

# 自动运行模式下城际轨道交通列车 进站滑行冲标分析

陈 旭

(交控科技股份有限公司, 100070, 北京//工程师)

**摘 要** 对实际运行的城际轨道交通列车在 ATO(列车自动运行)模式下进站时滑行冲标现象进行分析。从制动系统角度分析了列车滑行时的车轮状态,结合信号系统和车辆牵引系统在列车滑行时的控制动作,分析列车进站时滑行冲出站台和发生车轮擦伤的根本原因,并给出相应的建议措施。

**关键词** 城际轨道交通; 列车自动运行; 车轮防滑保护; 进站冲标; 车轮擦伤

**中图分类号** U239.56

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.03.044

## Analysis of Intercity Rail Transit Train Sliding and Overrunning Signal Beacon upon Station Entry in ATO Mode

CHEN Xu

**Abstract** The phenomenon of intercity rail transit train sliding and overrunning signal beacon when entering the station in ATO (automatic train operation) mode is analyzed. The wheels state during train sliding is analyzed from the perspective of braking systems. Considering the control action of signaling and vehicle traction systems towards train sliding, the root cause of train sliding and rushing out of platform causing wheel abrasion upon station entry is analyzed, and corresponding suggestions and measures are proposed.

**Key words** intercity rail transit; automatic train operation (ATO); wheel slide protection; overrunning signal beacon; wheel abrasion

**Author's address** Traffic Control Technology Co., Ltd., 100070, Beijing, China

城际轨道交通列车大多运行在高架线路上,其最高运行速度可达 100 ~ 120 km/h。若城际轨道交通线路周边的环境条件恶劣,开放的轨道运行环境容易造成轮轨间黏着的降低,给列车的高速运行带来安全风险。本文针对某城际轨道交通列车(最高

运行速度为 120 km/h)在 ATO(列车自动运行)模式下进站时发生滑行并冲出站台的现象进行详细分析,找出发生该问题的根本原因,并提出相应的建议措施。

## 1 列车制动系统配置

案例列车为 3 节编组,采用 CAN(控制器局域网络)单元,配置架空制动系统。如图 1 所示,在列车两端 2 节车辆的第 1 个转向架上配置网关阀,其余转向架上配置智能阀,在每根车轴配置 1 个速度传感器。网关阀之间通过列车总线连接,并与车辆网络进行通信;网关阀与智能阀、智能阀与智能阀之间用 CAN 总线互相连接。

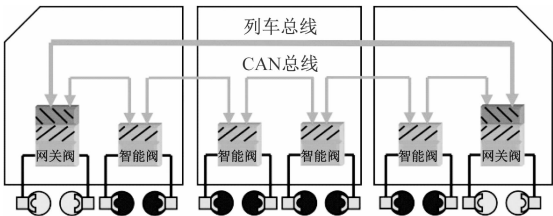


图 1 列车制动系统 CAN 单元配置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of train braking system CAN unit configuration

当列车处于制动状态时,如果施加在车轮上的制动力大于轮轨间黏着所能承受的最大力,车轮将会滑行。此时可通过滑行轴与参考轴的速度差或滑行轴的减速度大小来判断列车是否已处于滑行状态,并据此决定列车的空气制动防滑保护是否需要被激活。

案例列车采用 EP2002 制动系统。该制动系统防滑保护控制的逻辑是:当车轮处于滑行状态时,如果能将滑行轴的速度和参考轴的速度差控制在一定的合理区间内,空气制动力可以充分利用轮轨间的黏着。同时,该车轮防滑保护系统拥有防滑硬

件监控计时器,具备监管防滑软件动作的功能,此计时器可以防止排气阀长时间排气或保压阀长时间保持不动作<sup>[1]</sup>。在正常情况下,仅需通过该防滑控制软件就能完成防滑保护动作。具体的防滑控制策略及评判标准在文献[2-5]中有详细的阐述。

## 2 列车进站滑行冲标分析及建议措施

### 2.1 列车进站时滑行冲标问题分析及试验验证

本文针对案例列车在露天高架线路且有小雨条件下,以ATO模式进站时产生滑行并冲出站台区域的现象(本现象只有1个固定站台上出现)进行分析,以找出列车滑行的根本原因。

小雨天气下轨道潮湿,由此造成轮轨间黏着系数降低。当施加的制动力大于实际低黏着能承受的最大制动力时,列车发生滑行并触发防滑保护系统动作。相关系统记录的数据显示:在启动防滑控制约20 s后列车开始严重滑行,造成滑行轴的轴速度和列车速度不匹配,进而导致ATO系统的OPG(里程脉冲发生器)采集到的公里数据与列车雷达采集到的公里数据不一致,由此,ATO系统据此判定列车位置丢失,并触发紧急制动。列车在紧急制动作用下停车,而在低黏着条件下施加更大的制动力(即紧急制动力)必然导致制动距离的加大,最终导致列车冲出站台约20 m。

