

# 城市轨道交通车辆基地打火问题分析及解决措施

陆煜旻

(上海地铁维护保障有限公司, 200030, 上海)

**摘要** [目的] 上海轨道交通车辆基地频繁出现打火问题, 不仅破坏了钢轨和车轮的外观与结构, 还会影响列车运行安全。因此, 有必要对车辆基地打火问题进行分析, 找出打火的原因, 进而提出解决措施。[方法] 在车辆基地接触网停电情况下, 于出入场线处单向导通装置断开前后, 在正线列车进出车辆基地附近的车站过程中, 通过检测检修平台栏杆与车体间电流、出入场线单向导通装置通过的电流, 深入分析停车库检修平台栏杆打火原因。在调整出场线供电方式, 在无列车出库及出库车经出场线驶往正线的情况下, 分别测量绝缘节两端的电压、正线钢轨对地电压和车场钢轨对地电压, 深入分析车轮过出场线绝缘节打火的原因。针对打火原因提出解决措施。着重验证了采用智能导通装置代替单向导通装置的应用效果。[结果及结论] 检修平台栏杆打火是由正线钢轨泄漏至停车场的杂散电流引起的。出入场线绝缘节打火由回流不畅造成轨回流升高、绝缘节压差增大所导致。此外, 由于单向导通装置中消弧装置可控硅受最小维持电流及开通电压等特性影响, 绝缘节两端不能达到金属性电气连接的效果, 从而导致消弧效果不理想。实际应用效果表明, 智能导通装置能有效地阻断杂散电流通路, 抑制杂散电流流入车辆基地, 确保回流畅通, 进而减少车辆基地内打火情况发生。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆基地; 打火问题; 智能导通装置

中图分类号 U223.6<sup>+</sup>2:U279.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.04.048

## Analysis and Solutions of Arcing Problem in Urban Rail Transit Vehicle Bases

LU Yumin

(Power Supply Branch of Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200030, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] Arcing problems frequently occur in Shanghai rail transit vehicle bases, which not only damage the appearance and structure of the rails and wheels, but also affect train operation safety. Therefore, it is necessary to analyze arcing problems in the vehicle base, identify the cause of arcing, and then propose solutions. [Method] In the case of catenary power outage in the vehicle base, before and after disconnecting the unidirectional conduction devices on the entrance/exit

lines, and when the mainline train enters and exits the station near the vehicle base, by detecting the current between the maintenance platform railing and the car body, and the current passing through the unidirectional conduction devices on the entrance/exit lines, causes for the parking garage maintenance platform railing arcing are deeply analyzed. After adjusting the exiting line power supply mode, when there is no train leaving the depot and the outbound car is driving to the main line via the exit line, the voltage at both ends of the insulating joint, the voltage of the mainline rail to the ground, and the voltage of the yard rail to the ground are measured respectively, and causes for the insulation joint arcing when the wheel passing through the entrance/exit lines are deeply analyzed. Solutions are proposed for the cause of arcing. The application effect of using an intelligent conduction device instead of the unidirectional conduction device is emphatically verified. [Result & Conclusion] Arcing in the maintenance platform railing is caused by the stray current leaking from the mainline rail to the parking lot. Arcing in the base entrance/exit lines insulation joint is caused by the increase of rail return current and the increase of insulation joint pressure difference due to poor current return. In addition, since the arc extinguishing device thyristor in the unidirectional conduction device is affected by the minimum holding current, the turn-on voltage and other characteristics, both insulation joint ends cannot achieve the effect of metallic electrical connection, thus resulting in unsatisfactory arc extinguishing effect. The actual application effect shows that the intelligent conduction device can effectively block the stray current path, inhibit the stray current from flowing into the vehicle base, ensure the smooth return flow, thereby reducing the arcing occurrence in the vehicle base.

