

北京地铁房山线第三轨供电断轨区的车辆过压故障原因分析及解决措施

高利华

(北京市地铁运营有限公司运营二分公司, 100043, 北京//高级工程师)

摘 要 综合车辆过压故障记录及第三轨供电断轨区情况后,对北京地铁房山线车辆过压故障原因进行分析。提出了改变母线贯穿形式、优化牵引系统控制功能、改善ATO(列车自动运行)模式下的通过状态和改变车辆折返时的进出方式等四种解决方案。从运营角度对四种解决方案的特点进行了论述。确定了优化牵引系统控制功能的方式更符合现场条件,并通过该方案的实施消除了运营隐患。

关键词 地铁车辆;第三轨供电;断轨区;过压故障

中图分类号 U231+.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.10.037

Cause Analysis and Solutions of Vehicle Over-voltage Fault in the Third-rail Power Supply Track Breakage Area on Beijing Metro Fangshan Line

GAO Lihua

Abstract Based on the vehicle overvoltage fault records and third rail power supply of the track breakage area, the causes of the overvoltage fault of the vehicles on Beijing metro Fangshan Line are analyzed. Four solutions are proposed, including changing the bus penetration form, optimizing the control function of the traction system, improving the passing state under ATO (automatic train operation) mode, and changing the access mode when the vehicles turn back. From the perspective of operation, the characteristics of the four solutions schemes are discussed. It is concluded that the measure of optimizing traction system control function suits the site condition better, and hidden dangers of operation are eliminated through implementation of the scheme.

Key words metro vehicle; third rail power supply; track breakage area; overvoltage fault

Author's address Beijing Metro Operation Co., Ltd., 100043, Beijing, China

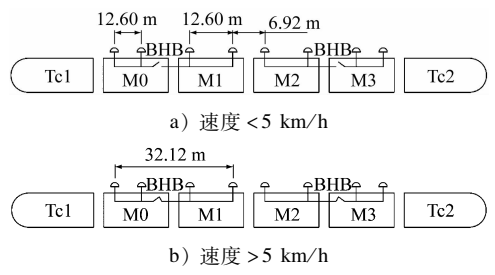
基于第三轨供电方式的城市轨道交通线路特点,供电轨断轨区的存在往往不可避免,尤其是在

线路折返段及车辆段入库段,此种情况更为常见。而断轨区的长度与车辆受流器跨度的匹配关系,可能会导致车辆欠压故障,乃至过压故障的发生。

北京地铁房山线(以下简称“房山线”)阎村东站开通后,车辆在上行ATO(列车自动运行)模式进站过程中,频繁出现主电路直流过压、HB(高速断路器)异常分断故障,造成牵引逆变器停止工作而影响列车牵引性能。现对其故障原因进行分析,并提出解决措施。

1 房山线基本概况

房山线列车为4动2拖6辆编组,DC 750 V 第三轨供电,采用列车单元内牵引母线贯穿的方式。房山线车辆受流器跨度示意图如图1所示。M0车和M3车设有BHB(母线高速断路器),当列车速度高于5 km/h时,由继电器控制BHB闭合。当列车速度低于5 km/h时,本车的受流器中心跨度为12.6 m;当列车速度大于5 km/h时,1个单元的受流器跨度为32.12 m。



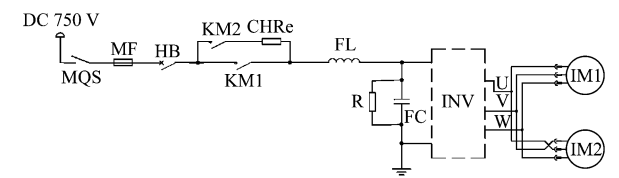
注:Tc为带司机室的拖车;M为动车。

图1 房山线车辆受流器跨度示意图

Fig. 1 Schematic diagram of vehicle current collector span on Fangshan Line

如图2所示,列车HB闭合后,充电接触器(KM2)在牵引控制单元(DCU)控制下闭合,网压经充电电阻(CHRe、R)向电容(FC)进行充电。当

FC 充电至一定值后,线路接触器(KM1)闭合,KM2 断开。牵引工况时,DC 750 V 直流电由受流器从供电轨接入,经线路主隔离开关(MQS)、主熔断器(MF)、HB、KM1 和滤波电抗器(FL),向牵引逆变器供电。牵引逆变器输出电压、频率可调的三相交流电,供给牵引电动机(IM1、IM2),以驱动列车运行。



