

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.07.005

卡车刹车鼓温度及差速器油温监控预测系统设计

黄丽源¹, 陈奇¹, 王良健¹, 张道成², 夏同良²

(1. 合肥工业大学 机械工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 方盛车桥(合肥)有限公司, 安徽 合肥 230071)

摘要:为防止卡车在长时间刹车后, 刹车鼓温度过热或高负载情况下差速器油温过高而发生事故, 文章设计一种基于 STM32F429 和 STM32F103 单片机协同工作的卡车刹车鼓温度、差速器油温监控与预测系统。该系统以 STM32F429 单片机为主处理器, 利用控制器局域网(controller area network, CAN)总线 and 以 STM32F103 为核心的从处理器进行及时数据传输和存储, 并融入 STemWin 系统设计人机交互界面, 基于自回归求积移动平均理论建立温度预测模型。仿真结果表明:该系统稳定可靠、预测精准, 能有效减少因刹车鼓温度或差速器油温过高而引起事故。

关键词:STM32 单片机; 控制器局域网(CAN)总线; 人机交互界面; 刹车鼓温度; 温度预测模型

中图分类号:U463.68 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2024)07-0893-07

Design of truck brake drum temperature and differential oil temperature monitoring and prediction system

HUANG Liyuan¹, CHEN Qi¹, WANG Liangjian¹, ZHANG Daocheng², XIA Tongliang²

(1. School of Mechanical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Fangsheng Axle(Hefei) Co., Ltd., Hefei 230071, China)

Abstract: In order to prevent accidents caused by overheated brake drum temperature or excessively high differential oil temperature under high load after the long-time braking of truck, this paper designs a monitoring and prediction system for truck brake drum temperature and differential oil temperature based on STM32F429 and STM32F103 single chip microcomputers working together. This system uses STM32F429 single chip microcomputer as the main processor, uses controller area network (CAN) bus and slave processor with STM32F103 as the core to carry out timely data transmission and storage, and integrates into STemWin system to design human machine interface. The temperature prediction model is established based on the moving average theory of autoregressive quadrature. The simulation results show that the system is stable, reliable, accurate and can effectively reduce the accidents caused by high brake drum temperature or differential oil temperature.

Key words: STM32 single chip microcomputer; controller area network(CAN) bus; human machine interface; brake drum temperature; temperature prediction model

当卡车行经长下坡路段时, 驾驶员通常只能采取连续刹车的方式对车辆减速。但随着刹车持续使用时间增加, 刹车鼓的温度会短时间内急剧上升, 制动“热衰退”现象突出。文献[1]表明, 当刹车鼓温度达到 200 °C 时, 摩擦副的摩擦系数为

0.3~0.4, 随着温度继续上升, 制动效能开始不断降低。一般情况下, 认定刹车鼓温度 25 °C 为临界温度^[2], 超过此值就有可能发生事故, 应及时提醒驾驶者靠边停车。另外, 与长下坡相反的长上坡路段, 货物和卡车总质量常超过 5 t, 在此情况下,

收稿日期: 2022-09-22; 修回日期: 2022-11-14

基金项目: 安徽省重点研发计划资助项目(JZ2022AKKG0093); 合肥工业大学产学研校企合作资助项目(W2022JSKF0217)

作者简介: 黄丽源(1999—), 男, 湖南常德人, 合肥工业大学硕士生;

陈奇(1979—), 男, 安徽合肥人, 博士, 合肥工业大学教授, 博士生导师。

一般采用高转速、低车速的行车方法, 差速器中的齿轮转速极高, 啮合力也很大, 会使差速器油温骤升, 从而使润滑油黏性降低, 润滑效果变差, 进而齿轮摩擦力更大、油温更高, 形成恶性循环^[3]。因此, 对差速器油温的监测十分重要。

