

受力轮胎花纹块与胎体变形量测试系统的研究

葛剑敏^{1,2}, 王佐民¹, 孙世铭²

[1. 同济大学 声学所, 上海 200092; 2. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所, 上海 200072]

摘要:开发了一种测量在径向力、切向力和侧向力作用下轮胎胎面花纹块变形量和胎体变形量等参数的试验系统。该系统可以在不同条件下进行如下参数的测量:轮胎胎面花纹块变形量、胎体变形量、轮胎的接地印迹、轮胎下沉量及滚动半径、轮胎与路面的摩擦因数、轮胎径向刚度、侧向刚度和切向及扭转刚度等。该系统为汽车的动态仿真提供更接近实际的轮胎模型及参数数据;可以验证轮胎有限元计算结果的精度和误差;为轮胎的振动与噪声仿真计算与分析提供了理论依据。重要的是可以通过该系统研究轮胎结构参数与轮胎各种性能的关系,以缩短新产品的开发周期。

关键词:轮胎;花纹块;胎体;变形;刚度因数

中图分类号: TQ330.4⁺92; TQ336.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8171(2002)01-0003-06

轮胎是连接车辆与路面的唯一部件,除空气作用力外,车辆的其它所有外力几乎都是由路面先传递至轮胎再传递至车辆的。轮胎的力学特性对车辆的许多力学特性起主导和决定作用。对车辆诸多重要力学性能的研究,特别是车辆的操纵稳定性、制动安全性、车辆垂直振动与前轮摆振特性、车辆动力性与通过性,都依赖于对轮胎力学特性的研究。

随着现代先进技术的应用和科学技术的发展,车辆结构在不断地改进与革新,ABS、ASC、4WS、DSC 和主动悬架等先进的车辆底盘控制系统的设计与分析,都是建立在轮胎力学特性研究之上的。轮胎自身的制造与开发也需要准确地研究轮胎力学特性。随着车速不断提高,车辆在高速行驶中暴露出许多问题,甚至是致命的弱点,如制动不安全、操纵失控、温度升高、轮胎磨损严重(寿命低下)甚至爆破、油耗过高以及驻波、水滑、自振、噪声等,这些现象的存在使得轮胎力学特性研究提高到非常重要的地位。轮胎力学特性研究也是高性能轮胎设计与生产的实际需要。轮胎的

品种和结构设计正在趋向子午化、无内胎化和扁平化,轮胎设计的手段亦趋于自动化。如何更好地改进轮胎品种,改善轮胎结构、优化轮胎设计、提高轮胎性能,轮胎力学特性是一个重要的依据^[1~3]。

目前,国外的许多汽车厂家对轮胎与汽车的合理配套提出了诸如轮胎噪声、模态参数、包络特性、操纵稳定性和牵引附着性等各种要求。为了使我们的轮胎能够在国内外轮胎市场的竞争中立于不败之地,必须根据市场需求及汽车厂家的要求,在保证质量的前提下,设计出不同性能的轮胎,以不断地进行产品的更新换代。

不仅是车辆的力学研究依赖于轮胎力学特性研究,对装有充气轮胎的拖拉机、飞机起落架等其它车辆或飞行物的特性研究,也同样需要依靠对轮胎力学特性的深入研究。

车辆的仿真研究,概念车辆与概念轮胎的设计,都以轮胎力学特性研究为基础。将轮胎力学模型加入到 ADAMS 仿真软件,也需要深入研究轮胎力学特性。

综上所述,车辆的分析、仿真、建模、设计、制造、开发等都迫切需要研究轮胎力学特性。轮胎力学特性研究是车辆动力学研究中一个非常重要的领域。

作者简介:葛剑敏(1963-),男,河南洛阳人,同济大学和上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司企业博士后,主要从事汽车系统动力学、轮胎噪声与振动等方面的研究。

