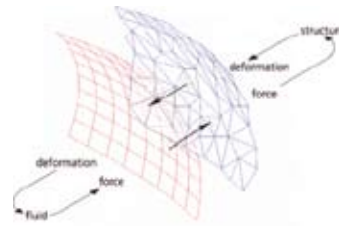


多学科耦合分析工具 MpCCI 的优势

- 开创性地在多学科的商业软件之间建立功能强大的连接
- 充分利用客户已有的商业软件资源和使用经验，为用户节约投资，大幅度减少学习时间
- 支持并行和分布式计算功能，提高计算效率
- 可以跨平台运行，有效利用客户现有的硬件资源

多学科耦合分析工具 MpCCI 的特点

- 界面友好，易学易用
- 并行操作适合团队进行项目研究或工程分析
- 分层通信，提高数据传输效率
- 支持弹性大变形运动网格
- 支持多学科不同种类网格类型相互匹配



多学科耦合分析工具 MpCCI

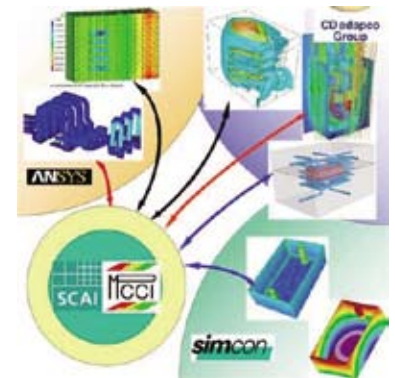
今天，在许多科学研究和工程应用领域里，单一学科的仿真分析已经不能满足人们更详细更准确的要求，在现实世界中，许多现象是多个物理场相互作用不可分割的。为了得到更高质量的数值仿真结果，模拟多学科耦合作用的要求不断增加，将不同学科的仿真分析耦合在一起，变得越来越重要。

耦合分析就是考虑了两个或多个物理场之间相互作用的分析。例如：考虑流体和固体结构之间互相作用，求解流场运动与结构变形互相影响就是典型的流-固耦合分析。其它耦合的例子还有热-固耦合、热-电耦合、电-磁耦合分析等等。

耦合分析通常分两种方法：紧耦合（或称强耦合）和松耦合（或称弱耦合）。紧耦合一般是进行一个分析过程来实现多物理场耦合，松耦合则包括两个或多个按一定顺序排列的分析，通过将前一个分析的结果作为载荷施加到下一个分析中的方式进行耦合，每一个分析可能属于不同的物理场。松耦合按数据的传递方向又分为单向耦合与双向耦合。

松耦合可以灵活、方便地利用各学科现有的商业软件进行耦合分析。由于每个物理场的分析是独立的，采用计算机并行技术，可以解决大型复杂的工程问题。而紧耦合受计算方法和计算机性能的限制，目前还不适合解决大型的工程问题。

MpCCI 就是根据松耦合的原理，为已有的商业软件或非商业程序提供了独立的多学科耦合分析平台。



MpCCI 多学科耦合发展历程

MpCCI (Mesh-based parallel Code Coupling Interface) 被称为基于网格的交互式耦合并行程序，并行的基础是 MPI (Message Passing Interface) 传输机制。

MpCCI 是由德国 Fraunhofer 的科学计算和计算方法研究所 (Institute for Algorithms and Scientific Computing, 简称SCAI) 开发的。

1996-1999 年由于欧洲研究项目CISPAR的需要，SCAI 开发了Coupling Communication Library (CoCoLib)，也就是 MpCCI 的前身。

2000 年初，在 CoCoLib 的基础上首次公开发布商业版的 MpCCI 1.0;

2001-2002 年相继发布 MpCCI 1.x 版;

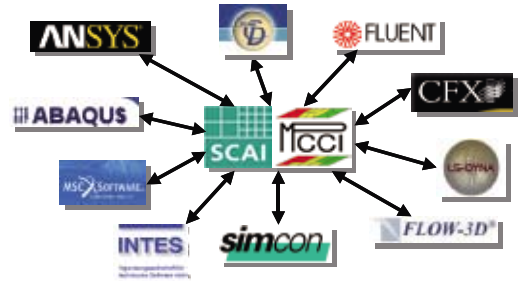
2003 年发布 MpCCI 2.0;

