旅游客车操稳性能评价

邓 建，邹月英，欧学昊，蒋 正，王守太
（中通客车股份有限公司，山东 聊城 252000）

摘 要：针对某旅游客车提出两种悬架方案，通过商业仿真软件设置稳态回转试验、蛇形试验、转向瞬态响应试验工况进行仿真分析，最终选出最优方案，为产品后续开发提供参考。

关键词：旅游客车；操纵稳定性；仿真
中图分类号：U467.1+3 **文献标志码**：A **文章编号**：1006-3331(2024)01-0045-04

Simulation Evaluation of the Handling Stability Performance of Touring Buses

DENG Jian, ZOU Yueying, OU Xuehao, JIANG Zheng, WANG Shoutai
(Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252000, China)

Abstract: This paper proposes two suspension solutions for a tourist bus and conducts their simulation and analysis with different conditions, including a steady-state turning test, slalom test, and steering transient response test based on simulation software. Finally, the optimized solution is selected to provide a reference for the subsequent development of the product.

Key words: tourist bus; handling stability; simulation

汽车操纵稳定性不仅影响汽车驾驶的操纵方便程度，而且是决定汽车高速安全行驶的一个主要性能[1]。国内旅游客车运行工况多为高速、山区，对操纵稳定性能要求较高，因此操稳性是旅游客车开发中重点关注的性能之一。

通过商业仿真软件搭建整车动力学模型，可以仿真车辆侧翻[2]、动力[3]、制动[4]、操稳[5-7]等测试工况，输出仿真动画及所需的数据及曲线，能够较好地模拟车辆的实际驾驶特性，是车辆性能研发的重要工具。

本文以某旅游客车作为研究对象，提出两种不同悬架方案，通过商业仿真软件搭建参数模型和仿真分析：依据 GB/T 6323—2014[8]设置稳态回转试验、蛇形试验及转向瞬态响应试验的输入工况，由商业仿真软件进行仿真后，对相应输出结果进行对比分析，然后基于 QC/T 480—1999[9]验证操稳性能优劣，为产品操纵稳定性开发提供参考。

1 模型建立

某旅游客车的主要参数见表 1。对车辆的簧上质量、空气动力学参数、轮胎、动力系统、传动系统、制动系统、转向系统、悬架系统等子总成模块进行参数搭建，其中两种悬挂系统方案的区别见表 2。

表 1 车辆主要参数

参数	数据
满载总质量/kg	11 800
质心高度/mm	1 090
轴距/mm	4 300
转向机传动比	20.48
轮胎滚动半径/mm	450

收稿日期：2023-09-20。
第一作者：邓 建(1980—)，男，工程师；主要从事底盘开发设计及调试工作。E-mail：guilincsfu@163.com。
通讯作者：欧学昊(1996—)，男，硕士；助理工程师；主要从事底盘开发设计工作。E-mail：475011786@qq.com。

表 2 两种方案对比

部件	参数	方案 1	方案 2
前气囊	有无腹腔	无	无
	满载气囊刚度/(N·mm^{-1})	210	163
前稳定杆	直径/mm	40	45
后气囊	有无腹腔	有	无
	满载气囊刚度/(N·mm^{-1})	100	163
后稳定杆	直径/mm	40	50

2 操稳性指标仿真对比分析

2.1 稳态回转试验

稳态回转试验主要评价车辆的稳态转向特性及车身侧倾特性。本工况仿真选择定方向盘转角连续加速法,设置车辆沿半径为 15 m 的圆周路径匀速达到稳定后缓慢匀加速(纵向加速度小于 0.25 m/s^2),直至达到最大侧向加速度后停止。

将商业仿真软件输出的数据进行处理,前后轴侧偏角与侧向加速度关系曲线如图 1 所示;侧倾角与侧向加速度关系曲线如图 2 所示;不足转向度与评分关系曲线如图 3 所示;评价指标及评分见表 3。

