

文章编号: 1672-2892(2012)05-0594-04

落轮轮对三维外形重构与参数检测

蒋利容, 王 黎, 杨 凯

(西南交通大学 物理科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘 要: 轮对缺陷将严重影响列车安全运行, 如何快速高精度进行缺陷检测是技术难题。采用二维电荷耦合器件采集系统和线激光相结合获取轮对外形尺寸的方法, 对检测原理进行理论推导并建立了相应模型, 实现了轮对踏面 360°检测与轮对外形三维重构。用所建立算法处理测量数据, 获得轮缘厚度、轮缘宽度、垂直磨耗和踏面磨耗等重要参数。通过误差分析, 研究影响检测精确度的多种因素。实验结果表明, 该方法能快速、高精度地测量出轮对外形尺寸, 并能准确发现缺陷。

关键词: 轮对参数; 非接触检测; 三维外形; 电荷耦合器件; 重构

中图分类号: TN911.74

文献标识码: A

Parameters measurement and three dimensional profile reconstruction of wheel sets

JIANG Li-rong, WANG Li, YANG Kai

(College of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: Detecting wheel defects efficiently with high precision is a technical problem, which is essential to the safe running of trains. A method is investigated to realize the three-dimension profile reconstruction and wheel tread comprehensive detection, by combining two-dimensional Charge Coupled Device(CCD) images with line laser, encoder and diastimeter. A theoretical derivation of detecting principle is described. Through data processing with the proposed algorithm, such wheel-set parameters as flange thickness, flange height, QR(which is representative of wheel flange angle of slope) are obtained. Measurement errors and influence factors on measuring accuracy are analyzed. Simulation and field experiments results show that the proposed method can detect the faults on the wheel correctly, which satisfies the high efficiency and accuracy requirements.

Key words: wheel parameters; non-contact measurement; three-dimensional profile; Charge Coupled Device; profile reconstruction

轮对是铁路车辆重要的走行部件, 长时间使用后车轮踏面及轮缘出现磨损, 车轮的几何尺寸发生变化^[1]。所有的车轮在维修前后和进入装配之前, 都必须进行轮对几何参数的测量, 以便于检测车轮是否为合格品或者将几何参数合适的轮对选配安装到车辆上^[2-3]。轮对参数的测量方法可归为: 接触式检测和非接触式检测。接触式测量方法在使用过程中因探头逐渐磨损, 测量工具受力变形等原因会影响测量结果的稳定性, 测量工具维护和标定的工作量较大。非接触式测量由于其无损、快速, 在轮对检测中得到了广泛应用。基于激光位移传感器测量利用已知基准点与位移传感器的距离信息实现轮对检测^[4-5]。电涡流位移传感器测量有不受金属表面涂料和油污影响, 价格低的优点^[6]。电荷耦合器件(CCD)图像测量技术响应速度快, 可靠性高, 动态范围大, 采样率高, 但同其他测量方法相比对测量环境要求较高, 采集信号的处理过程复杂, 数据处理量大^[7-8]。本文拟对轮对参数检测与三维外形重构问题进行研究, 采用激光三角法与 CCD、激光测距相结合的方法, 通过检测原理阐述、方法建立与检测系统的设置, 实现检测模型的建立, 最后通过实验检测验证。

1 检测原理

激光三角法, 是由光源发出的一束激光照射在待测物平面上, 通过反射最后在检测器上成像。当物体表面

的位置发生改变时,其所成的像在检测器上也发生相应的位移^[9]。二维测量可在宽度 X 及高度 Z 方向上精确测量物体表面的轮廓。

激光三角法测量根据激光的入射角度不同可分为直射式和斜射式测量法。斜射式适合测量表面较光滑的物体,直射式测量法适合测量表面散射性能较好的物体。车轮踏面漫反射性能较好,要求传感结构紧凑,因此本文选择直射测量法。

图1中, R 为参考点,其在成像平面上的像点为 R' ; 虚线为透镜光轴, A 为被测量点,其在成像平面上的像点为 A' ; $RO=m, R'O=n, AR=h, R'A'=x$ 。如图作 AM 和 $A'N$ 垂直于光轴,由相似可得:

$$\frac{h \sin \alpha}{x \sin \theta} = \frac{m - h \cos \alpha}{n + x \cos \theta} \quad (1)$$

由式(2)可得 h 的表达式为:

$$h = \frac{x m \sin \theta}{n \sin \alpha + x \sin (\alpha + \theta)} \quad (2)$$

