

·测试、试验与仿真·

基于热电偶动态校准系统的半导体激光器上升时间测试分析

杨 宇^{1,2}

(1.中北大学电子测试技术国家重点实验室,山西 太原 030051;2.中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室,山西 太原 030051)

摘要:介绍利用大功率半导体激光器作为温度发生装置,发出脉冲激光使被校准热电偶表面产生准阶跃温度变化的信号,用响应速度快的红外探测器和响应慢的被校准热电偶同时对此温度变化信号进行探测,最终以前者测得的值作为真值来校准后者的新的动态校准系统。为了能够测试响应速度快的热电偶,需要测试温度发生装置的响应时间,因此提出了选用响应速度快的光敏二极管作为光电探测器件,通过搭建测试电路,获得激光器上升时间的测试方法。并针对波长为980 nm的大功率半导体激光器进行测试,给出测试结果。试验表明,该半导体激光器的上升时间为纳秒级别,可以实现对时间常数为微秒级别热电偶的动态校准。

关键词:半导体激光器;动态校准;温度传感器;响应时间

中图分类号:TN248.4;TN707

文章标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-02-0095-04

Test Analysis of Rise Time of Semiconductor Laser Based on Thermocouple Dynamic Calibration System

YANG Yu^{1,2}

(1. National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Key Lab of Ministry of Education, Instrumentation Science & Dynamic Measurement of North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A high power semiconductor laser as the temperature-generating device is introduced. The laser pulse is sent out from the laser to generate a quasi-step temperature change signal on the calibrated thermocouple surface. The signal is detected simultaneously by a fast response infrared detector and a slow response calibrated thermocouple. The former value is used as the true value to calibrate the new dynamic calibration system of the latter. For test the fast response thermocouple, the response time of the temperature-generating device is needed to be calibrated. Thus a fast response photodiode is chosen as a photoelectric detector. A test method of the rise time of the laser is obtained through building a test circuit. And a high power semiconductor laser with 980 nm is tested and the results are given. Experiments show that the rise time of the high power semiconductor laser is at nanosecond level and the dynamic calibration of the thermocouple with time constant at microsecond level can be realized.

Key words: semiconductor laser; dynamic calibration; temperature sensor; response time

随着科学技术的快速发展,无论是在科学研究领域,还是技术开发和工程实践领域,都需要快速、准确地进行瞬态温度的测量。温度高、变化快和测试技术难度高是瞬态温度测量的特点,同时还可能伴有高速流动、高压以及不可重复过程居多等复杂

情况,因而确保测试结果的准确性非常困难^[1]。另外在瞬态温度测量过程中,由于热电偶温度传感器的热惯性和有限热传导作用,而引起了热电偶的动态响应误差,使得测得的温度与真实温度存在差别,为了减小热电偶的动态误差,提高测温精度,通常需

收稿日期:2013-10-09

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2012-068);太原市科技局明星专项资助项目(120247-20)

作者简介:杨宇(1989-),男,硕士研究生,主要研究方向为测试计量技术及仪器。

要对热电偶进行动态校准^[2]。热电偶动态校准的目的是通过可溯源的、快速变化的温度信号来探明热电偶的动态响应特性,并对热电偶测得的温度结果进行修正,修正后的结果更接近于真实的温度信号^[3]。文中介绍利用大功率半导体激光器作为准阶跃温度信号发生装置,用响应速度快的红外探测器和被校准热电偶同时进行探测,最终以前者测得的值作为真值来校准后者的新的动态校准系统。为了满足对时间常数更快的热电偶的测试,需要对动态校准系统温度发生装置半导体激光器响应时间进行测试。因此,利用响应快速的光敏二极管对半导体激光器发出的激光进行探测,并搭建后续电路,从而通过示波器采集卡得到激光波形曲线,最终获得半导体激光器的上升时间。

