

- 
- 2天会议
  - 报告短，效率高
  - 信息量大
  - 为人学



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

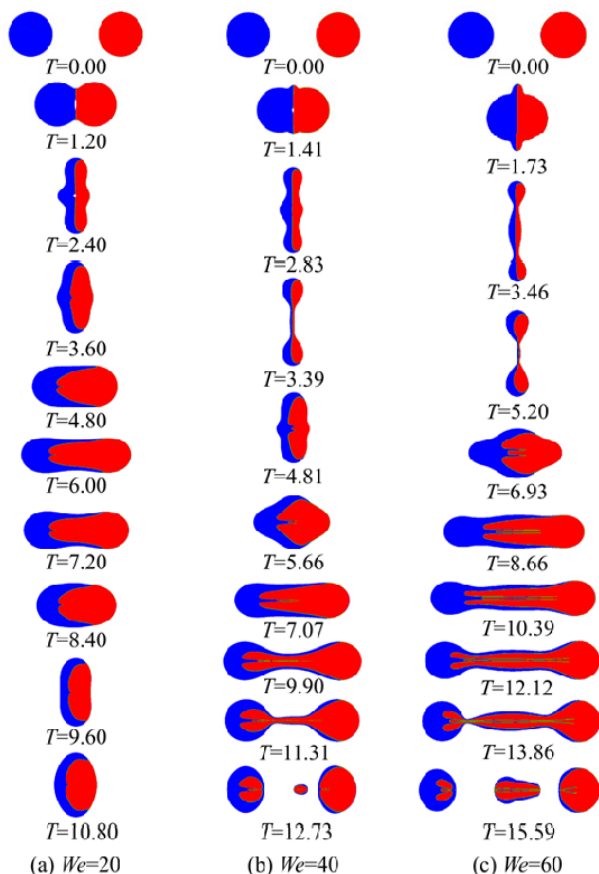
## 3. 航空发动机燃烧

- 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

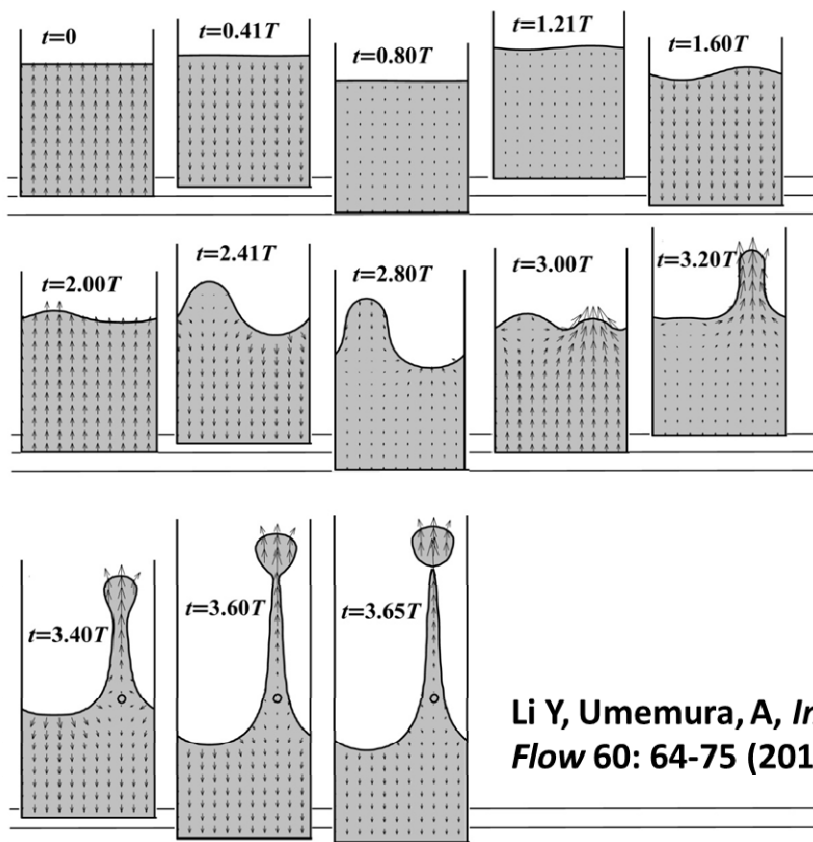
对自燃推进剂火箭发动机设计的意义：

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：  
CLSVOF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

