FTBDB-6142 轮胎动平衡实验机的应用

夏磊正，马　军
（银川佳通轮胎有限公司，宁夏 银川　750011）

摘要：阐述了轮胎不平衡性对车辆行驶的影响，对轮胎动平衡进行力学分析，简要介绍了日本国际计测器株式会社 FTBDB-6142 轮胎动平衡实验机检测校正原理及应用实例。

关键词：轮胎；动平衡实验机；校正；离心力

为提高轮胎高速行驶的安全性和乘坐舒适性，各轮胎生产企业均通过采用轮胎动平衡/不圆度实验机等对轮胎的内在品质进行检测，以指导和优化生产制造过程，从而达到真正提高产品内在质量的目的。为了保证实验精度以及满足大批量、高效率的生产要求，高效、高精度轮胎动平衡/不圆度实验机成为各轮胎生产厂家的必然选择。本公司就选用了日本国际计测器株式会社生产的 FTBDB-6142 直立式动平衡/不圆度两用实验机来测试成品轮胎的动平衡性能。

1　轮胎静不平衡、动不平衡的产生及对车辆行驶的影响

任何一个回转体在旋转时，可以看作其体内的无数个微小质点在绕轴心作旋转运动，并因此产生离心惯性力，这些离心惯性力组成一个惯性力系，作用在回转体上，使之产生弯曲变形。弯曲变形改变了质点到旋转轴心的距离，使离心惯性力大小发生变化，又使回转体产生新的弯曲变形。如此反复，直到抵抗弯曲变形的弹性恢复力与离心惯性力平衡为止。

轮胎行驶过程中作为回转体，由于制造上的原因，其各部分的质量分布不可能非常均匀，如在成型材料贴合或硫化过程中造成的轮胎胎坯骨架材料与橡胶材料分布不均。轮胎质心与旋转中心不重合，则会产生静不平衡，此时不平衡质量会在轮胎旋转时产生离心力，离心力大小与不平衡质量，不平衡点与轮胎旋转中心之间的距离和轮胎转速有关。由于轮胎具有一定的宽度，因此当轮胎质量分布相对于轮胎纵向中心面不对称时，会造成轮胎动不平衡。

质量分布不平衡的轮胎在高速旋转时由于静不平衡质量产生的离心力会产生径向力波动，动不平衡质量的离心力会产生侧向力波动，影响汽车的操纵稳定性、乘坐舒适性，增大噪声，加快机件疲劳和轮胎的磨损，因此必须把轮胎的不平衡量控制在一定界限之内。

2　轮胎不平衡的力学分析

由于动平衡的回转体一定处于静平衡状态，因此，我们只要检测了轮胎的动平衡，就没有必要再检测静平衡，静不平衡量可以通过动不平衡矢量和演算得出。轮胎作为柔性回转体旋转时，在离心力作用下会发生变形，实际重心与旋转中心的距离即重心偏心距会因转速增加而增大。按照汽车轮胎动平衡试验方法国家标准，静不平衡量等于轮胎质量乘以重心偏心距。当轮胎旋转时，静不平衡产生垂直于轮轴的离心力，计算公式见式(1)。

$$F_a = m \times e \times \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \times 10^{-5} \qquad (1)$$

式中　F_a——不平衡离心力，N；

m——轮胎质量，g；

e——重心偏心距，cm；

n——转速，$r \cdot min^{-1}$。

平衡配重用的轮胎两侧对称的两个旋转平面被称为校正面，实际的轮胎可以简化为一个圆柱

体，轮胎旋转时若呈水平状态，校正面也可叫做上校正面和下校正面。在恒定转速下，上下两个校正面不平衡质点在离心力的作用下组成不平衡力偶，不平衡力偶产生垂直作用于轮轴的力矩。力学构成示意见图 1，计算公式见式(2)和(3)。

