

微型计算机应用专集

上海交通大学 微机研究所
科技交流室

1985.12

前 言

微型计算机自七十年代初期出现以来，至今已取得了惊人的进步和发展，不仅品种日益增多，就字长而言，有一位机、四位机、八位机、十六位机以及三十二位机等，而且性能也日臻完善，与此同时价格不断下降，从而为微型计算机在国民经济各个方面的广泛应用提供了极为良好的条件。

为了促进微型计算机的广泛应用，使祖国四个现代化的春天早日到来，本刊收集了微型计算机的应用论文达三十余篇，内容有：快速数据采集，定时自动控制，微机在仪器仪表中的应用，微机在生物医疗工程中的应用，微机在电机自动化测量方面的应用，微机在临床诊断方面的应用以及微型机软件的开发指南和数/模与模/数转换卡的设计介绍等。内容广泛，论述清楚，并结合具体典型实例进行介绍。其实，绝大部份论文都是科研成果的结晶，这些微型机的应用成果已经或正在各自的领域中发挥越来越重要的作用。

编汇本应用专集的宗旨是：期望广大读者通过对本书的学习，更好地掌握应用微型机的技能、技巧和方法，消除应用微型机无从入手的顾虑和包袱，让微型机应用成果之花开遍祖国的各个角落。

《微型计算机》编辑部

一九八五年六月

微型计算机应用专集

目 录

微型计算机应用

- 微型数据采集系统在快速测温中的应用 翁中杰、姜至龙(1)
- ✓MIC-80 微型机在测温系统中的应用 红安机械制造公司计算站理化室(13)
- 平台罗经修正回路的微机控制系统 王渝中、葛自良、张建中(18)
- 通道型双端口存储器双微机系统的设计与应用 王妙法、周颂凯、王剑涛、黄燮昌(25)
- 应用微型计算机辅助诊断冠心病的探索 马丽华、周新六、郑道声(31)
- 用于微机控制监护系统的多迹记忆显示器 周颂凯、黄燮昌、王抗(35)
- 诱发电位记忆叠加装置 陈汝琛、诸燮宇(43)
- 用便携式盒式录音机实时地记录数字式心电数据的接口电路 周颂凯(49)
- 微处理器控制的心律失常监护仪 周颂凯、王妙法、黄燮昌(57)
- 线切割机微机数控系统中的微型计算机 杜毅仁、谢康林(59)
- 用 MIC-85 单板机实现大型仿形立车床的实时加工控制 周勇荣、高一华(66)
- MIC-85 单板微型机在扫描光谱测量的实时控制和数据处理系统中的应用 姚凡(73)
- MIC-85 单板微型机在测微仪中的应用 施文康、俞朴、张守华(78)
- B型超声显象仪中微机的应用 虞宗炜、戴亚男、王渝中(85)
- 在 MIC-85 单板机上实现运动同步传输 王鄂琳、任志杰(88)
- 用 MIC-8K₂ 单板机实现直流印刷电动机调速系统的全数字化 缪肇基、李世翔、张春法(98)
- MIC-85 单板微型机在无刷直流电动机的微处理器控制系统中的应用 金如麟、张慰堂(105)
- 用微处理器获得超低速准圆形旋转磁场 王庆文、金如麟、谭菊娃、黄欣捷(119)
- 多级分布式实时信息处理微机系统的设计 杜毅仁、赵正校、李世祥、杨克忠(129)
- 配电网线损计算机管理系统 姚罗姑、石补天、陈奇雨(135)
- MIC-85 微机在工厂分马力电机出厂试验流水线上的应用 任仲岳、王文华(149)
- 用微机实现准圆形旋转磁场变步细分步进运行 王庆文(160)
- 电机出厂试验批量测试 JVP 型微型测试台 任仲岳、胡晨(172)
- 微型计算机控制消除直流电动机换向火花 任仲岳、葛悦红(181)

其 它

- MIC-85 单板微型计算机用编辑/汇编程序 EDTASM-85 的设计 赵正校、谢康林(192)

论结构程序设计	李治柱(205)
应用软件开发的一种简单方法	周一平(209)
双精度平方根程序设计	虞宗炜、戴亚男(212)
利用 MIC-85 开发新系统	姚婉珍(216)
微机 CAD 系统	徐正杰(218)
MIC-PC ADA-12 A/D D/A 转换卡设计	徐子亮、王志勤(231)
在 IBM PC 上增加一个硬磁盘	金树福译(245)

微型数据采集系统在快速测温中的应用

上海交通大学 翁中杰 龚至龙

一、前言

在热科学的许多领域中,如热工设备、动力机械、火箭发动机、枪炮筒、化工容器、原子能工程等学科中,温度的测量占有重要的地位。通常稳态物质温度的测量是众所周知的。随着科学技术的发展,某些科技和生产领域中,动态的温度测量就成为非常必要。但是动态温度的测量是很困难的。特别是温度在毫秒级时间内进行变化时,温度的测量将更加困难。

小型固体火箭发动机的热力过程为几十毫秒,内燃机气缸壁面在一个热力循环中周期性温度变化也只有几十毫秒。为了研究这类问题的瞬态温度变化,我们进行了毫秒级瞬态温度的测量。

对于毫秒级瞬态温度测量主要存在温度传感器(一次仪表)的动态响应规律的确定,测量误差的分析,传感器对被测温度场的干扰。测试仪器(二次仪表)的标定,以及测量数据的处理等方面的困难。

