Mechanical Engineering and Technology 机械工程与技术, 2025, 14(2), 142-149
Published Online April 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/met
https://doi.org/10.12677/met.2025.142015

Hans汉斯

轮胎动态力传递函数测试方法研究

刘晓飞，李　赛，刘凤阳

中汽零部件技术(天津)有限公司，天津

收稿日期：2025年3月28日；录用日期：2025年4月21日；发布日期：2025年4月29日

摘　要

随着汽车使用量的逐渐增加，其舒适性越来越受到重视，汽车NVH对其舒适性具有重要影响，而轮胎作为汽车与路面接触的唯一部件，与汽车NVH关系密切。本文根据轮胎的实际运动状态提出了轮胎动态力传递函数测试方法，并通过进行轮胎动态力传递函数与静态力传递函数的差异、轮胎动态力传递函数的影响因素、轮胎动态力传递函数与整车NVH的相关性等几方面的研究，表明该方法能更有效地帮助解决整车NVH问题。

关键词

NVH，轮胎，动态力传递函数

Research on the Testing Method of Tire Dynamic Force Transfer Function

Xiaofei Liu, Sai Li, Fengyang Liu

CATARC Component Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

Received: Mar. 28th, 2025; accepted: Apr. 21st, 2025; published: Apr. 29th, 2025

Abstract

As the usage of automobiles gradually increases, their comfort is increasingly valued, and the NVH of automobiles has a significant impact on their comfort. As the only component that comes into contact with the road surface, tires are closely related to the NVH of automobiles. This article proposes a testing method for tire dynamic force transfer function based on the actual motion state of the tire. Through studying the differences between tire dynamic force transfer function and static force transfer function, the influencing factors of tire dynamic force transfer function, and the correlation between tire dynamic force transfer function and vehicle NVH, it is shown that this method can more effectively

文章引用: 刘晓飞, 李赛, 刘凤阳. 轮胎动态力传递函数测试方法研究[J]. 机械工程与技术, 2025, 14(2): 142-149.
DOI: 10.12677/met.2025.142015

help solve the problem of vehicle NVH.

Keywords

NVH, Tire, Dynamic Force Transfer Function

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 概述

随着汽车使用量的逐渐增加，其舒适性越来越受到重视，汽车 NVH 是衡量汽车振动与噪声的重要指标，对其舒适性具有重要影响，而轮胎作为汽车与路面接触的唯一部件，与汽车 NVH 关系密切[1] [2]。目前轿车使用的轮胎通常由橡胶、钢丝、帘线等几部分组成，安装在金属轮辋上，属于汽车的重要组成部分。它直接与路面接触，和汽车悬架共同来缓和汽车行驶时所受到的冲击，保证汽车有良好的乘坐舒适性和行驶平顺性。

目前主机厂在遇到轮胎相关的整车 NVH 问题时，通常的做法是测出轮胎静态力传递函数，然后根据一阶频率来分析问题[3] [4]。但此过程忽略了轮胎在工作状态时边界条件和刚度等参数的变化，与整车行驶状态不匹配，因此有时不能有效解决问题。基于以上情况，本文提出了轮胎动态力传递函数测试方法，并通过进行轮胎动态力传递函数与静态力传递函数的差异、轮胎动态力传递函数的影响因素、轮胎动态力传递函数与整车 NVH 的相关性等几方面的研究，表明该方法能更有效地帮助解决整车 NVH 问题。

2. 轮胎力传递函数测试方法

目前常用的轮胎静态力传递函数测试方法[5]为：将轮胎和轮辋的组合体用弹力绳悬挂，使其处于自由静止状态，在胎面和轮心布置适当的加速度传感器，用力锤激励轮心，根据采集的加速度数据来计算力传递函数。测试图片如图 1 所示，力传递函数曲线如图 2 所示。

由于出现整车 NVH 问题时轮胎是运动的而非静止的，因此我们根据轮胎的实际运动状态提出了轮胎动态力传递函数测试方法：在高速均匀性设备的转鼓表面安装截面形状为矩形的横置凸条，然后在转

