

高速轮对外形尺寸检测系统

杨 辉

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘 要: 车轮外形几何尺寸的测量对列车的安全运行非常重要。激光图像法是当前主流的检测运行列车车轮外形几何尺寸的检测技术, 然而在列车高速通过的情况下, 传统的轮对外形尺寸检测系统在系统布局、机械设计和相机成像质量等方面无法满足车速的要求, 激光图像法的检测精度会受到车速的影响, 因此在系统方案及标定方法等方面对传统的轮对外形尺寸检测系统进行了改进, 从而保证了在列车高速通过条件下, 系统对车轮各个参数的测量精度达到要求。

关键词: 高速列车; 轮对; 外形参数; 检测精度; 检测系统; 激光图像法

中图分类号: U269.32⁺2; U270.331⁺1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.04.025

Dynamic Inspection System for Wheel Profile of High-speed Railway Vehicles

YANG Hui

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Measuring wheel profile parameters is very important for the safety of running trains. Inspection of wheel profile parameters with laser light image was the mainstream technology. Under high-speed conditions, however, the tradition dynamic inspection system for wheel profile of railway vehicles couldnot meet the precision demand in several aspects, such as system layout, mechanical design, image quality of camera so on. Several solutions for the dynamic inspection system for wheel profile parameters in calibration algorithm, system design aspects were proposed, which ensured that system precision reached the standard in high speed situations.

Keywords: high speed train; wheelset; profile parameters; inspection precision; inspection system; laser light image

0 引言

铁路机车车辆的部件系统中, 轮对承受着列车车重、载重和自重, 同时还要传递列车与钢轨间的驱动力和制动力, 磨损速度快, 易导致外形尺寸超限, 影响行车安全, 因此轮对外形几何尺寸是关系车辆行车安全和正常运营的关键之一^[1-2]。本文所采用的方法是通过“激光图像测量技术”^[3-5]来检测车轮外形参数, CCD采集激光器投射在车轮踏面上的光截线, 实现车轮外形参数的计算。

轮对外形尺寸检测系统在国外已研究多年, 并且

多个国家已有成熟系统在使用。由于各国铁路要求不同, 各个系统检测参数有略微差别, 系统可适应的车速不同, 但是每套系统均是基于激光图像法原理进行测量。美国的WV系统安装在正线上^[6], 最高适应车速100 km/h, 基于激光图像法, 实现车轮轮缘宽度、轮缘高度、轮缘斜度、轮辋宽度等几个参数的测量。意大利的WTM系统为低速轮对尺寸检测设备, 系统最高适应车速为30 km/h, 基于激光图像法, 实现车轮轮缘宽度、轮缘高度、轮缘斜度、冲角、车轮直径等几个参数的测量。澳大利亚的WWM系统为低速轮对尺寸检测设备, 基于激光图像法, 实现车轮轮缘宽度、轮缘高度、轮辋宽度、车轮直径等几个参数的测量。

为使车辆的安全运行得到有力保障, 本文介绍一

种“高速轮对尺寸动态检测系统”。系统采用激光图像法实现高速轮对尺寸的在线检测。该系统安装维护方便,不占用停车时间,无需人工干预,能够长期自动稳定运行,满足适应检测速度 0~120 km/h 的需求,检测效率高、系统稳定性好。系统在线动态检测轮对状况,实时识别运行状态不良的轮对,为车辆轮对及时检修提供依据,保障行车安全。这一装置的投入使用将为防范和预警因车辆轮对磨损超限而引起的脱轨等行车安全事故起到重要作用。

1 系统基本原理

“高速轮对尺寸动态检测系统”安装在整体道床上,主要由分布在轨道两侧的 8 个激光线光源和 CCD 相机组成。系统利用激光图像测量技术,将内侧和外侧激光以不同角度投射到车轮踏面,形成包含踏面外形尺寸信息的光截曲线,将相机与光入射方向成一定角度拍摄车轮外形光截曲线,经图像采集、处理获得车轮外形尺寸。

