

# 客车发动机舱内温度分析的火灾预警方法实验

高艳艳, 杜建华, 张认成, 丁环

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 为了解决目前客车发动机舱内火灾预警装置检测时间较长、误报较多的问题,在分析客车火灾成因的基础上,以客车发动机舱为研究对象,设计客车热表面故障模拟实验平台,模拟行车过程中的热表面故障,通过多个温度传感器采集热表面故障时舱内温度数据,基于温度故障特征开发了一种火灾识别预警试验系统.实验结果表明:基于舱内温度变化故障特征的判别方法,能够准确对客车火灾进行早期预警.

**关键词:** 客车火灾; 高温热表面; 温度速率; 火灾预警; 报警信号

**中图分类号:** X 928.7; TU 998.12

**文献标志码:** A

近年来,随着我国公路交通系统的不断发展和完善,公路客运量和客运周转量均大幅增长<sup>[1]</sup>.由于客车载客量大,并多数行驶在高速公路等消防困难的地段,所以一旦发生火灾往往会造成巨大的人员伤亡和巨额的财产损失.国内外对客车火灾及对策研究开始逐年增加<sup>[2-5]</sup>.经过多年来火灾调查研究发现,大多数的火灾事故都是由温度异常引起的<sup>[6]</sup>.由此可见,在引发客车火灾的过程中,温度起到很大的作用,而车内高温组件为火灾的发生提供了必要的条件<sup>[7]</sup>.当它与可燃物接触时,便可能起火燃烧<sup>[8]</sup>,发生火灾事故.然而,目前这类客车火灾的防范措施,仍局限在采用手提式灭火器和自动灭火装置进行扑救,而这些扑救火灾措施存在易受舱内位置因素和舱外环境因素影响等缺点,容易出现漏报和误报,延误灭火的最佳时机.因此,本文设计客车发动机舱内热表面故障实验,分析舱内发生高温热表面故障时舱内温度变化特性,找出故障特征,为客车火灾早期预警提供可靠依据.

## 1 火灾成因分析

客车的火灾故障大多是因为发动机舱内的高温金属热表面接触到意外跌落的杂物、泄露的油品或脱落老化的绝缘层等引起的.当这些可燃材料达到自身燃点后发生自燃,形成火灾.在客车正常行驶的过程中,发动机舱的混合气缸内燃烧后排出的废气温度较高,可使排气管外壁温度达到400~500℃,而走山路时排气管温度可达500~680℃<sup>[9]</sup>,足以引起任何油类着火<sup>[10]</sup>,形成金属高温热表面故障.这些高温热表面可以为可燃物燃烧提供初始的点燃能量,成为客车火灾的潜在的危险源.

## 2 故障模拟实验

### 2.1 实验方案

舱内高温热表面故障,是舱内杂物与热表面接触蓄热燃烧的过程.因此,实验采用辅助加热装置和金属铁板,模拟舱内金属热表面故障.采用温度传感器和数据采集系统,采集故障时舱内温度数据,分析故障特征.同时设计对比实验,采集客车正常运行时,在不同车况下的舱内温度特征,并根据温度故障特征设计检测电路,从而识别客车发动机舱内热表面故障.

**收稿日期:** 2014-02-17

**通信作者:** 张认成(1962-),男,教授,主要从事机电系统状态监测与安全保障技术、现代检测技术的研究. E-mail: zhangrc1218@126.com.

**基金项目:** 福建省科技计划重点项目(2013H0028)

2.2 实验平台

客车热表面故障模拟实验平台由客车发动机模拟舱、辅助加热装置、热表面加热铁板、温度传感器和数据采集系统组成. 为尽可能模拟行车过程中的热表面故障, 实验模拟舱由废旧客车发动机舱改造而成, 并保留发动机等主要部件. 辅助加热装置采用小功率电热炉, 并在其上方放置加热铁板, 调节电热炉与加热铁板之间的距离, 用于控制热表面加热铁板表面温度. 热表面故障实验是通过将浸有燃油的碎布置于加热铁板上蓄热燃烧模拟, 同时将辅助加热装置放置在舱内不同的位置, 模拟不同地点发生热表面故障时, 舱内温度变化的情况. 舱内温度探测采用模拟式 AD590 型温度传感器. 为了全面感知发动机舱内的温度变化, 在发动机舱顶部安装多个温度传感器. 参考舱内重点过热区域, 将温度传感器分别装在发动机外壳上方及左右 30 cm 处, 如图 1 所示.