式中: m, n, α 和 θ 为系统的固定参数,如果获得了 x 的值,则 h 可计算得出。本文主要检测轮缘高度 H 、轮缘厚度 D 、垂直磨耗 QR 以及踏面磨耗,检测精确度为 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。

据所述检测原理,设计轮对检测系统,图2为检测系统装置图,主要测量仪器有二维信息采集系统、激光测距传感器和光电编码器。车轮由支架支撑,在电机驱动下转动。

车轮转动时伴有较大震动,车轮不可避免地会偏离中心。图3中激光测距传感器水平安装在轮缘内侧面,获取与轮缘内侧之间的距离 L_1 ,若已知测距传感器与二维信息采集系统坐标零点距离 L_3 ,车轮左右摆动 Δx ,则可求得轮缘内侧面在坐标系 O_2 下坐标为:

$$L_3 = L_1 \pm \Delta x \quad (3)$$

该方法避免了当轮缘顶点存在缺陷情况下顶点的定位不准,从而后续参数计算误差较大这个状况,从基本方法上提高精确度。此外,两坐标系的差分修正了轮对偏心对检测的影响。

二维信息采集系统处于车轮正上方,打出线激光垂直照射车轮踏面,获取车轮截面外形二维信息 $[X(i), Z(i)]$, $X(i)$ 为轮对轴向宽度坐标, $Z(i)$ 为径向高度坐标。

旋转编码器通过相应的联动装置紧贴轮缘安装,与车轮一起转动,并与轮缘保持一致的线速度。设定每 1 mm 产生 1 次脉冲,触发数据采集软件采集数据,记录编码器旋转弧长 $L(i)$,则第 i 个轮廓曲线对应的弧度为:

$$\theta = \frac{L(i)}{L} \cdot 2\pi \quad (4)$$

式中 L 为编码器绕轮缘旋转 1 周的周长。定义 R 为轮缘顶点至轮心半径:

$$R = \frac{L}{2\pi} \quad (5)$$

则轮对外形曲线坐标 $[x(i), y(i), z(i)]$ 为:

