

温州市域动车组轮径自动校验 优化策略研究与应用

石 慧¹, 黄 浩^{2,3}, 章志兵², 郑 钢²

- (1. 温州铁路与轨道交通投资集团有限公司, 浙江 温州 325000;
2. 株洲中车时代电气股份有限公司 轨道交通技术中心, 湖南 株洲 412001;
3. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 根据温州市域动车组牵引系统设计的特点, 提出了一种电动车组动力轴轮对轮径自动校验的控制方法。试验结果表明, 该方法能准确校验电动车组各动力轴的轮径, 辨识精度可以达到 ± 0.5 mm。当校验到轮对轮径差过大时, 能通过降低牵引电机功率或封锁牵引变流器脉冲的方式, 保证动车组的安全可靠运行。

关键词: 温州市域动车组; 轮径自动校验; 动力轴; 速度信号

中图分类号: U266.2; U260.13⁺1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.05.025

Strategy Research and Application of Wheel Diameter Automatic Inspection for the Wenzhou Urban EMUs

SHI Hui¹, HUANG Hao^{2,3}, ZHANG Zhibing², ZHENG Gang²

- (1. Wenzhou Mass Transit Railway Investment Group Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325000, China;
2. Technology Center, Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;
3. State Key Laboratory for Traction and Control System of EMU and Locomotive, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: According to the characteristics of the traction system design of Wenzhou urban EMUs, a control method of wheel diameter automatic inspection for EMUs power axles was proposed. The experimental results showed that the method could accurately inspect the wheel diameter of EMUs power axles with inspection accuracy up to ± 0.5 mm. When the traction system inspected that the wheels diameter difference was too large, the power of motor or traction converter pulse would be limit, which ensured the safe and reliable operation of EMUs.

Keywords: Wenzhou urban EMUs; wheel diameter inspection; power axle; speed signal

0 引言

市域动车组与城际动车组类似, 都具备载客量大、快起快停、快速乘降等优点^[1-2], 而轮对是动车组与钢轨相接触的部分, 用于承受动车组全部静态和动态载荷, 并将它们传递给钢轨。动车组的牵引/制动效果最终也是依靠轮对与钢轨的作用实现。动车组运行过程

中, 当牵引电机施加同样大小牵引/制动力矩时, 若动车组的各动力轴轮对轮径差异过大, 会引发各动力轴轮对实际发挥力偏差过大, 这将导致轮对寿命严重缩短, 甚至影响动车组的运行安全。

针对上述问题, 文章提出一种对动车组各动力轴轮对轮径进行自动校验的方法, 并制定了相应保护措施, 可有效防护动车组运行过程中各动力轴轮对轮径差异过大导致的问题, 以此保证动车组的安全可靠运行。

1 现有轮径校验方案

为解决动车组各动力轴的轮对轮径差异过大的问题,现有 2 种检测实施方案。

①人工测量方案

动车组回库检修时,采用人工测量方式检查各动车动力轴的轮对轮径,当检测到某动力轴的轮对轮径偏差过大时,对该动力轴轮对进行镟轮处理,以此保证动车组各动力轴轮对轮径的一致性。

该方案实施过程简单,但存在检测效率低下和人为操作失误的风险,且不能在动车组运行时自动检测,因此,无法实时避免动车组运行过程中动力轴轮对轮径差异过大引发的风险。

②简单的轮径自动校验方案^[3]

该方案对动车组每个动车采集的动力轴速度使用固定某一个通道速度为基准速度,用基准速度除以本节动车其他动力轴速度得到各动力轴速度通道的补偿系数,再结合参考轮对轮径值,用各动力轴速度通道补偿系数乘以参考轮径值的方式计算本节动车各动力轴轮径值。