Figure 1. Static force transfer function test of tire
图 1. 轮胎静态力传递函数测试

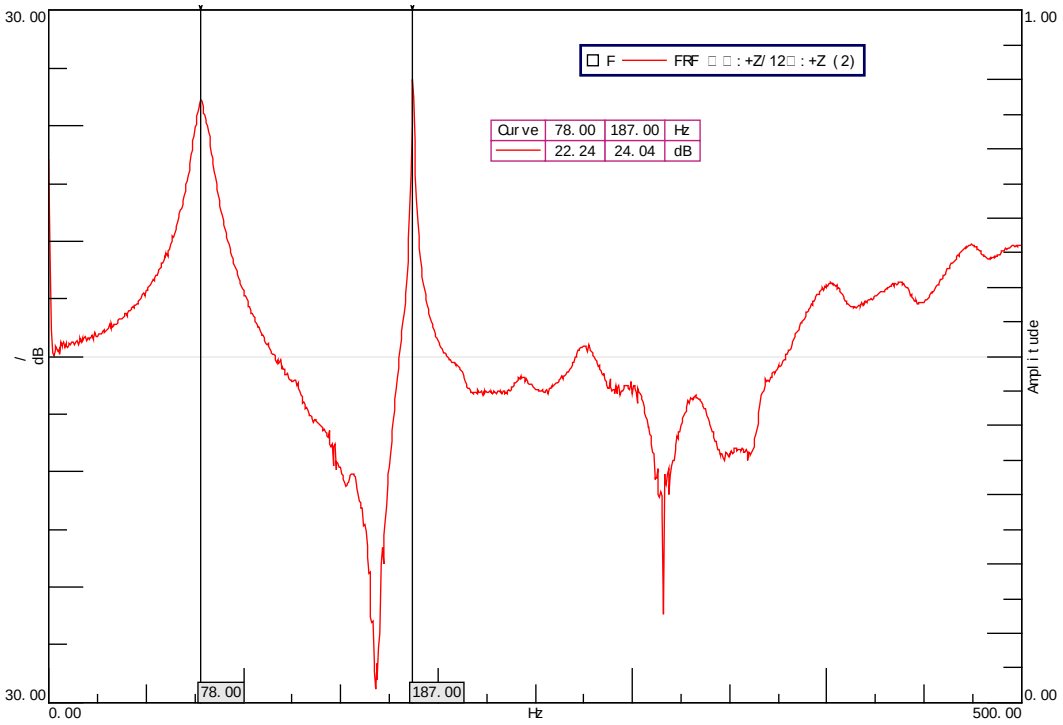

Figure 2. Static force transfer function curve of tire
图 2. 轮胎静态力传递函数曲线

Figure 3. Dynamic force transfer function test of tire
图 3. 轮胎动态力传递函数测试

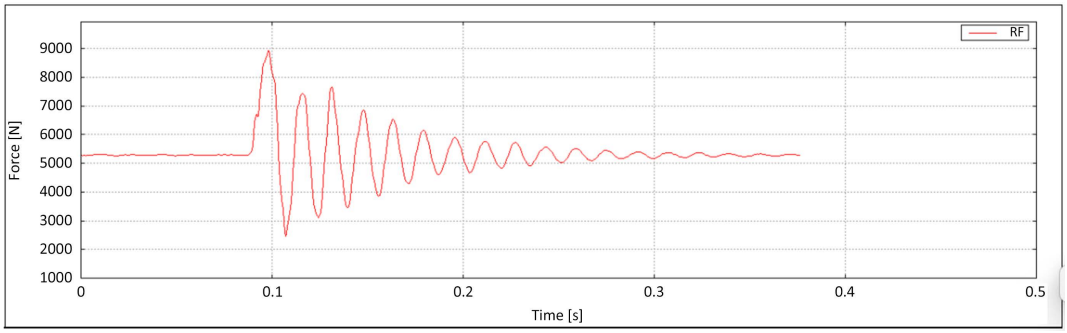

Figure 4. Force curve of the tire after being stimulated
图 4. 轮胎受到激励后的受力曲线

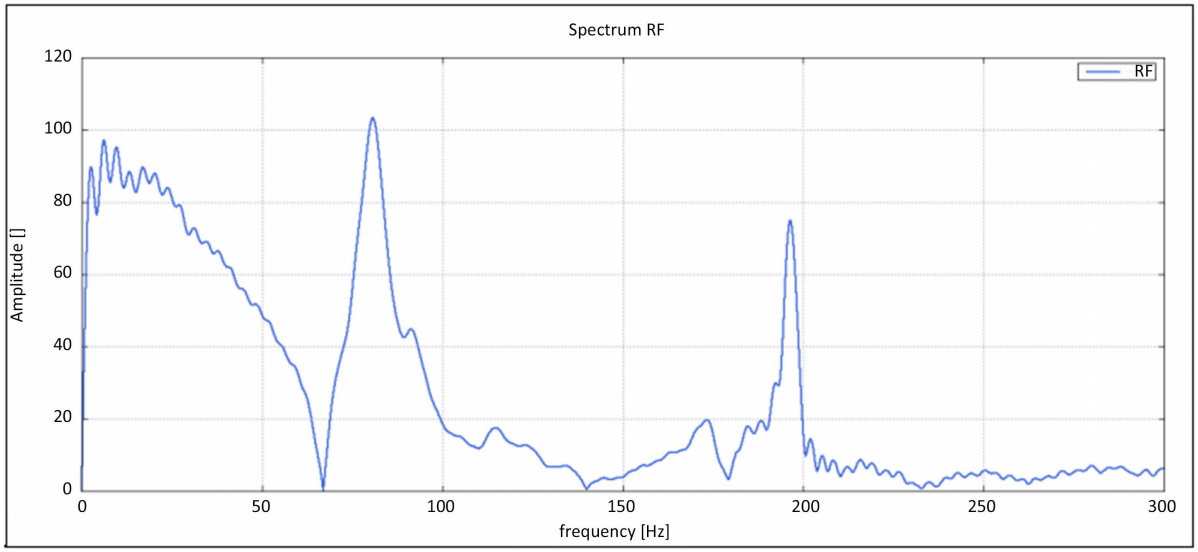

Figure 5. Dynamic force transfer function curve of tire
图 5. 轮胎动态力传递函数曲线

鼓对称位置安装质量块以使转鼓自身动平衡符合要求；在测试之前先进行暖胎，暖胎条件通常为：载荷为负荷指数对应负荷的 70%，速度为 30 km/h，时间为 20 min；暖胎结束后进行测试，测试载荷与整车单轮承重相近，测试速度通常为 60 km/h，也可根据实际情况设定，一般不超过 120 km/h，待设备运行平稳后，开始采集轮胎受力状态下受到激励后 10 圈径向力数据，设备自身系统对采集的数据进行优化处理，测试图片如图 3 所示，其时域曲线如图 4 所示，进行傅里叶转换得到动态力传递函数曲线，如图 5 所示。

