

产品·设计

UPTIS和TWEEL非充气轮胎的高速振动特性有限元分析对比

梁政^{1,2}, 韩雪¹, 卢咏来¹, 王克俭^{2*}, 李凡珠^{1*}

(1. 北京化工大学 有机无机复合材料国家重点实验室, 北京 100029; 2. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 建立非充气轮胎高速振动的仿真分析方法, 对非充气轮胎在一定负荷和转速下的高速滚动进行模拟, 提取关键部件辐条和地面反作用力振动时域信号, 通过结合汉明窗的快速傅里叶变换技术将振动时域信号转换成频域信号。基于建立的高速振动仿真分析方法对两种典型的非充气轮胎UPTIS和TWEEL轮胎的高速振动特性进行对比分析。结果表明, 相比TWEEL轮胎, UPTIS轮胎在高速滚动过程中地面反作用力振动频域的特征振动频率少且振幅小, 即相同承载能力下UPTIS轮胎的高速减振性优于TWEEL轮胎。本工作建立的高速振动仿真分析方法为非充气轮胎的结构优化提供支撑。

关键词: 非充气轮胎; UPTIS轮胎; TWEEL轮胎; 高速振动; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2023)03-0212-08

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023.03.0212



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是汽车与地面接触的唯一部件, 其作用包括支撑车体的全部质量、传递牵引和制动力、保证车轮与路面的附着力以及减轻和吸收汽车在行驶时的振动和冲击力^[1-2]。传统的充气轮胎容易因刺扎而爆胎或漏气, 这给汽车的行驶安全带来了很大的隐患^[3]。为克服这些缺陷, 非充气轮胎应运而生。非充气轮胎使用辐条式支撑结构替代充气轮胎的气压式支撑结构, 其弹性辐条通过变形和回弹吸收地面颠簸带来的振动能量, 因此非充气轮胎具有防扎和防爆等特点。但非充气轮胎同样存在一定的缺陷, 即辐条式支撑结构导致了轮胎非均匀的质量分布, 造成轮胎周向非均匀的刚度, 从而在轮胎滚动过程中会引起局部的振动效应。振动对于轮胎的结构破坏以及驾驶稳定性和乘坐舒适性都有不利的影响。

前人研究表明, 非充气轮胎辐条的结构

对于非充气轮胎的振动特性有很大的影响。A. PRODDATUR^[4]使用Taguchi鲁棒参数设计方法和正交阵列对低速TWEEL非充气轮胎辐条的主要结构参数进行了研究, 发现辐条的长度和曲率是影响轮胎振动的主要因素。M. RAMACHANDRAN^[5]研究了TWEEL轮胎辐条的厚度、曲率、宽度和两侧扇形深度对辐条振幅和主频的影响。R. WILLIAM等^[6]使用正交表研究了TWEEL轮胎辐条的长度、曲率、厚度和剪切梁厚度4个结构参数对轮胎振动的影响。以上研究均是米其林公司与克莱姆森大学合作开发TWEEL轮胎时的项目。这些项目采用一套相同的分析方法, 即先建立TWEEL轮胎的动态有限元分析模型, 然后获取辐条的关键测点位移、地面反作用力以及轮环厚度变化时振动时域信号和经快速傅里叶变化后振动频域信号。通过将频域信号的振幅峰

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52003024)

作者简介: 梁政(1995—), 男, 山西昔阳县人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事非充气轮胎的高速振动仿真分析。

*通信联系人(wangkj@mail.buct.edu.cn; lifz@mail.buct.edu.cn)

引用本文: 梁政, 韩雪, 卢咏来, 等. UPTIS和TWEEL非充气轮胎的高速振动特性有限元分析对比[J]. 橡胶工业, 2023, 70(3): 212-219.

Citation: LIANG Zheng, HAN Xue, LU Yonglai, et al. Comparative analysis of high-speed vibration characteristics of UPTIS and TWEEL non-pneumatic tires using finite element method[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(3): 212-219.

值大小以及振幅峰值数量与辐条的结构参数相结合,得到辐条的结构参数对非充气轮胎的振动影响规律,从而实现对TWEEL轮胎辐条的结构优化设计。除研究振动特性外,该团队还利用同样的模型研究了轮胎的结构尺寸对轮胎的刚度、接地压力、滚动阻力等的影响^[7-11]。TWEEL轮胎是米其林公司研发的一款相对成熟的非充气轮胎且得到了工程应用^[12]。2019年米其林公司又推出了一款为乘用车设计的UPTIS非充气轮胎,其设计时速可以达到 $210 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。UPTIS与TWEEL轮胎的区别主要在于弹性辐条支撑体结构不同,这间接说明改变辐条结构可以较大程度地改变非充气轮胎的高速振动特性。

