

轮胎抓着性能与力学特性的一致性研究

孙晓峰,张凯凯,王龙庆,李慧敏,李 帅,刘诗毅

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

摘要:采用3组不同方案轮胎进行复合工况试验和主观实车测试,以研究复合工况下轮胎力学特性与轮胎抓着性能的关系。结果表明:轮胎的侧向力与纵向力合力可以反映轮胎的抓着性能,侧向力与纵向力合力越大,抓着力评分越高;带束层角度的调整对轮胎侧向力与纵向力合力影响较小,胎面胶配方和冠带条缠绕方式的改变对轮胎侧向力与纵向力合力影响较大。

关键词:轮胎;抓着性能;侧偏角;滑移率;复合工况;六分力

中图分类号:TQ336.1⁺1

文献标志码:A

文章编号:2095-5448(2023)05-0217-05

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.05.0217



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为车辆与地面接触的唯一部件,在车辆操纵性、平顺性和安全性等方面发挥着至关重要的作用。抓着力是轮胎的一个重要特性,其水平关系着车辆在极限状态下的操纵能力,实车测试中都会进行在较大侧向加速度下的移线和弯道测试等项目,抓着力水平过低往往会造成车辆的滑移,限制其移线变道的极限速度,降低车辆的操纵性。在接近轮胎抓着极限时,车辆的侧向加速度一般大于 $0.6g$ ^[1],车辆的运动形态较直线行驶和基础转向时发生了很大程度的改变。对于大多数车辆,前后轴的载荷往往不同,前置前驱的车辆前轴载荷更大,并且在极限操纵状态下,由于车辆载荷转移的存在,车辆内外两侧的载荷分配也发生了较大变化,同时,侧向力和纵向力存在耦合作用,随着转向时侧向加速度的增大,纵向力也较基础转向时大幅增加,这很大程度上限制了侧向力。此时若只研究单一工况下的轮胎力学特性往往会和车辆在极限操纵条件下的轮胎状态产生较大差异,对轮胎特性与车辆操纵性能的一致性评价产生困扰。

作者简介:孙晓峰(1995—),男,山东潍坊人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事轮胎动力学研究和结构设计工作。

E-mail:2514304701@qq.com

在轮胎动力学发展初期,六分力与汽车操纵性能是主要的研究方向,侧偏刚度是研究的关键点,而随着研究的深入和实际需求的进一步增加,对于轮胎的研究不再局限于单一工况下的六分力特性。在复合工况下,根据轮胎的六分力特性特点,可以研究轮胎对于多个变量的响应,而且更接近于汽车行驶时轮胎的动力学特性,研究复合工况可以更好地认识和分析轮胎在复杂及极限状态下的运动状态和力学特性。

为此,我公司进行了固定侧偏角下变滑移率的多载荷的轮胎力学试验,以研究轮胎力学特性与轮胎抓着力水平的匹配关系。

1 复合工况下轮胎的特性

1.1 复合工况介绍及试验参数设计

复合工况分为很多种,比较常见的是复合滑移工况,其他工况有纵滑、侧偏、侧倾及垂直动载等以及联合工况。复合滑移工况可以根据试验条件和变量控制的不同分为两种,一种是固定侧偏角,研究六分力随滑移率变化的过程;另一种是固定滑移率,研究六分力随侧偏角变化的过程。对于大多数情况,固定侧偏角更容易控制,所以一般采用第1种方法研究。此外,调节试验载荷进行多载荷试验可以研究转向时载荷转移造成的内外

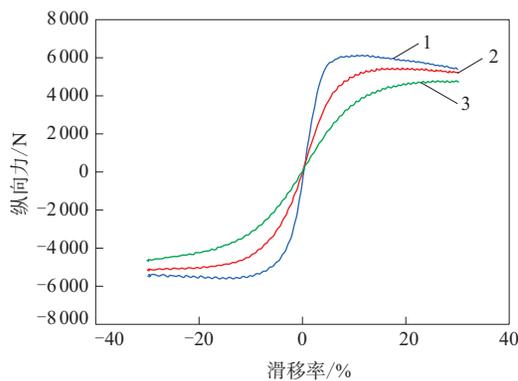
侧轮胎实际载荷的不同及其产生的不同六分力响应。在复合滑移工况下的六分力表征一般有3种形式,即侧向力-滑移率曲线、纵向力-滑移率曲线和侧向力-纵向力曲线^[2-3]。

