

文章编号: 1005—0523(2006)05—0125—03

# 转向梯形断开点位置对汽车稳态转向特性的影响

蒋国平<sup>1</sup>, 王国林<sup>2</sup>, 周孔亢<sup>2</sup>

(1. 广东交通职业技术学院 汽车工程系, 广东 广州 510650; 2. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要:** 汽车稳态转向特性是汽车操纵稳定性的最重要的性能指标. 综合运用仿真和试验研究的方法, 系统分析转向梯形断开点对汽车稳态转向特性的影响. 研究表明: 转向梯形断开点高度位置直接决定着车轮前束角随车轮跳动量的变化特性, 所提出转向梯形断开点优化方案能极大地改善汽车稳态转向特性和降低轮胎磨损, 同时不对汽车操纵稳定性的其它评价指标的产生不良影响.

**关 键 词:** 多刚体动力学; 稳态转向特性; 转向梯形; 断开点; 麦弗逊悬架  
**中图分类号:** TH14 **文献标识码:** A

汽车稳态转向特性是汽车操纵稳定性中最基本和最重要的方面<sup>[1]</sup>, 在汽车操纵稳定性指标限值及评价方法中明确规定: 稳态回转试验不及格的车辆, 其操纵稳定性的总评价为不及格. 由麦弗逊独立悬架和断开式转向梯形机构组成的系统是复杂的空间杆机构, 当转向梯形断开点位置选择不当时, 会造成转向梯形与悬架机构的运动干涉, 破坏汽车的操纵稳定性. 某汽车集团公司自行研制开发的新一代旅行汽车, 采用麦弗逊独立悬架和断开式转向梯形, 样车试验过程中发现前轮存在异常磨损以及稳态转向特性中的过度转向问题<sup>[2]</sup>. 本文系统分析了转向系断开点对汽车稳态转向特性的影响, 确定转向梯形断开点的最佳位置, 提出工程实用性强的优化设计方案, 从根本上改善汽车的稳态转向特性.

## 1 试验样车的稳态转向特性

利用机械系统动力学分析软件 ADAMS/car 建立包括车身系统、发动机系统、轮胎系统、转向系统、前悬架系统、后悬架系统的整车操纵稳定性仿真模型, 通过专项试验、理论计算和查阅设计图纸等方法来获取模型基本参数值. 利用 ADAMS/car 的仿真功能和 MATLAB 的信号与图形处理能力开发汽车操纵稳定性计算机分析系统, 实现汽车操纵稳定性的仿真和试验结果的后处理, 对汽车稳态转向特性的主要影响因素进行仿真分析研究. 通过仿真和试验研究可知<sup>[2]</sup>, 转向梯形断开点高度位置对汽车稳态转向特性有显

著的影响.

表 1 转向梯形断开点高度位置对稳态转向特性的影响

| 评价指标<br>方案 | $a_n, \text{m/s}^2$ | $u, (^\circ)\text{m/s}^2$ | $k_o, (^\circ)/\text{s}^2$ | 综合评价   |
|------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|--------|
|            | 数值                  | 数值                        | 数值                         |        |
| 降低 30mm    | 9.8                 | 0.80                      | 0.55                       | 91.2 分 |
| 降低 20mm    | 9.8                 | 0.51                      | 0.54                       | 100 分  |
| 降低 10mm    | 9.8                 | 0.18                      | 0.53                       | 98.4 分 |
| 原设计方案      | 4.1                 | 0.16                      | 0.53                       | 不及格    |
| 提高 20mm    | 3.2                 | 0.02                      | 0.52                       | 不及格    |

表 1 为转向梯形断开点高度位置对汽车稳态转向特性的影响. 从表可以看出: 提高断开点位置, 中性转向点侧向加速度和不足转向度两个评价指标变值小, 不利于稳态转向特性的改善; 适当降低断开点位置, 中性转向点侧向加速度和不足转向度两个评价指标值变大, 汽车的不足转向趋势增强, 能明显改善稳态转向特性, 但如果断开点位置过低, 其综合评分值反而降低; 断开点位置对车厢侧倾度评价指标的影响很小. 通过合理调整转向梯形断开点高度位置, 能有效解决稳态回转试验中存在中性转向点的侧向加速度过低的问题, 但如何确定断开点高度位置, 既能明显改善汽车稳态转向特性, 又不对汽车操纵稳定性其它评价指标产生不利影响, 有待深入探讨.

