

轮胎侧向松弛长度测试方法的研究

何菁,王兆龙,张凯凯,王龙庆,李慧敏,刘诗毅

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

摘要:针对不同规格的轿车子午线轮胎,研究不同测试条件下侧向刚度法和侧偏角阶跃法的侧向松弛长度测试结果。结果表明:侧向刚度法和侧偏角阶跃法得到的侧向松弛长度存在一定差异;小规格205/55R16轮胎在不同充气压力和负荷下的侧向松弛长度基本都小于较大规格225/50ZR17轮胎;两种测试方法得到的侧向松弛长度随充气压力和负荷的变化趋势具有一致性,但不同规格轮胎侧向松弛长度随测试条件的变化趋势有所差异。

关键词:轿车子午线轮胎;侧向松弛长度;侧向刚度法;侧偏角阶跃法;测试

中图分类号:TQ336.1

文章编号:2095-5448(2023)07-0353-05

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.07.0353



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是车辆与地面接触的唯一部件,其重要性不言而喻。轮胎与路面之间的相互作用力是车辆完成直线行驶、转向和驱制动的根本原因,轮胎的力学特性对整车的操纵稳定性、乘坐舒适性以及噪声振动等特性都有重要影响^[1-2],因此研究轮胎力学特性成为整车企业、轮胎企业和各研究机构重要的课题之一。

轮胎是一个复杂的、具有粘弹特性、几何形状多变的复合材料结构,轮胎结构的微小变化都可能引起轮胎力学特性意想不到的变化,因此研究轮胎特性成为一项巨大的挑战。轮胎特性包含很多内容,在已有的轮胎力学特性模型研究中,以轮胎的动态特性和稳态特性研究居多,例如轮胎的转向侧偏特性和静态刚性等,而对轮胎瞬态特性的研究较少。随着研究人员对轮胎性能测试和研究的深入,轮胎瞬态特性得到广泛关注。作为轮胎瞬态特性的重要参数之一,与侧偏角有关的松弛长度——侧向松弛长度也开始成为研究人员分析和研究的对象。

作者简介:何菁(1996—),女,湖南衡阳人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司助理工程师,学士,主要从事车辆动力学和轮胎动力学研究以及轮胎六分力测试工作。

E-mail:289948508@qq.com

1 侧向松弛长度简介

1.1 定义

侧向松弛长度是评价轮胎瞬态特性的重要参数之一,它是指在非稳态特性研究中,在受到侧偏角、负荷、转矩和其他使用变量阶跃输入的影响下,为了达到相同使用变量作用下稳态六分力数值的63.2%,轮胎必须滚动的距离^[3],也可以理解为在受到相应指令时,轮胎由一种稳态达到另一种稳态滚动的距离。

1.2 测试方法

侧向松弛长度测试方法主要有侧向刚度法、侧偏角阶跃法和正弦扫频法3种,不同测试方法得到的数值会存在差异,且可能在不同轮胎规格、不同测试条件下,表现出不同的变化。

国内一些研究者对侧向松弛长度的测试方法及数值变化进行了相应的研究。郭孔辉等^[4]在稳态指数模型和一阶线性微分方程的基础上,研究了大侧偏角下动态过程中侧偏松弛长度的特性,结果表明在大侧偏角下侧偏松弛长度不是一个常数,而是随着侧向有效滑移率而改变,呈现非线性特性。邱昌峰等^[5]研究了侧向刚度法、侧偏角阶跃法、正弦扫频法下侧向松弛长度测试结果的差异。卢荡等^[6]研究了一种测量侧向松弛长度的新

方法,并对其他3种测量方法的优势和弊端进行了分析,侧向刚度法采用的是动态侧偏刚度与静态胎体侧向刚度的比值,由于缺乏测量胎体侧向刚度的专用设备,通常采用整条轮胎的侧向刚度来代替胎体部位的侧向刚度,从而导致计算结果不够准确,误差较大;侧偏角阶跃法有2种,一种是用固定的速度行驶,再施加阶跃式侧偏角,受到试验设备能力的限制,侧偏角的变化难以达到要求,进而导致试验误差;另一种是在试验过程中,需要不断变化速度,会对轮胎的侧偏特性产生影响,从而使侧向松弛长度的测量不准确;第3种方法是正弦扫频法,这种方法是将轮胎的行驶速度与侧向力滞后时间的乘积作为侧向松弛长度,没有考虑侧偏的作用,影响了测量的准确性。

