

# 轮胎动平衡检测设备的技术方案

苏英南

(天津赛象科技股份有限公司, 天津 300384)

**摘要:** 伴随着“中国制造 2025”的到来, 创新已经成为制造业发展的全局核心位置, 本文以振动理论为依据, 提出一种全新的检测轮胎动平衡的方法, 通过轮胎模态, 共振频率的研究来判断轮胎是否达到动平衡, 此方法对比传统方法的优点是高效、便捷。

**关键词:** 动平衡; 简谐振动; 频率; 模态

**中图分类号:** TQ330.492

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)06-0040-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.06.009

随着我国经济的快速发展, 汽车已经成为现代社会生活中不可或缺的交通工具, 而轮胎作为汽车的重要部件之一, 它直接和路面接触, 与汽车的悬架共同缓和汽车在行驶时所造成的冲击, 就能保证汽车具有良好的舒适性和行驶平顺性并且也能保证车轮和路面有良好的附着性, 提高汽车的牵引性, 制动性和通过性, 承受着汽车的重量。轮胎动平衡是指汽车的轮胎在高速旋转时可以保持一个相对稳定的状态, 从而可以保证汽车的正常行驶。而当轮胎动平衡失效时, 就会导致汽车在行驶的过程中出现严重的颠簸感, 异常抖动, 油耗增加, 轮胎磨损异常等情况, 这会缩短轮胎使用寿命, 甚至会让行驶安全受到威胁。所以轮胎能否达到动平衡状态至关重要。

## 1 原理分析

动平衡的概念: 当刚体转轴通过质心且为惯性主轴时, 刚体转动时, 不出现轴承附加约束力, 这种现象称为动平衡。由于轮胎属于轴对称模型, 当轮胎沿着中心回转轴回转时, 中心回转轴就是它的惯性主轴。所以中心回转轴是否通过质心尤为重要。质心的位置与各质量点的质量大小和分布的相对位置有关, 在理想状态下设计出来的轮胎都满足动平衡的要求, 但是由于轮胎是由纤维, 钢丝, 橡胶等多种材料复合而成的环形弹性体, 由于生产工艺设计因素, 加工制造的误差导致轮胎出现失圆, 会出现动不平衡的现象, 产生这种现象的主要原因是, 轮胎是不完全平均的, 对称的, 这种不均匀性主要体现在轮胎的尺寸, 力, 质量的不均匀。尺寸的不均匀主要体现在轮胎的外形

尺寸, 它不是理论意义上的“圆”, 而是一个近似的圆。力的不均匀性主要体现在轮胎的径向力偏差, 侧向力偏差。质量不均匀体现在轮胎的一侧增加了部分质量, 或者减少了部分质量。导致惯性主轴无法穿过质心。本文主要讨论质量不均匀检测和改善问题。

目前轮胎动平衡的检测原理, 主要是通过动平衡机实现的。首先需要启动电机带动轮胎旋转, 由于轮胎中具有不平衡的参数存在, 使得轮胎各方向上施加于压电传感器上的离心力被转换成电信号。通过对该信号连续测量, 再由计算机系统对该信号进行分析, 计算出不平衡的大小及参量最小位置, 并由显示系统显示出来。最后, 通过人工或者辅助装置在相应位置进行加重或者去重, 从而达到动平衡的目的。但是这种检测方法比较单一, 不能批量检测, 在需要检测轮胎数量多的时候增加了时间成本、人力成本、制造成本、而且还会增加生产的危险性、一致性不统一等缺点。

为了解决这个问题, 本文提出以振动理论为原理设计一种新型的检测装置。通过模态分析去分析轮胎的振动特性, 模态是机械结构固有的, 整体的, 振动特性, 每一个模态具有特定的固有频率, 阻尼比, 模态振型。不同结构的轮胎会产生不同的模态。通过模态分析的方法就能够搞清楚物体在某一易受影响的频率范围内的各阶主要模态的特性, 就可以判断结构在此频段内, 在外部或内部各种振源作用下产生的实际振动响应。具体是通过在轮胎上施加简谐激振力, 检

