

轮胎半成品挤出部件在线检测系统的研制^{*}

杭柏林^{1,2} 白跃峰¹ 王利宁² 段振亚¹

(1. 青岛科技大学机电工程学院 青岛 266061; 2. 青岛万龙智控科技有限公司 青岛 266042)

摘要: 介绍了现有轮胎半成品挤出部件在线检测方法,分析了基于激光测距技术的点扫描和线扫描测量法优劣,应用线扫描测量法研发了轮胎半成品挤出部件轮廓在线检测系统。该系统主要由二维激光传感器、协同控制器、工控机等硬件和自主研发的数据采集与处理、分析、判级等功能的软件构成。通过对轮胎半成品挤出部件检测的需求分析和二维激光传感器检测机理、使用方法的融合,合理构建了检测系统坐标系,实现了对挤出胶部件轮廓尺寸的检测。在最大挤出速度 50 m/min 采样频率达 16 Hz 时,系统可以实现每隔 52 mm 对轮廓数据采样一次,宽度可以精确到 0.5 mm,厚度可以精确到 0.1 mm,达到了预期的效果,彻底地改变了离线检测滞后大、不及时使不合格产品流到道工序的现象。

关键词: 轮胎半成品; 挤出部件; 在线检测系统; 二维激光传感器

中图分类号: TN249; TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Development of tire semi-finished extrusion parts on-line detection system

Hang Bailin^{1,2} Bai Yuefeng¹ Wang Lining² Duan Zhenya¹

(1. College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China;

2. Qingdao Wanlong Intelligent Control Technology Co., Ltd, Qingdao 266042, China)

Abstract: The introduction of existing tire semi-finished extrusion parts (TSEP) online detection methods and the analysis of advantages of point and line scanning method based on laser ranging technology are made. The system is mainly composed of two-dimensional (2D) laser sensors, coordinated controller, industrial computer and the self-developed software of data acquisition and process, analysis and recognition. Based on analysis of demand for TSEP and 2D laser sensor detection mechanism, a reasonable detection coordinate system is constructed, which can measure the TSEP contour size. At the maximum speed of 50 m/min and sampling frequency for 16 Hz, sampling distance can realize as low as 52 mm, width can be accurate to 0.5 mm and thickness can be accurate to 0.1 mm, which can meet the anticipation and thoroughly change the off-line testing lag, preventing unqualified products from entering next procedure.

Keywords: tire semi-finished products; extrusion parts; on-line detection system; 2D laser sensors

0 引言

轮胎半成品挤出部件是指通过挤出工艺制造的构成轮胎基本结构的部件,其主要包括:胎面胶、胎侧胶和其他各种型胶^[1]。在轮胎半成品挤出部件的生产中,由于受原材料、挤出设备和挤出工艺等多方因素影响,轮胎半成品挤出部件会出现截面几何形状超出设计参数的范围,往往是宽度和厚度这两个参数超出允差范围,由于操作不当也会出现变形、拉伸等不良现象,这些质量问题会引起轮胎轴向和径向几何尺寸和质量分布不均,将使轮胎出厂的合格率降低,轮胎均匀性参数偏大的轮胎将导致车辆的振动,直接影

响汽车在高速行驶条件下的安全性和舒适性^[2]。因此,在生产中实时在线监测半成品部件的质量参数变化,及时的发现和改正问题,对于提高轮胎半成品挤出部件的质量有非常重要的意义。

一般在开始挤出加工前,工人按照工艺要求与经验,调节好设备参数,如图 1 所示,借助卷尺等简单测量工具直接对行走的挤出半成品部件进行参数的估量。挤出部件一般会冷却后连续称重,最后根据重量估算挤出半成品断面尺寸^[3-4]。这种检测方法存在诸多弊端:如检测实时性差,延迟较大;人工检测精度偏低,一般宽度为 2 mm,厚度为 0.5 mm,远低于检测系统宽度为 0.5 mm 和厚度为

