

轨道交通杂散电流防护关键技术工程验证*

靳守杰^{1,2} 马坚生³ 欧阳开³ 刘禹贝⁴ 赵云云⁴ 林晓鸿⁴

(1. 深圳市市政设计研究院有限公司, 518029, 深圳; 2. 西南交通大学电气工程学院, 611756, 成都;

3. 广州地铁集团有限公司, 510006, 广州; 4. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510030, 广州)

摘要 [目的]为解决地铁线路杂散电流腐蚀问题,需对城市轨道交通杂散电流防护关键技术进行工程验证。[方法]介绍了高绝缘性混凝土;设计了一种新型全绝缘轨道扣件,并采用静态和动态测试方法,对轨道钢轨对地的绝缘性能进行验证。静态测试包括测量钢轨对地电阻等参数;动态测试模拟地铁运营工况,检测钢轨对地过渡电阻在实际地铁运营中的变化情况。[结果及结论]新型全绝缘轨道扣件能够通过设置全包式屋檐结构轨下垫板、绝缘轨距块外延等方法,增大爬电距离,提升轨道扣件的表面电阻。高绝缘性混凝土及全绝缘轨道扣件均能有效提升钢轨对地过渡电阻,相较于传统轨道安装方案,整体绝缘扣件+硅基纳米绝缘包裹方案对钢轨对地过渡电阻的提升效果最为显著。新型绝缘材料和扣件系统在不同工况下均能保持良好的绝缘性能,能够有效减少杂散电流的泄漏。

关键词 城市轨道交通;杂散电流;防护关键技术;绝缘轨道扣件

中图分类号 U223.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.05.040

Engineering Verification of Key Technologies for Rail Transit Stray Current Protection

JIN Shoujie^{1,2}, MA Jiansheng³, OUYANG Kai³, LIU Yubei⁴, ZHAO Yunyun⁴, LIN Xiaohong⁴

(1. Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co., Ltd., 518029, Shenzhen, China; 2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, 611756, Chengdu, China; 3. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510006, Guangzhou, China; 4. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510030, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] In order to solve the problem of stray current corrosion on metro lines, it is necessary to conduct engineering verification of the key technologies for stray current protection in urban rail transit. [Method] The high-insulation concrete is introduced. A new type of fully insulated rail fastener is designed, and static and dynamic test methods are used to verify the insulation performance of the track steel rail a-

gainst the ground. The static test includes measuring the rail-to-ground resistance parameters, and the dynamic test simulates the metro operating conditions to detect the changes of rail-to-ground transition resistance during the actual metro operation. [Result & Conclusion] By setting a fully enclosed eaves structure rail pad and extending insulated gauge blocks, and other methods, the new type of fully insulated rail fastener can increase the creepage distance and improve the surface resistance of the rail fastener. Both the high-insulation concrete and the fully insulated rail fastener can effectively improve the rail-to-ground transition resistance. Compared with the traditional track installation schemes, the overall insulated fastener plus silicon-based nano-insulation wrapping scheme exhibits the most significant effect on improving the rail-to-ground transition resistance. The new type of insulating materials and the fastener system can maintain good insulation performance under different working conditions, and effectively reduce the leakage of track stray current.

Key words urban rail transit; stray current; key protection technologies; insulated rail fastener

0 引言

在城市地铁及轻轨等直流电气运输系统中,通常将钢轨作为返回线,由于现有的钢轨安装技术尚不能达到完全对地绝缘,总有一部分电流漏入大地形成杂散电流。地铁线路杂散电流的基本防护原则为:以防为主、以排为辅、防排结合、加强监测。针对不同工况,目前常用的腐蚀防护方法大致可分为3类:

1) 让回流轨中的电流全部流回牵引变电所的负极,而不能向地下泄漏,即在回流轨与大地之间采取有效的绝缘手段,控制和减少杂散电流产生的根源,隔离所有可能的杂散电流泄漏途径;

2) 将回流轨中部分向外泄漏的电流,以某种渠

* 广州地铁集团有限公司技术研发项目(HT200428)

