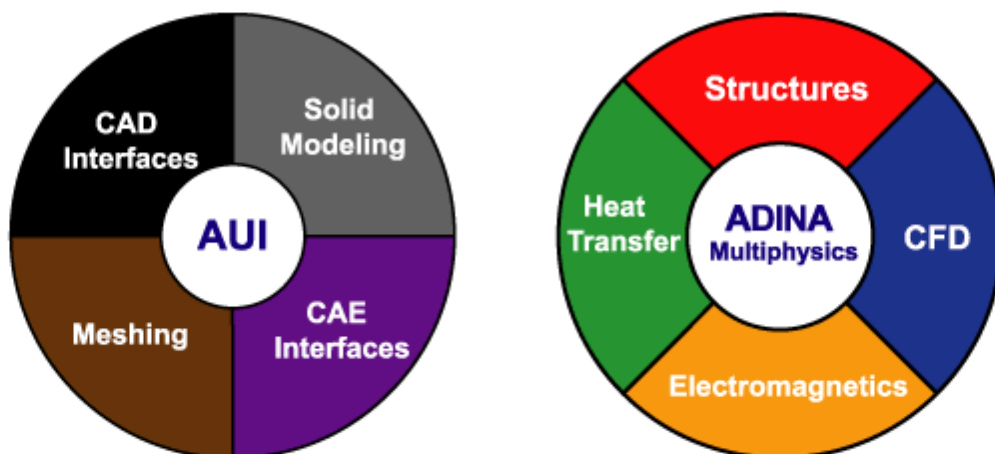


中仿 ADINA 工程仿真系统

中仿 ADINA 工程仿真系统为结构力学、流体、传热、电磁和多物理场的有限元分析提供了一个一体化的交互平台。



以下是针对中仿 ADINA 工程仿真系统各个不同模块的简要描述：

ADINA 结构力学分析模块

针对线性及高度非线性的实体和结构的高级有限元分析工具。

ADINA 流体力学分析模块

分析可压缩流体和不可压缩流体的 CFD 仿真工具，具备当前领先的移动边界和自动网格重新划分功能。

ADINA 电磁场分析模块

ADINA 电磁模块可用于麦克斯韦方程的求解，处理各类电磁问题，由此产生的电磁场效应能与流体流动进行耦合。

ADINA 热分析模块

固体热场问题的传热分析模块。

ADINA 流固耦合模块

ADINA 流固耦合（FSI）模块拥有领先的面向工业的流固全耦合求解器。同时拥有 ADINA 结构力学分析模块和流体力学分析模块的授权用户，也可以同时使用 FSI 模块。

ADINA 热固耦合模块

可进行热-结构的耦合分析，包括接触传热分析。同时拥有 ADINA 结构力

学分析模块和热分析模块的授权用户，也可以自动获得该模块的使用权。

ADINA Multiphysics 全模块

ADINA Multiphysics 全模块包含了 ADINA 中所有的求解器，不仅可求解结构力学、传热、流体力学问题，还能够实现多场耦合分析，如流固耦合、热固耦合、多孔介质流动、压电、焦耳热，甚至更多物理场的交互分析。

ADINA 用户界面

ADINA 用户界面为 ADINA 中的所有模块提供了一个完整的前后处理的平台。

ADINA MODELER 建模模块

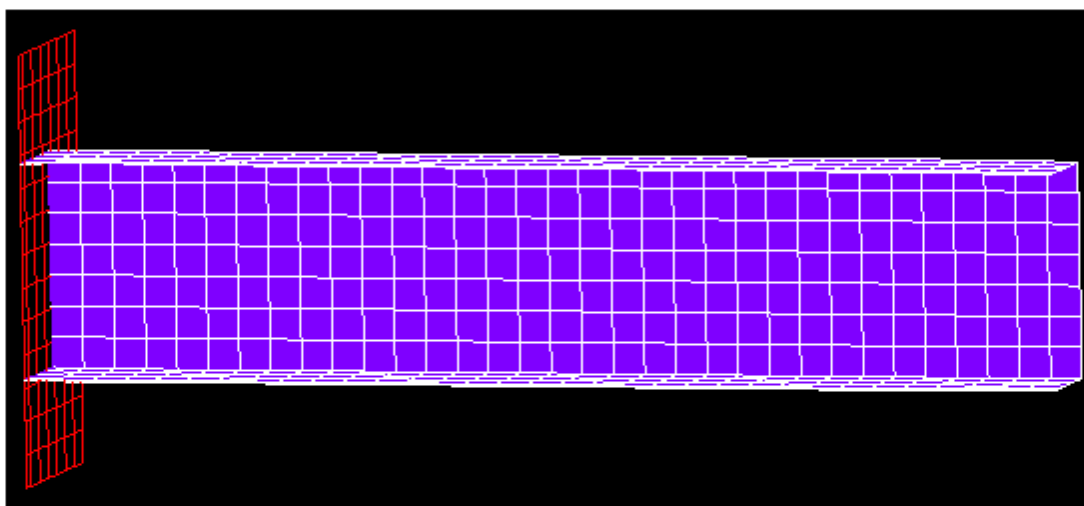
作为 ADINA 用户界面的附加模块，具备了实体建模能力，并能与其他所有基于 Parasolid 或 Open Cascade 内核的 CAD 系统进行无缝集成。

中仿 ADINA 工程仿真系统可支持在 Windows[®], Linux and IBM AIX 操作系统下的 PC 或工作站运行。

中仿 ADINA 结构力学分析模块

中仿 ADINA 程序为固体提供静力学和动力学最先进的分析能力。该分析可以是线性的或高度非线性的，包括材料非线性，大变形和接触条件的影响。

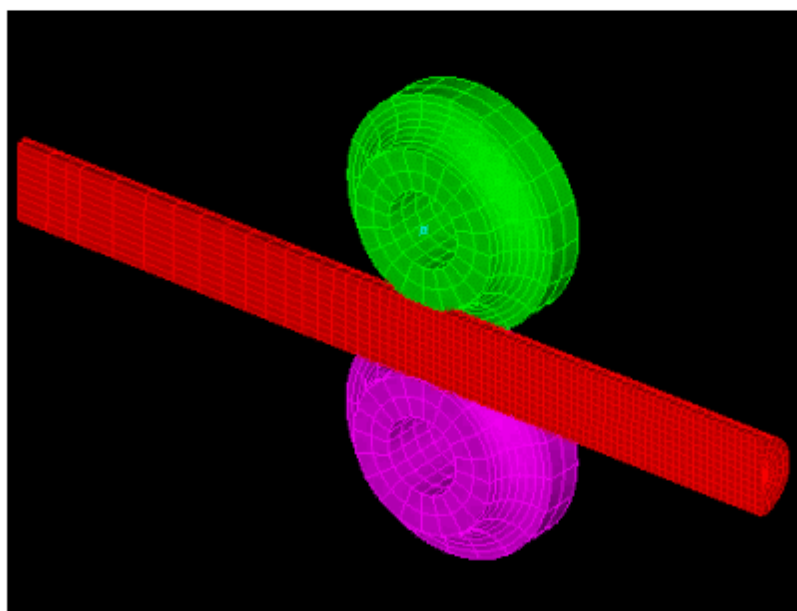
中仿 ADINA 程序提供固体，桁架，梁，管，板，壳和裂纹等多种结构单元。包含金属，土壤和岩石，塑料，橡胶，织物，木材，陶瓷和混凝土等多种材料模型。



部分中仿 ADINA 功能：

线性分析

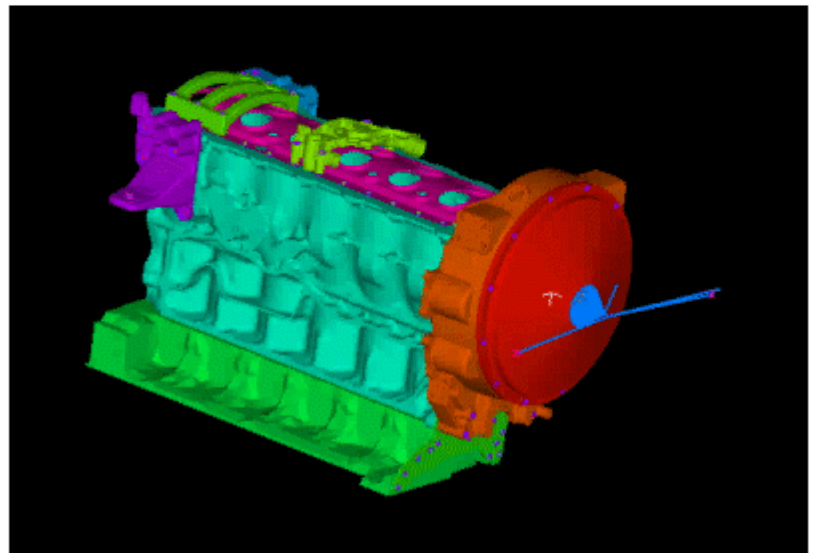
- 静力分析
- 瞬态显式分析
- 瞬态隐式分析
- 频率分析
- 模式分析
- 周期对称



- 子结构分析
- 声学流体分析
- 3D 迭代求解

非线性分析

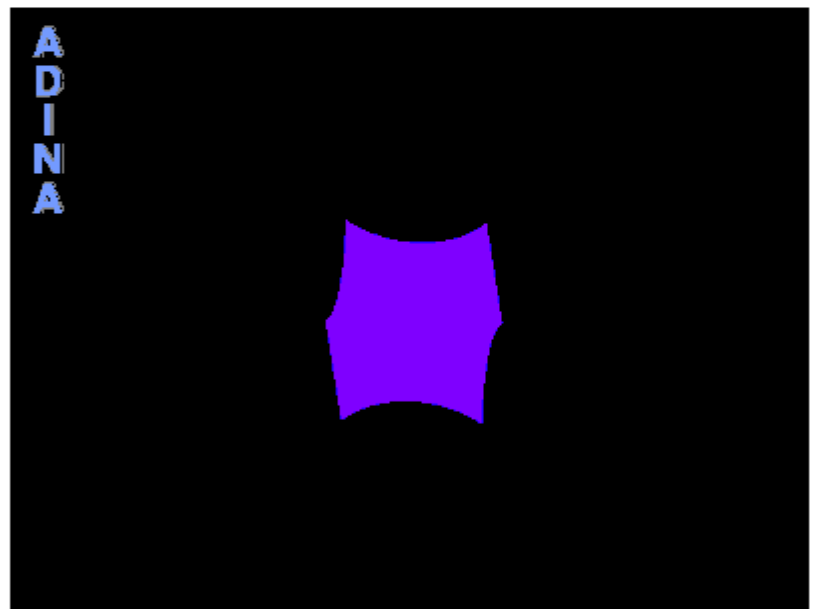
- 材料非线性分析
- 大变形分析
- 大应变分析（2D\3D，壳单元）
- 静力分析
- 瞬态显式分析
- 瞬态隐式分析
- 接触分析
- 频率分析、考虑接触的频率分析
- 断裂力学
- 子结构
- 重计算，结果映射
- 生死单元及断裂
- 初始应力/应变
- 自动时间步
- 总载荷加载
- 总位移控制
- 低速动力学