收稿日期:2017-03

* 基金项目:山东省自然科学基金(ZR2013EEL010)资助项目

0.1 mm 的设计精度要求,检测数据管理繁琐等。



图 1 轮胎半成品挤出部件人工检测

为解决人工测量存在的不足,结合轮胎半成品挤出部件生产特点和实际需求,采用激光测距技术、计算机技术、数据处理与融合技术,研制了一套在线检测系统。实现了对轮胎半成品挤出部件的实时、在线检测,提高半成品挤出部件质量的均一性和检测水平,促进了我国轮胎智能生产的发展。

1 在线检测系统研究思路和方法

利用激光测距原理构建轮胎半成品挤出部件检测方法有两种。一种是点扫描,一种是线扫描,点扫描通过传感器运动实现检测,线扫描借助固定传感器完成检测。

点扫描检测法^[5]的原理如图 2 所示,半成品部件挤出速度一般为 20~40 m/min,最大不超过 50 m/min,宽度小于 500 mm,两个点激光传感器作往复直线运动,实现对半成品部件宽度、厚度和轮廓等参数的检测。该方法具有成本低、可调范围大的优点,但存在上下两传感器定位精度和同步性高、宽度和厚度数据不在同一横截面上、半成品部件摆动会影响检测精度等问题。

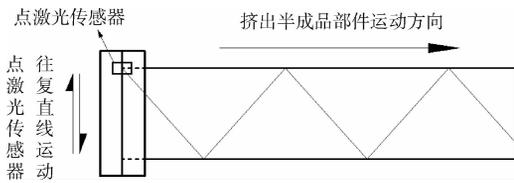


图 2 点扫描检测法原理

为克服点扫描检测法的不足,本文提出了线扫描检测法^[6-7],其原理如图 3 所示,将 4 个(或更多)二维激光传感器以检测部件为中心对称等高固定在同一条直线上,可同一时刻检测出挤出半成品的截面轮廓尺寸。

2 在线检测系统的设计

2.1 二维激光传感器的检测原理

二维激光传感器采用激光三角反射式原理,采集物体表面的二维轮廓信息^[8-9]。如图 4 所示激光线投射到被测物体表面上,在被测物体表面形成漫反射,反射光透过透

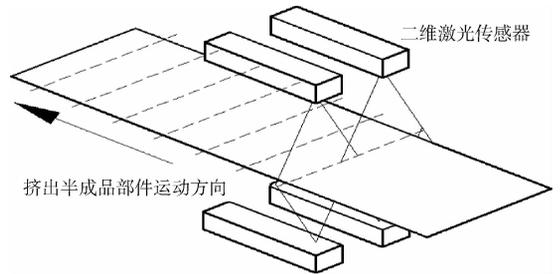


图 3 线扫描检测法原理

镜,投射到感光阵列上。与点激光传感器不同的是,二维激光传感器除了可获取传感器到被测表面的距离信息(Z 轴),还可测得沿着激光线的位置信息(X 轴)^[10]。

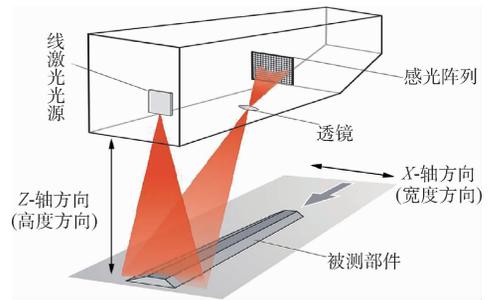


图 4 二维激光传感器原理

2.2 二维激光传感器应用和测量匹配方法

二维激光传感器的主要应用技术参数包括 X 和 Z 轴分辨率、测量范围(MR)、净安装距离(CD)和视野范围(FOV)等。如图 5 所示,以发射的三角激光平面的角平分线为 Z 轴,以 Z 轴与传感器的外表面交点为原点 O,以同 Z 轴垂直且过交点的方向作 X 轴,构建直角坐标系 OXZ^[11-12]。传感器有效视野为 A、B、C、D 四点构成的等腰梯形,设 $A(x_A, z_A)B(x_B, z_B)C(x_C, z_C)D(x_D, z_D)$; 近端 X 轴方向有效视野大小为 $FOV(n)$,远端为 $FOV(f)$ 。则分析可知:

