

# 基于 Zemax 光纤耦合透镜激光光路设计

笞清波 郝晓剑 周汉昌

中北大学电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051

**摘要** 传统的可溯源热电偶动态校准系统采用 CO<sub>2</sub>激光器作为光源,存在着光路调节不便、激光光斑能量分布不均匀的特点,无法保证传感器均匀加热。半导体激光器的光源具有输出光斑能量稳定、均匀、发散角较大的特点。利用 Zemax 软件对光路进行优化设计,选取合适的光纤和透镜进行耦合,精简了可溯源热电偶动态校准的光路设计,使激光光路调控更加方便,保证了热电偶的均匀加热。实验结果表明:这种设计大大降低了光路调节难度,提高了激光的利用率,为热电偶的动态校准提供高质量的激光光源。

**关键词** 测量;可溯源;热电偶;光纤耦合透镜;Zemax;半导体激光器

中图分类号 TN249 文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.102201

## Design of Laser Light Path of Optical Fiber Coupling Lens Based on Zemax

Zan Qingbo Hao Xiaojian Zhou Hanchang

National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China,  
Taiyuan, Shanxi 030051, China

**Abstract** The traditional traceable thermocouple dynamic calibration system uses CO<sub>2</sub> laser as the light source, which has the characteristics that laser light energy distribution is not uniform, the adjustment of optical path is inconvenient and heated uniform of the sensors cannot be guaranteed. The light source of semiconductor laser had stable and uniform output light spot, but the divergence angle is large. In order to simplify traceable thermocouple dynamic calibration optical design, control the laser light path more convenient, and ensure the uniform heating of the thermocouples, the appropriate fiber optic and lens coupling are selected using Zemax software to improve the light path. The results show that the design greatly reduces the difficulty of light path adjustment, improves the efficiency of the laser, and provides high quality laser source for the traditional traceable thermocouple dynamic calibration system.

**Key words** measurement; traceable; thermocouple; fiberoptic and lens coupling; Zemax; semiconductor laser

**OCIS codes** 120.1880; 140.2020

## 1 引言

当代电子科学技术突飞猛进,由于大功率半导体激光器具有体积小、质量轻、寿命长等优点,广泛应用于民用生产和军事等领域<sup>[1]</sup>。在可溯源热电偶动态校准系统中,过去由于技术的限制,采用体积较大的 K-500 CO<sub>2</sub>激光器作为激励热源。K-500 CO<sub>2</sub>激光器光束在自由空间传播时,光斑半径随着传播距离的增加而增加,激光器直接输出的激光束尺寸远大于传感器的热接收端尺寸,激光器的输出功率随着传播距离的增加和工作时间的延长而迅速衰减<sup>[2]</sup>。为了控制光路和得到单位面积上的高效激光功率密度,传统校准系统采用了透镜聚焦和反射镜聚焦,大大增加了光路调节的难度,同时带来了操作工作中的安全隐患。为了克服传统系统存在的问题,本文采用 DILAS 公司的中心波长 980 nm±3 nm,最大输出功率 500 W 半导体激

收稿日期: 2015-04-09; 收到修改稿日期: 2015-05-07; 网络出版日期: 2015-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(61473267)、技术基础科研项目(GSGC2013408C009)

作者简介: 笞清波(1988—),男,硕士研究生,主要从事光电探测理论与技术方面的研究。E-mail: 330219520@qq.com

导师简介: 郝晓剑(1969—),女,教授,博士,主要从事光电检测与动态测试方面的研究。

E-mail: haoxiaojian2012@126.com(通讯联系人)

