

配套轿车轮胎的性能测试

魏胜,路波,张丽杰,朱士斌,贾爱瑞,刘晓芳

(山东玲珑轮胎股份有限公司,山东 招远 265400)

摘要:介绍配套轿车轮胎开发过程中,从轮胎单体性能到轮胎整车性能所需的测试项目、设备及方法等。耐久性能包括常规耐久性能、老化耐久性能、结构耐久性能和整车加速耐久性能,安全性能包括强度性能、脱圈阻力、实车脱圈阻力、保持性能、制动性能、横向抓着性能、高速稳定性和耐鼓包性能,动力性能包括刚度特性、六分力、操纵稳定性以及噪声、振动和声振粗糙度,经济性包括滚动阻力性能和耐磨性能等。指出建立完备的测试系统是配套轮胎开发的基础。

关键词:轿车轮胎;配套;耐久性能;安全性能;动力性能;经济性;性能测试

中图分类号:U463.341⁺.4/.6

文章编号:1006-8171(2021)03-0148-09

文献标志码:A

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2021.03.0148

随着我国汽车行业的发展,轮胎企业在汽车配套业务方面发展迅速。轮胎作为车辆与路面接触的唯一部件,其性能对于整车性能极其重要,甚至在一些车辆动力学方面,其他子系统需围绕轮胎进行大量的设计和优化。因此,对轮胎有很多方面的性能要求,而轮胎性能测试的重要性也由此凸显。

本文围绕着主机厂对轮胎性能的要求,从轮胎的耐久性能、安全性能、动力学性能、经济性、环保性和装配性等方面介绍从轮胎性能到整车性能的测试系统。

1 耐久性能

轮胎的耐久性能在国内外都有相应的法规规定,如我国国家标准、美国DOT标准、欧盟ECE标

准和日本JASO标准等,均采用在室内转鼓实验机上进行加速耐久测试方式,即常见的耐久性和高速性能试验。耐久性能是轮胎最基本的安全性保障之一,随着主机厂市场的细分和发展,配套轮胎需要进行一些更为苛刻的耐久性能测试,如老化耐久性能、结构耐久性能和整车加速耐久性能等。

1.1 常规耐久性能

常规耐久性能试验在轮胎耐久高速实验机上进行,按照测试程序规定的速度、充气压力和负荷条件下运行相应的时间后,观测轮胎的状况,并通过计算机输出测试结果。

1.2 老化耐久性能

汽车使用环境的广泛性决定了轮胎使用环境的广泛性,即需应对极端高温环境且具有长寿命应用性能,因此需要进行老化耐久性能测试。它通过在轮胎内部充入高氧气含量的气体以及外部高温的环境对轮胎进行老化后,再进行常规耐久性能测试,达到模拟轮胎在高温使用环境下使用状况的目的。轮胎高温老化试验箱如图1所示。

1.3 结构耐久性能

车辆除了有良好的铺装路面上行驶外,还需要应对各种崎岖不平的路面,轮胎是与地面接触时的第1个受力部件。结构耐久性能测试是专为该工况开发的,即轮胎在高温、高氧气条件下老化一段时间后,在镶嵌有障碍物的转鼓表面进行测试(见图2),考察轮胎结构在冲击情况下的耐久

基金项目:山东省2018年重点研发计划项目(2018CXGC1105)



作者简介:魏胜(1972—),男,安徽蒙城人,山东玲珑轮胎股份有限公司轮胎研究总院副院长,学士,主要从事轮胎配套开发、轮胎性能测试及研究、新型轮胎开发等工作,成功开发出石墨补强胎面轮胎、3D打印超低生热与高抗切割聚氨酯轮胎、赛车轮胎、补气保用轮胎、低气味轮胎、翻新橡胶轮胎等。参与国家大飞机子午线轮胎先进复合材料及结构的设计与制造基础研究。参加的项目曾获国家技术发明二等奖和国家科技进步二等奖。主持参与制定或修订19项国家和行业标准,主持承担3项国家级创新课题,累计授权专利139项,发表论文146篇。

