

非结构因素对半钢子午线轮胎模态特性的影响

冷德新, 罗旭, 王方程, 孟祥龙

[浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 威海 264300]

摘要: 研究非结构因素对半钢子午线轮胎模态特性的影响。结果表明: 轮胎各阶固有频率与温度呈负相关, 空腔模态频率与温度呈正相关; 装配轮辋与轮胎一阶固有频率相关, 对高阶弹性体模态影响不大; 中心约束后轮胎一阶固有频率明显降低, 对高阶弹性体模态影响不大; 测点位置及数量对轮胎各阶固有频率影响不大, 要获得准确的高阶模态振型, 应选择合适的测点数量; 充气压力与轮胎各阶固有频率呈正相关, 且越高阶模态受充气压力影响越大。

关键词: 半钢子午线轮胎; 模态特性; 温度; 装配轮辋; 边界条件; 测点位置; 测点数量; 充气压力

中图分类号: U463.341⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2022)06-0328-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2022.06.0328



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为汽车与路面接触的唯一部件, 其振动特性直接影响整车的行驶平顺性和乘坐舒适性。随着汽车工业的发展及人们生活水平的提高, 消费者对汽车及轮胎振动噪声要求越来越高, 减震降噪也愈发受到轮胎厂和整车厂的重视。

轮胎模态特性与振动特性直接相关, 因此也受到了国内外企业、高校和科研院所研究人员的广泛关注。田颖等^[1]研究了7种结构设计因素对轮胎固有频率和阻尼的影响, 并判定各因素对模态频率和阻尼的影响显著程度。李慧敏等^[2-3]研究了轮胎固有频率的测算方法和影响因素。国外在此领域开展的研究较早, B. G. KAO^[4]和M. MASAMI等^[5]从轮胎刚度及参数化模型方面对轮胎振动模态特性进行了研究。

轮胎振动特性研究一般在静态和滚动两种工况下展开, 影响因素包括胎面结构、带束层角度等结构设计因素, 也包括充气压力、边界条件等非结构因素。轮胎振动模态按方向可分为径向振动模态、横向振动模态和周向振动模态, 径向振动模态与车辆乘坐舒适性直接相关, 也是轮胎厂和主机厂最关注的。

本工作研究静态工况下非结构因素对轮胎径向振动模态特性的影响。

作者简介: 冷德新(1989—), 男, 黑龙江绥化人, 浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎仿真及NVH性能研究。

E-mail: lengdxsimon@163.com

1 实验

自由状态下轮胎模态测试见图1, 用弹性绳将充气轮胎竖直悬挂, 得到近似自由-自由的边界条件。加速度传感器布置在胎面合适位置, 根据轮胎尺寸及模态阶数将轮胎均分, 并在胎面做好标记。本工作采用移动力锤法对轮胎进行模态测试, 利用Test. Lab软件的PolyMax模块进行模态分析, 得到轮胎径向振动模态各阶固有频率及振型。



图1 自由状态下轮胎模态测试

以205/50R16半钢子午线轮胎为研究对象, 选取温度、装配轮辋、边界条件、测点位置、测点数量和充气压力6种非结构因素, 研究其对轮胎径向振动模态特性的影响。

2 结果与讨论

2.1 温度

实验室环境下进行轮胎模态测试, 一般控制

测试环境为室温,室温定义通常包括(20±5), (23±2)和(25±5)℃三种,通过试验发现温度的变化对轮胎各阶固有频率存在影响。不同温度下轮胎径向固有频率对比见表1。

表1 不同温度下轮胎径向固有频率对比

阶次	温度/℃		
	14	18	21
一阶	93.56	91.59	91.09
二阶	103.74	101.95	101.44
三阶	131.93	129.29	129.18
四阶	157.68	154.83	154.66
五阶	183.98	180.68	180.55
六阶	211.87	208.68	208.62
七阶	243.47	239.54	239.43
八阶	277.64	273.25	272.95