光源作为光源,光纤耦合透镜的方法输出激光光束对校准系统进行改进。

## 2 DILAS 半导体激光器在可溯源热电偶动态校准中的应用

系统组成如图 1 所示,半导体激光器输出激光先进入选定好的光纤,再通过光纤另一端固定好的透镜汇聚输出到光学聚焦系统中。光学聚焦系统是一个内镀铝膜的球面玻璃反射镜,留有激光加热脉冲入射窗口,其孔径要保证一个不小于 3 sr 的有效光收集固定角度<sup>[3]</sup>。红外探测器和被校传感器分别置于共轭光学系统的两个焦点上,二者间安置一个隔热块以避免直接辐射热传递。激光电源和电磁装置会对信号调理电路和数据采集卡带来干扰,为确保动态校准的精度将激光器以外的校准系统安置在接地良好的电磁屏蔽箱内。

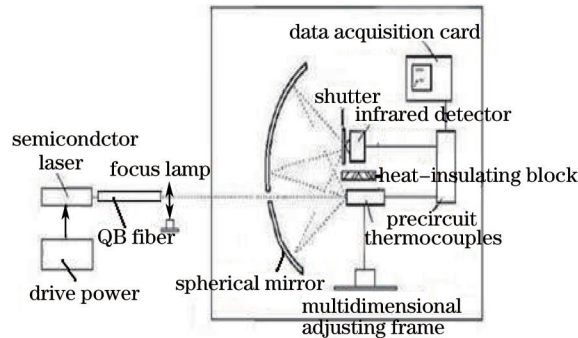


图 1 半导体激光为光源的动态校准系统

Fig.1 Dynamic calibration system of semiconductor laser source

## 3 光纤结构

由于实验要求,激光器工作在高功率输出状态下,因此选取带水冷系统的 QB 光纤。QB 光纤如图 2 所示,光纤的端口与石英玻璃棒相连接,可以传输的最大平均功率为 5 kW,光纤损耗小于 3%,包层折射率为  $n_2$ ,纤芯折射率为  $n_1$ 。入射到光纤端面的光并不能全部被光纤所传输,只是在某个角度范围内的入射光才可以。这个角度  $\alpha$  的正弦值就称为光纤的数值孔径(NA):

$$NA = n_0 \sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1)$$

式中  $\alpha_{\max}$  是最大接收角,NA 表示光纤的集光能力强弱。QB 光纤由于有保护机构的石英玻璃棒存在,NA 达到 0.2,光纤的集光能力增强:

$$\sin \alpha_{\max} = 0.2. \quad (2)$$

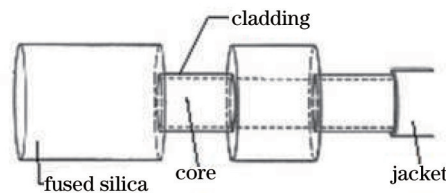


图 2 QB 光纤结构

Fig.2 Structure of QB fiber

半导体激光器通过 QB 光纤输出存在一个最大的缺点就是有较大的发散角,这样导致了输出激光的能量密度随传输距离的增加而降低,通过光纤直接输出激光光束不能达到动态校准的应用要求。因此,需要对激光光束进行聚焦,但是聚焦后激光光斑太小,则热电偶偶结会受热不均匀,使校准结果不准确;光斑太大,尽管可以使偶结受热均匀,但无法满足温度要求,使热电偶响应增大,同样影响热电偶校准结果。合理选取聚焦透镜是满足校准要求的重点<sup>[4]</sup>。

## 4 光纤耦合透镜

通常为了最有效的利用光纤输出激光,选取数值孔径和光纤相同的透镜进行聚光。平行光线入射到透镜上,经过透镜聚焦于焦点处,焦点到透镜边缘与透镜主光轴直接的夹角正弦值,为该透镜的数值孔径:

$$0.5dl\sqrt{f^2 + (0.5d)^2} \approx \sin \alpha_{\max} = 0.2, \quad (3)$$

式中直径为  $d$ , 焦距为  $f$ , 物距为  $P$ , 相距为  $q$ 。

由于机械外壳会遮挡透镜边缘的一部分, 综合考虑选取为直径为 25 mm, 焦距为 45 mm 的石英透镜为耦合透镜。高斯成像公式:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}. \quad (4)$$