1 动态校准系统组成与原理

热电偶动态校准系统组成结构如图1所示,此系统采用大功率半导体激光器作为动态激励源发生装置,其产生的脉冲激光光束经聚焦透镜汇聚后通过屏蔽箱内不小于3 sr的输入窗口^[4],加热处于球面反射镜一个共轭焦点上的被校准热电偶,被校准热电偶产生动态响应并由数据采集卡输出曲线,同时热电偶表面产生红外热辐射,热辐射信号经过球面反射镜聚焦到位于反射镜另一个共轭焦点的红外探测器上,随之红外探测器经数据采集卡输出曲线。系统中红外探测器采用光电导型碲镉汞器件,其响应波长为1~5 μm,灵敏波长为3~5 μm,响应时间小于10 μs,该波段覆盖了对于大多数情况下表面温度范围的辐射波长,因此,满足动态校准的需求^[5]。由于红外探测器的频率响应优于被校准温度传感器的频率响应,因此,以前者的值作为真值来校准后者并获取动态误差再进行补偿^[6]。

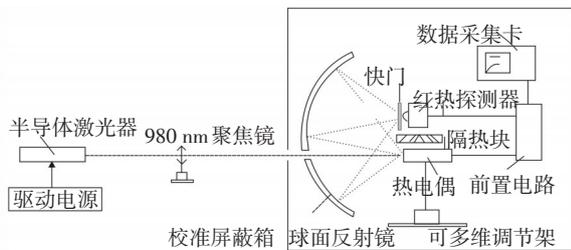


图1 动态校准系统组成

2 激光应用原理及响应时间测试方案

2.1 激光在动态校准中的应用原理

在热电偶动态校准系统中,应用了半导体激光器作为准阶跃温度发生装置。由于一般可认为热电偶表面光能向热能的转换是瞬间完成的,因此,只有在热电偶表面激光照射的区域才产生热能,热能通过热传导的方式向热电偶内部传递,使热电偶产生一定的温度分布,达到加热热电偶的目的^[7]。由于应用脉冲激光加热热电偶使其表面产生温升的深度很小,因此,认为其表面为半无限大介质。在激光加热热电偶的时间内,热电偶存在热交换和热辐射问题,而一般认为热电偶与周围介质之间的热交换可忽略不计^[8]。当热电偶偶结接收到激光均匀照射,被吸收的能量密度不随时间的变化而变化时,也就是说只有当激光照射到热电偶表面的半径 r_i 远远大于脉冲激光照射的受热区域尺寸 $(a\tau)^{1/2}$ 时,受激光照射后的热电偶表面升温的表达式为

$$\Delta T(x, \tau) = \frac{2q_0(a\tau)^{1/2}}{\lambda} \text{ierfc}\left[\frac{z}{2(a\tau)^{1/2}}\right] \quad (1)$$

式中, λ 为材料导热系数(单位为W/cm·K); z 为深度,表面处理 $z=0$ (单位为cm); a 为导热系数(单位为 cm^2/s); q_0 为辐照度; ierfc 为概率积分函数; τ 为激光脉冲宽度(单位为s);其中 q_0 可由公式 $q_0=p/s$ 求得, p 为激光功率, s 为光斑面积。

根据式(1)可得到 $z=0$ 时的表面温升表达式和热电偶内部温度等于表面温度一半时深度表达式分别如下

$$\Delta T(0, \tau) = \frac{2q_0(a\tau)^{1/2}}{\lambda} \quad (2)$$

$$\Delta z = 0.68(a\tau)^{1/2} \quad (3)$$

当热电偶表面不因加热最大温度 T_m 而被破坏时,此时温度是校准传感器的最大温度。根据半无限大物体一维加热模型,可得到最大温度 T_m 的激光辐照度计算公式为

$$q_c = \frac{0.885 T_m \lambda}{(a\tau)^{1/2}} \quad (4)$$

根据式(4)可知,热电偶表面存在临界激光辐照度,加热过程采用连续激光是不合理的。因此,采用能够产生单脉冲的半导体激光器作为激励信号发生装置。

2.2 激光器响应时间测试方案

为了能够实现对快速响应热电偶的动态校准,需要对提供温度阶跃信号的大功率半导体激光器响应时间进行测试,只有激光器响应时间比热电偶响应时间快的多,才能实现动态校准。因此,提出了利用光敏二极管作为光电探测器的测试系统,测试框图如图2所示。光敏二极管是一种用来探测光辐射的光电探测器件。在探测过程中,发现信号和测量信号是光敏二极管主要的作用,并将探测到的光信号转换成电流信号从而通过后续电路采集到光信号。

