

高速阶跃下客车载荷不均的稳定区域研究*

尹力¹, 王珂²

(1. 内蒙古交通职业技术学院, 内蒙古 赤峰 024005; 2. 华晨汽车工程研究院, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 客车高速转向行驶稳定性与载荷分布直接相关。文中通过建立客车多体动力学模型, 结合满载、左侧满载和右侧满载 3 种典型载荷工况, 分别仿真高速阶跃转向中客车的纵向、侧向速度及横摆角速度与侧倾角变化, 进而分析各工况对客车稳定性的影响; 根据不同车速与临界转向盘转角的关系, 对比左、右阶跃转向中 3 种载荷工况的稳定区域变化, 结合各稳定区域的数值大小, 得到客车左转向阶跃临界转向盘转角稳定区域总是大于右转向中的稳定区域、满载时稳定性最佳的结论。

关键词: 汽车; 客车; 载荷不均; 高速阶跃; 稳定区域

中图分类号: U469.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0015-04

客车具有载荷大、质心高和轮距小等结构特点, 在高速行驶中由于轮胎侧滑或侧翻等危险失稳形式而易引发交通事故, 造成大量人员伤亡和经济损失。为了提高行驶安全性, 有关学者和专家对客车的操纵稳定性和行驶安全性进行了长期研究。在客车的结构参数研究中, 雷林等分析了悬架、转向系和轮胎等结构参数对汽车操纵稳定性的影响, 重点研究了转向回正的最优控制方案; 文献[3]~[6]分别通过利用客车悬架性能参数、改进悬架系统、改变质心高度和前后位置及提高轮胎侧偏刚度等方法提高客车的行驶稳定性。在客车使用参数对稳定性影响的研究方面, 文献[7]认为静态工况时产生的侧向加速度比动态时大, 极限工况时易发生侧翻侧倾; A. H. Iskandar 等研究了客车老化对防撞性能的影响; Powell J. P. 等对最大纵向加速度对乘客舒适性的影响进行了分析研究; 文献[10]认为高速行驶中侧向风速对客车行车安全影响较大。在客车稳定性的理论与试验结合方面, 周科等利用试验的方法研究客车的操纵稳定性, 得到转向轻便性及稳态回转性能较好, 而转向回正性能较差的结论; 贺志瑛等通过建模分析了结构参数对客车稳定性的影响; 文献[13]通过建立非线性铰接式大客车模型, 在干燥、冰雪及冰冻等特殊行驶工况下进行试验, 结果表明增加阻尼器和锁紧装置可提高操纵稳定性。在客车的模态分析方面, 文献[14]~[16]利用模态分析技术和有限元法对大型客车的模态进行了分析。以上研

究缺乏对客车载荷分布不均的分析, 而高速行驶中客车左右乘客的分布不均对客车侧翻稳定性有直接影响。

该文利用 TruckSim 软件建立客车多体动力学模型, 在高速阶跃下对满载、左侧满载和右侧满载 3 种典型载荷工况进行仿真, 分析各状态变量对客车稳定性的影响, 并对比分析左、右阶跃转向中 3 种载荷工况的稳定区域变化, 为客车驾驶员合理安排非满载乘员座位及提高行驶安全性提供参考。

1 客车多体动力学模型

客车多体动力学模型包括非线性轮胎模型、左右乘客载荷模型等所组成的整车模型(见图 1 和图 2)。将客车左、右分别满载时的质心横向位置移动定义为载荷不均, 在 TruckSim 软件建模中将左、右