当物距  $p$  大于焦距  $f$  时, 激光器光束通过透镜后实现聚焦需要。如图 3 所示, 根据光纤耦合透镜系统组成结构中的几何关系, 可得到如下公式:

$$\sin \alpha_{\max} = dl\sqrt{d^2 + p^2}, \quad (5)$$

式中  $d$  为光纤端口投射到透镜上的高度,  $h$  为光纤端口半径, 激光光束在透镜处的光斑半径应小于透镜的直径(即  $2d+2h < 25$  mm):

$$2(h+d) = 2 \times 11.144 < 25 \text{ mm}. \quad (6)$$

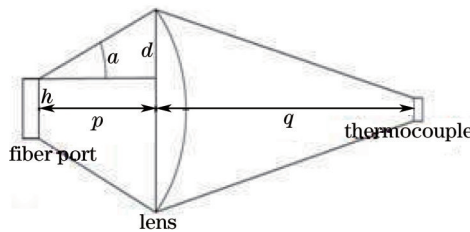


图3 耦合透镜结构

Fig.3 Structure of fiber coupling lens

椭球面反射镜的入光口径为 25 mm, 由于透镜汇聚作用可以确保实验过程中激光光束不被球面反射镜背部遮挡。图 4 是光路光斑的仿真图, 光源直径为光纤石英玻璃直径(8 mm), 波长为 980 nm, 入瞳直径为 22.288 mm。图 5 所示光斑直径在距离透镜 40 cm 出达到最小为 3.6 mm, 而被校传感器的直径为 3 mm 左右, 光路设计符合交聚光要求。

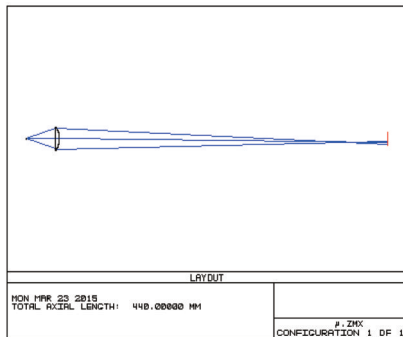


图4 光路仿真

Fig.4 Simulation of light path

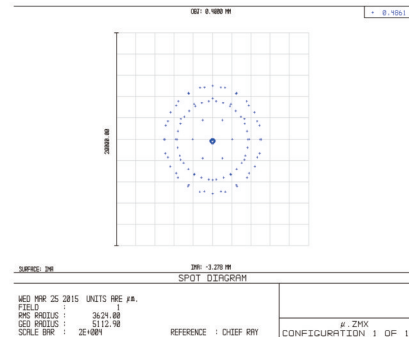


图5 光斑分析

Fig.5 Spot diagram

由于激光器为 980 nm 半导体激光器, 输出激光束为不可见光, 利用互补金属氧化物半导体(CMOS)激光光束分析仪进行光束准直聚焦实验。在距离透镜 44 cm 处光斑能量密度在  $X$  轴和  $Y$  轴密度分布如图 6、图 7 所示, 直径达到最小值 3.9 mm, 且能量密度分布最高区域直径为 3 mm 左右。如图 8 所示, 激光光斑能量分布由内向外递减, 红色区域能量最高, 黑色区域最低, 有些区域存在不少的散斑, 但红色部分激光能量均匀度为 0.75, 能够确保热电偶表面被均匀加热。

## 5 结 论

介绍了一种利用半导体激光器为光源, 光纤耦合透镜激光的光路调节、聚焦模式。在热电偶动态校准过程中降低光路调节难度和耗时, 提高了光束质量。经聚焦后能够使激光光束在一定距离外准确打在热电偶表面上。针对激光散斑, 可以通过清洁光纤端口和透镜表面, 或者是采用更高精度的透镜来降低其出现

