

地铁场段基地杂散电流泄漏监测与治理

宋大治

(南京地铁建设有限责任公司, 210017, 南京//高级工程师)

摘要 在地铁场段基地附近的燃气管道上发现强烈干扰的杂散电流。经过反复的现场试验和监测数据分析对比,找出基地出入段线单向导通装置的设计缺陷。根据泄漏电流路径和出入段线钢轨绝缘节的特点,对原系统设备进行硬件改造和软件升级,实现基地与正线钢轨回流双向隔离及导通控制,以隔离杂散电流泄漏路径,将泄漏电流控制在行业标准范围之内。

关键词 地铁场段; 杂散电流; 单向导通装置

中图分类号 U231.8; U223.6⁺2

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.07.015

Monitoring and Control of Stray Current Leakage in Metro Depot

SONG Dazhi

Abstract The intense interference of stray current is detected on the gas pipelines near a metro train depot. After repeated site tests and monitoring data analysis, the design defects of the unidirectional conduction device for depot entrance/exit lines are identified. According to the characteristics of the leakage current path and the rail insulation joints on entrance/exit lines, the hardware reform and software upgrade for the original system equipment are carried out, in order to realize the two-way isolation and conduction control between the main line and the depot, so as to control the leakage current path within the scope of industry standards.

Key words metro depot; stray current leakage; unidirectional conduction device

Author's address Nanjing Metro Construction Co., Ltd., 210017, Nanjing, China

2015 年 5 月,南京燃气公司发现马群区域天然气高压管道上有强烈干扰的杂散电流存在。该燃气管道与南京地铁 2 号线马群站—马群车辆段基地的线路呈十字交叉,如图 1 所示。燃气管道 21[#]测试桩极化电位半小时平均正向偏移最大值达到 862 mV,正向偏移最大值达到 2 587 mV,属于强烈干扰程度。杂散电流的产生时间和地铁运营时间极为

相关,夜间地铁停运之后杂散电流基本消失。杂散电流腐蚀表现为强烈腐蚀、集中腐蚀,在较短时间内将钢质燃气管道腐蚀穿孔,严重威胁燃气管道的安全运行。为此,南京地铁与燃气公司共同对行业标准 and 场段基地杂散电流防护设计进行分析,对现场进行试验和监测,对比分析不同试验的监测数据。



图 1 燃气管道测试位置周围环境示意图

1 行业标准及场段杂散电流防护设计

1.1 行业标准

根据 CJJ 49《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》第 3.0.5 条的规定:隧洞结构的外表面,受杂散电流腐蚀危害的控制指标是由泄漏电流引起的结构电压偏离其自然电位数。对于地铁主体结构的钢筋,上述极化电压的正向偏移平均值不应超过 0.5 V。

根据 GB 50991—2014《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》第 5.0.2 条的规定:没有实施阴极保护的管道,宜采用管地电位相对于自然电位的偏移值进行判断。当任意点上的管地电位相对于自然电位正向或负向偏移超过 20 mV 时,应确认存在直流干扰;当任意点上的管地电位相对于自然电位正向偏移大于或等于 100 mV 时,应及时采取干扰防护措施。

从上述两个行业标准对比可知,对极化电压的正向偏移平均值要求不一致,明显燃气管道行业标准高于轨道交通行业标准。

1.2 场段杂散电流防护设计

场段基地一般不设置杂散电流防护,仅在出入

段线钢轨设置绝缘节,并设置单向导通装置,实现与正线钢轨单向导通和反向隔断,防止正线钢轨回流流至场段基地,造成杂散电流泄漏。而传统设计允许场段基地往正线方向钢轨回流导通。

单向导通装置(见图2)一般采用大功率二极管实现出入段线钢轨回流正向导通反向截止;同时为限制出入段线钢轨绝缘节两端产生过电压,设置消弧装置或是反向晶闸管,防止列车经过钢轨绝缘节时产生车轮与钢轨打火花。