- 自稳定
- 用户自定义单元及载荷
- 在隐式及显示间重启动
- 螺栓排序

材料模型

- 弹性
 - 各向同性
 - 正交各向异性
 - 非线性
- 塑性
 - 双线性
 - 多线性
 - Mroz 双向性
 - 循环塑性
 - 正交各向异性
 - Ilyushin
 - Gurson
- 蠕变
 - 热弹性
 - 辐射

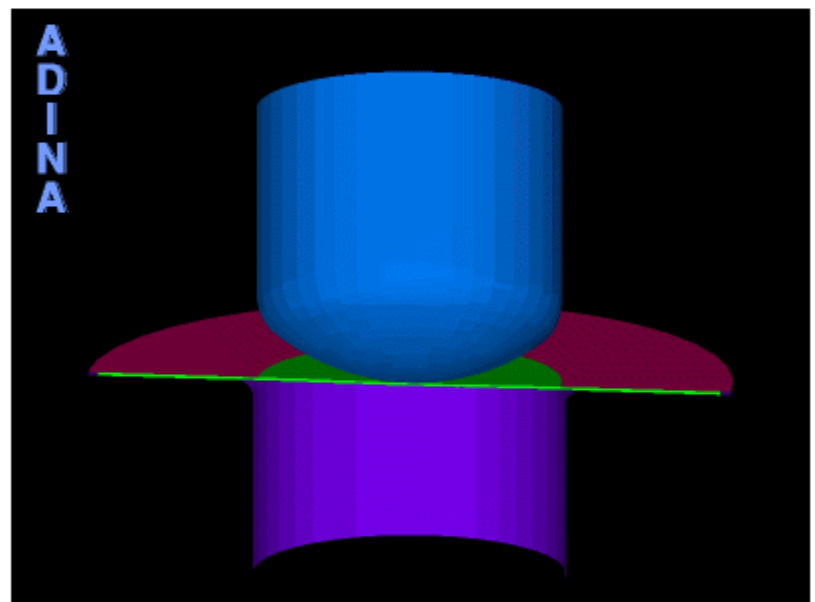


- 热塑性
- 多线性塑性
- 各向同性
- 橡胶/泡沫
 - Ogden
 - Mooney-Rivlin
 - Sussman-Bathe
 - Arruda-Boyce
 - 正交各向异性效应
 - 粘弹性效应
 - Mullins 效应
 - Hyper-foam
 - 橡胶稳定指标
- 岩土力学
 - 摩尔库伦
 - Drucker-Prager
 - 剑桥
 - Curve-Description
- 混凝土
- 粘弹性
- Anand
- Gasket

- Potential-based Fluid
- 形状记忆合金
- 弯矩-曲率
- 应变率依赖
- 多孔材料成形
- 起皱织物材料
- 用户自定义代码材料

接触力学

- 自接触
- 双边接触
- 刚性目标
- 接触阻尼
- 金属成形特性
- 胶结



频域分析

- 反应谱
- 傅里叶分析
- 谐波振动
- 随机振动
- Lanczos

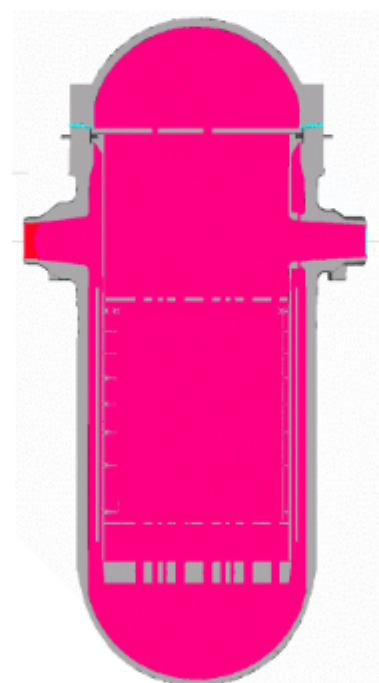
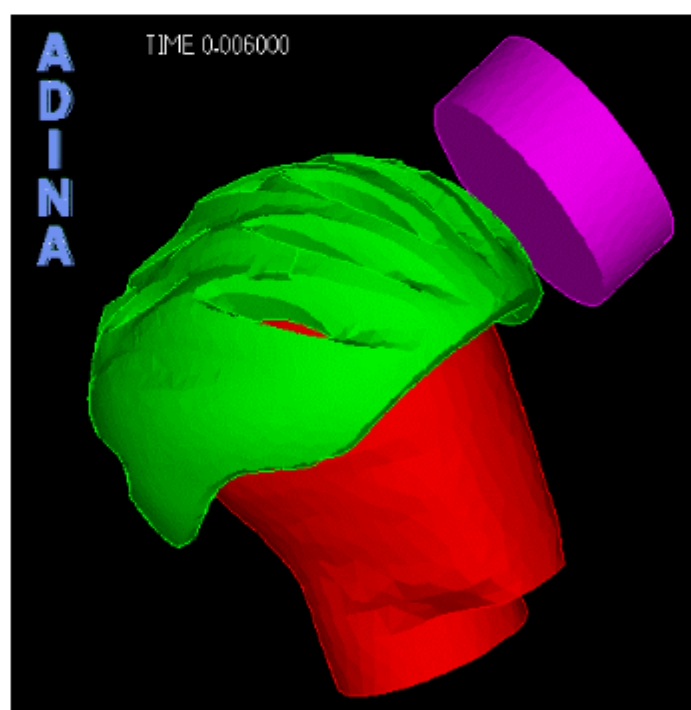
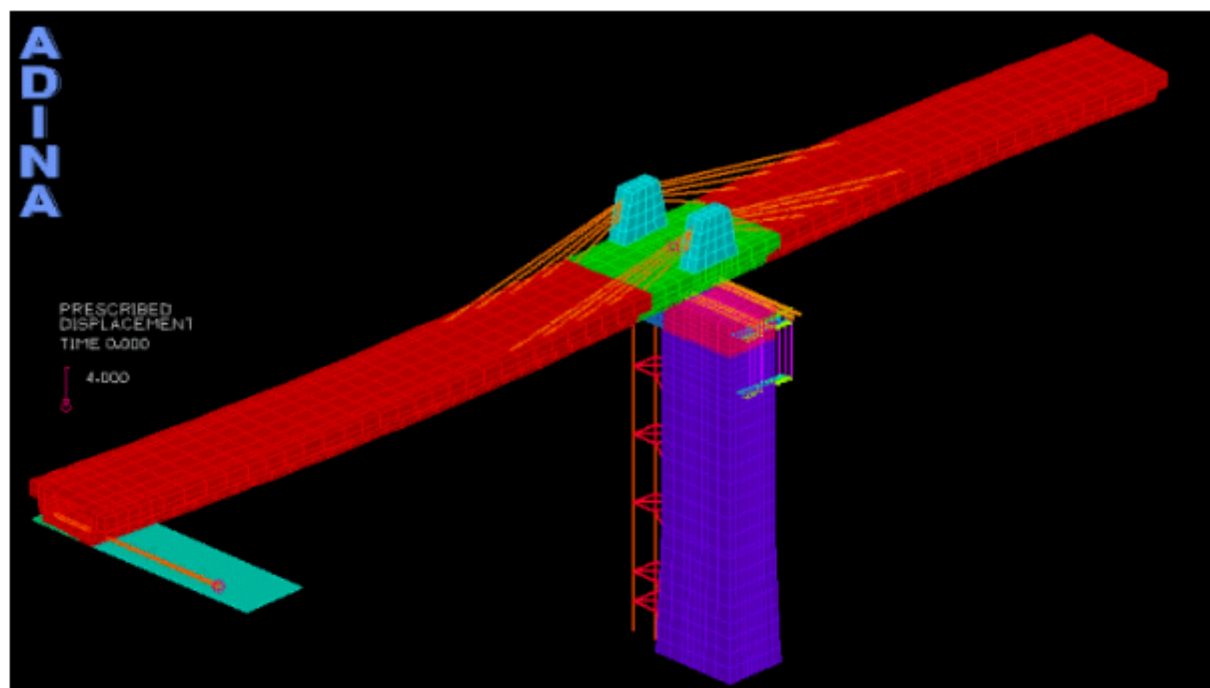
- 子空间

屈曲及挫曲后分析

- 线性屈曲
- 几何缺陷
- 坍塌（非线性）分析

其他功能

- 不同网格胶结
- 约束方程
- 刚性构件
- 2D/3D 模型内嵌钢筋 solids
- 分析缩放
- 结果诊断与监视
- 3D 迭代求解



中仿 ADINA 计算流体力学分析模块

中仿 ADINA 计算流体力学分析模块(ADINA-F)使用最先进的有限元和有限体积算法求解可压缩和不可压缩流问题。

并能使用任意拉格朗日—欧拉法 (ALE) 仿真流体之间或者流体和固体之间的自由表面和移动界面流动问题。

版权声明：本文件含有中仿智能科技（上海）股份有限公司的商业秘密，未经中仿智能科技（上海）股份有限公司批准，不可将本文件或其中部分复印或引用到其他文件中，用于其他目的。

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.cntech.com 邮箱：info@cntech.com

