆防腐技术时, 需要使用良性油漆润滑管道外表面, 使管道与地面绝缘, 对管道进行阴极保护。该电路是防腐涂层处理的关键, 如果电解液接触到带有保护漆膜层的管道表面, 漆膜会直接腐蚀金属管道。因此, 直观地将管道绝缘很重要。在奥氏体不锈钢装置中使用含锌底漆对埋地输油管道进行防腐保护, 否则会损坏管道表面, 确保含锌涂层符合要求, 否则无法实现阴极防腐。确保聚氨酯涂层表面光滑, 否则起不到保护作用。

### 6 结束语

综上所述, 阴极保护技术是指通过电化学方法, 使被保护的金属结构极化, 使电位向负方向移动, 达到阴极状态的方式——在环境中的保护状态。阴极保护技术是一种电化学保护技术, 其本质是在电解质环境中将金属的电位转移到负极, 以达到耐腐蚀电位。

#### [参考文献]

- [1]程千. 输油管道阴极保护防腐技术研究[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(6): 2.
- [2]袁野. 输油管道阴极保护防腐技术分析[J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(1): 2.
- [3]皮建. 城市埋地燃气管道阴极保护防腐技术研究[J]. 商品与质量, 2021, (17): 83.
- [4]张宇. 阴极保护防腐技术在输油气管道防腐中的应用分析[J]. 百科论坛电子杂志, 2020, (8): 246-247.
- [5]郭金, 冀光峰, 林洞峰, 等. 套管对输油管道阴极保护电位影响数值模拟研究[J]. 石油工程建设, 2021, 47(5): 5.
- [6]王荡. 油气管道阴极保护技术现状研究[J]. 化工管理, 2017, (09): 105.
- [7]姜国伟. 阴极保护技术在PCCP管道工程中的应用分析[J]. 水电水利, 2021, 4(11): 15-16.
- [8]万冬. 埋地管道腐蚀防护——防腐层与阴极保护存在的问题分析[J]. 石化技术, 2020, 27(4): 2.