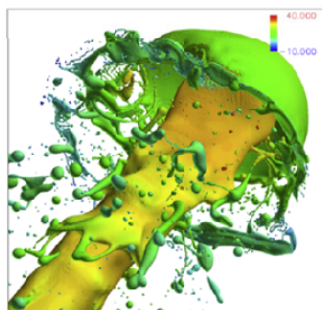
Li Y, Umemura, A, *International Journal of Multiphase Flow* 60: 64-75 (2014)

# 当前研究进展——喷雾雾化

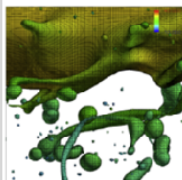
- 周磊 天津大学

喷雾及湍流燃烧的数值模拟研究

Eulerian (CLSVOF)<sup>1</sup>

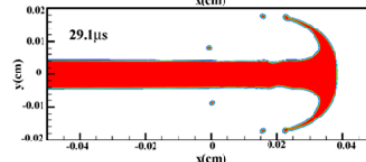
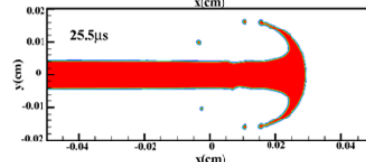
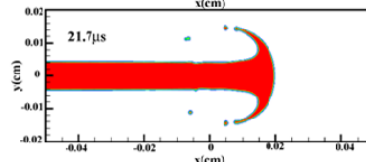
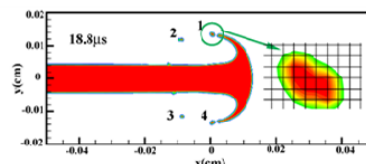
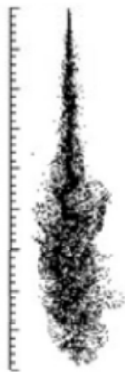


Micro-scale

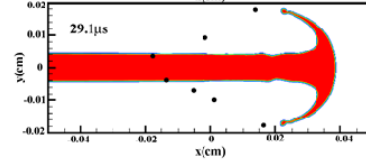
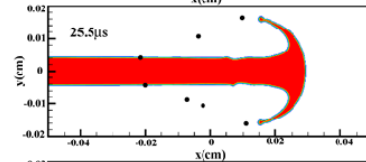
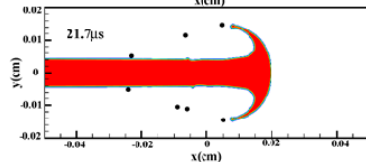
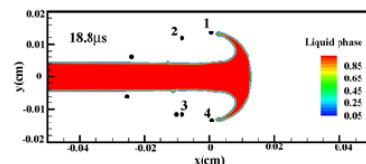