需指出的是：本文讨论的力传递函数均为径向特性；另外，轮胎静态力传递函数曲线中的纵坐标是一个无单位的比值，而轮胎动态力传递函数曲线中的纵坐标是径向力，但是这不影响寻找力传递一阶频率。

3. 轮胎动态力传递函数与静态力传递函数的差异

3.1. 测试样品及工况

选取 6 条轮胎进行测试，样品信息如表 1 所示。

Table 1. Sample information
表 1. 样品信息

编号	1	2	3	4	5	6
品牌	米其林	倍耐力	米其林	玛吉斯	固铂	锦湖
型号	255/50R20	255/50R20	245/50R19	245/50R19	245/50R19	245/50R19

测试工况以“气压－载荷－速度”的格式来表示，由于静态力传递函数测试时轮胎是自由且静止的，所以只需选择气压即可，详细的测试工况如表 2 所示。

Table 2. Test conditions
表 2. 测试工况

工况	1 号轮胎	2 号轮胎	3 号轮胎	4 号轮胎	5 号轮胎	6 号轮胎
一	230 kPa-5000 N-60 km/h	230 kPa5000 N-60 km/h	230 kPa-5000 N-60 km/h	230 kPa-5000 N-60 km/h	230 kPa-5000 N-60 km/h	230 kPa-5000 N-60 km/h

