

工艺·设备

# 轮胎均匀性检测设备对加载力的控制

胡建光<sup>1</sup>,戴柏炯<sup>1</sup>,姜超浪<sup>2</sup>

(1. 杭州朝阳橡胶有限公司,浙江 杭州 310018;2. 北京朗胜峰测控科技有限公司,北京 102300)

**摘要:**均匀性检测设备对轮胎力的加载是通过对负荷轮的位置控制间接实现的,为此运用计算机软件中的二次曲线拟合实时获取轮胎的加载力的计算公式,从而得到标准加载力的负荷轮位置并传给可编程逻辑控制器(PLC),PLC通过步序程序控制负荷轮的动作,并会同伺服控制系统完成负荷轮的精准定位。

**关键词:**轮胎均匀性;检测设备;加载力;负荷轮;位置控制;二次曲线拟合;力学分析

**中图分类号:**TQ336.1;TQ330.4<sup>+</sup>93

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2022)04-0304-04

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2022.04.0304



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎均匀性检测设备是通过模仿轮胎在路面行驶时,在标准加载力下检测轮胎受力情况的设备。轮胎均匀性检测设备加载力的控制与轮胎的弹性系数(径向刚度)关系紧密,但由于轮胎的加载力与加载半径是非线性关系,因此在控制上较为困难。我公司通过多年对轮胎的结构特点和检测设备的分析和研究,解决了国内外轮胎均匀性检测设备对均匀性加载力控制难的问题。

## 1 加载力的控制难点

影响轮胎均匀性检测设备测试精度的因素有很多,如气压的稳定性、轮胎的定位精度、测试工位主要部件的加工精度、数据采集的电气干扰、力传感器的线性度和安装精度等,还有一个因素就是加载力的稳定性<sup>[1-2]</sup>。

轮胎的加载力的控制是通过控制负荷轮的位置间接实现的。表面上只要负荷轮在行进中加载力达到标准设定值后停止行进即可,但实际上由于负荷轮行进的惯性、计算机对力传感器的数据

采集和解算系统的滞后性以及轮胎弹性系数的不确定性,使轮胎的加载力的控制难度大幅度提升。特别是对于全钢子午线轮胎,其最大加载力达到40 000 N以上,惯量比较大,即使是进口均匀性检测设备也不易达到其标准设定值要求。

另外由于轮胎本身径向力的不均匀性,在轮胎转动一周的受力波形曲线上取哪一点的加载力作为标准值也是必须解决的问题。

根据标准加载力( $F_n$ )下轮胎产生的受力误差范围(见图1, $t$ 为时间)分析可以得到

$$\Delta f = W \quad (1)$$

式中, $\Delta f$ 为标准加载力下轮胎(受力波形曲线上任意一点)产生的受力误差, $W$ 为在标准加载力下轮胎径向受力的振幅值。

## 2 加载力的控制原理和计算机算法

### 2.1 力学分析及控制方法

将轮胎的受力模型简化为纵向和横向弹簧结构模型,如图2所示。

**作者简介:**胡建光(1976—),男,浙江玉环人,杭州朝阳橡胶有限公司副主任工程师,主要从事轮胎检测及自动物流设备技术工作。

**E-mail:**247073158@qq.com

**引用本文:**胡建光,戴柏炯,姜超浪.轮胎均匀性检测设备对加载力的控制[J].橡胶工业,2022,69(4):304-307.

**Citation:** HU Jianguang, DAI Bojiong, JIANG Chaolang. Control of loading force of tire uniformity test equipment[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(4): 304-307.