参考PAC2002模型试验方法设置复合工况试验参数,如表1所示,其中暂时不考虑侧倾角对轮胎性能的影响。

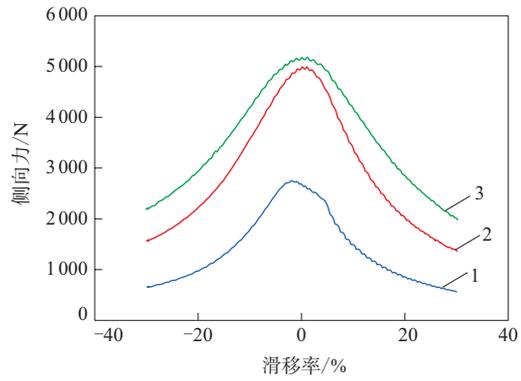
表1 复合工况试验参数设计

项目	数值	项目	数值
充气压力/kPa	210	滑移率起始值/%	3
载荷率 ¹⁾ /%	40, 80, 120	滑移率第1结束值/%	-30
速度/(km·h ⁻¹)	60	滑移率第2结束值/%	30
侧倾角/(°)	0	滑移率结束值/%	-3
侧偏角/(°)	2, 5, 8		

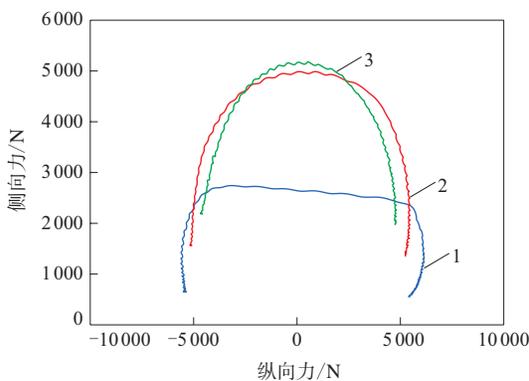
注:1)额定载荷为6 027 N,试验分别在额定载荷的40%, 80%和120%(2 410. 8, 4821. 6和7 233. 6 N)下进行。



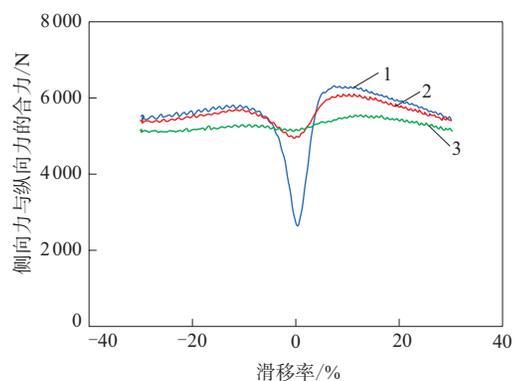
(a) 纵向力-滑移率曲线



(b) 侧向力-滑移率曲线



(c) 侧向力-纵向力曲线



(d) 侧向力与纵向力的合力-滑移率曲线

侧偏角/(°): 1—2; 2—5; 3—8。

图1 80%载荷率下的轮胎力学曲线

1.2 不同侧偏角下的轮胎力学特性

以205/55R16规格轮胎为例说明复合工况下轮胎六分力特性,图1为在80%载荷率下的轮胎力学曲线。

从图1(a)可以看出,随着侧偏角的增大,相同滑移率下的纵向力逐渐减小,且纵向力峰值出现在更大的滑移率下,峰值也逐渐减小。从图1(b)可以看出,随着侧偏角的增大,相同滑移率下的侧向力逐渐增大;在相同侧偏角下,随着滑移率的增大,侧向力逐渐减小。图1(a)和(b)反映了侧向力与纵向力的相互制约关系。

图1(c)更加直观地反映了侧向力和纵向力的耦合作用,侧偏角越大,曲线形状也越接近椭圆形或者圆形,被称为“摩擦椭圆”。合力近似表达公式为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

式中, F_x 为纵向力, F_y 为侧向力, F 为侧向力与纵向力的合力^[4]。

将图1(c)中每个点按上式计算可以得到图1(d)。从图1(d)可以发现,在固定侧偏角下侧向力与纵向力的合力随着滑移率绝对值的增加而逐渐增大,达到峰值后逐渐减小,而且随着侧偏角增

