

# 热电偶动态校准系统中激励温度测量方法研究

邵海颖<sup>1</sup>，张增良<sup>2</sup>，马霄汉<sup>1</sup>，李岩峰<sup>1\*</sup>，麻嘉宾<sup>1</sup>，付宇航<sup>1</sup>

(1. 北华航天工业学院电子与控制工程学院廊坊 065000;

2. 廊坊师范学院廊坊 065000)

Email: 3155355671@qq.com

摘要：基于热电偶传感器具有性能稳定、测温精度高、结构简单等优势，被广泛应用于测量温度迅速变化、测试环境十分恶劣的瞬态高温。但由于热电偶传感器自身热惯性、有限热传导等引起的动态响应误差，使测得的温度与真实温度间存在差别。为保证热电偶传感器测量瞬态高温时，动态响应误差满足瞬态温度测量要求，对热电偶传感器进行动态校准是十分必要的。传统的激光法热电偶动态校准系统采用单色测温法测量热电偶传感器表面激励温度，但单色测温法进行测温时需要知道被测物体表面发射率，且受环境影响大。基于此，本文研制出应用于激光法热电偶动态校准系统的比色测温装置测量热电偶传感器表面激励温度。利用黑体炉对比色测温装置进行静态标定，比色测温装置的测温范围为  $400^{\circ}\text{C}$  -  $1200^{\circ}\text{C}$ ，装置的响应时间为 5 s。本文利用功率为 50W、加热时间为 400ms 脉冲温度的激光器对热电偶传感器偶节进行加热，同时让标定过的比色测温装置对热电偶传感器表面的激励温度进行测量，得到热电偶传感器和比色测温装置温度输出曲线。

关键词：热电偶传感器；动态校准；激光法；比色测温

## 1、研究背景

随着现代科技的发展，温度的测量与控制在国防军事、科学实验等领域扮演着重要角色，可以很好的反映被测物体的关键信息<sup>[1]</sup>。很多测量目标都是随时间迅速变化的瞬态高温，但由于瞬态高温变化速度快、测试环境恶劣、不可重复性导致温度测量困难。目前，多采用以热电偶为主的接触式测温方法进行测量，具有结构简单、测温精度高、性能稳定等优点，但由于自身的热惯性、有限热传导等使测得的温度与真实温度间存在差别。因此在进行温度测量前对热电偶传感器进行动态校准十分必要，可以保证其具有良好的动态特性，减少动态测量误差，提高测量精度<sup>[2]</sup>。

传统的激光法热电偶动态校准系统是利用单色测温法测量热电偶表面激励温度的。单色测温法具有响应速度迅速、测温上限高、测温范围广、不影响温度场等优点。但会受到发射率的影响，导致测温结果不准确。针对不同类型的热电偶传感器需要重新标定发射率，操作过程复杂且得到的发射率不准确。基于此，本文设计的比色测温装置是利用两个相邻波段下的辐射功率之比进行测温，当两个相邻波段足够接近时，可以认为两个波长的发射率近似相等，在很大程度上减少了发射率计算不准确带来的影响，提高了测温精度。相比于单色测温法，比色测温法能更精确的测

量出被测物体的真实温度。因此，本文研制的比色测温装置为热电偶表面激励温度的获取提供了一种新的方法，避免了利用单色测温法因发射率获取困难导致测温不准确的情况。同时，通过改进比色测温装置，也可以将其应用在其他瞬态温度测量领域。

## 2、研究内容

### 2.1 比色测温系统

双波长的选取是比色测温装置的核心部分，会影响装置测量准确性。在进行波长选择时，经过综合分析测温范围、光电探测器特性、滤光片带宽、发射率、大气吸收、所受辐射功率比值  $R(T) \sim$  温度  $T$  曲线的线性度及灵敏度等的影响<sup>[4][5]</sup>，选用波长响应范围为  $0.8-2.6 \mu m$  的铟镓砷探测器和波长范围 - 带宽为  $945-0.079 \mu m$  和  $2.1-0.045 \mu m$  的两个带通滤光片。

比色测温装置原理图如图 1 所示。本文所设计的比色测温系统主要由聚焦透镜、分束光纤、带通滤光片、铟镓砷探测器、调理电路和数据采集卡组成。为了使聚焦透镜更加精准的对准被测温度场的测温区域，在对装置进行设计时将激光指示笔与分束光纤中的一束进行连接。激光指示笔打开后，激光光束通过光纤在聚焦透镜焦点处产生红色焦点，根据红色焦点移动聚焦透镜使其对准测温区域。测温时，聚焦透镜将接收到的辐射信号经过光纤传输给滤光片，滤除所需波段之外的辐射信号后传输给探测器转化为电流信号。电流信号经过调理电路放大、滤波后转化成电压信号。信号采集卡将采集到的电压信号传输给上位机进行显示。比色测温装置经过静态标定后得到拟合方程，可以将得到的电压信号转化为温度信息。