本工作参考了米其林公司与克莱姆森大学的研究思路,首先建立非充气轮胎高速振动的仿真分析方法,重点对TWEEL和UPTIS两种非充气轮胎在相同外缘尺寸和轮毂尺寸以及相同刚度条件下的高速振动特性进行对比。

1 仿真模型的建立

1.1 几何模型的建立

非充气轮胎的结构组成包括刚性轮毂、弹性辐条、内覆盖层、增强层、外覆盖层和胎面,增强层之间的部分称为剪切层。除辐条尺寸外的非充气轮胎建模尺寸见表1,这些数据以及TWEEL轮胎的辐条尺寸来源于克莱姆森大学的文献[6],UPTIS轮胎辐条的尺寸根据公开报道的图片等比例缩放设定。两种非充气轮胎的刚度几乎一致(UPTIS轮胎的刚度为TWEEL轮胎的92%)。两种非充气轮胎辐条的主要结构参数见表2。轮胎的刚度代表轮胎的承载能力,承载能力相同的两种轮胎的振

表1 除辐条尺寸外的非充气轮胎建模尺寸

部 件	半径	厚度
轮毂	200.0	5.00
内覆盖层	277.0	2.50
内增强层	279.5	0.64
剪切层	280.1	8.72
外增强层	288.9	0.64
外覆盖层	289.5	7.00
胎面	296.5	2.95

表2 两种非充气轮胎辐条的主要结构参数

Tab. 2 Main structural parameters of spokes of two non-pneumatic tires

结构参数	数值	结构参数	数值
TWEEL轮胎辐条		UPTIS轮胎辐条	
对数	25	数量	64
厚度/mm	4.2	厚度/mm	4.0
曲率半径/mm	8	曲率半径/mm	20
Derad-Outer参数	0.15	张角/(°)	90
Derad-Inner参数	0.60	前轮廓角1/(°)	60
		前轮廓角2/(°)	135
		后轮廓角/(°)	1.97

动响应应具有可比性。

图1示出了两种非充气轮胎的实物,图2示出了所建立的非充气轮胎的几何模型,图3示出了两种非充气轮胎辐条的关键结构参数的意义。TWEEL轮胎辐条的结构参数的具体意义在文献[6]和[11]中有详细描述,在此不再赘述。两种非充气轮胎辐条的长度均为72 mm。图3(b)中显示了UPTIS轮胎辐条的张角和前后轮廓角位置。辐条的曲率半径是指其左边轮廓线中间位置圆滑过渡



(a) TWEEL轮胎^[13]



(b) UPTIS轮胎^[14]

