

埋地钢质管道强制电流阴极联合保护研究

周兰¹, 陶文亮^{1,2}, 李龙江³

(1. 贵州大学 化学与化工学院, 贵阳 550025; 2. 贵州工程应用技术学院,
贵州 毕节 551700; 3. 贵州大学 矿业学院, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 验证阴极保护系统在保护目标管道的同时对临近管道造成的杂散电流腐蚀, 对比柔性阳极与阳极地床在保护管道的过程中产生的杂散电流污染情况, 确定同沟铺设的不同管道联合保护方案。**方法** 通过同一排流设备对相同区域的不同管线进行统一保护, 阴极保护系统中的接地装置作为唯一的阳极, 多条埋地管线作为电化学电池的阴极实现保护。**结果** 阳极地床产生的杂散电流干扰明显强于柔性阳极材料; 排流保护中, 两条 20 m 埋地金属管道达到排流保护的范围内, 柔性阳极的排流电压为 1.2 ~ 1.52 V, 远小于碳钢阳极地床的 3.5 ~ 15 V, 能够有效减少防护过程中电能的使用。**结论** 同一阴极系统同时对多条金属管道或金属构筑物进行排流保护的可行。

关键词: 联合防护; 杂散电流; 埋地金属管道; 阳极地床; 柔性阳极

中图分类号: TG174.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2015)04-0118-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.04.021

Experimental Studies on the Impressed Current Cathodic Joint Protection of Buried Metallic Pipelines

ZHOU Lan¹, TAO Wen-liang^{1,2}, LI Long-jiang³

(1. Chemistry and Chemical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou University of Engineering Science, Bijie 551700, China; 3. Mining College, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: **Objective** To verify the stray current corrosion caused to the adjacent pipelines by the cathodic protection system when protecting the target pipeline, compare the stray current pollution generated by flexible anode and anode ground bed during pipeline protection process, and propose joint protection of different pipelines buried in the same ditch. **Methods** The different pipelines in same region were jointly protected through the same drainage device, using the grounding device of the cathodic protection system as the only anode, and the multiple buried pipelines as the cathode of the electrochemical cell. **Results** The stray current interference caused by the anode ground bed was obviously stronger than that of the flexible anode material. In drainage protection, when the two 20 m buried metallic pipelines reached the range of drainage protection, the drainage voltage of the flexible an-

收稿日期: 2014-12-08; 修订日期: 2015-01-18

Received: 2014-12-08; Revised: 2015-01-18

基金项目: 贵州省科技厅工业攻关项目(Z113169)

Fund: Supported by Industrial PR Project of Guizhou Province Science and Technology Office(Z113169)

作者简介: 周兰(1987—), 女, 贵州人, 硕士研究生, 主要研究方向为化工腐蚀与防护。

Biography: ZHOU Lan (1987—), Female, from Guizhou, Master graduate student, Research focus: chemical corrosion and protection.

通讯作者: 陶文亮(1962—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为腐蚀与防护、膜分离。

Corresponding author: TAO Wen-liang (1962—), Male, Ph. D., Professor, Research focus: corrosion and protection, membrane separation.

ode was 1.2 V to 1.52 V, which was far smaller than that of the carbon steel anode ground bed (3.5 ~ 15 V), effectively reducing the power consumption during the protection process. **Conclusion** The drainage protection of multiple metallic pipelines or metallic structures using the same cathodic system was feasible.

KEY WORDS: joint protection; stray current; buried metallic pipeline; anode ground bed; flexible anode