注:INV 为逆变器。

图 2 房山线车辆牵引主电路原理

Fig. 2 Traction main circuit principle of vehicles on Fangshan Line

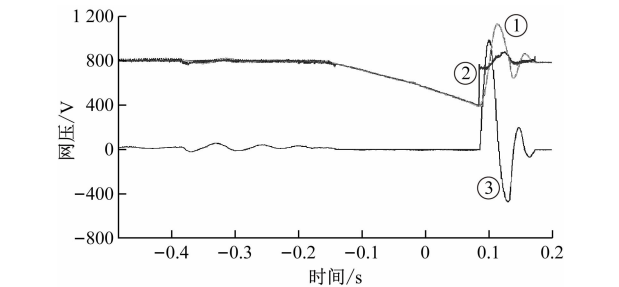
当网压或中间电压高于 1 000 V 或低于 500 V 时,DCU 通过控制 HB、KM1、KM2 等分断,以实现隔离保护。

2 房山线车辆牵引主电路过压故障原因

2.1 故障记录分析

房山线车辆主电路过压问题频繁发生在阎村东站上行进站过程中。其发生故障时,运行模式为 ATO 模式,牵引级位在 1 级,车速约为 25 km/h,故障代码为主电路直流过压,HB 被异常分断。

图 3 为房山线车辆牵引主电路发生故障时中间电压、网压及牵引电流波动情况。故障记录显示:房山线车辆牵引主电路欠压故障发生前的 150 ms 至故障发生后的 75 ms,中间电压和网压同步由 800 V 下降至 400 V;当主电路欠压发生约 75 ms 后,网



注:时间轴 0 点为欠压故障触发点;①为中间电压曲线;②为网压曲线;③为中间电流曲线;横坐标中,负值表示故障发生前的时间,正值表示故障发生后的时间。

图 3 过压故障时中间电压、网压及牵引电流变化曲线
Fig. 3 Fluctuation curve of intermediate voltage, network voltage and traction current during overvoltage failure

压瞬间恢复到 750 V,牵引电流升高,随后中间电压由 400 V 提高至 1 000 V 以上,致 HB 分断。

2.2 故障原因分析

房山线阎村东站长折返方式为站后折返。其折返作业时,由阎村东站长下行站台经直线进入折返线,车辆变换操作端后再经折返道岔,从下行方向运行至上行方向,驶入阎村东站长上行站台。折返过程中,房山线途径 3 个断轨区段,长度分别为 9.2 m (断轨区①)、34.8 m (断轨区②)和 19.2 m (断轨区③),如图 4 所示。

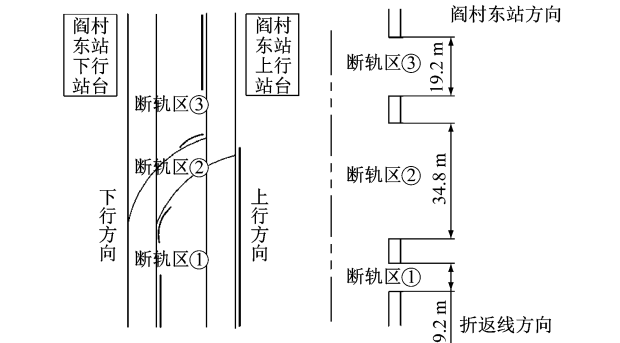


图 4 房山线阎村东站长折返线 3 个断轨区段布置示意图
Fig. 4 Layout of three track breakage sections of turn-back line at Yancun East Station of Fangshan Line

当列车的 M1 车第二组受流器驶入断轨区②时,M0 车第一组受流器还未能进入下一个供电段,无电区长度约为 2.68 m (未计算受流器宽度),如图 5 所示。

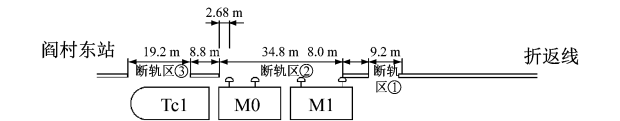


图 5 房山线阎村东站长断轨区情况示意图
Fig. 5 Schematic diagram of track breakage area at Yancun East Station of Fangshan Line

通过对车辆牵引主电路原理进行分析发现:中间电压过压的直接原因为车辆通过无电区时,在 FC 较低时进行了牵引操作,再次搭接供电轨后,电网直接对 FC 充电,致使电流变化率(di/dt)激增,FL 产生较大感应电动势,使 FC 超过 1 000 V 过压保护门槛值,才造成主电路直流过压故障。电网直接对 FC 充电的原因是由于车辆通过无电区的时间较短,约为 390 ms (按车辆速度约 25 km/h、无电区长度为 2.68 m 计算),未能达到牵引系统欠压保护时间,又再次受流导致。根据欠压保护逻辑,当中间电压低

