

地铁车辆制动防滑控制故障分析

崔虎山 陈磊 刘中华 刘政 许红梅 谢春杰

(中车唐山机车车辆有限公司,063035,唐山//第一作者,高级工程师)

摘要 制动滑行控制一般分为空气制动滑行和电制动滑行两种控制方式,这两种控制方式相互配合,完成制动滑行的调整。在制动过程中,一般首先进行电制动滑行的调整,然后再进行空气制动滑行的调整。如果防滑控制出现故障,直接的结果就是列车制动距离过长,严重时可能导致擦轮。优化了两种滑行方式的触发方式以及两者之间的配合方式。试验结果表明,优化方案改善了列车的运营品质和行车安全。

关键词 地铁车辆;制动;防滑控制

中图分类号 U270.35

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.004

Analyses of Anti-slip Control Fault in Metro Braking System

CUI Hushan, CHEN Lei, LIU Zhonghua, LIU Zheng, XU Hongmei, XIE Chunjie

Abstract In general, the anti-slip control in the metro brake system has two kinds of control mode, including the pneumatic brake sliding and the electric brake sliding. The completion of anti-slip adjustment needs the cooperation of both control modes. Generally, the adjustment of electric brake sliding is going ahead of that of the pneumatic brake sliding, if any fault happens in the anti-slip control, the direct result will be the longer braking distance, resulting in the worst wheel sliding flat. Therefore, the triggering mode and cooperation mode of both are optimized, the results show that this method has improved the running and safety of metro vehicle.

Key words metro vehicle; braking; anti-slip control

Author's address CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

地铁车辆的制动方式一般分为空气制动和电制动。这两种制动方式都是基于轮轨间的黏着力来实现的。黏着系数越大,相互作用力就越大,相应的制动效果就越好。而当黏着系数变小时,制动期间就容易出现滑行,引起轮对抱死的现象^[1]。出现滑行的最直接表现就是制动距离的延长,从而导

致地铁车辆停车误差较大。

在列车运行过程中,多采用空气制动和电制动混合的方式完成制动作用。其中,电制动和空气制动的防滑控制分别由牵引控制单元(TCU)和制动控制单元(BCU)完成。两个系统既相互独立,又相互配合,从而完成整个制动的防滑控制。通常情况下,电制动防滑控制的灵敏度要高于空气制动^[2]。因此,在混合制动过程中,当出现滑行工况时,电制动的防滑控制会先起作用;如电制动的防滑控制不起作用,则会切除相应的电制动,由空气制动进行防滑控制。

地铁列车多次停车误差较大这一现象大多是由防滑控制故障引起的。

1 电制动与空气制动防滑

电制动的防滑系统采用车控形式。当单个或多个轴滑行时,TCU会降低该车4根轴的电制动力。电制动防滑系统主要通过TCU检测电机转速,对比网络控制单元(CCU)提供的列车运行速度,并根据相应的速度差或减速度差进行防滑的控制。空气制动的防滑系统采用轴控形式。当单个轴滑行时,BCU只降低该轴的空气制动力,而其他轴不受影响。空气制动防滑系统主要通过BCU检测轴速,对比列车运行参考速度,并根据相应的速度差或减速度差进行防滑的控制。

电制动防滑系统在制动过程中,为了保证参考速度的准确性,TCU需要CCU提供列车运行参考速度以用于滑行控制管理,而CCU则直接采取BCU的速度信号,经过相关的逻辑处理后发送给TCU。其中,BCU的速度信号采集过程如图1所示。

地铁车辆的每根轴都设置了1个速度传感器。BCU内部的RBX(本地制动控制)板卡通过速度传感器来采集脉冲信号,并通过相应的计算得出该轴的速度信号。然后,RBX板卡将速度信号发送给BCU板卡,由BCU板卡直接复制该信号,再发送到

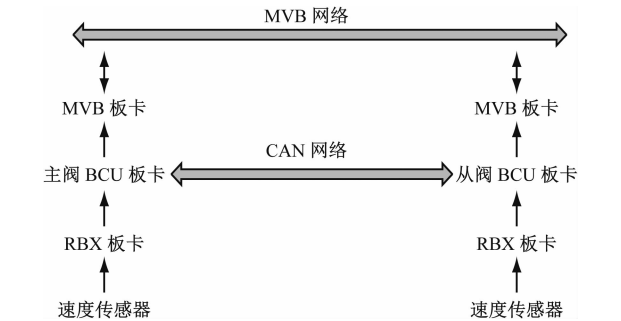
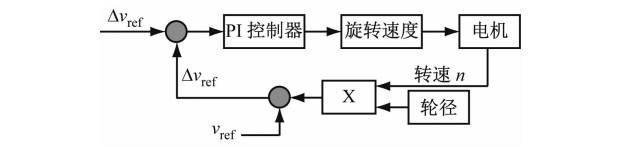


