

ICSC 2017

CAE for virtual product
CAE for innovation
CAE for process transformation

IDAJ CAE Solution Conference

缸内直喷汽油机喷雾光学诊断与数值模拟研究

赵洪雪 静大亮 帅石金

清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室

2017年11月15日 上海

■ 报告目录

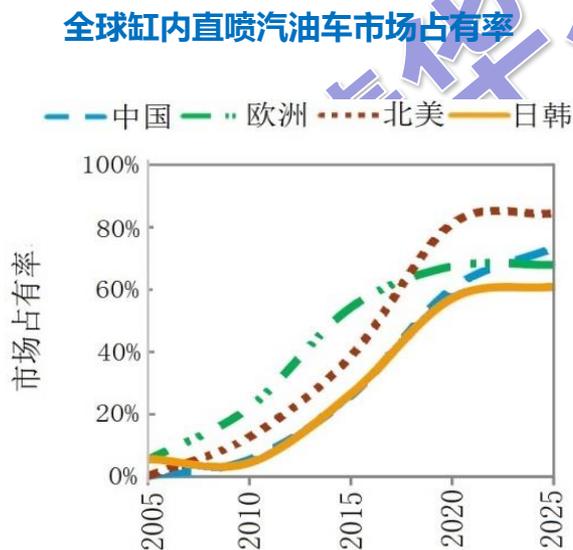
- 研究背景与研究内容
- 实验平台搭建与CFD数值建模
- 喷雾特性光学诊断与CFD数值模拟
- 混合气形成过程光学诊断与CFD数值模拟
- 研究总结与工作成果

■ 报告目录

- 研究背景与研究内容
- 实验平台搭建与CFD数值建模
- 喷雾特性光学诊断与CFD数值模拟
- 混合气形成过程光学诊断与CFD数值模拟
- 研究总结与工作成果

研究背景

- 缸内直喷汽油机（GDI）市场占有率不断增大，然而GDI发动机颗粒物排放问题引起广泛关注，法规不仅要求颗粒物质量，还对颗粒物数量有着愈发严苛的要求



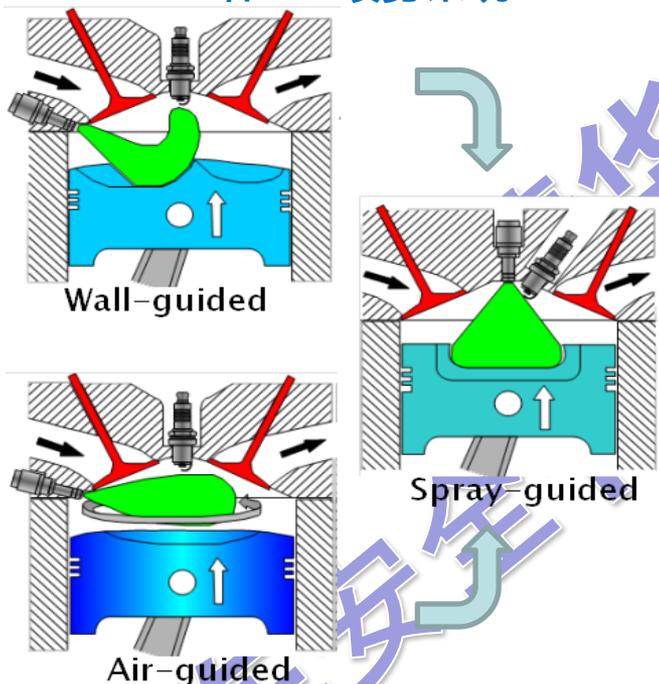
Wang Liang. OEM powertrain roadmap for 2020 phase 4 fuel consumption limit and beyond [C]. IHS Automotive Conference, 2015-10-13

标准水平	排放限值 (乘用车I型试验, GDI)	
	PM (mg/km)	PN (个/km)
Euro 5	5	-
Euro 6	4.5	6.0×10^{12} 2014.9
		6.0×10^{11} 2017.9
国 5	4.5	-
国 6a	4.5	6.0×10^{11}
国 6b	3.0	6.0×10^{11}