道将其引回变电所的负极,即设置合理的排流网结构,为杂散电流提供一条畅通的低电阻通路;

3) 通过与排流网电气连接的测量端子和走行轨来监测杂散电流,当杂散电流值超标时,及时采取相应的措施。

根据杂散电流泄漏路径,杂散电流经扣件至混凝土道床及轨枕,最终流入大地,因此杂散电流大小与扣件、混凝土道床及轨枕的特性息息相关。钢轨与大地之间通过绝缘扣件和混凝土道床及轨枕隔离,每1 km钢轨上约有2 000个绝缘扣件。随着运行年限的增加,钢轨绝缘件逐渐开始老化,绝缘性能逐渐变差。现场安装后,钢轨对地的绝缘性能并不仅仅由绝缘扣件自身的绝缘性能所决定。由于实际运行中,钢轨扣件不可避免地会受到污染、潮湿、渗水、漏水等因素的影响,扣件的沿面泄漏电阻远少于绝缘扣件自身的绝缘电阻,导致杂散电流比理论计算值大^[1]。此外,混凝土道床及轨枕作为一种永久性设施,随着运行时间及环境的变化,其绝缘性能极不稳定。

本文为解决地铁杂散电流腐蚀问题,研发了高绝缘性混凝土和全绝缘轨道扣件,并对所研发的高绝缘性混凝土和全绝缘轨道扣件进行静态和动态测试,验证其绝缘性能。本文研究可为城市轨道交通杂散电流的防护提供工程经验与技术指导。

1 高绝缘性混凝土概况

目前,可通过采用增大混凝土微观结构之间的漏电阻来防止杂散电流的产生,以及减小流过混凝土微观结构的电流。混凝土道床及土壤构成了绝缘回路的最后一环,作为一种永久性设施,混凝土道床绝缘性能的提升将极大地改善整个混凝土结构的绝缘性能,减少排流及后期维护工作量。

混凝土是一种典型的多孔复合介质,主要由基质(骨料和水泥水化物)、孔隙液体和孔隙气体组成。其中,基质和孔隙气体的电阻率比孔隙溶液大几个数量级,一般可认为是绝缘体。混凝土的导电性主要取决于空气相对湿度、混凝土孔隙率、孔隙溶液电导率和孔径分布^[2]。

文献[3-4]结合离子固化、微观孔隙结构控制、表面活性、低碱水泥、绝缘掺合料等技术,研制了一种高绝缘性混凝土,并基于混凝土导电机理模型来预测其微观结构特性。该种高绝缘性混凝土28 d的电阻率 $\geq 138 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$,为普通混凝土的80倍。

2 全绝缘轨道扣件概况

以地铁中应用最广泛的弹条Ⅲ型扣件系统为例,分析其绝缘性能。其中,起到绝缘作用的主要扣件为轨下垫板、绝缘轨距块、铁垫板下垫板、塑料套管等塑料零件。若扣件系统处于干燥、清洁的环境中,其绝缘性能可以满足CJJ 49—1992《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》要求。但随着绝缘扣件系统服役时间的增加,其表面受到污染,且地铁隧道潮湿湿度常处于较高的状态,原绝缘扣件的表面爬电距离急剧增加,导致扣件系统的绝缘性能下降,可能出现爬电现象^[2]。

根据干态及湿态扣件系统的分段绝缘电阻和表面电阻测试结果可知,扣件系统表面潮湿或受到污染,是导致扣件系统绝缘性能下降的主要原因,因此应尽量避免绝缘扣件表面积水或形成大面积水迹。此外,板下垫板在整个扣件系统中没有起到绝缘作用,为了提升整个扣件系统的绝缘性能,需在道钉与铁垫板之间设置相关绝缘部件。

2.1 地铁扣件系统绝缘性能改进方案

基于地铁扣件系统的绝缘性能分析,制定改进方案^[5-6],通过提高扣件系统的防水、排水能力,增加扣件系统在恶劣环境下的爬电距离,提升扣件系统的绝缘性能。改进后的扣件系统装配状态示意图如图1所示。