Lagrangian (KIVA)<sup>2</sup>

Macro-scale



Eulerian method

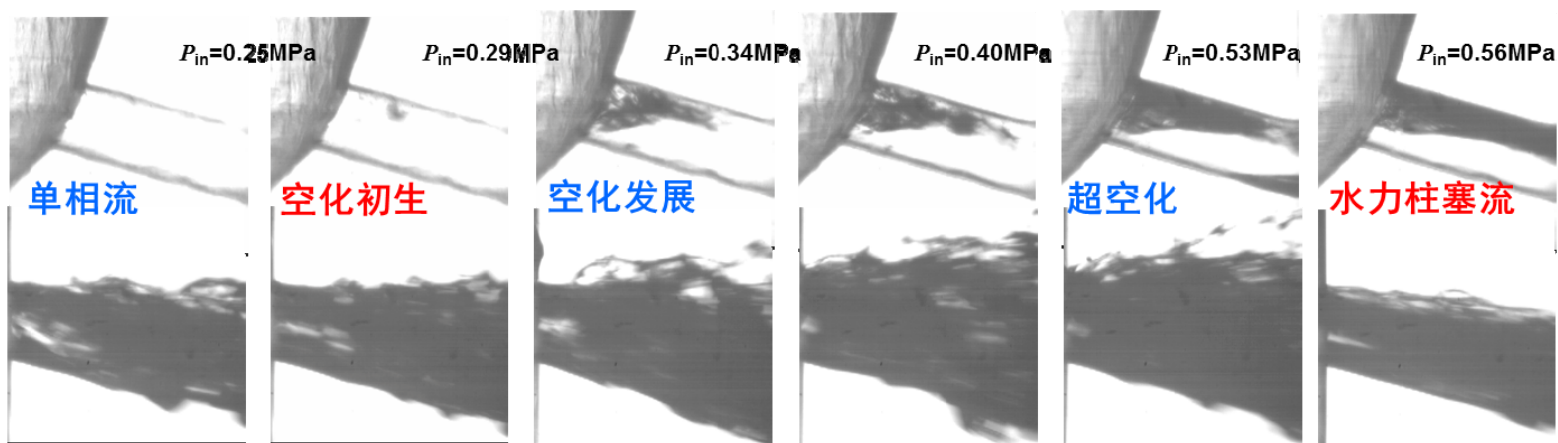


Multi-scale method

# 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



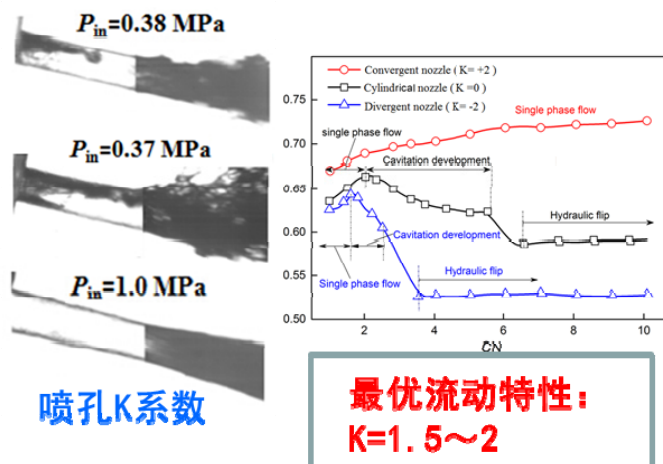
#### ■ 空化初生 [1]

$$K_{crit} = 0.961 + 0.171(r/D + 0.0039)^{-0.162} (h/D_0)^{0.1339} (L/D)^{-0.630} (D/D_0)^{0.569} (\phi/\phi_0 + 0.289)^{0.348} (P_2/P_0)^{0.208}$$

#### ■ 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;
  - ✓ 喷射压力的瞬间跳变;
  - ✓ 体积流量的急剧减小.
- 易于出现水力柱塞流:
  - ✓ VCO及Mini-SAC喷嘴;
  - ✓ 大尺度的喷嘴;
  - ✓ 高喷油压力.

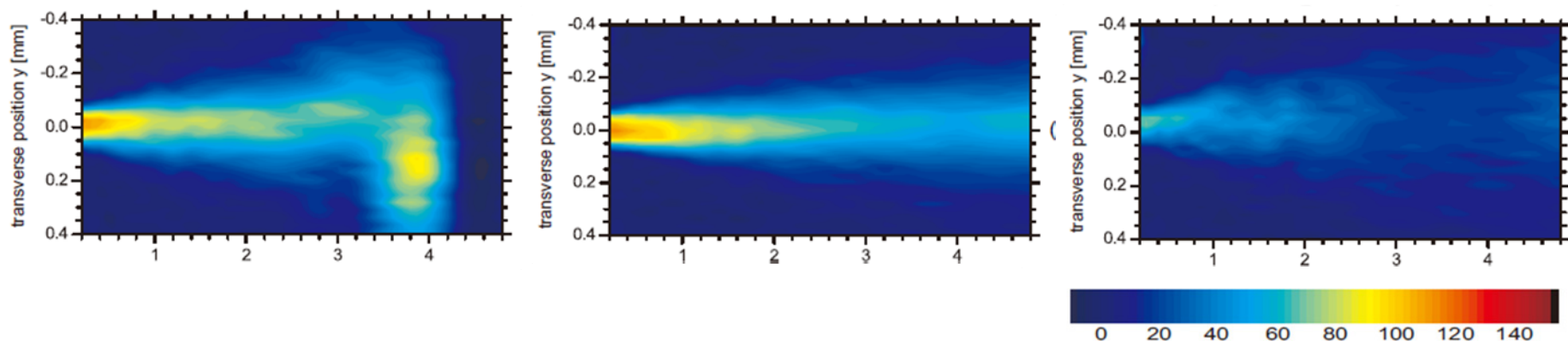


# 当前研究进展——喷雾雾化

- 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. 21<sup>st</sup> 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？

