

城市轨道交通

广州地铁6号线列车停车冲击问题分析与优化

何 晔, 赵 帅

(广州市地下铁道总公司 运营事业总部,
广东 广州 510380)

摘 要: 针对广州地铁6号线列车出现的在停车时冲击较大的问题进行了系统分析, 详述了试验过程, 提出了通过降低低速时的停车级位作为解决方案, 并验证了整改后的效果, 使得广州地铁6号线的停车平稳性有了较大优化。

关键词: 停车冲击; 保压制动; 平稳性; 舒适度; 优化; 广州地铁6号线

中图分类号: U231; U260.35 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2015)02-0107-003
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.02.026

广州地铁6号线在运营初期时常接到反馈, 列车在正线车站对标停车时, 列车的平稳性较差, 在列车进站停车瞬间乘客站立不稳, 对乘客的乘车舒适度造成较大影响。通过乘坐其他地铁线路并对比, 发现其他线路车辆在停车瞬间也存在停车冲击率较大的问题。针对该问题, 广州地铁和相关供应商展开了专题研究。

这里提出一种方法, 通过改进列车进站时的控车方案来实现降低停车冲击率, 增加乘车舒适度。

1 问题分析

为了找到6号线停车冲击大的原因, 首先对在ATO调试阶段的正线试验数据进行了分析并上车体验乘坐舒适性。

从图1~图3列车运行曲线可以看出, 北京路站列车停车制动级位约为70%, 停车冲击较大; 寻峰岗站列车停车制动级位约为20%, 停车冲击较小; 横沙站列车停车制动级位约为60%, 停车冲击较大。当列车进站停车级位较大时刻, 在列车停稳的一瞬间, 列车的停车制动级位较大, 导致列车减速度比较大, 列车停车冲击较为明显。

列车停车瞬间是列车由动变静的过程, 减速度率变化势必会比较大, 若在车辆停稳之前施加的制动力过大, 会导致加速度变化较大, 感觉到的冲击较为明显, 出现乘客站不稳的情况。从图中的对比可以看出, 停车前施加的制动级位越大, 列车冲击越大。因此, 6号线列车出现停车冲击较大的原因为停车瞬间施加的制动级位较大所致。

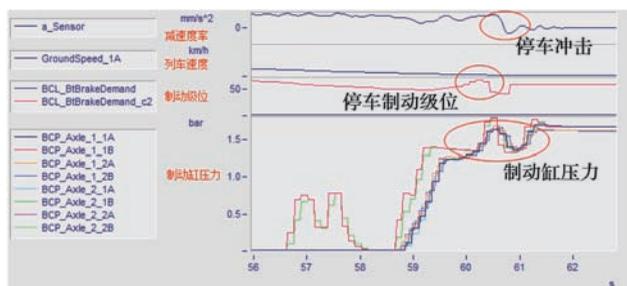


图1 北京路站列车停站制动曲线

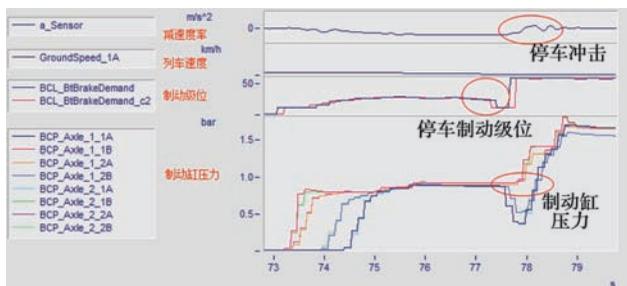


图2 寻峰岗站列车停站制动曲线

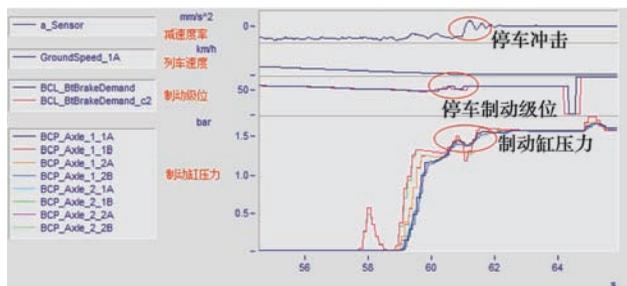


图3 横沙站列车停站制动曲线

2 原因分析

为了查找停车瞬间冲击偏大的原因, 在试车线上进行了一系列的试验。根据前期ATO调试时期的数据, 在人工模式下列车加速到25 km/h, 进行了各种制动参考值下的制动试验。试验测试内容、部分测试曲线和结果如表1及图4~图7所示。

