

-
- 2天会议
 - 报告短，效率高
 - 信息量大
 - 为人为学



第一届全国青年燃烧学术会议

发动机燃烧分论坛总结

上海 2015.09.20

主要方向

1. 喷雾雾化

- 空穴现象-真实尺寸
- 微观摄影-定量测量

2. 燃烧与化学动力学

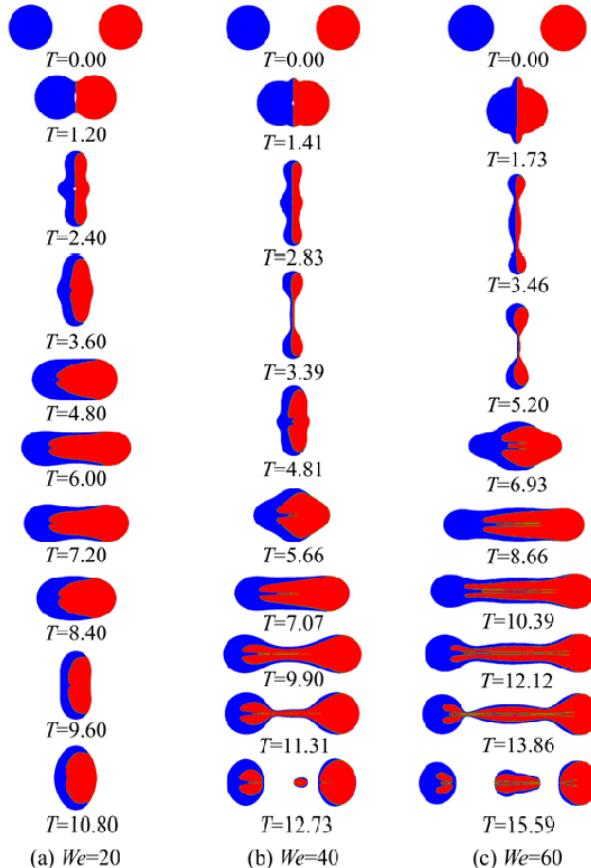
- 发动机燃烧系统优化
- 生物燃料、化学反应动力学
- 活性基光学诊断

3. 航空发动机燃烧

- 超声速燃烧
- 爆燃和爆轰

当前研究进展——喷雾雾化

- 孙凯 天津大学
液滴和火焰动力学



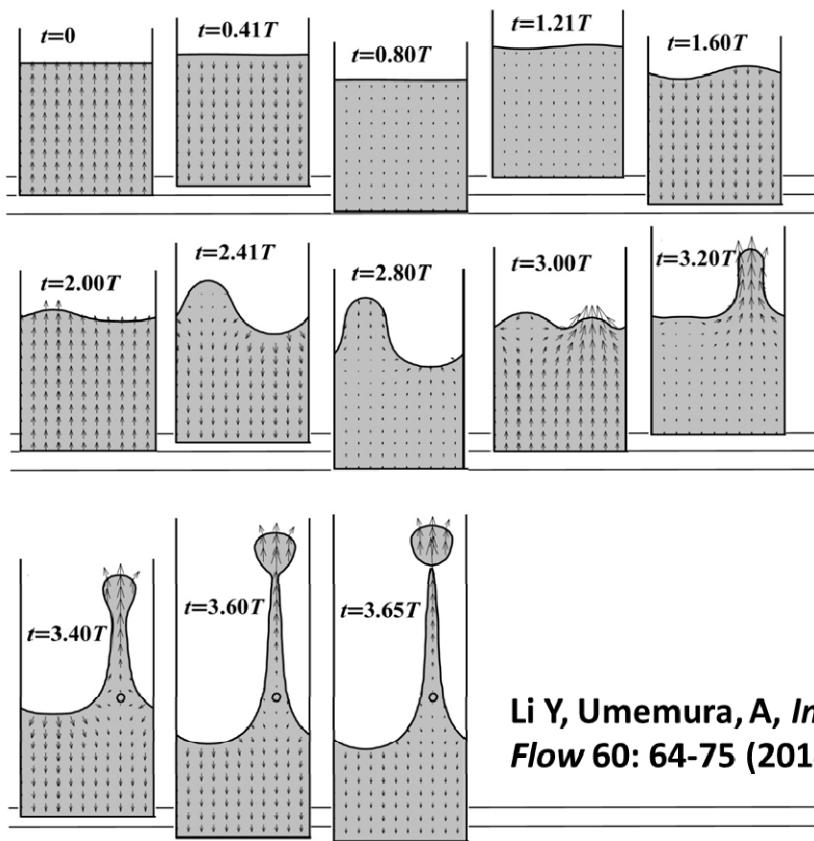
流变性造成粘性耗散的差异可打破液滴碰撞对称性，促进混合

对自燃推进剂火箭发动机设计的意义：

1. 氧化剂和燃料采用不同尺寸的喷嘴，优先降低小液滴的粘性
2. 可考虑将F/O凝胶化为不同流变特性

当前研究进展——喷雾雾化

- 黎一锴 北京理工大学
惯性力诱导雾化机理的研究



- 交错网格
- 气-液两相流界面捕捉：**CLVOF**技术
- 表面张力：**CSF**模型模拟
- 对流项：二阶迎风格式
- **N-S** 压力耦合方程：**projection**方法

