

新产品 新技术

汽车轮胎动平衡试验的研究与分析

伍江涛, 夏松茂

(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

摘要: 本文从汽车轮胎动平衡试验出发, 阐述了平衡试验与均匀性试验的关系, 动平衡试验的原理以及试验设备。在重复性试验的基础上表明了试验设备精度对试验结果准确性的影响, 同时陈述了试验条件和不平衡质量的确定方法以及保证试验准确性的建议。

关键词: 动平衡; 静平衡; 力偶平衡; 均匀性

动平衡试验可进行在线检验也可进行实验室检验。尽管在汽车制造厂对配套轮胎的质量要求中, 一般都有对轮胎不平衡量的限制, 如果具有高精度的轮胎生产工艺及装备, 并具备严格的管理和健全的质量保证体系, 可将轮胎不平衡量控制在小的范围内且保持产品质量稳定, 在轮胎生产线上可不对产品的平衡性做在线逐条检验。但对于高性能轮胎尤其是乘用车轮胎, 全面控制其不平衡量是必要的也是重要的。本文从该试验的基本原理出发, 对此项试验进行了初步的研究与分析以供参考。

1 平衡试验与均匀性试验的关系

均匀性试验包括形状对称性、刚性一致性和质量分布平衡性等三个要素。平衡试验为测量轮胎静不平衡量、力偶不平衡量、校正面不平衡量以及它们的圆周位置。

因此, 在均匀性试验机上测量的轮胎力波动中, 应该包含轮胎的不平衡离心力。但由于普通均匀性试验机的轮轴转速太低, 例如: $60\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。不平衡离心力在轮胎力波动中占的比率太小, 不足以反映轮胎质量分布不平衡的程度。

以 175/70R13 轮胎为例, 在 $60\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速下, 位于轮胎校正半径处的 60g 的不平衡质量, 仅产生约 0.4N 的离心力, 其引起的径向力波动只占约 0.5%。因此平衡试验与常规的均匀性试验只能互补, 不能取代。而高速均匀性试验机, 那

就另当别论了, 但目前只在实验室中使用, 尚未用于在线检验。

2 平衡试验原理

2.1 静平衡、力偶平衡和动平衡

轮胎平衡性与车轮激振的关系, 可应用一质点的旋转离心力方程和多质点力系的合成来陈述。

物体以恒速绕定轴旋转时, 所产生的不平衡力均起源于离心力。离心力的方向垂直于定轴并向外拉定轴, 它作用在定轴上的力值不变, 其方向与时间的关系呈正弦函数的变化规律。多质点力系可以用平行四边形法进行矢量叠加, 合成为等效的单一质点力系。

轮胎和其他车轮都属于质量连续分布系统, 单一质点系和等效质点系说明该连续系统中某点(如重点)的力学行为是有效的, 但要全面表述该连续系统则需要引入质心位置和转动惯量的概念。质心位置用于表述定轴的平动。如果轮胎的质心位于旋转轴线上, 作用于定轴上的平动合力就等于零, 即为静平衡。当轮胎的质心偏离旋转轴线时, 定轴上的平动合力即不平衡离心力, 此时为静不平衡。轮胎的静不平衡量等于轮胎质量乘以质心偏心距。

在质量连续分布系统中, 惯量是供表述定轴的转动用的。如果轮胎的主惯性轴与旋转轴线重合或平行时, 作用于定轴上的合力矩等于零, 即为力偶平衡。当轮胎的主惯性轴与旋转轴线不重合

但在质心相交时, 作用于定轴上的合力矩为不平衡离心力力偶矩, 此时为力偶不平衡。力偶不平衡量等于轮胎的轴向惯量减去径向惯量后乘以轮胎主惯性轴与旋转轴线之间的夹角(因为当该夹角以 rad 为单位时, $\sin\alpha \approx \alpha$)再除以校正面间距。

实际上, 轮胎的不平衡大多是由静不平衡和力偶不平衡合成的不平衡, 即为动不平衡。动不平衡轮胎的主惯轴与旋转轴线既不平行也不在质心相交, 因此它在旋转时会产生不平衡的离心力及其力偶矩。

静平衡、力偶平衡和动平衡是轮胎平衡性中的术语。前两者为力学行为不同的两个术语, 后者系前两者的综合性术语。但有时把力偶平衡与动平衡等同起来, 以致产生动平衡试验只能测量力偶不平衡量而不能测量静不平衡量的看法。