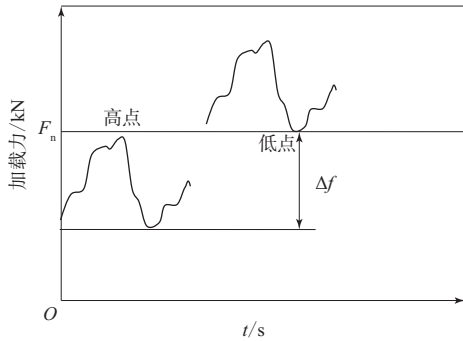


图1 标准加载力下轮胎产生的受力误差范围

Fig. 1 Force error range of tire under standard loading force

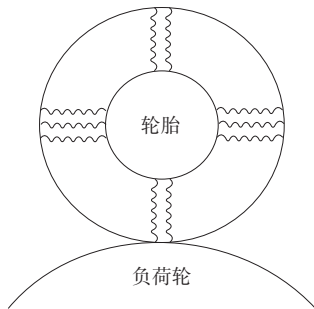


图2 轮胎的弹性力学模型

Fig. 2 Elastic mechanic model of tire

对力的加载起关键作用的是轮胎径向受力的纵向弹簧<sup>[3-4]</sup>。根据力学计算公式,以轮胎的中心为坐标,可得

$$F = K(R - X) \quad (2)$$

式中, $F$ 为轮胎的加载力, $K$ 为轮胎的弹性系数, $X$ 为加载力挤压后轮胎的实际位置(即加载半径), $R$ 为充气后轮胎的实际半径(即自由半径), $R - X$ 为轮胎径向受力后的压缩量。

根据式(2)得到标准加载力时负荷轮的位置( $X_n$ )为

$$X_n = R - F_n/K \quad (3)$$

根据式(3),从原理上可用负荷轮的定位系统找到标准加载力的位置点,然而实际上对轮胎力的加载必须通过负荷轮的定位控制间接实现,并且由于轮胎径向上的受力不均匀,必须取转动一周径向上的平均加载力值作为标准值,而不是受力波形曲线上的任意一点的加载力,这样才能保证轮胎的加载力的精确性和重复性。

但轮胎作为橡胶与其他材料的组合体,其与

负荷轮的径向接触面积不同,弹性系数不同。周向上弹性系数的变化会引起轮胎的不均匀性,而径向上弹性系数的变化会影响轮胎力的加载。同时由于力采集运算系统的滞后性,所以负荷轮刚接触轮胎的位置点也难以准确定位,也就是自由半径难以确定。所以单纯通过式(2)的计算方法并不能得到精确的负荷轮的位置。

因为轮胎的加载力与径向压缩量的关系是非线性的,而且不同规格轮胎之间的差异较大,所以轮胎的加载力无法通过线性公式推算。经过反复论证,轮胎的加载力采取了曲线拟合的方式进行演算,在试验中运用了二次曲线拟合方式(见图3),达到较好的效果<sup>[5-8]</sup>。

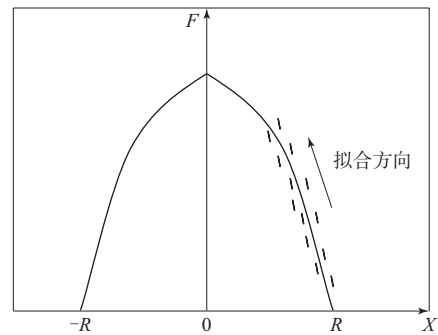


图3 轮胎的加载力的二次曲线拟合

Fig. 3 Quadratic curve fitting of tire loading force

图中二次曲线拟合方程为 $F = aX^2 + b$  ( $a, b$ 为拟合参数)。该模拟运用最小二乘法多次曲线拟合实现<sup>[9-10]</sup>。在实际运用中为获得最佳的拟合公式,可先使加载力大于标准加载力

$$F_{m1} = F_n + \Delta F_1 \quad (4)$$

$\Delta F_1$ 可以在计算机中通过参数设定,使负荷轮在计算机读取至预载随机值时停住,轮胎转动一周取得加载力平均值( $F_{m2}$ ),并读取对应的负荷轮的位置( $X_{m2}$ )。再通过加载力平均值回找标准加载力在拟合曲线上对应的负荷轮的位置( $X_n$ )。

$$\Delta F_2 = F_{m2} - F_n \quad (5)$$

式中, $\Delta F_2$ 为加载力平均值与标准加载力的差值。

根据式(3)和(4)得到最终施加标准加载力的负荷轮位置( $X_{n2}$ )的计算公式

$$X_{n2} = X_{m2} - \Delta F_2/K \quad (6)$$

如此实现了负荷轮的实际定位,但由于拟合

曲线有误差,再加上其他诸多因素的影响,所以负荷轮的实际定位与设定值还有差异。如果轮胎实际转动一周加载力的平均值超过设定值的误差范围,那还需要继续寻找负荷轮的定位,直到达到要求为止。但本研究根据目前轮胎均匀性检测设备加载力的工艺控制要求,一般寻找1次负荷轮的定位就可以完成对加载力的控制,控制精度达到加载力的 $\pm 1\%$ ,充分满足现场工艺控制要求,远高于其他均匀性检测技术的控制精度。轮胎的加载力和负荷轮的位置控制对照曲线如图4所示。

