

文章编号: 0258-7025(2008)07-1059-04

一种激光位移传感器动态测量 列车车轮直径的新方法

冯其波 张志峰 陈士谦 高 岩 崔建英

(北京交通大学发光与光信息技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要 列车速度的不断提高增大了车轮的磨损,加快了车轮直径的变化,给列车运行带来了安全隐患。提出了一种采用激光动态测量车轮直径的方法,介绍了使用单个激光位移传感器和两个激光位移传感器动态测量车轮直径的工作原理,并对影响测量精度的主要误差因素进行了分析和仿真计算。结果表明,采用两个激光位移传感器的测量方案可有效克服车轮运动过程中定位误差对测量的影响。经过现场测试,研制的激光测量装置的测量精度为 $\pm 0.38\text{ mm}$ (σ) 满足现场要求,实现了列车在正常运行过程中对其直径进行动态在线测量。

关键词 激光技术;直径测量;动态测量;激光位移传感器;列车车轮

中图分类号 TN 249;TP 212 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20083507.1059

A Novel Method for Dynamically Measuring Diameters of Train Wheels Using Laser Displacement Transducers

Feng Qibo Zhang Zhifeng Chen Shiqian Gao Yan Cui Jianying

(Key Laboratory of Luminescence and Optical Information, Ministry of Education,
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract With the continuous increase of the rail vehicle's speed, the wear of wheel is becoming more and more serious, thus accelerating the changes of wheels' diameters, which will certainly bring potential safety hazard to the operation of railway. A new laser dynamic measurement method was put forward, and the principles for measuring diameters by using both one and two laser displacement sensors were introduced. The main factors that influence the accuracy for measuring diameter of wheel were theoretically analyzed and simulated. The results show that adopting two laser sensors can greatly reduce diameter measurement errors caused by the positioning errors when the train moves. A system based on this laser method was built and put into use in a railway site. The experimental results show that the measurement accuracy of using two laser transducers is $\pm 0.38\text{ mm}$ (σ), which can meet the needs of site measurements. And the measurement apparatus can be used in the railway site for dynamically measuring the diameters of wheels.

Key words laser technique; diameter measurements; dynamic measurements; laser displacement transducers; train wheels

1 引言

车轮作为铁路车辆重要的走行部件,对于铁路的安全运输起着关键性的作用,特别是随着列车速度的不断提高,列车车轮各种磨耗及直径变化的速度加快,给列车的运行安全带来隐患。目前我国对于车辆轮径的测量仍然是被动测量,当车轮行驶一

段时间后,需定期送车间进行检修,检修的方法还停留在手工测量和离线自动测量^[1~4],不能及时发现超限车轮。国外对车轮几何参数动态测量的研究始于 20 世纪 90 年代,先后建立起不同类型的动态测量系统,可在列车低速($< 8\text{ km/h}$)行使时对车轮关键几何参数(如车轮直径等)进行动态测量^[5~8],测

收稿日期:2007-11-05;收到修改稿日期:2007-12-03

基金项目:铁道部科技开发计划(2003J020)资助项目。

作者简介:冯其波(1962—),男,湖北人,教授,博士生导师,主要从事光电检测技术方面的研究。

E-mail: qbfeng@bjtu.edu.cn

量直径的误差为1 mm,测量时列车的速度一般小于8 km/h,有些系统可达60 km/h。此外,对大型圆柱体零件直径的高精度测量也取得了一些进展^[9~11]。本文提出了一种基于激光位移传感器在线动态测量车轮直径的方法,同样适用于圆柱体工件直径的动态测量。

2 单个激光传感器测量车轮直径原理

使用单个激光位移传感器动态测量车轮直径的原理如图1所示, R 为车轮半径。设激光位移传感器的安装位置 A 为坐标系的原点,车轮圆周的最低点与 x 轴(即钢轨)相切于 C 点, C 点与原点 A 间的距离为 L_1 。激光位移传感器发出的激光以 α 的角度照射在车轮踏面上,在 B 点形成光斑,可得到该传感器与 B 点之间的距离 l_1 。