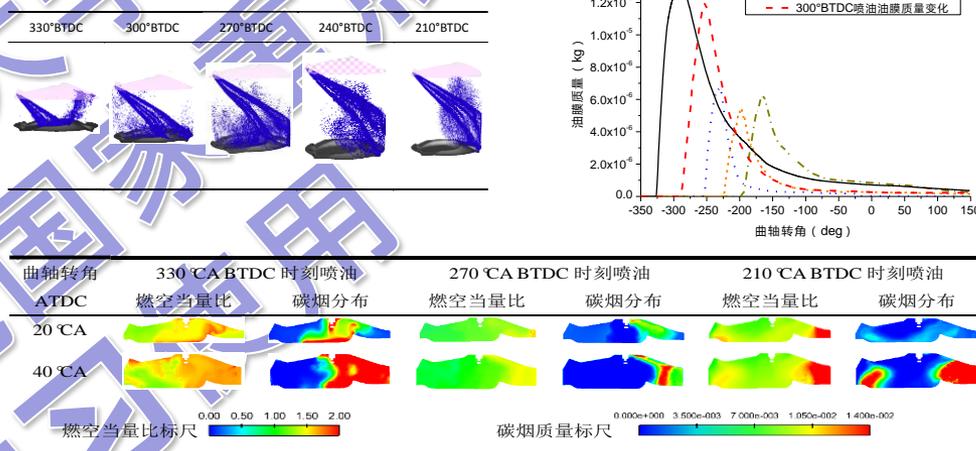
<https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>

研究背景

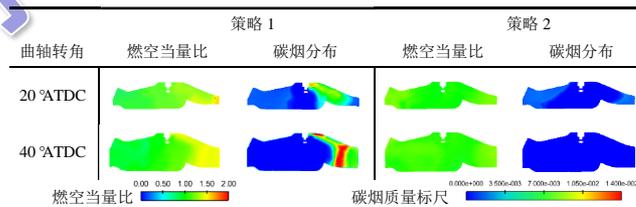
三种GDI喷雾系统



喷雾与碳烟生成关系



二次喷射策略可以有效减少碳烟的生成

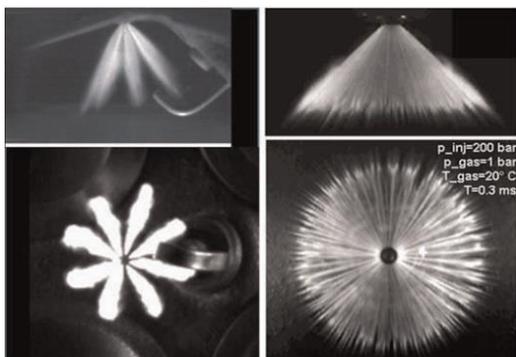


- 油膜蒸发易使近壁面产生局部浓区从而大量生成碳烟。
- 优化第二次喷射时刻可以有效减少碳烟的生成。

赵洪雪, 帅石金. 喷油策略对GDI发动机碳烟生成的影响[J]. 汽车工程. 2017 (Vol.39) No.9: 984-988, 1003.