2.2 静平衡试验与动平衡试验

静平衡与力偶平衡之间的区别可归结为以下三点。首先, 静平衡表示在二维平面内的轮胎质量分布状况, 力偶平衡指轮胎质量在第三维的分布状况, 因此也可把前者称为单面平衡, 而后者则为双面平衡。其次, 质量分布平衡性是通过测量其所产生的力或力矩间接地评定的, 静平衡作为力的平衡进行测定, 而力偶平衡则作为力矩的平衡予以认可。再之, 静不平衡量可以单独进行测量, 但力偶不平衡量和静不平衡量同存于动不平衡量中, 需要通过运算将力偶不平衡量和静不平衡量从测量值中分解出来。所以, 轮胎平衡试验按测量项目分为静平衡试验和动平衡试验两类。

静平衡试验可以采用测量静止轮胎(呈水平姿态或站立姿态)圆周上的不平衡重力的方法, 也可通过测量旋转轮胎上的不平衡离心力的方法。动平衡试验只能在轮胎旋转时进行, 通过测量它的不平衡离心力和不平衡力矩, 获得轮胎的静不平衡量、力偶不平衡量和它们的重点位置。也就是说, 静平衡试验只能测定轮胎的静不平衡, 而动平衡试验能测定静和力偶两者的不平衡。

2.3 平衡表征

轮胎如同其他旋转体都采用不平衡量即不平衡质量与其位置半径的乘积来表示平衡性, 其单位为 $g \cdot cm$ 。这意味重点的径向位置在轮胎半径范围内是可变的, 且不平衡质量也随之改变。为了避免上述不确定性, 按照平衡配重的实际位置

和国际惯例, GB/T18505 对静不平衡量和力偶不平衡量中的位置半径作出了规定, 并将该半径定义为校正半径。校正半径为轮胎平衡配重中心位置至轮轴中心线的距离。

力偶不平衡量是由力偶矩不平衡量简化而得。在力偶不平衡量中含有重点的径向和横向两个位置尺寸因素。因此除校正半径外, 横向位置尺寸为校正面间距。它的定义是在供平衡配重用的轮胎两侧对称的两个旋转平面之间的距离。在呈水平姿态的轮胎上的校正面分别称为上校正面和下校正面。

静不平衡和力偶不平衡在轮胎圆周上的位置用重点位置角表示。它的定义是产生不平衡的重点与指定基准点之间的圆周夹角。力偶不平衡的重点位置角以上校正面为准, 下校正面的重点位置角应等于上校正面的重点位置角再加 180° 。

2.4 静不平衡和力偶不平衡的合成

为了便于给不平衡轮胎配重, 需要计算出轮胎两个校正面上位于校正半径处的不平衡质量和重点位置角。计算上和下校正面的不平衡质量的不平衡质量的公式如下:

$$m_u = \left[\left(\frac{U_s}{2R} \right)^2 + \left(\frac{U_c}{R} \right)^2 - \left(\frac{U_s}{R} \right) \left(\frac{U_c}{R} \right) \cos(180^\circ - \gamma_s + \gamma_c) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$m_l = \left[\left(\frac{U_s}{2R} \right)^2 + \left(\frac{U_c}{R} \right)^2 - \left(\frac{U_s}{R} \right) \left(\frac{U_c}{R} \right) \cos(\gamma_s + \gamma_c) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中: m_u —— 上校正面不平衡质量, g;

m_l —— 下校正面不平衡质量, g;

U_s —— 静不平衡量, $g \cdot cm$;

U_c —— 力偶不平衡量, $g \cdot cm$;

R —— 校正半径, cm;

γ_s —— 静不平衡的重点位置角, $^\circ$;

γ_c —— 力偶不平衡的重点位置角, $^\circ$ 。

计算两个校正面不平衡的重点位置角, 用公式计算。

$$\theta_u = \cos^{-1} \left[\frac{\left(m_u \right)^2 + \left(\frac{U_c}{R} \right)^2 - \left(\frac{U_s}{2R} \right)^2}{\frac{2m_u U_c}{R}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中: θ_u —— m_u 与 U_c/R 之间的夹角, $^\circ$;

其它符号的解释与公式(1)相同。

因为 $180^\circ > \gamma_s - \gamma_c > 0$, 故上校正面不平衡的重点位置角 $\gamma_u = \gamma_c - \theta_u$ 。但在实际应用中会出现 4 种图形, 其所应用的计算公式见表 1。上述分析也适用于轮胎的下校正面, 求得用于计算 θ_l 的如下公式。下校正面重点位置角的计算公式见表 1。

$$\theta_l = \cos^{-1} \left[\frac{(m_l)^2 + \left(\frac{U_c}{R}\right)^2 - \left(\frac{U_s}{2R}\right)^2}{\frac{2m_l U_c}{R}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中: θ_l —— m_l 与 U_c/R 之间的夹角, $^\circ$;
其它符号的解释与公式 (1) 相同。