注:其余测试条件为装配轮辋 商用轮辋,边界条件 自由悬挂,测点位置 中间加强筋,测点数量 24,充气压力 210 kPa。

由表1可见,温度降低3℃时各阶固有频率变化很小,但当温度降低7℃时,轮胎固有频率明显增大,且越高阶频率增大越多。因此,轮胎模态试验环境温度波动应尽量控制在较小范围内,一般在(23±2)℃温度下比较合适。车辆在某些地区或极端天气条件下出现振动噪声问题时,可以考虑是否为轮胎或其他部件因温度变化引起固有频率发生偏移,从而导致耦合共振。

温度变化对轮胎空腔模态频率也有影响,温度分别为14,18和21℃时,轮胎空腔模态频率分别为229.94,231.08和232.34 Hz。可见温度升高,空腔模态频率随之增大,温度每升高3~4℃,频率增大1 Hz。轮胎空腔模态频率与声速成正比,与波长成反比,而声速与腔体内部温度成正比,波长近似等于轮胎内腔中心周长,受温度变化影响很小,因此轮胎空腔模态频率与温度呈正相关,试验结果与之相符。

2.2 装配轮辋

通常所说的轮胎试验模态是对轮胎-轮辋组合体进行测试得到的结果,因此装配轮辋对组合体的振动模态特性也有影响。汽车上的装配轮辋一般为商用铝合金轮辋,而实验室通常采用的是钢质试验轮辋。这两种轮辋的模量相近,质量却相差很大。不同装配轮辋的轮胎径向固有频率对比见表2。

由表2可以看出,不同装配轮辋主要影响轮胎

表2 不同装配轮辋的轮胎径向固有频率对比

阶次	装配轮辋	
	试验轮辋	商用轮辋
一阶	89.03	91.80
二阶	101.35	101.81
三阶	129.37	129.79
四阶	154.47	155.05
五阶	180.51	180.88
六阶	208.27	208.69
七阶	239.20	239.34
八阶	272.36	273.07

注:其余测试条件为温度 21℃,边界条件 自由悬挂,测点位置 中间加强筋,测点数量 24,充气压力 210 kPa。

一阶刚体模态频率,对高阶弹性体模态频率的影响较小。

2.3 边界条件

边界条件影响结构的刚度和质量分布,从而影响轮胎固有频率。将轮胎分别用弹性绳悬挂和安装在试验台架上,模拟轮胎自由悬挂及中心固定的边界条件。不同边界条件轮胎径向固有频率对比见表3。

表3 不同边界条件的轮胎径向固有频率对比

阶次	边界条件	
	自由悬挂	中心固定
一阶	89.03	82.11
二阶	101.35	103.63
三阶	129.37	131.42
四阶	154.47	157.00
五阶	180.51	183.14
六阶	208.27	211.07
七阶	239.20	242.77
八阶	272.36	276.67

注:其余测试条件为温度 21℃,装配轮辋 试验轮辋,测点位置 中间加强筋,测点数量 24,充气压力 210 kPa。

由表3可见,轮辋中心固定后对刚体模态频率影响较大,与自由悬挂轮胎相比,中心固定轮胎一阶固有频率明显降低,其他高阶弹性体模态频率略有增大。

2.4 测点位置

常见的半钢子午线轮胎有3或4条纵沟,本工作选取4条纵沟的半钢子午线轮胎,在胎面不同位置布点测试,如图2所示。不同测点位置轮胎径向固有频率对比见表4,不同测点位置频响函数曲线如图3所示。

