

城市轨道交通车辆段和停车场轨电位异常情况分析

郑侃, 刘卫东, 周才发, 苏小棚

(中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要: 正线牵引电流泄漏至车场导致轨电位异常, 针对国内某停车场轨电位异常现象, 进行实测和理论分析。结合国内车场供电回流方案及杂散电流的流通路径, 不同于传统单向导通装置, 提出了一种定向导通回流装置, 有效解决车场轨电位异常问题, 有利于车场杂散电流防护。

关键词: 轨电位; 杂散电流防护; 定向导通回流装置

Analysis of abnormal rail potential in urban transit parking lot and depot

ZHENG Kan, LIU Weidong, ZHOU Caifa, SU Xiaopeng

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: Positive traction current leakage leads to abnormal rail potential in parking lot and depot. Aiming at the phenomena of abnormal rail potential in a domestic parking lot, a theoretical analysis according to measured data is made. Combining the scheme of traction reflux scheme and the path of stray current, a directional reflux conducting device is presented, in order to solve the problem of abnormal rail potential and stray current protection effectively in parking lot and depot.

Key words: rail potential; stray current protection; directional reflux conducting device

0 引言

目前, 国内城市轨道交通工程通常采用直流牵引供电制式, 走行轨回流方式。为减少杂散电流的腐蚀影响, 直流牵引供电系统中, 钢轨为“浮地”系统, 直流牵引供电设备绝缘安装。为了乘客、运营人员的安全, 一般每座车站会设置一台钢轨电位限制装置(OVPD), 车场合理设置回流分区, 在运用库内设置钢轨电位限制装置。

随着国内城市轨道交通线路不断增加, 运营经验的不断积累, 更多地关注到正线钢轨电

位异常, 钢轨电位限制装置频繁动作, 对于车场钢轨电位异常情况尚缺乏重视、分析及处理。本文针对国内某地铁车场钢轨电位异常情形进行了分析和测试, 并提出了针对性的治理措施, 为城市轨道交通设计、运营提供了参考。

1 城市轨道交通车场供电方案

1.1 杂散电流形成原因

城市轨道交通工程空间狭小、机电设备种类繁多, 为保证人身安全和设备安全、可靠地运行, 并尽量减少接地系统投资, 每座车站、

车场单独设置一个综合接地网，并通过沿线敷设的接地扁钢、电缆金属层和接触网架空地线等互相连接，使全线形成一个统一的、高低压兼容和强弱电合一的接地系统。

走行轨回流方式下，钢轨存在纵向电阻及

对地电阻，纵向电阻产生纵向电位差，对地电阻产生对地电位差。对地电位差及对地电阻使得钢轨中部分电流泄漏至周围土壤，这部分从钢轨泄漏的电流成为杂散电流，杂散电流形成示意图如图1所示。

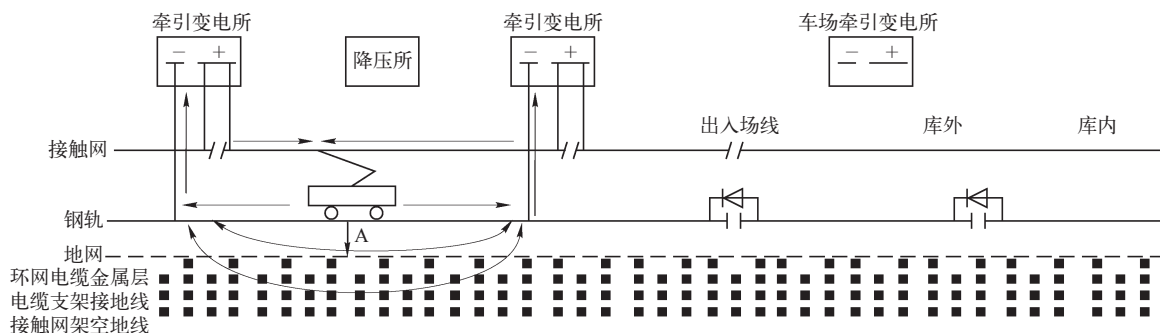


图1 地铁杂散电流形成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of metro stray current