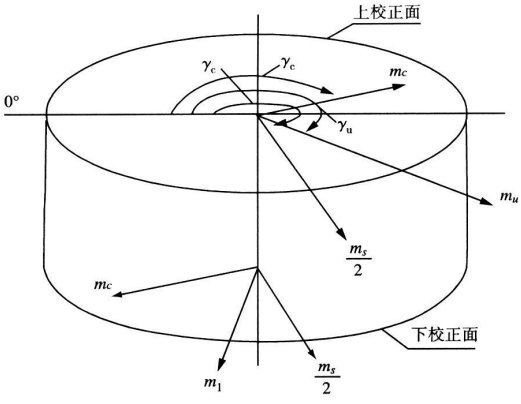

图 1 力学构成示意

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

$$m_l=[(\frac{U_s}{2R})^2+(\frac{U_c}{R})^2-(\frac{U_s}{R})(\frac{U_c}{R})\cos(\gamma_s-\gamma_c)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中 m_u——上校正面不平衡质量，g；

m_l——下校正面不平衡质量，g；

m_s——静不平衡质量，g；

m_c——力偶不平衡质量，g；

U_s——静不平衡量，g·cm；

U_c——力偶不平衡量，g·cm；

R——校正半径，cm；

γ_s——静不平衡的重点位置角，(°)；

γ_c——力偶不平衡的重点位置角，(°)。

3 FTBDB-6142 轮胎动平衡实验机的应用

我公司动平衡实验机测量内容包括轮胎上面、下面不平衡量及其角度，静合成不平衡量及其角度，力偶不平衡量及其角度。由上述力学分析可知，恒定转速下轮胎的不平衡会在主轴上产生力和力矩作用，由于轮胎个体性状是相对稳定的，上述作用会使刚性主轴上产生周期稳定的交变振动，这样就可以通过对主轴振动的检测分析来实现对轮胎动不平衡的检测。我公司电气测控系统硬件构成见图 2。

通过主轴编码器脉冲信号(512×4)和轮辋零度检测开关上升沿信号作为上下压力传感器 A/D 采样的同步信号，通过软件程序对信号的频谱进行数字滤波算法及其它频谱分析算法，提取与主轴轮胎转速同频的有效信号，计算出信号的幅值和相角等有关数据，最终演算出所有需要的平衡测试项目。由离心力计算公式 $F=m\omega^2 r$ 可知，离心力是与角速度的平方成正比，不平衡量具有很大的速度敏感性。所以主轴转速测量的准确性及实时性直接影响系统的测量精度。而本设备中主轴与伺服电机是通过传动皮带相连，有可能会出现皮带打滑现象，为保证国标对测量转速 ±0.5%的要求，不能用伺服电机编码器作为主轴转速及转角的半闭环监测方法，而独立设置了 512PULSE 增量型编码器来实时闭环检测主轴的转速及转角。上下轮辋均设置了 0°位置检测，可以演算出测试机构上下校正面的角度偏差，因此更容易保证检测结果的角度精度。

用于装配测试轮胎的轮辋及旋转机构在执行实际测试工作时由于存在误差，即机械机构重心偏心，在测量不平衡量值时，会测量到由机构重心偏心因素引起的轮胎不平衡量以外的主轴振动量。为了正确测量轮胎的不平衡量值，必须利用平衡偏心校正将测试机构本身的不平衡量值从测量结果中剔除。我公司动平衡实验机利用平衡偏心校正，通过对同一条轮胎 8 个方向的测量，演算求得测试机构本身的不平衡量值。下面以某条轮胎进行平衡偏心校正的测试数据为例，来说明偏心校正的演算方法。

机构的不平衡量值为表 1 数据的矢量和，结果为：机构的上不平衡量为 19.0 g(114.6°)，机构的下不平衡量为 12.4 g(321.2°)。

为了保证上下校正面测试数据的精度，必须对设备进行量校正，量校正相当于对设备进行标定，即利用标称砝码校正测量系统的演算因数，使校正面间距确定的上下两校正面在校正半径的某一指定角度位置处加装标称砝码后，测试的量值、角度与标称量值、角度的误差满足测试精度要求。

