

光谱仪在燃烧诊断实验中的应用

(北京卓立汉光仪器有限公司, 北京 101102)

摘要: 燃料燃烧诊断的方法有很多种, 其中可以通过光谱信息来诊断, 通过燃烧过程中的荧光光谱等信息, 可以分析火焰瞬时的结构, 组分浓度等信息。

关键词: 燃料燃烧;光谱诊断;火焰瞬时结构;中间产物

燃烧是一种瞬态的化学反应动力学过程, 科学家利用传统的光电技术, 结合激光技术, 光谱技术, 图像处理技术用来分析燃烧场的温度, 组分等参数, 对优化发动机的喷雾燃烧提高燃烧效率, 减少污染物等有着重要的意义。

燃烧诊断的方法有很多种, 有些是直接高速测量燃烧的全过程, 有些利用光谱仪加 PMT 监控某些指示化学键发光的过程来分析燃料配比, 有些则利用激光技术, 燃烧化学反应时会产生一些中间产物 (如 CH、OH 等), 这些产物会吸收激发激光并发出特征光谱信号。科学家分析这些荧光光谱等信息, 可以分析火焰瞬时的结构, 组分浓度等信息。

科学家通过分析多组分煤油的低温点火性能, 发现添加某些活化剂可以大大降低煤油的燃点, 使其在较低温度时能够充分燃烧。

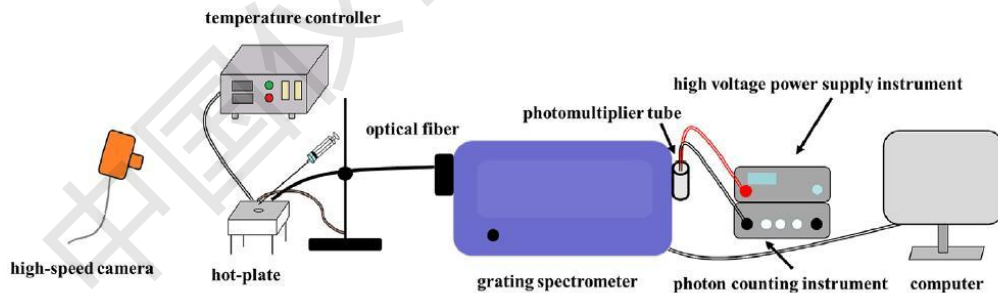


图 1 低温点火测试实验图

上图为相关的实验简图, 图中科学家将掺有一定比例活化剂的煤油滴到变温台上, 变温台可以从 100 度到 600 多度控制, 高速相机拍摄液滴在变温台上随温度变化后的燃烧情况。而在燃烧时火焰发光通过光纤收集到光谱仪中, 再由 PMT 监控发光波段随时间变化的衰减过程。整个实验中, 监控燃烧产物 OH 自由基的发光波段 306.5nm, 光谱仪将色散位置设置到该波段, 然后用 PMT 进行监控。监控过程中 PMT 高压设置为 1000V, 使其处于光子计数状态, 然后连接数采, 对 OH 发光进行实时监控扫描。

当激光引入到燃烧实验中时，又会有很多有趣的现象发生。首先是拉曼光谱分析。

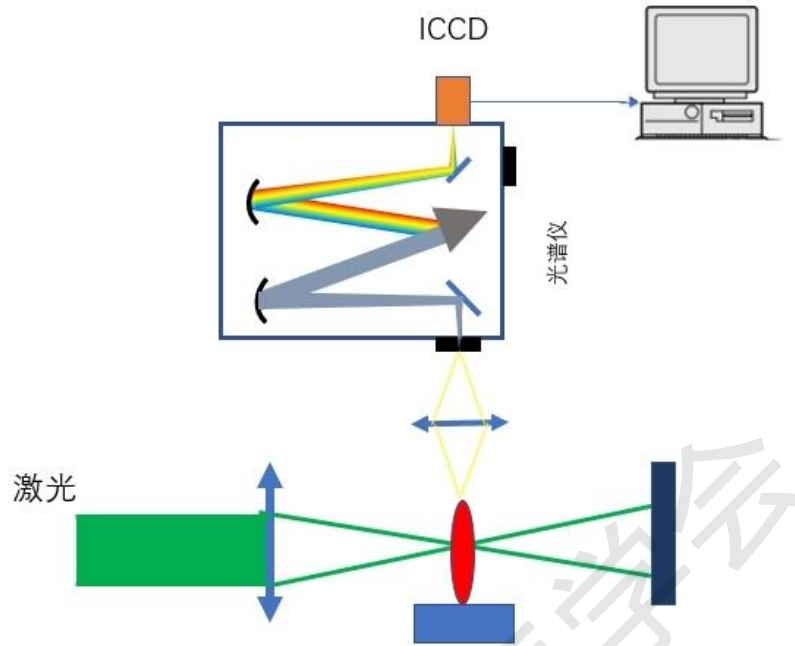
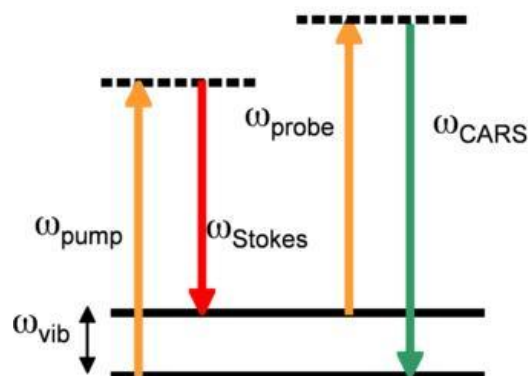


