

轮胎垂直滚动动态刚度和阻尼的研究

葛剑敏¹, 刘春辉¹, 郑联珠²

[1. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所, 上海 200072; 2. 吉林工业大学 汽车学院, 吉林 长春 130025]

摘要:介绍了轮胎垂直滚动动态刚度和阻尼的测试装置及原理,并用经过改进的测试装置测量了平坦路面上轮胎的垂直滚动动态刚度和阻尼,回归出轮胎垂直滚动动态刚度和阻尼的半经验公式。得出了随着轮胎滚动速度的增大,轮胎的垂直动态刚度和阻尼逐渐减小的结论。

关键词:轮胎;动态刚度;动态阻尼;角速度

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2000)12-0707-03

轮胎作为车辆和地面之间的传力元件,其动态特性对车辆的振动和轮胎下地面的变形及破坏有很大影响。尤其当汽车在不平路面或无路地区行驶时,土壤的弹性及地面的不平度会引起行走系统及车身的垂直振动和传动系统的扭转振动。振动不仅限制了汽车的行驶速度,同时也使土壤的内摩擦力降低,严重地影响汽车的通过性能^[1~3]。因此在由汽车与地面构成的复杂振动系统中,轮胎的刚度和阻尼对系统的振动和通过性有着重要的影响。轮胎参数的测量方法分为静态和动态测量法^[4~6]。静态测量法只能测量出轮胎的静态刚度,动态测量法又分为滚动动态测量法和不滚动动态测量法。本工作采用滚动动态测量法,利用如图 1 所示的装置^[7]对轮胎垂直滚动动态刚度和阻尼进行测试,其目的是通过试验确定轮胎在滚动状态下垂直刚度和阻尼的变化规律。

1 轮胎动态刚度和阻尼测量装置及原理

1.1 测量装置简介

轮胎的垂直滚动动态刚度和阻尼测试装置简图如图 2 所示^[6]。为了使测试装置能独立行驶并起导向作用以产生自由振动,在拖拉机与测试装置之间安装了同步和导向装置。长春-40

拖拉机一方面作为液压动力系统的动力源,另一方面与导向装置连接起导向作用,通过拖拉机上的手油门并配合测试装置上的调速阀来调节驱动轮的转速。测量装置的动力系统主要由齿轮泵、分配器、调速阀和液压马达构成。液压驱动马达选用 1QJM21-1.25 型,标定扭矩为 2 kN·m;实际车轮最大线速度可以达到 10 km·h⁻¹左右;最大牵引力可以达到 5.6 kN。系统的压力经应变式压力传感器转换和动态应变仪放大由磁带机记录下来,压力表为调节驱动轮的驱动力提供参考。

测量仪器包括测量驱动轮扭矩动态变化的油压压力传感器、驱动轮垂直和水平加速度传感器、脉冲转速传感器、拉压传感器、动态应变仪、电荷放大器和磁带机。



图 1 轮胎动态参数测试装置实物图

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59375190)

作者简介:葛剑敏(1963-),男,河南洛阳人,上海同济大学在读博士后,主要从事轮胎噪声与振动方面的研究。

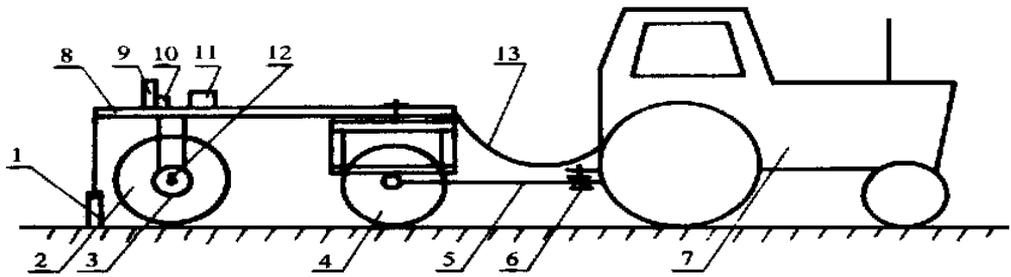


图2 轮胎动态参数测量装置简图

1—液压千斤顶;2—被测试轮胎;3—液压马达;4—测试装置导向轮;5—滑杆与三角架总成;6—滑套;7—拖拉机;
8—测试装置框架;9—机油滤清器;10—溢流阀;11—调速阀;12—加速度传感器;13—液压油管

1.2 测试原理

用液压千斤顶将测试装置支撑起来,使驱动轮刚好离开地面,通过手油门和调速阀来调整液压马达的流量使驱动轮以某一速度平稳旋转。突然去掉支撑使测试装置产生垂直振动并以一定的速度行驶,同时控制拖拉机与测试装置同步行驶,用磁带机记录测试装置垂直自由衰减振动加速度和半轴扭矩信号,经过处理可以得到轮胎的垂直动态刚度和阻尼。为保证测量精度,每一工况都重复2~3次。动力学模型如图3所示。

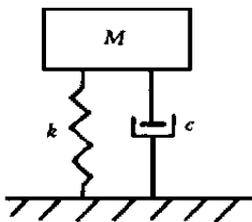


图3 轮胎垂直动态刚度和阻尼测试模型

M—测试装置轮轴上的垂直载荷;c—轮胎的垂直动态阻尼;k—轮胎的垂直动态刚度

其数学模型为:

$$M\ddot{Z} + c\dot{Z} + kZ = 0$$

式中 Z—轮胎垂直方向振动的位移;
 \dot{Z} —轮胎垂直方向振动的速度;
 \ddot{Z} —轮胎垂直方向振动的加速度。
 轮胎的垂直动态刚度 k_i 可以表示为:

$$k_i = \frac{(2/T_i)^2 M}{1 - 2}$$

轮胎的垂直动态阻尼 c_i 可以表示为:

$$c_i = 2 \sqrt{k_i M} = \frac{2}{T_i} \ln\left(\frac{\dot{Z}_i}{\dot{Z}_{i+1}}\right) M$$

