

测试·分析

轮胎不圆度谐波分析及其数据界面显示开发

胡建光¹,姜超浪²,陶勇智³

(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;3. 广州阿克隆百川检测设备有限公司,广东 广州 511442)

摘要:通过线激光及三角电荷耦合器件摄像技术对轮胎不圆度数据进行采集,并通过三角测距原理对数据进行计算,用特征图谱在二维上对三维不圆度数据进行直观显示,用傅里叶函数对测得的不圆度谐波数据进行分析,开发了谐波数据界面显示,满足了配套轮胎审核的要求,也对改进轮胎制作过程有指导作用。

关键词:轮胎;不圆度;线激光;谐波;傅里叶函数;特征图谱;极坐标

中图分类号:TQ336.1;TQ330.4⁺92

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)07-0543-04

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.07.0543



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为多层次结构的化学弹性体,在均匀性的分析上有3个方向,即力学均匀性、质量均匀性(动平衡)和几何不均匀性(不圆度)。

世界上任何呈圆形的物体,实际上由于其圆弧上的点到中心的距离不是完全相等的,于是就产生了不圆度,即不圆度是由于圆弧上的点到中心距离的差异而造成的。轮胎在制作过程中,由于半成品尺寸(包括钢丝圈不圆度)误差、成型鼓精度、半成品部件贴合误差、硫化模具制作和安装精度误差、机械手抓取精度及胎坯存储和输送过程中对外形的影响等因素造成了轮胎不圆度^[1]。除了制造过程中的影响,结构设计也是轮胎不圆度决定性的影响因素。

轮胎不圆度问题可直接造成车辆行驶时震动和摇晃,增大了行车阻力,增加了油耗,间接影响轮胎力学性能^[2],其中基于滑窗小波分析得出的鼓包、凹陷问题还会影响轮胎的安全性。所以轮胎不圆度检测是轮胎出厂时一项非常重要的检测指标^[3]。

轮胎不圆度与力的均匀性虽有关联,但不圆度突出表现在外形尺寸中点与点之间的差别,与轮胎力的波动是有区别的。不圆度和力一样有周期性波动现象,可以用傅里叶函数展开来进行分析,这有助于判断轮胎的质量问题。但是长期以来,国内对轮胎不圆度谐波分析和研究比较缺乏,许多进口设备以及早期国内的研发设备基本没有谐波数据显示界面。

本工作通过TIGER语言修改了进口设备的全面质量管理(TQC)的计算机界面数据显示,以及通过通道设置、标签、单位、判级等级等的调整,使不圆度1次谐波数据从不圆度统计图形(TIGS)上获取并得以在TQC主机上显示,满足了配套轮胎审核的要求,也提高了我公司结构设计人员对轮胎不圆度的认识。

1 激光三角检测方法和原理

轮胎不圆度的检测经历了电容感应测距、电

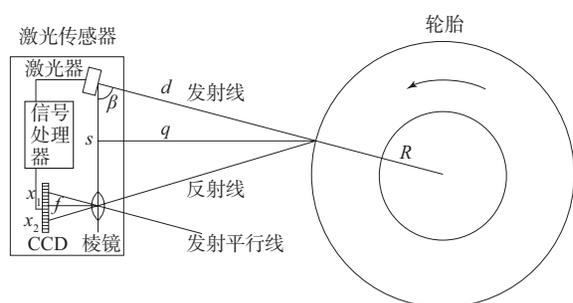
作者简介:胡建光(1976—),男,浙江玉环人,杭州朝阳橡胶有限公司副主任工程师,主要从事轮胎检测及自动物流设备技术工作。

E-mail:247073158@qq.com

引用本文:胡建光,姜超浪,陶勇志.轮胎不圆度谐波分析及其数据界面显示开发[J].橡胶工业,2022,69(7):543-546.

Citation: HU Jianguang, JIANG Chaolang, TAO Yongzhi. Tire ellipticity harmonic analysis and its data interface display development[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(7): 543-546.

