

文章编号:1671-6833(2014)04-0112-04

混合动力客车独立前悬架运动学建模与操稳性仿真研究

朱 强, 张 越, 陈江义, 秦东晨

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 混合动力客车采用新的总布置, 使车辆结构发生变化. 鉴于悬架系统的运动特性对操纵稳定性具有重要影响, 基于多体系统动力学理论, 在 ADAMS/Car 模块下, 对某混合动力客车独立前悬架进行了建模与仿真研究, 分析了车轮主要定位参数随车轮跳动行程的运动特性变化规律, 结果表明, 改装后的混合动力客车前轮定位参数特性与原车基本接近, 符合设计要求, 为后期实车的研发提供了理论基础.

关键词: 混合动力客车; 独立前悬架; ADAMS/Car; 仿真

中图分类号: U463.33 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.04.027

0 引言

混合动力客车 (Hybrid Electric Bus, HEB) 是集多种高新技术于一体的系统设计思想的产物. 它充分利用传统汽车的技术成果和工业基础, 可以有效减少油耗和排放, 是目前解决排放和能源问题最现实的一条途径. 同时, 混合动力客车作为当下较为成熟的发展车型, 在获得良好动力性和节能环保性的前提下, 其安全性和舒适性的重要性不言而喻, 毕竟它是以载人作为最终目标, 因此, 对其本身的操稳性也提出了更高的要求.

通过对底盘进行改动, 笔者拟将一辆普通客车改装成混合动力客车. 由于底盘的重新布置引起质心位置的改变, 进而影响到汽车的操作稳定性. 而前轮定位参数及其在车轮上下跳动时的变化规律是影响汽车操纵稳定性的重要因素. 因此, 基于多体系统动力学理论, 利用 ADAMS/Car 模块, 对混合动力客车前悬架进行运动学建模、仿真与分析. 通常仿真分析项目主要包含: 左右车轮平行跳动试验、左右车轮反向跳动试验、单侧轮跳试验和外加静载试验. 由于文章的篇幅所限, 笔者只进行左右车轮平行跳动试验, 以期对开发和改进混合动力客车提供参考依据.

1 质量参数对 HEB 操纵稳定性的影响

1.1 HEB 改装中新添加装置的总布置原则

通过研究可知, 将普通车型改装成 HEB 的过程中, 对车辆性能影响最大的是加装装置的质量, 尤其是加装的 ISG 电机与控制器、主驱动电机、超级电容、主减速器等部件. 在悬架系统没有变化的情况下, 为了保证车辆的操纵稳定性, 对于新添加装置的总布置原则为^[1]

(1) 尽可能使 HEB 的前后轴荷比与原车接近, 使整车质心位置变化小, 这样 HEB 车型的性能将与原车接近.

(2) 尽量将加装零部件合理分布在车辆纵向中心线两侧的车架上, 使车辆的质心位置与原车接近, 以保证操纵稳定性.

1.2 质量参数对 HEB 操纵稳定性的影响分析

稳态响应参数——稳定性因数 K , 其单位为 s^2/m^2 .

$$K = \frac{M}{L^2} \left(\frac{a_1}{k_2} - \frac{b_1}{k_1} \right). \quad (1)$$

式中: M 为整车质量, kg; L 为轴距, m; a_1, b_1 为汽车质心至前、后轴距离, m; k_1, k_2 为前后轮的侧偏刚度, N/m.

(1) 假设车辆质量未变, 仅汽车质心的位置改变, 即在纵向方向上质心向后移动, 即 a_1 增加,

收稿日期: 2014-03-25; 修订日期: 2014-05-03

基金项目: 国家工业与信息化部和财政部重大科技成果转化项目 (财建[2012]258); 郑州市科技攻关项目 (121ptgg360-8).

作者简介: 朱强 (1976-), 男, 陕西三原人, 郑州大学讲师, 博士, 主要从事机械强度及结构优化设计研究, E-mail: zhuqiang@zzu.edu.cn.

b_1 减小,其他值不变,显然 K 将增加,车辆有过多转向趋势,即操纵稳定变差.

