

重型货车坡道运行安全监控系统

史培龙, 刘瑞, 余强, 赵轩

长安大学汽车学院, 西安 710064

摘要 针对山区公路交通的安全问题, 研究一种适用于重型货车的坡道运行安全监控系统。依据确定的监控指标, 选用 Freescale MC9S12DG128B 单片机, 并设计信号采集、信号处理、数据通信等功能模块和人机交互智能仪表, 构建了重型货车坡道运行智能监控系统。装车道路试验结果表明, 该系统实现了对制动器温度、制动主缸压力、制动轮缸压力、制动管路压力、制动减速度、下坡坡度等参数的实时监测, 能够给驾驶人提供车速、制动踏板位移、制动踏板力、环境温度和湿度等信息, 且当制动器温度过高、制动管路泄漏、制动减速度异常时, 能够及时提醒驾驶人, 有效提高了重型货车坡道运行的安全性。

关键词 重型货车; 坡道运行; 安全监控系统

中图分类号 U461.91

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.04.018

Safety monitoring system for heavy duty vehicles running on rampway

SHI Peilong, LIU Rui, YU Qiang, ZHAO Xuan

School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China

Abstract For the safety problem of heavy duty vehicles running on rampway, a study and design of a safety monitoring system is presented. First we analyze the 923 downhill traffic accidents in Shaanxi to acquire their major causal factors, and confirm the monitor control indexes for the safety monitoring system. Then, the monitoring indicators, signal acquisition module, signal processing module, data communication module, and human-computer interaction intelligent instrument are designed and implemented based on Freescale MC9S12DG128B SCM. Finally, we conduct road experiments for the monitoring system. The results show that the monitoring system for heavy duty vehicles running on rampway could provide an effective way to monitor the security parameters of heavy duty vehicles and alarm, with intellectualization, visualization, security and stability. The safety of heavy duty vehicles when running on rampway is improved.

Keywords heavy duty vehicles; running on rampway; safety monitoring system

随着中国交通运输业的快速发展, 公路货运周转量迅猛增长, 据调查, 2011 年中国公路货物周转量达到 19801.51 亿 t·km^[1]。公路货物运输对交通运输业做出巨大贡献的同时, 也带来了交通安全问题^[2]。据统计, 截止 2013 年中国货车保有量达到约 1900 万辆, 占机动车保有量的 7.8%, 然而由货车事故导致的死亡人数高达 128621 人, 占交通事故死亡总数的 28%。因此, 解决货车交通安全问题是降低交通肇事死亡数量的主要途径之一。在货车交通事故中, 山区公路交通事故造成的群死群伤重特大恶性事故尤为严重^[3-5]。

山区公路交通事故的统计结果表明, 64.31% 的货车交通

事故是由于汽车主制动器失效或部分失效造成的。为解决重型货车连续下坡安全性问题, 通常采用的解决方法是淋水法和修建避险车道法^[6,7]。淋水法存在着地面结冰、制动鼓龟裂、制动蹄磨损严重等缺陷; 避险车道的修建受地理环境影响较大, 且制造和维护成本高。因此, 本文根据主制动器失效的原因, 研究重型货车坡道运行安全监控系统。

1 总体设计方案

某机动车物证司法鉴定中心 2004—2013 年处理的交通事故 20159 起, 其中下坡路段交通事故 923 起。对下坡路段

收稿日期: 2014-05-27; 修回日期: 2014-12-30

基金项目: 西安市科技计划项目(CX12162); 中央高校基金创新团队项目(2013G322402)

作者简介: 史培龙, 博士研究生, 研究方向为重型商用汽车运行安全及车辆系统动力学, 电子信箱: 317273180@qq.com; 余强(通信作者), 教授, 研究方向为重型商用汽车运行安全及车辆系统动力学, 电子信箱: qiangyu@chd.edu.cn

引用格式: 史培龙, 刘瑞, 余强, 等. 重型货车坡道运行安全监控系统[J]. 科技导报, 2015, 33(4): 104-110.

