

一种光学点温测温仪系统设计

王继刚¹, 王越胜^{1*}, 陈尧生²

(1. 杭州电子科技大学 自动化研究所, 浙江 杭州 310018; 2. 无锡特威光纤传感有限公司, 江苏 无锡 214028)

摘要:针对红外测温仪测温准确性不高, 易受环境、距离、辐射率等影响的问题, 设计了一种新型的光学点温测温仪, 该测温仪以光学和热学理论为基础, 结合应用点像望远镜原理, 利用自聚焦透镜替代二次透镜, 通过光纤在像面接收光波并传输转换至信号号处理单元, 真正实现了点温测量, 最后, 提出了系统软硬件设计的原理和方法。经过精确的标定和调试, 其结果表明, 该测温仪完全能满足非接触式工业温度测量要求。

关键词:温度测量; 光学成像; 电路; Log104; LPC2132

中图分类号:TH811; TH74

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0038-04

System design of dot temperature measurement instrument

WANG Ji-gang¹, WANG Yue-sheng¹, CHEN Yao-sheng²

(1. Institute of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Wuxi Dova Optical Fibre Sensing Industry Co. Ltd., Wuxi 214028, China)

Abstract: Aiming to solve the problem that measurement of the infrared instrument is not accuracy enough and is vulnerable to be affected by environment, distance, and radiation, a kind of new instrument of dot temperature measurement was designed, which was based on optical and thermal theory, using the principle of telescope. The general lens were instead by GRIN lens, then the optical fiber receives light waves in the image plane and the signal was transmitted to signal processing unit, really reaching the goal of dot temperature measurement. The principles and methods to design the software and hardware about the system were provided. The result indicates that the requirements of non-contact industrial temperature measurement are completely acquired through the precise calibration and commissioning.

Key words: temperature measurement; optical imaging; circuit; Log104; LPC2132

0 引 言

温度是工业生产中常见的工艺参数之一, 任何物理变化和化学反应过程都与温度密切相关, 因此温度控制是生产自动化的重要任务, 要实现准确的温度控制就必须有精度相对较高的测温仪。就测温仪形式来说, 可归纳为接触式测温和非接触式测温两种。不同的被测目标必须采用不同的测温形式。在特定的领域中, 非接触式测温有着接触式不可比拟的优越性, 例如在有色冶炼、粉末冶金、中高频感应加热、铸造、焊接、锻造、热处理等领域。目前市场上应用较多的非接触

式测温工具是红外测温仪。被测目标表面存在“表面传导热”、“内部渗透热”和“辐射热”, 这 3 种矢量很快就分道扬镳, 辐射热离开了表面, 而红外测温仪就是应用普朗克定律测定辐射热或辐射波的多少来表示相应温度的高低。由于波长和波幅是“连体”在一起向前传播, 随着传播距离的增加, 波长虽然不变, 但波幅在不断缩小, 所以红外测温仪与距离变化“一点点”都有关、与材料的辐射率有关、与目标的面积有关, 更重要的缺陷是测定目标一个“面”, 而目标表面温度处处不等, 因而如果红外测温仪测出的温度算一个平均温度, 这种说法也是不对的。

收稿日期: 2010-05-24

作者简介: 王继刚(1983-), 男, 河南郑州人, 主要从事检测技术与信号处理方面的研究. E-mail: wjg2012@yahoo.cn

通信联系人: 王越胜, 男, 教授级高级工程师. E-mail: wys@hdu.edu.cn

针对红外测温仪存在诸多缺点,本研究运用光学原理通过光纤传感器^[1],将光学和电子信息处理技术相结合,研制出了一种新型的光学点温测温仪。

1 基本原理

任何被测物体表面的某一点温度,总是由沿表面的传导热、向空间的辐射热和对流热等部分组成,由波动光学可知波长携带的能量由波幅来体现,辐射波离开源头以后,尽管波长不变,但是波幅已经下降,沿表面的传导波也是如此。又因为离开了源头,仅仅测定了辐射波,而辐射波是离开被测表面的波,不能表达温度变化的真实波长。在点温仪的光学系统中,被测表面上某点发散的球面波先通过透镜转化成为会聚的球面波,然后再次利用凸透镜的汇聚作用二次成像,实质上是利用点像望远镜原理形成像面,同时用光纤对准接收像面上的一点,由于这一点不同的温度对应着不同的光谱,而且同一温度的光谱中必定有一个峰值波最先进入接收器。温度的微小变化都会引起这一峰值波的微小改变,采用光学检波器^[2]可检出这一波长。