在温度监测方面, 文献[1]通过 1 个 K 型热电偶测量刹车鼓温度, 同时上传到微处理器, 并将数据展示在显示屏上, 该方法采用接触式温度传感器, 实时性较差且易磨损, 且该系统仅有 1 个微处理器, 运算能力不足; 文献[2]设计一款刹车鼓温度监控报警系统, 但该系统中的温度传感器跟随轮毂一起高速旋转, 易损坏元器件, 且该系统没有预测功能, 不能做到提前预防。此外, 国内外在卡车差速器油温监测方面的研究较少, 但可以借鉴变速箱油温的监测方法。文献[3]提出机械式变速箱的油温监测方法, 通过上位机、下位机、变频器和试验台测量油温, 该方法成本过高, 且不适合于运动中的卡车差速器油温的实时测量。

在温度预测方面, 文献[4]中提到美国联邦高速公路管理局发明下坡严重度分级系统 (grade severity rating system, GSRS), 该系统根据坡度、坡长、车辆载重、车速等数据对刹车鼓温度预测, 但往往在行车途中, 上述部分数据 (如坡度、坡长等) 无法实时获取, 不适合实际情况; 文献[5-6]通过车辆载重、车速、坡度、坡长等数据, 建立温度预测模型, 该研究考虑多数对刹车鼓温度影响较大的因素, 但在实际行驶过程中, 刹车鼓温度很大程度上取决于司机驾驶习惯和交通环境的影响, 且

坡度、坡长等数据较难获取, 故此类温度预测模型存在较大缺陷。此外, 国内外在差速器油温的预测方面研究较少, 但该温度过高会对行车安全有一定的威胁, 因此也不容小觑。

本文主要针对装有鼓式制动器的卡车, 开发一种刹车鼓温度及差速器油温监控与预测系统, 可将刹车鼓温度和差速器油温实时显示, 并结合实际值与预测值对其监控, 使驾驶者更加了解卡车行驶状况, 避免驾驶者由于驾驶经验不足、紧张慌乱等, 采取不合理的加减速操作。对预防因制动器失效或差速器高温故障而导致的交通事故有重要的积极作用。

1 系统结构设计

1.1 总体硬件结构设计

本系统需要快速准确测量刹车鼓温度、差速器油温, 并借助微处理器对这些数据进行初步处理。同时, 需要将各数据实时显示、有序存储, 并利用这些数据对驾驶安全性进行计算, 判断是否需要启动报警器提示驾驶员。此外, 还需设计一个人机交互界面, 可处理用户指令, 包括温度数据波形图实时显示、历史数据读取等。最后, 该系统还需借助已有数据实现预测功能。综合考虑上述功能, 设计该系统由传感器单元、微处理器单元组成, 其中微处理器单元包括主、从处理器单元 2 个部分。传感器单元和从处理器单元分布在卡车后桥上, 主处理器单元安装在驾驶舱内。总体硬件结构如图 1 所示。

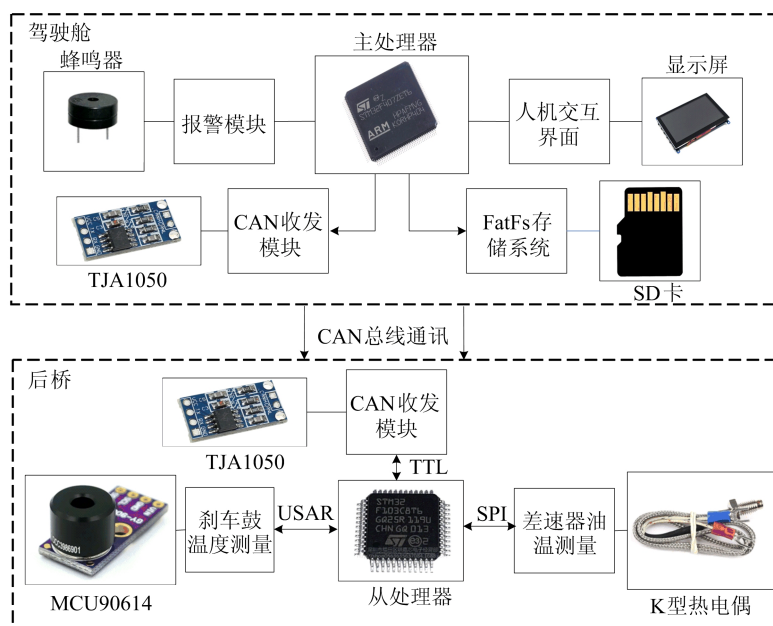


图 1 系统硬件组成

1.2 系统硬件组成

该系统的主要功能是传感器数据实时获取,人机交互界面流畅显示。主要特点是原理简单、可靠性强、易于实现。该系统采用模块化设计理念,针对不同功能设计相应的硬件部件。

从处理器的任务较为简单,为与之连接的传感器进行稳定的数据传输,并将数据做简单的处理。此外,也为与主处理器建立沟通。微处理器 STM32F103C8T6 引脚丰富,主频较高,性价比高,是该系统从处理器的最佳选择^[7-8]。

