

# 跨座式单轨车接地保护设计

王 龙<sup>1</sup>, 陈金龙<sup>2</sup>, 张 宾<sup>1</sup>, 杨 俊<sup>1</sup>

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001;  
2. 重庆轨道交通集团有限公司, 重庆 409912)

**摘 要:** 我国城市轨道交通有多种接地保护电路, 以重庆跨座式单轨车辆及供电系统设计为例, 系统阐述了跨座式单轨车辆及供电系统的接地保护装置的设计、保护原理以及车辆与供电系统的接地保护配合关系, 分析了车辆过断电区对地面接地保护设计的影响并提出了对策。

**关键词:** 牵引系统; 地面供电系统; 牵引变流器; 接地检测; 跨座式单轨车辆

**中图分类号:** U232; U264.7<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.06.024

## Design of Grounding Protection for Straddle Type Monorail Car

WANG Long, CHEN Jinlong, ZHANG Bing, YANG Jun

(1. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;  
2. Chongqing Rail Transit Group Co., Ltd., Chongqing 409912, China)

**Abstract:** There are many kinds of grounding protection circuits for urban rail transit in China. Taking the design of Chongqing straddle monorail and power supply system as an example, the design, protection principle and protective coordination relationship of grounding protection device for straddle type monorail car and power supply system were expounded systematically, and the influence of vehicle passing no power area on ground grounding protection design was analyzed and the countermeasures were put forward.

**Keywords:** traction system; ground power supply system; traction converter; grounding detection; straddle monorail car

## 0 引言

重庆主城区地势起伏不平, 人口密集, 道路狭窄, 坡陡弯急, 交通拥挤, 为了促进城市发展, 必须建设爬坡能力强的城市轨道交通系统, 因此重庆最终采用了跨座式单轨的方案。为具备更强的爬坡能力, 跨座式单轨采用橡胶轮来增加轮轨的粘着系数, 以保证列车可以发挥更大的牵引力。由于整列车都采用橡胶轮, 列车与大地完全绝缘, 无法采用类似地铁的钢轨回流方式, 只能采用第三轨回流, 该差异性导致跨座式单轨在接地检测设计上有所不同。本文结合重庆地铁3号线跨座式单轨车辆的接地检测及地面供电的接地检测原理及实际应用案例, 对跨座式单轨车接地保护进行详细的介绍及分析。

## 1 列车配置

列车由6辆车组成, 包括3辆全动车和3辆半动车, 最高速度80 km/h。列车编组示意图如图1, 其中Mc1与M2, Mc2与M3, M4与M5各为一单元, 列车由3个单元车组组成, 每个单元车组由1辆全动车和1辆半动车组成。