1.2 车场供电回流方案

城市轨道交通车场一般位于地面，通过出入场线与正线连接，车场内线路主要包括运用库和库外线路。库外一般为碎石道床，碎石道床对地绝缘效果难以达到理论标准值 $15\Omega\cdot\text{km}^{[1]}$ ，相比于正线，车场杂散电流防护相对薄弱。针对上述情形，为了减小杂散电流对车场的腐蚀影响，车场供电回流系统主要采用以下方案：

1) 车场供电与正线供电相对独立，出入场线通过设置电分段实现，车场内由车场牵引变电所独立单边供电^[2]。

2) 正线回流与车场回流相对独立，出入场线通过设置单向导通装置实现正线回流不能进入车场，当车场牵引变电所解列时，同时实现正线牵引变电所支援车场供电^[3]。

3) 运用库前设置单向导通装置，库内一般根据运用库用途设置接地极或者钢轨电位限制装置，减小库外回流电流对库内的影响。

4) 合理设置回流分区，就近回流至车场牵引变电所。车场的回流可以分为三个区域，即出入场线、库外和库内。车场牵引变电所一般位于车场咽喉区，就近回流能够减少回流电流在钢轨上的路径，从而减少杂散电流的泄漏腐蚀。

典型的停车场均回流系统如图2所示。

2 车场钢轨电位异常分析

2.1 车场钢轨电位异常案例

2018年3月，国内某地铁停车场全场停电，停车场内无运行车辆，牵引变电所直流馈线断路器全部断开，检修牵引变电所直流负极母线，挂地线时打火现象严重，此时正线列车正常运行。连续工作日观察，发现如下现象：

1) 白天正线运营，车场内无车辆运行，钢轨电位限制装置动作频繁，电压值波动异常，最大电位达到 -99V 。

2) 夜间正线停运后，列车回到停车场，钢轨电位限制装置电压值波动正常，在 $20\sim 30\text{V}$ 之间。

2.2 现场测试及分析

1) 轨电位装置和单向导通装置性能测试如表1所示。

2) 单向导通装置正常连接，停车场钢轨电位测试一如表2所示。

3) 出入场线单向导通装置DX1/DX2断开连接，库前DX3/DX4正常连接，停车场钢轨电

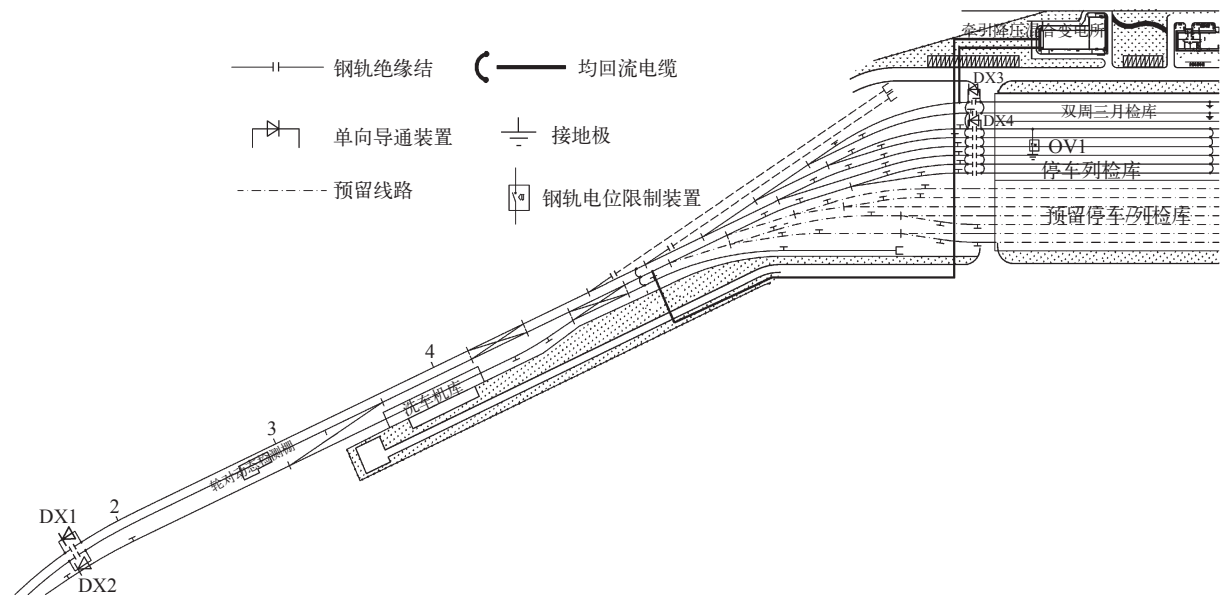


图2 停车场均回流系统

Fig. 2 Parking lot traction reflux system diagram

表1 轨电位装置和单向导通装置性能测试

Tab. 1 Performance test table of rail potential device and unilateral connecting device