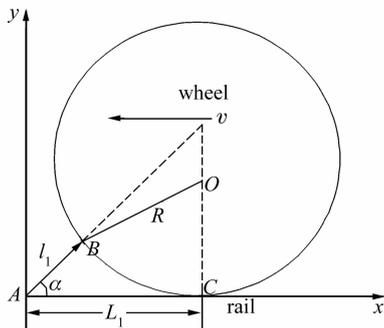


图1 单个激光位移传感器测量直径原理图

Fig.1 Schematic of measuring diameter by one laser displacement transducer

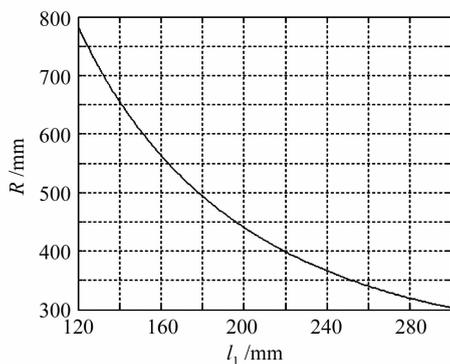


图2 车轮半径 R 与 l_1 之间的关系

Fig.2 Relationship between radius R of wheel and output l_1 of laser transducer

图1中, B 点的坐标为 $(l_1 \cos \alpha, l_1 \sin \alpha)$,车轮圆周的方程为

$$(x - L_1)^2 + (y - R)^2 = R^2, \quad (1)$$

因此得到

$$R = \frac{(L_1^2 + l_1^2)}{2l_1 \sin \alpha} - \frac{L_1}{\tan \alpha}. \quad (2)$$

由(2)式知,在激光位移传感器安装角度 α 和车轮圆周的最低点 C 与激光位移传感器之间的距离 L_1 确定的情况下,可以通过测量 l_1 得到车轮半径 R 。

在(2)式中取 $L_1 = 450$ mm, $\alpha = 45^\circ$,在检测到最低点位置情况下,车轮半径 R 与激光位移传感器测量值 l_1 的仿真计算结果如图2所示。

图2和(2)式是假设能检测到车轮最低点时得到的,实际上由于车轮在快速动态滚动,必然存在横向定位误差。

3 两个激光传感器测量车轮直径原理

使用两个激光位移传感器动态测量车轮直径的原理如图3所示,实际测量系统的构成如图4所示。设车轮圆周的最低点与 x 轴(即钢轨)相切于 C 点, C 点与原点 A 间的距离为 L_1 , C 点与右侧激光位移传感器安装位置 G 点的距离为 L_2 。左侧激光位移传感器发出的激光以 α 的角度照射在车轮踏面上,得到激光位移传感器到 B 点之间的距离为 l_1 ;右侧激光位移传感器发出的激光以 β 的角度照射在车轮踏面上,得到激光位移传感器到 E 点之间的距离为 l_2 。

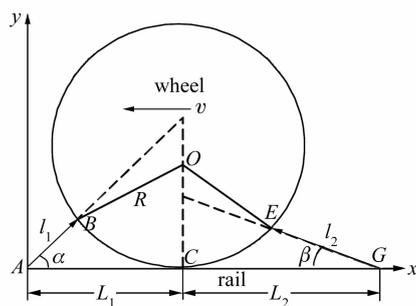


图3 两个激光位移传感器测量直径原理

Fig.3 Schematic of measuring diameter by two laser transducers

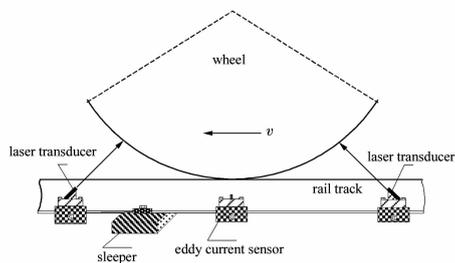


图4 两个激光位移传感器测量轮径构成图

Fig.4 Setup of diameter measurement system by two laser transducers

若半径 $R = 450 \text{ mm}$, 对称安装, $\alpha = \beta = 45^\circ$, $L_1 = L_2 = 450 \text{ mm}$, 得到 l_1, l_2 与 $L_1 (L_2)$ 的仿真计算结果如图 5 所示。

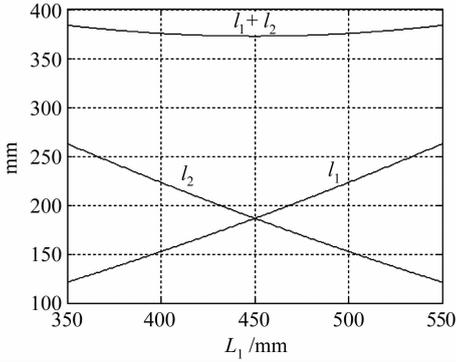


图 5 传感器输出 l_1, l_2 与 L_1 的关系

Fig. 5 Relationship between L_1 of wheel position and output l_1, l_2 of the two laser transducers

从图 5 可见, 当给定半径的车轮沿一个方向运动时, 其中的一个激光位移传感器的输出在增加, 而另一个激光位移传感器的输出在减少, 结果使得两个激光位移传感器的输出之和基本不变。

