

城市轨道交通车辆基地线路钢轨绝缘接头 智能导通装置的应用

陆煜旻 张华英

(上海地铁维护保障有限公司供电分公司,200235,上海//第一作者,工程师)

摘 要 基于现场实测,揭示了车辆基地杂散电流的分布规律,以及在钢轨绝缘接头处单向导通装置应用中的不足。阐述了智能导通装置的工作原理,并通过实测数据验证智能导通装置能有效地阻断杂散电流由正线到车辆基地再到正线的电流通路,抑制杂散电流流入车辆基地,进而减少杂散电流对车辆基地内钢筋结构及埋地管线的腐蚀。

关键词 城市轨道交通;杂散电流;智能导通装置;应用

中图分类号 U284.24

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.050

Application of Smart Conduction Device at Line Rail Insulated Joint in Urban Rail Transit Vehicle Base

LU Yumin, ZHANG Huaying

Abstract Based on field test, the distribution pattern of vehicle depot stray current and the deficiency of unilateral conduction device in application at rail insulated joint are revealed. The working principle of smart conduction device is expounded. The measured data verifies that the smart conduction device can effectively block the current path of stray current from main line to vehicle depot and then back to the main line, preventing the stray current from flowing into vehicle depot, therefore the corrosion of stray current to the structural reinforcement and buried pipeline in depot is reduced.

Key words urban rail transit; stray current; smart conduction device; application

Author's address Power Supply Branch of Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

直流牵引供电系统产生的杂散电流是一直困扰城市轨道交通发展的问题之一。杂散电流会腐蚀地铁设备以及附近的金属管物等。杂散电流可通过正线轨道经车辆基地轨道泄漏至大地,造成杂散电流泄漏。为了减少杂散电流的影响范围,在车辆出入场线、停车库、检修库内外之间等区域设置

钢轨绝缘接头。通常采用单向导通装置并接于钢轨绝缘接头处,用于连接绝缘接头两端的钢轨,从而减少正线杂散电流向车辆基地扩散^[1]。然而,实际应用情况表明,车辆基地四周的钢筋结构及埋地管线仍存在较严重的腐蚀情况。

1 车辆基地杂散电流现状

1.1 存在的问题

相对正线而言,车辆基地是地铁防护杂散电流的薄弱环节。上海城市轨道交通车辆基地咽喉区采用的是碎石道床。地面碎石道床全天候暴露于自然环境中,粉尘、雨雪、霜冻等对轨地过渡电阻影响很大。碎石道床的绝缘往往难以达到理论值,同时碎石道床未设置杂散电流收集网,因此全线网多个车辆基地受杂散电流干扰影响大,杂散电流问题相对突出。例如,上海轨道交通3号线石龙路停车库钢结构立柱根部出现严重腐蚀现象,上海轨道交通3号线江杨北路和石龙路、上海轨道交通9号线九亭、上海轨道交通1号线梅陇等车辆基地的铰轮库和停车库经常发生施工作业时钢轨打火的现象;上海轨道交通8号线殷行路、上海轨道交通11号线上海赛车场车辆基地内的接触网隔离开关接地处发生冒火星的现象。

1.2 测试结果分析

在车辆基地接触网停电的状态下,对多个车辆基地杂散电流进行相关参数测试,包括:①出入场线处单向导通装置断开前后,单向导通装置电流与出入场线钢轨绝缘分段处电位对比测试;②车辆基地周边土壤电位梯度及杂散电流方向对比测试。选取上海城市轨道交通多个车辆基地出入场线单向导通装置断开前、后的测试结果进行对比(见表1)。根据测试结果分析车辆基地内杂散电流干扰及其分布规律,以及杂散电流的流电路径,并提出

改进单向导通装置功能的技术要求。

表 1 上海城市轨道交通各车辆基地出入场线单向导通装置断开前后的测试结果对比

| 测试项目 | | 单向导通装置断开前、后各测试项目取值 | |
|---------------|--------------|--------------------|-------|
| | | 断开前 | 断开后 |
| 1 号线 富锦路基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 60.65 | 41.29 |
| | 单向导通装置电流 /A | 140.00 | 0 |
| 1 号线 梅陇基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 18.00 | 5.90 |
| | 单向导通装置电流 /A | 110.00 | 0 |
| 3 号线 石龙路基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 24.02 | 5.06 |
| | 单向导通装置电流 /A | 250.00 | 0 |
| 7 号线 龙阳路基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 10.15 | 9.20 |
| | 单向导通装置电流 /A | 55.00 | 0 |
| 8 号线 殷行基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 2.56 | 1.28 |
| | 单向导通装置电流 /A | 38.00 | 0 |
| 9 号线 金桥基地 | 土壤电位 /(mV/m) | 2.47 | 1.64 |
| | 单向导通装置电流 /A | 150.00 | 0 |