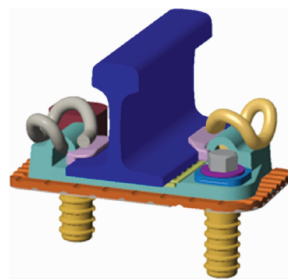


图1 改进后的扣件系统装配状态示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the assembly status of the improved fastener system

轨下垫板是扣件系统中主要的绝缘零部件,可以有效提升扣件系统的绝缘性能,但在地铁实际运营过程中,从钢轨上剥离的铁屑及长期积累的灰尘导致钢轨与铁垫板连通,使轨下垫板的绝缘性能显著下降。因此,轨下垫板结构仍采用凹凸台结构提供垫板弹性,但在垫板四周增加一圈裙边,沿钢轨纵向两边伸长,以增加钢轨与水泥轨枕导通所需的

爬电距离;裙边沿钢轨横向根据轨距块型号伸长,以降低钢轨与铁垫板连通的风险,从而有效提升扣件系统的绝缘电阻稳定性。轨下弹性垫板结构照片如图 2 所示。



图 2 轨下弹性垫板结构照片
Fig. 2 Photo of the elastic rail pad structure

通过对地铁扣件系统的绝缘性能分析可知,由于铁垫板与水泥轨枕通过道钉直接连通,轨下垫板在整个扣件系统中并未起到绝缘作用。因此,需在道钉与铁垫板之间增加绝缘层,以有效提升扣件系统的绝缘性能。针对尼龙螺栓及铁垫板螺栓固定孔的尺寸,设计一种尼龙螺栓套,将螺栓套延伸至套管光杆部位,采用密封圈进行隔水处理,防止套管内部积水、积尘,在提升其绝缘性能的同时还能隔绝铁垫板与螺栓导通。尼龙螺栓套结构照片如图 3 所示。



图 3 尼龙螺栓套结构照片
Fig. 3 Photo of the Nylon bolt sleeve structure

由于螺栓为整个扣件系统的主要导体,为提升扣件系统的绝缘性能,需对螺栓部位进行防水、防尘处理,设计螺栓防尘罩,并在调距扣板上加工出扣件罩卡槽,便于防尘罩的固定。螺栓防尘罩结构示意图如图 4 所示。

由于增加了道钉的绝缘保护,铁垫板下弹性垫板的绝缘性能显著提升,但由于垫板厚度较薄,存在铁垫板与轨枕之间的爬电导通风险,因此将增加垫板的长和宽,以及铁垫板与轨枕之间的爬电距离,以提升扣件系统在恶劣环境下的绝缘电阻稳定

性。铁垫板下弹性垫板结构示意图如图 5 所示。

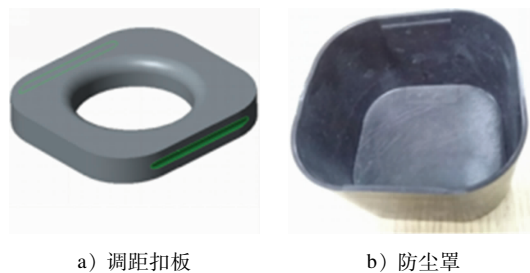


图 4 螺栓防尘罩结构示意图
Fig. 4 Schematic diagram of the bolt dust cover structure



图 5 铁垫板下弹性垫板结构示意图
Fig. 5 Schematic diagram of the elastic pad structure under the iron plate