于 500 V,并持续 50 ms 时,DCU 控制接触器分断,实施欠压保护。DCU 控制接触器接收指令后,需 435 ~ 455 ms 的机械动作时间,才能确保电路有效分断,而整个欠压保护动作时间长于无电区通过时间。

综上所述,房山线阎村东站车辆牵引主电路直流过压而使 HB 分断的原因为阎村东站折返区段存在 34.8 m 长的大断轨区,较车辆的一个牵引单元略长。房山线车辆在无电区牵引操作,使中间电压降至较低的水平,短暂时间后再次恢复供电,此时牵引系统未能有效进行欠压保护,较大电流直接对滤波电容进行充电,因而发生主电路过压保护。

3 房山线阎村东站过压故障解决措施

根据房山线阎村东站过压故障原因的分析,从缩短车轨间无电区、缓解中间电压下降等角度考虑解决方案的可行性,现提出以下 4 种解决方案。

3.1 采用全列牵引母线贯穿的接线方式

原房山线采用单元内牵引母线贯穿的接线方式,改为全列牵引母线贯穿的接线方式可提高车辆通过断轨区能力。如图 6 所示,更改后的车辆最大受流器跨度可由 32.12 m 提升至 71.16 m,远大于 34.8 m 断轨区,以消除车轨间无电区的存在。

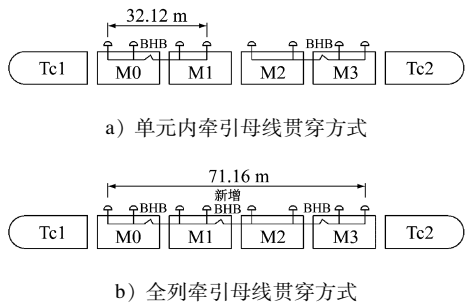


图 6 两种牵引母线贯穿方式对比示意图

Fig. 6 Comparison diagram of two traction bus penetration modes

采用全列牵引母线贯穿的接线方式需对车辆牵引母线进行局部改造,同时需考虑 HB 的选型问题。根据既有车辆单元牵引母线贯穿的接线方式,最大电流约为 2 000 A(包括单组车牵引电流和辅助电源电流),当变更为全列牵引母线贯穿的接线方式时,如有 2 个动车落入断轨区,则牵引母线最大电流约为 3 600 A;如有 3 个动车落入断轨区时,牵引母线最大电流约为 5 400 A。因目前 DC 750 V 的地铁使用 HB 的最大电流整定值为 3 200 A,故改

造可能存在风险;且综合考虑最大电流对母线截面、受流器截面要求的影响及整改的施工难度,认为此改造方案不可取。

3.2 增加牵引系统微制动功能

牵引系统增加微制动功能,即当车辆检测到进入无电区时,若列车处于惰行工况或低级位牵引工况,则使逆变器进入微制动工况。该工况工作原理与电制动的类似。此功能通过抑制车辆通过无电区时中间电压的降低,从而避免过压问题发生。

增加微制动功能需对牵引控制软件程序进行优化:为了保障微制动功能精准应用,需对其触发条件和退出条件进行限定。牵引控制软件程序触发时,需先通过电压变换率、中间电压值等对进入无电区时机进行判断,然后通过级位和速度对车辆运行状态进行判断,以避免微制动功能的误触发。经试验,增加微制动功能可有效控制中间电压的波动,并同时可避免主电路过压和欠压问题的发生。

3.3 改善 ATO 模式下的通过状态

根据本文可知,房山线阎村东站车辆主电路过压故障原因为中间电压较低时,高级位牵引操作导致。由于房山线阎村东站最大断轨区位于通过折返道岔后的区段,长度约 34.8 m,此时 ATO 驾驶曲线设置为牵引工况。如优化 ATO 牵引曲线,采用惰行或制动工况通过该断轨区,避免因牵引造成中间电压快速降低,使中间电压与网压差值较小,可避免过压问题发生。

为验证方案的可行性,采用人工惰行驾驶通过该断轨区的方式进行试验,未再出现车辆主电路过压故障,因而证明优化 ATO 牵引曲线同样可避免过压故障发生,但对运营全周转时间存在 1 ~ 2 s 的影响。此方案实施需要对信号系统控制软件进行优化。

3.4 改变车辆折返时的进出方式

房山线阎村东站下行折返时,采用的是“直进弯出”的方式,经分析,无电区出现在折返道岔刚刚通过区段,且为保证折返时间,此区段 ATO 模式时采用牵引工况,故造成过压问题发生;如将折返路径变更为“弯进直出”的方式(如图 7 所示),由于断轨区位置紧邻折返端头,故 ATO 模式通过此区段时采用惰行或制动工况,可有效避免过断轨区时进行牵引操作。