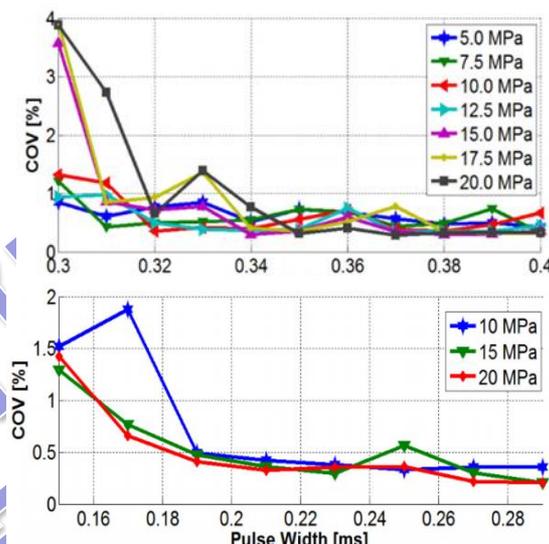
研究背景

GDI发动机喷油器型式与控制精度正在进一步优化



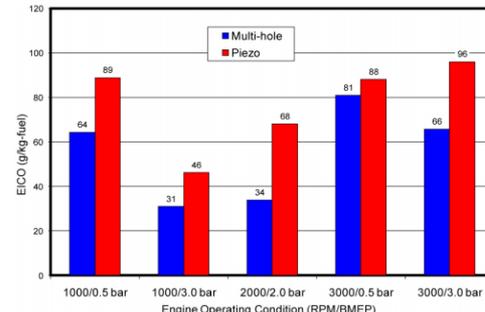
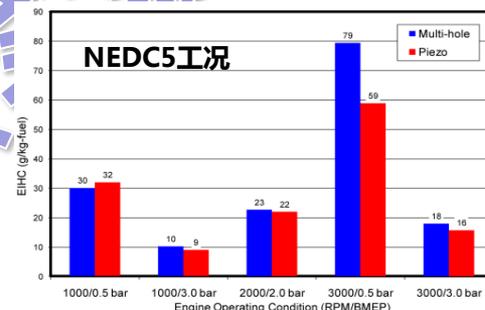
多孔喷嘴(左图)与外开式喷嘴(右图)的喷雾结构

- 多孔喷嘴油束和油雾特性较易于和气流运动配合
- 多孔喷嘴在高速大负荷下的燃油经济性好, 外开式喷嘴在小负荷下燃油经济性较好
- 外开式喷嘴的雾化效果较好, 液体射流的初始尺度更小



电磁驱动(上)与压电驱动(下)喷油量循环波动

- 多孔喷嘴电磁驱动针阀开启和关闭延迟大, 循环波动大
- 外开式喷嘴压电驱动响应迅速, 循环波动小



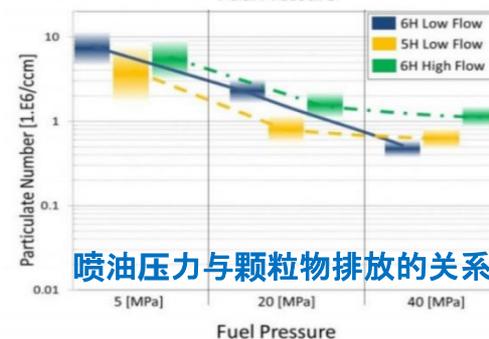
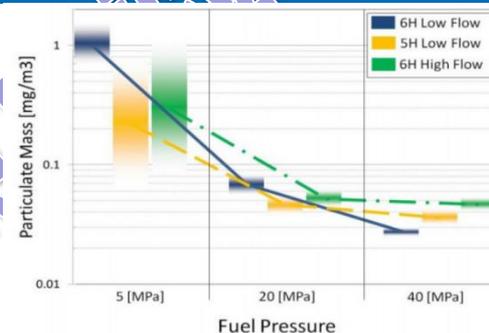
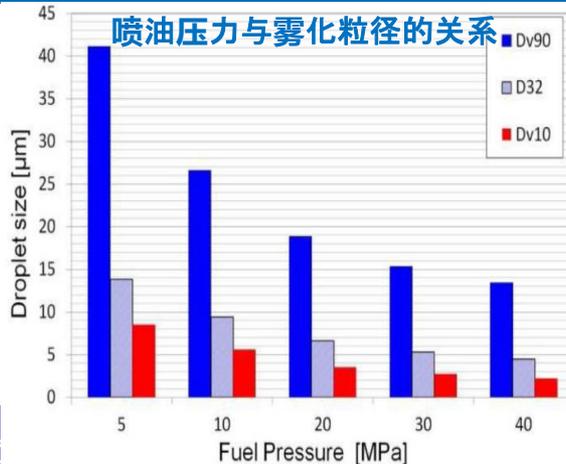
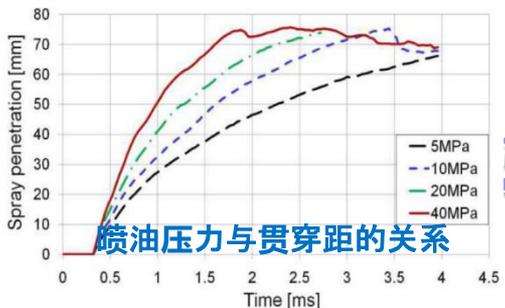
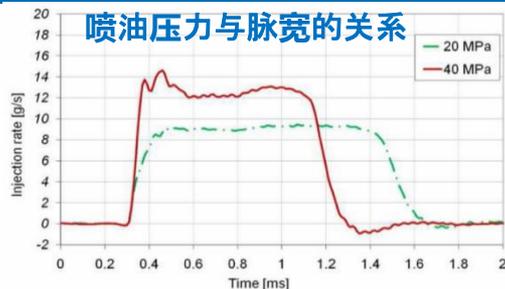
HC(上)与CO(下)排放比较

- 多孔喷油器的混合气更加均匀且接近理论空燃比
- 多孔喷油器在大多数工况下的HC和CO排放低于外开式

Fansler T D, Reuss D L, Sick V, et al. Combustion instability in spray-guided stratified-charge engines: A review. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINE RESEARCH, 2015,16(3SI):260-305.

