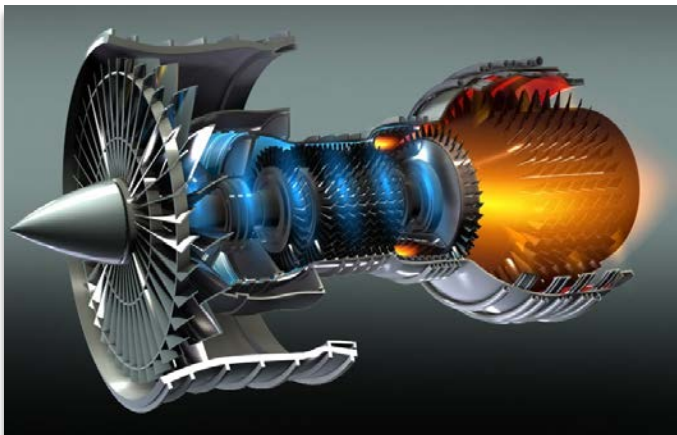
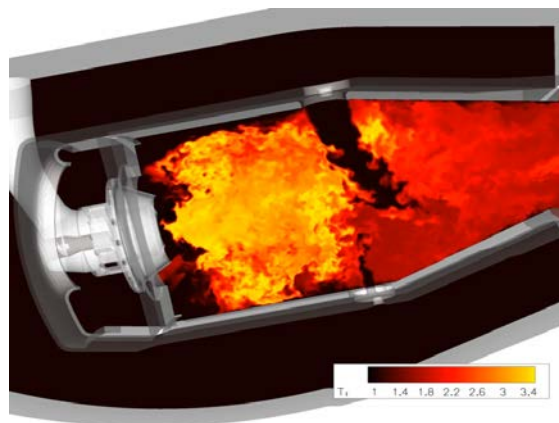


研究背景

湍流燃烧是航空发动机燃烧室的重要研究内容



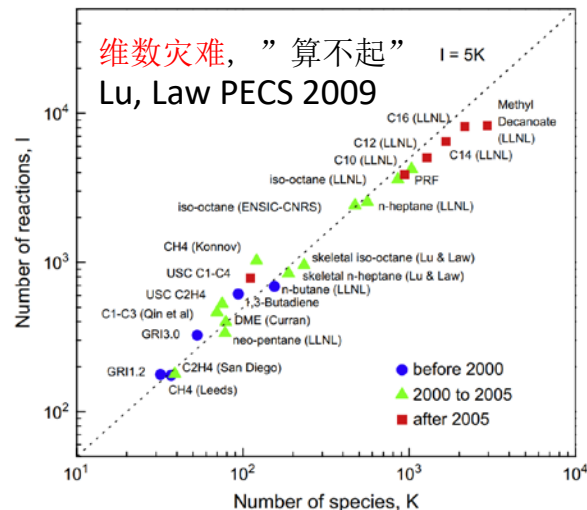
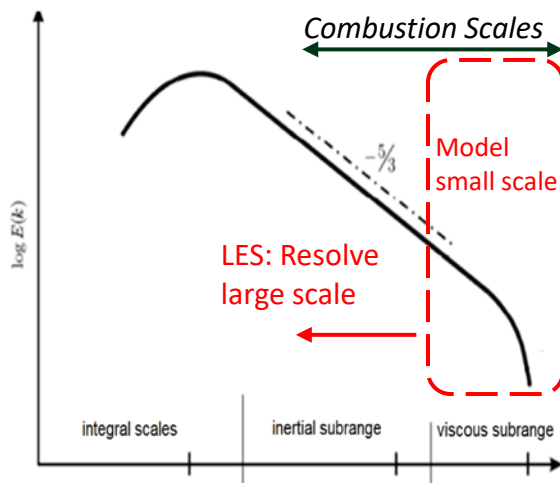
航空发动机



发动机燃烧室

湍流燃烧的特征

- ✓ 两者在时间和空间上都表现为**多尺度**，小尺度解析要求高，计算量大
- ✓ 燃烧的物质组分多，直接求解**方程数量多**，计算量大



* Norbert Peters *turbulent combustion*

研究背景：发展降低维度的火焰面 (Flamelet) 模型

□ 湍流燃烧的研究框架

$$\frac{\partial \rho Y_k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i Y_k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho \mathcal{D}_i \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right) + \dot{\omega}_k$$