式中 T_i —振动周期;

—振动的衰减因数, $= \frac{2}{\sqrt{(2)^2 + 2}}$;

—振动的衰减比, $= \ln(Z_i/Z_{i+1})$;
 Z_i, Z_{i+1} —分别为第 i 点和第 $i+1$ 点的垂直振动加速度。

2 结果与讨论

采用 6.50 - 16 型轮胎,在垂直载荷为 5.20 kN、轮胎气压分别为 320,240 和 160 kPa 及速度小于 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的条件下,轮胎垂直动态刚度和阻尼与轮胎滚动速度的关系见图 4 和 5。由图 4 和 5 可知,随着轮胎滚动速度的提高,轮胎垂直动态刚度和阻尼先减小得较快,而后比较缓慢。这是由于轮胎滚动时地面驱动力或滚动阻力的作用,使轮胎的径向变形增大造成的。随着轮胎气压的增大,轮胎胎体的径向变形减小,弹性迟滞损失减小,因此阻尼减小。

从试验结果看,轮胎垂直动态刚度与轮胎滚动速度之间呈指数变化关系,因此用指数方

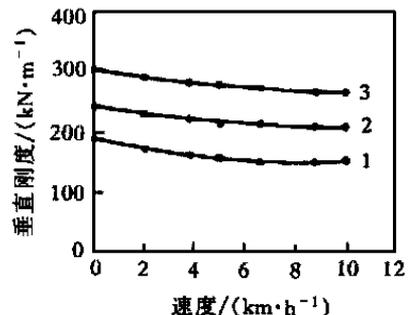


图4 轮胎垂直动态刚度与滚动速度关系曲线

1—轮胎气压为 160 kPa;2—轮胎气压为 240 kPa;
 3—轮胎气压为 320 kPa

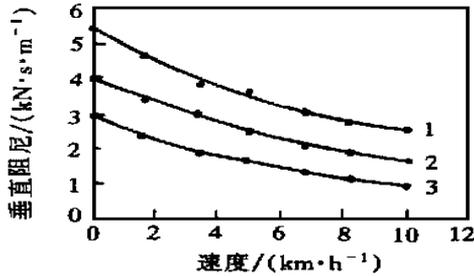


图 5 轮胎垂直动态阻尼与滚动速度关系曲线
注同图 4

程回归,从而得到平坦路面轮胎垂直动态刚度与轮胎滚动速度关系的半经验公式为:

$$k = k_s \cdot \exp(-kV)$$

式中 k_s ——轮胎的静态垂直刚度,本试验轮胎为 $245 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$;
 k ——轮胎的动态垂直刚度回归方程因数,本试验轮胎为 0.111。

同理可以得到平坦路面轮胎垂直动态阻尼与轮胎滚动速度关系的半经验公式:

$$c = c_s \cdot \exp(-cV)$$

式中 c_s ——轮胎的静态垂直阻尼,本试验轮胎为 $2.950 \text{ kN} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$;
 c ——轮胎的动态垂直阻尼回归方程因数,本试验条件下为 0.810。

轮胎瞬时滚动速度 V 为:

$$V = V_0 + r_e$$

式中 V_0 ——轮胎滚动的平均速度;
 r_e ——轮胎的滚动半径;
——轮胎滚动的角速度。

不平路面轮胎垂直阻尼 c_R 可表示为:

$$c_R = c$$

式中 ——路面不平度影响因数, 1。

回归方程的最大偏差在 7% ~ 10% 内,最大均方根差在 10% ~ 16% 内。

3 结论

本工作测量了平直路面上轮胎的垂直滚动动态刚度与阻尼,并回归出轮胎垂直动态刚度与阻尼的半经验公式,得出了随着轮胎滚动速度的增大,轮胎的垂直动态刚度与阻尼逐渐减小的结论。

参考文献:

- [1] Captain K M, Boghani A B, Wormley D N. Analytical tire models for dynamic vehicle simulation [J]. Vehicle System Dynamics, 1979, 8: 1-32.
- [2] Misun V. Simulation of the interaction between vehicle wheel and the unevenness of road surface [J]. Vehicle System Dynamics, 1990, 19: 237-253.
- [3] Bruni S, Cheli F, Resta F. On the identification in time domain of the parameters of a tyre model for the study of in-plane dynamics [J]. Vehicle System Dynamics (Supplement), 1997, 27: 136-150.
- [4] 庄继德. 汽车轮胎学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996. 98-109, 273-320.
- [5] 黄祖永. 地面车辆原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985. 31-67.
- [6] 葛剑敏. 车辆自激振动机理与试验研究 [D]. 吉林: 吉林工业大学, 1998.
- [7] 刘明树. 导致车辆振动的软路面不平度的试验与理论研究 [D]. 吉林: 吉林工业大学, 1996.

收稿日期: 2000-07-07

Study on vertical dynamic stiffness and damp of running tire

GE Jian-min¹, LIU Chun-hui¹, ZHENG Lian-zhu²

[1. Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd., Shanghai 200072, China; 2. Jilin University of Technology, Changchun 130025, China]

Abstract: The principle and instrument for measuring the vertical dynamic stiffness and damp of a running tire was described. The vertical dynamic stiffness and damp of the tire running on a flat road was measured with the modified instrument and a semi-experiential regressive formula for the dynamic stiffness and damp of a running tire was set up. It was concluded that the vertical dynamic stiffness and damp decreased as the running speed of the tire increased.

Key words: tire; dynamic stiffness; dynamic damp; angular speed