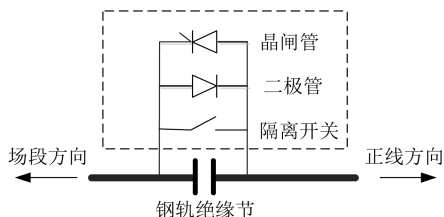


图2 单向导通装置构成示意图

2 杂散电流监测与分析

2.1 现场概况

马群区域燃气高压管道周围环境复杂,紧挨地铁2号线、宁芜电气化铁路,与南京地铁2号线马群站—马群基地的线路呈十字交叉,并与宁芜电气化铁路平行。马群站为高架站,设有1座牵引变电所,距离燃气管道约441 m;高架地铁线路跨过燃气管道,经出入段线过渡到地面马群车辆段基地,出入段线由整体道床过渡到基地碎石道床;出入段线单向导通装置距离燃气管道约542 m;出入段线单向导通装置至车辆段基地碎石道床起始处距离约72 m,至车辆段基地车库约500 m。车辆段内设置1座牵引变电所,在出入段线设接触网分段,正常供电时车辆段与正线接触网分段供电,相互独立。

地铁2号线正线设置杂散电流防护,马群车辆段基地内未设置杂散电流防护,出入段线设置钢轨绝缘节和单向导通装置;宁芜电气化铁路为交流制式。理论上地铁2号线、宁芜电气化铁路对该区域内燃气高压管道不会产生杂散电流腐蚀影响。

2.2 杂散电流泄漏分析

结合燃气管道走向和地铁车站及车辆段基地的位置,认为最有可能导致杂散电流泄漏的位置在马群站或车辆段基地,因为这两个位置距离燃气管道最近。而车辆段基地内杂散电流防护最为薄弱,未设置杂散电流排流网,初步判断车辆段出入段线单向导通装置可能存在问题,导致正线钢轨回流沿

出入段线到马群车辆段基地,再通过碎石道床泄漏到大地影响燃气管道(见图3)。

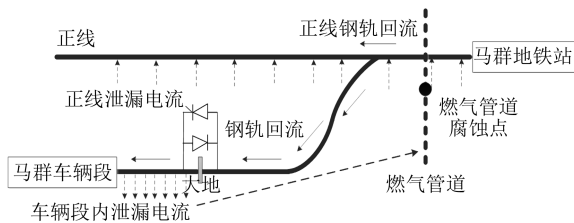


图3 正线与车辆段基地钢轨的杂散电流泄漏分析示意图

2.3 各工况数据监测

南京地铁与燃气公司对现场各工况进行数据监测。各工况包括:①单向导通装置正线对场段基地的晶闸管导通阈值为12 V;②晶闸管导通阈值为70 V;③晶闸管退出;④断开单向导通装置与钢轨电缆连接。通过各工况验证单向导通装置对杂散电流泄漏的影响以及理论分析与现场实际是否一致。

2.3.1 晶闸管导通阈值为12 V

车辆段至正线方向的原单向导通装置采用二极管。反向晶闸管导通设置阈值为12 V,即正线对车辆段的钢轨电压差大于12 V时晶闸管导通。

据2015-06-30T16:00至2015-07-01T15:00燃气管道监测数据得知:基准电压为-1 420 mV;极化电位最大值为2 498 mV,最小值为-2 500 mV,由此可知所测得的极化电位实时值不论正向负向均有较大偏移值,有较强的杂散电流腐蚀。图4为极化电位半小时正向偏移平均值。由图4可知,只有在00:00—06:00极化电位小于100 mV,大部分都在200 mV以上;18:00及08:30左右更是超过300 mV,超出规范要求的标准值。