交通事故成因及数量统计表明:制动鼓温度过高引起制动失效造成交通事故 534 起;制动主缸橡胶活塞破裂引起制动失效造成交通事故 48 起;制动轮缸橡胶活塞破裂引起制动失效造成交通事故 71 起;制动管路破裂引起制动失效造成交通事故 52 起;制动鼓龟裂引起制动失效造成交通事故 87 起;制动执行机构机械故障造成交通事故 6 起;驾驶人疲劳驾驶及操作失误造成交通事故 87 起;转向机构失效,造成交通事故 4 起;制动力分配不均匀造成交通事故 19 起;轮胎爆裂造成交通事故 5 起;加速踏板执行机构机械故障造成交通事故 1 起;其他原因造成的交通事故 9 起。923 起下坡路段交通事故中,792 起交通事故是由于下坡路段制动失效造成的,占下坡路段交通事故的 85.81%。

汽车在下坡路段行驶时,车辆的重力势能转化为动能,使得车速增加,为保证汽车安全平稳的下坡,要求汽车具有一定的持续制动力。然而随着坡长的增加,制动器摩擦升温,使得制动效能降低^[7,8]。根据试验结果获得的制动器温升与制动减速度的关系如图 1 所示,当温度达到 200℃时,制动减速度会显著下降,出现制动器的热衰退现象;当温度超过 600℃时,制动减速度急剧下降,导致制动失效^[2,9]。因此,重型货车长大下坡制动时,对制动器温度的监控是十分必要的。

为保证汽车行驶安全和驾驶人操纵轻便性,重型汽车一般采用气压式制动系统,由双腔串联制动阀控制储气筒内的压缩气体,经制动气室作用于各轴制动器产生制动力^[10]。当制动主缸、轮缸或管路压力不足时,将不能产生所需的制动力,从而制动效能降低,导致交通事故^[11]。

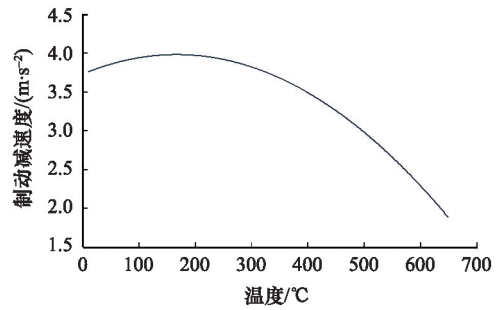


图 1 制动器温升与制动减速度的关系

Fig. 1 Relationship of brake temperature and braking deceleration

为解决重型货车下坡路段行驶安全性,根据调研结果可知,制动失效主要是由于制动鼓温度过高、制动主缸气压降低、制动轮缸气压降低、制动管路气压降低、制动鼓龟裂等因素造成,因此需要对重型货车制动器温度、制动主缸压力、制动轮缸压力、制动管路压力、制动减速度等参数进行监控。

根据以上分析,确定重型货车坡道运行安全监控系统的总体设计方案如图 2 所示。监控系统主要包括单片机、信号采集模块、信号处理模块、数据通信模块和人机交互智能仪表。单片机采用 Freescale MC9S12DG128B 16 位单片机。信号采集模块主要包括温度传感器、压力传感器、角度传感器、车速传感器、位移传感器、踏板力传感器和湿度传感器等。由于信号采集模块采集到的传感器信号的性质和幅值各不

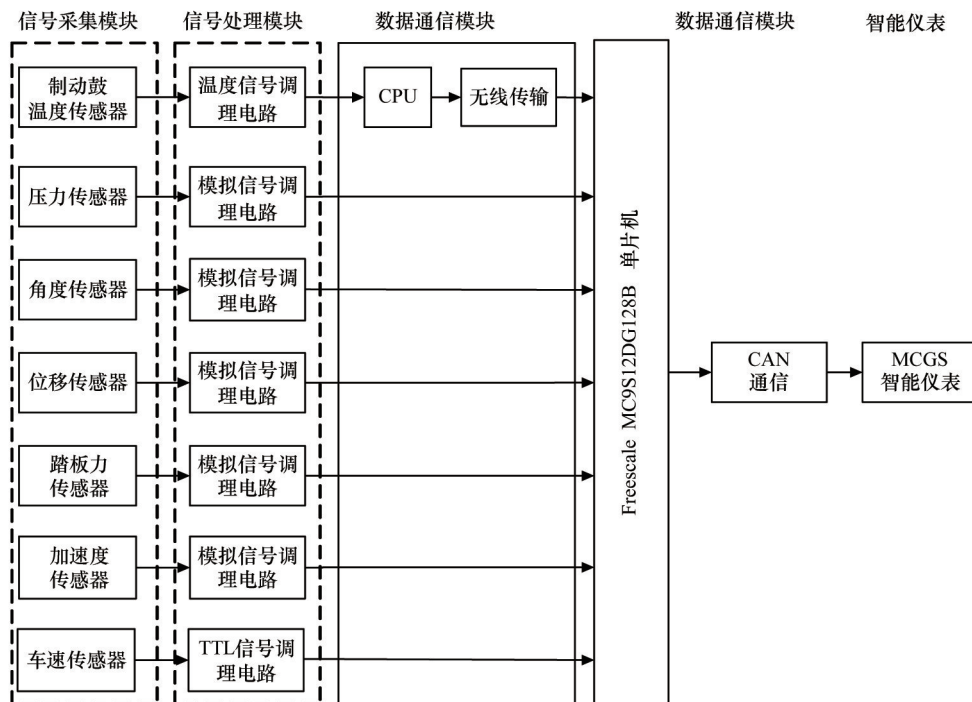


图 2 安全监控系统总体设计方案

Fig. 2 Overall design scheme of heavy duty vehicle rampway operation safety monitoring system

