

# 第十二届全国流体力学学术会议

2022年9月22日-25日, 西安

## 基于气动力、热降阶模型的热气动弹性分析方法

王梓伊<sup>1</sup>, 张伟伟<sup>2</sup>, 刘磊<sup>1</sup>, 杜雁霞<sup>1</sup>

1 中国空气动力研究与发展中心; 2 西北工业大学 航空学院

Email: aero\_zyw@126.com

### Highlight

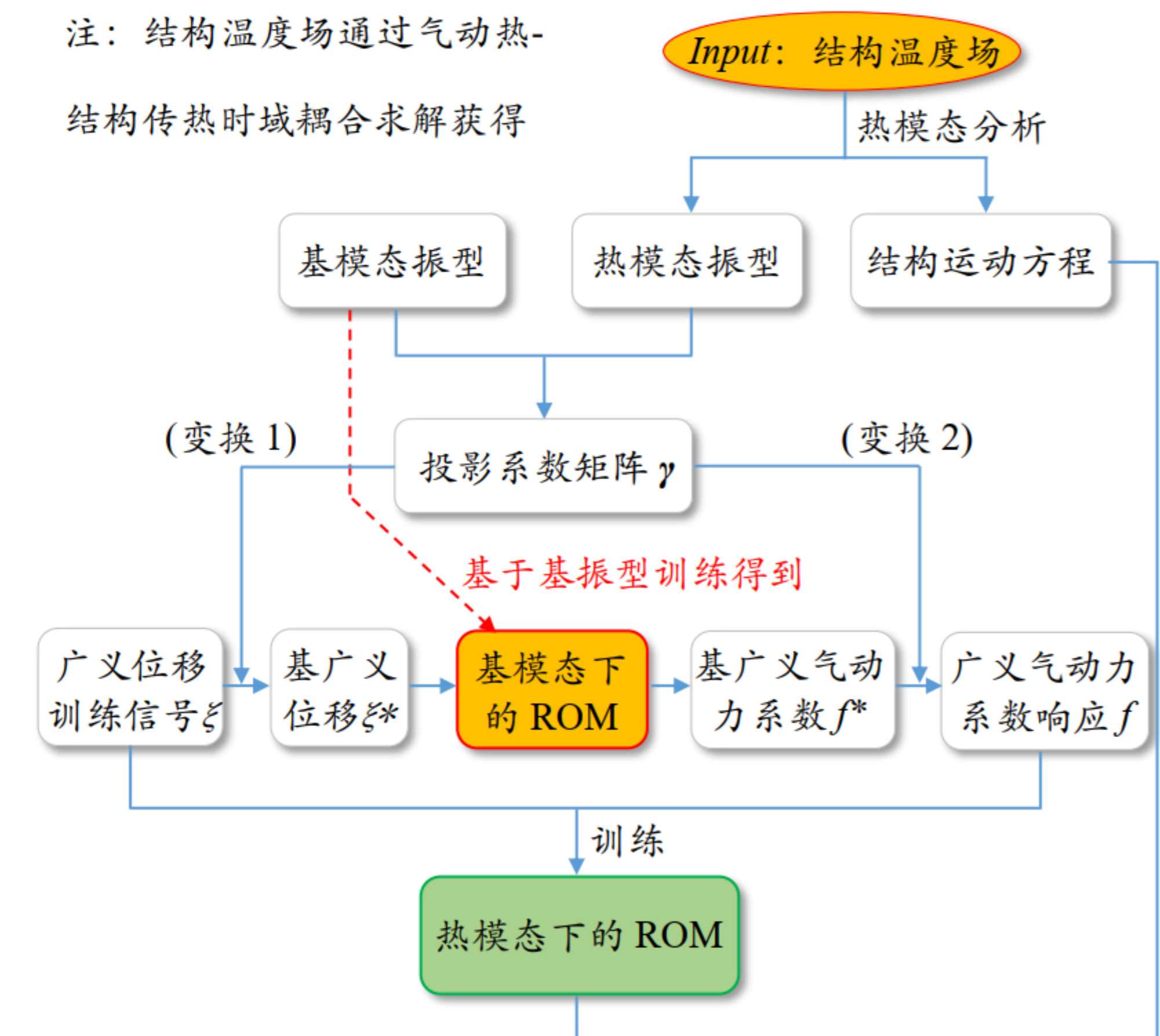
- 提出了适用于时变热模态的气动力、热降阶建模方法 (ROM), 将热气动弹性分析效率提高了若干量级, 同时精度损失可控.
- 针对静、动热气动弹性分析建立了不同的多物理场耦合架构.