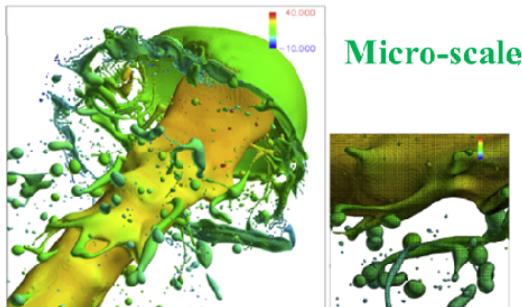
Li Y, Umemura, A, *International Journal of Multiphase Flow* 60: 64-75 (2014)

当前研究进展——喷雾雾化

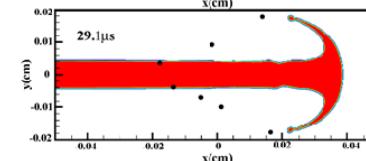
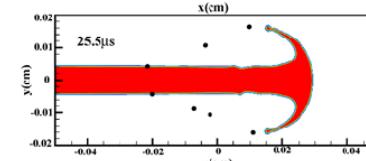
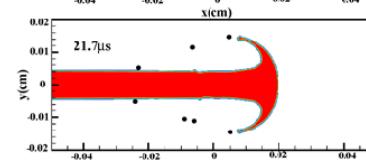
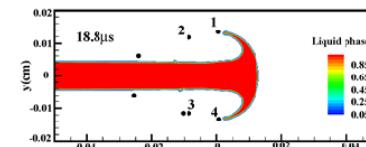
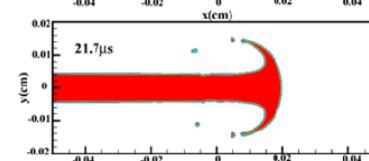
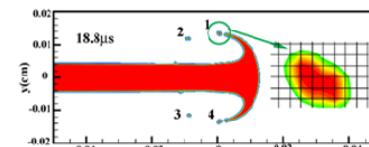
- 周磊 天津大学