本文将讨论直径为 $\phi 0.05$ 毫米K型裸丝热电偶和MDS-1型微机控制数据采集系统在毫秒级动态温度测量中出现的上述问题并探讨其解决的途径。

二、热电偶裸丝的静态校验

在动态温度测量中,为了获得较高的响应速度,我们选用上海合金厂生产的 $\phi 0.05$ 毫米镍铬—镍硅热电偶裸丝,它是目前国产K型裸丝中最细的。因为这些偶丝是非标的,此外由于测量时从一次仪表温度传感器到二次仪表数据采集系统之间距离较远,约为三十米。因而也必须对整个测试系统进行校验,以修正其误差。

$\phi 0.05$ 毫米镍铬—镍硅偶丝的静态标定工作委托上海机电二局计量站完成,具体数据列于表1。

表 1 $\phi 0.05$ 毫米 K 型热电偶丝的标定

温度 $^{\circ}\text{C}$	400	500	600	700	800	900	1000
温差 $^{\circ}\text{C}$	-3.9	-2.5	-2.9	-3.2	-3.6	-2.9	+0.9

除了上述热电偶偏离标定值的检定外,还必须对整个测量系统进行检定。测量系统的误差包括输入线误差、参考结点误差和采样系统误差等。但在工程应用中,所关心的是总的测量误差。

整个测试系统的测量误差的检定系采用纯金属定点法。纯金属在凝固时有一段比较长的相平衡转变过程,在这一过程中温度变化极其微小。例如锡在这一过程的温度变化只有 0.0008°C ,锌在这一过程中的温度变化只有 0.002°C 。而凝固点温度受压力改变的影响比沸点和熔点少得多,纯金属凝固点的温度决定于金属的纯度和杂质的种类及颗粒大小,为此必须选用纯度为99.999%以上的高纯金属。由于K型热电偶(镍铬—镍硅)的测试温度在 1100°C 以下。故我们选用铟(In)、锡(Sn)、铅(Pb)、锌(Zn)、铝(Al)五种纯金属,它们的凝固温度列于表2。

表2 纯铟、锡、铅、锌、铝的凝固温度

纯金属	铟(In)	锡(Sn)	铅(Pb)	锌(Zn)	铝(Al)
凝固点温度 $^{\circ}\text{C}$	156.63	231.97	327.50	419.58	660.37

由于要检定整个系统的误差,我们把实测仪表和所有接线情况基本按现场测试情况相近布置起来。测试二次仪表系采用上海交通大学试制生产的MDS-1型微型计算机控制数据采集系统。参考结点温度为冰点 0°C 。整个系统检定时装置示意图如图1所示。

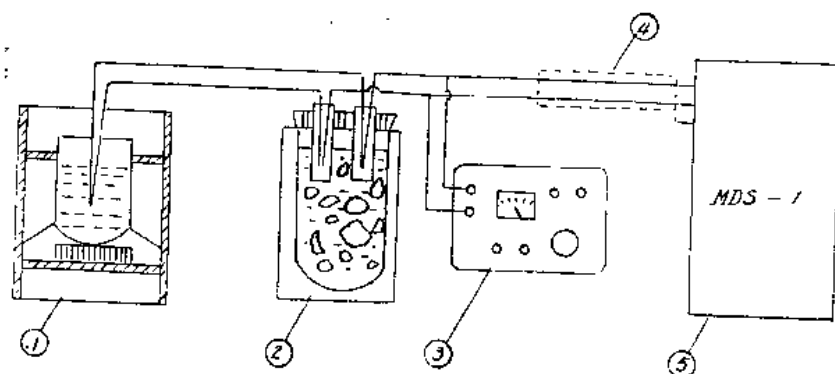


图1 系统检定装置示意图

- ① 定点炉(纯金属)
- ② 冰瓶(0°C)
- ③ 电位差计 UJ33
- ④ 屏蔽导线
- ⑤ MDS-1 型微机数据采集系统

微机通过控制程序从A/D模数转换器中取出采集数据,读取的毫伏数和温度数值经过适当处理,从屏幕上显示并可在打印机上打印。由于系统误差测量时外界干扰等因素也有一定范围的分散性,因而我们采用多次重复试验的办法求其平均值,每一种纯金属分别进行了4—6次试验,其平均误差和最大误差都分别列于表3。

表 3

用五种纯金属检定的系统误差

纯金属	凝固点 标准值 $^{\circ}\text{C}$	采集数据 平均值 $^{\circ}\text{C}$	平均误差 $^{\circ}\text{C}$	最大误差 $^{\circ}\text{C}$
铟(In)	156.63	153.59	-3.05	-5.80
锡(Sn)	231.97	227.26	-4.71	-8.43
铅(Pb)	327.50	322.12	-5.38	-13.92
锌(Zn)	419.58	413.17	-6.41	-11.07
铝(Al)	660.37	651.91	-8.46	-14.57

图2画出上述静态及系统检定时温度偏离的数值,可以看出,静态检定时,这类K型偶丝约有 -3°C 平均偏离值。而整个系统定点检定时的误差约有百分之一负偏离值。在误差修正时必须将上述值加以考虑。

