

郑州地铁1号线列车牵引系统典型故障分析

刘腾飞, 许大为, 杨伟, 吴帅杰

(郑州市轨道交通有限公司运营分公司 车辆中心, 河南 郑州 450000)

摘要: 简要介绍了郑州地铁1号线一期工程地铁车辆电气牵引系统的主要部件及其作用, 如受电弓、高速断路器、牵引逆变器、牵引电机等。结合现场情况, 对各主要部件的一些典型故障进行了分析, 供牵引系统的设计和维护人员参考。

关键词: 地铁车辆; 牵引系统; 系统构成; 故障分析; 郑州地铁1号线

中图分类号: U231; U269.6 **文献标识码:** B
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.03.026

郑州地铁1号线列车采用中车株机公司生产的B型车, 为4动2拖编组。正线采用刚性接触网受流方式, 供电电压DC1 500 V。牵引系统采用西门子提供的紧凑型逆变器系统, 该系统采用无速度传感器直接转矩控制。列车采用再生制动与空气制动混合控制, 电制动优先。列车无车载制动电阻, 但安装过压保护电阻, 将制动电阻地面化^[1]。

1 牵引系统部件介绍

牵引系统主要部件包括受电弓、高速断路器、牵引逆变器、牵引电机等。

1.1 受电弓

受电弓采用TSG18G1型受电弓, 气囊充气后通过钢丝绳带动下臂杆转动实现升弓, 排气后依靠自重降弓。通过绝缘子安装于车顶, 每个单元的MP车安装1个, 给本单元的牵引和辅助系统供电。

TSG18G1型受电弓为单臂式受电弓, 如图1所示, 具有占用空间小, 重量轻, 弓头归算质量小的特点。基本技术参数有: 电压工作范围DC1 000~2 000 V, 运行速度120 km/h, 额定工作气压550 kPa, 标称静态力 (120 ± 10) N, 绝缘子高度80 mm, 电气间隙大于等于30 mm^[2]。

1.2 高速断路器

高速断路器使用的是赛雪龙UR6系列, 它是一种

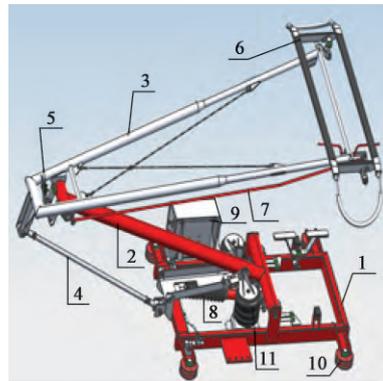
通过空气自然冷却的直流高速限流断路器, 其设计使其具有自由脱扣、快速分断、检测线路短路的功能, 并在分断过程中快速熄灭过电压产生的电弧, 所以其主要作用是在较短时间内对检测到的过载电流作出反应。1台高速断路器用于保护1节动车, 每个单元的2台高速断路器集中安装在MP车车底的高压箱中。郑州地铁1号线高速断路器自动跳闸的限流值设定为DC 1 800 A。

1.3 牵引逆变器

采用DC H1 500 FA重型紧凑型逆变器, 其主要作用为将接触网直流电压逆变成幅值和频率可变的三相交流电压驱动牵引电机, 再生制动时将三相交流电压整流成直流电压反馈至接触网。牵引箱主要由以下部件组成: 预充电接触器和线路接触器, 包含IGBT控制电路和直流回路电容器的电压源逆变器模块, 含IGBT控制电路的制动斩波器部分, 电流和电压传感器, 逆变器控制单元(包含接触器控制部分), 牵引风机等。逆变器基本技术参数有: 输入额定电压DC 1 500 V, 输出电压三相交流0~1 480 V, 输出频率0~130 Hz, 输出电流有效值三相交流400 A, 最大同步脉冲频率500 Hz等^[3]。