**Key words** urban rail transit; vehicle bases; arcing problem; smart conduction device

地铁检修人员在上海轨道交通 2、3、5、11、17 号线等多个基地检修库内工作时发现, 列车空调盖板打开与检修平台金属栏杆触碰时会发生打火情况。在基地检修库的日常施工作业中发现, 接触网挂设接地棒时有一定几率发生打火现象。此外, 隔离开

关在分闸后,隔离开关接地刀闸接地电缆处也存在间歇性冒火星现象。

2017—2021年间,上海轨道交通3号线江杨北路基地多次在出场线处岔右曲基本轨顺坡接头(有缝接头)轨面多次发生电击伤。列车通过绝缘节时车轮出现打火、拉弧现象。

打火及拉弧现象会在车轮和钢轨上留下灼伤痕迹,造成钢轨和车轮变形,不仅破坏了钢轨和车轮的外观与结构,还会影响列车运行安全。因此有必要对车辆基地打火问题进行分析,找出打火的原因,进而提出解决措施。

## 1 打火原因

上海轨道交通车辆基地采用DC 1 500 V接触网或接触轨供电方式,其回流系统主要包括回流轨、均回流电缆、回流箱、单向导通设备等。钢轨起到回流轨的作用。为防止出现钢轨打火的问题,回流系统须保持通畅。在出入场线或车库前等特殊地段的钢轨上安装绝缘节,将正线同出入场线及车库隔开,缩小杂散电流的影响范围<sup>[1]</sup>。绝缘节、安装单向导通设备及钢轨电位限制设备共同保障了回流系统通畅及日常维护人员安全<sup>[2]</sup>。基于回流系统结构,本文进一步分析检修平台栏杆打火和车轮过出入场线绝缘节打火的原因。

### 1.1 检修平台栏杆打火原因

针对检修平台栏杆打火问题,在车辆基地接触网停电情况下,于出入场线处单向导通装置断开前后,在正线列车进出车辆基地附近的车站过程中,分别检测检修平台栏杆与车体间电流 $I_1$ 、出场线单向导通装置通过的电流 $I_2$ 、入场线单向导通装置通过的电流 $I_3$ 。检修平台栏杆与车体的电流检测示意图如图1所示,出入场线处单向导通装置测试示意图如图2所示。

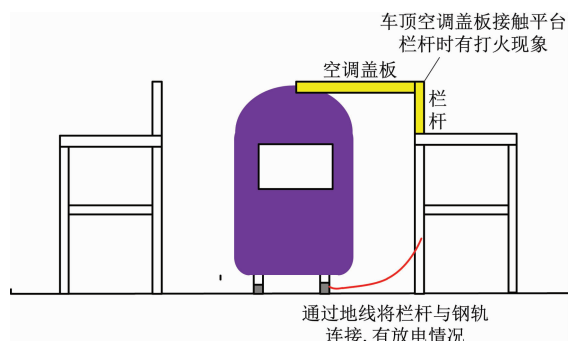
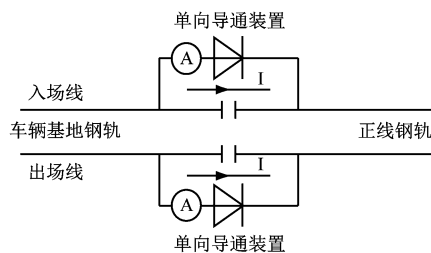


图1 检修平台栏杆与车体间电流检测示意图

Fig. 1 Current detection schematic diagram of the maintenance platform railing and the car body



注:①为电流测试装置。

图2 出入场线处单向导通装置测试示意图

Fig. 2 Current detection schematic diagram of unidirectional conduction devices in the base entrance/exit lines

上海轨道交通部分车辆基地出入场线单向导通装置断开前后的检测结果如表1所示。

表1 上海轨道交通部分车辆基地出入场线单向导通装置断开前后的检测结果

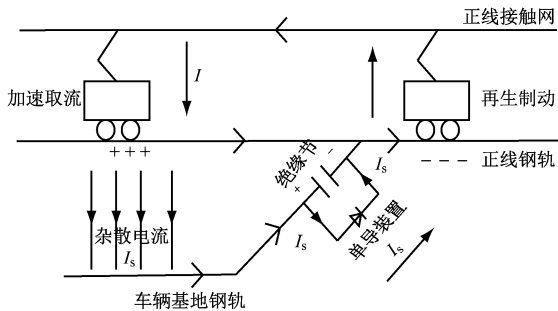
Tab. 1 Test results before and after disconnection of unidirectional conduction devices in entrance/exit lines of some Shanghai rail transit vehicle bases

线路	车辆基地	单向导通装置状态	$I_1$ 最大值/A	$I_2$ 最大值/A	$I_3$ 最大值/A
2号线	北翟路车辆基地	断开前	102	35	46
		断开后	0	0	0
3号线	江杨北路车辆基地	断开前	186	78	83
		断开后	0	0	0
5号线	平庄车辆基地	断开前	203	92	88
		断开后	0	0	0
11号线	上海赛车场车辆基地	断开前	220	103	110
		断开后	0	0	0
17号线	徐泾车辆基地	断开前	154	77	72
		断开后	0	0	0