## 2 转向梯形断开点位置对汽车稳态转向特性影响机理的探讨

### 2.1 麦弗逊悬架转向机构的仿真与试验方案

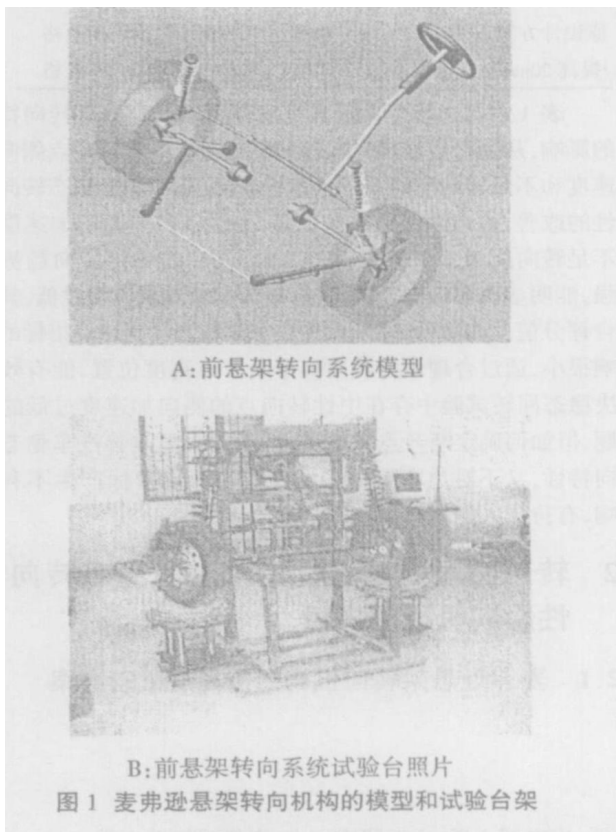
收稿日期: 2006—01—24

资助项目: 江苏大学企业博士后基金项目.

作者简介: 蒋国平(1973—), 男, 广西桂林人, 高级工程师, 副教授, 汽车博士后, 主要研究方向: 车辆系统动力学.

试验样车的前悬架采用经典的麦弗逊式独立悬架,可以抽象为 14 个独立刚体组成的系统:即减振器、螺旋弹簧、转向横拉杆、转向节臂、摆臂、直拉杆、传动轴等零部件,并对它们之间的连接形式作了合理的抽象,其中转向支柱总成是最重要的构件,它包括减振器下部的缸筒、转向节臂和轮胎支承部分等几个实际零件,但由于它们之间没有相对运动,所以应作为一个刚体来处理,这其中转向节臂通过球铰与转向拉杆连接,减振器缸筒与减振器活塞杆通过圆柱铰连接,轮胎支承部分与驱动轮胎转动的花键轴通过转动副相接,下端则通过一个近似理想球铰的线弹性衬套与下摆臂连接。试验样车的转向系统采用齿轮齿条式转向器,转向传动机构为断开式转向梯形,所建立的试验样车转向系统模型,将转向系零部件(方向盘、转向轴、转向传动轴、转向输出轴、转向齿条、转向横拉杆)简化为刚体模型,将齿轮齿条式转向器的运动关系简化为运动(齿轮)定比耦合,方向盘与转向轴间为固定铰,转向轴与车身间为转动铰,转向输出轴与车身之间为转动铰,转向输出轴与转向齿条之间为复合铰链,齿条与转向横拉杆之间为万向节铰链,转向横拉杆与转向节臂之间为球铰。

ADAMS/car 软件提供了强大的悬架系统仿真分析功能,后处理文件中所包括的曲线几乎涵盖了所有常用的悬架特性,可自动计算出多种悬架特性。利用该软件的悬架系统分析功能,对麦弗逊悬架转向机构的运动特性进行研究,进行双轮同向跳动试验和转向试验,得到麦弗逊悬架转向机构运动特性的参数曲线。