$$x(i) = X(i) \quad (6)$$

$$y(i) = [Z(i) + R] \cos \theta \quad (7)$$

$$z(i) = [Z(i) + R] \sin \theta \quad (8)$$

由此可以实现轮对三维外形重构。

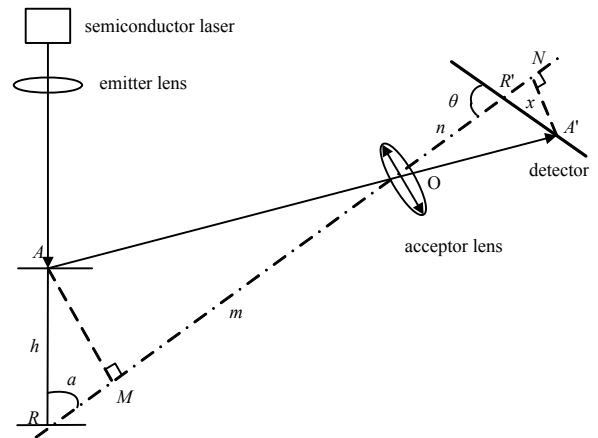


Fig.1 Principle of laser triangulation
图1 三角测量法示意图

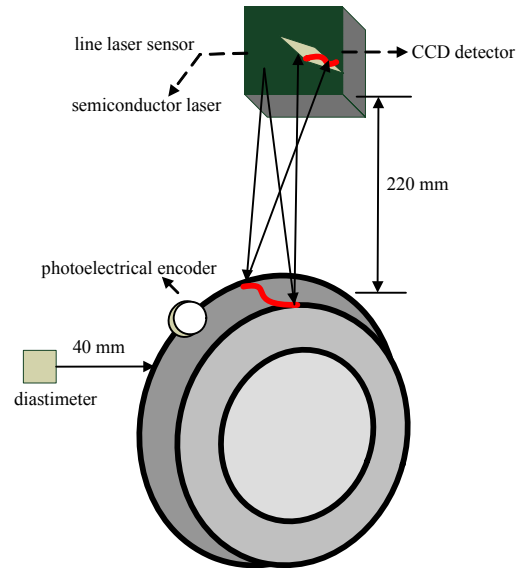


Fig.2 Diagram of measurement
图2 实验测量装置图

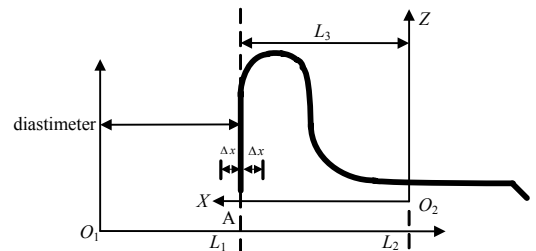


Fig.3 Double coordinate system
图3 双坐标示意图

2 实验与分析

对静态的轮对进行测量，然后分别改变轮对转速、激光照射高度等不同条件进行试验，最后添加干扰光，检测是否受检测环境的干扰。

首先，需对实验所得数据进行预处理，减小参数的计算误差。由原始数据绘得的轮廓曲线上有“毛刺”，数据有些许浮动，采用均值法进行平滑处理，即以左右 7 组共 15 个数据的均值替代该点原值，形成新的数据组。

图 4 所示为处理后的效果，可以明显地观察到曲线较原始数据图平滑了许多。

根据所得数据，由式(6)~式(8)可以重构出轮对三维外形图，见图 5。三维图能形象地描述轮对故障的特性，利于维修人员检查维修。以轮缘内侧面积为算法的基准点，由各个参数定义方法计算得到各个状态下轮缘高度、轮缘厚度、QR、踏面磨损以及方差值。进一步分析各个参数，以轮缘高度和轮缘厚度为例绘出不同条件下参数变化趋势。

表 1、图 6 和图 7 中，当改变车轮转速时，各参数的重复性误差均在±0.1 mm 之内，较之于测量范围值十分微小。轮对速度在一定范围内改变，几乎不影响参数检测精确度。

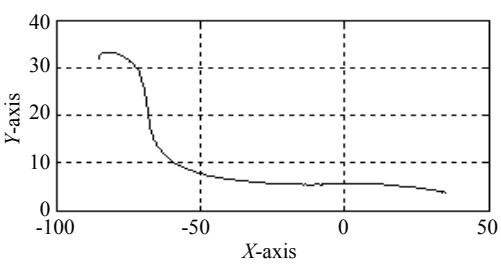


Fig.4 Diagram of data smooth process
图 4 平滑处理结果

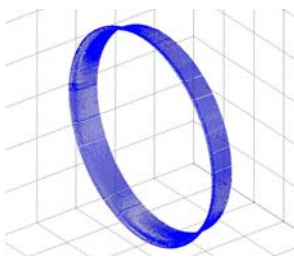


Fig.5 3-D view of wheel
图 5 轮对三维轮廓

表 1 轮对参数检测结果

Table1 Parameters of wheel

	mean flange height/mm	mean tread wear/mm	mean flange thickness/mm	mean QR/mm
static	27.634 2	0.365 8	31.610 6	9.014 9
20 r/min	27.627 8	0.372 2	31.631 8	9.085 3
30 r/min	27.627 8	0.372 2	31.622 3	9.072 3
40 r/min	27.631 0	0.369 0	31.616 9	9.079 3
height_3cm	27.564 3	0.435 7	31.677 1	9.052 0
height_6cm	27.768 9	0.231 1	31.719 1	9.130 3
height_9cm	27.832 9	0.167 1	31.747 2	9.184 5
light_1	27.636 3	0.363 7	31.602 4	9.068 3
light_2	27.832 9	0.167 1	31.737 4	9.183 0

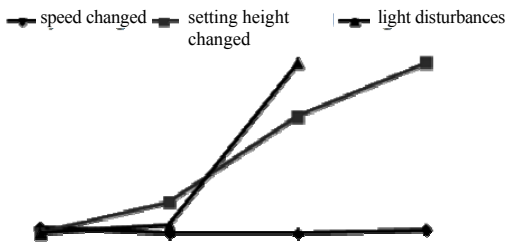


Fig.6 Mean flange height
图 6 不同条件下轮缘高度

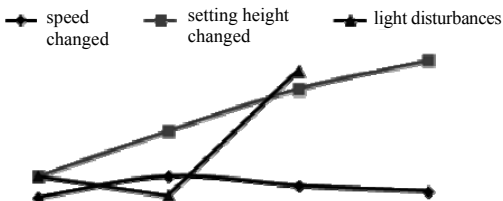


Fig.7 Mean flange thickness
图 7 不同条件下轮缘厚度

当改变光学采集系统的安装高度时，各项参数的重复性误差随着安装距离偏离最佳测量距离的程度增大而增大，直至超出测量技术指标。可认为，不同的测量距离对检测精确度影响较大。在测量过程中须正确安装光学采集系统与被测物之间的距离，并保证此方向上被测物与传感器相对稳定。