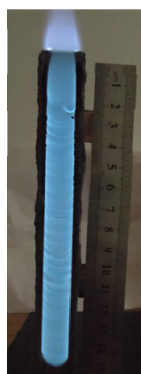
#### ✦ 功率密度（负荷拓展）

- ✦ 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

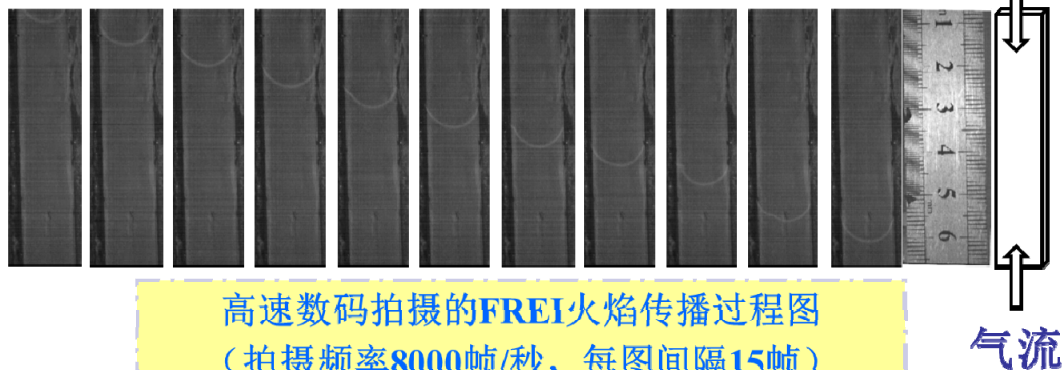
微尺度燃烧和转子发动机的研究



燃烧器尺寸:  $190\text{ mm} \times 13\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$

燃料和氧化剂: 甲烷氧气预混燃烧

普通相机拍摄照片

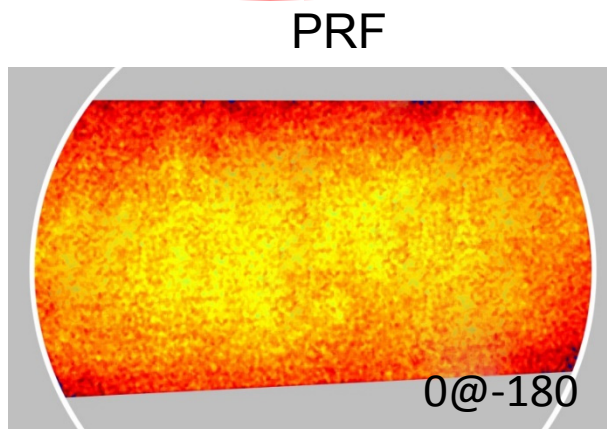
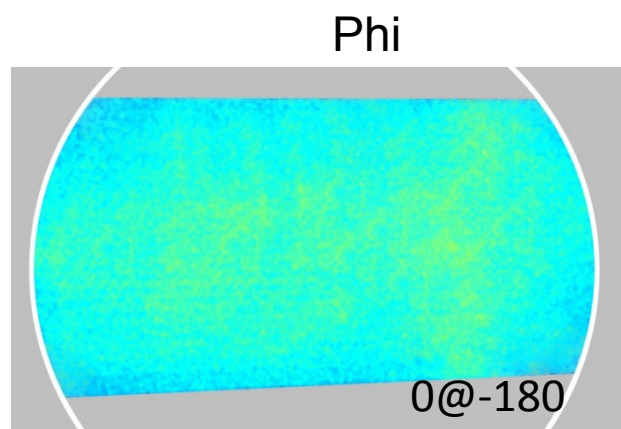


高速数码拍摄的FREI火焰传播过程图  
(拍摄频率8000帧/秒, 每图间隔15帧)

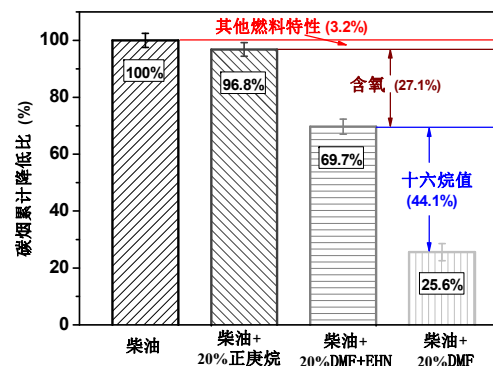
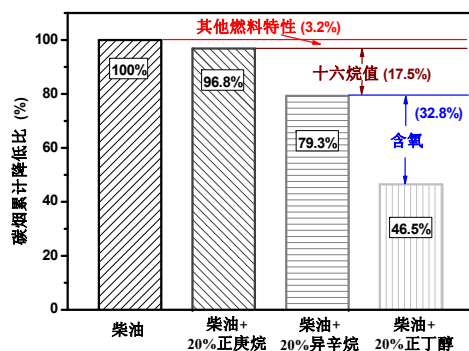
# 当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 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

