

轮胎与整车匹配技术研究

车明明¹, 索艳茹², 马尧², 王志楠¹, 王园园¹

[1. 浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 青岛 264300; 2. 吉林大学 汽车工程学院, 吉林 长春 130022]

摘要:对轮胎与整车匹配技术进行研究。结果表明:改变轮胎的侧偏刚度可以改变整车的不足转向度;增大轮胎扭转刚度可以增大舵感,增大轮胎的侧偏刚度可以解决轮胎响应慢问题,调整轮胎回正力矩可以改善轮胎的转向线性感;减小轮胎的抓着力可以改善其在极限工况下侧倾抑制不足;改变轮胎花纹块结构、材料和轮胎接地面积等可以改善抓着力;减小轮胎的纵向和垂向刚度可以减小冲击入力感,减小轮胎的包容刚度可以减小包覆感,增大轮胎的垂向阻尼可以快速衰减振动。

关键词:轮胎;整车匹配;主观评价;客观测试;对标分析

中图分类号:U463.341;TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2019)00-0000-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2019.00.0000



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为汽车行驶时与地面接触的唯一部件,主要作用包括承载车辆的全部质量、传递地面对汽车的所有力及力矩、降低并吸收汽车行驶中的震动及冲击力,保证汽车行驶的安全性、操纵稳定性和平顺性^[1-2]。轮胎性能是实现汽车底盘行驶性能的基础,而底盘性能则需要各个系统的匹配,才能达到整车质量要求^[3-4]。因此轮胎与整车的匹配研究对轮胎厂及整车厂的合作尤为重要。

1 轮胎主观评价指标参数对比

本研究主观评价主要从操纵稳定性(包括转向)和平顺性两方面进行,原配轮胎(OE轮胎)和匹配轮胎具体评价内容及结果如表1所示。主观描述如下。

(1)原车出厂时的OE轮胎具有轻微转向不足;匹配轮胎具有较大转向不足。

(2)OE轮胎具有舵感建立,开始响应稍慢但无过多延迟,线性感良好;匹配轮胎舵感建立不佳,响应延迟偏多,线性感不佳。

基金项目:吉林大学多尺度轮胎噪声匹配机理研究项目(3R217Q362462)

作者简介:车明明(1982—),男,山东荣成人,浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师,学士,主要从事轮胎设计与开发研究。

E-mail:970287180@qq.com

表1 主观评价内容及结果

指标参数	评分项	OE轮胎评分	匹配轮胎评分	
转向不足特性	过度转向的建立	7.00	6.75	
	转向舵感及响应性、线性感	操纵力的建立	7.00	6.50
		中心区操纵力	6.75	6.50
		非中心区操纵力	6.75	6.50
侧倾抑制抓着力	非中心区线性感	7.00	6.50	
	动态侧倾	7.00	6.50	
	抓着力	7.00	6.75	
冲击入力感、包覆感	转弯制动	7.00	6.75	
	操纵平衡感	7.00	6.50	
	小的冲击	6.75	6.50	
车体晃动抑制能力	大的冲击	7.00	6.50	
	振动感	6.75	6.50	
	垂向阻尼	7.00	6.50	

(3)OE轮胎侧倾抑制良好;匹配轮胎侧倾抑制不足。

(4)OE轮胎抓着力适中,没有过多转向过度,后轴安定性无太大问题;匹配轮胎平衡性不足,后轴滑移大,过度转向趋势明显。

(5)OE轮胎包覆感良好,入力感小;匹配轮胎包覆感略差,入力感稍偏强。

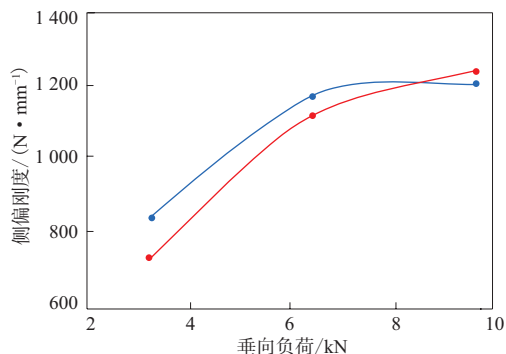
(6)OE轮胎车体晃动抑制良好,振动频度稍大;匹配轮胎车体晃动程度大,振动频度偏大。