在列车高速通过的条件下,传统的检测系统如果相机的曝光时间长,图像中会出现拖影,而曝光时间短光截曲线的亮度不够。新系统在设计时考虑了相机和线光源的角度,保证线光源投射在车轮踏面上的光截线会反射到相机中,并且选择了功率较大的线光源和灵敏度较高的相机,保证相机的成像质量。图 1 为系统光学图像检测原理示意图。图 2 为新系统采集的车轮光截线图片,外侧 CCD 有 3 条激光线,内侧 CCD 有 1 条激光线。

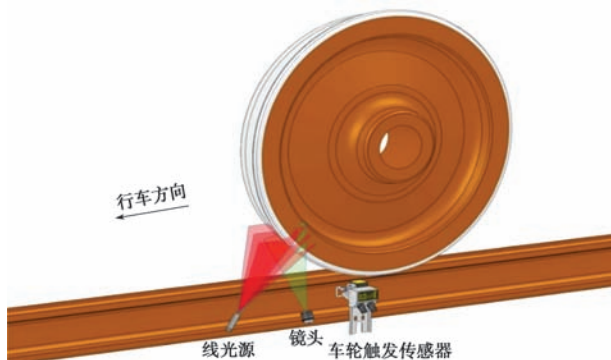


图 1 系统光学图像检测原理

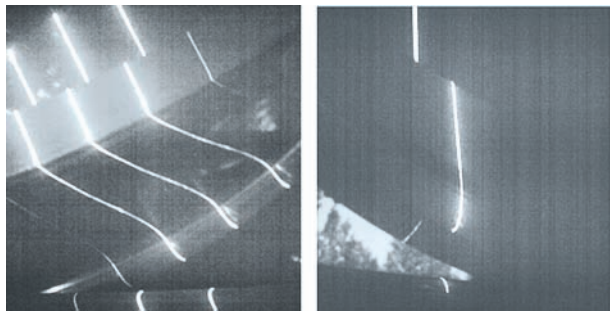


图 2 相机采集的光截线图片

传统的尺寸检测系统的标定方法标定时只拍摄标定板图片,对激光的调节位置准确性要求非常高,需

要将所有激光线调到准确的位置。如果线光源没有调整到正确的位置,会影响车轮参数的检测精度。所以每次调节需要 3 个人花费 5~6 h 才能完成标定。本系统新的标定方法是采用张正友标定法^[9],线光源和标定板图像同时拍摄,共拍摄 40 组激光与棋盘格图像。在调节相机和线光源时,对棋盘格位置和线光源位置的要求比传统方法低很多,只要求标定板图片和线光源图片同时采集。通过张正友标定法计算相机参数,建立相机模型,根据相机模型即可求出激光线平面的位置。此方法只需要 2 个人 3~4 h 的时间即可完成,大大缩短了现场维护设备的时间,节约了人力成本,提高了效率。

完成标定后,当车辆经过检测系统时,车轮经过车轮触发传感器触发激光投射在车轮踏面上,并触发 CCD 采集光截图像。原始数据经过尺寸检测软件进行处理,将图像上的二维激光线通过标定参数还原到三维空间中,最终得到车轮外形各个参数的检测结果。

2 免维护设计

车辆在运行过程中,不时向轨道上排出污物,经过检测系统时,经常导致污渍污染相机镜头和线光源,影响检测数据,产生误报警。另外,如果设备安装在环境恶劣的现场,如风沙灰尘较多,也会导致镜头和线光源上布满灰尘,对设备的检测造成影响。出现这些情况都需要现场人员及时维护。为了减少现场人员的维护工作量,系统专门做了免维护设计。

防水、防尘设计:为防止灰尘、雨水等在系统开关罩的时间间隙进入系统,在来车信号下发后,系统首先借助鼓风模块在箱体中吹风形成一定气压,然后延迟下发开罩信号,检测任务完成后首先关罩,再关闭鼓风模块,保证开罩状态下具有持续气压。经测试验证该设计能够达到预期目的,保持箱体在整个开罩时间保持持续风力。