2004 年发布 MpCCI 3.0，集成了ABAQUS、ANSYS、STAR-CD、Fluent等软件;

2006年发布MpCCI3.05, 集成了ABAQUS、ANSYS、MSC.Marc、STAR-CD、Fluent、FLUX、IcePak、PERMAS、RadTherm等软件;

2007年计划增加 MSC.Nastran和CFX集成功能。

自1996年, SCAI与许多研究机构和软件公司合作, 成功地将 MpCCI与Ansys、CFX、STAR-CD、Numeca、Permas、DLR 的 FLOWer 和 Tau 等软件耦合在一起。MpCCI 已经成为全球唯一的多学科耦合分析的工业标准和平台。



自问世以来, MpCCI已经被世界上众多的知名企业和研究机构所采用。如:

- 汽车行业的Diamler-Chrysler、BMW、Ford-Werke、TRW、Duetz 等;
- 航空航天领域的Airbus、EADS (European Aeronautic Defence and Space Company)、DLR (German Aero space Center)、MTU (Aero Engines) 等;
- 电子和能源行业的MOELLER、JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute) 以及政府部门BMB+F等。

由于 SCAI在并行耦合计算领域深厚的研发基础和领先的学术地位, MpCCI 作为耦合分析的业界标准, 正在迅速发展不断更新, 成为客户耦合分析的有力工具。

MpCCI 多学科耦合的功能介绍

1. MpCCI的图形用户界面



第一步: 软件和模型的选择



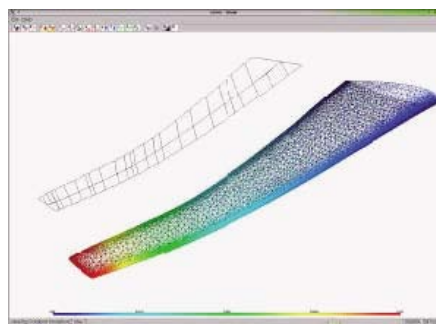
第二步: 耦合参数设置



第三步: 控制参数设置



第四步: 执行

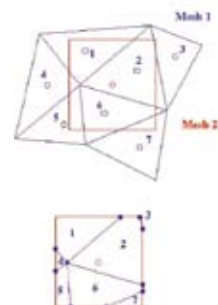
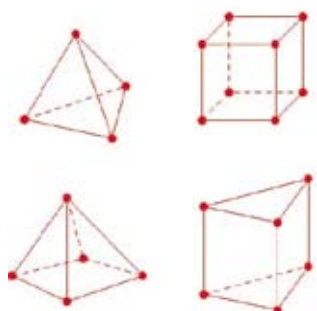


第五步: 后处理

2. MpCCI支持的耦合形式

MpCCI内部采用笛卡尔 (Cartesian) 坐标系, 不同软件之间的网格如果需要转换坐标系, 必须定义重复的节点和单元, 使MpCCI自动识别耦合区域。

MpCCI支持各种类型的耦合区域: 1D、2D和3D; 支持的网格形式包括: LINE、TRI-3、TRI-6、QUAD-4、QUAD-8、TET-4、PYRAMID-5、PRISM-6、HEX-8等, 可以解决任何形状复杂的耦合问题。



3. MpCCI支持相邻节点的搜索和插值

MpCCI特别重视不同软件之间耦合界面的节点位置，提供了相邻节点位置的搜索和插值功能。为了判断网格是否吻合，MpCCI定义了匹配和不匹配的判断准则，判断网格是否匹配，MpCCI采用效率较高的桶式预接触搜索算法。