相同,因此为将这些信号转换成标准的0~5 V电压信号或TTL脉冲信号,设计了信号处理模块。信号处理模块将标准信号传输到单片机,单片机经过处理和运算后通过数据通信模块传输给智能仪表。智能仪表将监控数据显示给驾驶人,当出现危险情况时,智能仪表可提醒驾驶人采取必要的安全措施,防止交通事故的发生。

2 功能模块设计

2.1 信号采集模块

根据图2可知,信号采集系统采用不同的传感器对监控信号进行采集。考虑到监控信号的精度、量程,传感器的可

靠性、线性度、稳定性,输出信号的性质,传感器-制动系统一体化以及传感器的安装方式和位置等因素,选择的传感器如表1所示。其中,温度传感器选用体积较小且易于安装的K型热电偶,可通过焊接的方式将传感器的导热点与制动鼓连接;压力传感器选用HPD503压力变送器,通过三通并联于制动管路中;角度传感器选用SCA61T倾角传感器,安装于车架上;位移传感器选用ZLDS100激光位移传感器,固定于驾驶室地板上制动踏板位置处;踏板力传感器选用XFL212R微型力传感器,安装于制动踏板表面;加速度传感器选用MMA7361LC加速度传感器,安装于车架上;车速传感器选用DG111磁电式转速传感器,安装于变速器输出端。

表1 信号采集模块传感器

Table 1 Sensors of signal acquisition module

类型	型号	精度/%	量程	输出信号/V
温度传感器	K型热电偶	±0.75	0~800℃	模拟信号 0~3.3
压力传感器	HPD503压力传感器	±0.10	1~150 kPa	模拟信号 0~5.0
角度传感器	SCA61T倾角传感器	±0.10	±15°	模拟信号 0~4.0
位移传感器	ZLDS100激光位移传感器	±0.01	0~200 mm	模拟信号 0~2.5
踏板力传感器	XFL212R微型力传感器	±0.50	0~50 N	模拟信号 0~0.1
加速度传感器	MMA7361LC加速度传感器	±0.50	-6 g~6 g	模拟信号 0~3.0
车速传感器	DG111磁电式转速传感器	±1.00	0~6000 r/min	正弦信号 0~0.4

2.2 信号处理模块

根据表1可知,信号采集模块采集到的传感器信号的性质和幅值各不相同,因此为了将这些信号转换成单片机可以识别的标准电压信号或TTL脉冲信号,设计了信号处理模块。考虑到信号采集模块输出信号的性质,这里主要设计温度信号调理电路、模拟信号调理电路和车速信号(TTL信号)调理电路。信号调理电路输出的信号主要是0~5 V的模拟量信号及数字量信号,模拟量信号送入 Freescale MC9S12DG128B单片机AD口,数字量信号送入单片机的计数器(ECT)模块。

2.2.1 温度信号调理电路

汽车制动过程中,制动鼓温度变化大、速度快,因此,制动鼓温度监控所采用的温度传感器应具有响应速度快、测温范围宽等特性。本系统采用K型热电偶作为温度传感器,K型热电偶具有结构简单、测量精度高、测温范围宽、使用方便、稳定性好等优点,能够满足制动鼓温度监控的要求^[12]。

K型热电偶也存在输出信号电压低、冷补偿、非线性、模拟量输出等缺点,因此采用MAX6675K型热电偶转换芯片实现温度补偿、信号非线性修正、信号放大、去除噪声和A/D转换。MAX6675与单片机管脚连接如图3所示,引脚T⁻连接K型热电偶负极,使用时与引脚GND连接;引脚T⁺连接K型热电偶正极;引脚SO连接串口输出端;引脚CS为片选信号端,