图1 两种非充气轮胎的实物

Fig. 1 Real objects of two non-pneumatic tires

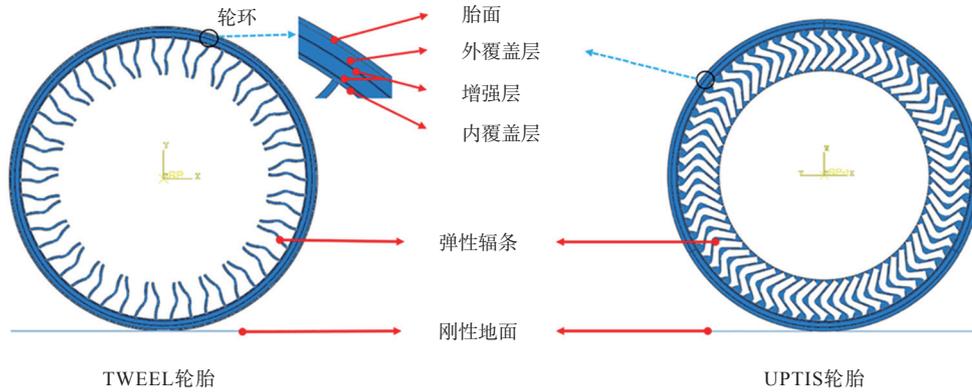


图2 两种非充气轮胎的几何模型

Fig. 2 Geometric models of two non-pneumatic tires

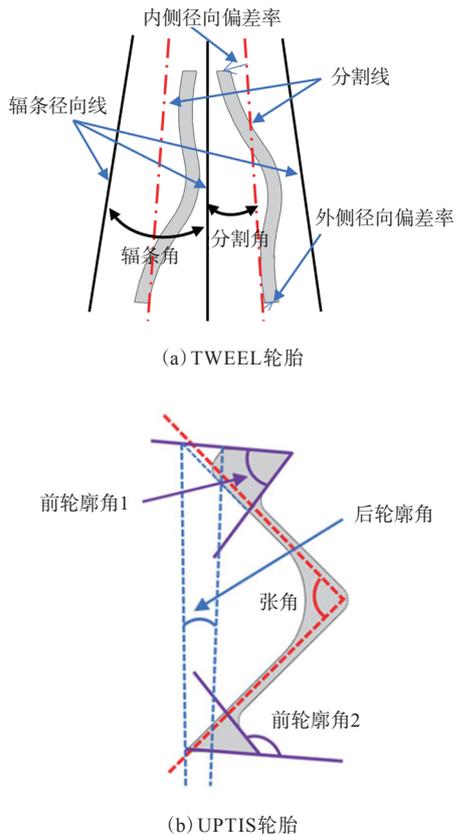


图3 两种非充气轮胎的辐条关键结构参数示意
Fig. 3 Key structural parameter diagram of spokes of two non-pneumatic tires

的曲率半径,其他轮廓线圆滑过渡处的曲率半径统一设置为4 mm。辐条的厚度是指辐条最窄处的厚度。建立UPTIS轮胎几何模型时只需要在TWEEL轮胎几何模型的基础上进行辐条替换,需注意的是与辐条相关的边界条件也要进行替换。

1.2 接触和约束的设置及网格划分

主要设置路面与胎面之间的接触,接触属性

设置为切向无摩擦,法向硬接触且允许接触后分离。切向无摩擦设置是为了让轮胎更自由地滚动,排除因摩擦阻力而引入的额外激励,更能体现出由于轮胎自身结构原因产生的振动响应。

TWEEL轮胎的所有网格单元形状均选择四边形,按结构划分网格并进行最小化网格过渡,单元类型选择四节点双线性平面应变四边形单元,同时减缩积分和沙漏控制(CPE4R)。对于UPTIS轮胎辐条,由于其形状不规则,在选择网格单元形状时同样选择四边形,但选择进阶算法自由划分网格,这样划分的网格可以减少仿真时单元的过度扭曲,提高计算收敛性。

1.3 材料参数的设置

模型中弹性辐条、内覆盖层、外覆盖层和剪切层的材料均为聚氨酯材料。增强层的增强材料种类较多,根据轮胎不同的性能要求而选取不同类型的材料,如钢丝帘布、玻璃纤维帘布、涤纶帘布和芳纶帘布等,本研究增强材料为钢丝帘布,胎面为橡胶材料。

聚氨酯材料的本构模型选用Marlow方程,该方程曲线如图4所示,与文献[6]一致。此外,模型中材料参数设置如下:热导率 $0.3 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,热膨胀系数 0.002 K^{-1} ,密度 $1.1 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,比热容 $2000 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ 。为了表示聚氨酯材料是一种几乎不可压缩材料,将其泊松比设为0.475。

增强层钢丝帘布设置为正交各向异性材料,其模量用刚度矩阵来定义,总共有9个参数。下标11,22和33表示模量的方向,11表示径向,22表示

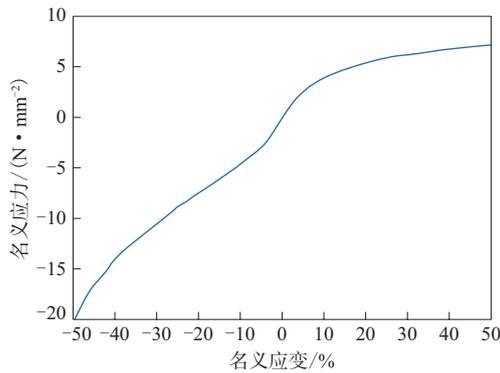


图4 聚氨酯材料的Marlow方程曲线

Fig. 4 Marlow equation curve of polyurethane material

切向或周向,33表示平面外方向;下标12,13和23代表剪切变形方向,12代表作用在垂直于径向、往周向的受力方向,13代表作用在垂直于径向、往平面外方向的受力方向,23代表作用在垂直于周向、往平面外方向的受力方向。增强层钢丝帘布的刚度系数如表3所示,数据来源于文献[6]。除设置刚度矩阵参数外,增强层钢丝帘布的其他参数包括:热导率 $20 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,热膨胀系数 $\alpha_{11}=\alpha_{33}=0$, $\alpha_{22}=1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,密度 $1.54 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,比热容 $475 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

表3 增强层钢丝帘布的刚度系数

Tab. 3 Stiffness coefficients of reinforced layer steel cord MPa

刚度系数	数值	刚度系数	数值
D_{1111}	0	D_{3333}	0.1
D_{1122}	0.1	D_{1212}	321.775 8
D_{2222}	32 177.58	D_{1313}	0
D_{1133}	0	D_{2323}	0
D_{2233}	0		