由表 1 可知,当靠近车辆基地附近的正线列车处于正常状态时,单向导通装置中的二极管能使车辆基地正线方向的电气连通,从而使得电流从正线通过大地流入车辆基地,然后通过单向导通装置再流入正线,形成完整的电流通路^[2](如图 1 所示);当单向导通装置处于退出状态时,停车场钢轨与正线钢轨断开,钢轨上的电流不能相通,停车场附近的正线钢轨泄漏的杂散电流因钢轨被绝缘结断开而不能形成通路,因此停车场土壤梯度电压正负波动幅度最小,土壤电位梯度也是最小的。车辆基地是绝缘薄弱区段,进入车辆基地的杂散电流会对场内结构钢筋及埋地管线造成腐蚀^[3]。

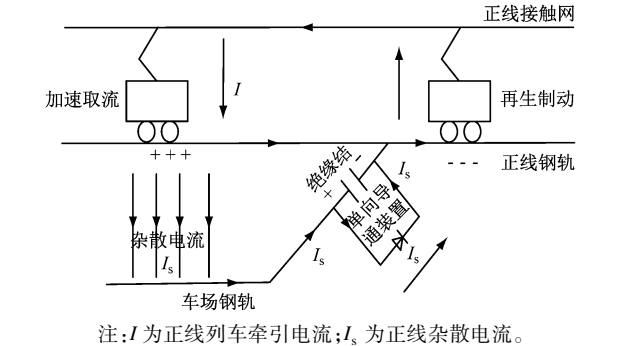


图 1 正线列车处于正常状态时车辆基地电流流通过径
Fig. 1 Vehicle base current flowing path when main line train in normal state

2 智能导通装置的工作原理及应用

单向导通装置设置的主要目的是减少正线杂

散电流向车辆基地扩散。但由于正线杂散电流的干扰,造成了咽喉区单向导通装置形成长期通流的回路,因此需要有效断开咽喉区单向导通装置的持续通流性,减少车辆基地受正线杂散电流的干扰。

2.1 智能导通装置的工作原理

智能导通装置并接在车辆的出入段线钢轨绝缘结两端,有列车通过时智能导通装置导通,无列车通过时智能导通装置断开。智能导通装置通过主回路开关隔断正线与车辆基地^[3]的电流。其主要工作原理如图 2 所示。

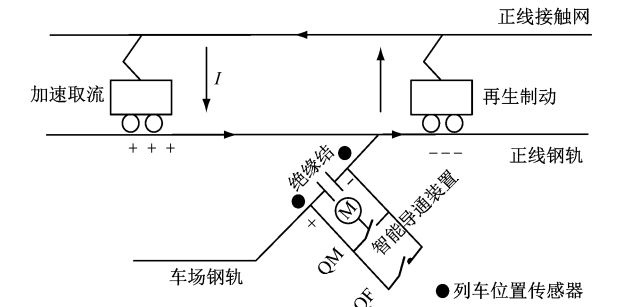


图 2 智能导通装置的工作原理
Fig. 2 Working principle of intelligent conduction device

智能导通装置主要由列车位置检测电路、主回路开关、电动隔离开关、控制器等组成。列车位置传感器可检测列车位置,主回路开关作为执行器件,控制器根据检测的列车位置和关断电流值来判断主回路开关应闭锁或断开,从而实现正线和车辆基地轨道的连通和绝缘。当控制器检测到列车经过时,主回路开关闭锁;当列车经过且电流小于关断电流值时,主回路开关断开。

智能导通装置设有消弧装置,其能检测绝缘结电压。当绝缘结电压大于设定消弧电压时,可控硅导通,这能避免产生电弧导致的烧蚀轨道现象。

2.2 智能导通装置的应用及测试

根据智能导通装置的应用原理,对上海轨道交通 3 号线石龙路车辆基地出入场线轨道绝缘结处的单向导装置进行改造,更换了 2 套智能导通装置。智能导通装置与单向导通装置的安装位置相同,且与单向导通装置尺寸兼容。若将绝缘结两侧钢轨接线接入智能导通装置,则无需增加其他线缆,便可直接替换原有单向导通装置;同时增加 2 处列车位置传感器,将信号线接入智能导通装置,总体改造工程量小。

导通装置安装完成后,对其进行了相关测试,

以验证该装置切断车辆基地杂散电流流入正线的有效性。在车辆基地内接触网停电时,按照同一运营时间段、同一位置的测试方式,测试内容及方法与单向导通装置测试相同。

2.2.1 杂散电流干扰测试评估

对 3 号线石龙路车辆基地附近进行杂散电流干扰评估测试。当电位梯度大于 0.5 mV/m 时,判为存在杂散电流腐蚀可能性;当电位梯度超过 2.5 mV/m 时,必须采取排流等防干扰腐蚀措施。

