

载货汽车制动蹄片温度监测方法研究

杨志发¹, 于卓², 于海洋³, 李世武¹, 徐观¹

(1. 吉林大学 交通学院, 吉林, 长春 130022; 2. 长春工业大学 基础学院, 吉林, 长春 130012;
3. 北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘要: 为实时掌握载货汽车制动蹄片温度变化状况, 研究一种用于监测制动蹄片温度的方法. 通过运动分析找出制动蹄片位移最大位置, 从而获得温升最大位置, 也即蹄片温度监测点; 利用传感器、数据采集模块、数据处理模块构建载货汽车制动蹄片温度监测系统, 进行传感器选型、软件系统设计、研究系统实施方法; 通过对比验证实验进行监测系统数据采集. 实验结果表明, 系统的监测误差 $\leq 2.5\%$, 证实了该制动蹄片温度监测系统的有效性.

关键词: 道路交通安全; 载货汽车; 制动蹄片; 温度; 监测

中图分类号: X 951 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0645(2013)增刊 1-0201-04

Monitoring Method for the Temperature of Truck Brake Shoe

YANG Zhi-fa¹, YU Zhuo², YU Hai-yang³, LI Shi-wu¹, XU Guan¹

(1. Traffic and Transportation College, Jilin University, Changchun, Jilin 130022, China; 2. Basic Sciences College of Changchun University of Technology, Changchun, Jilin 130022, China; 3. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: A monitoring method is developed so that the temperature of truck brake shoe can be acquired in real time. To find the maximum temperature position, the temperature displacement position of brake shoe is analyzed, which is also the best monitoring position. The monitoring system is built by sensor, data acquisition module and data processing module based on analysis of choice of sensor, design of software system and system implementation method. Comparison experimental test results show that the measurement error of the monitoring system is not more than 2.5%, and it is confirmed that the monitoring system is valid.

Key words: road traffic safety; truck; brake shoe; temperature; monitoring

重特大道路交通事故提醒着我们, 中国道路交通安全形势依然十分严峻. 已发生的重特大道路交通事故, 大部分与载货汽车、营运客车息息相关, 通常载货汽车是最主要的肇事车辆. 高建平^[1]研究结论得知载货汽车事故率约为 1.45 起/(10^6 辆·km), 远超过各种车型平均事故率 (0.56 起/(10^6 辆·km)); 叶忠慧^[2]的研究发现, 载货汽车占总交通工具的比例大约为 32%, 而其造成的交通事故数超过 53%. 这些与载货汽车相关的道路交通事故中, 大多数是因为载货汽车技术状况不

良特别是制动系统技术状况不良引起的, 如 2005 年北京八达岭高速载货汽车制动失灵与客车相撞造成的 24 人死亡事故, 2011 年甘肃临洮载货汽车违章载人因制动失灵致使 23 人死亡事故等. 高建平^[1]研究分析与汽车制动系统相关的事故大约占到了 8%, 可见制动系统技术状况不良是载货汽车事故主要引发原因之一.

为分析载货汽车制动系统技术状况变化原因, 国内外学者采用多种方法进行了相应的研究, 其中最典型的研究方法是理论研究结合软件仿真的方

收稿日期: 2013-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51008142); 西华大学重点实验室开放研究基金资助项目(s2jj2012-038)

作者简介: 杨志发(1976—), 男, 博士, 副教授, E-mail: yangzf@jlu.edu.cn.

通信作者: 于海洋(1977—), 男, 博士, 讲师, E-mail: yhy@163.com.

法. 美国的 John Scott 等^[3]在 2003 年提出了载货汽车的制动性能的测试方法, 包括制动管路压力和制动蹄片温度, 并分析了制动性能下降的危害, 提示驾驶员当前的制动器状态. M. Rudolph 等^[4]通过分析的方法描述了移动热源情况下温度分布情况, 并利用 Matlab 进行了编程计算. 2008 年 Cheng Chen 及 Gary Wagner 等^[5]对重型多轴汽车的制动距离进行了仿真计算, 利用 SIL 集成车辆各个动力学模块, 利用 HIL 实施硬件在环控制. 2006 年袁春静等^[6]利用 ANSYS 软件对制动鼓进行了有限元建模分析, 计算紧急制动时制动鼓的瞬态温度场变化. 2008 年刘志峰等^[7]应用 ADAMS 软件在制动器试验台模型的基础上建立了制动器的仿真模型, 利用仿真得到了制动效能因数随摩擦系数的变化情况.