1.3 研究意义

侧向松弛长度越大,轮胎的滞后时间越长,车辆的转向灵敏度越差,因此侧向松弛长度可表征轮胎对转向指令响应的快慢;同时研究侧向松弛长度可以提高轮胎模型辨识的精度,进而提高Admas整车仿真模型的精度,使轮胎客观数据与车辆客观数据更加匹配,整车仿真结果更趋向于车主观评价。

汽车企业在为车辆进行配套时也对轮胎侧向松弛长度有限值要求。不同的侧向松弛长度适用于不同的功能性车辆,偏向操控性能的运动型车辆需要具有较高的转向灵敏度,要求轮胎侧向松弛长度较小;而偏向舒适性的车型要求对于驾驶者的转向指令响应较柔和,轮胎侧向松弛长度则可适当增大。

本工作主要以两种规格的子午线轮胎为研究对象,针对不同充气压力和负荷条件,用侧向刚度法和侧偏角阶跃法计算侧向松弛长度,研究不同测试条件对侧向松弛长度测试结果的影响,并对比两种测试方法的结果。

2 实验

2.1 试验设备

MTS Flat Trac CT Plus型轮胎六分力试验机,美国美特斯公司产品;TMT-2 PCR型轮胎综合试验机,汕头浩大轮胎测试设备有限公司产品。

2.2 测试方法

2.2.1 侧向刚度法

在小侧偏角下,侧向松弛长度等于轮胎侧偏刚度与轮胎侧向刚度的比值,侧向松弛长度的大小依赖于轮胎的侧向弹性。轮胎侧偏刚度由轮胎六分力试验机侧偏试验得到,即侧向力曲线在侧偏角为 0° 处的斜率;轮胎侧向刚度由刚性综合试验机静态侧向刚性试验得到,即轮胎侧向力与侧向位移的比值。计算公式如下:

$$K_y = \frac{dF_y}{d\alpha}$$

$$K_{cy} = \frac{F_{y2} - F_{y1}}{d_2 - d_1}$$

$$R_{ly} = \frac{K_y}{K_{cy}} \times 0.001$$

式中 K_y ——侧偏刚度, $N \cdot (^\circ)^{-1}$;

F_y ——侧向力, N ;

α ——侧偏角, $(^\circ)$;

K_{cy} ——侧向刚度, $N \cdot mm^{-1}$;

F_{y1}, F_{y2} ——侧向力1和侧向力2, N ;

d_1, d_2 ——侧向位移1和侧向位移2, mm ;

R_{ly} ——侧向松弛长度, mm 。

侧向刚度法需使用两种不同的设备进行测试,试验周期较长,且不同设备之间的精度误差无法叠加;从试验类型来看,一个是动态试验,一个是静态试验,试验特性不一样,产生的误差也无法估量。但此方法操作比较简便,计算过程清晰,得到的数值适用于不同结构方案轮胎之间的对比。

2.2.2 侧偏角阶跃法

侧偏角阶跃法是利用轮胎六分力试验机,输入试验速度、侧偏角和垂向负荷等参数,设置试验程序,先给轮胎施加一个固定的较小的侧偏角,然后进行加载,再施加速度驱动路面,使轮胎滚动、转向,在稳定状态保持几秒,停止试验,记录试验数据,经过数据处理及软件辨识,得到侧向力达到稳态值的63.2%时轮胎滚动的距离,即侧向松弛长度。

侧偏角阶跃法只使用一种设备进行测试,试验周期短,设备精度产生的误差也是可控的,但数据处理过程较为繁琐,需经过以Matlab软件为基础的模型辨识,才能得到侧向松弛长度,数据处理过程易出错,从而导致模型辨识软件报错,需重新进行处理再辨识。

2.3 试验方案

使用205/55R16和225/50ZR17两种规格轮胎,对其进行5种负荷率(40%,60%,80%,100%和120%)和两种充气压力(200和250 kPa)的静态侧向刚度试验、稳态侧偏刚度试验和侧偏角阶跃法的侧向松弛长度试验。