然而,轮胎的材料是多层的、不均匀的、各向异性的,轮胎与路面的作用又是复杂多变的,轮胎的载荷、气压、速度、频率也是时常变化的。

轮胎力学特性试验研究的深化与发展,在很大程度上还依赖于轮胎力学特性试验方法的设计、试验设备的改进和试验手段的提高。正因为如此,国外对轮胎力学试验研究予以高度重视,大力投资研制出许多高性能、多功用的现代化轮胎室内试验设备,如外转鼓式、内转鼓式、平台式、带式试验台等,同时也建立了如自推动车辆、牵引拖车等路面试验设备(路面试验设备虽然是在真实路面上进行试验,但试验的重复性往往较差,因此室内试验设备更加受到重视)。利用这些设备对轮胎的力学特性开展了全方位、多工况的试验研究,从而有力地推动了轮胎力学特性试验研究与理论研究的发展。但这些设备只是单件生产,造价昂贵。我国轮胎力学试验设备的研究起步较晚。1973年长春汽车研究所自行设计了QY7329轮胎静态外特性试验台^[4],利用该试验台,已经在轮胎力学、车辆动力学研究及工程应用方面得到了有效应用。

本工作首次研究开发了一种在三向力作用下对轮胎胎面花纹和胎体参数进行测量的试验装置。该轮胎试验系统的应用将会使我国的轮胎力学特性试验水平迈上一个新的台阶,有利于推动我国轮胎力学特性试验研究和理论研究的发展,为轮胎力学和车辆动力学的发展提供准确试验数据,推动轮胎的设计开发。该项研究填补了我国在汽车和轮胎行业的空白,并为公司节约了大量的资金。对于轮胎设计者掌握轮胎内特性与外特性关系的结构设计和新产品开发具有特别重要的意义。

1 轮胎胎面与胎体参数测试试验系统简介

图1为轮胎在试验台上的受力简图。

在径向力作用下,可以测量和研究汽车从动轮轮胎的变形和力学特性;在径向力和侧向力作用下,可以测量和研究汽车转向时轮胎的变形和力学特性;在径向力和切向力作用下,可以测量和研究汽车驱动轮轮胎的变形和力学特性。

主要测试仪器为:激光测试系统、力测试系统



图1 轮胎在试验台上的受力简图和位移测试系统。

模拟路面平板:带缝隙钢板,测量轮胎胎面花纹的变形和摩擦因数等;玻璃钢板,测量轮胎的接地印迹和湿滑性等。

该试验台的具体功能主要有:推动轮胎力学特性模型的建立;满足轮胎力学和车辆动力学研究(包括多自由度仿真计算)对轮胎特性参数数据的需要;用于建立国产轮胎和部分进口轮胎的轮胎力学特性数据库,提供于工程实际分析、设计与生产;利用该系统研究轮胎内特性与外特性的关系,以开拓轮胎力学试验新领域,推动我国轮胎力学试验研究的发展与创新;为轮胎有限元计算及轮胎振动与噪声计算提供检验标准和理论依据;为车辆平顺性、通过性、动力性等研究提供试验数据;为我国轮胎设计、轮胎选用、轮胎结构改进和新产品开发等提供有力的试验数据;对轮胎进行综合特性测量与评价,提供轮胎全面技术参数与性能参数。

2 轮胎动力学模型参数的测试

图2所示为在汽车动力学仿真中使用的轮胎动力学模型^[3]。

图2所示力学模型采用了一种把轮胎分为胎体、胎冠和接触面(滑转变形)三部分的面接触轮胎模型,其中附着力是滑转率的函数,能够较真实反映轮胎的振动特性。该轮胎动力学模型中的参数可以用本工作介绍的轮胎测试系统测得。 J_a 为动力传动系旋转部件与轮胎轮毂转动惯量之和; J_b 为轮胎的当量转动惯量; $k_{b\theta}$ 为轮胎的扭转刚度; $c_{b\theta}$ 为轮胎的扭转阻尼因数; k_b 为轮胎胎体的径向刚度; c_b 为轮胎胎体的径向阻尼因数; k_{cz} 为轮胎胎面的径向刚度; c_{cz} 为轮胎胎面的径向阻

