

# 激光吸收光谱火焰温度测量系统

温度是表征燃烧流场最重要的热物理化学参数之一，它与燃烧效率、化学反应速率和污染物生成密切相关。精确且高保真的温度测量可以为高温燃烧动力装备的在线监测、性能评估和主动控制提供数据支撑，同时也能给基础燃烧反应动力学和计算流体动力学研究的组分模拟提供可靠的温度边界条件。激光吸收光谱(Laser Absorption Spectroscopy, LAS)技术是具有代表性的非接触式测温技术，通过测量特定波长激光穿过待测目标区域前后的光强变化(图 1)，能够实现温度的快速、定量、免标定以及原位测量。该方法具有高灵敏度、高精度和简单的实验配置布局等优点，已成功应用于实验级火焰和工业燃烧推进系统的温度测量。

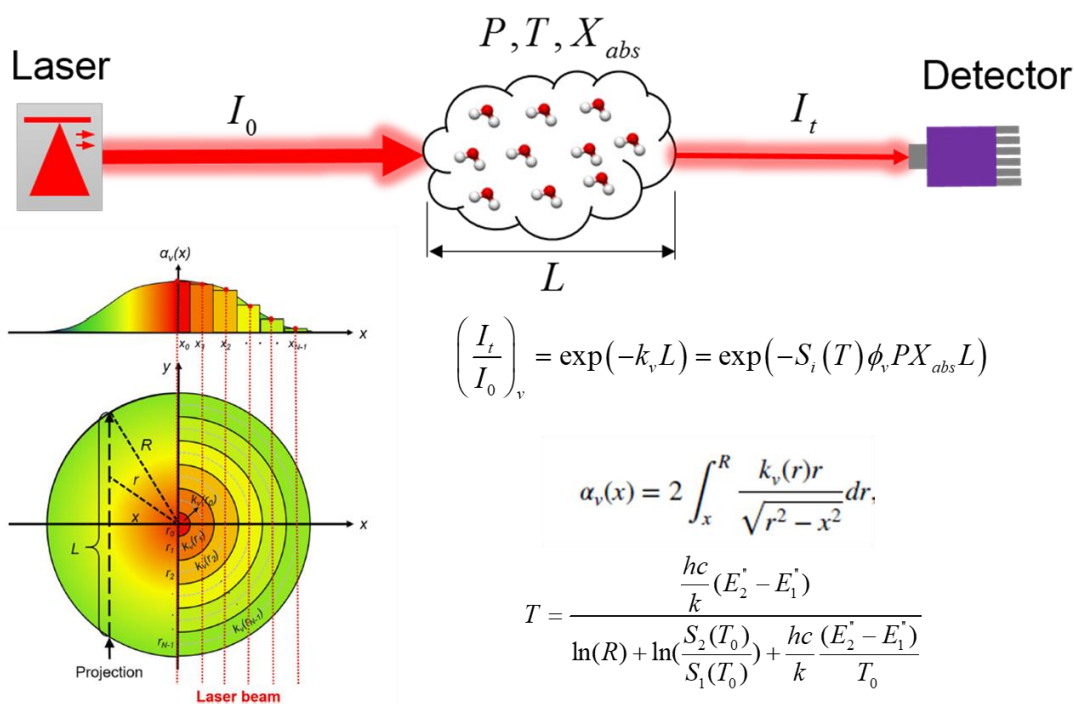


图 1. 激光吸收光谱技术测温原理示意图

本实验室具有长期设计和研发激光吸收光谱高温传感器和复杂恶劣现场测试诊断的相关经验，在过往 7 余年的研究中对各类基础火焰(标准层流预混火焰，层流对冲扩散火焰湍流射流火焰和本生灯火焰，图 2)的温度测量方法进行了深入而系统的研究。研发的相关高温检测方法(近-中红外跨谱带吸收光谱技术，中红外层析吸收光谱技术，低、中、高温气体光谱谱线准则，激光吸收诱导色散光谱技术)在光传感和燃烧领域顶级期刊 *Optics Letters*, *Proceedings of the Combustion Institute*, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, *Optics Express*, *Applied Physics B* 和 *Combustion Science and Technology* 等上发表(见主页“论文发表”板块链接)，以期对有意使用对冲火焰进行燃烧基础研究的学者提供参考。表 1 给出了激光测温技术的相关技术参数指标。