3 结果与讨论

3.1 205/55R16轮胎

205/55R16子午线轮胎在不同充气压力和负荷下的侧偏刚度和侧向刚度测试结果见表1,采用侧向刚度法和侧偏角阶跃法的侧向松弛长度计算结果见表2。

由表2可以得出如下结论。

(1)侧向刚度法与侧偏角阶跃法得到的侧向松弛长度存在差异,最大相对误差为12.6%,在200 kPa充气压力下,误差基本上随负荷的增大而增大;相同负荷下,在250 kPa充气压力下,误差相对较小(负荷率为40%除外)。

(2)不同充气压力、不同测试方法得到的侧向松弛长度随负荷变化趋势一致,均是随负荷的增大而增大,这主要是因为负荷越大,在瞬态激励下轮胎响应的速度越大;但是侧偏角阶跃法下的侧向松弛长度随负荷的增大变化更加迅速。

(3)不同测试方法得到的侧向松弛长度随充气压力的变化趋势一致,均是充气压力越大,侧向松弛长度越小,原因在于充气压力越大,轮胎越接近刚性体,轮胎响应越快;但是侧偏角阶跃法下的侧向松弛长度随充气压力的增大变化较大。

3.2 225/50ZR17轮胎

为研究不同测试方法下不同规格轮胎侧向松弛长度随充气压力和负荷的变化是否具有 consistency,还选取了225/50ZR17子午线轮胎进行相同的试验并进行对比,测试及计算结果分别见表3和4。

由表4可以得出如下结论。

(1)对比两种测试方法下的侧向松弛长度数值,除40%负荷率外,225/50ZR17轮胎在较大和较小充气压力下误差相差不大。这是由于负荷较小时,轮胎侧向变形不稳定,因此静态侧向刚度不稳定。

(2)相同充气压力、不同测试方法得到的侧向松弛长度随负荷变化趋势基本一致,但在不同充气压力下,侧向松弛长度随负荷的变化表现出不一样趋势,在200 kPa充气压力下,侧向松弛长度随负荷增大先增大后减小;在250 kPa充气压力下,侧向松弛长度基本随负荷的增大而增大。

(3)不同测试方法得到的侧向松弛长度随充气压力变化趋势一致,均是充气压力越大,侧向松弛长度越小(负荷率为20%时除外),但侧偏角阶跃

表1 不同测试条件下205/55R16轮胎的侧偏刚度和侧向刚度测试结果

项 目	负荷率/%				
	40	60	80	100	120
200 kPa充气压力					
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	41 766.14	60 143.62	71 292.68	74 337.66	73 685.56
侧向刚度/(N·mm ⁻¹)	77.2	91.9	97.5	99.0	95.2
250 kPa充气压力					
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	41 285.73	61 047.31	75 375.72	83 059.11	85 300.50
侧向刚度/(N·mm ⁻¹)	77.9	109.6	104.4	111.1	110.9

表2 205/55R16轮胎两种测试方法的侧向松弛长度计算结果

项 目	负荷率/%				
	40	60	80	100	120
200 kPa充气压力					
侧向刚度法/mm	0.541 0	0.654 4	0.731 2	0.750 9	0.774 0
侧偏角阶跃法/mm	0.511 5	0.691 7	0.807 7	0.826 9	0.871 8
相对误差/%	-5.5	5.7	10.5	10.1	12.6
250 kPa充气压力					
侧向刚度法/mm	0.530 0	0.557 0	0.722 0	0.747 6	0.769 2
侧偏角阶跃法/mm	0.481 6	0.555 3	0.680 4	0.752 8	0.818 4
相对误差/%	-9.1	-0.3	-5.8	0.7	6.4

表3 不同测试条件下225/50ZR17轮胎的侧偏刚度和侧向刚度测试结果

项 目	负荷率/%				
	40	60	80	100	120
200 kPa充气压力					
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	57 342.29	79 180.72	91 600.83	94 252.57	90 077.43
侧向刚度/(N·mm ⁻¹)	82.1	108.2	110.4	112.4	115.2
250 kPa充气压力					
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	52 455.20	75 156.55	91 783.70	101 288.30	104 363.20
侧向刚度/(N·mm ⁻¹)	80.1	123.5	127.6	126.9	128.9

