

燃烧诊断 系统解决方案



绵阳煜营科技有限公司
MIANYANG YUMING TECHNOLOGY CO., LTD



中智科仪
Intelligent Scientific Systems

- > PLIF平面激光诱导荧光系统 <
- > CRDS光腔衰荡光谱 <
- > 燃烧拉曼光谱测试系统 <
- > CARS相干反斯托克斯拉曼光谱 <
- > 瑞利散射RayleighScattering <

PLIF平面激光诱导荧光系统

概念

平面激光诱导荧光 (Planar laser induced fluorescence, PLIF) 技术是利用片状的可调谐激光选择性激发待测环境中的特定组分, 通过测量激发态组分辐射的荧光而获取片光区域该组分的二维空间分布信息。该技术是一种基于光谱学的燃烧及等离子体放电诊断技术, 是当前研究复杂流场、燃烧学、等离子体放电最重要的技术手段之一, 先后被应用于稳态层流火焰、湍流扩散火焰、超声速燃烧、爆轰及激波诱导燃烧等诊断中。

相对于其他诊断技术PLIF 具有如下优点:

- 1) 非接触式测量, 不干扰待测环境;
- 2) 时间/空间分辨率高, 时间分辨可达纳秒量级, 可获得二维空间信息;
- 3) 灵敏度高, 个别组分探测下限最高可达 10^6 个粒子/ cm^3 ;
- 4) 测试目标范围广, 可实现原子、分子、离子以及自由基的诊断。

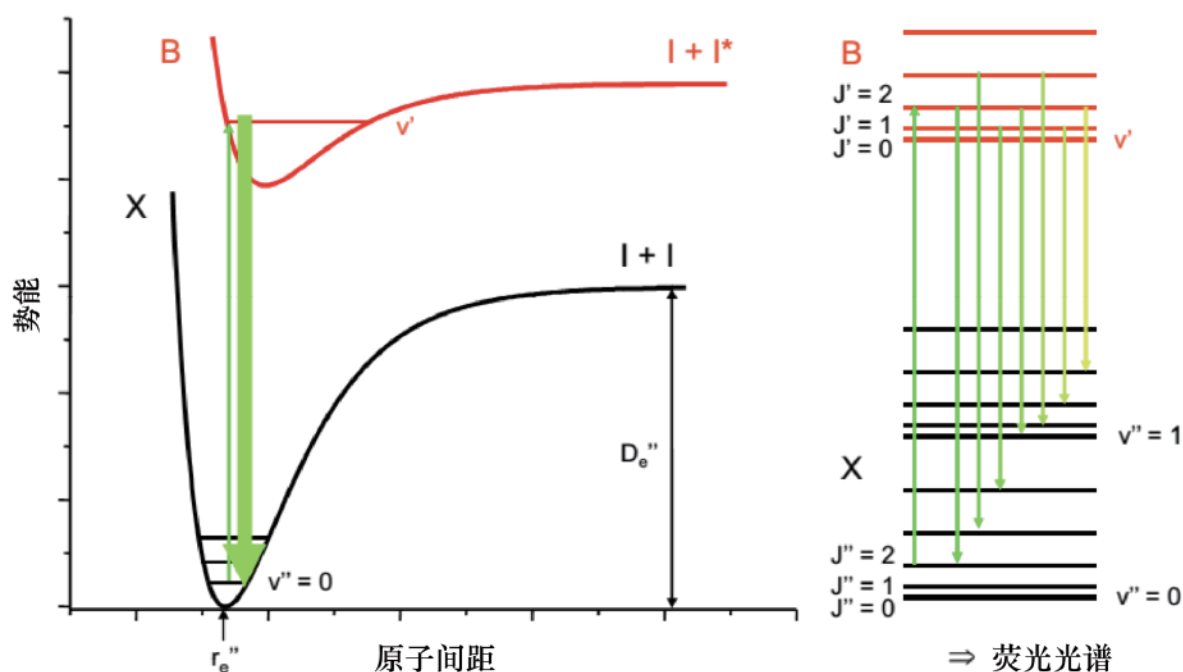
基本原理

PLIF基本原理是待测环境(如火焰)中痕量组分的分子或原子在入射激光的作用下由低能态跃迁到高能态, 能级差与入射光共振, 以达到在高能态布聚的最高效率, 为获得高强度的荧光信号提供前提, 随后部分粒子从受激的高能态回落到不同的低能态, 从而辐射出由不同波长组成的荧光光谱带, 通过总荧光强度测量实现流场可视化。

由于荧光的检测时间分辨为纳秒量级, 对于个别寿命较短的组分, 尤其是化学反应中的中间产物, 荧光测量可以实现组分分布的瞬态冻结, 从而可以从中提取有用的信息。例如针对燃料的燃烧过程, 能够诱导荧光的痕量组分有OH、NO、CHO、H₂、H₂O和NO₂等, 它们是火焰化学反应中极为活跃和重要的因素, 通过对自由基浓度和分布的分析, 可以得到火焰结构、反应机理、燃烧效率等方面的信息。

