

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.019

军用车辆灭火抑爆系统中光学探测温度适应技术

王林祥¹, 聂文琪², 孔文艳²

(1. 中国人民解放军驻五十所军事代表室, 上海 200092; 2. 上海电控研究所科技部, 上海 200092)

摘要: 针对军用装甲车辆乘员舱的灭火抑爆系统探测火情的需要, 提出 2 种调整光学探测器的探测灵敏度的解决方案。简要分析光学探测技术的原理及分类, 讨论各种光学探测技术的优点和局限性。介绍光学探测器的选择及温度对光学探测器的影响, 重点论述某军用车辆灭火抑爆系统中光学探测器的温度适应技术, 采用软件补偿方案对红外 1 ms 火警阈值、红外 1 s 积分火警阈值及红外光敏管的老化进行补偿, 并多次经过高低温试验进行验证。实验结果表明: 在 -40 ~ 55 °C 的温度变化范围内, 防误报性能完全可以满足国军标对光学探测器的要求。

关键词: 光学探测; 紫外; 红外; 温度

中图分类号: TJ810.3⁺8 **文献标志码:** A

Optical Detection Temperature Adaptation Technology in Fire Extinguishing and Explosion Suppression Systems on the Military Vehicle

Wang Linxiang¹, Nie Wenqi², Kong Wenyan²

(1. PLA Representative Office in No. 50th Institute, Shanghai 200092, China;

2. Dept. of Science & Technology, Shanghai Electronic Control Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aiming at the demand of detecting fire in military armored vehicle crew cabin, two solutions for adjusting the detection sensitivity of optical detectors are put forward. It briefly analyzes the principle and classification of optical detection technology, discusses the advantages and limitations of various optical detection technologies. It introduces the selection of optical detector and the influence of temperature on it, then deeply discusses the optical detection temperature adaptation technology in fire extinguishing and explosion suppression systems on certain military vehicle, a software compensation method is used to make up for the burn-in of infrared 1 ms fire threshold, infrared 1 s integrated fire threshold and infrared photosensitive tube, and it is verified repeatedly by high and low temperature test. The experimental results show that the performance of false alarm fully meets the military standard requirements of the optical detector while the temperature is changing from -40 °C to 55 °C.

Key words: optical detection; ultraviolet; infrared; temperature

0 引言

传统军用车辆常用的火灾预警系统^[1], 主要是应用热传导原理来探测火警, 例如使用热电偶, 其感火面积小, 灵敏度也不高。随着科学技术的进步与发展, 新研制的军用装甲车辆乘员舱的灭火抑爆系统普遍采用了光学探测技术来探测火情。因此, 笔者对军用车辆灭火抑爆系统中光学探测温度适应技术进行研究。

1 光学探测器的选择

光学探测技术主要分为 2 类: 一类为红外光探测, 另一类为紫外光探测。在过去的 20 年中, 陆续出现了紫外、红外等几类点型光学探测器^[2], 每一类探测器都选用先进的光学器件和参数分析手段设计而成, 各有自己的优缺点, 也各有其特定的使用范围和局限性。

紫外光学探测器能够响应波长 0.158 ~ 0.245 μm 之间的紫外光, 探测器的可靠性较高。但由于火焰产生的紫外辐射很微弱, 就要求探测器具有较高的检测灵敏度。然而, 灵敏度过高又极易受到其他紫外辐射的影响, 以至引起误报, 尤其是电弧焊、闪电发出的极强的紫外辐射和用于无损金属检验设备的 X 射线以及放射性材料。

早期的红外光学探测器, 其响应波长是在 1 μm 左右的光谱区域, 后来开发了可在 2.7 μm CO₂ 吸收光谱区工作的探测器, 其性能虽有提高, 但其抑制干扰的能力仍不尽人意。由于烃类物质(例如甲烷、汽油、油类和木材)燃烧时, 其燃烧产物 CO₂ 在 4.3 μm 波长处有一受热共振辐射峰值, 利用这种光谱特性, 单波段红外光学探测器设计为响应 4.3 μm 的 CO₂ 窄谱带上的火焰红外辐射, 其分辨闪烁频率在 4 ~ 20 Hz 范围。由于采用了精密的光学滤光系统, 单