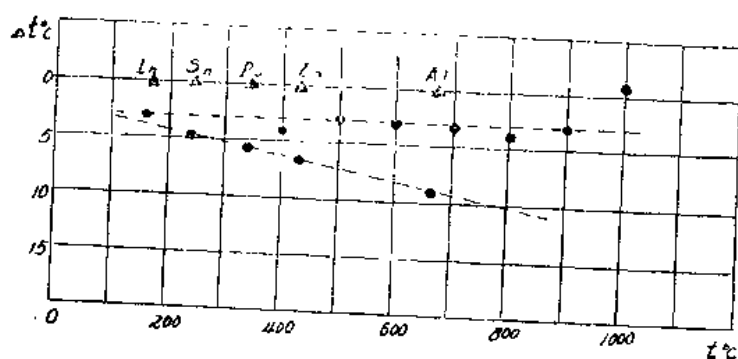


图 2 静态 K 型($\phi 0.05$ 毫米)偶丝检定的偏离值
 $\circ$ 静态偏离值 $\triangle$ 纯金属凝固点标准值 $\bullet$ 系统检定偏离值

三、动态温度模拟实验

应用热电偶测量壁面温度的瞬态变化,将会有很多种误差发生,如热电偶按装在被测物体处产生的热分流,热电偶绝缘体可能产生的电分流或电漏泄,热电偶本身标定误差,冷端补偿,延伸导线等的误差。但在动态测温试验中热惯性的误差占主要的地位。热电偶动态测温的热惯性是指被测物体的温度要将热量传递至热电偶热接端,这个热量传递过程中必然会有热传递的滞后现象。在动态温度测量试验中热电偶的热惯性引起的误差必须加以修正,本文将引入传递函数作为该项修正。

为了求得不同直径偶丝焊接在被测物体表面的传递函数,我们在实验室建立了大功率可控加热设备,以实现快速升温过程。图3所示的整个试验装置,试件由不锈钢板做成,热电偶焊在钢板上。

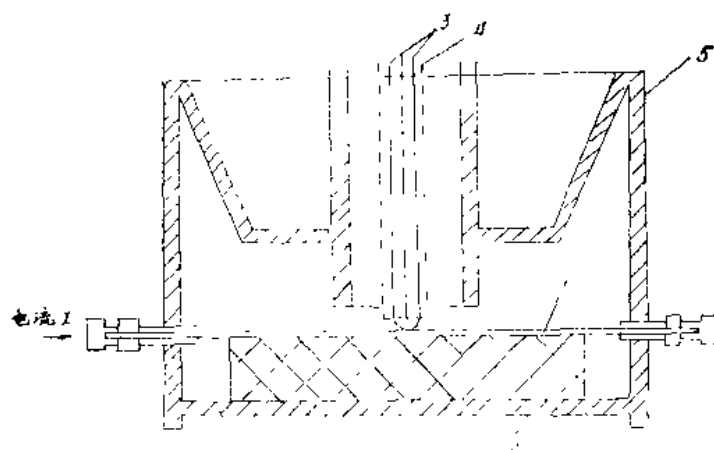


图 3 试验装置示意图

1. 试件; 2. 石棉垫; 3. 热电偶丝; 4. 玻璃丝套管; 5. 屏蔽罩

应用热电偶测量壁面温度, 为了分析其动态响应考虑这样一个模型^[1]。假定热电偶与壁面有良好的接触; 壁面之外的环境温度无显著变化; 壁面温度为均匀上升。这样在一个很短的时间历程内可得壁面与热电偶之间热传导方程:

$$t_0 - t_b = (t_b - t_w) \exp\left(-\sqrt{\frac{4\alpha}{\lambda d_0}} \cdot x\right) \quad (1)$$

式中: t_0 —偶丝温度;

t_b —偶丝头部温度;

t_b —环境温度;

t_w —壁面温度;

α —偶丝与壁面的换热系数;

λ —偶丝材料的导热系数;

d_0 —偶丝直径;

x —偶丝上任一点距头部距离。

根据文献[1], 在工程问题中当

$$\frac{t_0 - t_b}{t_b - t_w} \leq 0.01 \quad (2)$$

热电偶的附加热损失可以忽略, 这就是说偶丝的最大长度 $x_{\max}$ 为

$$\sqrt{\frac{4\alpha}{\lambda d_0}} x_{\max} = 4.6 \quad (3)$$

为了获得热电偶的响应规律, 我们把偶丝分成若干段以使每段能满足条件(2)。

如图4所示焊接在物体表面的热电偶分成热接点头部以及将偶丝分成三段, 它们的温度分别以 t_b 、 t_1 、 t_2 、 t_3 表示。偶丝的每一段作为集总热容参数问题来处理, 这样每一段热电偶丝可以用以下热平衡方程式表示:

$$\rho C_p V_w \frac{dt_3}{d\tau} = \frac{\lambda}{\Delta x} A_w (t_2 - t_3) - \alpha_s A_s (t_3 - t_b) \quad (4)$$

$$\rho C_p V_w \frac{dt_2}{d\tau} = \frac{\lambda}{\Delta x} A_w (t_1 - 2t_2 + t_3) - \alpha_s A_s (t_2 - t_b) \quad (5)$$

$$\rho C_p V_w \frac{dt_1}{d\tau} = \frac{\lambda}{\Delta x} A_w (t_b - t_1) - \frac{\lambda}{\Delta x} A_w (t_1 - t_2) - \alpha_s A_s (t_1 - t_b) \quad (6)$$

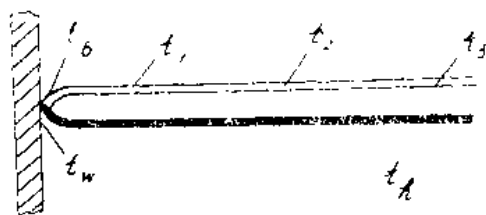


图 4 热电偶计算模型

式中: ρ 、 C_p —热电偶丝材料的密度、比热;