1.4 牵引电机

采用西门子公司1TB2010-1GA02系列牵引电机, 经齿轮箱与动车的驱动轮对机械连接, 按照运行要求提供牵引力和制动力, 使车辆加速或制动。在列车制动过程中, 牵引电机作为发电机工作, 将动能再生为电能。每台动车转向架配有2台牵引电机。电机驱动端采用深沟球轴承, 非驱动端为圆柱滚子轴承, 通过



1—底座; 2—下臂杆; 3—上框架; 4—拉杆; 5—电流连接组装; 6—弓头组装; 7—平衡杆; 8—阻尼器; 9—气阀箱; 10—绝缘子; 11—气囊

图1 TSG18G1型受电弓

非驱动端的内部风扇自通风冷却。主要技术参数有：额定电压 1 050 V，额定电流 132 A，额定输出 190 kW，额定频率 61 Hz，额定转速 1 800 r/min。

2 牵引系统典型故障分析

2.1 受电弓底架与位置传感器线夹放电

列车在正线调试时，司机突然听到车顶异响，立即施加紧急停车后发现受电弓位置处有冒烟现象。列车回库后蹬车顶检查发现，受电弓底架与其下方的位置传感器线夹有明显的放电痕迹，受电弓底架有明显的灼烧痕迹，位置传感器线夹被炸开。受电弓底架和接触网同电压，线夹为金属材质，通过螺栓与车体连接在一起，所以其与车体同电位。根据欧洲标准 EN 50124-1:2001 计算，车顶电气设备电气间隙至少为 14 mm 以上，测量线夹和底架之间的间隙仅为 10 mm。在潮湿的环境中，有凝结水和灰尘时，极易发生放电现象。厂家对此进行整改，将线缆固定线夹偏离底架，电气间隙大于 30 mm，整改后再未发生类似故障。

2.2 高速断路器频繁动作导致牵引封锁

司机在日常培训紧急牵引时，出现 4 个牵引图标红点，复位高速断路器无效，重启列车后恢复正常。下载 VCU 数据，故障时刻显示为：牵引失效、频繁跳高速断路器等信息。

查找 SIBAS G 逻辑控制软件，发现频繁跳高速断路器将导致牵引失效和封锁。

高速断路器频繁动作不仅会对牵引系统造成冲击，对高速断路器造成损害，而且还会严重影响使用寿命。西门子公司软件设定 5 min 内分高速断路器分断超过 5 次，即会输出高速断路器频繁动作。紧急牵引模式下，有方向指令时高速断路器自动吸合。

与司机沟通发现，司机在站台分断高速断路器 2 次后，打紧急牵引模式，此后将方向手柄向前，随后拉至向后，最后拉至向前，到下一站取消紧急牵引模式。5 min 内共出现 5 次分断高速断路器，所以牵引封锁。

高速断路器频繁动作，封锁牵引为自我防护，非紧急牵引模式下动作方向手柄不会分断高速断路器。针对此情况，对司机进行培训，要求紧急牵引模式下尽量不要频繁操作方向手柄。

2.3 TCU 供电接触器不可靠

车辆正线运营过程中出现一节动车牵引图标红点，车辆停止分合高速断路器后红点消失，运营过程中又间隔几分钟出现一次，最后该车清客退出服务。列车回库后下载 TCU 数据，显示为：牵引故障、TCU 同 ICU 通信故障、ICU 封锁高速断路器等。

根据故障处理经验，初步判断 TCU 故障，将该车 TCU 进行更换。更换后自检成功，在做其他功能检查时突然该车牵引图标再次显红，下车检查 TCU，发现其供电指示灯不亮，因此可以将故障点锁定至其供电

回路。供电电路如图 2 所示，测量 1 点电压为 DC 110 V，6 点无电压，测量中间触点电压时，红点突然消失，所以判断该接触器触点工作不可靠导致 TCU 供电异常，致使牵引电机图标显红并自动消失的故障现象出现多次。更换该继电器后多次重新激活列车，做牵引自检，车辆均正常。