收稿日期: 2012-01-07; 修回日期: 2012-02-01

作者简介: 王林祥(1971—), 男, 江苏人, 硕士, 工程师, 从事火炮电子学、装备信息化等研究。

波段光学探测器可抑制阳光辐射的影响。但因我国红外滤光片加工工艺及加工成本的限制，使得单波段光学探测器的开发近期难以在国内得到开展。

紫外/红外双波段光学探测器一般采用一个对太阳光具有抗干扰能力且具有较高信噪比的紫外传感器和一个窄波段红外传感器制成。具有鲜明的光谱响应特征的红外传感器与紫外传感器结合可消除这些干扰源的影响。但即使这类先进技术依然有其局限性。每一种光源所释放出的紫外和红外辐射之间的比值都具有鲜明的特征，日光一般发出大量的紫外辐射，而只发出少量的红外辐射，煤气火则只产生少量的紫外辐射和大量的红外辐射。紫外/红外探测器一般采用“与门技术”来处理来自 2 个传感器的信号。为了确保火灾探测器的可靠性，这类探测器中一般都加入一个识别电路对紫外辐射的阈值信号、红外辐射的阈值信号、2 种信号的比值及 2 种信号的闪烁模式进行分析比较。只有当所有的参数都符合探测器电路的逻辑算法，火灾报警才能被确定。

比较了多种光学探测技术之后，在实际应用的方案中，笔者采用了紫外/红外双波段光学探测器作为整个灭火抑爆系统的火情探测装置，其内部安装有红外管和紫外管，可同时探测火焰光谱中的红外与紫外光谱，对穿甲弹火光的强紫外光谱特别敏感，同时具有很好的防误报能力。如图 1 所示。



图 1 光学探测器

根据探测器的探测视场，在乘员舱安装了 6 个光学探测器，使被保护的整个空间受到最佳的监视。

2 温度对光学探测器的影响

在灭火抑爆系统随整车在零下 20℃ 的环境下进行实际射击试验过程中，发现当弹的发射尾焰较大时，光学探测器误报率明显增加的问题。

经过实地测量分析，锁定误报原因是光学探测器灵敏度过高所致。在常温下调节好的光学探测器，正常探测距离约为 10 cm。在下降 40℃ 后，光学探测器灵敏度大大提高，探测距离提升到 20 cm 左右，

有个别光学探测器甚至达到近 30 cm。因而出现在探测到炮弹尾焰光谱后误报火灾的情况。

进一步对光学传感器温度灵敏度进行研究，发现温度对于光学传感器的灵敏度有较大的影响，红外管和紫外管的温度特性都是低温时灵敏度高，高温时灵敏度低。图 2、图 3 给出了某紫外光敏管和某硫化铅红外探测器的灵敏度—温度特性。

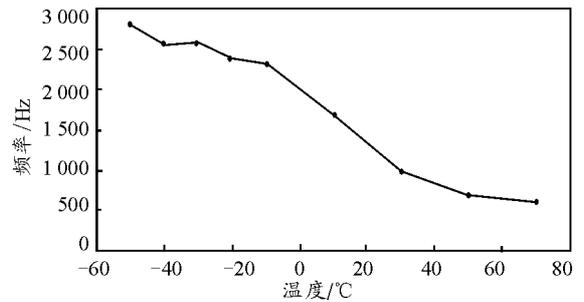


图 2 紫外光敏管灵敏度特性

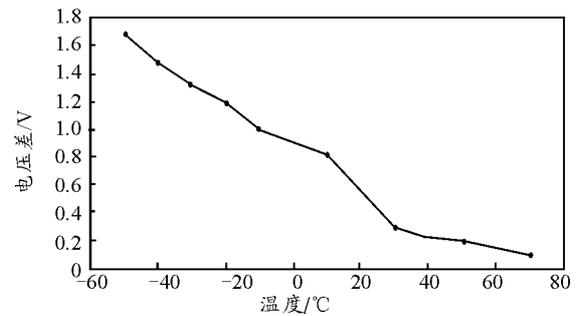


图 3 硫化铅红外探测器灵敏度特性

由于光学传感器的本身温度特质，对于需要应用于-43~55℃ 的宽温场合的灭火抑爆系统，原有的光学探测器无法做到探测灵敏度的一致性。

3 光学探测器的温度适应技术

针对光学探测器的温度适应技术，笔者提出 2 种解决方案，采用硬件补偿或采用软件补偿的方法调整光学探测器的探测灵敏度。

硫化铅红外探测器的硬件补偿方法一般为：利用 LED 灯模拟火光的红外线，周期性照射探测器，把照射时的电压存储于电容器，再利用比较器把正常工作时红外探测器的电压与之比较，来判断火情。但这种方法在补偿时刻若受到紫外光照的干扰，很容易引起误报火警。紫外光敏管的输出信号是脉冲量，而非连续的模拟量，硬件方法补偿的难度很大，电路较难设计，故一般不做硬件补偿。

软件补偿则具有很强的灵活性。根据器件的灵敏度特性曲线，可采用一阶或二阶曲线拟合的方法建模，把模型数据存储于 CPU，CPU 通过采样热敏

电阻电压计算出工作环境温度, 再把紫外光敏管和红外探测器的实时采样数据与存储的模型比对, 即可保证宽温工作环境下探测灵敏度的一致性。软件补偿不仅准确, 而且修改方便。因此, 笔者采取了软件补偿方案。