低电平有效;引脚SCK为时钟输入端;引脚VCC连接+5 V电源;引脚GND接地;引脚NC悬空。

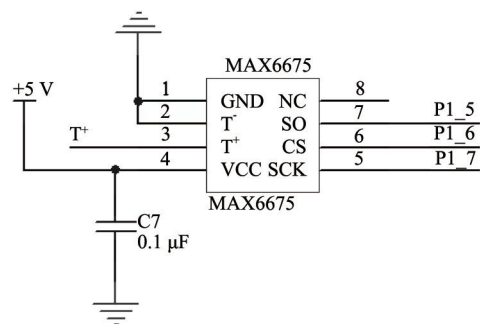


图3 MAX6675与单片机管脚连接

Fig. 3 Connection diagram of MAX6675 and MCU

2.2.2 模拟信号调理电路

压力传感器、角度传感器、位移传感器、踏板力传感器、加速度传感器输出的均为模拟量信号,但这些传感器信号的输出范围各不相同,同时传感器存在零点漂移。为了将这些传感器输出的信号转换成单片机可以识别的标准0~5 V电压信号,设计了模拟信号调理电路。模拟信号调理电路原理如图4所示,电阻R66、R67、R68构成调零电路,第一级运算放大器及阻容网络构成了低通滤波器,第二级运算放大器为反

向放大器;通过调节滑动变阻器R66的阻值可以调节信号调理电路的零点,通过调节滑动变阻器R65的阻值可以调节信

号调理电路的放大倍数,通过调节R66和R65的阻值以实现输出电压为0~5 V。

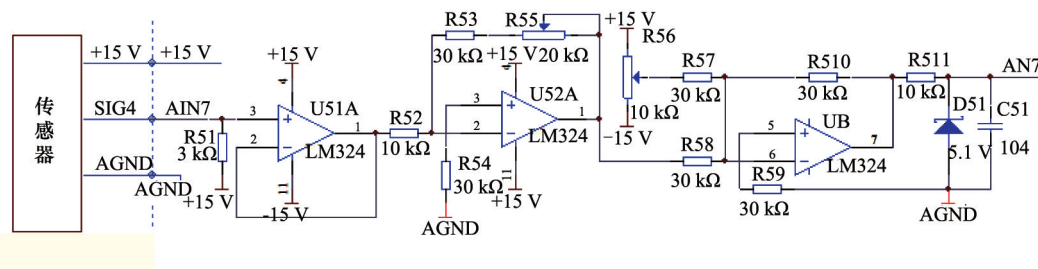


图4 模拟量信号调理电路原理

Fig. 4 Analog signal modulation circuit diagram

2.2.3 车速信号调理电路

磁电式传感器为非接触测量,永不磨损、抗干扰能力强、高可靠性、长寿命,特别适用于汽车速度测量^[13]。因此,选用磁电式传感器作为速度传感器,该传感器根据被测物体转速的不同,输出不同频率、不同幅值的正弦信号。车速传感器信号调理电路原理如图5所示,车速传感器输出的正弦信号,首先经过二极管D81、D82进行削峰,然后采用LM319比较器、74LS14施密特触发器将信号转换成TTL脉冲信号,输入MC9S12DG128B单片机,经计算处理后得到车速值。

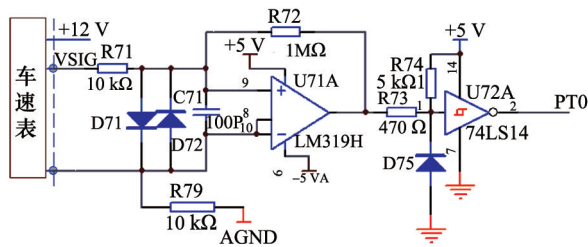


图5 车速信号调理电路原理

Fig. 5 Vehicle speed modulation circuit principle diagram

2.3 数据通信模块

2.3.1 制动鼓温度测量无线传输模块

重型货车运行过程中,制动鼓固定在轮毂上与轮毂一起旋转,因此制动鼓温度测量一般采用非接触式温度传感器,但非接触式温度传感器存在着安装难度大、只能测量制动鼓表面温度、受环境温度影响大、测量精度受被测物体材料影响等缺点。因此,为保证制动鼓温度测量精度,采用接触式温度传感器K型热电偶,通过无线传输技术实现温度信号的实时监测。

K型热电偶将采集到的制动鼓温度模拟量信号经过MAX6675补偿修正转换成数字量信号发送给 Freescale S12单片机^[14],Freescale S12单片机通过SPI通信将采集到的数据传输至 NewMsg_RF2401无线发射模块,NewMsg_RF2401无线发射模块在 ShockBurst™收发模式下将数据以1Mbps的速率发射^[15];中央处理模块通过 NewMsg_RF2401无线接收模

