

# 基于列车控制与管理系统的双受电弓 主动选择控制方案

于亚新 于晓杰 崔文成

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛)

**摘 要** [目的] 受电弓故障会造成列车牵引能力的丢失, 严重影响列车的正常运行。为了改善列车同一辆车上两架受电弓碳滑板磨损不均的情况, 提出一种基于列车控制与管理系统的双受电弓主动选择控制方案。[方法] 介绍了城市轨道交通双受电弓控制技术的现状; 分析了受电弓碳滑板的磨损原因; 介绍了基于列车控制与管理系统的双受电弓主动选择控制方案的原理及受电弓的控制流程。[结果及结论] 根据碳滑板磨损算法, 所提受电弓主动控制方案能够综合计算碳滑板的热磨损和机械磨损程度, 实时自动评估同一辆车上两架受电弓碳滑板的磨损程度, 最终使列车自动选择升起碳滑板磨损较小的受电弓。通过所提受电弓主动选择控制方案的逻辑判断与执行, 可以提高受电弓控制的智能化程度, 同步两架受电弓碳滑板的更换周期, 降低受电弓的维护成本。

**关键词** 轨道交通; 列车控制与管理系统; 双受电弓; 主动选择控制

**中图分类号** U264.34

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2024.02.051

## Active Selection Control Scheme for Dual Pantographs Based on TCMS

YU Yaxin, YU Xiaojie, CUI Wencheng

(CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China)

**Abstract** [Objective] Pantograph malfunctions can result in the loss of train traction capability, significantly impacting the normal operation of train. To address uneven carbon slide wear of two pantographs on the same vehicle of a train, a control scheme for active selection of dual-pantograph based on TCMS (train control and management system) is proposed. [Method] The current state of dual-pantograph control technology in urban rail transit is introduced, the reasons for pantograph carbon slide wear are analyzed, and the principles and pantograph control process in the dual-pantograph active selection control scheme based on TCMS are presented. [Result & Conclusion] Utilizing a carbon slide wear algorithm, the proposed pantograph active control scheme can comprehensively calcu-

late the thermal and mechanical wear degree of carbon slides, automatically assess the wear degrees of two pantograph carbon slides on the same vehicle in real-time, and ultimately enables the train to automatically select the pantograph with less carbon slide wear. Through the logical judgment and execution of the proposed pantograph active selection control scheme, the intelligence degree of pantograph control is enhanced, synchronizing the replacement cycles of carbon slides on both pantographs and reducing the pantograph maintenance costs.

**Key words** rail transit; train control and management system; dual-pantograph; active selection control

随着轨道交通行业的飞速发展, 动车和地铁已经成为人们日常出行的主要交通工具。受电弓作为列车的动力受流装置, 长期处于高速摩擦的受流工作之中, 其发生故障的概率和频次较高<sup>[1-3]</sup>。受电弓故障将造成列车牵引能力的丢失, 严重影响列车正常运行。因此, 部分列车项目选择在同一辆车上安装两架受电弓, 两架受电弓互为主备冗余。在列车正常运行时, 仅一架受电弓工作; 当一架受电弓故障时, 可及时升起同一辆车上的另一架受电弓, 保证列车能够运行至服务站后再进行受电弓检修和更换, 不影响列车的正常运营。本文根据碳滑板磨损算法, 基于 TCMS (列车控制与管理系统), 提出一种双受电弓主动选择控制方案, 提高受电弓控制的智能化程度, 降低受电弓维护成本。本文研究可为列车的升弓选择提供借鉴与判断依据。

## 1 研究背景

单辆车安装双受电弓的 4 节编组列车结构示意图如图 1 所示。目前, 常用的同一辆车上两架受电弓的选择方法为: 通过司机室配备的受电弓选择开关进行控制, 受电弓选择开关有受电弓 1 和受电弓 2 两个档位, 在列车运行的任意时刻, 完全由司机主观判断升起受电弓 1 或升起受电弓 2。

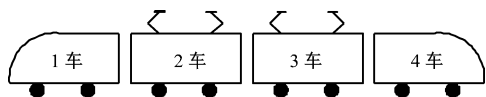


图1 单辆车安装双受电弓的4节编组列车结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of a 4-car formation train with dual pantographs installed on one vehicle

这种控制方法的弊端是可能造成某一受电弓碳滑板磨耗严重,而另一受电弓碳滑板磨耗轻微,两架受电弓碳滑板的磨耗程度相差较大,因此两架受电弓碳滑板的更换周期有所不同。受电弓碳滑板的维护需要工人进行登顶操作,若两架受电弓碳滑板磨耗程度相差较大,工人需要分两次登顶才能完成两架受电弓碳滑板的更换工作,为受电弓的维护造成困难,也提高了碳滑板的更换成本。

