

特约来稿

FTire轮胎模型参数对整车平顺性的影响分析

赵亮, 韦勇, 韦宝侣, 方华, 贾永辉

(上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西柳州 545007)

摘要:通过FTire软件对轮胎模型参数进行辨识和研究,得到轮胎模型参数与轮胎性能以及整车平顺性的关系。结果表明:有10个参数对整车平顺性有一定的影响;对整车平顺性影响较大的轮胎力学性能有轮胎垂向刚度、轮胎纵向刚度、轮胎带束层质量和轮胎轴向阻尼比。

关键词:FTire软件;轮胎模型;模型参数;整车平顺性;垂向刚度;纵向刚度;带束层质量;轴向阻尼

中图分类号:U463.341;TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2020)04-0195-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2020.04.0195



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

整车平顺性又称乘坐舒适性,对驾驶员的舒适感、疲劳、健康及货物的完好程度有很大的影响,是评价汽车性能的重要指标之一^[1]。轮胎作为汽车与地面接触的唯一部件,对缓冲路面的振动、力的传递和整车平顺性有着重要的作用。

随着计算机性能的不不断提升,仿真技术在车辆开发中得到广泛应用,可以缩短开发周期,提高开发效率。

由车辆动力学可知,研究轮胎与路面之间相互作用力(力矩)至关重要。在车辆仿真中,稳态和瞬态的力及力矩的交互作用通常用Magic Formula轮胎模型描述,而平顺性通常用Flexible Ring Tire (FTire)模型描述^[2]。通过研究FTire轮胎模型与轮胎力学试验工况的关系以及FTire轮胎模型参数对平顺性的影响来分析轮胎性能对整车平顺性的影响,对轮胎与整车的匹配开发有着指导性的作用^[3]。

本工作应用FTire软件研究轮胎模型参数对整

车平顺性的影响。

1 FTire轮胎模型

1.1 模型简介

FTire轮胎模型主要包括4个部分,其核心由2个独立部分构成,一是轮胎的结构模型,用于描述轮胎的结构刚度、阻尼以及质量特性;二是胎面模型,用于描述胎面与道路的接触状况,计算轮胎接地印痕内的压力分布和摩擦力^[4]。另外2种模型分别是热模型和磨损模型,热模型主要用于描述轮胎在运动过程中产生的热量;磨损模型主要用于模拟轮胎磨损时力学特性的变化。

1.2 主要特征

(1)完全的三维非线性平面内和平面外轮胎模型,可用于带束层动态特性、接地面处压力分布、滚动迟滞、胎侧接触、大外倾角和轮胎误用等工况的模拟。

(2)因短波不平路面、质量不平衡、胎面花纹不规则或不均匀等产生的激励所激发的频率响应可以达到200 Hz。

(3)环模型不仅能够描述轮胎的面内特性,也能描述面外特性。胎体可在圆周方向和胎体宽度方向离散;胎体单元之间用弹簧连接,并且每个胎体单元上分布一定数量的胎面单元。

(4)用复杂的非线性摩擦模型表示胎面胶的摩擦特性,即摩擦因数是压力和滑移速度的函数。



作者简介:赵亮(1979—),男,湖南怀化人,上汽通用五菱汽车股份有限公司高级工程师,博士,现任公司技术中心平台总工程师,主要从事汽车底盘系统平台开发、整车底盘动力学仿真与控制研究工作,负责多款上汽通用五菱汽车的底盘开发项目,发表论文20多篇,申请专利10

项,其中发明专利2项,软件著作权3项。

E-mail:970287180@qq.com

(5) 轮胎与轮辋间用径、切、侧3个方向的分布弹簧相连。轮辋可在面内平移并实现转动,同时也可在面外运动。而环与轮辋之间采用了弹簧与弹簧-阻尼单元并联的表达方式。

(6) 计算速度快,使用灵活方便,是有限元模型计算速度的多倍。

(7) 依据模型复杂程度和仿真平台的不同,至多进行10~20倍的实时仿真。

(8) 可用于因质量分布不均匀和局部磨损引起的不平衡仿真。

(9) 核心是采用一种隐式的积分算法来计算带束层的形状,能够顺利仿真微小的带束层变形及极限工况而不会产生任何数值畸变。

2 FTire轮胎模型关键参数对整车平顺性影响

本研究基于GB/T 4970—2009^[5]中的三角脉冲凸块路面仿真工况,以座椅导轨最大垂向和纵向加速度为评价指标,分别评价整车垂向和纵向平顺性。其中FTire轮胎模型运用FTire/fit软件辨识得到,如图1所示。

