

# 某 10.5 m 低入口城市客车制动跑偏的分析及改进

江学东

(中车时代电动汽车股份有限公司, 株洲 湖南 412007)

**摘要:**针对低入口城市客车制动跑偏问题,从转向系统与悬架系统的运动干涉进行研究。通过建立与实车一致的虚拟样车进行仿真分析,并对实车进行改进验证,解决了实车制动跑偏问题。

**关键词:**城市客车; 低入口; 运动干涉; 制动跑偏

中图分类号:U462.3<sup>+5</sup>

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)06-0036-05

## Analysis and Improvement of Braking Deviation for a 10.5 m Low Entrance City Bus

JIANG Xuedong

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

**Abstract:** Aiming at the braking deviation problem of a low entrance city bus, this paper studies the motion interference between the steering and the suspension system. Establishing a virtual sample vehicle consistent with the real vehicle to carry out the simulation analysis, improving the real vehicle to solve the braking deviation problem of the real vehicle.

**Key words:** city bus; low entrance; motion interference; braking deviation

汽车制动时自动向左或向右偏驶称为制动跑偏。严重的制动跑偏会造成交通事故。国内学者已针对车辆制动跑偏问题开展了大量研究。文献[1]中使用鱼骨图对某客车制动跑偏问题的根源进行排查,得到影响该车型制动跑偏的主要因素,通过现有车型对比验证,最后提出工程改进方案;文献[2]从产品结构和制动原理上分析制动跑偏的原因,并进行实例分析,为客车转向桥研发和制动跑偏维修提供参考;文献[3]从转向系统与悬架系统运动干涉对整车制动跑偏的影响方面进行研究。

本文对某 10.5 m 低入口城市客车制动向左跑偏现象进行分析,先通过仿真复现制动跑偏现象,再改进转向与悬架系统,最终解决了实车制动向左跑偏的问题。

### 1 问题描述及原因分析

问题客车整备质量为 11 850 kg, 整车尺寸为

10.5 m×2.5 m×3.28 m(长×宽×高)。GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》<sup>[4]</sup>对客车制动跑偏提出了要求:汽车在初速度 60 km/h 时进行紧急制动,车辆未偏离 3.7 m 宽的跑道。因此该客车的跑偏量应该小于  $(3.7 - 2.5)/2 = 0.6$  m。而该车在紧急制动时,向左跑偏 0.7 m 以上。

按图 1 所示的鱼骨图对影响制动跑偏的因素进行分析检查或试验。检查制动系统,重新调整左右制动间隙后进行试验;将跑偏车的左右制动钳对调后进行试验;检查前桥参数,确认所有的外倾角、前束均在合格范围内;检查车架尺寸,确认所有的关键尺寸均在图纸要求范围内;检查发现左右轮毂转动灵活,无阻力或卡滞现象<sup>[1]</sup>。以上有关试验都未能改善车辆制动跑偏。因此,剩下的转向系统与悬架系统运动干涉对整车制动跑偏的影响<sup>[5]</sup>成为研究重点。