中仿 ADINA CFD 模块是基于有限元和有限体积离散方法，同时具备使用最为普遍与高效的数值技术，能够很好地模拟任意几何的流体流动。

模拟流体流动时需考虑的基本假设

- N-S 方程或欧拉方程
- 不可压缩流动或完全可压缩流动
- 稳态或瞬态分析
- 层流或湍流
- 伴随传热与否
- 传质过程

可压缩流体的材料模型

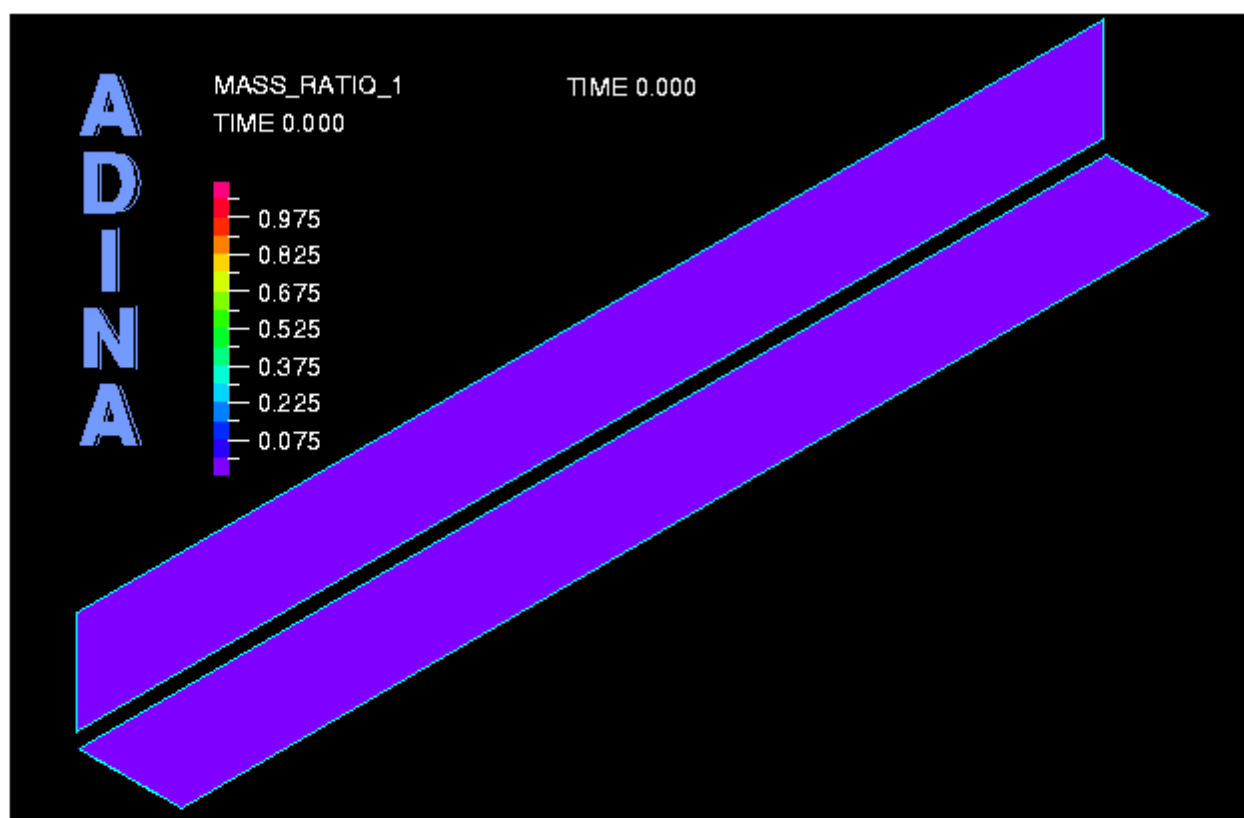
- 计算粘度和热传导系数的 Sutherland 公式，常数热容
- 粘度，热容和热传导系数为温度的函数
- 粘度，热容和热传导系数为压强的函数
- 粘度，热容和热传导系数同时为温度和压强的函数
- 高马赫数流动

不可压缩流动的材料模型

- 粘度，热容和热传导系数为常数
- 粘度，热容和热传导系数为温度的函数

- 粘度，热容和热传导系数为时间的函数
- 湍流模型：Prandtl 混合长度模型（Prandtl mixing-length model）， $k-\varepsilon$ 模型，RNG $k-\varepsilon$ 模型及 $k-\omega$ 模型
- 非牛顿流体模型
- 多孔介质模型

中仿 ADINA 电磁分析模块



电磁学是科研及工程中的一个重要领域，特别是电磁效应还常常与结构力学和流体系统耦合考虑。电磁学有很多重要的应用，包括：电动马达，炉子和烤箱的加热，医疗，电磁开关，电磁泵和刹车，波导，天线，传输线，电磁铸造，金属无损检测等等。

上述所有的电磁现象和应用均无一例外地由麦克斯韦方程组来表征。为了实现电磁多物理场的应用，中仿 ADINA 研发工程师一直致力于发展 ADINA 新的模拟工具——中仿 ADINA 电磁分析模块，完美求解不同的载荷和边界条件作用下的麦克斯韦方程组。中仿 ADINA 电磁分析模块以其优越的模拟性能，使用户可以求解不同的电磁问题，并能将电磁效应与流体流动耦合进行分析。

麦克斯韦一阶方程组从根本上描述了电场强度 E 和磁场强度 H 的关系，参考 Ref. [1]，

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E} + \mathbf{K} &= \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho_0 \\ \nabla \times \mathbf{H} - \mathbf{J} &= \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0\end{aligned}$$

并满足

$$\begin{aligned}\mathbf{K} &= \mathbf{K}_0 + \partial \mathbf{B} / \partial t \\ \mathbf{J} &= \mathbf{J}_0 + \sigma \mathbf{E} + \partial \mathbf{D} / \partial t \\ \mathbf{D} &= \varepsilon \mathbf{E}; \quad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}\end{aligned}$$

并且，麦克斯韦方程组的频域（谐波分析）形式为：

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E} + \mathbf{K} &= \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{J} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} - \mathbf{J} &= \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{K} &= 0\end{aligned}$$

这里，

$$\begin{aligned}\mathbf{K} &= \mathbf{K}_0 + i\omega\mu\mathbf{H} \\ \mathbf{J} &= \mathbf{J}_0 + (i\omega\varepsilon + \sigma)\mathbf{E}\end{aligned}$$

在这些方程中，电磁材料属性均由 ε, μ, σ 描述，即介电常数，磁导率和电导率。其源项为两个密度值 $\mathbf{J}_0$ 和 $\mathbf{K}_0$ ，以及电荷密度 ρ_0 。结合适当的边界条件，通过求解麦克斯韦方程组便可得出给定求解域的 $\mathbf{E}$ 和 $\mathbf{H}$ 。

在 ADINA 电磁分析模块中，采用了两种明显不同的方程，即一种新的 $\mathbf{E}$ - $\mathbf{H}$ 公式和 $\mathbf{A}$ - ϕ 公式，我们通常使用的公式 $\mathbf{A}$ - ϕ 如下：

$$\begin{aligned}\mathbf{E} &= -\nabla\phi - \partial\mathbf{A}/\partial t \\ \mathbf{B} &= \nabla \times \mathbf{A}\end{aligned}$$

我们用有限元方法求解这两个公式。出于效率和准确度的考虑，是将这些方程在不增加新的方程的情况下进行二阶重构，而不是求解上述提到的麦克斯韦一阶方程，参考 Ref.[2]

值得注意的是，中仿 ADINA 电磁分析模块提供了 $E-H$ 及 $A-\phi$ 这两个特别的公式。因为 $A-\phi$ 公式为广大工程师和科学者所熟知，可以直接地使用，但也存在一定的缺陷。 $E-H$ 公式则非常新颖，使用了未知的物理变量，将更加直接地耦合到流体和结构问题中去。

首次发布的中仿 ADINA 电磁分析模块，能够求解以下不同类别的电磁问题：

- 静电场
- 静磁场
- DC 电流传导
- 时谐
- 边电流
- AC 电流传导
- 洛伦兹力
- 电磁-热耦合
- 波导

当然，中仿 ADINA 电磁分析模块的前后处理和求解都是在中仿 ADINA 用户界面下完成的。

下面展示了三个利用中仿 ADINA 电磁分析模块求解的模型：

1 尖锐材料界面问题的谐波分析

第一个例子，展现了中仿 ADINA 电磁分析模块在求解尖锐材料界面时的能力，即界面相邻的材料属性差异非常大的情形。如图 1 所示，外层区域材料是不导电的，而内层区域材料具有很高的电导率。由于两种材料差异很大，在材料界面处电磁场会发生突变。处理该问题时，中仿 ADINA 电磁分析模块对每个区域都采用 $E-H$ 公式求解，而不是不同的区域用不同的公式来计算。