Dahlander P, Iemmolo D, Tong Y. Measurements of Time-Resolved Mass Injection Rates for a Multi-Hole and an Outward Opening Piezo GDI Injector. SAE Technical Paper 2015-01-0929

研究背景



- 喷油压力的升高导致喷射率升高，喷射脉宽随之缩短
- 随着喷油压力的升高，同一时刻的喷雾贯穿距增大
- 目前喷油压力通常在15~20 Mpa，后续更高至40~100MPa
- 喷油压力低于20 MPa时，油压对油滴粒径的影响较大
- 当喷油压力高于20 MPa时，油压的影响有所减小，但仍对燃料的雾化起到一定的促进作用
- 随着喷油压力的增加，雾化改善，混合更加充分，局部浓区减少，PM和PN排放显著降低

Husted H, Spegar T D, Spakowski J. The Effects of GDi Fuel Pressure on Fuel Economy. SAE Technical Paper 2014-01-1438.
 Piock W F, Befrui B, Berndorfer A, et al. Fuel Pressure and Charge Motion Effects on GDi Engine Particulate Emissions. SAE Technical Paper 2015-01-0746.

■ 研究内容

● 喷雾特性光学诊断与CFD数值模拟

- ◆ 搭建定容弹喷雾光学实验平台、建立定容弹喷雾CFD计算模型
- ◆ 研究不同喷射条件下的喷雾特性与雾化机理
- ◆ 解析先进GDI发动机喷雾系统的优化设计理念

● 混合气形成过程光学诊断与CFD数值模拟

- ◆ 搭建光学发动机实验平台、建立发动机气缸三维CFD计算模型
- ◆ 解析缸内流场、喷雾雾化、碰壁油膜、混合气浓度分布等特性
- ◆ 提出GDI发动机喷雾、减少碰壁、促进油气均质混合的优化策略

■ 报告目录

- 研究背景与研究内容
- **实验平台搭建与CFD数值建模**
- 喷雾特性光学诊断与CFD数值模拟
- 混合气形成过程光学诊断与CFD数值模拟
- 研究总结与工作成果

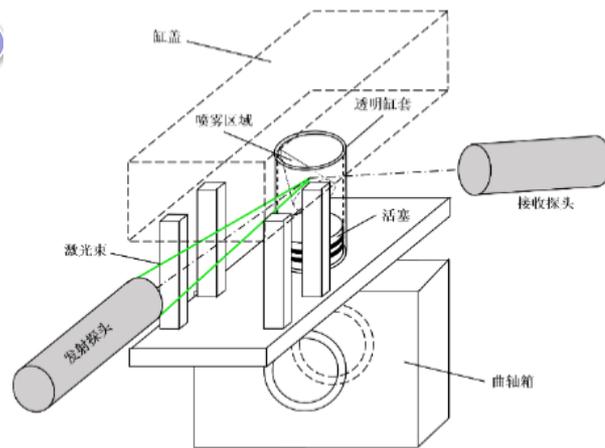
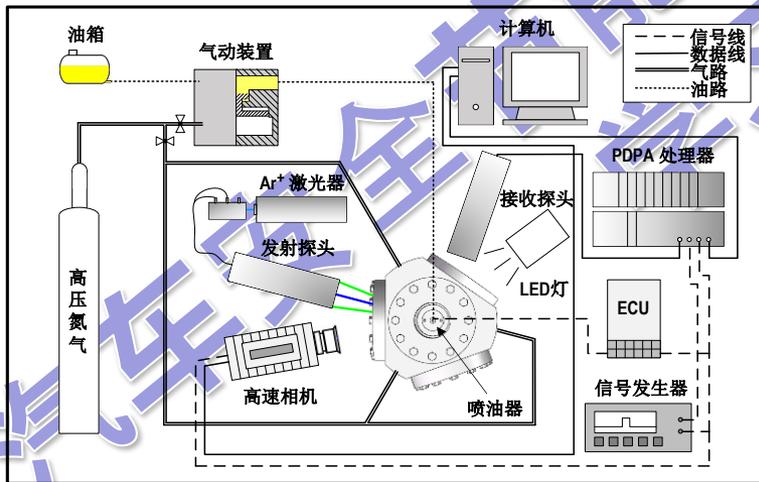
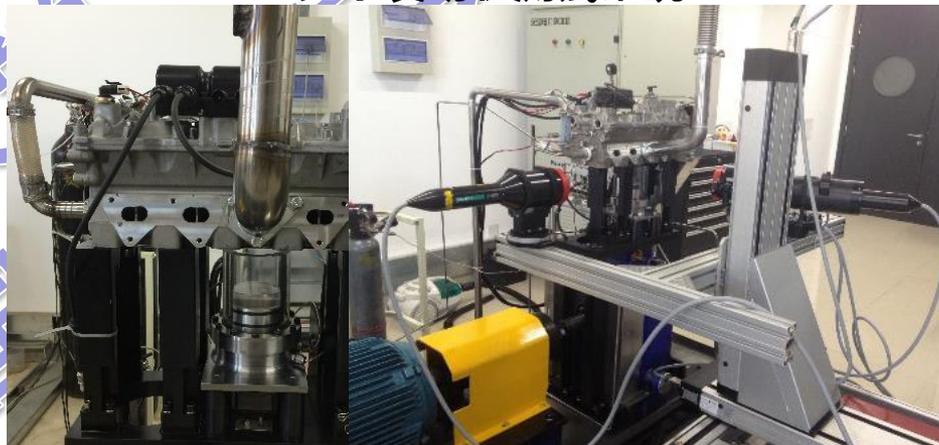
实验平台建设