如何计算源项？

$$\dot{\omega}_k = \sum_{j=1}^M A_{fj} T^{\beta_j} \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right) \prod_{k=1}^N [X_k]^{v_{kj}}$$

$$\dot{\omega}_k = \dot{\omega}_k(Z, Y_C)$$

◆ **有限速率模型**：考虑化学反应动力学的影响，每一步的反应都用Arrhenius公式计算源项，一般需要详细的化学反应机理，多组分的输运方程，**适用范围广，计算量大**

◆ **火焰面 (Flamelet) 模型**：认为各个组分之间存在依赖关系，采用少数几个标量（混合分数Z，过程变量 Y_C ）通过化学建表 Tabulation Chemistry 进行表征，**计算量小，只能适用于单一机制工况**

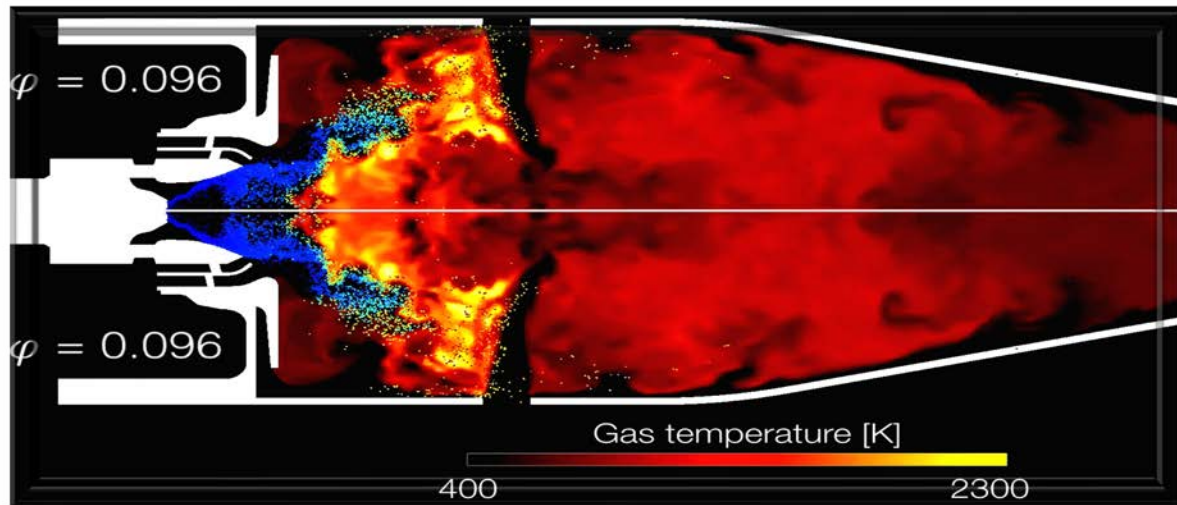
□ 解决方案：**LES + 火焰面模型**

研究背景：基于火焰面 (Flamelet) 模型研究现状

燃烧室的火焰燃烧状态

可能存在的火焰机制

1. 自点火
2. 预混传播
3. 火焰扩散



发动机燃烧室

火焰面模型介绍

Autoignition 模型：忽略空间项，只考虑时间项的自动点火 autoignition

$$\rho \frac{\partial Y_i}{\partial t} = \dot{\omega}_i$$

Flamlet Progress Variable 模型：

基于扩散火焰，组分参数随混合分数和过程变量变化

$$\frac{\rho \chi_Z}{2} \frac{\partial^2 Y_i}{\partial Z^2} + \dot{\omega}_i = 0$$

Flamelet Generated Manifold 模型：

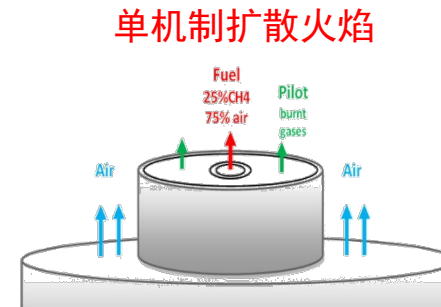
基于预混火焰，组分参数随过程变量和温度而变化

$$\rho_o S_L \frac{\partial Y_i}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \mathcal{D}_i \frac{\partial Y_i}{\partial x} \right) + \dot{\omega}_i$$