根据耦合界面网格的不同关系，MpCCI提供了三种形式的插值：

PE (point-element)：标准插值；

EE (element-element)：基于公共点的映射算法；

PP (point-point)：基于网格匹配和相邻最近的点的插值。

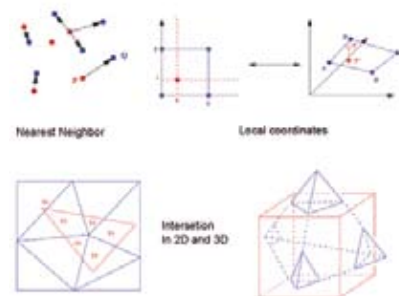
根据插值物理量性质的不同，插值数据分为：

非守恒量：耦合界面所传递的数据量总和不相等，

例如：位移、速度、温度等；

守恒量：耦合界面传递的数据量总和必须相等，

例如：压力、流量等。



4. MpCCI支持网格重构

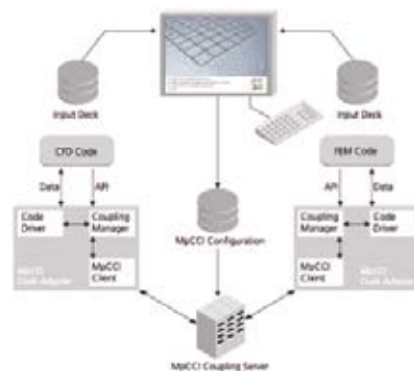
接触面的变形使流体的求解域发生变化，为了得到有效的计算结果，需要对网格进行重构或者网格节点重置。在求解过程中，MpCCI允许按照原来的几何重新生成新的网格。网格重构一般分为网格移动、节点重置、网格增加或者局部减少等几种形式。

在定义耦合网格的映射方案时，考虑了：映射方案、物理量的性质、单元类型等三个方面的因素。



5. MpCCI的通信模式

MpCCI采用客户端和服务端 (client-server) 的模式进行分层通信，而不仅仅是在软件之间传输数据。参与耦合的每个软件单独启动，通过标准的TCP/IP网络协议，每个软件都与MpCCI服务器的核心连接。当MpCCI服务器收到一个耦合软件的申请时，MpCCI服务器就去读相应客户机的数据，然后把结果返回给发出申请的客户机。如果参与耦合的软件内部采用并行模式计算，其通信就在MPI层内进行，MpCCI服务器不进行干预。MpCCI服务器的数据传输采用两种模式：块传输和同步点。



6. MpCCI 多学科耦合的程序接口

接口程序主要包括两个模块：

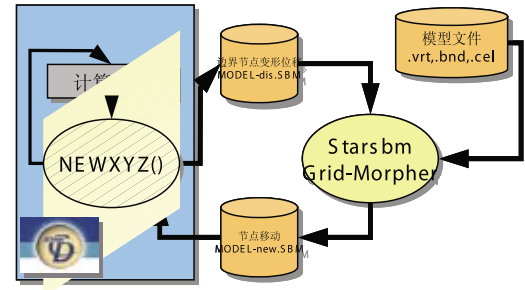
MpCCI耦合管理器和特定的驱动程序。

MpCCI耦合管理器的功能就是初始化MpCCI耦合管理器，为MpCCI耦合服务器提供网格的耦合信息，发送和接受数据。

MpCCI特定的驱动程序：通过商业软件标准的API接口程序连接到MpCCI，商业软件本身不需要作任何修改。

以STAR-CD为例，为了保持边界层网格的正交性，有效解决网格的移动问题。

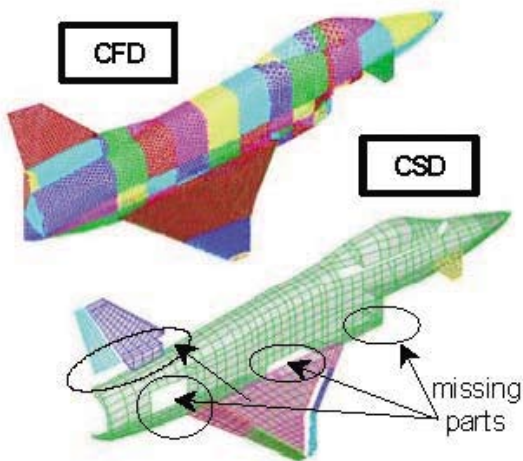
MpCCI采用弹性网格变形SBM (Spring-based mesh Morphing) 的概念来解决网格快速变形的问题。通过STAR-CD的用户子程序NEWXYZ () 与 STAR单独进行通讯。