λ —热电偶丝材料的导热系数;

V_w 、 A_w 、 A_s —热电偶丝的分段部分体积、截面积、表面积;

α_s —热电偶丝同绝缘材料之间的换热系数。

将上述(4)、(5)、(6)三式进行拉氏变换, 并且假定绝缘材料的初始温度为 0°C 。则得

$$ST_3 = K_1(T_2 - T_3) - K_2(T_3) \quad (7)$$

$$ST_2 = K_1(T_1 - 2T_2 + T_3) - K_2(T_2) \quad (8)$$

$$ST_1 = K_1(T_2 + 2T_b - 3T_1) - K_2(T_1) \quad (9)$$

式中: S —拉普拉斯变换变量;

T —拉普拉斯变换温度;

$$K_1 = -\frac{\lambda}{\rho C_p} \cdot \frac{A_w}{V_w \cdot \Delta x} = -\frac{\lambda}{\rho C_p \Delta x^2}, \text{ 常数};$$

$$K_2 = \frac{\alpha_s A_s}{\rho C_p V_w} = \frac{4\alpha_s \cdot \frac{1}{2}\pi d_w \cdot \Delta x}{\rho C_p \pi d_w^2 \Delta x} = \frac{2\alpha_s}{\rho C_p d_w}, \text{ 常数}。$$

在常数 K_2 中, 假定热电偶丝的一半表面积为有效值, 通过这个面积热电偶丝将热量传递到绝缘材料。

对于热电偶丝的热结点, 也可以用上述的方法写出其热平衡方程式。

$$\alpha_b A_b (t_w - t_b) = \rho_b C_{pb} V_b \frac{dt_b}{d\tau} + \frac{2K}{\Delta x} \cdot 2A_w (t_b - t_1) \quad (10)$$

将(10)式进行拉氏变换, 得到

$$K_3(T_w - T_b) = ST_b + K_4(T_b - T_1) \quad (11)$$

式中: $K_3 = \frac{\alpha_b A_b}{\rho_b C_{pb} V_b}$

$$K_4 = \frac{4\lambda A_w}{\rho_b C_{pb} V_b \Delta x}$$

从(11)式可得

$$ST_b + K_3 T_b + K_4 T_b = K_3 T_w + K_4 T_1$$

$$T_b = \frac{K_3}{S + K_3 + K_4} T_w + \frac{K_4}{S + K_3 + K_4} T_1 \quad (12)$$

将(7)、(8)、(9)三式联立求解, 可得

$$T_1 = \frac{2K_1[(S+K_1+K_2)(S+2K_1+K_2)-K_1^2]}{(S+2K_1+K_2)[(S+K_1+K_2)(S+3K_1+K_2)-2K_1^2]} T_b$$

$$= G_1(s) T_b \quad (13)$$

将(13)式代入(12)式, 则得

$$T_b = \frac{K_3}{S+K_3+K_4} T_w + \frac{K_4}{S+K_3+K_4} G_1(s) T_b$$

从而可得

$$T_b = \frac{K_3}{(S+K_3)+K_4[1-G_1(s)]} T_w \quad (14)$$

从(14)式知道, $G_1(s)$ 系热电偶丝热接点将热量传递到第一段偶丝时温度降落的系数, 它是一个无量纲量。从时间初始值 $\tau=0$ 开始, 即 $S=\infty$ 到 $\tau=\infty$ 时, 即 $S=0$, $G_1(s)$ 从 0 到绝对最大值 0.67。对于大多数实际情况, 所经历的时间过程都较短, 且 $K_3 > K_4$, 即有 $G(S) \ll 1.0$ 。在这个前提下进行简化, (14)式可写成

$$T_b = \frac{K_3}{S+K_3+K_4'} T_w \quad (15)$$

式中: $K_4' = K_4[1-G_1(S)]$, 由于 $G_1(S)$ 是从 0 到 0.67, 因此方括弧内的数值为从 1 变化到 0.33。因而 K_4' 为 K_4 的一部分。这样, 对于焊接热电偶的传递函数可以写成:

$$G_T(S) = \frac{K_3}{S+K_3+K_4'} \quad (16)$$

上述式中的 $K_3 = \frac{\alpha A}{\rho C V}$, 它具有 $\frac{1}{\tau}$ 的量纲, 它的倒数称为时间常数。S 和 K_4' 同样具有 $\frac{1}{\tau}$ 的量纲, 因而 $G_T(S)$ 是一个无量纲的系数。它的物理意义为从平板到焊接热接点头部由于热惯性所形成传递上的温度降落的系数。

进一步将传递函数进行简化, 即

$$G_T(s) = \frac{K_3}{S+K_3+K_4'} = \frac{a}{S+c} \quad (17)$$

式中 c、a 为常数, 可以由试验来确定。

从(17)式可以看出, 焊接热电偶的传递函数实际上相当于一个具有缩小作用的一阶的惯性环节, 时间常数为 $\frac{1}{\tau}$, 而滞后系数 $e = \frac{a}{c}$ 。对于这样一个典型的一阶惯性环节, 其频谱特性为:

$$H(j\omega) = \frac{e}{\frac{1}{\tau} j\omega + 1} \quad (18)$$

求一阶惯性环节响应特征的经典办法是造成一个阶跃的温度过程, 从而记录热电偶的响应曲线。但是由于热惯性的影响, 在固体内造成阶跃升温过程很难办到。

考虑一阶惯性环节对斜坡输入的响应, 如图 5 所示。如果输入温度上升曲线是直线, 输出的热电偶读数在初始阶段后的一段时间内也是线性变化的。而这种呈直线变化的升温过程是可以通过计算机控制的大电流直接加热来实现。当控制加入电功率时, 即可控制升温的斜率。