胎面橡胶材料用Mooney-Rivlin超弹性本构方程来定义,材料参数 $C_{10}=0.833$, $C_{01}=12.414$, $D_1=0.071 7$,其余材料参数还有:各向同性膨胀系数 $0.000 17 \text{ K}^{-1}$,热导率 $0.3 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,密度 $1.1 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,比热容 $2 000 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

1.4 分析步及负荷的设置

负荷主要有2种:一种是轮胎受到的垂向载荷,其大小约为汽车质量的1/4;另一种是转动负荷,可保证轮胎稳定的滚动。仿真主要设置3个分析步,分别命名为Initial Rolling(0.005 s),Rolling-Loading-Cooling(0.1 s)和Steady-State Rolling(0.3 s),前2个分析步是加载过程,加载过

程主要有路面上压15 mm、轮胎转速为 $120 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 的过程和整个轮胎从 $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 到 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 的降温过程,设置降温过程是为了模拟轮胎在加载完成后降温过程中产生的温度预应力;最后1个分析步设定的作用是使轮胎滚动0.3 s以达到稳定滚动,轮胎的振动数据主要从这段时间提取。本研究的频率范围为 $0 \sim 2 500 \text{ Hz}$,奈奎斯特频率设为 $2 500 \text{ Hz}$,结合采样定理的采样频率设为 $5 000 \text{ Hz}$,故仿真间隔输出时间固定为 $0.000 2 \text{ s}$ 。

2 振动信号的提取及处理

2.1 振动信号的提取

轮胎辐条的振动信号主要从辐条上的3个测点获取,如图5所示。将两种非充气轮胎的辐条均分为4等分,提取其中间节点、上1/4节点和下1/4节点在轮胎滚动过程中相对于参考直线(图中虚线)的距离变化。

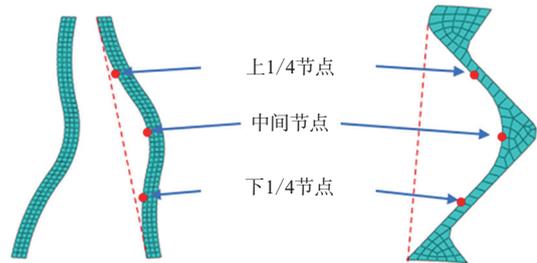


图5 辐条振动的3个测点位置

Fig. 5 Three measuring points in spoke vibration

轮胎与路面的相互作用主要通过提取地面反作用力振动信号来研究,地面反作用力振动信号从地面参考点处获取,即提取轮胎滚动过程中地面参考点的竖向反作用力。

2.2 振动信号的处理

前面提取出来的是振动时域信号,时域信号仅仅可以观察到信号的形状,无法获得信号的有效特征信息。在对信号进行分析和比较时,通常会将时域信号进行快速傅里叶变换(FFT)来转化成频域信号,得到信号频率和振幅信息。本研究截取轮胎滚动0.3 s后的时域信号进行FFT处理,因为在这段时间内轮胎达到了稳定滚动状态。在对时域信号进行FFT处理时发现,直接进行FFT处理后得到的频域信号包含很多直流信号和噪声信号,给振动特征信号的分析造成了一定的干扰,因

此需要先对时域信号进行直流滤波和加汉明窗处理,以减少FFT处理时带来的频谱泄露和噪声信号。下面的振动时域信号FFT处理指先进行直流滤波和加汉明窗处理的FFT处理。

3 结果与讨论

在进行两种非充气轮胎的高速振动特性比较前,先对文献[6]中所描述的规律进行复现,以此来验证所建立的仿真方法可靠性。首先将所得辐条的3个测点的振动时域信号数据与文献[6]中相应的数据进行对比,发现信号的振幅峰值一致;然后对3个测点的振动时域信号数据进行FFT处理,发现各振幅出现的频率接近,误差在7%以内。由此可以得出,本研究所建立的模型及方法是可靠的。下面对TWEEL和UPTIS轮胎的高速振动特性进行对比。

3.1 辐条的振动对比

图6示出两种非充气轮胎辐条的3个测点振动时域谱波形对比,可以看出两种非充气轮胎呈现出一定的相同规律:辐条的中间部位变形相比上下1/4部位更大。但UPTIS轮胎辐条的测点最大位移绝对值均比TWEEL轮胎辐条小:UPTIS轮胎辐条的上下1/4节点最大位移为5 mm,而TWEEL轮胎辐条的上下1/4节点最大位移为11 mm;UPTIS轮胎辐条的中间节点最大位移为8 mm,而TWEEL轮胎辐条的中间节点最大位移为17 mm。节点最大位移越小,则相应的变形也越小,辐条从压缩状态到恢复状态或小变形状态所用的时间也较短,振动响应也就较弱。可见UPTIS轮胎的滚动更平稳,产生的振动更小。

