

## 城市轨道交通接触网绝缘锚段关节停车防熔断措施\*

王溢斐 何常红 王财华 王国梁

(中国铁路设计集团有限公司, 300308, 天津)

**摘要** [目的]城市轨道交通列车受电弓在接触网绝缘锚段关节范围停车造成的接触线熔断故障频繁发生,为避免此类故障,提高接触网安全服役性能,有必要开展接触网绝缘锚段关节停车防熔断措施研究。[方法]分析列车受电弓停在接触网绝缘锚段关节熔断接触线的原因,并提出改进措施。调研我国目前接触网绝缘锚段关节采用的管理措施,对绝缘锚段关节设置禁停标、采用负荷开关柜、采用分段绝缘器、采用带中性无电区段绝缘锚段关节、采用防熔断装置系统等多种解决方案进行技术经济综合比较分析,提出可避免此类故障,同时减少对行车组织能效影响的最优解决方案。[结果及结论]器件式分段绝缘器方案可实施性较好,配合设置禁停标,能够降低断线风险,建议新建线路采用器件式分段绝缘器。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,对既有线路改造影响较小,建议既有线路采用防熔断装置系统。

**关键词** 城市轨道交通; 接触网; 绝缘锚段关节; 防熔断措施

**中图分类号** U239.5; U225

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2025.05.041

### Anti-Fusing Measures for Urban Rail Transit Trains Stopping within the Catenary Insulated Overlap Section

WANG Yifei, HE Changhong, WANG Caihua, WANG Guoliang

(China Railway Design Corporation, 300308, Tianjin, China)

**Abstract** [Objective] The contact wire fusing failures frequently occur when pantographs of urban rail transit trains stop within the insulated overlap section of the catenary system. To prevent such failures and improve the safe service performance of the catenary system, it is necessary to conduct research on anti-fusing measures for trains stopping within insulated overlap sections. [Method] The causes of contact wire fusing when train pantographs stop within insulated overlap sections are analyzed, and improvement measures are proposed. By investigating current management measures for insulated overlap sections in China, a comprehensive technical and economic com-

parative analysis is conducted on various solutions, including setting no-stop signs at insulated overlap sections, using load switch cabinets, employing sectional insulators, adopting insulated overlap sections with neutral dead zones, and implementing anti-fusing device systems. The optimal solution that can avoid such failures while minimizing the impact on the energy efficiency of train operation is proposed. [Result & Conclusion] The sectional insulator solution demonstrates good feasibility in implementation. When combined with no-stop signs, it can effectively reduce the risk of wire breakage. It is recommended that sectional insulators be adopted for newly constructed lines. The anti-fusing device system does not require adjusting the existing sectional structure of the catenary system and only involves adding the trackside equipment, featuring minimal impact on the renovation of existing lines. Therefore, it is recommended that the anti-fusing device system be adopted for existing lines.

**Key words** urban rail transit; catenary; insulated overlap section; anti-fusing measure

城市轨道交通地下段接触网一般采用架空刚性悬挂方式,高架段接触网一般采用架空柔性悬挂方式,根据地铁相关规范及运营检修要求,在牵引所车站进站端需设置绝缘锚段关节。近年来,列车在接触网柔性悬挂绝缘锚段关节范围停车而造成的接触线熔断故障频繁发生<sup>[1]</sup>。在实际运营中,一般在绝缘锚段关节范围划定禁停区,规定列车禁止在绝缘锚段关节范围内停车,若列车无法避免在绝缘关节范围内停车,则要求司机降弓处理。虽然类似的规定能够防止出现此类故障,但划定过多的禁停区会降低行车组织能效,损耗列车追踪间隔时间,继而降低列车发车对数,这对于地铁高峰时期的客流压力而言尤为敏感。此外,列车采取频繁降弓措施时,考虑列车设备元器件的故障率,可能会增大列车降弓失效概率。因此,有必要研究一种可靠且有效的接触网绝缘锚段关节停车防熔断方案,

\* 中国铁路设计集团有限公司科技开发重大课题(2023A0151201)

从根本上解决此类问题。

本文通过分析列车停在接触网绝缘锚段关节出现熔断接触网的原因,提出了改进优化措施;经技术经济综合比较分析,提出了可避免此类故障,且能同时减少对行车组织能效影响的最优解决方案。本文研究可为提升城市轨道交通接触网安全服役性能提供工程经验与技术指导。