埋地钢质管道与各种金属构筑物同沟铺设,受杂散电流的影响和强制电流阴极保护的作用腐蚀严重^[1-2]。为提高埋地金属管道的使用寿命,传统的方法是进行涂层防护^[3-4]。美国在 20 世纪 70 年代初就立法对管道实施保护措施,规定埋地钢质管道必须采用防腐涂层与阴极保护相结合的双重保护措施^[5]。阴极保护是指在金属管道表面通以足够强度的阴极电流,使金属表面阴极极化阻止管道腐蚀^[6-7]。管道的腐蚀防护通常采用强制电流阴极保护,阳极地床气阻会随时间增大,造成管地电位正移、电位梯度增大,对周围其它构筑物的杂散电流干扰不断增加,使阴极保护系统在保护管线本身的同时,引起相邻的埋地金属构筑物的腐蚀;随着时间的推移,干扰腐蚀会越来越严重,甚至导致阳极地床报废,使阴极保护系统无法正常运行^[8]。1987 年美国 Raychem 公司,开发了一种用于管道阴极保护的柔性阳极,以解决管道覆盖层老化的老龄管道阴极保护问题,柔性阳极开始被广泛应用于钢质管道的保护^[9]。近年来,柔性阳极因具备不产生污染物、电效率高、能耗小、工作寿命较长、能较好解决杂散电流污染等方面的优势,作为一种地床材料逐渐被应用于管道的保护^[10]。但是,对于同沟铺设不同材质的管道,如何用柔性阳极进行联合保护则较难解决。本文分别就碳钢阳极地床与柔性阳极电缆的阴极保护系统在对防腐涂层管和裸管的保护中产生的相互干扰问题进行研究,对不同管道防护引起的防护系统相互干扰严重、占地面积广、防护设备成本高、运行维修困难等问题进行分析。

1 实验

选取一开阔地,建立管道联合阴极保护基地,两条平行埋地金属管道相距 1 m 埋设,管道 1 为防腐涂层 A3 在役燃气管道;管道 2 为在役自来水裸管,材质是 Q235 型碳钢,埋设深度为 0.7 m,两根管道都焊接有测试桩接出土壤表面;为方便接线和测量,埋设地的土壤为均质土壤,土壤电阻率为 89 Ω·m,土壤自然电位为-0.54 V,pH=6.1。通过钢电极与多路稳压直流电源强加杂散电流,用万用表测量管道管地电位值为-540 mV,根据埋地钢质管道阴极保护技术规范

标准 GB/T 21448—2008 中的相关要求^[11]进行测定。单一管道的强制排流阴极保护原理如图 1 所示,实验中多路稳压直流电源的“+”极连接阴极保护装置(阳极地床或柔性阳极),“-”极连接目标管道。通过改变阴极保护装置材料,验证柔性阳极与碳钢阳极地床在阴极保护中杂散电流的产生以及对外部管道的干扰和破坏,通过密间间隔法测量外部管道地电位梯度^[12]。地电位梯度的传播途径如图 2 所示,使用阳极地床,会产生各种方向的杂散电流,腐蚀周围的金属构筑物。

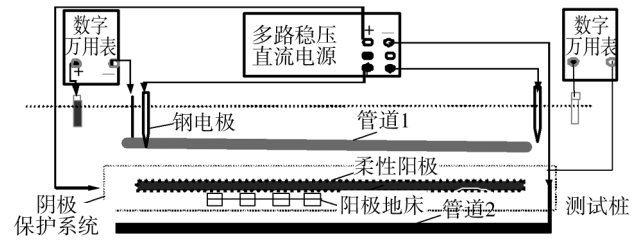


图 1 强制电流阴极保护原理
Fig. 1 Principle of impressed current cathodic protection

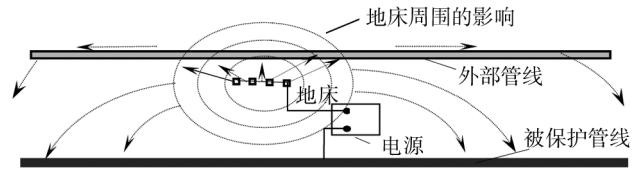


图 2 阴极保护系统引起的杂散电流干扰示意
Fig. 2 Schematic of stray current interference caused by the cathodic protection system

2 结果与讨论

2.1 阳极地床引起的杂散电流干扰

首先切断图 1 中的柔性阳极连接,接通阳极地床,此时的防腐系统为传统的强制电流阴极保护系统。按图 1 中的工艺流程连接电路对涂层管进行排流,通电电位遵循-850 mV 的原则^[13],利用节能联合防腐系统的排流端电源对涂层管管地电位进行调节,从-850 mV 开始向负方向递变,利用防腐系统的检测端,测量地床阳极保护目标管道对同沟铺设的外部管道引起的杂散电流干扰。图 3a 为利用阳极地床保护

