

Sensors in a Kind of Complex Environment of Self-Adjustment and Repair

Chenghui Yang^{1,2}

¹College of Electrical Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou

²School of Automation & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou

Email: yangchenghui36@163.com

Received: Feb. 2nd, 2014; revised: Mar. 3rd, 2014; accepted: Mar. 12th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Constant temperature water-bath is one of core components of the viscometer. The accurate and stable control of temperature is one of the key technologies of the instrument. According to the digital temperature sensor's disadvantage that it has large temperature hysteresis, the paper organically combines the self-adaptation decision with the dynamic compensation on the basis of the digital filtering method, then puts forward a a digital temperature sensor adaptive dynamic compensation method: Using digital filters designed by the backward difference method to realize the digital temperature sensor band extension and to complete its dynamic compensation; connecting a digital low-pass filter behind the dynamic compensation to avoid the high frequency noise; According to the output of the digital temperature sensor, the output result of the digital low-pass filter and the decision threshold, adaptively choosing whether to need the dynamic compensation to avoid the excessive compensation. The experiment whose compensation object is digital temperature sensor DS1820 shows that the adaptive dynamic compensation method greatly improves the dynamic performance of the digital temperature sensor and that the response time reduces to 25% ~ 35% before the compensation. The temperature control system has the heating and refrigeration function. Measurement range of controlling the temperature is $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$. The measurement precision is 0.5°C .

Keywords

Digital Temperature Sensor, Micro Control Unit, Adaptive Dynamic Compensation, Reliability

一种数字温度传感器的自适应动态补偿研究

杨成慧

¹西北民族大学电气工程学院, 兰州

²兰州交通大学自动化与电气工程学院, 兰州

Email: yangchenghui36@163.com

收稿日期: 2014年2月2日; 修回日期: 2014年3月3日; 录用日期: 2014年3月12日

摘要

恒温水浴是粘度仪的核心部件之一, 其温度的准确、稳定控制为仪器的关键技术之一。针对数字温度传感器具有较大温度滞后性的缺点, 将自适应决策与基于数字滤波方法的动态补偿有机结合, 提出了一种数字温度传感器自适应动态补偿方法: 利用后向差分法设计的数字滤波器, 实现了数字温度传感器频带扩展, 完成了其动态补偿, 并在动态补偿后面串联一个数字低通滤波器, 以防高频噪声干扰; 根据数字温度传感器的输出量、数字低通滤波的输出结果以及决策阈值, 自适应地选择是否需要动态补偿, 避免了补偿过度。以数字温度传感器DS1820为补偿对象的实验表明: 这种自适应动态补偿方法大大改善了数字温度传感器的动态性能, 响应时间缩短至补偿前的25%~35%。这种温控系统具有加热与制冷功能, 控制范围温度的测量范围为-55℃~+125℃, 测量精为0.5℃。

关键词

数字温度传感器, 微控制单元, 自适应动态补偿, 可靠性

1. 引言

智能传感器有着十分广泛的应用前景, 不仅在军事、工业、农业、环境、医疗器械等传统领域有巨大的运用价值, 在未来还将在许多新兴领域体现其优越性, 如家用、交通、保健等相关领域。我们可以预见, 智能传感器将无处不在, 完全融入我们的生活与工作。其应用可以涉及到人类日常生活和社会生产活动的所有领域[1]。

当前技术水平下的传感器系统正向微型化、智能化、多功能化和网络化的方向发展。今后, 随着信息理论及数据分析算法、CAD 技术、MEMS 技术的继续向前发展, 未来的传感器系统必将变得更加系统化、微型化、智能化、多功能化和综合化。在各种新兴科学技术呈辐射状的广泛的渗透的当今社会, 作为现代化科学“耳目”的传感器系统, 作为人们快速分析、获取和利用有效信息的基础上, 必将进一步得到社会各界的普遍关注与认可。世界上的第一个智能传感器是美国霍尼韦尔(Honeywell)公司于1983年开发的ST3000系列智能压力传感器。它具有的多参数传感(差压、静压和温度)与智能化的信号调理功能。所谓智能传感器就是由微处理器(或微计算机)和传感器及相关电路组成的传感器。传感器将被测量信息转换成相应的电信号, 然后送到信号调理电路中进行滤波、放大、模-数转换之后, 送到微计算机中处理。计算机是智能传感器的核心, 它不仅对传感器测量的数据进行计算、存储、处理, 还通过反馈回路对传感器进行有效调节。由于计算机充分发挥了各种软件的功能, 可以完成硬件难以完成的任务, 从而降低了传感器的制造难度, 提高了传感器的性能, 降低了成本。智能传感器大体上可以分三类, 即1) 具有学习能力的传感器; 2) 具有创造能力的传感器; 3) 具有判断能力的传感器。