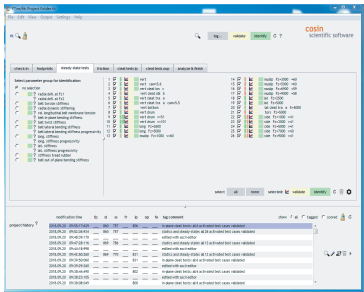


图1 FTire/fit软件界面

2.1 整车模型

利用Adams/car软件进行整车模型搭建,整车模型由悬架子系统、车身子系统、制动系统、转向系统、动力系统、横向稳定杆和轮胎组成。装配好的整车模型如图2所示。

整车模型的质量参数见表1。半载的四轮定位参数(数模状态为半载)见表2。

满载质心坐标为(-1 274.24, 63.4, 663.34)。满载转动惯量(操纵稳定性试验为满载状态) I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} 分别为732.2, 2 596.8和2 814.2 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

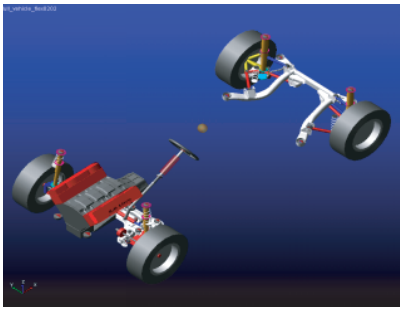


图2 Adams整车模型

表1 整车模型的质量参数 kg

项 目	前轴	后轴	总计
半载	897	807	1 704
满载	880	885	1 765

表2 半载轮胎初始定位参数 (°)

项 目	前悬架	后悬架
前束	0.24/0.21	0.07/0.27
外倾角	0.08/-0.22	-1.53/-1.36

2.2 整车平顺性仿真

将三角形凸块(见图3)放置在道路中间,并按汽车轮距调整好凸块的宽度(必须大于轮宽)。

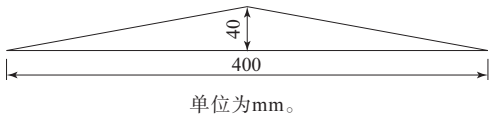


图3 三角形凸块示意

为保证汽车左右车轮同时驶过凸块,应将凸块放在与汽车行驶方向垂直的一条直线上。试验时,汽车以规定的车速匀速驶过凸块。

试验车速为40, 50, 60和70 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,本研究以60 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度进行仿真(见图4)。仿真时,脉冲输入的评价指标为最大加速度(绝对值)。

最大垂向加速度($A_{z\max}$)能反映整车垂向平顺

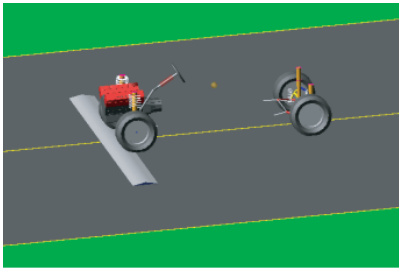


图4 车辆脉冲输入仿真

性,其计算公式为

$$A_{z\max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{z\max j} \quad (1)$$

式中, n 为脉冲试验次数, $n \geq 5$; $A_{z\max j}$ 为第 j 次试验的最大垂向加速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

由于纵向加速度能反映整车纵向平顺性,本工作将最大纵向加速度(绝对值)也考虑在内。车辆脉冲输入下的加速度曲线见图5。

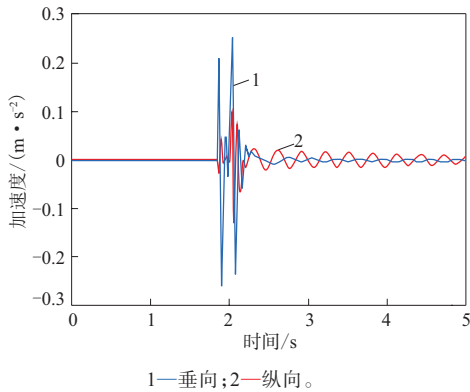


图5 车辆脉冲输入下的加速度曲线

2.3 FTire轮胎模型参数对平顺性的影响

2.3.1 径向变形参数

设定轮胎第一和第二径向变形参数分别为 d_1 和 d_2 , d_1 和 d_2 对应的径向载荷分别为 F_1 和 F_2 。

d_1, d_2, F_1, F_2 对径向刚度的影响可以理解为一-条直线的两点(d_1, d_2 为横坐标, F_1, F_2 为纵坐标)对直线形状及斜率的影响。当 d_1, d_2 及 F_1 确定时,随着 F_2 的增大,径向刚度曲线斜率增大,即向上倾斜;在进行径向刚度调整时,应根据各个参数的影响趋势,合理地调整各参数值,使辨识精度达到最优。

