

# 层流对冲火焰燃烧器

层流对冲火焰是研究燃料燃烧（如层流燃烧速度，熄灭极限，点火温度等）和污染物(如  $\text{NO}_x$ 、soot 等)生成特性的重要基础燃烧实验平台。对冲火焰燃烧器可生成高度可控的（火焰温度/应变率/所生成的污染物浓度等）一维平面火焰（图 1），既可以运行在扩散火焰模式(Diffusion flame)和部分预混模式(Partially-premixed flame)，也可以以纯预混燃烧模式运行(Premixed flame)。相比于常见的轴对称射流扩散火焰，对冲扩散火焰具有准一维特性，更有利于应用各种先进光学或侵入式燃烧测试方法对其流场、温度场、化学组分和颗粒物浓度场进行高保真，高空间分辨率的全面准确测量。此外，通过对 NS 方程进行相似性变化，对冲火焰的控制方程可以在数学上简化为一维常微分方程组，相对于常规多维 NS 方程，其求解速度可得到数个数量级的提升，这极大得便利了使用详细化学反应模型对其进行数值模拟，使得对冲火焰成为国际上通用的化学反应机理实验验证平台之一。

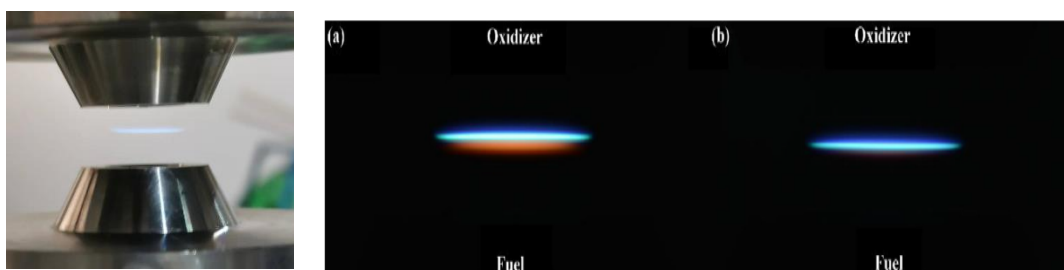


图 1. 本实验室对冲燃烧器产生的层流对冲火焰实际图片

本实验室具有长期设计和使用层流对冲火焰燃烧器的相关经验，在过往 10 余年的研究中对对冲火焰燃烧器的设计方法、燃烧诊断技术和数值模拟方法进行了深入而系统的研究。2021 年实验室在燃烧领域顶级期刊 **Combustion and Flame** 上发文（图 2），给出了所设计对冲燃烧器的全面多参数实验表征，并提出将对冲火焰作为用于燃烧机理和燃烧诊断方法验证的标准火焰平台（**Benchmark flame**），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。

