

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.11.021

密间隔电位测量下的地铁杂散电流影响研究

钱瑶虹¹, 方江敏¹, 马德良¹, 彭泽标²

(1. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510000; 2. 广西壮族自治区安全生产监督管理局, 广西 南宁 530000)

摘要:针对地铁杂散电流影响下的埋地钢质燃气管道阴极保护电位测量和地铁杂散电流流进流出埋地钢质燃气管道评价标准等问题,将密间隔电位测量技术应用到埋地钢质燃气管道中,进行了断电电位测量试验,建立了断电电位与延迟时间之间的关系,得出测量主机延迟 100 ms 后测量的断电电位为管道的真实有效阴极保护电位。在密间隔电位测量技术的基础上对受地铁杂散电流影响的埋地钢质燃气管道进行了试验,测量了有地铁杂散电流和无地铁杂散电流影响下埋地钢质燃气管道的电位。研究表明:有地铁杂散电流影响的管道阴极保护电位(V_{off} 白天)比无地铁杂散电流影响的管道阴极保护电位(V_{off} 晚上)偏正,此处为杂散电流的流出点;有地铁杂散电流影响的管道阴极保护电位(V_{off} 白天)比无地铁杂散电流影响的管道阴极保护电位(V_{off} 晚上)偏负,此处为杂散电流的流入点。

关键词:地铁杂散电流;密间隔电位测量技术;钢质燃气管道;阴极保护电位;断电电位

中图分类号:TM133;U231.94

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)11-1334-04

Study on the influence of metro stray current Based on measurement of close interval potential

QIAN Yao-hong¹, FANG Jiang-min¹, MA De-liang¹, PENG Ze-biao²

(1. School of Mechanical & Automotive Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510000, China; 2. Guangxi Administration of Work Safety, Nanning 530000, China)

Abstract: Aiming at the problems of cathodic protection potential measurement of buried steel gas pipeline under the influence of metro stray current and the evaluation criteria of stray current flowing into and out of buried steel gas pipeline, the measurement technique of close interval potential was introduced into buried steel gas pipeline, switching off potential test was conducted, the relationship between switching off potential and delay time was established, we found that the switching off potential was real cathodic protection potential of pipeline when measurement unit delayed 100 ms. On the basis of the measurement technology of the close interval potential, the buried steel gas pipeline affected by metro stray current was tested, the switching off potential of buried steel gas pipeline under and without the influence of metro stray current were measured (denoted by $V_{\text{off}}D$ and $V_{\text{off}}N$, respectively). The experimental results show that: when $V_{\text{off}}D$ is positive than $V_{\text{off}}N$, here is the stray current flow out; when $V_{\text{off}}D$ is negative than $V_{\text{off}}N$, here is the stray current flow point.

Key words: subway stray currents; measurement technique of close interval potential; steel gas pipeline; cathodic protection potential; switching off potential

0 引 言

地铁杂散电流为地铁供电系统中泄露到土壤中的电流^[1],这部分电流在土壤中流动时,会从钢质燃气管道的某处流入,然后沿着管道流动,最后从某处

流出。流进管道的杂散电流严重影响了管道的阴极保护电位,对管道的腐蚀防护产生严重的影响^[2-3]。具体表现为:在杂散电流进入的区域,管道阴极极化,若管地电位负于自然腐蚀电位,不受腐蚀,若阴极区管地电位超出最大保护电位,管道表面发生析

收稿日期:2017-03-03

作者简介:钱瑶虹(1991-),湖南衡阳人,女,硕士研究生,主要从事油气储运安全、油气储运工艺方面的研究。E-mail:623186659@qq.com

氢反应,造成外覆盖层的剥离;杂散电流流出的区域,管道阳极极化,若管地电位正于自然腐蚀电位,管道会发生腐蚀。因此研究杂散电流对管道电位的影响十分重要^[4]。

本研究通过采用密间隔电位测量法,测量地铁白天运行时和晚上停运时埋地钢质燃气管道的电位,通过对管道电位变化的分析,评价地铁杂散电流在测量点处对埋地钢质燃气管道阴极保护电位的影响。

