

地铁车辆电空制动配合问题研究

祁国俊, 葛党朝

(西安市地下铁道有限责任公司, 陕西 西安 710016)

摘要: 为解决部分地铁车辆在长期运营后出现轮对异常磨耗的问题, 对地铁车辆电空制动配合不良、信号控制指令错误导致的轮对异常磨耗进行情况调查和原因分析, 提出了修改软件控制逻辑来减少地铁车辆 65 km/h 制动时空气制动的补充以及对空气制动系统的控制和自动驾驶模式下控车软件进行优化的改进措施。实际运用表明: 改进措施效果明显, 很好地解决了地铁车辆轮对异常磨耗的问题。

关键词: 地铁车辆; 电空制动配合; 轮对异常磨耗; 西安地铁 1 号线

中图分类号: U231; U260.35

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.05.021

Study on Electro Pneumatic Brake Coordination for Metro Vehicles

QI Guojun, GE Dangchao

(Xi'an Metro Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract: In order to solve the abnormal wheelsets wear of some metro vehicles after long-term operation, the abnormal wheelsets wear caused by poor electro-pneumatic braking coordination and signal control instruction error of metro vehicles was investigated and analyzed. The improvement measures of modifying software control logic to reduce the supplement of the air braking of metro vehicles at 65 km/h was proposed, and the control of air brake system and automatic driving mode control software were optimized. Practical application showed that the improvement measures had obvious effect and solved the abnormal wear problem of metro vehicle wheelsets.

Keywords: metro vehicles; electro-pneumatic braking coordination; abnormal wheelsets wear; Xi'an metro line 1

0 引言

地铁车辆在运营 3~5 年后会出现不同程度的轮对异常磨耗问题, 究其原因大多与线路条件、轮轨关系、机械组装、制动控制等有关, 而不同的原因所造成的异常磨耗也不尽相同, 故需要结合实际情况进行具体分析^[1-4]。

西安地铁 1 号线地铁车辆自 2013 年 9 月投入运营, 在 2016 年 11 月发现轮对靠轴端侧出现较明显的异常磨耗问题。本文针对此问题进行调查分析, 经过研究并在参考有关文献^[5-7]的基础上提出改进措施。

1 原因调查分析

1.1 轮对踏面硬度调查

对西安地铁 1 号线地铁车辆轮对踏面硬度、踏面

与闸瓦贴合面硬度进行了调查分析(见表 1), 测试结果显示 1 号线地铁车辆车轮沟槽磨耗处硬度 HB 值约为 340(出厂标准为 HB 300~330), 滚动圆处硬度 HB 值约为 364。滚动圆处硬度 HB 值相对偏大是因为其在运用过程中发生塑性硬化, 硬度有所提升。与西安地铁 2 号线情况相比, 硬度近似, 说明并不存在轮对踏面硬度值偏小的情况。

表 1 新线路与老线路车辆轮对踏面硬度对比

线路	运行 里程 /km	样本数 量 / 件	样本类别	硬度 HB 平均值	
				滚动 圆处	沟槽 磨耗处
1 号线 (新线路)	40×10^4	28	1 号线动车轮(8 件)	366	348
			1 号线拖车轮(20 件)	364	330
2 号线 (老线路)	65×10^4	8	2 号线动车轮(4 件)	370	355
			2 号线拖车轮(4 件)	375	355

收稿日期: 2018-08-02; 修回日期: 2018-08-20

1.2 闸瓦调查

对已使用的旧闸瓦进行返厂调查, 闸瓦表面硬度测试点分布如图1, 抽样硬度比对如图2(测点颜色与图1相对应)。根据调查报告中的多点测量结果显示, 闸瓦硬度 HRX 值约为 110(标准为 HRX 100~120), 均在正常范围内。对闸瓦摩擦表面进行仔细观察, 发现闸瓦表面正常, 无过载表现。结果判定现使用的闸瓦材质、硬度等指标符合标准。随后, 又对闸瓦进行对比调查, 将1号线的2列车分别安装2个厂家提供的不同品牌制动闸瓦(旧厂家的 Icer 和新厂家的 Cosid), 对闸瓦轮对踏面的磨耗进行对比。在更换闸瓦运行里程达到 5×10^4 km 后, Cosid 闸瓦磨耗宽度为 24~27 mm, 磨耗深度为 0.70~1.30 mm; Icer 闸瓦磨耗宽度为 22~30 mm, 磨耗深度为 0.50~1.20 mm。对以上数据分析可知, 不同品牌的闸瓦磨耗量基本相当, 故排除由于闸瓦材质过硬引起车轮踏面的磨耗。