由单向导通装置断开前的检测结果可见:在正线列车进出车辆基地附近的车站过程中,单向导通装置断开前, $I_2$ 、 $I_3$ 从0增至最大值;电流大小同出入场线的长度及正线车站位置有关——出入场线距离越长,电流越大,且正线车站为地面车站时电流较大。由单向导通装置断开后的检测结果可见, $I_2$ 、 $I_3$ 均为0。

检测结果表明,在车辆基地接触网停电情况下,正线列车进出车辆基地附近的车站过程中,平台栏杆内确实有电流流过,且电流大小与正线列车运行情况有密切关系。由此可推断,平台护栏打火是由正线列车运行时自钢轨泄漏至车辆基地的杂散电流引起的。

当车辆基地附近的正线列车处于制动状态时,单向导通装置中的二极管,使电流无法从正线流入车辆基地,只能先从正线通过大地流入车辆基地,再以单向导通装置为通道流向正线,进而形成完整的电流通路<sup>[3]</sup>,即“正线→大地→车辆基地→正线”通路。杂散电流通路如图3所示。



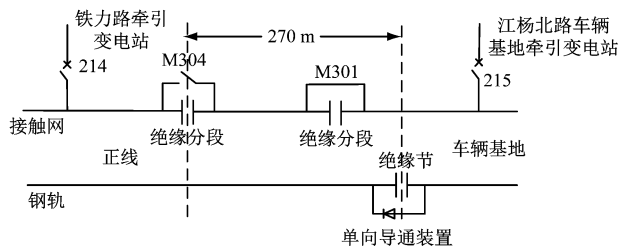
注:  $I$  为正线列车牵引电流;  $I_s$  为正线杂散电流。

图3 车辆基地电流流通过程

Fig. 3 Vehicle base current flow path

## 1.2 车轮过出入场线绝缘节打火的原因

针对江杨北路车辆基地车轮过出入场线绝缘节打火现象进行现场勘察发现,该车辆基地出场线的接触网绝缘分段隔离开关 M304 与钢轨绝缘节之间距离约为 270 m,如图4所示。



注: M301、M304 为绝缘分段的隔离开关; 214、215 为牵引变电站直流馈电开关。

图4 江杨北路车辆基地钢轨分段情况示意图

Fig. 4 Schematic diagram of rail segmentation situation at Jiangyang North Road vehicle base

当列车由车辆基地向正线运行且最后端的车轮通过钢轨绝缘节时,列车车轮已全部位于正线钢轨上,M304 处于打开状态,列车用电取自车辆基地牵引变电站 215 直流开关。此时在钢轨绝缘节处的单向导通装置的作用下,位于正线钢轨上的列车车轮无法回流,导致正线钢轨电位升高,绝缘节两端存在较大电压差,回流电流只能通过列车最后端车轮回到车辆基地牵引变电站,致使最后端车轮离开钢轨绝缘节时发生打火现象。

基于上述理论分析,在调整出场线供电方式,在无列车出库及出库车经出场线驶往正线的情况下,分别测量绝缘节两端的电压  $U_1$ 、正线钢轨对地电压  $U_2$  和车辆基地钢轨对地电压  $U_3$ 。出场线供电方式 1 为:闭合 M301,断开 M304,接触网由江杨北路车场(经 215 开关)供电。出场线供电方式 2 为:断开 M301,闭合 M304,接触网由铁力路牵引变电站(经 214 开关)供电。

相应电压检测示意图如图5所示,测量结果如表2所示。

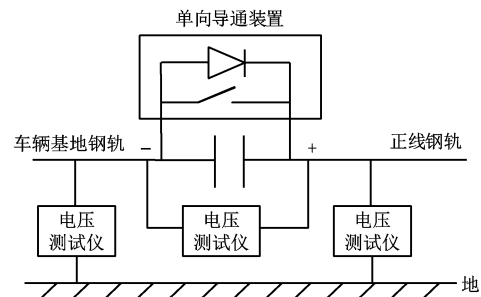


图5 单向导通装置电压检测示意图

Fig. 5 Schematic diagram of voltage detection for unidirectional conduction device

表2 不同列车出库状态及供电方式下电压检测结果

Tab. 2 Voltage detection results under different train departure states and power supply modes