测试条件	测试方法	测试结果	结论
1) 夜间正线停运 2) 夜间停车场内 不动车 3) 停车场牵引所 整流机组停运	DX1/DX2钢轨绝缘结两侧分别接地， 观察接地现象、轨电位（OV1）数值， 如图3所示 断开DX1、DX2、DX3和DX4与钢轨的 连接电缆，测量单向导通装置正反向压 降，如图4所示	钢轨两侧对地均无放电现象，接地前 后、OV1电位始终为0，无波动，设备正 常 万用表正向导通压降260 mV，反向无 穷大，设备正常	轨电位装置 和单向导通装 置设备性能正 常

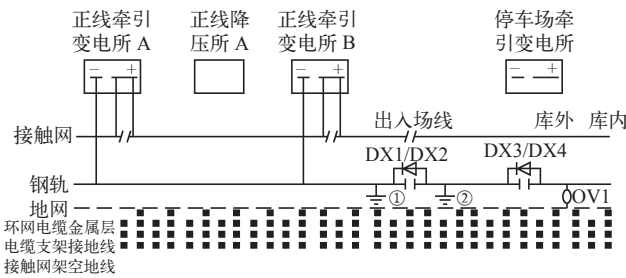


图3 DX1/DX2钢轨绝缘结两侧分别接地测试原理

Fig. 3 Schematic diagram of grounding test on both sides of
DX1/DX2 rail insulated junction

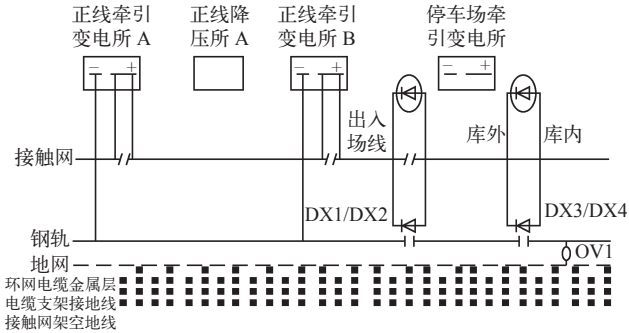


图4 单向导通装置性能测试原理

Fig. 4 Performance test schematic diagram of unilateral
connecting device

表2 停车场钢轨电位测试一

Tab. 2 Parking lot rail potential test 1

测试条件	测试方法	测试结果	结论
1) 白天正线运行跑车 2) 白天停车场内不动车 3) 停车场整流机组停电，单向导通装置 正常连接，对停车场钢轨电位进行测试	DX1钢轨绝缘结车场侧接地， 观察接地放电现象，轨电位装置 （OV1）数值，如图5所示	接地放电，接地 前后OV1值波动， 瞬时值-35 V	存在正线 电泄漏至停车 场，并形成回 路

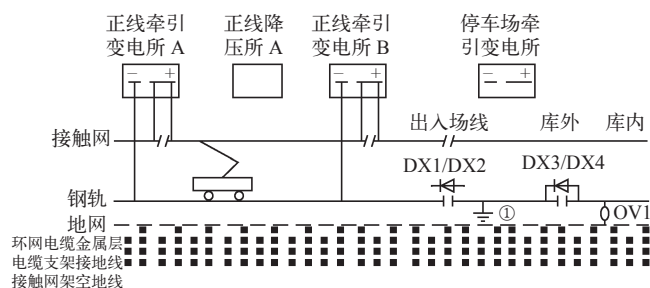


图5 DX1钢轨绝缘结车场侧接地测试原理

Fig. 5 Ground test schematic diagram of DX1 parking lot side rail insulated junction