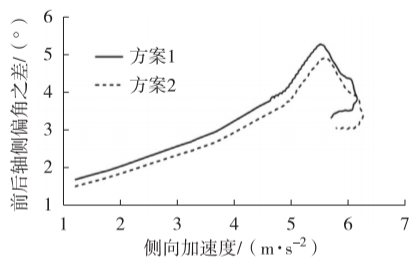

图 1 前后轴侧偏角与侧向加速度关系曲线

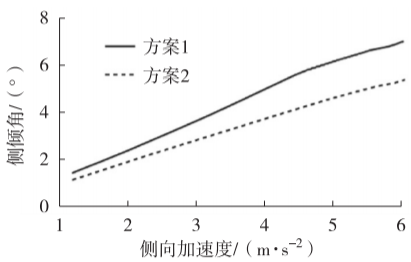

图 2 侧倾角与侧向加速度关系曲线

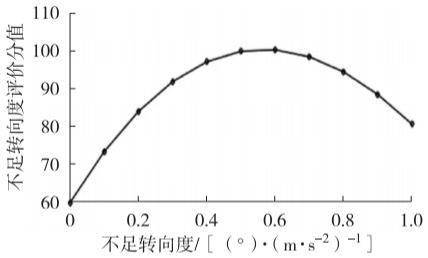

图 3 不足转向度与评分关系曲线

表 3 稳态回转评价指标及评分

评价指标及评分项		方案 1	方案 2
中性转向点的侧向加速度/(m·s^{-2})		5.505	5.582
侧向加速度 a_y=2 m/s^2	不足转向度/[(°)·(m·s^{-2})$^{-1}$]	1.024	0.928
	车身侧倾度/[(°)·(m·s^{-2})$^{-1}$]	1.194	0.956
中性转向点侧向加速度评分		93.4	94.4
不足转向度评分		78.6	86.6
车厢侧倾度评分		71.8	85.4
稳态回转综合评分		81.3	88.8

由图 1 可知,在达到中性转向点之前,方案 1 与方案 2 的前后轴侧偏角之差随着侧向加速度的增加而增加,车辆具有不足转向特性;当曲线斜率为 0 时,车辆处于中性转向,再经侧向加速度增加,前后轴侧偏角之差减小,斜率为负,车辆呈现不足转向。

由图 1 和表 3 可以看出,方案 2 在中性转向点时侧向加速度更大,中性转向点侧向加速度评分更高,稳态转向安全性更好。

适当的不足转向度能够使驾驶员清晰地感知车辆运动状态,提升行驶稳定性[10]。由图 3 可知,不足转向度一般设计在 0.5~0.6 之间最好,越趋于此范围评分越高。由表 3 可知,方案 2 的不足转向度评分更好。

由图 2 可知,侧向加速度相同时,方案 2 的车身侧倾角更小,抗侧倾能力更强。

综上,方案 2 的稳态回转综合评价更好。

2.2 蛇形试验

蛇形试验可以表征车辆在快速变道、避障或紧急情况下的稳定性和控制能力。设置标桩间距为 50 m,车辆以基准车速 50 km/h 匀速通过标桩路段。将商业仿真软件输出的数据进行处理,输出横摆角速