国内外研究主要关注制动管路压力、制动器温度的测试等. 本文将通过对制动蹄片运动分析, 确定制动蹄片最大磨损位置即最高温度点位置; 利用传感器、数据传输设备、数据处理模块、软件开发等构建载货汽车制动蹄片温度监测系统.

1 制动蹄片温度最优监测位置分析

制动蹄片功能失效的主要原因有过度磨损和温度超高, 而在其工作过程中, 磨损是蹄片温升的主要原因. 因此, 载货汽车制动蹄片温度最佳监测最佳位置是蹄片磨损量最大位置. 通常载货汽车采用鼓式制动器, 本文以鼓式制动器为例进行制动蹄片最大磨损即最佳监测位置分析. 制动蹄片磨损量最大位置是蹄片在制动状态下的最大径向位移量的位置. 制动蹄片制动时的运动如图 1 所示.

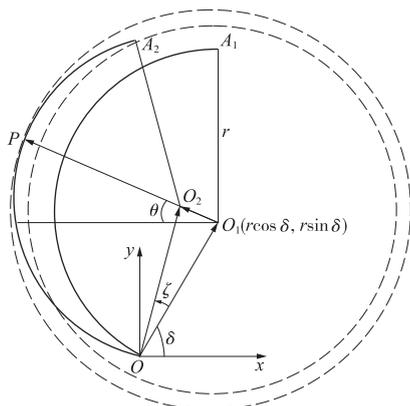


图 1 蹄片最大磨损位置分析图

Fig. 1 Analysis chart for the position of maximum wear of break shoe

图中: OA_1 为蹄片初始位置; OA_2 为蹄片制动

时位置; 点 O 为制动蹄片旋转轴心; 点 O_1 为制动蹄片初始位置(OA_1)的中心; 点 O_2 为制动蹄片制动时(OA_2)的中心; δ 为初始位置 OO_1 与 x 轴的夹角; ζ 为制动蹄片的转角; 点 P 为 O_1O_2 的连线与 OA_2 的交点; θ 为 O_1P 与 x 轴负半轴的夹角; r 为制动蹄片的半径.

由于点 P 的制动蹄片径向位移最大, 因此, 点 P 为蹄片磨损量检测的最优位置, 得

$$\mathbf{OO}_1 = [r \cos \delta \quad r \sin \delta]^T. \quad (1)$$

由于 $\mathbf{OO}_2 = \mathbf{R} \cdot \mathbf{OO}_1$, (2)

式中旋转矩阵 $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \zeta & -\sin \zeta \\ \sin \zeta & \cos \zeta \end{bmatrix}$, 则

$$\mathbf{OO}_2 = r \begin{bmatrix} \cos \zeta \cos \delta - \sin \zeta \sin \delta \\ \sin \zeta \cos \delta + \cos \zeta \sin \delta \end{bmatrix}. \quad (3)$$

又因

$$\mathbf{O}_1\mathbf{O}_2 = \mathbf{OO}_2 - \mathbf{OO}_1, \quad (4)$$

$$\text{则 } \mathbf{O}_1\mathbf{O}_2 = r \begin{bmatrix} \cos \zeta \cos \delta - \sin \zeta \sin \delta - \cos \delta \\ \sin \zeta \cos \delta + \cos \zeta \sin \delta - \sin \delta \end{bmatrix}. \quad (5)$$

$$\theta = \left| \arctan \left(\frac{\sin \zeta \cos \delta + \cos \zeta \sin \delta - \sin \delta}{\cos \zeta \cos \delta - \sin \zeta \sin \delta - \cos \delta} \right) \right|. \quad (6)$$

蹄片磨损量检测的最优位置点 P 的位置 θ 与初始位置 OO_1 与 x 轴的夹角 δ 和为制动蹄片的转角 ζ 的关系如图 2 所示.

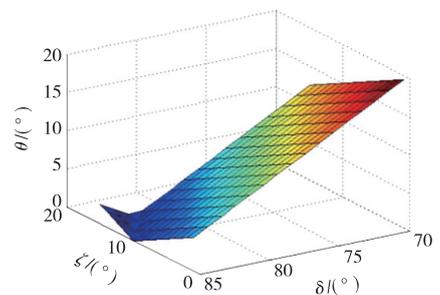


图 2 蹄片磨损量的最优检测位置

Fig. 2 Optimal detection position for the wear amount of break shoe

从图 2 中可知, 最优检测位置可取为 $\theta = 10^\circ \sim 15^\circ$, 因此, 制动蹄片温度变化最优监测位置即为此处.