E-mail:sheng_wei@linglong.cn



图1 轮胎高温老化试验箱



图2 结构耐久性实验机

性能。

1.4 整车加速耐久性能

在室内进行高负荷或高速条件下的耐久性测试,由于累计行驶里程与实际轮胎行驶里程差异很大,因此通过72 000 km的整车加速耐久性测试来评价轮胎在实际道路上长里程耐久性。道路比例为高速路占58%~60%,快速路占36%~38%,砂石路占3%~4%。整车加速耐久性测试路线和路面如图3所示。

2 安全性能

整车的安全性能是最为重要的性能,而轮胎作为车辆的安全部件之一,其重要性更为突出。轮胎的安全性涉及轮胎的强度性能、脱圈阻力、保持性能、制动性能、横向抓着力、高速稳定性和耐鼓包等性能。

2.1 强度性能

路面洒落物、路面凹凸是破坏轮胎胎面的主要因素,而轮胎充气后一旦被破坏极易出现车辆失控现象。因此胎面的强度性能需要满足国家标准和DOT等标准法规要求。

2.2 脱圈阻力

车辆在行驶过程中出现轮胎脱圈时,由于轮



(a) 路线



(b) 路面

图3 整车加速耐久性测试路线和路面

胎瞬间失压,会导致车辆姿态急剧变化,如果控制不当,极易因车辆失控而导致交通事故发生。静态脱圈阻力成为评价这一性能的手段。

2.3 实车脱圈阻力

除了室内的静态脱圈阻力测试要求外,主机厂为确保车辆实际应用中无脱圈现象,采用实车脱圈阻力评价,即在实际路面上,从车辆直线行驶到弯道极限状态下轮胎是否脱圈,且采用非常低的充气压力来确保该项性能测试无风险。实车脱圈阻力测试道路如图4所示。

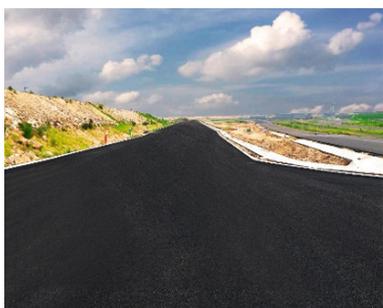
2.4 保持性能

在车辆行驶时,当轮胎发生异常情况,轮胎气压瞬间降至零,若此时轮胎从胎圈上脱落会导致轮辋着地,车辆因瞬间失去抓地力而极易失控。



图4 实车脱圈阻力测试道路

为防止此类问题出现,应进行轮胎保持性能试验。该项测试以轮胎高速行驶瞬间失压后,中度减速时胎圈是否脱落、是否着地作为评价指标。轮胎保持性能测试场地及爆破器如图5所示。



(a) 测试场地



(b) 爆破器

图5 轮胎保持性能测试场地和爆破器

2.5 制动性能

汽车的制动性能是驾乘人员的安全保障。车辆的制动力最后通过轮胎传递到路面,因此轮胎的制动性能是影响车辆制动性能的重要因素。车辆需要在不同的路面上行驶,包括干地、湿地、冰地和雪地。因此需要根据车辆和轮胎的使用场景全面地进行评估。

2.5.1 干地制动性能

干燥路面是车辆的主要使用场景,在该路面上需要确保车辆的制动性能。干地路面的制动常采用 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 带防抱死制动系统(ABS)车辆建压时间内制动距离进行评估。干地制动性能测试道路如图6所示。

2.5.2 湿地制动性能

在下雨时,路面会出现潮湿甚至积水的情况,此时车辆制动性能会大大降低,从而成为发生事故的重要原因。国内外通过湿滑指数来评估轮胎的湿地制动性能。通过 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 带ABS车辆建



图6 干地制动性能测试道路

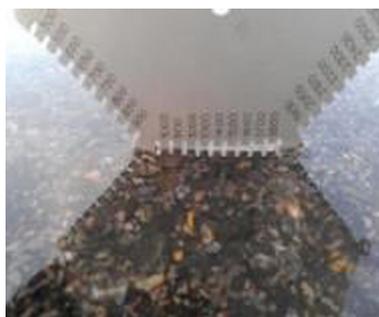
压时间内制动距离或者测试轮胎的湿地摩擦因数(μ)-滑移率(s)峰值来评估。图7示出了湿地制动性能测试道路和车辆。