度、方向盘转角与时间的关系曲线如图 4 和图 5 所示；评价指标及评分见表 4。

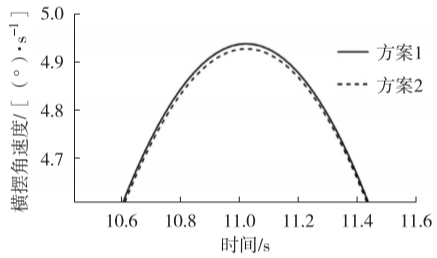

图 4　横摆角速度与时间关系曲线

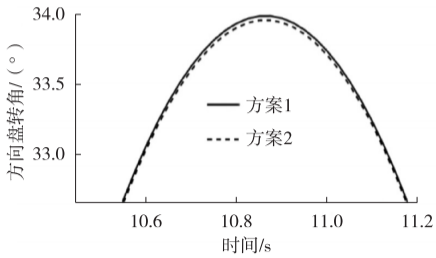

图 5　方向盘转角与时间关系曲线

表 4　蛇形试验评价指标及评分

评价指标及评分项	方案 1	方案 2
平均横摆角速度峰值/[(°)·s^{-1}]	4.935	4.924
平均方向盘转角峰值/(°)	33.99	33.96
平均横摆角速度峰值评分	93.77	93.84
平均方向盘转角峰值评分	100	100
蛇形试验综合评分	95.84	95.89

由图 4、图 5、表 4 可知，平均横摆角速度峰值与平均方向盘转角峰值越小，蛇形试验评价分数越高。因两个方案的蛇形试验评价指标仅有细微差别，所以两种方案的蛇形试验性能评价基本一致。

2.3　转向瞬态响应试验

转向瞬态响应试验反映了车辆在转向输入时的响应速度及稳定性。车辆在匀速直线行驶时突施稳定侧向加速度为 2 m/s^2 的转角，方向盘与车速均保持不变。将商业仿真软件输出的数据进行处理，横摆角速度、侧向加速度、侧倾角与时间的关系曲线分别如图 6、图 7、图 8 所示；评价指标见表 5。

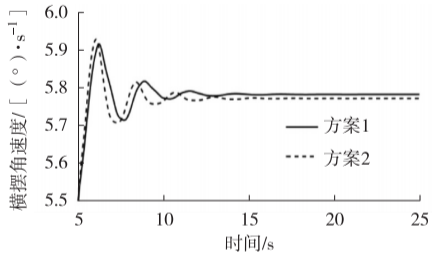

图 6　横摆角速度与时间关系曲线

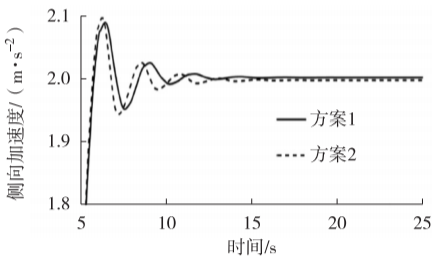

图 7　侧向加速度与时间关系曲线

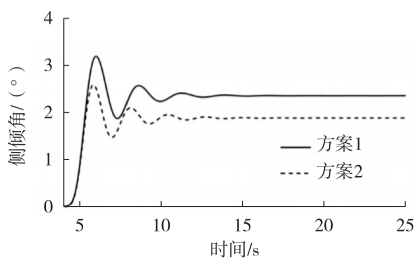

图 8　侧倾角与时间关系曲线

表 5　转向瞬态响应评价指标

评价指标	方案 1	方案 2
稳态侧向加速度/(m·s^{-2})	2	2
方向盘转角/(°)	29.1	29.1
横摆角速度响应时间/s	0.57	0.54
横摆角速度峰值响应时间/s	1.97	1.77
横摆角速度超调量/%	2.32	2.70
侧向加速度响应时间/s	0.87	0.87
横摆角速度总方差/s	0.053 2	0.053 0
侧向加速度总方差/s	0.149 8	0.149 7
“汽车因素”TB/[(°)·s]	4.68	3.37

由图 6 与表 5 可知，方案 2 虽然横摆角速度超调量更大一些，但横摆角速度响应时间与横摆角速度峰值响应时间都更小，车辆的操控性能以及驾驶安全性更好。由图 8 可知，在相同侧向加速度下，方案 2 的侧倾角更小，意味着方案 2 的抗侧倾能力更强。

由表 5 可知，方案 2 的总方差更小一些，较小的

横摆角速度总方差以及侧向加速度总方差意味着车辆在横摆运动时更加稳定,驾驶员会有更平稳的转向体验。

“汽车因素”TB 由横摆角速度峰值响应时间乘以稳态侧倾角求得,该数值综合反映了以上两种参数大小,由于方案 2 峰值响应时间以及稳态侧倾角都更小,所以其“汽车因素”TB 数值更小,操稳性能更好。

综上,方案 2 的转向瞬态响应综合评价更好。

3 结束语

本文以某旅游客车作为研究对象,对两种技术方案分别搭建整车模型,通过稳态回转试验、蛇形试验及转向瞬态响应试验,对两个方案进行操稳对比。结果表示,方案 2 的操纵稳定性能更优,可为产品后续开发提供参考。

参考文献:

[1] 余志生. 汽车理论:第 5 版[M]. 北京:机械工业出版社,2009:130.

