

一种高精度宽量程红外高温计的设计

王 斌

(国营西北光学仪器厂设计所)

摘要——本文讨论了在高温中采用微机进行非接触测量、监控、计算和温度显示,并自动产生一个标定的、与被测温度成线性关系的模拟电压输出信号,以配接各种控制器和记录仪。推导了数学模型;介绍了硬件和软件设计要点。

新型陶瓷、玻璃纤维、超耐热合金等特种材料的制作过程,以及半导体制作工艺等对超高温测量仪器的精度、灵敏度和稳定性都提出了更高的要求。为此,本文提出一种采用单片微机控制的成本低,可靠性高的便携式非接触红外高温计的数学模型,以及硬件和软件设计要点。

一、数 学 模 型

图1是非接触测温系统信号计算示意图。

在本文所讨论的红外高温计内部设置了一个特殊的参考黑体,它在单片机控制下,可以开通或遮挡探测器的接收立体角。

设目标为灰体扩展源,其温度为 T_0 ,表面发射率为 ε ,目标周围环境温度为 T_R ,仪器探头内部的温度为 T_A ,参考黑体的温度为 T_B ,光学系统对应探测器敏感面的孔径角为 θ ,光学系统的透射比为 τ_0 ,探测器敏感面面积为 A_d 。

当参考黑体打开时,探测器接收到的净辐射功率为

$$\Delta P_1 = P_0 + P_R + P_A - P_D; \quad (1)$$

式中, $P_0 = \tau A_d \varepsilon W_0$; $P_R = \tau A_d (1 - \varepsilon) W_R$; $P_A = (1 - \tau_0) \sin^2 \theta A_d W_A$; P_D 为探测器自身对外的辐射功率。 τ 为仪器因子, $\tau = \tau_0 \sin^2 \theta$; $W_0 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_0}} - 1)^{-1} d\lambda$; $W_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_R}} - 1)^{-1} d\lambda$; $W_A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_A}} - 1)^{-1} d\lambda$ 。

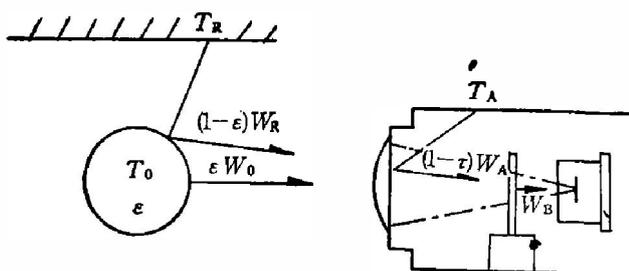


图1 信号计算示意图

Fig. 1 Schematic diagram of signal calculation.

当参考黑体遮挡时,探测器接收到的净辐射功率为

$$\Delta P_2 = P_B - P_D; \quad (2)$$

式中, $P_B = \sin^2\theta A_d W_B$; W_B 为参考黑体的辐出度,

$$W_B = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_B}} - 1)^{-1} d\lambda.$$

设探测器的响应率为 R , 由于选用温差电堆探测器, 响应率在整个波段内均为常数, 与波长无关; 仪器的电信号放大倍数为 K 。这样, 由 ΔP_1 和 ΔP_2 各自产生的信号电压为

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_1 &= KR\Delta P_1; \\ \Delta V_2 &= KR\Delta P_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

将这两个电压信号相减, 可得

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = KR\{\tau_0 \sin^2\theta A_d [\varepsilon W_0 + (1 - \varepsilon) W_R - W_A] + \sin^2\theta A_d (W_A - W_B)\}.$$

当仪器处于热平衡时, $T_A = T_B$, 即 $W_A = W_B$ 。所以,

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = KR\tau_0 \sin^2\theta A_d [\varepsilon W_0 + (1 - \varepsilon) W_R - W_A].$$

调节仪器的电信号放大倍数 K , 使

$$K = \frac{1}{\tau_0 \sin^2\theta},$$

并令 $V_0 = RA_d W_0$, $V_R = RA_d W_R$, $V_A = RA_d W_A$, 于是有:

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = \varepsilon V_0 + (1 - \varepsilon) V_R - V_A;$$