工作一：Sandia Flame D 的燃烧大涡模拟

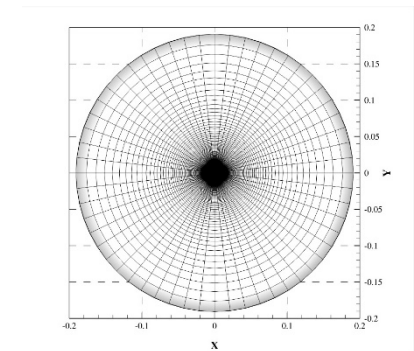
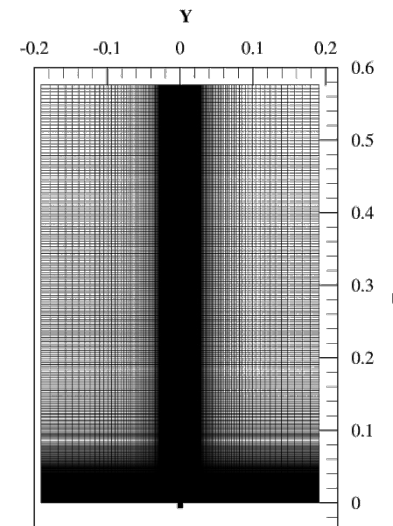
□ Sandia Flame D 的初值条件

Main Jet	Pilot	Coflow
25% CH ₄ , 75% air U = 49.6 m/s Re = 22400	当量比相同的已燃气体 U = 11.4 m/s Flame stabilizer	Air U = 0.9 m/s



