

Your True Partner for CAE&CFD
ICSC2014



多学科耦合平台——MPCCI最新案例

IDAJ-China
张振科

本文来自:www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询:support@idaj.cn



本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

目录

- MpCCI 简介
- 气动弹性案例
- 涡轮机械中热与振动耦合
- 车辆系统中流体/多体动力学耦合
- 微电子系统中流固映射



■ MpCCI 简介

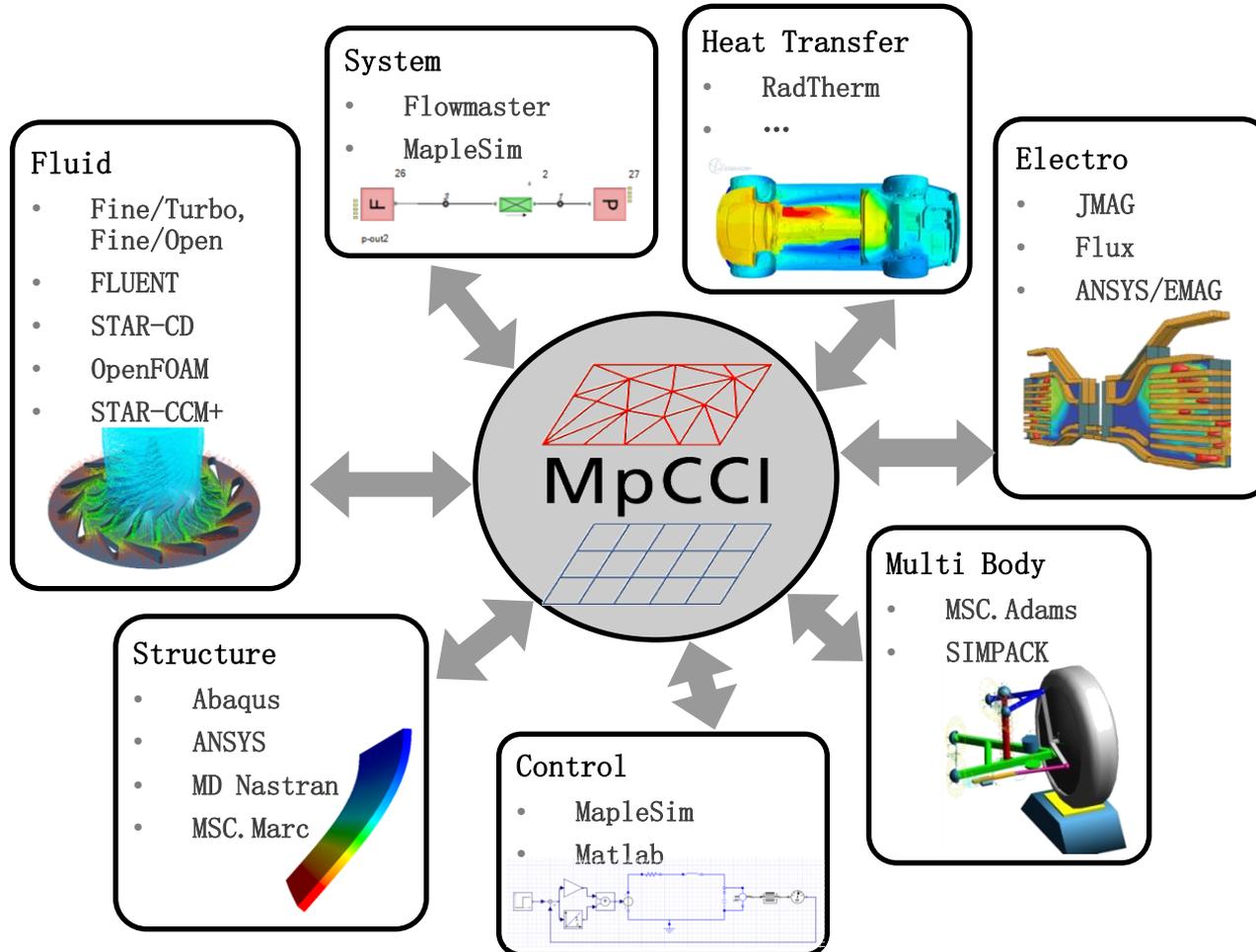
■ 气动弹性案例

■ 涡轮机械中热与振动耦合

■ 车辆系统中流体/多体动力学耦合

■ 微电子系统中流固映射

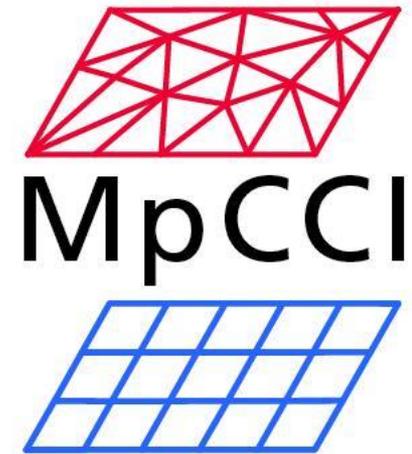
耦合接口- MpCCI



耦合接口– MpCCI

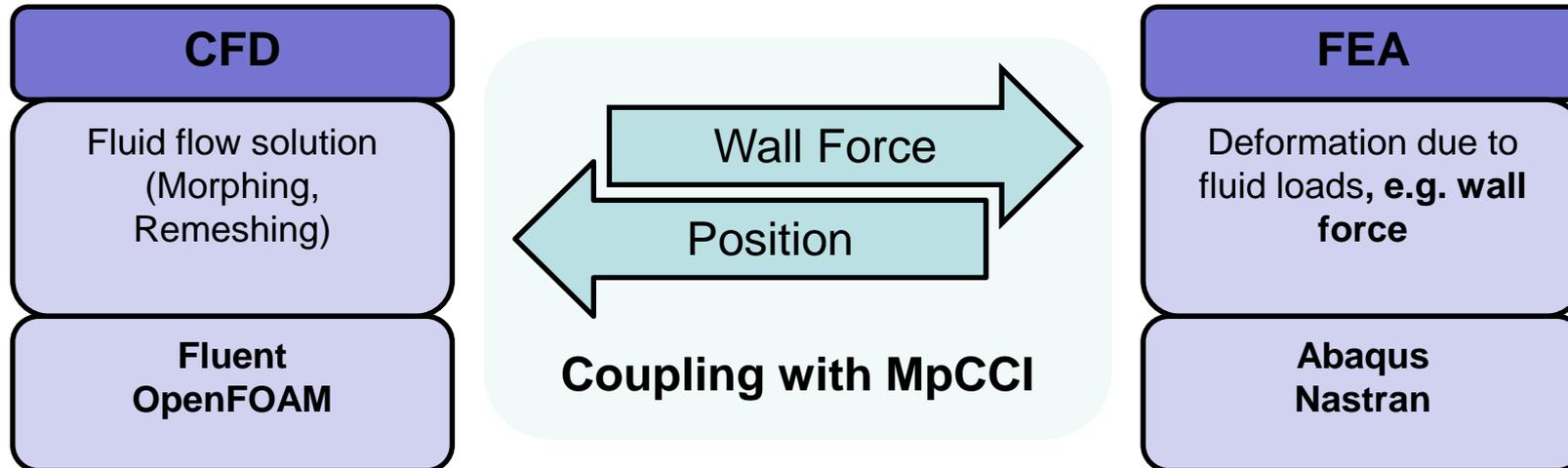
MpCCI – 由Fraunhofer SCAI开发的多物理场耦合接口:

- 自动及快速的映射方法
- 奇点填充
- 灵活性：支持众多软件，支持API
- 基于socket的快速通讯
- 支持耦合变量的松弛（或增加）
- 结果可视化工具
- 通过GUI便捷使用，同时支持batch模式



本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

流固耦合



- 在CFD软件中需要进行网格变形
- 时间步长与稳定性
- 模拟: 稳态或瞬态仿真



■ MpCCI 简介

■ **气动弹性案例**

■ 涡轮机械中热与振动耦合

■ 车辆系统中流体/多体动力学耦合

■ 微电子系统中流固映射

气动弹性

当弹性体位于外部流场当中时惯性、弹性与气动力之间的耦合作用

应用领域

- 机翼
- 叶轮机械
- 赛车上的扰流板等





气动弹性

瞬态效应

抖振：

由分离流动或者激波冲击物体导致的高频失稳。

颤振：

由于物体变形和流动力之间的正反馈导致的流场中弹性结构动态失稳。

稳态效应

操控反效：

由于主升力面变形导致的控制面预期响应丢失（或反转）

发散：

升力面在气动载荷作用下偏转导致载荷增大或移位从而使结构的扭转效应增大

测试算例



数值仿真的常见问题/挑战：
结果验证

⇒ 与风洞实验数据对比：

- HIRENASD
- AGARD 445.6



HIRENASD

- **High Reynolds Number Aero-Structural Dynamics** (高雷诺数气动-结构动力)
- 由亚琛工业大学DFG资助的一个项目中，在欧洲跨声速风洞“ETW”中进行了一些实验
- 雷诺数最高到8000万，高的跨音速马赫数（强非线性比如压缩波以及稳态和瞬态失速）
=> 客机巡航
- 雷诺数、马赫数以及气动压力都可以独立调节