图 2 与 3 分别展示了电场和磁场强度的实部和虚部。

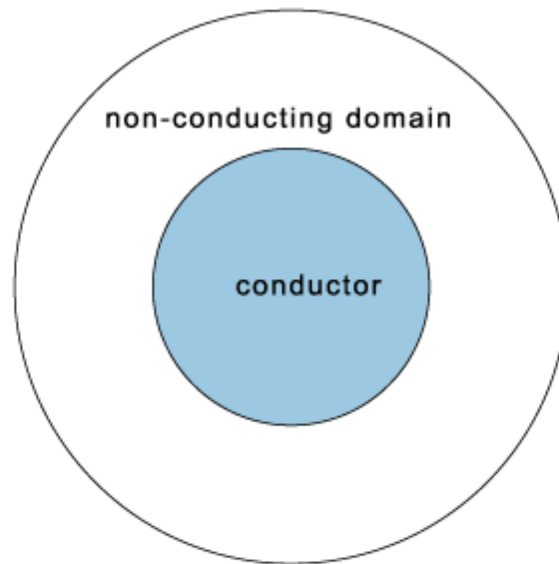


图 1 尖锐材料界面问题：示意图

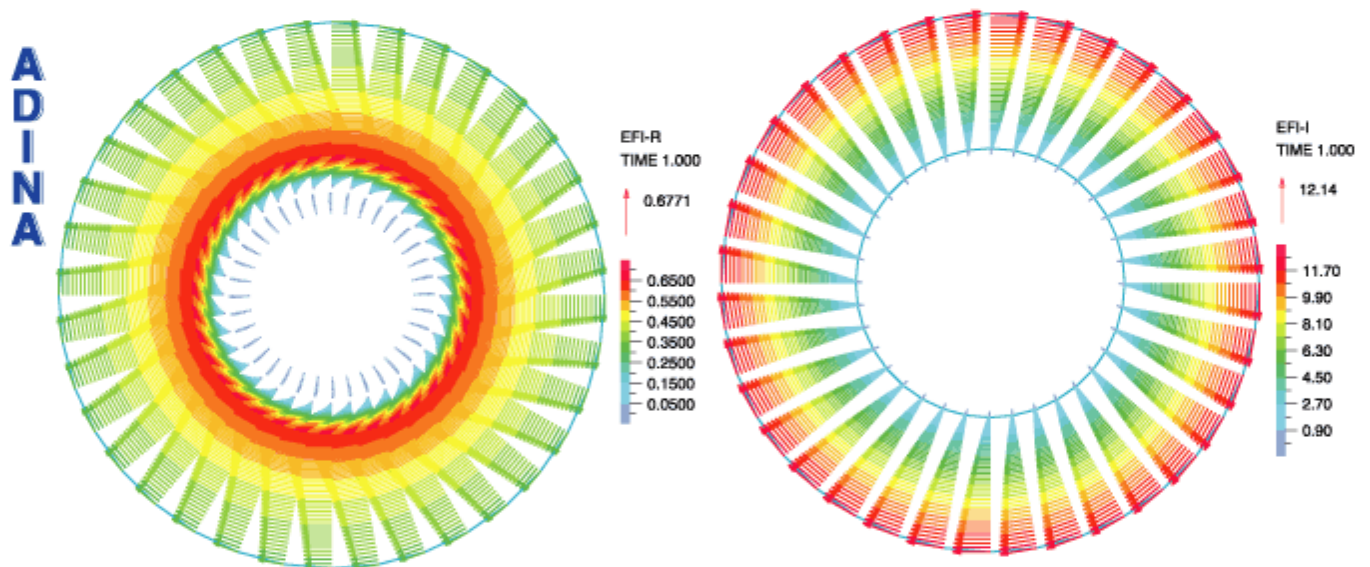


图 2 尖锐材料界面问题：电场强度 E 的矢量图；实部（左）和虚部（右）

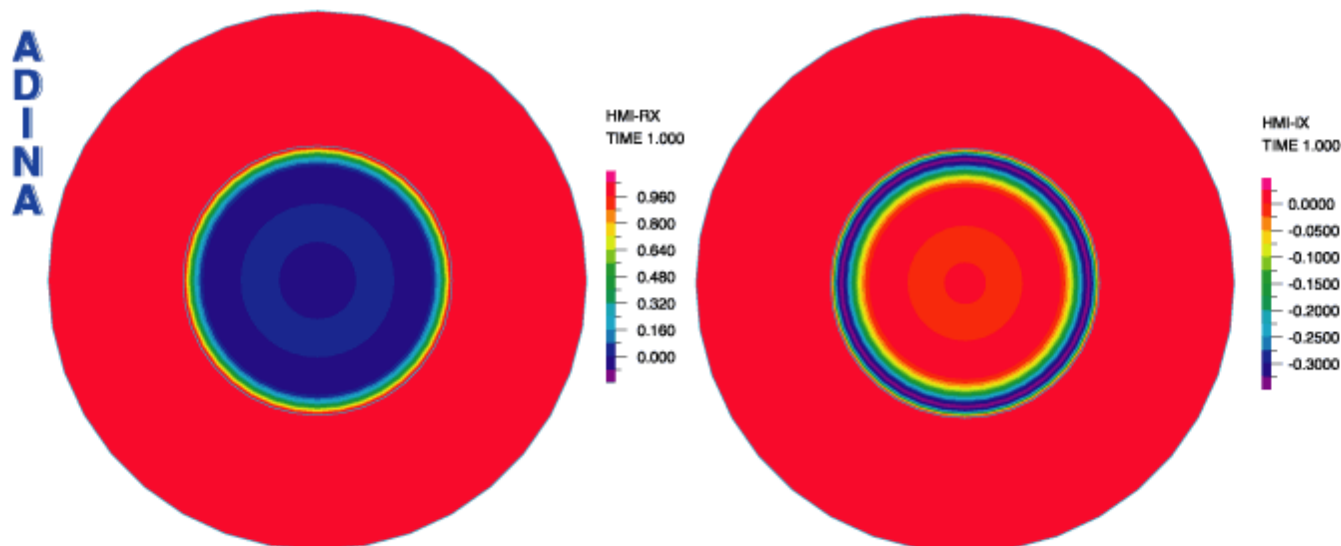


图 3 尖锐材料界面问题：磁场强度 H 的矢量图；实部（左）和虚部（右）

我们同时也比较了中仿 ADINA 电磁分析模块的模拟值与理论值，如图 4 和 5 所示，可以看出计算结果与理论值是高度吻合的。

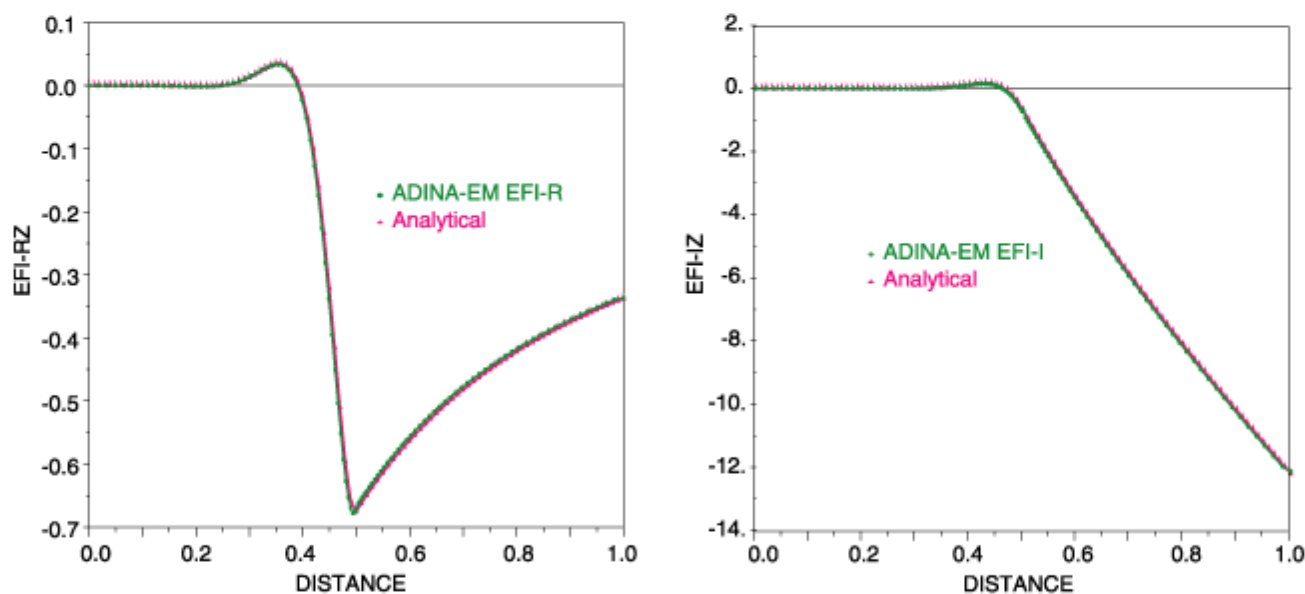


图 4 尖锐材料界面问题：电场强度 E 模拟值和理论值的比较；实部（左）和虚部（右）

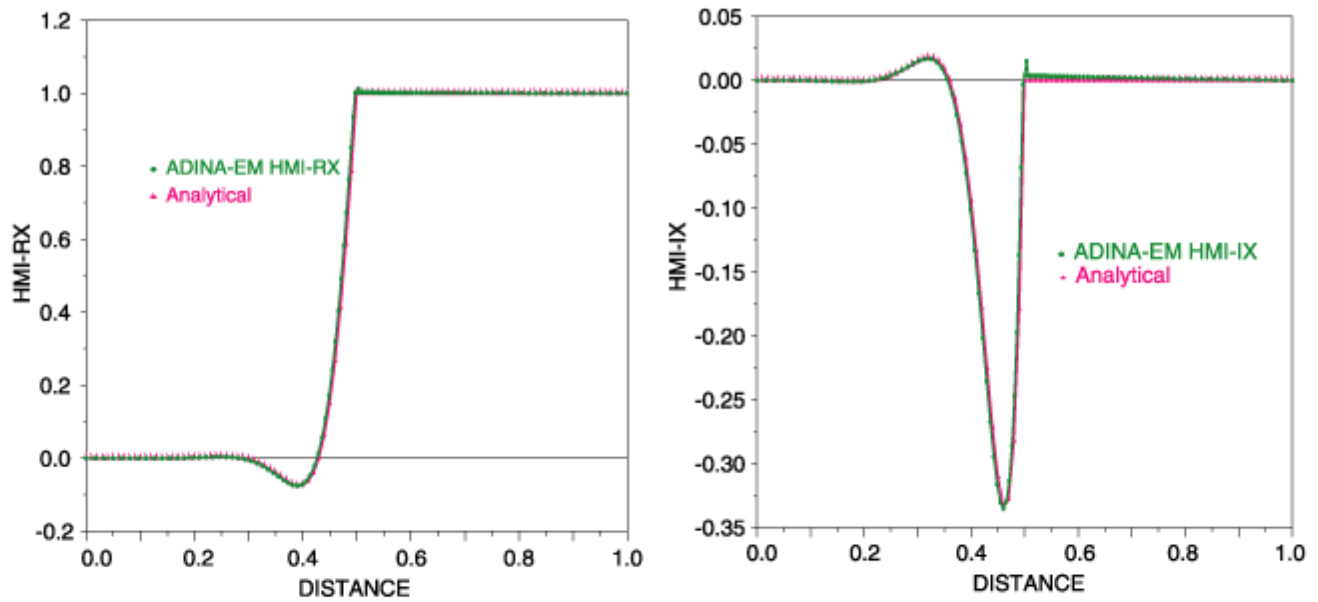


图 5 尖锐材料界面问题：磁场强度 H 模拟值和理论值的比较；实部（左）和虚部（右）

管道中玻璃液的电磁诱导混合问题

电磁搅拌和混合是典型的多物理场现象。将中仿 ADINA 电磁分析模块的 $\mathbf{A}-\phi$ 公式及 ADINA CFD 模块的流体公式耦合使用，即可模拟管式混合器中电磁驱动下的对流混合问题。该模型的示意图如图 6 所示，在该例中，两个电极放置在柱形管道的导电流体内，其时变电压所产生的洛伦兹力会驱动流体搅拌和混合，此外整个装置还处于外部的恒定磁场中。由于洛伦兹力的影响，搅拌与混合发生在垂直于流体流向的平面上。