喷雾及湍流燃烧的数值模拟研究

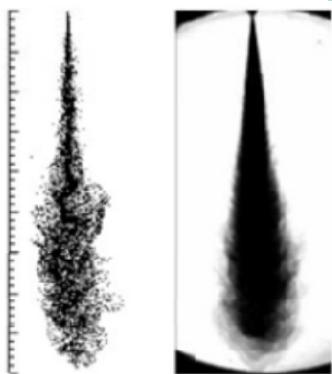
Eulerian (CLSVOF)¹



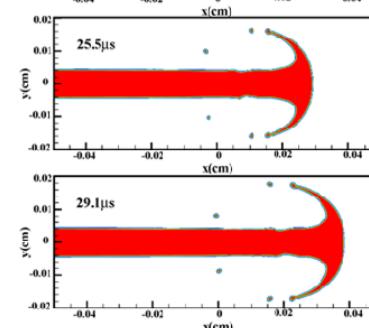
Micro-scale



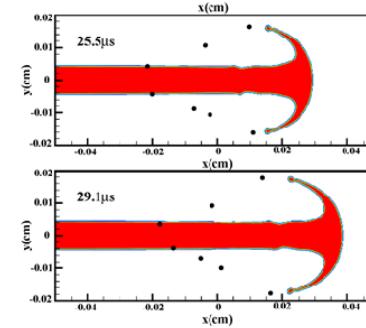
Lagrangian (KIVA)²



Macro-scale



Eulerian method

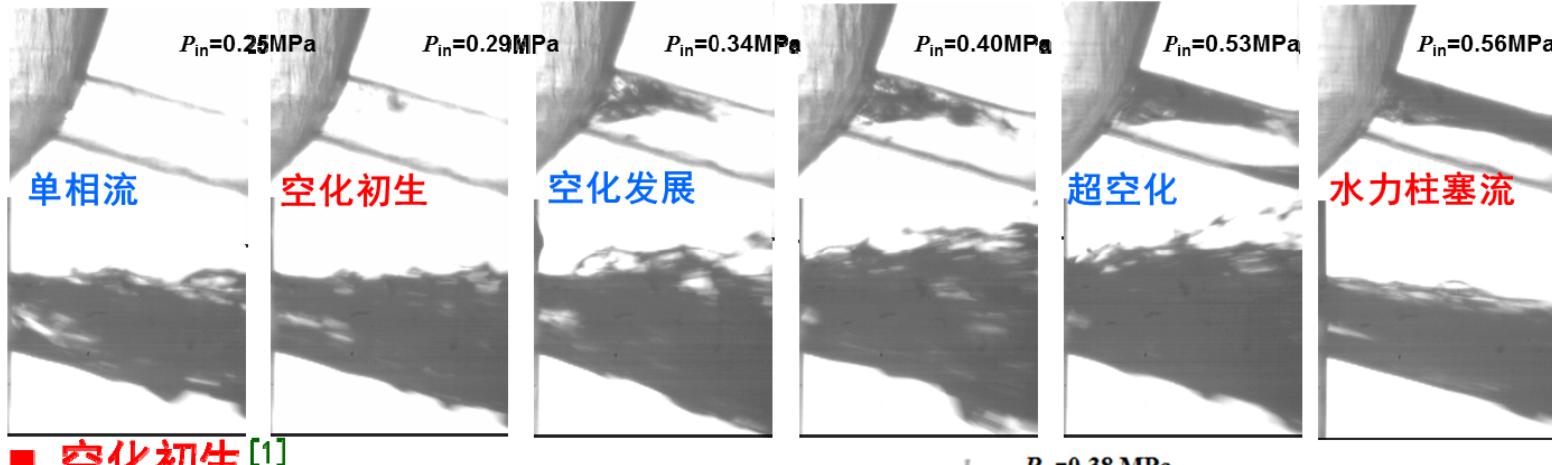


Multi-scale method

当前研究进展——喷雾雾化

- 江苏大学 何志霞

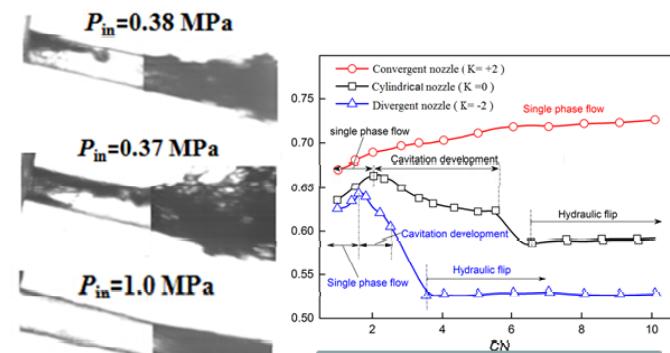
发动机耦合喷嘴内流的喷雾燃烧研究



$$K_{crit} = 0.961 + 0.171(r/D + 0.0039)^{-0.162} (h/D_0)^{0.1339} (L/D)^{-0.630} (D/D_0)^{0.369} (\phi/\phi_0 + 0.289)^{0.348} (P_2/P_0)^{0.208}$$

■ 水力柱塞流^[2] □ 易于出现水力柱塞流：

- 对喷雾及流动的影响：
 - ✓ 短喷孔喷嘴；
 - ✓ 喷雾椎角显著减小；
 - ✓ VCO及Mini-SAC喷嘴；
 - ✓ 喷射压力的瞬间跳变
 - ✓ 大尺度的喷嘴；
 - ✓ 体积流量的急剧减小
 - ✓ 高喷油压力。



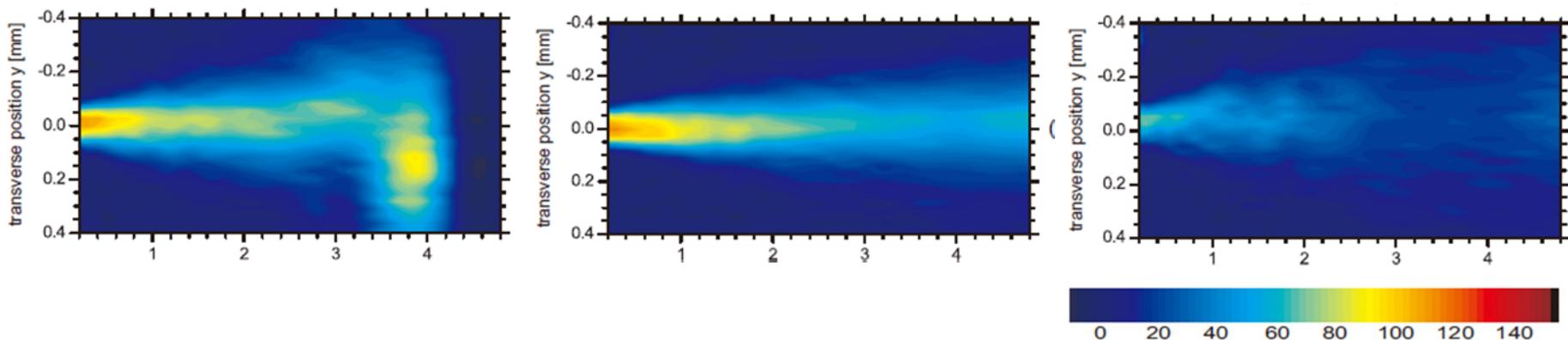
最优流动特性：
K=1.5~2

当前研究进展——喷雾雾化

- 吴志军 同济大学

燃油喷雾的关键科学问题及成像的作用

喷雾液核密度场的定量测量



喷雾液核破碎区燃油质量分布的定量测量(P. Leick et al. 21st ILASS, 2007.)