一般情况下,荧光的强度与温度、压力、组分浓度以及一些已知的实验参数有关,通过采取适当措施,可以使荧光强度仅与组分浓度相关联,实现浓度场的定量测量。另外可以利用粒子从受激能态向低能态回落与温度的相关性,通过比较两个单脉冲激光诱导的荧光强度实现温度测量。由于光与物质相互作用发生的时间非常短暂,激光诱导荧光方法具有很高的灵敏度。与拉曼散射和瑞利散射相比,激光诱导荧光的信号强度要高出5~15个数量级,这样更有利于瞬态信息的捕捉、量化。

PLIF系统采用片状激光激发待测环境的瞬态组分,测量辐射相关特定荧光光谱,对该特定光谱进行记录,通过图像处理,得到相关成分浓度或者诊断场温度的空间分布。以火焰为例,通过不同技术可获取燃烧过程中组分的一维、二维、三维空间分布,从而确定不同环境燃烧情况、燃烧效率及燃烧过程。

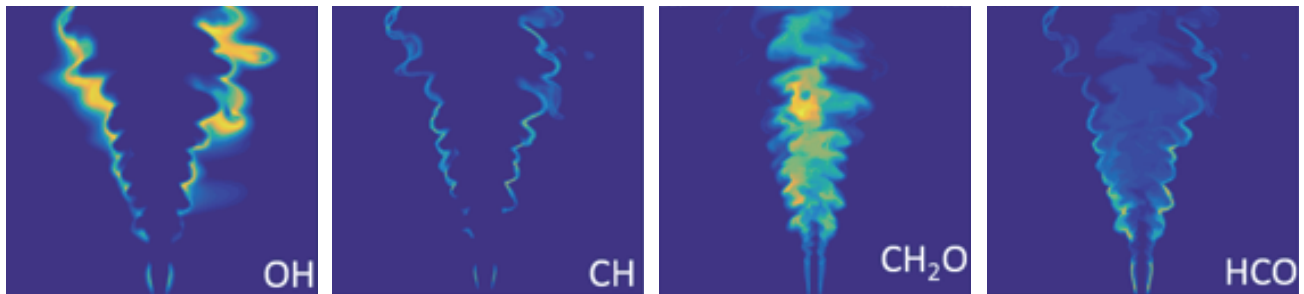


荧光激发物理过程示意图

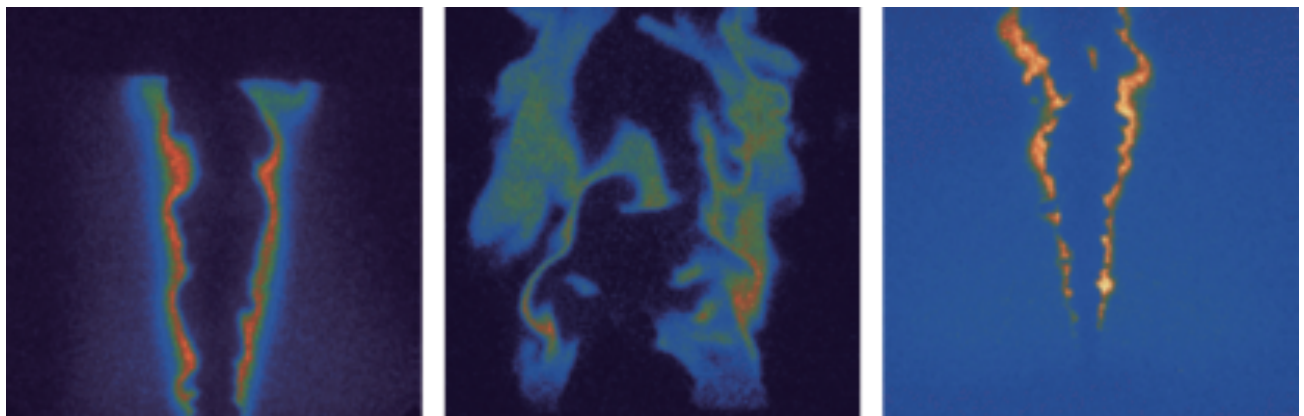
应用

1. 燃气轮机
2. 汽车引擎
3. 工业燃烧
4. 清洁能源
5. 爆震与爆轰
6. 航空发动机
7. 空气动力学
8. 化学反应动力学
9. 先进航空航天动力
10. 湍流燃烧与CFD验证