表3 停车场钢轨电位测试二

Tab. 3 Parking lot rail potential test 2

测试条件	测试方法	测试结果	结论
1) 白天正线运行跑车 2) 白天停车场内不动产 3) 停车场整流机组停电，断开单向导通装置DX1/DX2与钢轨的连接电缆，库前DX3/DX4正常连接，对停车场钢轨电位进行测试	DX1钢轨绝缘结车场侧接地，观察接地放电现象，轨电位装置(OV1)数值，如图6所示	钢轨对地均无放电现象，接地前后OV1电位始终为0，无波动	1) 存在正线电泄漏至停车场 2) 正线泄漏电流通入场线单向导通装置DX1、DX2返回正线牵引变电所，形成回路
	DX1钢轨绝缘结正线侧接地，观察接地放电现象，轨电位装置(OV1)数值，如图7所示	钢轨对地有放电现象，接地前后OV1电位始终为0，无波动	
	短接DX1绝缘结两侧，观察轨电位装置(OV1)数值，测试DX1绝缘结两端电压，如图8所示	1) 短接DX1后，OV1电位波动，短接线断开后，电位归于0。 2) DX1绝缘结两侧钢轨的电压0~-101 V波动，并且停车场钢轨电位比正线高	

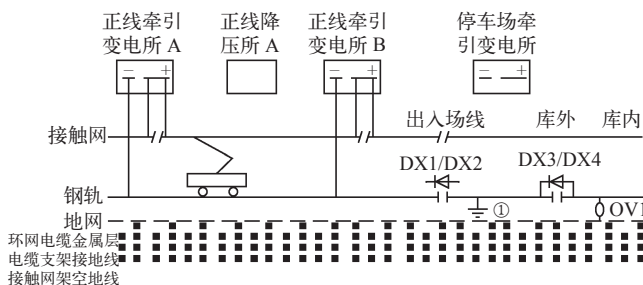


图6 DX1钢轨绝缘结车场侧接地测试原理

Fig. 6 Ground test schematic diagram of DX1 parking lot side rail insulated junction

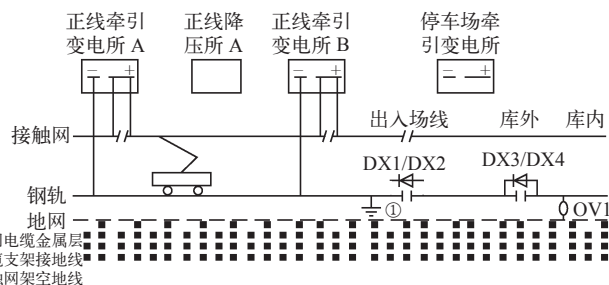


图7 DX1钢轨绝缘结正线侧接地测试原理

Fig. 7 Ground test schematic diagram of DX1 main line side rail insulated junction

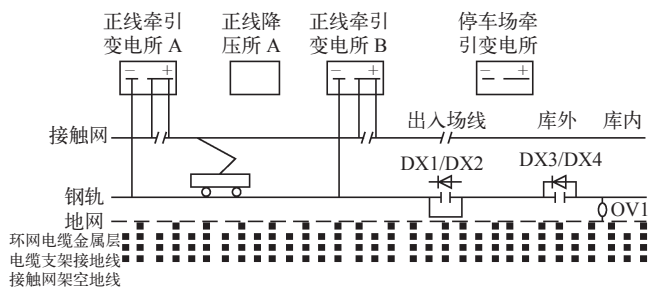


图8 短接DX1钢轨绝缘结测试原理

Fig. 8 Test schematic diagram of short connection DX1 rail insulation junction

位测试二如表3所示。

4) 停车场内单向导通装置DX1~DX4全部断开连接，停车场钢轨电位测试三如表4所示。

3 解决方案

车场轨电位异常本质是正线牵引电流泄漏造成的，直流供电系统有通路才能形成回路，解决问题的思路如下。

3.1 根源上解决

加强道床绝缘，防止电流泄漏。走行轨与大地的泄漏电阻值应不小于 $15\ \Omega\cdot\text{km}$ ，线路投入运营后，避免正线轨电位装置长期合闸，同时应定期对全线的线路进行清扫，以保持线路清洁干燥^[4]。