通过以上设计,系统对环境的适应性增强。大大减小雨雪沙尘等天气对系统检测的影响,雨雪沙尘等天气过后基本不需要现场人员立刻去维护,延长了系统的免维护时间。

3 系统技术方案

系统采用了 3 组共 6 个磁钢,分别位于设备检测区前方约 400 m(根据列车通过速度决定)、设备检测区、设备检测区后方 30 m 处。车号识别天线安装在设备检测区,配合地面设备主机实现车号的识别。利用设备前/后端磁钢发送开始/结束信号,3 组磁钢配合实现计轴计辆功能,系统布局如图 3 所示。

在接收到来车信号之后,接车模块会进行判断车型的工作,如:读取车号,计轴计辆,完成车型数据的传输与存储。

自清洁模块工作：轨边设备鼓风机在接到来车信号后开始工作，防止列车经过检测箱时，灰尘落入箱体内。

系统检测流程：列车经过采集箱时，触发激光，同时照相机采集车轮图像。经过图像处理，车轮数据与车型数据等检测结果在 BS 报表中显示。

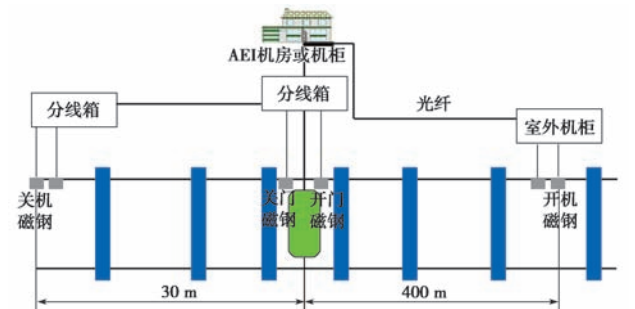


图 3 系统布局示意图

在接到列车的离去信号后，系统关罩，并进入待机状态，等待下一列车到来。检测流程如图 4 所示。

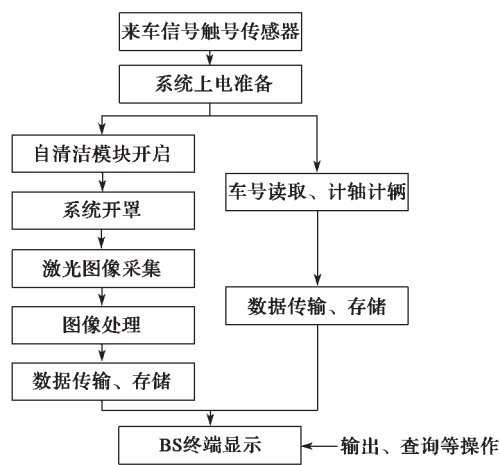


图 4 系统检测流程图

4 试验与分析

高速轮对尺寸动态检测系统经过半年以上的使用，系统基础及专用轨枕稳定可靠，未发生任何事故或异常。系统共检测车辆超过 5 000 次，累计观察统计车辆超过 70 000 辆，并对部分超限报警进行了复核确认，系统运行稳定，复核情况良好。

1) 数据准确性分析

通过系统检测数据进行了人工复核，轮缘厚度、轮缘高度和轮辋厚度的复核测量工具为第 4 种检测器，车轮直径的复核工具为轮径尺，车轮内距的复核工具为内距尺。表 1 是对经过检测系统的车辆 4812690 的轮缘厚度、轮缘高度和轮辋厚度的准确性分析，表 2 是对车辆 4812690 的轮对内距和车轮直径的准确性分析。

除了车辆 4812690 以外，对于经过检测系统的其他车辆的数据也进行了复核，复核的准确率统计在表 3 中，共统计了 8 辆车辆的数据。

通过对以上各个参数准确率的统计可以

表 1 车辆 4812690 有关尺寸准确性分析 -1 mm

轮位	轮缘厚			轮缘高			轮辋厚		
	检测值	复核值	偏差	检测值	复核值	偏差	检测值	复核值	偏差
1	29.3	29.4	0.1	27.2	27.3	0.1	30.2	30.5	0.3
2	30.2	30.1	-0.1	27.4	27.2	-0.2	31.4	31.0	-0.4
3	29.9	29.7	-0.3	26.8	27.1	0.3	31.8	32.0	0.2
4	29.0	28.4	-0.6	27.0	27.2	0.2	32.3	32.0	-0.3
5	29.9	29.9	0.0	27.2	27.2	0.0	35.0	35.2	0.2
6	28.6	28.8	0.2	27.3	27.1	-0.2	37.0	36.8	-0.2
7	31.5	31.6	0.1	28.5	28.3	-0.2	33.5	33.4	-0.1
8	26.2	26.4	0.2	28.3	28.3	0.0	35.2	35.0	-0.2