PLIF测试

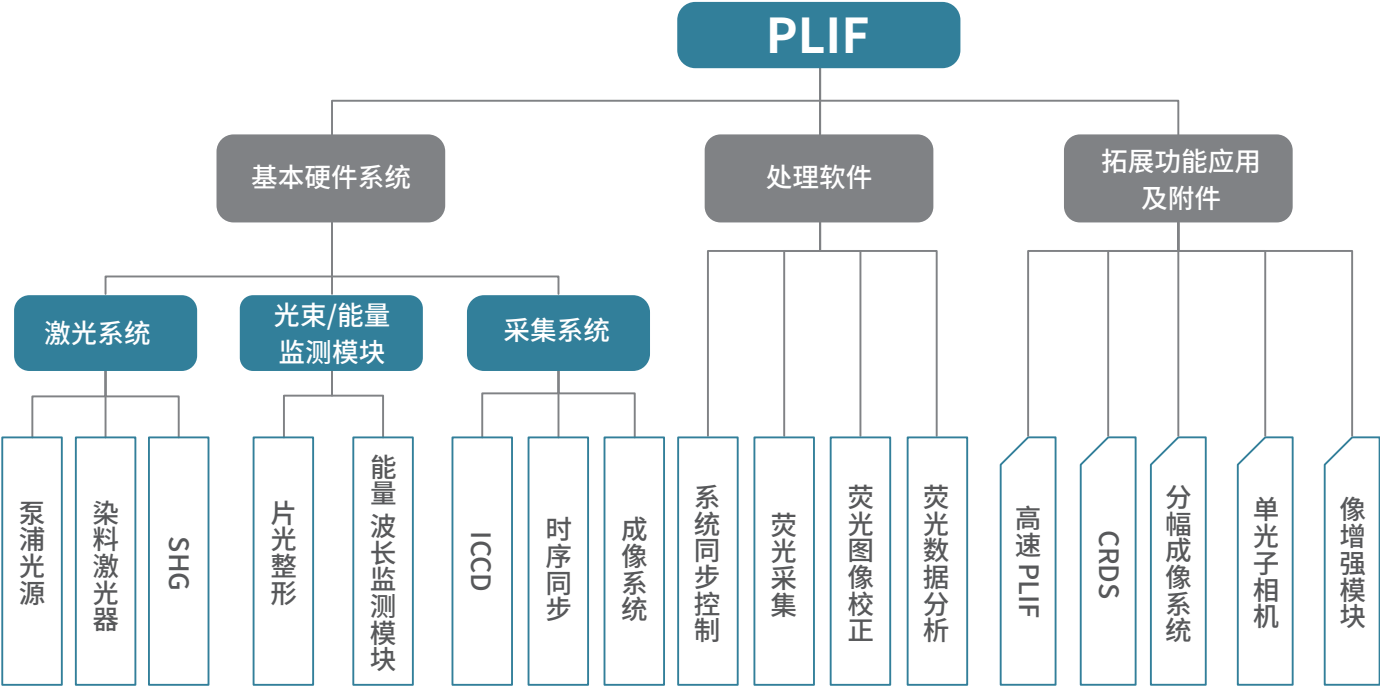


典型射流火焰瞬态组分分布

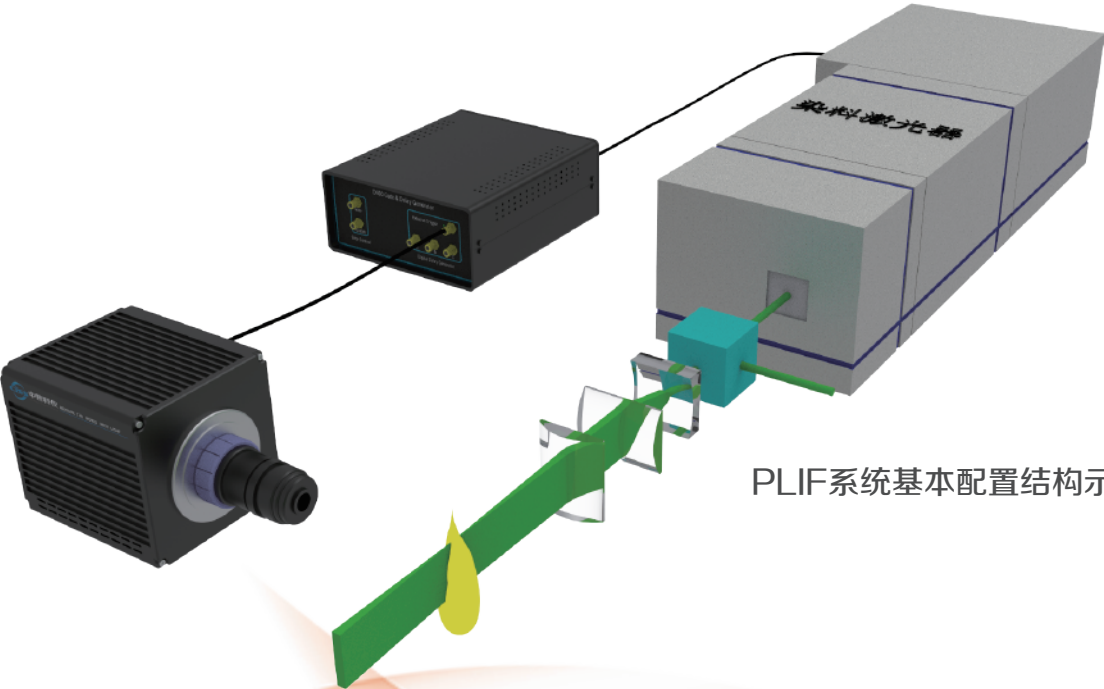


射流扩散火焰OH二维浓度分布

系统组成



PLIF系统组成框图



PLIF系统基本配置结构示意图

PLIF硬件组成

YAG泵浦激光器

输出波长	532nm	单脉冲能量	≥400mj
工作频率	10Hz	脉冲宽度	≤10ns

可调谐倍频染料激光器

泵浦波长	532nm	输出能量	≥20mj@282nm
输出线宽	0.07 cm ⁻¹	泵浦效率	25%@560nm

片光系统

片光宽度	5-50mm	片光厚度	0.5-1mm
------	--------	------	---------

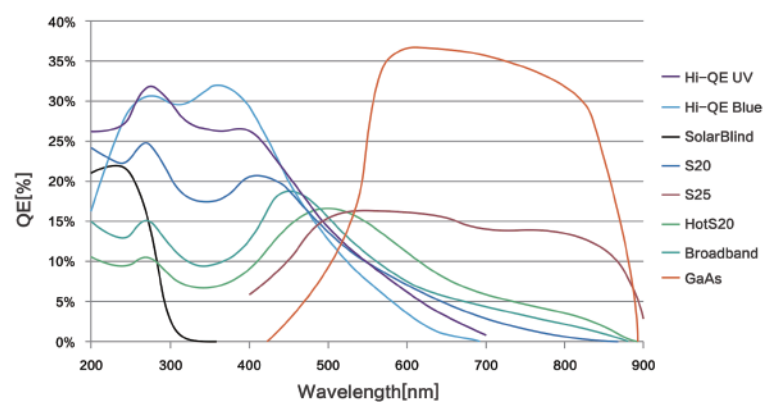
激光监测组件

激光波长监测			
波长精度	3pm	光谱分辨率	7pm
输入方式	光纤	工作原理	阶梯光栅光谱仪
激光能量计			
测试量程	1J	测试精度	+/-2%

紫外镜头

焦距	100mm	入瞳直径	50mm
成像距离	0.3m-5m	F/#	F/2
工作波段范围	190-800nm	滤光片尺寸	Ø50

ICMOS

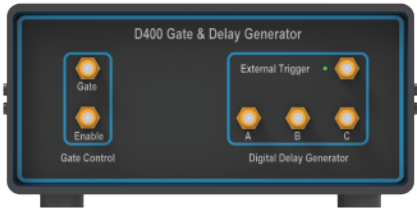


光阴极量子效率曲线

分辨率	1920×1200
光学传函 (MTF)	>45LP/mm (单层)、>30LP/mm (双层)