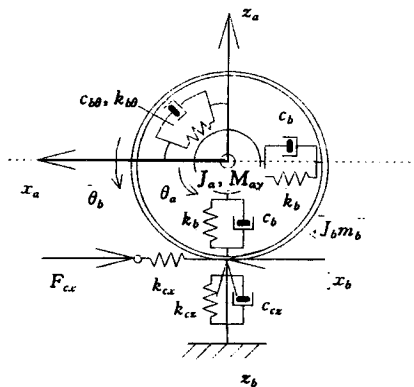


图2 轮胎动力学模型

尼因数; k_{cx} 为轮胎胎面的切向刚度; M_{ay} 为作用在轮毂上的力矩; r_e 为轮胎的动力半径; x_a (z_a), x_b (z_b) 分别为轮毂和轮环的纵向(垂直)位移; θ_a , $\dot{\theta}_a$ 和 $\ddot{\theta}_a$ 分别为轮毂的角位移、角速度和角加速度; θ_b , $\dot{\theta}_b$ 和 $\ddot{\theta}_b$ 分别为轮环的角位移、角速度和角加速度; m_b 为轮胎的质量。 $F_{cx}(u)$ 为地面对轮胎的切向作用力(是相对接地印迹 u 的函数), 可以表示为:

$$F_{cx}(u) = \mu_x F_z g(S_x) e^{-\eta S_x} \quad (1)$$

式中 F_z ——作用于轮轴上的垂直载荷;
 μ_x ——路面与轮胎的静摩擦因数;
 $g(S_x)$ ——轮胎接地面切向力因数函数;
 η ——动摩擦因数的指数项常数;
 S_x ——驱动轮轮胎的滑转率。

汽车在硬路面上行驶时:

$$\eta = V_R / V_e$$

式中 V_R ——轮胎线速度;

V_e ——取值为 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

当 $S_x \leq S_c$ (附着特性曲线拐点对应的滑转率值) 时,

$$g(S_x) = 3(\theta_x S_x) - 3(\theta_x S_x)^2 + (\theta_x S_x)^3 \quad (2)$$

式中 θ_x ——轮胎纵向滑动比例因数。

当 $S_x > S_c$ 时,

$$g(S_x) = 1 \quad (3)$$

利用图1所示的轮胎参数测试试验台,对轮胎逐渐加载到额定载荷,然后加切向负荷至轮胎胎面开始滑动为止,记录加载过程中垂直载荷、切向负荷和切向位移,绘制出切向负荷与垂直载荷

的关系曲线,即可求得路面与轮胎间的静摩擦因数。

3 受力轮胎胎面花纹变形参数的测试

图3所示为轮胎在径向力和侧向力作用下胎面花纹变形曲线。

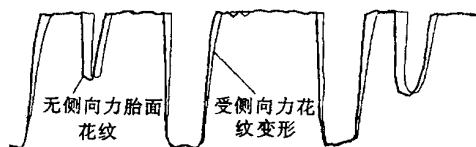


图3 轮胎胎面花纹变形曲线

图3所示曲线是用激光束透过刚板上的缝隙而测得的轮胎胎面花纹块的变形,而且可以精确地测出花纹沟槽深度的变化。图中粗实线为轮胎在径向力作用下胎面花纹的变形曲线,细实线为轮胎在径向力和侧向力共同作用下胎面花纹的变形曲线。同理,可以测得轮胎在径向力和切向力共同作用下胎面花纹的变形曲线。因此,可以研究轮胎所载荷、侧向力和驱动力与轮胎胎面花纹变形量之间的关系。

4 受力轮胎胎体变形、下沉量和滚动半径参数的测试

当轮胎在硬而平的表面上滚动时,其滚动阻力的发生主要是由于在轮胎变形时材料的内摩擦损失和迟滞损失以及胎面在接触区域的摩擦损失而引起的,而其中滞后损失是最主要的,约占轮胎滚动阻力的90%~95%。引起滚动阻力的主要原因是轮胎变形。然而一个轮胎在滚动时所经受的周期变形有各种非常复杂的形式,并且很难加以识别和描绘。但对滚动阻力而言,起支配作用的轮胎变形形式是弯曲变形。图4为轮胎加载前后胎侧形状变化的例子。