$$z_A = z_B = CD \quad (1)$$

$$z_C = z_D = CD + MR \quad (2)$$

$$x_B = -x_A = FOV(n)/2 \quad (3)$$

$$x_C = -x_D = FOV(f)/2 \quad (4)$$

X 或 Z 轴分辨率是指沿 X 或 Z 轴方向的两测量点的距离值,其大小取决于成像单元阵列数和视野大小。以 X 轴为例,如图 5 所示,检测视野呈梯形,沿 Z 轴正向移动,X 轴方向的检测范围变宽。对固定阵列的成像单元,两测量点间距值随之变大,分辨率降低。同理,Z 轴分辨率变化规律同 X 轴一致。

结合待检测部件截面宽厚比大以及单个二维激光传感器在 X 轴方向(宽度方向)上测量范围有限的状况,有时需要多传感器组合对宽度检测范围匹配。假设挤出部件轮廓的表面最大宽度为 P,精度要求为 a;单个二维激光传感

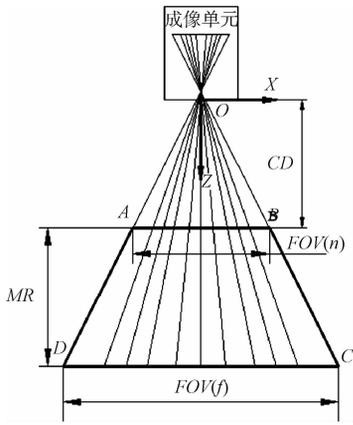


图5 二维激光传感器应用规律

器在 X 轴方向(宽度方向)最低分辨率为 a 下的最大宽度为 W_0 , 且该表面厚度 T 满足测量范围 MR , 且精度符合要求; ΔP 为 X 轴方向检测余量, ΔS 为相邻传感器在待测轮廓上的重叠测量段余量。图 6 为多个维激光传感器对部件上表面轮廓检测示意图。类推可得, 检测轮廓表面所需二维激光传感器的个数 m :

$$\begin{cases} 0 < P + 2\Delta P \leq W_0 & m = 1 \\ W_0 < P + 2\Delta P \leq 2W_0 - \Delta S & m = 2 \\ 2W_0 - \Delta S < P + 2\Delta P \leq 3W_0 - 2\Delta S & m = 3 \\ \vdots & \vdots \\ (n-1)W_0 - (n-2)\Delta S < P + 2\Delta P \leq nW_0 - (n-1)\Delta S & m = n(n \geq 2) \end{cases} \quad (5)$$

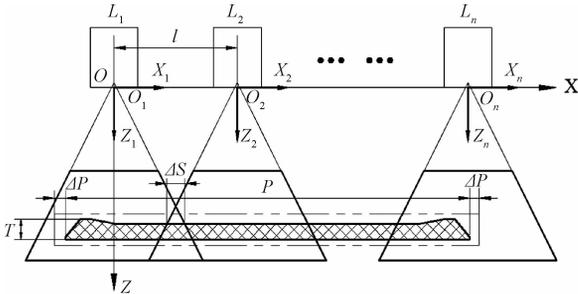


图6 多二维激光传感器检测示意图

2.3 多激光传感器系统坐标的建立

如图 6 建立了多个二维激光传感器检测系统的系统坐标系 OXZ 。检测系统坐标系 OXZ 与二维激光传感器 L_1 的坐标系 $O_1X_1Z_1$ 重合; 各二维激光传感器的 O_1X_1 轴, O_2X_2 轴, \dots , O_nX_n 轴都与该坐标系的 OX 轴共线且同向; 原点 O_1, O_2, \dots, O_n 均在 OX 轴上, 且相邻两点等距为 l ; O_2Z_2 轴 $\dots O_nZ_n$ 轴与系统坐标系的 OZ 轴平行且同向。各二维激光传感器有效检测区域处在同一平面内。对于测轮廓上任意一点为 (x, z) , 则可能出现如下两种情况^[13-14]。