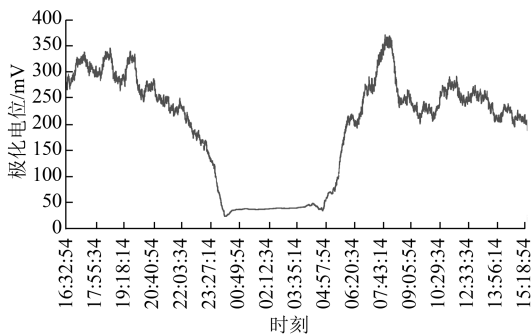


图4 阈值为12 V的极化电位半小时正向偏移平均值

2.3.2 晶闸管导通阈值为70 V

将晶闸管导通阈值调高到70 V来监测燃气管道管地电位数据。

据2015-07-29T16:00至2015-07-30T15:00燃

气管道监测数据得知:29 日 16:00 晶闸管阈值调为 70 V,30 日 08:30 阈值调为 12 V;基准电压为 -1 420 mV;极化电位最大值为 2 492 mV,最小值为 -2 490 mV。图 5 为阈值为 70 V 的极化电位半小时正向偏移平均值。相较于晶闸管阈值为 12 V,图 5 中极化电位超过 300 mV 的时间大幅减少,同时极化电位在 200 mV 以下的时间有所增加,总体有所改善,但极化电位半小时正向偏移平均值依然超标,杂散电流泄漏依然严重。

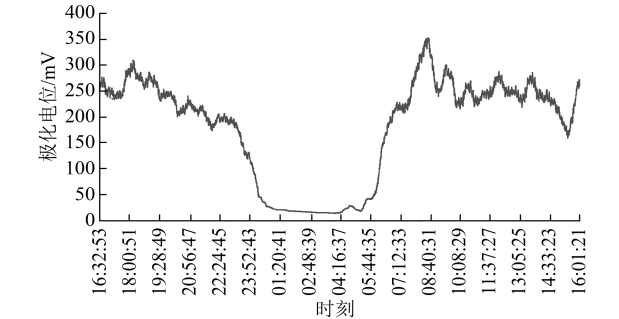


图 5 阈值为 70 V 的极化电位半小时正向偏移平均值

2.3.3 晶闸管退出

将晶闸管导通阈值调高到 70 V 后,杂散电流泄漏依然严重,故直接将反向晶闸管退出,使得正线钢轨电流无法流到车辆段。

据 2015-08-14T16:00 至 2015-08-15T16:00 燃气管道监测数据得知:基准电压为 -1 420 mV;极化电位最大值为 116 mV,最小值为 -2 354 mV。图 6 为晶闸管退出时极化电位半小时正向偏移平均值。相较于晶闸管阈值为 70 V 时,极化电位变化不大。

2.3.4 断开单向导通装置与钢轨的连接电缆

通过以上工况的监测数据发现,调整晶闸管导通阈值或直接退出,对杂散电流泄漏没有较大改善,极化电位半小时正向偏移平均值依然超标。因此基本可以排除正线至车辆段的晶闸管回路对杂散电流泄漏的影响。

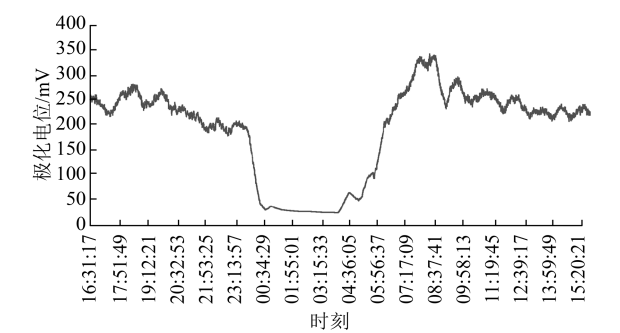


图 6 晶闸管退出时极化电位半小时正向偏移平均值

为进一步查明问题,拆除单向导通装置与钢轨的电缆连接,即断开正线与车辆段间的钢轨通路。

据 2015-08-20T16:00 至 2015-08-21T16:00 燃气管道监测数据得知:20 日 00:00 停运时单向导通装置接线断开,20 日 24:00 停运时恢复接线,基准电压为 -1 420 mV。图 7 为单向导通装置与钢轨断开时极化电位半小时正向偏移平均值。相较于单向导通装置接线时,杂散电流泄漏有了巨大的改善,基本符合燃气管道标准,极化电位半小时平均值亦全部处于 100 mV 以下。