波长范围	200-900nm
最短光学门宽	<3ns
光学增益	>2000 (单MCP) ;>100000 (双MCP)
最高帧速	162fps@1920×1200
外触发延时	<85ns

时序控制模块

延时器	四通道高精度数字同步延时控制器
模块触发	3ns门控模块触发
延迟时间	100ps-10s
时间分辨率	<10ps
抖动	<10ps
上升沿/下降沿	<750ps



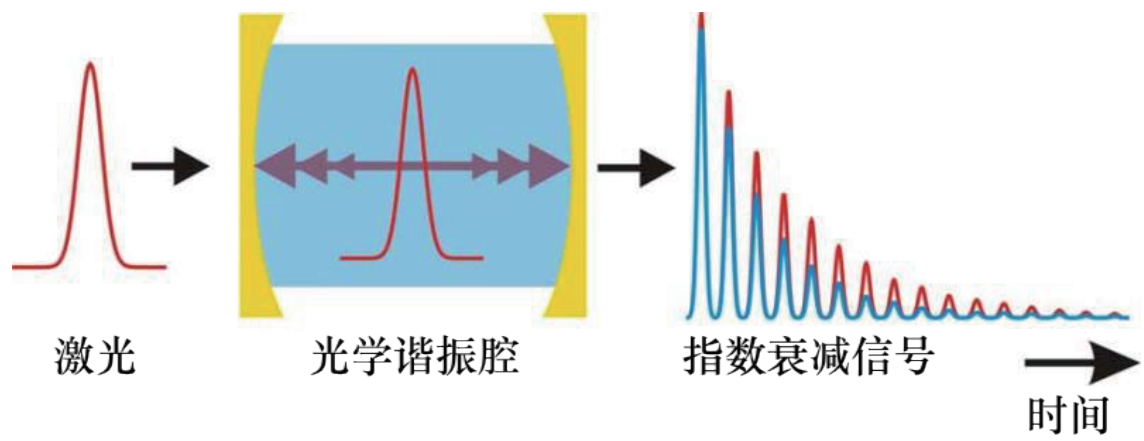
高速相机

最大帧频	>1000fps
像增强模块 (推荐)	光学增益>2000 (单MCP) ;>100000 (双MCP) , 最短光学快门<3ns

CRDS(光腔衰荡光谱)

光腔衰荡光谱 (CRDS) 是一种高灵敏度的吸收光谱探测技术, 一束脉冲激光被耦合到一个光学谐振腔中, 谐振腔由一对平行放置的反射镜 (反射率为 R) 构成。耦合进入谐振腔后, 脉冲光在腔内发生多次反射, 每个来回都有少部分光透射出光腔。一个光电探测器放置在谐振腔后面, 探测到一串e指数衰减的脉冲信号。探测器由于时间分辨率的限制, 或许不能分辨出单个脉冲, 但可以测量得到衰减的轮廓曲线。对衰减曲线进行e指数拟合, 可以得到光腔的衰荡时间。该时间仅与衰荡反射镜的反射率和衰荡腔内介质的吸收有关, 因此测量结果不受激光脉冲涨落影响, 具有灵敏度高、信噪比高、抗干扰能力强等优点, 是一种微量吸收检测的标准方法, 被广泛应用于反应动力学、等离子体物理、燃烧诊断等领域。

