

doi: 10.7690/bgzd.2018.05.022

牵引火炮制动器温升红外传感监测报警系统

焦贵伟^{1,2}, 胡朝根^{2,3}

(1. 陆军军官学院研究生管理大队, 合肥 230031; 2. 陆军军官学院高过载弹药制导控制与信息感知实验室, 合肥 230031; 3. 陆军军官学院兵器工程教研室, 合肥 230031)

摘要: 针对牵引火炮在行军过程中连续制动导致的制动器温升安全隐患, 利用红外测温技术、单片机技术、无线传输技术, 设计一种基于红外传感器的牵引火炮制动器温升监测报警系统。分析系统的总体设计、硬件设计、软件设计, 进行了温度补偿试验。试验结果表明: 该系统可较为准确地测试制动器温度升高情况, 操作简单, 实用性强, 为监测和消除因温度升高导致的制动安全隐患提供了新手段。

关键词: 监测与报警系统; 红外传感器; 牵引火炮; 制动器; 温升

中图分类号: TP277 **文献标志码:** A

Infrared-sensor-based Monitoring and Alarm System for Temperature Rise of Towed Gun's Brake

Jiao Guiwei^{1,2}, Hu Chaogen^{2,3}

(1. Brigade of Graduate, Army Officer Academy, Hefei 230031, China;

2. The High Overload Ammunition Guide Control & Information Awareness Lab, Army Officer Academy, Hefei 230031, China;

3. Staff Room of Weapon Engineering, Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

Abstract: In allusion to the safe risk of brake's temperature rise of towed gun's brake caused by continuous braking in the marching, designs a monitoring and alarm system for temperature rise of towed gun's brake based on infrared sensor, utilizing the technology of infrared temperature measurement, microcontroller and wireless transmission. Analyze the overall design of the system, hardware design, software design and carry out temperature compensation tests. The result shows the system which has high precision and simple operation can correctly monitor real-time temperature situation of the brake. It greatly improves the equipment life, reduces the security risk in the marching, and has a strong practicability, provides the new method for monitoring and eliminating the risk of braking safety due to rising temperature.

Keywords: monitoring and alarm system; infrared sensor; towed gun; brake; temperature rising

0 引言

车轮制动器是牵引火炮的重要部件之一, 用于制动车轮, 防止行军时发生危险和车轮着地射击时阻止火炮移动, 主要包括制动盘、扩张体、制动鼓、凸轮、杠杆等部件。车轮制动时主要靠轮毂内侧的制动鼓与摩擦带形成滑动摩擦而产生的制动力矩。由于摩擦力做功, 制动鼓和摩擦带在制动时表面温度会显著升高。连续多次制动, 制动鼓的温度可能会达到 300~400 °C。然而高速行军过程中, 当牵引火炮遇到转弯、坑洼、桥梁、障碍以及遭遇险情时, 均需要频繁制动, 制动器的剧烈温升可能会导致摩擦带烧毁, 使得制动失效, 从而导致炮顶车, 翻(车)炮事故的发生, 造成不必要的人员伤亡。

当前部队尚无专门设备进行监测, 在行军时仅靠炮手肉眼观察制动器表面温度变化, 难以准确地判断制动器的温度状态。由于制动器温度过高,

常规接触式测温传感器难以有效工作, 只能采用非接触式测量方式^[1]。基于此, 笔者采用红外温度传感器, 利用无线数据传输技术和单片机技术, 设计了一种基于红外传感器的牵引火炮制动器监测报警系统。该系统可以对牵引火炮长途行军中的制动器温度进行实时监控和报警, 为指挥人员调整行军状态提供了依据, 延长制动器的使用寿命, 避免了制动带烧毁带来的事故安全隐患, 降低了分队的非战斗损失, 提高了装备的数字化管理水平, 具有很强的实用性和重要的应用前景。

1 红外测温技术原理

自然界中, 物体温度只要高于绝对零度, 由于分子或原子的热运动, 都会以电磁波的形式向外辐射能量。物体的辐射波长与物体内部的分子振动频率有关。红外辐射指波长在 0.76~1 000 μm 的电磁波。由斯特藩-玻尔兹曼定理可知物体红外辐射的能

收稿日期: 2018-01-13; 修回日期: 2018-02-26

作者简介: 焦贵伟(1993—), 男, 安徽人, 硕士, 从事兵器检测技术研究。

量 E 与温度 T 的四次方成正比，即

$$E = \sigma \varepsilon T^4 \quad (1)$$

式中： E 为物体辐射出射度； σ 为斯特潘-波尔兹曼常数； ε 为物体辐射率(大部分物体在 0.85~0.95)； T 为物体的热力学温度。

由此可以看出，物体的表面温度决定了红外辐射能量的大小。红外传感技术是利用红外辐射原理，通过敏感材料热电变化，测量出物体红外辐射能量的大小，进而准确得出表面温度的技术。红外测温技术是一种非接触式间接测温技术，解决了传统接触式测温的一些局限性问题。