由图4可以看出,除接地部位外,胎侧也有很大程度的弯曲,弯曲是轮胎最主要的变形形式。不过在胎肩和胎侧部是胎体复合物(橡胶和帘线)发生弯曲,而在与地面接触部分是胎体、带束层和胎面的弯曲。由于带束层的刚度很大,胎面也多硬度较高的橡胶,一般弯曲变形不大,故主要应考虑胎体内部变形。

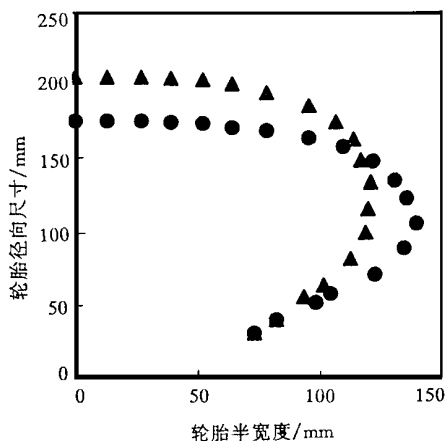


图4 轮胎胎体变形曲线

▲—变形前；●—变形后

同时,还可以测量和确定轮胎的下沉量、滚动半径和运动半径,并且该测试结果可以为轮胎有限元计算提供检验标准和理论依据。

5 轮胎径向、切向和侧向刚度的测试

当给轮胎逐渐加垂直载荷时,通过对垂直载荷和轮胎变形量的测量,可以绘制出轮胎垂直载荷与变形量的关系曲线,如图5所示,可以求出轮胎的垂直刚度。该参数直接影响轮胎的平顺性,是汽车平顺性和噪声仿真中必不可少的基本参数。

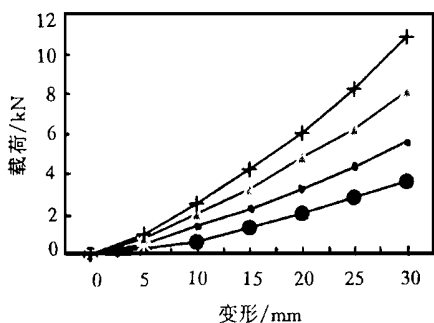


图5 轮胎径向刚度测试试验曲线

+ —400 kPa; ▲—320 kPa; +—240 kPa; ●—160 kPa

垂直载荷加到轮胎上以后,再按图6所示给轮胎加侧向力 F ,记录轮胎的侧向力 F 和变形量 x ,绘制出轮胎侧向力与变形量的关系曲线,可以求出轮胎的侧向刚度。同时还可以求出轮胎胎体侧向变形量 x_1 和胎面花纹侧向变形量 x_2 ,进一步求出胎体和胎面的侧向刚度。该参数直接影响

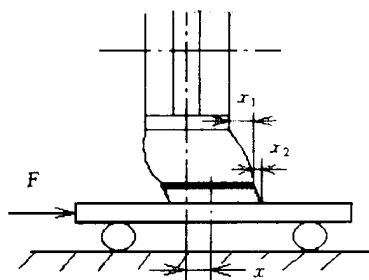


图6 轮胎侧向刚度测试原理图

轮胎的转向、侧偏、侧滑和直线行驶性,是汽车操纵稳定性和摆振仿真中必不可少的参数。

同理,当轮胎同时受垂直载荷和切向力作用时,记录轮胎的切向力 F 和变形量 x ,绘制出轮胎切向力与变形量的关系曲线,可以求出轮胎的切向刚度或扭转刚度。同时还可以求出轮胎胎体切向变形量和胎面花纹的切向变形量,从而进一步求出胎体和胎面的切向刚度。该参数直接影响轮胎的牵引性、制动性和扭转振动,是研究汽车牵引性、制动性(ABS)和扭转振动必不可少的参数。

6 轮胎接地印迹及牵引性研究

该试验装置用激光或摄影透过玻璃刚板可以准确地测出不同轮胎载荷、侧偏角和外倾角下的接地印迹。图7所示为轮胎侧偏角和外倾角为零时的接地印迹。



图7 轮胎的接地印迹

通过对轮胎加驱动力,可以测得轮胎胎面花纹块的切向变形、摩擦因数和接地印迹,研究不同类型轮胎与路面的摩擦、滑转或滑移状态,以研究轮胎的牵引性。轮胎的牵引性分为:在干路面上的牵引附着性和湿牵引性。