将该故障接触器发往厂家进行分析，拆解后发现其有触点烧熔现象，结合回路电流测试结果及基于同一平台的其他地铁项目相同回路测试情况，判定为西门子公司牵引控制单元冲击电流过大导致触点烧熔，造成触点接触不良。因此，对该接触器重新进行选型，由西门子 3RT1017 系列更换成施耐德 LC1D32 系列，整改后车辆再未发生此类故障。

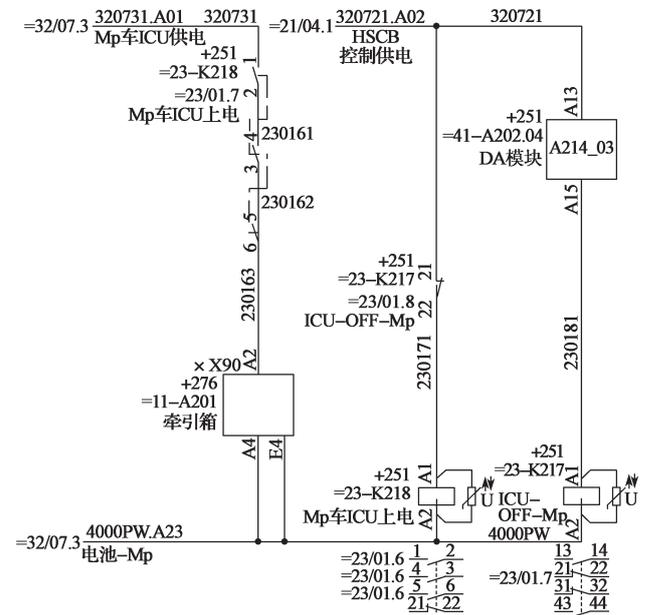


图 2 ICU 上电电路图

2.4 TCU 同 ICU 通信故障

车辆正线运营时 HMI 出现牵引图标显红但瞬间消失现象。车辆回停车场后下载 TCU 数据，显示为 TCU 同 ICU 通信故障。检查通信插头触点及检测线缆导通性能，均未发现异常，检查供电接触器无异常，为后续查清故障原因，将该车 TCU 同他车互换^[4]。1 天后，该车在停车场热备时此故障再次出现，于是将该车 ICU 与另一车的互换，重启列车后故障未能转移，可排除 TCU 和 ICU 部件的问题，但仍无法判断故障原因。该车从停车场回车辆段的过程中，故障消失，回库后检查通信线缆及插头仍未发现异常。在库里多次进行牵引自检及试车线运行，均未再现故障，随后安排该车上线运营。

运营 2 周后，该故障再次出现，将故障信息反馈至厂家，厂家怀疑通信插头或线缆异常。同正常车辆比较，发现该车 ICU 指示灯仅亮 1 个，用万用表测量 ICU 供电插头各触点电压，然后同正常车辆相同触点电压进行比较，发现其中一排触点无 -24 V 电压。将

该车 ICU 供电电源同他车电源互换, 然后再次测量插头触点电压值, 未发生转移, 可以排除电源问题, 故障锁定到供电线缆及插头, 检查输入输出插头, 未发现触点生锈及其他异常。检查供电线缆时发现在箱体另一部位有一线缆中间连接插头, 打开插头发现有缩针现象, 如图 3 所示。将该插头插针重新压装后连接插头, 重启列车, 故障消失。所以导致此故障的最终原因为: ICU 供电插头插针未安装到位, 出现缩针现象, 运营过程中车辆振动导致接触不可靠, 产生通信故障。

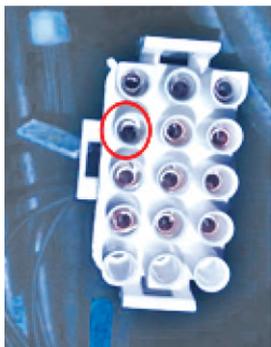
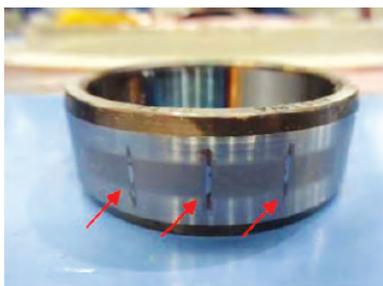