2 系统的总体设计

牵引火炮制动器结构如图 1 所示。制动时，受热部分主要是制动鼓，摩擦片由于传热性能极差只有极薄一层温升；因此，系统在行军中监测的主要温升是金属制动鼓的温升。

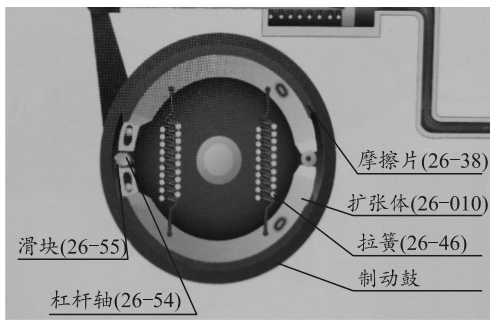


图 1 制动器结构

如图 2 所示，系统总体结构主要包括红外温度传感器、信号调理放大单元、数据处理单元、无线数据传输单元、监测报警手持终端。传感器安放在火炮大架与车轮连接轴附近，同时在火炮 2 车轮制动鼓表面涂敷红外辐射材料，提高金属的发射率。系统的数据传输方式采用无线传输方式，减少了线路的布置，不受距离限制，更加方便快捷。上位机部分由于行军条件下机动性限制设计成手持设备终端形式，携带方便，便于炮手使用。

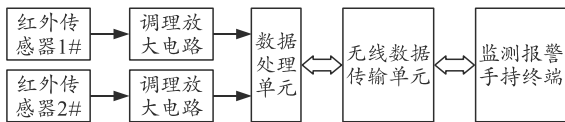


图 2 系统总体结构

系统工作过程如下：行军过程中传感器采集到制动鼓的温度数据，经过信号调理放大电路后送入数据处理控制芯片，控制芯片经过 AD 转换后存储，以中断方式响应手持终端发射过来的数据请求，编码后向手持终端发送数据。手持终端不断向数据处

理单元发送数据请求，在接收到无线数据后，转换送入中央处理模块，在显示屏上显示出制动鼓当前温度值^[2]。当检测到温度值超过设定警戒值后，手持终端内的声光报警模块进行声光报警，此时炮手应采取一定的处理措施，如对制动鼓泼水降温，或缓慢停止火炮运动进行休整，避免制动器烧毁失效，引发事故。

3 系统的硬件设计

火炮在长途行军过程中制动鼓温度若超过 200℃，就会使摩擦片内部结构发生变化，影响制动效果，因此该系统选用的传感器为 TN9 型红外温度传感器，测量范围为-33~220℃，符合系统设计的要求。传感器实物如图 3 所示。

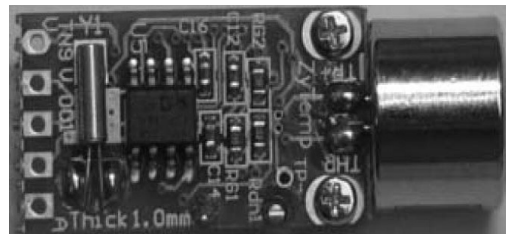


图 3 TN9 型红外传感器实物

TN9 型红外温度传感器是一种热电堆型红外传感器。热电堆型传感器内部结构如图 4 所示，其集成了热敏电阻以及热电堆传感器，可以同时测量目标温度和环境温度，能进行三路温度的分时检测，响应速度快，最小响应时间间隔为 1 s，测量精度高，最小误差为 0.7℃。TN9 型红外传感器共有启动控制引脚(A)、接地(G)、SPI 时钟引脚(C)、SPI 数据引脚(D)、电源引脚(V)5 个引脚，通过 SPI 总线与单片机芯片连接^[3-4]。

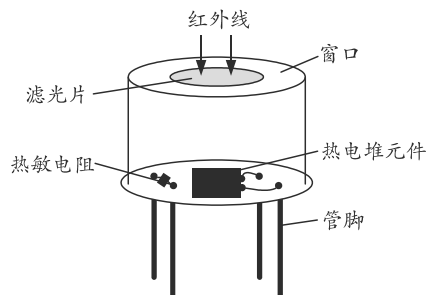


图 4 热电堆红外传感器结构

因 TN9 红外传感器工作电压一般在 3.3 V，为方便共用电源，使传感器正常工作，微处理器芯片采用的是工作电压在 2.7~3.6 V 的 C8051F350 单片机。单片机采取 3.3 V 纽扣电池供电，便于更换维护。单片机的 P1 口作为 SPI 总线 CLOCK 和 DATA 数据口，单片机与传感器接口电路如图 5 所示。