该方案无需人工干预,轮径校验过程可自动执行。但由于要固定某一个通道速度为基准速度,该基准速度可能被选定为 1 或 4 号动力轴的,动车组在前向或后向运行过程中,1 或 4 号动力轴均会比 2 或 3 号动力轴提前接触到恶劣轨面环境,因此,轮径校验过程中若采用固定 1 或 4 号通道速度为基准速度进行轮径校验存在导致校验结果失真的风险。该方案也未考虑动车组运行过程中可能出现空转和滑行的工况,如果在动车组空转和滑行的工况进行轮径校验,将导致轮径校验结果严重失真。

2 轮径自动校验优化策略及保护方案

本方案利用温州市域动车组各动车牵引变流器(以下简称 CI, Convertor Inverter)控制装置(以下简称 DCU, Drive Control Unit)来实现轮对轮径自动校验及保护。DCU 实时采集其所在动车的 4 个动力轴速度信号,再利用动车组惰行时动车各动力轴轮对轮周线速度等于车身速度的特性,以 3 号动力轴为基准速度来等效车身速度(动车组在前向或后向运行过程中,3 号动力轴始终不会先于本车 1 或 4 号动力轴接触到恶劣轨面环境),以动车组网络控制系统(以下简称 TCMS, Train Control Manage System)传输的 3 号动力轴轮径为参考值,自动校验本节动车各动力轴轮径,并在检测到本节动车各动力轴轮径差过大时,采用牵引电机功率限制或封锁 CI 逆变器脉冲的方式实施保护,以此保证动车组的安全运行。

2.1 速度信号处理

牵引电机速度的采样准确性是实现轮对轮径准确校验的重要前提。温州市域动车组每个牵引电机均有 A、B 两相速度信号输入 DCU,为避免重复计算速度信号脉冲导致电机速度计算不精确,DCU 仅使用 A、

B 两相速度信号中的一相进行计算,因此,DCU 需要根据电机速度信号实际输入情况,对电机速度信号进行二选一处理,如图 1 所示。

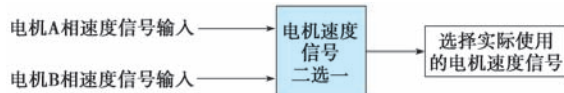


图 1 电机速度信号处理示意图

电机速度信号二选一处理方案如下:①当 DCU 检测到电机 A 相速度信号输入先到达时,选择电机 A 相速度信号作为实际使用的速度信号,否则输出电机 B 相速度信号作为实际使用的速度信号;②当 DCU 检测到电机 A 相速度信号无输入,而电机 B 相速度信号正常时,选择电机 B 相速度信号作为实际使用的速度信号;③当 DCU 检测到电机 B 相速度信号无输入,而电机 A 相速度信号正常时,选择电机 A 相速度信号作为实际使用的速度信号。对电机速度信号进行二选一处理后,DCU 将对实际使用的电机速度信号方波脉冲的上升沿进行捕捉并计数,通过对上升沿的统计,实现计数电机速度脉冲个数的功能,如图 2 所示。

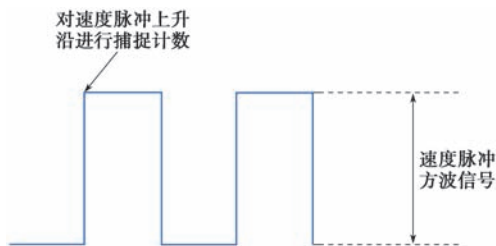


图 2 速度脉冲方波信号捕捉示意图

设齿轮箱传动比为 ω ,动力轴轮径为 D ,电机速度传感器为 n 个齿,即电机转一圈,DCU 将捕捉到 n 个上升沿。

假设 1 min 内捕捉到 N 个上升沿,则表示电机的转速为 N/n ,动车组轮对轮周线速度为

$$V_{\text{轮对}} = \pi \times D \times N / (60 \times n \times \omega) \quad (1)$$