(2) 当车辆质量增加,即 M 增大,质心位置不变,即 a_1, b_1 不变时,分配到前后轴轮胎上的垂直载荷就会增大, k_1, k_2 随垂直载荷的增大呈非线性变化,所以 K 值将不确定^[2],此时将不能确定操纵稳定的变化趋势.

按照上述理论分析可以得出,在该混合动力客车平台上,变化最大的就是客车质量的增加量,会对混合动力客车的操纵稳定性产生较大影响.

2 HEB 独立前悬架的运动学模型分析

2.1 独立前悬架的结构形式

笔者所研究的混合动力客车的前悬架为空气弹簧双横臂式独立悬架.

悬架系统主要零部件有:上横臂、下横臂、转向节、转向横拉杆、传动轴、减震器(阻尼器)、膜式空气弹簧、车架.以上零部件均对混合动力客车操纵稳定性能分析具有重要影响^[3].

各部件拓扑连接如图 1 所示.图中, A 为上横臂外接头, B 为下横臂外接头, C 为上横臂前内接头, D 为上横臂后内接头, E 为下横臂前内接头, F 为下横臂后内接头, G 为驱动轴内接头, H 为转向横拉杆内接头, L 为车轮中心点, M 为转向横拉杆外接头, N 为减震器上支点, P 为减震器下支点, Q 点为空气弹簧的下支点, R 点为空气弹簧的上支点, K 点为车轮的接地处.

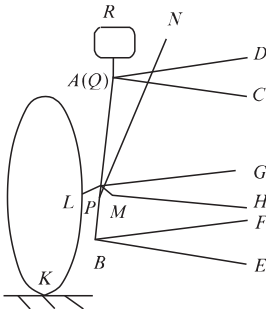


图 1 前悬架拓扑连接图
Fig.1 The front suspension topology connection graph

2.2 独立前悬架模型的建立

汽车的运动是借固于运动着的汽车上的动坐标系——车辆坐标系来描述的^[4].通过对前悬架图纸的查看与测量,可得各个关键设计点的坐标,由于悬架结构左右对称,故建模时只需建立左侧坐标点^[5],Car 模块自动生成对称的坐标点.坐标参数见表 1.

表 1 关键点坐标
Tab.1 Coordinates of key hardpoints

位置点	loc_x/mm	loc_y/mm	loc_z/mm
G	0	-200	-75
E	-361.25	-62	-210
B	-5	-700	-210
F	361.25	-62	-210
P	0	-533	30
R	5	-630	470
H	200	-400	-99
M	244	-830	-99
N	0	-382	526
C	-360	-227	190
A(Q)	5	-650	190
D	360	-227	190
L	0	-1 032	0

在 ADAMS/Car 标准界面中建立 HEB 独立前悬架和试验台总成模型(表 2 为前悬架仿真总成参数),并进行左右车轮平行同向跳动试验,令轮胎中心在坐标系 Z 轴(车辆行驶时车轮跳动的主要方向)上、下跳动(跳动量为 $\pm 50\text{ mm}$),可得到前悬架主要前轮定位参数(主销后倾角、主销内倾角、前轮外倾角、前轮前束)随车轮跳动的变化规律.如图 2 所示为前悬架和试验台总成图.

表 2 前悬架仿真总成参数

Tab.2 Assembly parameters of front suspension simulation

轮胎刚度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	簧上质量/ kg	质心高度/ mm	轴距/ mm	前轮驱动比/ %
2 250	4 000	1 000	5 800	0

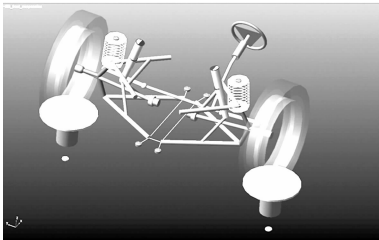


图 2 前悬架和试验台总成图
Fig.2 Assembly drawing of front suspension and test rig

2.3 独立前悬架的运动学仿真分析

2.3.1 主销后倾角

主销后倾角影响转向稳定性及转向后方向盘自动回正能力,保证汽车稳定地直线行驶.由此,主销后倾角越大,车速越高,车轮的行驶稳定性越好,回正作用越明显.但后倾角过大,相应的转向时为了克服回正作用,转动方向盘也就越费力.因

此主销后倾角在 3°之内属于合理范围^[6].