2.5.3 雪地制动性能

当车辆在积雪路面行驶时,其雪地制动性能



(a) 道路



(b) 路面



(c) 车辆

图7 湿地制动性能测试道路和车辆

尤为重要。雪地制动性能可以通过雪地抓着力指数,即 $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 带ABS车辆建压时间内制动距离来进行评估,主机厂也有的采用 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 带ABS车辆建压时间内制动距离,更适合客户的实际使用情况,如图8所示。



(a) 车辆



(b) 标识

图8 雪地制动性能测试

2.5.4 冰地制动性能

当汽车遇到极寒路面结冰工况时,轮胎的冰面抓着力是行车安全的保障。对于冰面抓着力,多采用 $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 带ABS车辆建压时间内制动距离作为评价指标。冰地制动性能测试如图9所示。

2.6 横向抓着力性能

汽车行驶时主要是完成直线行驶和转弯。直线行驶的安全性由制动性能保证,转弯时的安全性需要由车辆横向抓着力来保障,因此需要评估轮胎在不同路面条件下的横向抓着力,一般采用定半径绕圆测试。

2.6.1 干地横向抓着力性能

我国国家标准规定,绕圆测试采用直径为60 m的圆,但随着测试设施的发展和车辆行驶速度的提高,常采用更大直径的圆,如直径为100,200,240 m等的圆来进行测试评估,如图10所示。



图9 冰地制动性能测试



图10 干地绕圆测试场地

2.6.2 湿地、雪地、冰地横向抓着力性能

在潮湿甚至积水路面、积雪路面和结冰路面,轮胎的横向抓着力对于行车安全尤为重要,通常也采用绕圆测试方法,如图11所示。

2.7 高速稳定性

随着汽车工业的发展,汽车最高行驶速度越来越高。汽车高速下的稳定性涉及到行车的安全性。对于轮胎而言,其稳定性对行车安全有重要贡献,轮胎高速稳定性评价方法与整车的评价方法一致,即在平直路面上进行高速双移线测试,评价其稳定性,如图12所示。

2.8 耐鼓包性能

随着车辆使用轮胎胎圈直径的增大,在轮胎外直径不变的情况下,轮胎的扁平率越来越小,胎面撞击鼓包的风险增大。轮胎耐鼓包性能评估采用室内摆锤撞击^[1]和实车撞击的方法,分别如图13和14所示。

3 动力学性能

汽车的操纵稳定性是车辆性能重要的组成部分。轮胎的动力学特性直接影响整车的动力学特性。对于轮胎的动力学特性要求,从轮胎单体的动力学特性到轮胎整车的动力学特性都需要评估。轮胎动力学特性包括刚度、六分力和操纵稳定性。



图11 湿地、雪地、冰地绕圆测试场地



图12 高速稳定性测试场地



图13 室内摆锤撞击测试

3.1 刚度

轮胎是充气的弹性元件,在整车动力学中表现为刚度特性^[2],需要测试径向刚度、横向刚度、纵向刚度和扭转刚度,轮胎静态刚度实验机如图15所示。

3.2 六分力

轮胎在滚动过程中受到3个方向的力和围绕3个方向的扭矩,即六分力,同时还有4个姿态变量,即侧偏角、外倾角、滑移率和速度。六分力是轮胎运动过程中的重要参数,经过汽车行业和轮胎行业多年的研究和开发,提出六分力的关键参数影响整车的性能,包括轮胎的残余回正力矩、侧偏刚度、 H 函数、 G 函数、横向摩擦因数、纵向摩擦因数和松弛长度。六分力测试设备如图16所示。



(a) 道路



(b) 障碍物

图14 室外撞击测试



图15 轮胎静态刚度实验机

3.2.1 残余回正力矩/残余侧向力

轮胎残余回正力矩或残余侧向力是车辆防跑偏设计的重要参数,主要用于抵消路面排水而设计的排水坡度。

3.2.2 六分力参数

轮胎六分力参数与整车的操控性相关,主要通过侧偏测试、侧倾测试和纵向滑移测试获得各力学参数。

3.2.3 $\mu-s$ 特性

在车辆的制动性能中,轮胎在实际路面的 $\mu-s$



图16 六分力测试设备

特性中的 μ 峰值是其重要参数。通过改变轮胎的 s ,同步测试轮胎的横向力和负荷得到纵向 μ ,获得 $\mu-s$ 曲线,测试道路如图17所示。

图17 $\mu-s$ 曲线测试道路

3.3 操纵稳定性

轮胎的操纵稳定性与车辆的操纵稳定性测试流程一致,主要包括直线性能、转向性能(中心区响应、线性区和非线性区)、非极限操纵性能和极限操纵性能。由于操纵稳定性的多维度及复杂性,一般采取主观评价为主、客观数据为辅的评价方式。