图7和8分别示出两种非充气轮胎辐条的上1/4节点和中间节点振动频域谱波形对比。可以看出,两种非充气轮胎辐条的上1/4节点与中间节点振动频域谱变化规律相同。通过对比文献[6]中TWEEL轮胎辐条的振动频域谱与本研究TWEEL轮胎辐条的振动频域谱可见,两者峰值振幅对应的频率接近,误差均小于7%,说明仿真方法的可靠性。整体来看,TWEEL轮胎辐条的振动频域谱峰值振幅均比UPTIS轮胎辐条大。研究^[6]表明,频率小于100 Hz的声压级(SPL)噪声对人类的感知没有显著的影响^[6],从大于100 Hz的频率范围来看,

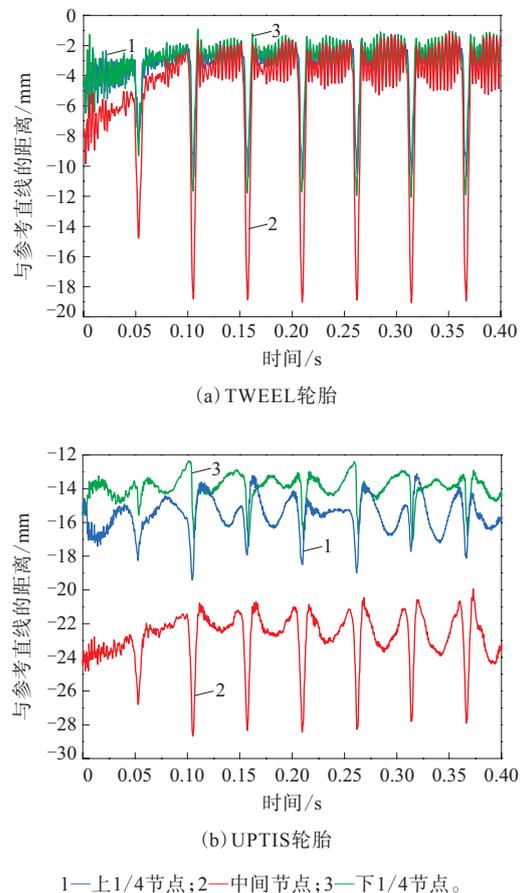


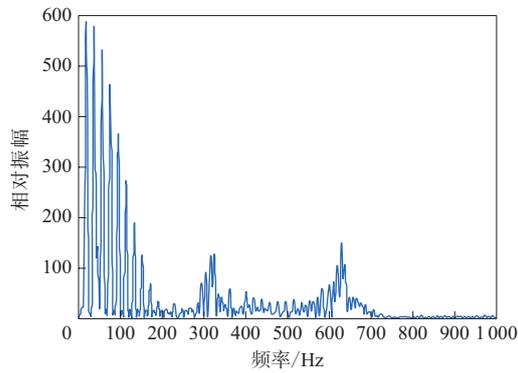
图6 两种非充气轮胎辐条的3个测点振动时域谱波形对比
Fig. 6 Comparison of vibration time domain spectrum waveforms at three measuring points of spokes of two non-pneumatic tires

TWEEL轮胎辐条的振动频域谱有明显的峰值振幅,而UPTIS轮胎辐条的振动频域谱峰值振幅非常小。

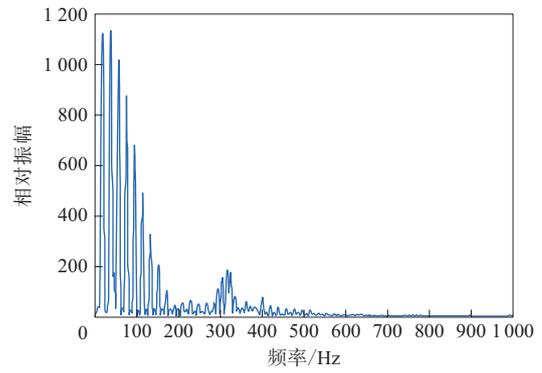
3.2 轮胎的地面反作用力振动对比

图9示出两种非充气轮胎的地面反作用力振动时域谱波形对比,可以看出两种轮胎的地面反作用力在其滚动0.3 s后都稳定在36 N左右上下波动,表明两种非充气轮胎在稳定滚动时地面反作用力一致,两种非充气轮胎的承载能力相同。从图9可以看出UPTIS轮胎的地面反作用力振动时域谱波动区间恒定,而TWEEL轮胎的地面反作用力振动时域谱波动区间随着时间的延长变得发散,这表明UPTIS轮胎在滚动过程中受到的地面反作用力稳定,而TWEEL轮胎在滚动过程中随着时间的延长,受到的地面反作用力波动增大。