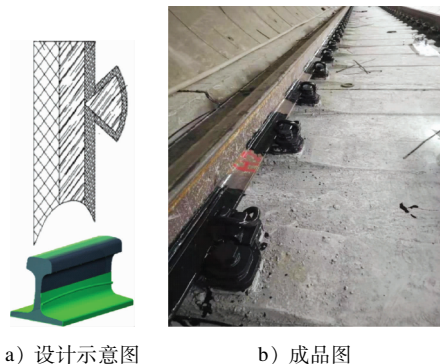
2.2 钢轨及扣件绝缘性能提升方案

钢轨与扣件的连接部位是电流进入轨枕及其外部环境的第一道关口,在此进行有效的电气绝缘设计对提升整体轨道系统的绝缘性能至关重要。该部位的绝缘设计不仅要适应轨道特殊的环境绝缘性能,而且还需具有良好的耐磨、耐压等力学性能。同时,绝缘材料厚度要求不能超过 1 mm,以避免因绝缘材料厚度的增加而导致钢轨的安装高度有所增加,进而对整体扣件的力学性能产生影响。

在钢轨及扣件的绝缘部位采用新绝缘材料和工艺,硅基复合绝缘包裹层采用多层物理绝缘结构,能从源头消除电流的泄漏问题。绝缘包裹层在结构设计方面需充分考虑其排水性能,且应充分采用可自清洁的憎水性绝缘材料,以提升恶劣环境下的绝缘性能指标。硅基复合绝缘包裹层方案示意图如图 6 所示。

2.3 铁垫板绝缘性能提升方案

由于轨道扣件安装的空间限制,铁垫板至混凝土轨枕的绝缘爬电距离非常有限。经过研究分析和多方案比选,在不改变铁垫板机械力学性能的前提下,提出铁垫板绝缘性能提升方案。该方案包括增大铁垫板下绝缘垫板面积,但仅增加板下弹性垫板面积易出现凹陷不良现象,因此采用铁垫板增加绝缘裙边的方式,提升扣件的绝缘距离。此外,橡胶弹性垫板采用硫化一次成型,兼具绝缘和减振性



a) 设计示意图

b) 成品图

图6 硅基复合绝缘包裹层方案示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the silicon-based composite insulation wrapping layer scheme

能。铁垫板设置了裙边伞裙结构来延长绝缘距离,采用憎水橡胶材料,实现表面抗污等性能。

另一方面,由于周向的伞裙结构通过弹性变形与铁垫板密切包裹,能够发挥出橡胶材料特有的阻尼特性,更好地吸收铁垫板上水平与横向的高频振动。橡胶弹性垫板优化方案示意图如图7所示。

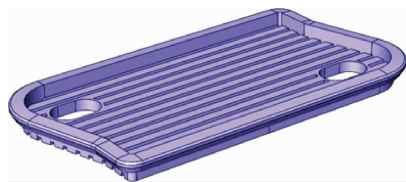


图7 橡胶弹性垫板优化方案示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the optimization scheme for the rubber elastic pad