就轮胎而言,影响湿牵引性的主要因素为胎面花纹和胎面胶料。胎面花纹对湿牵引性的影响是显而易见的。因为花纹中的沟既能给移动的水

提供空间,又能给排出的水提供通道。而胎面胶直接与道路表面建立起牵引关系,故在粗糙的道路表面,由于胎面胶的差别,对牵引特性的影响也是很大的。由于轮胎内气压决定了胎面与道路表面间的单位压力,因此它是影响轮胎湿牵引性的重要因素。由于流体动力学效应速度提高时牵引力降低,而且轮胎的水滑现象是一个与速度、气压、花纹、水深以及路面等因素相互关联的现象,因此,能够测出轮胎胎面花纹在轮胎驱动力作用下的变形以及与路面的接触状态,研究轮胎胎面花纹与牵引附着性的关系,对高牵引性能轮胎的设计具有特别重要的意义。

7 结论

本工作首次研究开发了一种在径向、切向和侧向力作用下对轮胎胎面花纹块和胎体变形量等参数进行测量的试验系统。该装置可以在轮胎不同受力、侧偏角、外倾角和路面条件下进行如下参数的测量:轮胎胎面花纹和胎体变形、轮胎的接地印迹、轮胎下沉量及滚动半径、轮胎与路面的摩擦因数、轮胎径向刚度、侧向刚度和切向及扭转刚度等。轮胎的刚度、阻尼和摩擦因数是轮胎模型的基本参数,该系统可以为汽车的动态仿真提供更接近实际的轮胎模型及数据;实际测得的轮胎变形量和下沉量可以验证轮胎有限元计算结果的精度和误差;轮胎花纹块和沟槽的变形量为轮胎的胎面振动和噪声仿真计算与分析提供了理论依据。重要的是可以用该装置对轮胎内特性与外特

性关系进行研究,找出轮胎结构参数与轮胎各种性能的关系,通过仿真计算可以得到不同结构参数的轮胎安装在不同型号汽车上后汽车的平顺性、操纵稳定性、牵引性和噪声等性能的好坏,也可以根据某型号汽车经过仿真优化计算得到最佳的配套轮胎的结构参数,在应用到轮胎新产品的设计开发中,可以大大缩短新产品开发的周期。该测试系统是各轮胎公司和汽车行业研究人员进行轮胎参数测试和研究的基本工具。该系统在轮胎的设计与理论研究中得到了广泛使用,并取得了良好的效果。

致谢:在该试验系统的建立、调试和试验中,隆有明副所长在技术和工作中给予了极大的指导、帮助和支持,徐进书记、韩兆丙所长、姚明副所长也在各方面给予了大力支持,装备室的丁琪余和谢青工程师以及其它有关部门的同志在系统设计中给予了全力支持,在此表示深深地感谢。感谢上海市华谊集团轮胎公司博士后基金的资助。

参考文献:

- [1] 黄祖永. 地面车辆原理[M]. 北京:机械工业出版社, 1985. 15-31.
- [2] Bekker M G. 地面-车辆系统导论[M]. 佚名译. 北京:机械工业出版社, 1978. 117-130.
- [3] 葛剑敏. 车辆自激振动机理与试验研究[D]. 吉林:吉林工业大学, 1998.
- [4] 郭孔辉,刘青. 考虑胎体复杂变形的轮胎非稳态侧偏特性理论模型[J]. 汽车工程, 1997, 19(2): 65-70.