表 1 校正面重点位置角的计算公式

图形	上校正面	下校正面
$180^\circ > \gamma_s - \gamma_c \geq 0^\circ$	$\gamma_u = \gamma_c - \theta_u$	$\gamma_\lambda = \gamma_c + 180^\circ - \theta_l$
$\gamma_s - \gamma_c \geq 180^\circ$	$\gamma_u = \gamma_c - \theta_u$	$\gamma_\lambda = \gamma_c + 180^\circ + \theta_l$
$180^\circ > \gamma_s - \gamma_c \geq 0^\circ$	$\gamma_u = \gamma_c + \theta_u$	$\gamma_\lambda = \gamma_c + 180^\circ + \theta_l$
$\gamma_s - \gamma_c \geq 180^\circ$	$\gamma_u = \gamma_c + \theta_u$	$\gamma_\lambda = \gamma_c + 180^\circ - \theta_l$

3 动平衡试验机

3.1 类型

用于测量轮胎的静不平衡量、力偶不平衡量和它们的重点位置角的试验设备称为轮胎动平衡试验机。为给平衡配重提供信息, 有些试验设备以轮胎的两个校正面不平衡质量和它们的重点位置角作为最终试验数据, 因为这些数据都是由静不平衡和力偶不平衡的测量值计算而得, 故这类试验设备也系轮胎动平衡试验机。

动平衡试验机按试验对象分为车轮用的和轮胎专用的两类。由前者得到的测量数据轮胎和轮辋组合体的综合结果, 在后者获得的数据中则剔除了试验轮辋及其他非轮胎部件的成分, 可以认为是纯轮胎的。动平衡试验机按轮胎放置姿态又分为立式和卧式。立式一般用于实验室和汽车维修部门; 卧式的自动化程度高, 效率也高, 都用于轮胎厂和轮辋厂的生产线上。早期很多的动平衡试验机和静平衡试验机, 它们的轮轴采用软支座, 允许轮轴有一定范围的摆动, 通过测量轮轴的摆动量获得轮胎不平衡数据。现代的轮胎动平衡试验机的轮轴大多采用硬支座, 摆动量极其微小, 一般采取测量轮轴力的方法。

目前, 在我国的轿车轮胎生产中普遍使用的平衡试验设备是卧式、硬支座、测力型的轮胎专用动平衡试验机。据初步统计, 投入使用的上述设备已有几十余台, 各生产配套用轿车轮胎的企业都拥有, 主要机型有美国 Micro poise 公司生产的 AIT-238 型和日本国际计测器公司生产的 FABM-6142 型。

3.2 轮轴转速

在动平衡试验中, 轮胎质量分布平衡与否是通过测量旋转轮胎的不平衡离心力和力矩来确定的, 离心力又与角速度的平方成正比, 所以轮辋转速是否稳定直接影响测量精度。例如, 1% 的转速偏差将引起 2% 的不平衡量变化。再则, 虽然轮轴转速的高低主要取决于测力传感器的灵敏度, 但轮胎属于粘弹性体, 它的断面形状在离心力作用下会发生变形, 因此轮胎的质心偏心距和转动惯量均可视为转速的函数。为了保证测量数据的精度和不同机台测量数据的可比性, 必须对轮轴转速的范围和精度提出要求。对它们的要求有:

转速范围: $200 \sim 500 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$; 转速精度: 测量转速的 $\pm 0.5\%$ 。

目前, 国内在用的主要机型的轮轴转速为 $250 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ (AIT-238 型) 和 $400 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ (FABM-6142 型), 个别也有 $650 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的。随着试验机采用高灵敏度传感器和其他先进技术, 应逐步缩小轮轴转速的范围, 以减少试验误差。

(未完待续)

▲继双星全钢子午线轮胎获“中国名牌”产品之后, 近日, 双星轮胎公司再获殊荣: 在中国质量监督协会和中国质量标准研究中心组织的 2004~2005 年度“中国市场知名品牌质量、信誉、服务满意单位”调查活动中, 双星轮胎公司荣获中国轮胎行业“十大明星企业”称号。王开良

▲桂林化工机械厂自去年 4 月 1 日被桂林橡胶机械厂兼并之后, 经过调整、改革, 焕发了新的希望, 去年 6 月份开始揽活, 仅半年就完成 950 万元, 今年要突破 4000 万元。经过 3~5 年的努力, 要把小化机变为大化机, 产值要达到 1 个亿, 成为橡胶厂新的增长点。赵玉成