在车轮上下运动过程中,最好是后倾角变化量较小,以免在载荷变化或制动“点头”时出现回正力矩过大或过小,带来直线行驶不稳定等操纵稳定性恶化问题.图 3 正是通过仿真来描述主销后倾角随车轮跳动的变化规律.

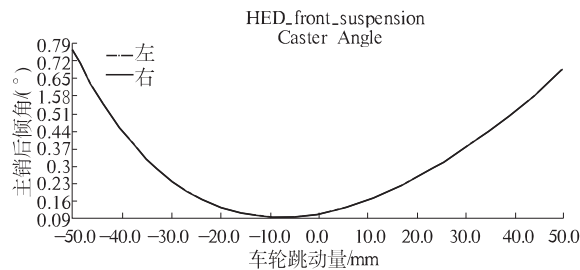


图 3 主销后倾角 - 车轮跳动行程变化曲线
Fig. 3 Caster angle-wheel travel variation curve

图 3 表明,主销后倾角随车轮上下跳动时的变化在 0.094°~0.765°之间,变化极小,仅为 0.671°,符合悬架的设计要求.主销后倾角随车轮上跳而增加的趋势更加明显,具有良好的回正能力.

2.3.2 主销内倾角

主销内倾角主要作用是获得一定的主销偏移距,从而产生自动回正作用,使车辆保持直线行驶.

主销内倾角的增大使得自动回正力矩成比例地增大,同时使得操纵力相应地增大,转向也越沉重,轮胎磨损加速增大.一般认为在车轮跳动时,主销内倾角的增加应尽量减小,以避免内倾角变化过大.在实际设计时,都有一个范围,约 5°~8°之间,且希望有较小的值^[6].

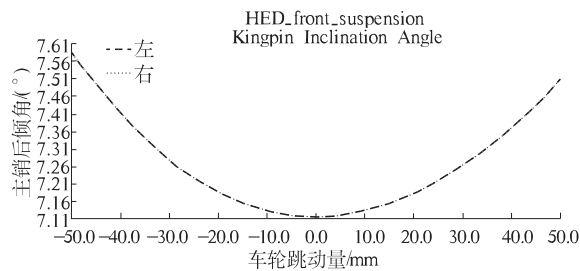


图 4 主销内倾角 - 车轮跳动行程变化曲线
Fig. 4 Kingpin inclination angle-wheel travel variation curve

图 4 表明,在车轮上下跳动工况下,主销内倾角变化不大,在正常变化范围之内(角度变化在 7.116°~7.589°,变化量为 0.473°).

2.3.3 前轮外倾角

前轮外倾角的变化对汽车的稳态转向操作

性、直线行驶稳定性和轮胎磨损都有较大的影响.

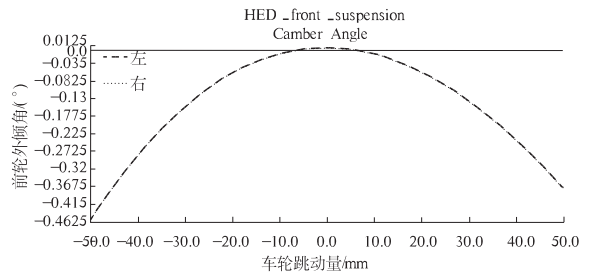


图 5 前轮外倾角 - 车轮跳动行程变化曲线
Fig. 5 Camber angle-wheel travel variation curve

为使轮胎内外两侧磨损均匀,理想的外倾角为 5°~10°的正角度^[6].同时,为使轮胎具有更大的侧偏性能,一般空载时在理想值附近,在加载状态则有轻微的负外倾^[7].由图 5 可见,车轮向上跳动时,外倾角向减小的方向变化,且变化很小(-0.459°~0.008°,变化量为 0.467°),完全符合设计要求.