### 研究方法

#### ● 适用于时变热模态的非定常气动力建模方法

注: 结构温度场通过气动热-

结构传热时域耦合求解获得



基模态: 初始时刻结构固有模态

降阶模型: ARX模型

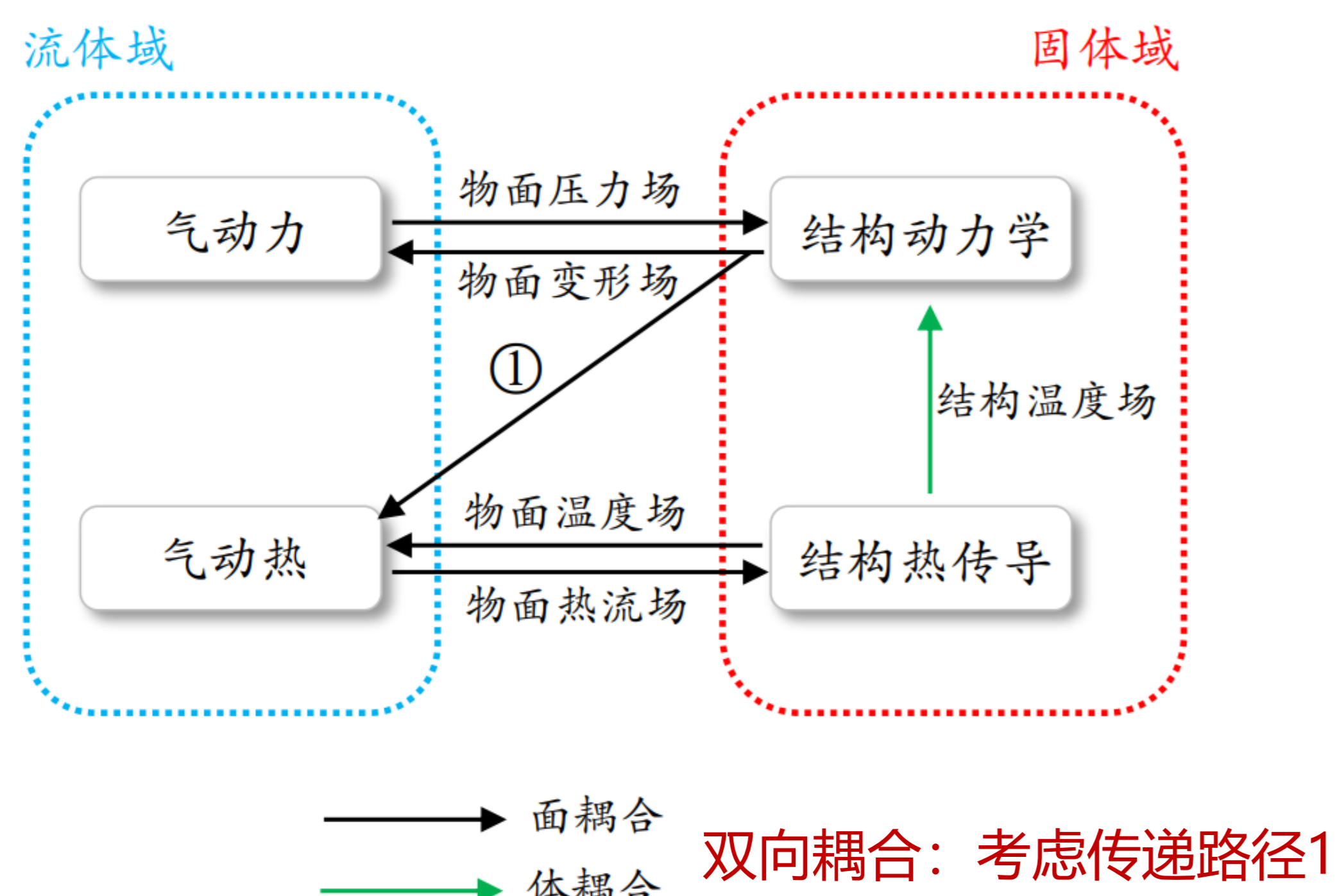
Output: 受热结构热气动弹性特性

#### ● 气动热降阶模型

步骤1: 建立输入为基模态位移、输出为均布壁温下热流分布POD基系数的代理模型;