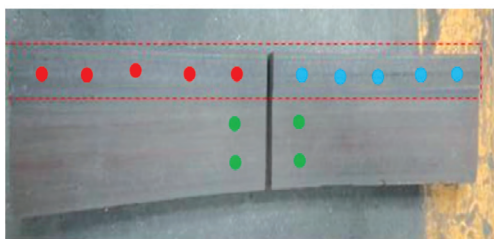


图1 闸瓦表面硬度测试点分布

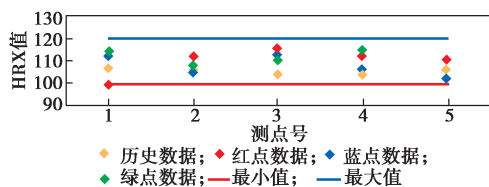


图2 抽样硬度比对

1.3 踏面制动单元情况调查

对1号线正在使用的踏面控制单元 TBU(1台 TBU 带停放制动, 1台 TBU 不带停放制动, 共2台)进行返厂分解检查, 重点调查是否存在偏推、偏磨现象, 检查项目包括外观检查、拆解检查, 并进行功能测试和关键部件尺寸测量等。对踏面制动单元磨耗部位关键尺寸测量结果进行分析可知, 经过3年多的使用, 内部关键部件磨耗量不到 0.1 mm, 无异常偏磨现象, 参数及功能符合出厂验收标准。

1.4 电空制动配合情况调查

对西安地铁1号线地铁车辆日立牵引系统的电制动与西安地铁3号线地铁车辆阿尔斯通牵引系统的电制动进行了对比调查, 发现以下问题: 在ATO控车模式下, 地铁车辆在较高速度时(65 km/h以上), 由牵引级位转换到制动级位过程中, 日立牵引系统电制动建立时间过长(约4.1 s), 导致空气制动的补充; 阿尔斯通牵引系统电制动建立时间较短(约2 s), 并且在电制动力建立初期采用施加电制动力虚拟值的策略

有效避免了空气制动的施加。

1.5 信号牵引制动控制调查

在ATO控车模式下, 1号线地铁车辆制动至约45 km/h时, ATO设备突发牵引指令(约200 ms)后立即转制动, 由于牵引系统收到制动转牵引指令需要进行退磁、充磁, 而后再次牵引转制动再次磁场转换, 这样造成约4.1 s时间内电制动力处于无效状态, 但是为了保证制动效果, 此时空气制动再一次进行了补充。

2 调查结论

根据以上调查结果, 轮对异常磨耗排除轮对、闸瓦、踏面制动单元等方面问题, 确定为地铁车辆电制动与空气制动配合不良、信号控制指令错误所致。导致轮对踏面异常磨耗的原因是:

①在较高速度阶段(65 km/h以上)牵引工况转制动工况过程中, 电制动建立缓慢, 建立时长约4.1 s, 导致空气制动补偿较多, 从而造成轮对磨耗;

②在列车制动至约45 km/h时, ATO突发瞬间牵引信号, 导致电机磁场转换, 4.1 s的时间内电制动力缺失, 空气制动再一次被动补偿, 从而再一次造成轮对磨耗。

3 电空制动配合优化

3.1 电制动系统优化

3.1.1 优化方案

通过采集1号线、2号线全天ATO模式下的列车运营数据, 对比控车规律, 结合同类产品在其他项目上的应用经验, 提出以下优化方案:

①缩短牵引转制动过程中VVVF门极关闭的时间(从1.5 s缩短至1.1 s)和再生制动电流上升时间(从1.5 s缩短至1.1 s);