由于主处理器需带动 1 块触摸显示屏,所需要的系统频率较高,主处理器要实时更新显示并存储传感器数据,同时处理多项重要任务。因此选择主频为 168 MHz 的 STM32F407ZET6 芯片作为主处理器^[9]。

温度传感器分别测量刹车鼓温度和差速器油温。考虑到刹车鼓温度的实时性要求较高,故选取红外式温度传感器 MCU90614 测量温度,其具有反应灵敏、寿命长、体积小等特点。差速器油温变化较为缓慢,故采用 K 型热电偶测量,其具有线性度好,稳定性和均匀性较好等优点。同时使用 MAX6675 模块作为 K 型热电偶的数据收发模块。

2 测量原理

2.1 刹车鼓温度测量原理与理论

刹车鼓温度利用红外温度传感器来测量,其原理^[10]为:当被测物体辐射能量通过大气媒介传输到红外测温仪上时,内部的光学系统将目标辐射的能量汇聚到传感器,并转换成电信号。在温度和波长给定的情况下,黑体的反射系数为 1。但黑体本不存在,其他物质被称为灰体,且反射系数小于 1。黑体的光谱辐射功率 $P_b(\lambda T)$ 与绝对温度 T 之间满足普朗克定理,即

$$P_b(\lambda T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1} \quad (1)$$

其中: $P_b(\lambda T)$ 为黑体的辐射出射度; λ 为波长; T 为绝对温度; c_1 、 c_2 为辐射常数。

由式(1)可知,随着温度升高,物体的辐射能量越强,辐射峰值向短波方向移动。根据斯特潘-玻尔兹曼定理:黑体的辐出度 $P_b(T)$ 与温度 T 的 4 次方成正比,即

$$P_b(T) = \sigma T^4 \quad (2)$$

其中: σ 为斯特潘常数; T 为热力学温度。

在温度相同情况下,灰体的单色辐出度 $P(T)$

总小于黑体的单色辐出度 $P_b(T)$,并将两者之比称为该物体的单色黑度,即该物体接近黑体的程度公式为:

$$\epsilon(\lambda) = P(T)/P_b(T) \quad (3)$$

结合式(1)~(3),可以得出所测物体温度表达式,即红外测温的理论公式为:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P(T)}{\epsilon \sigma}} \quad (4)$$

在得出理论公式后,传感器便可以此为依据,测量出刹车鼓温度。但在实际测试过程中发现,经 MCU90614 模块获取的温度值存在一定的波动,大小在 1 °C 左右。为了使数据更加的稳定,需对数据进行滤波处理。观察发现数据存在高频振荡,故采用递推平均滤波算法处理。即把连续取得的 N 个采样值看成 1 个队列,队列的长度为 N 。将每次采样得到的最新的数据放入队尾,同时抛弃队首最旧的 1 次数据。完成入队操作后,对该队列的 N 个数据进行算数平均运算,获得 1 个最终滤波结果。计算公式如下:

$$T_m = \frac{1}{N} \sum_{n=n-N}^n T_n \quad (5)$$

其中: n 为数据序号($n \geq 0$); T_n 为第 n 次温度数据; T_m 为经过滤波处理之后的最终值; N 为队列长度。

N 值选取的越大,滤波效果更好,但实时性越差。微处理器与 MCU90614 模块之间的数据传输速度为 5 个/s。考虑到刹车鼓温度的实时性要求,温度延迟应不超过 1 s,故选取 N 为 5。取 5 个数据样本做对比实验,利用 Origin 软件将滤波前的数据与滤波后的数据进行对比,结果如图 2 所示。