列车出库状态	供电方式	$U_1/\text{V}$		$U_2/\text{V}$		$U_3/\text{V}$	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
无列车	供电方式 1	66.45	0	60.21	-33.45	11.40	-35.42
	供电方式 2	23.62	0	53.21	-30.23	14.88	-28.55
第一列列车通过	供电方式 1	133.53	0	63.12	-26.66	24.67	-24.11
	供电方式 2	31.30	0	59.52	-29.66	21.22	-30.87
第二列列车通过	供电方式 1	201.62	0	60.75	-26.91	32.27	-29.33
	供电方式 2	34.36	0	55.73	-27.97	29.72	-28.99

现场测试表明,钢轨打火发生在列车最后一个车轮经过正线与车场钢轨交界处时,供电方式1的打火现象强烈,供电方式2的打火现象明显较弱。在供电方式1下,第2列列车最后一个车轮经过正线与车场钢轨交界处时, $U_1$ 急剧升高,达到峰值201.62 V。在供电方式2下,第2列列车最后一个车轮经过正线与车场钢轨交界处时,电压变化明显减小,峰值为34.36 V。

供电方式2的打火现象虽明显较弱,但在绝缘节处依然存在微弱的打火现象。根据检测结果,此时绝缘节两端存在约30 V的电压差。进一步分析可知,列车车轮通过绝缘节时单向导通装置中的可控硅没有提前导通,当车轮离开绝缘节时正线与车场钢轨间的电压与电流满足起弧条件,因此绝缘节处出现打火、拉弧现象<sup>[3]</sup>。可控硅受最小维持电流及开通电压等特性影响,导通需要一定时间。然而车轮经过绝缘节时间极短,当单向导通装置控制器检测到车轮通过绝缘节并发出可控硅导通信号后,可控硅还未导通,车轮就已经通过绝缘节,使绝缘节两端无法实现金属性电气连接的效果,从而导致单向导通装置消弧效果不理想,故仍存在绝缘节处打火问题。

## 2 解决措施

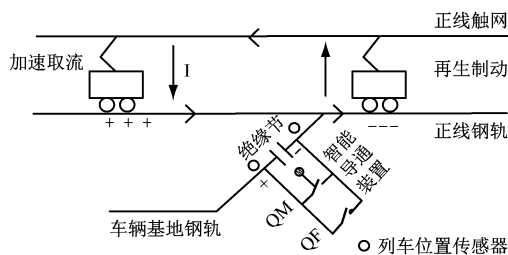
由打火原因可知,针对打火问题,既要确保接触网在正常或非正常供电方式下回流畅通,还要断开杂散电流的通路。主要解决措施如下:

1) 检修平台栏杆做绝缘处理。可采用绝缘材料,也可对栏杆的金属裸露部分刷绝缘油漆或者用绝缘材料包裹等。

2) 接触网的出入场线处绝缘分段应尽量与钢轨绝缘节位置相对应,以确保车辆基地与正线的正常取流。

3) 采用智能导通装置代替单向导通装置。智能导通装置采用接触器代替二极管,其应用场景如图6所示。智能导通装置并联接在出入场线处钢轨绝缘节两端,列车位置传感器安装在列车行进方向的前方,列车在通过绝缘节前先经过列车位置传感器,智能导通装置控制器根据列车位置,在有列车通过时装置导通,实现正线与车辆基地钢轨金属性电气连接,避免绝缘节处出现打火及起弧现象,同时保证列车经过时牵引回流畅通。无列车通过时装置切断正线与车辆基地钢轨,切断杂散电流从正

线流入车辆基地通路。



注: QM 为电动隔离开关; QF 为直流接触器。

图6 智能导通装置应用场景示意图

Fig. 6 Schematic diagram of intelligent conduction device application scenario

智能导通装置的应用可有效切断杂散电流的通路,既能减少因正线钢轨泄漏至停车场的杂散电流引起的平台护栏打火现象,又能避免绝缘节处的打火、起弧等安全隐患,对保障运营安全具有重要意义。

## 3 智能导通装置的应用效果

对上海轨道交通3号线石龙路车辆基地出入场线处的单向导通装置进行改造,更换为2套智能导通装置。石龙路车辆基地智能导通装置应用后,分别在无列车出库工况及出库车经出场线驶往正线工况下,检测智能导通装置处绝缘节两端电压 $U_z$ 、上行线路智能导通装置电流 $I_{z,1}$ ,下行线路智能导通装置电流 $I_{z,2}$ ,结果如表3所示。