FTire模型中径向变形参数表示在某一载荷时,轮胎 0° 外倾角下水平面上的径向变形量。径向变形参数对轮胎的径向刚度有较大影响,其他参数不变,轮胎垂向刚度一般随着径向变形参数的增大而减小;但当径向变形参数增大到一定程度,垂向刚度反而随着其增大而增大。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 d_1 的关系曲线如图6所示。

由图6可知:座椅导轨最大垂向加速度先随 d_1

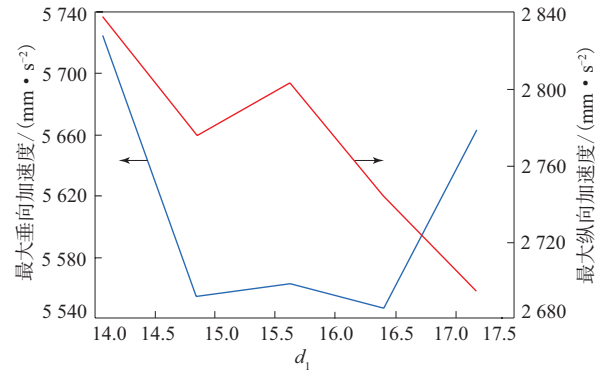


图6 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 d_1 的关系曲线
的增大而减小;之后又随其增大而增大;最大纵向加速度随 d_1 的增大整体呈减小趋势。

2.3.2 带束层单元最大径向刚度相对于零位移状态下的径向刚度增量百分比(P_{mr})

P_{mr} 对径向负载-变形曲线的斜率变化有较大影响,随着 P_{mr} 的增大,径向负载-变形曲线斜率有下降的趋势。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{mr} 的关系曲线如图7所示。

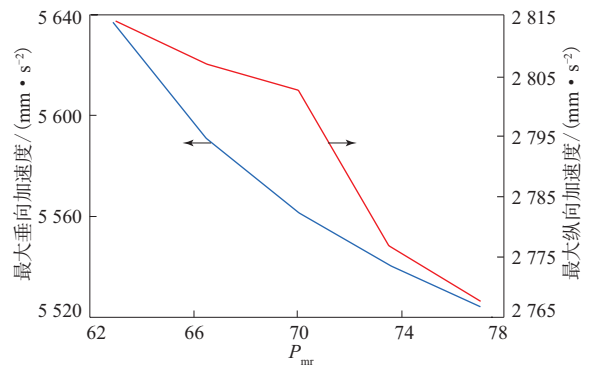


图7 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{mr} 的关系曲线

由图7可知,随着 P_{mr} 的增大,座椅导轨处最大垂向和纵向加速度均减小。

2.3.3 轮胎纵向刚度参数(S_{α})

在进行水平面上纵向刚度参数辨识时,忽略大位移下的差异,需要对摩擦特性进行辨识。在变形条件下,若辨识纵向力-纵向变形曲线与试验有差异,可以通过增大 S_{α} 使纵向刚度增大,从而提高模型辨识精度。本工作中,随着 S_{α} 的增大,纵向刚度曲线上-升段斜率有上升的趋势。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 S_{α} 的关系

曲线如图8所示。

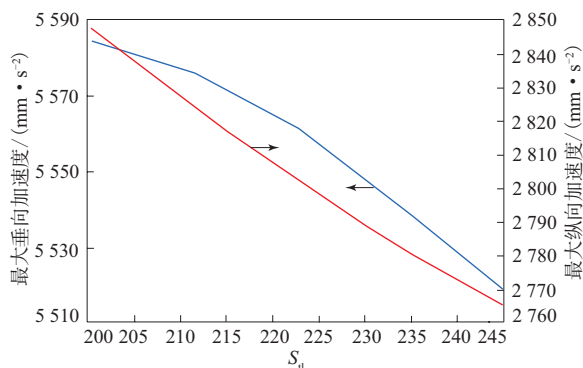


图8 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 S_0 的关系曲线

由图8可知,在辨识参数(222.667)附近,座椅导轨最大垂向和纵向加速度均随 S_0 的增大而减小。

2.3.4 分布在带束层节点上的质量占轮胎总质量的百分比(P_{fm})