由此可推出

$$V_0 = \frac{\Delta V_1 - \Delta V_2 - (1 - \varepsilon) V_R + V_A}{\varepsilon} = f(T_0). \quad (4)$$

式(4)即为仪器程序设计所依据的基本数学模型; 它简单明了, 便于进行计算机处理。

根据
$$V_i = RA_d W_i = RA_d \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_i}} - 1)^{-1} d\lambda$$

关系式, 将各个 T_i 所对应的 V_i 值求出, 以数据表格的形式存入存贮器。式(4)中的 ΔV_1 和 ΔV_2 由仪器自动测得; ε 和 T_R 由测试者置入; V_R 由单片机接收 T_R 后自动查表求出; V_A 由环温传感器自动测出 T_A 后, 经单片机查表求出。这样, 通过式(4)即可求出 V_0 , 经反查表即可求出目标的真实温度 T_0 。

二、硬件设计

硬件简图如图2所示。它的核心是单片机 HD6303。这是一个8位低功耗 CMOS 单片机, 内含 192 字节的 RAM, 相当于 Z80+CTC+PIO+SIO 及部分 RAM。它接口容易, 指令丰富, 简化了编程工作, 减少了外围配接芯片及元件, 大大提高了系统的可靠性^[3]。

红外探测器采用新型的薄膜温差电堆, 它稳定可靠, 无需偏压和调制, 简化了仪器的设计, 是近年来国内外辐射测温仪使用较多的探测器。环温传感器采用精密、可靠、调整点少的集成温度传感器, 其输出信号与温度成线性关系。

前放采用第四代斩波、稳零集成运算放大器 ICL7650, 它有极低的失调电压(小于 $10 \mu V$)和极高的输入阻抗($10^{12} \Omega$), 温度漂移小($0.05 \mu V/^\circ C$), 共模抑制比高(120 dB), 是放大微弱直流信号的理想器件。

由于测量范围很宽,其动态范围可能从几十微伏至几伏。为了充分利用 A/D 变换器满刻度分辨率高的特点,并防止过强信号超出动态范围,这里采用了一级放大倍数随信号强弱而变的可编程增益放大器 PGA (Programmable Gain Amplifier), 它可在单片机控制下实现放大倍数的自动切换,有效地解决了弱信号分辨率低与强信号超限的矛盾。而信号的复原由软件来完成。

采用了 CMOS $4\frac{1}{2}$ 位双积分 A/D 变换器,其精度高、外接元件少、抗干扰能力强;采用多路 BCD 码形式输出,很容易与单片机相接。

采用了低成本串行 12 位 D/A 变换器,以 $1\text{mV}/^\circ\text{C}$ 的模拟电压信号实时输出,可外接多种控制器或记录仪。测温仪也可以外接串行打印机。

可利用 4 个按键进行人机对话,输入有关的数据,如 s 和 T_R 。可任意选择“峰值”,“谷值”和“连续”三种测量模式。

程序和数据表固化在一片 4K 字节的 EPROM 中。

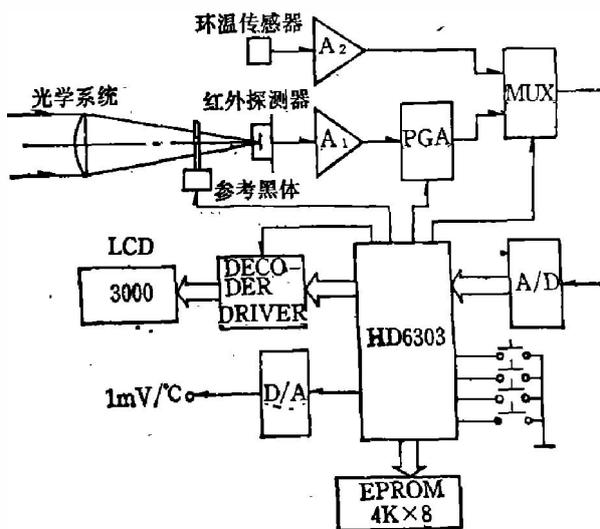


图 2 硬件简图

Fig. 2 Schematic diagram of the hardware.