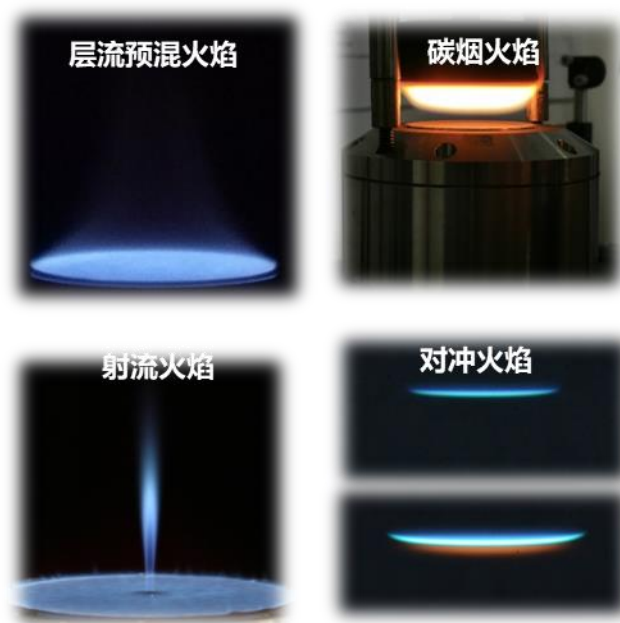


图 2. 基础火焰图片

表 1. 测温技术参数指标

温度测量范围	800-2800 K (可定制)
测量精度	3.5%-5.5 % F.S.
响应时间	0.1 ms-1s (可定制)
空间分辨率	最低为 150 $\mu\text{m}$
测量方式	原位, 非接触式

基于实验室创新的超高精度线型拟合方法, 跨谱带多线吸收光谱技术, 中红外层析吸收光谱技术, 低、中、高温气体光谱谱线准则, 实验室研发了适用于具有空间分辨率测量能力的宽温域火焰温度测量系统。包括 McKenna 燃烧器产生的标准层流预混非碳烟火焰(图 3)和碳烟火焰(图 4), 对冲扩散燃烧器产生的标准扩散火焰(图 5)和热伴流射流燃烧器产生的湍流射流火焰(图 6)。

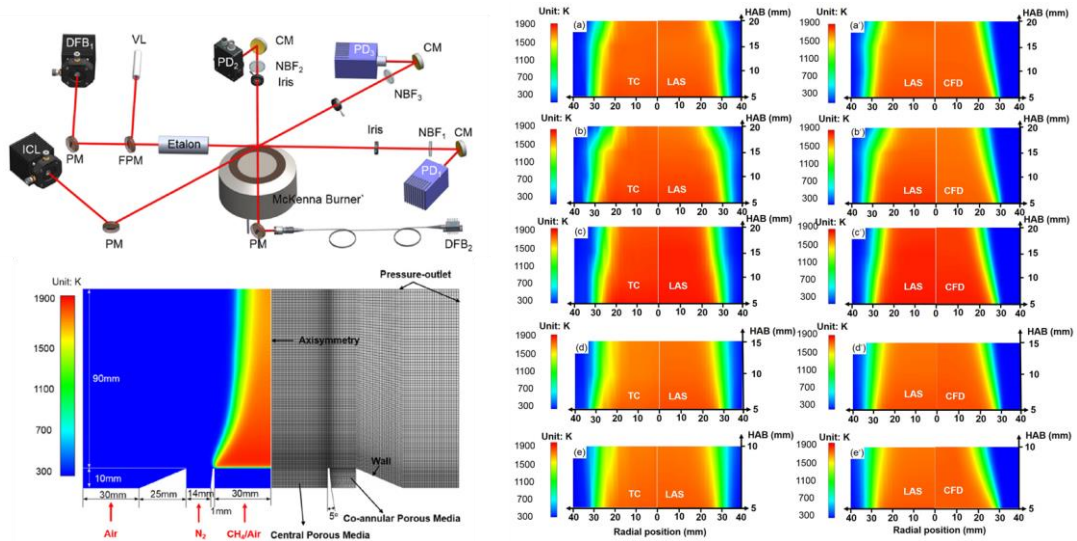


图 3. 基于近、中红外跨谱带吸收光谱技术标准层流预混非碳烟火焰非均匀温度场测量 (Experimental Thermal and Fluid Science, 112 (2020))

110013; Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 277 (2022) 107990; Applied Physics B, 124 (2018) 117; Applied Physics B, 123 (2017) 83.)