由主观评价及描述可以看出OE轮胎对应的操纵稳定性及平顺性较好。

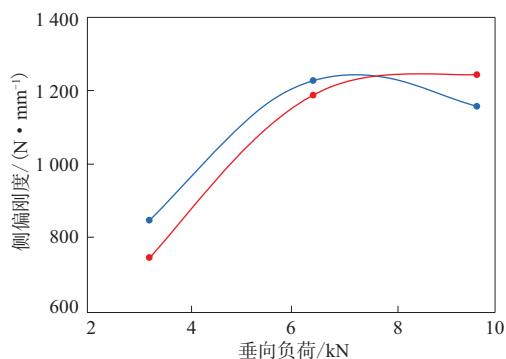
2 轮胎客观测试指标参数对比

不同侧偏角下轮胎侧偏刚度垂向负荷曲线如图1所示。

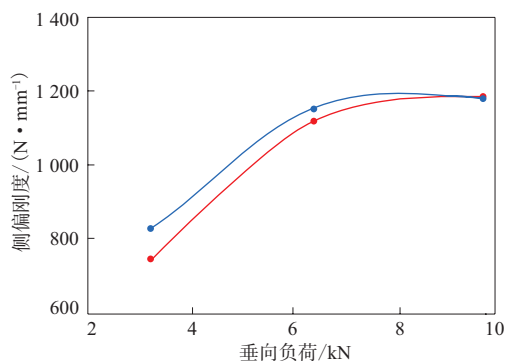
从图1可以看出:负荷小于6.4 kN时,OE轮胎的侧偏刚度大于匹配轮胎;而负荷大于6.4 kN时,匹配轮胎的侧偏刚度较大。