裸管时,防腐管周围管地电位与排流电压之间的关系;图 3b 为保护防腐管时,裸管的管地电位与排流电压之间的关系。

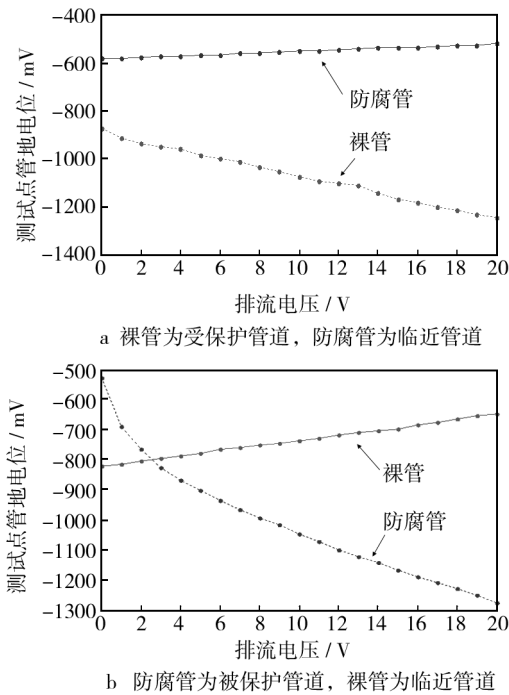


图 3 阳极地床引起的杂散电流对临近管道的干扰情况
Fig.3 Stray current interference of adjacent pipeline caused by anode ground bed: a) bare pipeline was protected, corrosion resistant pipeline was the adjacent pipeline, b) corrosion resistant pipeline was protected, bare pipeline was the adjacent pipeline

从图 3 可知,当使用阳极地床对裸管进行阴极保护时,排流电压在 0 ~ 16.5 V 之间,裸管的电位向负方向偏移,根据 -850 mV 规则,管道逐渐进入被保护区域;随着排流电压的增大,防腐管的电位从 -590 mV 向正方向偏移,表明外部的防腐管线受到来自地床的杂散电流干扰,腐蚀加剧。当电源负极连接防腐涂层管,阴极系统对防腐管进行保护时,可以看出此时的保护电位在 3.5 ~ 17 V 之间,与裸管相比,排流电压范围向增大的方向移动,说明裸管的排流保护更为敏感。同时外部裸管的电位从 -821 mV 迅速增至 -670 mV,表明外部的裸管管线受到了强烈杂散电流干扰。

2.2 柔性阳极排流引起的杂散电流干扰

根据图 1 中的保护工艺,断开阳极地床的接线,将柔性阳极的接线端连接电源正极,裸管测试桩连接负极,对裸管进行排流保护实验,当裸管达到保护状态时,防腐管管地电位与排流电压之间的关系如图 4 所示。

与图 3a 中碳钢结构地床对裸管的保护相比,最

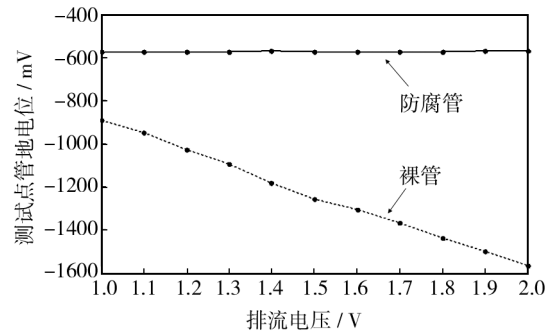


图 4 柔性阳极引起保护裸管产生的杂散电流对相邻防腐管的干扰
Fig.4 Stray current interference of adjacent corrosion resistant pipeline caused by flexible anode