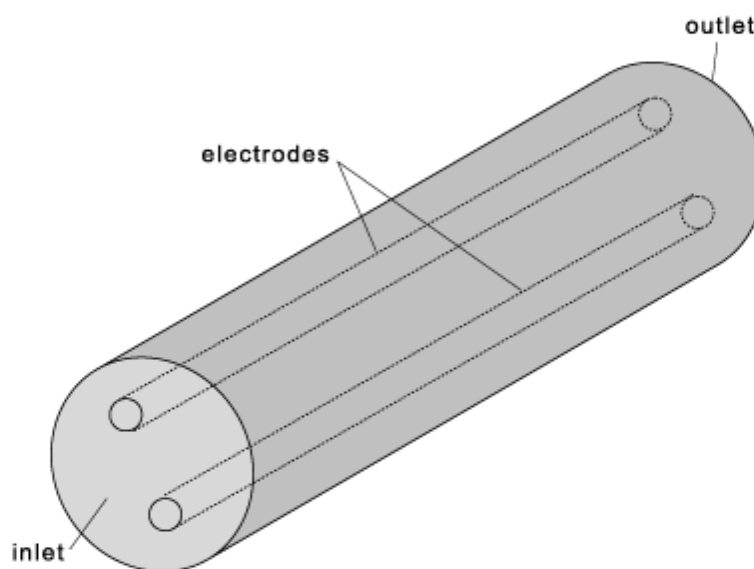


图 6 电磁诱导混合：示意图

管道顶部的瞬态混合过程的动态过程由下图 7 至 9 所示，入口浓度是非均匀的。下面也展示了某时刻的电磁混合情况，包括，计算的势 A 和 ϕ ，在垂直于流体流向的平面上的速度场，入口和出口处的质量浓度，从出口处的均匀浓度分布可看出电磁驱动下完美的混合效果。

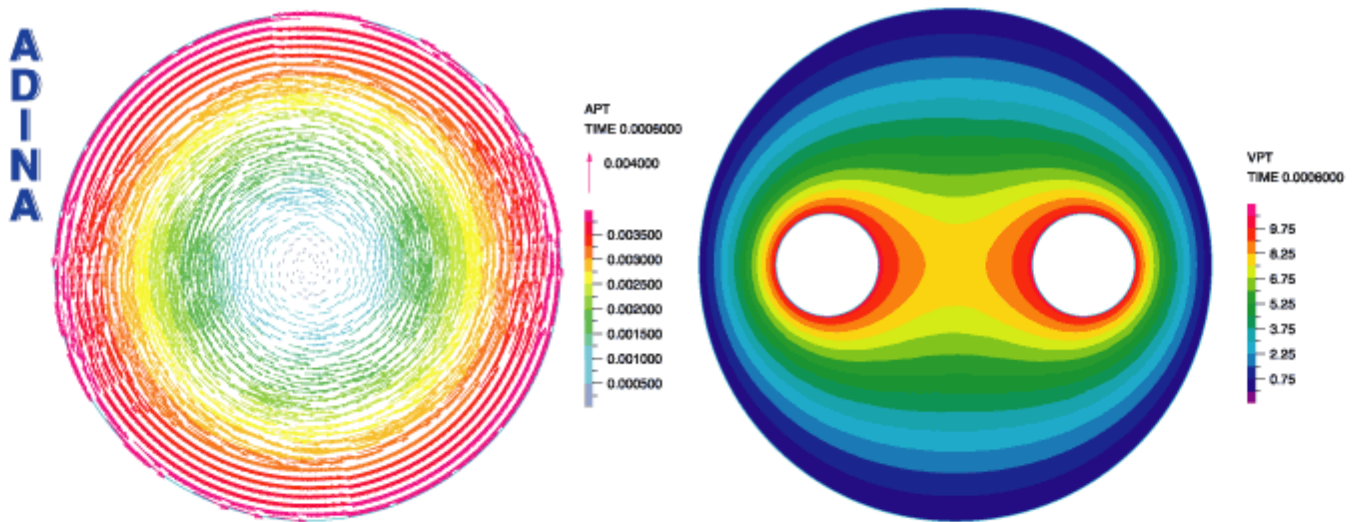


图 7 电磁诱导混合: A (左)和 Φ (右)

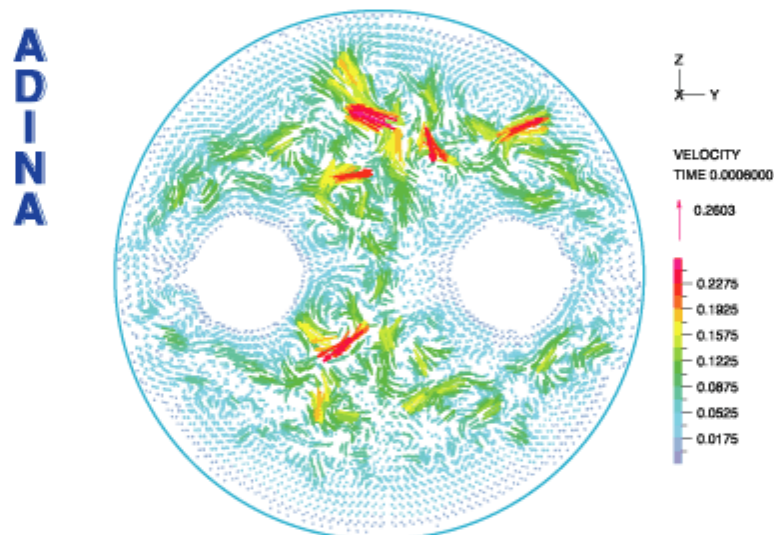


图 8 电磁诱导混沌混合: 近入口处的速度矢量图

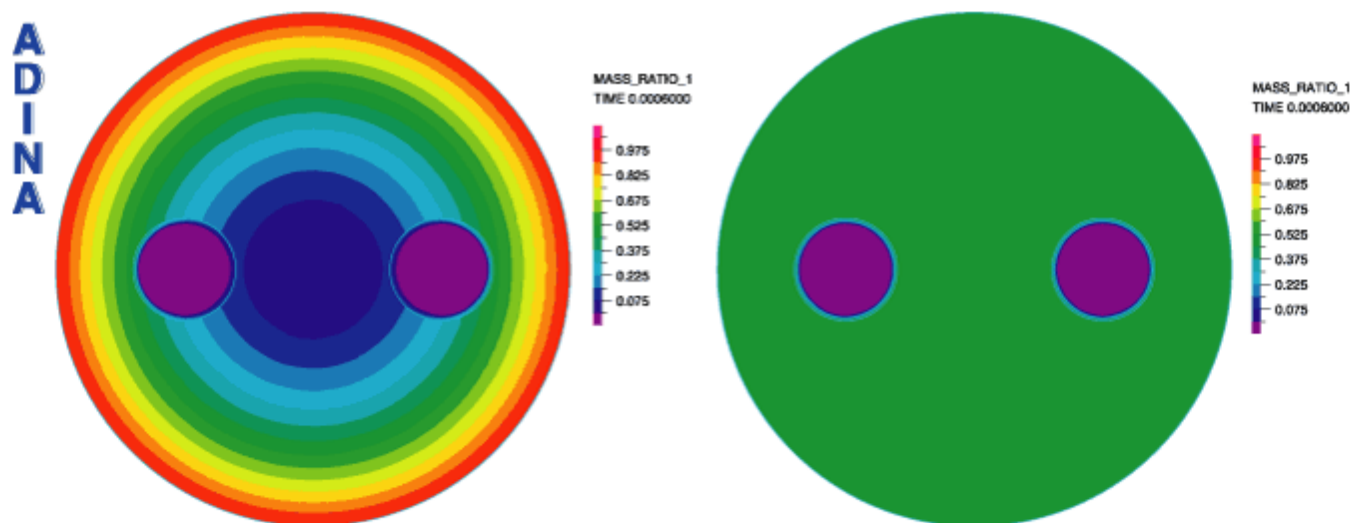


图 9 电磁诱导混合：入口（左）和出口（右）处的质量比

时谐磁场激励下带有裂缝的环形导体涡流分析

该问题的示意图如图 10 所示，外部的谐波磁通作用于导体而产生涡电流。环形导体有四个等深度的裂缝，这些裂缝会改变无裂缝时的电磁场，这种检测就是电磁无损检测的基本原理。建模时，由于对称性，仅模拟整个区域的 1/8。这类三维时谐涡电流问题将使用中仿 ADINA 电磁分析模块的 E-H 公式求解。图 11 和 12 展示了切面上电场和磁场强度的实部与虚部，可以看出裂缝的存在的确改变了电场和磁场的方向和大小。