作者简介: 苏英南 (1993-), 男, 本科, 助理工程师、主要从事机械设计工作。

收稿日期: 2023-11-14

测轮胎某一位置的振幅到达最大值时,观察施加激振力频率的数值。通过频率的数值来判断轮胎是否达到动平衡状态。

## 2 计算

### 2.1 理论计算

#### 2.1.1 强迫振动

当在系统上施加激振力(简谐载荷)或者激振位移(简谐位移)等外部激励时。系统产生持续振动,这类在外部激励作用下所产生的振动称为受迫振动。简谐载荷(位移):激振力(位移)随时间按照正弦或者余弦的规律变化的过程,如图1所示。

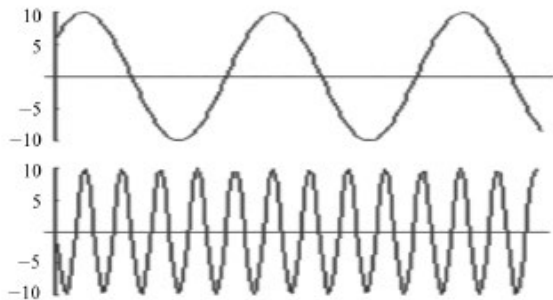


图1 简谐载荷

简谐载荷的计算公式为:

$$F_s = H \sin \omega t$$

其中  $H$  为激振力的幅值,  $\omega$  为激振力的圆频率,  $t$  为时间。

物体的运动微分方程为:

$$mx = -cx - kx + H \sin \omega t$$

其中  $m$  为物体的质量,  $C$  为粘性阻尼系数,  $K$  为刚度系数。

通过整理两边;同时除以  $m$ , 并令:

$$p_n^2 = \frac{k}{m}, 2n = \frac{c}{m}, h = \frac{H}{m}$$

其中  $h$  表示单位质量受到的激振力的幅值,  $p_n$  为固有圆频率是上式可写为:

$$x + 2nx + p_n^2 x = h \sin \omega t$$

这也是自由度受迫振动微分方程,它的解由两部分组成:

$$\ddot{X}(t) = x_1(t) + x_2(t)$$

其中  $x_1(t)$  是齐次微分方程的通解,  $x_2(t)$  非齐次微分方程的特解<sup>[1]</sup>。

$$x_1(t) = Ae^{-nt} \sin(p_n t + a)$$

$$x_2(t) = B \sin \omega t - \sigma$$

由此看出,受迫振动是由两部分组成的,第一部

分是圆频率  $p_n$  的衰减运动,第二部分是圆频率为  $\omega$  的受迫振动。由于阻尼的存在,衰减振动的部分经过一定的时间后会消失。在此之后是稳定的受迫振动。只要激振力继续存在,它就会以激振力的频率进行下去,不会衰减。

这种振幅随时间无限延长的振动称为共振。(共振的前提是激振力的频率等于振动系统固有频率)瞬态解成为<sup>[2]</sup>:

$$x = \frac{F_s t}{2m\omega_n} \cos \omega t$$

#### 2.1.2 固有频率

计算固有频率的两种方法

##### (1) 能量法

对于能量无耗散的振动系统,在自由振动时系统的机械能守恒。则有

$$T + U = \text{常数}$$

其中  $T$  为振动系统的动能,  $U$  为振动系统的势能。

这就是应用与振动系统的能量守恒原理。对时间求导,得:

$$\frac{d}{dt}(T + U) = 0$$

以具体振动系统的能量表达式代入上式,化简后即可得出描述振动系统自由振动的微分方程。

如果取系统平衡位置为势能零点,系统在平衡位置时,系统的势能为零,其中系统动能的最大值  $T_{MAX}$  就是全部的机械能,而在振动系统的极端位置时,系统的动能为零,其势能的最大值  $U_{MAX}$  等于其全部的机械能。由机械能守恒定律,则有

$$T_{MAX} = U_{MAX}$$

只要振动系统是自由振动是简谐振动,则可以由上述方程直接求出系统的固有频率。不需要列出振动微分方程,方便计算,这就是能量法<sup>[3]</sup>。

##### (2) 有限单元法

其基本求解思想是把计算域划分为有限个相互不重叠的单元,在每个单元内,选择一些合适的节点作为求解函数的插值点,将微分方程中的变量改写成由各变量或其导数的节点值与所选用的插值函数组成的线性表达式,借助于变分原理或加权余量法,将微分方程离散求解,

但是由于有限单元法自身的算法问题,会导致系统有多少个自由度就对应几阶模态。一个点有3个平动自由度,刚体有6个自由度,即3个平动自由度和3个旋转自由度,一个连续的弹性体由无限多个微小