3.2 斩断正线泄漏电流通路

随着运营年限的增加和环境的腐蚀，走行轨对地的绝缘防护效果会逐渐变差。对传统的

表4 停车场钢轨电位测试三
Tab. 4 Parking lot rail potential test 3

测试条件	测试方法	测试结果	结论
1) 白天正线运行跑车 2) 白天停车场内不动车 3) 停车场整流机组停电，停车场内单向导通装置DX1~DX4全部断开连接，对停车场钢轨电位进行测试	DX1钢轨绝缘结车场侧接地，观察接地放电现象，轨电位装置（OV1）数值	钢轨对地均无放电现象，接地前后、OV1电位始终为0，无波动	1) 存在正线电泄漏至停车场 2) 正线泄漏电流通出接地网进入停车场库内，由库内钢轨通过DX3、DX4到库外钢轨，通过DX1、DX2到正线钢轨，并形成回路 3) 杂散电流回路路径如图9所示
	DX1钢轨绝缘结正线侧接地，观察接地放电现象，轨电位装置（OV1）数值	钢轨对地有放电现象，接地前后、OV1电位始终为0，无波动	
	短接DX1绝缘结两侧，观察轨电位装置(OV1)数值，测试DX1绝缘结两端电压	短接DX1前后，OV1始终为0，无波动。DX1绝缘结两侧钢轨电压始终为0	

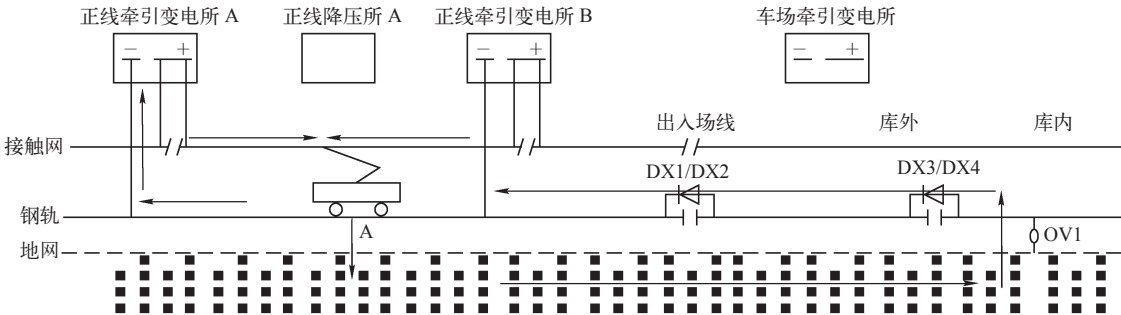


图9 杂散电流回路路径
Fig. 9 Stray current loop path

车场回流方案进行优化，阻止正线泄漏电流经车场形成通路。

(1) 方案一

改变传统单向导通装置二极管方案，由于二极管单向导通不可控，车场向正线方向单向

导通^[5]。优化后的单向导通装置采用晶闸管进行通断，通过红外传感器检测列车通过信号，列车通过绝缘结时，控制单向导通装置导通；列车经过后，关断单向导通装置，装置原理如图10所示。

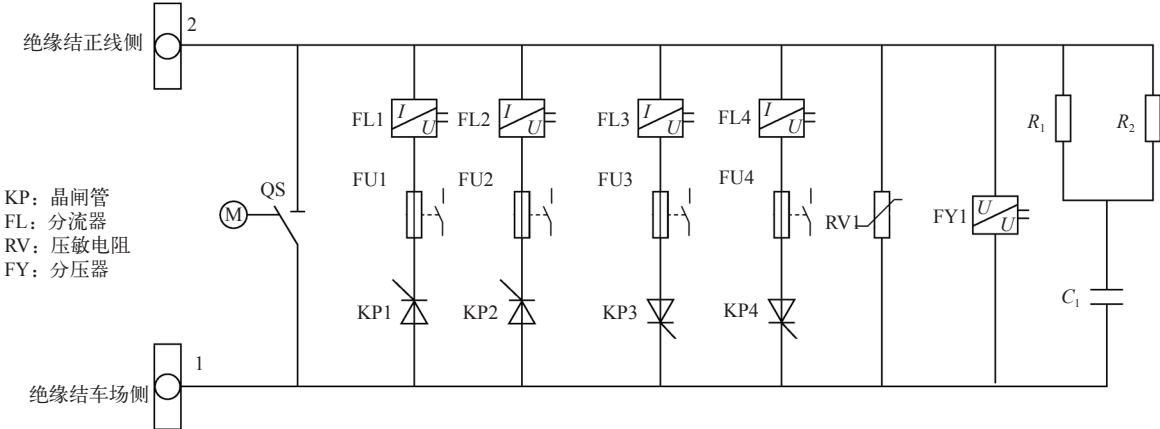


图10 优化单向导通装置原理
Fig. 10 Schematic diagram of optimized unilateral connecting device