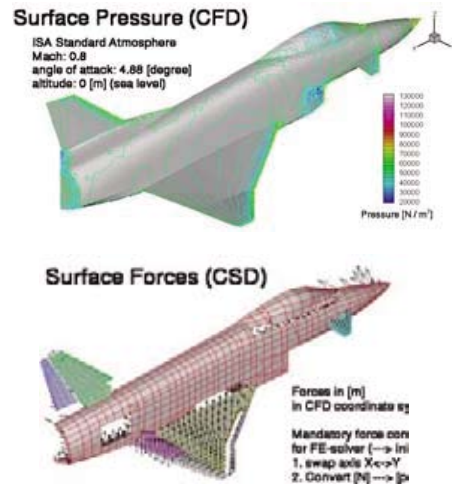
应用领域与成功的案例

● 航空航天领域

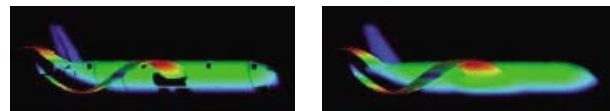
案例1：EADS的跨音速气弹分析



案例2：EADS的X31的跨音速静气弹分析

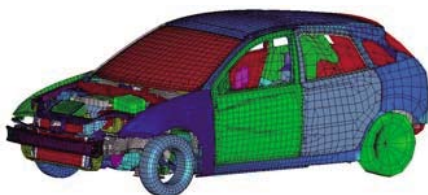


案例3：AirBus的A340-300颤振分析



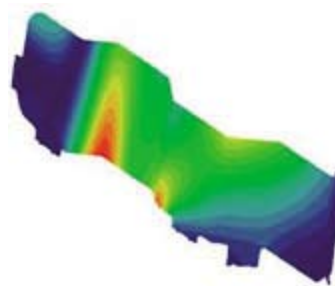
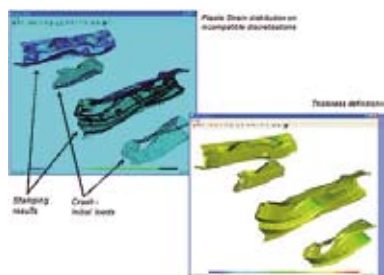
● 汽车行业

案例4：Ford的冲压件与碰撞耦合模拟

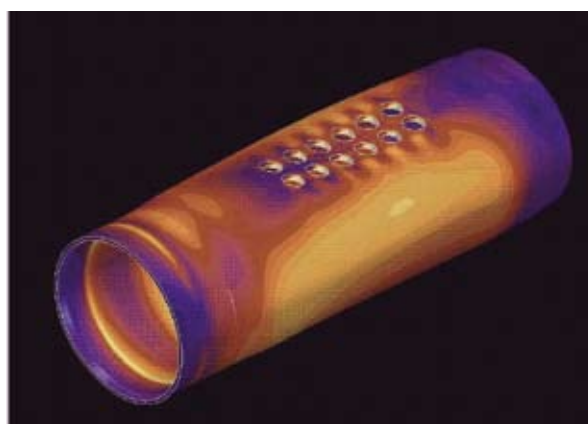
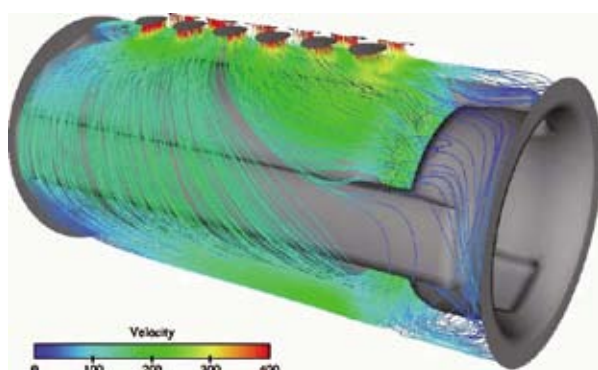


案例5：Daimler Chrysler 的油箱流固耦合分析



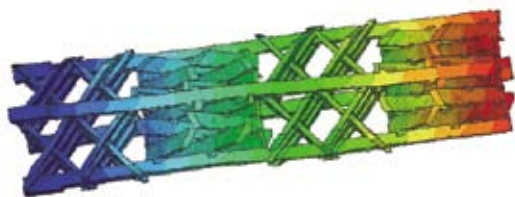


案例6：TRW的安全气囊气体发生器耦合分析



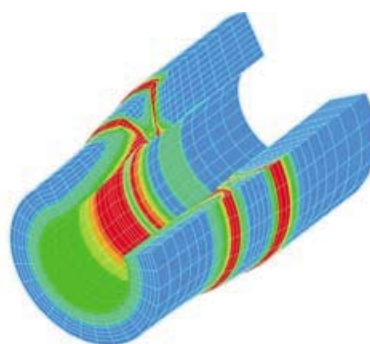
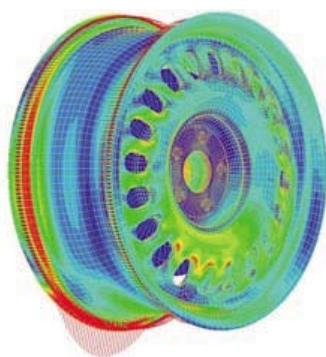
● 化工行业