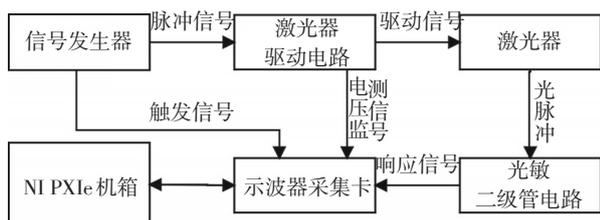


图2 激光器上升时间测试框图

光敏二极管作为光束接收器件,目的是探测半导体激光器发出的红外信号,为了能够保证激光器上升时间测试的准确性,就需要光电探测电路具有足够高的响应速度和灵敏度。因此,光电探测电路探测器件选结电容小的光敏二极管,由于结电容小的光敏二极管有足够快的响应速度,决定了光电探测电路也具有非常高的响应速度。光电探测器件的响应速度,可以通过理想的阶跃光作为激励源得到光电探测器的响应曲线,但是理想阶跃信号很难产生。因此可用上升前沿陡峭的氮分子激光器作为测试光敏二极管响应速度的激励源。文中选用10 mm×10 mm大面积光敏二极管作为光电探测器件,测试半导体激光器上升时间电路如图3所示。为了确定测试激光器上升时间的准确性,首先利用氮分子激光器作为激励源,通过照射到光敏二极管上产生光电流 I_0 ,光电流使得电阻 R 两端产生压降,则通过示波器可以得到电阻 R 两端的电压 V_0 曲线,从而得到光敏二极管的响应速度。从理论上讲,光敏二极管的响应速度主要由电阻 R 的值和光敏二极管本身的结电容决定,所以电阻 R 应该适当取小,这样才能够准确地反映出光敏二极管的响应情况^[10]。图4为所测得的光敏二极管响应波形图,从图4中可以明显看出,光敏二极管的响应为纳秒级别,根据响应时间的定

义,则可得到响应时间即上升到峰值的63%所用的时间不大于50 ns,满足测试需要。光敏二极管的响应波段如图5所示。可以看出,对于波长为980 nm的激光可以响应。因此,利用光敏二极管测试电路可以测试980 nm半导体激光器的上升时间。

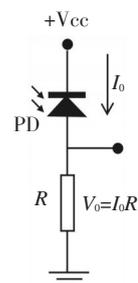


图3 测试电路

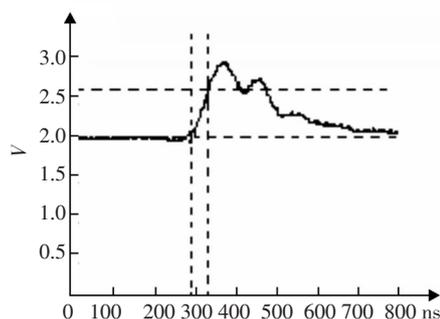


图4 响应波形

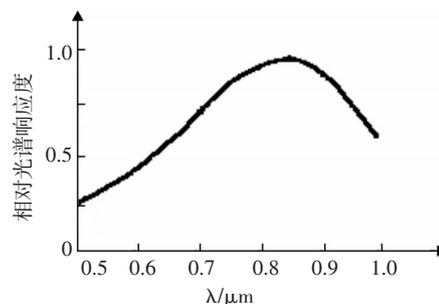


图5 响应波段

3 测试结果及分析

信号发生器发出脉冲信号送入驱动器,驱动激光器发出激光。激光照射在耐高温材料上,会形成光斑,光敏二极管探测到光斑产生光电流,与其串联的采样电阻500 Ω输出电压信号到数据采集卡。信号发生器发出脉冲信号的同时,也发出触发信号,采集卡接收触发信号后开始进行采集。采集的数据如图6所示。红色通道为脉冲信号,绿色通道为光敏二极管响应电压信号。将光敏二极管相应的