3 实验结果与分析

为说明模拟实验中温度变化与正常运行时不同, 设计客车正常行驶对比实验. 在客车正常行驶实验中, 温度传感器的位置参照模拟实验中传感器的位置布置, 记录客车匀速、加速、减速行驶条件下温度变化曲线. 可燃物实验舱内左侧和右侧故障点燃烧时, 温度的变化曲线如图 2 所示. 图 2 中: 温度记录时间起点是舱内可燃物开始燃烧的时刻. 以图 2(a)为例, 在火焰燃烧的最初 1 min 内, 火焰变大, 火势范围迅速扩张, 之后舱内火焰维持在一定范围内燃烧, 持续 3 min 左右; 随着可燃物的减少, 舱内火势逐渐减少, 直到 8 min 左右, 舱内火焰熄灭, 舱内温度逐渐恢复到正常值. 客车在冬季和夏季正常行驶过程时, 舱内的温度曲线如图 3 所示.

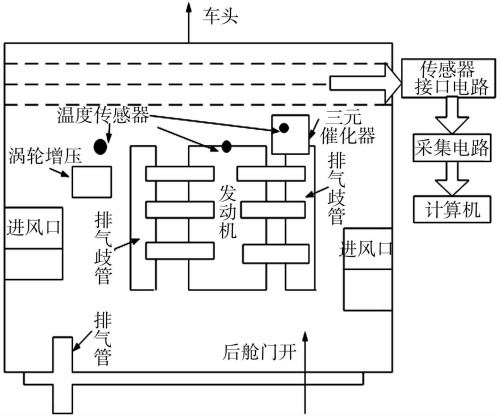
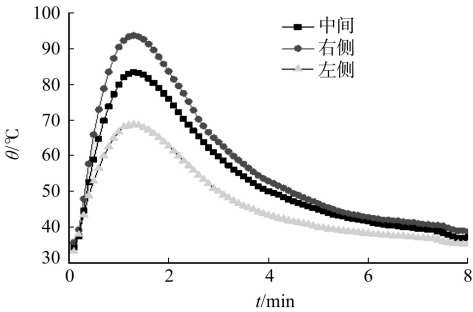
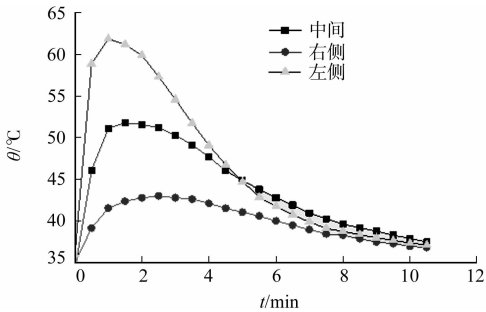


图 1 热表面故障模拟实验平台示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hot surface fault simulation experiment platform



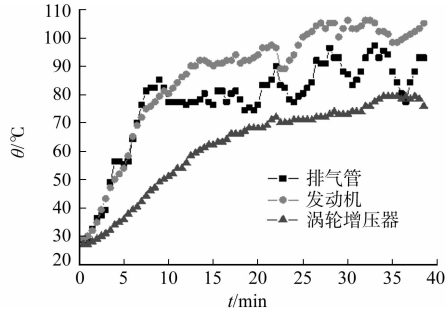
(a) 左侧燃烧



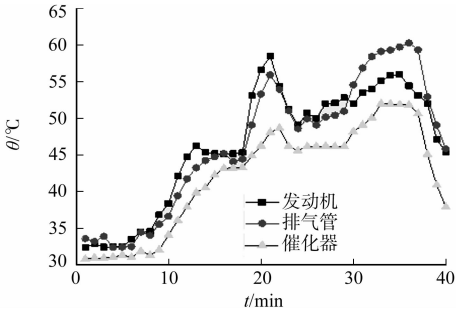
(b) 右侧燃烧

图 2 实验舱燃烧的舱内温度曲线图

Fig. 2 Temperature curve of the burning experiment lab



(a) 冬季发动机舱



(b) 夏季发动机舱

图 3 客车正常行驶的舱内温度曲线图

Fig. 3 Temperature curve of passenger coach on normal running

从图 2 可以看出: 当热表面故障发生时, 金属热表面引燃其周围的可燃物. 由于燃烧作用, 故障处局

部区域瞬间释放大量热量到周围空间中,导致空间温度变化.同时,由于空间传递热能的损失,3 个测温点测得的温度值各不相同,离故障点较远处温度上升的幅度较小,离故障点近处温度上升幅度较高.由图 3 可知:由于发动机舱内的半封闭性,舱内温度会随着客车运行状况的不同而呈现出上升或下降的变化.以图 3(a)为例,客车从 0 时刻启动,匀速行驶 15 min,舱内温度先是持续上升,在 10 min 时舱内温度达到动态平衡不再升高,15 min 时遇到红灯停车,舱内温度急速上升,之后加速启动.此时,由于舱内有空气流过,温度下降之后又达到一个新的动态平衡,然后减速行驶直至停车,舱内温度又呈现上升的趋势,达到一定程度后逐渐降温.从图 3(b)可以看出:夏季客车正常行驶时,舱内温度最大可达到 110 ℃.

