

排流柜及钢轨电位限制装置对杂散电流及钢轨电位影响的测试分析*

陈华银¹ 樊国桢² 张丽² 李思文² 刘炜²

(1. 成都轨道交通集团有限公司, 610096, 成都; 2. 西南交通大学电气工程学院, 610031, 成都//第一作者, 高级工程师)

摘要 针对国内城市轨道交通钢轨电位限制器因长期闭合而注入大量杂散电流、排流柜投入使用缺少依据等问题,在某地铁线路部分区间的夜间非运营时段,利用单列车往返运行,对该区段的杂散电流及钢轨电位进行测试。在试验过程中,设置了排流柜及钢轨 OVPD(电位限制装置)均未投入使用、仅排流柜投入使用、排流柜及 OVPD 均投入使用等3种工况,研究了不同工况对直流牵引供电系统中杂散电流和钢轨电位的影响。测试结果表明:排流柜的投入使用会加剧杂散电流的泄漏,并恶化钢轨电位的分布;排流柜和钢轨电位限制装置同时投入使用,会进一步加剧杂散电流的泄漏,且两者同时投入使用时排流柜排流效果变差。

关键词 城市轨道交通;直流牵引供电系统;排流柜;钢轨电位限制装置;杂散电流;钢轨电位

中图分类号 U223.62

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.007

Test and Analysis of Current Drainage Cabinet and OVPD Influence on Stray Current and Rail Potential

CHEN Huayin, FAN Guozhen, ZHANG Li, LI Siwen, LIU Wei

Abstract In view of the problems of large amount of stray current injection, and lack of basis for the use of current drainage cabinets due to long-term closure of domestic urban rail transit OVPD (over-voltage protection device), during the non-operating period of some sections of certain metro line overnight, a single train is operated round-trip for conducting tests on stray current and rail potential at this section. During test procedure, three operating conditions are set up, that are where the drainage cabinet and rail OVPD are both not put into use, where only the drainage cabinet is put into use, and where the drainage cabinet and OVPD are both put into use. The influence of different working conditions on the stray current and rail potential in the DC traction power supply system is studied.

The test results show that the use of drainage cabinet will aggravate the leakage of stray current and deteriorate the distribution of rail potential; the use of drainage cabinet and OVPD at the same time will further aggravate the leakage of stray current, and the draining effect of the drainage cabinet becomes worse.

Key words urban rail transit; DC traction power supply system; current drainage cabinet; OVPD (over-voltage protection device); stray current; rail potential

First author's address Chengdu Rail Transit Group Co., Ltd., 610096, Chengdu, China

在城市轨道交通直流牵引供电系统中,普遍存在钢轨电位过高的情况。为限制钢轨电位,需在回流系统中安装钢轨的 OVPD(电位限制装置)。OVPD 在钢轨电位过高时动作,将钢轨接地。但是, OVPD 闭合增加了注入大地的杂散电流,进而对周围建筑及埋地金属管道造成腐蚀。为避免杂散电流对第三方的影响,可设置排流柜,将排流网及大地中的杂散电流收集至牵引所负极,以减少杂散电流的扩散,但排流柜投入使用和退出使用的策略始终缺少依据。

对于 OVPD、排流柜对杂散电流及钢轨电位的影响,国内外专家已做过相关研究。文献[1]认为使用不接地系统可有效减少杂散电流,但相应地会抬升钢轨电位。文献[2]证实处于加速和制动工况下的列车会显著抬升钢轨电位,增大杂散电流。文献[3]证实跨区间传输电流会使钢轨电位上升。文献[4-6]认为应避免排流柜和 OVPD 同时投入使用,以降低钢轨电位和杂散电流。

本文以某地铁线路为实例进行测试,选用1列车在3个车站组成的区段内进行往返运行,同步监

* 国家重点研发计划(2017YFB1201103-05)