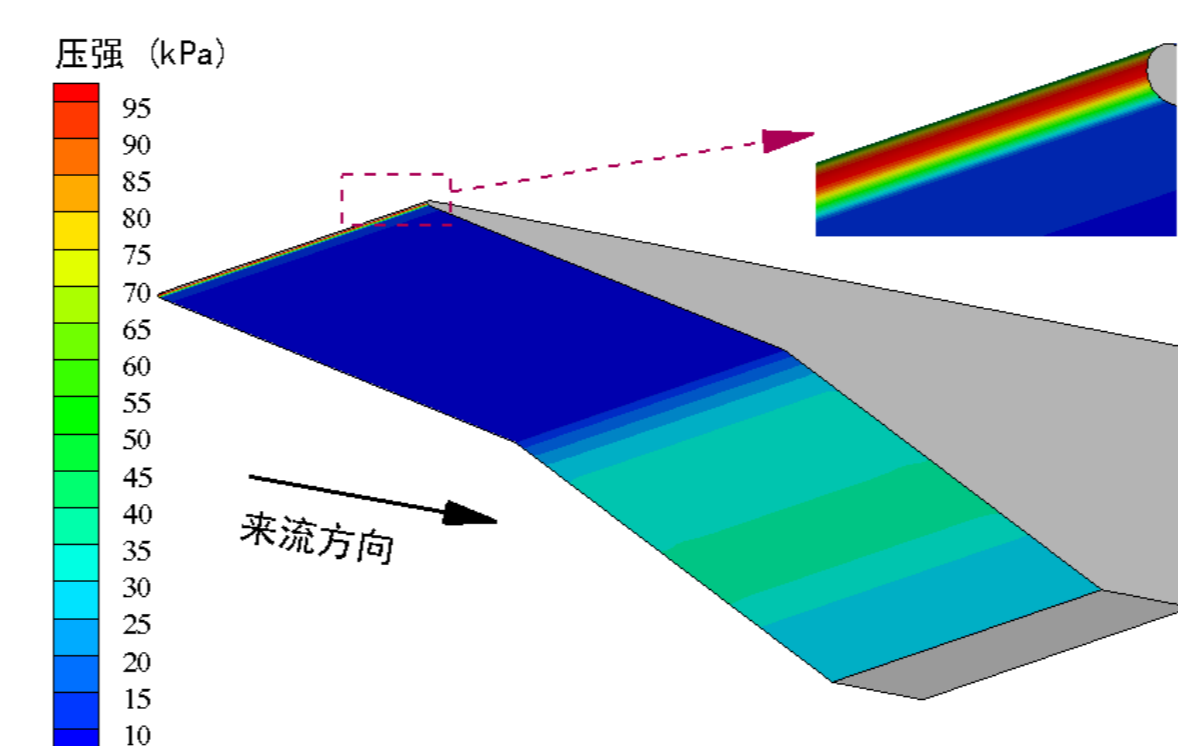
步骤2: 建立多个均布壁温下的代理模型, 并用模型结果进行当地化热壁修正。

#### ● 基于气动力、热降阶模型的流-热-固耦合架构

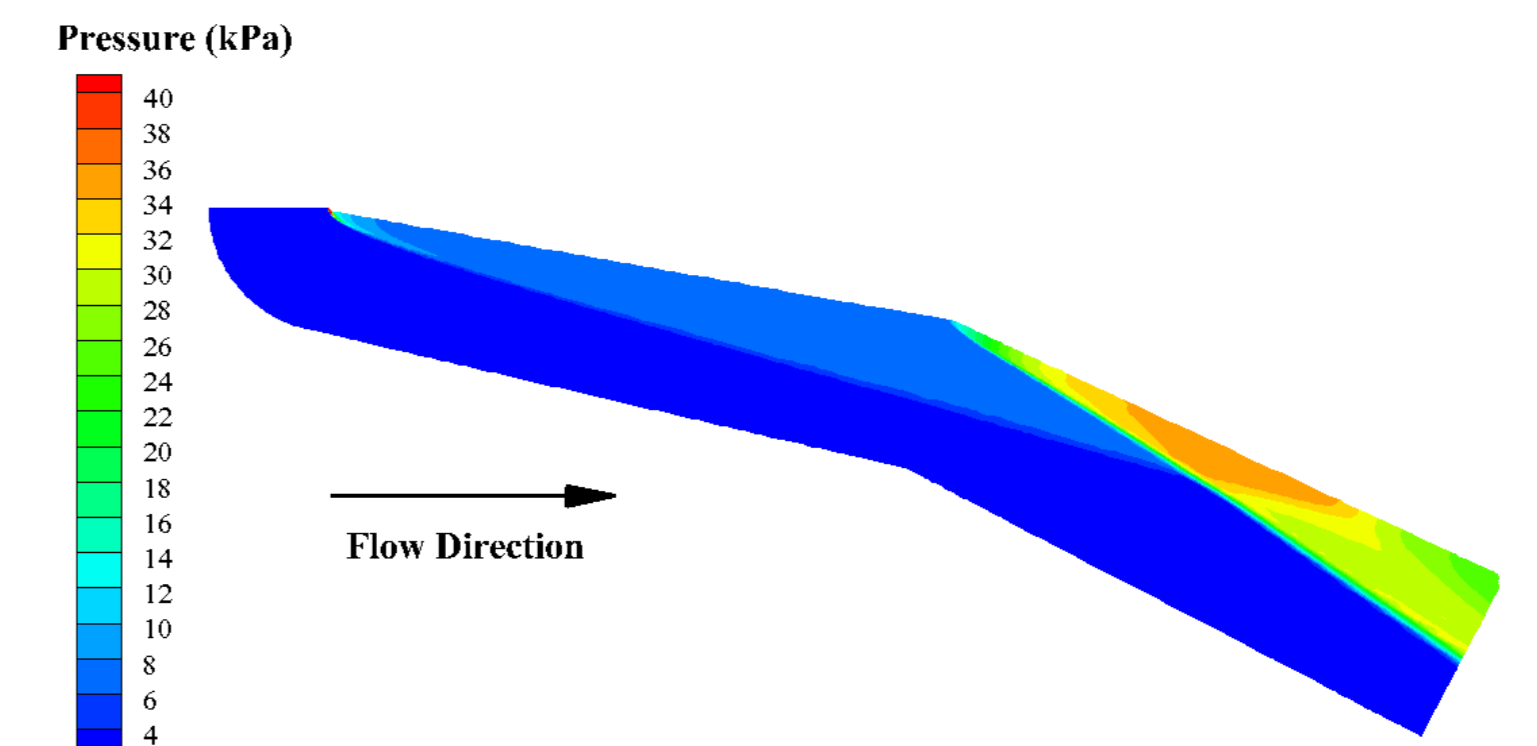


### 分析结果

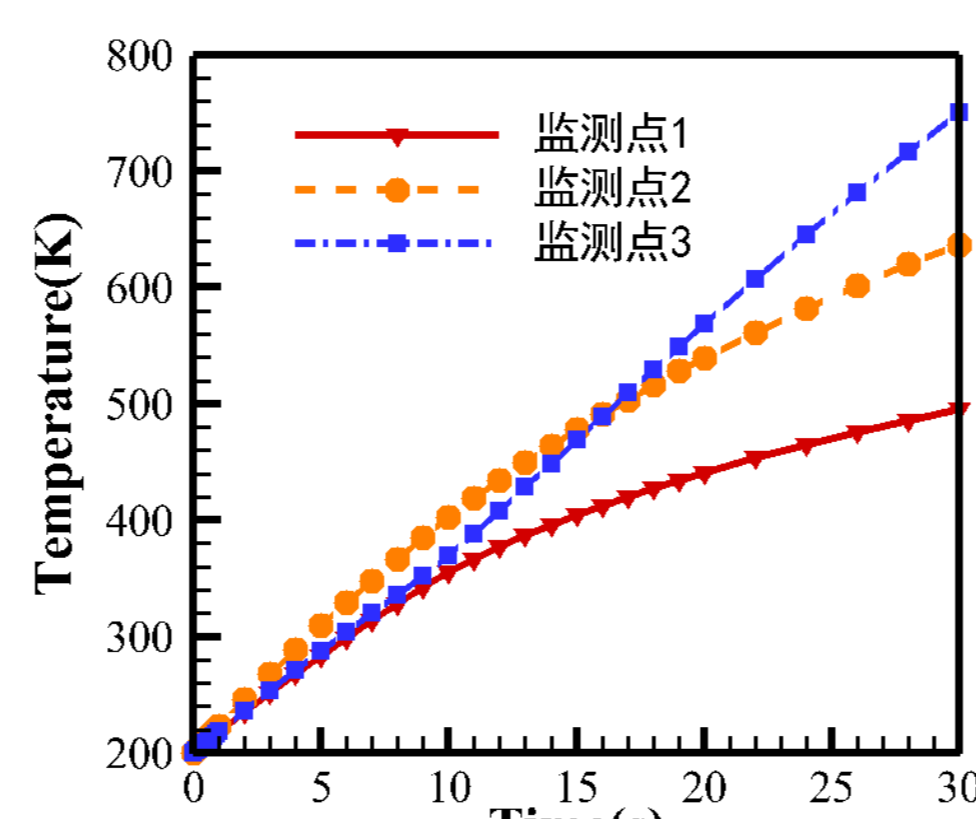