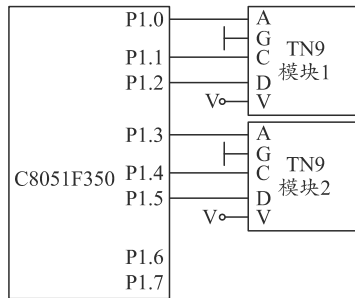


图 5 TN9 红外传感器与 C8051F350 接口电路

采用 nRF905 单片射频收发芯片作为无线数据传输模块。nRF905 每秒钟最大可传输 100 kbit，能在 433/868/915 MHz 3 个 ISM 频段工作，具有字头自动处理，CRC 校验功能，有发送、接收、空闲、关机 4 种工作模式。nRF905 芯片操作简单，尺寸较小，工作稳定，符合系统设计要求^[5-6]。

监测报警手持终端采用功能模块化设计，与检测发射装置结构类似，其结构如图 6 所示。内部系统分为中央处理模块、数据存储模块、无线传输模块、信息显示模块、声光报警模块、电源管理模块。中央处理模块作为手持终端的主控模块，以 Freescale 公司的 MC9S12XS128MAL 作为中央处理芯片，MC9S12XS128MAL 是 16 位单片机，可以集成多种模块。无线传输模块采用与采集单元相同的 nRF905 芯片，显示模块采用 128×64 点阵液晶，声光报警模块用 LED 灯和小喇叭。整个手持终端采用锂电池供电，为减小功耗，嵌入了电源管理模块，设计时注重充电的控制，避免过冲和电池的欠压保护，有利于延长电池使用寿命。

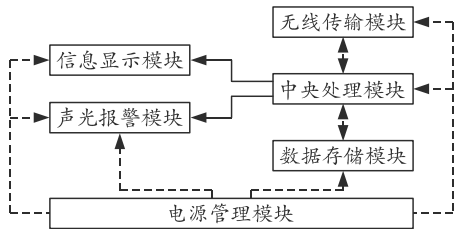


图 6 监测报警手持终端结构

4 系统的软件设计

该系统无线传输频段采用 433 MHz 的通用标准，调制方式为频移键控调制 (FSK)，传输波特率为 9 600 bit/s。数据采集发送芯片 C8051F350 的主程序流程如图 7 所示，系统上电初始化后，等待传感器状态稳定后，单片机开始以查询方式进行温度数据的采集，经过信号调理，转换后送入存储器储存，采集温度的时间间隔为 1 s。发送数据则以中断形式响应手持终端请求^[7]。

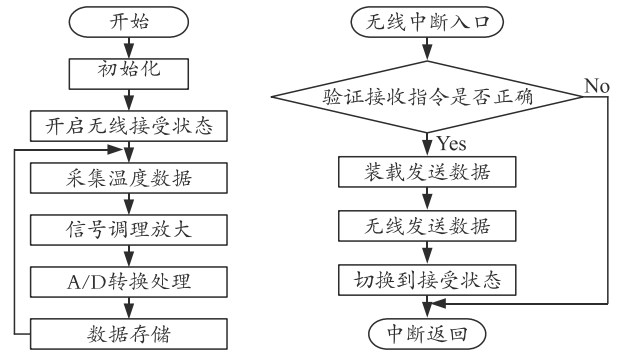


图 7 C8051F350 主程序流程

手持终端主程序流程如图 8 所示，手持终端在上电初始化后，以间隔 1.5 s 的频率向采集单元发送接收数据请求，然后无线芯片切换到接受状态，检测是否接收到数据包，若没有接收到，则继续发送数据请求，接收到数据包后，进行转换处理送入中央处理模块，计算温度补偿值，当前温度在显示屏上，然后将温度值与设定的阈值进行比较，若超过阈值则驱动进行声光报警。

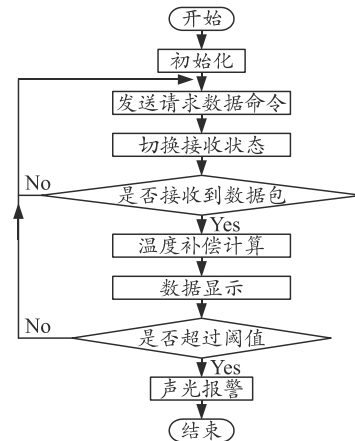


图 8 手持终端主程序流程

5 红外温度补偿

由于环境温度的影响，红外传感器测量目标温度的结果与理论计算公式有所差别。考虑环境温度因素，红外传感器的输出电压 U_{TP} 与目标温度 t_{obj} 、环境温度 t_a 关系式为：

$$U_{TP} = S\sigma\varepsilon(t_{obj}^{4-\delta} - t_a^{4-\delta})\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (2)$$