三、软件设计

主程序流程图如图 3 所示。

由式(4)可见,信号电压 V_0 和 T_0 成非线性关系。过去常用硬件电路,如非线性放大器、二极管修正电路等方式进行非线性修正,其电路复杂、调整点多,并有漂移,难以保证精度和稳定性。我们采用软件来实现非线性修正,大大提高了精度和可靠性。为了节省内存,在此采用了查表、分段折线逼近的方法实现非线性修正。具体做法是先将整个量程范围内的温度值分成 50 个区间,根据关系式 $V_i = f(T_i) = RA_d \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_i}} - 1)^{-1} d\lambda$ 求出每个区间端点温度值 T_i 所对应的电压信号值 V_i ,并以数据表格的形式顺序存在 EPROM 中,以供程序作线性化处理时自动查找用。测量时,经采样计算得到的信号电压值 V_0 。若介于数据表中 V_i 和 V_{i+1} 之间,则对应的目标温度值 T_0 可由下式求得:

$$T_0 = T_i + (V_0 - V_i) \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{V_{i+1} - V_i} = T_i + (V_0 - V_i) \cdot \frac{\Delta T_i}{\Delta V_i}; \quad (5)$$

式中, T_i 、 T_{i+1} 、 V_i 和 V_{i+1} 皆为已知数,由程序从数据表中自动查出。由式(5)即可求得 V_0 所对应的温度值 T_0 ;反之,也可由温度值 T 求出对应的电压值 V 。如由 T_R 和 T_A 求出 V_R 和 V_A 。用此法求得的温度值与真实值之间有一定的误差,但只要增加分段点,这种误差可以变得非常小,足以满足各种检测精度的需要。