(a) 侧偏角为6°



(b) 侧偏角为0°

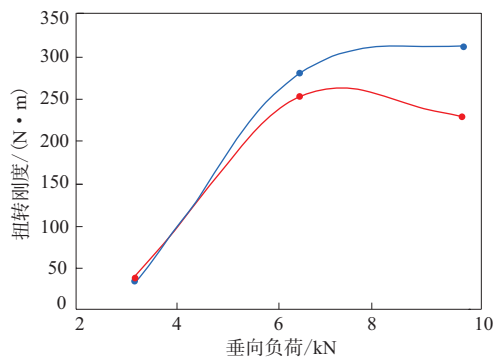


(c) 侧偏角为-6°

●—OE轮胎; ●—匹配轮胎。

图1 不同侧偏角的轮胎侧偏刚度曲线

轮胎扭转刚度随垂向负荷的变化曲线如图2所示。

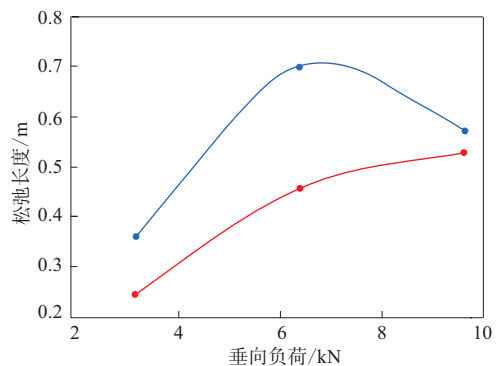


注同图1。

图2 轮胎扭转刚度曲线

从图2可以看出:负荷为3.2 kN时,匹配轮胎的扭转刚度较大;负荷为6.4和9.6 kN时,匹配轮胎的扭转刚度较小。

轮胎在不同垂向负荷下的松弛长度如图3所示。



注同图1。

图3 轮胎松弛长度曲线

从图3可以看出OE轮胎的松弛长度较大。

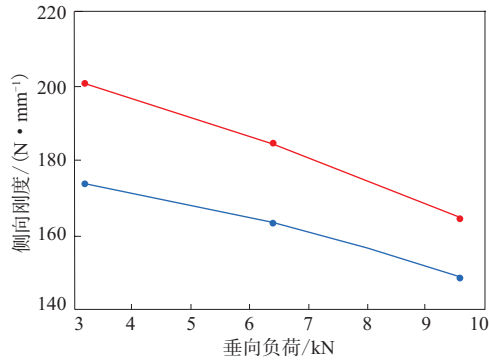
轮胎侧向刚度和纵向刚度曲线分别如图4和5所示。轮胎垂向刚度如表2所示。

从图4和5及表2可以看出,总体上匹配轮胎的刚度均较大。

轮胎接地印痕面积如表3所示。

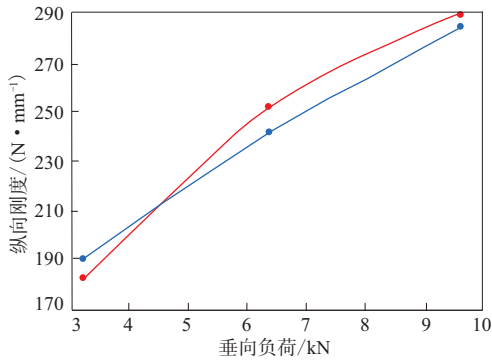
从表3可以看出:侧倾角为0°时,匹配轮胎接地面积较大;侧倾角为6°时,匹配轮胎在负荷为3.2和6.4 kN时的分块接触面积较小。

不同方式放置条状凸块的轮胎垂向刚度如表



注同图1。

图4 轮胎侧向刚度曲线



注同图1。

图5 轮胎纵向刚度曲线

表2 轮胎垂向刚度 $N \cdot mm^{-1}$

侧倾角 / (°)	OE轮胎	匹配轮胎
0	271	284
6	277	283

表3 轮胎接地印痕面积

侧倾角 / (°)	负荷 / kN	OE轮胎/cm ²		匹配轮胎/cm ²	
		分块	整体	分块	整体
0	3.2	90.145	159.332	95.835	161.364
	6.4	161.492	243.688	163.929	272.498
	9.6	226.020	349.895	253.355	369.597
6	3.2	83.363	145.550	77.384	146.310
	6.4	144.459	237.334	132.312	260.042
	9.6	192.290	332.727	229.200	360.657

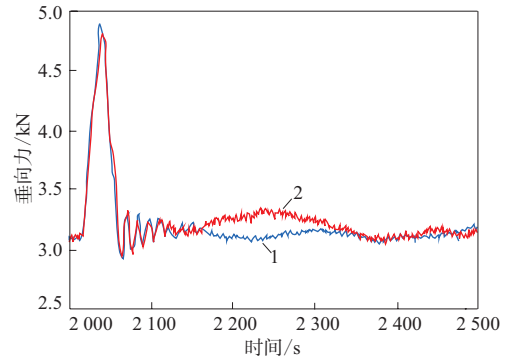
4所示。

从表4可以看出,总体上匹配轮胎过条状凸块时垂向刚度略大。

不同负荷下轮胎过条状凸块时垂向力波动曲线如图6—8所示。

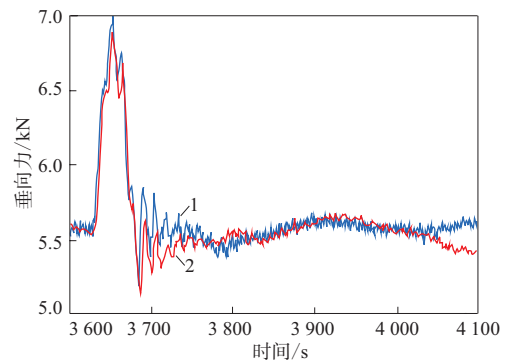
表4 不同方式放置条状凸块的轮胎垂向刚度 $N \cdot mm^{-1}$

条状凸块放置方式	OE轮胎		匹配轮胎	
	第1段	第2段	第1段	第2段
横置	195	279	199	283
斜置	172	264	183	267
纵置	151	269	147	275