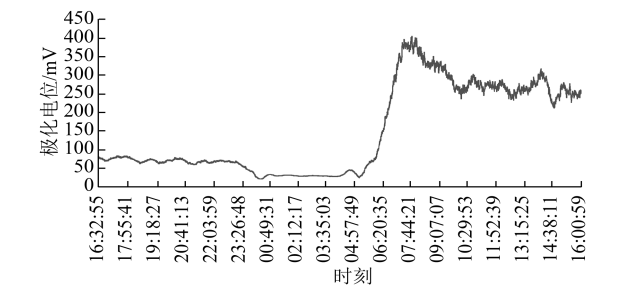


图 7 单向导通装置与钢轨断开接线时极化电位半小时正向偏移平均值

该工况的监测数据与初步理论分析的泄漏原因截然相反,所以需结合监测数据重新分析。

2.4 泄漏原因分析

表 1 为各工况监测数据汇总表。表中偏移值指相对基准值的偏移,基准值为 -1 420 mV。

工况	16:00—23:00 极化电位正/负向偏移平均值/mV		01:00—03:00 极化电位偏移平均值/mV	16:00—23:00 不同极化电位范围占比/%			
	正向	负向		<100 mV	100~200 mV	200~300 mV	>300 mV
晶闸管导通阈值为 12 V	273.80	-80.46	37.54	42.23	11.54	9.82	36.41
晶闸管导通阈值为 70 V	235.69	-41.46	18.34	42.57	16.91	9.52	31.00
晶闸管退出	232.40	-23.48	28.46	37.75	17.49	14.45	30.31
单向导通装置断开	71.29	-12.09	30.17	68.76	26.92	4.04	0.28

由燃气管道监测数据综合分析,提高反向晶闸管的导通阈值或直接退出,几乎没有改善杂散电流

泄漏,依然不符合燃气管道标准。而断开单向导通装置与钢轨电缆连接,即车辆段出入段钢轨与正线

钢轨完全断开,杂散电流泄漏明显减小,并完全符合燃气管道标准。从各工况半小时极化电位正向偏移平均值的曲线可见,06:00—08:00 随着正线列车增加,极化电位半小时正向偏移平均值逐渐增大;21:00—24:00 随着正线列车减少,极化电位半小时正向偏移平均值也逐渐减小。由此可见,燃气管道受杂散电流干扰程度与正线列车数量相关。

因此可判断正线至车辆段方向的钢轨导通不是杂散电流泄漏的原因,而车辆段至正线方向的二极管就成为怀疑的对象,即车辆段出入段线至正线方向的钢轨导通与杂散电流泄漏存在必然的联系。正常供电时车辆段与正线接触网分段供电,相互独立,车辆段牵引变电所对段内的直流供电回流,不会经出入段线流到正线钢轨,同时在车辆段内的杂

散电流最终会回到车辆段牵引变电所内。正常供电时车辆段出入段线至正线方向钢轨回流,应该源自正线牵引变电所,该回流应为正线的杂散电流。这与最初理论分析(见图 3)的泄漏原因截然相反。重新系统分析构建钢轨回流及杂散电流泄漏回路,如图 8 所示。车辆段内未设置杂散电流排流网,杂散电流防护最为薄弱,钢轨与大地几乎相通,相当于地铁 2 号线钢轨系统在车辆段有一个对地短接点。正线可能存在杂散电流泄漏点,刚好通过车辆段这个对地短接点形成回路,产生较大的杂散电流,对车辆段基地周边管线产生较大腐蚀影响。由此可知,车辆段出入段线至正线方向采用二极管,导致钢轨一直导通,加大了杂散电流泄漏,影响到燃气管道。因此需要对原系统单向导通装置进行改造。