大排流电压从 17 V 降低为 1.35 V,且外部涂层管线的管地电位始终保持在 -573 mV 左右。这表明将柔性阳极电缆代替普通阳极地床材料对管道进行阴极保护时,排除了传统阴极保护系统在保护目标管道时,对临近金属结构物的干扰和破坏,从而避免了减小杂散电流干扰而对其它金属构筑物的屏蔽、在工程应用中节省了人力和物力。

从上面两种情况的比较中可以得出,使用柔性阳极材料对埋地钢质管道进行保护,可以很好地保护单一管道,而且在保护目标管道的同时,不会产生杂散电流腐蚀干扰其它同沟铺设的埋地金属构筑物。

3 新型埋地钢质管道强制电流阴极联合保护

3.1 联合排流保护原理

排流保护是通过外加电源强制排流而使金属管道的表面形成电化学电池的阴极,从而达到降低其腐蚀速率的目的^[14-16]。一般情况下,土壤中的杂散电流从埋地管道的一端流入形成阴极区,在另一处流出金属管道表面,形成阳极区引起管道腐蚀。排流保护装置的任务就是通过调整外部电流的大小使其超过管线阳极区释放的腐蚀电流,使管线的整个表面原电池阴极腐蚀速率降低。联合排流是在原有阴极保护系统设计的基础上,通过同一排流设备,对相同区域的不同管线进行统一保护,阴极保护系统中的接地装置(阳极地床或柔性阳极)作为唯一阳极,多条埋地管线作为电化学电池的阴极,以避免不同管道独立保护引起的防护系统相互干扰严重、占地面积广、防护设备成本高、运行维修困难等问题。

3.2 新型埋地金属柔性高效节能联合防护系统及辅助装置

在实验过程中,联合保护驱动装置为埋地金属柔性高效节能联合防护系统,设有检测模块、排流模块、LED 显示模块、电源模块等,所用的控制算法为模糊智能控制算法。联合防护系统的结构流程如图 5 所示,能同时保护 2 种以上、5 种以下不同的金属管道,所用的关键技术有新型柔性阳极驱动技术、腐蚀参数面检测技术和降压芯片分压技术。

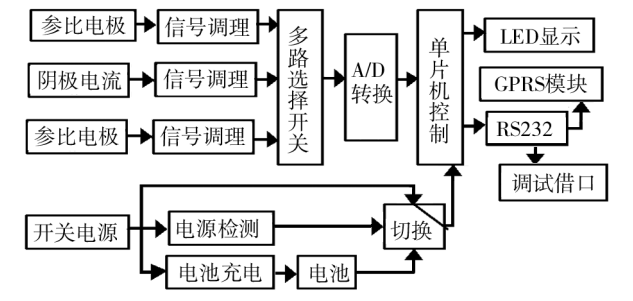


图 5 联合排流系统结构图

Fig.5 Structure of the joint drainage system

实验过程中必须模拟在役埋地管道的运营环境,用双路直流稳压电源模拟土壤杂散电流环境,所用辅助仪器有双路直流稳压电源,有 4 个电流输出端,输出电压量程为 0 ~ 30 V。在测量管地电位和地电位梯度时用饱和铜/硫酸铜长效参比电极和高阻抗数字万用表。实验选取两种不同材质的 DN40 金属管道,一种为在役燃气防腐管道,属于 A3 钢材质,一种为在役埋地自来水裸管道,属于普通碳钢。选用贵州大学开发的柔性阳极。其它辅助装置还有自行设计的碳钢阳极地床,铂钢电极以及导线若干。

3.3 强制电流阴极联合保护实验设计

强制电流阴极联合保护工艺如图 6 所示。选取一开阔地,建立管道联合阴极保护基地,两条平行埋地金属管道相距 1 m 埋设,两根管道都焊接有测试桩接出土壤表面,方便接线和测量。双路直流稳压电源连接正负端端的两个铂钢电极,人为施加流过土壤的杂散电流。在检测端,两个“+”极端口分别用导线连接在两根金属管道上,两个“-”极端口分别连接在饱和铜/硫酸铜长效参比电极上,用以测量两种金属管道的管地电位。柔性阳极铺设在两种金属管道的中间,距离两种管道各 0.5 m。在排流端,联合防腐系统的两个负极端“-”通过分压电路分别连接两种待保护