电压信号拉开如图7所示,则可以读出半导体激光器的上升时间。

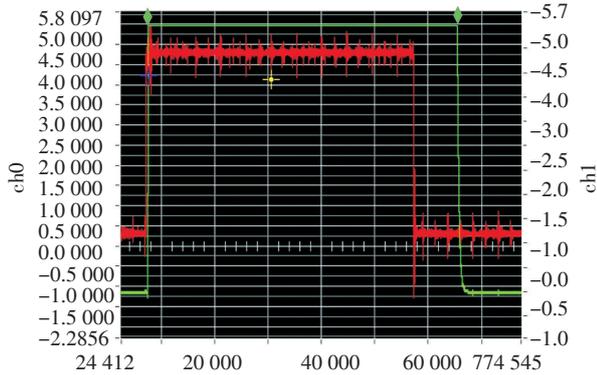


图6 采集的数据

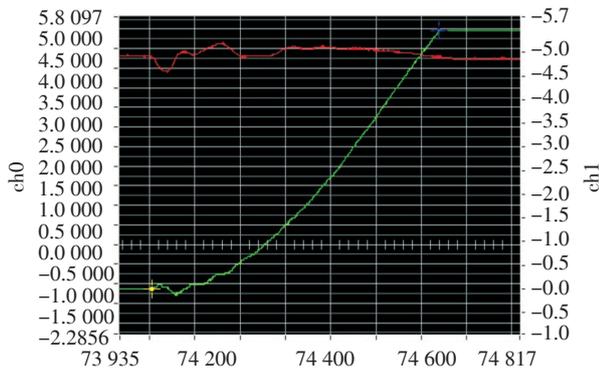


图7 光敏二极管电压信号

设置信号发生器信号脉宽分别从 $100 \mu\text{s}$ 到 50ms , 得到实验数据如表1所示。

表1 激光器上升时间数据

| 脉冲信号脉宽/ms | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 上升时间/ μs | 0.552 | 0.558 | 0.556 | 0.574 | 0.622 | 0.593 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |

测试结果表明,激光器的上升时间大概为 $0.6 \mu\text{s}$ 。此半导体激光器可以作为可溯源瞬态热电偶校准系统的加热热源,可以对响应速度为微秒级的

热电偶进行校准。

4 结论

对激光器作为阶跃温度发生装置的可行性进行了研究,得出激光作为阶跃温度信号可以实现热电偶的动态校准。并利用半导体激光器作为动态激励信号构建了新的动态校准系统,运用光敏二极管测试电路对半导体激光器上升时间进行了测试,得到其上升时间为纳秒级,可以实现对微秒级热电偶的动态校准。对研究热电偶的动态特性具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 王冬生,潘玮炜.一种测量高温中间包的蓝宝石光纤温度计[J]. 2010,39(2):615-617.
- [2] 孟宪文.瞬态表面温度传感器动态测量误差补偿技术研究[D]. 太原:中北大学,2007.
- [3] Michalski L, Eckersdorf K, Kucharski J, et al. Temperatures measurement[M].Chichester: John Wiley, Sons. 2001: 279-332.
- [4] 郝晓剑.瞬态表面高温测量与动态校准技术研究[D]. 太原:中北大学,2005.
- [5] 黄亮.瞬态表面温度传感器动态校准技术研究[D]. 太原:中北大学,2007.
- [6] 郝晓剑,李科杰,刘健,等.基于 CO_2 激光器的温度传感器可溯源动态校准[J]. 兵工学报.2009,30(2):156-159.
- [7] 蓝金辉.瞬态表面温度测量校准技术的研究[D]. 武汉:华北工学院,1993.
- [8] 蓝金辉,周汉昌,潘德恒.激光在瞬态表面温度传感器的动态校准系统中的应用研究[J]. 兵工学报,1998,19(1): 38-41.
- [9] 赵冬娥,郝晓剑,任树梅.一种高速大面积接收光电探测器[J]. 测试技术学报,1999,13(4):213-216.
- [10] 郝丽娜,潘保青,郝晓剑,等.火箭滑车激光测速系统[J]. 火炮发射与控制学报,2005(1):69-72.

本刊声明

《光电技术应用》期刊投稿电子信箱已变更为 nloe@vip.163.com, 原投稿电子信箱 neiet@jzptt.ln.cn 已停止使用,请作者按新的电子信箱投稿。凡向期刊投稿的作者,请按照刊登论文的格式要求写稿,详见期刊网站 www.gdjsyy.com, 本刊拒绝一稿多投,敬请作者自觉遵守。