在物体内部和表面,热有 3 种运动形式。根据傅里叶三维均匀热运动理论^[3]可以证明,在固体各表面为了维持它们的温度时其内部不可能发生变化。实际上在同一温度下,不同材料的物体,其辐射热和表面传导热是一个定值,而热和波是同时向外传播的。基于波动光学理论,由惠更斯原理可知,在近轴区内的一个物点发出的球面波经过光学系统后仍然是一球面波,由于衍射现象的存在,会造成一定的波像差,成像前后只是相位发生变化^[4]。透镜成像前后,由于波长的不变性,可以运用类似于望远镜原理设计镜头^[5],通过捡取不同的波长来确定不同的温度,而不必考虑物体发射率问题,并且配合特别的器件可以实现点温测量与距离无关。

2 系统总体设计

2.1 总体结构设计

光学信号采集系统获取光学信号后,用光纤将光波传导至探测器,探测器输出电信号调理,然后将电信号经过 A/D 转换成数字信号并用单片机处理;在单片机中用软件完成被测物体温度的非线性校正、温度补偿等功能。经过单片机处理后拟合成相对应的温度值,通过 LCD 显示。设计系统总体框图如图 1 所示。

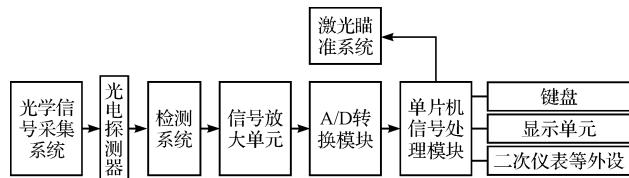


图 1 总体结构框图

2.2 光学信号采集系统设计

光学信号的采集由光学镜头实现(其原理如图 2 所示),为了避免白光干扰以及保证成像的清晰准确,本研究使用一种沿径向折射率变化的自聚焦透镜^[6],其具有直径小、重量轻、焦距短、数值孔径大、消像差性能好,端面可为平面,光学特性与透镜长度有关等特点。它具有独特的成像特性,一个自聚焦透镜可以起着几个普通球面透镜的作用。作为成像元件使用时,可以做到很短的共轭距离。

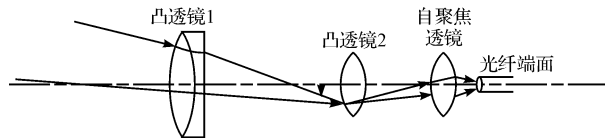


图 2 镜头光路图

镜头模拟望远镜的原理可以作为将远处物点发出的球面波拉近放大并清晰成像的光学系统,它由两个会聚透镜组成,通过第 1 个凸透镜(通常是消色差双合透镜)能够形成一个倒立实像;第 2 个透镜用来考察该实像。在正常的调准状态下,凸透镜 1 第二焦点与凸透镜 2 第一焦点重合,因此入射平行光束亦以平行光束射出。适当选取其球面率半径,采用两个不胶合元件以利用其特有的布局灵活性,使球面无慧差,像差很小,以达到不晕设计的目的。然后将性能优良的自聚焦透镜安装在二次成像透镜之后,起到集光的作用,形成点像,更易于光纤接收。

光纤做为光信号传输通道,能够直接接收光波信号,不会形成不稳定信号,尽管在信号被光纤接收之前已存在噪声干扰,特别是在工业现场存在大量白光,但是光纤较强的抗干扰能力,以及滤波的特性能保证分辨率。将光纤掺杂不同的材料,调节窗口波长,利用光纤的空间滤波效应,使入射光波从空间瞬态变为空间稳态,并根据热源温度选择紫外、可见和红外等工作波段,达到被测温度、光纤选择和光电转换三部分最佳组合,实现光纤单线制传感温度信息至信号处理单元,实时测定动态、静态和高温高压等各种恶劣环境下的温度值。

2.3 信号放大电路

前置放大电路采用 TI 公司生产的 LOG104 放大器,其具有低噪声、高增益、低输出阻抗以及良好的线性和抗干扰能力,能够放大光电探测器所输出的微弱电信号,使光电探测器偏置并与阻抗相配。8 和 3 端分别为信号输入和输出端,其间加上 150 pF 的电容器,以保证信号的稳定性和快速的频率响应^[7]。二级放大电路采用内部具有两个独立、高增益、内部频率补偿双运算放大器的 LM358,以实现反相放大功能,外围电路附有可变电阻,有利于系统测试调节。最后一级的运放电路仅仅起到倒相作用,使电压正向偏置。光电探测器发出的电流信号是微安级的,通过两级放大,即:

$$V_{\text{LOG}} = 0.5 \log(I_1/I_2) (\text{Log104 前置放大});$$

$$V_{\text{out}} = -\frac{R_6 R_7}{R_5 (R_6 + R_7)} V_{\text{LOG}} (\text{二级反向放大}).$$