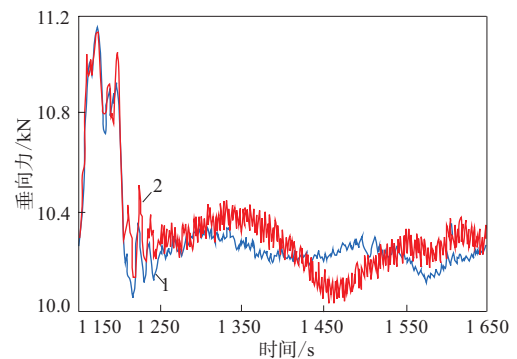
1—OE轮胎; 2—匹配轮胎。

图6 小负荷下轮胎过条状凸块垂向力波动曲线



注同图6。

图7 中等负荷下轮胎过条状凸块垂向力波动曲线



注同图6。

图8 大负荷下轮胎过条状凸块垂向力波动曲线

从图6—8可以看出,OE轮胎相对于匹配轮胎在过条状凸块后能够快速衰减振动。

3 对标分析

3.1 转向不足特性

影响整车转向不足特性的主要因素包括前后轴侧偏刚度、质心位置、悬挂和非悬挂质量、前后悬架侧倾中心位置、前束角和侧倾角变化、轮胎侧偏刚度。整车主观评价是同一辆车在不同轮胎(轮胎规格相同)条件下进行的,因此分析轮胎时可以忽略汽车其他因素的影响。

轮胎侧偏刚度对转向不足特性影响最大,可以通过改变轮胎的侧偏刚度来改变整车的不足转向度。

轮胎侧偏刚度对转向不足特性的影响如图9所示。

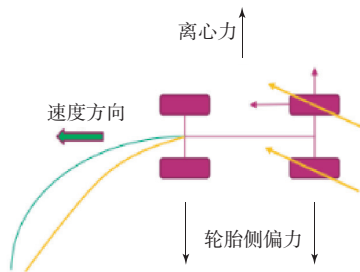
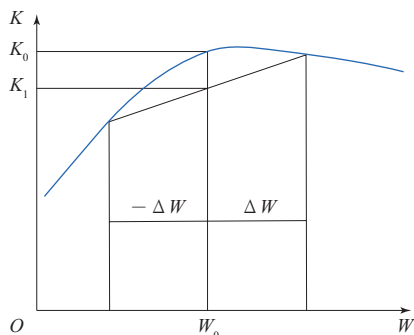


图9 轮胎侧偏刚度对转向不足特性的影响

从图9可以看出,若减小后轮侧偏刚度,则后轮侧偏角增大,从而使整车的过度转向趋势增大。

轮胎侧偏刚度变化曲线如图10所示。

从图10可以看出:侧偏刚度随垂直负荷的增



K 为侧偏刚度; W 为垂直负荷。

图10 轮胎侧偏刚度变化曲线

大而增大,但垂直负荷过大,轮胎与地面接触区的压力变得不均匀,使轮胎侧偏刚度反而减小;汽车转弯时,车身发生侧倾,垂直负荷在内外侧轮胎会重新分配。在离心力的作用下,车身向弯道外侧倾斜。

外侧轮胎负荷增大 ΔW ,内侧轮胎负荷减小 ΔW ,此时的平均侧偏刚度 K_1 小于初始平均侧偏刚度 K_0 。

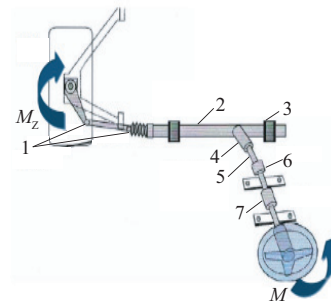
另外,轮胎垂直负荷对侧倾角刚度略有影响,从而影响负荷转移量,进而影响平均侧偏刚度。

汽车在刚转向时,前轮为转向轮,增大轮胎的侧偏刚度可以减小前轮的侧偏角,进而减小不足转向趋势。

3.2 转向性能

根据主观评价报告,转向性能主要分析转向舵感、响应性及线性感。

车辆力矩传递关系如图11所示,其中 M 为车轮转向力矩, M_z 为方向盘转向力矩。



1—球副;2—支架配件;3—齿轮机构;4—圆柱副;5—扭力杆;
6—圆柱隔离器;7—安装支柱。

图11 车辆力矩传递关系

舵感的建立与转向系统和轮胎的扭转刚度有很大的关系。地面对汽车的力由轮胎传递到轮辋,然后由轮辋通过转向节传递到转向系统,进而传递到驾驶员手上。

本研究主观评价测试是用不同轮胎的同一辆车,分析舵感仅从扭转刚度着手。当增大轮胎的扭转刚度时,驾驶员若想使汽车转动一定的角度则需要更大的扭转力矩,同时路面反馈的力矩也更大,舵感增强。对比主观评价及轮胎客观测试,可以通过增大匹配轮胎扭转刚度来增大舵感。