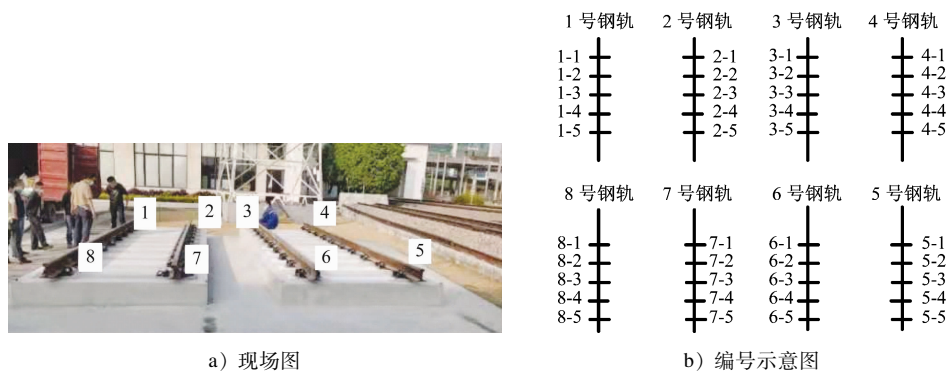
3 工程实例验证

为了验证钢轨对地的绝缘性能指标和绝缘措施方案的有效性,对其进行试验平台检测与实际工程验证。

3.1 地铁钢轨及扣件综合绝缘性能工程静态试验

为模拟在钢轨实际运行环境下钢轨扣件的绝缘状态,在广州地铁西塱车辆段搭建试验平台,按照正线标准建造两块板式道床(2×6.25 m),在道床板上铺设钢轨,道床板和轨枕内的钢筋配置等技术标准与常规线路的正线道床一致。根据道床、轨枕、钢轨和扣件的不同绝缘设计组合方案,分别设置1~8号钢轨扣件、道床、轨枕8种组合形式。在试验平台上,对轨道进行绝缘安装,并开展钢轨对地绝缘测试。钢轨及扣件编号示意图如图8所示,8种钢轨扣件组合方案如表1所示。

试验平台安装完成后,对钢轨及扣件的绝缘性能进行测试,测试钢轨扣件绝缘状态的内容包括干燥情况下及潮湿情况下的绝缘状态。在干燥及潮湿状态下,各钢轨对地电阻及排流网过渡电阻如表2所示。由于采用了硅基纳米绝缘包裹材料,1号、9号钢轨的绝缘包裹层设计有自排污结构,其硅基纳米复合绝缘层的憎水性及憎水迁移性较强,因此,1号、9号钢轨的过渡电阻在喷水后的阻值高于其他钢轨的过渡电阻值。



a) 现场图

b) 编号示意图

注:2-1表示2号钢轨的1号扣件;余类同。

图8 钢轨及扣件编号示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the rail and fastener numbering

15个月后,项目组再次对钢轨及扣件的绝缘性能进行测试,验证其绝缘性能。在干燥及潮湿状态下,各钢轨对地电阻如表3所示。在干燥状态下,2号、4号、7号、8号钢轨的对地电阻远高于相关标准要求的绝缘电阻值;在潮湿状态下,2号、8号钢轨

的对地电阻优于其他钢轨的对地电阻。2~7号钢轨在干燥状态下的对地过渡电阻均在MΩ级别,2号钢轨对地过渡电阻为39 MΩ,4号钢轨对地过渡电阻为88 MΩ,8号钢轨对地过渡电阻为270 MΩ。检测后发现,除了1号扣件外,其他扣件的绝缘电阻

表 1 8 种钢轨扣件组合方案

Tab. 1 8 combination schemes of rail fasteners

钢轨编号	扣件组合方案
1 号	普通混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 常规扣件 + 硅基纳米绝缘包裹材料
2 号	普通混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 常规扣件
3 号	绝缘混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 绝缘扣件
4 号	绝缘混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 绝缘扣件
5 号	绝缘混凝土道床 + 绝缘混凝土轨枕 + 绝缘扣件
6 号	绝缘混凝土道床 + 绝缘混凝土轨枕 + 绝缘扣件
7 号	普通混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 绝缘扣件
8 号	普通混凝土道床 + 普通混凝土轨枕 + 绝缘扣件

表 2 干燥及潮湿状态下各钢轨对地电阻及排流网过渡电阻

Tab. 2 Resistance of each rail to the ground and the transition resistance of the drainage network in dry and wet conditions

钢轨编号	干燥状态下钢轨对地电阻/ $M\Omega$	钢轨喷水前排流网过渡电阻/ $M\Omega$	喷水后 60 s 排流网过渡电阻/ $M\Omega$
1 号	5 010	3 470.00	31.600
2 号	644	517.00	0.020
3 号	105	483.00	0.010
4 号	118	27.00	0.006
5 号	157	70.70	0.010
6 号	108	9.85	0.010
7 号	—	376.00	0.210
8 号	578	264.00	0.030
9 号	—	2 110.00	852.000