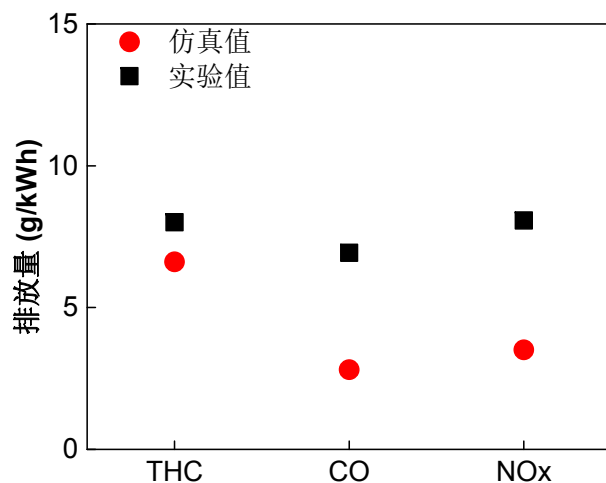
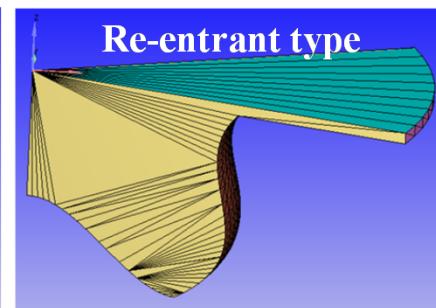
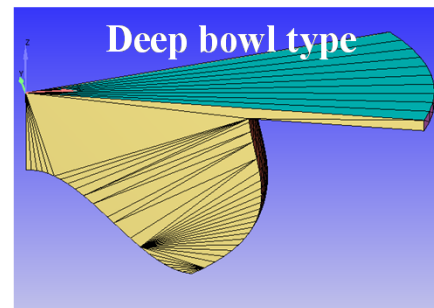
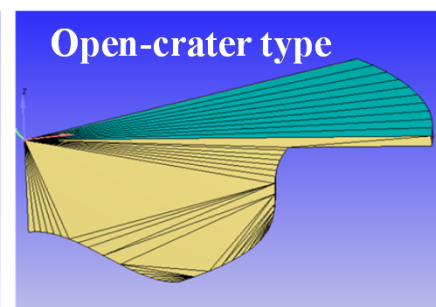
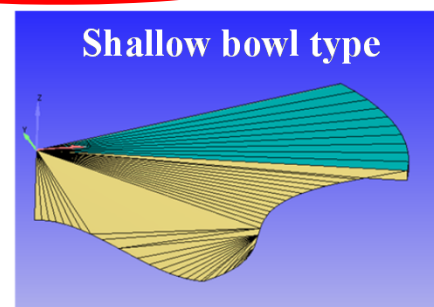
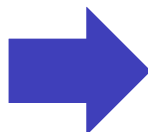
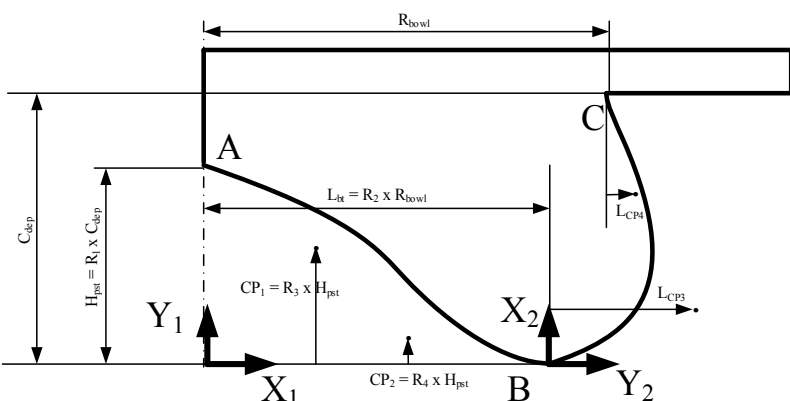