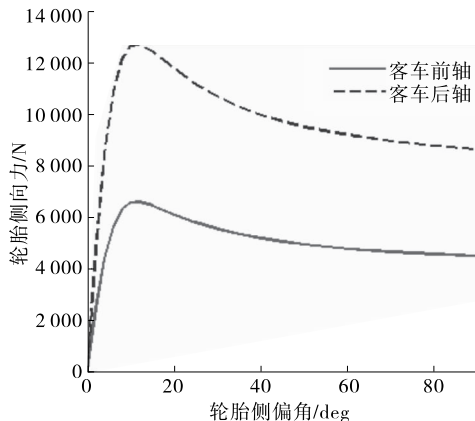


图 1 客车非线性轮胎模型

* 基金项目: 金杯海狮汽车 NVH 性能优化

乘客坐满时的载荷模型定义为图3。客车的仿真参数见表1。选择附着系数为0.85的良好水泥路面进行仿真。

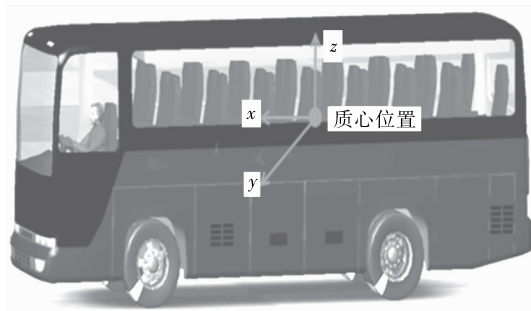


图2 客车模型及坐标系

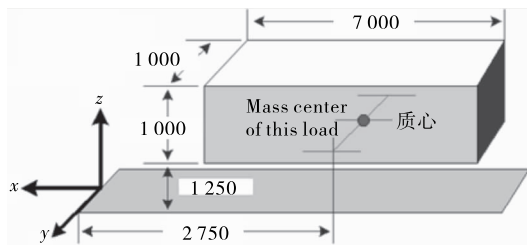


图3 客车左右乘客满载模型(单位:mm)

表1 客车模型参数

参数名称	参数值
客车质量/kg	6 360
质心与前轴间距离/m	3.105
质心与后轴间距离/m	1.385
质心高度/m	1.200
侧倾转动惯量 $I_{xx}/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	7 695.6
俯仰转动惯量 $I_{yy}/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	30 782.4
横摆转动惯量 $I_{zz}/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	30 782.4

2 仿真及转向稳定区域求解

为研究客车左右乘客分布不均而引起的载荷分布不均对各状态变量的影响,以坐标系为基准,以沿y轴正方向为客车左侧、负方向为客车右侧,选择满载(客车坐满乘客)、左侧满载(左侧乘客满员、右侧没有乘客)、右侧满载(右侧乘客满员、左侧没有乘客)3种工况,在高速转向阶跃下仿真分析客车纵向速度、侧向速度、横摆角速度和侧倾角的变化。

2.1 3种典型载荷工况仿真

根据多次仿真结果,选择高速行驶中3种载荷工况都可稳定行驶的转向盘转角作为阶跃仿真的输入。设定转向盘转角为140 deg(见图4)、车速为80 km/h进行左转向阶跃仿真分析,结果见图5~8。