注：轮缘厚、轮缘高、轮辋厚度检测精度要求都为 0.3 mm。

表 2 车辆 4812690 有关尺寸准确性分析 -2 mm

轮位	车轮直径			轮对内距		
	检测值	复核值	偏差	检测值	复核值	偏差
1	802.1	801.3	-0.8	1 354.3	1 353.7	-0.6
2	802.5	801.5	-1.0			
3	802.3	802.4	0.1			
4	802.6	802.8	0.2			
5	809.1	810.0	0.9	1 352.9	1 352.9	0.0
6	808.0	807.3	-0.7			
7	806.2	805.5	-0.7			
8	804.5	806.0	1.5			

注：车轮直径、轮对内距的检测精度要求都为 1 mm。

表 3 数据准确率统计

车辆编号	轮缘厚度		轮缘高度		轮辋厚度		车轮直径		轮对内距	
	准确率	平均偏差	准确率	平均偏差	准确率	平均偏差	准确率	平均偏差	准确率	平均偏差
4812690	87.5%	0.20	100.0%	0.15	87.5%	0.24	87.5%	0.75	87.5%	0.22
7540017	100.0%	0.04	100.0%	0.14	87.5%	0.16	75.0%	0.49	100.0%	0.41
1516956	100.0%	0.10	100.0%	0.17	100.0%	0.11	75.0%	0.97	87.5%	0.51
5451417	87.5%	0.28	100.0%	0.17	100.0%	0.18	87.5%	0.78	100.0%	0.20
6094146	87.5%	0.11	87.5%	0.13	87.5%	0.27	87.5%	0.32	87.5%	0.13
6235736	100.0%	0.16	100.0%	0.08	87.5%	0.14	100.0%	0.57	87.5%	0.11
4827145	75.0%	0.08	87.5%	0.12	87.5%	0.15	87.5%	0.73	87.5%	0.60
1701163	87.5%	0.10	87.5%	0.14	75.0%	0.15	87.5%	0.31	87.5%	0.41
平均值	90.63%	0.13	95.31%	0.14	89.06%	0.18	85.94%	0.62	92.19%	0.32

注：轮缘厚度、轮缘高度、轮辋厚度数据精度要求都为 0.3 mm，车轮直径、轮对内距数据精度要求都为 1 mm；各参数平均偏差的单位都为 mm。

看出，高速轮对尺寸动态检测系统对各个车轮参数的检测准确率可以达到 90% 左右。

2) 数据重复性分析

对于多次经过检测系统的车辆 6094146 的 1 位轮进行了重复性统计，车轮各个参数的结果见表 4。

表 4 车辆 6094146 数据重复性统计

车轮参数	2017 年 3 月各日测量值					平均值	平均偏差	重复性满足率
	2 日	5 日	8 日	12 日	16 日			
轮缘厚度	31.2	30.8	30.7	31.0	31.1	30.99	0.15	100.0%
轮缘高度	28.0	27.9	27.6	27.7	27.5	27.75	0.16	100.0%
轮辋厚度	45.3	45.3	45.5	45.5	45.7	45.46	0.14	100.0%
车轮直径	809.5	808.2	808.2	808.0	807.6	808.32	0.48	80.0%
轮对内距	1 353.4	1 353.4	1 353.8	1 354.2	1 353.8	1 353.72	0.25	100.0%

注：测量值、平均值、平均偏差的单位均为 mm。

通过对系统检测的数据重复性统计可以看出,高速轮对尺寸动态检测系统对各个车轮参数检测的重复性能够达到 100%。

通过现场运用、设备运行和复核情况证明该设备先进、可靠性高,管理维护方便,检测数据准确率高,重复性高,能有效监测过往车辆的车轮状况,可以准确跟踪轮对数据,便于轮对的技术管理,节约检修成本。