考虑如图 6 所示的微元体, 并假定:

(1) 电流在通过试件的横截面上是均匀分布的;

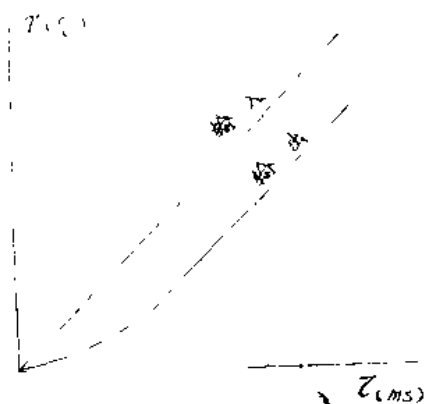


图 5 热电偶输出特性

- (2) 微元体内没有温度梯度。
- (3) 加热体具有绝热边界条件；
- (4) 只考虑很短的一段时间。

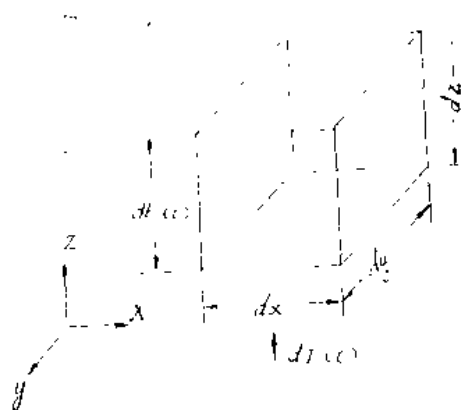


图 6 试件的微元体

当电流流经微元体时，可建立其热传导平衡方程为：

$$q = C_p \rho \frac{dt}{d\tau} dx dy dz \quad (19)$$

式中 $q = dE \cdot dI$ 是加入微元体的能量。

由于我们研究的问题是在很短的时间内有很快的温升，因此必须考虑试件材料的物性参数随温度变化的影响。也就是(19)式中的 ρ 、 C_p 、 ρ_e ，(电阻率)， I (几何尺度)这些量随温度变化，这里假定是作线性变化的。

经过代入、推导、整理后可得输入试件的电压与升温曲线的关系式为：

$$E^2(\tau) = A_1(1 + B_1 t) \frac{dt}{d\tau} \quad (20)$$

式中： $A_1 = \rho_{e0} l_0^2 \rho_0 C_{p0}$

$$B_1 = \beta + \gamma - \alpha$$

上述符号中的注脚₀表示试件为 0°C 时的量值， α 、 β 、 γ 分别表示体胀系数、电阻率系数、比热系数。

如果我们希望加热试件的升温呈线性变化，即要求：

$$\theta_w = m\tau \quad (21)$$

式中: θ_w —过余温度, $t_w - t_b$

$$\text{这样, } \frac{d\theta_w}{d\tau} = m \quad (22)$$

将(21)、(22)式代入(20)式, 则得

$$\begin{aligned} E^2(\tau) &= A_1[1 + B_1 m\tau]m \\ &= A(1 + B\tau) \end{aligned} \quad (23)$$

或 $E(\tau) = \sqrt{A(1 + B\tau)}$

上式说明, 当输入电压按(23)式规律变化时, 试件的升温曲线方程可为(21)式线性变化。

对(21)式进行拉氏变换, 则得

$$T_w(S) = \frac{m}{S^2}$$

由于热电偶的输出的拉氏变换温度 T_b 为

$$\begin{aligned} T_b(S) &= G_T(S) \cdot T_w(S) \\ &= \frac{a}{S+c} \cdot \frac{m}{S^2} \end{aligned}$$

对上式进行拉氏反变换, 即有

$$\begin{aligned} t_b(\tau) &= L^{-1} \left[\frac{a}{S+c} \cdot \frac{m}{S^2} \right] \\ &= -\frac{m \cdot a}{c} \cdot \left[\frac{1}{c} e^{-c\tau} + \tau - \frac{1}{c} \right] \\ &= -\frac{m \cdot a}{c^2} [e^{-c\tau} + C\tau - 1] \end{aligned}$$

由于 $c \gg 1$, 所以 $e^{-c\tau}$ 很快就趋近于零。这样上式就可简化为:

$$t_b(\tau) \approx \frac{m \cdot a}{c^2} (C\tau - 1) \quad (24)$$

根据上式, 对 $t_b(\tau)$ 可近似看作为时间 τ 的线性函数。我们从焊接在试件表面上的热电偶可以采集到温升的数据, 如图 6 输出线。对其进行处理时, 可去掉初始阶段的一些数据, 用最小二乘法进行线性拟合。得