1 密间隔电位测量技术

密间隔电位(CIPS)测量技术是管道电位测量技术的一种^[5-6]。

1.1 密间隔电位测量方法及设备

密间隔电位测量技术示意图如图 1 所示。

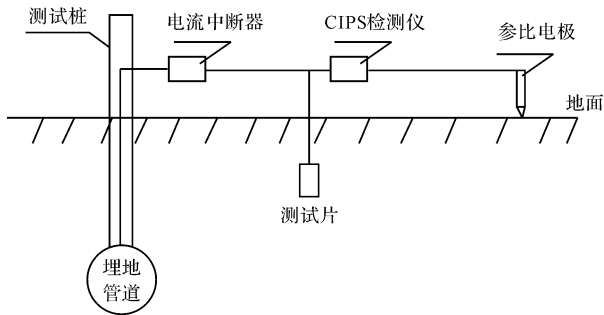


图 1 埋地管道密间隔电位检测示意图

在埋地钢质管道附近埋设与管道材质相同的试片,试片与管道之间串联一个电流同步中断器,试片又与 CIPS 测量仪和参比电极连接。CIPS 测量仪可同步中断从管道传导到试片的电流,测量管道的通电电位(V_{on}),测量管道的断电电位(V_{off})。(其中: V_{off} —无杂散电流干扰下阴极保护电位, V_{on} —管道在杂散电流干扰下的管地电位^[7])。

CIPS 测量法主要由电流同步中断器、饱和 Cu/CuSO₄ 电极、CIPS 测量主机、绕线分配器组成。电流同步中断器可按一定的周期对传导到试片的电流进行中断,通过 GPS 系统对中断器与测量主机实现通断测量同步。CIPS 测量主机同步测量管道的通电电位 V_{on} 、断电电位 V_{off} ,沿管道轴向方向的 V_{on} 和 V_{off} 。测量主机可存储测量数据,也可导入电脑中,绘制 V_{on}/V_{off} 沿管道距离的曲线图。

1.2 测量主机延迟时间试验

V_{off} 电位的准确性是管道电位中重要的,直接关系到对管道是否处于良好的保护范围。在 CIPS 测量中,

测量主机延迟时间的设置直接决定 V_{off} 电位的精确性,为此通过实验获取延迟时间对 V_{off} 电位的影响曲线^[8],实验内容如下:试片 1 的大小为 10 cm × 5 cm × 7 mm、试片 2 的大小为 5 cm × 2.5 cm × 7 mm,在保证两试片被管道内电流充分极化的条件下,设置 CIPS 测量主机的通断时间为 3 s,其中通电时间为 2 s,中断时间为 1 s,中断后向后延迟测量 V_{off} 电位,从 10 ms ~ 250 ms 每隔 5 ms 测量一组测试片的 V_{off} 电位和 V_{on} 电位,试验数据如图 2 所示。

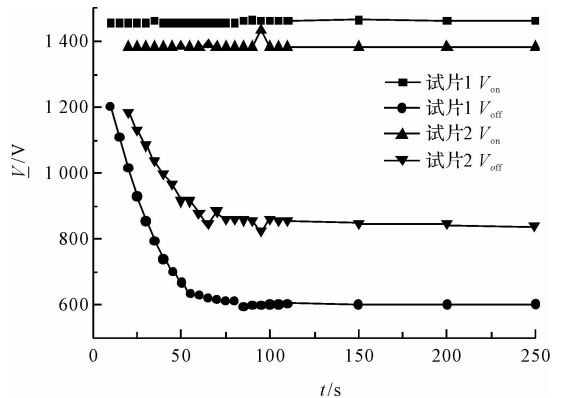


图 2 试片电位随时间变化曲线图

图 2 试验数据说明:当延迟时间为 0 ~ 100 ms 时,因为土壤中残余电流的影响,此时测量的 V_{off} 电位不准确,100 ms 之后残余电流的消失,电流回流中的 IR 降为零, V_{off} 电位保持恒定,该条件下的 V_{off} 电位即为屏蔽杂散电流的管道阴极保护电位; V_{on} 电位为管地电位,一直保持不变不受延迟时间的影响。