转向响应的快慢与转向系的间隙和刚度、转

向传动比、悬架布置、轮胎侧偏刚度、侧向松弛长度有关。一方面由于轮胎存在侧偏,使得车轮希望的转角小于实际转角;另一方面当驾驶员转动方向盘时,轮辋跟随转动一定的角度,由于轮胎是弹性体,若想轮胎也转动同样角度需要一段时间,这段时间为转向响应迟滞时间。

从转向轮分析,假如转向传动比为20,当方向盘转动360°时,理论上车轮转动18°,但是由于侧偏的存在,会使车辆产生一个与转向相反的侧偏角,侧偏刚度越大,侧偏角越小,转向响应越好。

轮胎侧向松弛长度即在瞬态激励下,轮胎从开始滚动到所有力与力矩达到平衡时所滚过的距离。增大侧向松弛长度可以减慢响应速度,但在速度较高时松弛长度的影响较小。

通过主观评价及轮胎客观测试结果及以上分析,可以通过增大匹配轮胎的侧偏刚度来解决响应慢的问题。

线性感主要指转向时转向力矩的线性变化,即小角度转向和大角度转向之间力的增长关系。例如,小角度转向很费力,那么大角度转向是否也很费力,并且是否呈线性增长,而不会发生突然变化。

转向线性感是在低速转向或者原地转向试验下评价的。影响转向力矩平稳变化的因素主要是转向输入轴与输出轴的相位角及转向齿条的间隙及各个部件之间的摩擦、硬点设计、轮胎回正力矩、转向助力,转向线性感与转向助力的调校相关,轮胎回正力矩需要与转向助力进行匹配。因此若想改善匹配轮胎的转向线性感,需要调整轮胎回正力矩。

3.3 侧倾抑制

汽车的侧倾程度与侧倾刚度、侧倾中心、汽车质心、抓着力等有关^[5]。整车的侧倾刚度一方面与悬架的侧倾刚度有关,另一方面与轮胎的垂向刚度有关。汽车在侧倾时,若侧倾刚度大,在相同的侧倾力矩下,侧倾角小。若轮胎的垂向刚度大,则整车的侧倾刚度大,对于抑制侧倾有一定的作用,但轮胎的垂向刚度较小则侧倾刚度不大,对侧倾抑制效果较小。

在极限工况下,抓着力对侧倾影响很大,其他

条件相同的情况下,轮胎抓着力大的汽车侧倾程度较大,反之侧倾程度较小^[6-7]。主观评价报告的结果是匹配轮胎的侧倾抑制不足,OE轮胎的侧倾抑制良好,由于无法知晓该主观评价结果是在汽车处于什么状态下得出的,因此无法得出结论。但可以从抓着力和垂向刚度方面解决侧倾抑制不足的问题。通过减小匹配轮胎的抓着力可以改善其在极限工况下侧倾抑制不足的问题^[8]。

3.4 抓着力

抓着力与轮胎接地印痕面积、胎面花纹、胎面材料等有关。从表3可以看出,匹配轮胎在外倾角为0°时的接地面积更大,但是存在6°外倾角时,OE轮胎在负荷3.2和6.4 kN时的分块接地面积较大。由于花纹块、轮胎材料对抓着力影响较大,因此仅从接地面积上无法分析原因。可以通过改变轮胎花纹块结构、材料、轮胎接地面积等来改善该现象。

3.5 平顺性

平顺性主要从冲击入力感、包覆感、车体晃动抑制能力等方面来分析^[9]。

车辆冲击力传递路线如图12所示。

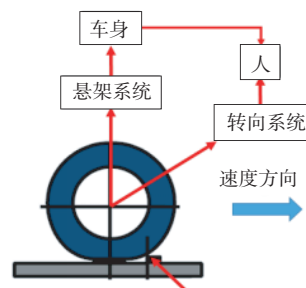


图12 车辆冲击力传递路线

轮胎在遇到障碍物时,冲击力一方面通过轮胎过滤后传递到悬架,然后由悬架进一步减缓冲击,再通过副车架传递到车身,最后传递到乘坐人员。另一传递路径为轮胎传递到转向系统,再传递到驾驶员手上。

从图12可以看出,轮胎的纵向和垂向刚度、悬架的刚度、副车架与车身连接衬套、转向系统刚度等对冲击入力感有很大的影响。把影响因素单独分解到轮胎上为轮胎纵向与垂向刚度。