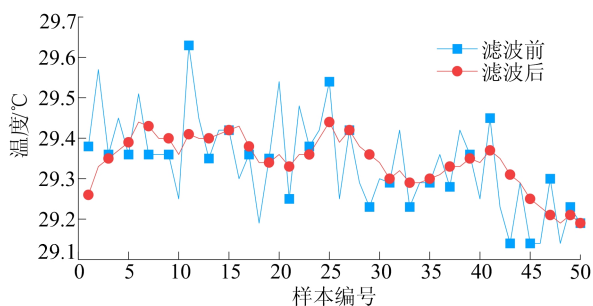


图 2 刹车鼓温度滤波前、后对比

从图 2 可以看出,滤波后的温度曲线较滤波前更加平稳,且能反映出温度的变化趋势,具有较好的实时性。因此滤波后的温度值能更好地反映真实的温度。

2.2 差速器油温测量原理

差速器油温使用 K 型热电偶测量。热电偶测温原理是热电效应^[11]。与 MCU90614 传感器测得的数据类似,MAX6675 模块测得的温度也会存在一定的波动。观察发现传回的数据存在偶然的偏离,且数据存在高频振荡,故采用递推中值平均滤波算法处理。与递推平均滤波算法相似,区别只是在新数据入队后,去掉一个最大值和最小值,然后再求算数平均值,得到最终滤波结果。计算公式如下:

$$T_m = \frac{1}{N-2} \left(\sum_{n=n-N}^n T_n - T_{\max} - T_{\min} \right) \quad (6)$$

其中: T_{\max} 为当前队列中温度的最大值; T_{\min} 为当前队列中温度的最小值。

微处理器与 MAX6675 模块间的数据传输速度约为 5 个/s。考虑到油温测量地实时性要求不是很高,则可以更加追求稳定性,故取 N 为 2,数据延迟约为 4 s。同样取 5 个数据样本做对比实验,对比结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,滤波后的温度曲线滤除了大部分高频振荡,对个别远离实际温度值数据的过滤效果明显,最终曲线更加地平稳,且实时性也能得到部分保障,可以更好地反映出物体的真实温度。

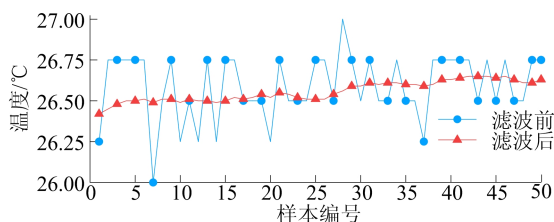


图 3 差速器油温滤波前、后对比

2.3 温度预警算法

差速器油温上升较为缓慢,因此仅设置一个温度界限值即可。文献[2]表明,油温不应超过 90 °C,故设定温度界限值为 90 °C,若油温或预测值超过此限,则发出警报警告。

而制动鼓的温度变化很快,故以制动鼓的温度为依据,设计了预警算法。具体说明如下:当温度升高到 250 °C 时,显示屏发出红色图形警报,警报器鸣叫,提示驾驶员立即停车休整。温度在 200~250 °C 区间内为警示范围,系统会在显示屏上发出黄色警示图形,告诫驾驶员要时刻警惕温度值的变化。200 °C 以下为安全范围,驾驶者可以放心驾驶。

此外,该系统还融入了温度预测功能,若温度

预测值达到红色图形警示温度范围,但实际温度值还未达到,系统则会在显示屏上呈现橙色警示图案。代表刹车鼓温度有较大可能在未来几秒内达到 250 °C,驾驶员需做好停车准备。

温度报警算法流程如图 4 所示。

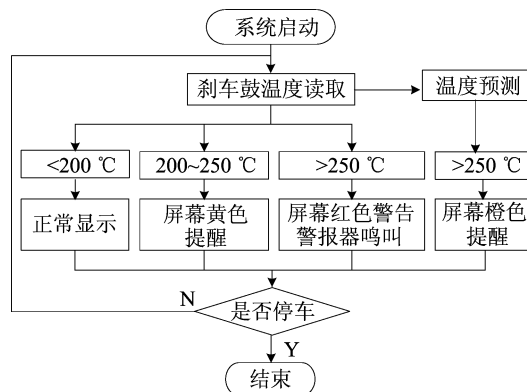


图 4 温度预警算法流程图

3 温度预测模型构建

车辆在长下坡路段,若长时间采取制动措施则会导致刹车失灵。在长上坡路段,若载重较大或车速较快,则会导致润滑油温度升高、黏性降低。此类现象会引发较为严重的后果,故采用模型预测的方法,利用搜集到的温度数据科学预测刹车鼓温度及差速器油温,能有效避免事故发生。