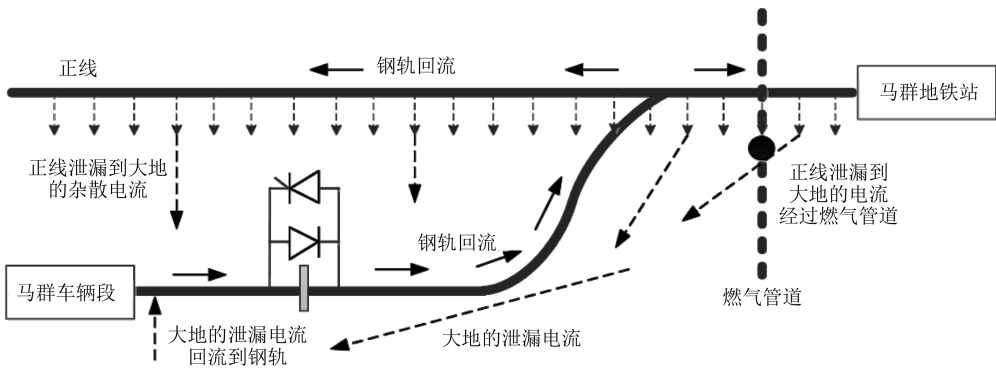


图 8 钢轨回流及杂散电流泄漏回路示意图

3 改造方案及效果分析

3.1 改造方案

综合以上现场监测数据和理论分析,对杂散电流泄漏提出解决方案:将车辆段基地原系统的单向导通装置更换为智能导通柜(见图 9),在没有列车经过出入段线时,车辆段与正线钢轨应断开状态;

当有列车经过时,应导通车辆段与正线钢轨,以防止列车经过出入段线钢轨绝缘节时产生拉弧火花。由此实现杂散电流“以防为主”的设计原则,并能有效隔离、控制所有可能的杂散电流泄漏途径。

3.1.1 硬件改造

将原系统车辆段至正线的正向二极管全部替换为可控晶闸管,并与反向的晶闸管配合,在没有列车进出车辆段时,关断两个方向的晶闸管;并用超声波模块检测是否有列车经过,当有列车通过绝缘节时,导通两个方向晶闸管。

3.1.2 软件升级

改造前的单向导通装置为限制出入段线钢轨绝缘节两端产生过电压,当两端的电压差大于设定阈值 12 V 时,导通反向晶闸管,防止列车经过钢轨绝缘节时产生车轮与钢轨打火花。但无列车经过钢轨绝缘节时,由于正线与车辆段内钢轨间也会存在大于 12 V 的电压差,会造成反向晶闸管导通。

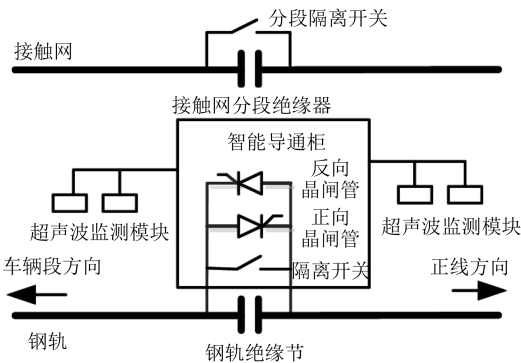


图 9 智能导通柜示意图

改造后对控制逻辑进行如下优化:智能导通柜工作可分为正常供电运行(即正线和车辆段均正常供电)、正线支援车辆段及导通柜退出三种情况。

1) 正常供电运行:①超声波检测到列车通过信号,且绝缘结两端电压大于有车阈值(暂设 5 V,可调);②超声波检测无列车通过信号,且绝缘结两端电压大于无车阈值(暂设 120 V,可调);③超声波模块自检故障,且绝缘结两端电压大于故障阈值(暂设 70 V,可调)。以上情况下导通两个方向晶闸管,其它时候关断两个方向的晶闸管。

2) 正线支援车辆段:①根据接触网的分段开关的状态来正常控制正反向晶闸管的导通和关断;②直接将隔离开关合闸。

3) 导通柜退出:当导通柜因故障、维修或其它原因需要退出导通柜时,可将导通柜隔离开关合闸,将导通柜旁路。

3.2 改造后效果分析

车辆段单向导通装置改造升级为智能导通柜并投入运营。由 2016-03-21T16:30 至 2016-03-22T15:36 的监测数据(见图 10)可知:管道对地极化电位变化整体平稳,且相比导通装置改造前大幅减小。再由改造后燃气管道半小时极化电位正向偏移平均值(见图 11)可知:该值全部都在 70 mV 以