2 制动蹄片温度监测系统构建及实施

2.1 监测系统总体架构

针对蹄片温升过高导致载货汽车制动失效问题, 通过在车辆上加装传感器, 实时采集车辆制动蹄

片温度,从而实现车辆制动蹄片实时动态监测.所构建的监测系统框架如图 3 所示.

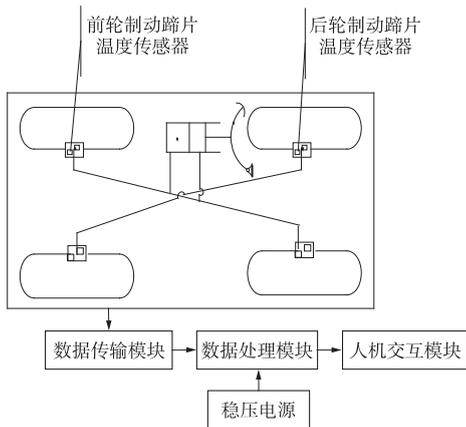


图 3 货运车辆制动蹄片温度监测系统框架

Fig. 3 Framework of temperature monitoring system for truck brake shoe

该系统主要由蹄片温度检测模块、数据处理模块、人机交互模块等组成.温度检测模块通过传感器及数据传输模块检测蹄片温度并实时传输给数据处理模块,数据处理模块将所获得蹄片温度数据进行统计分析,按照事先设定的规则将数据传输给人机交互模块,该模块实时显示当前制动蹄片的运行状态.

2.2 系统传感器选型

经过传感器比对,根据制动蹄片工作环境,选择了热电偶传感器,其特性及检测信息如下:检测对象为制动蹄片,检测信号为蹄片实时温度,传感器为热电偶,数量为 4 个,测量范围为 $0\sim 5\text{ V}$,数据类型为模拟量.

进行车辆运行状态参数检测,可采用计算机集中测量方案、基于总线的分散测量方案和基于无线传感器网络的测量方案.通过 3 种方案的对比分析^[8],由于测量的参数较少(考虑成本和难易程度),选择了基于总线的数据采集方案.由于温度传感器传输数据为模拟量,在数据检测传输时利用 RS232 串口通过 PC104 总线实现.

2.3 系统软件方案设计

本文所开发系统,采用 Windows CE 系统在工控机中进行嵌入式开发.开发时考虑到相关设备管理方便性、后期功能扩展性等,将软件进行分层,如图 4 所示.

2.4 制动蹄片温度监测技术实施方案

根据软件仿真找出制动器在制动时摩擦片最高

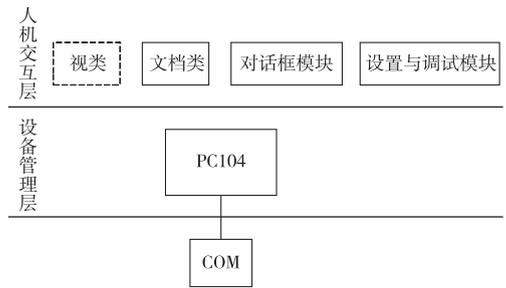


图 4 软件整体层次

Fig. 4 Overall level of software

温度位置,在此位置安装温度传感器,通过传感器实时采集制动蹄摩擦片的温度.制动蹄片温度传感器是通过贴片的形式安装在蹄片的摩擦材料的内表面.

其主要技术参数如下:铂热电阻为 Pt100, Pt500, Pt1000,测温范围为 $-200\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度等级为 A 级 $\pm(0.15+0.002|t|)^{\circ}\text{C}$,热电偶为 K 型偶 ($0\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$),精度等级为 II 级,测温方式为接触式测温.

3 监测实验及有效性分析

3.1 实验方案

为了测量该监测系统的有效性,设计了一种对比验证实验.实验设备采用了汽油喷灯、红外测温仪、实验制动蹄片.具体的实验方法为:使被试制动蹄片处于被测试状态(便于加热和红外测温);将监测系统与被试制动蹄片连接,启动初步测试系统采集数据功能,保证功能正常;点燃汽油喷灯,对制动蹄片安装温度传感器的位置进行加热,使用红外测温仪监测温度变化,当温度达到某高温状态时调小火力进行保温加热,使制动蹄片内外部温度达到基本一致状态时不再进行加热;使用红外测温仪和车载终端同时测量制动蹄片的温度,记录实验数据.