此方案经现场试验验证,可避免车辆主电路过压问题发生,但欠压现象依然存在。

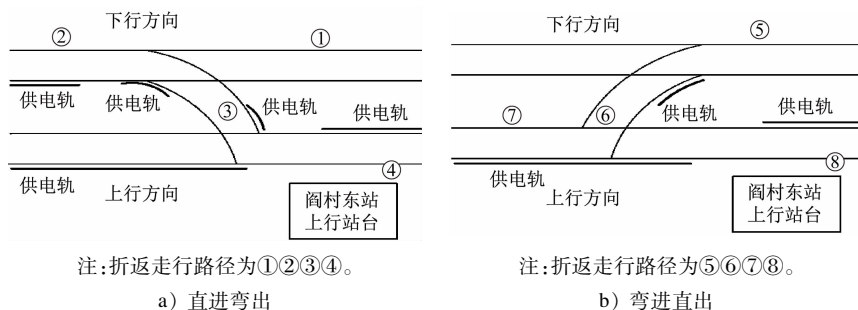


图 7 阎村东站折返方式调试示意图

Fig. 7 Schematic diagram of turn-back mode commissioning at Yancun East Station

4 结语

房山线阎村东站折返时车辆牵引主电路过压, HB 分断的原因为车辆在无电区牵引操作时产生较大电流直接对滤波电容充电,致使中间电压抬升,造成主电路过压保护。

针对房山线阎村东站车辆牵引主电路过压问题,本文提出了母线形式改为全列牵引母线贯穿的接线方式、增加牵引系统微制动功能、改善 ATO 模式下的通过状态、改变车辆折返时的进出方式等 4 种解决方案。

通过对 4 种解决方案研究发现,车辆牵引系统增加微制动功能的方案更适合房山线的具体情况,能有效解决阎村东站车辆牵引主电路直流过压问题。

参考文献

[1] 彭飞,马力. 第三轨供电方式下提高列车通过无电分区能力的

(上接第 193 页)

3 结语

对于复杂环境下的轨道异物,通过暗通道先验算法实现去雾处理,提高轨道异物检测系统对恶劣环境的适应能力;引入分权评价实现相邻两帧图像的数值融合,提高检测异物的准确率。但在图像二值化处理中,设定的阈值主观且固定,无法及时随环境改变。后续将深入研究其他恶劣环境对视频图像的抗干扰处理,以及对轨道异物侵入的预警识别。

参考文献

[1] 郭保青,朱力强,史红梅. 基于快速 DBSCAN 聚类的铁路异物

方案[J]. 城市轨道交通研究,2018(6):119.

PENG Fei, MA Li. Technical improvement of passenger train passing through electricity free area in third rail power supply mode [J]. Urban Mass Transit, 2018(6):119.

[2] 徐惠林. 第三轨供电地铁车辆列车母线电路的设计[J]. 机车电传动, 2002(5):40.

XU Huilin. Design of train bus circuit for metro vehicles with third rail power supply [J]. Electric Drive for Locomotives, 2002(5):40.

[3] 林浩,程永谊,曹俊. 第三轨供电列车高压母线电路拓扑结构设计探讨[J]. 机车电传,2013(2):91.

LIN Hao, CHENG Yongyi, CAO Jun. Analysis of train bus circuit topology for vehicles with third rail power supply [J]. Electric Drive for Locomotives, 2013(2):91.

[4] 徐绍龙,倪大成,刘良杰,等. 地铁列车无电区微制动技术的研究与应用[J]. 机车电传动,2013(1):30.

XU Shaolong, NI Dacheng, LIU Liangjie, et al. Study and application of adaptive micro-brake technology when metros passing no-electricity areas [J]. Electric Drive for Locomotives, 2013(1):30.

(收稿日期:2020-08-27)

入侵检测算法[J]. 仪器仪表学报,2012(2):241.

GUO Baoqing, ZHU Liqiang, SHI Hongmei. Intrusion detection algorithm for railway clearance with rapid DBSCAN clustering [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012(2):241.

[2] HE K, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12):2341.

[3] 游江,刘鹏祖,容晓龙,等. 基于暗通道先验原理的偏振图像去雾增强算法研究[J]. 激光与红外,2020(4):493.

YOU Jiang, LIU Pengzu, RONG Xiaolong, et al. Dehazing and enhancement research of polarized image based on dark channel priori principle [J]. Laser and Infrared, 2020(4):493.

(收稿日期:2020-07-25)