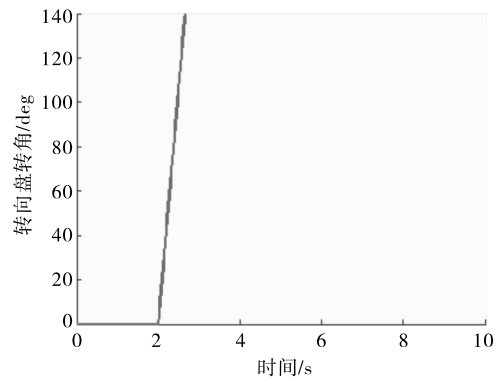


图4 客车阶跃响应

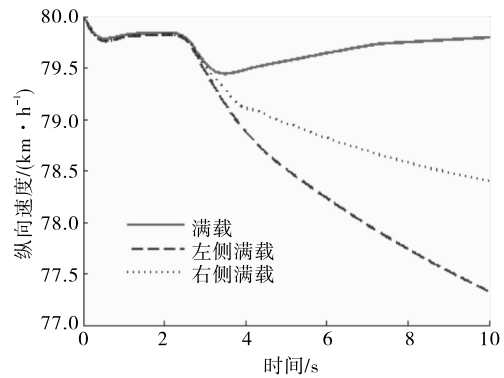


图5 客车纵向速度变化

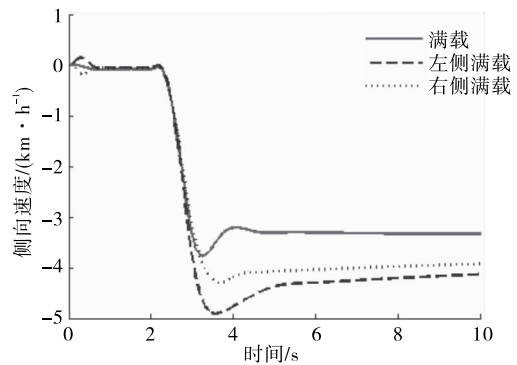


图6 侧向速度变化

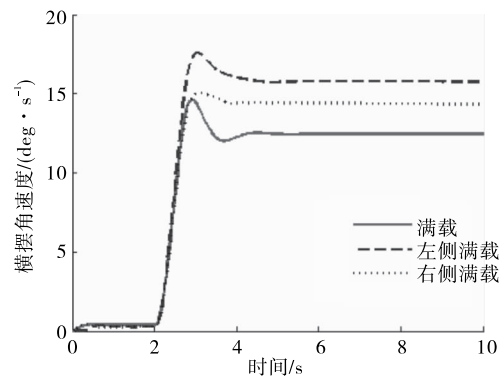


图7 横摆角速度变化

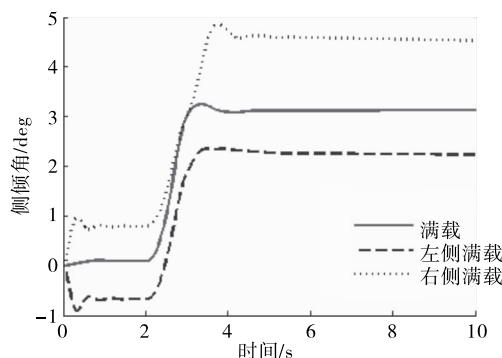


图 8 侧倾角变化

由图 5 可知:在阶跃转向过程中,客车满载时的纵向速度最小值为 79.4 km/h,而左侧满载和右侧满载对应的最小值分别为 77.3、78.4 km/h,说明由于左右载荷的分布不均,车轮将纵向运动的能量更多地转化为侧向和横摆的能量,也说明载荷不均匀对客车纵向行驶速度影响很大。

由图 6 和图 7 可知:满载时侧向速度和横摆角速度最小,其次为右侧满载,左侧满载工况下最大。这与图 5 中纵向速度的下降相吻合,说明载荷分布不均匀时,轮胎与地面的接触面积不均匀,导致左侧满载和右侧满载工况下的侧向速度和横摆角速度剧烈变化,表现为客车不稳定。

由图 8 可知:阶跃转向达到稳定时,满载、左侧满载和右侧满载对应的侧偏角度分别为 3.1、2.2、4.5 deg。这是由于客车在左转向过程中,左侧满载对客车的转向具有平衡载荷的作用,表现为侧偏角度较小,而右侧满载促进了客车在左转向中的侧翻。说明客车左、右乘客载荷的均匀分布对行驶稳定性和安全性具有重要影响。

2.2 转向稳定区域求解

为了获得客车高速阶跃响应下的临界转向盘转角,同时求解客车行驶中的转向稳定区域,分别对 3 种典型载荷工况下左转向和右转向阶跃响应进行仿真分析,得到客车速度与转向盘转角的关系(见图 9 和图 10)。