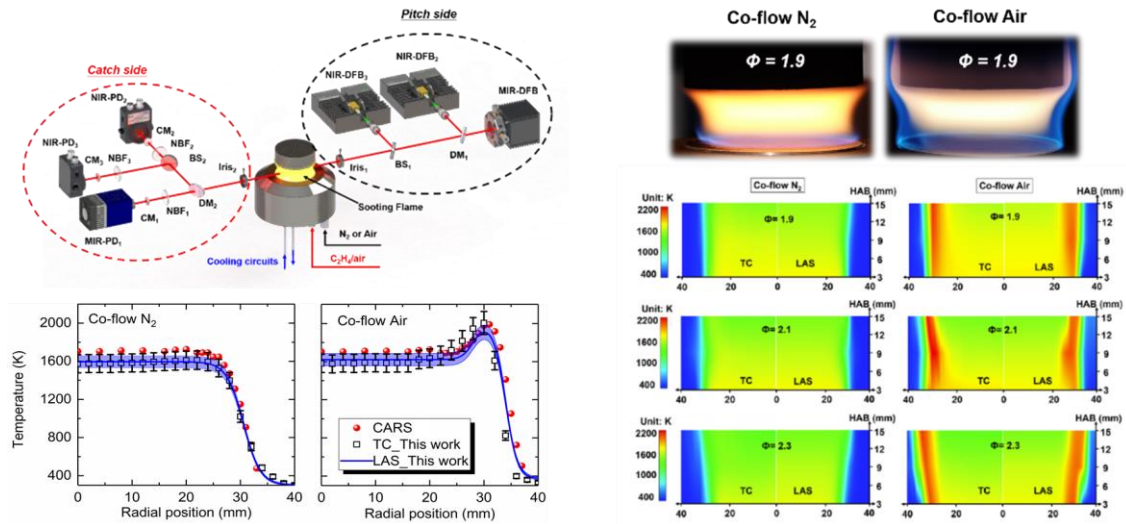


图 4. 基于近、中红外多线吸收光谱技术标准层流预混碳烟火焰非均匀温度场测量( Case Studies in Thermal Engineering, 28 (2021) 101575; Energy & Fuels, 32 (2018) 12962-12970.)

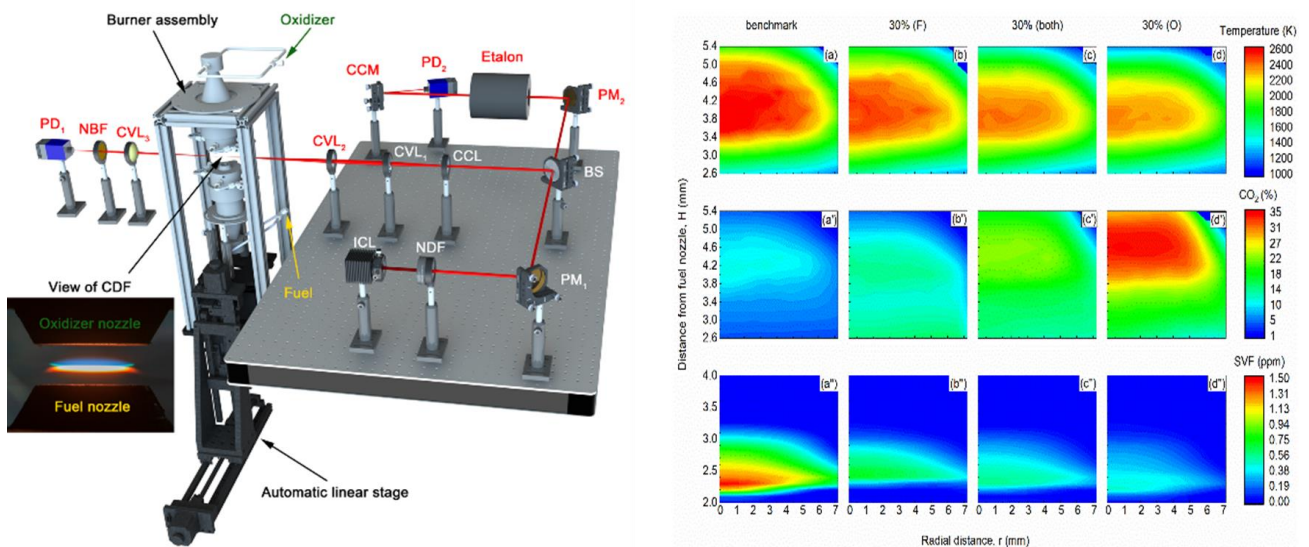


图 5. 基于中红外基频谱带多线吸收光谱技术标准对冲扩散火焰温度场, CO<sub>2</sub> 浓度场和碳烟浓度场的超高空间分辨率测量

(Optics Express, 28 (2020) 37879-37902; Applied Physics B, 128 (2022)

62.)