差分自回归移动平均模型 (autoregressive integrated moving average model, ARIMA) 是一种根据时间序列历史值对未来值进行预测的方法,该方法不依赖外部变量可在一定程度上克服影响因素考虑不周导致的模型精度不足的问题^[12]。

3.1 基本理论

3.1.1 自回归 AR 模型

当 t 时刻的值可以通过 t 时刻之前 n 个观测值和 t 时刻的误差来表示,则符合自回归 AR(p) 模型,表达式为:

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{n=1}^p \alpha_n y_{t-n} + c \quad (7)$$

其中: y_t 为 t 时刻的值; y_{t-n} 为 $t-n$ 时刻的观测值; ε_t 为 t 时刻的随机误差; c 和 α_n 为回归参数; p 为模型的阶数。

3.1.2 移动平均模型

当 t 时刻的值可以用 t 时刻和 t 时刻之前 n 个误差项表示,则该模型符合移动平均 MA(q) 模型,表达式为:

$$y_t = \epsilon_t + \sum_{n=1}^q \beta_n \epsilon_{t-n} + \mu \quad (8)$$

其中: ϵ_{t-n} 为 $t-n$ 时刻的随机误差; q 为模型的阶数; β_n 和 μ 为回归参数。

3.1.3 自回归移动平均模型

ARMA(p, q)模型同时具有 AR(p)模型的特点和 MA(q)模型的特点,其表达式为:

$$y_t = \epsilon_t + \sum_{n=1}^p \alpha_n y_{t-n} + \sum_{n=1}^q \beta_n \epsilon_{t-n} + c \quad (9)$$

3.1.4 差分自回归移动平均(ARIMA)模型

以上 3 种模型只能运用在平稳时间序列上,但实际生活中这样的序列非常少。对于非平稳时间序列,一般先将其 d 次差分得到平稳时间序列,再利用 ARMA 模型进行预测,即 ARIMA(p, d, q)模型^[13]。其中: p 为回归项数; d 为时间序列差分次数; q 为移动平均项数。

3.2 ARIMA 模型建立

3.2.1 数据收集

大量、准确的数据是良好实验的开端。本文数据来源于某品牌卡车,在长下坡路段将刹车鼓温度记录下来,检测装置每秒采集 1 次数据。随后反向行驶,将上坡时的差速器油温记录,同样 1 s 记录 1 次数据。将数据导入 Eviews 软件处理,数据波形图如图 5 所示。

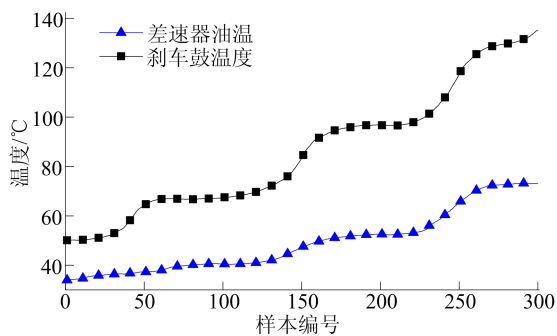


图 5 温度数据波形图

3.2.2 稳定性分析

常用的时间序列稳定性检验方法有自相关图观察法和单位根检验^[14],后者更加严格准确。检验结果刹车鼓温度的 P 值为 0.483 8,而差速器油温的 P 值为 0.915 7,皆远大于 0.05 的显著性水平,判定该时间序列非平稳。

因此需要对温度时间序列进行差分运算。将原始数据分别一阶、二阶差分,再进行单位根检验,刹车鼓温度的 P 值结果分别为 0.128 7、0。且二阶差分后的 t 统计量为 $-22.608 9$,均小于在 1% ($-2.572 7$)、5% ($-1.941 8$)、10%