在一般的自然光或者弱光下所得测量结果的均值误差较小，基本不影响系统检测精确度。若有强光干扰，实验测量结果误差增大，直至超出检测技术指标，因此在使用此采集系统时应避免有强光的干扰，以免影响实验测量数据的精确度。

3 结论

轮对三维外形重构是轮对检测的重要手段之一。通过合理地设计检测系统与算法模型，并进行理论推导，本

文检测方法较传统测量方式能更快速、精确地测量车轮的整个剖面,得到外形轮廓等相关数据,根据所建立的算法模型实现轮对三维外形重建,并且求得轮缘高度、轮缘厚度、QR值等参数。建立的算法模型有效减少了由于轮缘局部缺陷引起轮缘顶点、踏面基点定位不准,从而造成的参数计算误差,提高了检测精确度。经实测验证,正确安装光学采集系统的高度、避免强光干扰、低速时,该方法能达到 ± 0.2 mm的检测精确度,有效地识别踏面、轮缘缺陷。

参考文献:

- [1] 王永,张若青. 车辆轮对外型尺寸检测设备的研究[J]. 机械工程师, 2009(8):28-29. (WANG Yong,ZHANG Ruoping. Research on Wheel Set Figure Measuring Equipment[J]. Mechanical Engineer, 2009(8):28-29.)
- [2] 张志峰,高岩,任宇芬,等. 非接触测量在轮对参数检测技术的应用[J]. 激光与红外, 2010,40(10):1125-1130. (ZHANG Zhifeng,GAO Yan,REN Yufen,et al. Research on wheel sets geometric parameters non-contact measurement[J]. Laser & Infrared, 2010,40(10):1125-1130.)
- [3] Joao Pombo,Jorge Ambrosio,Manuel Pereira,et al. A study on wear evaluation of railway wheels based on multibody dynamics and wear computation[J]. Multibody System Dynamics, 2010,24(3):347-366.
- [4] 赖冰凌,李俊卿. 轮对参数在线自动检测方法与研究[J]. 铁道机车车辆, 2007,27(3):13-16. (LAI Bingling,LI Junqing. Online Automatic Testing Methods and Coefficient Researching for Set Parameter[J]. Railway Locomotive&Car, 2007,27(3):13-16.)
- [5] 虢仲平,唐钟. 大型激光装置光路准直并行控制模型设计[J]. 信息与电子工程, 2011,9(6):786-789. (GUO Zhongping, TANG Zhong. Design of parallel control model for beam collimation in large scale laser equipment[J]. Information and Electronic Engineering, 2011,9(6):786-789.)
- [6] 李德维,周文祥,涂军. 电涡流位移传感器检测车轮外形的研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005,28(6):31-37. (LI Dewei, ZHOU Wenxiang,TU Jun. Study on measurement of wheel's profile with eddy current sensor[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2005,28(6):31-37.)
- [7] 牛牧笛,冯其波,陈士谦. 列车轮对在线动态测量方法的评述[J]. 铁道机车车辆, 2006,26(2):32-35. (NIU Mudi,FENG Qibo,CHEN Shiqian. Research of dynamic measurement method to wheel set of trains online[J]. Railway Locomotive & Car, 2006,26(2):32-35.)
- [8] 薛冰,陈红军,靳文瑞. 基于多DSP的车轮外形磨损动态检测系统[J]. 光学与光电技术, 2006,4(1):12-15. (XUE Bing, CHEN Hongjun,JIN Wenrui. Design of the dynamic inspection system on the wear of wheel contour based on multi-DSP[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2006,4(1):12-15.)
- [9] 冯俊艳,冯其波,匡萃方. 高精度激光三角位移传感器的技术现状[J]. 应用光学, 2004,25(3):33-36. (FENG Junyan, FENG Qibo,KUANG Cuifang. Present status of high precision laser displacement sensor based on triangulation[J]. Applied Optics, 2004,25(3):33-36.)

作者简介:



蒋利容(1987-),女,四川省遂宁市人,在读硕士研究生,主要从事光电信息检测与信息处理研究工作.email:caofangzi_j@163.com.

王黎(1959-),男,北京市人,博士生导师,主要从事光电信息检测与信息处理研究工作.

杨凯(1980-),男,成都市人,在读博士研究生,主要从事光电信息检测与信息处理研究工作.