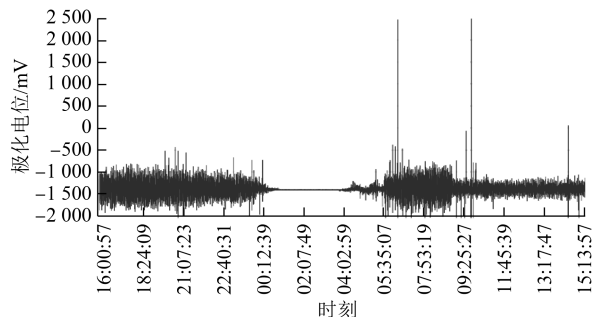


图 10 改造后燃气管道极化电位实时值

内,完全符合 SY/T 0017—2006 埋地钢质管道直流排流保护技术标准。

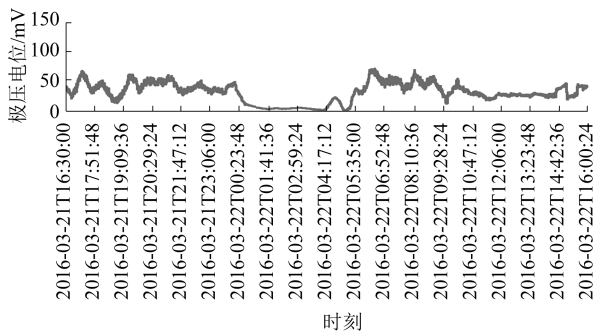


图 11 改造后燃气管道半小时极化电位正向偏移平均值

参考文献

- [1] 高玉珍.轨交杂散电流对天然气主干网的腐蚀影响及防护探究[J].上海煤气,2016(2): 6.
- [2] 夏慧芳,刘根胜.地铁直流杂散电流干扰埋地金属管道的防护与研究[J].石油库与加油站,2016(1): 9.
- [3] 石海平.杂散电流影响管道检测与维护探讨[J].科技与企业,2016(2): 247.
- [4] 于志永.地铁车辆段杂散电流的特征分析及防护[J].城市轨道交通研究,2017(10): 44.
- [5] 黄晓静.车辆段的杂散电流防护[J].电子测试,2015(2): 94.
- [6] 赵勤,王军平,张栋梁.城市轨道交通车辆段杂散电流分布规律测试分析[J].城市轨道交通研究,2016(10): 23.
- [7] 杨建兴.单导装置对杂散电流影响的仿真分析及优化[C]//中国铁道学会自动化委员会.中国铁道学会电气化委员会 2017 年年会及新技术研讨会论文集.保定:中国铁道学会自动化委员会,2017: 5.
- [8] 陈霞.地铁车辆基地杂散电流腐蚀防护工程设计[J].科技创新导报,2018(1): 68.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.埋地钢质管道直流干扰防护技术标准: GB 50991—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

(收稿日期:2018-07-20)

(上接第 73 页)

- [10] 李大勇,吕爱钟,曾庆军.内撑式基坑工程周围地下管线的性状分析[J].岩石力学与工程学报,2004(4): 682.
- [11] 李大勇,龚晓南,张土乔.软土地基基坑周围地下管线保护措施数值模拟[J].岩土工程学报,2001(6): 736.
- [12] 蒋正华,吴波,高波.地铁区间隧道施工对管线影响的数值模拟[J].现代隧道技术,2003(1): 16.
- [13] 吴波,高波,索晓明,等.城市地铁隧道施工对管线的影响研究[J].岩土力学,2004(4): 657.
- [14] 吴波,高波.地铁区间隧道施工对近邻管线影响的三维数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2002(增 2): 2451.

(收稿日期:2018-08-20)