2.2 网络信号传输

轮径自动校验功能需在动车组处于惰行工况并以 3 号动力轴速度为基准速度,3 号动力轴轮对轮径为基准轮径的基础上进行,而 DCU 需要通过 TCMS 系统获得动车组实际运行工况和 3 号动力轴轮对轮径的信息,因此,TCMS 系统需要通过动车组列车通信总线将司控室司机牵引/制动操作指令及司控室显示器(以下简称 HMI, Human Machine Interface)设置的 3 号动力轴实测轮径值发送给 DCU。DCU 与 TCMS 系统的网络信号传输采用分布式拓扑结构^[4],如图 3 所示。

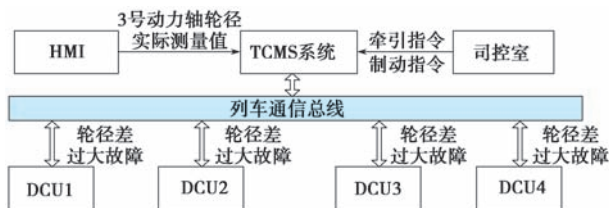


图 3 网络信号传输流程

2.3 惰行工况判断

动车组处于惰行工况时, 各动车动力轴实际发挥牵引/制动力矩均为 0, 动车组的各动力轴轮对轮周线速度基本相同, 此时进行轮径校验不会受到因轨面条件较差, 为抑制空转/滑行, 各动力轴力矩大小实际发挥不同, 进而导致各动力轴轮对轮周线速度差异较大的影响。因此, 在动车组惰行工况进行动车各动力轴轮对轮径校验的校验结果将比动车组处于牵引/制动工况更准确。

以下条件同时满足时, DCU 认为动车组处于惰行工况:

- ① DCU 检测到 TCMS 系统传送的司控室牵引/制动手柄为零位, 即牵引/制动指令均无效;
- ② DCU 检测到动车速度大于零。

DCU 检测到动车组处于惰行工况后, 为防止牵引电机带励磁电流而产生轻微力矩, 进而影响各动力轴速度的情况发生, DCU 将立即封锁 CI 的逆变器脉冲, 让牵引电机处于不带励磁状态。

2.4 轮径校验计算

以下条件同时满足时, DCU 进入轮对轮径自动校验工况:

- ① 动车组处于惰行工况且牵引电机已不带励磁;
- ② 动车组运行速度超过阈值 V_{thr} ;
- ③ DCU 诊断到其对应动车各动力轴速度传感器未发生异常;
- ④ DCU 未检测到空转或滑行工况;
- ⑤ DCU 与 TCMS 系统通信正常。

DCU 进入轮对轮径自动校验工况后, 动车各动力轴轮对轮周线速度等于车身速度 $V_{车身}$:

$$V_{车身} = \omega_3 r_3 = \omega_i r_i, \quad (i=1, 2, 4) \quad (2)$$

式中: ω_3 为 3 号动力轴角速度; r_3 为 3 号动力轴轮对半径; ω_i 为 i 号动力轴角速度; r_i 为 i 号动力轴轮对半径。

将 3 号动力轴轮对轮径 D_3 换算为 3 号动力轴轮对半径 r_3 ($r_3 = D_3/2$), 利用式 (1)、式 (2) 计算出的 3 号动力轴轮对轮周线速度作为参考车身速度 $V_{车身}$, 在已知本节动车 1、2、4 号动力轴轮对轮周速度的情况下, 再利用式 (3), 计算出本节动车 1、2、4 号动力轴的轮对半径 r_1 、 r_2 和 r_4 。

$$r_i = \frac{\omega_3 r_3}{\omega_i}, \quad (i=1, 2, 4) \quad (3)$$

运用式 (3) 计算动车 1、2、4 号动力轴的轮径值时, 取一个时间片断 T , 计算时间段 T 内的 1、2、4 号动力轴轮径平均值作为校验轮径值, 计算方法如下:

假设 DCU 程序运行周期为 t , 在时间段 T ($T > t$ 且 $T \bmod t = 0$) 内, 可计算 1、2、4 号动力轴轮对半径各 T/t 个值, 再运用式 (4) 计算 1、2、4 号动力轴校验后的轮对半径 R_i 。

$$R_i = \frac{t}{T} \sum_{j=1}^{T/t} R_{ij}, \quad (i=1, 2, 4) \quad (4)$$

式中: R_i 为 i 轴轮对校验半径。

轮对轮径校验完成后, 各动车 DCU 使用校验后的轮对轮径值进行轮径差过大保护。

2.5 轮径差过大保护

当动车各动力轴轮对轮径校验完成后, 各动车 DCU 将得到其对应的动车动力轴最大轮径值 R_{max} 和最小轮径值为 R_{min} 。

令 $\Delta = R_{max} - R_{min}$ 为某节动车动力轴最大轮径值 R_{max} 和最小轮径值 R_{min} 的轮径差, THD_1 为 Δ 轮径差过大限制电机功率阈值 1, THD_2 为 Δ 轮径差过大限制电机功率阈值 2。DCU 轮径差过大保护方案如图 4 所示。轮对轮径差过大故障保护实施过程中, 为防止电机功率卸载过快, 对动车组运行造成较大冲击, 影响动车组的舒适性, 应对电机功率的卸载设置防止冲击的卸载斜率来进行控制。

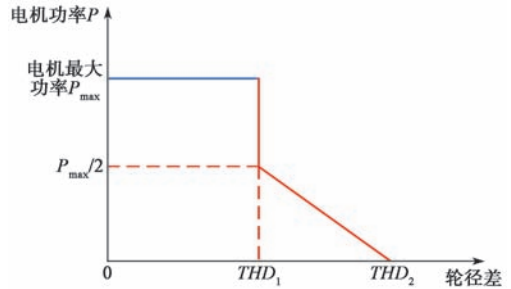


图4 DCU 轮径差过大保护方案

①当 $\Delta < THD_1$ 时, DCU 不执行轮径差过大的保护策略;

②当 $\Delta = THD_1$ 时, DCU 将限制电机最大发挥功率不超过电机最大功率 P_{max} 的 50%;

③当 $\Delta \geq THD_2$ 时, DCU 将限制电机最大发挥功率为 0, 并封锁 CI 逆变器的脉冲进行保护;

④当 $THD_1 < \Delta < THD_2$ 时, DCU 将电机最大发挥功率按照固定斜率线性下降, 达到限制电机最大功率的目的;

⑤当 $\Delta \geq THD_1$ 时, DCU 将轮径差过大故障上报 TCMS 系统的 HMI, 提醒司机及检修人员动车组回库后需对故障动车做轮径检查及镟轮处理。

3 试验情况

为验证算法性能, 在电气化铁路干线上对温州市域动车组使用上述方法进行了试验验证。

试验过程中, 实际测量的温州市域动车组轮对轮径自动校验的试验数据波形如图 5 所示。

轮对轮径自动校验结果与动车组回库检修时人工实测对应各动力轴轮对轮径值对比结果如表 1 所示。可见, 轮对轮径自动校验结果与动车组回库检修后人工实测各动力轴轮对轮径值基本一致, 最大误差为 0.3 mm, 在