续表

二	250 kPa-5000 N-60 km/h	250 kPa-3000 N-60 km/h	250 kPa-5000 N-60 km/h	250 kPa-5000 N-60 km/h	250 kPa-5000 N-60 km/h	250 kPa-5000 N-60 km/h
三	270 kPa-5000 N-60 km/h	270 kPa-5000 N-60 km/h	270 kPa-5000 N-60 km/h	270 kPa-5000 N-60 km/h	270 kPa-5000 N-60 km/h	270 kPa-5000 N-60 km/h
四	290 kPa-5000 N-60 km/h	290 kPa-5000 N-60 km/h	290 kPa-5000 N-60 km/h	290 kPa-5000 N-60 km/h	290 kPa-5000 N-60 km/h	290 kPa-5000 N-60 km/h

3.2. 测试过程

对于静态力传递函数测试，在轮胎的胎面粘贴 1 个加速度传感器，在轮辋螺栓孔分布圆上粘贴 2 个加速度传感器，保证 3 个加速度传感器在一条直线上，然后沿着该直线方向用力锤对轮辋进行激励，正向和反向均进行激励，根据采集的数据计算力传递函数。

对于动态力传递函数测试，采用德国 ZF 公司生产的 HSU 5.3 型高速均匀性测试设备，该设备转鼓直径为 2 m，鼓面可以安装横置凸条，且能够采集轮胎在运动过程中的径向力，并对数据进行频率特性分析。此外，该设备放置于可以进行恒温控制的试验间，能保证试验过程中环境温度的稳定。本次测试所用凸条横截面尺寸为 15 mm × 15 mm，暖胎时间为 20 min，环境温度为 23℃。

3.3. 测试数据

静态力传递一阶频率和动态力传递一阶频率的数据如表 3 所示。

Table 3. First-order frequency test data
表 3. 一阶频率测试数据

工况	项目	1 号轮胎	2 号轮胎	3 号轮胎	4 号轮胎	5 号轮胎	6 号轮胎
一	静态力传递一阶频率/Hz	69.0	66.0	74.5	71.5	71.0	75.5
	动态力传递一阶频率/Hz	61.8	62.2	68.2	67.9	66.4	70.3
二	静态力传递一阶频率/Hz	70.0	67.0	75.0	72.5	72.0	76.5
	动态力传递一阶频率/Hz	63.0	63.9	70.3	69.5	68.7	72.1
三	静态力传递一阶频率/Hz	71.5	68.5	77.0	74.0	73.5	77.5
	动态力传递一阶频率/Hz	65.1	65.6	72.1	71.2	70.1	73.9
四	静态力传递一阶频率/Hz	72.5	70.0	77.5	75.5	75.0	78.0
	动态力传递一阶频率/Hz	67.0	67.9	74.1	73.1	71.5	75.9

通过以上数据可以发现，静态力传递一阶频率高于动态力传递一阶频率，且气压越低相差越大。

4. 轮胎动态力传递函数的影响因素

对某品牌 245/45R19 轮胎进行 4 种气压 × 3 种载荷 × 8 种速度 = 合计 96 种工况的测试，其中气压分别是 230 kPa、250 kPa、270 kPa、290 kPa，载荷分别是 3000 N、5000 N、7000 N，速度分别是 20 km/h、30 km/h、40 km/h、50 km/h、60 km/h、70 km/h、80 km/h、90 km/h。测试数据如表 4~7 所示。

在测试过程中发现，当速度较低时，会在低频时形成双波峰现象，如图 6 所示，低频双波峰现象由于轮胎过凸块时持续受激励导致，所以在试验时，应选择较窄的凸块；当速度极低时，无法对轮胎形成激励，如图 7 所示，因此试验速度设置应≥30 km/h。

Table 4. First-order frequency of dynamic force transfer at 230 kPa
表 4. 230 kPa 下动态力传递一阶频率

速度 载荷	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
	一阶频率/Hz							
3000 N	72.8	72.1	71.6	71.3	70.8	70.5	70.0	69.5
5000 N	72.0	70.5	71.7	70.8	70.3	70.0	69.6	69.0
7000 N	64.6	69.5	70.7	71.2	69.5	69.3	69.0	68.4