3.4 噪声、振动和声振粗糙度(NVH)性能

整车的NVH性能是最容易被感知的性能之一,也是开发投入很大的性能。轮胎的NVH性能与整车的NVH性能关联性很强,尤其随着电动汽车的兴起,轮胎的NVH性能在整车NVH性能中的占比变得越来越大。NVH性能包括通过噪声性能、客观整车NVH性能、主观整车NVH性能和室内NVH性能。

3.4.1 通过噪声

轮胎的通过噪声是城市噪声治理的重点之一,各地区政府对于轮胎噪声^[3]都设有限制要求,

中国和欧盟等也制定了轮胎噪声标签等级。通过多速度测试得到轮胎在 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的噪声辐射,从而测得通过噪声,如图18所示。



(a) 测试方式



(b) 测试道路

图18 通过噪声测试

3.4.2 客观整车NVH性能

当车辆与轮胎匹配时,通过整车级别,在不同的路面上通过麦克风来收集车内的噪声,评判客观整车NVH性能。常用的路面包括光滑沥青路面、粗糙沥青路面、刻槽水泥路面、比利时铺装路面^[4],如图19所示。

3.4.3 主观整车NVH性能

主观整车NVH性能包括平顺性、舒适性和噪声3个方面,通过人体的不同感知位置、不同的频率范围和不同的路面进行区分。该性能很难通过客观数据完全建立相关性,整车和轮胎的NVH性能大部分还依赖于主观的评价手段,主要的评价路面如图20所示。

3.4.4 室内NVH性能

由于轮胎的整车NVH性能依赖于测试车辆和环境,为缩短开发周期,提高测试的重复性。有些主机厂还要求提供相应的轮胎级别室内NVH性能,来表征整车NVH性能,如轮胎的室内噪声、高速均匀性、模态和力传递、冲击噪声和结构噪声等。