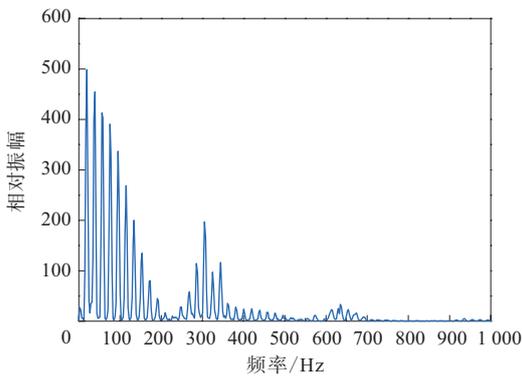
图10所示为两种非充气轮胎的地面反作用力振动频域谱波形对比,可以看出在所研究的频率



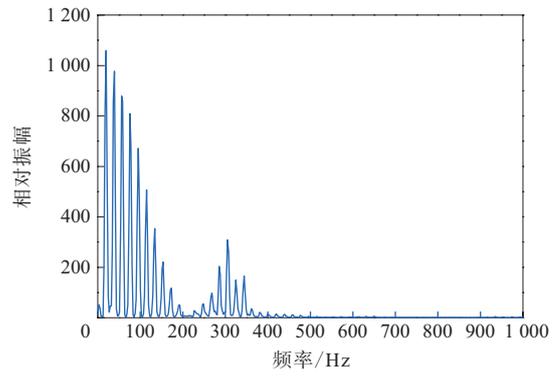
(a) 文献[6]中TWEEL轮胎



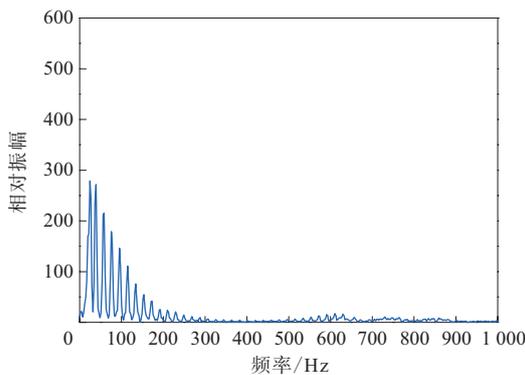
(a) 文献[6]中TWEEL轮胎



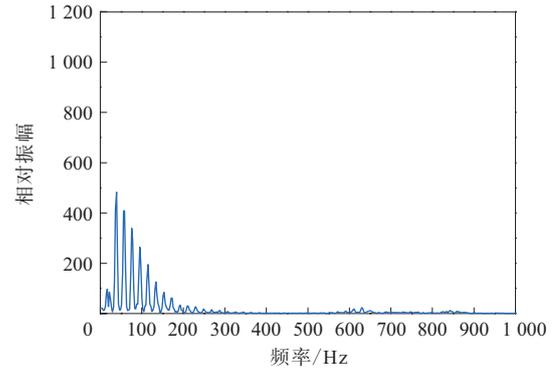
(b) 本试验TWEEL轮胎



(b) 本试验TWEEL轮胎



(c) 本试验UPTIS轮胎



(c) 本试验UPTIS轮胎

图7 两种非充气轮胎辐条的上1/4节点
振动频域谱波形对比

Fig. 7 Comparison of vibration frequency domain spectrum waveforms of upper quarter node of spokes of two non-pneumatic tires

范围内UPTIS轮胎的地面反作用力振动频域谱只有1个明显的振幅峰值,而TWEEL轮胎却有4个明显的振幅峰值,即TWEEL轮胎在更多的特征频率上激发了振动。经过计算发现UPTIS轮胎的地面反作用力振动频域谱振幅峰值频率是由轮胎不连续的刚度导致的,即其为 $120 \text{ rad} \div (2\pi \div 64) =$

图8 两种非充气轮胎辐条的中间节点振动频域谱波形对比
Fig. 8 Comparison of vibration frequency domain spectrum waveforms of middle node of spokes of two Non-pneumatic tires

$1\ 222 \text{ Hz}$ (对应于图中的 $1\ 223 \text{ Hz}$),而TWEEL轮胎除了由于轮胎不连续刚度产生明显的振幅峰值频率[$120 \text{ rad} \div (2\pi \div 25) = 477 \text{ Hz}$ (对应于图中的 479 Hz)]外,还在其他3个频率激发了明显的振幅峰值。由此表明UPTIS除了轮胎结构本身产生的振动外并未产生额外的振动,而TWEEL轮胎却产生较多的其他振动,可以看出UPTIS轮胎在高速