1.1. 军事应用

通过在人员、装备上附带传感器, 可以让各级指挥员比较准确、及时地掌握己方的状态。通过在敌

方阵地部署各种传感器，可以了解敌方武器装备部署状况，为己方确定布置进攻目标和进攻路线提供有效依据。通过其信息可能及时发现敌军的进攻行动，争取宝贵的时间应对可能发生的战况。并根据战况快速调整和部署新的传感器网络应对突发事件。生物、核能、化学攻击的侦察时，不派人员就可以获取一些生、化、核爆炸现场的详细数据。

1.2. 环境应用

应用于环境监测的传感器，一般具有部署简单、价格便宜、长期不需更换内部电池、无需派人现场勘查维护的优点。通过密集的节点布置，可以观察到微观的环境因素，为环境监测和环境研究提供了崭新的途径。应用实例包括：生物群落的微观观测；森林火警；气象现象的观测和天气预报；对海岛鸟类生活规律的观测等等。

1.3. 生活应用

建筑及城市管理将各种传感器灵活方便地布置在建筑物内，获取室内环境参数，为居室环境监测与控制 and 危险报警提供依据。

2. 智能传感器总线技术与接口技术

美国罗斯蒙特(Rosemount)公司提出了 HART 协议(Highway Addressable Remote Transducer Protocol, 可寻址远程传感器通信协议)作为过渡性标准。该通信协议具有与现场总线相类似的体系结构及总线式数字通信功能。HART 协议是在模拟信号上叠加了频移键控数字信号，因此可同时进行模拟通信和数字通信。这就保证了 4~20 mA 模拟系统与数字通信系统兼容，能在一条双绞线上连接多台现场设备，构成多站网络。

HART 协议采用“频移键控”技术。频移键控是频率调制的一种方法，典型方法是用二进制信号进行调频，用一个频率表示数据“0”，另一频率表示数据“1”。HART 协议是在 4 mA~20 mA 的模拟信号上叠加不同的频率信号，来代表所要接收或传输的数据。

硬件设计主要介绍信号调理模块、A/D 转换模块、数据通信模块 3 个模块。为了减小系统功耗和体积，采用可编程内部振荡器。在多数情况下，从传感器中输出的电信号要经过必要的调理电路进行适当的调整，使信号在模数转换电压范围之内，送入模数转换器，然后经过信号滤波电路，滤掉信号中的杂波成分，才能使其在幅度、形式、信噪比、转换灵敏度和精度等方面达到中央处理器的要求，以提高传感器数字转化后的精度。

3. 智能温度传感器

DS1820 数字式温度传感器[2] [3]的内部芯片如图 1 所示。它使用总线接口实现和外部微处理器的通信，温度的测量范围为-55~+125℃，测量精 0.5℃。传感器的供电寄生在通信的总线上，可以从总线通信中的高电平中取得，这样省去外部的供电电源，作为替代也可直接用供电端(VDD)供电。当使用总线寄生供电时，供电端必须地接地，同时总线口在空闲时必须保持高电平，以便对传感器充电。一般在检测的温度超过 100℃时，建议使用供电端供电，供电的范围为 3~5.5 V。每个 DS1820 温度传感器都有一个自己特有的芯片序列号，我们可以将多个温度传感器挂接在一根总线上，实现多点温度的检测。

低温系数振荡器输出的时钟脉冲信号通过由高温系数振荡器产生的门周期而被计数，通过该计数值测量温度。计数器被预置为一个基数值与-55℃相对应，如果测量的温度高于-55℃，表示计数器在高温系数振荡器输出的门周期结束前计数到零，被预置在-55℃的温度寄存器的值就增加一个增量，同时为了补偿温度振荡器的抛物线特性，计数器被斜率累加器所决定的值预置，时钟再次使计数器计数到零，如