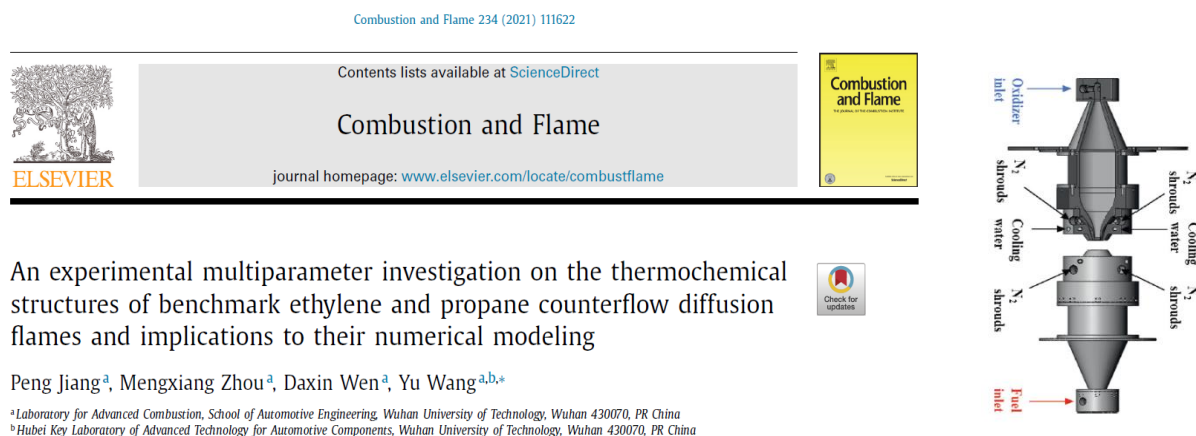


图 2. 本实验室对冲燃烧器对应发表的顶级期刊论文及燃烧器示意图

在使用对冲火焰作为主要平台的研究过程中，本实验室同时开发了适用于对冲火焰的多种燃烧诊断方法。包括无测温上限的高保真激光吸收光谱测温方法(图 3, OE)、辐射光谱测温方法(图 4, OL)、PIV 流场测试方法（图 5）、微探针结合 GC/MS/FTIR/TDLAS 的组分浓度场测试方法（包括主要燃烧组分、大分子多环芳烃及 NO 化物等，图 6）和基于激光诱导炽光和(Laser Induced Incandescence, LII)和 Diffuse

Back-light Illumination(DBI)的碳烟浓度场光学测量方法 (图7, OE), 可对对冲火焰进行全面实验表征。

### Spatially and temporally resolved temperature measurements in counterflow flames using a single interband cascade laser

DAXIN WEN<sup>1</sup> AND YU WANG<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for Advanced Combustion, School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

<sup>2</sup>Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

\*yu.wang@whut.edu.cn

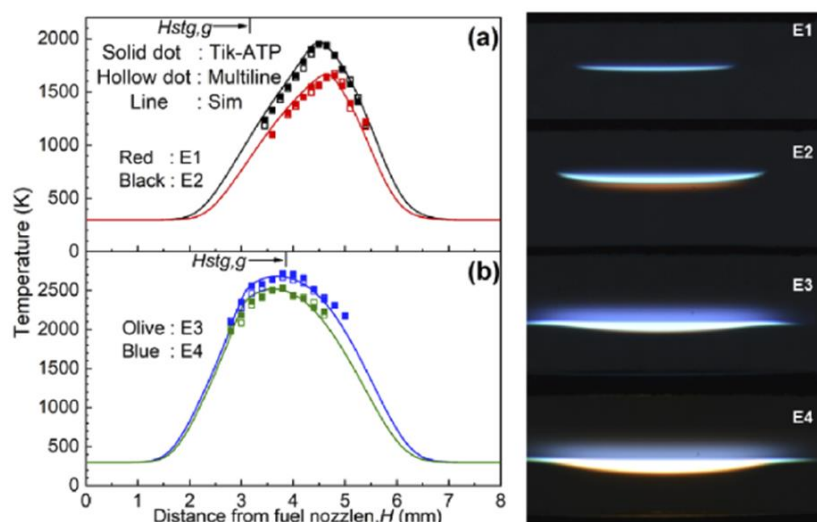
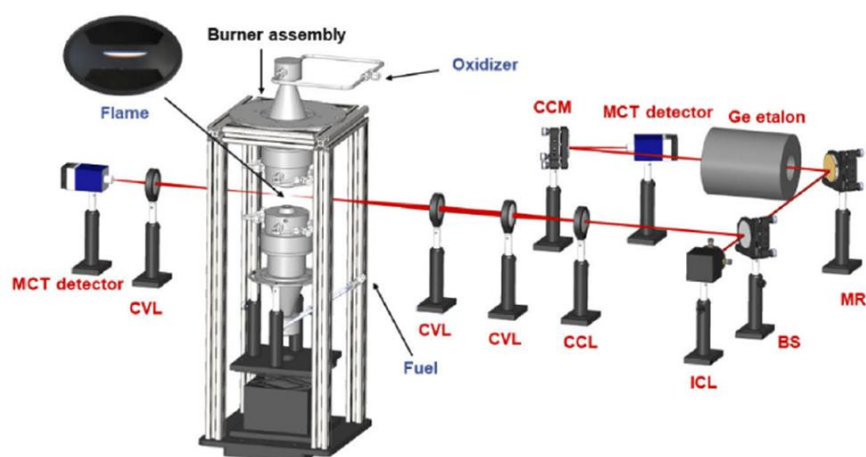