# 当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 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

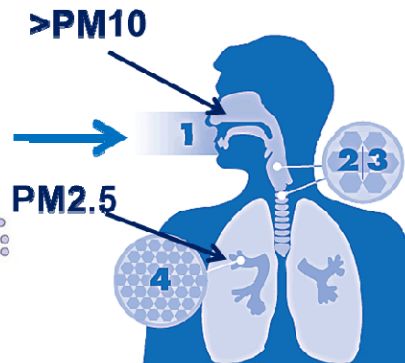
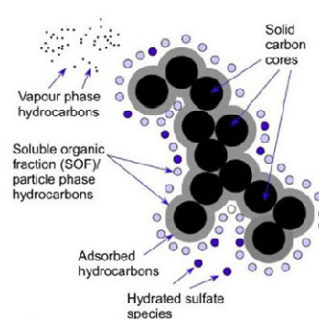
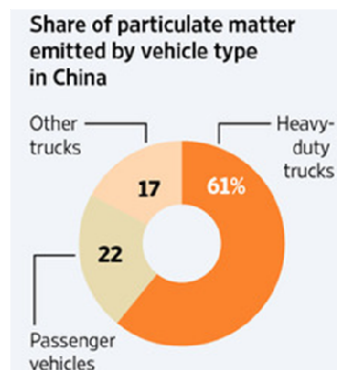
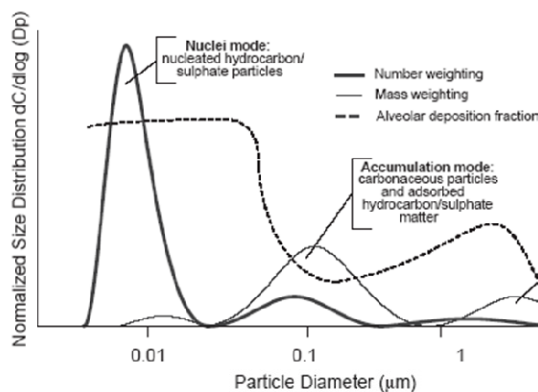


# 当前研究进展——燃烧与化学动力学

- 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

## 王汭 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)

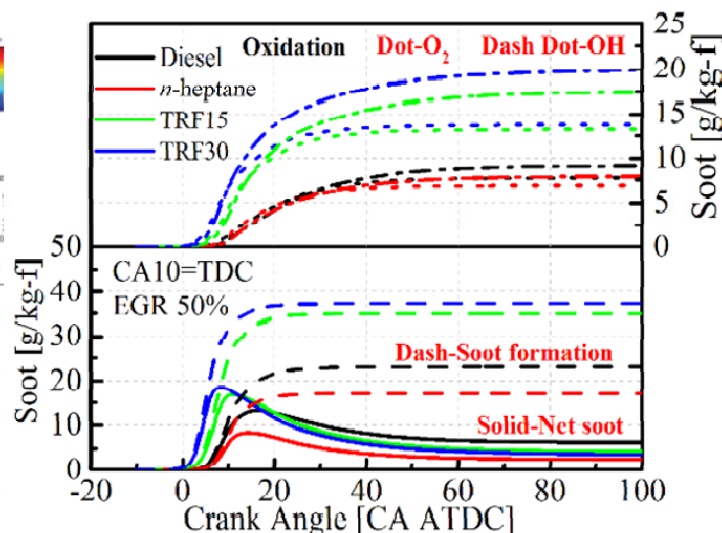
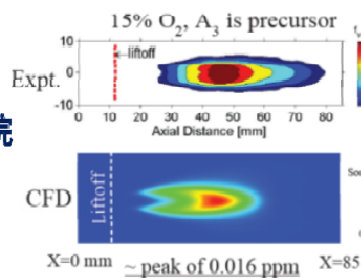
##### 柴油机碳烟生成机理和模型

##### 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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	i-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>1</sub> +H i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>1</sub> +H C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>1</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>1</sub> +H C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>1</sub> +H 2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>1</sub>	2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>1</sub> i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>1</sub> +H C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>1</sub> +H	-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> +H=A <sub>1</sub> +CH <sub>3</sub> A <sub>3</sub> +OH=C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH+H
A <sub>2</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>2</sub> +2H+H 2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub> +2H	2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub> +2H i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>2</sub> +2H+H	2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub> +2H i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>2</sub> +2H+H	i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>2</sub> +2H+H 2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub> +2H A <sub>1</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub>	2C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub> +2H i-C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>2</sub> +2H+H A <sub>1</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> =A <sub>2</sub>
A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>3</sub> +H A <sub>2</sub> R <sub>6</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>3</sub> +H A <sub>2</sub> R <sub>6</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> =A <sub>3</sub> +H A <sub>2</sub> R <sub>6</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> =A <sub>3</sub> +H A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> =A <sub>3</sub> +H	A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> =A <sub>3</sub> +H A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> =A <sub>3</sub> +H
A <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> R <sub>5</sub> =A <sub>4</sub> A <sub>2</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>4</sub> +H+H <sub>2</sub> A <sub>3</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =A <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> R <sub>5</sub> =A <sub>4</sub> A <sub>2</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>4</sub> +H+H <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> R <sub>5</sub> =A <sub>4</sub> A <sub>2</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>4</sub> +H+H <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> =A <sub>4</sub> +H+H <sub>2</sub> A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H=A <sub>4</sub> +H C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> R <sub>5</sub> =A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub> +A <sub>3</sub> =A <sub>4</sub> +H+H <sub>2</sub> A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H+A <sub>1</sub> C <sub>2</sub> H=A <sub>4</sub> +H A <sub>2</sub> +A <sub>1</sub> =A <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>