- 腔镜反射率:>99.8%;
- 腔长:600mm(可定制)。



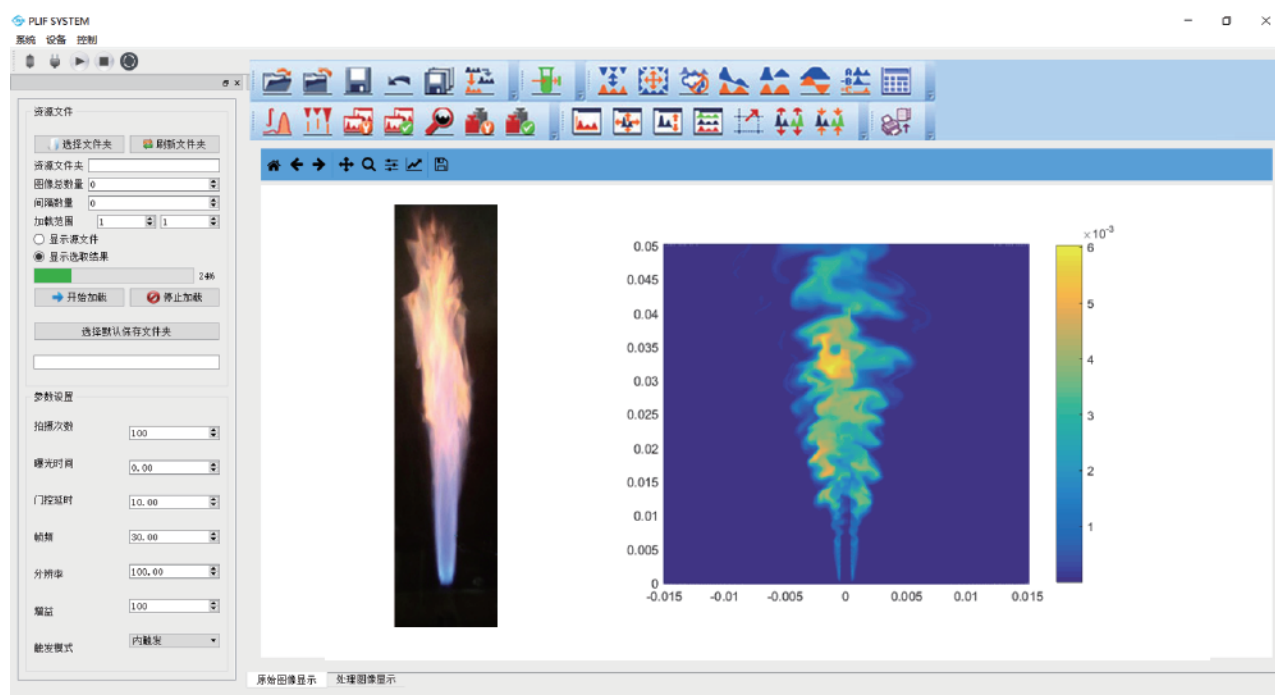
脉冲型光腔衰荡光谱技术原理

处理软件

软件包括：系统同步控制、荧光采集、荧光图像的矫正、数据分析等功能。

功能描述

- 系统整体的参数设置及控制，图像采集及预处理，支持同步器、激光器、相机等硬件的驱动控制；
- 支持图像实时显示、存贮、分析，可实现长时间连续采集，支持信号增益功能和时间门控选通，实现极弱信号采集、时间和空间分辨影像捕获等功能；
- 图像处理界面友好，操作使用方便，功能完备并可升级；
- 具有标量场的非线性标定和分析功能，提供后期数据文件软件处理公开源代码。
- 包含：LIF软件模块、LII软件模块、吸收校正软件模块、喷雾测量软件模块及波长调谐模块等。从而可对燃烧产生的自由基OH,NO,CH,CO相对浓度分布的测量数据，燃烧产生碳烟的相对浓度分布的数据以及喷雾相关数据进行处理；
- 具备进行染料激光波峰的搜索功能，使用便利。