图1 制动系统速度信号采集过程

MVB(多功能车辆总线)板卡;同时,BCU 板卡也会将该数据发布到 CAN(控制器局域网),用于主从阀 BCU 进行数据对比。如果速度数据不一致,则会发出相应的故障警报。

TCU 在接收到 CCU 发出的列车运行参考速度后,直接对比该参考速度和牵引电机的转速,用于判断是否出现滑行。TCU 判断滑行的逻辑流程如图 2 所示。



注: v_{ref} 为 CCU 发出的列车运行参考速度; Δv_{ref} 为 TCU 提前设定好的速度差值判据

图2 TCU 滑行逻辑流程图

图 2 中,PI 控制器模块为判断电制动滑行进入的逻辑条件,主要依据是速度差值;旋转速度模块为判断电制动滑行退出的逻辑条件,主要依据是力矩差值。 v_{ref} 初步定义为 3 km/h。

空气制动的防滑系统则采集每根轴的速度,并对比本车参考速度。当单轴的滑移率达到阈值时,则触发防滑系统;当滑移率小于该阈值时,则复位防滑系统。

电制动防滑系统在进行防滑控制时,会将相关信号通过网络发送给 BCU,以防止 BCU 在此时补充空气制动。BCU 在收到电制动防滑启动信号持续 2 s 后,通过网络切除电制动防滑,并进行空气制动的防滑控制。同时,BCU 也会实时检测车辆滑行状态,当检测到车辆持续滑行 1 s 时,则通过网络切除电制动防滑。电制动防滑与空气制动防滑切换时各部分关系如图 3 所示。

2 防滑数据分析

列车在正线运行过程中,曾出现多次因制动滑

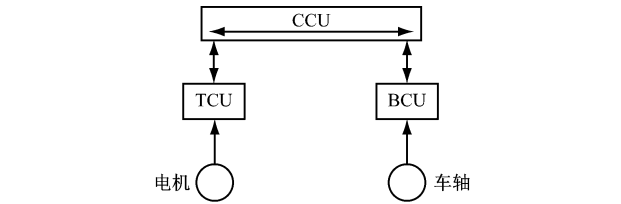


图3 电制动防滑与空气制动防滑切换时各部分关系

行导致停车误差较大的事件,且发生在不同区间、不同的时间段,没有一定的规律性。经查阅相关数据发现,每次滑行均为电制动防滑系统发出,且在持续 2 s 后,由 BCU 切除电制动防滑系统,并由空气制动防滑系统接管列车的滑行调整。而在这多次滑行事件中,空气制动防滑系统并未直接检测到列车的滑行,且在切除电制动后,也未检测到列车的滑行。从数据可以看出,电制动防滑控制直接影响了列车的停车精度。因此,需要重点关注电制动的防滑控制。

通过对数据的分析发现,当 CCU 在发送列车运行速度给 TCU 时,某一速度信号发生了突变(突变值大于 3 km/h),持续时间约 100 ms,然后列车运行速度恢复正常。TCU 在检测到该突变速度后,判断列车当前处于滑行状态,就发出滑行信号给 BCU,并且持续了 2 s。之后,BCU 切除电制动,完全使用空气制动。

可见,在整个制动过程中,列车运行速度只在某一瞬间有突变,且在 100 ms 后恢复正常。此外,该突变值也未达到空气制动防滑的阈值。因此,可以说在列车实际运营过程中并未出现真正的滑行。

TCU 对电制动滑行的监控是实时记录的。当监控到列车参考速度与电机速度的差值大于 3 km/h 时,TCU 开始进入滑行激活状态,并在延迟 200 ms 后,将滑行信号发送给 CCU。同时,TCU 还会降低电制动力来调整滑行状态。在检测到此时输出的电制动力和列车要求的电制动力相等时,TCU 判断滑行消除。TCU 根据力矩差判断,而不再根据速度差判断。TCU 滑行时的制动力变化如图 4 所示。

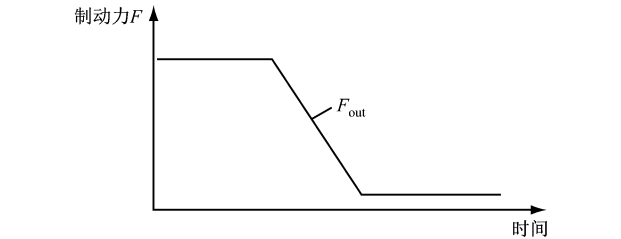


图4 TCU 滑行时的制动力变化示意图

图4中, F 为驾驶员手柄或列车自动驾驶(ATO)系统发出的制动力, F_{out} 为TCU实际输出的电制动力。在滑行开始后, F_{out} 就开始减小,直接降低到一半或者直至为0。