测车站及其相邻站的钢轨电位、OVPD 电流及排流柜电流等数据,分析 OVPD 与排流柜投入使用后,对杂散电流及钢轨电位的影响。

1 排流柜与 OVPD 投入使用的测试方案

1.1 排流柜与 OVPD 的工作原理

OVPD 的工作原理如图 1 所示。当钢轨电位超出规定值时,OVPD 会自动动作,将钢轨接地,其动作保护根据不同电压整定值和延时按 I、II、III 段动作保护来考虑。其中,I 段动作整定值为 120 V;II 段动作整定值为 150 V;III 段动作整定值为 600 V。

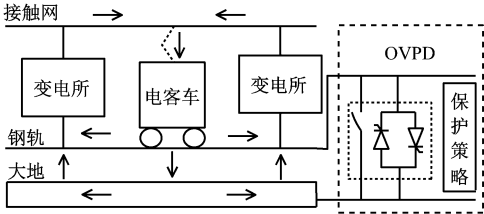


图 1 OVPD 工作原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of OVPD working principle

排流柜的工作原理如图 2 所示。排流柜由地支路及排流网支路组成,分别收集大地中杂散电流及排流网中的杂散电流,并将杂散电流送至牵引所负母排。

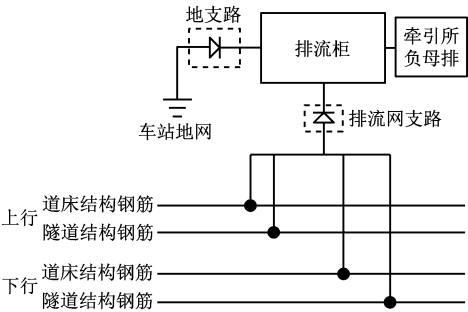


图 2 排流柜工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of current drainage cabinet working principle

1.2 测试方案

本次试验选取的测试线路如图 3 所示。其中:A 站、B 站为参与测试的牵混所;C 站为参与测试的降压所;D 站为与 C 站相邻的牵混所;A—B—C 为线路的支线。在夜间非运营时段安排 1 列车在 A—B—C 区段内往返运行 3 次。每次测试时,列车均按照 A—B—C—B—A 的顺序往返行驶,在每座车站的停靠时间均为 30 s。

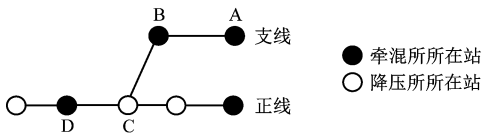


图 3 实测线路情况示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the actual line situation

试验开始前,全线 OVPD 分闸,C 站正线与支线接触网隔离开关断开,以此确保试验过程中仅有 A 站、B 站两个车站的牵引供电所供电。试验使用的电气量监测系统如图 4 所示。3 次试验期间,列车工况完全相同,具体的试验情况如下:

- 1) 第 1 次试验,B 站排流柜未投入使用,全线 OVPD 分闸,列车运行按照 A—B—C—B—A 的顺序行驶。
- 2) 第 2 次试验,B 站排流柜投入使用,全线 OVPD 分闸,列车运行按照 A—B—C—B—A 的顺序行驶。
- 3) 第 3 次试验,B 站排流柜投入使用,A 站 OVPD 合闸,列车运行按照 A—B—C—B—A 的顺序行驶。

排流柜支路、OVPD 的电流使用多个霍尔电流传感器进行测量。开环霍尔电流传感器套在排流柜地支路、上下行排流网支路及 OVPD 对应直流电缆上。电缆夹层传感器安装的位置如图 5 所示,用数据线将传感器连接至数据采集机箱,再将数据采集机箱连接至电脑并布置在绝缘板上。钢轨电位信息通过 DVL2000 电压传感器同步测量,将电压传