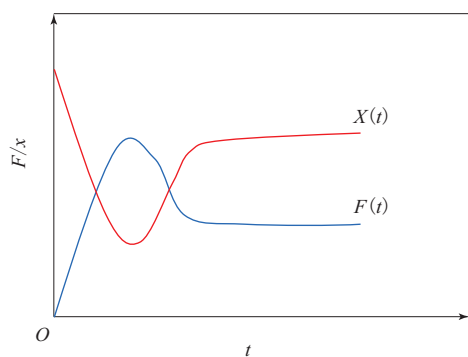


图4 轮胎的加载力和负荷轮的位置控制对照曲线

Fig. 4 Control curves of tire loading force and loading wheel position control

## 2.2 数据采集

本研究的传感器信号经过信号放大器放大及滤波,传到研华数据采集模块进行模拟/数字(A/D)转换,最后变成数字量信号经由周边元件扩展接口(PCI)板送至上位机<sup>[11-13]</sup>。为保证在轮胎转动一周过程中对轮胎上每个受力点信号的准确采集,采用了与轮胎测试主轴同步运转的外部西门子编码器<sup>[9]</sup>。由于轮胎测试主轴旋转速度为 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,编码器分辨率为 $2\,048 \text{ 线} \cdot \text{r}^{-1}$ ,因此采集频率确定为 $2\,048 \text{ 点} \cdot \text{s}^{-1}$ 。数据采集卡对力的采集频率与编码器的触发频率相同,轮胎受力的角度由编码器测得<sup>[14-15]</sup>。

## 3 可编程逻辑控制器(PLC)程序控制

PLC主要是通过对伺服系统的定位控制完成负荷轮对轮胎力的加载。负荷轮胎的位置通过计算机的曲线拟合运算后得到,负荷轮的定位通过西门子PLC的运动控制功能模块来实现,负荷轮

的动作流程通过西门子步序程序来完成,并通过伺服系统对负荷轮的位置精准控制,从而实现对轮胎的加载力的控制。轮胎的加载力控制的PLC流程如图5所示。

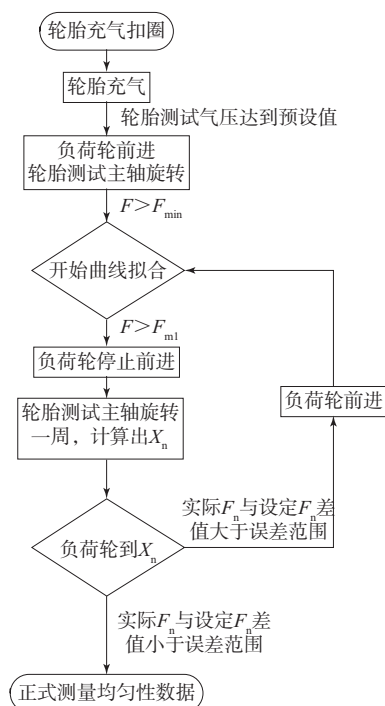


图5 轮胎的加载力控制的PLC流程

Fig. 5 PLC process of tire loading force control

## 4 结语

本轮胎的加载力控制方法充分考虑了轮胎的加载力与加载半径呈非线性关系的力学特点,运用二次曲线拟合轮胎的加载力的计算公式,实现了精准控制轮胎的加载力,是国内自主创新的轮胎均匀性检测技术。

## 参考文献:

- [1] 缪一鸣. 全钢载重子午线轮胎均匀性测试及其影响因素[J]. 轮胎工业, 2005, 25(9): 571-573.  
MIAO Y M. Effective factors on uniformity of TBR tire[J]. Tire Industry, 2005, 25(9): 571-573.
- [2] 余双玉. 轮胎均匀性及其影响因素[J]. 轮胎工业, 2008, 28(8): 463-469.  
YU S Y. Tire uniformity and influencing factors[J]. Tire Industry, 2008, 28(8): 463-469.
- [3] 辛振祥, 邓涛, 王伟. 现代轮胎结构设计[M]. 北京: 化学工业出版社