加,合力的波动幅度明显降低;在侧偏角为8°时,其合力曲线近似呈一条直线,可以认为是一个稳定值,反映了轮胎的抓着性能。

1.3 不同载荷下的轮胎力学特性

图2为侧偏角为5°时,不同载荷下的轮胎力学曲线。从图2可以看出,侧向力、纵向力及其合力

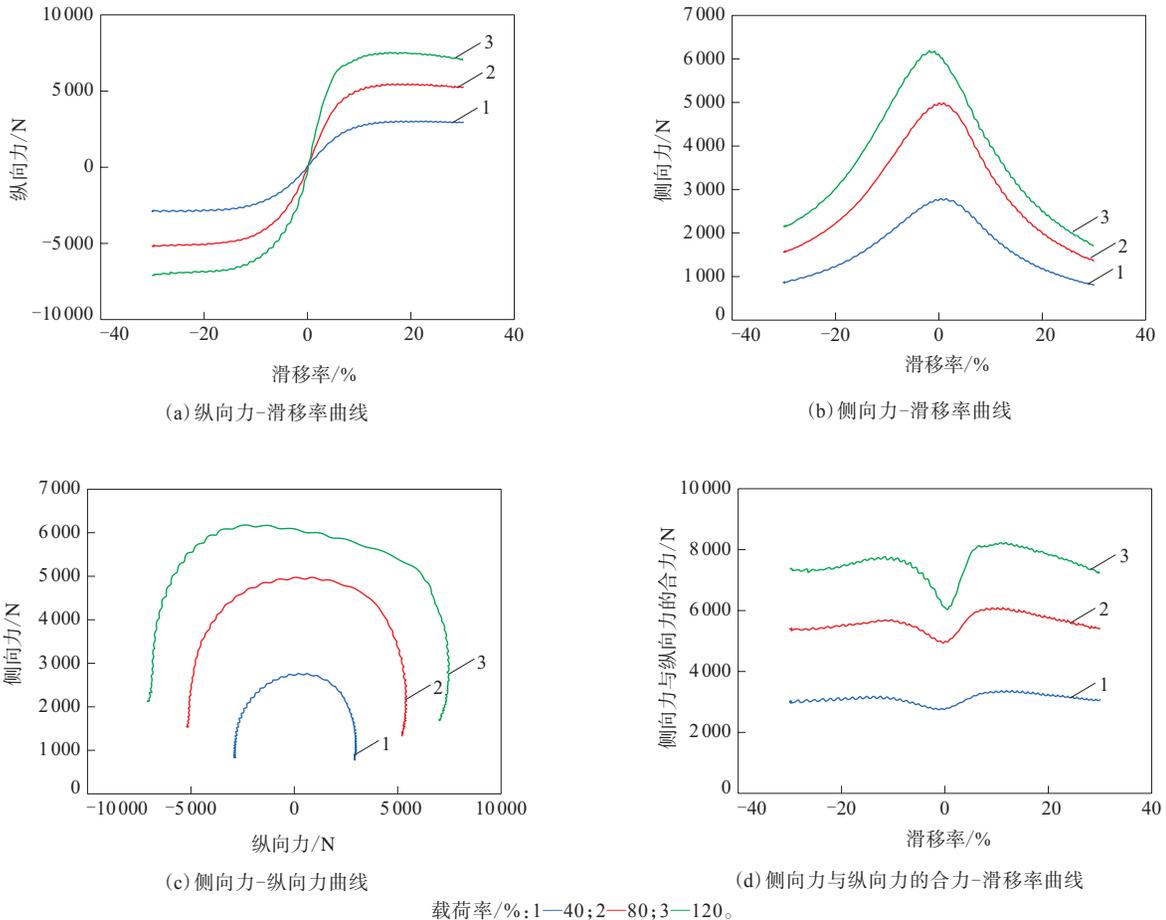


图2 侧偏角为5°时的轮胎力学曲线

均随载荷的增加而增大。

通过复合工况的试验数据可知,轮胎在不同的载荷、侧偏角和滑移率下均有不同的纵向力和侧向力水平。考虑车辆在极限操控状态下,侧向加速度较大,车辆载荷转移造成内外侧轮胎承受载荷有明显差异,外侧轮胎载荷大幅增加,而且在剧烈的工况下,轮胎纵向力会有较大的改变,这也使侧向力发生变化。结合实车测试条件,可以认为在120%的载荷率下,侧偏角为5°或8°时侧向力与纵向力的曲线更加贴合实际情况,可以反映轮胎的抓着水平。

2 试验验证

选取3个规格轮胎分别调整胎面胶配方、冠带条和带束层结构,设计3组对比方案,以研究复合工况下轮胎特性与轮胎抓着力关系,设计方案如表2所示。试验设备为美国MTS系统公司生产的MTS Flat-Trac CT Plus型六分力试验机。