实现液核破碎区燃油质量的三维分布重构。

当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 韩永强 吉林大学

发动机的梯级燃烧

- 经济性

- 放热重心/有效膨胀比
- 燃烧持续期/瞬时放热对应有效膨胀比偏离程度
- 平均燃烧温度及相位/传热损失
- 峰值压力、平均压力/摩擦损失、泄露损失……

- 工作柔顺性

- 典型爆震、单一组分工质爆震、柴油机工作粗暴/压力升高率、**压
力场均匀度**
- 问题1：“绝对”均质单一组分混合气同时自燃粗暴度极大/不大？
压力波？
- 问题2：多组分混合燃料（汽油）爆震同时自燃？敲缸是压力还是
压力波？

- 功率密度（负荷拓展）

- 手段：**增加循环加热量**/混合气加浓或多进混合气
- 限制：其它需求尤其是**排放和工作柔顺性**需求

当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 潘剑锋 江苏大学

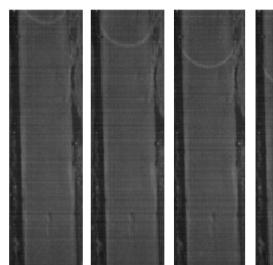
微尺度燃烧和转子发动机的研究



普通相机拍摄照片

燃烧器尺寸: 190 mm × 13 mm × 0.8 mm

燃料和氧化剂: 甲烷氧气预混燃烧



高速数码拍摄的FREI火焰传播过程图
(拍摄频率8000帧/秒, 每图间隔15帧)

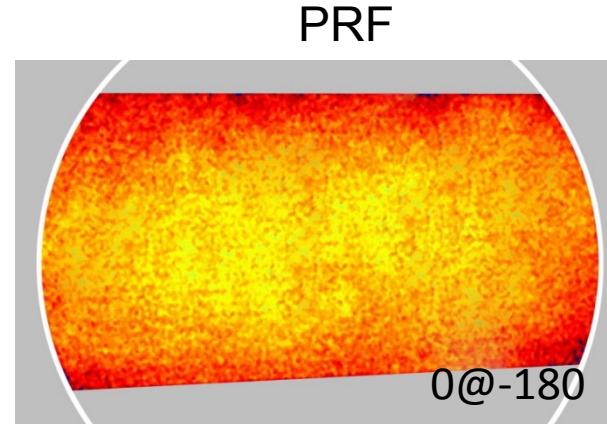
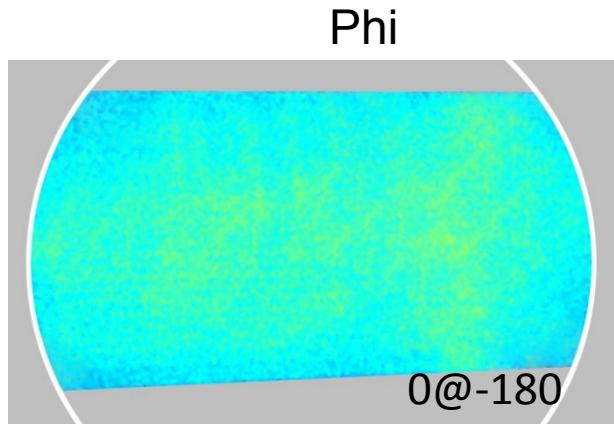
火焰

气流

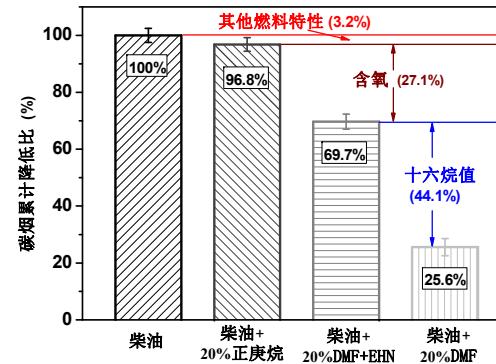
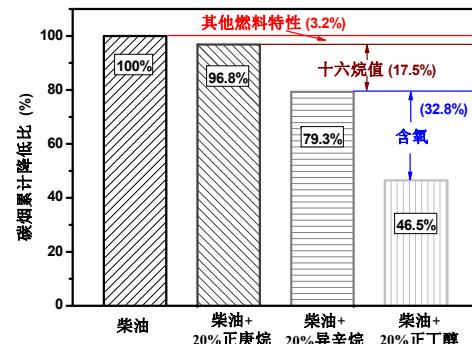
当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 天津大学 刘海峰