图2 火焰燃烧的拉曼光谱分析

在燃烧的不同时刻，由于燃料从刚开始不充分燃烧，中间产物较多，到充分燃烧，再到慢慢冷却。整个过程中各种成分的拉曼信号的分布是一个渐变的过程，我们可以利用这些信号变化来分析优化燃烧气体的比例浓度。实验中一般采用低重频的 Nd: YAG 脉冲激光器结合 ICCD 来进行研究分析。

如果将染料激光器引入实验，在 Nd:YAG 激光器后面接上染料激光器，用 532nm 泵浦我们可获得多个波段的激发激光，例如 606nm 的激光，然后经与两束 532nm 激光在时域上进行调整，在满足 CARS 的相位匹配条件下，我们可以得到相关的 CARS 信号，从而可以用来分析燃烧场的温度和组分浓度信息。



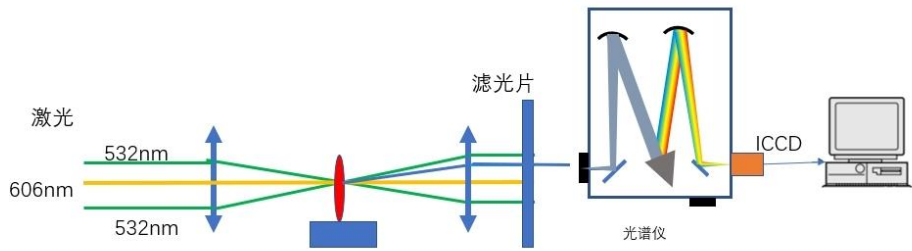


图3 CARS 原理简图和实验装置简图

在燃烧过程中，燃烧不充分会产生很多中间产物，我们也可以用激光激发火焰中这些中间产物获得荧光来分析，也就是激光诱导荧光（LIF），如果将激光经过柱面镜等光学元件整形形成很薄的一个平行平面光，这是我们称该实验为平面激光诱导荧光（PLIF）

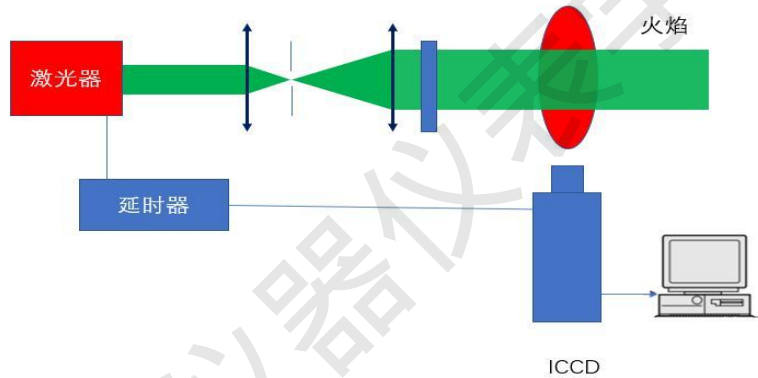


图4 PLIF 实验简图

实验中，我们可以用 ICCD 或是高速相机拍摄例如 OH 分子荧光在燃烧过程中的分布情况。

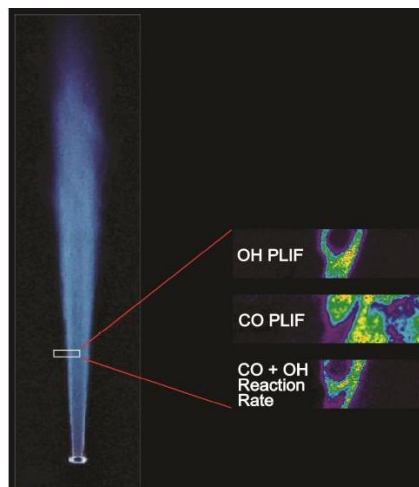


图5 采用 ICCD 获得的火焰 OH PLIF 图像来研究火焰内部湍流结构分布

卓立汉光可以提供燃烧诊断中的各种产品，例如光路系统搭建所需的光机产品，如柱面镜，延时光路系统等，也提供各类光谱仪配置，例如光谱仪同 PMT 的组合，也提供光谱仪同各类相机的组合，特别是燃烧诊断实验中不可或缺的 ICCD 相机，卓立汉光也可以非常完美的进行匹配工作。

参考文献:

- [1] Zhu Jiajian, Wan Minggang, Wu Ge, Yan Bo, Tian Yifu, Feng Rong, Sun Mingbo, Chinese Journal Of Lasers,48 (4) ,0401005 (2021) .
- [2] Haoqiang Sheng, Xiaobin Huang, Yuan Ji, Zhengchuang Zhao,Zhijia Chen, Hong Liu,international journal of hydrogen energy,46,27207 (2021) .
- [3] Frank JH, Kaiser SA,and Long MB,Proceedings of the Combustion Institute,29(2),2687(2002)