3 试验数据分析

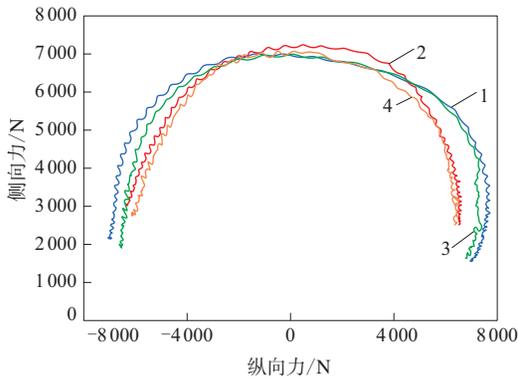
图3—5分别示出了6个方案在复合工况下的侧向力-纵向力曲线。实车测试数据及主观抓着力

评价如表3所示。

合力峰值为试验过程中侧向力与纵向力合力的峰值,反映了轮胎的抓着力极限,侧向力-纵向力曲线反映了侧向力随纵向力的变化,也反映了侧向力与纵向力合力的大小。

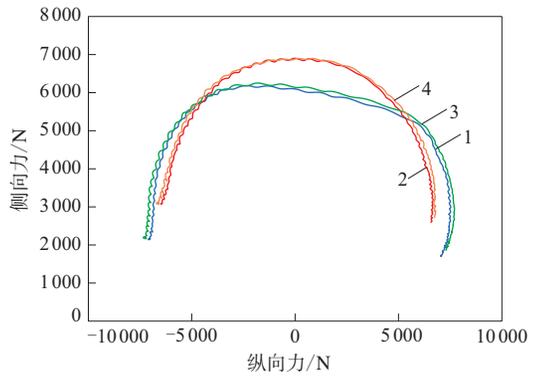
表2 设计方案

项 目	方案编号					
	1	2	3	4	5	6
轮胎规格	225/50R17		205/55R16		195/65R15	
充气压力/kPa	220		210		230	
载荷/kg	456		615		405	
差异	胎面配方调整		冠带条缠绕方式调整		带束层角度调整	



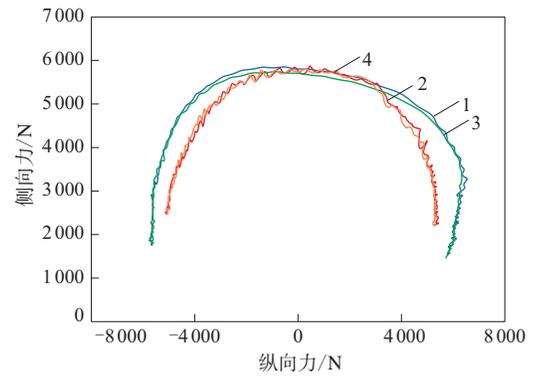
1—方案1,侧偏角为5°;2—方案1,侧偏角为8°;3—方案2,侧偏角为5°;4—方案2,侧偏角为8°。

图3 方案1和2的侧向力-纵向力曲线对比



1—方案3,侧偏角为5°;2—方案3,侧偏角为8°;3—方案4,侧偏角为5°;4—方案4,侧偏角为8°。

图4 方案3和4的侧向力-纵向力曲线对比



1—方案5,侧偏角为5°;2—方案5,侧偏角为8°;3—方案6,侧偏角为5°;4—方案6,侧偏角为8°。

图5 方案5和6的侧向力-纵向力曲线对比

表3 实车测试数据及主观抓着力评价

项 目	方案编号					
	1	2	3	4	5	6
合力峰值/N						
5SA-1.2FZ	8 568.76	8 416.60	8 250.23	8 370.50	7 321.88	7 255.43
8SA-1.2FZ	7 793.90	7 636.46	7 611.26	7 785.25	6 496.53	6 364.91
主观抓着力评分						
单变道	7.25	6.88	7.25	7.38	7.50	7.25
大S变道	7.25	7.00	7.25	7.38	7.50	7.25

注:5SA-1.2FZ和8SA-1.2FZ分别指侧偏角为5°和8°时在120%载荷率下,以滑移率为变量输入的试验工况。

从图3—5可以看出:方案1的合力大于方案2,方案4的合力大于方案3,其合力峰值也有相同的结论;相同侧偏角下,方案5和6的曲线差异相对较小,这是由于动态试验数据存在波动,受数据采集精度影响以及带束层角度调整对轮胎力学特性影响较小导致,与方案6相比,方案5的合力峰值更大,抓着性能相对更好。