- 社,2011:1-2.
- [4] 杭柏林,姜丽娟,管西刚. 轮胎均匀性测试数学模型的建立和数据分析[J]. 橡胶工业,2007,54(4):242-244.
- HANG B L,JIANG L J,GUAN X G. Establishment of mathematic model for tire uniformity measurement and data analysis[J]. China Rubber Industry,2007,54(4):242-244.
- [5] 张志达,李韶华,周军魏. 重型汽车轮胎径向刚度实验研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版),2018,31(2):35-39.
- ZHANG Z D,LI S H,ZHOU J W. Experimental study on radial stiffness of heavy vehicle tire[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition),2018,31(2):35-39.
- [6] 陈栋华,靳晓雄. 轮胎刚度和阻尼非线性模型的解析研究[J]. 中国机械工程学报,2004,2(4):408-412.
- CHEN D H,JIN X X. Analytic study on nonlinear model for tire stiffness and damping[J]. Chinese Journal of Construction Machinery,2004,2(4):408-412.
- [7] 裴熙定,季学武,王志浩,等. 轮胎刚度的非线性特性[J]. 吉林工业大学学报,1994,24(4):9-13.
- QIU X D,JI X W,WANG Z H,et al. Study on non-linear characteristics of tire stiffness[J]. Journal of Jilin University of Technology,1994,24(4):9-13.
- [8] 许喆,王伟,赵树高. 轮胎静态及侧偏刚度有限元分析[J]. 橡胶工业,2010,57(4):215-218.
- XU Z, WANG W, ZHAO S G. FEA on static and cornering stiffness characteristics of radial tire[J]. China Rubber Industry,2010,57(4):215-218.
- [9] 方炜,任一峰. 绝对值型编码器数据采集设计[J]. 中北大学学报,2007,28(z1):60-62.
- FANG W, REN Y F. Data acquisition for absolute encoder[J]. Journal of North University of China,2007,28(z1):60-62.
- [10] 励红英,李晓霞,杨海燕,等. 自动化控制中曲线拟合的应用及研究[J]. 微计算机信息,2007,23(4):58-59,75.
- LI H Y,LI X X,YANG H Y,et al. Study and application of curve fitting to automatic control[J]. Microcomputer Information,2007,23(4):58-59,75.
- [11] 杭柏林,管西刚. 轮胎均匀性数据处理及管理系统[J]. 微计算机信息,2006,22(27):59-61.
- HANG B L,GUAN X G. Data processing and management system of tyre uniformity[J]. Microcomputer Information,2006,22(27):59-61.
- [12] 沈爱华. 轮胎均匀性的影响原因及试验机介绍[J]. 橡塑技术与装备,2020,46(13):12-21.
- SHEN A H. Influencing factors and introduction of testing machine for tire uniformity[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment,2020,46(13):12-21.
- [13] 荣英,飞高明,邓世涛,等. 轮胎动平衡均匀性检测数据的处理方法[J]. 轮胎工业,2012,32(8):497-499.
- RONG Y,FEI G M,DENG S T,et al. Processing method of tire dynamic balance uniformity test data[J]. Tire Industry,2012,32(8):497-499.
- [14] 马铁军,肖玉霜,林绮,等. 轮胎均匀性测试机测量方法的研究[J]. 中国橡胶,2010,26(15):35-37.
- MA T J, XIAO Y S, LI Q, et al. Study on measurement method on tire uniformity test machine[J]. China Rubber,2010,26(15):35-37.
- [15] 伍良生,卢成龙,马建峰,等. 轮胎均匀性检测系统开发[J]. 机械设计与制造,2013(11):85-87,91.
- WU L S, LU C L, MA J F, et al. Tire uniformity testing system development[J]. Machinery Design & Manufacture,2013(11):85-87,91.

收稿日期:2021-11-09

## Control of Loading Force of Tire Uniformity Test Equipment

HU Jianguang<sup>1</sup>, DAI Bojiong<sup>1</sup>, JIANG Chaolang<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Chaoyang Rubber Co., Ltd., Hangzhou 310018, China; 2. Beijing Langshengfeng Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 102300, China)

**Abstract:** The loading force to the tire by the uniformity detection equipment was indirectly realized through the position control of the loading wheel. Firstly, the calculation formula of the tire loading force in real time was obtained by quadratic curve fitting using software program, and then the loading wheel position of the standard loading force was acquired and transmitted to the programmable logic controller (PLC) for calibration. Thereafter, the accurate positioning of the loading wheel was achieved through the step program of PLC and servo control system.

**Key words:** tire uniformity; test equipment; loading force; loading wheel; position control; quadratic curve fitting; mechanical analysis