#### ● 复杂流动中二级压缩面壁板静热气动弹性分析



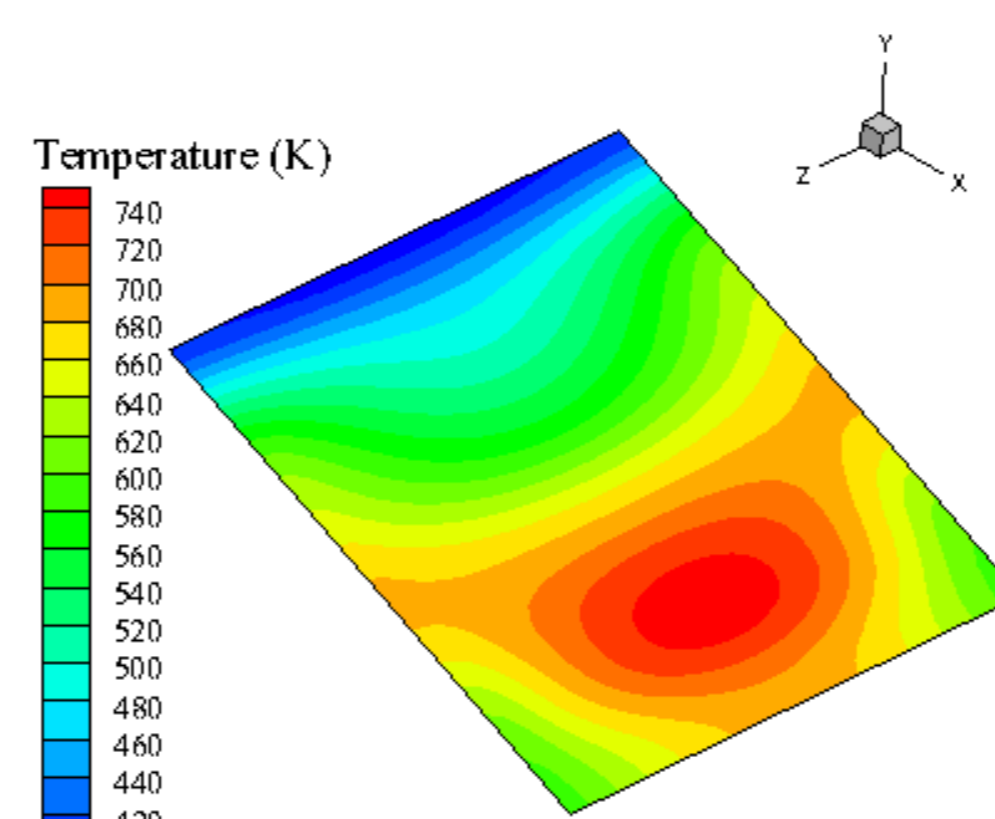
高超声速飞行器前体典型二级压缩面外形



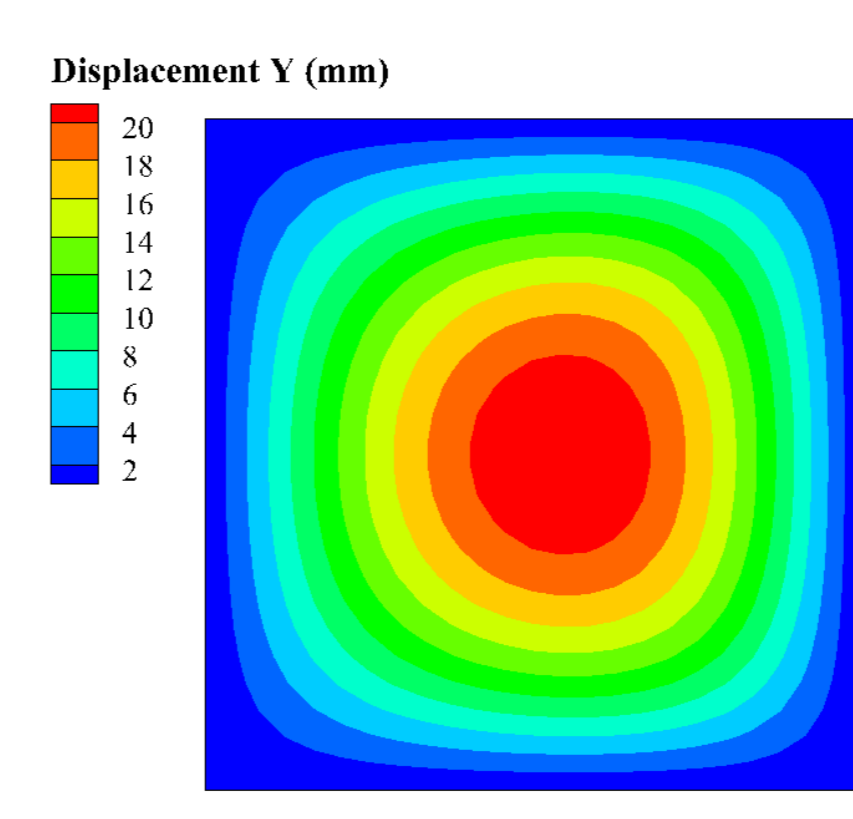
二级压缩面附近复杂流动



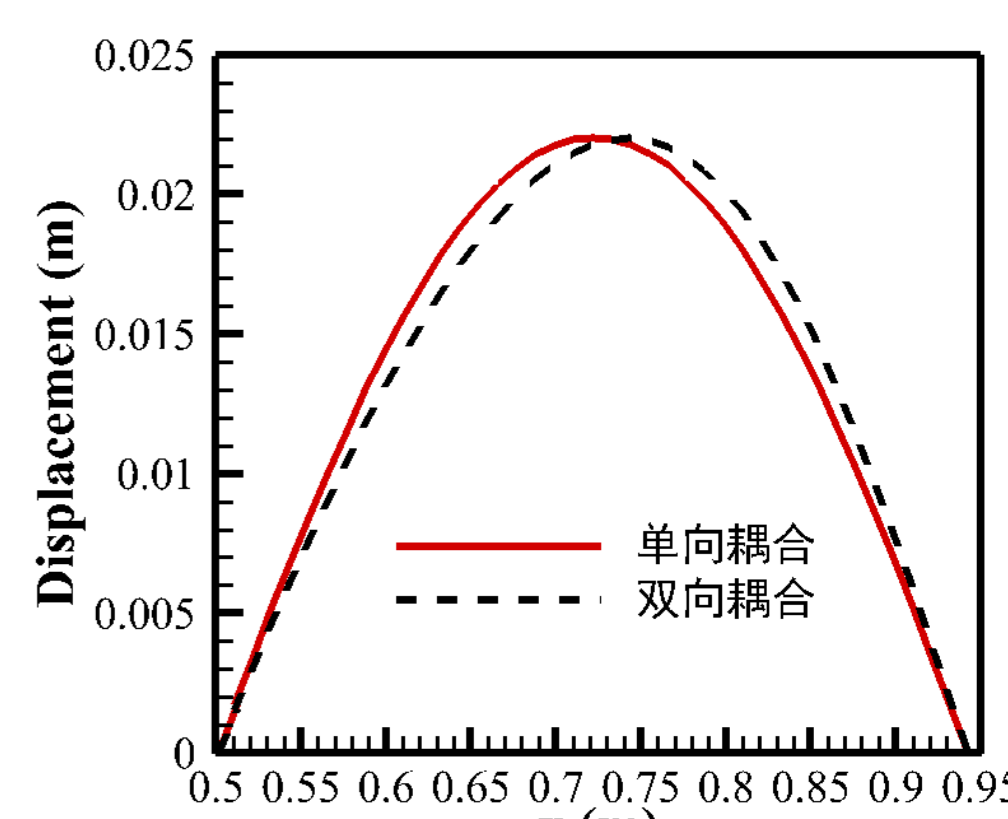