双燃料缸内当量比浓度和燃料活性定量激光诊断



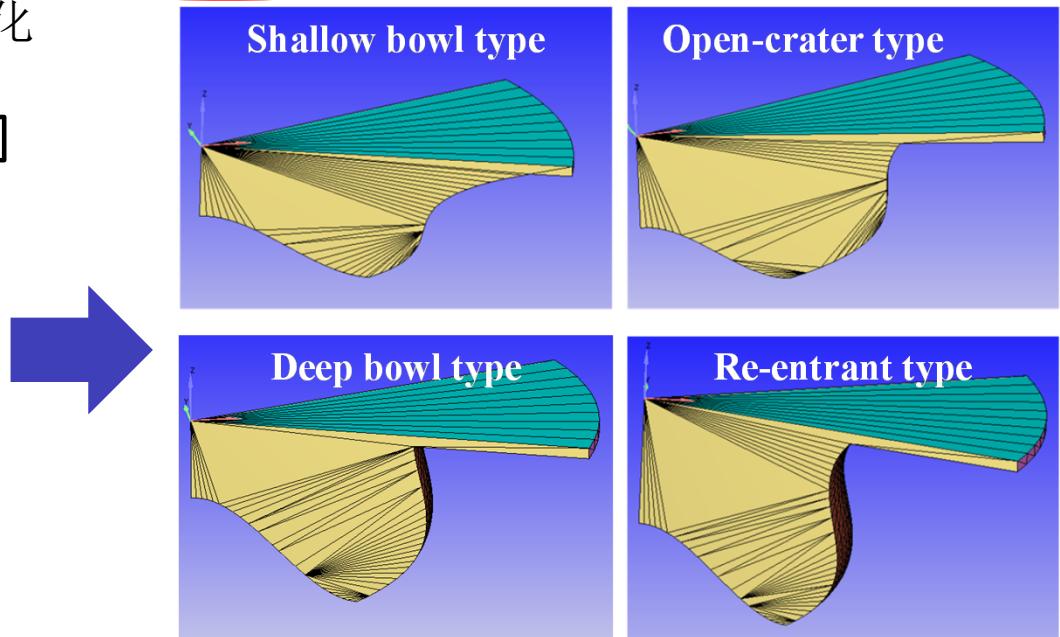
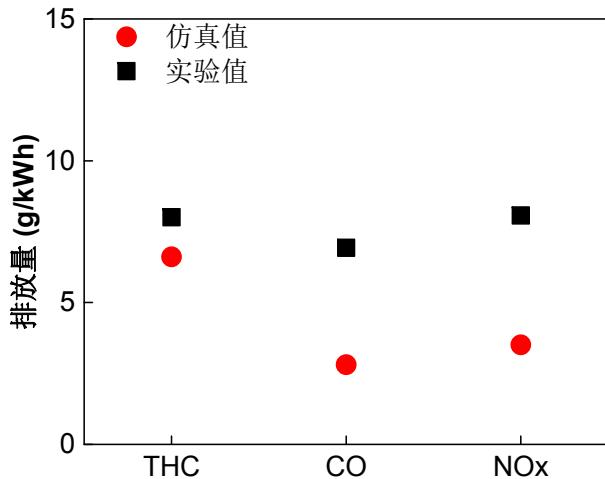
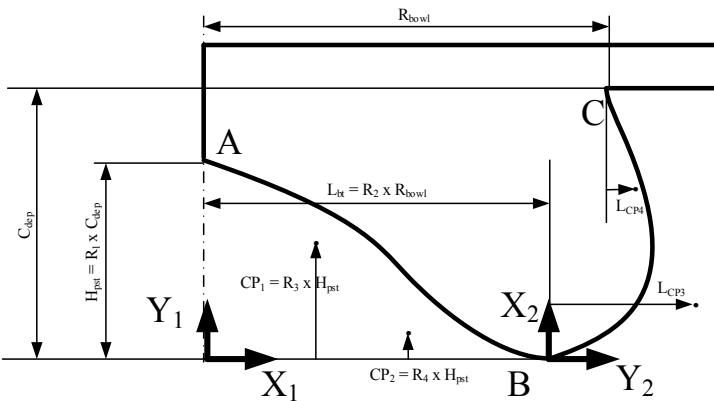
发动机燃料特性影响研究



当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 上海交通大学 王斌

柴油微引燃天然气发动机高效低污染燃烧研究
燃烧室形状与喷油参数的优化

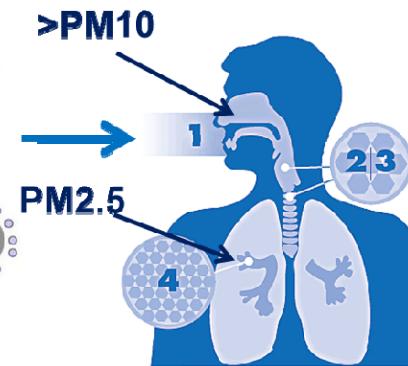
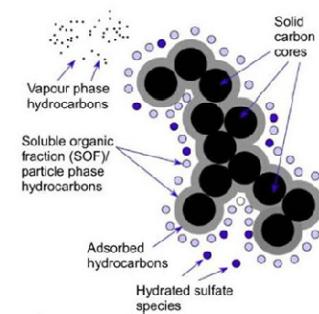
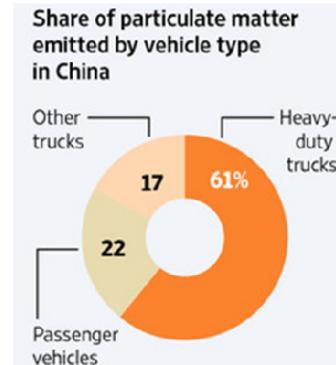
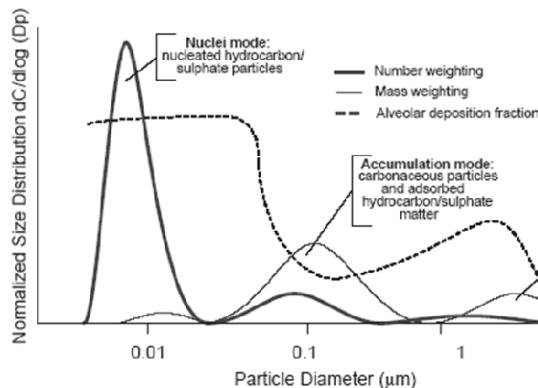