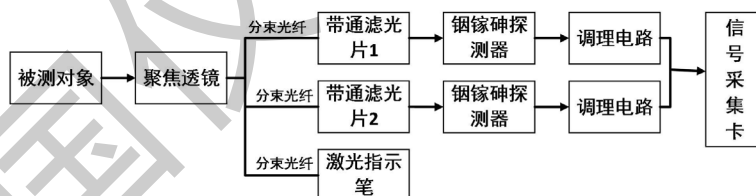


Figure1 Colorimetric temperature measuring device

### 2.2 比色测温装置静态标定实验

比色测温装置的静态标定实验如图 2 所示。将比色测温装置对准 DY-HT3 黑体炉的黑体腔，通过数据采集卡采集比色测温装置的电压信号在上位机进行显示。打开黑体炉调节内腔温度，待温度升至  $400^{\circ}C$  稳定时，开始记录比色测温装置中探测器通过调理电路得到两路电压输出。每升高  $50^{\circ}C$  并稳定后，记录黑体炉显示温度与比色测温装置两路电压信号，重复以上实验到  $1200^{\circ}C$  为止。然后利用曲线拟合法得到温度与电压比值之间的关系，最终发现指数衰减拟合方法得到的相对误差最小，为 1.4%，满足瞬态温度测试要求。

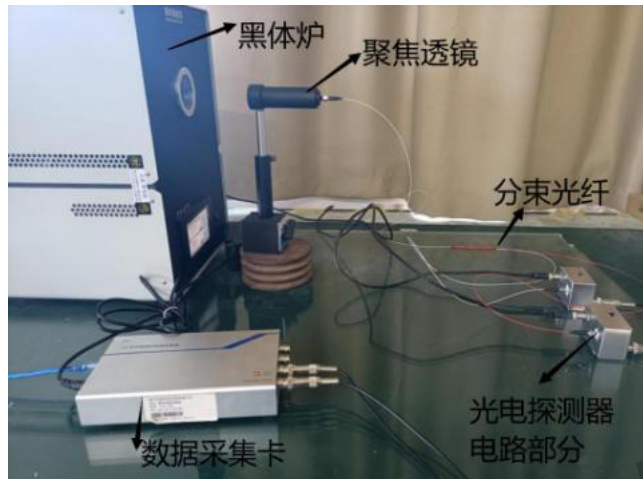


Figure 2 Static calibration experiment of colorimetric temperature measuring device

### 2.3 热电偶激励温度测量实验

本文利用激光器搭建 K 型热电偶传感器动态响应测试系统，使用三维精密位移平台固定 K 型热电偶传感器，开启激光器时将激光器自带的红色指示光经过汇集透镜汇聚到一点，通过调整热电偶的位置使激光准确的汇聚到热电偶的偶节上。通过观察标定过的比色测温装置自带的激光指示笔的红色焦点的位置调整聚焦透镜，使聚焦透镜对准热电偶传感器的偶结。

实验过程中，数据采集卡的采样频率设置为 250KHz，采样时间为 5s，保证采集到热电偶整个升温和降温过程。将功率为 50W 的激光器周期设置为 1s，脉冲宽度设置为 400ms，避免激光器热冲击较大，导致热电偶损坏。实验过程中，让比色测温装置和热电偶传感器同时测温，得到二者的电压输出曲线。由于高频噪声的存在导致得到的电压信号有很大的波动。为此，本文采用小波去噪法对所得电压数据进行去噪处理，进而得到二者的温度输出曲线。

## 3、结论

实验结果表明，本文所研制的比色测温装置能够更快、更精准的测得激光法热电偶动态校准系统中热电偶表面激励温度，解决了单色测温法或其他辐射测温法因发射率计算不准确导致温度测量不准确问题，为热电偶传感器表面激励温度的获取提供了一种新方法。同时，通过改进比色测温装置，也可以将其应用在其他瞬态温度测量领域。

本文得到国家自然科学基金（62341114）资助。

### 参考文献

- [1] 李磊, 刘庆明, 汪建平. 比色高温传感器参数分析及其在爆炸场中的应用 [J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(9): 2466-2471.

- [2] 张林. 温度传感器动态校准系统中激励温度测试技术 [D]. 山西: 中北大学, 2018.
- [3] 郝晓剑, 郭晓杰, 段向港. 比色原理便携式瞬态温度测试仪设计 [J]. 电子器件, 2018, 41(3): 786-790.
- [4] 朱剑华. 基于比色测温的高能毁伤爆炸场瞬态高温测试 [D]. 山西: 中北大学, 2011.
- [5] 赵夏青. 火炮膛内温压一体式测试系统的研究 [D]. 山西: 中北大学, 2022.

中国仪器仪表学会