图 3. 激光吸收光谱测温实验系统图及不同工况的温度轴向分布结果

# Optics Letters

## Infrared spectral soot emission for robust and high-fidelity flame thermometry

LIUHAO MA,<sup>1</sup> WEI DU,<sup>1</sup> DAXIN WEN,<sup>1,2</sup> AND YU WANG<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Combustion and Laser Sensing Laboratory, School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

<sup>2</sup>Department of Mechanical and Automation Engineering, The Chinese University of Hong Kong, New Territories, Hong Kong SAR, China

\*Corresponding author: yu.wang@whut.edu.cn

Received 6 October 2022; revised 7 January 2023; accepted 10 January 2023; posted 11 January 2023; published 10 February 2023

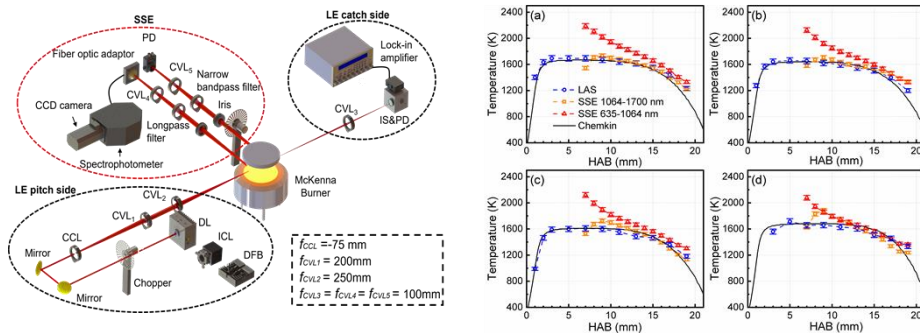


图 4. 碳烟红外辐射光谱测温实验系统图及实测温度轴向分布结果

Combustion and Flame 241 (2022) 112107



Brief Communications

Sensitivity of soot formation to strain rate in steady counterflow flames determines its response under unsteady conditions

Guozhu Li<sup>a</sup>, Mengxiang Zhou<sup>a</sup>, Yu Wang<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup>Laboratory for Advanced Combustion, School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, PR China  
<sup>b</sup>Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, PR China

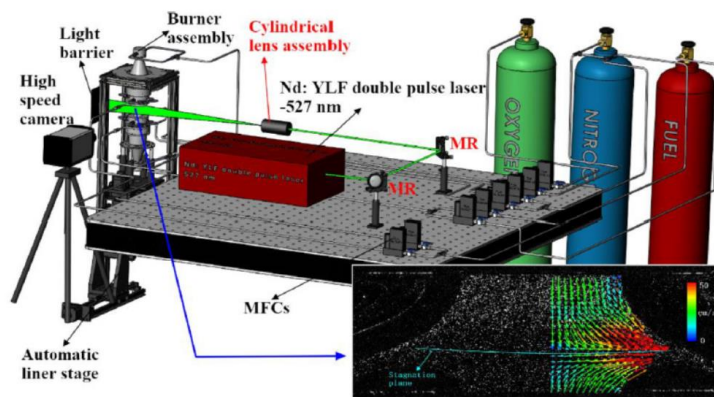


图 5. PIV 流场测试方法



Full Length Article

# Chemical speciation and soot measurements in laminar counterflow diffusion flames of ethylene and ammonia mixtures



Mengxiang Zhou<sup>a</sup>, Fuwu Yan<sup>a</sup>, Liuhaio Ma<sup>a,\*</sup>, Peng Jiang<sup>a</sup>, Yu Wang<sup>a,b,\*</sup>, Suk Ho Chung<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Laboratory for Advanced Combustion, School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, PR China