注:9 号钢轨为 1 号位的胶漆钢轨与 8 号位的扣件相结合,并在扣件表面涂抹绝缘漆;7 号钢轨在干燥状态下的对地电阻在测试时由于设备故障未测到数据。

均大于 100 $M\Omega$ 。

为了研究改变铁垫板对地电阻对钢轨绝缘性能的影响,对 2 号钢轨的绝缘扣件进行改进,2 号钢轨道钉及螺栓改进措施如表 4 所示。此外,为了研究污秽情况下的钢轨绝缘情况,对 2 号、8 号钢轨进行模拟 4 级污秽盐水调整方法。2 号及 8 号钢轨扣件在干燥状态下的测试数据如表 5 所示,在潮湿及污秽状态下的测试数据如表 6 所示。由于测试数据较多,故试验时,随机选取了 3 种状态下 3~5 根钢轨进行测试。由表 5 可知:在干燥状态下,改进后 2 号钢轨的钢轨对铁垫板电阻、铁垫板对排流网电阻大多大于 8 号钢轨。

由测试结果可知,2 号、8 号钢轨在正确安装并加强螺栓孔防渗水结构后,其铁垫板对地过渡电阻可达到 $M\Omega$ 级别,喷水后 1 min—10 min,8 号钢轨 5 个扣件组的过渡电阻均大于 0.6 $M\Omega$,均达到了每 km 轨道的对地过渡电阻大于 150 Ω 的要求。

表 3 干燥及潮湿状态下各钢轨对地电阻(15 个月后)

Tab. 3 Resistance of each rail to the ground in dry and wet conditions (after 15 months)

钢轨编号	干燥状态下单根钢轨对地电阻/ $M\Omega$	潮湿状态下单根钢轨对地电阻/ $M\Omega$
1 号	0	0
2 号	39.00	0.23
3 号	7.57	0.01
4 号	88.00	0.02
5 号	12.50	0.02
6 号	14.00	0.02
7 号	37.00	0.02
8 号	270.00	0.36

表 4 2 号钢轨道钉及螺栓改进措施

Tab. 4 Improvement measures for the rail spike and bolt of Rail No. 2

扣件编号	热熔胶涂抹位置	道钉孔导入绝缘油	道钉孔内壁涂纳米涂层	扣件外涂纳米涂层
1	垫片四周	有	有	无
2	垫片四周	有	有	无
3	垫片两面	无	无	有
4	垫片两面	无	无	有
5	垫片两面	无	无	有

表 5 2 号及 8 号钢轨扣件在干燥状态下的测试数据

Tab. 5 Test data of Rail No. 2 and No. 8 fasteners in dry conditions

扣件编号	钢轨对铁垫板过渡电阻/ $M\Omega$	铁垫板对地过渡电阻/ $M\Omega$
2-1	378	531.000 0
2-2	247	110.000 0
2-3	733	20.000 0
2-4	507	0.005 6
2-5	774	10.000 0
8-1	393	0
8-2	239	0
8-3	174	0.500 0
8-4	228	0.050 0
8-5	155	0.040 0

表 6 2 号及 8 号钢轨扣件在潮湿及污秽状态下的测试数据

Tab. 6 Test data of the rail fasteners of Rail No. 2 and Rail No. 8 in wet and dirty conditions

状态	潮湿状态下钢轨对铁垫板 过渡电阻/MΩ					潮湿状态下铁垫板对地 过渡电阻/MΩ				污秽状态下钢轨对铁垫 板过渡电阻/MΩ		污秽状态下铁垫板对地 过渡电阻/MΩ		
	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	2-1	2-2	2-3	2-5	8-4	8-5	2-1	2-2	2-5
干燥	43.50	154.00	136.00	100.00	126.00	351.00	28.500	115.000	0 13.600	0 19.600	9.870	35.60	43.000	0 11.300
喷水后 1 min	1.92	1.57	0.82	0.78	1.26	11.53	36.060		0.270	5 0.020	0.186	0.02	0.002	8 0.026
喷水后 5 min	1.37	15.90	2.45	2.17	4.16	14.70	56.830		0.252	3 0.029	0.089	5.51	5.580	0 0.021
喷水后 10 min	2.10	66.60	11.60	4.17	6.88	10.90	45.800	0.221	5 0.339	0 0.500	0.137	7.06		0.027