$$t_b(\tau) = p\tau + q \quad (25)$$

将(24)与(25)二式进行比较, 可得

$$-\frac{m \cdot a}{c} = p \quad \text{和} \quad -\frac{m \cdot a}{c^2} = -q$$

由上述二个方程求解, 得

$$a = -\frac{p}{mq} \quad \text{和} \quad c = -\frac{p}{q} \quad (26)$$

从上述模拟试验求得同类型和相同尺寸热电偶丝的传递函数中的 a 和 c 值后, 可以拿来应用到实际测量中以修正误差。

四、小型固体火箭发动机喷管壁面温度测量

我们曾对某小型固体火箭发动机喷管内壁面温度进行了测试, 该发动机工作时间约 80

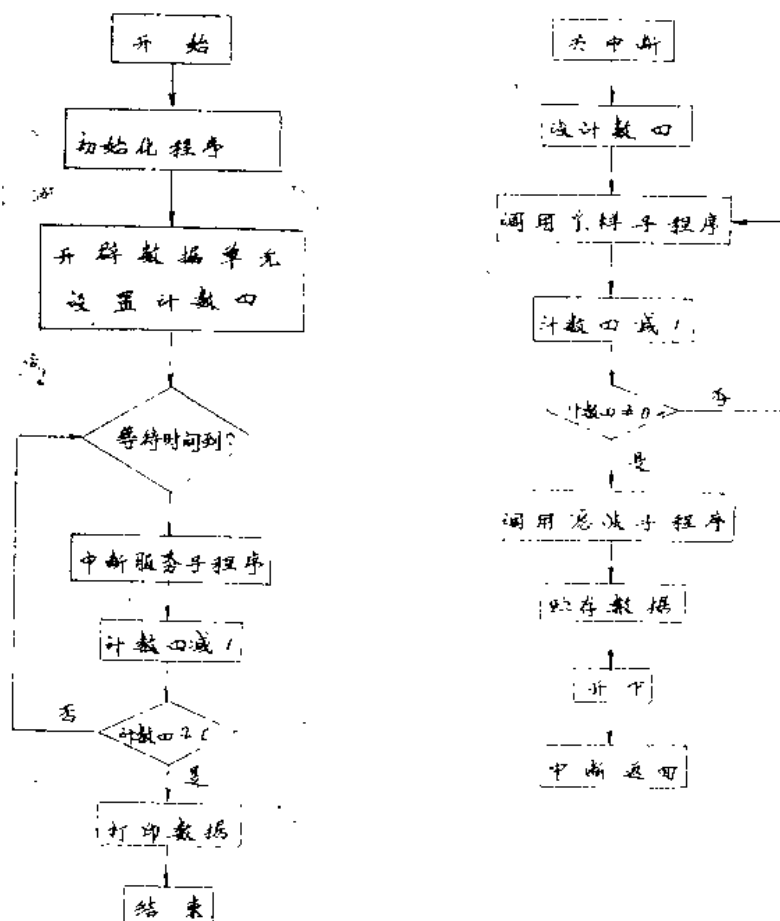
毫秒，且工作压力高，温度变化快。在经过初步估算之后，我们选用直径 $\phi 0.05$ 毫米的裸体镍硅—镍铬(K型)热电偶丝作传感元件，其使用温度在短时间内可达 1300°C 。

热电偶丝用储能点焊机直接点焊在喷管壁面所测位置，偶丝外面用细玻璃丝编织导管作为偶丝与壁面的电绝缘。为了不影晌喷管内气体流动情况。在内壁的热电偶埋设处挖一小槽，使热电偶丝沿槽引出。引出的全部热电偶丝集中固定在喷管外壁的接线板上。

为了减少传感器信号源内阻，应尽可能减少细热偶丝的长度，需要使用延伸导线。延伸导线是用直径 $\phi 0.5$ 毫米的镍硅—镍铬线。由于它与感受部分热电偶丝是同类材料，就可使其引起的误差减至最小。

延伸导线的冷端是一块置于大气中的接线器。当时气温用水银温度计测得为 1°C 。

测试用二次仪表采用上海交通大学研制的MDS 1型微型计算机数据采集系统。该系统采用Z-80 CPU为中心处理单元。内存容量为48K。有16个模拟量输入通道。由于系统内具有数据放大器。因而可直接与热电偶等小信号源相接。采样速度可用程序控制，也可用实时时钟进行定时采集。系统内还配有显示器、打印机和磁带录音机，供显示和贮存数据之用。



a) 主程序框图

b) 中断服务子程序框图

图 7 数据采集程序框图

利用 MDS-1 型数据采集系统进行瞬态温度测量时，放大器增益设定为 100 倍。采样

间隔为3毫秒。采样程序用汇编语言编写。其程序框图如图7所示。

经过上述试验前的准备工作,我们对某小型固体火箭发动机进行了实际测量工作,并且用MDS-1型数据采集系统记录了喷管内、外壁表面温度的瞬变数据。这些数据是系统对瞬变温度历史曲线离散化的数字结果。采样间隔为3毫秒,如图8所示。但是只有对整个测量系统进行了静态和动态标定,根据本文所讨论的方法进行修正,才能最后得到真实的壁面温度历史曲线。