## 2 碳滑板磨耗原因

受电弓碳滑板的磨耗分为机械磨耗和电磨耗。机械磨耗主要与碳滑板接触高压电网时的运行距离相关。电磨耗主要指碳滑板的热损耗,而热损耗与碳滑板的导通电流有关。

若仅考虑碳滑板的机械损耗,而不将碳滑板在不同运行工况中的热损耗程度纳入考虑,可能存在虽然列车运行距离较短,但由于列车处于频繁牵引制动工况,使得碳滑板上的电流较大、发热严重导致热损耗较大,致使所估算出的碳滑板整体磨损轻微的情况;若仅考虑受电弓碳滑板的热损耗,而不将受电弓在不同运行线路中的机械磨损程度纳入考虑,可能存在运行距离较长但由于车辆处于惰行工况的时间较长,使得碳滑板上的电流较小,由于发热不严重导致热损耗较小,致使估算出的碳滑板整体磨损轻微的情况。上述两种情况均属于片面地考虑了影响磨损程度的参数,导致所估算出的碳滑板整体磨损程度不准确,造成受电弓主控选择逻辑的不完善,最终导致受电弓主动选择控制方案中控制与管理系统输出的结果与工程实际不一致。

## 3 双受弓主动选择控制方案设计

### 3.1 两架受电弓碳滑板磨耗计算

根据受电弓升降状态数据(统计每架受电弓碳滑板接触高压电网的时间)和列车速度,计算受电弓碳滑板的机械磨耗。根据列车牵引辅助供电系统采集到的输入端电流、受电弓碳滑板电阻和受电弓升降状态数据,计算受电弓碳滑板的热损耗。

某受电弓碳滑板接触高压电网  $t_1$  时刻的运行距离  $S$  可以表示为:

$$S = \int_0^{t_1} v_t dt \quad (1)$$

式中:

$v_t$ ——列车瞬时速度,由牵引电机的瞬时转速、齿轮箱的齿轮传动比和车轮直径计算得到;

$t$ ——某受电弓碳滑板接触高压电网时间,由控制与管理系统通过对受电弓碳滑板接触高压电网的时间进行记录和累加获得。

某受电弓碳滑板  $t_1$  时刻的累计热损耗  $Q$  可以表示为:

$$Q = R \int_0^{t_1} I_t^2 dt \quad (2)$$

式中:

$I_t$ ——某受电弓碳滑板的瞬时电流;

$R$ ——受电弓碳滑板的电阻。

通过式(1)和式(2)可以获得  $t_1$  时刻,两架受电弓 A、B 的碳滑板累计接触高压电网的运行距离  $S_A$ 、 $S_B$ ,以及两架受电弓 A、B 的碳滑板累计热损耗  $Q_A$ 、 $Q_B$ ,考虑机械磨耗权重  $m$  和电磨耗权重  $n$  后的受电弓 A、B 的磨耗占比(表征受电弓的磨损程度)  $\gamma_A$  和  $\gamma_B$  可以表示为:

$$\gamma_A = m \frac{S_A}{S_A + S_B} + n \frac{Q_A}{Q_A + Q_B} \quad (3)$$

$$\gamma_B = m \frac{S_B}{S_A + S_B} + n \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} \quad (4)$$

$m$  和  $n$  是根据经验得出的数值,当应用于不同项目时,可能由于受电弓碳滑板厂家的不同、高压接触网情况的不同等因素进行权重调整,最终根据实际情况确定  $m$  和  $n$  的值。

### 3.2 受电弓控制流程

通过上述综合分析确定了两架受电弓的磨损程度后,通过以下步骤完成同一辆车上两架受电弓的主动选择流程:

步骤1 当受电弓选择开关处于 AUTO(自动选择)位时,若 TCMS 无故障,则进入步骤2;若 TCMS 故障,则进入步骤4。

步骤2 若同一辆车内的两架受电弓其中一架故障,则 TCMS 选择升起状态正常的受电弓。若同一辆车车内无受电弓故障,则进入步骤3。

步骤3 TCMS 根据所提受电弓碳滑板磨耗计算方法,综合评估两架受电弓碳滑板的磨耗程度。

若受电弓 A 碳滑板的磨损程度小于受电弓 B,则 TCMS 的受电弓选择输出信号为高电平,控制受电弓 A 升起;若受电弓 A 碳滑板的磨损程度大于受电弓 B,则 TCMS 的受电弓选择输出信号为低电平,控制受电弓 B 升起;若受电弓 A 碳滑板的磨损程度等于受电弓 B,则 TCMS 的受电弓选择输出信号为低电平,此时默认受电弓 B 升起。