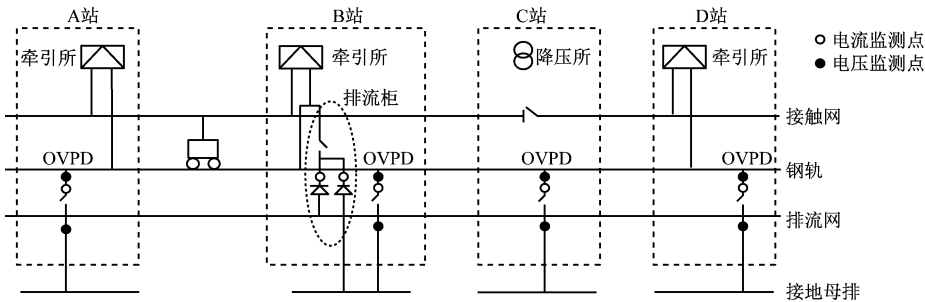


图 4 排流柜、OVPD 投入使用和退出使用试验电气量监测系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of electrical quantity monitoring system in condition of drainage cabinet and OVPD in use or not

传感器的两线夹分别夹在 OVPD 的负极母排和地母排上,以获取钢轨电位。同 1 个车站内多个电压、电流信号采用 NI(美国国家仪器)设备同步采集测量。不同车站间的多个电压、电流信号采用网络同步对时。

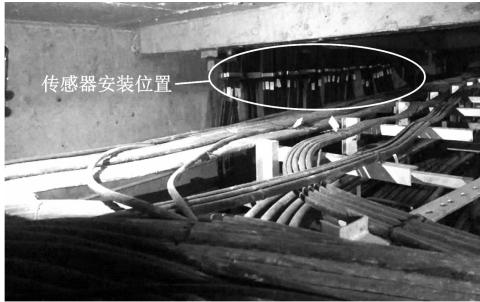


图5 电流传感器的安装位置

Fig.5 Current sensor installation location

2 测试结果分析

2.1 杂散电流分布情况分析

第 1 次试验时,因 B 站排流柜和 A 站 OVPD 均未投入使用,杂散电流值均为 0。第 2 次试验时, B 站排流柜投入使用,其排流柜地支路、排流网支路的实测电流如图 6 所示。选取图 6 中的 2 个典型时刻(t_1 、 t_2),对电流值进行进一步分析,其结果如表 1 所示。通过排流柜地支路流回排流柜的电流在 t_2 时刻达到最大值(64.03 A),排流网支路电流在该时刻仅为 2.35 A,因此,96%的电流经地支路收回。

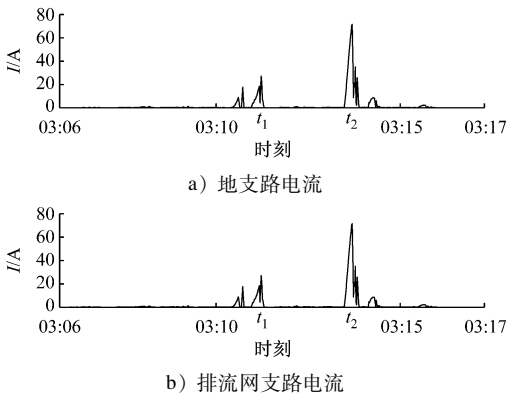


图6 第2次试验时排流柜电流的实测情况

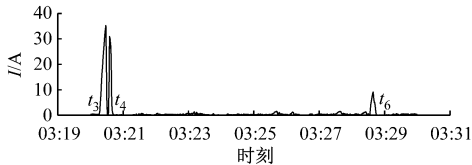
Fig.6 Field measurement of drainage cabinet current in the second test

第 3 次试验时, B 站排流柜和 A 站 OVPD 均投入使用,监测到的排流柜地支路、排流网支路电流如图 7 所示。与第 2 次试验的结果类似,第 3 次试验的排流柜地支路电流远大于排流网支路电流,且

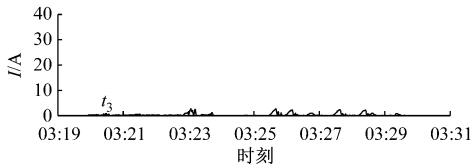
在 t_3 时达最大值(35.22 A),此时的排流网支路电流仅为 0.39 A,地支路电流在杂散电流总量中的占比达 98%。

表1 第2次试验时2个典型时刻排流柜的电流瞬时值
Tab.1 Instantaneous value of drainage cabinet current at two typical moments in the second test