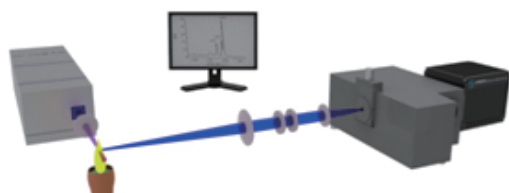


软件界面

燃烧拉曼光谱测试系统

中智科仪专利技术的门控单光子相机，让燃烧场的拉曼光谱测试变得异常简单。面对各种复杂的燃烧环境，可以轻易、稳定的获取拉曼信号。

测试实例:开放环境下液化丁烷气燃烧的拉曼光谱



激光器:266nm/20mj/10ns/10Hz脉冲激光器

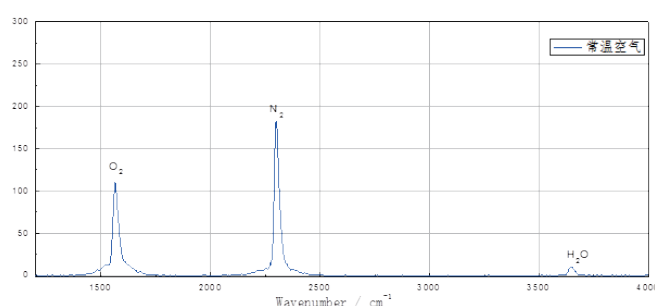
光谱仪:350mm焦距光栅光谱仪, F/3.8

探测器:门控单光子相机, 10ns快门, 1920*1200

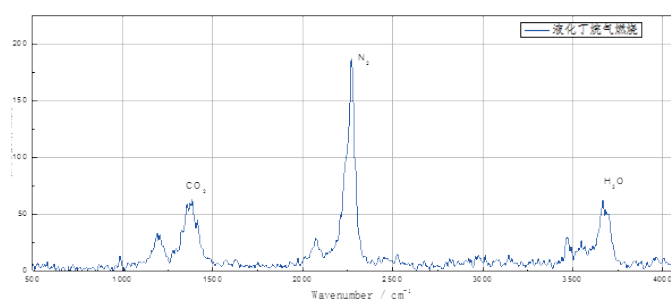
二维阵列单光子探测

收集光路:ø28/f32及ø50/f75组合透镜

探测距离:30cm



常温室室内空气的拉曼光谱



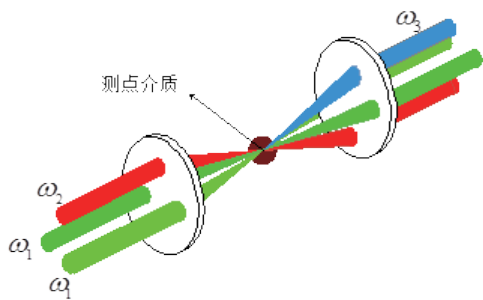
液化丁烷气燃烧的拉曼光谱

由于燃烧区域几乎耗尽了氧气分子，此刻氧气分子的拉曼谱不再显现，燃烧产物CO₂和H₂O的拉曼信号显著增强。同时，由于温度升高导致拉曼谱线的展宽也在氮气分子拉曼谱上突显出来。

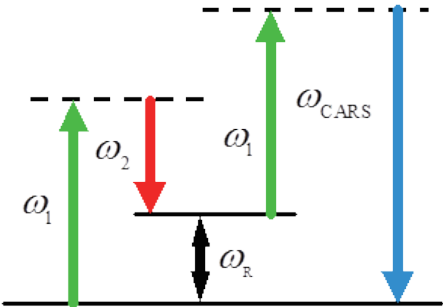
相干反斯托克斯拉曼光谱 (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy, CARS)

基本原理

CARS (相干反斯托克斯拉曼光谱, Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy) 是一种基于三阶非线性拉曼散射的非线性效应的测量方法, 利用满足一定频率要求和一定相位匹配条件的激光束照射拉曼活性介质, 然后通过所产生的CARS信号分析得到拉曼介质及其周围环境信息的技术。CARS具有一些其它光谱技术不具备的优势信号方向性, 有利于提高测量时的信号采集效率; CARS具有比一般其它拉曼光谱高的信号强度; 交叉相位匹配测试, 还具有较高的空间分辨能力, CARS信号光谱与辐射光谱在空间上容易分离, 分辨力和灵敏度都较高, 并且能有效地摒除荧光和非相干背景光的干扰。不仅能用于组分浓度测量, 更重要的是能够实现高温下气体温度测量。



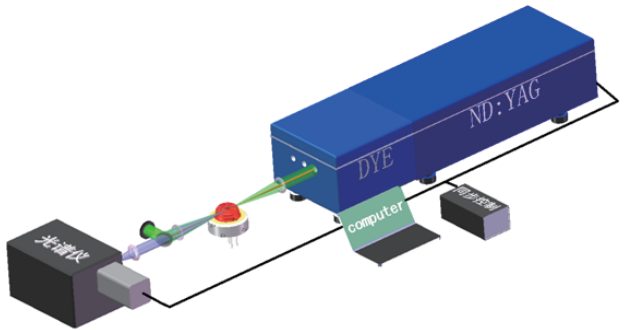
CARS产生过程示意图



CARS过程能级跃迁示意图

系统组成

CARS系统主要由光源(激光器)、光谱仪(含探测系统)、CARS光路以及时序控制器组成。



优势/特点

- **非侵入式**: 不干扰流场, 能够实现原位测量
- **高时间/空间分辨**: 通过设计可以实现微米级的探测精度、ns级的时间分辨
- **高精度**: 测量温度结果直接匹配分子能级波尔兹曼分布, 无需标定。