使得 V_{in} 为 0 ~ 3.3 V,模拟信号放大至微控制器信号处理范围,能够达到设计要求。

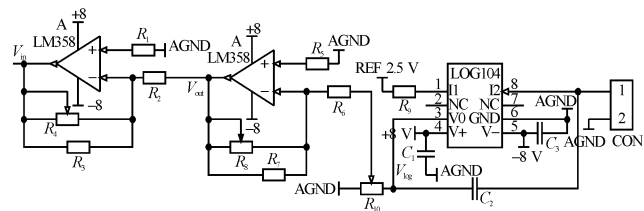


图 3 放大电路图

2.4 微控制器和模数转换单元

该测温系统选用 Philips 公司的 ARM7 芯片 LPC2132^[8],它是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪的 32/16 位 ARM7TDMI-STM CPU 微控制器,采用带有 64 KB 的嵌入高速 Flash 存储器,128 位宽度的存储器接口和独特的加速结构,使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行。LPC2132 内部集成了 2 个 10 位 8 路 ADC,1 个 10 位 DAC,PWM 通道,2 个 32 位定时器/外部事件计数器(带 4 路捕获和 4 路比较通道),看门狗,以及多达 47 个 GPIO,并且支持在系统编程和在应用编程,支持低功耗模式。

LPC2132 内置的 A/D 转换器测量范围为 0 ~ 3.3 V,即可通过单路软件启动,也可设置为 BURST 批量传输模式,对几路信号逐个循环采样,其转换时间小于 2.44 μs。由于本系统的工作频率为 100 Hz,每个周期采样 10 次,所以本设计中 A/D 转换的速率设为 1 kHz,本系统中采用 P0.6 端口对电压进行采样^[9]。

2.5 显示单元

本设计采用 LCM12864 中文液晶显示模块,该显

示模块与单片机等微控制器可实现汉字、ASCII 码、点阵图形的同屏显示,LPC2123 端口 P0.27 ~ P0.31 及 P1.16 ~ P1.25 通过内部存储器软件编写以实现液晶显示^[10],信号处理模块与液晶屏的接口电路,如图 4 所示。

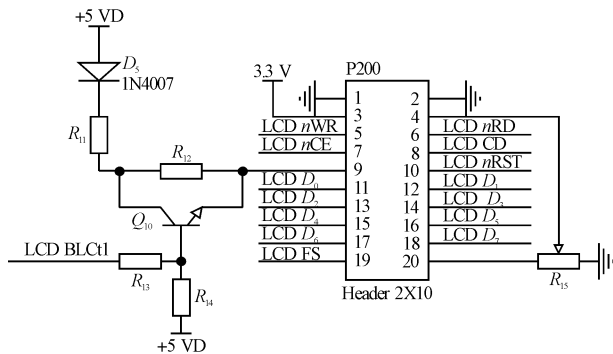


图 4 显示电路

2.6 软件设计

测温仪实现的功能在工业高温环境下通过光学系统对现场温度信号采集,并将模拟信号通过片内 ADC 模块转换成数字信号,并对数字信号进行滤波、校正后拟合成温度值并显示。系统软件采用 C 语言通过 cygnal 集成开发环境 Silabs IDE 进行开发,主要由采样、存储、滤波、校正、拟合、显示等部分组成,软件流程图如图 5 所示。

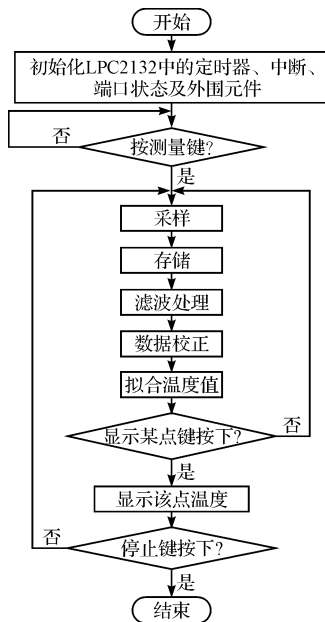


图 5 主程序流程图

3 标定与调试

测温仪必须经过标定才能正确显示出被测目标的温度。传统的查表和拟合曲线的标定方法不仅需要测

量多个温度点,而且精度低、误差大。本系统标定过程中,采用黑体炉模拟被测目标以采集不同温度下信号电压的大小,同时采用了3层BP神经网络算法对数据进行了标定,其算法简单,而且易于编程实现。

在本研究中,调试工作分模块进行,包括软件调试、硬件调试以及系统联调,经多次测量调试,在0~60℃的工作环境温度中,测温范围为400~1600℃,精度可达±1%,分辨率为1℃,响应时间小于200ms,达到了系统的设计要求。