时刻	地支路 电流/A	排流网 电流/A	列车位置及方向
t_1 (03:11:10)	27.22	1.15	在由 B 向 C 行驶的区间内
t_2 (03:13:40)	64.03	2.35	在由 C 向 B 行驶的区间内



a) 地支路电流



b) 排流网支路电流

图7 第3次试验的排流柜电流实测情况

Fig.7 Field measurement of drainage cabinet current in the third test

3 次试验期间列车牵引电流随时间的变化曲线如图 8 所示,列车取流在 03:20:25 时达到最大值为 1 383.6 A。分析第 2 次、第 3 次试验的排流柜总收回电流后发现,经由地支路收回电流较多。杂散电流大部分经通路电阻相对较小的大地回流,但仍会造成杂散电流腐蚀。

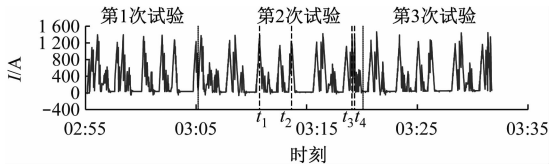


图8 列车牵引电流-时间曲线

Fig.8 Traction current-time curve of train

A 站的 OVPD 电流如图 9 所示,选取图 9 中的 3 个典型时刻(t_3 、 t_4 、 t_6),得到第3次试验B站排流

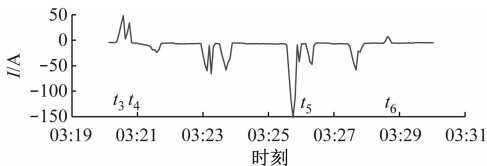


图9 第3次试验A站的OVPD电流

Fig.9 OVPD current at station A in the third test

柜地支路电流、A 站 OVPD 电流的结果如表 2 所示。

表 2 第 3 次试验 B 站排流柜地支路电流、A 站 OVPD 电流在 3 个典型时刻的瞬时值

Tab. 2 Instantaneous values of the ground branch current of station B drainage cabinet and the OVPD current of station A at three typical moments in the third test			
时刻	B 站排流柜地支路电流/A	A 站 OVPD 电流/A	列车位置及方向
t_3 (03:20:25)	35.22	48.64	在由 A 向 B 行驶的区间内
t_4 (03:20:35)	30.97	35.81	在由 A 向 B 行驶的区间内
t_6 (03:28:40)	9.10	11.13	在由 B 向 A 行驶的区间内

列车在接近及驶离 A 站时,由于 OVPD 直接接地,导致大量杂散电流泄漏,此杂散电流在 B 站经排流柜地支路收集至牵引所负母排。将图 9 的 A 站 OVPD 电流及图 6 的 B 站排流柜地支路电流进行对比分析,当 OVPD 合闸后,除 A 站泄漏的杂散电流由 B 站排流柜收回外,其余杂散电流均由 A 站 OVPD 收回,此期间 B 站排流柜电流最大值仅为 1.55 A。OVPD 收回电流在 t_5 时刻达最大值 (134.60 A),而在第 2 次试验中, t_2 时刻列车处于相同位置时 B 站排流柜地支路电流最大值仅为 60.02 A。由此可见:OVPD 的投入使用导致杂散电流增加;排流柜与 OVPD 的同时投入使用会加剧杂散电流的泄漏,同时使排流柜回流效果变差。

2.2 钢轨电位分布情况分析

3 次试验期间 A、B、C、D 4 个车站的钢轨电位如图 10 所示,监测到各站的钢轨电位最大值如表 3 所示。由图 10 可知:第 2 次试验 B 站排流柜投入使用后,4 个车站的钢轨电位均有所上升,其中 C 站和 D 站的钢轨电位分别上升至 11.14 V 和 10.72 V;在第 3 次试验 A 站 OVPD 合闸后,B 站、C 站、D 站的钢轨电位分别上升至 10.49 V、24.30 V、24.08 V。由此,排流柜和 OVPD 的投入使用均会抬升车站的钢轨电位,使得杂散电流情况进一步恶化。在第 2 次和第 3 次试验期间,C 站和 D 站的钢轨电位在排流柜和 OVPD 投入使用后均上升明显,因此也参与了杂散电流的主要泄漏过程。