3组(方案1和2,3和4以及5和6)轮胎分别进行主观实车测试。为控制变量,减小其他因素的影响,3组方案轮胎均由同一车手在同样的测试场地进行单变道和大S变道项目测试。

从表3可以看出,将每组轮胎进行对比,在相同条件下,轮胎的合力越大,其抓着性能越好,抓着力评分越高。侧偏角为5°时的合力峰值比侧偏

角为 8° 时的合力峰值更大,这是因为轮胎在侧偏角为 $5^\circ\sim 8^\circ$ 时已经处于非线性区,随着滑移率的增大,侧偏角为 8° 时的侧向力更容易饱和,从而对合力大小产生影响;每组轮胎中,侧偏角为 8° 时的合力峰值差值比侧偏角为 5° 时的合力峰值差值更大,可以更加明显反映方案的差异;带束层角度的调整对轮胎侧向力与纵向力的合力影响较小;胎面胶配方和冠带条缠绕方式的改变对轮胎合力影响较大,这是因为胎面胶配方会改变轮胎摩擦因数从而影响轮胎的抓着性能^[5],冠带条缠绕方式则会使轮胎冠部刚性发生改变,影响轮胎接地特性从而对轮胎的抓着水平产生影响。

抓着性能是轮胎的必需性能之一,但不能代表轮胎的整体性能,而且如果轮胎抓着力过大,可能会造成侧倾抑制不足^[6],影响车辆操纵稳定性,所以在轮胎开发过程中不能盲目追求抓着力,更多的是期望达到轮胎综合性能的最优化。

4 结论

采用3组不同方案轮胎进行复合工况试验和主观测试,以研究复合工况下轮胎力学特性与抓着性能的关系,可以得出以下结论。

(1)复合工况下,轮胎的侧向力和纵向力相互制约,其曲线形成近似为“摩擦椭圆”,在大侧偏角下,其侧向力与纵向力的合力可以认为是稳定值,侧向力、纵向力及其合力均随着载荷的增

大而增大。

(2)考虑极限操纵条件,轮胎侧向力与纵向力合力可以反映轮胎的抓着性能,合力越大,抓着力评分越高。

(3)带束层角度的调整对轮胎合力影响相对较小;胎面胶配方和冠带条缠绕方式的改变对轮胎合力影响较大。

抓着性能是轮胎的重要性能之一,但不能代表轮胎的整体性能,轮胎设计工程师需要综合考虑轮胎各方面性能及其与车辆的匹配,以使整车性能达到最佳;主观测试受车手个人因素和测试水平影响较大,还需要更多的手段研究论证以提高主客观试验的一致性。

参考文献:

- [1] 姜洪旭,王海艳.整车操纵性能仿真客观评价体系研究[J].轮胎工业,2020,40(10):630-634.
- [2] GENT A N, WALTER J D.轮胎理论与技术[M].危银涛,译.北京:清华大学出版社,2013.
- [3] 王洁,李钊,李子然.制动工况下不同滑移率轮胎胎面的磨损行为研究[J].橡胶工业,2021,68(8):563-568.
- [4] 李小雨,许男,仇韬,等.各向异性刚度对轮胎力学特性及车辆操纵性的影响[J].吉林大学学报(工学版),2020,50(2):389-398.
- [5] 庄晔,郭孔辉.动摩擦特性对轮胎侧偏纵滑复合特性的影响[J].吉林大学学报(工学版),2008(S2):11-14.
- [6] 车明明,索艳茹,马尧,等.轮胎与整车匹配性研究[J].轮胎工业,2020,40(1):3-8.

收稿日期:2022-12-23

Study on Consistency between Tire Grip Performance and Mechanical Property

SUN Xiaofeng, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, LI Huimin, LI Shuai, LIU Shiyi

(Qingdao Century Tire Co., Ltd, Qingdao 266229, China)

Abstract: Three groups of tires with different schemes were tested under composite working conditions and subjective real vehicle test conditions to study the relationship between tire mechanical properties and tire grip performance under composite working conditions. The results showed that the combined force of the lateral force and longitudinal force of the tire could reflect the grip performance of the tire. The greater the combined force was, the higher the gripping force score was. The adjustment of belt angle had little effect on the combined force of the lateral force and longitudinal force of the tire, while the change of tread compound formula and crown strip winding mode had a great effect on it.

Key words: tire; grip performance; sideslip angle; slip ratio; composite working condition; force and moment