($-1.615 9$)显著性水平下的临界值。由此可以判断,刹车鼓温度时间序列二次差分后的序列为平稳序列。

一阶、二阶差分后,差速器油温的 P 值结果分别为 0.028 3、0。一阶差分后的 t 统计量为 $-2.181 0$,未小于 1% ($-2.572 8$)显著性水平下临界值;二阶差分后的 t 统计量为 $-17.477 4$,小于在 1% ($-2.572 8$)、5% ($-1.941 9$)、10% ($-1.615 9$)显著性水平下的临界值。由此可以判断,差速器油温时间序列二次差分后的序列为平稳序列。

3.2.3 ARIMA 模型识别

将初步处理完成的数据导出自相关与偏自相关图如图 6 所示。

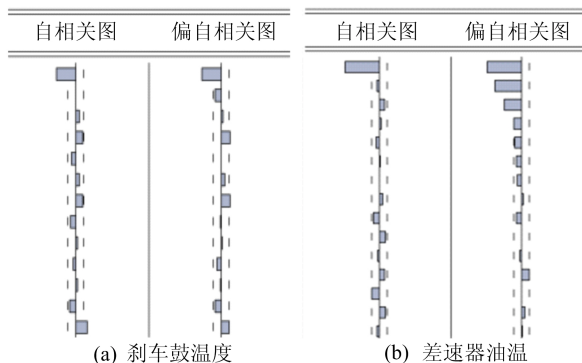


图 6 自相关、偏自相关图

由图 6a 可知,刹车鼓温度时间序列自相关系数与偏自相关系数带有明显的拖尾特征,初步确定刹车鼓温度的 p 值为 1, q 值为 1。同理由图 6b 可知,初步确定 p 值为 3, q 值为 1。但 ARIMA 模型识别比较灵活,需通过大量的 p, q 值的选取,最终确定最优 ARIMA 模型。

对于刹车鼓温度的 ARIMA 模型选取 4 种不同参数,效果对比情况见表 1 所列。差速器油温模型的 5 种 ARIMA 模型效果见表 2 所列。

其中调整的 R^2 表示模型的拟合度,其值越大表明模型拟合程度越高。赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)和施瓦兹准则(Schwarz criterion, SC)越小越好^[12]。以此为依据,最终选取刹车鼓温度的模型为 ARIMA(1, 2, 2),差速器油温的模型为 ARIMA(1, 2, 1)。

刹车鼓温度模型 ARIMA(1, 2, 2)的参数估计结果见表 3 所列。从表 3 可以看出,各参数显著性检验均可通过,其 t 统计量 P 值小于给定的显著性水平 5%,能够拒绝总体参数为 0 的原假设。

表 1 刹车鼓温度 ARIMA 模型效果对比

模型	调整的 R ²	AIC	SC
ARIMA(1,2,1)	0.091 3	-1.607 4	-1.570 2
ARIMA(2,2,1)	0.094 0	-1.603 6	-1.554 0
ARIMA(2,2,2)	0.115 6	-1.620 5	-1.558 5
ARIMA(1,2,2)	0.109 4	-1.620 6	-1.570 8

表 2 差速器油温 ARIMA 模型效果对比

模型	调整的 R ²	AIC	SC
ARIMA(3,2,2)	0.4610	-1.814 9	-1.740 5
ARIMA(3,2,1)	0.457 2	-1.814 8	-1.752 8
ARIMA(2,2,2)	0.453 8	-1.808 5	-1.746 4
ARIMA(2,2,1)	0.453 7	-1.815 0	-1.765 4
ARIMA(1,2,1)	0.453 2	-1.820 8	-1.783 6

表 3 刹车鼓温度模型 ARIMA(1,2,2) 参数估计

变量	回归系数	标准误差	t 检验值	P 值
AR(1)	0.785 1	0.154 5	5.080 9	0
MA(1)	-1.157 8	0.140 7	-8.226 5	0
MA(2)	0.366 3	0.052 0	20.252 0	0