本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

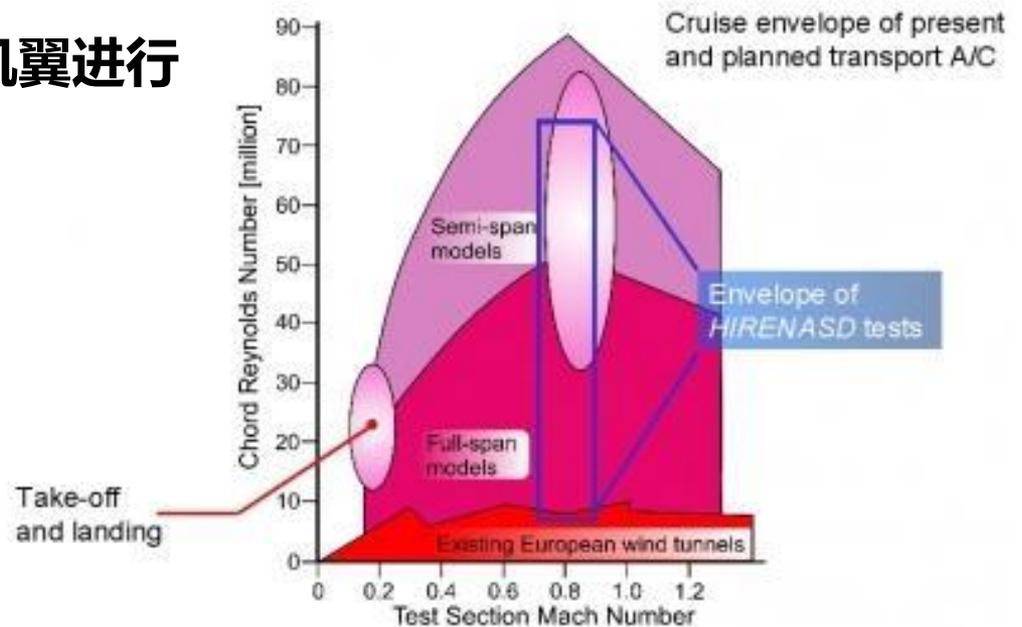
HIRENASD

实验：

使用一个典型大客机的1.3米机翼进行了稳态和瞬态的测量。

测量设备：

- 250个微型压力传感器
- 11个加速度传感器
- 22个应变传感器



HIRENASD – FEA模型

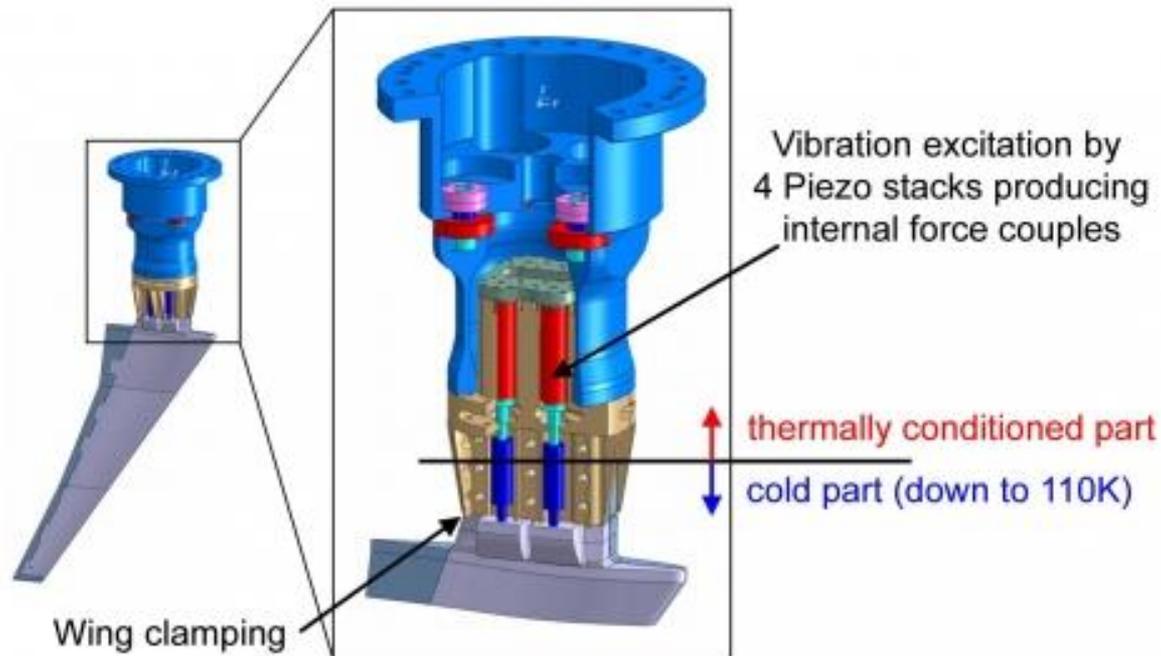


Material Properties

Young' s modulus	2.1e11 Pa
Poisson number	~0.3125 (dep. on T)
Density	7860 kg/m ³
Therm. Expansion Coefficient	~1.3e-05 (dep. onT)
Discretisation	~200 000 Tet10 elements

HIRENASD – FEA模型

- Windtunnel test section not accessible → integrated excitation mechanism





HIRENASD – CFD模型

- 有多种不同条件下的实验测量数据
- 比如: **Ma=0.8, Re=7 million**

Material properties – Air

Density	Ideal gas
Viscosity	1.54434 kg/m s

Boundary Conditions

PressureInlet: Pressure	76239 Pa
Temperature	265.957 K
Pressure Outlet	0 Pa
Operating Pressure	137764 Pa

HIRENASD – CFD模型——网格划分

网格划分:

~1500万四面体和六棱柱
单元, 14层边界层

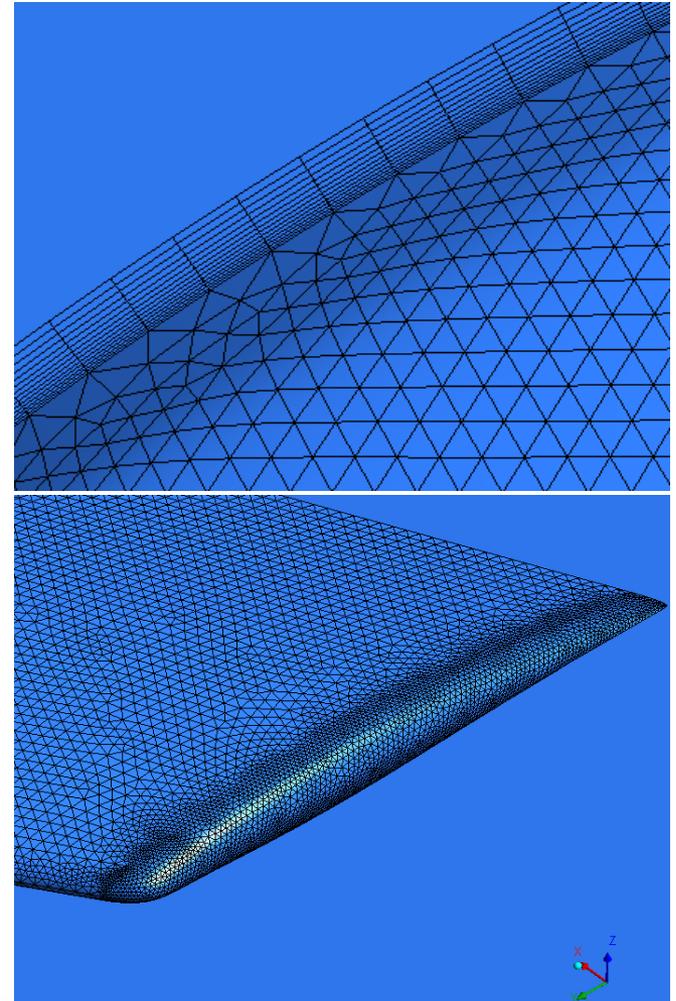
求解器设置:

Transient: density-based
solver, 2nd order implicit,

先求解稳态

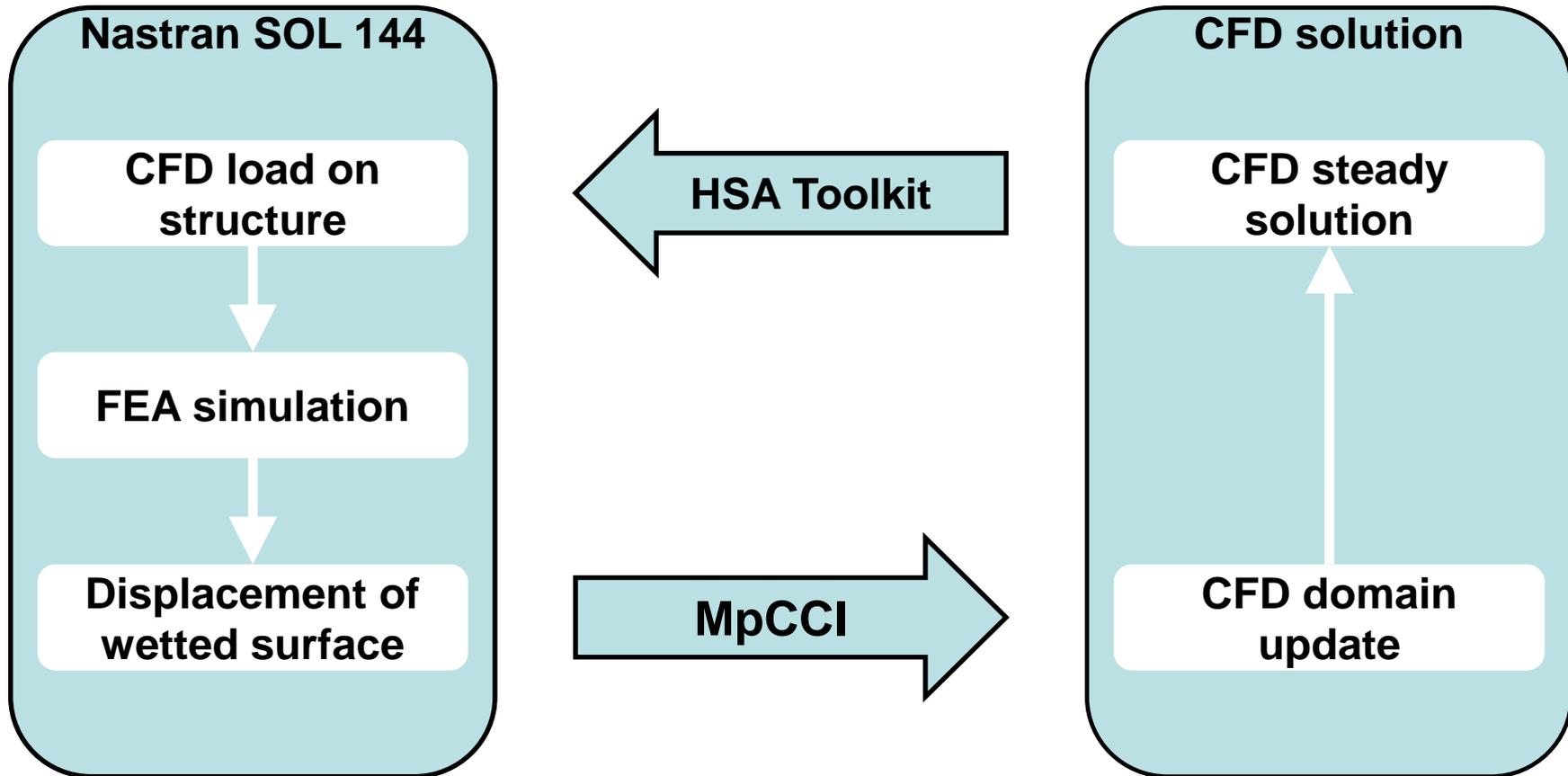
Steady: implicit, density-
based solver

Spalart-Allmaras湍流模型



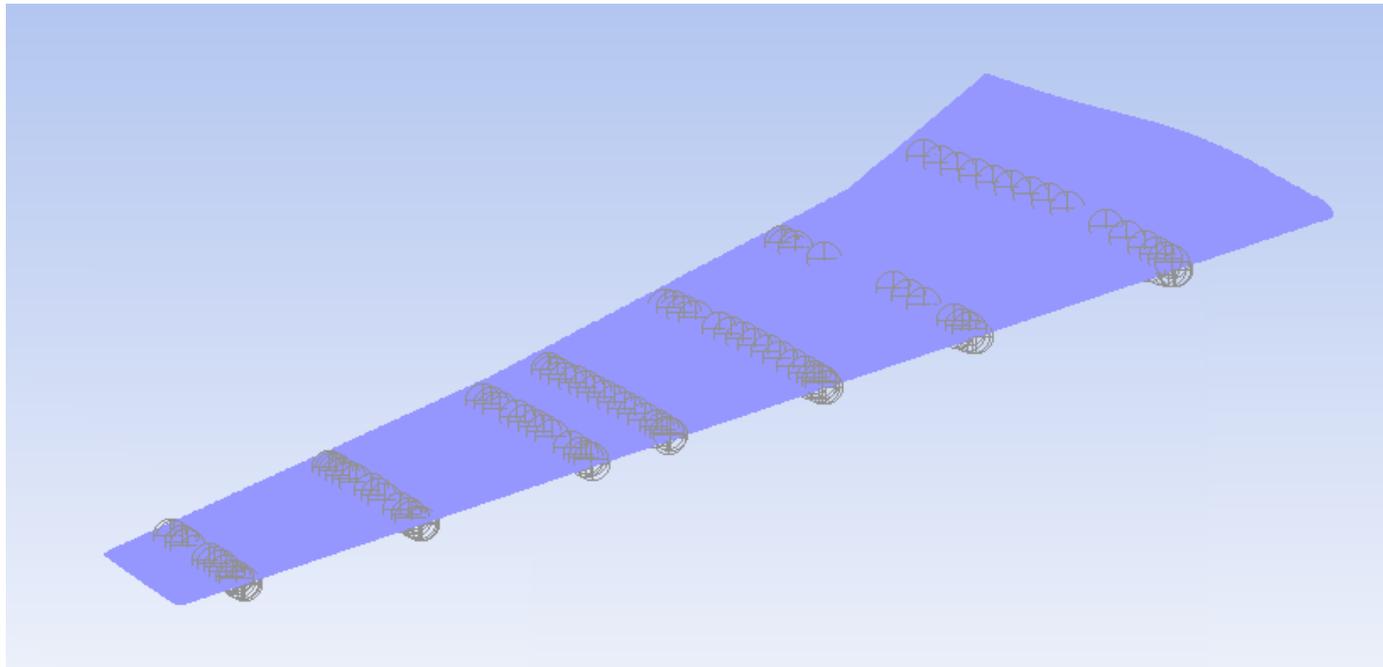
HIRENASD – 稳态耦合

使用Nastran SOL144求解器



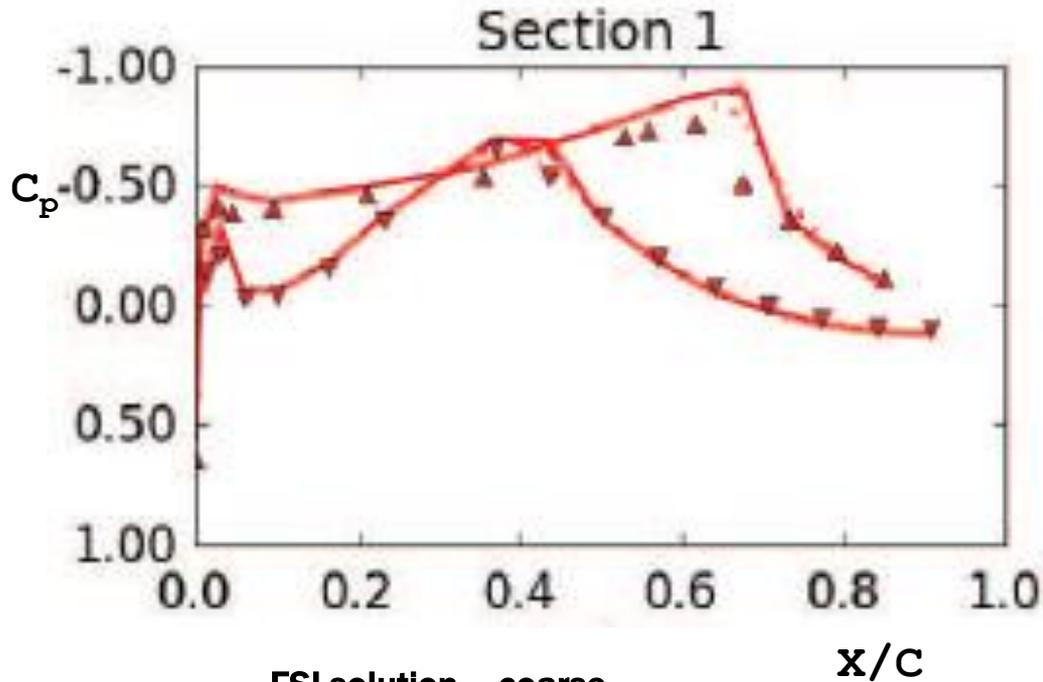
HIRENASD – 结果

本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

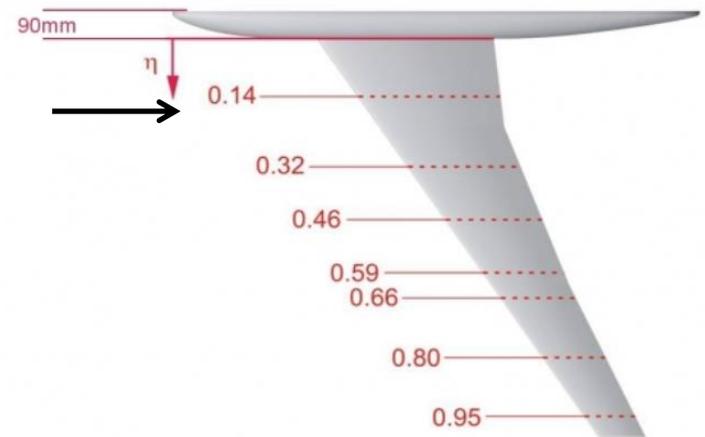


对机翼七个“截面”上的压力系数进行比较

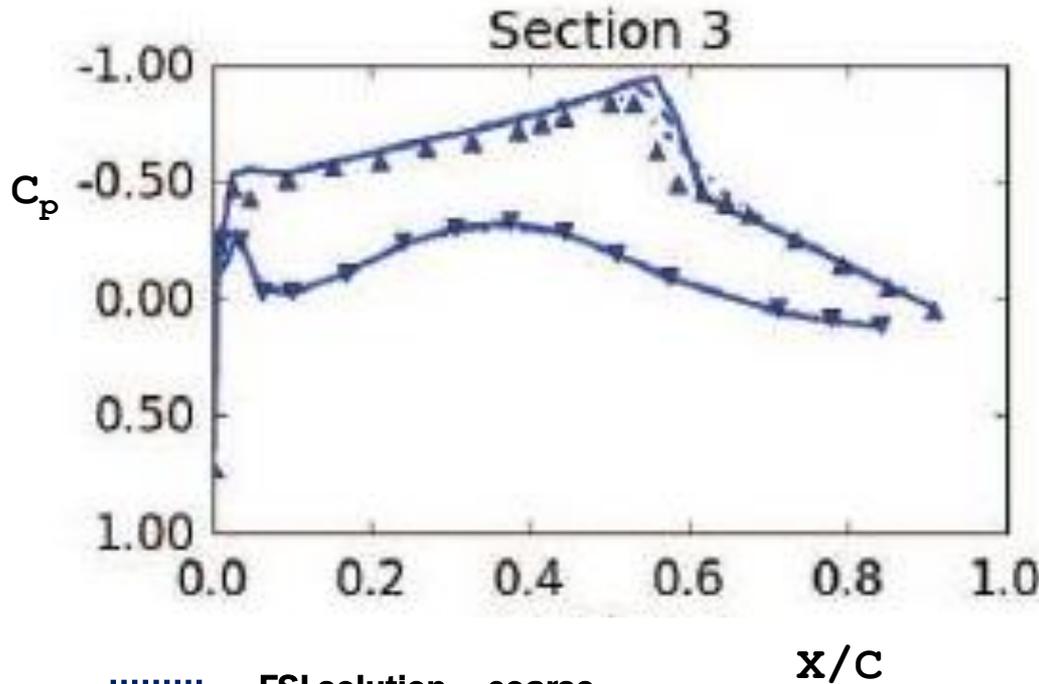
HIRENASD – 结果 – 稳态



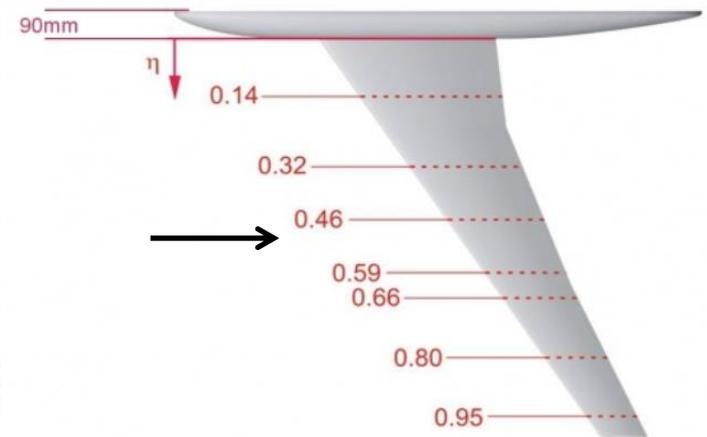
- FSI solution – coarse
- - - FSI solution – medium
- FSI solution – fine
- ▼ ▼ Experiment (lower)
- ▲ ▲ Experiment (upper)