收稿日期:2024-04-08。

第一作者:江学东(1983—),男,硕士;高级工程师;主要从事客车研发及设计工作。E-mail:466343043@qq.com。

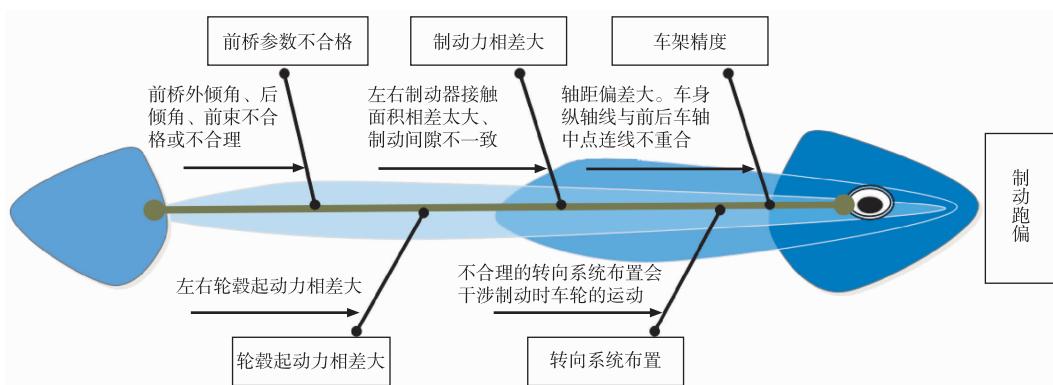


图 1 汽车制动跑偏因素鱼骨分析图

国内低入口城市客车<sup>[6]</sup>常采用大落差门式前桥，其转向直拉杆普遍在前桥前方，转向节臂通常都在前轴下方，转向节臂的球铰中心和普通前桥相比，前者与轮胎中心的垂直落差更大。理论分析其制动跑偏的主要原因如下：

1) 跳动轨迹干涉。制动时，整车产生俯仰运动，车身前部下沉和回弹，相当于轮胎往上和往下跳动。如图 2 所示，在轮胎上下跳动时，受悬架导向杆约束，转向直拉杆与转向节臂的球铰中心应向后运动，但又受到转向系拉杆约束的影响：由于转向器阻力较大且转向直拉杆刚度较大，导致转向节臂球铰中心无法往后运动，从而产生跳动干涉现象，随后转向直拉杆带动车轮往左转动，导致制动时往左跑偏。

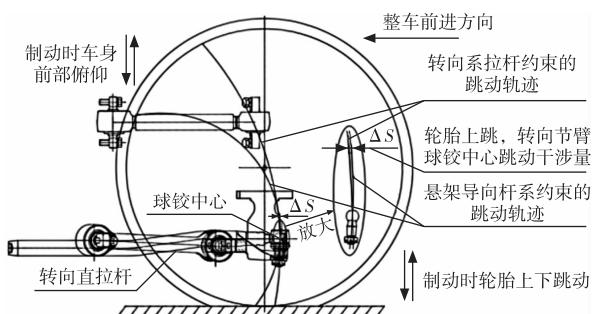


图 2 制动时大落差门式前桥跳动干涉图

2) 纵扭干涉。制动时，车轮受到逆时针的扭转力矩，轮胎带动轮辋，扭转力矩经过主销的传递，工字梁两端和导向杆系里的橡胶衬套均产生较大弹性变形，进而使转向节臂也产生逆时针旋转的趋势。由于大落差门式前桥转向直拉杆与转向节臂的球铰中心在轮胎中心下面，球铰中心应向后运动，如图 3 所示，

但又受到转向系拉杆约束的影响：由于转向器阻力较大且转向直拉杆刚度较大，导致转向节臂球铰中心无法往后运动，从而产生纵扭干涉现象，随后转向直拉杆带动轮胎往左转动，导致制动时整车往左跑偏。

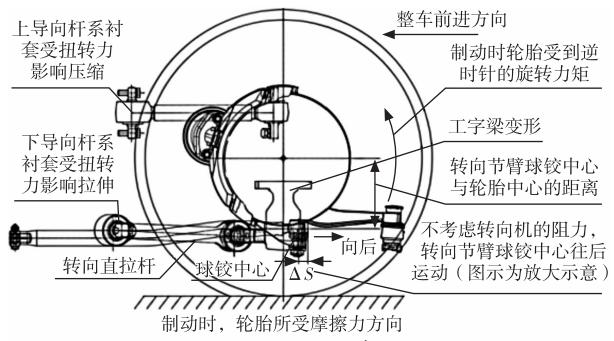


图 3 制动时大落差门式前桥纵扭干涉图

下面建立与实车一致的虚拟样车，从仿真上进一步分析原因并进行改进。

## 2 整车制动仿真分析及改进

### 2.1 仿真模型建立及设置

根据实车参数(见表 1)，建立样车的 Adams 仿真模型<sup>[7-8]</sup>，主要包含：转向、前桥、前悬架、后桥、后悬架、驱动电机、轮胎等，如图 4 所示。