光学可视化平台搭建

定容弹喷雾测试系统



光学发动机测试系统



■ 实验平台建设

● 热力学台架试验平台搭建



◆ 将发动机从整车上拆下并搭建
成发动机试验台架

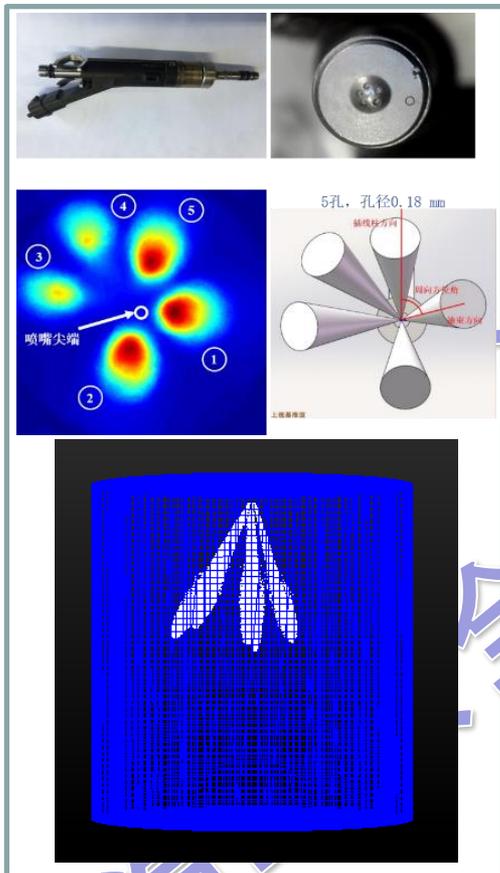
◆ 整车停在转鼓上模拟实际车速
，使用延长线连接整车和发动
机，保持与整车一样的ECU控
制

