

## 背照式传感器技术如何支持 多燃料内燃机研究

研究人员将先进的成像技术与高速摄像机相结合，以研究发动机燃烧和优化设计。



研究人员:

教授, David  
Rothamer, 威斯康星  
大学麦迪逊分校发动  
机研究中心 (ERC)

应用:

燃烧成像

成像技术:

纹影与阴影摄影

开发者:

增加对燃料特性和燃烧过程之间相互作用的理解可以帮助我们开发出更高性能和效率的先进内燃机。为此，威斯康星大学麦迪逊分校机械工程系发动机研究中心 (ERC) 的研究人员将先进的成像技术与高速摄像机相结合来研究这种相互作用。

在这所高校的 ERC, David Rothamer 教授和他的团队通过在光学发动机中开发和实施基于光学和激光的诊断, 对混合压缩点火 (MCCI) 发动机的燃烧过程有了更深入的了解。具体来说, 他们使用纹影和化学发光成像技术进行高速可视化实验, 以学习如何设计可由各类燃料驱动的内燃机。

## 多燃料发动机的挑战

多燃料内燃机可以使用柴油、喷气燃料、可持续航空燃料、汽油和生物衍生碳氢化合物, 如乙醇和甲醇。由于每种燃料的化学和物理性质各不相同, 因此, 开发一种性能和排放特性与传统内燃机相似的多燃料发动机是一项重大挑战。幸运的是, 通过使用先进的成像技术, Rothamer 和他的团队正在推动多燃料燃烧研究向前发展。

## 纹影成像揭露燃料射流的行为

ERC 的研究人员使用了两台 Phantom 高速摄像机 (一台 v2640 和一台 v1840) 对实验中的燃烧过程进行成像。v2640 用于缸内纹影成像, 这项技术常用于空气动力学、弹道学和爆炸物研究等领域, 是一种通过检测密度梯度来可视化气体等透明介质中流动的技术。

纹影成像使研究人员能够可视化燃烧气缸中产生的燃料射流的密度梯度。观察燃料射流的行为有助于他们更多地了解射流如何在燃烧室内渗透和混合。

为了观察燃料射流和燃烧过程, 该团队使用了一台光学发动机, 其燃烧室配备了一个活塞, 活塞包含一个熔融石英窗口和一个安装在气缸盖上的镜子, 可以进行纹影成像。

研究团队使用大功率的、准直的蓝色 LED 光源, 将光从活塞延伸镜反射回来, 并通过活塞窗口传送。光穿过燃烧和空气的混合物, 从头镜反射, 然后通过活塞窗口传回。光穿过活塞窗口后, 再次从活塞延伸镜反射, 并使用 v2640 摄像机进行成像。v2640 的分辨率为 512 x 176 像素, 帧速率为 115,200 帧/秒 (fps)。研究团队为每个发动机曲轴转角度数记录下 16 张图像。

这些测量能够可视化不同燃料在喷射过程中如何与周围空气混合, 是理解燃料为何可能具有不同点火特性的关键步骤。

## 背面照明优化成像设置

此前, 研究人员使用一台带有高速图像增强器的 CMOS 高速摄像机 Phantom v1840 进行化学发光成像。这项技术使研究人员能够通过捕获化学反应中形成的分子所发出的光来查看燃烧室中燃烧发生的位置。当燃烧发生时, 一些分子, 如羟基自由基 (OH) 可以在电子激发态下形成。在激发态形成后, 电子有可能会跃迁到低能轨道, 并发射出波长约为 310 纳米的光子。

操作这项技术需要一款对紫外光极为灵敏的摄像机、紫外光透射镜头和带通滤波器。Rothamer 和他的团队此前一直在努力寻找能够满足其应用要求的对紫外光灵敏的 CMOS 高速摄像机。相反, 他们使用了高速增强器和可见光谱摄像机。遗憾的是, 图像增强器会降低捕获图像的空间分辨率, 并可能导致高度非线性响应。

对于这些实验, 带有熔融硅盖板玻璃的背照式 (BSI) CMOS 传感器提供了一种新的解决方案, 可以在无需图像增强器的情况下, 直接实现紫外光化学发光成像, 避免因高度图像增强器导致的空间分辨率降低和非线性响应。