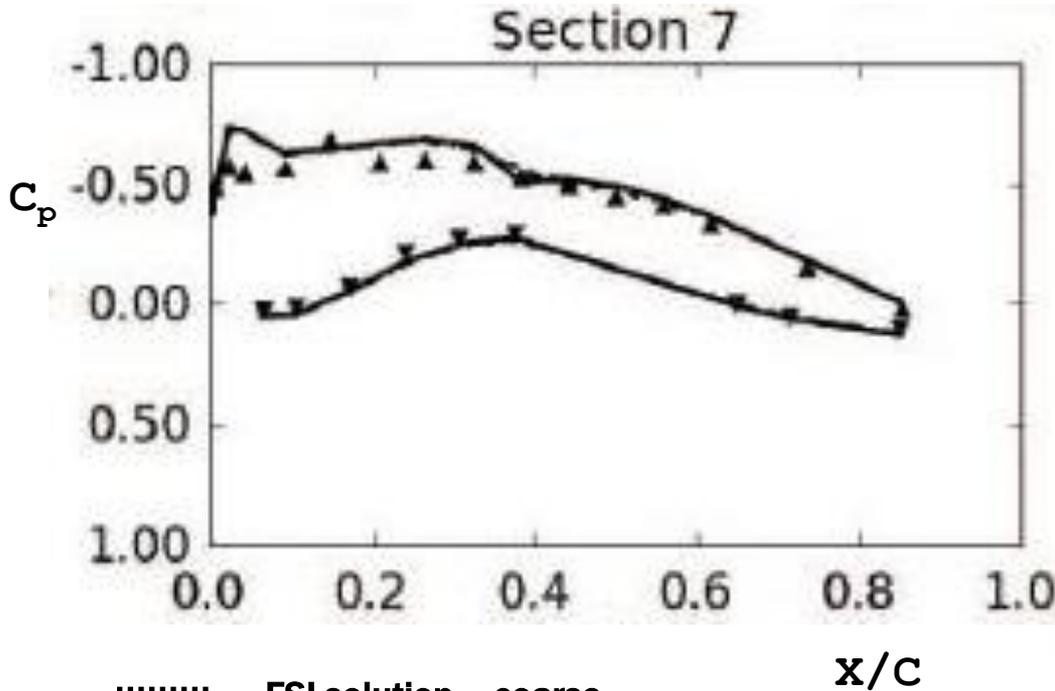
HIRENASD – 结果 – 稳态



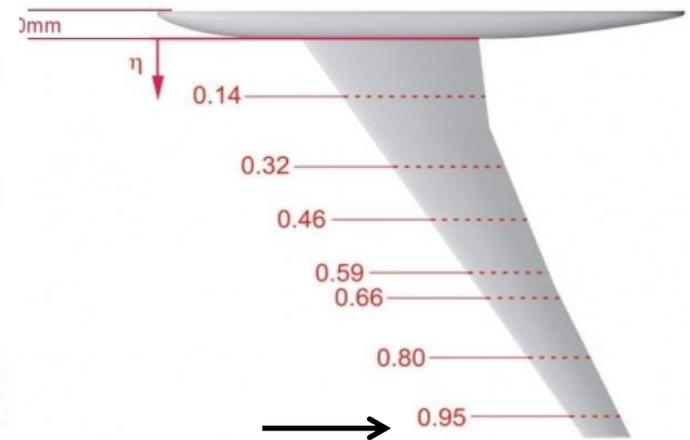
- FSI solution - coarse
- - - FSI solution - medium
- FSI solution - fine
- ▼ ▼ Experiment (lower)
- ▲ ▲ Experiment (upper)



HIRENASD – 结果 – 稳态



- FSI solution – coarse
- - - FSI solution – medium
- FSI solution – fine
- ▼ ▼ Experiment (lower)
- ▲ ▲ Experiment (upper)

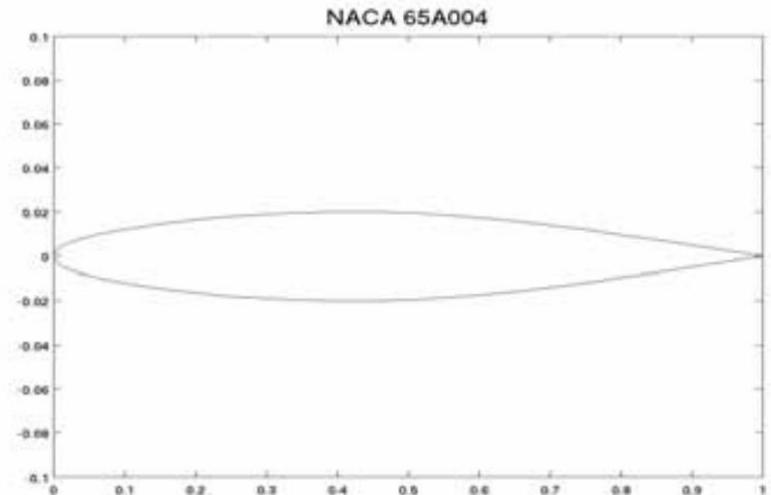
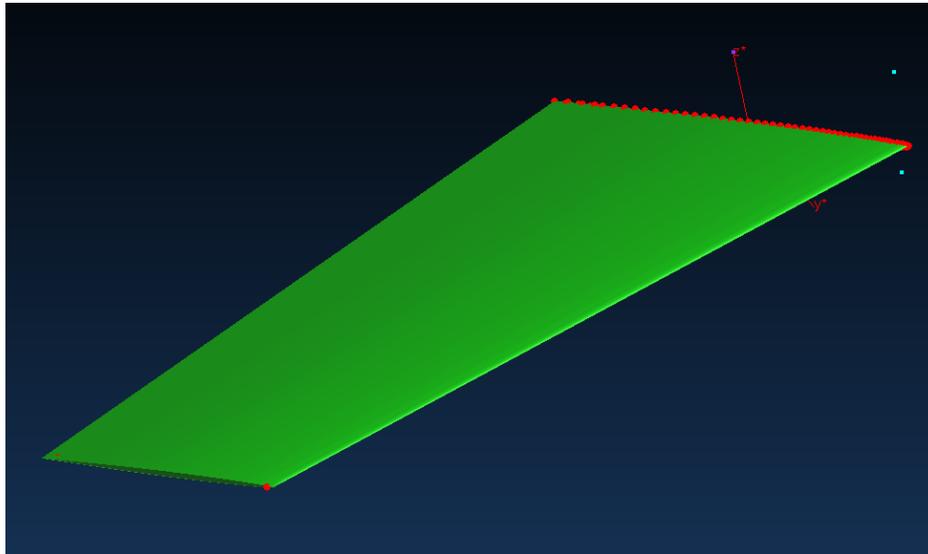




AGARD 445.6

- 航天研究与发展咨询组
- 上世纪60年代在弗吉尼亚的Langley跨音速风洞进行了该翼型的颤振实验
- 对空气和另一种混合气体环境下的亚音速和跨音速数据进行了采集
- AGARD 445.6:
 - 翼型: NACA 65A004
 - 0° 攻角

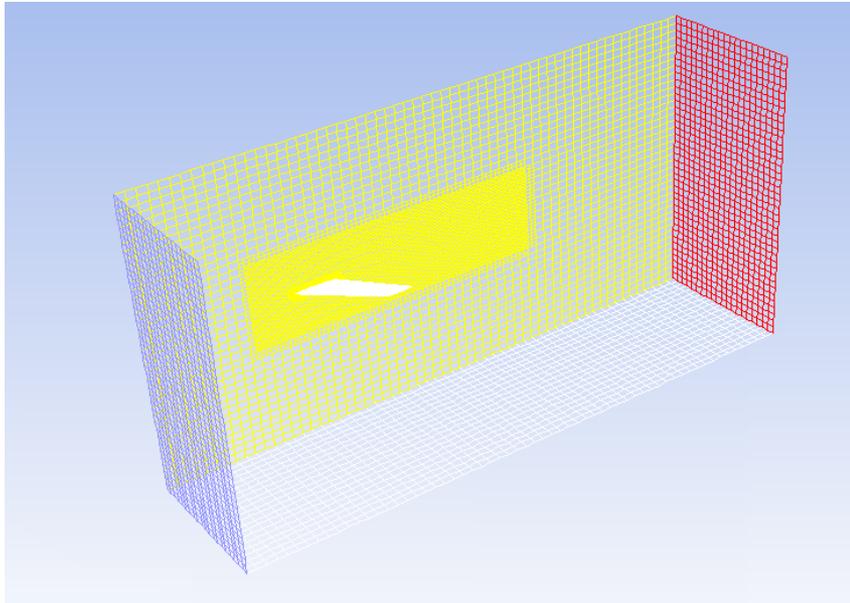
AGARD — FEA模型



Material properties

Shear modulus	0.439 - 3.150 GPa (anisotropic)
Poisson number	~0.31
Density	380 kg/m ³
Discretisation	~5500 Hex8 elements

AGARD — CFD模型



Material properties and boundary conditions

Density	1.225 kg/m ³
---------	-------------------------

Velocity	Velocity	172.669 m/s
----------	----------	-------------

Inlet	Temperature	298 K
-------	-------------	-------

PressureOutlet	0 Pa
----------------	------

Operating Pressure	178801.7 Pa
--------------------	-------------

Mach number	0.678
-------------	-------

AGARD — CFD模型

网格划分:

360万单元 (六面体和多面体)