1) 假设该点仅由传感器 $L_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 检测到, 且

在 L_i 的坐标系下为 (x_i, z_i) , 则可知:

$$x = x_i + l \times (i - 1) \quad (6)$$

$$z = z_i \quad (7)$$

2) 假设该点由 L_i 与 L_{i+1} 同时检测到, 其中在 L_i 坐标系下为 (x_i, z_i) , 在 L_{i+1} 坐标系下为 (x_{i+1}, z_{i+1}) , 比较 (x_i, z_i) 与 (x_{i+1}, z_{i+1}) 在 $O-XZ$ 下的坐标 (x, z) , 取误差较小数据。

2.4 检测系统硬件组成和工作原理

轮胎半成品挤出部件在线检测系统如图 7 所示, 其硬件主要由主体框架和检测控制系统组成。该检测装置的主体框架安装在输送线的断开处, 用于固定激光传感器等元件, 满足关键检测元件的位置关系。

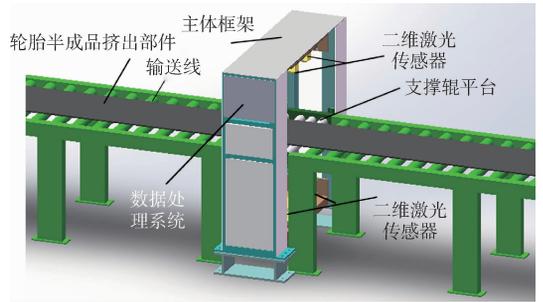


图7 轮胎半成品挤出部件在线检测系统

图 8 所示为该轮胎半成品挤出部件在线检测控制系统, 其基于工业计算机平台, 以二维激光传感器为核心, 主要由图像采集单元、图像处理单元、输出单元、录入信息单元 4 部分组成^[15]。

1) 图像采集单元: 其由二维激光传感器、协同控制器和交换机组成。二维激光传感器完成挤出部件表面图像获取。协同控制器控制多个传感器图像采集的同步触发、供电等。交换机与工控机完成数据的交换。

2) 图像处理单元: 图像处理单元主要是指工控机, 其将采集的图像、录入的数据进行运算处理, 对比分析检测结果等, 是整个检测系统的核心部分。

3) 录入信息单元: 录入信息单元主要由鼠标、键盘及触摸屏等组成, 主要是完成挤出半成品部件的相关参数的导入和管理操作, 对检测系统相关系统参数的设置等。

4) 输出单元: 输出单元由显示器、报警灯等组成。图像处理单元将处理后的数据结果输出到显示屏上, 并通过报警灯进行提示。

检测系统基本工作原理: 从挤出机出来的轮胎半成品部件经输送线经过检测系统的支撑辊平台时, 4 个(或多个)二维激光传感器构成检测区域完成对挤出半成品截面尺寸信息采集; 经工控机处理检测后的尺寸数据同设定的轮廓尺寸值进行比较, 判断是否在允许的范围及评估偏离水平; 若在线检测到超出设定, 系统将进行提醒或警告。根据生产工况, 检测系统主要参数如表 1 所示。

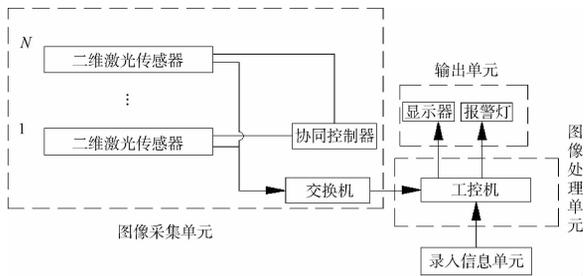


图 8 在线检测控制系统的结构

表 1 系统主要参数

技术要求	技术指标	允差
检测最大宽度/mm	480	±0.5
检测最大厚度/mm	40	±0.1
采样频率/Hz	≤16	±0.5
输送速度/(m·min ⁻¹)	20~50	—