案例7：Sulzer Innotec的聚合物搅拌器耦合分析

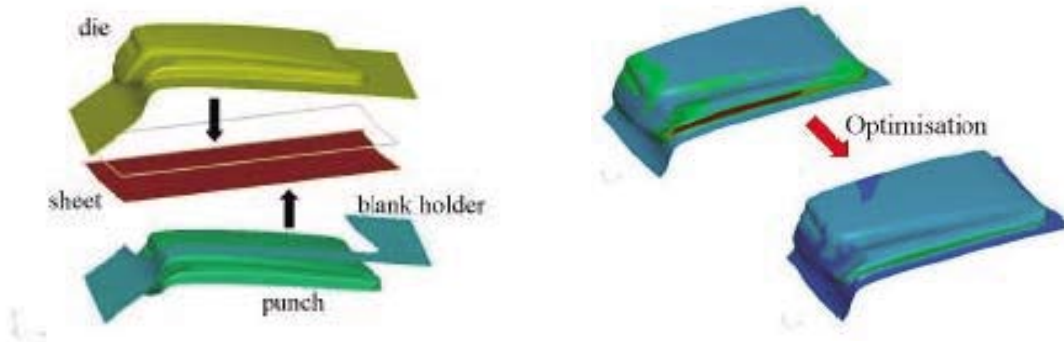


● 机械电子行业

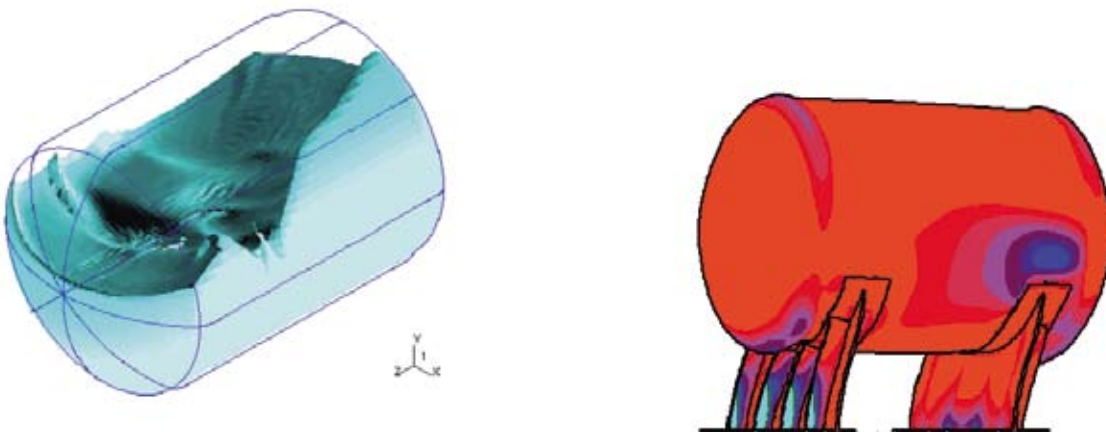
案例8：高周载荷或高温条件下的疲劳寿命预报



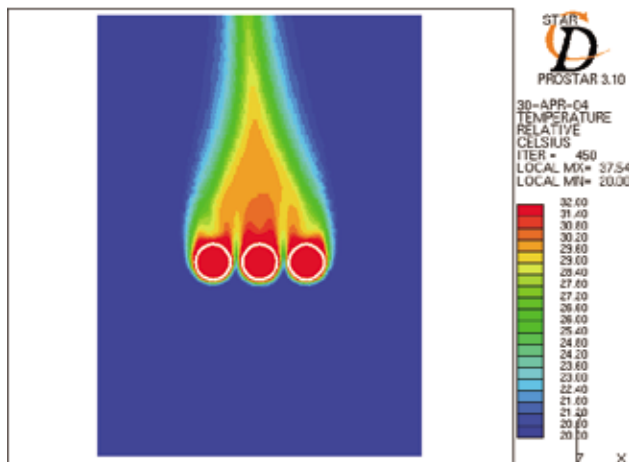
案例9：冲压过程耦合分析与优化