## 1 绝缘锚段关节内停车故障原因分析

结合地铁发生故障的实际案例来看,列车通常在早高峰期间排队进站,当列车停在车站外的接触网绝缘锚段关节范围内时,若司机没有降下受电弓,则会导致该区间其余列车的牵引电流从故障处的绝缘关节、受电弓碳滑板上穿越,穿越电流可达kA级别,该电流在受电弓与锚段关节工作支、非工作支搭接处的静态持续穿越时间可达数10 s。由于受电弓滑板与非工作支虚接会产生拉弧、放电现象,在弓网之间形成等离子体,穿越电流持续注入等离子体且持续升温,直至接触线熔断。接触线断线后搭接在车顶外壳上,导致前弓、后弓与接触网形成接地短路。绝缘锚段关节穿越电流示意图如图1所示。



图1 绝缘锚段关节穿越电流示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the through current in insulated overlap section

## 2 我国接触网绝缘锚段关节管理措施现状

根据TG/01—2014《铁路技术管理规程》要求,国铁在站场、区间接触网不同供电臂间的电分段两端需设电力机车禁停标,电力机车在该标志提示的禁停区域内不得停留。我国各地的铁路局也发布了电力机车禁停标管理办法,各供电段建立了接触网绝缘锚段关节管理台账。

我国的城市轨道交通柔性悬挂接触网绝缘锚段关节一般采用三跨或四跨关节。上海地铁在绝缘锚段关节设立了禁停标,要求列车在区间停车时,列车受电弓禁止停于此警告标志区域内,若因列车故障迫停于此警告区域内而列车不能动车时,应报告行调,并降下相关受电弓或根据行调命令执

行相关操作<sup>[2]</sup>。

杭州地铁规定,设置高架段柔性接触网锚段关节时,须配合信号专业的进站、出站信号机里程位置,且锚段关节不得设置于地铁列车停车范围内。

沈阳地铁绝缘锚段关节出现过列车停车后,前、后弓接触不同供电分区、烧断接触线等情况,为此沈阳地铁发布了《禁止停车标识牌安装方案》,在出、入段线接触网绝缘锚段关节或分段绝缘器处,应设置列车禁停标。

## 3 解决方案

### 3.1 设置禁停标志牌

参考既有国铁、地铁的相关解决方案,在绝缘锚段关节两端均设置禁停标志牌。标志牌的最外沿距线路中心距离应满足限界要求,禁停标志牌所标示的禁停区域长度应为该绝缘锚段关节两端所设电力机车禁停标之间的距离。禁停标志牌设置示意图如图2所示。

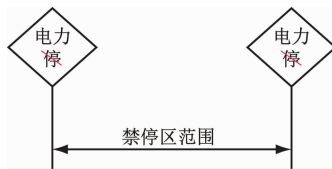


图2 禁停标志牌设置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of no-stop signs

根据TG/01—2014《铁路技术管理规程》及各铁路局管理办法要求,当列车在区间停车时,受电弓禁止停于此警告标志区域内,若因列车故障迫停于此警告区域内而不能动车时,应报告行调,并降下受电弓或根据行调的命令执行相关操作。

该解决方案在我国应用较多,其优点为实施方案简单、改造难度小,其缺点为列车追踪间隔时间会有损耗,且会降低列车发车对数。该方案适用于新建和既有线改造工程,以及客流较少的地铁线路,但不太适用于早、晚高峰客运量大、列车发车对数高的一线城市地铁线路。

### 3.2 采用负荷开关柜

城市轨道交通接触网绝缘关节处的联络开关一般采用电动隔离开关,但不能带负荷操作。近年来,苏州地铁、宁波地铁开始推广使用负荷开关柜。负荷开关柜能实现接触网在大双边供电工况下的不停电倒闸操作,完成大双边供电的不停电切换。负荷开关柜具备远程操控及就地操控功能、安全联

锁功能、视频监控功能,视频画面可在中心级或站级工作站上实时显示。负荷开关柜示意图如图 3 所示。

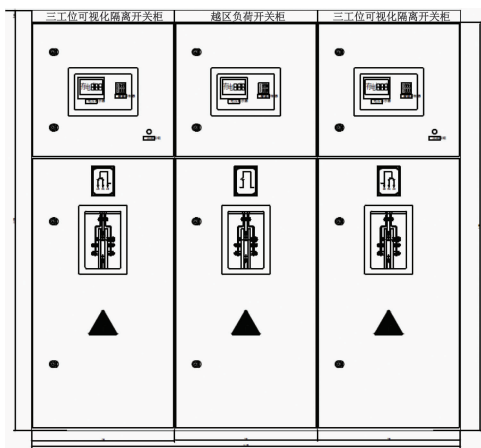


图 3 负荷开关柜示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the load switchgear