的单元组成, 由于每个微小的刚体单元有 6 个自由度, 所以理论上连续的弹性体有无穷多个自由度, 当自由度从有限个变为无穷多个时, 运动方程也从常微分方程变为偏微分方程, 频率由小到大排列, 分别称为一阶, 二阶 ..... $n$  阶固有频率。虽然连续弹性体在理论上有很多阶固有频率 (具体看弹性体划分的分数), 但是大多数情况下我们只关心低阶固有频率或者特定阶的固有频率, 这是因为固有频率越低, 越容易被外界所激励, 高阶频率不同容易被外界激励。另外结构受到特定的激励 (如临界转速, 在恒定转速下运行) 时, 也是只关心特定阶的固有频率<sup>[4]</sup>。

下面将使用有限元分析法来模拟工况和实验进行对比。

## 2.2 有限元分析计算

### 2.2.1 有限元分析简介

有限元分析是对模型进行离散化, 形成有限的多个单元, 然后在对模型进行载荷工况模拟计算, 这样就会使原有复杂计算的量, 分解为很多简单的计算量, 得出计算结果。这种计算结果是必然存在误差的。但是由于实际工况的复杂性, 多样性, 现实生活中是很少能得到精确结果的。但是有限元分析计算出来的结果, 误差不是很大, 精度能够得到保证, 所以成为了目前主流的应用。

### 2.2.2 计算及结果分析

下面通过有限元分析的方法去验证一下的结论。

首先建立两个模型, 一个为达到动平衡的模型, 另一个则是没有达到的动平衡的模型。在模型的底面添加固定约束, 既是轮胎不会在  $XYZ$  3 个轴上不会发生位移 (这是为了与实验保持一致, 在实验中也是有夹具去固定轮胎, 使它不会在  $XYZ$  3 个轴上不会发生位移), 确定两个模型的固有频率, 不同的轮胎在不同的固有频率下所产生的振动形式是不一样的。所以需要记录一段频率内的固有频率。本例记录的是 0~50 Hz 的区间, 由于两个模型的外形相差不多, 所以导致两模型的固有频率和振幅的幅值大小, 振型都相差不多。然后在固定的底面施加简谐载荷的激振, 为 10 N 的激振力。(由于在实验中也是在底部施加激振力为了跟实验保持一致。) 在用探测工具去探测模型的多个测试点的振动响应, 观察振幅数值的大小, 由于现实生活中物体本身是存在阻尼的, 所以它的振幅不可能无限扩大, 但是在设定阻尼的时候可以把阻尼系数设置的比常规的阻尼稍小一些, 以便来观察振幅的幅值的

数值。从而找出它的共振频率。主要是观察两个模型共振频率的差别 (频率规整到整数)。

如图 2 图 3 所示动平衡的轮胎的最大振幅在 12 Hz 左右, 未动平衡轮胎的最大振幅在 44 Hz 左右。由此可见两者在最大振幅的频率数值是存在较大差异的, 可以以此来判断轮胎是否能够达到动平衡状态。

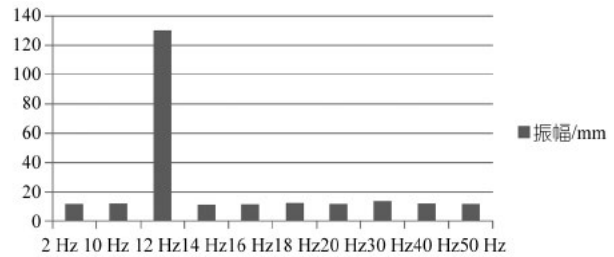


图 2 动平衡轮胎的测试点的振动响应

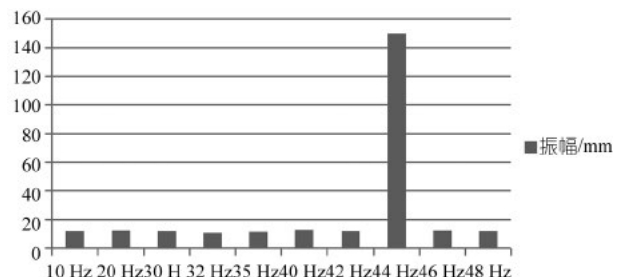


图 3 未动平衡轮胎的测试点的振动响应

## 3 实验

### 3.1 实验设备及功能

把轮胎安装在实验装置上, 实验装置由振动台, 夹具, 振动传感器, 微积分放大器等几部分组成。

#### 3.1.1 振动台

是把被测物体安装在振动平台上, 通过牵连贯性力而激振, 激振力是一个分布力。激振设备产生干扰力使被测物体发生强迫振动, 可以方便的实现在测试实验时被测物体所要求的强迫振动形式<sup>[1]</sup>。