<sup>b</sup> Key Laboratory of Power Machinery and Engineering of Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, PR China

<sup>c</sup> State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, 200240, PR China

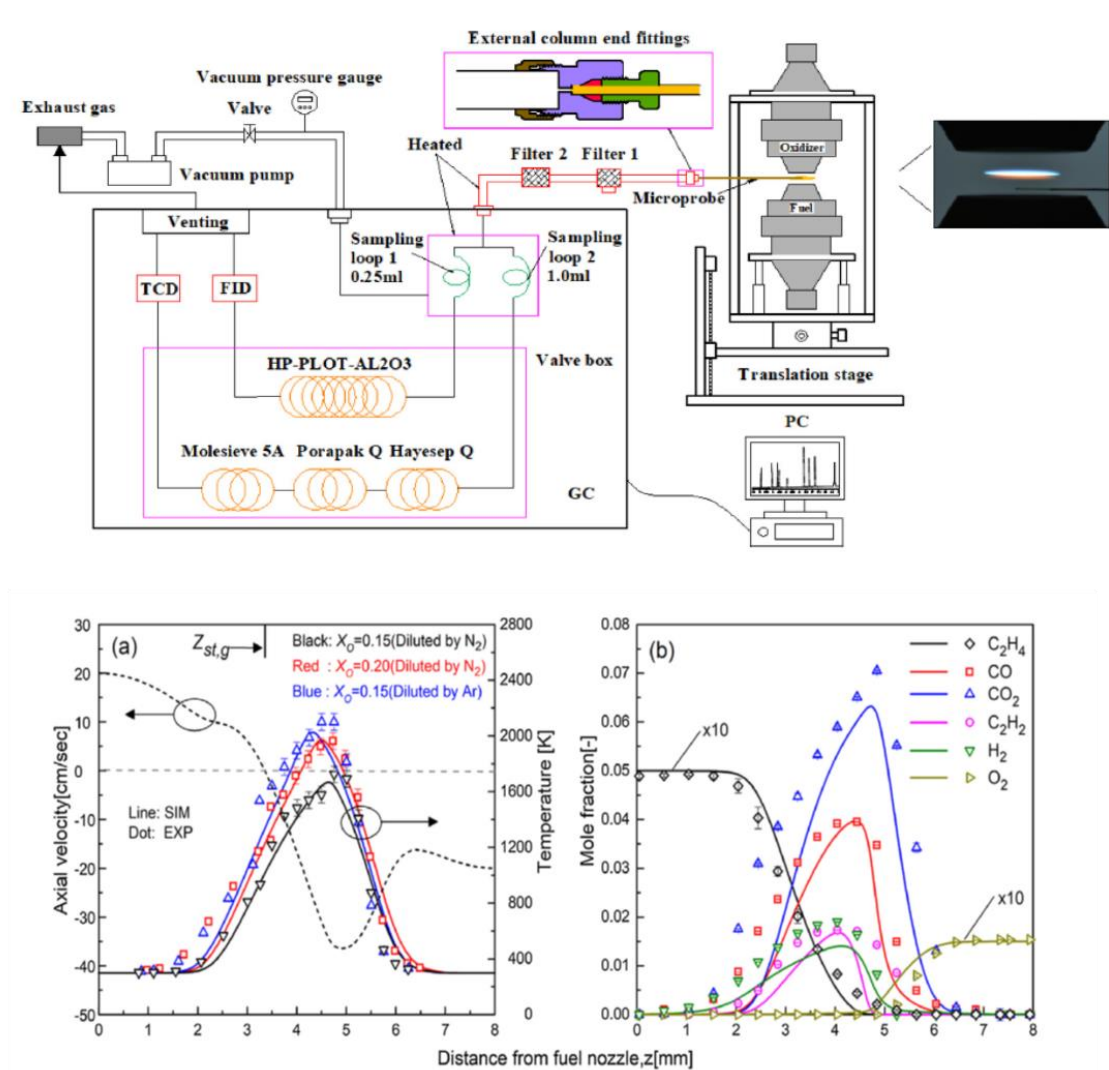


图 6. 微探针结合 GC/MS/FTIR/TDLAS 的组分浓度场测试方法



## Slight asymmetry induces significant distortion of soot volume fraction measurements in counterflow diffusion flames with diffuse back-illumination imaging

JIWEI ZHOU,<sup>1</sup> MENGXIANG ZHOU,<sup>1</sup> LIUHAO MA,<sup>1,2</sup> AND YU WANG<sup>1,2,\*</sup> 

<sup>1</sup>Laboratory for Advanced Combustion, School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

<sup>2</sup>Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