0~30秒的时变结构温度



30秒时结构温度场分布

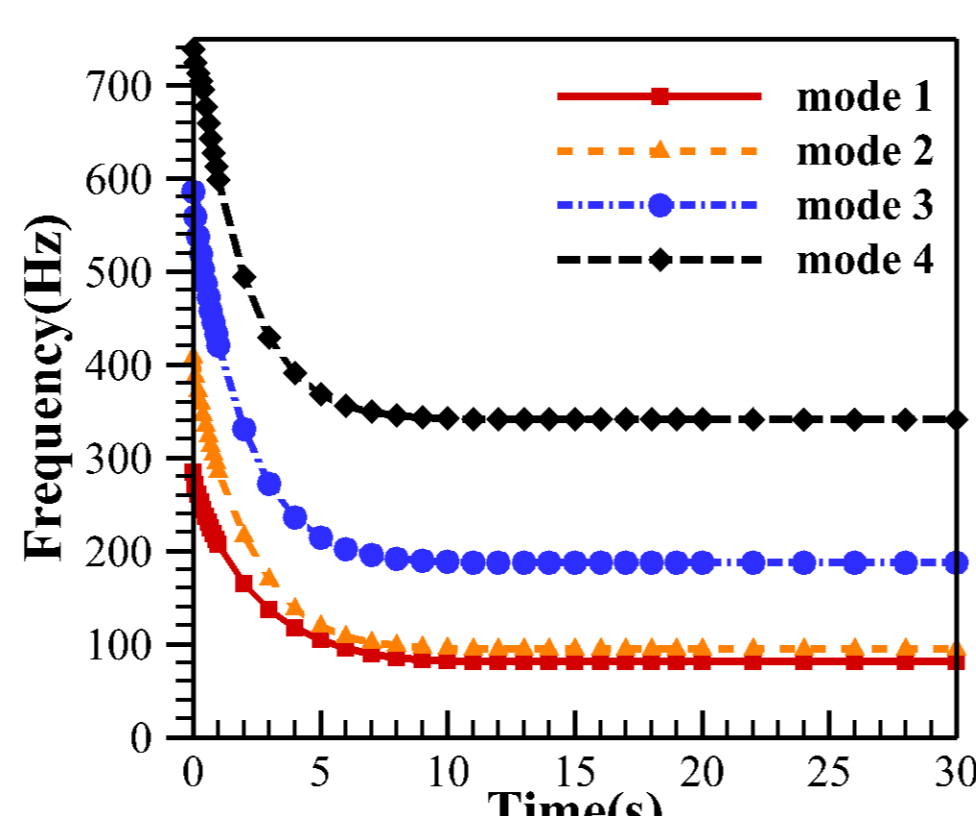


30秒时结构变形

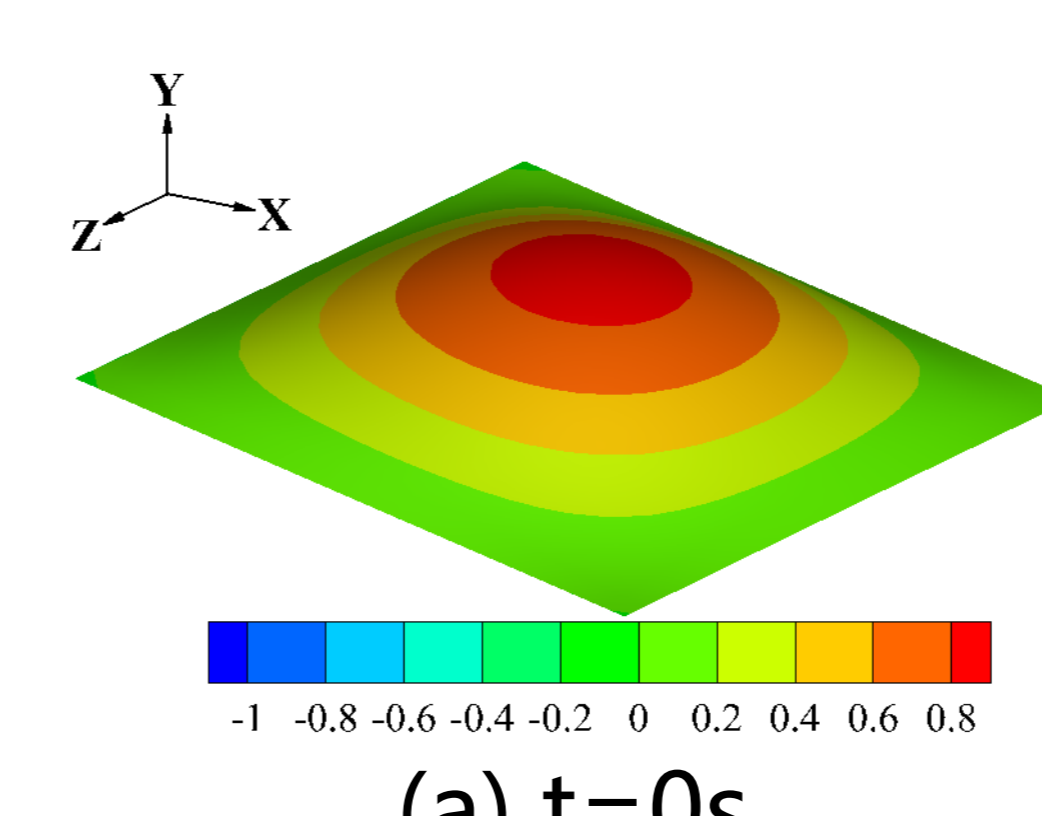


单、双向耦合的结构变形差异

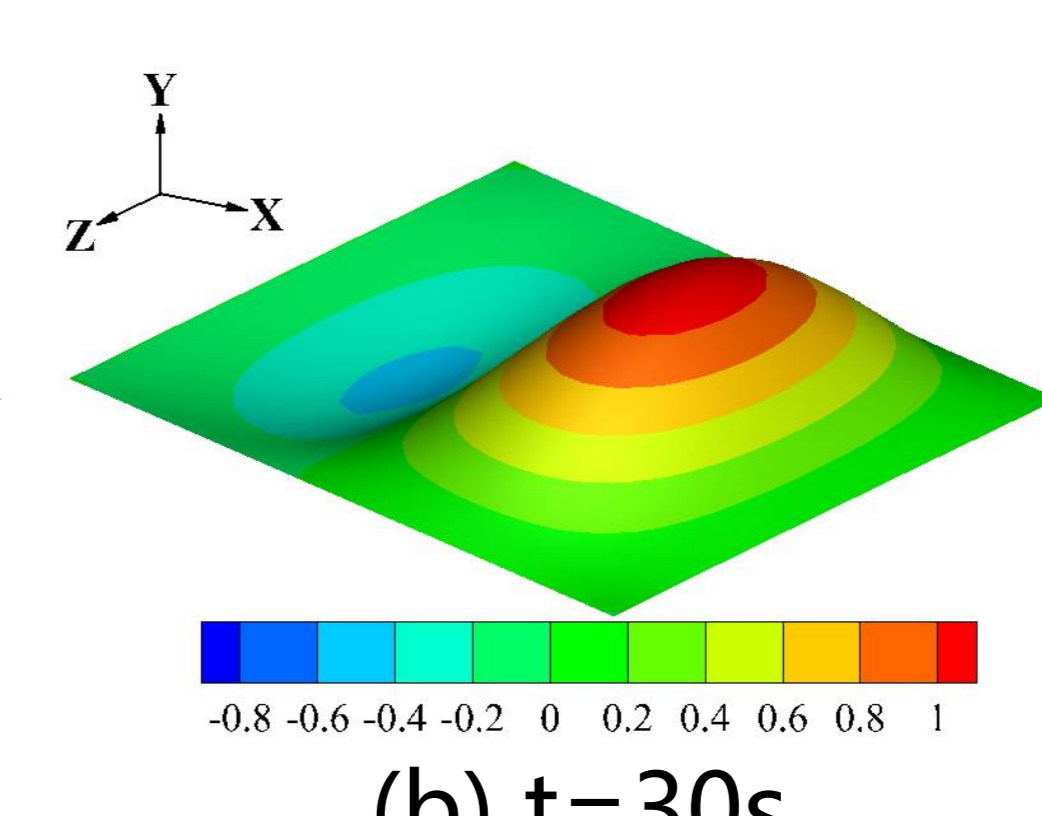
#### ● 二级压缩面动热气动弹性分析



时变模态频率