②牵引系统在收到制动指令时, 立即发出电制动反馈虚拟信号(惰行→制动虚拟信号时长为2.5 s, 牵引→制动虚拟信号时长为3.6 s)。

以上方案通过软件修改控制逻辑来实现, 主要目的是减少65 km/h制动时的空气制动补充, 从而有效减少轮对及闸瓦磨耗。方案控制逻辑如图3、图4所示。

3.1.2 验证效果

对上述软件修改方案进行了ATO和手动2种模式下正线运营测试(AW0载荷工况), 测试结果显示ATO模式下列车运营状况良好, 结合原始记录数据可以看出, 在较高速度阶段动车在制动初期已无空气制动补充, 仅拖车有轻微的空气制动补充(基本可以忽略)。

优化方案中也带来了新问题, 即手动模式下低速停车时会冲标。调查原因后确认为ATO模式下在低速阶段制动一直持续, 直到停车, 而手动模式下在停车前司机需要进行人工对标, 这样就避免出现司机

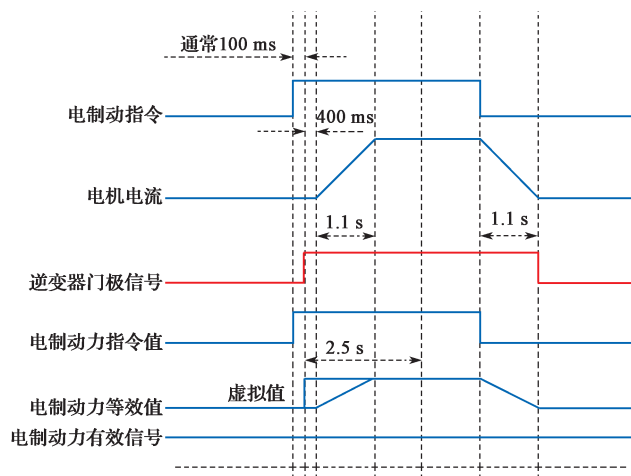


图3 惰行→制动 ON→制动 OFF 的控制逻辑

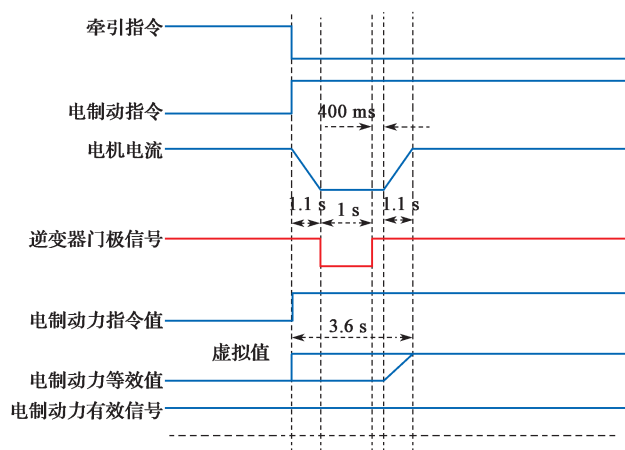


图4 牵引→制动的控制逻辑

进行牵引→制动或惰行→制动的操作。由于新版电空配合软件对电制动投入初期的控制进行了优化，牵引设备发出电制动虚拟值，导致空气制动延迟响应，从而增加了制动距离，出现冲标现象。

3.2 空气制动控制系统优化

3.2.1 优化方案

针对前面所述的手动模式下低速停车冲标问题，经过研究后确定在软件控制中加入“在速度低于10 km/h时，若发生牵引→制动或惰行→制动的切换，制动系统将不向牵引系统发电制动请求信号，仅由制动系统独立进行制动控制”的逻辑来解决该问题。

3.2.2 验证效果

经现场实际测试并对数据进行分析可知，优化方案的低速制动控制效果良好，可以满足所提方案的要求，并能很好地解决手动模式下低速停车冲标问题，且能够满足AW0工况的运行。

3.3 电空制动配合匹配效果验证

鉴于牵引、制动软件优化后AW0工况的良好测试效果，安排对新版软件进行AW3载荷下的正线ATO模式测试，经与老版软件采集的数据对比分析，优化后的新版软件大大减少了AW3载荷下的空气制动的补充，且能够满足正线ATO控车需求，运行效果良好。

通过牵引电空制动配合方案的优化和制动低速控制方案的优化，并经过正线AW0、AW3工况测试，充分验证了新版牵引、制动控制方案对高速阶段电制动建立缓慢而导致的空气制动补偿的改善效果显著。