#### 3.1.2 夹具

是连接被测物体和振动台的零件具有固定物体和传递激振力的作用。

振动传感器: 振动传感器是实验部件之一, 它的主要作用是将机械量接受记录下来, 并转换为与之成比例的电量。振动传感器的核心部件是负载加速度传感器, 通常采用谐振型加速度计。振动传感器并不是要将原始要测的机械量转化为电量, 而是将原始要测的机械量作为振动传感器的输入量  $M_a$ , 当物体发生振动时, 加速度传感器会感受到这个振动, 并将其转化为

电信号。然后由机械接收,形成一个适合于变换的机械参量  $M_0$ ,最后由机电变换部分再将  $M_0$  换为电量  $E$ 。

### 3.1.3 微积分放大器

由于振动传感器输出的信号都很微弱,积分放大器可以将输入信号放大到所需幅度,才能让后续设备得到识别,而且振动传感器只能测量一个振动参数。但在实际的工程使用中,往往需要对位移,速度,加速度三个参数进行转换。因此在振动测量系统中都装有微分和积分运算电路,通过微积分运算在位移,速度,加速度三者之间进行转换。所以只要振动传感器测得三个参量中的任意一个,通过微积分电路就可以得到另外两个参量<sup>[1]</sup>。

### 3.1.4 模拟滤波器

滤波器是振动测量和分析线路中经常需要用到的部件,他能使有用的信号顺利通过而对无用的信号进行抑制或衰减的电子装置<sup>[1]</sup>。

### 3.1.5 数据采集记录设备

是将采集到的电信号转换为数字信号储存起来,进行预处理的设备。

## 3.2 实验步骤

具体流程为如图4所示。



图4 实验流程示意图

首先需要给一个达到动平衡的轮胎放到振动台上,在振动台上施加10 N的激振力,施加10 s,把传感器固定在几个特定的位置上,这些位置就是测试点。使得传感器可以记录轮胎在简谐振动下的位移量,通过转化输出经过积分放大器,模拟滤波器。经过计算机处理从而得到有用的频率和振幅。观察频率在何值时振幅最大。这就是标准频率。由于每个轮胎的微观组成都不相同,所以取振幅最大频率的 $\pm 25\%$ 为标准频率。然后再去测试其他的轮胎的测试点在不同频率下的振幅的数值。如果振动幅值在标准频率下幅值为最大的那就说明此轮胎已经达到了动平衡状态。假如没有在标准频率下达到最大值,而是别的频率达到了最大值就说明此轮胎没有达到动平衡的状态。

### 3.3 实验结果和分析

通过大量测试实验表明,可以得出动平衡的轮胎振幅最大值对应的频率,基本是能够在标准频率

$\pm 27.4\%$ 左右的数值。但是没有达到动平衡的轮胎出现的频率却不尽相同,这是由于导致轮胎出现动不平衡的原因有很多种。例如:①使用中的变形或磨损不均匀,使用翻新胎或者垫,补胎。②轮毂、制动盘加工时定心定位不准,加工误差大,非加工面尺寸误差大,热处理变形,使用中变形或者磨损不均匀。③轮毂、制动盘、轮胎螺栓、轮辋、内胎、衬带。轮胎等拆卸后重新组装成车轮时,累积的不平衡质量或行位偏差太大,破坏了原来的平衡等原因。

通过对不同的频率下导致出现动不平衡的原因统计整理发现,可以整理出不同频率对应着出现同不平衡现象的原因。这对后期改善动不平衡现象有着很大的帮助。可以找出质量分布不均的具体位置和质量的多少。通过增加配重和减少局部质量来解决这个问题,从而使轮胎正常使用。

## 4 结论

通过上述理论和实验证明在同种规格和尺寸的轮胎达到动平衡时轮胎振幅最大值的频率是固定的。通过这个特性可以在一个振动台安装多个夹具,可以同时检测多个轮胎是否达到动平衡状态。这样不仅能把人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动以及恶略危险的工作环境中解放出来,极大的提高了生产效率。由于测试流程属于程序控制,所以一致性得到提高,适合批量生产。

从目前来看我国任然处于工业化进程中,制造业与先进国家相比还有较大的差距,制造业大而不强,自主创新薄弱,关键核心技术与高端装备对外依存度高。不过随着“中国制造2025”的提出,也代表从“中国制造”向“中国创造”的转变,也是由“制造业大国”向“制造业强国”的转变,更是信息技术与制造技术的深度融合,以实现国家制造业创新能力的表现。对于我们制造业从业人员也是一个新的挑战!