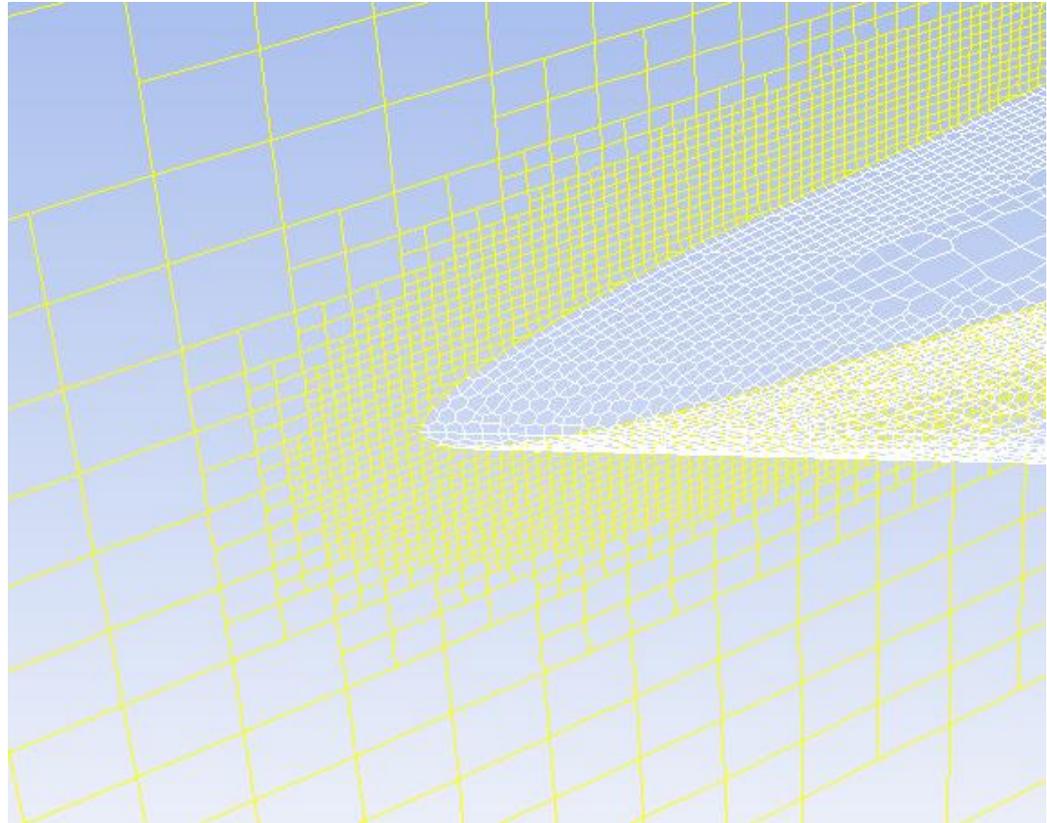
求解器:

PISO

1st order implicit

时间步长 0.001 s

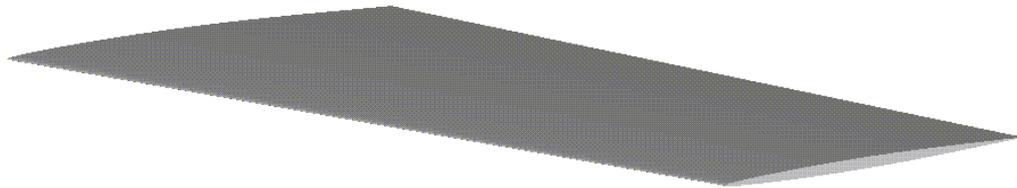
先算稳态



AGARD — 结果

AGARD机翼颤振表面
(Fluent模型)

位移以云图方式显示绘
制。





总结

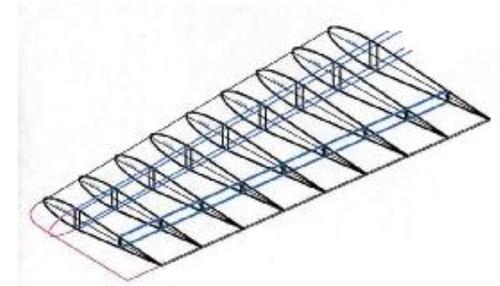
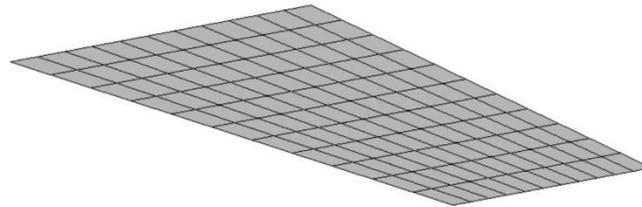
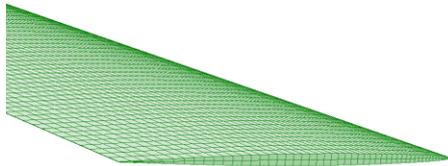
测试算例总结：

- + 耦合仿真验证: 工业应用中确实需要
- + 耦合仿真模型建立很方便:
 - 单独的CFD和FEA模型可以直接使用，（几乎）不需要调整。
 - 方便地监测及启动仿真
- 仿真时间:
 - 需要的时间步长可能很小
 - 用Nastran进行稳态求解仍有困难
- 动网格:
 - 设置经常比较棘手

进行中工作

气弹领域的进一步增强:

- 支持梁或壳单元 (模拟机翼结构)



- 更容易的设置Nastran稳态耦合求解
- 耦合算法 – 实现更好的稳定性, “独立于” 时间步长:
 - 插值及预测/修正方法
 - 频域响应分析的耦合

本文来自: www.idaj.cn

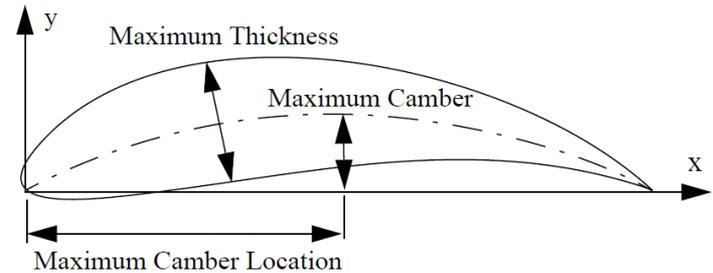
谢绝未经IDAJ许可的转载!

技术咨询: support@idaj.cn

进行中工作

使用modeFrontier集成MpCCI, Matlab ,Fluent进行翼型优化 :

- 通过MpCCI在Matlab和Fluent间进行数据交换
- ModeFrontier工作流:
 - 自动网格划分及变形
 - Fluent CFD求解
 - Matlab中几何参数化
 - Matlab中结构变形, 刚体移动?



ModeFrontier

Matlab

MpCCI

Fluent

-几何
-结构变形
-参数操控

-网格生成
-求解
-输出值



■ MpCCI 简介

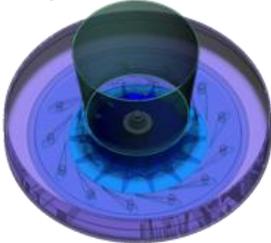
■ 气动弹性案例

■ **涡轮机械中热与振动耦合**

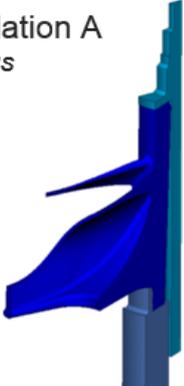
■ 车辆系统中流体/多体动力学耦合

■ 微电子系统中流固映射

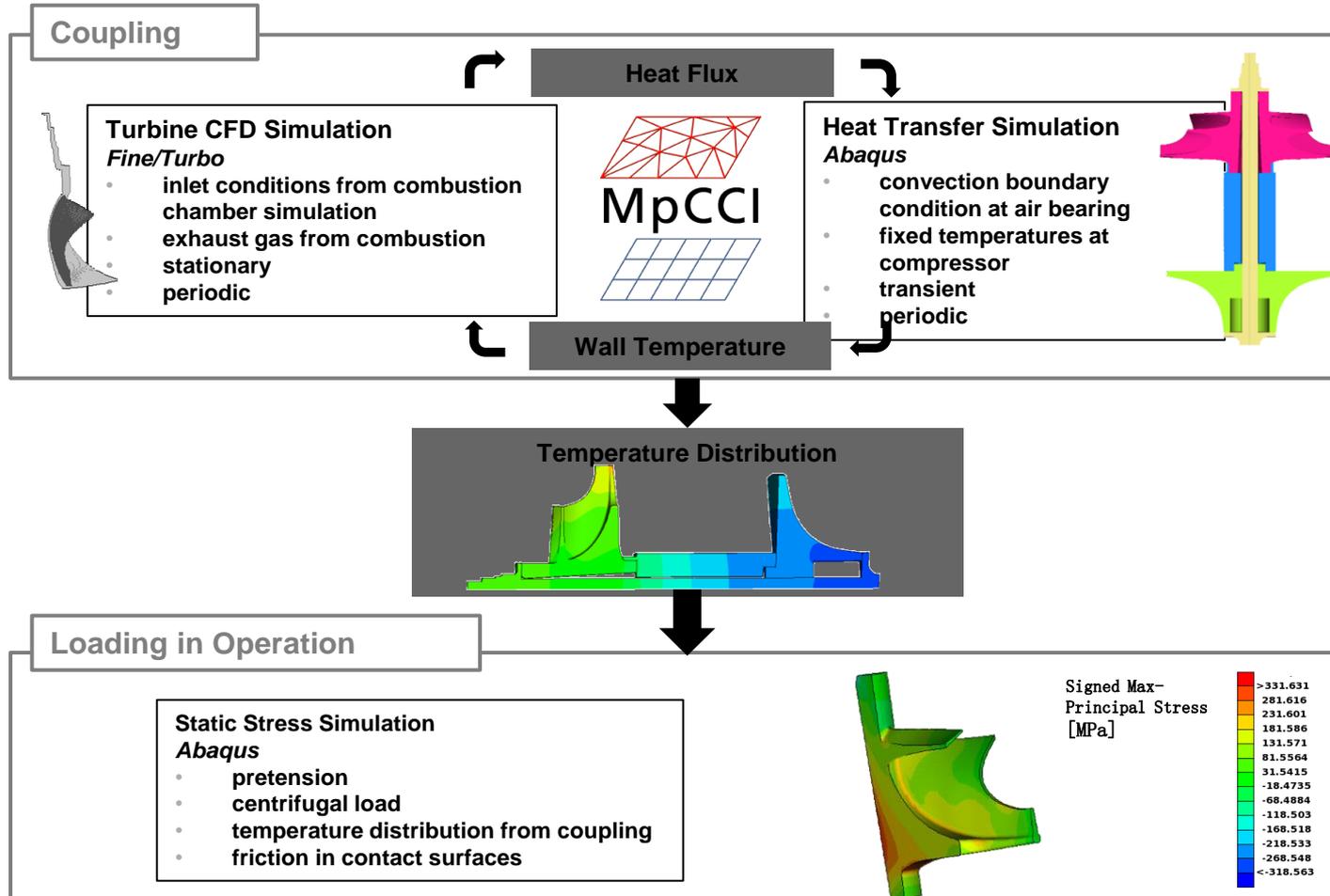
MpCCI 耦合不同截面形状及位置的周期模型

Scheme	Example	
<p>Simulation A</p>  <p>Simulation B</p> 	<p>Simulation A <i>Abaqus</i></p> 	<p>Simulation B <i>Fine/Turbo</i></p> 