由轮胎客观测试对比可知,OE轮胎的纵向与

垂向刚度多数条件下较小,其对应的冲击力多数情况下应该比较小,主观评价结果为OE轮胎的入力感弱,匹配轮胎的入力感强,原因可能是在实际负荷下OE轮胎的纵向与垂向刚度的综合影响小于匹配轮胎。可以通过减小匹配轮胎的纵向刚度和垂向刚度来减小冲击入力感。

主观评价结果为OE轮胎的包覆感良好,匹配轮胎的包覆感差。包覆感与轮胎的包容刚度(胎面花纹的刚性)相关,增大包容刚度有增大包覆感的趋势。根据轮胎客观测试对比可知总体上匹配轮胎的包容刚度略大,这与主观评价结果一致。可以通过减小匹配轮胎的包容刚度来减小包覆感。

单从轮胎上讲,车体晃动收敛的快慢与轮胎的阻尼有关,增大阻尼可以快速衰减晃动。主观评价结果为OE轮胎振动频度稍大,匹配轮胎振动频度大,收敛性稍差。可能的原因是综合垂向力和纵向力波动情况下匹配轮胎的收敛性差。可以通过增大匹配轮胎的垂向阻尼来快速衰减振动。

4 结论

(1) 改变轮胎的侧偏刚度可以改变整车的不足转向度。

(2) 增大轮胎扭转刚度可以增大舵感,增大轮胎的侧偏刚度可以解决轮胎响应慢问题,调整轮

胎回正力矩可以改善轮胎的转向线性感。

(3) 减小轮胎的抓着力可以改善其在极限工况下侧倾抑制不足。

(4) 改变轮胎花纹块结构、材料和轮胎接地面积等可以改善抓着力。

(5) 减小轮胎的纵向和垂向刚度可以减小冲击入力感,减小轮胎的包容刚度可以减小包覆感,增大轮胎的垂向阻尼可以快速衰减振动。

综上所述,充分利用轮胎特性可以提高整车性能,从而提高轮胎与整车的匹配性。

参考文献:

- [1] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 马晓婧. 基于轮胎对汽车使用性能的影响研究[J]. 现代制造技术与装备,2019(6):113-114.
- [3] 胥永官. 轿车轮胎操纵稳定性匹配研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
- [4] 王传铸. 轮胎与汽车的性能匹配分析[J]. 轮胎工业,2004,24(11):643-648.
- [5] 石川浩二郎,刘书城. 轮胎特性与汽车操纵稳定性[J]. 轻型汽车技术,1995(6):14-26.
- [6] 王国林,张娉,周海超,等. 胎面变形与刚度对轮胎抓地性能的影响研究[J]. 机械工程学报,2017,53(10):108-115.
- [7] 陈益艺,赵素合,张兴英,等. 高乙烯基溶聚丁苯橡胶在轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶工业,2018,65(3):268-273.
- [8] 许政伟. 汽车整车轮胎匹配研究[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊),2015(5):227-228.
- [9] 卢海隔. 匹配单宽胎的牵引车操纵稳定性分析[D]. 长春:吉林大学,2014.

收稿日期:2018-08-13

Study on Matching Technology of Tire and Vehicle

CHE Mingming¹, SUO Yanru², MA Yao², WANG Zhinan¹, WANG Yuanyuan¹

[1. Prinx Chengshan (Shandong) Tire Co., Ltd, Qingdao 264300, China; 2. Jilin University, Changchun 130022, China]

Abstract: The matching technology of tire and vehicle was studied. The results showed that the understeer could be changed by changing the cornering stiffness of tire. Increasing the torsional stiffness of tire could increase the rudder feel; increasing the side deflection stiffness of tire could solve the problem of slow response of tire; adjusting the tire return torque could improve the steering line feel of tire. Reducing the grip force of tire could improve the insufficient roll suppression under the limit condition. The grip force could be improved by changing the tire pattern block structure, materials and tire contact area. Reducing the longitudinal and vertical stiffness of tire could reduce the impact force; reducing the containment stiffness of tire could reduce the coverage; increasing the vertical damping of tire could quickly reduce the vibration.

Key words: tire; vehicle matching; subjective evaluation; objective test; benchmark analysis