◆ 发动机安装有角标和缸压传感
器，可采集缸压与放热率等热
力学数据

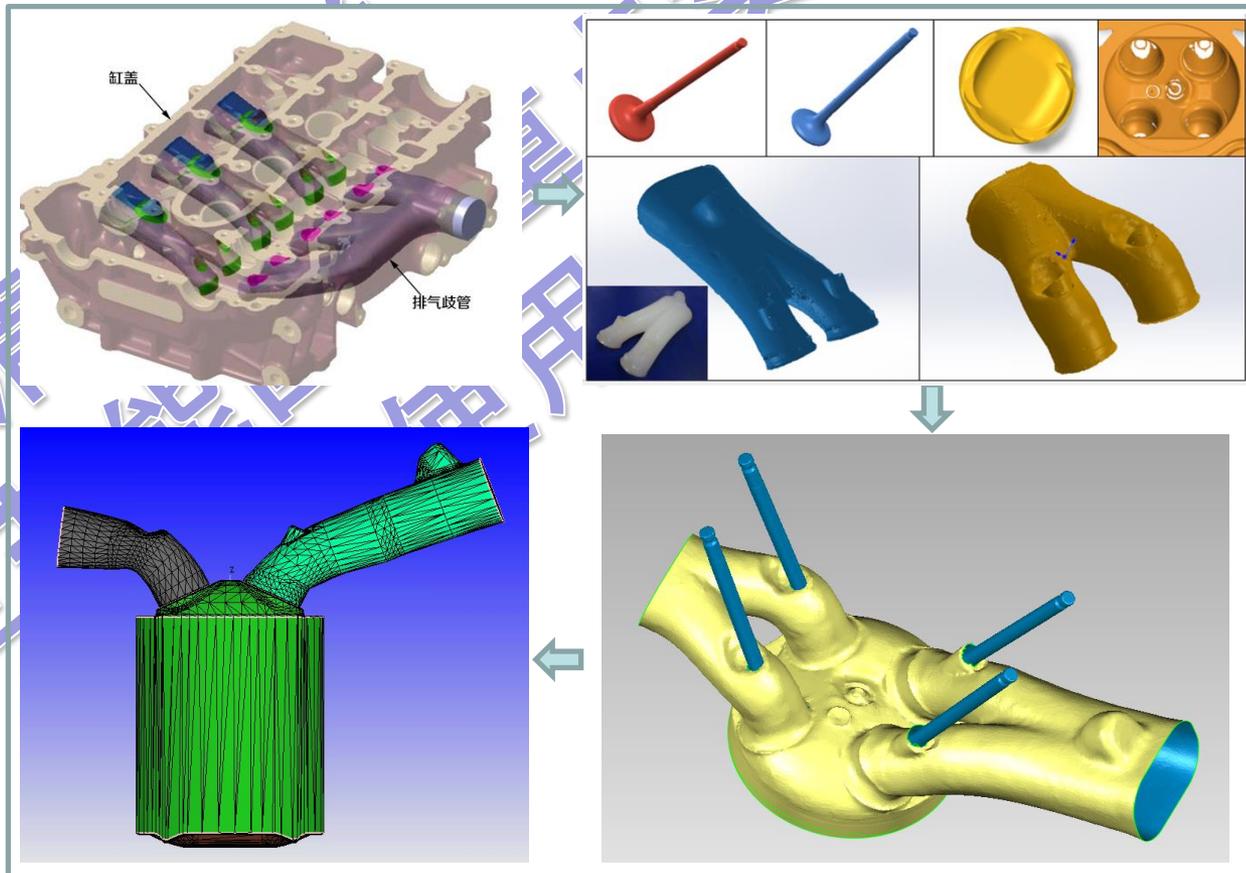
◆ 电力测功机与发动机相连，可
获得转速、扭矩、功率等数据

CFD数值建模

定容弹喷雾三维CFD模型



发动机气缸三维CFD模型



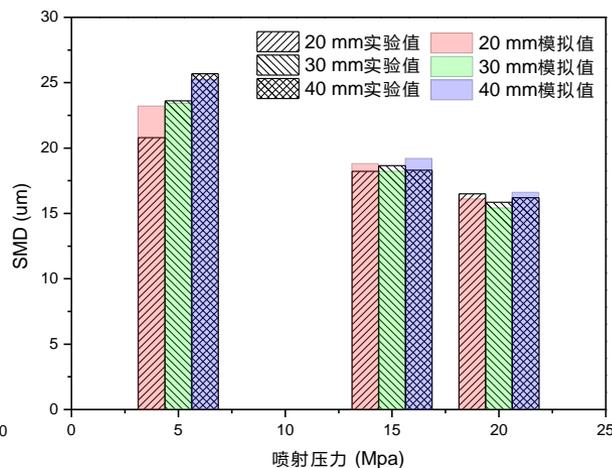
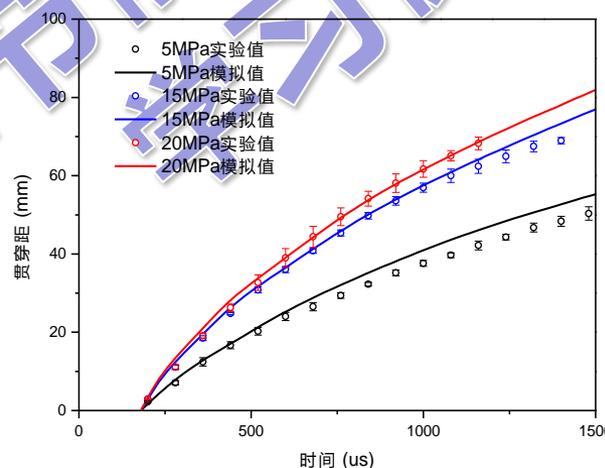