式中： S 为传感器灵敏度； σ 为斯特潘-玻尔兹曼常数； δ 为光谱损失系数； ε 为物体表面的发射率；绝大多数物体在 0.85~0.95； φ 为传感器视场张角^[8]。

因系统工作时各参数可看作常数，忽略光谱损失，调理放大电路后的输出电压 U_{OUT} 关系式为：

$$U_{OUT} = AK(t_{obj}^4 - t_a^4) \quad (3)$$

其中： A 为增益倍数； $K = S\sigma\epsilon \sin^2(\frac{\theta}{2})$ 。式(3)可进一步简化为

$$U_{OUT} = K'(t_{obj}^4 - t_a^4) \tag{4}$$

其中 $K' = AK$ ， K' 为温度补偿系数。

式(4)反映了传感器输出电压与目标温度、环境温度的关系。因此当环境温度确定时，即可通过传感器的输出电压代入式(4)计算得到补偿后的目标温度值。图 9 为 25 °C 时传感器输出特性曲线^[9-10]。

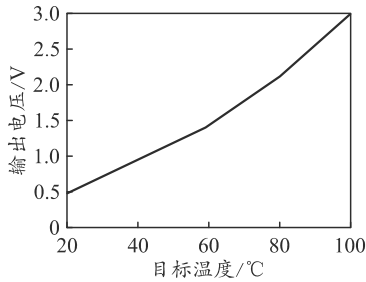


图 9 25 °C 时传感器输出电压与目标温度关系

6 试验验证

某型质量约 8 200 kg 的牵引火炮在时速 50 km/h 的速度下，制动一次的制动鼓升温理论计算约 40 °C。为了验证系统测量温度的准确度以及能否正常工作，使用高精度 RAYTEK 红外测温枪，进行了对比试验。红外测温枪的读数作为标准温度，测量短距离连续制动 2 次下制动鼓的温度变化，环境温度为 25 °C，试验结果如表 1 所示。

表 1 对比试验数据 °C

标准温度	实测温度	绝对误差	标准温度	实测温度	绝对误差
70.2	70	-0.2	44.1	44	-0.1
58.9	59	-0.1	42.6	43	+0.4
56.3	56	-0.3	40.1	40	-0.1
54.4	54	-0.4	38.5	39	+0.5
52.1	52	-0.1	36.7	37	+0.3
50.8	51	+0.2	34.4	34	-0.4
48.7	49	+0.3	32.1	32	-0.1
46.9	47	+0.1	30.2	30	-0.2
45.2	45	-0.2	28.6	29	+0.4

试验结果表明：实际测试的目标温度与标准温度的误差在±0.5 °C 之间，符合系统设计的要求。

7 结束语

笔者设计的基于红外传感器的牵引火炮制动器监测报警装置，可以在行军途中对牵引火炮制动器温度状态进行有效的实时监控和报警，解决了牵引火炮制动器温度监测难，易损毁引发事故的问题。系统测量精度高，外围电路少，操作简单，携带方便，避免了行军途中的安全隐患，减少了人员伤亡，提高了装备的使用寿命和装备的数字化管理水平，降低装备的非战斗损失，具有很强的实用性和应用前景。

参考文献：

- [1] 刘兰强, 童仲志, 侯远龙, 等. 多通道药温传感器检测系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(4): 55-57.
- [2] 韩玉兰, 芦兴, 路灿, 等. 高压开关柜隔离触头温度红外检测系统的研制[J]. 高压电器, 2008, 44(6): 578-581.
- [3] 王瑜, 闫沫. 基于 TN9 红外温度传感器的多通道测温系统[J]. 煤矿机械, 2012, 33(11): 259-261.
- [4] 张琳, 孙耀杰, 张坤. TN9 红外温度传感器在火灾报警系统中的应用[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(10): 146-148.
- [5] 张璇. 基于 51 单片机的红外测温仪的设计与实现[J]. 硅谷, 2010, 9(19): 52-53.
- [6] 张国栋, 宋建成, 许春雨. 基于 nRF905 的高压配电装置隔离触头温度在线监测装置的研究[J]. 工矿自动化, 2010, 36(5): 16-20.
- [7] 管敏杰, 赵冬娥. 一种简易红外温控系统的设计[J]. 光电技术应用, 2011, 26(6): 4-7.
- [8] 赵斌, 王建华. 基于 PSO-BP 的红外温度传感器环境温度补偿[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(2): 47-48.
- [9] 任焜, 胡益民, 吴坚, 等. 一种实用红外测温仪数字温度补偿方法[J]. 传感器技术, 2004, 23(12): 59-61.
- [10] 杨其宇, 张霞, 王钦若. 基于温度补偿控制的水电阻软启动器的建模与仿真[J]. 兵工自动化, 2015, 34(7): 71-75.