果时间仍未结束，一直重复此过程，直到高温系数振荡器的门周期结束为止。此时被测的温度值就是温度寄存器中的值。

时序见图 2 主机总线 t_0 时刻发送复位脉冲(最短为 480 us 的低电平信号)，然后在 t_1 时刻释放总线并进入接收状态，DS1820 在检测到总线的上升沿后等待 15~60 us，接着 DS1820 在 t_2 时刻发出存在的脉冲(如图中虚线所示)。

1) 写时间隙

当主机总线 t_0 时刻从高电平拉至低电平时产生写时间隙(见图 3，图 4)。从 t_0 时刻开始 15 us 之内应将所需写的位送到总线上，DS1820 在 t_0 后 15~60 us 间对总线分频采样，若低电平写入的位是 0(如图 3)，若高电平写入的位是 1(见图 4)，连续写 2 位间的间隙应超过 1 us。

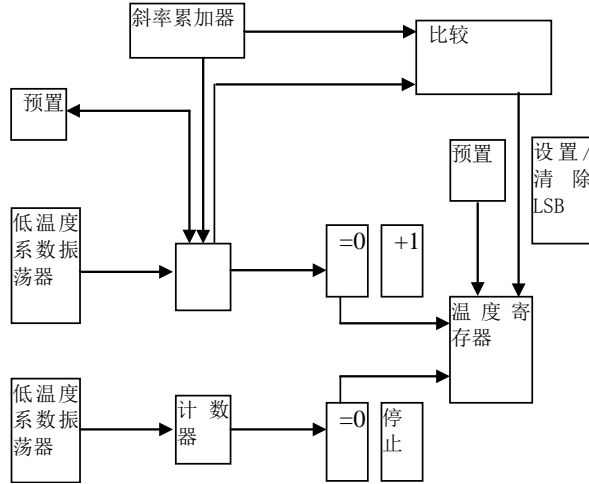


Figure 1. The DS1820 temperature measurement principle
图 1. DS1820 测温原理

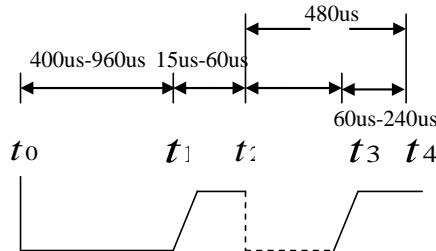


Figure 2. The initialization sequence
图 2. 初始化时序

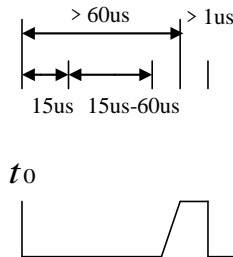


Figure 3. Write time sequence 0
图 3. 写 0 时序

2) 读时间隙

见图 3~5。在 t_1 时刻将总线拉高产生读时间隙,此操作在 t_1 时刻后 t_2 时刻前有效。 t_2 距 t_0 为 15 us,表明 t_2 时刻前主机必须完成读位并在 t_0 后的 60 us~120 us 内释放总线。

4. 数字温度传感器调整与修复

水浴的升温控制技术是整个设计的难点[4] [5],尤其是恒温向升温转换的过程,采用智能温控,使升温全过程均得以保证。由于有大量的实验数据、高精度的温度传感器和对一段时间的温度数据计算的智能 PID 算法等,完全可以将整个水浴的平均温度控制在规定范围内。为了解决这一困难问题,本文将自适应决策与基于后向差分数字滤波方法的动态补偿相互结合,提出数字温度传感器自适应动态补偿方法,对数字温度传感器 DS1820 进行这种动态补偿可极大的改善其动态性能,使 DS1820 响应时间缩短至补偿前的 25%~35%。由于数字温度传感器的工作频带不够宽,不能覆盖被测信号所包含的所有频率分量,造成被测信号高频分量的衰减,使其动态响应性能变差。在温度传感器后面增加补偿环节,拓宽工作频带宽度,有效改善温度传感器的动态响应性能(图 6)。