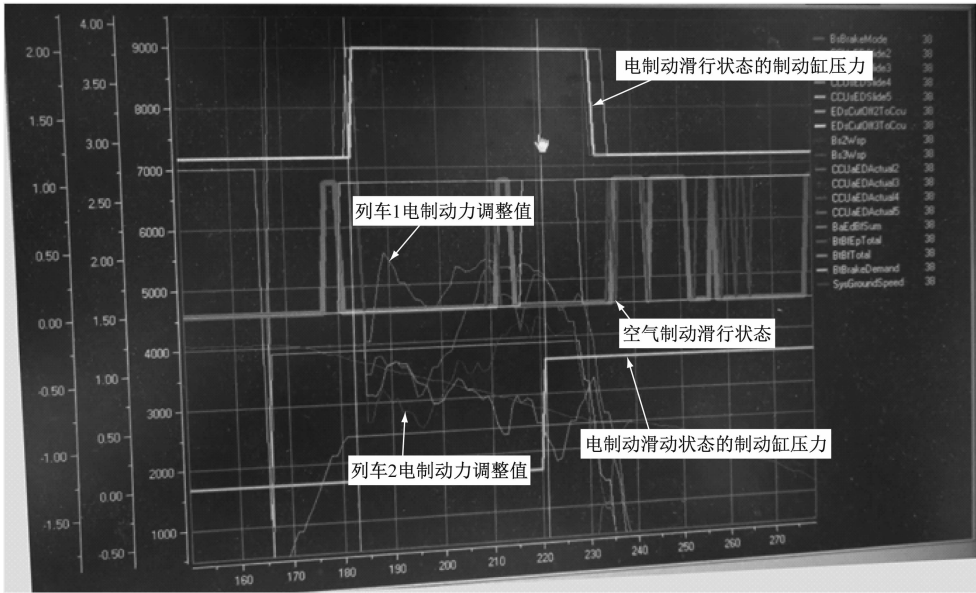
在实际运行过程中,一般采用ATO系统控车,当列车发生滑行的时候,CCU会将滑行信号发送给ATO系统,而ATO系统仅在屏幕上报出提示,但是不进行任何的调整,即制动级位不会降低,ATO系统仍依据减速度曲线模式控制列车运行。在滑行后,制动力减小,减速度随之变小。此时,ATO系统就会增大制动级位的输出以保证制动距离。这样就会形成一个现象:如果电制动出现滑行,TCU可能需要较长时间才能调整过来。

3 优化措施

根据相关的数据分析,上述故障出现的根源是因为有速度信号的突变,从而引起电制动状态下的滑行,进而导致停车误差较大。考虑到速度信号突

变的偶然性,以及每次速度突变的时间只有100 ms,可考虑通过CCU屏蔽掉该突变信号,使CCU在检测到连续的采样周期(100 ms)、且车轴转速与电机转速的速度差大于1.2 km/h时,屏蔽掉该突变速度信号,而取其他轴的速度信号。同时,考虑到TCU每次在电制动防滑系统激活后,都会进行相应的电制动力调整,而电制动调整的时间只有2 s,相对来说时间较短,因此将BCU切除电制动的时间从2 s改为4 s,给予电制动充分的时间进行调整。方案优化后,在试验现场,按照车辆型式试验的要求,采用喷水的方式进行防滑试验,以对方案进行验证。试验结果如图5所示。

从图5可以看出,当列车出现滑行情况时,TCU开始进行电制动的调整。在此过程中,虽然空气制动也检测到了滑行,但是持续时间均未超过1 s,因此并未切除电制动。同时,给予TCU充分的时间进行滑行调整,在4 s后,电制动防滑未调整好列车运行速度,BCU则切除电制动,符合方案设计要求。



注:横坐标为时间轴,单位为s。纵坐标中,第1列为逻辑信号(0,1),第2列为制动缸压力,单位为0.1 MPa,第3列为电制动力,单位为N

图5 优化方案的防滑控制结果

4 结语

列车运行速度数值的准确性,是保证列车防滑系统正常工作的前提。为保证列车运行速度的精确性,TCU都会需要列车提供参考速度,以用于电制动的防滑控制。但是,列车提供的速度最好由CCU或TCU进行相应的过滤处理,以避免异常速度突变导致列车意外滑行。同时,需要针对BCU的

速度采集源做好相应的电磁干扰防护,从根源上解决速度突变的问题。

参考文献

[1] 阳连兴. 地铁列车滑行引起冲标故障分析[J]. 建筑施工, 2016(5):1159.

[2] 张龙平,石喆文,李国庆. 城轨列车混合制动防滑控制技术研究[J]. 铁道车辆,2017(9):18.

(收稿日期:2018-04-17)