块接收发射模块发射的数据,接收模块通过D/A转换芯片AD5320将数字量转换成模拟量传输至 Freescale S12单片机ATD模块,经处理计算后获得制动鼓温度,以实现制动鼓温度的实时监控。

NewMsg_RF2401模块有4种工作模式^[15],即配置模式、收发模式、空闲模式及关机模式,工作模式的选择由PWR_UP、CE和CS引脚决定。NewMsg_RF2401工作模式如表2所示。

表2 NewMsg_RF2401工作模式
Table 2 Working modes of NewMsg_RF2401

工作模式	配置模式	收发模式	空闲模式	关机模式
PWR_UP	1	1	1	0
CE	0	1	0	×
CS	1	0	0	×

发送数据时,单片机将数据按照时序写入 NewMsg_RF2401模块缓存区,将CE置为高电平,此时无线发送模块工作在收发模式下,延时一段时间后发射数据;在应答模式下,NewMsg_RF2401模块在发射数据后进入接收模式,接收应答信号。如果收到应答信号,则认为此次通信成功,将TX_DS置为高电平,同时TX_PLD从发送堆栈中清除;若未收到应答信号,则发送失败,并记录下发送失败的次数,自动重新发射数据。

在接收数据时,首先对 NewMsg_RF2401进行配置,使接收端地址与发射端地址一致,然后将CE置为高电平,此时无线接收模块工作在等待接收模式下,当接收到包含正确地址的数据包后,将数据传输给上位机同时给发射模块发送应答信号。温度测量无线传输原理如图6所示,温度测量无线传输模块实物如图7所示。

2.3.2 CAN通信模块

Freescale S12单片机接收采集到的温度、压力、坡度、车速、踏板位移、踏板力、环境温湿度等信号,分析处理后通过CAN总线传输给智能仪表,实现对重型货车制动安全性指标的实时监控、显示和报警功能。

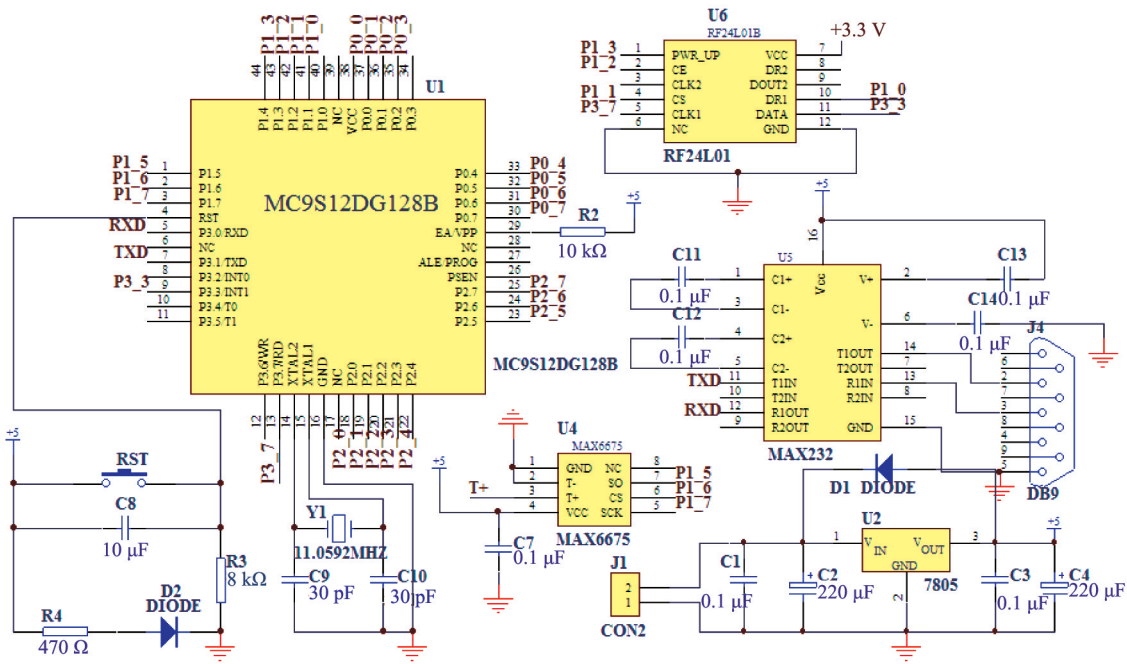


图6 温度测量无线传输原理

Fig. 6 Diagram of temperature measurement and wireless transmission module



图7 温度测量无线传输模块

Fig. 7 Temperature measurement and wireless transmission module

CAN总线是一种有效支持分布式控制和实时控制的串行通信网络。CAN网络系统采用总线拓扑结构,将控制器、传感器及执行器连接起来^[6]。CAN总线与其他通信总线相比,具有抗干扰能力强、数据传输速率快、数据传输量大、实时性强、功能完善、可靠性高等优点^[7],因此在汽车控制领域得到了广泛的应用。