(2) 方案二

改变传统单向导通装置，采用定向回流装置，装置原理如图11所示。通过对车场牵引回流方案进行优化，出入场线采用“双绝缘结

+定向回流装置”方式，能够斩断钢轨回流通路，避免正线牵引电流泄漏至车场，均回流系统如图12所示。

该方案有如下优点：

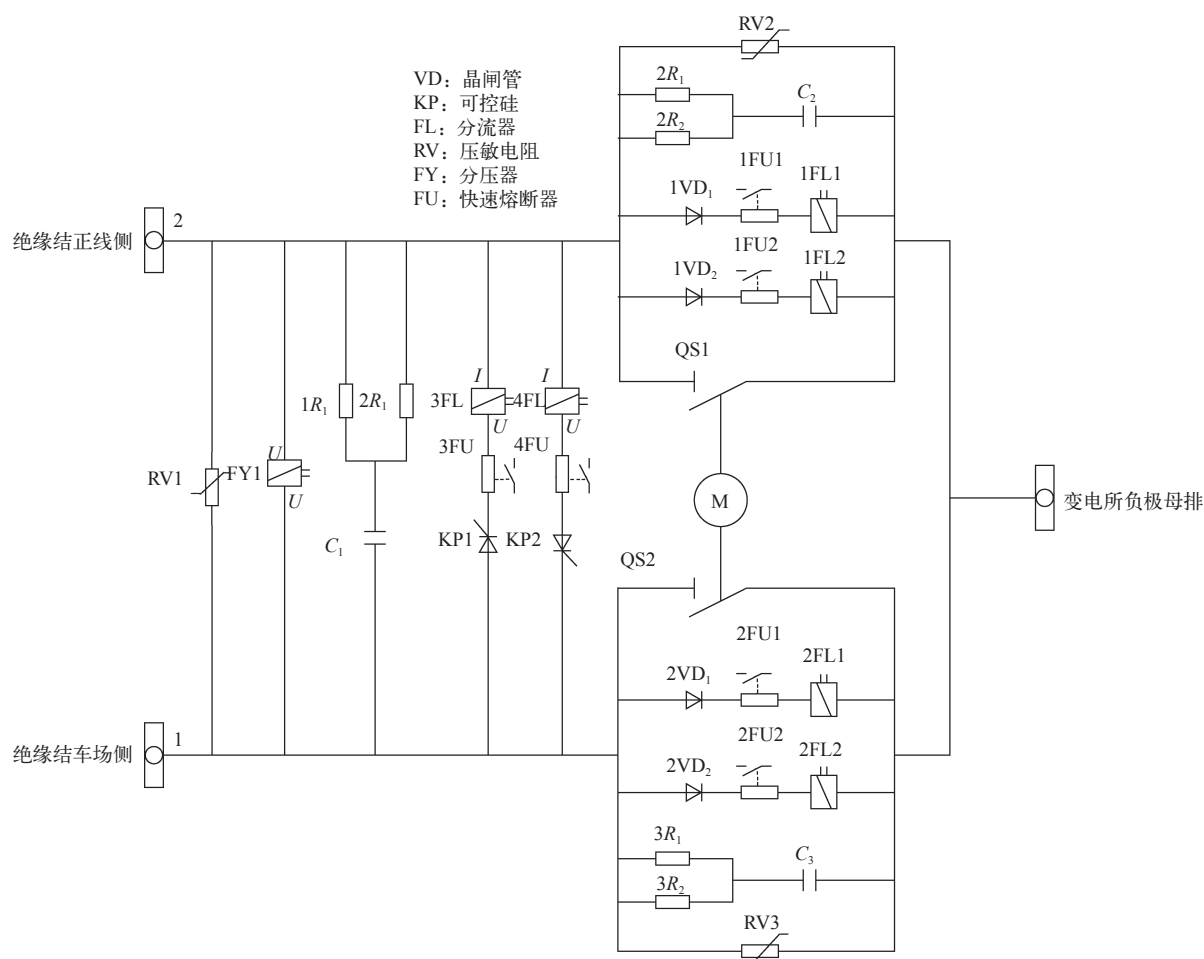


图11 定向导通装置原理

Fig. 11 Schematic diagram of directional reflux conducting device

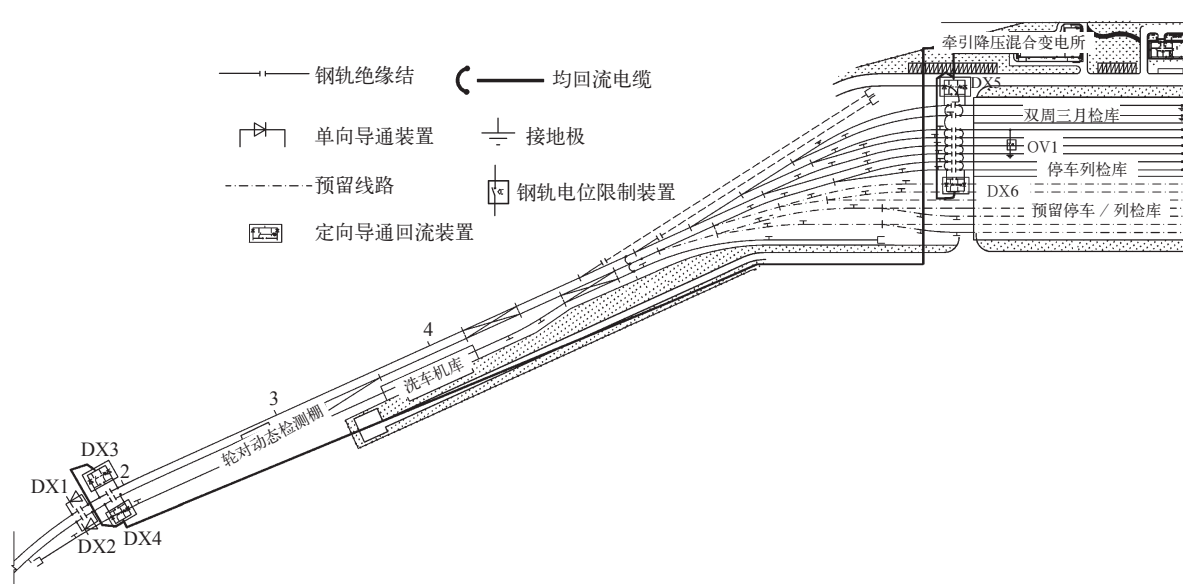


图12 定向导通装置+单向导通装置均回流系统

Fig. 12 Traction reflux system diagram of unilateral connecting device and directional reflux conducting device

1) 有效解决正线运营, 车场轨电位异常, 检修车场变电所负母线、挂地线打火等问题。

2) 能够从物理上切断正线牵引电流泄漏至车场通过钢轨形成的电气回路。

3) 将车场回流系统分隔成为出入场线、库内和库外三个区域, 减少回流电流在钢轨上的走行距离, 有利于车场的杂散电流腐蚀防护。

4) 相比于方案一, 导通回路不用增加判断信号, 更加可靠。

5 结束语

结合现场实测结果及理论分析, 停车场轨电位异常是由于正线对地绝缘不良、正线牵引电流流向车场并形成回路造成的。本文对传统车场回流方式——“绝缘结+单向导通装置”进行了优化, 并介绍了两种方案, 其中重点介绍了“双绝缘结+定向导通回流装置”的方案。该方案能有效解决正线电流流经车场形成回路的问题, 并减小杂散电流对车场的腐蚀影响。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. 地铁杂散电流腐蚀防护技术规程: CJJ 49—1992[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2013.

[3] 国家市场监督管理总局. 轨道交通 地面装置 电气安全接地和回流 第2部分: 直流牵引供电系统杂散电流的防护措施: GB/T 28026.2—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

[4] 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(8): 64-68.

[5] 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(8): 64-68.

[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): 23-27.

[7] ZHAO Qin, WANG Junping, ZHANG Dongliang. Field test on stray current distribution in urban rail transit car depot[J]. Urban Mass Transit, 2016(10): 23-27.

作者简介



郑侃

郑侃, 工程师, 研究方向为城市轨道交通牵引供电。

(收稿日期: 2019-07-16) **EA**