管道,正极端“+”连接柔性阳极或碳钢阳极地床(进行对比)。

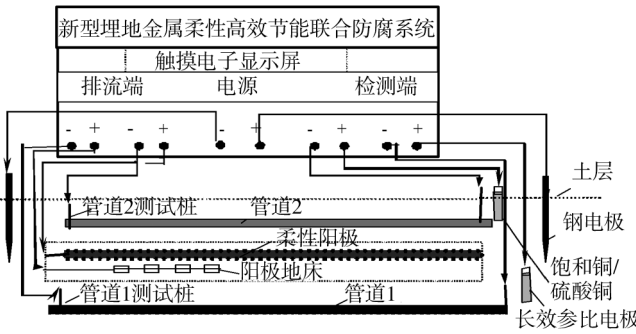
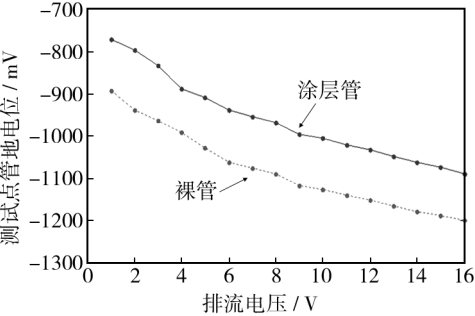


图 6 联合排流保护设备连接图

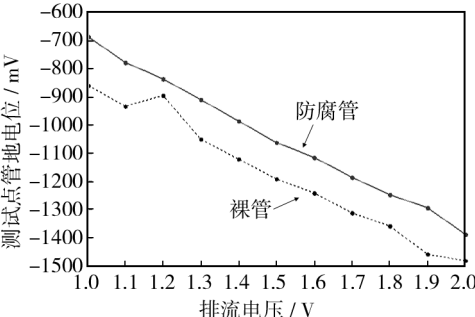
Fig.6 Equipment connection diagram of the joint drainage system

3.4 强制电流阴极联合排流分析

按图 6 所示的联合排流工艺原理,将阴极保护装置(阳极地床或柔性阳极)连接电源“+”,同时将裸管与涂层管分别连接电源“-”,探索验证管道杂散电流联合排流实验的可行性,同时对比在联合排流过程中碳钢材料地床与柔性阳极电缆的优越性,旨在寻求适合理的钢质管道联合防护的有效手段。实验结果如图 7 所示。



a 阴极保护装置为阳极地床



b 阴极保护装置为柔性阳极

图 7 联合排流实验中排流电压与管地电位关系

Fig.7 The relationship between drainage voltage and pipe-ground potential in the joint drainage experiment;a) the cathodic protection device was anode ground bed, b) the cathodic protection device was flexible anode

从图7可知,阴极系统同时对多条金属管道或金属构筑物进行排流保护的措施是可行的,在埋地金属管道达到排流保护的范围内,柔性阳极的排流电压为1.2~1.52 V,远小于碳钢阳极地床的3.5~15 V,能够有效降低防护过程中电能的使用。

4 结论

柔性阳极保护能够有效解决杂散电流干扰问题,保护电流相对较低且对周围金属构筑物产生的电磁干扰相对较小。针对多条管道平行铺设的情况,可以实现管道群的联合排流,通过分配不同材质埋地金属防腐所需电压,实现一个阳极对多种埋地金属的防腐。