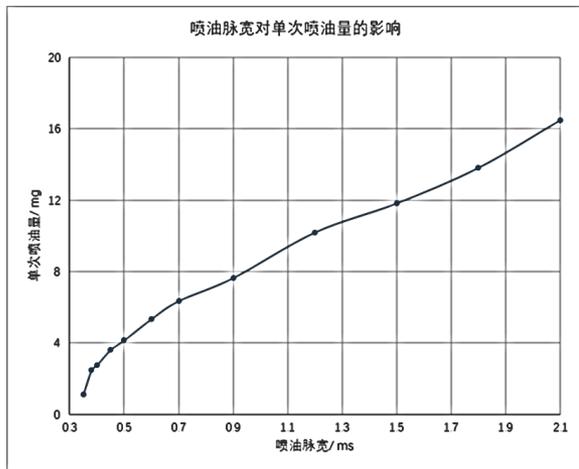
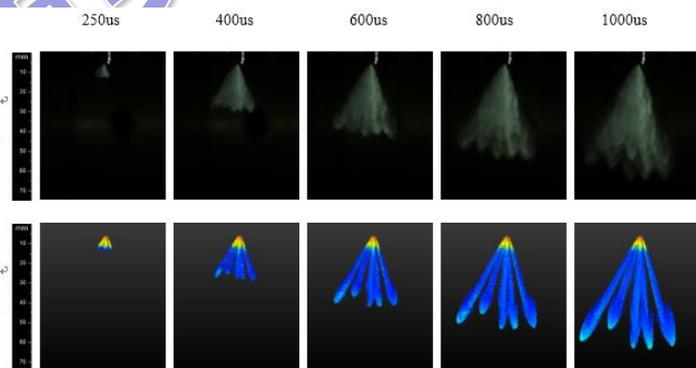
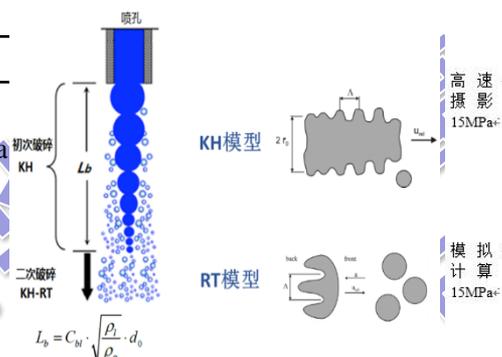
■ 报告目录

- 研究背景与研究内容
- 实验平台搭建与CFD数值建模
- **喷雾特性光学诊断与CFD数值模拟**
- 混合气形成过程光学诊断与CFD数值模拟
- 研究总结与工作成果