机构的运动学特性,按照试验样车悬架转向机构的空间布置,选用原装零部件,建立了试验样车的悬架转向机构系统试验台,采用机械式千斤顶加导向支架的方式对车轮加载以模拟车轮的上下跳动,这样可以方便控制车轮的跳动行程。在车轮上下运动的过程中,导向支架保证与车轮接触的平面的稳定性,从而避免了测量误差。另外,在导向支架的上平面设置了仅存在侧向运动的滑动机构,在滑动机构上设置了侧向滑动的锁止销,可以实现存在侧向力或消除侧向力的测试。为考察转向系统对车轮定位参数的影响,试验台同时安装了转向系统,车轮定位参数变化的测量采用 GCD-I 型光束水准车轮定位仪与由倾角传感器、A/D 卡及计算机组成的测试系统相结合的方法进行<sup>[3]</sup>。利用建立的悬架转向机构试验台进行悬架特性试验,在设计载荷条件下,锁定转向器,采用机械式千斤顶使车轮上下移动,来模拟车轮的跳动,并以设计载荷时车轮的位置为零点,每隔 20mm 车轮行程记录车轮前束、车轮外倾角、主销后倾角、主销内倾角、轮距和车轮垂直力。

## 2.2 转向梯形与悬架的运动干涉对车轮前束角的影响

汽车转向梯形和悬架干涉引起的附加转角主要表现在两方面:一方面转向轮依靠前悬架导向杆系来保证车轮与车身的相对运动关系,另一方面,转向机与转向轮之间的传动杆件也使车轮与车身之间有一定的相对运动关系,这两种运动关系是由两套独立的机构来实现的,因此,要想做到完全一致几乎是不可能的,这种不一致的结果就造成车身侧倾和垂直位移时运动干涉引起转向轮的附加转角,改变车轮前束值。

图 2 为车轮同步跳动时前束角随车轮跳动量的变化特性。由图可知:随着车轮向上跳动,转向梯形与悬架的运动干涉引起转向轮的附加转角使车轮前束值变大,这种变化趋势不利于汽车保持适度的不足转向特性,将增加汽车的过度转向趋势。车轮跳动量在 50 mm 行程内,车轮前束角的总变化量在  $0.87^\circ$ ,绝对变化量偏大,将加剧轮胎磨损。合理确定前束随车轮跳动量的变化规律,可获得希望的不足转向特性,如果前桥车轮上跳时,前束向负角度方向变化,前桥车轮下跳时,前束向正角度方向变化,可使汽车在曲线行驶时增加不足转向趋势。

## 2.3 转向梯形断开点高度位置对前束角随车轮跳动量变化特性的影响

在所建立的悬架转向机构试验台,相应改变转向系断开点的垂直高度,进行悬架特性试验,分析转向梯形断开点对前束角随车轮跳动量变化特性的影响。图 3 为不同转向梯形断开点对前束随车轮跳动量变化特性的试验数据曲线。不同转向梯形断开点高度位置,前束随车轮跳动量变化趋势不同,幅值相差也很大,这将对稳态转向特性产生不同的影响:当断开点垂直高度下降 20 mm 时,车轮前束角随着车轮上跳而逐步变小,则增强汽车的不足转向趋势,有利于改善汽车稳态转向特性;当断开点垂直高度提高 20 mm 时,车轮前束角随着车轮上跳而逐步变大,则增强汽车的过度转向趋势。

另一方面,为了能从试验角度分析试验样车悬架转向

将进一步恶化汽车稳态转向特性。

3 转向梯形断开点的优化设计方案及试验验证

通过调整断开点高度位置可以改变汽车转向梯形和前悬架运动干涉所引起的附加转角的变化特性,影响车轮前束值,增加汽车的前后轴侧偏角差值,解决汽车存在的过度转向问题。利用所开发汽车操纵稳定性计算机分析系统,可以对整车操纵稳定性仿真模型的稳态转向特性进行仿真计算和优化设计。综合考虑转向机构的空间布置位置,以汽车稳态回转试验的综合评分为目标函数,以转向梯形断开点垂直高度位置为设计变量进行优化计算,结果表明:将转向梯形断开点高度降低 17 mm,即断开点坐标值为(118.7, -264, 114.5),能根本上解决汽车存在中性转向点的侧向加速度过低的问题,保持适度的不足转向,明显改善汽车的稳态转向特性。按照转向梯形断开点优化设计方案的要求,对样车转向机构进行改进布置,并按照汽车的技术条件对车轮定位参数进行调整,在汽车试验场进行道路试验,表 2 为汽车稳态回转试验的仿真与试验结果。汽车稳态转向特性的中性转向点侧向加速度、不足转向度和车厢侧倾度三个评价指标都很理想,综合评分接近满分。汽车的转向回正性、转向轻便性等试验结果也表明<sup>[2]</sup>,所选用的优化设计方案对汽车操纵稳定性的其它性能指标没有不利影响,是具有工程实用性的汽车操纵稳定性解决方案。