流光电探测器件(PSD)测距和激光三角电荷耦合器件(CCD)测距3个阶段^[4-5]。由于激光检测的优点及技术发展,目前轮胎不圆度的检测以激光测距为主,采用三角CCD测距原理进行。轮胎不圆度激光检测的传统方法为点激光技术,由均匀性主轴带动轮胎旋转一周,由主轴编码器同步触发数据采集点,并得到采集点在轮胎上的位置角度^[6]。测得结果是轮胎纵向切面的二维数据,摄像头采用CCD线阵相机,检测原理如图1所示。



β 为激光器发射线夹角; d 为激光器到轮胎的距离; s 为摄像头中心点与激光器中心点的距离; f 为摄像头的焦距; x_1 为发射平行线通过焦点在成像板上的虚拟投射点到成像板中心点的距离; x_2 为反射线在成像板上的投射点到成像板中心点的距离; q 为轮胎表面扫描点到激光发射源与棱镜连接线的垂直距离;
 R 为轮胎充气后的自由半径。

图1 轮胎不圆度的激光三角检测原理示意

Fig. 1 Schematic diagram of laser triangulation detection principle of tire ellipticity

β, s, f 和 x_1 为设备安装后的固定值, x_2 为测量值, d 可由下式计算

$$x_1 = f \tan \beta \quad (1)$$

$$x = x_1 + x_2 = f \tan \beta + x_2 \quad (2)$$

$$q = sf/x \quad (3)$$

$$d = q/\sin \beta \quad (4)$$

$$d = sf/[\sin \beta (f \tan \beta + x_2)] \quad (5)$$

R 可以表示为

$$R = L - d = L - sf/[\sin \beta (f \tan \beta + x_2)] \quad (6)$$

式中, L 为激光器到轮胎主轴中心的距离。

轮胎不圆度波动和激光投射坐标变化呈线性关系。由于信号处理器检测到的 x_2 是一个像素距离,加上安装精度等其他误差因素的影响,软件处理时还需要根据线性函数对之进行系数校正。最终得到的 R 的波动就是检测到的轮胎胎面转动一周的不圆度波动。

周的不圆度波动。

轮胎不圆度激光检测的新方法为线激光技术,由均匀性主轴带动轮胎旋转一周,主轴编码器对轮胎的圆周位置进行定位;以线激光为光源,其与普通线扫描系统不同的是用面阵CCD摄像头对轮胎表面距离数据进行读取并分析,得到的是轮胎轮廓的三维数据^[7]。

为便于分析,将三维轮胎轮廓按360°展开为二维图像,见图2。用颜色来区别显示不圆度的不同数据,其中黄色代表轮胎转动一周自由半径的平均值,红色代表自由半径较大值,绿色代表自由半径较小值。

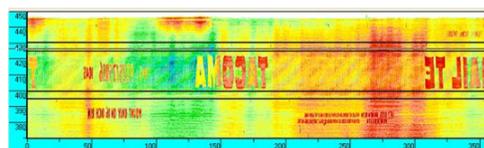


图2 轮胎不圆度的颜色特征图谱

Fig. 2 Color feature map of tire ellipticity

轮胎上的字符、花纹及沟槽在波形上会产生数据突变,给数据分析带来影响,需要通过软件对图像进行滤波和加权平均值等处理来消除对轮胎不圆度分析造成干扰的数据^[8]。为了提高检测的效率和减少不必要的干扰,在实际操作中会根据轮胎类型和规格(不同尺寸和花纹等)建立基础图像,并根据工艺的要求选择合适的光带来作为轮胎检测不圆度数据分析及处理区域。图2用黑框在胎侧部位选择了2个光带(尽量避开了干扰区)作为不圆度数据分析及处理区域。

2 谐波函数分析

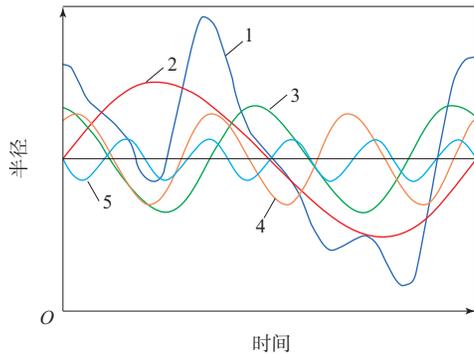
轮胎不圆度值是轮胎转动一周自由半径的最大值与最小值之差,但这个值其实是各种因素合成的最终值,只凭一个合成值难以作为各种因素分析的数据。轮胎转动一周自由半径各个点在直角坐标上展开是一个周期波形,而任何周期性的函数波形均可以进行傅里叶函数变换,可分解为无穷级数的三角函数的线性组合叠加。

$$R(\omega) = R_0 + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \sin(n\omega + \theta_n) \quad (7)$$

式中, $R(\omega)$ 为不同轮胎角度(ω)位置对应的 R , R_0 为轮胎转动一周自由半径的平均常数,为谐波

次数, d_n 为傅里叶系数, θ_n 为 n 次谐波波形角度的初始值。

根据谐波函数分析可以看出谐波围绕轮胎自由半径的平均值震荡。根据轮胎的部件结构, 一般理论分析得到 16—20 次谐波可满足最大需求, 应用时用到第 1—第 8 次谐波, 第 1—第 4 次谐波波形分解如图 3 所示。