3.4.4.1 室内噪声

在半消声室内,通过转鼓带动轮胎转动,在一

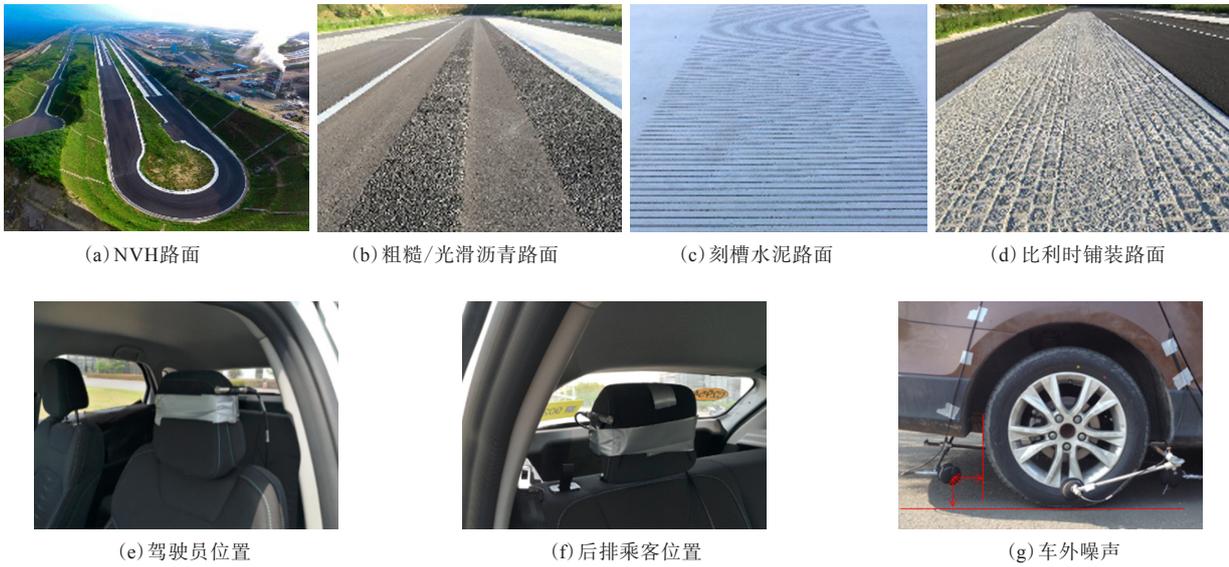


图19 客观整车NVH性能测试

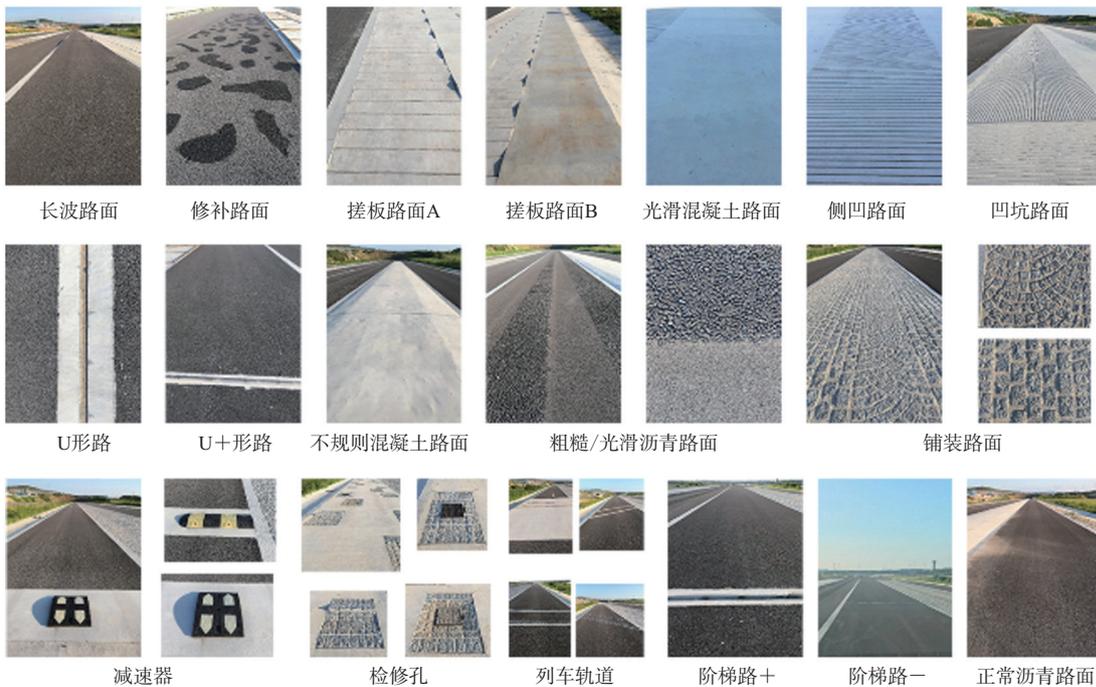


图20 主观整车NVH性能评价路面

定负荷和充气压力下运行,获取轮胎发出的声音并进行分析。轮胎室内噪声测试如图21所示。

3.4.4.2 高速均匀性

由于轮胎在加工过程中产生的不圆度导致其在滚动过程中会产生径向力和前后力的波动,即轮胎的均匀性问题。高速均匀性是指轮胎均匀性随行驶速度的变化情况,其测试如图22所示。

3.4.4.3 模态和力传递

在整车的低频噪声上,在300 Hz频率以内存在大量的模态,在轮胎的滚动过程中,轮胎的模态和力传递起到一定的作用。轮胎的模态和力传递测试如图23所示。

3.4.4.4 结构噪声

轿车的路面噪声一直是车辆NVH领域的难点



图21 轮胎室内噪声测试



图22 高速均匀性测试



图23 轮胎模态和力传递测试

问题,而轮胎作为传递路径上的重要零部件,起着重要的作用。由此为评估轮胎本身的路面噪声性能而开发的结构噪声测试技术得到应用,如图24所示。



图24 轮胎路面噪声测试

3.4.4.5 冲击噪声

车辆冲击性能也是其NVH性能的重点评估内容,轮胎与车辆的匹配是非常重要的。降低冲击力和冲击余振,使冲击变得圆润是冲击噪声优化的方向,因此需要对轮胎的冲击噪声进行评估,如图25所示。