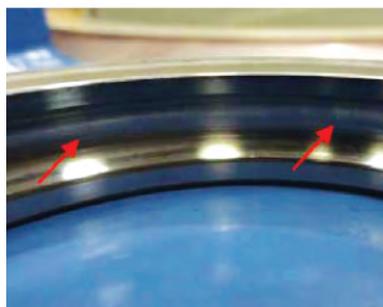
图3 插头缩针现象

2.5 牵引电机异响

1 号线车辆在调试初期发现有多台牵引电机运行时存在“咯噔”的异响, 将异响严重电机返厂拆卸检查。电机非驱动端圆柱滚子轴承外观无异常, 内外圈配合正常, 解体后发现内、外圈滚道在承载区有明显压痕, 压痕以滚动体间距与端面垂直分布, 压痕长度与滚动体长度相近, 但滚动体无明显压痕, 如图 4 (a) 所示; 电机驱动端轴承外观也无异常, 解体后发现外圈滚道有轻微压痕, 内圈和滚动体无明显损伤, 如图 4 (b) 所示。



(a) 圆柱滚子轴承



(b) 深沟球轴承

图4 轴承损伤图

圆柱滚子轴承为典型的假性布式压痕损伤。假性

布式压痕产生的可能原因有: 存储不当, 配合过松, 轴承选择不当以及冲击振动等。

由于该电机为成熟产品, 可排除轴承选择不当及配合过松问题, 存储时间短并且环境正常, 结合异响车辆均采用过公路运输的情况, 因此确认假性布氏压痕是转子在非运动状态下的振动冲击造成的。

当电机转动时, 外界的冲击振动会作用到整个内外圈轨道和滚动体表面; 电机静止时, 外界的冲击振动会使滚动体沿轴承的轴向和径向游隙在内外圈接触面上做微幅运动, 因滚动体材料硬度大于内外圈轨道面硬度, 经过一定时间或振动后, 滚动体会在内外圈滚道接触面留下压痕, 即假性布氏压痕。因深沟球轴承滚动体为点接触, 可以承受一定的轴向载荷, 所以线接触的圆柱滚子轴承更容易出现损伤^[5]。轴承损伤后, 电机转子转动时, 滚动体经过压痕时产生振动并发出异响, 通过转子传递并放大后传至外部就是听到的“咯噔”声。

由于整车从供应商到现场采用大型平板车公路运输, 并且电机在公路运输时未将运输锁锁紧, 所以运动过程的冲击振动导致轴承出现了假性布氏压痕。针对此现象安排班组检修人员开展车辆日常异响监听工作, 发现异响严重的及时更换牵引电机, 异响轻微的缩短润滑周期并进行跟踪。

3 结语

运营 3 年来, 郑州地铁 1 号线牵引系统总体表现良好, 可靠性高。所以除生产厂家设计制造中进一步改进工艺外, 运用维保人员也应该提高应用水平。

参考文献:

- [1] 吴安伟, 谢春华, 王建光, 等. 制动电阻地面化在郑州市轨道交通 1 号线的应用 [J]. 机车电传动, 2014(5): 81-83.
- [2] 冯鹤腾. 广州地铁 1 号线受电弓整体替换改进分析 [J]. 机车电传动, 2015(6): 86-90.
- [3] 株洲-西门子牵引设备有限公司. 郑州市轨道交通 1 号线一期工程车辆牵引系统维护手册 [Z]. 株洲: 西门子中国有限公司, 2013.
- [4] 宋朝斌, 温志强, 宋福. 深圳地铁 3 号线列车牵引系统通信故障分析及改进 [J]. 现代城市轨道交通, 2012(3): 32-35.
- [5] 李宽宏. 成都地铁牵引电机轴承异响故障分析 [J]. 科技传播, 2015(19): 40-41.

作者简介: 刘腾飞 (1989-), 男, 硕士, 工程师, 从事地铁列车技术管理工作。