因此在测量杂散电流及管道阴极保护电位时,CIPS 测量主机通断时间设置为:电流同步中断器中断周期为 3 s,其中通电时间为 2 s,测量管道的 V_{on} 电位,中断时间为 1 s,中断后向后延迟时间为 100 ms 测量试片的 V_{off} 电位。

2 地铁并行燃气管道电位的测量分析

某燃气公司在对地铁并行燃气管道的日常检查中,发现管道管地电位波动频繁,为确定管道是否受地铁杂散电流的影响,需要对地铁并行管道进行详细的管地电位检测,找出杂散电流干扰源,评价杂散电流对管道阴极保护效果造成的影响^[9-10]。

2.1 测量现场

地铁周边一条与地铁并行的中高压埋地钢质燃气管道,管径为 219 mm,采用镁锂合金的牺牲阳极法阴极保护,采用石油沥青作为外覆盖层,管道运行压力在 0.4 MPa ~ 0.8 MPa 之间,埋深为 1.5 m ~ 2.5 m 之间,

管道与地铁水平间距为 10 m, 并行长度约为 10 km。

采用密间隔电位测量法监测管地电位, CIPS 测量主机的通断时间设置为 3 s, 断电电位延迟 100 ms 后测量, 每个测量点监测 15 分钟。地铁运行时测量管地电位 V_{on} 及屏蔽地铁杂散电流下的断电电位 V_{off} ; 晚上地铁停运时测量管地电位 V_{on} 及断电电位 V_{off} 。选取该段管道具有代表性的两处进行测量, 同时对测量点的土壤自然电位进行测量。

2.2 杂散电流分析与评价

首先为确定管道是否受地铁杂散电流的影响, 对日常管地电位检测波动异常的点进行 24 h 实时电位监测, 管地电位 24 h 波动图如图 3 所示。

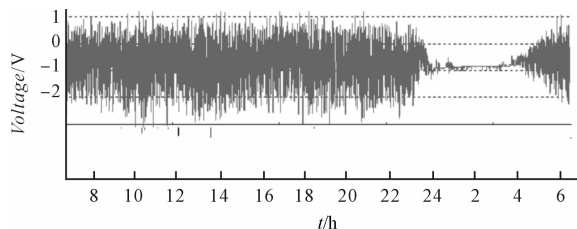


图 3 管地电位 24h 波动图

由图 4 可知: 管地电位在 4:00 ~ 24:00 时间段波动剧烈, 管地电位从 $-3\text{ V} \sim +1\text{ V}$, 明显存在杂散电流的干扰, 这个时间也是地铁的运行时间; 管地电位在 24:00 ~ 4:00 基本没有波动, 电位保持恒定, 与地铁开通前测量的管地电位相同。说明白天地铁运行时管道受地铁杂散电流的影响, 晚上地铁停运后, 地铁杂散电流消失, 管地电位恢复正常值。因此该段管道存在杂散电流的干扰, 且干扰源为地铁产生的杂散电流。

当管道某处为杂散电流的流入处, 管地电位 V_{on} 比无杂散电流干扰下测量的电位偏负, 当管道某处为杂散电流的流出处, 管地电位 V_{on} 比无杂散电流干扰下测量的电位偏正, 因为 V_{off} 电位为切断杂散电流影响下的管地电位, V_{on} 电位与 V_{off} 电位相减的值即为杂散电流的大小。当杂散电流流入区域的管地电位 V_{on} 数值小于 $-1\ 200\text{ mV}$, 则杂散电流对管道起保护作用, 若大于 $-1\ 200\text{ mV}$, 则会对外覆盖层产生剥离作用。当杂散电流流出区域的管地电位 V_{on} 比 -850 mV 偏正, 杂散电流会对该区域管道产生电化学腐蚀, 若管地电位 V_{on} 负于 -850 mV , 杂散电流只是对阴极保护电位造成干扰, 只需加强对该区域管地电位的监测^[11-12]。

为了更详细的分析杂散电流对管道阴极保护电位的影响, 笔者对 1# 和 2# 两个检测点的数据进行分析。其中白天为地铁运行时段, 晚上为地铁停运时段。1# 管道电位监测曲线图如图 4 所示。