➔ 保存模型与计算时间

Scheme	Example	
<p>Simulation A</p>  <p>Simulation B</p> 	<p>Simulation A <i>Abaqus</i></p> 	<p>Simulation B <i>Fine/Turbo</i></p> 

热应力耦合分析仿真流程

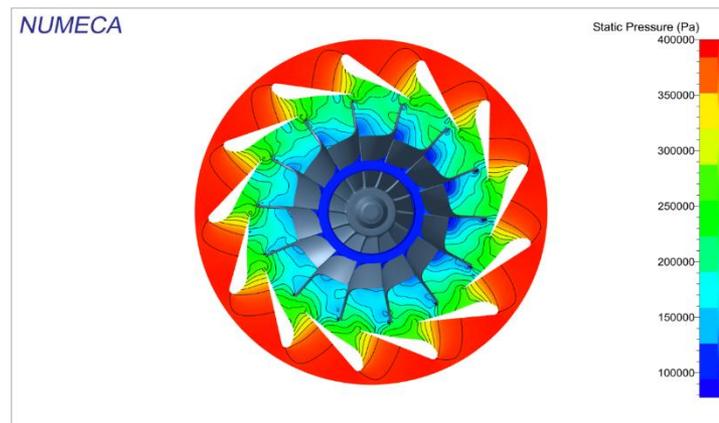


叶轮机械中叶片流致振动

- 定子以及旋转速度导致的瞬态压力波动
- 叶片流致振动可能导致破坏
- Numeca FINE/Turbo: 非线性谐波法
 - 将状态量分解为一个时间平均部分及一个波动的谐波分解部分

$$u(\vec{r}, t) \approx \bar{u}(\vec{r}) + \sum_{k=-n}^n \tilde{u}_k(\vec{r}) \cdot e^{ik\omega t}$$

- 瞬态效应在频域进行求解，作为非稳态求解器更有效率



基于通用映射工具FSIMapper的仿真流程

映射 (FSIMapper)
FINE/Turbo和Abaqus间数据传递 (一次)



备注：
不考虑流固耦合或
气动阻尼！

FINE/Turbo
使用NLH方法对叶轮进行CFD
仿真

- 平均压力
- 波动压力 (复数)

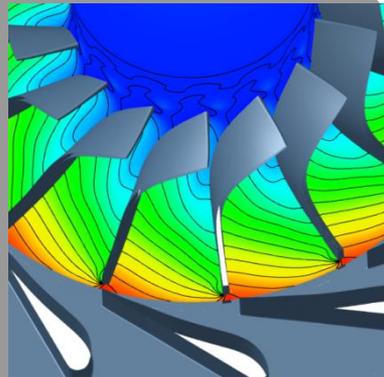
Abaqus
结构频域响应分析

- 平均叶片激励
- 特征频率
- 流致叶片振幅

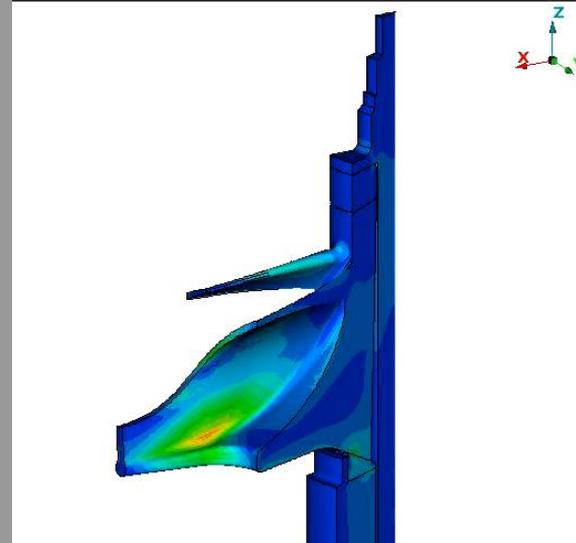
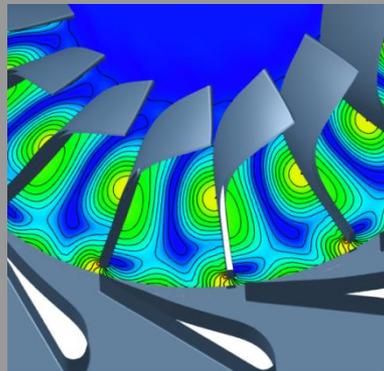
工程案例仿真结果