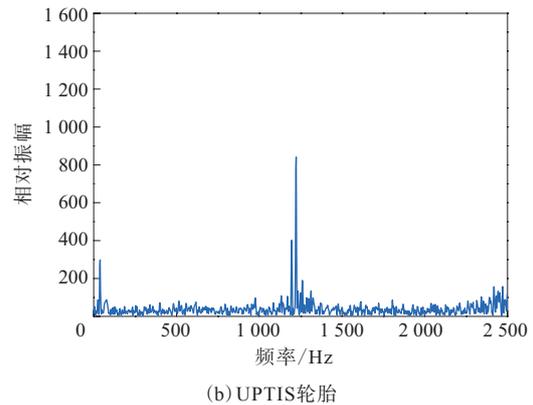
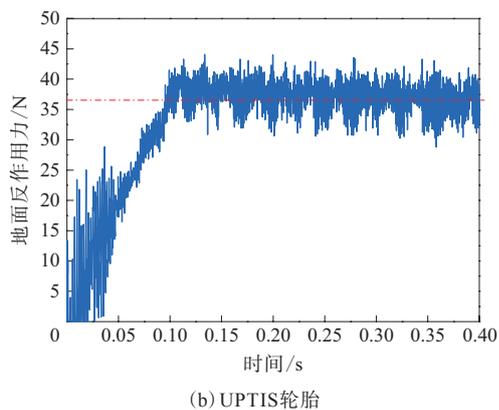
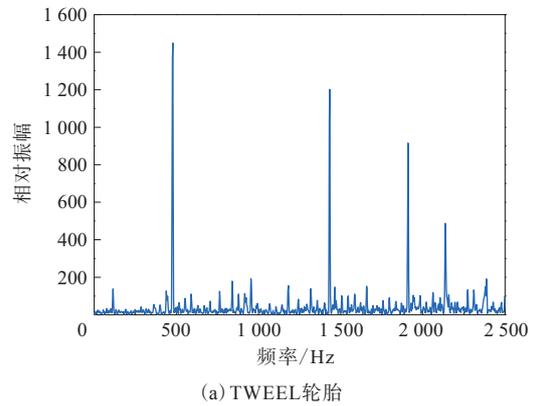
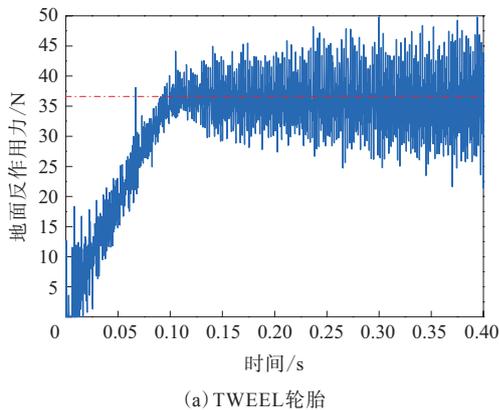


图9 两种非充气轮胎的地面反作用力振动时域谱波形对比
Fig. 9 Comparison of vibration time domain spectrum waveforms of ground reaction forces of two non-pneumatic tires

减振方面存在巨大优势。

4 结论

本工作首先建立了非充气轮胎高速振动的仿真分析方法,然后对TWEEL和UPTIS两种非充气轮胎在相同承载能力下的高速振动特性进行比较,得到以下结论。

(1) UPTIS轮胎辐条在轮胎高速滚动过程中产生的振动非常微弱,几乎不会激发高频振动,而TWEEL轮胎辐条在轮胎高速滚动过程中产生明显的振动且振动频率谱振幅峰值较大。UPTIS轮胎的地面反作用力振动频域谱中只出现了1个明显的振幅峰值频率且该频率与轮胎不连续的刚度有关,而TWEEL轮胎的地面反作用力振动频域谱出现了多个明显的振幅峰值频率,这些振幅峰值除与轮胎不连续的刚度有关的低频率振幅峰值外,还在更高频率的峰值振幅。出现的地面反作用力

图10 两种非充气轮胎地面反作用力振动频域谱波形对比
Fig. 10 Comparison of vibration frequency spectrum waveforms of ground reaction forces of two non-pneumatic tires

振幅峰值频率越多,则在轮胎滚动过程中越容易与外部激振频率发生共振,从而使轮胎的振动加剧而造成结构破坏,同时也使得汽车驾乘体验更差。因此,UPTIS轮胎在高速减振性上优于TWEEL轮胎,更适用于高速服役工况,这也与其速度可达 $210 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的报道相符。

(2) 所建立的TWEEL非充气轮胎模型的结构尺寸和材料参数与文献[6]的TWEEL模型一致,分析结果与文献报道结果的误差在7%以内,说明所建仿真分析方法的合理性。

(3) 所建立的非充气轮胎高速振动仿真分析方法后续可用于TWEEL和UPTIS等非充气轮胎的结构优化研究。

参考文献:

- [1] 朱华健,牛金坡,李凡珠,等. 新型轮胎结构的现状与发展[J]. 高分子通报,2019(11):1-14.
ZHU H J, NIU J P, LI F Z, et al. The current situation and

- development of novel tire structure[J]. China Polymer Bulletin, 2019 (11): 1-14.
- [2] 牛金坡, 朱华健, 李凡珠, 等. 非充气轮胎注射成型工艺的仿真分析和优化设计[J]. 高分子通报, 2021 (8): 26-35.
NIU J P, ZHU H J, LI F Z, et al. Simulation analysis and optimization design of injection molding process for non pneumatic tire[J]. China Polymer Bulletin, 2021 (8): 26-35.
- [3] 刘晨, 李凡珠, 卢咏来, 等. 非充气轮胎的结构设计与力学性能[J]. 橡胶工业, 2021, 68 (2): 83-90.
LIU C, LI F Z, LU Y L, et al. Structural design and mechanical properties of non-pneumatic tire[J]. China Rubber Industry, 2021, 68 (2): 83-90.
- [4] PRODDATURI A. Robust parameter design and finite element analysis for a non-pneumatic tire with low vibration[D]. South Carolina: Clemson University, 2009.
- [5] RAMACHANDRAN M. Nonlinear finite element analysis of Tweel geometric parameter modifications on spoke dynamics during high speed rolling[D]. South Carolina: Clemson University, 2008.
- [6] WILLIAM R, SHASHANK B, AMARNATH P, et al. Use of orthogonal arrays for efficient evaluation of geometric designs for reducing vibration of a non-pneumatic wheel during high speed Rolling[J]. Tire Science and Technology, 2010, 38 (4): 246-275.
- [7] NARASIMHAN A. A computational method for analysis of material properties of a non-pneumatic tire and their effects on static load-deflection, vibration, and energy loss from impact rolling over obstacles[D]. South Carolina: Clemson University, 2010.
- [8] GASMI A, JOSEPH P F, RHYNE T B, et al. Development of a two-dimensional model of a compliant non-pneumatic tire[J]. International Journal of Solids and Structures, 2012, 49 (13): 1723-1740.
- [9] GASMI A. On the modeling of contact problems for curved and straight elastic thin continuums with application to non-pneumatic tires[D]. South Carolina: Clemson University, 2011.
- [10] BERGLIND L. Design tool development for cellular structure synthesis to achieve desired properties[D]. South Carolina: Clemson University, 2010.
- [11] BEIGAM S. Design and analysis of alternating spoke pair concepts for a non-pneumatic tire with reduced vibration at high speed rolling[D]. South Carolina: Clemson University, 2009.
- [12] 姜成, 赵又群, 阮米庆, 等. 非充气安全轮胎技术现状与发展[J]. 机械设计与制造, 2013 (9): 266-268, 272.
JIANG C, ZHAO Y Q, RUAN M Q, et al. The current situation and development of non-pneumatic safety tire[J]. Machinery Design and Manufacture, 2013 (9): 266-268, 272.
- [13] GLUCKER J. The Michelin tweel airless tire is now available[EB/OL]. [2018-05-16]. <https://www.foxnews.com/auto/the-michelin-tweel-airless-tire-is-now-available>.
- [14] NEIRA J. Michelin reinvents the wheel with uptis, a puncture-proof airless tire [EB/OL]. [2021-09-16]. <https://www.designboom.com/technology/michelin-uptis-airless-tire-06-05-2019/>.

收稿日期: 2022-10-28

Comparative Analysis of High-speed Vibration Characteristics of UPTIS and TWEEL Non-pneumatic Tires Using Finite Element Method

LIANG Zheng, HAN Xue, LU Yonglai, WANG Kejian, LI Fanzhu

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

Abstract: The high-speed vibration simulation analysis method of non-pneumatic tires was established. The high-speed rolling behavior of non-pneumatic tires under a certain load and rotation speed was simulated, and the vibration time domain signals of the key component spoke and ground reaction force were extracted. The vibration time domain signal was converted into the frequency domain signal through the fast Fourier transformation technique combined with Hamming window. Based on the established high-speed vibration simulation analysis method, the high-speed vibration characteristics of two typical non-pneumatic tires, UPTIS and TWEEL were compared and analyzed. The results showed that compared with the TWEEL tires, the vibration frequency domain of the ground reaction forces of the UPTIS tire had fewer characteristic vibration frequencies and smaller vibration amplitudes during high-speed rolling, that is, the high-speed vibration absorption of the UPTIS tire was better than that of the TWEEL tire under the same bearing capacity. The high-speed vibration simulation analysis method established in this work provides support for the structural optimization of non-pneumatic tires.

Key words: non-pneumatic tire; UPTIS tire; TWEEL tire; high-speed vibration; finite element analysis