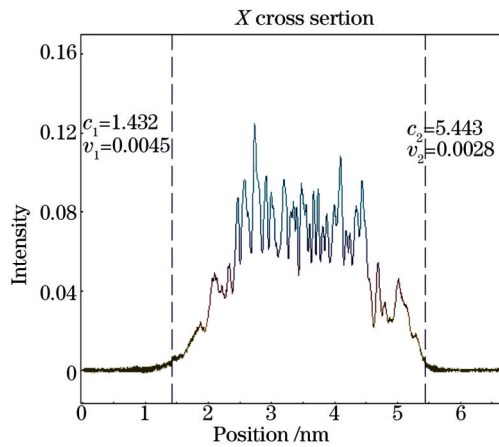


图6 X轴光斑分析

Fig.6 X cross section spot diagram analysis

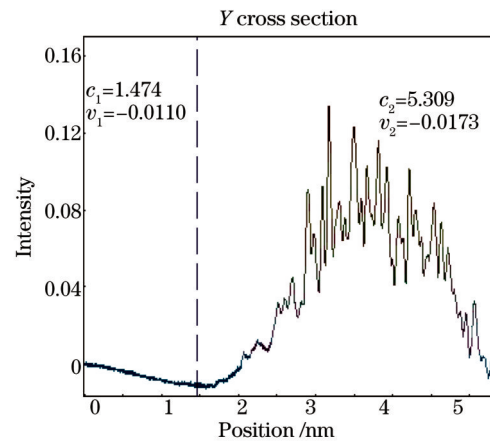


图7 Y轴光斑分析

Fig.7 Y cross section spot diagram analysis

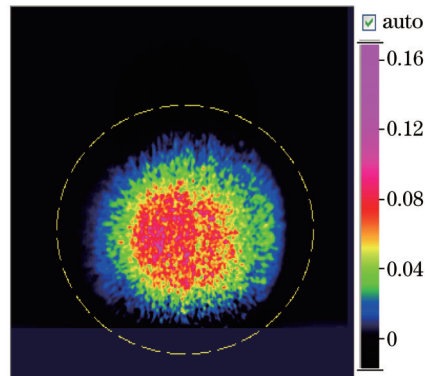


图8 CMOS 光斑分析

Fig.8 Spot diagram by CMOS

频率。同时,根据热电偶表面的尺寸大小,可以实现光斑大小的调节,确保热电偶偶节在校准时被均匀加热,降低了光源不均匀引起的热电偶校准时产生的误差。

### 参考文献

- 1 Ma Xiaoyu, Wang Ju, Liu Suping. Present situation of investigations and applications in high power semiconductor laser [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(2): 189-194.  
马骁宇, 王 俊, 刘素平. 国内大功率半导体激光器研究及应用现状[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(2): 189-194.
- 2 Jiang Lianyong, Hao Xiaojian. Laser Beam Transmission and Transformation Research about Dynamic Surface Temperature Test System[D]. Taiyuan: North University of China, 2012: 20-30.  
江练勇, 郝晓剑. 基于动态表面高温测试系统的激光束传输与变换研究[D]. 太原: 中北大学, 2012: 20-30.
- 3 Hao Xiaojian, Zhou Hanchang. Transient High Surface Temperature Measurement and Dynamic Calibration[D]. Taiyuan: North University of China, 2005: 55-63.  
郝晓剑, 周汉昌. 瞬态表面温度传感器超高温外推测试技术研究[D]. 太原: 中北大学: 2005: 55-63.
- 4 Yang Yu, Hao Xiaojian. Research About Dynamic Calibration on Thermocouples Stimulated by High-Power 980 nm Semiconductor Laser[D]. Taiyuan: North University Of China, 2014: 27-31.  
杨 宇, 郝晓剑. 大功率980 nm半导体激光器激励热电偶动态校准技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2014: 27-31.

栏目编辑: 韩 峰