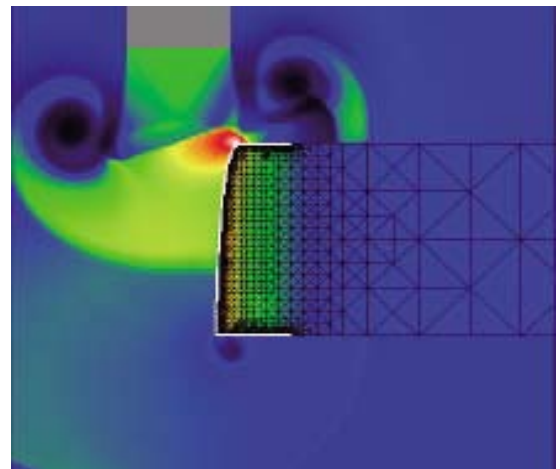
案例10：油箱流固耦合分析



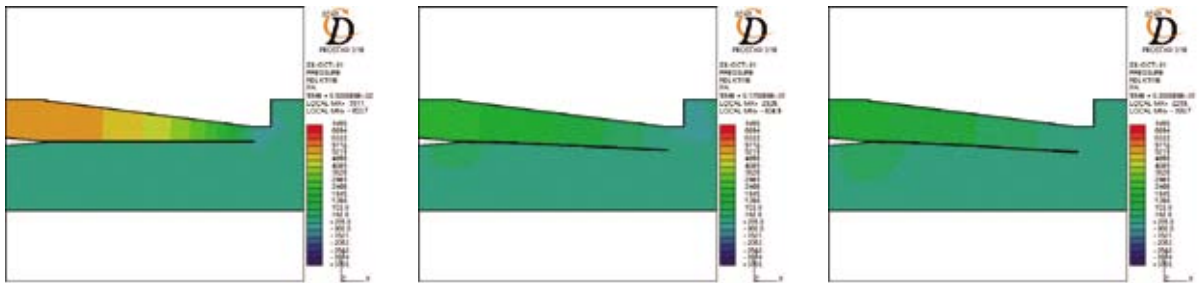
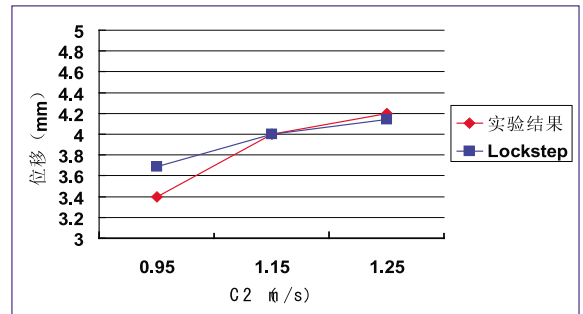
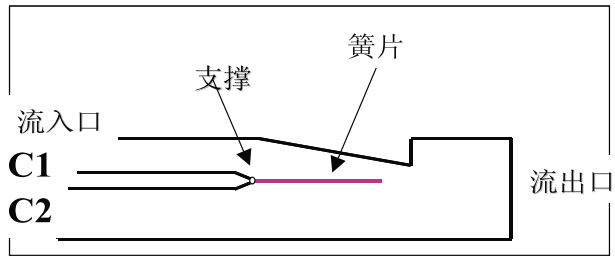
案例11：电线周围的自然对流分析