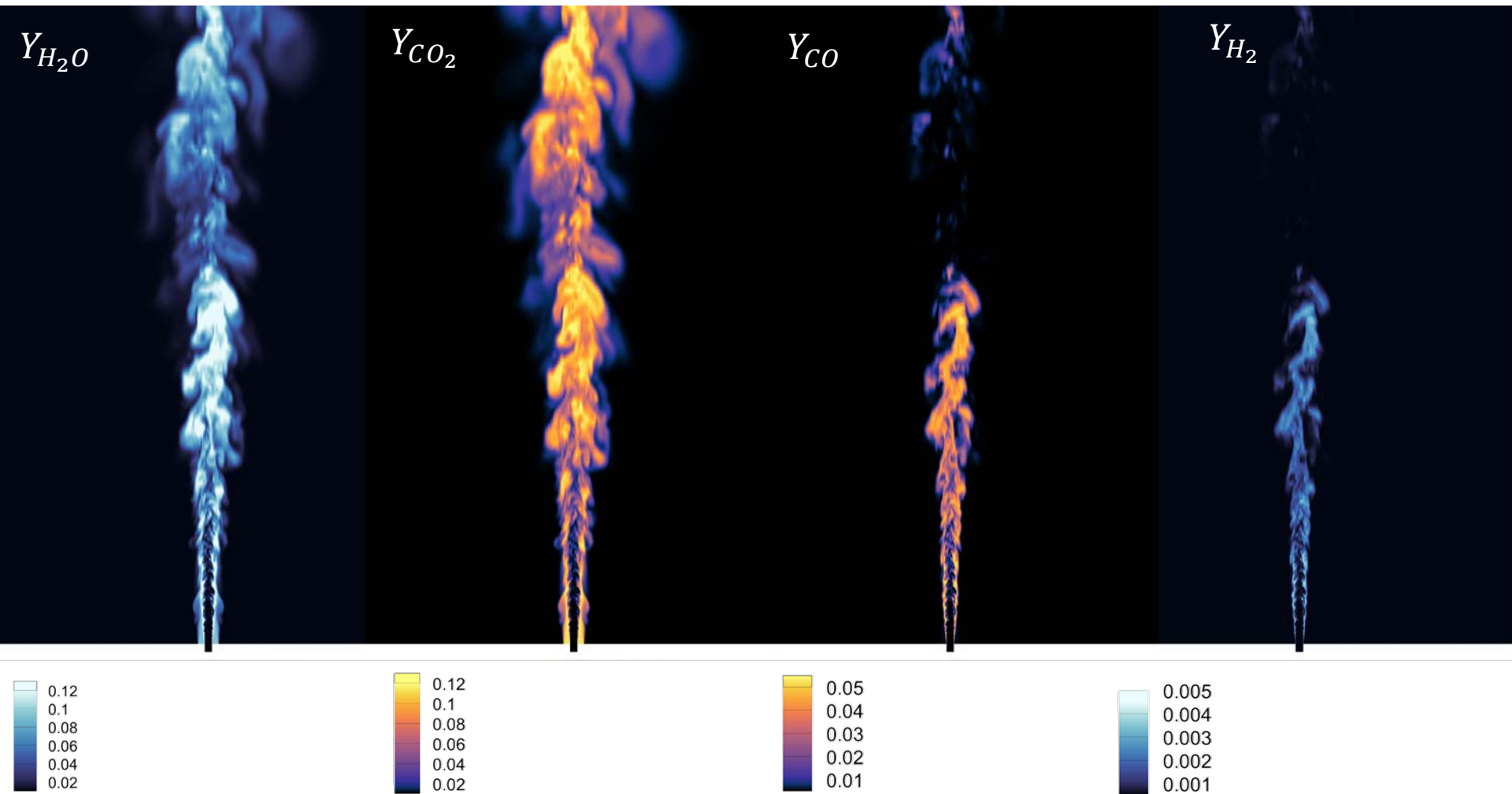
□ Sandia Flame D 的计算设置

网格单元	粗：56 × 195 × 153 细：65 × 229 × 305
空间离散	2 nd 迎风
时间推进	3 rd RK
湍流燃烧模型	FPV model
Presumed PDF	Beta 分布