在图 4 所示的构成图中取一种简单情况, 即假设按(2)式可以分别得到两个激光位移传感器输出 l_1, l_2 与半径 R 的被测车轮直径的关系, 对这两个关系取平均得到被测车轮半径为

$$R = \frac{L_1^2 + l_1^2}{4l_1 \sin \alpha} - \frac{L_1}{2 \tan \alpha} + \frac{L_2^2 + l_2^2}{4l_2 \sin \beta} - \frac{L_2}{2 \tan \beta}, \quad (3)$$

若 $\alpha = \beta, L_1 = L_2 = L$, (3) 式可以进一步简化为

$$R = \frac{l_1 + l_2}{4 \sin \alpha} \left(1 + \frac{L^2}{l_1 l_2} \right) - \frac{L}{\tan \alpha}. \quad (4)$$

此时由于涡流位移传感器横向定位不准造成的半径测量误差的仿真计算结果如图 6 所示。当涡流位移传感器横向定位误差在 $\pm 4 \text{ mm}$ 内时, 造成的半径测量误差小于 0.2 mm 。实际上通过寻找最低点方

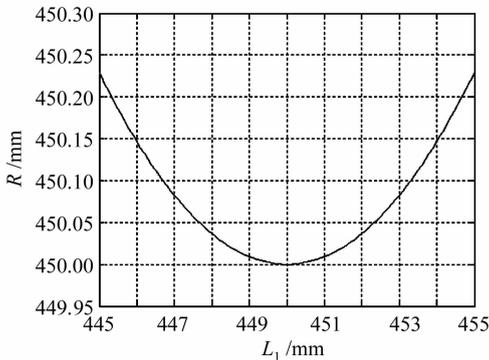


图 6 车轮定位误差对测量结果的影响

Fig. 6 Influence on measurement results by position error of train wheel

法可得到被测直径的大小, 涡流传感器可以取掉。通过仿真计算得到实际测量到的值 $(l_1 + l_2)$ 与待测车轮直径的关系如图 7 所示。

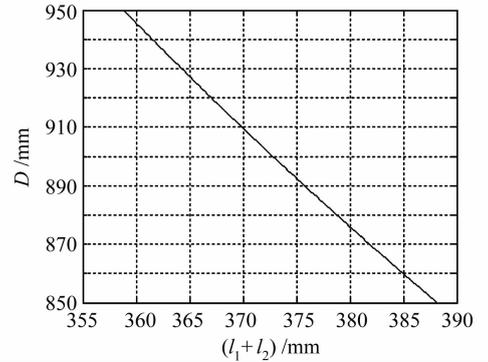


图 7 $(l_1 + l_2)$ 与车轮直径关系曲线图

Fig. 7 Relationship between radius of wheel and $(l_1 + l_2)$

4 实验结果与分析

研制的测量系统安装在铁路现场的一段电气化铁路上, 激光传感器安装在轨道上, 且没有防护装置, 用一列机车牵引三辆车辆以 $5 \sim 15 \text{ km/h}$ 之间不同的速度来回 5 次通过测量机构进行动态试验。两个激光位移传感器得到的实际波形如图 8(a) 所示, 涡流位移传感器得到的实际波形如图 8(b) 所示, 一节车厢测得的试验结果如表 1 所示。其中激光位移传感器为自行研制, 主要技术参数为: 测量距离为 $180 \pm 50 \text{ mm}$, 测量精度 $\pm 0.2 \text{ mm}$, 采样频率 400 Hz 。采用调制方法可以克服外界杂散光对激光

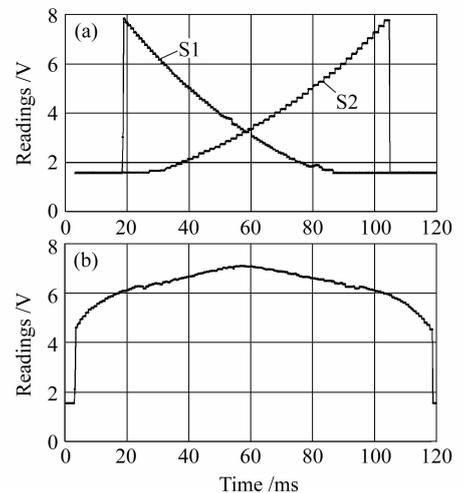


图 8 实际输出波形。(a) 两个激光位移传感器; (b) 涡流位移传感器

Fig. 8 Real output waveform. (a) two laser transducers; (b) eddy current sensor

传感器测量精度的影响,但400 Hz的采样频率限定了研制的测量系统适应列车的速度范围小于15 km/h,提高激光器的响应频率可以提高测量系统适应列车的速度范围。

表1 实验结果

Table 1 Experimental results

| Number | Diameters /mm | |
|---------------------------------|---------------|------------|
| | Left side | Right side |
| 1 | 852.4 | 852.8 |
| 2 | 853.4 | 853.7 |
| 3 | 853.4 | 853.7 |
| 4 | 853.1 | 853.4 |
| 5 | 852.8 | 853.1 |
| Average value | 853.02 | 853.34 |
| Standard deviation (σ) | 0.38 | 0.35 |