### Phantom T3610-UV

Phantom T3610-UV 是一款专为捕捉紫外 (UV) 光谱范围内的事件而设计的高速相机, 其工作波长低至 250 纳米, 在 300 纳米波长处的量子效率超过 70%。作为一款真正的超长焦相机, 它还能在可见光和近红外 (NIR) 光谱范围内工作, 性能与标准单色相机相媲美。T3610-UV 的最大分辨率为 1280 x 800 像素, 最高帧速率可达 38,040 fps。为了获得极高的帧速率, T3610-UV 可以降低分辨率, 以 525,000 fps 的帧速率进行拍摄。

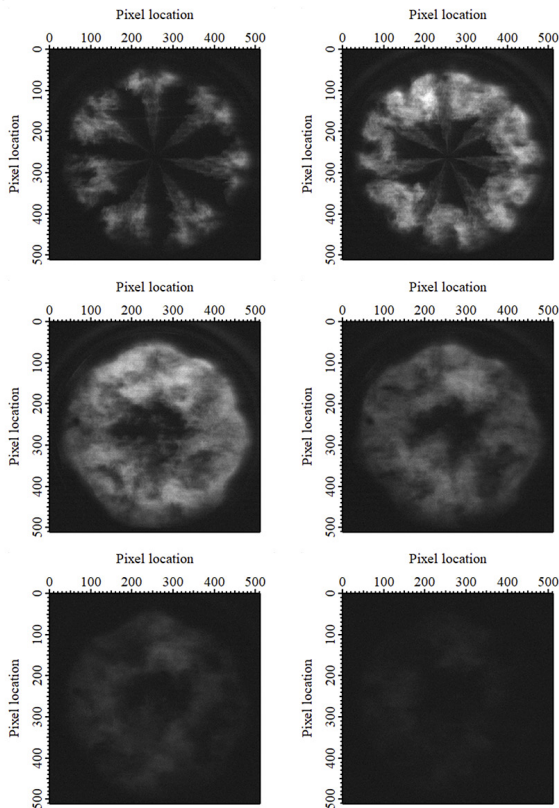
- 紫外光谱探测能力可达 250 纳米
- 量子效率: 300 nm 波长下超过 70%
- 最短曝光时间: 1 微秒 (标准)
- 可选配 64GB、128GB 或 256GB 内存
- 与标准 T3610 相同的帧速率、分辨率和功能
- 兼容紫外镜头和波段滤光片



Phantom T3610-UV.

研究人员使用 Phantom T3610-UV 测试了紫外光扩展感光 BSI CMOS 传感器技术的能力, 以实现无增强器下的紫外光化学发光成像。为了确定 Phantom T3610-UV 摄像机是否能够提供足够的紫外光灵敏度, 该团队在典型的 MCCI 条件下以 512 x 512 像素的分辨率和 28,800 fps 的帧速率进行了光学发动机实验。

对于 MCCI 操作, 捕获的视频显示出对应于每个喷嘴孔的七个燃烧羽流。在燃油喷射结束时, 火焰在燃尽前向气缸中心处隐退。结果证实, 紫外光扩展感光 BSI CMOS 传感器具有足够高的紫外光灵敏度, 可以成功识别和理解燃烧行为的差异。



紫外光化学发光实验使研究团队能够在火焰燃尽前观察到光学发动机内的七个燃烧羽流。

## 先进的摄像机技术实现定量分析

如果紫外光信号足够强, 研究人员可能不需要图像增强器, 而是直接使用对紫外光灵敏的高速摄像机来降低初始系统成本, 同时提高空间分辨率。使用对紫外光灵敏的高速摄像机也更容易实施定量成像技术。使用增强器作为成像装置的一部分通常会导致入射到传感器上的光子数量与测量的信号强度之间存在非线性关系。

许多定量诊断, 如平面激光诱导荧光和气溶胶荧光测温法, 都依赖于这种线性关系。因此, 必须在一系列条件下仔细地表征增强器, 这在实验中可能很繁琐, 并且增加了测量的不确定性。使用 Phantom T3610-UV 等对紫外光灵敏的 BSI CMOS 摄像机, 入射光子和测量信号之间明显更具线性关系, 这也易于实现先进的定量诊断。

想了解高速燃烧研究的实际应用? [填写表格](#)与 Phantom 团队预约演示。

要了解更多信息, 请访问:  
[www.phantomcameras.cn](http://www.phantomcameras.cn)



Phantomcameras.cn  
+1 973.696.4500  
100 Dey Rd., Wayne, NJ 07470, USA  
@PhantomHighSpeed  
@Phantom High-Speed Cameras

Certain Phantom 某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。  
有关更多信息, 请访问 [www.phantomcameras.cn/export](http://www.phantomcameras.cn/export)。