步骤 4 列车默认受电弓 B 升起。

## 4 结语

本文提出一种同一辆车上两架受电弓的主动选择方案。在列车运行的任意时刻,只允许一架受电弓升起。根据碳滑板磨损算法,列车实时自动评估同一辆车上两架受电弓碳滑板的磨损程度。利用 TCMS 的参与完成两架受电弓的选择控制,可以有效避免某一受电弓由于工作时间过长引起的碳滑板过渡磨损,保证了两架受电弓的碳滑板磨损程度相当。本文所提双受电弓主动选择控制技术具有可靠性高、实现简单、能够节省碳滑板频繁更换人力物力成本等优点,可在配置双受电弓的列车上广泛应用。

## 参考文献

- [1] 李传喜,董霖,王和顺,等.降低弓网磨损的受电弓主动控制策略研究[J].润滑与密封,2012,37(4):87.  
LI Chuanxi, DONG Lin, WANG Heshun, et al. Research on pantograph active control strategy reducing the pantograph-catenary wear[J]. Lubrication Engineering, 2012, 37(4): 87.
- [2] 杨岗,李芾.基于 LQR 的高速受电弓最优半主动控制研究[J].铁道学报,2011,33(11):34.  
YANG Gang, LI Fu. Semi-active control for high-speed pantograph based on the optimal LQR regulator[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(11): 34.
- [3] 鲁小兵,刘志刚.高速铁路受电弓主动控制算法适用性研究[J].西南交通大学学报,2015,50(2):233.  
LU Xiaobing, LIU Zhigang. Applicability of active control algorithms for pantographs of high-speed railway[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2015, 50(2): 233.

· 收稿日期:2021-07-16 修回日期:2021-07-16 出版日期:2024-02-10

Received:2021-07-16 Revised:2021-07-16 Published:2024-02-10

· 通信作者:于亚新,工程师,yuyaxin@cqsf.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

## 北京城市轨道交通运营里程跃居全国第一

2023 年 12 月 30 日,随着三段地铁线开通试运营,北京城市轨道交通运营总里程达 836 km,跃居全国第一。30 日首班车起,北京城市轨道交通 17 号线北段(工人体育场站至未来科学城北站)、16 号线剩余段(榆树庄站至宛平城站)及苏州街站,11 号线西段剩余段(金安桥站至模式口站)开通试运营。

17 号线北段全长 24.9 km,共设车站 10 座,串联了昌平、朝阳两个行政区,线路开通后不仅服务天通苑、北苑等重点居住区,还能够支持和带动未来科学城、望京、三里屯等办公区域的发展。“大站快车”是 17 号线一大亮点,从未来科学城北站到工人体育场站全程只需 31 min,将有效缓解地铁 5 号线高峰客流压力。17 号线北段在太阳宫站与北京城市轨道交通线网的“大动脉”——10 号线实现换乘,开通后预计日均客运量为 8.8 万人次。作为南北向骨干线路,16 号线 30 日全线贯通。线路北起北安河站,南至宛平城站,全长 48.9 km,可与 4 号线、6 号线、7 号线、9 号线、10 号线、房山线等 6 条地铁线路实现换乘,日均客运量预计 40 万人次。11 号线西段剩余段 30 日开通试运营的里程为 1.4 km,新增模式口站。开通后,11 号线西段北起模式口站,南至新首钢站,运营里程达 3.9 km。

随着三段地铁线路开通,北京城市轨道交通路网总里程增至 836 km,车站数量增至 490 座,换乘车站数量增至 83 座。值得一提的是,北京地铁车站“艺术范儿”十足。17 号线北段装修简约精致、工业感强。其中,工人体育场站装修主题为“体育动感·摩登韵律”,太阳宫站神鸟瓦当及暖阳壁画增加了空间的丰富性和趣味性。未来科学城站选择蓝色与白色作为主色调,通过“苍穹未来”设计营造科技氛围;16 号线剩余段则延续全线“京廊古韵”主题;11 号线模式口站因紧邻著名的京西宝藏打卡地“驼铃古道”,东侧出入口采用仿古建筑结构。车站北侧站厅墙面的骆驼壁画,与站内灵动的雪花图案、流畅的拱形线条巧妙结合,将工业风、冬奥元素及复古设计融为一体。

(来源:中国新闻网)