造成直径测量误差的主要原因是:自行研制的激光传感器的测量精度为 ± 0.2 mm,偏低;由于安装测量的钢轨为43号轨,车轮滚过轮径测量装置时造成钢轨变形使得激光光线的方向发生变化,目前还没有对这一变化进行补偿。

5 结 论

提出了一种采用激光动态测量车轮直径的方法,分析了单个激光位移传感器测量系统和两个激光位移传感器测量系统的测量原理,从理论上对影响测量精度的主要误差因素进行了分析和仿真计算。在使用两个激光位移传感器的系统中,电涡流传感器的横向定位误差对测量结果的影响很小。经过现场试验表明,测量系统能在有外界杂散光和电磁干扰等条件的条件下工作,且测量重复性和测量精度能够满足现场要求,可以用来对正常运行的列车车轮直径进行动态在线测量,同时也可用于圆柱体零件直径的动态测量。

参 考 文 献

- Gao Xiangdong, Xu Xiaoming, Gao Yu *et al.*. Detection of the flats and peeling of railway wheelset using laser sensors [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2003, **39**(9):139~141,145
高向东,徐晓明,高宇等. 基于激光传感的轮对踏面擦伤及剥离检测[J]. *机械工程学报*, 2003, **39**(9):139~141,145
- Feng Qibo, Cui Jianying, Chen Shiqian. Novel method for automatically measuring geometric parameters of train wheels based on parallelogram mechanisms [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2004, **40**(9):190~194
冯其波,崔建英,陈士谦. 基于平行四边形机构的车轮几何参数自动测量方法的研究[J]. *机械工程学报*, 2004, **40**(9):190~194
- Liu Xuemei. Research about arithmetic of image process to inspect locomotive wheels [J]. *Journal of Shandong University of Technology (Science and Technology)*, 2006, **20**(6):41~43
刘雪梅. 图像处理检测列车轮对算法的研究[J]. *山东理工大学学报(自然科学版)*, 2006, **20**(6):41~43
- Wu Kaihua, Zhang Jianhua, Yan Kuang *et al.*. Optoelectronic automatic measuring system for wheel set parameters [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, **27**(3):298~301,306
吴开华,张建华,严匡等. 轮对综合参数光电自动检测系统[J]. *仪器仪表学报*, 2006, **27**(3):298~301,306
- Zahid F. Mian, Ronald W. Gamache, Robert MacAllister. Contactless Wheel Measurement System and Method [P]. USA Patent, 6768551, 2004-07-27
- Jose Luis Lopez Gomez, Jose Julio Lorente Casado. Installation for Measuring the Wheel Offset of Railway Vehicles [P]. USA Patent, 6003232, 1999-12-21
- Hassan Vanaki. Wheel Profile Sensor [P]. USA Patent, 5793492, 1998-08-11
- Ulrik Danneskiold-Samsøe, Johan Gramtorp. Plant for Track-Based Detection of the Wheel Profile of Train Wheels [P]. US Patent, 5247338, 1993-09-21
- Feng Qibo, Liang Jinwen. Study of absolute measurement of large diameters by a $3.39 \mu\text{m}$ dual wavelength beat wave interferometer [J]. *Chinese J. Lasers*, 1994, **A21**(11):897~903
冯其波,梁晋文. $3.39 \mu\text{m}$ 双波长拍波干涉仪绝对测量大直径方法的研究[J]. *中国激光*, 1994, **A21**(11):897~903
- Wang Tao, Zhong Sidong, Yu Xuefeng. Calibration method by laser for the diameter measurement sensors [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(2):261~265
王涛,仲思东,余学锋. 对径测量传感器的激光校准方法[J]. *中国激光*, 2006, **33**(2):261~265
- G. Y. Zhang, X. P. Xu, X. H. Fu. The measurement and control of diameter in large-scale part processing [J]. *Journal of Material Processing Technology*, 2002, **129**(1-3):653~657