差速器油温模型 ARIMA(1,2,1) 的参数估计见表 4 所列。从表 4 可以看出,各参数显著性检验皆能通过,t 统计量 P 值小于给定的显著性水平 5%,能够拒绝总体参数为 0 的原假设。

表 4 差速器油温模型 ARIMA(1,2,1) 参数估计

变量	回归系数	标准误差	t 检验值	P 值
AR(1)	-0.351 0	0.039 5	-8.895 8	0
MA(1)	-0.498 4	0.037 5	-13.278 4	0

故可以确定刹车鼓温度预测表达式为:

$$y_{t_1} = 0.785 1 y_{t_1-1} + \epsilon_{t_1} - 1.157 8 \epsilon_{t_1-1} + 0.366 3 \epsilon_{t_1-2} \quad (10)$$

差速器油温预测表达式为:

$$y_{t_2} = -0.351 0 y_{t_2-1} + \epsilon_{t_2} - 0.498 4 \epsilon_{t_2-1} \quad (11)$$

其中: t_1 为刹车鼓温度的时间序列; t_2 为差速器油温的时间序列。

3.3 ARIMA 模型预测结果与分析

使用 Eview 软件中的预测功能检验模型的准确性,结果如图 7 所示。

从图 7 可以看出,2 条曲线高度重合。刹车鼓温度和差速器油温预测的最大残差分别为 0.303 1、0.320 0,平均绝对误差分别为 0.072 2、0.062 6,模型拟合效果较好。

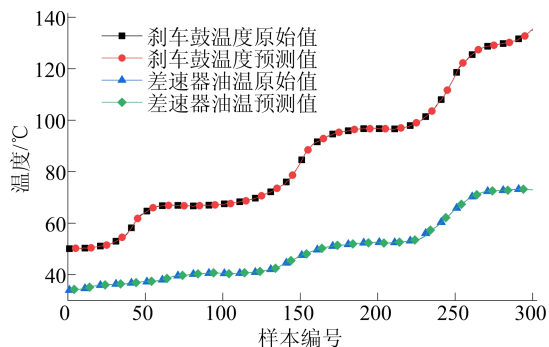


图 7 最终结果拟合图

为方便观察,将局部放大。取样本编号 200~225 之间的数据,局部放大图分别如图 8、图 9 所示。从图 8、图 9 可以看出,所选取模型能较好地预测刹车鼓温度与差速器油温的走势。

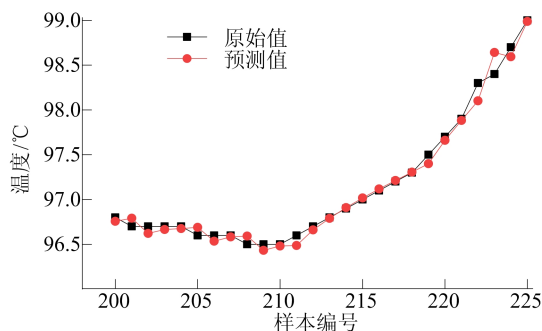


图 8 刹车鼓温度最终结果拟合图局部放大图

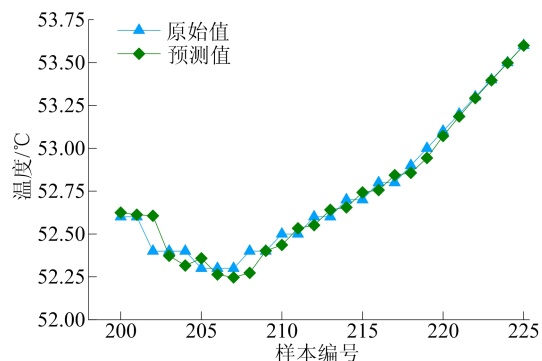


图 9 差速器油温最终结果拟合图局部放大图

4 结 论

本文设计了一款基于 STM32 的卡车刹车鼓温度及差速器温度监测与预测系统,结构简单、功能丰富、性能稳定、精度较高。该系统能将各传感器温度信息滤波后准确实时传送给驾驶员,并设计了基于自回归移动平均的温度预测模型,能对温度值有一定预测功能,进一步保证了卡车司机的行车安全。同时,该系统能定时保存各温度数