表1 不同级位下的停车情况统计

| 测试内容 (人工模式下列车加速到 25 km/h) | 停车情况 |
|------------------------------|------|
| 施加 10% 全常用制动停车 | 非常平稳 |
| 施加 20% 全常用制动停车 | 平稳 |
| 施加 30% 全常用制动停车 | 平稳 |
| 施加 40% 全常用制动停车 | 有冲动 |
| 施加 50% 全常用制动停车 | 有冲动 |
| 施加 60% 全常用制动停车 | 有冲动 |
| 施加 70% 全常用制动停车 | 冲动较大 |
| 施加 80% 全常用制动停车 | 冲动较大 |
| 施加 90% 全常用制动停车 | 冲动较大 |
| 施加 100% 全常用制动停车 | 冲动较大 |

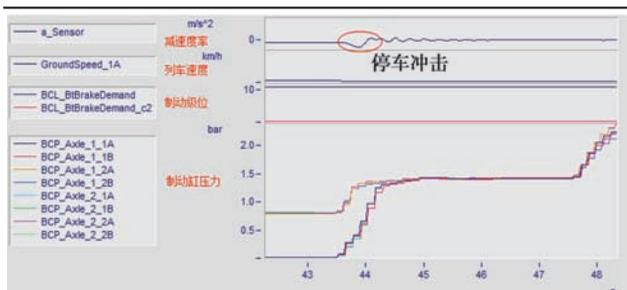


图4 列车10%级位停车制动曲线

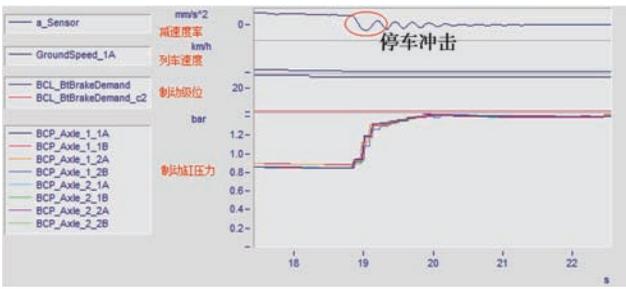


图 5 列车 30% 级位停车制动曲线

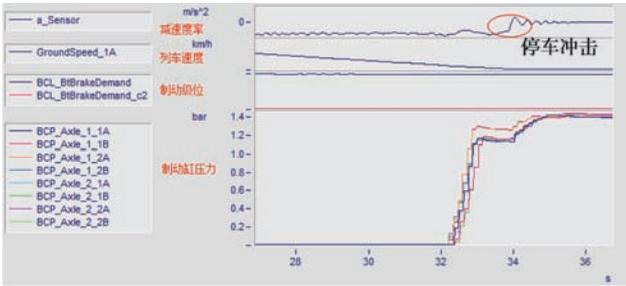


图 6 列车 50% 级位停车制动曲线

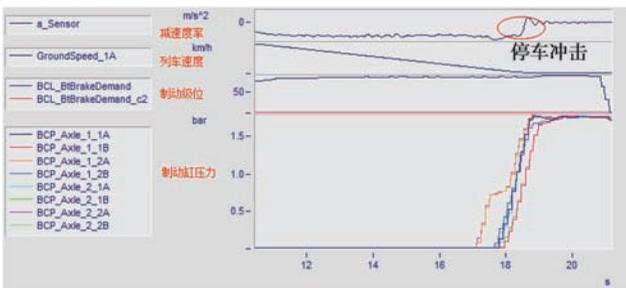


图 7 列车 90% 级位停车制动曲线

试验发现，在级位 10%~30% 全常用制动情况下列车停稳前的冲击比较小，列车停止瞬间非常平缓，如图 4、图 5；级位 40%~100% 全常用制动情况下列车停稳前的冲击比较大，对乘车舒适度影响较大，如图 6、图 7。即级位从 40% 开始，级位越大，停车冲击逐步上升。在 6 号线列车中，列车停车保压制动力默认为级位 70% 全常用制动力，在停车时，10%~30% 级位的制动减速度与保持制动的减速度差值比其他级位大，而且当外部施加制动力大于等于 70% 全常用制动力时，也就是说外部制动力覆盖了保压制动力，即停车时刻没有保压制动力，而是靠外部制动力将列车停下，停车冲击同样很大，因此保压制动力的大小和施加时间不是引起停车冲击的根本原因。