表4 225/50ZR17轮胎两种测试方法的侧向松弛长度计算结果

项 目	负荷率/%				
	40	60	80	100	120
200 kPa充气压力					
侧向刚度法/mm	0.698 4	0.731 8	0.829 7	0.838 5	0.781 9
侧偏角阶跃法/mm	0.545 7	0.747 2	0.892 2	0.923 2	0.855 2
相对误差/%	-21.9	2.1	7.5	10.1	9.4
250 kPa充气压力					
侧向刚度法/mm	0.654 9	0.608 6	0.719 3	0.798 2	0.809 6
侧偏角阶跃法/mm	0.437 9	0.617 0	0.768 5	0.877 1	0.889 9
相对误差/%	-33.1	1.4	6.8	9.9	9.9

法的侧向松弛长度明显大于侧向刚度法的侧向松弛长度(负荷率为40%时除外)。

3.3 不同规格轮胎对比

不同充气压力、不同规格、不同测试方法侧向松弛长度随负荷的变化曲线如图1和2所示。

由图1和2可以看出:205/55R16轮胎在不同条件下的侧向松弛长度测试结果基本都小于较大规格225/50ZR17轮胎,这是因为小规格轮胎的额定负荷较小,承载能力小,对车辆操控的响应快。

4 结论

利用205/55R16和225/50ZR17子午线轮胎作

为研究对象,在不同充气压力和负荷条件下,分别用侧向刚度法和侧偏角阶跃法测试轮胎侧向松弛长度,得到以下结论。

(1) 205/55R16轮胎侧向刚度法和侧偏角阶跃法得到的侧向松弛长度存在差异,最大相对误差为12.6%;在较低充气压力下,误差基本上随负荷的增大而增大;相同负荷下,在较高充气压力下误差相对较小;不同测试方法得到的侧向松弛长度基本随负荷的增大而增大、随充气压力的增大而减小。

(2) 225/50ZR17轮胎两种测试方法得到的侧向松弛长度误差在较大和较小充气压力下相差不

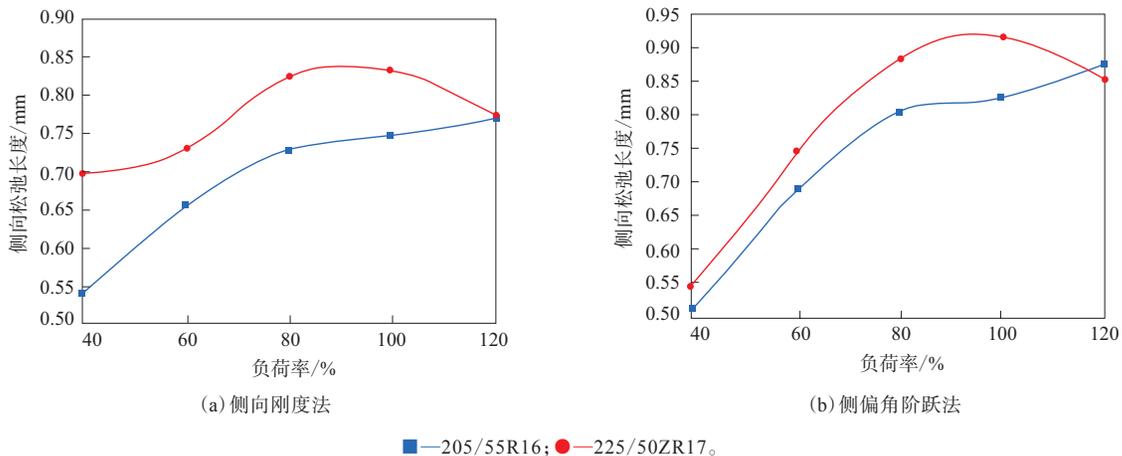
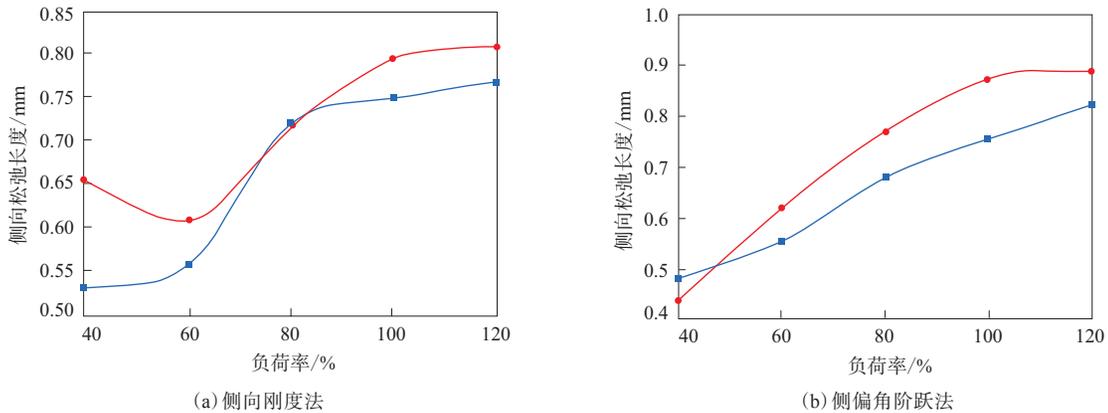