由列车运行记录数据和信号系统中记录的列车运行数据可知,列车通常在进站前300 m左右、速度约为90 km/h时开始制动,由此可计算出此时列车需要施加 $1.152\text{ m/s}^2$ 的等效减速度,方可满足进站停车需求。而本项目在设计之初确定的100%制动级位的全常用制动等效减速度为 $1.090\text{ m/s}^2$ ,列车在到站前300 m开始制动,其所施加的制动力已经超过列车全常用制动能力范围,因此在轮轨间低黏着时必然会发生滑行现象。

通过上述分析,将列车进站前由ATO模式转为司机手动驾驶,并进行了相关验证。试验过程中记录的相关数据如表1所示。

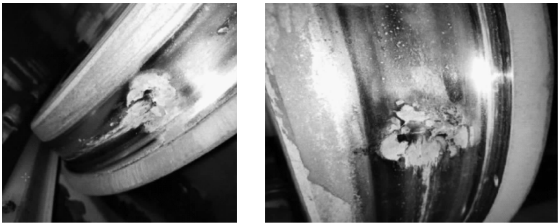
### 2.2 车轮擦伤归因分析

针对上述司机手动驾驶列车进站时在部分试验中出现的车轮擦伤现象(见图2)进行详细分析,同时查看EVR(事件记录仪)相关数据记录,找出具体的原因。

基于上述分析过程,ATO模式转为手动驾驶模式后,制动系统记录的数据显示在列车滑行过程

表1 手动驾驶模式下列车进站的试验数据  
Tab.1 Test Data during train entering station in manual driving mode

时刻	描述
18:57:04	ATC(列车自动控制)给出制动指令且制动力需求值为0,车辆处于惰行状态,列车的运行速度为111 km/h
18:57:13	ATC开始给出制动力需求值,并施加电制动(优先使用电制动)
18:57:21	ATC给出的制动力需求值为62.1%,此时列车检测到滑行。按照设计约定,空气制动系统检测到电制动滑行信号且电制动未及时恢复,滑行后空气制动系统开始介入,并启动防滑保护;实施电制动和空气制动共同施加的混合制动 <sup>[6]</sup>
18:57:29	司机转为手动驾驶模式并施加快速制动,列车速度降至71 km/h,列车处于防滑保护状态
18:57:42	ATP(列车自动防护)触发紧急制动,列车速度降至48 km/h
18:58:00	列车冲出站台区域22 m后停车;在本次试验中,列车有车轮擦伤现象



a) 左侧车轮擦伤                      b) 右侧车轮擦伤

图2 列车在手动驾驶模式下进站时发生车轮擦伤

Fig.2 Wheel abrasion occurred upon train entering station in manual driving mode

中滑行轴和参考轴速度差在约5 s时间内越来越大,防滑保护系统由此及时控制各轴的制动缸压力<sup>[1]</sup>。此过程中,制动缸压力已经排空,但是滑行轴轴速依然未能恢复到参考轴轴速的控制范围内。如图3所示,防滑过程中某些轴制动缸压力为0的时间超过了4 s(即出现防滑超时),对应轴的轴速亦未恢复到列车参考轴速度的控制范围内。为了确保行车安全,需要切除软件防滑功能并开始施加制动力,而此时轮轨黏着仍处于较低水平,在施加制动力后滑行轴的轴速急剧降到0,个别轮对出现抱死的状态(即轴速为0且有制动力施加)。但是此时列车依旧有一定的运行速度,滑行轴车轮轮周就不可避免地轨道面上平移滑动,进而导致车轮踏面擦伤<sup>[7-8]</sup>。由此可知,上述车轮擦伤是滑行轴防滑动作超时后引起的常规现象。