## 2 车辆的接地保护设计

车辆的接地保护主要通过牵引系统的电路实现, 牵引系统的主电路由高压电器单元、滤波电抗器、牵引逆变器构成。

### 2.1 主电路

主电路原理图如图2所示。

列车牵引系统主电路采用二电平电压型直交逆变电路。经受流器接触受流输入的DC 1 500 V直流电由高压电器单元的隔离开关、高速断路器、充电回路、

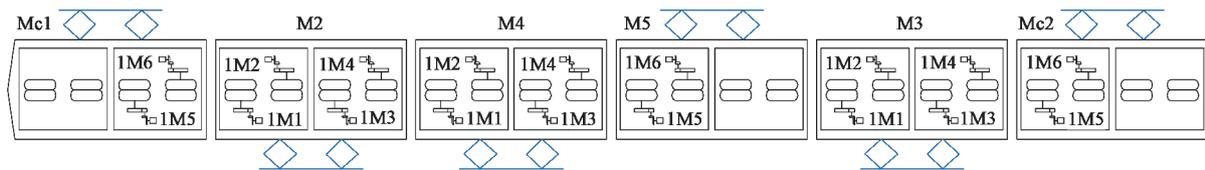


图1 列车编组示意图

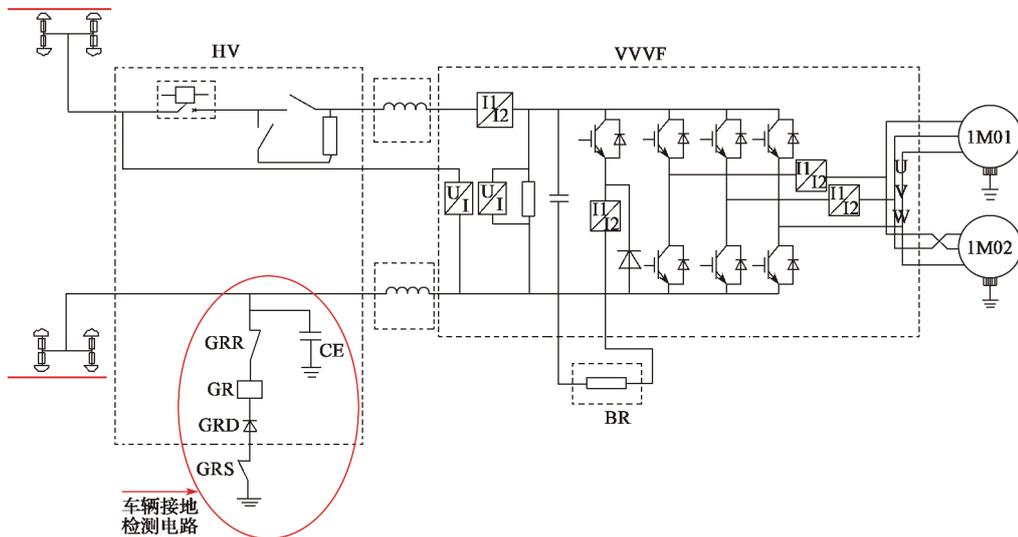


图2 主电路原理图

电抗器和牵引逆变器变换成频率、电压均可调的三相交流电，向异步牵引电动机供电。直流电流从逆变器负相回流，经电抗器、高压箱负相至回流轨。

### 2.2 接地检测控制电路

图2中红色圈标注的即为车辆接地检测电路，控制原理图如图3所示。

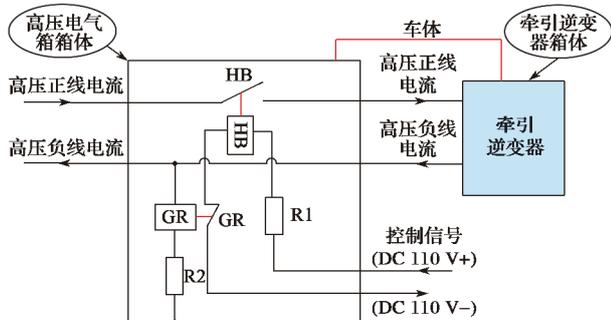


图3 接地控制原理图

从图3中可看出，接地检测电路中GR继电器线圈与电阻R2串联，一端接在高压负线上，另一边接在高压电气箱的柜体上，一旦高压电气箱柜体带电，GR继电器即会动作。

所有箱体之间通过车体短接，任意位置发生高压漏电后，车体带电，将导致所有柜体都带电，GR继电器也会动作。由于辅助触点串联在高速断路器HB的控制线圈电路中，一旦GR动作，辅助触点断开，高速断路器的控制电路失电，高速断路器自动断开，隔离后端高压电路，从而起漏电保护作用。

### 3 地面供电系统的接地保护设计

如图3，车辆如果发生高压漏电后，车辆自身可以

完成检测并及时跳开高速断路器进行保护。高速断路器只能切断后端电路，如果高压漏电发生在高速断路器的前端，则车体仍旧带高压，由于列车通过第三轨回流，整车轮对为橡胶轮对，整车绝缘，虽然漏电造成整个车体带电，但车辆运行过程中，整车电位相同，所以乘客不会发生触电危险；如果列车进站停车后列车带电，乘客在下车过程中，由于列车对于大地有电势差，乘客跨出地铁过程中即会发生触电，这样就需要采取额外的措施来保障乘客的绝对安全。

车辆进站停车过程中，车辆必须与大地等电位，否则一点有电位差乘客即会有触电风险，所以需要在车辆设置接地碳刷，车站内设置接地轨/接地带，以保证车辆进出站过程中，车辆与大地等电位。与此同时，地面供电系统也需要设置接地检测功能，在车辆有高压漏电时及时跳开正线高压，从而保障乘客安全。