2.2.1.1 智能导通装置应用前测试分析

首先采用十字交叉法测试车辆基地附近 3 处检测点土壤电位梯度与杂散电流方向。土壤电位梯度检测结果如表 2、图 3 所示,土壤电位梯度的方向为沿矢量和指向坐标原点的方向。

表 2 3 号线石龙路车辆基地杂散电流干扰测试前的土壤电位梯度

Tab.2 Soil potential gradient before test of stray current interference in Line 3 Shilong Road vehicle base

| 测点 | 不同方向土壤电位梯度/(mV/m) | |
|------|-------------------|--------|
| | 南北向 | 东西向 |
| 测点 1 | 0.914 | 1.917 |
| 测点 2 | -3.915 | -2.445 |
| 测点 3 | -0.904 | -1.828 |

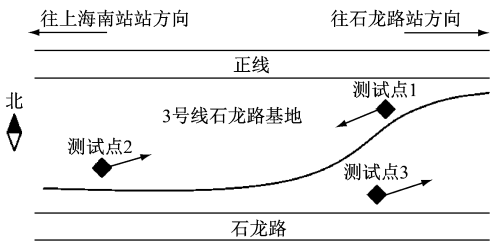


图 3 3 号线石龙路车辆基地杂散电流干扰测试前土壤电位梯度方向

Fig. 3 Direction of soil potential gradient direction before test of stray current interference in Line 3 Shilong Road vehicle base

测试点 1 的杂散电流方向为西南方向,测试点 2 的杂散电流方向为东北方向,且这两个测试点均指向 3 号线和石龙路车辆基地咽喉区;测试点 3 杂散电流方向为东北方向,大致指向 3 号线石龙路站。

测试点 2 南北方向地电位梯度大于 2.5 mV/m,测试点 2 东西方向地电位梯度接近 2.5 mV/m,说明测试点 2 必须采取排流等防干扰腐蚀措施。测试点 1 与测试点 3 东西方向和南北方向地电位梯度均小

于 2.5 mV/m 且大于 0.5 mV/m,说明测试点 1 与测试点 3 存在杂散腐蚀的可能性。

2.2.1.2 智能导通装置应用后测试分析

复测遵循与首测(智能导通装置未应用前)同一运营时间段、同一位置的原则。土壤电位梯度与杂散电流方向与首测相比发生变化,测试点 1、测试点 2 和测试点 3 土壤电位梯度与杂散电流方向均变成西北方向,大致指向上海轨道交通 3 号线沿线。测试点 1,南北土壤电位梯度绝对值比首测降低了 26.08%,东西土壤电位梯度比首测降低了 67.66%;测试点 2 南北电位梯度比首测降低了 74.76%,东西土壤电位梯度比首测降低了 58.38%;测试点 3 南北电位梯度比首测降低了 11.58%,东西土壤电位梯度比原来降低了 35.41%。测试点 1、测试点 2 和测试点 3 土壤电位梯度均小于 2.5 mV/m,说明土壤电位梯度改善显著。复测土壤电位梯度与杂散电流方向,如表 3、图 4 所示。

表 3 3 号线石龙路车辆基地智能导通装置应用后的土壤电位梯度

Tab.3 Soil potential gradient after application of intelligent conduction device in Line 3 Shilong Road vehicle base

| 测点 | 不同方向土壤电位梯度/(mV/m) | |
|------|-------------------|--------|
| | 南北向 | 东西向 |
| 测点 1 | -0.676 | 0.620 |
| 测点 2 | -0.998 | -1.018 |
| 测点 3 | -0.888 | -1.181 |

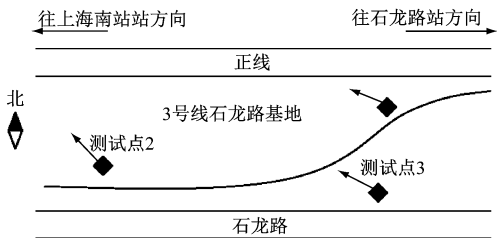


图 4 3 号线石龙路车辆基地智能导通装置应用后的土壤电位梯度方向

Fig. 4 Soil potential gradient direction after application of intelligent conduction device in Line 3 Shilong Road vehicle base

2.2.2 车辆基地杂散电流的测试评估

在车辆基地附近区间内,选取单向导通装置内各个设备进行同步测试。出入场线区域单向导通装置测试原理及参考方向如图 5 所示,电流的正方

向规定为车辆基地往正线方向。

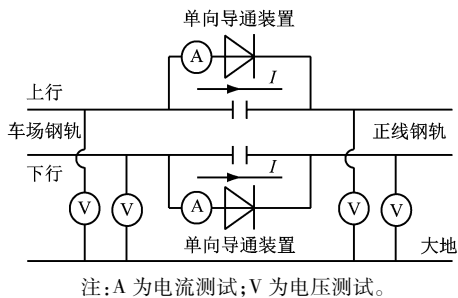


图 5 3 号线石龙路车辆基地单向导通装置测试原理
Fig. 5 Test principle of unilateral conduction device in Line 3 Shilong Road vehicle base