案例12：激光切削过程的耦合分析



案例13：空调压缩机压力阀的耦合分析



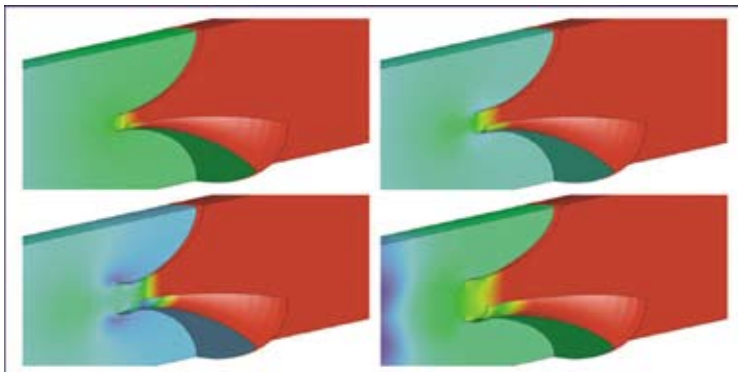
● 大气环境领域

案例14：地表环境与气候动力学的耦合分析



● 生物力学和医疗领域

案例15：人工心脏阀流动分析



案例16：冠状动脉的流动耦合分析



典型的成功案例

● 机翼结构耦合分析

目的：验证机翼结构的刚度。

条件：来流速度200m/s，机翼结构按初步设计的方案建立模型。

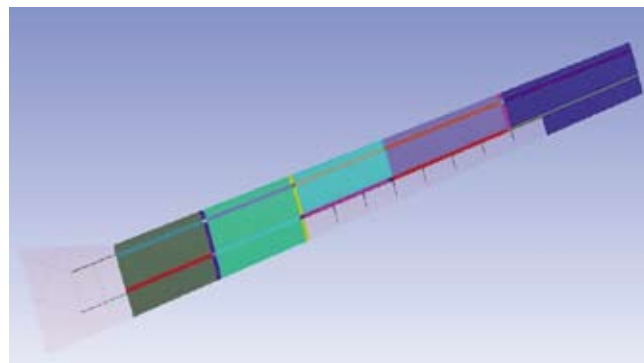
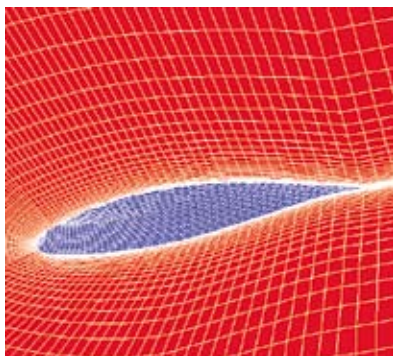
规模：有限元6万单元，流体80万单元。