1—合成波形; 2—第 1 次谐波; 3—第 2 次谐波; 4—第 3 次谐波; 5—第 4 次谐波。

图 3 轮胎不圆度第 1—第 4 次谐波波形分解
Fig. 3 Decomposition of tire ellipticity from 1st to 4th harmonic waveforms

3 谐波极坐标分析

为了更加形象直观地体现轮胎不圆度, 可用极坐标对谐波进行分析, 极轴坐标是 R , 极角坐标是 ω 。从极坐标里可以看出, 1 次谐波波形是单向凸轮, 2 次谐波波形是一个椭圆, 多次谐波波形是多向凸轮^[9]。在分析轮胎不圆度时, 第 1 次谐波波形占比较大, 反映了胎面接头处及本身部件尺寸波动情况。根据硫化模具的组装情况, 可以用 8 次谐波波形来分析模具安装整体精度对轮胎不圆度的影响 (见图 4, 数据单位为 mm)。

4 谐波数据界面显示开发

经分析可以看出, 轮胎不圆度的分析方法和力函数的分析方法是接近的, 但是又有其特殊性。力的分析实际上是轮胎接触面的合成受力分析, 除了与轮胎的表面几何形状有关外, 还与轮胎的内部结构有着密切的关系; 而不圆度只与轮胎的表面形状有关, 并且是针对每一个几何点的分析。

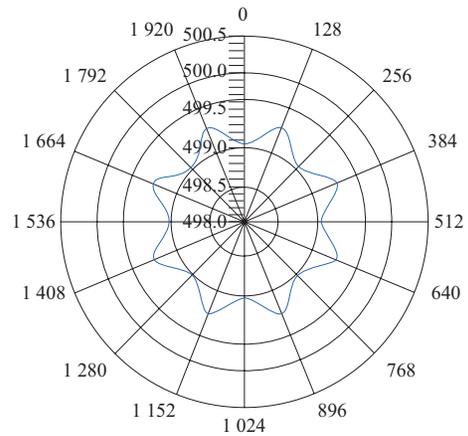


图 4 轮胎不圆度的第 8 次谐波波形
Fig. 4 The 8th harmonic waveform of tire ellipticity

2017 年我公司一汽集团配套体系检测时提出了提供轮胎不圆度 1 阶数据 (即不圆度的 1 次谐波值) 的要求。当时国内可检测轮胎不圆度的设备均没有显示 1 次谐波数据的界面^[10], 但根据对软件的深入分析和国内外信息的了解, 软件本身具备不圆度谐波检测分析的能力。通过对界面接口软件 TIGER 的深入分析以及多次修改后的程序测试和参数设置, 实现了轮胎不圆度 1 次谐波数据显示, 显示界面和部分 TIGER 程序修改分别如图 5 和 6 所示。

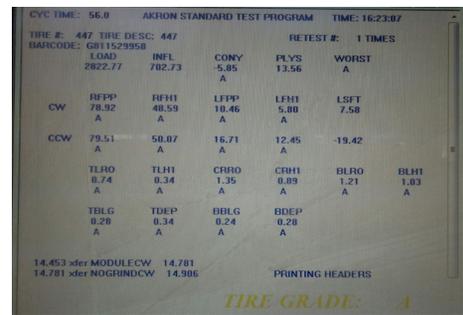


图 5 轮胎不圆度 1 次谐波数据的显示界面
Fig. 5 Display interface of first harmonic data of tire ellipticity

```

21180 IF FLO5 THEN DO
21190 LET L = TLRO
21195 LET L1 = TLH1
21200 LET M = BLRO
21205 LET M1 = BLH1
21210 LOCATE 17,1
21220 PRINT #2, L, L1, M, M1
21230 GRADE TLRO (SP25, SP26, SP27, SP28, 9999.9)
21235 GRADE TLH1 (SP58, SP59, SP60, SP61, 9999.9) (增加上胎侧谐波参数)
21240 GRADE BLRO (SP25, SP26, SP27, SP28, 9999.9)
21245 GRADE BLH1 (SP58, SP59, SP60, SP61, 9999.9) (增加下胎侧谐波参数)

21250 LOCATE 18,1
21260 IF (A1=0) THEN PRINT, "%TLRO, ", %TLH1, "%BLRO, ", %BLH1 (增加上胎侧谐波数据显示)
21265 IF (A1=1) THEN PRINT, "%TLRO1, ", %TLH11, "%BLRO1, ", %BLH11 (增加下胎侧谐波数据显示)
21270 ENDF