2.2.2.1 智能导通装置应用前测试分析

智能导通装置应用前,3 号线石龙路车辆基地单向导通装置钢轨电位及单向导通装置电流数据统计如表 4 所示。

表 4 3 号线石龙路车辆基地智能导通装置应用前测试结果
Tab. 4 Test result before application of intelligent conduction device in Line 3 Shilong Road vehicle base

| 测试项目 | | 测试最小值 | 测试最大值 |
|------|-----------------|--------|--------|
| 上行线路 | 单向导通装置处正线钢轨电位/V | -26.91 | 60.75 |
| | 单向导通装置处场内钢轨电位/V | -12.59 | 14.88 |
| | 单向导通装置电流/A | 0 | 376.70 |
| 下行线路 | 单向导通装置处正线钢轨电位/V | -26.60 | 63.10 |
| | 单向导通装置处场内钢轨电位/V | -25.70 | 32.27 |
| | 单向导通装置电流/A | 0 | 241.00 |

由表 4 可知,单向导通装置存在二极管支路导通,晶闸管支路一直处于断开状态。当停车场钢轨对地电位大于正线钢轨对地电位时,二极管支路导通。此时由库内流向正线的电流幅值最大值可达到 376.7 A,大地中杂散电流经库内轨道吸收流回正线造成直流干扰。

2.2.2.2 智能导通装置应用后测试分析

复测咽喉区上行/下行线路智能导通装置处正线侧钢轨对地电压、上行/下行线路智能导通装置处车辆基地侧钢轨对地电压、上行/下行线路智能导通装置中电流,测试结果如表 5 所示。

通过复测结果可见,正线钢轨电位与场内钢轨电位差大小基本不变;但是车辆基地与正线之间的“桥梁”已被阻断,上行/下行线路通过智能导通装置的电流为零。证明了智能导通装置的应用,有效防止了车辆基地杂散电流侵入至正线,抑制了车辆基地中杂散电流的收集。

表 5 3 号线石龙路车辆基地智能导通装置应用后测试结果
Tab. 5 Test result after application of intelligent conduction device in Line 3 Shilong Road vehicle base (After the application)

| 测试项目 | | 测试最小值 | 测试最大值 |
|------|-----------------|--------|-------|
| 上行线路 | 智能导通装置处正线钢轨电位/V | -30.33 | 57.21 |
| | 智能导通装置处场内钢轨电位/V | -25.49 | 30.69 |
| | 智能导通装置电流/A | 0 | 0 |
| 下行线路 | 智能导通装置处正线钢轨电位/V | -29.33 | 59.00 |
| | 智能导通装置处场内钢轨电位/V | -24.11 | 44.65 |
| | 智能导通装置电流/A | 0 | 0 |

3 结语

本文通过现场测试,验证了在车辆基地内接触网停电时,车辆基地附近受杂散电流干扰,有杂散电流流入车辆基地内,并经过咽喉区单向导通装置由库内流向正线,形成长期通流的回路。采用智能导通装置替换原有的单向导通装置,经现场测试结果表明,车辆基地附近受到杂散电流干扰明显减弱,土壤电位梯度减小显著,能有效阻断杂散电流由正线通过大地流到车辆基地再回到正线的电流通路,减少了杂散电流对车辆基地内钢筋结构及埋地管线造成腐蚀。

现场测试结果表明,智能导通装置在城市轨道交通车辆基地的应用,对减小车辆基地杂散电流影响具有重大意义。目前,智能导通装置可直接替换原单向导通装置,已在上海、宁波等地的城市轨道交通中得到应用,抑制杂散电流扩散效果显著。

参考文献

[1] 周才发.城市轨道交通车场杂散电流腐蚀防护方案的优化[J].电气化铁道,2020(1):53.
ZHOU Caifa. Optimization of stray current corrosion protection scheme in urban rail transit vehicle depot[J]. Electric Railway, 2020(1):53.
[2] 靳凯.地铁停车场杂散电流防护设计的几个关键问题[J].城市轨道交通研究,2021(6):180.
JIN Kai. Key issues in stray current prevention design for metro depot[J]. Urban Mass Transit, 2021(6):180.
[3] 陆煜旻,张华英.上海轨道交通 3 号线石龙路停车场杂散电流状况分析[J].城市轨道交通研究,2021(增刊 1):75.
LU Yumin, ZHANG Huaying. Analysis of stray current in Shilong Road parking lot of Shanghai Metro Line 3[J]. Urban Mass Transit, 2021(S1):75.

(收稿日期:2022-02-16)