制动仿真中，取 50 km/h 匀速直线行驶作为初始状态，保持此时的方向盘转角不变，以 0.2g 恒定纵向加速度进行制动减速，直至车速低至不满足仿真要求(约 5 km/h)。提取车辆整个制动过程中的行驶轨迹，分析跑偏量及造成跑偏的原因<sup>[3]</sup>。

表1 整车主要参数

项目	参数
质心高度(空载/满载)/mm	1 170/1 200
轴距/mm	5 800
轮胎规格	275/70R22.5
轮距(前轮/后轮)/mm	2 100/1 888
整备质量/最大总质量/kg	11 850/18 000
前轴轴荷(空载/满载)/kg	4 000/6 950
后轴轴荷(空载/满载)/kg	7 850/11 050
非簧载质量(前悬架/后悬架)/kg	770/1 282
前悬架(空/满载)簧载质量/kg	3 230/6 180
后悬架(空/满载)簧载质量/kg	6 568/9 768

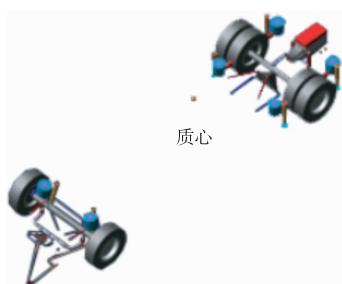


图4 虚拟样车模型

## 2.2 原车状态制动跑偏分析

原状态车辆满载制动跑偏试验行驶轨迹如图5所示。在车辆左右载荷和制动力均对称的情况下,制动时仍向左跑偏,0.2g制动时总跑偏量为0.75 m。在方向盘转角锁定的情况下,造成制动跑偏的直接原因可能有:①左右轮胎纵向力不一致;②车辆前束变化的不对称。通过分析仿真数据可知,左右轮胎纵向力基本一致,但前轴的前束角明显偏向左侧,这与车辆向左跑偏的方向相符合,因此认为前轴的前束变化是造成大幅跑偏的主要原因。

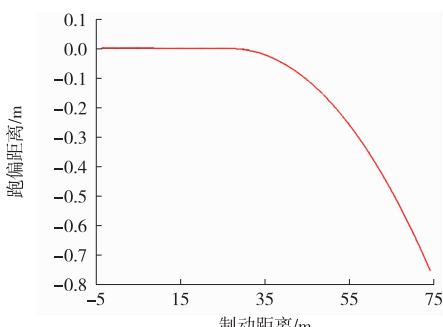


图5 满载0.2g制动跑偏试验行驶轨迹

对前悬架进行运动学和弹性变形的特性仿真,进一步分析其前束变化的原因。前悬架跳动引起的前束变化曲线(平行垂跳运动学仿真获得)及纵向制动力变化引起的前束变化曲线(纵向制动力柔顺性仿真获得),分别如图6和图7所示。

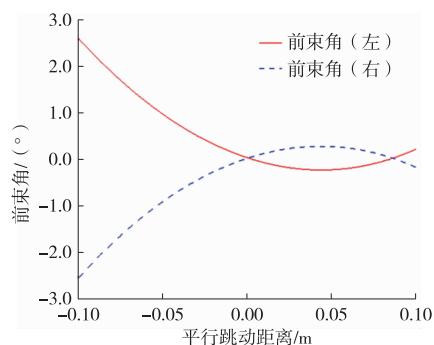


图6 车轮跳动引起的前束变化曲线

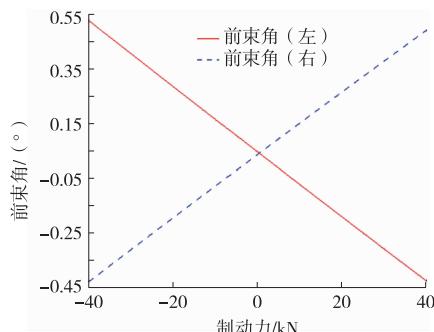


图7 纵向制动力引起的前束变化曲线

可据此分析制动时前束变化的原因:以0.2g制动工况为例,根据整车动力学仿真,实际整车前轴前束变化量为0.53°。从图6可以看出,此时前悬架车轮上跳量为24 mm,对应的运动学前束角变化为0.21°;从图7可以看出,前轴单轮纵向力为27 400 N,对应的柔顺性前束角变化为0.32°。所以制动时前轴的转向角40%(0.21°/0.53°)由跳动干涉导致,60%(0.32°/0.53°)由纵扭干涉导致。要改善制动跑偏可从这两方面考虑。