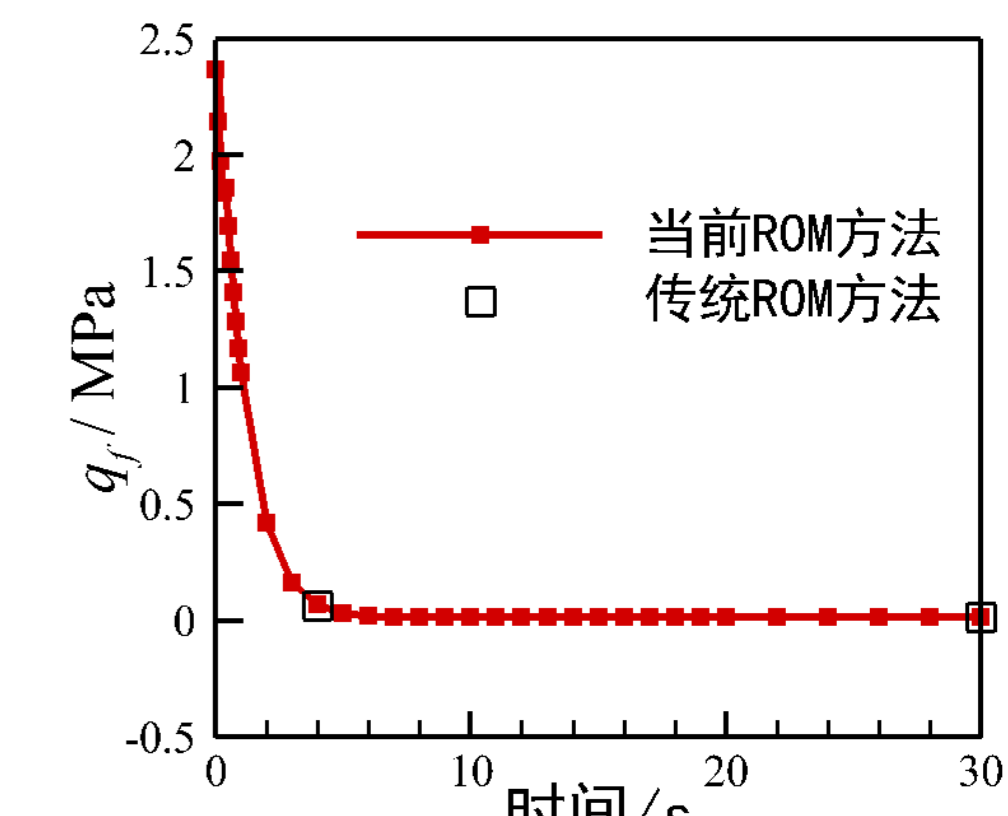


(a) t=0s



(b) t=30s

时变模态振型

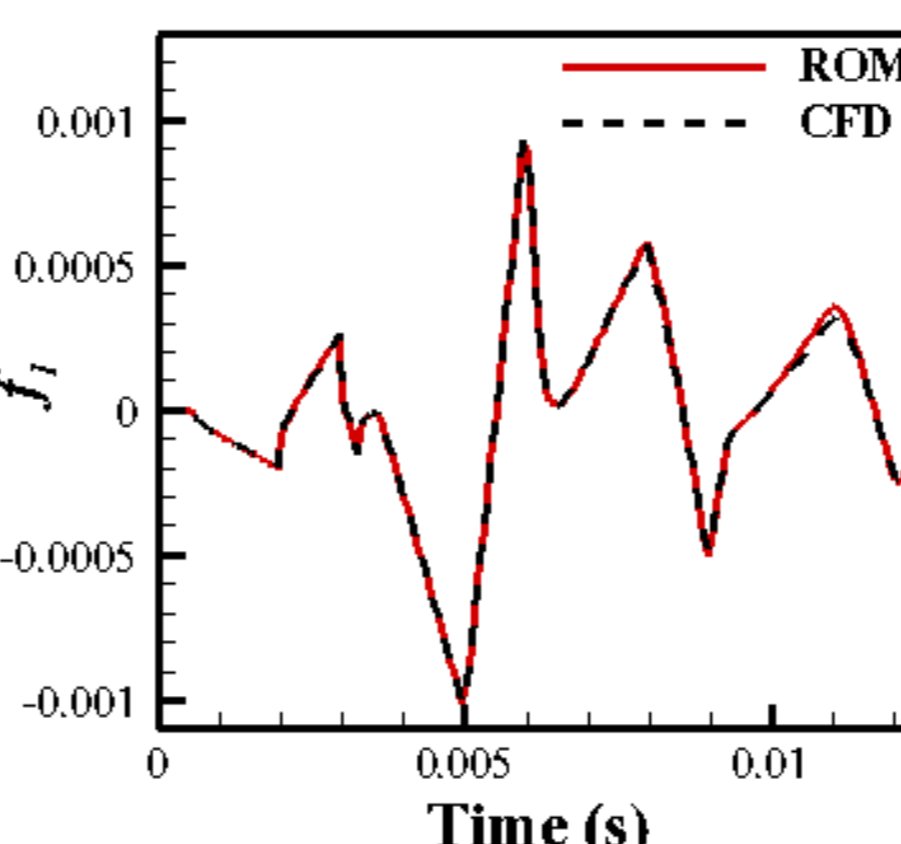


颤振动压变化历程

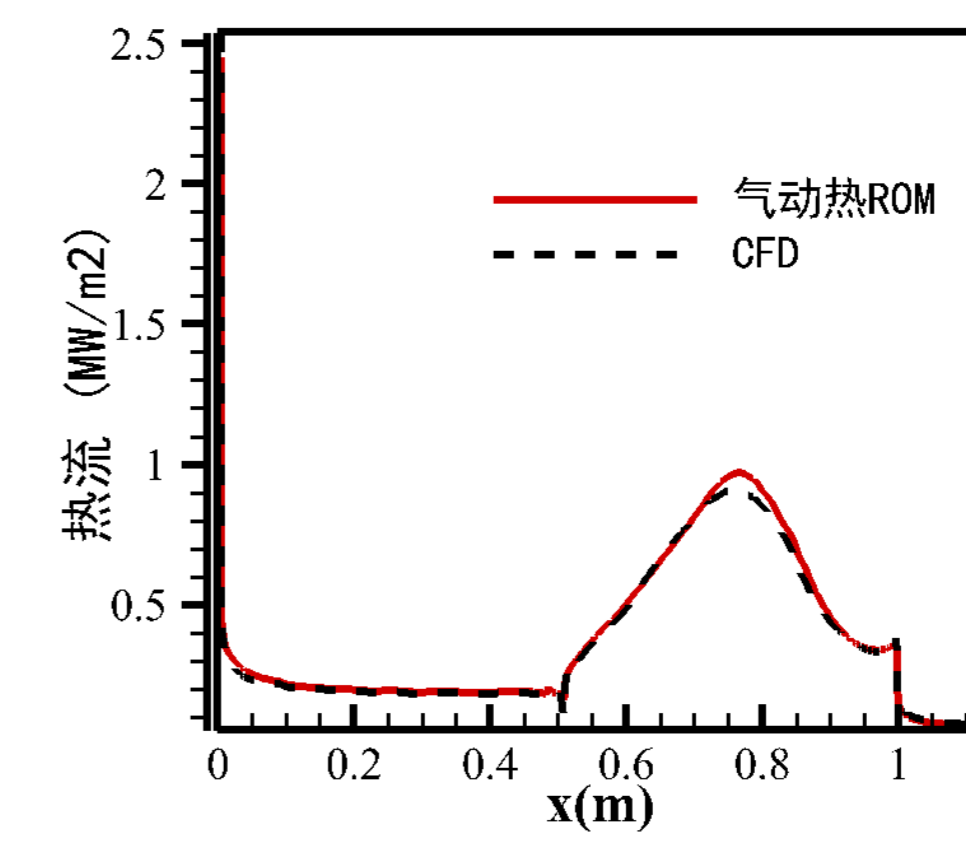
#### ● 效率与精度分析

效率对比 (分钟)