使用软件：STAR-CD 与 ANSYS。

时间步长：0.0025秒，总时间步：200

关键技术：流体网格移动。

结论：机翼变形较大，根部刚度较弱，局部蒙皮失稳。



● 汽车发动机缸盖热固耦合分析

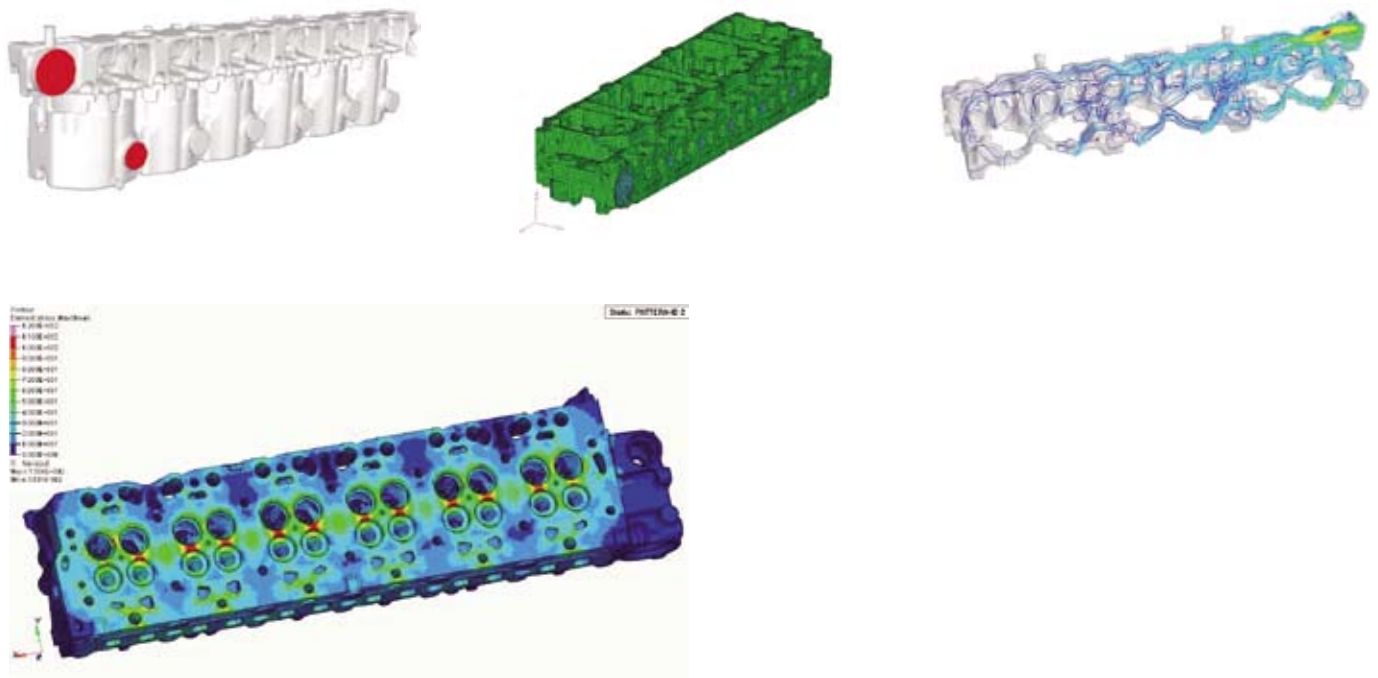
流体材料：55%的水和45%的乙二醇

总流量：220L/min

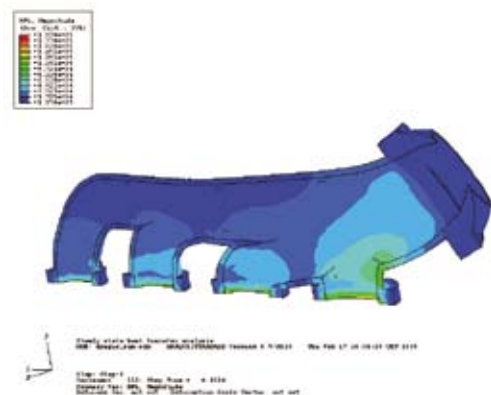
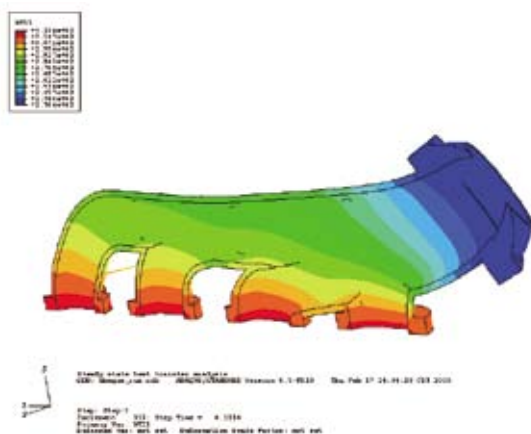
入口温度：90° C

固体材料：铸铁，平均厚度7mm

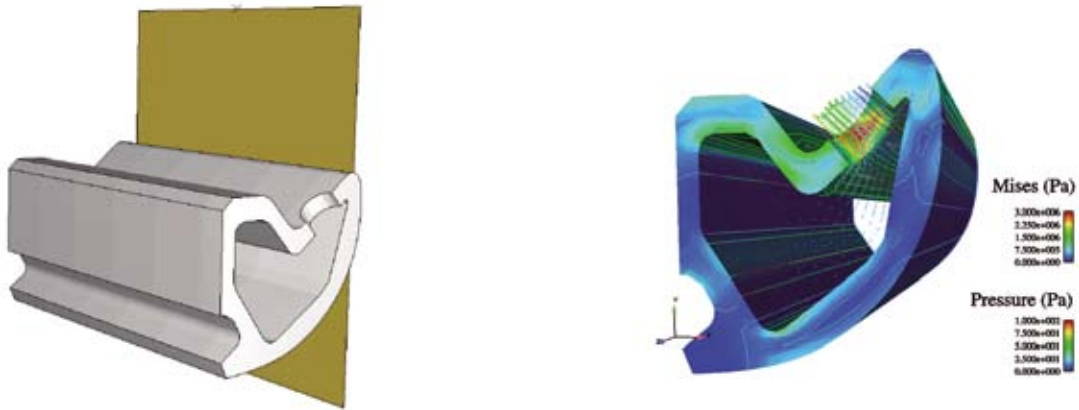
墙体： $\alpha=250 \text{ W/m}^2\text{m/K}$, $T=300^\circ \text{ C}$



● 排气歧管热固耦合分析



● 车门密封条耦合分析



● 减震器耦合分析