2.3.4 前轮前束角

前轮前束可以弥补外倾角带来的不利影响,减少轮胎的磨损.合理确定前束随车轮跳动量的变化规律,可获得希望出现的不足转向或行驶特性.为了使轮胎磨损不因侧偏而加剧,同时也不增加滚动阻力和不影响车辆直线行驶能力,车轮在跳动过程中应该尽可能使前束保持不变或者变化很小.前悬架上跳时前轮前束值的变化范围小,下落时前束变大,后悬架则要求相反,这使得悬架具有不足转向特性,有利于改善汽车的操纵性能.

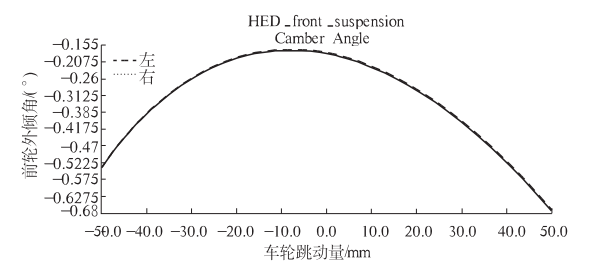


图 6 前轮前束角 - 车轮跳动行程变化曲线
Fig. 6 Toe angle-wheel travel variation curve

由图 6 表明,车轮在跳动过程中前束角变化很小(变化范围为 -0.673°~-0.171°,变化量为 0.502°),且前束值是随车轮的上跳向负方向变化,这种变化符合设计要求.

综上所述,在左右车轮平行跳动试验中,拟改装 HEB 前轮定位参数的分析结果证明了该悬架各项性能良好,符合混合动力客车的操纵稳定性要求.

3 结论

在研究和开发混合动力客车时,为了保证混合动力客车的操纵稳定性符合设计要求,对其使用 ADAMS/Car 软件进行了独立前悬架的建模与仿真分析工作,从而得出:

(1)改装后的混合动力客车的基本性能符合操纵稳定性的设计要求;

(2)在改装成混合动力客车的过程中,应该尽量保证混合动力客车的质心位置和前后轴荷比变化不大,避免质量参数变化过大对操纵稳定性带来严重的影响.

参考文献:

[1] 孙丽. 基于操纵稳定性的混合动力客车平顺性评价

与优化[D]. 镇江:江苏大学汽车与交通工程学院, 2012. 45 – 54.

[2] 顾君, 宁国宝, 余卓平. 燃料电池汽车整车纵向质心位置对车辆稳定性的影响[J]. 机械设计, 2010, 27 (6): 22 – 26.

[3] 岑少起, 潘筱, 秦东晨. ADAMS 在汽车操纵稳定性仿真中的应用研究[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(3): 55 – 56.

[4] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 2009: 132 – 133.

[5] 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: 126 – 127.

[6] 《汽车工程手册》编委会. 《汽车工程手册》(设计篇)[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.

[7] 彭莫, 刁增祥, 党潇正. 汽车悬架构件的设计计算[M]. 北京:机械工业出版社, 2012.

Kinematics Modeling and Handling Stability Simulation Study of Independent Front Suspension of Hybrid Electric Bus

ZHU Qiang, ZHANG Yue, CHEN Jiang-yi, QIN Dong-chen

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The hybrid electric bus with the new general arrangement causes the vehicle structure changes. Considering that the kinematic characteristics of the suspension system has the extremely important influence to vehicle handling stability, on the basis of multi-body dynamics theory by using the ADAMS/Car software, the research on modeling and simulation of the independent front suspension of a hybrid electric bus is performed, and the change rule of the main wheel alignment parameters along with wheels beating stroke about motion characteristics was analyzed. It turned out that the properties of alignment parameters of front wheel on the hybrid electric bus are close to these of the original vehicle, and meet the requirements of design, which provides a theoretical basis for real vehicle research and development later.

Key words: hybrid electric bus; independent front suspension; ADAMS/Car; simulation