## 2.3 改进设计及效果

### 2.3.1 跳动干涉改进及效果

跳动干涉导致的跑偏问题,可通过改动硬点位置减少干涉量,进而减小跑偏量。采用表2硬点改进三种方案进行仿真分析:方案a将转向拉杆前铰点上移54 mm;方案b将悬架下推力杆后铰点上移24 mm;方

案c将转向拉杆前铰点上移20 mm,且悬架下推力杆后铰点上移16 mm。

表2 硬点改进三种方案

方案	转向纵拉杆前铰点硬点坐标			悬架下推力杆后铰点硬点坐标(以左侧为例)			mm
	X	Y	Z	X	Y	Z	
原方案	-879.0	-356.9	-158.0	-158.05	-98.0	-151.04	
改进方案a	-879.0	-356.9	-104.0	-158.05	-98.0	-151.04	
改进方案b	-879.0	-356.9	-158.0	-158.05	-98.0	-127.04	
改进方案c	-879.0	-356.9	-138.0	-158.05	-98.0	-135.04	

改进前后的跳动前束变化曲线如图8所示,跑偏仿真结果如图9所示,三种方案的效果相当,基本上都能消除运动学干涉转向,并减少44%~56%的跑偏量,跑偏结果见表3。

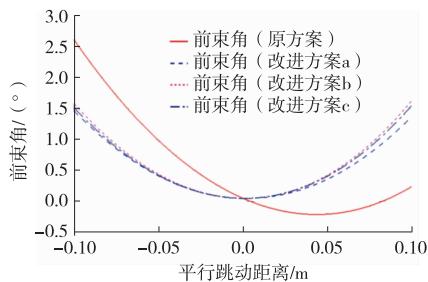


图8 改进前后的跳动前束变化曲线

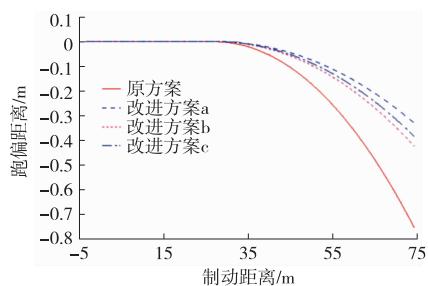


图9 改进前后的满载0.2g制动跑偏试验行驶轨迹

表3 跳动干涉改进前后制动跑偏量对比表

性能参数 (满载)	原方案	改进后			注释
		方案a	方案b	方案c	
跳动转向/ (°·m⁻¹)	-11.90	-0.52	-0.29	-0.19	上跳右转 为正
50 km/h车速0.2g 制动跑偏量/m	-0.75	-0.33	-0.39	-0.42	向右为正

### 2.3.2 纵扭干涉改进及效果

跳动干涉改进往往受到地板结构及转向系统结构影响,设计的硬点位置无法改动。从前面问题描述及原因分析中的纵扭干涉分析可知,可通过加大前桥工字梁刚度或改变推力杆衬套径向刚度,以减弱纵扭干涉转向。本文主要对易实现的推力杆衬套径向刚度的变化进行分析,衬套刚度变化见表4。