Table 5. First-order frequency of dynamic force transfer at 250 kPa
表 5. 250 kPa 下动态力传递一阶频率

速度 载荷	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
	一阶频率/Hz							
3000 N	74.3	74.3	73.4	73.1	72.6	72.2	71.6	71.0
5000 N	73.2	72.2	73.8	72.4	72.1	71.7	71.2	70.8
7000 N	70.7	70.1	72.4	73.1	71.5	71.1	70.7	70.5

Table 6. First-order frequency of dynamic force transfer at 270 kPa
表 6. 270 kPa 下动态力传递一阶频率

速度 载荷	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
	一阶频率/Hz							
3000 N	75.8	75.4	74.8	74.7	74.4	73.8	73.4	72.8
5000 N	74.4	73.8	75.5	74.2	73.9	73.6	73.1	72.4
7000 N	74.6	71.5	74.4	75.4	73.4	73.1	72.7	72.0

Table 7. First-order frequency of dynamic force transfer at 290 kPa
表 7. 290 kPa 下动态力传递一阶频率

速度 载荷	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
	一阶频率/Hz							
3000 N	77.9	78.0	76.3	76.8	76.5	76.0	75.7	75.1
5000 N	75.7	75.2	77.4	76.0	75.9	75.5	75.2	74.7
7000 N	75.7	73.1	76.5	77.9	75.3	75.1	74.7	74.4