[2] 李亚楠. 基于 Trucksim 的客车侧翻控制仿真研究[D]. 西安:长安大学,2021.

[3] 吴涛,焦静,范学琼,等. 基于 Trucksim 的整车动力性能仿真分析[J]. 汽车实用技术,2016(6):63-65.

[4] 韩书昌. 半挂汽车列车操纵稳定性和制动性的 TruckSm 仿真[D]. 长春:吉林大学,2012.

[5] 许男,李小雨. 复合工况下四轮驱动电动汽车操纵稳定性控制[J]. 机械工程学报,2021,57(8):205-220.

[6] 杨银辉,靳昕,韩尚尚. 基于横向稳定杆的汽车操纵稳定性影响分析[J]. 汽车实用技术,2021,46(3):103-105.

[7] 王晓晶,王丙军. 应用 TruckSim 自卸车操纵稳定性在环仿真平台研究[J]. 机械设计与制造,2018(10):20-23.

[8] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车操纵稳定性试验方法:GB/T 6323—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014:3-11,28-29.

[9] 国家机械工业局. 汽车操纵稳定性指标限值与评价方法:QC/T 480—1999[S]. 北京:中国标准出版社,1999:595-601.

[10] 丁伟,何洁,吕宣坤. 某电动微型车提升不足转向度的优化措施[J]. 汽车实用技术,2023,48(12):12-17.

(上接第 10 页)

工况下的应力分布情况,找出不满足使用要求的部位,提出了改进方案并实施,提高了客车结构设计的合理性和可靠性。由于篇幅有限,本文未在振动噪声、侧翻等方面进行分析探讨,可在以后的分析中做进一步的研究。

参考文献:

[1] 胡付超,林伟,方超. 全承载式纯电动城市客车钢铝混合骨架强度分析及改进[J]. 客车技术与研究,20016,38(4):23-25.

[2] 管义群. 客车有限元建模方法研究概述[J]. 客车技术与研究,2006,28(5):13-16.

[3] 中国钢铁工业协会. 碳素结构钢:GB/T 700—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2007:27-32.

[4] 中国钢铁工业协会. 低合金高强度结构钢:GB/T 1591—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009:35-41.

[5] 余志生. 汽车理论:第 5 版[M]. 北京:机械工业出版社,2009:71-89.

[6] 沈光烈,林圣存. 基于有限元法的大型客车模态分析与结构改进[J]. 公路与汽运,2012(6):1-4.

[7] 田芳,王涛,石琴. 全承载式客车车身结构有限元分析[J]. 客车技术与研究,2012,34(1):17-19.

[8] 赵东伟,尹怀仙,张洪信,等. 基于组合近似模型的城市客车车架轻量化研究[J]. 公路与汽运,2020(1):1-5.

[9] 吴胜军,韦宁,程梓豪. 某混合动力客车车身骨架的模态及谐响应分析[J]. 湖北汽车工业学院学报,2017,31(4):22-26.

[10] 周雨新,朱红军,冒李宸. 基于静动态有限元分析的客车骨架结构优化[J]. 客车技术与研究,2023,45(4):40-44.

[11] 谢义杰. 包含悬架系统的车身结构 CAE 分析[J]. 客车技术与研究,2023,45(3):10-14.

[12] 田国富,赵庆斌. 客车车身结构的有限元分析[J]. 机械工程师,2018(5):41-44.