由图 9 可知:左转向阶跃响应中,左侧满载时临界转向盘转角稳定区域最大,其次为满载时,右侧满载时稳定区域最小。其中,左侧满载时的稳定区域包括 A、B、C 3 个区域,即满载和右侧满载时的稳定区域包含在其中,说明左侧满载时客车左转向阶跃可扩大车辆的稳定行驶区域;右侧满载时客车行驶稳定区域远小于满载和左侧满载时,说明左转向阶

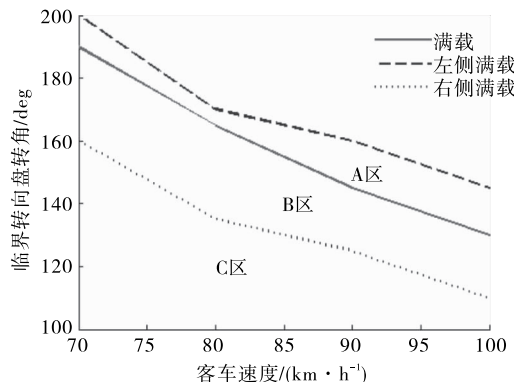


图 9 左转向阶跃下转向稳定区域

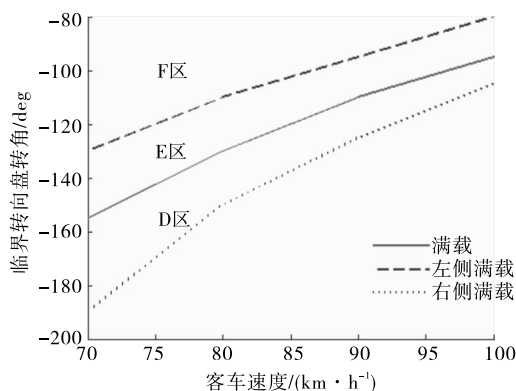


图 10 右转向阶跃下转向稳定区域

跃中客车右侧满载极易发生失稳而导致交通事故。

由图 10 可知:右转向阶跃响应中,右侧满载时临界转向盘转角稳定区域最大,其次为满载时,左侧满载时的稳定区域最小,对应的区域分别为 $D+E$ 、 $E+F$ 和 F 区。这是因为右转向时右侧满载工况下载荷质心偏向右侧,使客车的侧倾角减小而阻止车辆发生侧翻,有利于客车的转向行驶稳定性,而此刻左侧满载的载荷分配使客车更倾向于发生侧翻失稳。

对比图 9 和图 10,无论左转向还是右转向,随着速度的增加,3 种工况下的临界转向盘转角都减小。左、右阶跃转向满足下式:

$$A+B+C>D+E+F \quad (1)$$

$$B+C>E+F \quad (2)$$

$$C>F \quad (3)$$

式(1)~(3)说明客车在 3 种工况下的高速阶跃转向中,左转向的临界转向盘转角稳定区域总是大于右转向的临界转向盘转角稳定区域;左侧满载和右侧满载分别是左转、右转阶跃中稳定性区域的最大值,也是最容易出现失稳的 2 种工况;满载时因载

荷分布均匀,稳定性更高。客车满载时稳定性最好;在非满载情况下,乘客应尽量均匀分布于客车的左右排座位,减少质心横移量,从而提高客车的行驶稳定性和安全性。

3 结论

(1) 阶跃转向过程中,随着客车速度的增加,满载、左侧满载、右侧满载 3 种载荷工况下的临界转向盘转角均减小。

(2) 客车左转向的转向稳定区域大于右转向的稳定区域。

(3) 客车满载行驶时稳定性最好,非满载时载荷应均匀分布以提高行车安全性。

参考文献:

- [1] 何汉桥,张维刚.我国客车安全综述[J].客车技术与研究,2007,29(2).
- [2] 雷林,李强.汽车操纵稳定性的研究与应用[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(增刊).
- [3] 朱强,张越,陈江义,等.混合动力客车独立前悬架运动学建模与操稳性仿真研究[J].郑州大学学报:工学版,2014,35(4).
- [4] 苏家竹,赵野,杨祥利,等.基于操纵稳定性的某客车空气悬架系统结构改进[J].汽车技术,2015(1).
- [5] 陶利民.基于 ADAMS/Car 的非独立悬架轻型客车操纵稳定性和行驶平顺性仿真研究[D].上海:上海交通大学,2010.
- [6] 马建,陈荫三.轮胎垂直载荷变化对大客车高速操纵稳

- 定性影响的模拟分析[J].中国公路学报,1998,11(1).
- [7] 来飞.客车静态和动态侧倾稳定性判别方法对比研究[J].北京汽车,2014(6).
- [8] Iskandar A H, Li Q M. Ageing effect on crashworthiness of bus rollover[A]. 9th European LS-DYNA Conference[C]. 2013.
- [9] Powell JP, Palacín R. Passenger stability within moving railway vehicles: limits on maximum longitudinal acceleration[J]. Urban Rail Transit, 2015, 1(2).
- [10] Dong-chen Q, Yi-cun X, Qiang Z, et al. Modeling and simulation study on crosswind stability of the high-speed bus[J]. Noise & Vibration Worldwide, 2011, 42(11).
- [11] 周科,马玥.客车操纵稳定性试验研究[J].客车技术与研究,2014,36(2).
- [12] 贺志瑛,杨励,夏芝安,等.某客车的操纵稳定性仿真分析及道路试验[J].农业装备与车辆工程,2015(3).
- [13] F VLK,王璋,汤致彪.铰接式大客车的侧向稳定性[J].专用汽车,1991(1).
- [14] 袁绍华,杨怀鑫,费沈重,等.基于横向载荷转移量的客车转向稳定性分析[J].客车技术与研究,2015,37(4).
- [15] 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).
- [16] Rahman M K, Johari M H, Abu Kassim K A, et al. Body section analysis in bus rollover simulation[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011(9).

收稿日期:2016-08-25

(上接第 14 页)

及水准式检测发展到现代化的 3D 式四轮定位仪,与传统四轮定位仪相比,X3D 三维数码摄像四轮定位设备的测量技术更先进、测量结果更可靠、精度更高,代表了四轮定位参数测量技术的最新方向。

参考文献:

- [1] 明平顺,杨万福.现代汽车检测技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 罗进益,周红军.轿车四轮定位检测与调整[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [3] 金智林,马翠贞,张甲乐.基于电液制动的运动型多用途车防侧翻控制[J].仪器仪表学报,2013,34(11).
- [4] 赵前程,黄东兆,杨天龙,等.机器视觉 3D 四轮定位仪关键技术[J].仪器仪表学报,2013,34(10).
- [5] Rakay J R S, Rakay S, Weiss R, et al. Adjusting wheel

- alignment on machinery equipment[J]. Acta Montanistica Slovaca, 2012, 17(4).
- [6] 许张义,张桂香,周聪.线控转向中 FlexRay 总线的应用[J].电子测量与仪器学报,2013,27(3).
- [7] 封树敏.汽车车轮定位参数动态测量方法的研究[D].合肥:合肥工业大学,2005.
- [8] 徐永能,刘述芳,施树明,等.遗传算法在车轮定位参数测量中的应用[J].公路交通科技,2001,18(2).
- [9] 张立斌,苏建,陈熔.车轮定位参数快速检测新方法研究[J].汽车技术,2005(10).
- [10] 魏鬼,孙长库,张效栋,等.车轮定位参数的线激光非接触方法研究[J].光电子·激光,2004(12).
- [11] 王德超,涂亚庆,张铁楠.汽车四轮定位参数测量技术综述[J].拖拉机与农用运输车,2008,35(4).

收稿日期:2016-03-02