当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 朱磊 上海交通大学

生物柴油发动机燃烧与基础燃烧

颗粒物排放



当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 王浒 天津大学
柴油机燃烧和排放多维数值模拟

主要研究成果

□ 简化动力学模型

- ✓ 柴油/汽油surrogate: TRF
- ✓ Jet Surrogate: 正十二烷
- ✓ 醇类: 甲醇/乙醇/丁醇
- ✓ DTBP十六烷值改进剂
- ✓ 简化PAH生成机理

□ 替代物动力学模型

◆ 单一组分替代物燃烧模型

◆ 多组分替代物燃烧模型

- ✓ 柴油—正庚烷/正十二烷+甲苯+环己烷
- ✓ 汽油—正庚烷+异辛烷+甲苯(TRF)

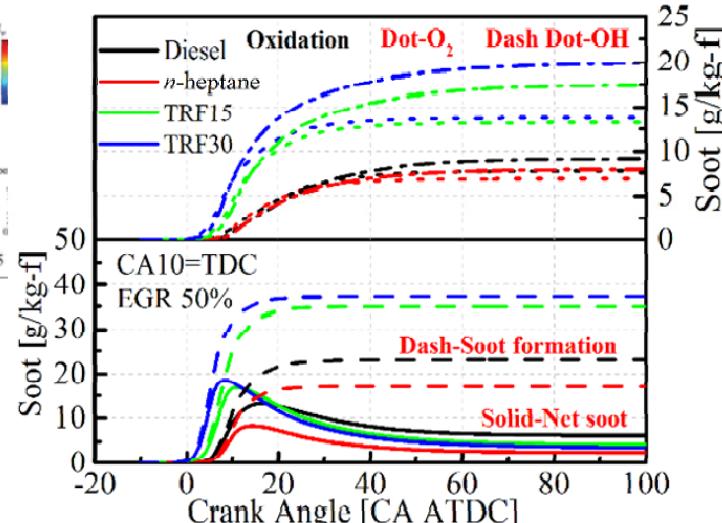
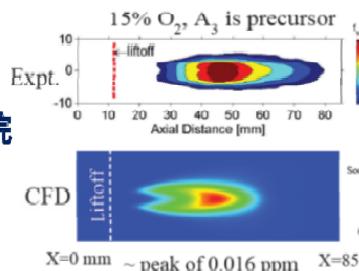
□ 柴油机碳烟生成机理和模型

□ 燃料特性对低温燃烧的影响

- 柴油/汽油添加甲醇/乙醇/丁醇燃烧模拟
- 双燃料燃烧(HCCI, RCCI)

Table 5 Major PAH formation pathways for tested fuels

Fuel	C_2H_4	$n-C_7H_{16}$	$i-C_8H_{18}$	C_6H_6	$C_6H_5CH_3$
A ₁	$C_2H_3+C_4H_4=A_1+H$ $i-C_4H_5+C_2H_2=A_1+H$ $C_4H_3+C_3H_3=A_1$	$i-C_4H_5+C_2H_2=A_1+H$ $C_2H_3+C_4H_4=A_1+H$ $2C_3H_3=A_1$	$2C_3H_3=A_1$ $i-C_4H_5+C_2H_2=A_1+H$ $C_2H_3+C_4H_4=A_1+H$	-	$C_7H_8+H=A_1+CH_3$ $A_1+OH=C_6H_5OH+H$
A ₂	$i-C_4H_5+A_1=A_2+2H+H$ $2C_3H_3=A_2+2H$	$2C_3H_3=A_2+2H$	$2C_3H_3=A_2+2H$	$i-C_4H_5+A_1=A_2+2H+H$ $2C_3H_5=A_2+2H$ $A_1+C_4H_3=A_2$	$2C_3H_5=A_2+2H$ $i-C_4H_5+A_1=A_2+2H+H$ $A_1+C_4H_3=A_2$
A ₃	$A_2+\bar{C}_4H_4=A_3+H$ $A_2R_5+C_2H_3=A_3$	$A_2+\bar{C}_4H_4=A_3+H$ $A_2R_5+C_2H_2=A_3$	$A_2+\bar{C}_4H_4=A_3+H$ $A_2R_5+C_2H_2=A_3$	$A_1\bar{C}_2H+A_3=A_3+H$ $A_1C_2H+A_1=A_3+H$	$A_1\bar{C}_2H+A_3=A_3+H$ $A_1C_2H+A_1=A_3+H$
A ₄	$C_4H_2+A_1R_5=A_4$ $A_2+A_1=A_4+H+H_2$ $A_3+C_2H_2=A_4$	$C_4H_2+A_2R_5=A_4$ $A_2+A_1=A_4+H+H_2$	$C_4H_2+A_2R_5=A_4$ $A_2+A_1=A_4+H+H_2$	$A_3+A_4=A_4+H+H_2$ $A_1C_2H+A_1C_2H=A_4+H$ $C_4H_2+A_2R_5=A_4$	$A_2+A_1=A_4+H+H_2$ $A_1C_2H+A_1C_2H=A_4+H$ $A_3+A_4=A_4+H_2$