综上所述,在有毛毛细雨或雨雾等天气条件不

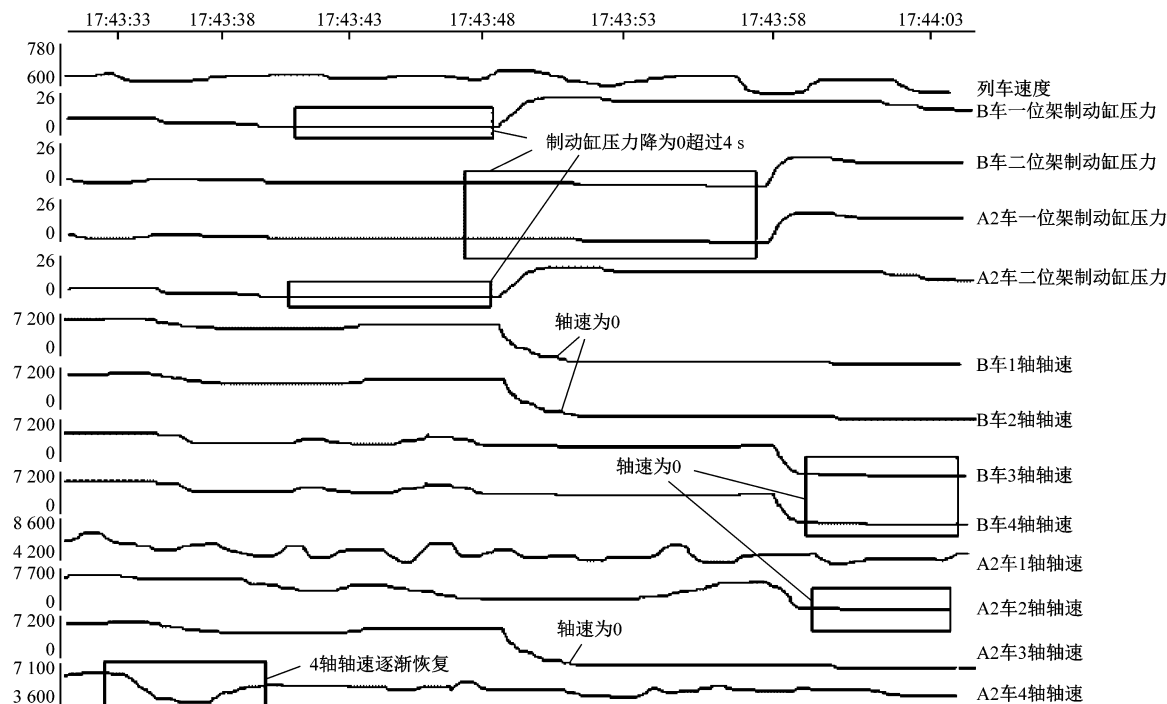


图3 车轮踏面擦伤时 EVR 记录数据界面截图

Fig. 3 Interface of EVR recorded data during wheel tread abrasion

好的情况下列车就会出现滑行,继而产生轴速度与列车速度的差异。按照信号 ATP 设计逻辑,此时应施加紧急制动。在防滑保护系统动作过程中,变化的轴速度与列车速度之间存在较大差距是正常的。而对于列车在 ATP 保护模式下因防滑动作导致紧急制动的情况,需要信号系统重新评估其设计的初始逻辑是否合适。

### 2.3 建议的整改措施

1) 目前出现滑行及冲标集中在 1 个站点,列车在此站点存在请求制动施加时间点偏晚或需求制动减速度偏大的情况。ATO 系统在进行列车进站停车计算时没有考虑列车出现滑行(即实际列车减速度相对于期望值偏低)的情况,因此发生列车进站冲标现象。需要信号系统将该站点与其他站点在进站停车过程的制动级位差异进行对比,并适当调整该站点的停车控制速度曲线。

2) 从目前情况及其他项目的经验看,如果 ATO 设计或者实际运行时期望列车以较高的制动减速度进站停车,在轮轨黏着受到天气影响不能提供其所要求的制动减速度时,列车就会出现滑行甚至冲标。此外,若列车在低黏着条件下发生严重打滑,此时再请求大极位的制动需求(如紧急制动),

并不能使列车在有效距离内停车。因此,露天线路在轨道条件不好时(如受雨、雪、霜、雾等天气影响),如果不能改变轮轨黏着状态,则建议采取人工驾驶、限速运行、进站前施加小制动级位(即提前制动)等措施<sup>[9-10]</sup>来满足列车运行要求。

### 3 结语

轨道交通车辆在制动过程中出现滑行属正常情况,滑行时有专门的防滑保护系统进行控制,以确保列车运行安全。但是如果在低黏着条件下,在防滑控制超时后就有发生车轮擦伤的风险。本文对于某城际轨道交通列车在雨天运行进站停车时滑行冲出站台区域的现象进行详细分析,并对提出的相关建议进行试验验证。在轮轨黏着较差的情况下,列车冲标现象依旧发生,且偶有车轮擦伤现象发生。针对上述现象,建议信号系统优化其控制策略或运营部门调整运营图,使列车能够在频繁发生滑行的站点提前实施小级位制动。

### 参考文献

- [1] 陈旭,赵建飞,李毅.地铁车辆纯空气制动滑行研究[J].铁路技术创新,2019(5):37.

(下转第 212 页)