如图4为地面供电接地检测的原理图。供电侧由整流器、正/负极电源柜、上网隔离开关柜构成。接地检测由继电器KA和并联电阻R完成，当流过电阻R电流超过40A后，继电器KA会动作，KA动作后供电系统会跳开上网隔离开关柜，供电区间断电。

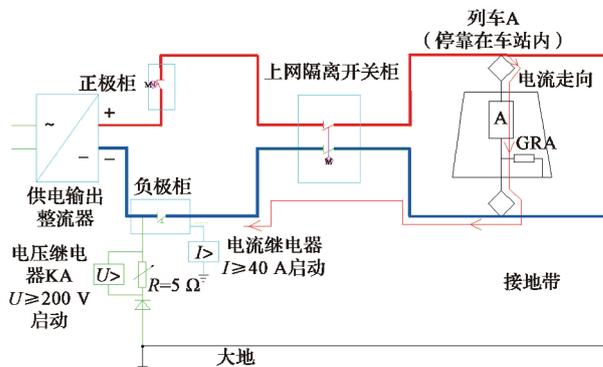


图4 地面供电接地检测控制原理图

图4中列车A的高压电流路径为：正轨受流器—车辆高压器件—逆变器—负轨受流器。

下面针对列车在运行过程中及列车进站过程中接地故障检测进行分析说明。

1) 列车在运行过程中

列车在运行过程中如果发生高压漏电, 如图 5, 则电流路径为: 正轨受流器—车体—GRA 继电器—负轨受流器。可以看出列车高压从正轨受电, 负轨回流, 所以供电系统此时无法检测接地故障, 只能靠列车本身的接地检测电路检测接地故障。检测到接地故障后, 列车 A 断开高速断路器, 切断该车高压电路, 列车停止工作。

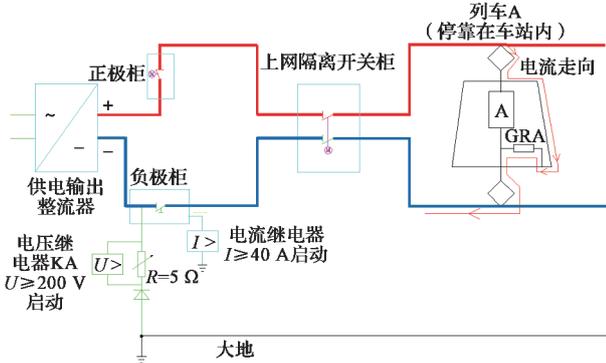


图 5 列车运行过程中电流路径

2) 列车在进站过程中

列车在进站过程中如果发生高压漏电, 如图 6 所示, 由于列车此时车体与大地短接, 所以存在 2 个电流路径: 电流路径 1, 正轨受流器—车体—GRA 继电器—负轨受流器; 电流路径 2, 正轨受流器—车体—车体接地碳刷—地面接地带—大地—电阻 R—负轨。此时列车检测到 GRA 继电器动作会断开高速断路器, 供电系统检测到 KA 继电器动作后, 供电系统会跳开上网隔离开关柜, 供电区间断电, 实现双重保护, 以保证乘客上下车过程中的安全。