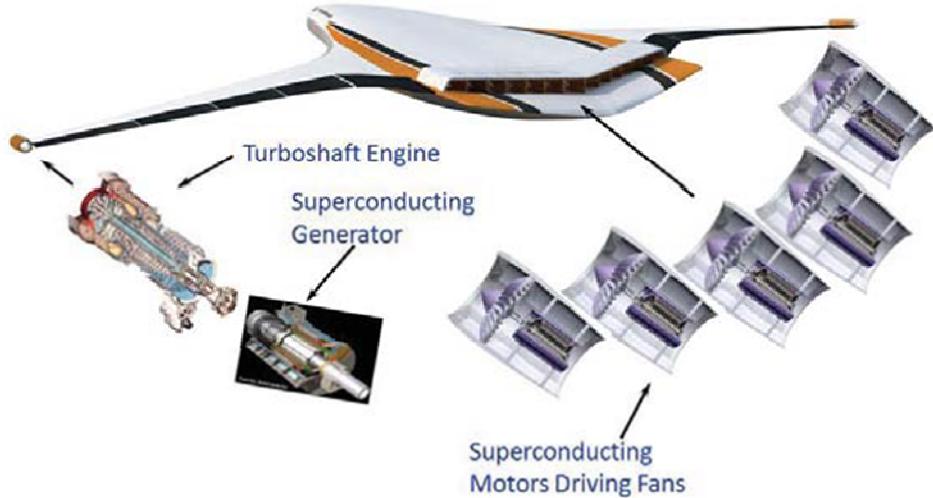


Hu Wang, Mingfa Yao, et al., *Combustion and Flame*, 2015, 162(6): p. 2390-2404.

Hu Wang, Rolf Reitz, Mingfa Yao, et al., *Combustion and Flame*, 2013, 160(3): p. 504-519.