\*yu.wang@whut.edu.cn

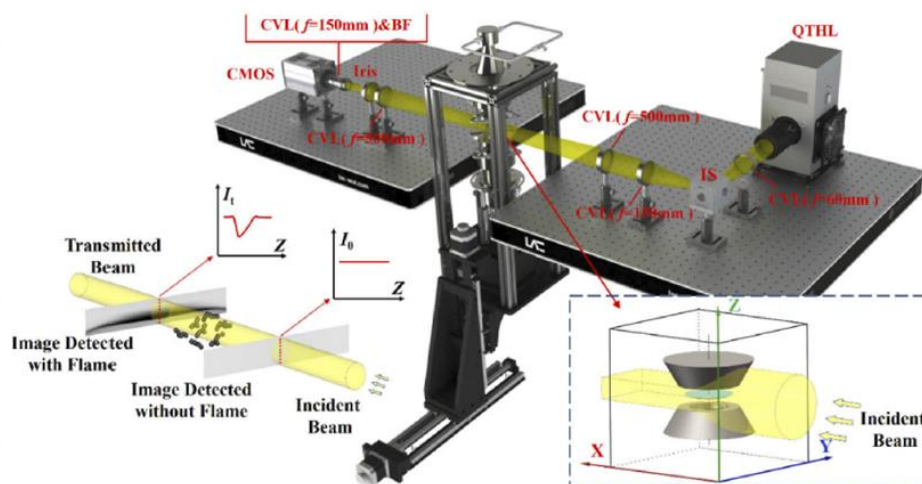


图 7. 基于激光诱导炽光和(Laser Induced Incandescence, LII)和 Diffuse Back-light Illumination(DBI)的碳烟浓度场光学测量方法

基于上述核心技术，实验室可对有意使用对冲火焰进行燃烧研究的研究团队提供燃烧器系统（包括流量控制、电动平移台及对应控制软件等）及燃烧诊断相关技术服务。相关技术参数如表 1 所示。

表 1. 燃烧器相关技术参数

燃料种类	烷烃，烯烃，氨气，氢气及可蒸发液体燃料
创新技术	流线型内流道，精细可控
最高温度	1600-2700 K 可调
流量控制单元精度	$\pm 1.0\%$
数据支撑	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 标准工况温度和气体组分测量数据；</li><li>➤ 原位、非接触式激光吸收光谱测量，GC-MS 联用微探针采样测量</li></ul>
应用场景	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 燃烧激光诊断技术验证与标定</li><li>➤ 燃料基础燃烧特性研究</li><li>➤ 污染物生成特性研究</li></ul>

目前已与本实验室进行对冲燃烧器相关合作的单位包括西安交通大学、华中科技大学、中国科学院工程热物理研究所、同济大学、吉林大学和矿业大学等相关研究团队，图 8 为本实验室近期提供给合作伙伴的对冲燃烧器平台实物图。



图 8. 对冲火焰燃烧器实物图