参考文献

- [1] 张攀峰,於孝春. 强制电流阴极保护管线系统的 ANSYS 仿真技术研究[J]. 腐蚀与防护,2011,32(2):146—149.
ZHANG Pan-feng, YU Xiao-chun. ANSYS Simulation of Buried Pipelines under DC Stray Current Condition[J]. Corrosion & Protection,2011,32(2):146—149.
- [2] XU L Y. Effect of Alternating Current on Cathodic Protection on Pipelines[J]. Corrosion Science, 2013(66):263—268.
- [3] 景世刚. 金属管道防腐技术动向[J]. 表面技术,1998,27(1):28—29.
JING Shi-gang. Development Tendency of Anti-corrosion Technology for Metal Pipeline[J]. Surface Technology, 1998,27(1):28—29.
- [4] 刘金和,张雅琴,刘慕懿. 有机涂层在模拟沙漠大气环境下的加速实验研究[J]. 表面技术,2014,43(4):64—67.
LIU Jin-he, ZHANG Ya-qin, LIU Mu-yi. Study on Accelerated Test of Organic Coating in Desert Atmospheric Environment[J]. Surface Technology, 2014,43(4):64—67.
- [5] 米琪. 柔性聚合物阳极地床在阴极防腐工程中的应用及发展[J]. 城市煤气,1993,12:21—24.
MI Qi. Application and Development of Flexible Polymer Anode Bed in the Cathodic Corrosion Protection Engineering[J]. China Gas, 1993,12:21—24.
- [1] ESAYED A. On the Cathodic Protection of Thermally Insulated Pipelines[J]. Engineering Failure Analysis,2009,16:2047—2053.
- [7] 郭军科,于金山,彭翔. 加速腐蚀实验研究碳钢的大气腐蚀行为[J]. 表面技术,2014,43(4):68—73.
GUO Jun-ke, YU Jin-shan, PENG Xiang. Study on the Atmospheric Corrosion Behavior of Carbon Steel Using Accelerated Corrosion Test[J]. Surface Technology, 2014,43(4):68—73
- [8] BOGUSLAW P. Application of Nickel-coated Carbon Fibre Material in Cathodic Protection of Underground-buried Steel Structures[J]. Corrosion Science,2009(51):2605—2609.
- [9] CHEN Zhi-Guang. Experiment Research of Dynamic Stray Current Interference on Buried Gas Pipeline from Urban Rail Transit[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering,2013(15):76—81.
- [10] 赵晓云,陶文亮,李龙江. 国内外柔性阳极的开发应用现状及展望[J]. 腐蚀科学与防护技术,2013,25(5):437—441.
ZHAO Xiao-yun, TAO Wen-liang, LI Long-jiang. The Research Application and Prospect of Flexible Anode at Domestic and Overseas[J]. Corrosion Science and Protection Technology,2013,25(5):437—441.
- [11] 周新荣,金永旺,于清涛. 浅谈阴极保护之柔性阳极的应用[J]. 中国石油及化工标准与质量,2013(14):60—61.
ZHOU Xin-rong, JIN Yong-wang, YU Qing-tao. Introduction about Application of Flexible Anode in The Cathodic Protection[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality,2013(14):60—61.
- [12] 滕延平,张丰. 杂散电流干扰下管道密间隔电位检测数据处理方法[J]. 管道技术与设备,2009(4):29—31.
TENG Yan-ping, ZHANG Feng. CIPS Data Process Method of Pipeline Affected by Stray Current Interference[J]. Pipeline Technique and Equipment,2009(4):29—31.
- [13] SAM A W. 管线腐蚀控制[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
SAM A W. Pipeline Corrosion Control[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2004.
- [14] 李龙江,陶文亮. 酸湿土壤中燃气管道阳极保护的研究与实现[J]. 煤气与热力,2011,32(12):34—38.
LI Long-jiang, Tao Wen-liang. Research and Implementation of Anodic Protection of Gas pipeline in Acid and Wet Soil[J]. Gas & Heat,2011,32(12):34—38.
- [15] 熊娟,郑兴文,张文艳. 西南地区某输油管道外腐蚀分析[J]. 表面技术,2014,43(4):59—63.
XIONG Juan, ZHENG Xing-wen, ZHANG Wen-yan. Analysis on the External Corrosion for an Oil Pipeline in Southwest China[J]. Surface Technology, 2014,43(4):59—63.
- [16] 龚敏,张婷,熊娟. 油气运输管道防腐层的抗阴极剥离性能[J]. 表面技术,2012,41(1):30—32.
GONG Min, ZHANG Ting, XIONG Juan. A Performance Research of Cathodic Disbonding of the Anti-corrosive Coating in Oil and Gas Transport Buried Pipelines[J]. Surface Technology, 2012,41(1):30—32.