图1 200 kPa充气压力下不同规格、不同测试方法侧向松弛长度随负荷的变化曲线



注同图1。

图2 250 kPa充气压力下不同规格、不同测试方法侧向松弛长度随负荷的变化曲线

大(40%负荷率时除外);相同充气压力、不同测试方法得到的侧向松弛长度随负荷变化趋势基本一致,但在不同充气压力下,侧向松弛长度随负荷的变化表现出不一样的趋势,在200 kPa充气压力下,侧向松弛长度随负荷增大先增大后减小;在250 kPa充气压力下,侧向松弛长度基本随负荷的增大而增大;不同测试方法得到的侧向松弛长度基本随充气压力的增大而减小。

(3) 205/55R16轮胎在不同测试条件下的侧向松弛长度基本都小于较大规格225/50ZR17轮胎。

本研究只是分析了不同测试条件(充气压力和负荷)、不同测试方法对轮胎侧向松弛长度的影响,研究范围比较小;在后续的研究中可以在固定测试方法的情况下,考虑轮胎结构,例如冠带层缠绕方式、胎体角度、带束层种类、带束层角度等对

侧向松弛长度的影响,以使研究结果对轮胎企业更具指导意义。

参考文献:

- [1] 韩聪聪,于海勇,何臣,等.航空轮胎胎坯均匀性侧向力建模分析[J].橡胶工业,2021,68(9):676-681.
- [2] 赵洪玲,李红卫,王钰,等.低噪声轿车轮胎的研发[J].橡胶科技,2021,19(10):485-492.
- [3] GENT A N, WALTER J D. 轮胎理论与技术[M].危银涛,李勇,冯希金,等译.北京:清华大学出版社,2013:225.
- [4] 郭孔辉,侯永平,胡于进,等.大侧偏角下侧偏松弛长度特性的研究[J].汽车工程,2001,23(2):78-81.
- [5] 邱峰峰,周磊,刘俊杰,等.轮胎侧偏松弛长度试验方法研究[J].轮胎工业,2019,39(10):633-636.
- [6] 卢荡,孙丽红,李兵.测量轮胎侧向松弛长度的方法[P].中国:CN 112414728A,2021-02-26.

收稿日期:2023-03-09

Study on Test Method of Lateral Relaxation Length of Tire

HE Jing, WANG Zhaolong, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, LI Huimin, LIU Shiya

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

Abstract: The lateral relaxation lengths of the radial tires with different specifications were tested by using the lateral stiffness method and the lateral slip angle step method under different test conditions, and the test results were analyzed and compared. The results showed that the lateral relaxation length obtained by the lateral stiffness method and the lateral slip angle step method was different to a certain extent. The lateral relaxation length of the small size 205/55R16 tire was basically smaller than that of the large size 225/50ZR17 tire under various inflation pressure and load. However, the changing trend of the lateral relaxation length with the variation of the inflation pressure and load obtained by the two test methods was consistent. On the other hand, the changing trend of the lateral relaxation length with the variation of test conditions for the tires with different specifications was different.

Key words: passenger car radial tire; lateral relaxation length; lateral stiffness method; lateral slip angle step method; test