据,维修人员可以将数据导出分析,辅助进行故障诊断。该系统提高了卡车的行车安全性能,具有较高的实用性。

[参 考 文 献]

- [1] 李强. 商用货车长下坡制动器温度监测与预警系统研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2017.
- [2] 王占国,苏琳. 重型货车制动鼓温度监控报警系统设计[J]. 大众汽车,2015(2):51-51,53.
- [3] 赵爽. 机械式变速器温升分析及测试研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2016.
- [4] APRONTI D T, SAHA P, MOOMEN M, et al. Truck safety evaluation on wyoming mountain passes [J]. Accident Analysis & Prevention, 2019, 122:342-349.
- [5] 陈立辉,郭忠印. 基于辅助制动长大下坡路段鼓式制动器温升预测模型[J]. 交通科技,2017(2):4-6.
- [6] 杨宏志,胡庆谊,许金良. 高速公路长大下坡路段安全设计与评价方法[J]. 交通运输工程学报,2010,10(3):10-16.
- [7] HU J, WANG J J, XIE H Q. Wearable bracelets with variable sampling frequency for measuring multiple physiological parameter of human [J]. Computer Communications, 2020, 161:257-265.
- [8] YANG F, YAN P, QI Y Y, et al. Design of detecting harmful gas inside the vehicle and voice alarm system and concentration prediction [J]. Procedia Computer Science, 2020, 166:200-205.
- [9] ZHAO L, QU S C, ZHANG W G. Design of multi-channel data collector for highway tunnel lighting based on STM32 and Modbus protocol[J]. Optik, 2020, 213:164388.
- [10] 晏敏,彭楚武,颜永红,等. 红外测温原理及误差分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2004,31(5):110-112.
- [11] 刘季春. 钨钨热电偶测温原理和应用[J]. 河南科技,2014(10):67.
- [12] 张姝玮,郭忠印,陈立辉. 基于自回归求积移动平均的制动器温度预测方法[J]. 吉林大学学报(工学版),2020,50(6):2080-2086.
- [13] 张靖. 基于 ARIMA 和 BP 神经网络的高速列车轴承温升预测方法研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2021
- [14] 王玉全. 地表温度时间序列分析方法的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2016.

(责任编辑 吴 亮)

(上接第 886 页)

- [10] HAN K, WANG Y, TIAN Q, et al. Ghostnet: more features from cheap operations [C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]:IEEE,2020:1580-1589.
- [11] 杨秋妹,陈森彬,黄一桂,等. 基于改进 YOLOv5n 的猪只盘点算法[J]. 农业机械学报,2023,54(1):251-262.
- [12] TAN M, LE Q. Efficientnetv2: smaller models and faster training[C]//International Conference on Machine Learning. [S. l.]:PMLR,2021:10096-10106.
- [13] 甘雨,郭庆文,王春桃,等. 基于改进 EfficientNet 模型的作物害虫识别[J]. 农业工程学报,2022,38(1):203-211.
- [14] LI H, LI J, WEI H, et al. Slim-neck by GSConv: a better design paradigm of detector architectures for autonomous vehicles [J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2022,22(6):6-24.
- [15] 王卓,王健,王泉雄,等. 基于改进 YOLOv4 的自然环境苹果轻量级检测方法[J]. 农业机械学报,2022,53(8):294-302.
- [16] HOU Q, ZHOU D, FENG J. Coordinate attention for efficient mobile network design [C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]:IEEE,2021:13713-13722.

(责任编辑 胡亚敏)

· 信息与动态 ·

《合肥工业大学学报(自然科学版)》专栏征稿启事

为了贯彻落实党的二十大精神,紧密围绕科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,《合肥工业大学学报(自然科学版)》设置“机器人与人工智能”“环境污染与防治”两个专栏,面向国内外专家学者征集“机器人与人工智能”“环境污染与防治”领域的原创性学术论文、专题综述;稿件一经录用将优先刊发。

来稿要求政治导向正确、论证充分、具有较强的引领性和创新性。格式要求参见《合肥工业大学学报(自然科学版)》网页投稿指南的征稿简则和投稿模板。

在线投稿网址:<http://xbzss.hfut.edu.cn/xbzk.html>。