由表4可见,整体来说不同测点位置固有频率差异不大,均在1 Hz以内。

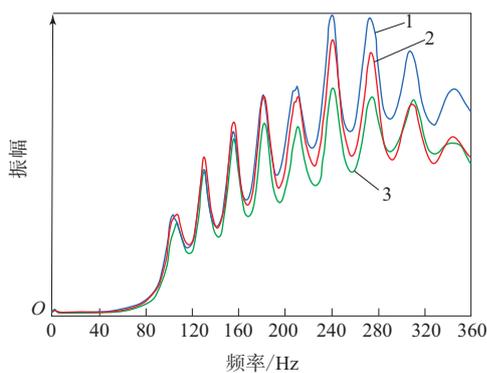


图2 测点位置示意

表4 不同测点位置的轮胎径向固有频率对比 Hz

阶次	测点位置		
	中间加强筋	两侧加强筋	胎肩
一阶	91.59	92.16	91.99
二阶	101.95	101.83	101.89
三阶	129.29	129.75	129.61
四阶	154.83	155.27	155.25
五阶	180.68	181.28	181.27
六阶	208.68	209.23	209.39
七阶	239.54	240.19	240.30
八阶	273.25	273.89	273.97

注:其余测试条件为温度 21℃,装配轮辋 商用轮辋,边界条件 自由悬挂,测点数量 24,充气压力 210 kPa。



1—中间加强筋;2—两侧加强筋;3—胎肩。

图3 不同测点位置的轮胎频响函数曲线

由图3可见,不同测点位置的轮胎模态频率差异虽然不大,但频响函数曲线幅值有差异。响应加速度传感器固定在中间加强筋上,敲击中间加强筋位置,能量传递较好,共振峰值较高,尤其是高阶模态。敲击胎肩处模态振型略差,且共振峰值普遍较低,能量传递过程中损失较多。

2.5 测点数量

不同测点数量的模态测试几何模型见图4,不同测点数量的轮胎径向固有频率对比见表5。

由表5可见,测点数量对轮胎模态频率没有太

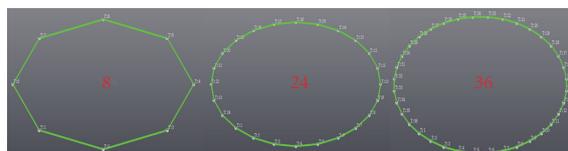


图4 不同测点数量模态测试几何模型

表5 不同测点数量轮胎径向固有频率对比 Hz

阶次	测点数量		
	8	24	36
一阶	92.06	91.59	92.14
二阶	102.23	101.95	102.28
三阶	129.56	129.29	129.88
四阶	154.92	154.83	155.37
五阶	180.88	180.68	181.25
六阶	208.78	208.68	209.15
七阶	239.77	239.54	240.09
八阶	273.63	273.25	273.94

注:其余测试条件为温度 21℃,装配轮辋 商用轮辋,边界条件 自由悬挂,测点位置 中间加强筋,充气压力 210 kPa。

大影响,频率差异均在1 Hz以内,但是对模态振型影响较大。只有8个测点时,由于测点数量较少,三阶模态振型不明显,五阶模态振型与三阶模态振型混叠而无法准确分辨,如图5所示。因此在模态测试时,如需分析前3阶模态,则至少要做8个测点。36个测点相对24个测点振型略圆滑,但工作量明显增大,工作效率降低,如果重点关注前8阶模态,只需24个测点即可。

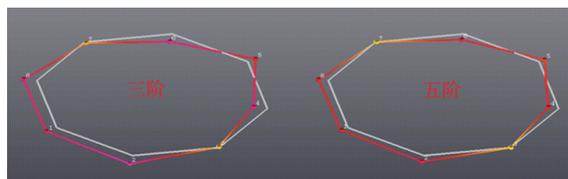


图5 测点数量不足造成的模态振型混叠

2.6 充气压力

轮胎径向固有频率随充气压力的变化如图6所示。轮胎充气压力增大,径向刚度增大,径向各阶固有频率也会增大,测试结果很好地印证了这一点。由图6可见,轮胎空腔模态频率随着充气压力的增大而增大,充气压力增大50 kPa,径向各阶固有频率增大5%~14%,高阶弹性体模态受充气压力影响更大。