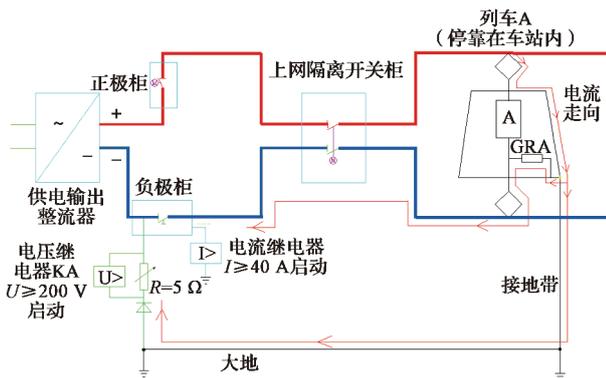


图 6 列车进站过程中电流路径

4 车辆过断电区对地面接地保护设计影响分析及对策

重庆地铁 3 号线的跨座式单轨采用的是第三轨受流和第三轨回流, 所以车辆上设置了正负轨的受流器, 需要考虑不同供电区回流是否会引起接地检测误报故障。

图 7 为重庆 3 号线现有车辆受流器布置图。

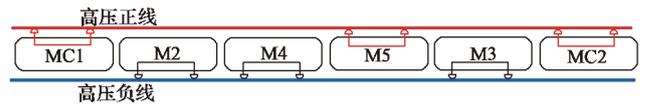


图 7 受流器布置图

图 7 中 MC1 车、M5 车、MC2 车布置正线受流器, M2 车、M4 车、M3 车布置负线受流器。

当列车高压母线不重联的情况下, 正线受流器只给本节车和临车供电。如 MC1 车正线受流器只给 MC1 车和 M2 车供电, 最终从 M2 车负轨回流。同时由于第三轨不同变电所之间供电不能重联, 三轨存在断电区。当列车母线不重联经过第三轨断电区时, 如果断电区不够长, 出现如图 8 的工况, 此时列车的正线受流器和负线受流器在不同的供电分区, 无法直接构成回路。由于地面供电存在接地检测电路, 负轨与大地之间有一个 5 Ω 的电阻, 所以高压电只能通过 MC1 车受流器、MC2 车用电设备、M2 车负受流器、B 供电分区负轨、B 供电分区接地检测电阻 R、大地、A 供电分区接地检测电阻、A 供电分区负轨的路径回流。A 供电分区的接地保护继电器即会起保护动作, 造成误动作。所以列车母线如果不重联, 则必须规避该问题。解决该问题有 2 种方式: ①正负受流器设置在同一辆车两侧的车长度方向的同一位置; ②电阻串联二极管, 当大地电压高于负轨时导通, 当负轨电势高于大地时不导通, 如图 9。

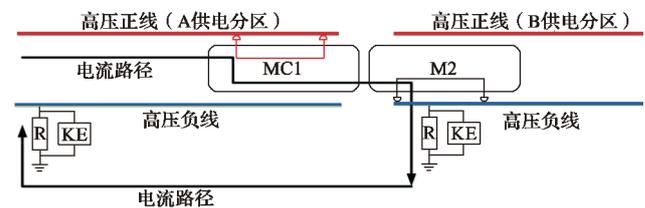


图 8 列车经过断电区 (情况 1)

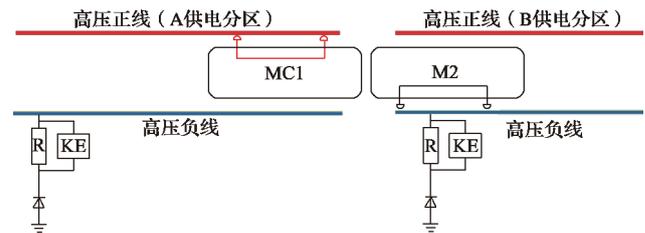


图 9 列车经过断电区 (情况 2)

当列车高压母线重联的情况下, 由于经过断电区过程中, 一定存在正线负线受流器不在同一个供电分区, 如列车是高压母线重联的, 则变电所的接地检测电路中必须串联二极管。

5 结语

本文介绍的接地检测电路主要应用于重庆市轨道交通 3 号线, 运营已经超过 1 年, 运营状况良好、保护可靠、无误动作, 同时越来越多的城市也加入了跨座式单轨的建设行列中, 该种接地保护电路也得到了越来越广的应用。

随着我国城市的蓬勃发展,大城市对轨道交通的需求更加强烈,但部分城市或地区由于受地理环境因素影响,不适合建设地铁,例如山城重庆,需要很大的爬坡能力的车辆,所以采用单轨。由于单轨具有爬坡能力强的特点,车辆轮对必须采用橡胶轮对,从而导致了列车与大地的电隔离,必须由第三轨回流。为了保障乘客的安全,无论是车辆还是供电系统的接地检测必须安全可靠。

参考文献:

[1] 丁荣军, 陈文光. 地铁车辆用交流传动系统的设计 [J]. 机车电传动, 2001(5): 17-19.  
 [2] 陈文光, 丁荣军. 国产化北京地铁列车牵引电传动系统设计 [J]. 机车电传动, 2006(4): 31-36.