瑞利散射Rayleigh Scattering

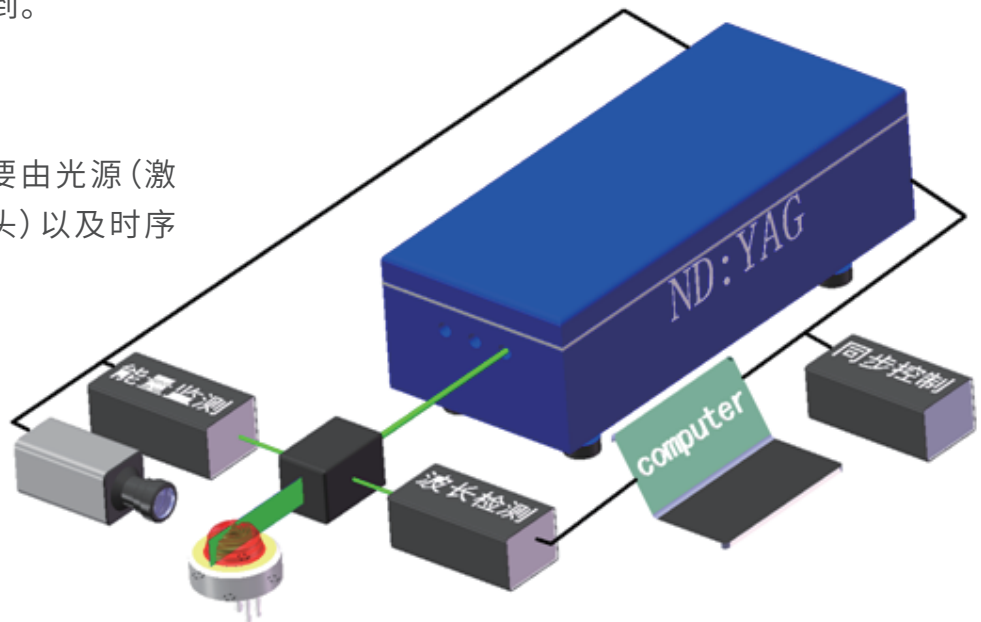
瑞利散射是一种弹性散射，当粒子的尺度小于照射波长十分之一甚至更小时发生的散射现象。散射光与入射光频率相同，强度与入射光波长的四次方呈反比。散射信号可以直接反应气体的温度、浓度以及速度，在片光照射下还可以进行二维场分布测量。

基本原理

瑞利散射强度取决于入射光强度以及有效瑞利散射截面。有效瑞利散射截面与气体的组分以及体积分数相关，可以通过计算得到。

系统组成

瑞利散射测量系统主要由光源（激光器）、ICCD（成像镜头）以及时序控制器组成。



优势/特点

- **非侵入式**: 不干扰流场，能实现原位测量
- **高时间/空间分辨**: 通过设计可以实现微米级的成像精度、ns级的时间分辨
- **二维测量**: 可以实现二维温度场的可视化

其他信息

- 很多具体应用中，直接瑞利散射成像会受到很多干扰和局限，可以采用分子滤波的方式来实现高精度二维测温（FRS: Filter Rayleigh Scattering）。
- 瑞利散射信号的多普勒频移也可以用于气流速度测量。

功能拓展

高速PLIF

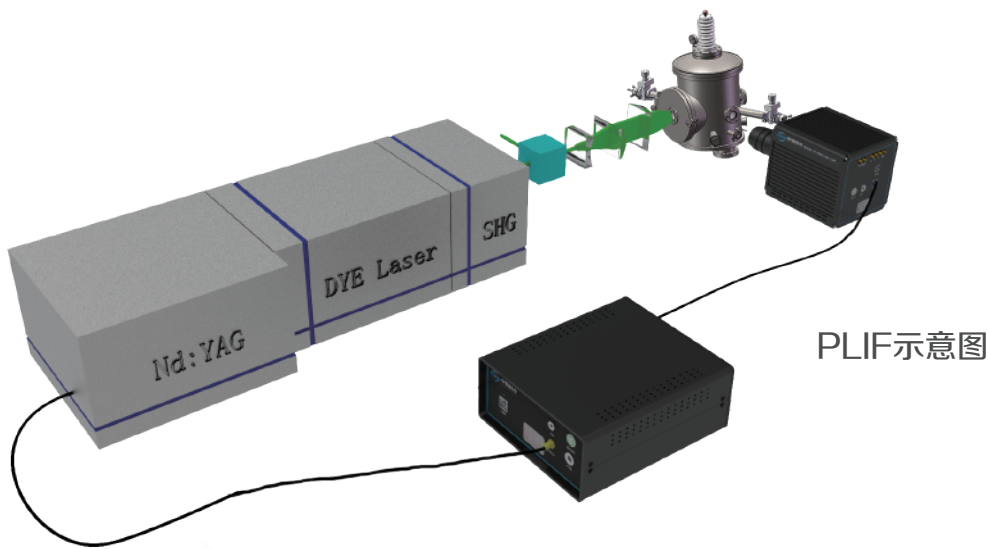
目前，商用成熟的PLIF系统工作频率较低（通常为10Hz），多用于稳态环境的测试。而对于诸如高超声速燃烧等复杂的环境，气流的有效驻留时间在毫秒甚至百微秒量级，高重频测量成为PLIF给出有效测试结果的关键。高速PLIF可以实现对诊断场状态参量在空间分布的高速连续测量，极大提高测量的时间分辨率，是获取非稳态流场与燃烧过程中化学变化作用机理的重要手段。由于高重频的激光输出能量较低，因此高灵敏度的探测器成为高重频PLIF应用的核心关键技术。定制高重频PLIF系统，所需技术参数为：