喷雾特性研究工况及模型标定

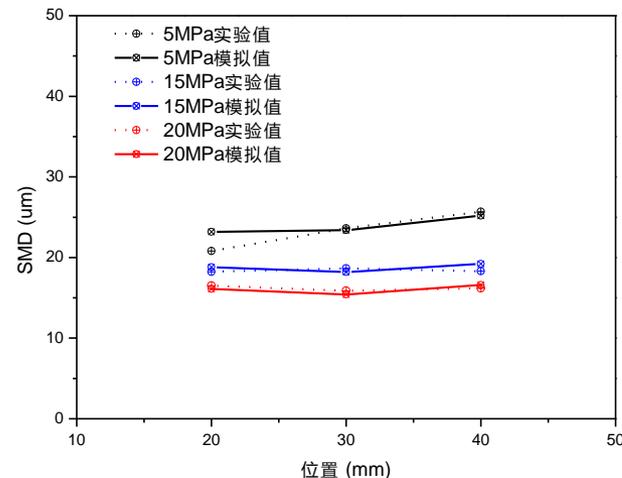
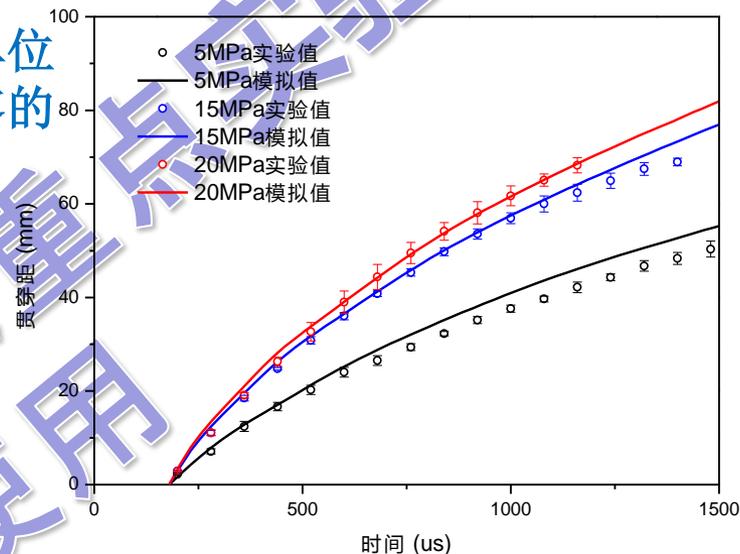
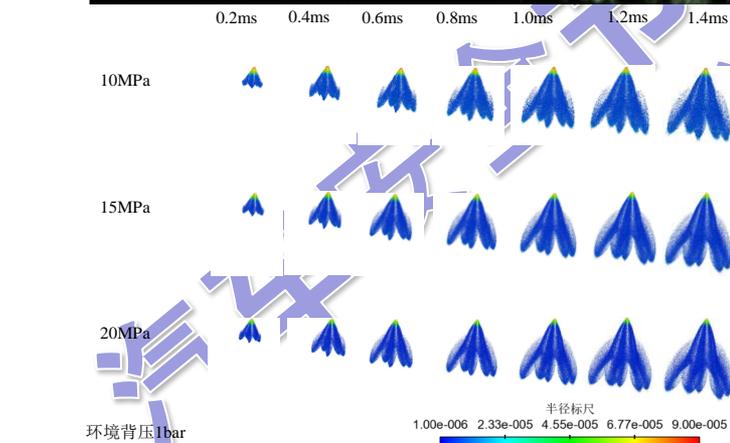
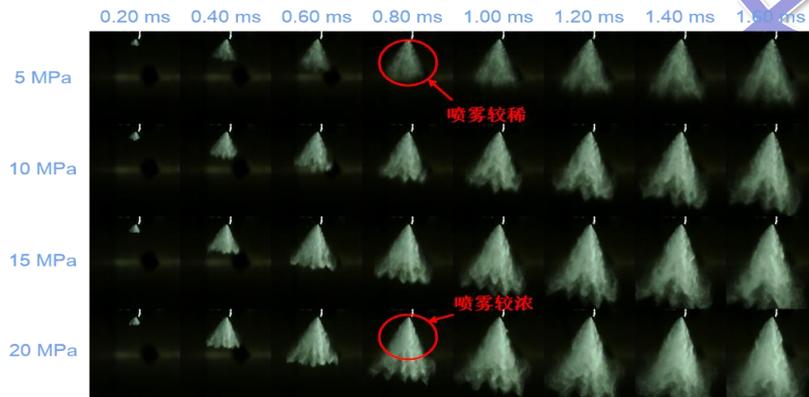
- 基于喷雾特性测试工况，对喷雾模型进行标定，为喷雾CFD模拟研究提供基础

测试条件	工况
环境温度	20 °C
燃油温度	293K、353K
喷油压力	5 MPa、10 MPa、15 MPa、20 MPa
环境背压	1 bar、5 bar、10 bar
喷射脉宽	1.5 ms
相机拍摄速度	25000 fps
相机快门	1/160000 s
图片分辨率	640*768



喷射压力对喷雾宏观与微观特性的影响

由于喷射压力提高导致瞬时喷射率增加，使得单位时间内喷出的燃料增多；喷射压力提高后，喷雾的雾化效果提升，油滴的粒径减小而数量上升。



环境背压对喷雾宏观与微观特性的影响

背压升高使空气密度增加，导致喷雾受到的阻力增加，喷雾发生形变。