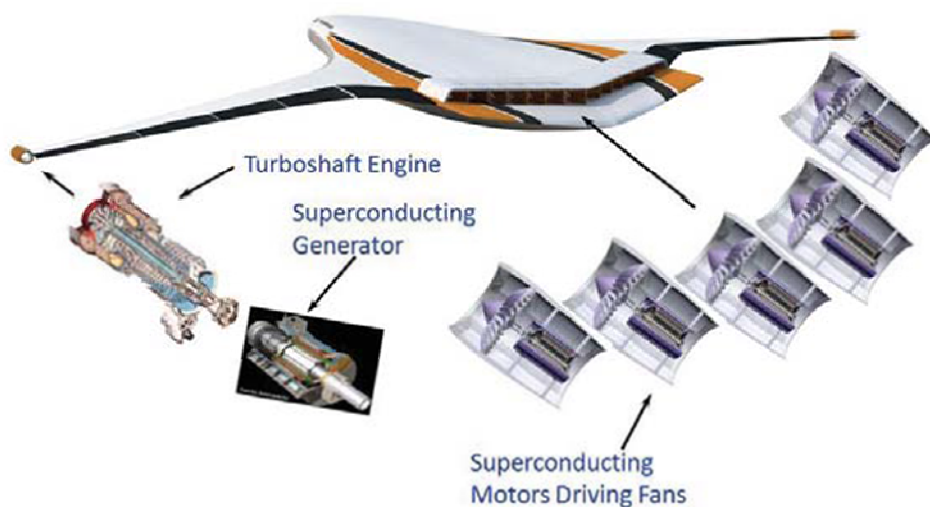
Hu Wang, Mingfa Yao, et al., *Combustion and Flame*, 2015, 162(6):p. 2390-2404.