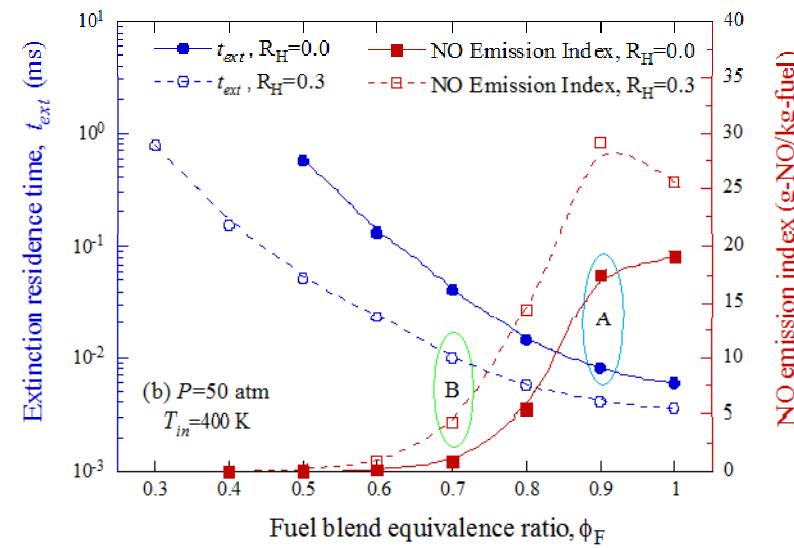
当前研究进展——航空发动机燃烧

- 张弛 北京航空航天大学
航空发动机低污染燃烧



改变航空燃料反应活性（加氢）

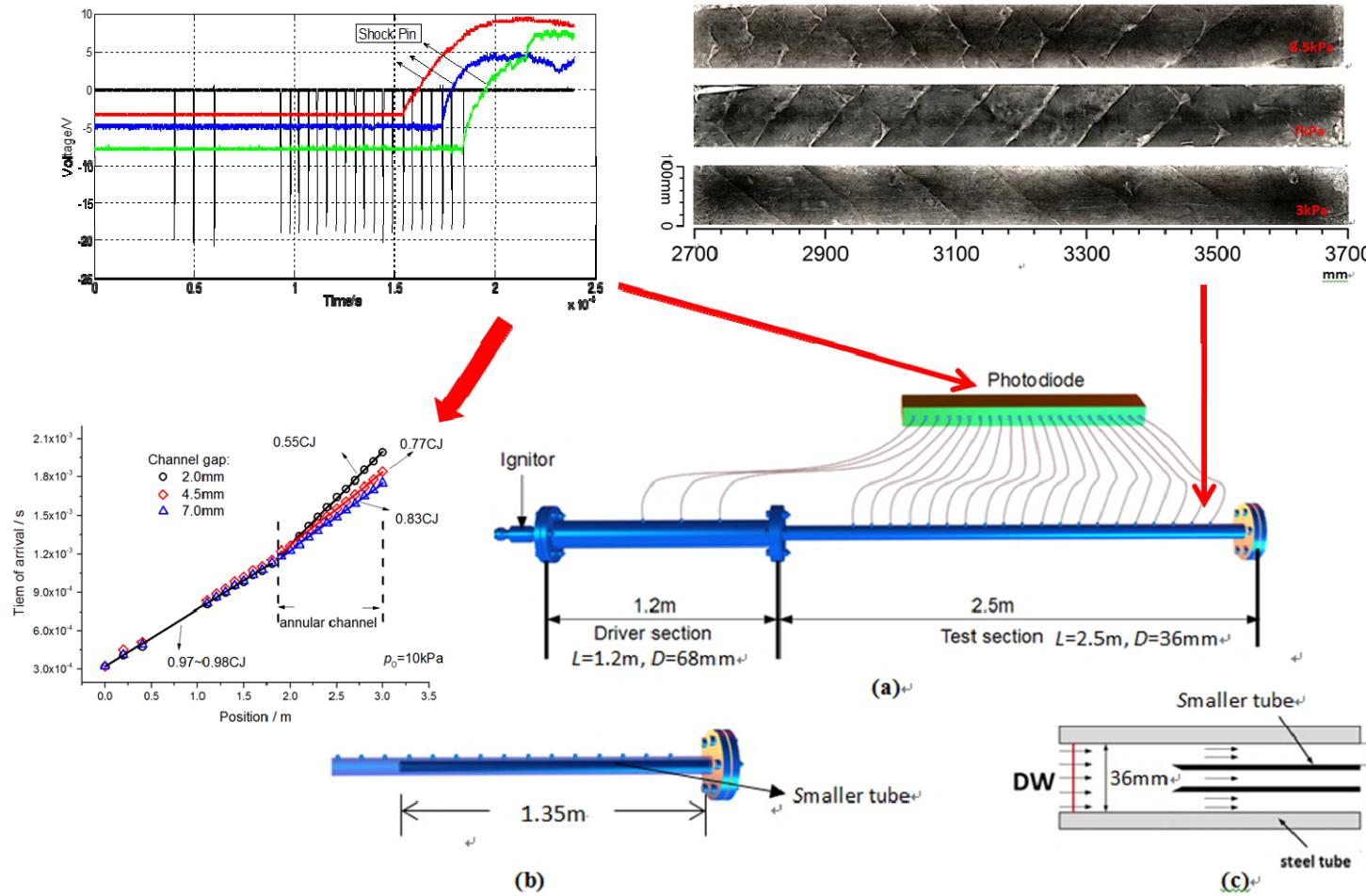
- 拓宽贫燃极限
- 降低火焰温度
- 减少NOx生成



当前研究进展——航空发动机燃烧

- 张博 华东理工大学

燃烧、爆炸和爆轰，主要为气相爆轰物理和爆炸力学



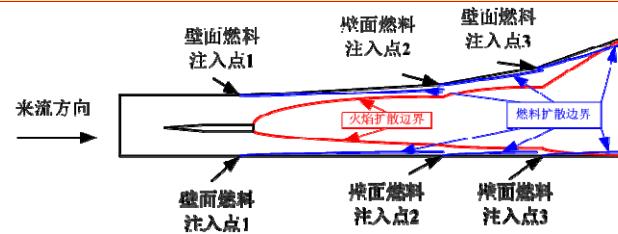
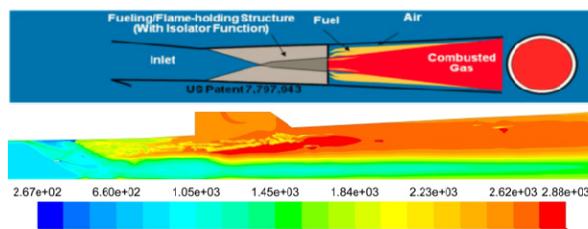
当前研究进展——航空发动机燃烧

- 常军涛 哈尔滨工业大学

流动燃烧耦合下的超声速燃烧特性研究

成果简介：

- 一种新型的中心支板稳燃超声速燃烧组织方式
- 主要特征（1）光滑壁面；（2）薄支板稳燃；（3）中心支板-壁面组合喷射；（4）实现燃烧性能和壁面热载荷之间优化协调。
- Flame Transition in Dual-Mode Scramjet Combustion with Oxygen Piloted Ignition, Journal of Propulsion and Power. 2014, 30(4):1103-1107.
- Experimental Study of a Flush Wall Scramjet Combustor Equipped with Strut/Wall Fuel Injection. Acta Astronautica. 2014, 104(1): 84-90.
- Combustion stabilization based on a center flame strut in a liquid kerosene fueled supersonic combustor. Journal of Thermal Science 22 (5), 497-504 2013
- Combustion Characteristic Using O₂-Pilot Strut in a Liquid-Kerosene-Fueled Dual-Mode Scramjet. Journal of Aerospace Engineering. 2013, Vol. 227, 1870-1880.



共性问题

1. 喷雾雾化机理

- 空穴现象-真实尺寸
- 微观摄影-定量测量

2. 燃料燃烧化学动力学

- 发动机燃烧系统优化
- 生物燃料、化学反应动力学
- 活性基光学诊断

3. 爆燃-爆轰

- 超声速燃烧
- 爆燃和爆轰

谢谢各位老师！