对于新建线路,接触网绝缘关节处的联络开关可采用负荷开关柜方案,负荷开关柜设置在轨旁,设计阶段与桥梁、限界专业配合,在设备安装范围内对桥面布置进行特殊设计,以满足负荷开关柜设备的安装要求。负荷开关柜也可根据情况设置在变电所设备房间,设计阶段与建筑、结构专业配合,预留设备安装空间、电缆夹层、孔洞、变电所至轨行区电缆敷设路径等条件。

该方案的优点为:绝缘锚段关节联络开关采用负荷开关柜。当列车受电弓停在绝缘锚段关节范围时,闭合负荷开关,将绝缘关节临时调整为非绝缘关节,锚段关节工作支与非工作支等电位,电流从关节电连接线穿越,避免在受电弓碳滑板、锚段关节工作支与非工作支之间产生较大的穿越电流,从而消除了导线局部过热导致熔断的风险。

该方案的缺点为:当列车临时停在绝缘锚段关节时,司机报告行调,再由电调远端操控闭合负荷开关,整个流程应急响应时间较长,存在安全隐患,因此需对负荷开关柜进行升级改造。在地面增加电子标签信标后,负荷开关柜系统能够具备自动感知与工况转换功能,这样能够缩短应急响应时间,实现负荷开关的快速动作与复位。

由于负荷开关柜设备尺寸较大,一般安装于地下车站端头井范围或变电所房间。对于高架段轨行区受限界、安装空间的限制,安装负荷开关柜较为困难,可通过在车站变电所增设站级监控主机,

以及变电所房间至轨行区增设二次控制线缆解决该问题,但对于既有线而言,其改造实施难度较大。

综上所述,接触网绝缘关节处的联络开关采用负荷开关柜的方案适用于新建工程。

### 3.3 采用分段绝缘器

根据 TB/T 3036—2016《电气化铁路接触网用分段绝缘器》规定,分段绝缘器适用于列车运行速度 $\leq 120$  km/h 的工况。我国城市轨道交通柔性悬挂接触网分段绝缘器品牌常见的有瑞士 Furrer + Frey、法国加朗、西门子、浙江旺隆等。目前,上海地铁、深圳地铁已有部分线路的牵引所车站采用分段绝缘器代替绝缘锚段关节。

城市轨道交通接触网电压等级为 DC 750 V 或 DC 1 500 V,列车设计速度一般不超过 120 km/h,进口分段绝缘器产品在理论上均能满足要求,但目前我国在城市轨道交通正线高架段采用分段绝缘器的项目较少,大部分项目正线高架段采用绝缘锚段关节,一般在出入段线、交叉渡线等低速区段采用分段绝缘器,分段绝缘器现场安装图如图 4 所示。



图 4 分段绝缘器现场安装图

Fig. 4 On-site installation diagram of the sectional insulator

分段绝缘器的优点有:①分段绝缘器安装长度较小,设备尺寸一般为 2 m 左右,列车停在分段绝缘器范围的概率远低于柔性绝缘锚段关节,且分段绝缘器具有消弧功能,能降低断线风险;②在既有线上增加分段绝缘器时,仅需增加上网电缆敷设,改造施工难度较小。

分段绝缘器的缺点有:①分段绝缘器不宜设置在加速区段、大坡道、半径较小的曲线段;②分段绝缘器作为接触网机械式的电气隔断,本体具有一定刚度,被视为“硬点”;③分段绝缘器两端存在电压差,受电弓碳滑板易磨损,分段绝缘器导流板工作面未与轨道平行易引起拉弧现象;④分段绝缘器应处于负驰度状态,当安装调整不当时,分段绝缘器处于正驰度状态,易造成分段绝缘器打弓。



在使用分段绝缘器时,需加强维护管理工作,定期做好绝缘部件的清扫维护工作,加强故障检查工作,防止分段绝缘器主绝缘发生闪络或击穿现象。此外,针对线路上运行的分段绝缘器,需对其进行全面状态监控,测量记录各项参数,一旦发生异常,及时更换处理<sup>[3]</sup>。

总体而言,分段绝缘器可设置在车站进站惰性端,列车进站减速后的运行速度较低,分段绝缘器能够适应列车运行速度 $\leq 120$  km/h 的工况。采用分段绝缘器的既有改造难度低,适用于新建和既有改造线工程,但此方案仍需配套设置禁停标。