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



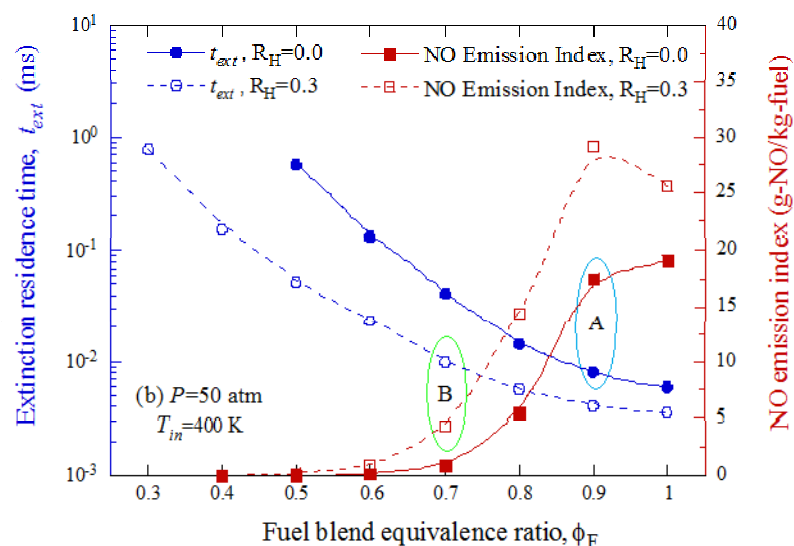
# 当前研究进展——航空发动机燃烧

- 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）

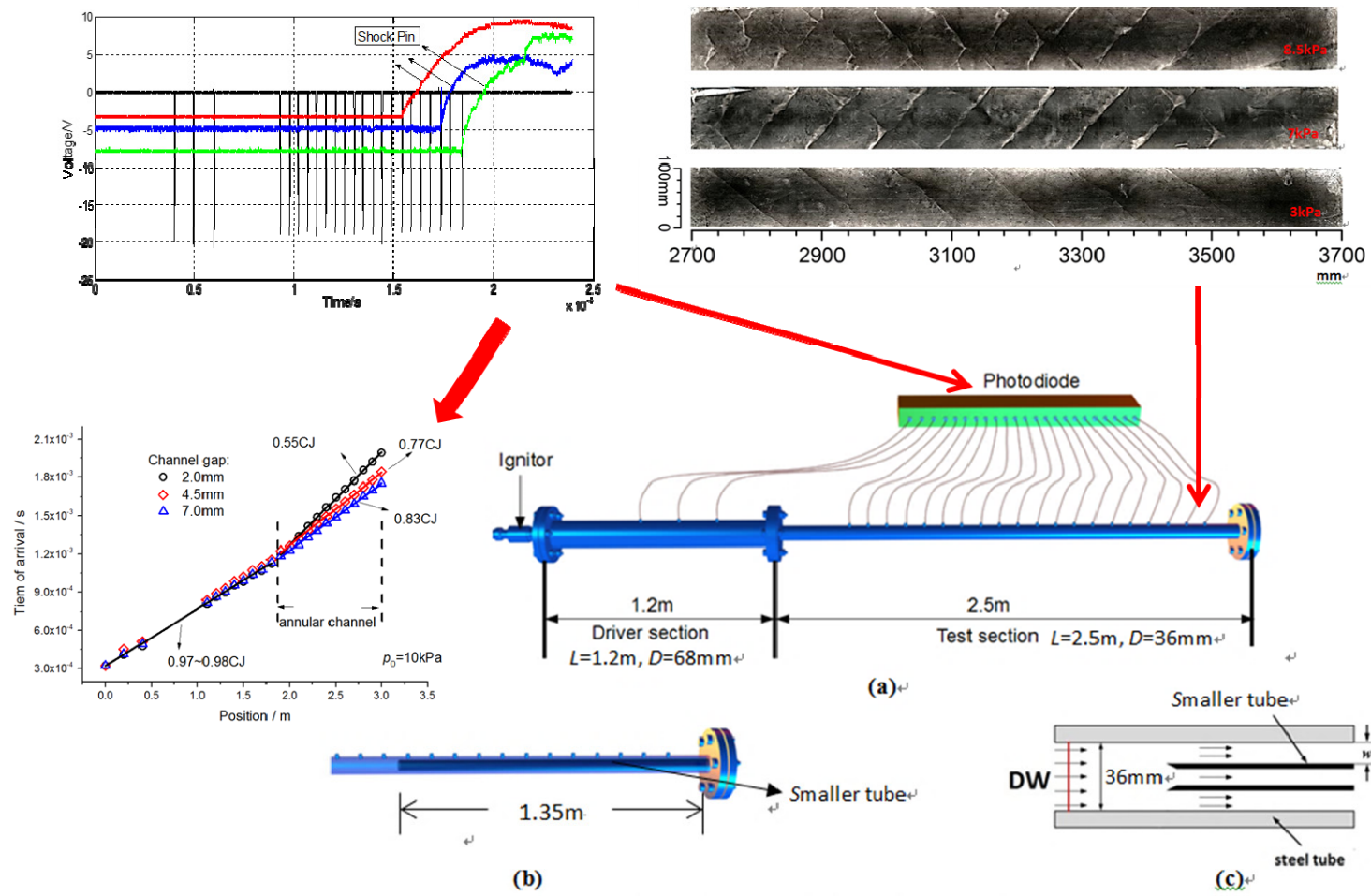
- 拓宽贫燃极限
- 降低火焰温度
- 减少NOx生成



# 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





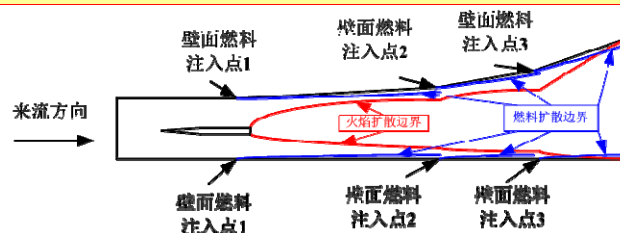
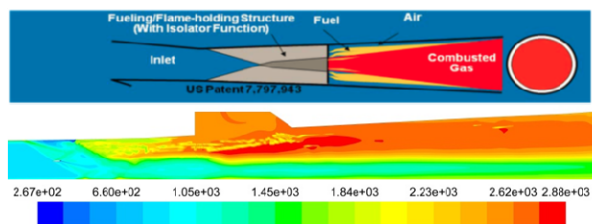
# 当前研究进展——航空发动机燃烧

## • 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 O<sub>2</sub>-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！