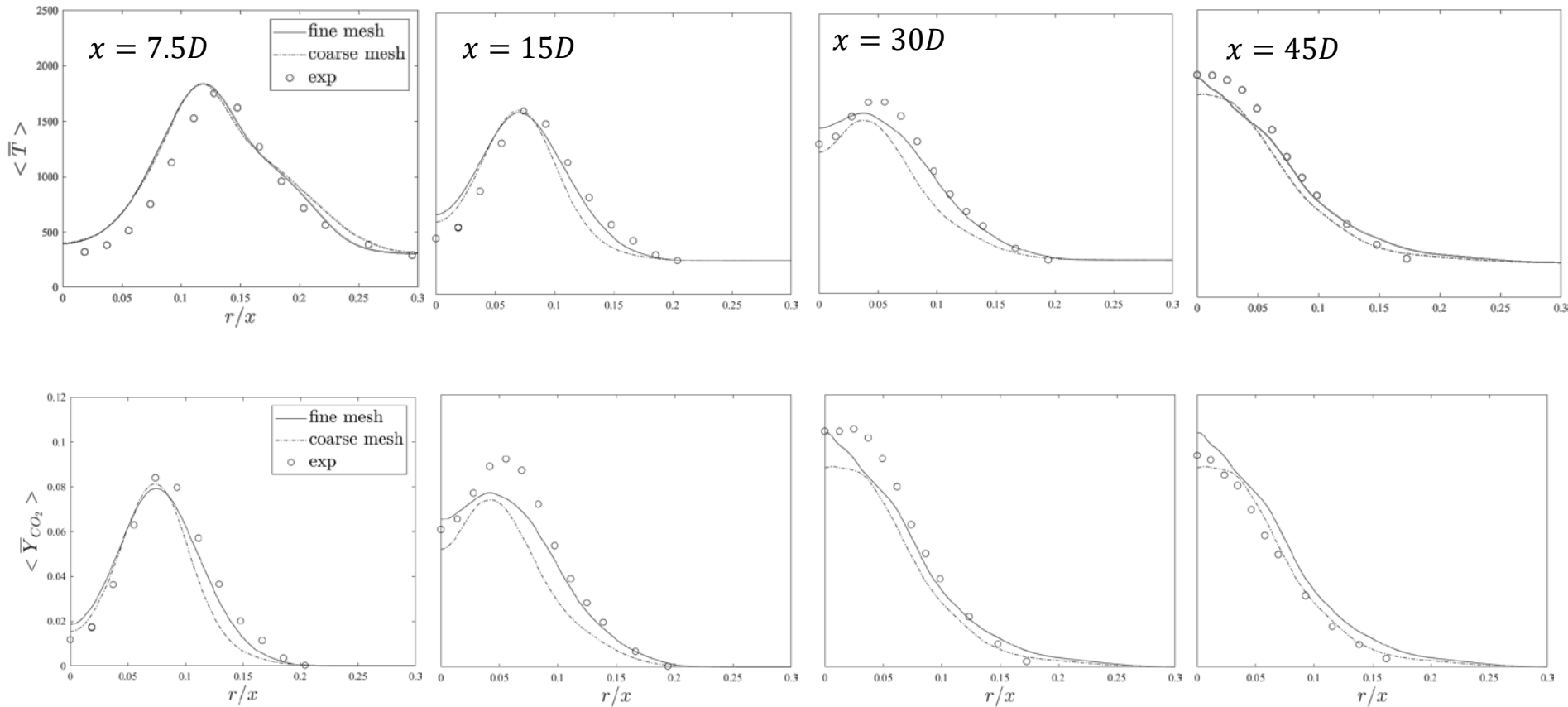
Sandia Flame D 的燃烧大涡模拟

□ Sandia flame D的瞬时云图



Sandia Flame D 的燃烧大涡模拟

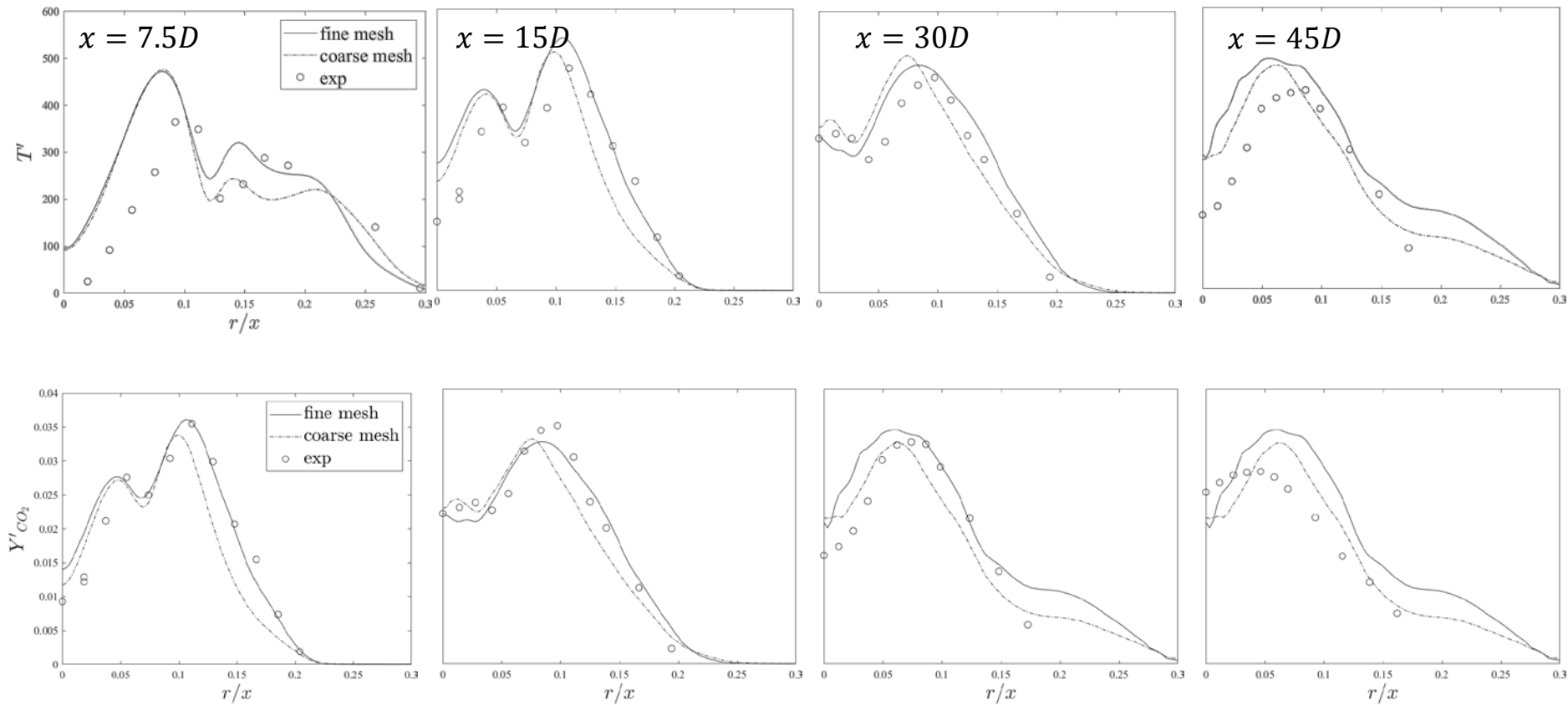
□ Sandia flame D的模拟结果和实验结果时均值对比



◆ 温度 T 和 Y_{CO_2} 的时均值和实验对比较好

Sandia Flame D 的燃烧大涡模拟

□ Sandia flame D的模拟结果和实验结果脉动量对比



◆ 温度 T 和 Y_{CO_2} 的脉动量和实验值对比较好

求解器能够准确预测单一机制的湍流燃烧过程