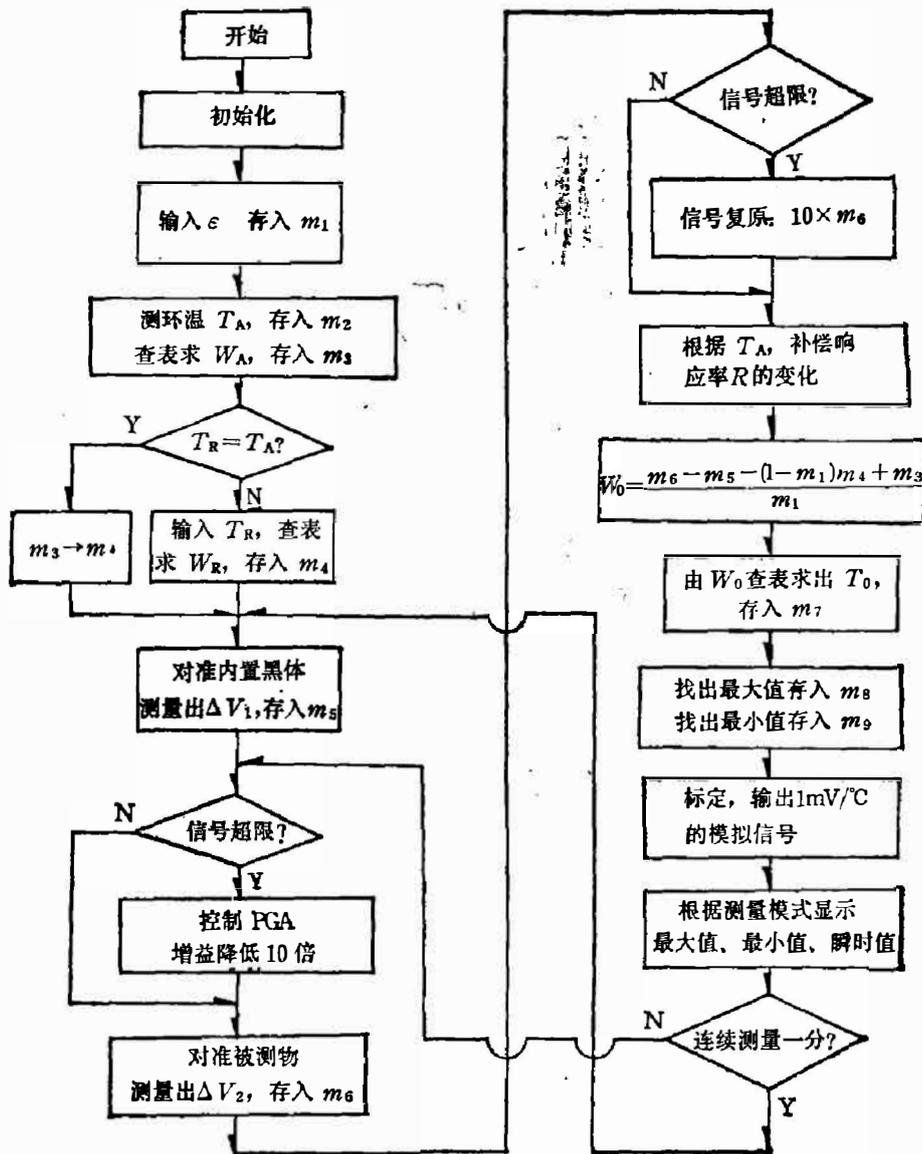


图 3 主程序流程图

Fig. 3 Flow chart of the main program.

四、实测结果与精度

为了验证仪器经分度后, 测量物体表面温度的准确度, 用黑体炉对该仪器进行了检测。检测条件: 仪器距离黑体炉靶芯为 1.5~2m; 仪器发射率为 0.98; 环境温度控制在 $25.^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。用标准温差电偶监视中温黑体炉炉温, 用精密光电高温计监视高温黑体炉炉温。测得的数据与基准值的比较示于表 1。表中 T_M 为标准温差电偶测得的炉温, T_H 为精密光电高温计测得的炉温, T_0 为被检仪器的炉芯靶面的温度。根据表中数据可知, 该仪器测量值的相对误差 $< \pm 1\%$ 。

表1 测量温度值的比较

Table 1 Comparison of the measured temperature values

黑体炉	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$T_H(^{\circ}\text{C})$	$T_0(^{\circ}\text{C})$	基 准
WJL-21	456		458	标准温差电偶
	608		612	
WJL-11		806	805	精密光电高温计
		1103	1099	
		1407	1401	
		1755	1747	
		2139	2128	
		2382	2370	
		2503	2488	

五、结 语

为了有效地提高测量精度,尽可能地减少各种干扰所带来的测量误差,本仪器采取了以下几项措施:

1. 采用窄波段干涉滤光片,最大限度地减小 ε 随波长 λ 的变化,在本仪器中选用的是大气透过率较好的 $2\sim 2.5\mu\text{m}$ 的干涉滤光片。

2. 为了消除仪器长时间连续测量引起的探测器敏感面上热积累产生的漂移,本仪器在连续测量时,每隔一分钟,就自动对内置参考黑体采样一次,经系统软件处理,可自动消除这种热积累所引起的漂移。

3. 为了减小红外探测器的响应率随温度变化所带来的测量误差,本仪器根据环温传感器测得的信号 T_A ,采用了软件补偿的方法。

非接触高温计中,由于采用了多功能单片微机,用软件代替某些硬件电路,大大简化了电路设计,增强了功能,提高了仪器的精度和可靠性,并减小了体积和功耗。

本仪器所采用的硬件和软件具有一定的通用性,只要作适当的修改或改写部分程序,即可满足各种检测温度场合的特殊需要,充分体现了单片机的灵活性。

参 考 文 献

- [1] Wolfe W. L. et al., *The Infrared Handbook*, IRIA Center, 1978, Ch. 20, p. 11.
- [2] Mester U. et al., *I. E. E. Conf. Proc.*, **22**(1971), 471~486.
- [3] *HD6301 X0, HD6303X user's Manual*, Hitachi, Ltd., 1984, 1~31.

DESIGN OF INFRARED PYROMETER WITH HIGH ACCURACY AND BROAD MEASUREMENT RANGE

WANG BIN

(Design Bureau, Northwest Optical Instrument Factory)

ABSTRACT

A microcomputer-controlled high-temperature pyrometer is designed. A mathematical model is derived. The design of hardware and software is described briefly.