表4 衬套刚度改进方案

衬套名称	衬套径向刚度/(kN·mm⁻¹)	
	改进前	改进后
上推力杆衬套(前&后)	56.2	130
下推力杆衬套(前&后)	56.2	130

改进前后的纵向制动力前束变化曲线如图10所示,跑偏仿真结果如图11所示,减少约49%的跑偏量,跑偏结果见表5。

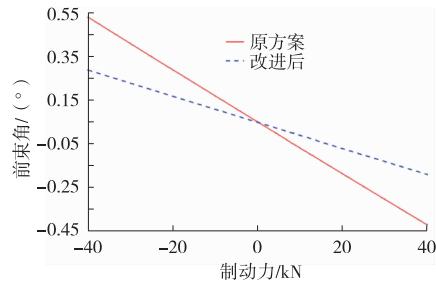


图10 改进前后的纵向制动力前束变化曲线

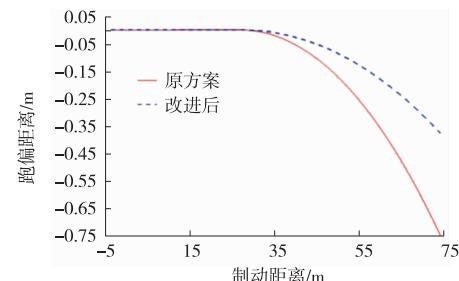


图11 满载0.2g制动跑偏试验行驶轨迹

表5 纵扭干涉改进前后制动跑偏量

性能参数(满载)	改进前	改进后	注释
制动力柔顺转向/((°)·kN⁻¹)	-0.0119	-0.004	制动右转为正
50 km/h车速0.2g制动跑偏量/m	-0.75	-0.38	向右为正

### 2.4 实车改进及效果

针对目标客车进行改进,选取前桥工字梁刚度较

大的桥并更换推力杆方案(上下推力杆衬套径向刚度由 60 kN/mm 更改为 130 kN/mm),按照 GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》<sup>[4]</sup>进行试验。试验得出,向左跑偏 0.3 m,车辆未偏离国家标准要求的 3.7 m 宽跑道。故改进方案切实有效。

### 3 结束语

本文先使用鱼骨图排除法确定实车发生制动跑偏现象不是由制动系统、四轮定位、车架制造精度等造成的,然后针对低入口城市客车转向系统与悬架系统运动干涉对整车制动跑偏的影响展开理论分析,再利用动力学仿真软件建立与实车一致的虚拟样车进行仿真计算,找出低入口城市客车制动跑偏的内在原因,并采取相应措施解决了实车发生的制动跑偏问题。为改善低入口客车的制动跑偏问题提供了有效的解决方法。

### 参考文献:

- [1] 李松芙,纪绪北,李振,等.客车制动跑偏问题改进[J].客车技术与研究,2016,38(4):20-22.
- [2] 黄志威,秦成.客车制动跑偏问题研究[J].客车技术与研究,2015,37(5):37-39.
- [3] 韩艳辉,师占雨,陈龙,等.基于转向系统布置优化的整车制动跑偏方法研究[J].重型汽车,2021(6):8-10.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部.商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法:GB 12676—2014[S].北京:中国标准出版社,2015:20-21.
- [5] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2010:82-83.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部.低地板及低入口城市客车结构要求:GB 19260—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-4.
- [7] 陈军. MSC. ADAMS 技术与工程分析实例[M].北京:中国水利水电出版社,2008:206-269.
- [8] 陈志伟. MSC Adams 多体动力学仿真基础与实例解析[M].北京:中国水利水电出版社,2012:205-260.

(上接第 30 页)

- [7] 刘俊峰,康元春.动力电池电池箱轻量化设计[J].农业装备与车辆工程,2024,62(3):45-49.
- [8] 高奇,李学博,刘峰云,等.纯电动城市客车动力系统匹配设计[J].汽车实用技术,2018(15):5-8.
- [9] 郑泽平.纯电动公交客车动力系统参数匹配与优化仿真分析[D].西安:长安大学,2020.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部.电动汽车 能量消耗率和续驶里程试验方法:GB/T 18386—2017[S].北京:中国标准出版社,2017:10-11.
- [11] 中华人民共和国工业和信息化部.电动汽车能量消耗率和续驶里程试验方法 第 2 部分:重型商用车辆:GB/T 18386.2—2022[S].北京:中国标准出版社,2022:2.