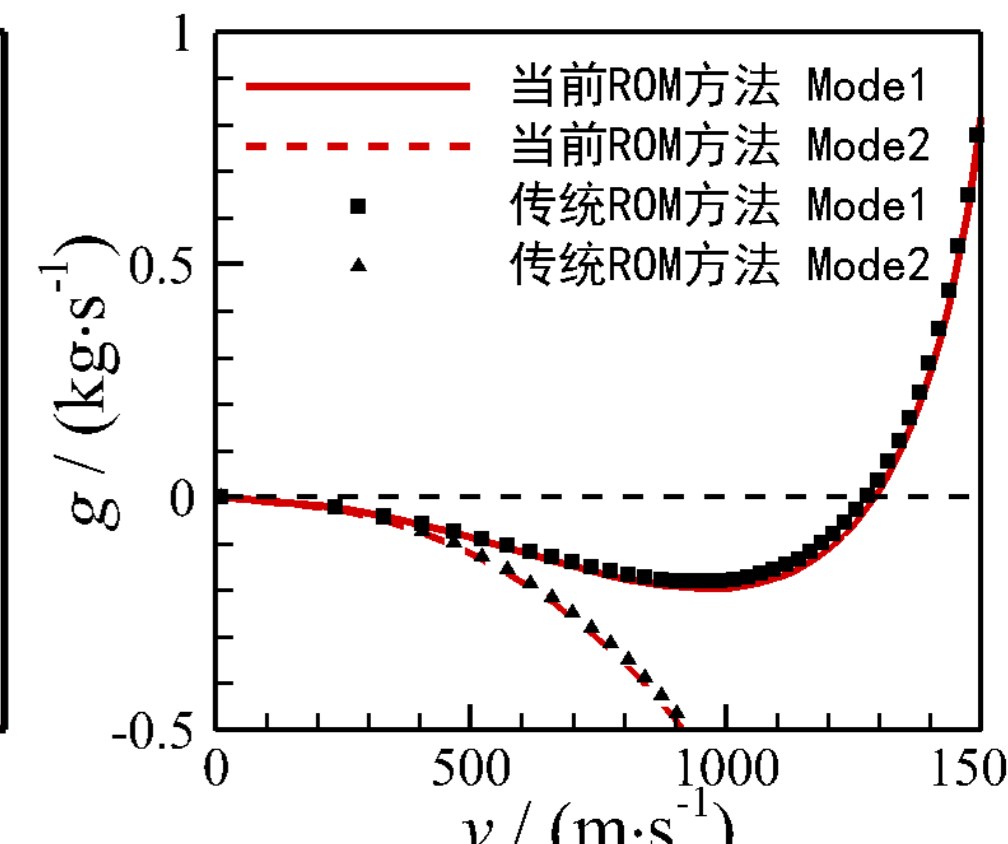
步骤	传统 ROM	当前 ROM
模态分析	0.2 × 35	0.2 × 35
CFD计算	2652 × 35	3468 × 1
训练数据	0.02 × 35	0.03 × 1
训练模型	0.02 × 35	0.03 × 1
颤振分析	0.2 × 35	0.2 × 35
总计	1547小时	58小时



气动力降阶模型精度测试



气动热降阶模型精度测试



颤振分析精度测试 (v-g图)

### 结论

- 气动力、热降阶模型极大提高了热气动弹性分析效率, 同时精度损失控制在可接受范围内.
- 当热气动弹性变形较大时, 单、双向耦合结果产生一定差异, 此时双向耦合架构是必要的.
- 长时间飞行过程中, 结构模态频率和振型变化较大, 颤振边界出现了较大程度下降.