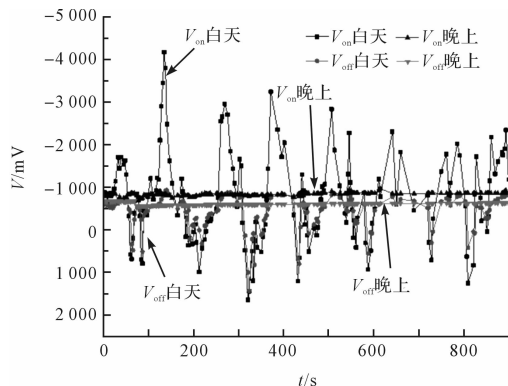


图 4 1# 管段电位监测曲线图

从图 4 可知: 在杂散电流干扰下, 1# 管道白天 V_{on} 电位 V_{off} 电位都波动剧烈, V_{on} 电位有明显的负向偏移, V_{off} 电位则有明显的正向偏移。管道白天的阴极保护电位 (V_{off} 白天) 比晚上的阴极保护电位 (V_{off} 晚上) 偏正, 说明 1# 管段为杂散电流流出点。

2# 管道电位监测曲线图如图 5 所示。

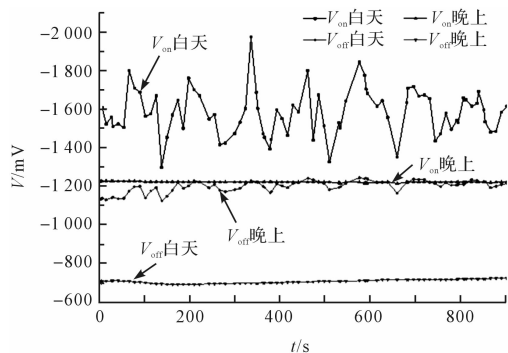


图 5 2# 管段电位监测曲线图

从图 5 可知: 在杂散电流干扰下, 2# 管道 V_{on} 电位波动范围比 V_{off} 电位波动范围大, V_{on} 电位有明显的负向偏移, 而 V_{off} 电位有明显的正向偏移。管道白天的阴极保护电位 (V_{off} 白天) 比晚上的阴极保护电位 (V_{off} 晚上) 偏负, 说明 2# 管段为杂散电流流入点。

3 结束语

本研究通过对 CIPS 测量延迟时间的试验, 发现测量主机断电 100 ms 后测量的管道 V_{off} 电位精确, IR 降为零, V_{off} 电位为管道的真实有效阴极保护电位。通过运用 CIPS 测量技术对地铁周边管道电位的测量发现: 一般的管道电位测量技术无法正确的评估杂散电流的影响, 只有采用 CIPS 测量技术才能正确评价杂散电流的影响。对于受地铁杂散电流影响的管道, 当管道白天的阴极保护电位 (V_{off} 白天) 比晚上的阴极保护电位 (V_{off} 晚上) 偏正, 说明此处为杂散电流的流出点, 当管道白天的阴极保护电位 (V_{off} 白天) 比晚上的阴极保护

电位(V_{off} 晚上)偏负,说明此处为杂散电流的流入点。

参考文献(References):

- [1] 周伟. 直流牵引供电系统杂散电流分布与防护研究[D]. 成都:西南交通大学电气工程学院,2007.
- [2] 杨清勇. 杂散电流腐蚀问题基础研究[D]. 大连:大连理工大学电气工程学院,2006.
- [3] 曹阿林. 埋地金属管线的杂散电流腐蚀防护研究[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院,2010.
- [4] 薛致远,毕武喜,陈振华,等. 油气管道阴极保护技术现状与展望[J]. 油气储运,2014,33(9):938-944.
- [5] 李自力,谢跃辉,郝宏娜,等. 埋地管道阴极保护电位测量方法研究进展[J]. 腐蚀与防护,2012,33(1):55-59.
- [6] 付更扬,牟南翔. 杂散电流干扰下埋地管道极化电位的测量[J]. 腐蚀与防护,2013,34(6):533-535.