为了保证光学探测器在低温和高温环境下探测距离的一致性, 需对其火警判断阈值做温度补偿, 补偿曲线如图 4 所示。采用了 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4 个温度点, 4 点确定 3 条直线, 通过热敏电阻电压的 AD 采样查表得出环境温度, 温度值代入直线公式得出火警阈值补偿值。

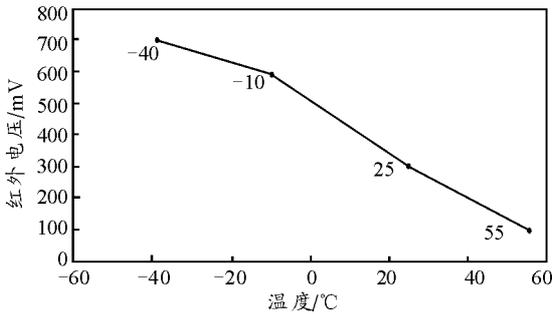


图 4 温度补偿曲线

为增加火警判断准确率, 软件对红外火警阈值补偿采用 1 ms 补偿和 1 s 积分补偿双重判断方法。

3.1 红外 1 ms 火警阈值

红外参数存储于 EEPROM 中, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit15~bit12; $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit11~bit8; $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit7~bit4; $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit3~bit0, 故 EEPROM 中可存储的各温度点的参数最小为 0, 最大为 15。

红外火警阈值为电压值, 存储到 EEPROM 中需事先换算。例如一组红外火警阈值如表 1, 对各温度点参数分别乘以 10, 11.7, 20, 40 后取整, 故红外高低温参数 *IRPA=0x7764, 存储于 EEPROM 中。

表 1 1 ms 红外火警阈值补偿换算列表

红外参数	温度/°C			
	-40	-10	25	55
红外火警阈值/V	0.7	0.595	0.3	0.1
红外高低温参数	7	7	6	4
红外高低温参数/mV	700	595	300	100

程序中参与运算的电压值单位为 mV, 所以在计算直线截距和斜率前, EEPROM 中各温度点参数还需得到最终乘以 1 000 的 mV 单位, 即参与运算的红外高低温参数为 700, 595, 300, 100。

则直线 $-40\sim-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的斜率和截距分别为:

$$\text{IRLk} = \frac{595-700}{-10-(-40)} \times 100 = (595-700) \times \frac{10}{3} = -350$$

$$\begin{aligned} \text{IRLh} &= \frac{40 \times 595 - 10 \times 700}{-10 - (-40)} \times 100 = \\ &= (40 \times 595 - 10 \times 700) \times \frac{10}{3} = 56\ 000 \end{aligned}$$

斜率 IRLk 和截距 IRLh 为长整形变量, 为防止算式计算结果舍弃小数点后的数值造成误差过大, 故放大了 100 倍。

故红外火警阈值函数为:

$$\text{IRDifTmp} = \frac{\text{IRLh} + \text{IRLk} \times \text{Tmp}}{100} = -\frac{350}{100} \times \text{Tmp} + 560 \quad (1)$$

其中 Tmp 为温度值; 斜率和截距放大了 100 倍, 在此除以 100 还原。

直线 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 以及 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的斜率、截距和函数的计算方法相同。

3.2 红外 1 s 积分火警阈值

在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4 个温度补偿点, 红外 1 s 积分阈值 IRDif1sFire 是红外 1 ms 火警阈值 IRDifFire 的 100, 200, 300, ..., 800, 1 000, 1 200, 1 400, ..., 2 400 倍, 共 16 个倍率值可调整。倍率参数存储于 EEPROM 中。

与红外参数的存储格式相同: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit15~bit12; $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit11~bit8; $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit7~bit4; $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 参数占用一个字的 bit3~bit0, 故 EEPROM 中可存储的各温度点的参数最小为 0, 最大为 15。各直线的斜率、截距和函数的计算方法与红外参数相同, 规定:

$$\text{BeiLv} = (\text{UVLh} + \text{UVLk} \times \text{Tmp}) \quad (2)$$

在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4 个温度点, BeiLv 等于 EEPROM 存储值 (0~15) 乘以 100。

当 BeiLv 大于 700 时,

$$\text{IRDif1sFire} = \text{IRDifFire} \times ((\text{BeiLv} \ll 1) - 600) \quad (3)$$

即红外火警 1 s 积分阈值 IRDif1sFire 是红外 1 ms 火警阈值 IRDifFire 的 1 000, 1 200, 1 400, ..., 2 400 倍中的一个值;