4.1. 拐点的确定

当前时刻数字低通滤波器输出信号设为 $y_L(n)$, $y_L(n-1)$ 为前一时刻数字低通滤波器输出信号,当前时刻 $y_L(n)$ 的一阶差分为 $\Delta y_L(n)$, $\Delta y_L(n-1)$ 为前一时刻的一阶差分, $y_L(n)$ 的二阶差分为 $\Delta^2 y_L(n)$, 则:

$$\Delta y_L(n) = y_L(n) - y_L(n-1) \quad (1)$$

$$\Delta^2 y_L(n) = \Delta y_L(n) - \Delta y_L(n-1) \quad (2)$$

若第 i 点出现 $\Delta^2 y_L(n) \leq 0$, 而且,之后连续存在 M 个点均 $\Delta^2 y_L(n) \leq 0$, 则认为此时第 i 点为拐点,即:

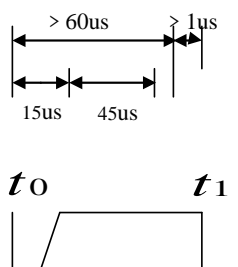


Figure 4. Write time sequence 1

图 4. 写 1 时序

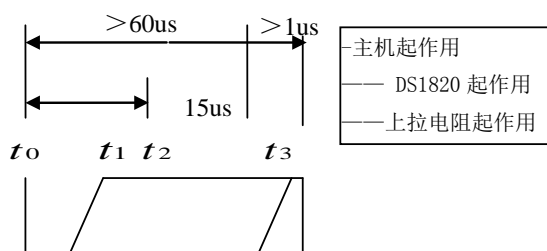


Figure 5. The read timing

图 5. 读时序

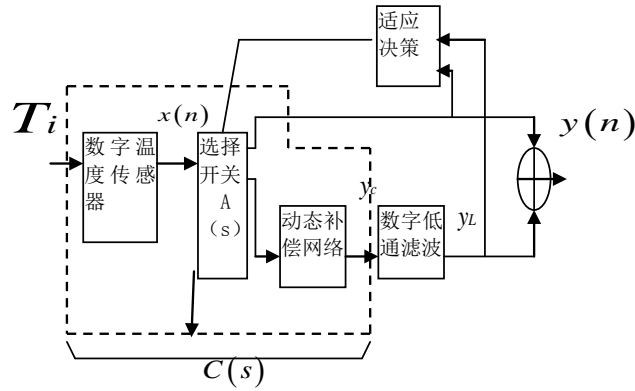


Figure 6. Digital temperature sensor adaptive dynamic compensation principle diagram
图 6. 数字温度传感器自适应动态补偿原理图

$$L_i = \begin{cases} 1 & \Delta^2 y_L(i+j) \leq 0 \quad j = 0, 1, \dots, M \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

$L_i=1$ 时，即认为第 i 点为拐点，系统将以第 i 点为起点，自动搜索动态补偿的结束点。

4.2. 决策阈值确定

数字低通滤波输出结果与数字温度传感器输出量(即动态补偿前的量)的相对误差值设为 σ ， y_m 为数字低通滤波输出的初值，则：

$$\sigma = \frac{y_L(n) - x(n)}{y_L(n) - y_{L0}} \times 100\% \quad (4)$$

由阶跃响应法可知， τ 为数字温度传感器的时间常数，当 $t \geq 3\tau$ 时，此时系统误差为 $\sigma_c \leq 4.98\%$ ，系统已基本处于稳定。因此可将此时的 σ_c 值作为决策阈值，即：

$$L_c = \begin{cases} 1 & \text{abs}(\sigma) \leq \sigma_c \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

式中 $\text{abs}(\sigma)$ 表示 σ 的绝对值。

综上所述，当 $L_i=1$ 且 $L_c=1$ 时，系统将自动停止数字温度传感器的动态补偿，此时数字温度传感器的输出即是系统的输出，即 $y(n)=x(n)$ ；否则， $y(n)=y_L(n)$ 。