### 3.4 采用带中性无电区段绝缘锚段关节

城市轨道交通列车前、后两台受电弓之间的牵引主回路一般被二极管隔断,辅助电源部分通过母线连通,参照国铁三断口式电分相结构,接触网可采用八跨三断口式绝缘锚段关节,带中性无电区的绝缘锚段关节由3个连续绝缘锚段关节构成,形成3个断口和2个中性段。在结构上,通过延长绝缘关节下锚,在非工作支上加装绝缘子,实现工作支与非工作支在无电区工作范围内的过渡。带中性无电区段绝缘锚段关节示意图如图5所示。三断口式绝缘锚段关节与受电弓匹配关系示意图如图6所示。

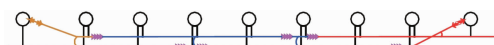


图5 带中性无电区段绝缘锚段关节示意图

Fig.5 Schematic diagram of insulated overlap section with a neutral dead zone

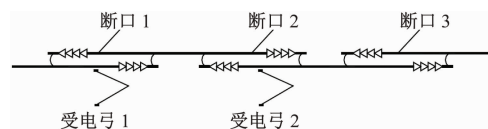


图6 三断口式绝缘锚段关节与受电弓匹配关系示意图

Fig.6 Schematic diagram of the matching relationship between the three-break insulated overlap section and the pantograph

采用带中性无电区段绝缘锚段关节的优点为:对于无高压母线连接的双受电弓,三断口式绝缘关节与列车双弓间距之间没有任何关系。无论双弓间距如何,2个受电弓滑板均无法同时短接3个断口,这也就阻断了穿越电流,适用于任何编组的列车通行<sup>[4]</sup>。

采用带中性无电区段绝缘锚段关节的缺点为:

1) 结构较为复杂。在既有线应用时的改造难

度较大,尤其是在既有已运营的城市轨道交通高架桥上增加支柱基础和拉线基础,更换支柱、腕臂、导线等涉及的改造工程比较复杂。对于新建工程而言,可在土建配合阶段给桥梁提资预留支柱基础、拉线基础,但三断口式绝缘关节较长,上网开关电缆敷设路径较长,投资成本有所增大,且需在桥梁预留电缆敷设路径。采用带中性无电区段绝缘锚段关节的方案在国铁中应用较成熟,在地铁中尚无应用先例。总体而言,采用带中性无电区段绝缘锚段关节适用于新建项目,既有线改造难度较大。

2) 当列车正常通过时,受电弓从带电区进入无电区时会产生拉弧现象,对于柔性悬挂接触网而言,长期拉弧现象存在安全隐患。若要求列车通过无电区时能够断开主断路器,则接触网需设置断合标、磁感应器,列车需配置车载信号接收装置。目前,直流供电系统的城市轨道交通断合标、磁感应器设置尚无相关规程规范及实施经验,配套列车需进行改造,实施难度较大。

### 3.5 采用防熔断装置系统

防熔断装置系统主要包括:接触器、传感器(判断列车位置或速度信息)、保护单元、通信单元、通信电缆和电源电缆。

防熔断装置系统的工作原理为,当有列车进入绝缘锚段关节内时,传感器识别列车运行速度及位置,接触器动作闭合,将绝缘锚段关节转换为非绝缘锚段关节,并在绝缘锚段关节断口两侧通过电缆连接,形成电流旁路。即便是碳滑板搭接在接触线工作支和非工作支之间时,接触线的穿越电流也能大部分分流至短接旁路,从而避免了工作支→碳滑板→非工作支电气路径上的电流过大、导线局部过热问题,防止接触网熔断。防熔断装置系统示意图如图7所示。

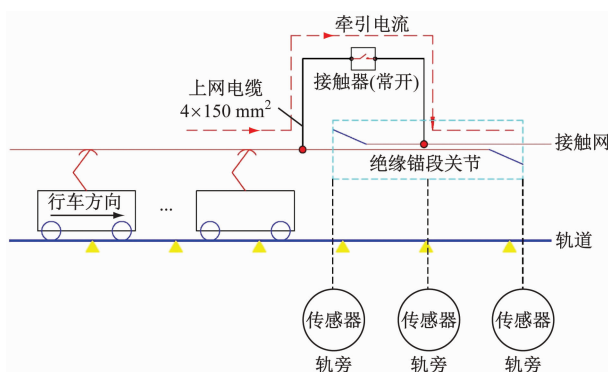


图7 防熔断装置系统示意图

Fig.7 Schematic diagram of anti-fusing device system

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