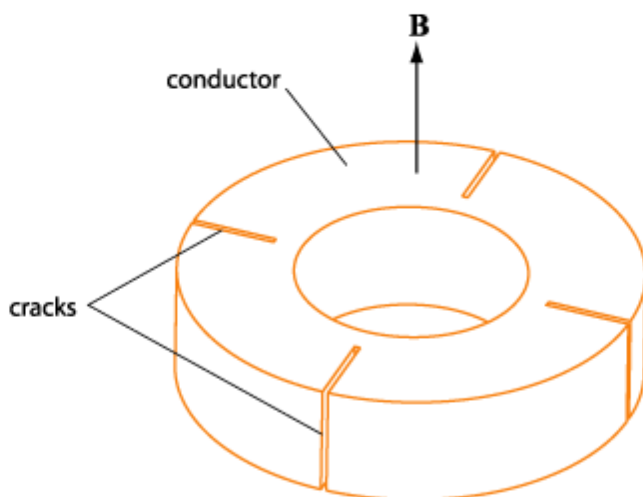


图 10 环形导体涡电流：示意图

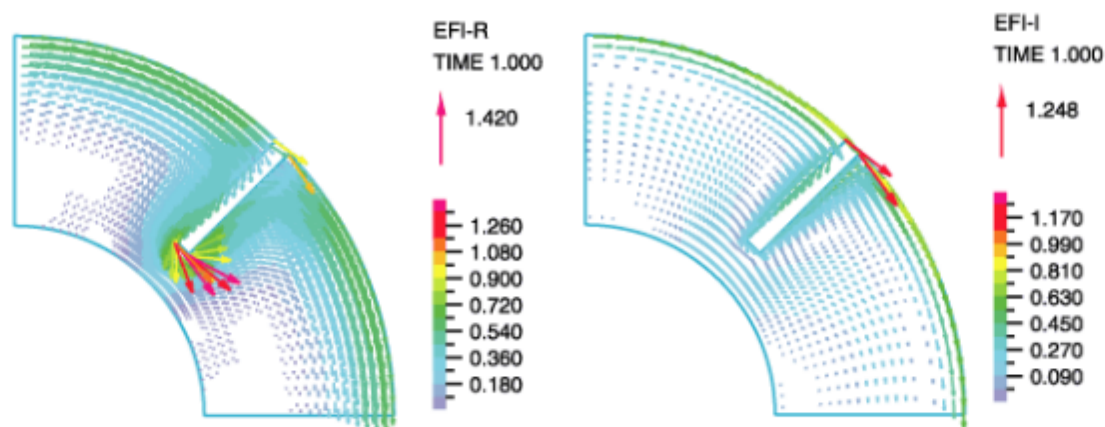


图 11 环形导体涡电流：电场强度 E 矢量图；实部（左）和虚部（右）

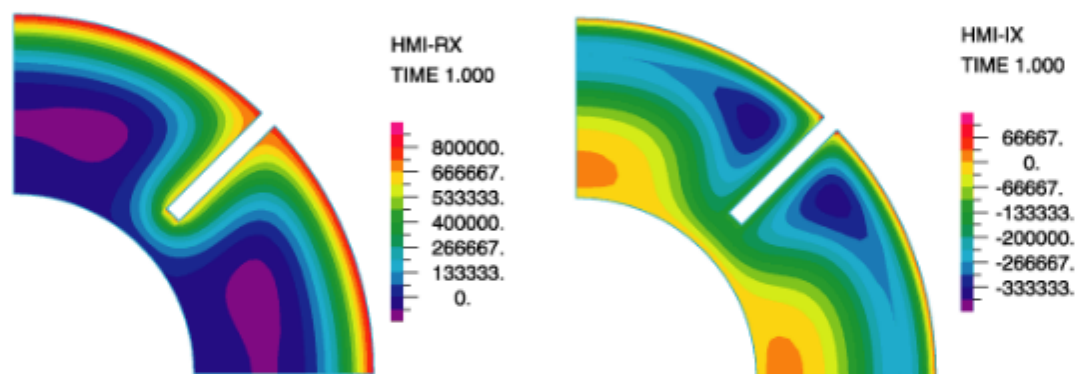
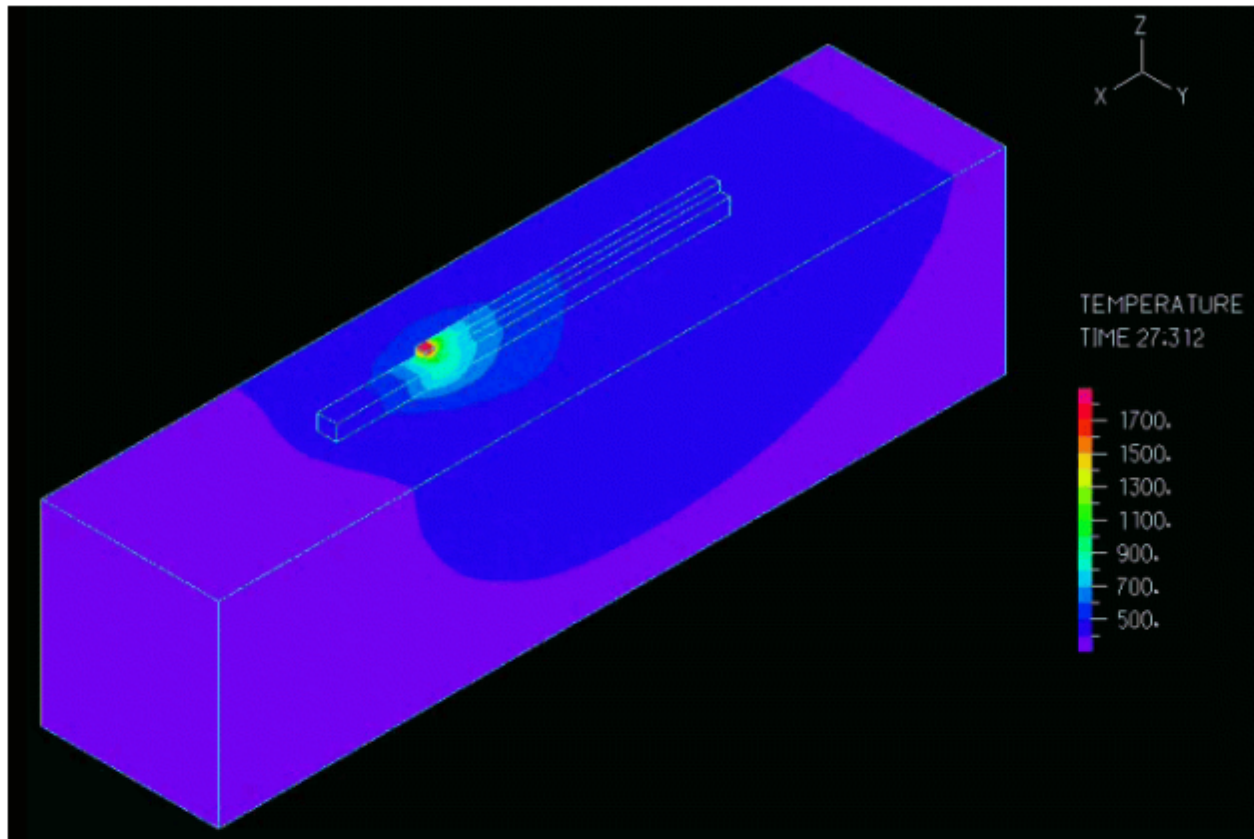


图 12 环形导体涡电流：磁场强度 H 实部（左）和虚部（右）

参考资料

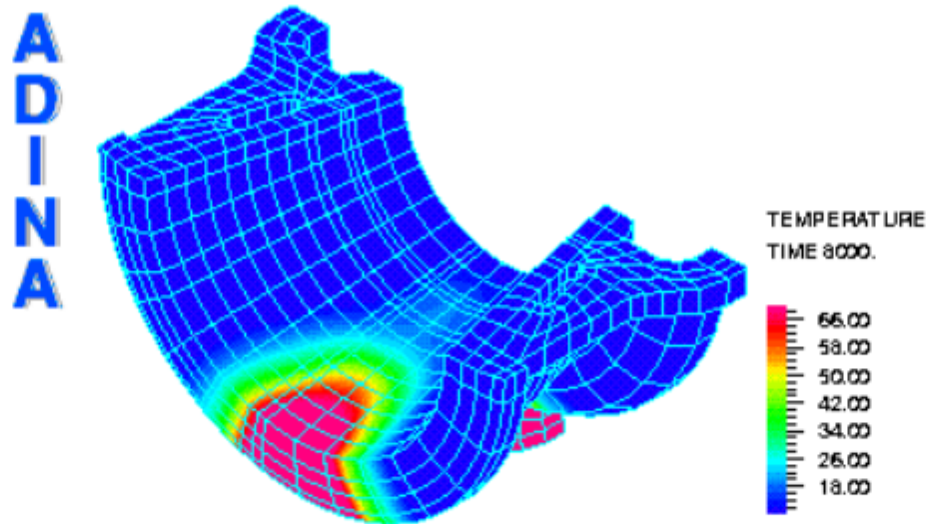
1. C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, 1989.
2. K. J. Bathe et al., *The Direct Solution of Maxwell's Equations in Multiphysics*, in preparation.

中仿 ADINA 热分析模块



激光近形制造技术 (LENS®)

中仿 ADINA 热分析模块 可以求解固体结构中的传热问题。软件拥有强大的特性，例如任意几何结构表面间的辐射，单元生死以及高度非线性材料等等。



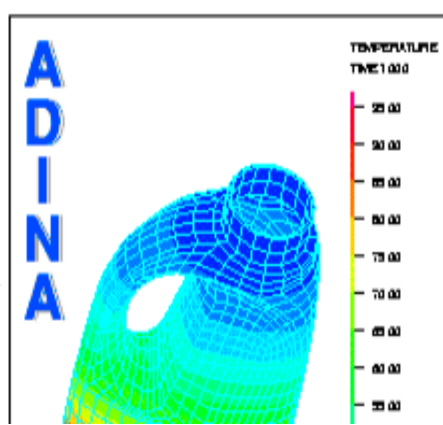
对流边界条件下的涡轮机机壳的温度场分布

中仿 ADINA 的热分析能力包括:

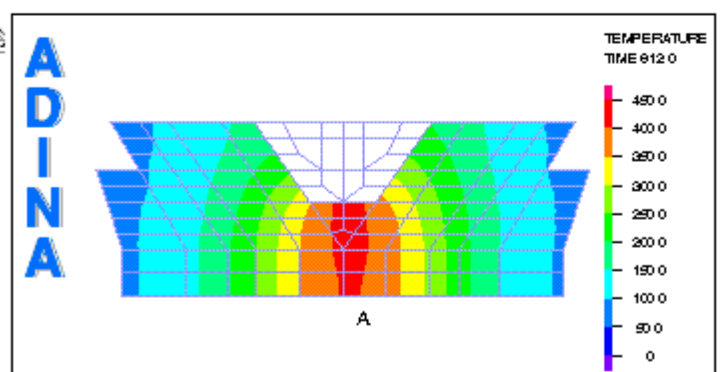
- 2D/3D 传导对流及辐射
- 固体及壳单元结构
- 稳态及瞬态分析
- 任意表面间辐射
- 生死单元
- 时间及温度依赖材料属性
- 自动时间步
- 静电, seepage 和压电分析
- 潜热效应, 例如., 凝固和熔化
- 与中仿 ADINA 结构模块耦合.