通过以上数据可以发现：气压、载荷、速度对动态力传递一阶频率都有影响，通常，气压越大一阶频率越高，载荷越大一阶频率越低，速度越大一阶频率越低。

5. 轮胎动态力传递函数与整车 NVH 的相关性

一车型在整车 NVH 测试中发现，在频率 72 Hz 左右有较大的异响，其曲线如图 8 所示。

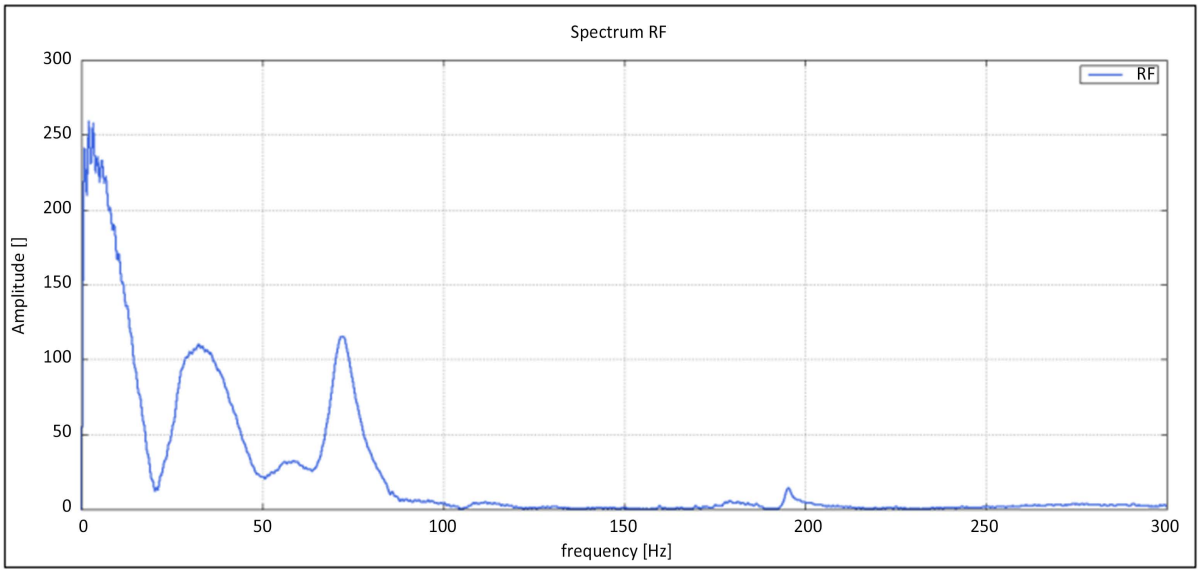

Figure 6. Double-wave peak phenomenon
图 6. 双波峰现象

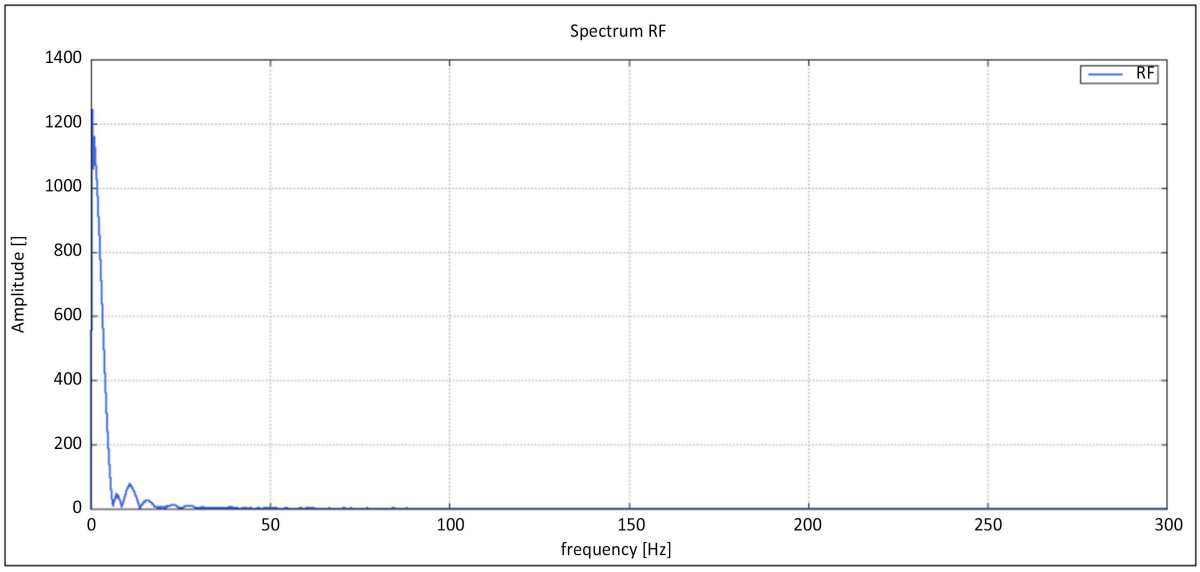

Figure 7. No incentive phenomenon
图 7. 无激励现象

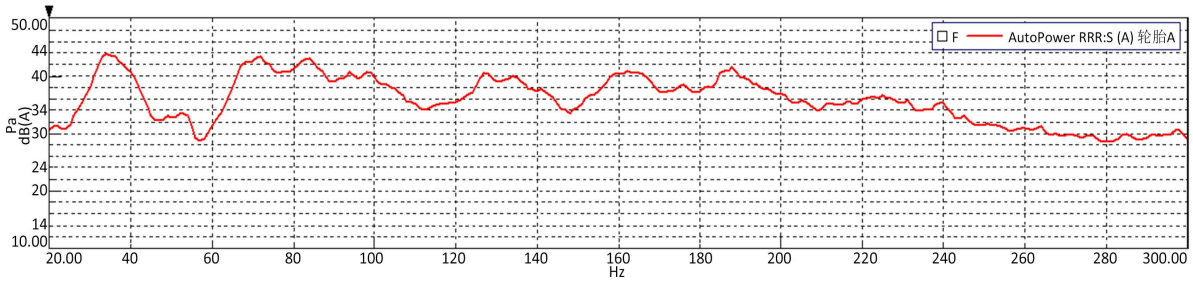

Figure 8. Vehicle NVH curve
图 8. 整车 NVH 曲线

对此问题，我们按照与实车一致的条件对轮胎进行了动态力传递函数测试，气压为 250 kPa、载荷为 5000 N、速度为 60 km/h，其动态力传递函数曲线如图 9 所示，其动态力传递一阶频率为 72.1 Hz，轮胎在动态力传递函数测试中的峰值在整车 NVH 测试的结果中得到了很好的体现。可见，轮胎动态力传递函数测试方法能更有效地帮助解决整车 NVH 问题。