3.2 数据处理及分析

红外测温仪直接测量的是制动蹄片表面的温度;通过监测系统测量的是内嵌在制动蹄片的温度传感器数据,因此是制动蹄片的内部温度,在系统标定后测量,将测量值进行量纲转换获得摄氏温度.部分测量数据如表 1 所示.

实验过程中环境温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度较低.制动蹄片温度的两种测量结果一直存在一定的差值,并且随着时间的推移,该差值逐步稳定在 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,这是由热扩散和金属物体内部存在温度梯度所致.考虑到这种差异后计算红外测温仪测量结果与监测系

统测量结果所产生的误差(表中测量误差计算时将红外温度加 9℃后与监测系统误差计算),监测系统测量误差均 $\leq 2.5\%$,在可接受的误差范围内,说明该监测系统能有效监测制动蹄片实时温度。

表 1 两种方式测定的温度及误差

Tab. 1 Temperature of two measurement ways and measurement error

红外温度/℃	接收器温度/℃	差值/℃	测量误差/%	红外温度/℃	接收器温度/℃	差值/℃	测量误差/%
99.0	108.0	9.0	0	75.5	85.0	9.5	0.59
96.0	105.0	9.0	0	73.0	84.0	11.0	2.38
93.0	103.0	10.0	1.44	70.5	79.4	8.9	0.12
90.5	100.0	9.5	0.50	69.0	77.6	9.1	0.13
87.0	96.0	9.0	0	67.5	76.1	8.6	0.53
85.5	95.0	9.5	0.52	65.5	74.6	9.1	0.13
83.0	91.5	8.5	0.55	64.5	73.4	8.9	0.14
80.0	89.5	9.5	0.56	64.0	72.9	8.9	0.14
77.5	88.1	10.6	1.82	62.5	72.0	9.5	0.69

4 结 论

为实现载货汽车制动系统运行状态监测,本文研究了一种载货汽车制动蹄片温度监测方法。

① 通过运动分析获得了载货汽车制动蹄片升温最快位置为蹄片中心线与水平线夹角约为 $10^\circ \sim 15^\circ$;

② 利用加装传感器和数据采集处理系统能准确实现载货汽车制动蹄片温度监测。

参考文献:

- [1] 高建平,柳本民,郭忠印. 货车交通对高速公路安全性的影响[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(6):763-767.
Gao Jianping, Liu Benmin, Guo Zhongyin. Influence of heavy vehicles on traffic safety of freeways[J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2005, 33(6):763-767. (in Chinese)
- [2] 叶忠慧. 高速公路上大货车事故多的原因与对策[J]. 公

路与汽运,2005(1):23-25.

Ye Zhonghui. Causes and countermeasures for truck traffic accidents on highway [J]. Highways & Automotive Applications, 2005(1):23-25. (in Chinese)

- [3] Scott J, Fay R, Hoover N, et al. Brake performance testing and truck runaway analysis[C]// Proceedings of 2003 SAE International Truck and Bus Meeting and Exhibition. Warrendale, USA: SAE International, 2003.
- [4] Rudolph M, Popp K, Hogenkamp W. Computation of the temperature between brake disk and pad [J]. PAMM, 2003, 3:124-125
- [5] Chen C, Wagner G, Pace M, et al. Prediction of heavy truck stopping distance and vehicle behavior using real-time HIL and SIL simulation [C]// Proceedings of SAE Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition. Warrendale, USA: SAE International, 2008
- [6] 袁春静,吴永根,葛振亮,等. 制动鼓瞬态温度场有限元分析[J]. 科学技术与工程,2006,6(8):1154-1157.
Yuan Chunjing, Wu Yonggeng, Ge Zhengliang, et al. Unsteady state heat transfer analysis of drum brake system[J]. Science Technology and Engineering, 2006, 6(8):1154-1157. (in Chinese)
- [7] 冯刚,刘志峰,张洪潮. 基于仿真技术的制动器效能研究[J]. 制造业信息化,2008(7):138-140.
Feng Gang, Liu Zhifeng, Zhang Hongchao. Research on brake based on the simulaiton technology [J]. Manufacturing Information, 2008(7):138-140. (in Chinese)
- [8] 李世武,杨志发,汪海正,等. 营运载货汽车安全性能检测与预警集成技术及装置[R]. 长春:国家八六三项目组,2012.
Li Shiwu, Yang Zhifa, Wang Haizheng, et al. Device and integration technology for truck safety performance testing and early warning [R]. Changchun: National 863 Project Group, 2012. (in Chinese)

(责任编辑:刘芳)