中仿 ADINA 传热模块独特的能力包含: 分析任意表面

间的辐射; 这些表面可以有任意的几何形状, 可以含
任意的阻塞, 以及可以自辐射。



版权声明



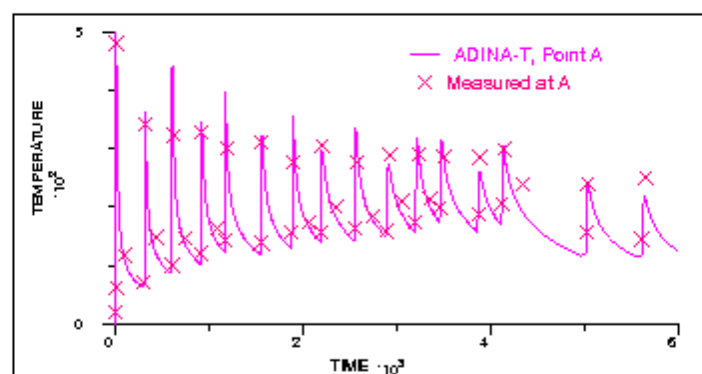
焊接残余应力非线性分析。模型用到了中仿 ADINA 热分

商业秘密, 未经中仿智能科技(上海)股份有限公司批准, 不可将本文件或其中部分复制
到其他文件中, 用于其他目的。

100 网址: www.cntech.com 邮箱: info@cntech.com

析及结构分析。

用壳单元模拟瓶子的热传模型

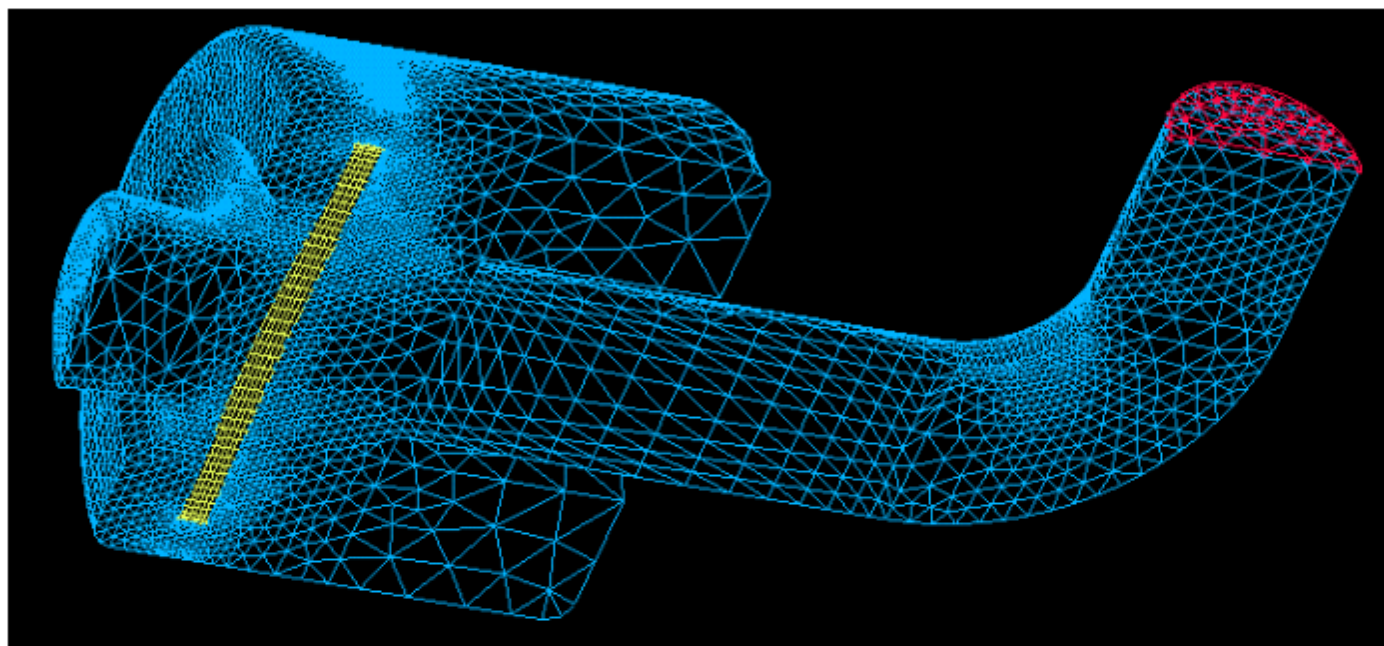


利用生死单元实现有限元计算，模型中的材料属性高度依赖于温度变化

此模型用了三次重启动，1500 个时间步

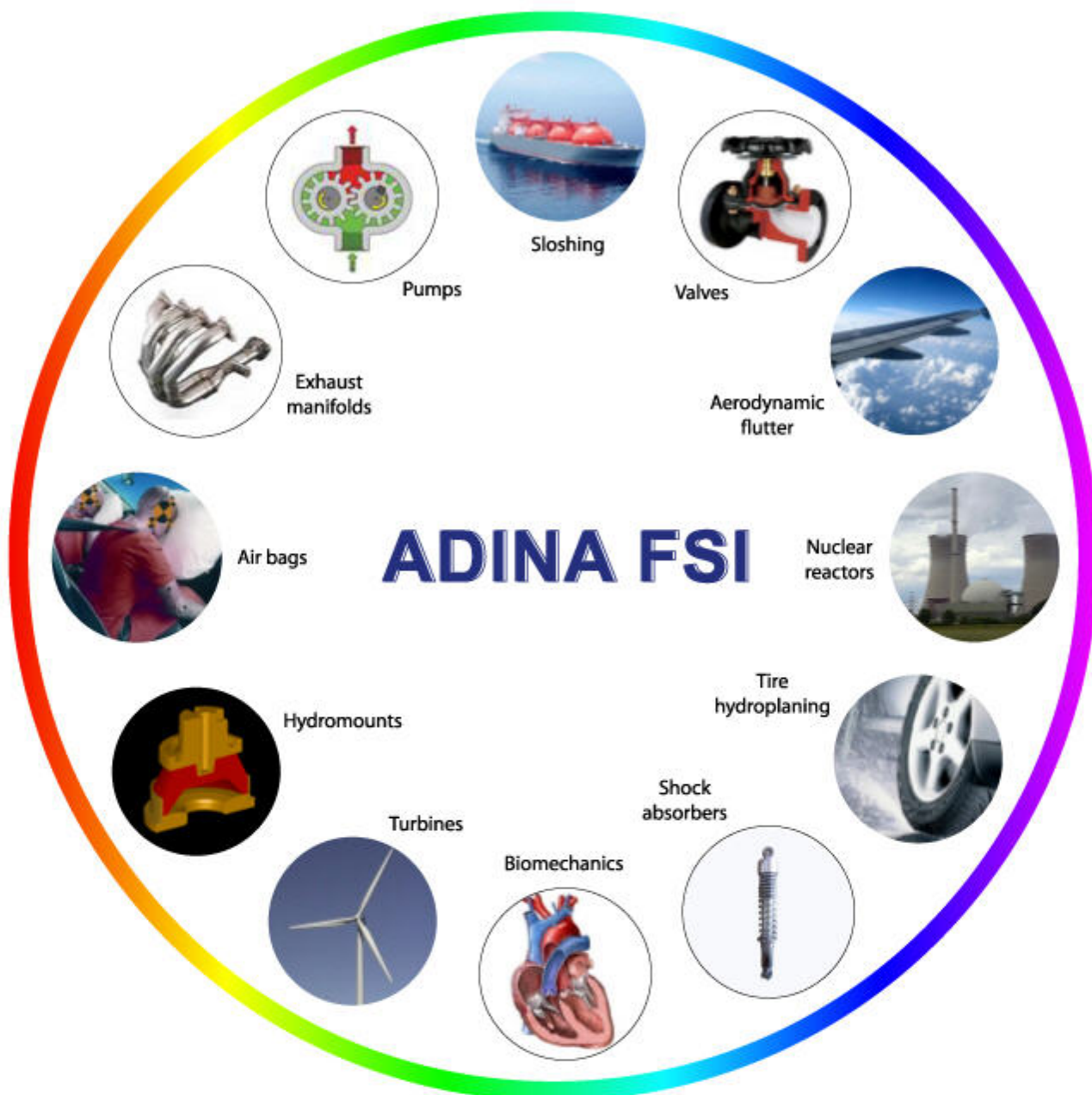
中仿 ADINA 流固耦合模块

流固耦合（FSI）发生在流体流动对结构产生变形的时候，结构变形反过来又会改变流体流动的边界条件。下面的动画描述的是薄膜阀的流固耦合分析。这个案例中，流体压强引起薄膜的变形，同时变形会导致流动边界的改变。



中仿 ADINA 提供特有的 FSI 模块，可以在同一系统中模拟流体和因大变形、非弹性、接触及温度而经历明显的非线性响应的结构之间完全耦合的物理现象。一个完全耦合的流固耦合模型意味着固体的力学响应将会很大程度地影响流体域变化，反过来流体的作用力也会施加到结构上。

在流体力学层面，Navier-Stokes 流可以是不可压缩，弱可压缩，低速或者高速可压缩流体。从结构的角度看，各种结构单元类型都可以参与 FSI 过程（即壳单元，2D 和 3D 结构单元，梁单元，等参梁单元，接触面等），支持各种材料模型、支持各种非线性物理过程如材料失效、单元生死、结构失稳、相变等等。此外，中仿 ADINA 还提供了针对流体是势流理论的完全耦合的流固耦合模型。



+ 中仿 ADINA 流固耦合模块的原理

中仿 ADINA 将领先的计算固体力学和计算流体力学算法相结合，集成特有的 FSI 模块。对于流体模型，用户可以选择基于节点的 FCBI（Flow-Condition-Based Interpolation）算法和基于单元的 FCBI-C 算法进行单元的定义。

FCBI 单元算法：基于速度自由度的 FCBI 算法用于提高稳定性。有限元方程可通过 Newton-Raphson 迭代组装一致的雅克比矩阵来求解。因此在流固耦合系统中建立一致的刚度矩阵可以解决实际中极为复杂的非线性响应问题。

FCBI-C 单元算法：所有的求解变量定义在单元中心，速度和压力之间的耦合会迭代处理。因此在 FCBI-C 单元算法的流固耦合分析中，结构模型和流体模型之间的耦合也是迭代处理的。这种算法可用于解决大规模实际问题。

这两类算法均可应用于从低到高任何雷诺数的流体问题。

一旦流体域任何部分发生变形，欧拉方法将不再适用。因此，中仿 ADINA 的流体控制方程采用的是任意拉格朗日欧拉（Arbitrary-Lagrangian-Eulerian (ALE)）公式。

中仿 ADINA 流固耦合模块的独特性体现在使用了两类不同的耦合方法，即直接 FSI 耦合法和迭代 FSI 耦合法求解流固耦合模型。在这两种方法中，沿流固界面的位移和力都是保持一致的。

位移平衡， $\mathbf{d}_f = \mathbf{d}_s$

力平衡， $\mathbf{f}_f = \mathbf{f}_s$

这里， $\mathbf{d}$ 和 $\mathbf{f}$ 分别表示位移量和拖曳力，下标 f 和 s 表示流体和固体。在瞬态分析中，类似前面展示的主动脉瓣模拟就使用的是二阶时间迭代算法。

直接 FSI 耦合

在直接 FSI 耦合求解法中，流体方程和结构方程是联合起来在一个方程组（一个刚度阵）中求解的，线性化和求解使用迭代算法如 Newton-Raphson 迭代算法。直接 FSI 耦合法为求解复杂的 FSI 问题提供了强大的算法，比如，“软”结构在轻微压力下产生大变形或高可压缩流冲击到结构的表面等非常复杂的问题，而这类问题用迭代耦合法求解会比较困难。