- [7] 王春起,曹光贵,危唯. 地铁杂散电流对埋地钢质燃气管道影响检测与评价方法研究[J]. 办公自动化,2014(S1):156-159.
- [8] 张丰,齐晓忠,金宏等. 试片断电法在管道阴极保护中的应用[J]. 油气储运,2013,32(7):760-763.
- [9] 谭冬华. 地铁杂散电流的危害与防护[J]. 都市快轨交通,2007,20(1):86-89.
- [10] 曹阿林,朱庆军,侯保荣,等. 油气管道的杂散电流腐蚀与防护[J]. 煤气与热力,2009,29(3):6-9.
- [11] SY/T0087.1-2006. 钢制管道及储罐腐蚀评价标准埋地钢质管道外腐蚀直接评价[S]. 北京:石油工业出版社,2007.
- [12] 庞原冰. 城市轨道交通杂散电流研究[D]. 成都:西南交通大学电气工程学院,2008.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

钱瑶虹,方江敏,马德良,等. 密间隔电位测量下的地铁杂散电流影响研究[J]. 机电工程,2017,34(11):1334-1337.

QIAN Yao-hong, FANG Jiang-min, MA De-liang, et al. Study on the influence of metro stray current Based on Measurement of Close Interval Potential[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(11):1334-1337.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1325 页)

参考文献(References):

- [1] 李丰,张粒子. 大规模风电跨省消纳与交易机制的研究[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):119-124.
- [2] 熊威,任征东,梅林,等. 国外风电发展机制研究及对我国的启示[J]. 电力需求侧管理,2016,18(5):60-64.
- [3] 王飞. 德国与西班牙风电消纳对中国的启示[J]. 能源与节能,2016(1):78-80.
- [4] NouredineHadjsaid. 有源智能配电网[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [5] 刘敏,吴复立. 电力市场环境下发电商电能分配策略研究[J]. 中国电机工程学报,2008,28(25):111-117.
- [6] OLIVEIRA F A D, PAIVA A P D, LIMA J W M, et al. Portfolio optimization using mixture design of experiments: Scheduling trades within electricity markets[J]. **Energy Economics**,2011,33(1):24-32.
- [7] WU J, GUAN X. Risk-averse strategic gaming in forward and spot electricity markets[J]. **Iet Generation Transmission & Distribution**,2012,6(5):453-462.
- [8] BHATTACHARYA A, KOJIMA S. Power sector investment risk and renewable energy: a Japanese case study using portfolio risk optimization method[J]. **Energy Policy**,2012,40(1):69-80.
- [9] 丁明,解蛟龙,刘新宇,等. 面向风电接纳能力评价的风资源/负荷典型场景集生成方法与应用[J]. 中国电机工程学报,2016,36(15):4064-4071.
- [10] 王群,董文略,杨莉. 基于 Wasserstein 距离和改进

K-medoids 聚类的风电/光伏经典场景集生成算法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(11):2654-2661.

- [11] 李丹,刘俊勇,刘友波,等. 风电接入后考虑抽蓄-需求响应的多场景联合安全经济调度模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):28-34.
- [12] WANG Tong, BI Tian-shu, WANG Hai-feng, et al. Decision tree based online stability assessment scheme for power systems with renewable generations[J]. **Csee Journal of Power & Energy Systems**,2015,1(2):53-61.
- [13] KHOJASTE H, JADID S. Optimal risk-based strategy of distributed generation-owning retailer in the day-ahead electricity market: chance constraint optimization approach[J]. **Journal of Renewable & Sustainable Energy**,2014,6(5):180-187.
- [14] MARKOWITZ H. Portfolio Selection[J]. **The Journal of Finance**,1952,7(1):77-91.
- [15] LIU MIN, WU F F. Portfolio optimization in electricity markets[J]. **Electric Power Systems Research**,2007,77(8):1000-1009.
- [16] 冯冬涵,甘德强. 发电商资产组合研究[J]. 电力系统自动化,2005,29(24):14-20.
- [17] 朱凌志,陈宁,韩华玲. 风电消纳关键问题及应对措施分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):29-34.
- [18] 田茹. 风电出力特性研究及其应用[D]. 保定:华北电力大学电气与电子工程学院,2013.

[编辑:张豪]