泵浦激光器

重频	>500Hz
脉宽	<20ns@500Hz
能量	>200mJ@532nm@500Hz
P-P不稳定性	<1%
M2因子	>10

染料激光器及倍频装置

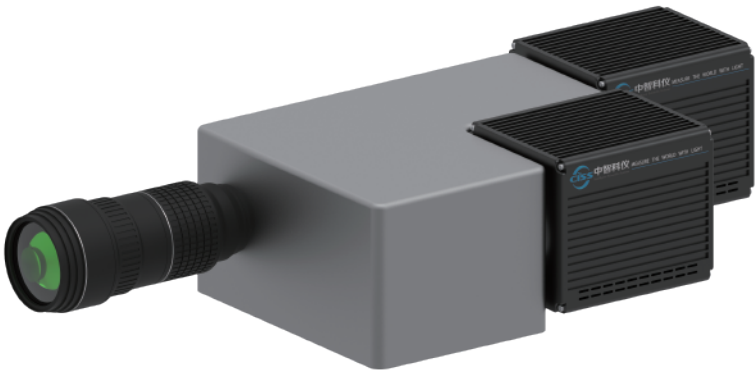
波长重复精度	<0.002nm
扫描线性度	<0.002nm
波长稳定性	<0.001nm/°C
发散角	<5mrad



分幅成像系统

分幅相机是采用分光系统及快光电子技术，整合多台ICCD相机或高速相机于一体，实现同一视场内目标的高速分幅拍摄的一种超高速相机。分幅相机可以兼顾亚纳秒的时间分辨及较高的空间分辨能力，因此在诸如燃烧、等离子体等多个领域的超高速过程诊断中备受欢迎。

分幅通道	二分幅、三分幅、四分幅
最优波长	220-500nm (紫外分幅) ; 400-700nm(可见分幅)
成像类型	中继镜分幅(方便用户根据需求自由选择物镜)
传递函数	>0.4@40lp
畸变	<0.1%
接口类型	尼康F口或C口



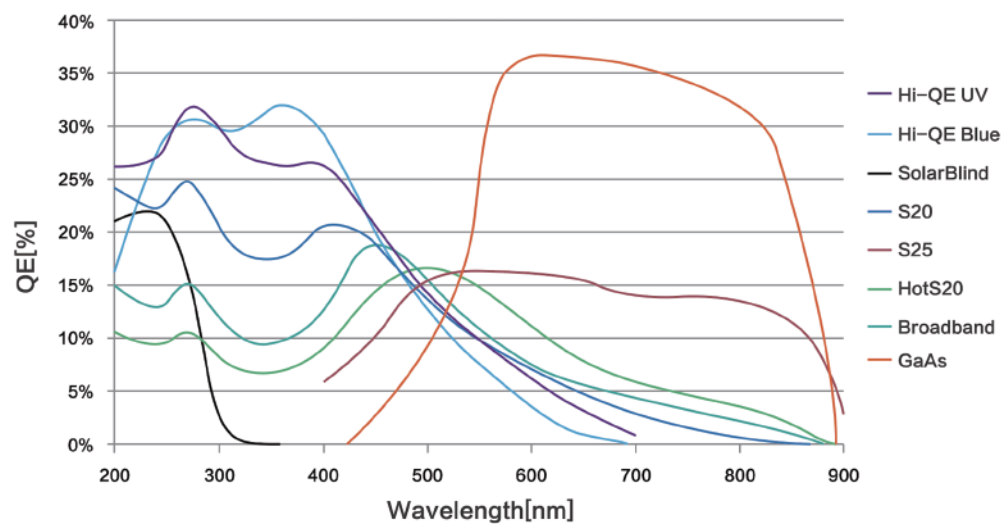
分幅成像系统

图像增强模块

图像增强模块主要包含像增强器、中继成像元件、增益控制器、门控模块、时序控制器等，其功能是通过单层（或双层）像增强器实现光-电-光转化及放大，并将放大后的图像信号通过镜头（或光纤锥）耦合方式实现到探测面的图像中继。图像增强模块可直接与科学级CCD、高速相机、sCMOS等联用，实现信号的高增益、高信噪比，解决微弱发光或高速成像中的问题。



光学增益	>2000 (单MCP) ;>100000 (双MCP)
光学传函 (MTF)	>45LP/mm (单层)、>30LP/mm (双层)
波长范围	200-900nm
最短光学门宽	<3ns;
最高帧频	3×10^5 fps@外触发
外触发延时	<85ns



图像增强模块量子效率曲线



绵阳煜茗科技有限公司由中智科仪(北京)科技有限公司与燃烧诊断领域专业技术人员联合成立。为提供更加专业的技术服务,煜茗科技搭建了200多平米的燃烧诊断实验室,配备窄线宽染料激光器、宽带染料激光器、ICMOS、光谱仪、高速像增模块、单光子相机等比较齐全的诊断测试硬件设施,逐步为更多的科研用户提供方案可行性评估、现场测试、项目合作等服务。

欢迎预约参观及技术交流。

中智科仪(北京)科技有限公司

地址:北京市昌平区龙域中心A座1010室

网址:www.cis-systems.com

绵阳煜茗科技有限公司

地址:绵阳高新区石桥铺跨境电商产业园4-2-404号

网址:<http://www.my-tek.cn>

电话:010-86465503 邮箱:info@cis-systems.com