平均压力



压力波动幅度：
谐波

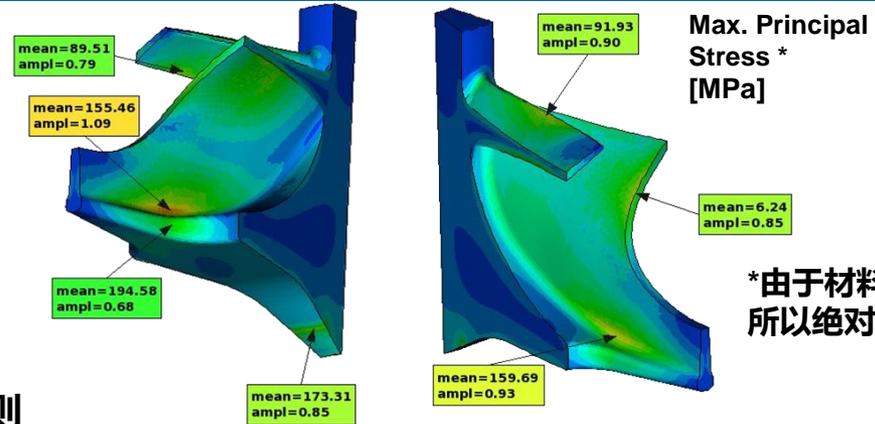


- 云图: 最大主应力
- 变形放大

压力波动谐波导致的叶片振动响应

工程项目结果及收益

- 振动应力热点定位



*由于材料阻尼未知，
所以绝对值无法给出

- 为选择好的陶瓷转子设计给出了额外的准则





- MpCCI 简介
- 气动弹性案例
- 涡轮机械中热与振动耦合
- **车辆系统中流体/多体动力学耦合**
- 微电子系统中流固映射

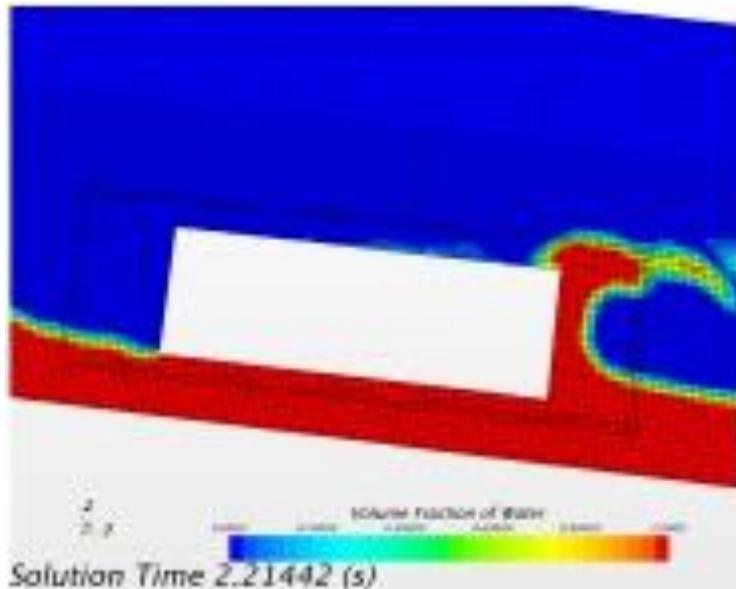
多体动力学/流体耦合——动机



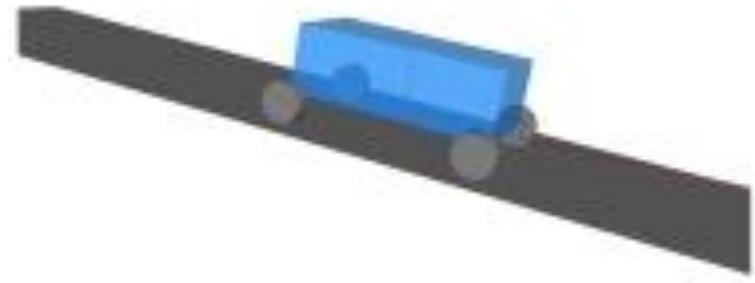
- 分析流体和刚体系统间的相互作用
- 涉水仿真
- 侧风影响

图: 车辆涉水

多体动力学/流体耦合——仿真软件和模型



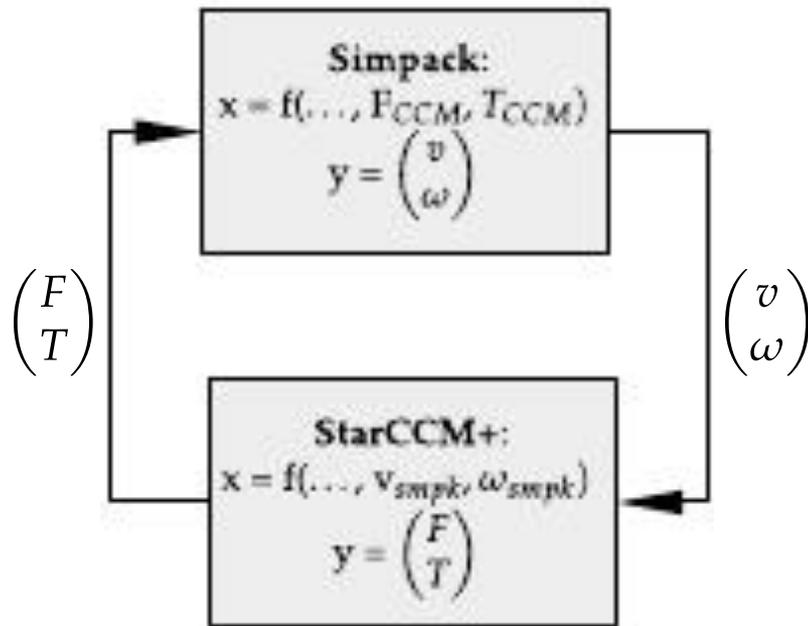
STARCCM+



SIMPACK

本文来自: www.idaj.cn
 谢绝未经IDAJ许可的转载!
 技术咨询: support@idaj.cn

多体动力学/流体耦合——耦合设定



耦合方法

- 速度和角速度从SIMPACK传给STAR-CCM+
- 力和力矩从STAR-CCM+传给SIMPACK
- 运动变量施加到STAR-CCM+中的运动单元上
- 力和力矩从STAR-CCM+中的表面上计算得到



目前状态

- **汽车领域里进行中项目**
 - MSC.ADAMS- ABAQUS 悬架动力学耦合仿真
 - SIMPACK- STARCCM+ 涉水仿真耦合

- **耦合及数值算法改进以改善精度和稳定性**



■ MpCCI 简介

■ 气动弹性案例

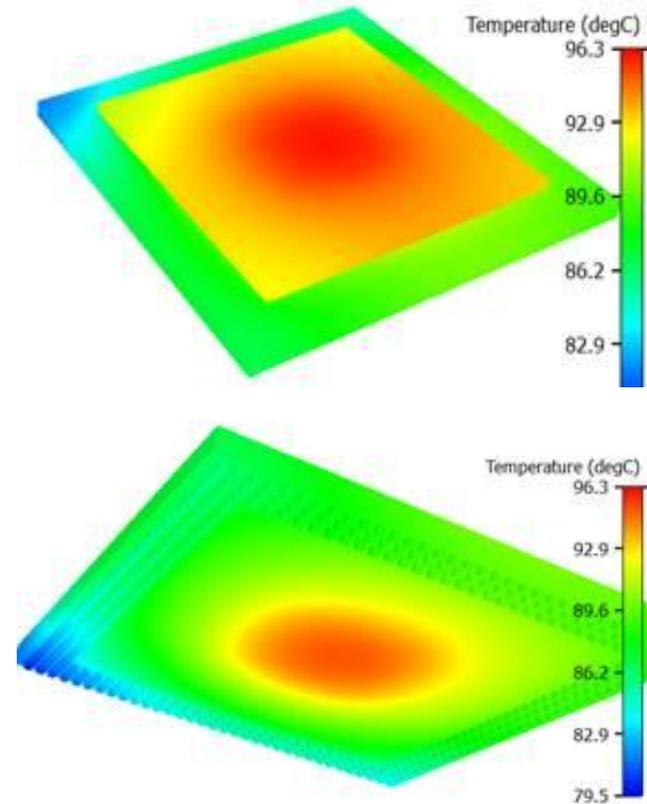
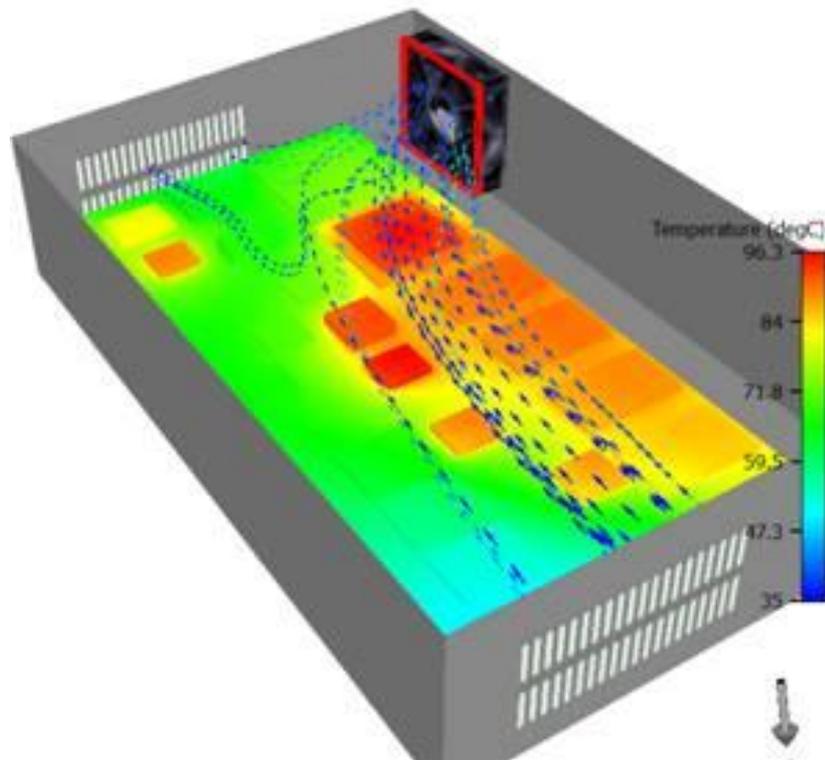
■ 涡轮机械中热与振动耦合