4 信号控制优化

列车制动至45 km/h时，ATO突发瞬间牵引信号导致空气制动补偿。对ATO控车软件进行优化，直接取消了45 km/h时ATO模式下突发瞬间牵引信号，避免电机磁场反复转换导致的空气制动补偿。

5 优化方案效果

通过上述对单列车进行AW3载荷工况下加载试运行，每日对运行数据进行分析，确定软件更新后在制动过程中65 km/h和45 km/h时的空气制动的异常补偿已大幅降低，闸瓦抱闸频次和抱闸力度较优化前均有直观的改善，这样就能有效避免列车从牵引转制动整个过程中因空气制动补偿造成的轮对磨耗，闸瓦磨耗率也得到有效的降低，故解决方案有效。

优化方案得到验证后对所有车辆进行牵引、制动和信号新版优化软件更新，运行4个月效果良好，未发现轮对热裂纹和异常磨耗现象，运行中也未发生列车冲标现象，则更进一步验证此次软件优化不仅对西安地铁1号线长期以来的车辆轮对异常磨耗问题有良好的改善效果，而且能保持正常的运行性能。

6 结语

轮对作为车辆运行的重要运动部件，造成异常磨耗问题的原因较多，本文针对该类问题使用原因排除法，对可能原因进行逐项排除，最终找到问题的根本原因，然后进行专项调查来解决。西安地铁1号线车辆电空制动配合不良问题仅是导致轮对异常磨耗的1个原因。

另外，文中所阐述的电空制动配合不良问题解决方法，也为后续新线建设提供了思路，提前考虑在车辆设计和调试阶段加以防范，就能杜绝后续运营该类问题的发生，也能节省一定的因闸瓦和轮对磨耗而产生的成本。同时，为彻底解决闸瓦磨耗问题，今后可考虑提高牵引系统电制动能力并采用电制动到零速度的技术，列车制动过程全程采用电制动；要求信号控制列车进站时，在进站停车过程中，考虑运行舒适度与效率，根据信号计算出高效且冲击率较小的一次性制动曲线，并根据停车制动曲线，控制列车采用连续的制动、衡定的制动率，一次性制动至目标停车点。

参考文献:

- [1] 方宇, 张同宏, 穆华东. 制动模式对城市轨道交通车辆轮异常磨耗的影响分析[J]. 铁道机车车辆, 2010, 30(4): 67-70. (下转第101页)