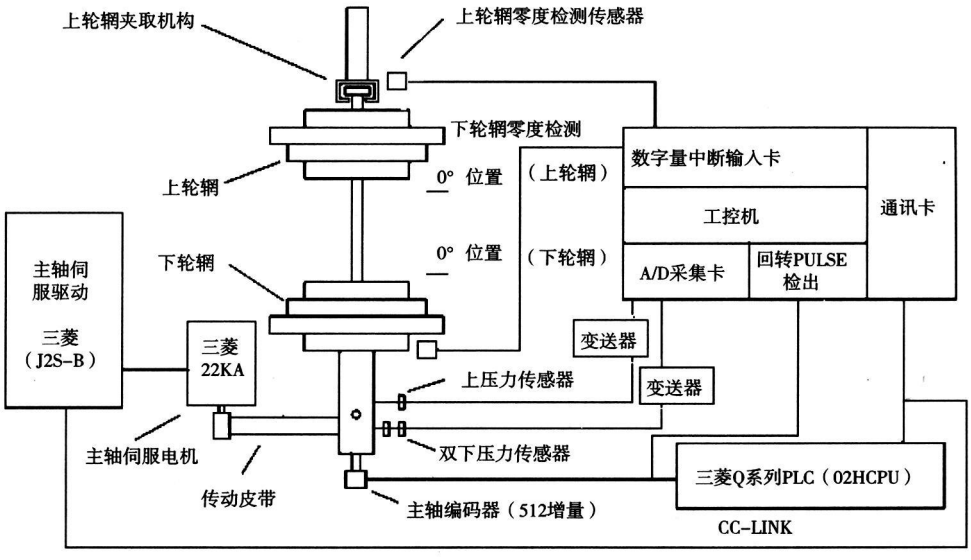

图 **2**　轮胎动平衡实验机测控系统

表 **1**　平衡偏心校正过程中 **8** 个方向的测试数据

测定角度/(°)	上不平衡量/g [角度/(°)]	下不平衡量/g [角度/(°)]
0	83.9(351.4)	84.5(163.5)
45	75.7(356.2)	77.6(168.5)
90	59.4(306.1)	69.0(119.5)
135	60.3(236.8)	71.9(59.5)
180	88.8(187.8)	94.5(13.2)
225	110.3(151.6)	109.7(335.8)
270	117.0(117.2)	113.3(299.3)
315	111.0(82.5)	104.1(261.7)

下面同样以某条轮胎进行平衡量校正的测试数据为例，来说明量校正的演算方法。

量校正模式下某一轮胎的测试过程数据。

正常测试时，轮胎上不平衡量为 110.5 g(82.2°)，轮胎下不平衡量为 103.2 g(261.4°)。

上标定位加 100.1 g 砝码时，轮胎上不平衡量为 173.5 g(150.5°)，轮胎下不平衡量为 187.7 g(330.3°)。

下标定位加 100.1 g 砝码时，轮胎上不平衡量为 127.1 g(150.8°)，轮胎下不平衡量为 111.7 g(330.8°)。

演算出校正因数：K_L 为 1.081 473(179.8°)，K_R 为 1.138 269(180.0°)，K_1 为 2.496 893(30.4°)，K_2 为 3.878 998(210.1°)。

逆推出标定质量：上标定位加载时，上标定量为 100.1 g(0.0°)，下不平衡量为 0.0 g(270.6°)；下标定位加载时，上标定量为 0.0 g(30.4°)，下不平衡量为 100.1 g(0.0°)。

量校正完成后，可利用 0 校正将当前轮胎测试值清零后，利用标称砝码检验实验机精度。如 0 校正后测试值，轮胎上不平衡量为 0.0 g(0°)，轮胎下不平衡量为 0.0 g(0°)；上标定位加 100.1 g 砝码测试值，轮胎上不平衡量为 102.7 g(0°)，轮胎下不平衡量为 3.7 g(188°)；下标定位加 100.1 g 砝码测试值，轮胎上不平衡量为 2.5 g(55°)，轮胎下不平衡量为 97.5 g(358°)，即满足设备检测上面或下面附加 100.1 g 砝码时，对自身及对面之影响满足 ±4 g 的精度要求。

设备在校正完毕，整套旋转机构及校正间距未发生变化的情况下，可继续执行正常的检测任务。

参考文献：略

▲近日，由山东宏宇工程设备有限公司和南京海恩国际集团有限公司共同投资 8.2 亿元的山东亿诺巨型工程机械子午线轮胎项目在滕州开工。　　陈维芳