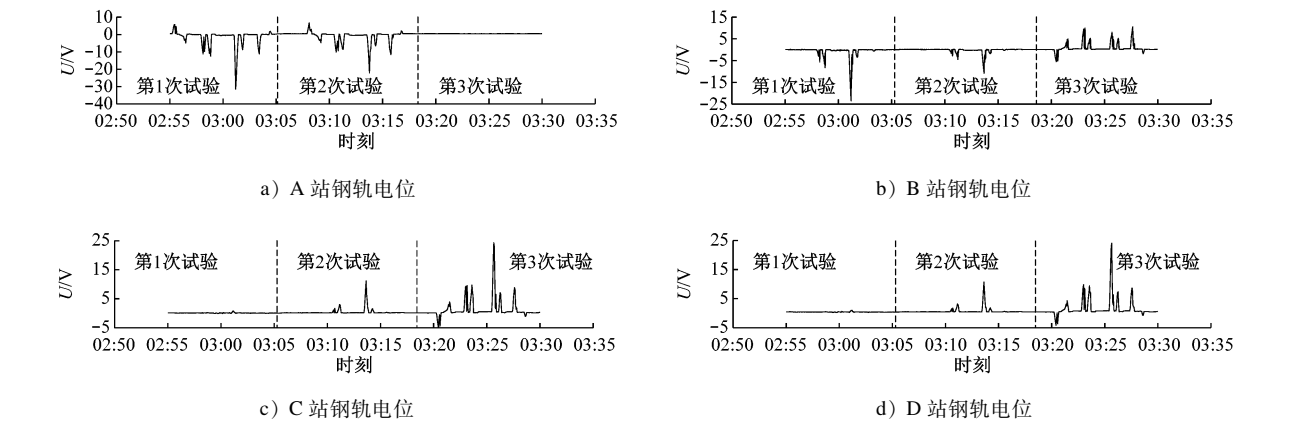


图 10 3 次试验期间 4 个监测车站的钢轨电位分布
Fig. 10 Rail potential distribution of four monitoring stations during the three tests

表 3 3 次试验 4 个监测车站的钢轨电位最大值

Tab. 3 Maximum rail potential value of four monitoring stations in the three tests			
监测车站	第 1 次试验的钢轨电位最大值/V	第 2 次试验的钢轨电位最大值/V	第 3 次的试验钢轨电位最大值/V
A 站	4.68	6.76	0
B 站	0.18	0.26	10.49
C 站	0.77	11.14	24.30
D 站	1.01	10.72	24.08

3 结语

本文共进行了 3 次试验,以研究排流柜及 OVPD 均未投入使用、仅排流柜投入使用、排流柜及 OVPD 均投入使用 3 种情况下对杂散电流及钢轨电位的影响,结论如下:

1) 排流柜投入使用使杂散电流增大,且排流柜地支路收回的电流占总收回电流总量的 98% 以上。

杂散电流大部分经通路电阻相对较小的大地回流,进而对城市轨道交通自身及周围埋地金属设施造成腐蚀影响。

2) 排流柜和 OVPD 同时投入使用会加剧杂散电流的泄漏,且使排流柜的回流效果变差。当列车位于 OVPD 闭合处时,排流柜和 OVPD 间形成回路,为杂散电流提供流通路径。

3) 排流柜投入使用会抬升钢轨电位,排流柜和 OVPD 同时投入使用会进一步恶化钢轨电位分布,增加杂散电流。浮地系统应尽量避免排流柜和 OVPD 同时投入使用,可优先投入使用 OVPD,以保证乘客的人身安全。