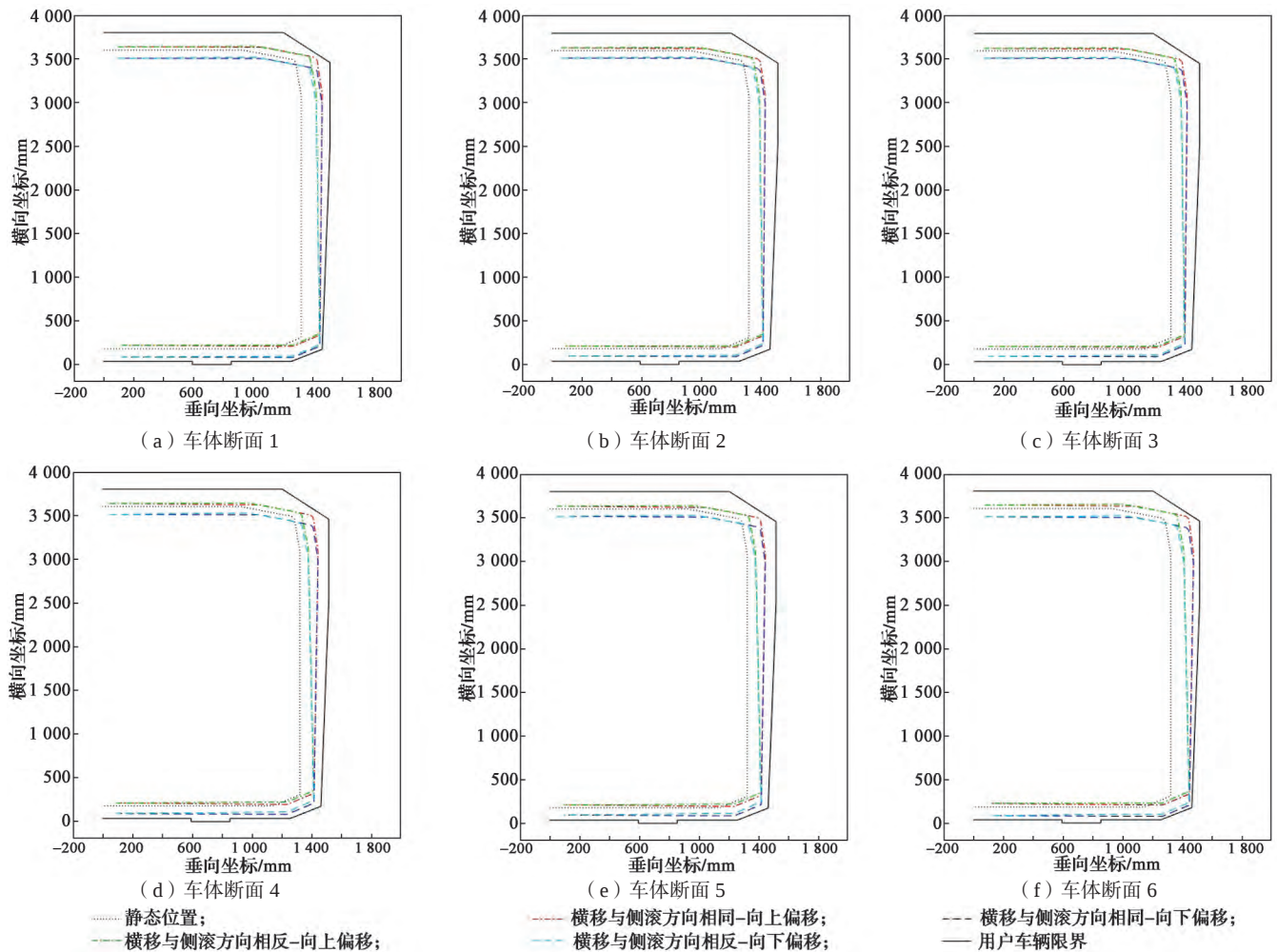


图5 某有轨电车动态包络线计算结果

5 结语

根据5模块浮动车体有轨电车的结构形式和运动自由度,并参考CJJ 96—2003标准和CJJ 95—2003标准,探讨了5模块浮动车体有轨电车动态包络线的计算方法。本文提出的限界计算方法可扩展到3模块或7模块的浮动车体有轨电车以及单车体有轨电车。

参考文献:

- [1] 地铁限界标准: CJJ 96—2003[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] 张明阳, 冯遵委. 低地板车辆限界计算研究[J]. 铁路技术创新, 2013(6): 40-44.
- [3] 吕凤梅, 赵建秋, 闫晓明, 等. 100%低地板现代城市有轨电车限界和小曲线通过能力分析[J]. 铁道车辆, 2013(9): 5-7.
- [4] 王爱彬, 滕万秀, 罗仁. 70%低地板铰接城轨车辆动态包络线计算方法研究[J]. 大连铁道学报, 2016(4): 42-45.
- [5] 王嘉鑫. 浮动车体有轨电车车辆限界(横向部分)计算方法分析[J]. 地下工程与隧道, 2015(1): 44-50.
- [6] 赵大斌, 任利惠. 70%低地板轻轨车辆的型式比较[J]. 城市轨道交通研究, 2007(4): 29-33.
- [7] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 佛山市南海有轨电车动态包络线计算报告[R]. 青岛: 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 2017.

作者简介: 刘玉文(1969-), 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为轨道车辆总体集成技术。

(上接第96页)

- [2] 江巍. 上海轨道交通8号线二期车辆闸瓦磨耗问题分析[J]. 大连交通大学学报, 2015, 36(2): 1-4.
- [3] 乔青峰. 地铁车辆车轮踏面异常磨耗原因分析[J]. 铁道机车车辆, 2011, 31(3): 26-30.
- [4] 巫红波. 广州地铁4号线车辆制动盘异常磨耗调查分析及解决对策[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(1): 84-86.
- [5] 贾文婷. 城市轨道交通列车运行控制[M]. 北京: 北京交通

大学出版社, 2012.

- [6] 王凤臣. 电力机车牵引计算[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- [7] 刘敏军. 轨道交通车辆电力牵引控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.

作者简介: 祁国俊(1961-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地铁运营管理工作。