通过拓展数字温度传感器工作频带实现动态补偿，不可避免的产生高频噪声干扰现象，影响实际补偿效果[6]。因此，在动态补偿网络后面串联一个数字低通滤波器，可将动态补偿产生的高频噪声滤除。如图 1 所示，数字低通滤波器采用一个长度为 N 的滑窗均值滤波器，将经动态补偿后的 $y_c(n)$ 数据列顺序存入 N 数个内存单元，滤波输出 $y_L(n)$ 数据列的数值是 N 数个内存单元数据的平均值， N 数个内存单元每次只按顺序更换一个数据，更换一个数据需求出一次平均值，即：

$$y_L(n) = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=n-N}^{m+n} y_c(n+i) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

式中 $N = 2m + 1$ 。

研制的智能粘度仪水浴温度测控系统使用的数字温度传感器 DS1820 为实验对象，应用阶跃响应法：对 DS1820 施加 $0^\circ\text{C}-25.5^\circ\text{C}-0^\circ\text{C}-25.5^\circ\text{C} \dots$ 温度阶跃信号，即先将置于金属密封管中的数字温度传感器

DS1820 放入冰水混合物(0℃)中, 温度完全平衡后迅速放入 25.5℃ 的智能粘度计恒温水浴, 待温度完全平衡后再次放入冰水混合物中。

经大量实验表明, 确定 DS1820 为纯滞-一阶系统, 其传递函数如式(5)所示, 时间常数 $\tau = 0.95 \text{ s}$; 当 DS1820 工作频带拓宽倍数 $k = 10$, 式(13)中的 $M = 5$, 滑动窗口均值滤波长度 $N = 10$, $\sigma_c = 3\%$, 采用间隔时间 $\tau_{sam} = 0.5 \text{ s}$ 时, 取得了较好的效果。

DS1820 经自适应动态补偿后, 响应时间缩短, 提高了其动态响应性能。当 $t \geq 3\tau$ 时, 即温度稳定在 25.5℃ 附近, 常规的动态补偿出现振荡, 测量精度明显降低; 而自适应动态补偿经自适应决策, 系统直接选择了 DS1820 的信息作为系统输出 ($y(n) = x(n)$), 避免了常规动态补偿的缺点。由 K 可知, 当 $k = 100$ 时, 由于工作频带过宽, 系统出现严重的高频噪声干扰, 并且有轻微过补偿; 当 $k = 2$ 时, DS1820 补偿效果不够, 即: 欠补偿; 当 $k = 10$ 时, DS1820 的自适应动态补偿效果较好, 缩短了其响应时间(图 7~9)。

当 $k = 10$, $M = 5$, $N = 10$, $\sigma = 3\%$ 时, 对 DS1820 施加不同的温度阶跃信号, 数字温度传感器 DS1820 经自适应动态补偿后, 响应时间缩短为未补偿状态的 25%~35%, 大大改善了其动态性能。

5. 传感器抗干扰技术

实际检测系统中, 传感器的工作环境比较复杂和恶劣, 输出的电信号幅值很小, 并且与电路之间的连接有一定的距离, 这时需要传送信号的电缆电阻和传感器的内阻以及放大电路等产生的噪声, 再加上环境噪声, 都会对放大电路造成干扰, 影响传感器正常工作。因此, 必须采取有针对性的措施来提高传

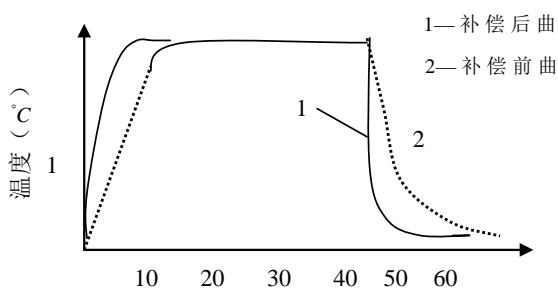


Figure 7. DS1820 compare the difference between before and after the adaptive dynamic compensation curve
图 7. DS1820 自适应动态补偿前后曲线比较

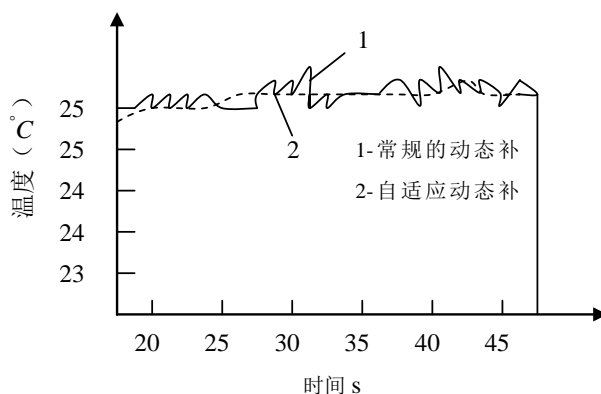


Figure 8. DS1820 conventional dynamic compensation compared with adaptive dynamic compensation
图 8. DS1820 常规的动态补偿与自适应动态补偿比较