```

图 6 部分 TIGER 程序修改
Fig. 6 Modifications of some TIGER programs

在数据的统计分析中发现,第1次谐波波形占总谐波波形的50%~60%。通过谐波波形的确认可以分析轮胎接头如胎面、胎侧、带束层等接头分布的合理性,以及轮胎制作中不同接头的优劣,进而提高轮胎的设计及制作工艺。

5 结语

随着激光技术的发展,轮胎不圆度的线激光检测技术逐渐占据了主流地位。线激光不圆度检测采用线激光扫描轮廓、通过面阵CCD对信号进行采集,利用三角测距原理进行计算及傅里叶变换进行波形分析。本工作在对检测原理和设备的深度研究下,开发了轮胎不圆度1次谐波数据的界面显示,积极推动和完善了不圆度在轮胎质量管控中的作用。

参考文献:

- [1] 霍占东,焦守万,叶强,等. 硫化工序对全钢载重子午线轮胎均匀性径向跳动值的影响[J]. 轮胎工业,2018,38(12):760-761.
HUO Z D, JIAO S W, YE Q, et al. Influence of curing process on radial runout value of truck and bus radial tire uniformity[J]. Tire Industry, 2018, 38(12): 760-761.
- [2] 姜少杰. 激光技术在轮胎生产及成品检验中的应用[C]. 全国高校机械工程测试技术研究会、中国振动工程学会动态测试专业委员会2004年代表大会暨学术年会论文集. 南昌:中国振动工程学会, 2004:150-153.
- [3] 陈振艺. 载重轮胎不圆度的实验室简单检测[C]. “玲珑轮胎杯”第17届中国轮胎技术研讨会论文集. 张家界:中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息中心,2012:153-155.
- [4] 陈琳. 基于激光测距的三坐标测量系统研究[J]. 光学仪器,2002,24(2):7-12.
CHEN L. The 3-dimension measuring system based on the laser ranging[J]. Optical Instruments, 2002, 24(2): 7-12.
- [5] 杭柏林,刘鑫. 激光传感器在轮胎偏心度测量中的应用[J]. 轮胎工业,2010,30(3):177-179.
HANG B L, LIU X. The application of laser sensor in the tire eccentricity measurement[J]. Tire Industry, 2010, 30(3): 177-179.
- [6] 张彦军,陈振喜,李华光,等. 基于测距原理的轮胎外形轮廓检测系统[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2009,30(6):545-549.
ZHANG Y J, CHEN Z X, LI H G, et al. Testing system of tyre contour figure based on distance detect[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(6): 545-549.
- [7] SANDEN M,滕国兴. 激光传感器在轮胎工业中的应用[J]. 橡塑技术与装备,2005,31(5):18-21.
SANDEN M, TENG G X. Laser sensor used in tire industry[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2005, 31(5): 18-21.
- [8] 周立明. 轮胎不圆度检测关键技术研究[D]. 济南:山东大学,2018.
- [9] 黄跃文,邱新桥. 谐波分析在汽车车轮检测中的应用[J]. 湖北汽车工业学院学报,2009,23(3):44-47.
HUANG Y W, QIU X Q. Application of harmonic analysis in automotive wheel detection[J]. Journal of Hubei Automotive Industries Institute, 2009, 23(3): 44-47.
- [10] 全国轮胎轮辋标准化技术委员会. 汽车轮胎不圆度试验方法:GB/T 30198—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.

收稿日期:2022-02-02

Tire Ellipticity Harmonic Analysis and Its Data Interface Display Development

HU Jianguang¹, JIANG Chaolang², TAO Yongzhi³

(1. Hangzhou Chaoyang Rubber Co., Ltd, Hangzhou 310018, China; 2. Beijing Langshengfeng Measurement & Control Technology Co., Ltd, Beijing 102300, China; 3. Guangzhou Akron Baichuan Testing Equipment Co., Ltd, Guangzhou 511442, China)

Abstract: The tire ellipticity data was collected by line laser and triangular charge-coupled device camera technology, and the data was calculated by the triangulation ranging principle. The three-dimensional ellipticity data was visually displayed in two dimensions with feature map, and the measured ellipticity harmonic data was analyzed by the Fourier function. The harmonic data interface display was developed, which not only met the requirements of tire audit, but also had a guiding role in improving the tire manufacturing process.

Key words: tire; ellipticity; line laser; harmonic; Fourier function; feature map; polar coordinate