### 参考文献:

- [1] 刘习军.张素侠主编.工程振动测试技术.北京:机械工业出版社,2016.
- [2] 成大先.机械设计手册(第五版).北京:化学工业出版社,2008.
- [3] 张义民.机械振动(第二版).北京:清华大学出版社,2019.
- [4] 周炬,苏金英.ANSYS Workbench 有限元分析实例详解(动力学).北京:人民邮电出版社,2019.

## Technical solution for tire dynamic balance detection equipment

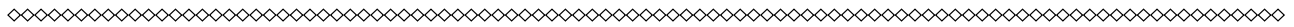
Su Yingnan

(Tianjin Saixiang Technology Co. LTD., Tianjin 300384, China)

**Abstract:** With the arrival of "Made in China 2025", innovation has become the global core of manufacturing development. This article proposes a new method for detecting tire dynamic balance based on vibration theory. The advantage of this method over traditional methods is that it is more efficient and convenient through the study of tire modal and resonance frequency.

**Key words:** dynamic balance; simple harmonic vibration; frequency; modal

(R-03)



## BrightView 公司推出新型聚碳酸酯增亮膜，能够使 LCD 显示器亮度提升 30%

**BrightView launches a new polycarbonate brightening film that can increase LCD display brightness by 30%**

近日，全球领先的视觉智能（Visual Intelligence™）解决方案供应商 BrightView Technologies 宣布推出其新型聚碳酸酯增亮膜（Brightness Enhancing Films, BEFs）。据介绍，这款新型增亮膜设计用于当前的 Mini-LED 背光，经测试它能够让 LCD 显示器亮度提升 30%，进一步提高显示器性能。这种基于新型薄膜堆叠的背光方案将成为当前台式显示器、笔记本电脑、平板电脑和其他定制显示器亮度提升的理想解决方案，它不仅可以帮助客户工程团队实现 LCD 显示器光学效果的极大提升，而且还能同时确保效率不变。

“如众所知，人工智能芯片和其他相关技术的创新正在给许多应用领域带来各种令人兴奋的突破，但我们的产品设计工程师必须在这些技术的进步与光学和电源管理目标之间取得平衡，” BrightView 公司的首席执行官 Jennifer Aspell 对此表示：“我们公司新推出的亮度增益更高的增亮膜，扩展了公司现有的完整显示膜解决方案组合。这种产品的开发，旨在更好地支持处于各领域尖端技术开发前沿的创新者，助力这些客户更好地利用最新的解决方案，使用先进高效的显示膜来优化其产品的视觉智能体验。”

据了解，BrightView 公司所开发的这款增亮膜和传统增亮膜不同的地方有两点：一方面它使用了聚碳酸酯材料作为基材，传统的增亮膜使用 PET 基材；另一方面，这款增亮膜利用了一流的边缘照明和 Mini-LED 微透镜阵列（MLA, Micro Lens Array）堆叠技术，最大限度地提高了亮度和效率，这和传统的“山型”棱镜结构有所不同。该解决方案有助于进一步增加背光输出并最大限度地降低显示器的功耗，使其成为新兴汽车、增强现实、虚拟现实和航空航天应用中最优的光学显示方案。

更具体地，BrightView 这种聚碳酸酯增亮膜采用了创新的 MLA 技术设计，该技术由用于调制和塑造光线的微型透镜阵列组成。与依赖光散射的传统光扩散结构不同，MLA 能够利用光的折射和全内反射来提升性能和效率，另外，他还能更好地实现光均匀性和局部调光性能。目前，BrightView 的 MLA 产品已经得到了该公司卷对卷制造工艺的支持，这有助于促进成本效益地提高，和最终的批量生产。

摘编自 “CINNOResearch”

(R-03)