第11届全国轮胎技术研讨会论文

Study on distortion measuring system for tire tread block and carcass under stresses

GE Jian-min^{1,2}, WANG Zu-min¹, SUN Shi-ming²

[1. Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd., Shanghai 200072, China]

Abstract: A system for measuring various parameters, such as distortion of tire tread block and carcass under radial, tangential and lateral stresses has been developed. The system can be used to measure the following parameters under different conditions: distortion of tread block and carcass, footprint, deflection and rolling radius of tire, friction factor between tire and road, and radial stiffness, lateral stiffness, tangential stiffness and torsion stiffness of tire. The system can provide more realistic tire model and parameters for dynamic simulation of automobile, and check the precision and error in tire calculation with FEM; and

provide theoretic basis for calculation and analysis in tire vibration and noise simulation. It is important that the system can be used to study the relationship between the structure parameters and the performance of tire to reduce the development period of new product.

Keywords :tire ;tread block ;carcass ;distortion ;stiffness factor

川橡集团“高素质工程”八方纳贤创活力

中图分类号:F27 文献标识码:D

企业之间的竞争归根结底是人才的竞争。近 10 年来,川橡集团大力实施“员工高素质工程”,把建设一支高素质的技术、营销、管理和操作人才队伍作为企业人力资源管理的目标。

1 双向选择,引才纳贤

川橡集团自 1990 年起抓机遇、破常规,每年从全国各类大中专院校引进毕业生百人左右。如今他们大多数成长为川橡的技术骨干、管理专家和营销能手,使川橡在 20 世纪 90 年代的产品开发、市场开拓等方面与其它企业相比具有明显优势。现在川橡与国内几十所高校建立了合作关系,并在教育部高校学生司和全国高校毕业生就业指导中心共同出版的《全国重点用人单位介绍》中发布人才需求信息,积极参加毕业生供需见面会。另外还主动出击,拓宽渠道,到社会上去寻找各类所需人才,不断充实优化自身的人才队伍。

2 不拘一格,科学使用,人尽其才

世界上没有尽善尽美的事物,也没有尽善尽美的人才。对于用人,川橡集团有不成文的规定,从来不问:“他不能做什么?”而总是问“他能做什么?他能贡献什么?”知人所工,扬长避短,让各类人才各显其能,各尽其才,优势互补,从而形成群体合力。把合适的人才在合适的时间内用到合适的岗位上,实现人才的合理组合和优化配置。

3 深化内部人事制度改革,建立人才竞争机制

川橡集团在企业内部人才选拔中不唯资历、学历和身份,且组织严密,条件公开,程序民主,机制灵活,有选聘制、试聘制、任命制、推荐制、自荐制和末位淘汰制,干部能上能下,能官能民,能工能干,能进能出,为每一位青年知识分子提供了公

开、公正和公平的竞争环境,促使优秀人才脱颖而出。

4 加强培养,创造机会,给予人才发展空间

在生产车间和技术性较强的部门,川橡集团推行了员工制、技师制、质量责任师制;在科室推行了科员制。把人才的个人需求、特点与企业的岗位需要、工作目标有机地结合起来,系统、全面并坚持不懈地加以培养,放手锻炼,使人才素质不断提高。另外,不失时机地提拔一批有能力、会管理、善经营、富有改革意识与创新精神的优秀青年知识分子充实到领导岗位上,籍此发展人才和激励人才。

5 尊重知识、尊重人才,营造爱护人才的环境

川橡集团各级领导干部都有培养和选拔人才的责任,都必须科学制定和严格执行绩效考评方案,做到“任人唯贤,唯才是举”,不仅对青年知识分子在工作上要大胆使用和培养,而且在生活的各个方面关心爱护他们,通过建大中专毕业生公寓、买房选楼时青年知识分子享受学历加分、送生日餐券等多种关心方式,给他们送去温暖,从思想上和感情上真正做到以人为本,充分尊重他们的感情、人格,把员工作为企业生命的组成部分,与企业血脉相连,精气相通,使青年知识分子有一种企业归属感,增强了人才的凝聚力。

正是因为有了这样优裕的环境,才吸引了各类人才在这里聚集。川橡集团自 1990 年开始全面实施“员工高素质工程”,把人才作为企业的第一资本来开发和经营以来,做到“引得进、用得上、留得住、成才快”,取得了良好的经济效益和社会效益。到目前为止,公司拥有大中专及以上学历的各类专业技术人员 906 人,超过了员工总数的 36 %。

(四川川橡集团有限公司 赵青贵供稿)