[3] 李伟, 陈文光, 陈超录, 等. 重庆地铁6号线车辆牵引与电制动特性设计及性能计算仿真 [J]. 机车电传动, 2012(5): 31-32.  
 [4] 余梦华. 框架故障保护与轨点位限制装置保护配合 [J]. 城市轨道交通, 2003(5): 31-32.  
 [5] 周才发. 单轨跨座式快速交通牵引直流系统接地保护的探讨 [J]. 城市轨道交通, 2010, 23(1): 93-96.  
 [6] 杜子学, 杨林, 文孝霞. 跨座式单轨列车牵引计算仿真系统 [J]. 机车电传动, 2010(1): 52-54.  
 [7] 杨进锋, 胡家喜, 罗剑波. 变流器的接地检测电路 [J]. 大功率变流技术, 2015(3): 29-34.

作者简介: 王 龙 (1987-), 男, 工程师, 现从事地铁牵引系统设计工作。

(上接第 83 页)

[6] YU Z G, HUANG Q, LI J X, et al. Distributed control system for a humanoid robot[C]//Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Harbin: IEEE, 2007: 1166-1171.  
 [7] 张立伟, 卢震宇, 张全柱, 等. SS4B 型电力机车辅助供电系统的升级改造 [J]. 机车电传动, 2014(4): 96-99.  
 [8] 张全柱, 邓永红, 黄成玉. 电力机车辅助电机供电系统的设计 [J]. 电源技术, 2010(4): 391-394.  
 [9] 廖传书, 李崇. CAN 总线控制器与 DSP 的接口 [J]. 电子技术应用, 2002, 28(11): 75-77.  
 [10] 於新华, 曹少中. 基于 DSP 的多电机同步控制 CAN 总线通讯 [J]. 北京印刷学院学报, 2011, 19(4): 42-45.  
 [11] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术 [M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.  
 [12] 孙萍. 基于 CAN 总线的数据采集与监控系统的设计 [J]. 吉林建筑工程学院学报, 2009, 26(2): 83-85.  
 [13] 袁爱进, 唐新明, 乔毅, 等. CAN 现场总线系列仪表一种通用化软件设计技术 [J]. 计算机工程, 2001, 27(4): 144-146.  
 [14] 饶运涛, 邹继军, 郑勇芸. 现场总线 CAN 原理与应用技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.  
 [15] 熊福昌. 汽车 CAN 总线通信技术研究 [D]. 武昌: 武汉大学, 2009.

[16] 肖洪祥, 匡晚成, 雷亚平. 基于 CAN 总线的煤矿远程监控系统 [J]. 微计算机信息, 2008(23): 73-74.  
 [17] 黄成玉, 邓永红, 张全柱. 一种新型 CAN 总线的煤矿粉尘监控系统 [J]. 煤矿安全, 2012, 43(8): 95-97.  
 [18] 徐科军, 陶维青. DSP 及其电气与自动化工程应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.  
 [19] 宁改娣, 骆一萍. DSP 控制器原理及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.  
 [20] 高阳, 潘宏侠, 吴升, 等. 基于 DSP 的电力设备远程监测分析系统 [J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 127-131.  
 [21] 荣梅, 王宏华, 伊斌. DSP 内嵌 eCAN 模块在微机保护测控系统中的研究与设计 [J]. 机械设计与自动化, 2010, 39(1): 107-109.  
 [22] 陈飞, 谢建. 基于 CAN 总线的网络监控系统调度算法研究与改进 [J]. 计算机与现代化, 2015(1): 92-101.  
 [23] MERRILL W, KIM J H, LALL S, et al. Distributed Engine Control Design Considerations [R/OL]. (2012-06-26) [2018-01-18]. <https://doi.org/10.2514/6.2010-6749>.

作者简介: 张全柱 (1965-), 男, 博士, 教授, 副院长, 主要研究方向为电力电子与电力拖动、计算机测控技术、煤矿电气设备技术等。

动态消息

欢迎订阅《机车电传动》

《机车电传动》期刊国内通过邮局发行, 欢迎读者到当地邮局订阅。国内定价每册 15 元, 全年 90 元。国内邮发代号 42-17, 国外发行代号 BM353。

《机车电传动》编辑部