图25 轮胎冲击噪声测试

4 经济性

轮胎在汽车零部件中属于消耗品,这包括轮胎自身对燃油的消耗,即滚动阻力,也包括轮胎本身的消耗,即轮胎磨耗。因此,减小轮胎的滚动阻力、提高轮胎的耐磨性能,可以降低车辆本身的使用成本。

4.1 滚动阻力

在轮胎滚动过程中,轮胎内部材料的内摩擦会转化成热能耗散掉,并且随着负荷、气压和速度的变化而变化。因此采用滚动阻力系数评估轮胎的滚动阻力性能,常用的评估标准为ISO 28580和SAE 2452,滚动阻力系数越小,滚动阻力性能越好,燃油经济性越好。轮胎滚动阻力测试如图26所示。

4.2 耐磨性能

轮胎的耐磨性能因汽车工况、驾驶人员、道路



图26 轮胎滚动阻力测试

情况、交通情况和环境的不同而不同。目前没有加速的磨损测试流程,因此耐磨性能一般是通过实车在规范化的路况下进行测试。轮胎耐磨性能测试如图27所示。



图27 轮胎耐磨性能测试

5 环保性

轮胎属于高分子材料,其原材料可能含有毒、有害物质,在加工过程中可能散发、排放挥发性有机物和气味^[5]。因此,主机厂还会对轮胎的禁用物质、高度关注物、碳氢排放和气味进行评估。

6 装配特性

轮胎需要与轮辋装配后,再装配到整车上。因此需要对轮胎的可装配性进行评估,即通过胎圈张力评估轮胎的装配特性。

7 其他特性

轮胎除以上介绍的主要性能外,还有诸如轮胎的滚动半径、转动惯量、气密性能、耐臭氧老化性能和电阻性能等,都有相应的评估方法。

8 结语

轮胎配套是一个系统的工程,要求其所有的性能都能满足配套汽车的要求,因此需要建立完备的性能评测体系,对轮胎性能和整车性能进行评价,以提高轮胎企业为汽车厂提供配套轮胎的能力。

参考文献:

- [1] 戴小虎. 浅谈汽车轮胎的磨损及故障分析[J]. 汽车实用技术, 2019(14): 65.
- [2] 蔡永周, 曾繁林, 欧阳俊, 等. 基于LS-DYNA的爆胎历程轮胎刚度特性仿真研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(6): 461-465.
- [3] 刘程, 田程, 张新峰, 等. C1类轮胎滚动噪声测试研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(5): 382-387.
- [4] 聂秋海, 路波, 于超, 等. 中亚轮胎试验场的设计、建设和运营[J]. 轮胎工业, 2019, 39(9): 515-524.
- [5] 高杨, 张进, 李锋伟, 等. 防老剂挥发性及其轮胎胶料气味的研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(10): 744-749.

收稿日期: 2020-12-01

Performance Test of OE Passenger Car Tire

WEI Sheng, LU Bo, ZHANG Lijie, ZHU Shibin, JIA Airui, LIU Xiaofang

(Shandong Linglong Tire Co., Ltd, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: The test items, equipment and methods required for the development of the OE passenger car tires, from the performance of the single tire to the whole vehicle were introduced. The durability included conventional durability, aging durability, structural durability and vehicle acceleration durability. The safety performance included strength performance, bead unseating resistance, real vehicle bead unseating resistance, holding performance, braking performance, lateral grip performance, high-speed stability and bulge resistance. The dynamics performance included stiffness characteristics, force and moment, handling stability, noise, vibration and harshness. The economic performance included rolling resistance and wear resistance. It was pointed out the establishment of a complete test system was the basis for the development of OE tires.

Key words: passenger car tire; OE; durability; safety performance; dynamics performance; economic performance; performance test