CAN总线通信模块主要由CAN控制器、CAN收发器两大部分组成。当发送数据时,CAN收发器把CAN控制器的逻辑电平转换成抗干扰能力强的差分电平,然后向CAN总线发送数据;接收数据时,CAN收发器接收到CAN总线的信号后,转换成逻辑电平,传输给CAN控制器,实现数据接收。系统采用的MC9S12DG128B单片机内置有CAN控制器,支持CAN2.0A/B协议。CAN收发器采用Philips公司生产的PCA82C250芯片。为避免CAN通信系统电压波动影响单片机的正常工作,采用光电隔离电源DCP5S3-100对单片机电

源及CAN通信系统电源进行隔离。为增强CAN总线节点的抗干扰能力,使用高速光耦6N137实现总线上各节点之间的电气隔离,同时使用BO505-W25型DC/DC模块实现光耦两端的电源隔离。

2.4 人机交互智能仪表

为了将监控数据和报警信号显示给驾驶人,基于MCGS嵌入式组态软件对监控系统的界面进行设计开发。选用北京昆仑通泰嵌入式一体化工控机TCP7062K作为显示装置,该显示器为、高亮度TFT液晶屏、分辨率800×480、四线制电阻式触摸屏、工业级低功耗CPU 400 MHz、64 MB内存,可实现人机交互功能。

智能仪表显示系统由主界面、动态监控、实时数据、制动力-制动器温度界面以及历史曲线界面组成,实现了对制动器温度、制动主缸压力、制动轮缸压力、制动管路压力、制动减速度、坡度、车速、制动踏板位移、制动踏板力、环境温度及湿度等信息的实时监测和历史数据查询功能,同时在制动器温度过高或制动主缸、轮缸及制动管路压力过低时及时报警,提醒驾驶人采取必要的应急措施,以保证重型货车下坡行车安全。

主界面是重型货车运行安全监控系统使用频率最高、显示内容最丰富的界面,为驾驶人提供了车速、制动踏板开度、制动强度、制动减速度、制动距离、环境温湿度以及安全报警信息。当报警灯闪烁、蜂鸣器响时,驾驶人可通过触摸相应按钮进入报警状态显示界面,获得详细的报警信息。例如制动器温度报警显示界面,可显示各个车轮制动鼓实时温度,制动鼓温度超过温度上限值时报警。人机交互监控系统主界面如图8所示,制动器温度报警显示界面如图9所示。

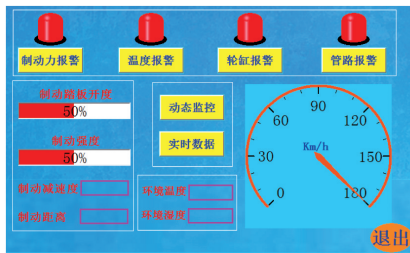


图8 人机交互监控系统主界面

Fig. 8 Main interface of human-computer interactive monitoring system

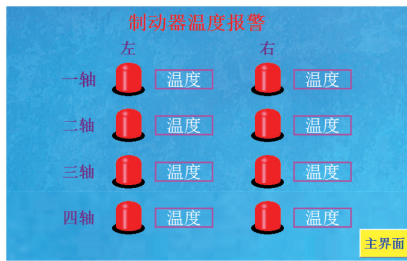


图9 制动器温度报警显示界面

Fig. 9 Display interface of the brake temperature alarm

动态监控界面为驾驶人提供了制动主缸、制动轮缸及制动管路的压力值,通过触摸相应按钮可进入制动力大小与制动器温度的历史曲线界面,实现历史数据存储功能。动态监控界面如图10所示。



图10 动态监控界面

Fig. 10 Dynamic monitoring interface

3 试验结果

为了验证坡道运行安全监控系统的可靠性、稳定性、准确性和实时性,将监控系统安装于重型半挂货车上,在京昆高速公路K33-K118段进行坡道试验。

3.1 可靠性及稳定性

为保证监控系统的可靠性和稳定性,选用汽车专用 Freescale 单片机,该单片机具有抗干扰能力强、抗震动冲击性好、可靠性高、稳定性好等优点。为保证温度监测系统的可靠性和稳定性,采用技术成熟的K型热电偶,经过MAX6675补偿,并通过无线传输技术采集信号。为保证数据采集的可靠性和稳定性,采用的传感器均为军品级传感器。为保证智能仪表数据传输的可靠性和稳定性,采用CAN总线技术。经