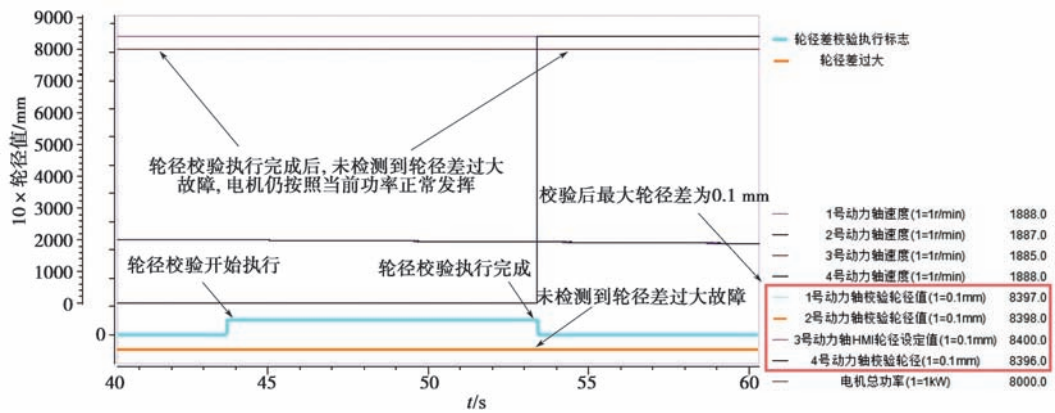


图5 轮对轮径自动校验试验结果

可接受范围之内。

表1 轮径校验及测量值对比 mm

项目	1号动力轴	2号动力轴	3号动力轴	4号动力轴
轮径自动校验值	839.7	839.8	840.0	839.6
人工实际测量值	839.9	839.5	840.0	839.5

试验过程中，利用软件设置1号动力轴速度与其

他轴存在较大速度差异来模拟轮径差异，轮径自动校验的试验数据波形如图6所示。当轮对轮径自动校验结束，检测到动车3号动力轴轮径值与1号动力轴轮径值之差达到9.3 mm时，DCU立即将发生轮径差过大的动车电机功率线性下降至零，封锁CI逆变器脉冲，并报出轮径差过大故障至HMI显示。

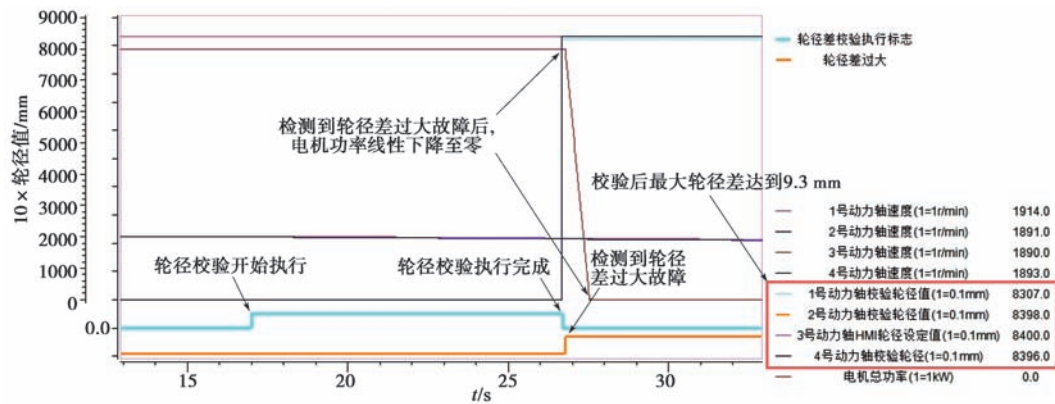


图6 模拟轮径差过大故障试验结果

4 结语

针对温州市域动车组牵引系统设计的特点，提出了一种利用动车组惰行时动车各动力轴轮对轮周线速度等于车身速度的特性，以3号动力轴为基准速度来等效车身速度，以动车组TCMS传输的3号动力轴轮径为参考值，自动进行轮对轮径校验的方法。试验结果表明，该方法能准确校验电动车组各动力轴的轮径，在检测到轮对轮径差过大故障时，能通过减小或完全卸载牵引电机功率的方式，保证动车组的安全运行。

参考文献：

[1] 章志兵，荣智林，姚中红．城际动车组交流传动系统[J]．

机车电传动，2015(5)：6-11.
[2] 李宏，王冰松，刘银生，等．城际动车组旅客服务系统设计[J]．
机车电传动，2015(5)：15-18.
[3] 穆俊斌，王静，刘超，等．浅析CRH3型动车组速度里程计算及控制策略[J]．中国高新技术企业，2014(16)：94-96.
[4] 黄浩，郭维，王文韬，等．主辅变一体牵引变流器动车组自动通过分相区的控制方法[J]．机车电传动，2015(6)：30-33.

作者简介：石 慧（1983-），男，工程师，主要从事轨道车辆及段场工艺设备技术管理工作。