4 结束语

光学点温测温仪,实质上是光学点波的计量表达了温度的正确性。系统结合点像望远镜原理采用精密的光学结构以及高性能的LPC2132芯片,可长可短的传感器光纤使测温仪能在恶劣环境中可靠应用,明显提高了测温性能,很好地解决了非接触式测点温的问题。

参考文献(References):

- [1] 陈尧生. 光学创新型测温仪的研制[J]. 机械工人:热加工,2005(8):60-61.
 - [2] FRANCIS T S Yu. 光信息技术及应用[M]. 冯国英,译. 北京:电子工业出版社,2006:159-178.
 - [3] 傅里叶. 热的解析理论[M]. 桂质亮,译. 北京:北京大学出版社,2008.
 - [4] 洪正平. 用光的波动理论分析薄透镜成像[J]. 山东师范大学学报:自然科学版,2007,22(3):122-123.
 - [5] 马科斯·波恩,埃米尔·沃尔夫. 光学原理[M]. 杨葭荪,译. 北京:电子工业出版社,2005:221-233.
 - [6] 米磊,姚胜利,李强,等. 一维自聚焦透镜及其应用[J]. 光子学报,2007,36(9):1624-1627.
 - [7] 赵家贵. 新编传感器电路设计手册[M]. 北京:中国计量出版社,2002.
 - [8] 苏维嘉,李建康. MMA7260Q在汽车制动性能检测中的应用[J]. 机电工程技术,2008,37(2):80-81.
 - [9] 唐慧鹏,王友鹏. 基于LPC2132的红外测温仪的研究[J]. 压电与声光,2008,30(2):161-163.
 - [10] 郭天祥. 51单片机C语言教程[M]. 北京:电子工业出版社,2009. [编辑:柴福莉]
-
- (上接第15页)
- [20] FUKUOKA H, TODA H, YAMANE T. Acoustoelastic stress analysis of residual stress in a patch-welded disk[J]. **Experimental Mechanics**, 1978, 18(7):277-280.
 - [21] 贺玲凤,潘桂梅,小林昭一. 利用激光超声测量H型钢梁的残余应力[J]. 华南理工大学学报,2001,29(7):20-23.
 - [22] 路浩,刘雪松,杨建国,等. 低碳钢双丝焊平板横向残余应力超声波法测量[J]. 焊接学报,2008,29(5):30-32.
 - [23] CARLSSON S, LARSSON P L. On the determination of residual stress and strain fields by sharp indentation testing, part I: theoretical and numerical analysis[J]. **Acta Materialia**, 2001, 49(12):2179-2191.
 - [24] CHEN Xi, YAN Jin, ANETTE M K. On the determination of residual stress and mechanical properties by indentation[J]. **Materials Science and Engineering A**, 2006, 416(1-2):139-149.
 - [25] 于哲夫,赵颖华,陈怀宁. 冲击压痕测量残余应力的方法[J]. 沈阳建筑工程学院学报,2001,17(3):200-202.
 - [26] 林丽华,陈立功,顾明元. 静载压痕残余应力测量的简化模型[J]. 上海交通大学学报,1998, 32(2):91-94.
 - [27] 林丽华,陈立功,顾明元. 球面压痕测残余应力试验方法研究[J]. 机械强度,1998, 20(4):303-306.
 - [28] SURESH S, GIANNAKOPOULOS A E. A new method for estimating residual stress by instrumented sharp indentation[J]. **Acta Materialia**, 1998, 46(16):5755-5767.
 - [29] 孙渊,王庆明. 残余应力影响压痕尺寸和隆起量的研究[J]. 机械强度,2009, 31(1):63-67.
 - [30] 孙渊. 局部载荷压入响应及其在残余应力测试中的应用研究[D]. 上海:华东理工大学机械工程学院,2009.
 - [31] 王红阳,迟明生,黄瑞生,等. 激光-氩弧复合热源焊接镁合金残余应力分析[J]. 焊接学报,2006,27(11):33-36.
 - [32] 陈超,潘春旭,傅强. 采用显微硬度压痕法测量微区残余应力[J]. 机械工程材料,2007,31(1):8-11.
 - [33] 林太举. 特大型混流式水轮机转轮残余应力测试[J]. 水电站机电技术,2008,31(5):44-46.
 - [34] 章莎,周益春. 应用纳米压痕法测量电沉积镍镀层残余应力的研究[J]. 材料导报,2008,22(2):115-118.
 - [35] 曾庆林,张立华,徐济进,等. 振动焊接技术在工程中的应用[J]. 机械研究与应用,2009(4):75-77. [编辑:张翔]