3.2 知识城站工程动态验证

为了检测与验证轨道钢轨对地的绝缘性能指标和对地绝缘测试方法的有效性,在广州地铁 14 号线知识城站部分区段安装硅基纳米钢轨对地绝缘系统,以评价轨道绝缘系统的绝缘性能和环境适应性指标。

试验平台安装完成后立刻对钢轨绝缘性能进行测试,在列车运行 158 d 后,再次对钢轨绝缘性能进行测试。不同测量时间下,折算后的每 km 钢轨纵向电阻平均值如表 7 所示。

在钢轨过渡电阻的动态验证中,两次测试的所有数据均同步测量且重复取 10 组数据进行平均。由于钢轨连续焊接,钢轨全线电气贯通,当绝缘电阻较高时,理论上的泄漏电流很小,可能在 mA 甚至 μA 级别。但当注入大电流进行测试时,由于受到测试方法及检测设备精度的限制,检测如此小的泄漏电流变得较为困难,导致钢轨过渡电阻结果无法计算。

受现场检测方法和既有检测设备精度所限,轨道回流系统参数智能检测装置将每 km 钢轨对地过渡电阻的量程设为 0 ~ 35 Ω 。两次测试结果均表明,被测试区段每 km 钢轨对地过渡电阻超过 35 Ω 。

表 7 不同测量时间下折算后的每 km 钢轨纵向电阻平均值

Tab. 7 Converted average value of the longitudinal resistance per kilometer for the railway track at different measurement times

测量时间	检测位置	折算后的每 km 钢轨纵向电阻平均值/MΩ
安装后立即测试	YDK52 + 130 内侧	> 35
列车运行 158 d 后测试	YDK52 + 120 内侧	> 35

注:靠近站台侧为内侧。

4 结语

本文通过静态及动态试验,验证了新型绝缘材料和特殊结构形式的钢轨与扣件隔离系统,以及新型全绝缘扣件系统,在不降低轨道扣件系统既有机力学性能的前提下,有效提升了钢轨对地绝缘电阻,所获得的每 km 钢轨对地绝缘电阻不小于 150 Ω ,为 CJJ/T 49—2020《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》中要求的钢轨对地绝缘电阻的 10 倍。根据本文的测试结果,在一般区段,推荐采用全绝缘一体化扣件;在杂散电流防护特殊区段,推荐采用扣件组合方案,即全绝缘一体化扣件与硅基纳米绝缘包裹材料结合的方案。

参考文献

[1] 李鲲鹏,曹晓斌,沈豪,等. 环境因素对地铁钢轨扣件绝缘性能影响的试验研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(3): 48.
LI Kunpeng, CAO Xiaobin, SHEN Hao, et al. Experimental study of environmental influence on metro rail fastener insulation performance[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(3): 48.

[2] LIANG K, ZENG X, ZHOU X, et al. Investigation of the capillary rise in cement-based materials by using electrical resistivity measurement[J]. Construction and Building Materials, 2018, 173: 811.

[3] 曾晓辉,梁坤,李依芮,等. 一种用于高绝缘性混凝土的绝缘掺合料:201711282014. 7[P]. 2020-11-06.
ZENG Xiaohui, LIANG Kun, LI Yirui, et al. An insulating admixture for high-insulation concrete:201711282014. 7[P]. 2020-11-06.

[4] 曾晓辉,李依芮,梁坤,等. 一种高绝缘性混凝土:201711282041. 4[P]. 2020-06-19.
ZENG Xiaohui, LI Yirui, LIANG Kun, et al. A high-insulation concrete: 201711282041. 4[P]. 2020-06-19.