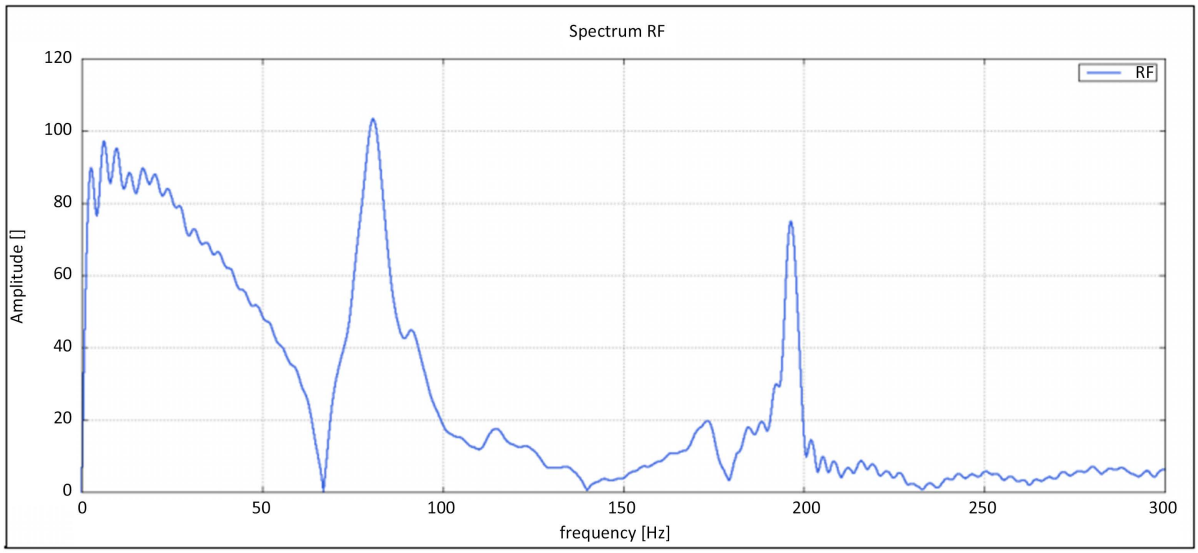

Figure 9. Dynamic force transfer function curve of real car tires
图 9. 实车轮胎的动态力传递函数曲线

6. 结论

本文以轮胎实际运动状态为出发点，提出了轮胎动态力传递函数测试方法。通过研究发现，轮胎动态力传递函数与静态力传递函数存在差异，通常情况下静态力传递一阶频率高于动态力传递一阶频率，且气压越低相差越大；气压、载荷、速度对动态力传递一阶频率都有影响，通常，气压越大一阶频率越高，载荷越大一阶频率越低，速度越大一阶频率越低；轮胎动态力传递函数与整车 NVH 的相关性更大，该方法能更有效地帮助解决整车 NVH 问题。当然，本文还存在着一些不足，后续需要开展的工作有：进一步研究凸条尺寸和形状的影响以找到更合适的凸条，解决低速时动态力传递函数难以测出的问题。

参考文献

[1] 鲁显睿. 汽车 NVH 设计中振动与噪声控制技术研究[J]. 汽车测试报告, 2023(20): 25-27.

[2] 冯希金, 郑小刚, 危银涛, 等. 轮胎振动特性的有限元分析及关键影响因素研究[J]. 轮胎工业, 2013, 33(1): 12-20.

[3] 张浩, 张光, 罗挺, 等. 某车型轮胎高速均匀性与引起的异响问题分析[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(3): 192-196.

[4] 杨诗豪, 徐艳平, 鲁媛. 轮胎力传递率在路噪开发中的研究与应用[C]//中国汽车工程学会. 2022 中国汽车工程学会年会论文集(4). 武汉: 东风汽车集团有限公司技术中心, 2022: 6.

[5] 官声欣, 周涛, 丁俊杰. 轮胎力传递率试验影响因素的研究[J]. 橡胶科技, 2023, 21(2): 94-97.