对比客车故障模拟实验和正常行驶实验可知:两者温度曲线的上升速率存在较大区别.这一现象也反映了燃烧会释放大量的基本特点.图 4,5 分别为图 2,3 中各图对应的温度变化率( $T$ )曲线图.

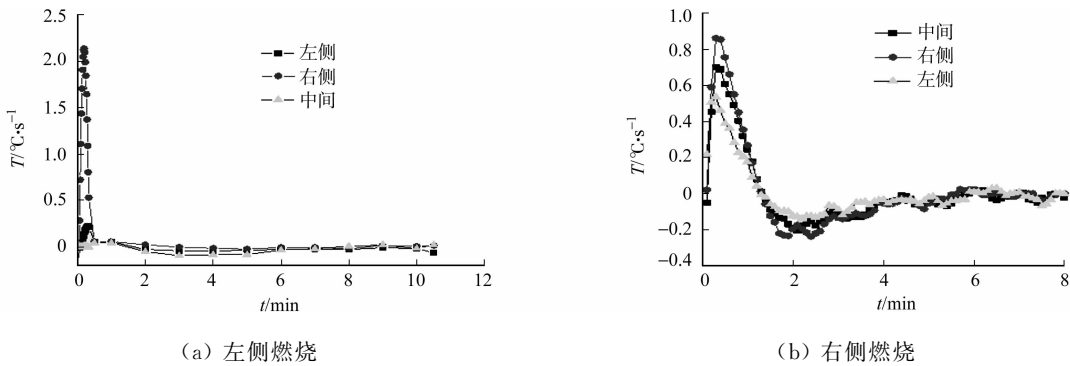


图 4 实验舱燃烧的舱内温度速率图

Fig. 4 Temperature rate curve of the burning experiment lab

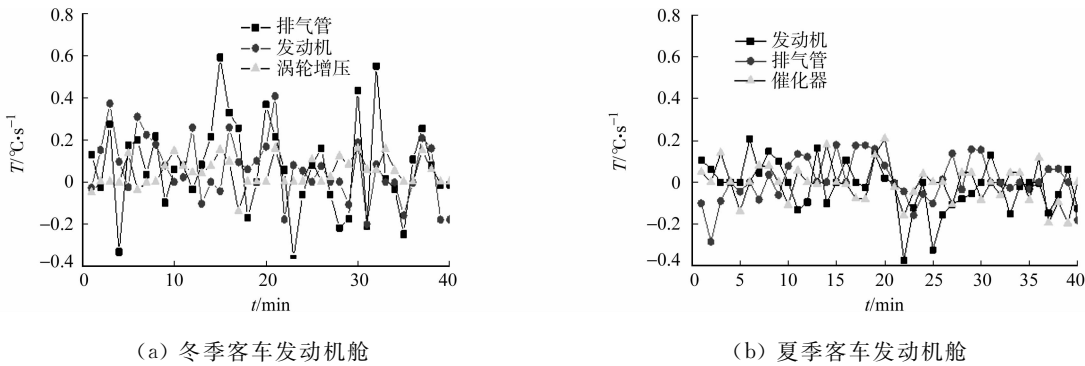


图 5 客车正常行驶的舱内温度速率图

Fig. 5 Temperature rate curve of passenger coach on normal running

对比图 4,5 可知:故障和正常情况下舱内温度速率变化较大,正常情况下,舱内高温设备热源产生的热量是缓慢释放和积累的.从图 5(a)可知:在客车行驶的 40 min 里,最初的启动加速时,舱内温度速率会有一个较大的变化直到  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ ,之后经过加速、减速、停车后,舱内温度速率会呈现上升趋势,最大值达到  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ .从图 5 可知:无论客车是加速还是减速,其舱内温度速率相对故障变化较小.结合舱内热表面故障中火势规模,从图 4 可知:在舱内热表面故障舱发生时,舱内会出现大量热量,温度会瞬间超过正常值的数倍,其变化量也会受到火势规模的影响,在火焰发展的初期,大量热量被释放,舱内温度变化速率上升到  $1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,随着火势渐渐稳定,舱内温度变化速率下降.根据以上分析可知:客车正常行驶过程中,温度速率在  $0\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  内变化,当出现热表面故障时,舱内温度速率变化较大,达到  $1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  以上.因此,可以通过在线实时监测舱内温度变化速率,及时检测舱内热表面故障.