参考文献

- [1] LEE C H, LU C J. Assessment of grounding schemes on rail potential and stray currents in a DC transit system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006,21(4):1941.
 - [2] XU S Y, LI W, WANG Y Q. Effects of vehicle running mode on rail potential and stray current in DC mass transit systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013,62(8):3569.
 - [3] 杜贵府,张栋梁,王崇林,等. 直流牵引供电系统电流跨区间传输对钢轨电位影响[J]. 电工技术学报,2016(11):129.
DU Guifu, ZHANG Dongliang, WANG Chonglin, et al. Effect of traction current transmission among power sections on rail potential in DC mass transit system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016(11):129.
 - [4] 李国欣,吴培林,裴文龙. 钢轨电位与杂散电流综合抑制研究[J]. 城市轨道交通研究,2017(12):56.
LI Guoxin, WU Peilin, PEI Wenlong. Research on integrative suppression of rail potential and stray current[J]. Urban Mass Transit, 2017(12):56.
 - [5] 刘建华,刘旭,许蓓. 地铁钢轨电位限制装置与排流柜配合研究[J]. 电测与仪表,2014(21):120.
LIU Jianhua, LIU Xu, XU Bei. Reach on the cooperation of potential limiting device and current drainage cabinet[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014(21):120.
 - [6] 段立新. 城市轨道交通直流牵引供电系统钢轨电位升高原因及控制措施[J]. 城市轨道交通研究,2019(6):152.
DUAN Lixin. Reasons for rail potential rise in urban rail transit DC traction power supply and control measures[J]. Urban Mass Transit, 2019(6):152.
- (收稿日期:2020-03-03)
-
- (上接第 30 页)
- [9] 刘飞,杨小龙,冉江陵,等. 基于盾构掘进效果的富水砾砂地层渣土改良试验研究[J]. 隧道建设,2020(10):1426.
LIU Fei, YANG Xiaolong, RAN Jiangling, et al. Research on soil conditioning of water-rich sandy gravel strata based on shield tunneling effect[J]. Tunnel Construction, 2020(10):1426.
 - [10] 陈先智,成勇,杨小龙,等. 富水圆砾地层盾构渣土改良技术研究[J]. 隧道建设,2020(5):636.
CHEN Xianzhi, CHENG Yong, YANG Xiaolong, et al. Experimental study on ground conditioning technology for EPB shield boring in water-rich gravel stratum[J]. Tunnel Construction, 2020(5):636.
 - [11] 朱伟,秦建设,魏康林. 土压平衡盾构喷涌发生机理研究[J]. 岩土工程学报,2004(5):589.
ZHU Wei, QIN Jianshe, WEI Kanglin. Research on the mechanism of the spewing in the EPB shield tunnelling[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004(5):589.
 - [12] ANAGNOSTOU G, KOVARI K. Face stability conditions with earth-pressure-balanced shields[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1996(2):165.
 - [13] THEWES M, BUDACH C, BEZUIJEN A. Foam conditioning in EPB tunnelling[C]// CRC Press. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London: CRC Press, 2012.
 - [14] VINAI R, OGGERI C, PEILA D. et al. Soil conditioning of sand for EPB applications: a laboratory research[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2008,23:308.
 - [15] WU Yuanli. Investigation on foam stability and foam-conditioned soil properties under pressure in EPB TBM Tunneling[D]. Denver: Colorado School of Mines, 2018.
 - [16] MILLIGAN G. Lubrication and soil conditioning in tunnelling, pipe jacking and microtunnelling: a state-of-the-art review[R]. London: Geotechnical Consulting Group, 2000.
 - [17] 于有强. 盾构渣土改良用膨润土泥浆试验分析[D]. 沈阳: 沈阳工业大学,2019.
YU Youqiang. Bentonite mud test and analysis for improvement of shield muck[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2019.
 - [18] 彭磊,何文敏,畅亚文,等. 压缩空气泡沫系统及其产泡特性研究[J]. 隧道建设,2019(11):1815.
PENG Lei, HE Wenmin, CHANG Yawen, et al. Compressed air foam system and its foaming performance[J]. Tunnel Construction, 2019(11):1815.
- (收稿日期:2021-07-19)