当列车施加恒定的制动力进行列车制动时，列车速度匀速下降直到零速停车，在停车的瞬间，列车减速度瞬间减小到零值，带来一定的冲击，冲击的计算方法如下：

$$J_{erk}=(a_2-a_1)/(t_2-t_1)=(a_2-0)/(t_2-t_1)=a_2/(t_2-t_1)$$

式中： J_{erk} 为列车减速度变化率； a_1 为列车停车时刻的减速度； a_2 为列车在某时刻 t_2 时的减速度； t_1 为停车时间； t_2 为与 a_2 对应的时间。

在车辆降速到零速停止的瞬间由于时间非常短促，也就是说 t_2-t_1 值非常小，导致 J_{erk} 值比较大，只有当减小 a_2 值也就是停车的制动级位才能减小 J_{erk} 值。实

际当恒定的制动力级位越小停车时冲击越小，当恒定的制动力级位越大停车时冲击越大。假设列车由非零速到零速的瞬间的时间相同， a_2 制动级位带来的冲击比 a_1 制动级位要小，但会增加停车时间。

3 解决方案

由于列车停车瞬间的冲击问题与停车时刻的制动级位相关，因此可从减小列车停车时刻的制动级位着手，考虑在列车低速时刻降低列车的制动级位。

方案一：在车辆进行常用制动停车时，在低速度时刻，由 ATO 将控车级位降低到不超过 30% 的全常用制动进行停车。此方案会导致停车时间延长，需要 ATO 重新调整运行曲线。

方案二：在车辆进行常用制动停车时，在低速度时刻，由 TMS 将接收到的超出 30% 全常用制动的控车级位固定在恒定 30% 全常用制动，由 TMS 将接收到的小于 30% 全常用制动的控车级位按实际级位进行施加。

方案三：在车辆进行常用制动停车时，在低速度时刻，由空气制动系统将超出 30% 全常用制动的控车级位固定在 30% 全常用制动，由空气制动系统将接收到的小于 30% 全常用制动的控车级位按实际级位进行施加。

以上方案都需要对信号进行适应性修改和调试。

考虑到方案一给运营时间带来的影响并且调试周期太长，方案二需要同时修改 TMS 软件和制动软件导致工作量较大，故最终选择方案三，对空气制动系统软件进行更改。在车辆进行常用制动停车时，在速度为 1 km/h 或者 3 km/h 时刻，由空气制动系统将超出 30% 全常用制动的控车级位固定在 30% 全常用制动，由空气制动系统将接收到的小于 30% 全常用制动的控车级位按实际级位进行施加。最终方案选定 1 km/h 和 3 km/h 2 个速度点值，对此 2 个值需要进行后期验证。

4 试验验证

为了确定方案在低速阶段 2 个不同的速度点采取的小制动级位对于改善冲击的效果，分别对 2 个更新软件方案进行外部指令为 10%~100% 全常用制动进行试验，并记录下相关数据。

在进行 1 km/h 方案试验时发现，由于列车在 6 km/h 左右开始进行电空转换，当列车在 1 km/h 时刻已经是纯空气制动，由于空气制动施加的物理特性，在 1 km/h 速度点将制动级位降为 30% 对列车实际减速度降低带来的影响较小，在 1 km/h 和 0 km/h 之间 BCP 变化非常小，因此，1 km/h 方案对改善列车停车冲击影响有限，如图 8 所示。

在进行 3 km/h 方案试验时发现，列车在 3 km/h 速度点将制动级位降为 30% 到列车停止时间段，制动缸 BCP 下降幅度较大，列车减速度也随之降低，在列车停止瞬间，停车冲击大幅降低，达到预期设计目的，如图 9~ 图 11 所示。