## 4 客车发动机舱火灾检测系统

根据实验结果与分析,设计检测程序在线监测舱内的温度变化速率.当监测的温度传感器中任何一个温度速率变化超过正常值时,可判定舱内出现热表面故障.检测电路示意图,如图 6 所示.

检测电路主要由多个 AD590 型温度传感器、单片机、接口电路和继电器组成.温度传感器布置在舱

内故障高发区域,采集舱内温度值. 温度传感器将采集到的温度值转换为对应的电流值,再通过接口电路传送到单片机,单片机 I/O 口根据采集到的温度值,求出单位时间温度速率,与正常值做比较. 最终判断舱内是否有热表面故障发生,一旦判断有故障就启动自动灭火装置. 同时,在液晶屏上显示提示信息,并向司乘人员发出声光报警信号,通知驾驶员立即停车检查.

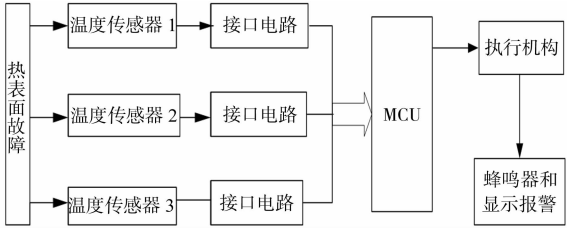


图 6 检测电路示意图

Fig. 6 Detection circuit diagram

5 结束语

目前,客车火灾呈现快速发展的态势,然而客车在行驶过程中受到外界环境影响因素较大,安装在客车发动机舱内的自动灭火器有时会出现漏报或误报的情况. 通过对客车发动机舱内温度及温度变化率参量的实时在线监测,实现火灾早期预警的目的,依此设计硬件检测电路. 实验证明:基于该方法的检测电路可以在火灾生成的早期进行有效报警. 同时,通过实验验证,该方法受传感器布置位置因素的影响较大,当温度传感器离故障点较远时,传感器速率变化较小,容易出现漏报的情况. 因此,后续实验需要建立多个传感器之间的联系,弥补该方法对单一传感器的判断盲区,准确判断不同位置处热表面故障的发生,进而达到火灾早期预警的目的.

参考文献:

[1] 周云斐,易亮,陈洁. 大型客车火灾特性和事故原因浅析[J]. 科技资讯,2012(25):253-254.  
[2] 马秀山. 火焰探测取得巨大进展[J]. 消防技术与产品信息,2009(4):70-71.  
[3] 丁环,杜建华,张认成. 基于电流分析的汽车电气火灾预警方法[J]. 消防科学与技术,2013,32(3):337-340.  
[4] KEMPKA T,KAISER T,SOLBACH K. Microwaves in fire detection[J]. Fire Safety Journal,2006,41(4):327-333.  
[5] 陆强,廖光焯,黄鑫,等. 细水雾扑灭 B 类火的全尺度实验[J]. 中国科学技术大学学报,2006,36(6):660-667.  
[6] 韩晶,贾怀宇. 浅谈新一代温度传感火灾探测技术[J]. 消防技术与产品信息,2004(8):17-20.  
[7] 刘振刚. 汽车火灾原因调查[M]. 天津:天津科学技术出版社,2008:119-120.  
[8] 杜建华,张认成,丁环,等. 汽车火灾探测研究现状及发展趋势[J]. 消防科学与技术,2012,31(4):436-439.  
[9] 杨云. 浅谈汽车火灾的常见原因及调查方法[J]. 科技信息,2009(33):1172-1173.  
[10] 耿惠民,王铁强. 汽车火灾的研究[J]. 消防科学与技术,2004,23(6):596-599.

Research on Fire Early Warning Method Based on Temperature Analysis in Engine Compartment of Passenger Coach

GAO Yan-yan, DU Jian-hua, ZHANG Ren-cheng, DING Huan

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The current fire detecting device in engine compartment of passenger coach is criticized for its long detection time and more false alarms. In order to solve these problems, this paper analyzed the causes of passenger coach fire were analyzed in this paper. Then based on them, the hot surface fault simulation experiment platform was built and the hot surface fault in the driving processing was simulated. When the hot surface fault was occurred, the temperature dates in the compartment were collected by multiple temperature sensors. Based on temperature fault characteristics, a fire recognition and early warning test system was developed. Many experimental results showed that the discriminant method based on fault features of the temperature change in the compartment could effectively give a warning in the early stage of passenger coach fire.

**Keywords:** passenger coach fire; hot surface; temperature rate; fire warning; alarm signal