过长时间的测试表明,监控系统具有可靠性高、稳定性好的优点。

3.2 准确性及实时性

为验证监控系统的准确性及实时性,在不同工况条件下,对温度采集信号、速度采集信号、坡度采集信号、压力采集信号进行试验研究。

1) 在连续下坡过程中,对制动鼓温度进行监测,监测结果如图11所示,利用非接触式激光测温计对制动鼓温度进行校核,绝对误差为0.79℃,相对误差为1.19%,无线传输数据延时0.07 s。

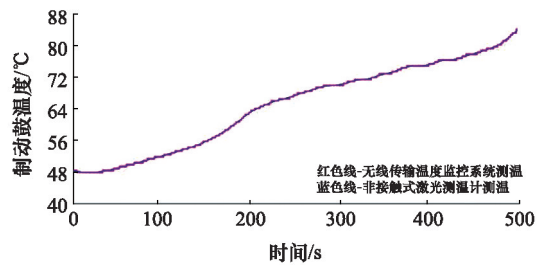


图11 制动鼓温度监测结果

Fig. 11 Monitoring results of the brake drum temperature

2) 在试验路段对车速进行监测,监测结果如图12所示,使用雷达测速传感器对车速进行校核,绝对误差为1.3 km/h,相对误差为2.28%。

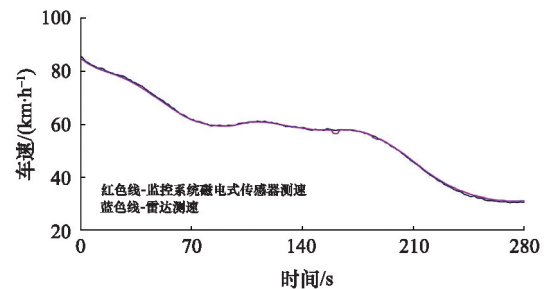


图12 车速监测结果

Fig. 12 Monitoring results of speed

3) 在坡度为2.38%的坡道上匀速行驶,由于发动机振动引起车身颠簸,需要对坡度数据进行滤波。经滤波后的数据如图13所示,绝对误差为0.024%,相对误差为1.08%。

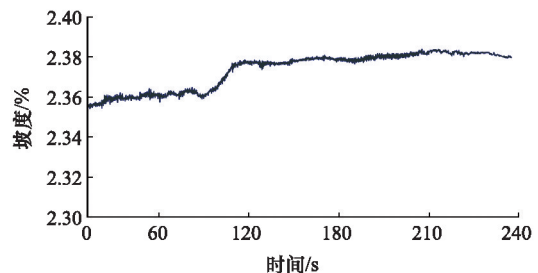


图13 坡度监测结果

Fig. 13 Monitoring results of slope

4) 在试验路段对制动轮缸压力进行监测, 监测结果如图 14 所示。

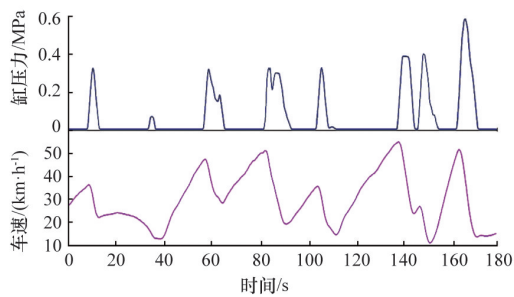


图 14 制动轮缸压力-车速监测结果

Fig. 14 Monitoring results of brake wheel cylinder pressure and speed

试验结果表明, 重型货车坡道运行安全监控系统能够实现制动鼓温度、制动系统压力、制动减速度、道路坡度、实时车速等参数的精确、实时、稳定、可靠监测, 当出现制动器温度过高、制动系统压力异常下降、制动效能异常下降等危险情况时, 监控系统能够实时报警, 实现了智能化、可视化监测, 有效地提高了重型货车坡道运行的安全性。

4 结论

1) 通过对某机动车物证司法鉴定中心 10 年来处理的 923 起下坡路段交通事故的分析研究, 获得下坡路段引起交通事故的主要因素, 得出制动失效造成的交通事故占坡道交通事故 85.81% 的结论, 并对制动失效的主要原因进行分析, 确定了重型货车坡道安全监控系统的监控指标。