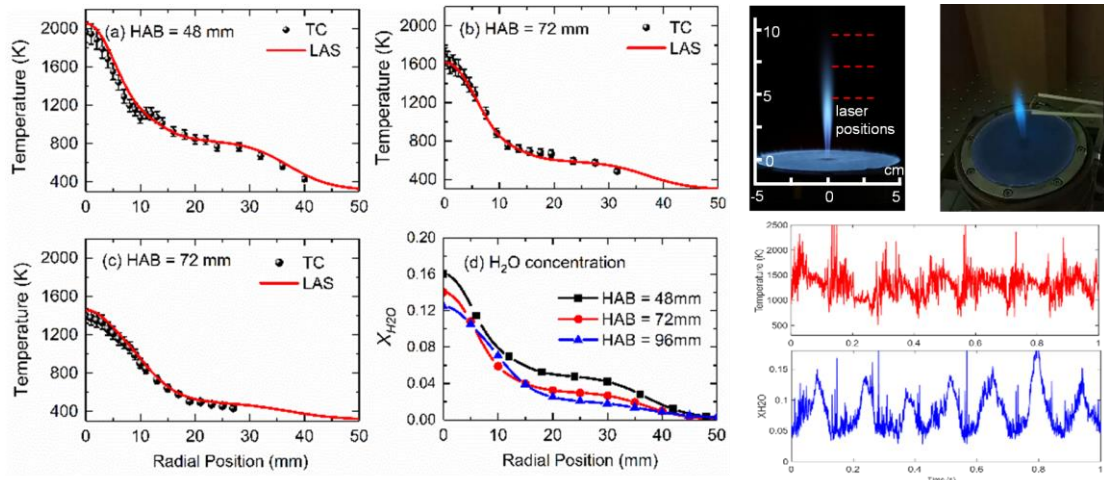


图 6. 基于近、中红多线吸收光谱技术射流火焰非均匀温度和  $H_2O$  浓度分布测量 (Optics and Lasers in Engineering, 154 (2022) 107014.)

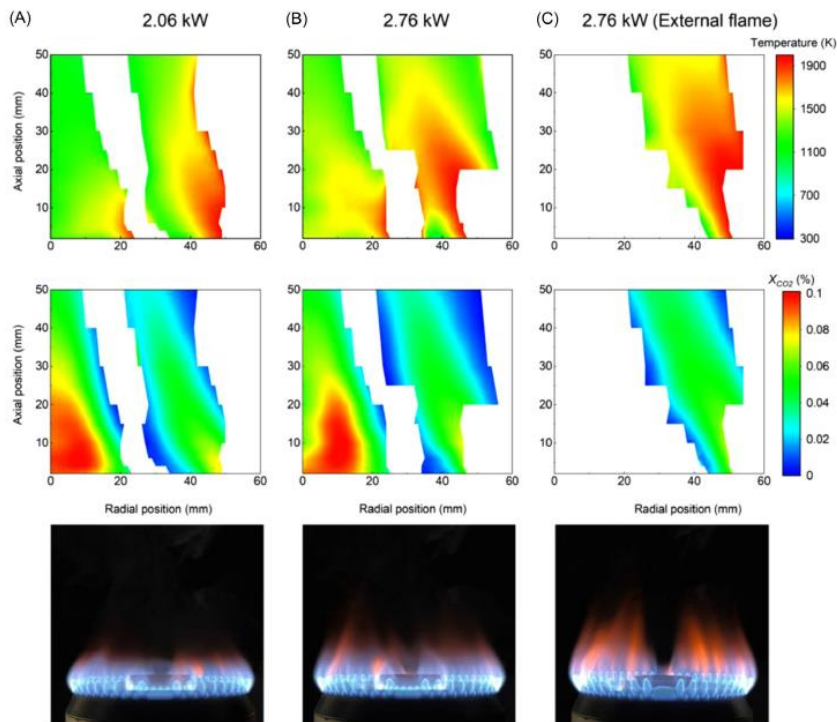


图 7. 基于中红多线吸收光谱技术的燃气灶温度和  $CO_2$  层析成像

(Microwave Optical Technology Letters, 65 (2023) 1215-1222.)

目前已与本实验室进行燃烧火焰温度检测相关合作的单位包括中国科学院工程热物理研究所和美的集团燃气热水事业部。其中与美的集团燃气热水事业部合作，研发了适用于燃气灶具高空间分辨率温度成像的多谱带高光谱层析吸收光谱技术，支撑了高效燃气灶具的研发，相关技术获得中国轻工业联合会科技进步一等奖。