5 结语

高速轮对尺寸动态检测系统的技术创新点如下:

①系统采用多束激光投射到车轮的方式计算车轮参数,实现了轮对几何尺寸的可靠、高精度检测;②采用自清洁、加热、制冷等手段,实现对各种环境条件的适应性;采用多种技术监控设备运行状态,发现故障时自恢复,设备能够长期免维护稳定运行。

用于列车高速通过条件下检测的“高速轮对外形尺寸检测系统”采用激光图像法,实现非接触自动检测,实现多曲线综合分析,系统设计可靠、运行稳定。该系统经过半年以上的试用,完全能够适应车辆速度在 0~120 km/h 条件下的检测需求,适应正线的安装环境要求。轮对外形几何尺寸是关系车辆行车安全和正常运营的关键。传统的依赖人工测量、定期检修轮对尺寸方式已无法满足运输需求,推广应用“高速轮对外形尺寸检测系统”将满足铁路车辆轮对尺寸日常检测需求,提升车辆运用维修段的装备技术水平,保障行车安全,有效避免因车轮缺陷造成的行车安全事故,从而带来较大的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 宋凤书. 中国铁路重载运输和客货混运的基本技术与经济情况[J]. 铁道车辆, 2004, 42(12): 1-4.
- [2] 钱立新. 世界铁路重载运输技术[J]. 中国铁路, 2007(6): 49-53.
- [3] 王晨, 马卫华, 罗世辉. 轮径差对地铁车辆轮对磨耗的研究[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(增刊 1): 87-91.
- [4] 王军平, 黄云华, 胡巧兰. 弹性阻尼耦合轮对曲线通过性能及轮轨磨耗分析[J]. 铁道学报, 2013, 35(6): 35-39.
- [5] 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.
- [6] 吴开华, 张建华, 严匡, 等. 轮对几何参数及踏面缺陷光电检测方法[J]. 光电工程, 2005, 32(7): 48-51.
- [7] Asplund M, Gustafsson P, Nordmark T. Reliability and measurement accuracy of a condition monitoring system in an extreme climate: a case study of automatic laser scanning of wheel profiles[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail & Rapid Transit, 2014, 228(6): 695-704.
- [8] Asplund Matthias, Lin Jing. Evaluating the measurement capability of a wheel profile measurement system by using GR&R[J]. Measurement, 2016, 92: 19-27.
- [9] Zhang Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [10] García A C, Río A G D. Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility: a double (but single) requirement[J]. Measurement, 2013, 46 (8): 2514-2518.

作者简介: 杨 辉 (1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事高速铁路、市域铁路及城市轨道交通车辆段工艺设计工作。

(上接第 72 页)

本文相关结论和方法可为以后此类问题的分析解决提供参考。

参考文献:

- [1] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- [2] 徐博, 周劲松, 赵明阳, 等. 地铁车辆车体局部结构振动控制研究[J]. 铁道车辆, 2015, 53(2): 1-4.
- [3] 张玉梅. 低地板车结构传声及车内噪声特性[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34(4): 1-4.
- [4] 郭金莹, 王勇, 石怀龙. 地铁车辆地板共振机理分析及解决方案[J]. 机械, 2013, 40(9): 6-9.
- [5] JU S H, LIN S H, HUANG J K. Dominant frequencies of train-induced vibrations[J]. Journal of Sound and Vibration, 2009, 319(1/2): 247-259.

- [6] NAKAGAWA C. Fundamental study on the effect of high frequency vibration in the vertical and lateral directions on the ride comfort[J]. QR of RTRI, 2010, 51(2): 101-104.
- [7] Mechanical Vibration and Stock-Evaluation of Human Exposure to Whole-body vibration-Part 1: General Requirement: ISO 2631-1997[S].
- [8] 付强. 电力机车主变压器故障诊断技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [9] 吴宗臻. 地铁列车振动环境影响的传递函数预测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

作者简介: 李 华 (1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事变流技术研究及相关科研管理工作。