■ 车辆系统中流体/多体动力学耦合

■ **微电子系统中流固映射**

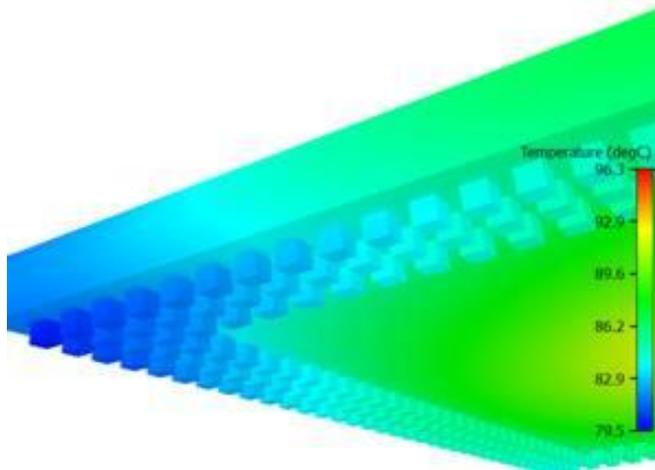
FloTHERM – Abaqus映射案例： PCB板温度预测

本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

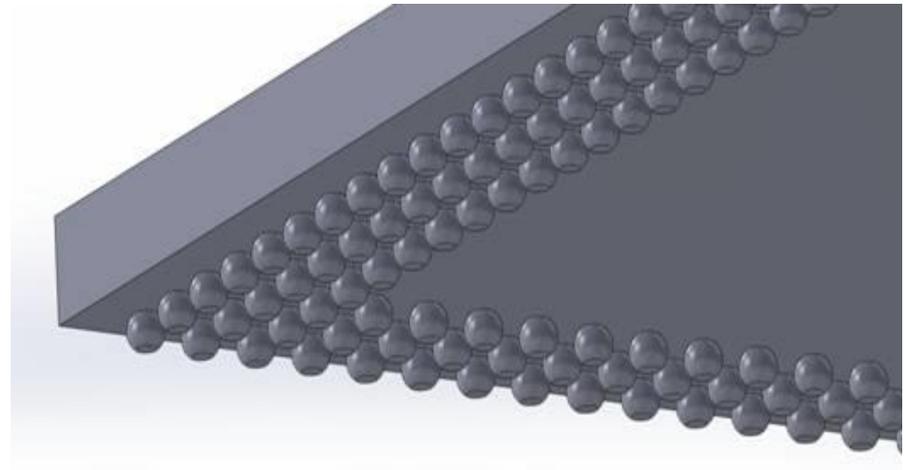


FloTHERM – Abaqus映射案例

FloTHERM



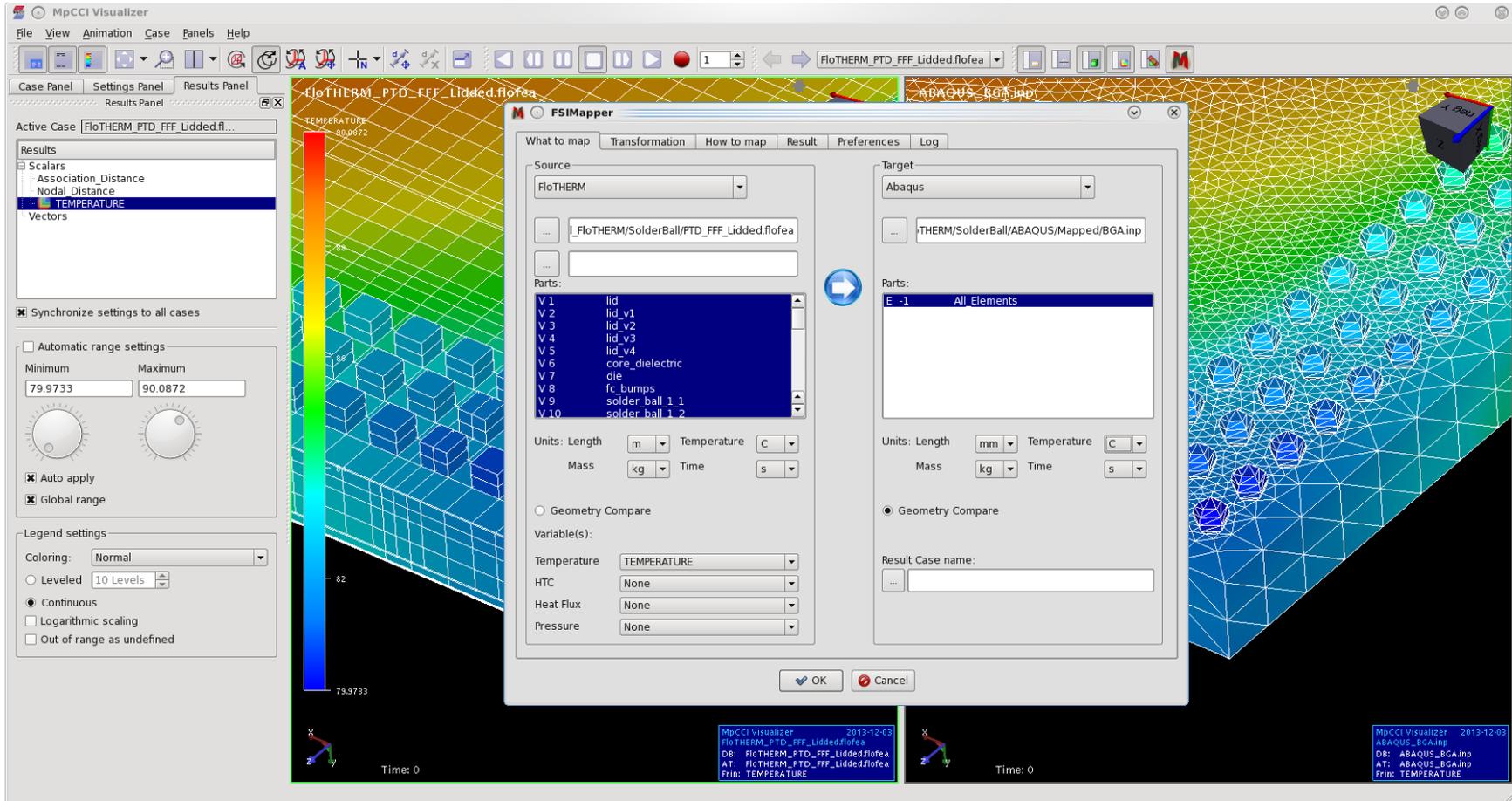
MCAD representation



对于热仿真和结构热仿真来说，焊球的形状是不同的

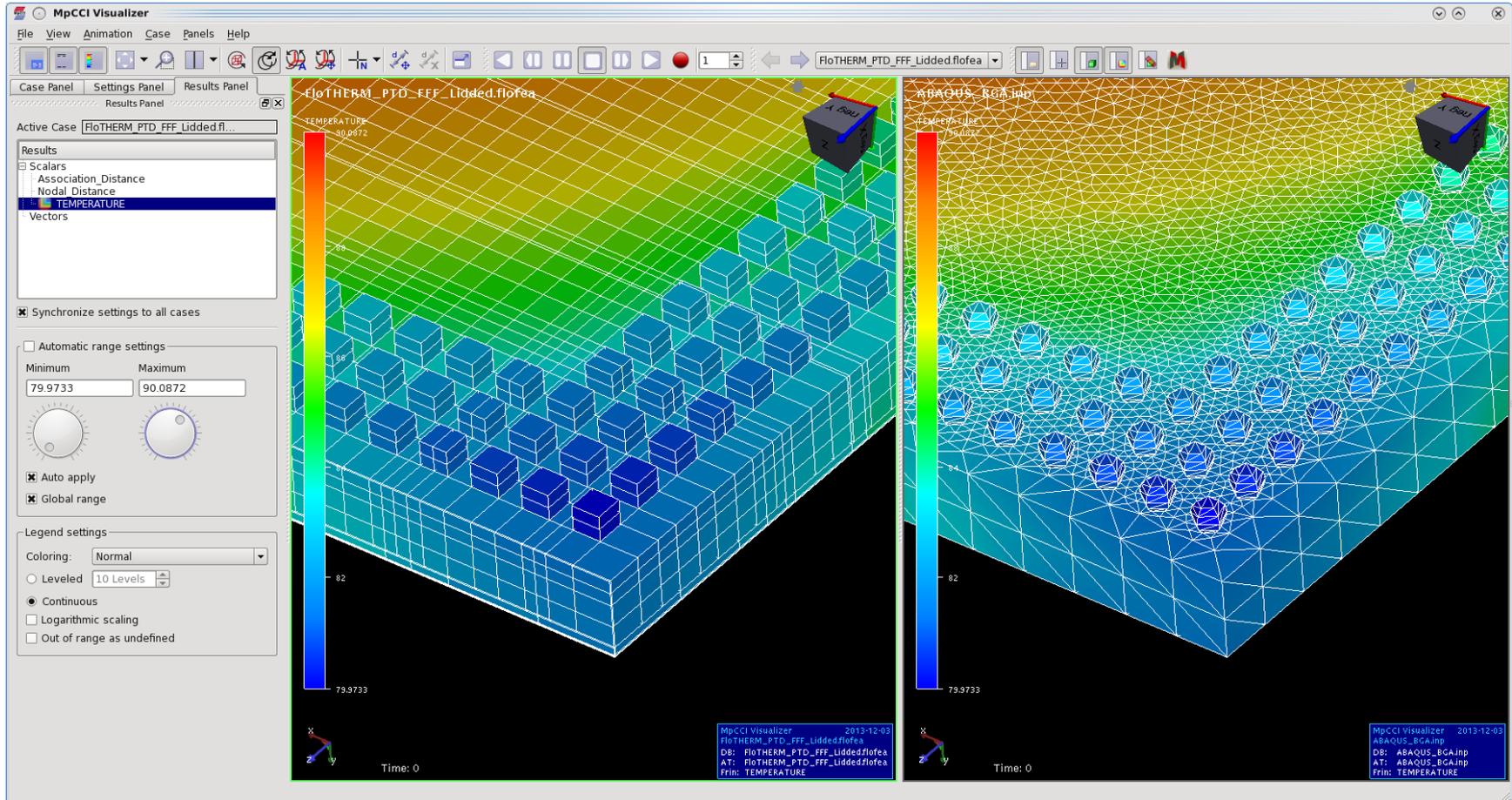
FSIMapper

本文来自: www.idaj.cn
 谢绝未经IDAJ许可的转载!
 技术咨询: support@idaj.cn



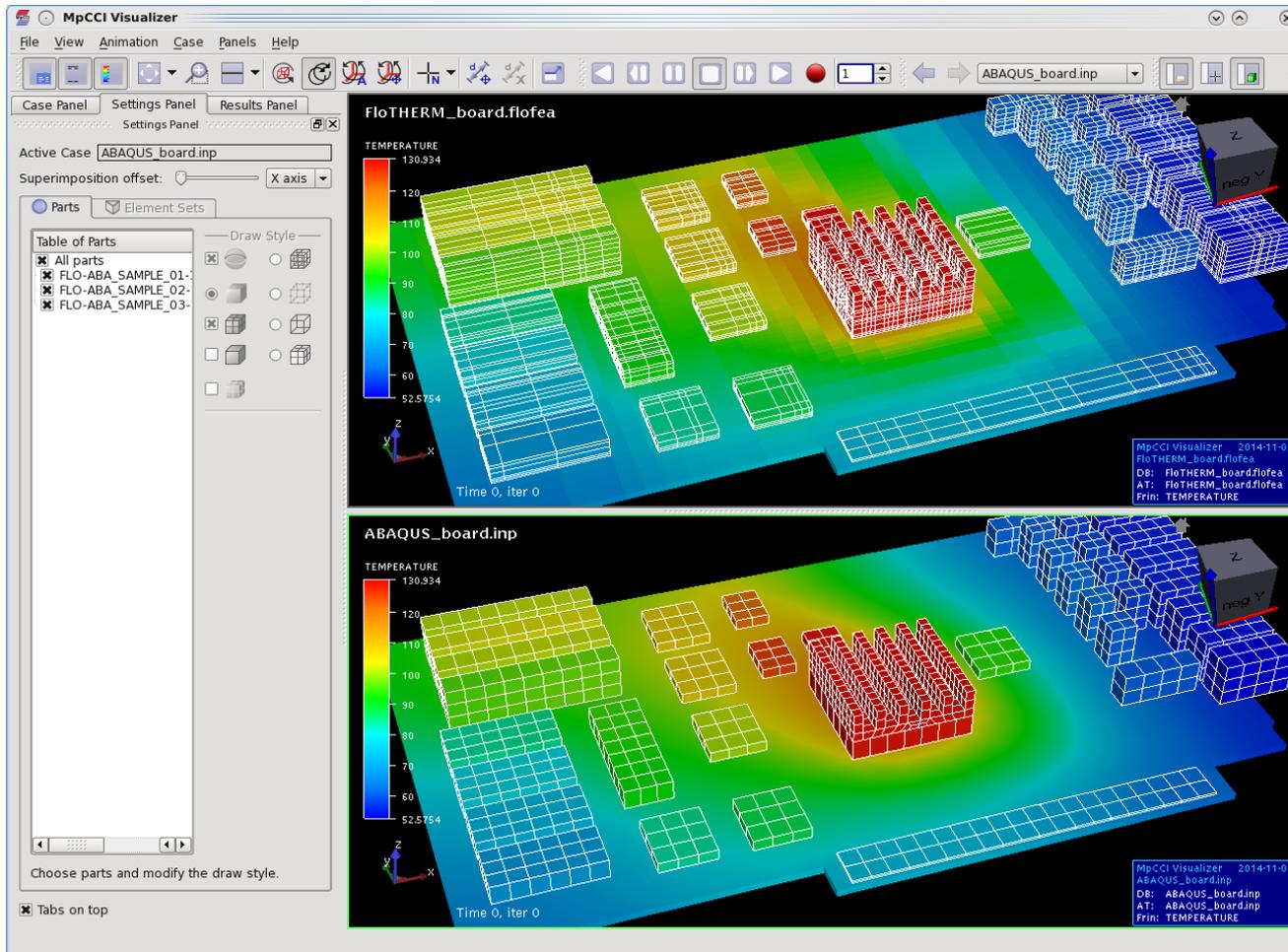
不匹配几何的处理

本文来自：www.idaj.cn
 谢绝未经IDAJ许可的转载！
 技术咨询：support@idaj.cn



本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

不匹配几何的处理





感谢您的关注！