3 结论

研究了温度、装配轮辋、边界条件、测点位置、

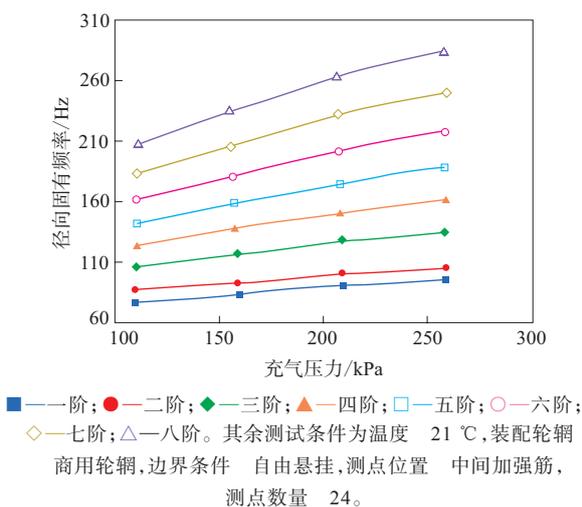


图6 轮胎径向固有频率随充气压力的变化
测点数量以及充气压力非结构因素对轮胎固有频率的影响,得到以下结论:

(1) 轮胎各阶固有频率与温度呈负相关,空腔模态频率与温度呈正相关;

(2) 装配轮辋与轮胎一阶固有频率相关,对高阶弹性体模态影响不大;

(3) 中心约束后轮胎一阶固有频率明显降低,对高阶弹性体模态影响不大;

(4) 测点位置及数量对轮胎各阶固有频率影

响不大,但要获得准确的高阶模态振型,应选择合适的测点数量;

(5) 充气压力与轮胎各阶固有频率呈正相关,且越高阶模态受充气压力影响越大。

本研究尚有很多有待完善之处,如非结构因素还包含加载条件、不同激励方式等,另外,温度变化范围相对较小,充气压力变化范围也相对较小,轮胎生命周期不同阶段固有频率的变化等都有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 田颖,朱振华,王建中,等. 轮胎结构与模态特性的相关性研究[J]. 轮胎工业,2021,41(2):71-75.
- [2] 李慧敏,刘宝涛,张凯凯,等. 基于高速均匀性数据分析的轮胎固有频率测算方法[J]. 橡胶科技,2021,19(1):15-19.
- [3] 陶森望,宋健,徐丹丹,等. 基于自定义特征的子午线轮胎结构参数化系统的设计[J]. 橡胶工业,2021,68(7):483-490.
- [4] KAO B G. Tire vibration modes and tire stiffness[J]. Tire Science and Technology,2002,30(3):136-155.
- [5] MASAMI M, SHOZO K. Parameter identification of a three-dimensional flexible ring-based model of a tire using experimental modal analysis[J]. International Journal of Automotive Engineering, 2019,10(2):133-138.

收稿日期:2022-01-16

Effect of Non-structural Factors on Modal Characteristics of Steel-belted Radial Tire

LENG Dexin, LUO Xu, WANG Fangcheng, MENG Xianglong

[Prinx Chengshan (Shandong) Tire Co., Ltd, Weihai 264300, China]

Abstract: The effect of non-structural factors on the modal characteristics of steel-belted radial tire was studied. The results showed that, the natural frequency of each order of the tire was negatively correlated with the temperature, and the cavity modal frequency was positively correlated with the temperature. The first-order natural frequency of the tire was related to the structure of the assembly rim; however, the assembly rim had little effect on the high-order elastic mode. After the center was fixed, the first-order natural frequency of the tire was obviously reduced, but the high-order elastic mode was not affected. The position and number of measuring points had little effect on each order natural frequency of the tire. In order to obtain an accurate high order modal mode shape, an appropriate number of measuring points should be selected. The inflation pressure was positively correlated with each order natural frequencies of the tire, and the higher the modal order was, the greater the influence of the inflation pressure was.

Key words: steel-belted radial tire; modal characteristics; temperature; assembly rim; boundary condition; position of measuring point; number of measuring point; inflation pressure