2) 基于 Freescale MC9S12DG128B 单片机, 对监控系统信号采集模块、信号处理模块、数据通信模块和人机交互智能仪表进行设计实现。针对采集信号的种类及要求设计了信号采集模块, 针对传感器输出信号的类型及范围设计了信号处理模块, 针对制动器温度测量及数据传输设计了制动器温度无线传输模块和 CAN 模块, 基于 MCGS 嵌入式组态软件选用 TCP7062k 工控机设计了监控系统人机交互智能仪表。

3) 该监控系统能够有效地对行驶过程中安全性参数进行实时监测, 实现了重型货车运行过程的智能化、可视化监控与报警, 达到了安全性和稳定性要求, 有效地提高了重型货车坡道运行安全性。

参考文献 (References)

[1] 交通运输部综合规划司. 2011 中国高速公路运输量统计调查分析报告[M]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
Comprehensive Department of the Ministry of Transport. 2011 Analysis report on survey of China highway traffic volume[M]. Beijing: China Communications Press, 2012.

[2] 靳恩勇, 杜博英. 长大下坡货车制动器温度模型[J]. 公路交通科技. 2011, 28(2): 133-136.
Jin Enyong, Du Boying. Prediction model of brake temperature of truck on long and steep downgrade[J]. Journal of Highway and Transportation

Research and Development, 2011, 28(2): 133-136.

[3] 陈荫三, 魏朗. 公路强制限速安全措施研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 17-19.
Chen Yinsan, Wei Lang. Study on mandatory road speed control measure[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 17-19.

[4] Thomas S Shively, Kara Kockelman, Paul Damien, et al. A bayesian semi-parametric model to estimate relationships between crash counts and roadway characteristics[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(5): 699-715.

[5] Wang Huarong, He Yulong, Sun Xiaoduan, et al. Effects of geometric features on rear-end crash incidence on mountainous two-lane freeway [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Transportation Engineering, ICTE, 2009, 1444-1450.

[6] 肖润谋, 叶燕仙, 周晓悦, 等. 发动机制动失效的坡长临界值计算[J]. 交通运输工程学报, 2006(4): 122-126.
Xiao Runmou, Ye Yanxian, Zhou Xiaoyue, et al. Critical slope length computation of engine brake inefficacy[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006(4): 122-126.

[7] 余强. 汽车下坡持续制动性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2000.
Yu Qiang. Study on downhill continuous braking performance of Automobile[D]. Xi'an: Chang'an University, 2000.

[8] David K Whiteford. NCHRP Synthesis 178: Truck escape ramps[R]. Transportation Research Board, 1992.

[9] 袁伟. 鼓式制动器温升计算模型及其应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.
Yuan Wei. The research of temperature-rising calculation model of drum brake and its application[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.

[10] 曹薇华, 刘志远. 汽车轮缸压力传感器故障重构方法研究与仿真[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2646-2649.
Cao Weihua, Liu Zhiyuan. Research and simulation on fault reconstruction for wheel cylinder pressure sensor of vehicle[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(11): 2646-2649.

[11] Kevin O' Dea. Anti-lock braking performance and hydraulic brake pressure estimation[R]. New York: SAE, 2005.

[12] 杨鹏飞, 付锐. 基于 nRF2401 的鼓式制动器温度监测系统[J]. 科技导报, 2010, 28(18): 84-88.
Yang Pengfei, Fu Rui. Design of temperature monitoring system for drum brake based on nRF2401[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(18): 84-88.

[13] 肖波平, 姚家骧. 高转速磁电式转速传感器的研制[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(2): 215-217.
Xiao Boping, Yao Jiaxiang. High-speed magnetolectric speed sensor's development[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2002, 23(2): 215-217.

[14] 李平, 李亚荣. 基于 MAX6675 的温度控制器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2004(7): 29-30.
Li Ping, Li Yarong. Design of temperature controller based on MAX6675[J]. Instrument Technique and Sensor, 2004(7): 29-30.

[15] 赵轩, 马建, 曹仁磊, 等. 基于 nRF24L01 的无线式模型车运动状态监控系统[J]. 科技导报, 2010, 28(2): 63-66.
Zhao Xuan, Ma Jian, Cao Renlei, et al. Monitoring system of the wireless model car's motion state[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(2): 63-66.

[16] 耿天文. 基于 CAN 总线的汽车仪表系统[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
Geng Tianwen. Automobile instrument system based on CAN-bus[D]. Changchun: Jilin University, 2007.

[17] 顾凤玉. 基于 CAN 总线的汽车全数字智能仪表的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.
Gu Fengyu. The Research of a CAN based digital Automotive dashboard[D]. Suzhou: Soochow University, 2009.

(责任编辑 韩星明)