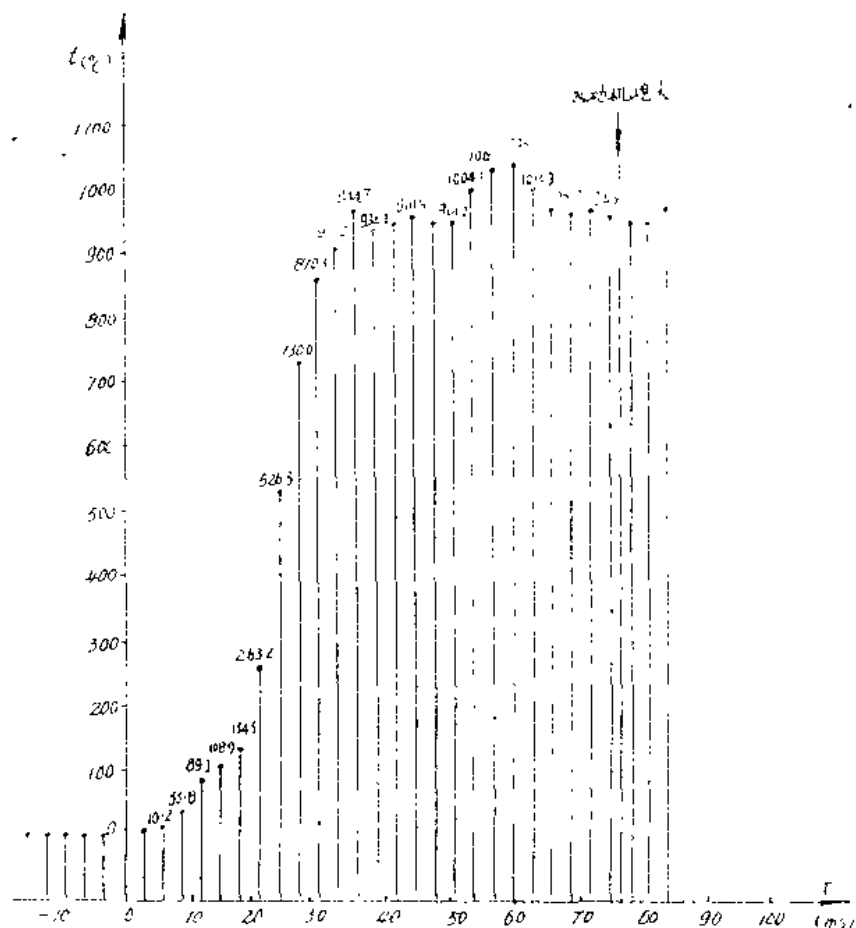


图8 某发动机喷管表面某测点的温度历史曲线(采模数据)

在通常稳态温度测量中,如果采样周期与热电偶的时间相比是很大的,则热电偶的响应热惯性可以被忽略。但在毫秒级的温度测量中,这个热惯性就不得不加以考虑。

我们在瞬态温度模拟实验中,已经测得直径 $\phi 0.05$ 毫米的镍铬—镍硅热电偶丝在焊接情况下的传递函数,即已求出式(26)中的 a 和 c 值。

$$G_T(s) = \frac{78.66}{s + 84.88}$$

这相当于时间常数 $\tau = 11.78$ 毫秒,滞后系数 $e = 0.927$ 的一阶惯性环节。知道了过渡环节的传递函数以后,按一般的数据处理方法进行反滤波,可得到原信号^[2],即原信号为

$$t_w(\tau) = L^{-1} \left[-\frac{T_b(s)}{G_T(s)} \right]$$

由于在一般工程测量中, 要比较精确的找到一个实测信号的解析表达式是很困难的。用曲线拟合等一些数学方法所得到的表达式实际上偏差都较大。

如果认真地分析一下传递函数 $G_T(s)$ 的反信号 $-\frac{1}{G_T(s)}$ 就可发现

$$\frac{1}{G_T(s)} = \frac{s+c}{a} = G_T'(s)$$

该函数具有微分器的特征, 其频率特性:

$$G(j\omega) = \frac{j\omega + c}{a} \quad (27)$$

随着 ω 的增大而 $G(j\omega)$ 趋于无穷。这是一个不稳定的因素。如果利用快速富里叶变换(FFT)将频率进行反滤波。则会产生新的干扰信号。因此我们利用零相位递归滤波原理, 采用了反向递归滤波器进行反滤波。

所谓零相位递归滤波器, 实际上是由一个正向递归滤波器 $H(f)$ 和一个反向递归滤波器 $\bar{H}(f)$ 所串联而成。在进行零相位递归滤波时, 一般要分两步: 第一步是把输入信号 x_t 经正向递归滤波器得到 u_t , 第二步是把 u_t 经反向递归滤波器得到 y_t 。即:

$$\begin{cases} u_t = \sum_{\tau=0}^n a_\tau x_{t-\tau} - \sum_{\tau=1}^m b_\tau u_{t-\tau} & t = T_1, T_1+1, T_1+2, \dots \\ y_t = \sum_{\tau=0}^n a_\tau x_{t-\tau} - \sum_{\tau=1}^m b_\tau y_{t-\tau} & t = T_n, T_n+1, T_n+2, \dots \end{cases}$$

这时所得的信号 y_t 和原信号 x_t 是同相位的。如果把连续的模拟滤波器看为一个正向滤波器, 从前面讨论中, 我们已经知道热电偶是一个一阶惯性环节, 这实质上相当于一个正向滤波器, 我们用热电偶所测得的信号就可以看成是通过一个正向递归滤波器后所得的信号, 这个正向递归滤波器信号可表示为:

$$y_n = BX_{n-1} + BX_n - qy_{n-1} \quad (28)$$

式中: $B = \frac{a}{A+c}$, $q = \frac{c-A}{c+A}$, $A = \frac{1}{\Delta T}$, ΔT -采样周期。

由此我们可以得到反向递归滤波器信号:

$$y_n = B'X_n + B'X_{n+1} - qy_{n+1}$$

式中: $B' = \frac{c^2}{a(A+c)}$

经过上述处理后, 整个热电偶测温系统处理成零相位系统。即是说, 把热电偶的输出作为正向递归滤波器信号的输出 u_t , 那末, 把 u_t 经反向递归滤波器所得的信号 y_t 就与原信号 x_t 具同相位, 这就达到相位补偿的目的。