2.5 检测系统的软件设计

检测系统软件基于 Windows 平台应用,针对系统功能软件分为如下模块:检测模块、配方管理模块、校准模块、数据追溯模块。

检测模块用于实时记录、分析、存储并显示检测数据的变化;配方管理模块用于存储挤出半成品的类型及参数,针对不同的产品进行参数设置;校准模块用来校验和调整系统,以满足检测要求;数据追溯模块用于存储检测数据,可实现历史数据的查看和导出等。检测系统软件常见的一些功能界面如图 9 所示。

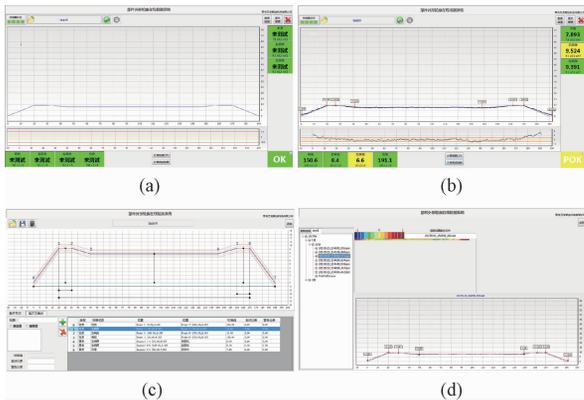


图 9 检测系统软件界面

3 检测系统测试实验

基于上述理论和方法,构建了如图 10 所示的轮胎半成品挤出部件在线检测系统^[16]。取样截面轮廓如图 11 的 1 号和 2 号两胎面胶进行测试。两胶片的主要监测截面轮廓尺寸为总宽度 W_1 ,总厚度 H_1 ,肩宽度 W_2 以及中部厚度

H_3 。选取两胶片理论的设计值和实际测量值如表 2 所示。其中,1 号胶片预知满足检测系统的检测精度要求,而 2 号不满足检测精度。通过对比分析测试系统性能。

表 2 测试取样胶片的参数 (mm)

项目	W_1	H_1	W_2	H_3
设计值	190.0	9.30	150.0	7.80
1 号胶片	190.3	9.32	150.2	7.83
2 号胶片	190.7	9.52	150.8	8.14



图 10 轮胎半成品挤出部件检测装置实验

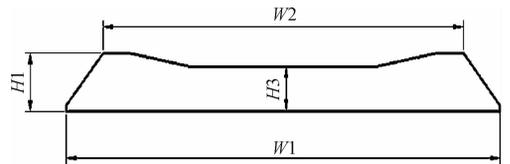


图 11 胎面胶的截面轮廓

实验时将胶片放置在检测区域内,胶片每隔相等间距进行一次检测,同一胶片反复进行多次测量,模拟胶片在实际生产中的检测过程,得到的 1 号和 2 号胶片的部分测试结果如表 3 和 4 所示。

对比分析表 3 中 1 号胶片的测量结果与表 2 中 1 号胶片的实际参数,从检测结果的均值中可以发现,检测系统可以精确完成对 1 号胶片的测量;在检测误差方面,宽度方向 W_1 与 W_2 的偏差在 ±0.1 mm 区间内,厚度方向 H_1 和 H_3 的偏差处在 ±0.05 mm 以下水平,高于设计标准。分析原因,首先是由于实验中采用的 1 号胶片为放置过一段时间的挤出胶,胶料性质已相对稳定,尺寸波动不大,再者实验中无输送线的振动等干扰,检测条件较为理想。

由表 4 中 2 号胶片试验测量结果与表 2 中 2 号胶片的实际参数比较可知,检测系统可以反映出胶片的超差情况,在检测偏差上,宽度方向 W_1 与 W_2 在 ±0.1 mm 区间内,厚度方向 H_1 和 H_3 的处在 ±0.05 mm 区间内,符合设计要求。

表3 1号胶片试验测量结果 (mm)