表3 智能导通装置后测试结果

Tab. 3 Test results after installing intelligent conduction device

列车出库 状态	$U_z/V$		$I_{z,1}/A$		$I_{z,2}/A$	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
无列车	66.45	-45.87	0	0	0	0
第一列 列车通过	0	0	123.12	-106.43	114.22	-94.11
第二列 列车通过	0	0	160.75	-126.91	132.27	-129.33

由表3可见:无列车时,通过智能导通装置的电流均为0,说明车辆基地与正线之间的杂散电流通路已被阻断。在列车经过绝缘节前,智能导通装置内直流接触器将绝缘节两端钢轨电气连接,将绝缘节两端电压降为0,能有效防止列车经过绝缘节时出现打火及起弧现象。



## 4 结语

本文通过对城市轨道交通车辆基地检修平台栏杆打火及出入场线绝缘节打火问题的现场检测及数据分析发现:

1) 检修平台栏杆打火是由正线钢轨泄漏至车辆基地的杂散电流引起的。泄漏的杂散电流通过单向导通装置再流回正线形成完整的电流通路。

2) 出入场线绝缘节打火由回流不畅造成的轨回流升高、绝缘节压差增大导致。此外,由于单向导通装置中消弧装置可控硅受最小维持电流、开通电压等特性影响,绝缘节两端不能达到金属性电气连接的效果,从而导致消弧效果不理想。

对此,本文提出采用智能导通装置替换单向导通装置的解决措施。现场应用结果表明,智能导通装置改造简单、可靠性高、运营维护方便,能有效解决了车辆基地内打火等一系列问题,在城市轨道交通车辆基地中具有较强的实用性,值得推广应用。

## 参考文献

[1] 王宝顺. 地铁车辆段/停车场的杂散电流打火问题分析及回流

(上接第 263 页)

- [5] HU P, WANG H, TIAN G, et al. Wireless localization of spallings in switch-rails with guided waves based on a time-frequency method[J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 19(23): 11050.
- [6] 袁倍琦. 超声导波断轨检测算法设计及硬件实现[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- YUAN Beiqi. Algorithm design and hardware implementation of ultrasonic guided wave track breaking detection[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018.
- [7] 赵华维, 崔建华. 直接序列扩频系统抗雷达脉冲干扰的研究[J]. 通信技术, 2008, 41(4): 38.
- ZHAO Huawei, CUI Jianhua. Research on radar's pulsed noise interference to DSSS[J]. Communications Technology, 2008, 41(4): 38.
- [8] 姚振静. 超声扩频测距脉冲编码激励与渡越时间估计[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- YAO Zhenjing. Pulse coded excitation and time-of-flight estimation of ultrasonic spread spectrum range[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [9] WIDODO S, SHIIGI T, THAN N M, et al. Wind compensation for an open field spread spectrum sound-based positioning system

系统优化[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 160.

WANG Baoshun. Analysis of arcing problem caused by stray current and backfeeding system optimization in metro vehicle depot and stabling yard[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 160.

- [2] 廖钧, 刘炜, 许伶俐, 等. 地铁停车场和车辆段杂散电流实测与分析[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(8): 64.

LIAO Jun, LIU Wei, XU Lingli, et al. Actual test and analysis of stray current in metro parking lot and depot[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(8): 64.

- [3] 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, 24(6): 180.

JIN Kai. Key issues in stray current prevention design for metro depot[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 180.

· 收稿日期:2023-01-28 修回日期:2023-02-28 出版日期:2025-04-10

Received:2023-01-28 Revised:2023-02-28 Published:2025-04-10

· 通信作者:陆煜旻,高级工程师,83340740@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

using a base station configuration[J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2014, 7(3): 127.

- [10] 王好贞. 基于 Barker 编码激励方式的断轨检测算法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.

WANG Haozhen. Research on broken track detection algorithm based on Barker coding excitation mode[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.

- [11] 陈嘉兴, 刘志华. 扩展频谱通信[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2013.

CHEN Jiaying, LIU Zhihua. Spread spectrum communication[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2013.

· 收稿日期:2023-09-19 修回日期:2023-11-16 出版日期:2025-04-10

Received:2023-09-19 Revised:2023-11-16 Published:2025-04-10

· 第一作者:何继平,高级工程师,hejiping@sz-mtr.com

通信作者:刘勇,高级工程师,23804612@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license