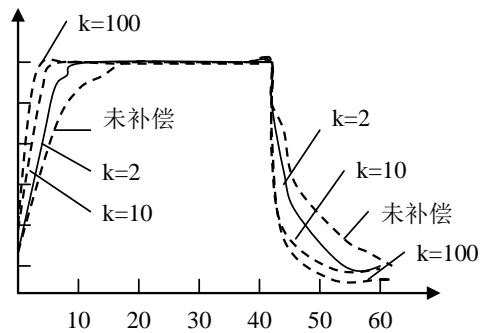


Figure 9. Different k values of adaptive dynamic
图 9. 不同 k 值的自适应动态补偿比较

感器电路的抗干扰[7] [8]能力。

例如对于热干扰，可以采取对称平衡结构、恒温措施、热屏蔽、温度补偿技术的方法来加以抑制；对于机械干扰，则采取减小振荡频率措施来解决；对于光干扰，可以对半导体元器件用光屏蔽来抑制光线的直接照射；对于射线辐射干扰，则主要是对射线进行防护。

为了增加传感器的实用性，提高它的性能，提升它的可靠性，对于外界的干扰可以在最原始的入口进行消除。例如抑制和消除干扰源、损坏干扰的耦合通道、消除或减弱接收电路对干扰的敏感性等等！对于相关的技术则可以采用屏蔽技术、导电涂料、铁氧体抑制元件、浮置技术、对称电路、隔离技术、滤波、脉冲干扰抑制、脉冲群抑制器、接地技术等等可以有效的减小相关的误差干扰！

在智能粘度仪水浴温度测控系统中，主要采用滤波干扰，属于抑制电磁干扰的一种方法。主要通过只允许某一频带信号通过或阻止的抑制干扰措施，来提高传感器电路的抗干扰能力。

6. 结束语

研制的智能粘度仪水浴温度测控系统，其广泛应用于石油、化工、化纤、食品、医药等许多部门。流体的粘度与温度关系密切，不同温度下，流体的粘度不同。恒温水浴是粘度仪的核心部件之一，其温度的准确、稳定控制为仪器的关键技术之一。设计一种基于数字温度传感器自适应动态补偿方法的粘度仪恒温水浴。这种恒温水浴具有加热与制冷功能，温度分辨率高(DS1820 温度的测量范围为 $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$ ，测量精为 0.5°C 。)，不需要进行温度标定，非常适合于高精度的温度测量。大量实验表明，这种自适应动态补偿方法大大改善了数字温度传感器的动态性能，响应时间缩短至补偿前的 25%~35%，研究工作为智能粘度仪水浴温度测试系统工程化应用奠定了基础。

参考文献 (References)

- [1] 刘君华 (2000) 智能传感器系统. 西安电子科技大学出版社, 西安.
- [2] 冯国珍 (2003) 基于数字温度传感器 DS18B20 的分布式测温系统的设计. *吉林化工学院学报*, **3**, 1-28.
- [3] 叶钢 (2007) 基于 DS18B20 温度控制系统的设计. *国外电子测量技术*, **4**, 31-33.
- [4] 王建, 单印 (2002) 一种高精度智能温度控制器. *微计算机信息*, **11**, 31-32.
- [5] 成志尧, 宋又祥 (2005) 动态测试技术(态测试校准技术的现状和发展). 西安交通大学出版社, 西安.
- [6] 丁来玲, 王磊 (1998) 动态温度测量加速方法研究. *测控技术*, **6**, 2-43.
- [7] 徐科军, 唐霆 (1994) 传感器零点相消动态补偿法. *科学通报*, **9**, 8-62
- [8] 张秀梅, 宋文绪 (1995) 动态测温误差分析及修复. *大学物理实验*, **3**, 46-102.