(下转第 248 页)

采用防熔断装置系统的优点为:①无需调整接触网系统现有的分段结构,只增加轨旁设备,改造工程量较小。②无需调整供电系统的运行方式,列车不停靠在绝缘锚段关节内,防熔断装置处于分断状态,与常规供电系统结构一致;当列车脱离绝缘锚段关节后,经传感器识别后,防熔断装置会自动分断。③设备构成元件相对简单,采用接触器形式具有动作触发快、通流能力强等特点,在分断时可以通过电流信息进行控制,避免产生分断较大的负荷,同时设置消弧装置和熔断器对设备进行本地保护。

采用防熔断装置系统的缺点为:该装置目前正在试挂运行,需根据用户反馈情况不断进行升级优化,提高设备的可靠性。

4 结语

本文对城市轨道交通列车在接触网绝缘锚段关节停车防熔断机理及措施进行了系统性研究,既要避免列车在绝缘锚段关节停车从而引起的断线故障问题,又要将其对列车追踪间隔时间的影响降到最低。本文提出了多种解决方案,并进行了技术经济综合比较分析,主要获得以下结论:

1) 器件式分段绝缘器方案可实施性较好,配合设置禁停标,能降低断线风险,而且分段绝缘器具既有线路的运营经验。但其缺点在于降低了弓网之间的受流质量,尤其在曲线及列车运行速度较高的区段,弓网之间因硬点会出现局部过渡磨损、拉弧等问题。该方案对施工安装工艺、运营维护检修有较高的要求,应用于既有线时需对接触网进行施工改造,建议可在新建线路采用该方案。

2) 防熔断装置系统无需调整接触网系统现有的分段结构,仅增加轨旁设备,对既有线路施工改造影响较小,建议既有线路采用防熔断装置系统。目前,该防熔断装置系统正在试挂运行,待现场评估完善后,可进行推广应用。

参考文献

- [1] 王生华. 上海轨道交通9号线弓网冲突原因分析及应对措施[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(12): 54.
WANG Shenghua. Analysis of pantograph/catenary conflict and countermeasures for Shanghai rail transit line 9[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(12): 54.
 - [2] 樊坤. 城市轨道交通接触网绝缘锚段关节内停车危害及对策[J]. 电气化铁道, 2018, 29(4): 88.
FAN Kun. Hazards caused by stopping of urban mass transit train at OCS overlap section and related counter-measures[J]. Electric Railway, 2018, 29(4): 88.
 - [3] 于勉, 韩妮乐. 西安地铁分段绝缘器运行情况分析及改进措施[J]. 现代城市轨道交通, 2018(3): 15.
YU Mian, HAN Nile. Operation analysis and improvement measures of section insulator in Xi'an metro[J]. Modern Urban Transit, 2018(3): 15.
 - [4] 卢广苗. 三断口式电分相工作原理及其隔离开关设置方法浅谈[J]. 电力系统装备, 2020(11): 98.
LU Guangmiao. Discussion on the working principle of three break type electric phase separation and the setting method of isolating switch[J]. Electric Power System Equipment, 2020(11): 98.
- 收稿日期:2023-04-03 修回日期:2023-05-23 出版日期:2025-05-10
Received:2023-04-03 Revised:2023-05-23 Published:2025-05-10
· 通信作者:王溢斐,高级工程师,191544263@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

(上接第243页)

- [5] 路阳阳,罗信伟,李鲲鹏,等. 一种扣件板下防杂散电流系统:202210070225.9[P]. 2022-04-08.
LU Yangyang, LUO Xinwei, LI Kunpeng, et al. A stray current prevention system under fastener pad: 202210070225.9 [P]. 2022-04-08.
- [6] 史海欧,靳守杰,黄德亮,等. 一种防治杂散电流腐蚀影响的钢轨绝缘套:202020975503.1[P]. 2021-05-04.
SHI Haiou, JIN Shoujie, HUANG Deliang, et al. A rail insulation sleeve for mitigating stray current corrosion: 202020975503.1

[P]. 2021-05-04.

- 收稿日期:2023-03-30 修回日期:2024-01-15 出版日期:2025-05-10
Received:2023-03-30 Revised:2024-01-15 Published:2025-05-10
· 第一作者:靳守杰,正高级工程师,jinshoujie@qq.com
通信作者:刘禹贝,工程师,1484386415@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