次数	W1	H1	W2	H3
1	190.4	9.332	150.2	7.837
2	190.3	9.311	150.3	7.827
3	190.2	9.331	150.2	7.829
4	190.4	9.325	150.2	7.832
5	190.3	9.316	150.1	7.839
6	190.3	9.330	150.3	7.833
均值	190.3	9.324	150.2	7.832
标准差	0.324	0.025	0.227	0.033

表4 2号胶片试验测量结果 (mm)

次数	W1	H1	W2	H3
1	190.8	9.526	150.8	8.144
2	190.7	9.531	150.9	8.148
3	190.7	9.511	150.8	8.134
4	190.8	9.522	150.7	8.141
5	190.6	9.512	149.8	8.132
6	190.7	9.526	150.8	8.150
均值	190.7	9.521	150.8	8.141
标准差	0.720	0.221	0.802	0.342

由表3和4的检测数据中的标准差可以看出,1号胶片较2号胶的标准差小,符合取样胶片的参数规律,检测系统具有很好的准确性。

4 结 论

针对我国轮胎半成品挤出部件在线检测需求和落后现状,分析了二维激光测距技术,构建了检测模型,设计了轮胎半成品部件在线检测系统,实现了在线检测和实时分析,有助于提高轮胎半成品挤出部件的检验、分析和管理水平。通过测试实验,对该系统的准确性和稳定性进行了初步验证。这将有助于下一步将分析后的检测数据与挤出机控制系统联系,为挤出过程联合反馈控制提供依据。

参考文献

- [1] 张畔,谢意,黄光威. 浅析轮胎部件重量标定及修正方法[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(16): 46-48.
- [2] 吴志勇. 关于在挤出生产过程中轮胎部件质量问题的探讨[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(11): 39-42.
- [3] 张占兴,李大虞. 轮胎胎面离线断面厚度检测系统[J]. 橡塑技术与装备, 2013, 39(2): 46-48.

- [4] 张洪阳,朱博. 胎面称量在线监控系统在胎面生产线上的应用[J]. 轮胎工业, 2012, 32(10): 627-629.
- [5] 王顺录,李党娟,范源,等. 短距离激光测距传感器系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11): 98-102.
- [6] 贺红林,雷修才,龚焯飞,等. 基于激光视觉检测的焊缝自动跟踪系统研究[J]. 控制工程, 2013, 20(5): 869-872.
- [7] 孙玉梅,王鹏遥,孙巧妍,等. 轮胎胎面参数在线检测系统研究及应用[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(12): 2859-2865.
- [8] 李杰. 基于激光三角法检测轮胎表面形貌[D]. 长春:长春理工大学, 2009.
- [9] 严索,李顶根,于召亮. 三角法激光位移传感器的参数优化设计与分析[J]. 电子测量技术, 2012, 35(10): 21-24.
- [10] 石晶欣,蔡友发,梁慧,等. 基于激光断面扫描的卧式罐容积计算方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(9): 1021-1026.
- [11] 尹志生,李友如,李佩玥,等. 高精度六维激光测量系统误差补偿算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8): 1275-1281.
- [12] 王中亚,王鹏,杨国威,等. 热轧圆钢截面轮廓及直径结构光在线检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10): 2335-2340.
- [13] XING Z Y, CHEN Y J, WANG X H, et al. Online detection system for wheel-set size of rail vehicle based on 2D laser displacement sensors[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2016, 127(4): 1695-1702.
- [14] 张瑞峰,张巍. 改进双目视觉在柴油机缸盖毛坯检测中的应用[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8): 48-51.
- [15] 葛娇,花军,刘亚秋. 在线接触式人造板厚度检测系统的设计[J]. 木材工业, 2013, 27(1): 13-16.
- [16] 孙保燕,张惊涛,程昂. 基于机器视觉的轮胎挤出部件外形尺寸在线测量方法[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(4): 838-843.

作者简介

杭柏林,1959年出生,研究员,硕士,主要从事装备控制与机电一体化、智能化、信息化的研究。

E-mail: hbjbyf89@126.com