P_{fm} 对过凸块的动态响应有重要影响,应根据辨识与试验的对比精度逐步调整。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{fm} 的关系曲线如图9所示。

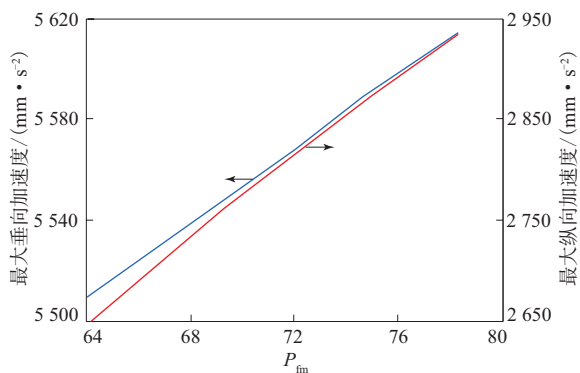


图9 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{fm} 的关系曲线

由图9可知:当 P_{fm} 在辨识参数(71.198)附近变化时,座椅导轨最大垂向加速度与 P_{fm} 呈正线性变化关系;座椅导轨最大纵向加速度随 P_{fm} 的增大而单调递增。因此,增大带束层质量会降低整车平顺性。

2.3.5 轴向阻尼(D_1)

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_1 的关系曲线如图10所示。

由图10可知:座椅导轨最大垂向加速度随 D_1 的增大而单调递减;最大纵向加速度随 D_1 的增大而

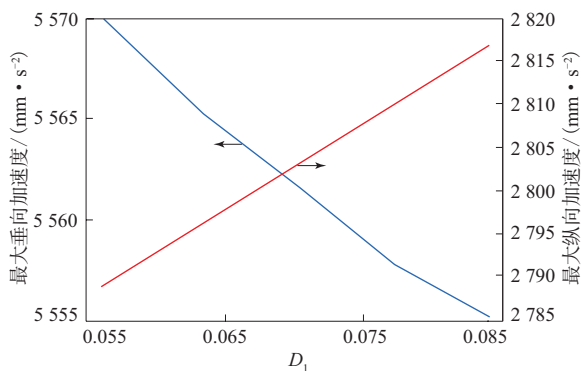


图10 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_1 的关系曲线
单调递增。由此可知, D_1 的增大有利于提高整车垂向平顺性,但相应地会降低整车纵向平顺性。

2.3.6 径向阻尼(D_2)

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_2 的关系曲线如图11所示。

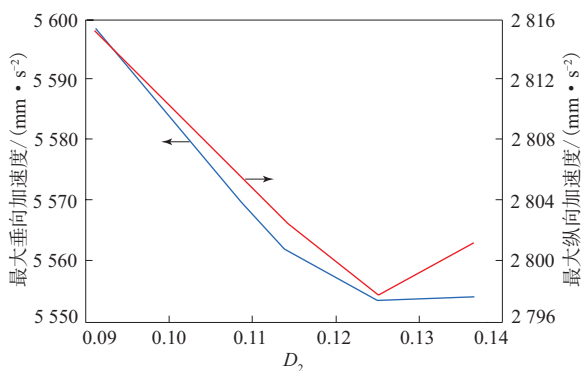


图11 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_2 的关系曲线

由图11可知,座椅导轨最大垂向和纵向加速度均随 D_2 的增大先大幅减小,而后略有增大。由此可知,整车平顺性会随 D_2 的增大而提高,但当 D_2 达到一定值时,整车平顺性反而会略有降低。

2.3.7 弹簧-阻尼单元的径向刚度达到稳定值相对于速度为零时所对应的刚度增量百分比(P_{rs})

为描述轮胎的动刚度,FTire模型在带束层单元节点与轮辋构造了弹簧-阻尼单元,当达到一定速度时,弹簧-阻尼单元的刚度(包括径向与垂向)会渐进趋向一个稳定值。参数 P_{rs} 在一定程度上表达了轮胎的径向动刚度。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{rs} 的关系曲线如图12所示。