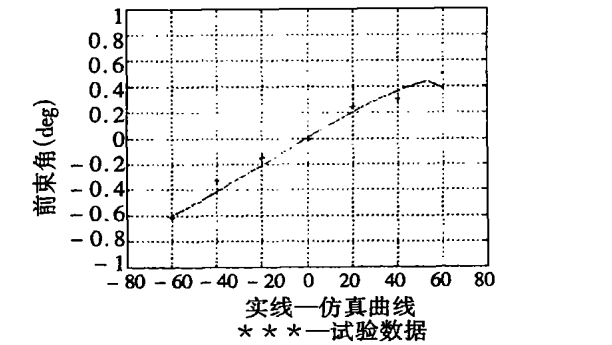


图 2 车轮前束角与车轮跳动量的关系曲线

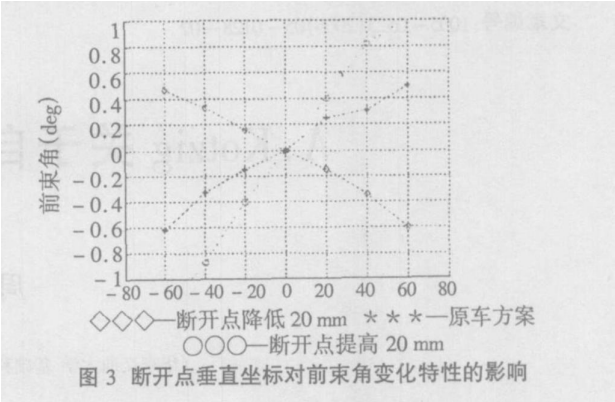


图 3 断开点垂直坐标对前束角变化特性的影响

表 2 汽车稳态回转试验的仿真与试验结果

| 评价指标<br>方案 | $a_n, m/s^2$ |     | $u, (^{\circ})m/s^2$ |      | $k_{\phi}, (^{\circ})/s^2$ |     | 综合评价 |
|------------|--------------|-----|----------------------|------|----------------------------|-----|------|
|            | 数值           | 评分  | 数值                   | 评分   | 数值                         | 评分  |      |
| 仿真值        | 9.8          | 100 | 0.42                 | 100  | 0.56                       | 100 | 100  |
| 试验值        | 9.8          | 100 | 0.45                 | 99.6 | 0.57                       | 100 | 99.9 |

4 结束语

- 1) 利用仿真与试验相结合的方法,系统研究转向梯形断开点高度位置对汽车稳态转向特性的影响。
- 2) 对汽车稳态转向特性优化方案进行试验验证,同时分析其对汽车操纵稳定性其他评价的影响,研究结果表明所采用的优化方案具有工程实用性。

参考文献:

[1] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.  
[2] 蒋国平. 汽车操纵稳定性研究[D]:[博士后研究报告]. 镇江: 江苏大学, 2003.  
[3] 王国林. 车轮跳动对定位参数影响的试验分析[J]. 北京: 农业机械学报, 2005(3).

Effect of Splitting Point of Ackerman Steering Linkage on Stable Steering Characteristic

JIANG Guo-ping<sup>1</sup>, WANG Guo-lin<sup>2</sup>, ZHOU Kong-kang<sup>2</sup>

(1. Automobile Engineering Department, Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650; 2. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University · Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** The stable steering characteristic is the most important part of vehicle handing and stability. The effect of splitting point of ackerman Steering linkage on stable steering characteristic is studied through simulation an experiment. The splitting point can decide the change of toe with wheel jounce. The optimized parameters of splitting point improve greatly the stable steering characteristic. There are no bad effect on the other characteristics of vehicle handing and stability.

**Key words:** multibody dynamics; stable steering characteristic; ackerman steering linkage; splitting point; McPherson suspension