经过这样处理后同反 FFT 滤波情况相比较, 二种方法相差在 5% 以内, 但反 FFT 处理初始段波动较大, 实测曲线修正后示于图 9。

五、结 语

要进行毫秒级快速瞬态温度测量是较困难的, 我们通过上述方法初步实现了。在试验

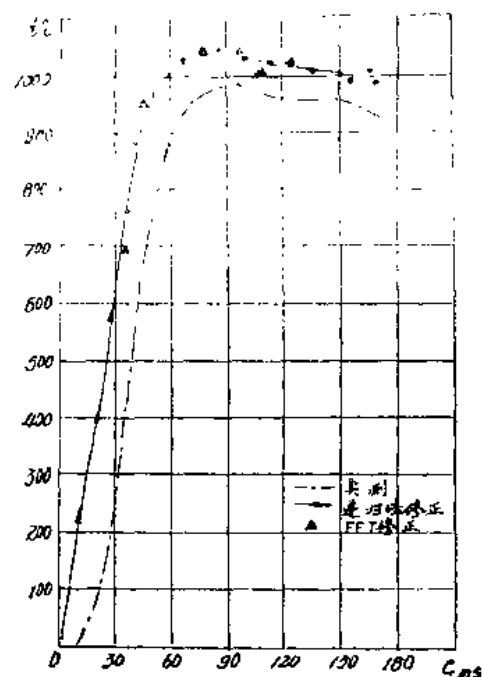


图 9 实测曲线和修正曲线

过程中一次仪表的安装正确与否直接影响测试的正确度，必须小心从事。我们试制的二次仪表 MDS-1 型微机数据采集系统经实践使用证明是可靠的，为微机进入测温领域开辟了道路。

毫秒级瞬态测温的误差分析仍然有许多工作可以进一步进行，动态测温的标准比较难以确定，本文以相对比较办法实现误差修正。

参 考 文 献

- [1] E.R.Quandt, E.W.Fink
"Experimental and theoretical analysis of the transient response of surface bonded thermocouples".
《Bettis Technical Review WAPD-BT-19 June》1960.
- [2] S.T.Green, T.W.Hunt
"Accuracy and response of thermocouples for surface and fluid temperature measurement".
Bettis Atomic power laboratory
《Temperature, its measurement and control in science and industry》Vol.5 part 2 pp659-718
- [3] C.E.Moeller
"Thermocouples for measurement of transient surface temperature".
Midwest Research Institute.
《Temperature, its measurement and control in science and industry》Vol.3 part 2 pp.617-622.
- [4] R.L.Anderson, R.K.Adams, B.C.Duggins
"Limitation of thermocouples in temperature measurements".
《QAK, RIDGE National laboratory conf.790505-1H》
- [5] E.R.G.Eckert, R.J.Goldstein
"Measurement in heat transfer."
1978 Second edition
- [6] T.C.Linahan
"The dynamic response of industrial thermocouples in wells."
《Trans.ASME》1978.

MIC-80微型机在测温系统中的应用

红安机械制造有限公司 计算站理化室

一、前言

温质测量是保证过程温度稳定并使被加工材料保持在所要求的温度范围之内的重要手段，它是热加工生产工艺中的重要环节，也是保证产品质量的重要手段。在航空工业中，目前常规的测温方式已不能满足生产工艺的要求，尤其在外热加工中不能满足波音公司提出的测温实时要求，采用微处理机系统对炉温进行测量，能够较好地解决上述问题。根据工艺规范对测温的要求，我们于1982年9月着手研制微处理机多点自动测温装置与测温软件，并于83年7月完成。同年12月通过鉴定，该装置以小车的形式提供用户，实现对各种热加工设备的跟踪测量和炉温稳定程度的判断，实现对炉温均匀性测量，并能进行数据自动处理和打印测试报告。从而满足波音公司、加拿大航空公司对测温的技术要求，通过对热压罐等三台炉子的多次均匀性温度测量证明，该装置运行稳定可靠，操作方便，能缩短测量时间，提高生产效率，杜绝测量的人为误差，从而提高了测温质量。

在微处理机炉温测定应用中，我们着重考虑面向生产的设计原则。主要包括：

- 按现代控制理论的实际应用技术，根据控制对象，在理论上解决对象的数学模型，控制判断逻辑的计算处理步骤。用计算机进行模拟以达到简单实用程度。

- 提出一种既正确又容易理解的表达顺序逻辑方法，充实支持应用软件，方便实际使用和操作。

- 提高数据的处理速度和传输精度，具有功能扩充电路。

- 增加RAS(可靠性，可利用性，可维护性)。加强数模混合技术应用实效。

- 采用标准接口电路设计，具有一定的兼容性和互换性。能以不同型号的微处理机构成适应用户系统。

- 系统能够适应现场与条件。

二、系统工作原理

本系统以MIC-80微处理机作为核心，通过自行设计制作的控制接口和采样电路，与A/D转换器、热电偶组成一体，完成对炉温均匀性的自动测量。

在生产过程中，温度是一个连续变化的物理量，在炉内各点之间，温度梯度是不相同的，并随时间变化，保温时，各点温度一般呈周期性变化的。在测量中，必须使用大大小于该周期的梯度进行测量，这样才能把温度变化：连续性“座标”测试出来，计算出其精确的波动