由图12可知,座椅导轨最大垂向和纵向加速

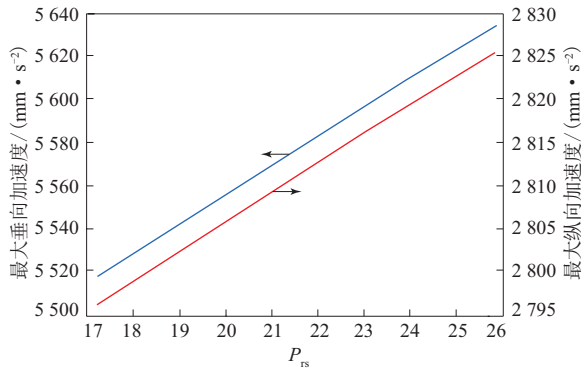


图12 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{rs} 的关系曲线度均随 P_{rs} 的增大而单调递增。由此可知,增大 P_{rs} 不利于整车平顺性的提高。

2.3.8 轮胎在最大滚动速度下的圆周增量相对于静止状态下的百分比(P_{be})

P_{be} 对轮胎的纵向响应特性会产生影响,因此也会对轮胎的动态响应产生影响。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{be} 的关系曲线如图13所示。

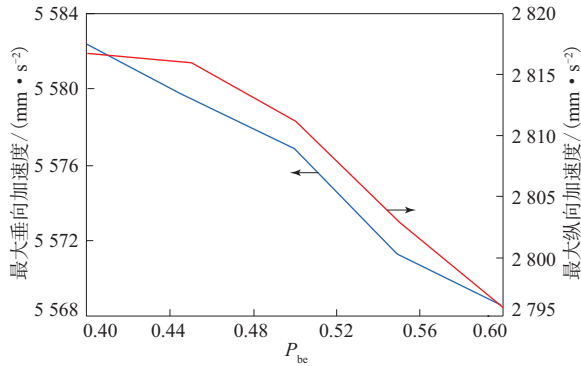


图13 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{be} 的关系曲线

由图13可知,座椅导轨最大垂向和纵向加速度均随 P_{be} 的增大而减小。由此可知,较小的 P_{be} 有利于提高整车的平顺性。

2.3.9 轮胎压力在带束层区域膜张力在纵向的补偿量占侧向及纵向总量的百分比(P_{rl})

对大部分轮胎而言, P_{rl} 一般为70%~80%。在实践中, P_{rl} 对横置凸块精度提高影响有限,反而会对动态过横置凸块响应有影响,因此可以结合该工况与动态过横置凸块协调调整。

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{rl} 的关系曲线如图14所示。

由图14可知:座椅导轨最大垂向加速度随 P_{rl}

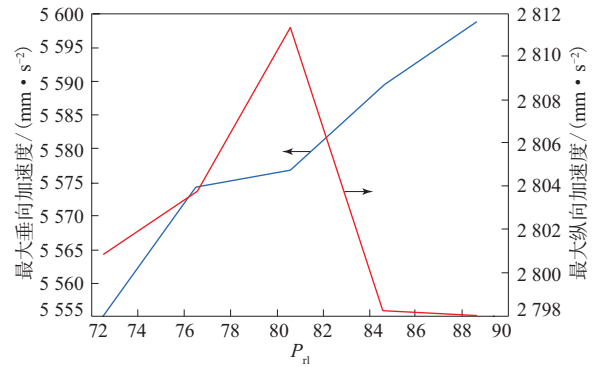


图14 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 P_{rl} 的关系曲线的增大而单调递增;最大纵向加速度随 P_{rl} 的增大先增大后减小, P_{rl} 在辨识参数(80.56)有极大值。

2.3.10 胎面胶阻尼(D_3)

座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_3 的关系曲线如图15所示。

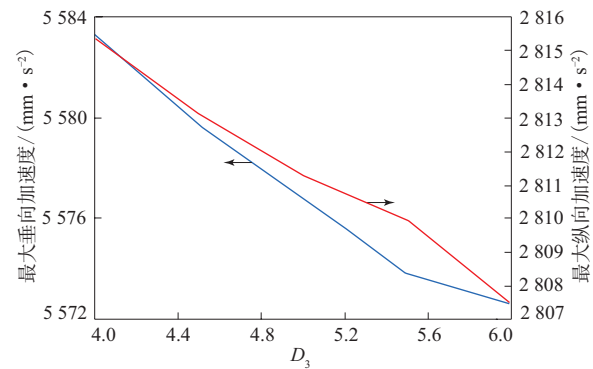


图15 座椅导轨最大垂向和纵向加速度与 D_3 的关系曲线

由图15可知,座椅导轨最大垂向和纵向加速度均随 D_3 的增大而单调递减。因此减小胎面胶阻尼有利于提高整车平顺性。

3 结果分析

通过整车平顺性仿真分析,可知有10个关键参数对整车平顺性有一定的影响,并可得出各参数对整车平顺性的影响趋势。

3.1 FTire轮胎模型关键参数对整车垂向平顺性影响

FTire轮胎模型关键参数对整车垂向平顺性影响权重如表3所示。

从表3可以看出,对整车垂向平顺性影响比较大的参数有描述轮胎垂向刚度的 d_1 和 P_{mr} 、描述带束层质量的 P_{fm} 、描述轮胎纵向刚度的 S_{ll} 、描述轮

表3 FTire轮胎模型关键参数对整车垂向平顺性

影响权重		
影响权重排序 (从大到小)	FTire轮胎模型关键参数	影响权重/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \%^{-1}$)
1	d_1	890.15
2	P_{mr}	563.70
3	P_{fm}	524.00
4	S_{tl}	326.70
5	P_{rs}	290.70
6	P_{rl}	217.60
7	D_2	113.15
8	D_1	36.90
9	P_{be}	34.45
10	D_3	26.83

注:影响权重=最大加速度变化极差/自变量参数变化百分比。

胎垂向动刚度的 P_{rs} 和描述带束层膜张力在轮胎纵向上分量的 P_{rl} (该参数是轮胎充气压力的函数)。

3.2 FTire轮胎模型关键参数对整车纵向平顺性影响

FTire轮胎模型关键参数对整车纵向平顺性影响权重如表4所示。

从表4可以看出,对整车纵向平顺性影响较大的参数有描述带束层质量的 P_{fm} 、描述轮胎垂向刚度的 d_1 和 P_{mr} 、描述轮胎纵向刚度的 S_{tl} 、描述轮胎转动阻尼的 D_1 及描述带束层膜张力在轮胎纵向上分量的 P_{rl} 。

4 结论

通过FTire软件对轮胎模型参数进行辨识和研

表4 FTire轮胎模型关键参数对整车纵向平顺性

影响权重		
影响权重排序 (从大到小)	FTire轮胎模型关键参数	影响权重/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \%^{-1}$)
1	P_{fm}	1 429.00
2	d_1	719.50
3	S_{tl}	410.50
4	P_{mr}	231.50
5	P_{rs}	72.75
6	D_1	69.25
7	P_{rl}	66.50
8	P_{be}	52.00
9	D_2	43.75
10	D_3	19.75

注:同表3。

究,得到轮胎模型参数与轮胎性能以及整车平顺性的关系。结果表明:对整车平顺性影响较大的轮胎力学性能有轮胎垂向刚度和纵向刚度、带束层质量、轮胎轴向阻尼比和轮胎充气压力。

参考文献:

- [1] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 徐璋. 汽车平顺性评价方法的研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.
- [3] 费瑞萍. FTire轮胎模型的仿真分析及试验研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
- [4] 费瑞萍,卢荡,郭孔辉. 基于Ftire的整车平顺性仿真研究[A]. 中国汽车工程学会. 2010年中国汽车工程学会年会论文集[C]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [5] GB/T 4970—2009,汽车平顺性试验方法[S].

收稿日期:2019-10-21

Influence of FTire Model Parameters on Whole Vehicle Ride Comfort

ZHAO Liang, WEI Yong, WEI Baolyu, FANG Hua, JIA Yonghui

(SAIC General Wuling Automobile Co., Ltd, Liuzhou 545007, China)

Abstract: The tire model parameters were identified and studied by FTire software, and the relationship between tire model parameters and tire performance as well as vehicle ride comfort was obtained. The results showed that there were 10 parameters which had a certain effect on the whole vehicle ride comfort, and the tire mechanical properties such as vertical stiffness, longitudinal stiffness, belt mass and axial damping ratio, had significant influence.

Key words: Ftire software; tire model; model parameters; whole vehicle ride comfort; vertical stiffness; longitudinal stiffness; belt mass; axial damping