迭代 FSI 耦合

流体方程和固体方程是分别连续求解的，各自更新得到的信息提供给另一部分。计算时迭代法比直接法占用内存小，因此可以用于求解大规模问题。

中仿 ADINA 所提供的这两种特殊的耦合方法-迭代 FSI 和直接 FSI, 对于高效地求解各类不同的 FSI 问题是必不可少。

+ ADINA 流固耦合的特点

1. FCBI (Flow-Condition-Based Interpolation) 算法提供了很高的稳定性，适用于从低雷诺数到高雷诺数的各种问题
2. FSI 分析可以实施于各种流体类型，包括不可压缩，弱可压缩，低速或者高速可压缩流体。另外，所有的流体材料模型包括非牛顿流体，湍流模型和 VOF 法都可用于 FSI 分析。
3. 势流体单元可以用于声波的分析，也可以用于结构和声波的耦合分析。
4. ADINA 允许流体模型和结构模型使用任意的网格。并且，流体和结构的网格在流固耦合界面上不需完全匹配。
5. 在分析 FSI 模型时还可求解热和多孔介质的耦合。
6. 所有的结构单元，接触和结构材料模型（如弹性，粘弹性，橡胶，塑料等）都可以用于 FSI 求解。
7. 在流体模型中可以使用间隙边界条件-gap 边界条件。在中仿 ADINA 中，可将 gap 边界条件与接触功能联合使用，以成功模拟汽车和生物医学领域中的阀门的关闭和开启现象。
8. FSI 可以使用移动网格技术来分析旋转设备和涡轮机械。
9. 自动单向流固耦合分析是一种有效的方式。这种分析用于结构变形很小且流体的影响可以忽略不计的工程问题中，因此不需要在流体和结构模型之间迭代。
10. 全三维流场的动网格技术，包括参数化动网格和全适应性网格重划分技术，从而为不同的流体域生成最适合的网格尺寸，提高求解精度和效率。

中仿 ADINA 热固耦合模块

中仿 ADINA 热固耦合模块 用于耦合热力问题，可以模拟热影响结构的全耦合以及结构影响热的全耦合，也可以模拟单向耦合。

以下是力致热的耦合效应能计算的问题：

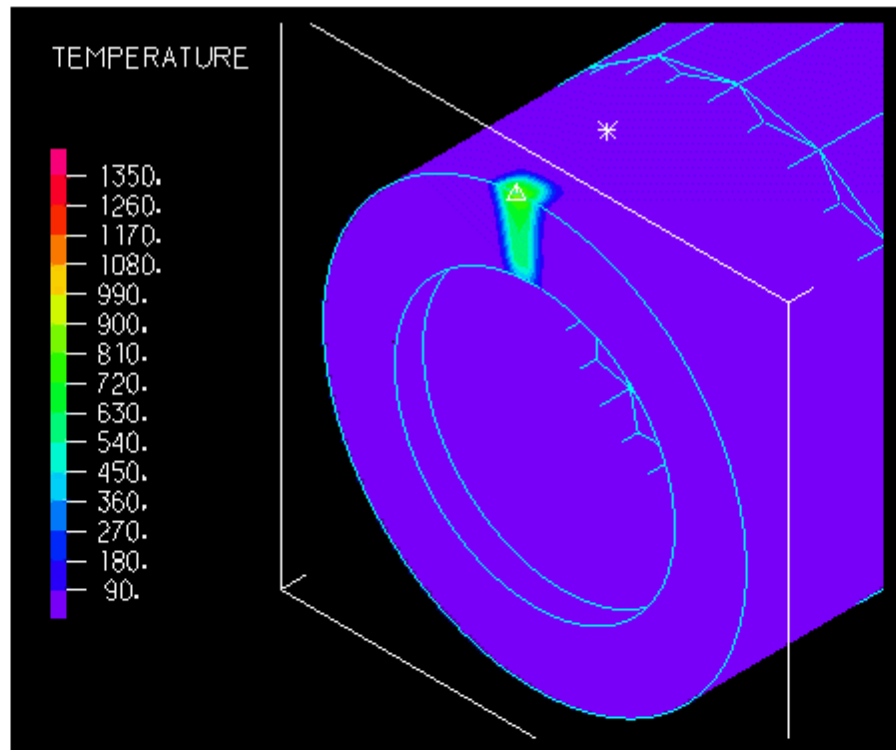
- 塑性形变或粘滞效应引起的内热
- 构件间接触引起的热传
- 摩擦生热

以下是热致力的耦合效应能计算的问题：

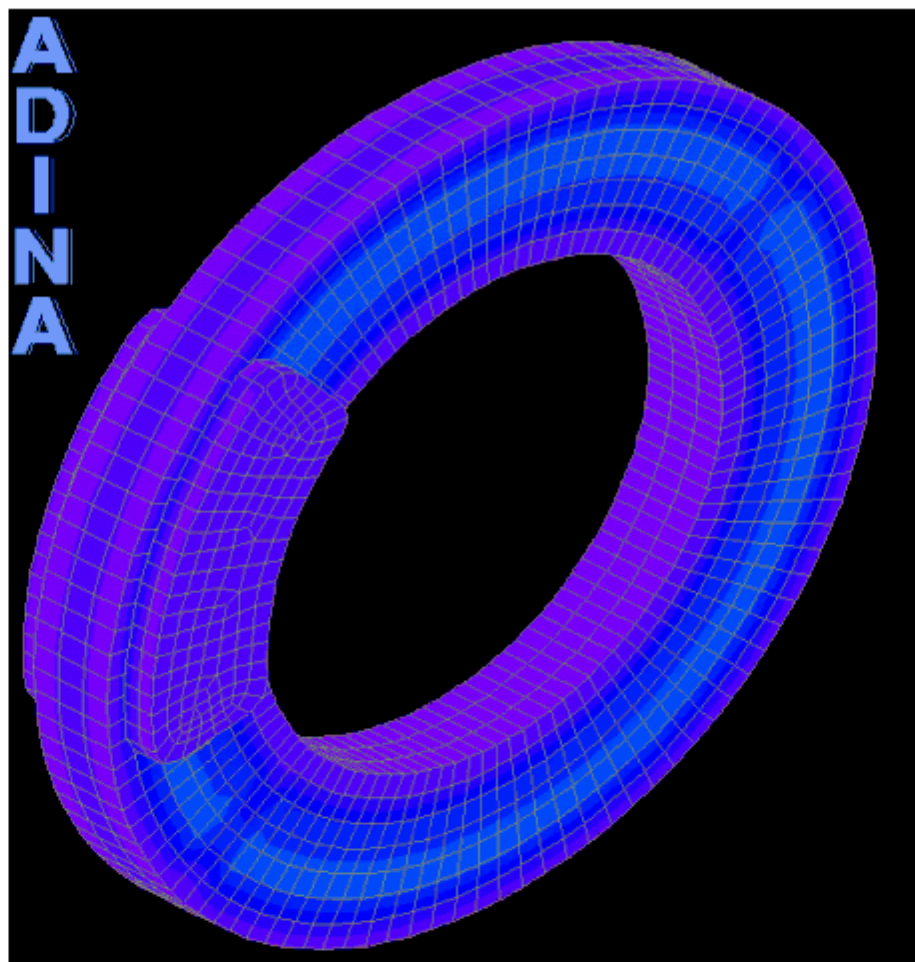
- 热膨胀
- 依赖于温度的力学属性
- 壳体内部的温度梯度

实例

三个热固耦合的例子如下：

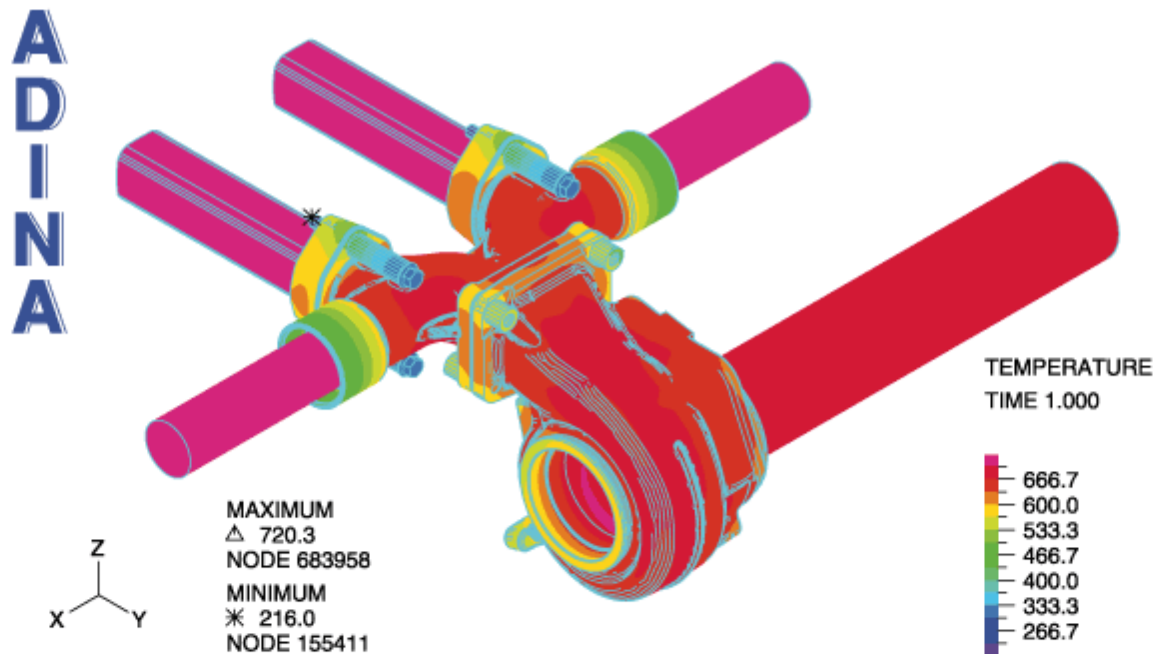


第一个例子，是电子束焊接两个导管的热固耦合模拟分析。导管的弹塑性材料是依赖于温度的，因此，焊接过程引起的温度升高对导管的力学属性有很大的影响。



第二个例子，是刹车系统的热固分析。这个例子中，因车轮圆盘与刹车垫之间的摩擦引起的热传递，同时，因材料的力学及热性能依赖于温度的变法而变化，是一个相互耦合的过程。

第三个例子，是排气总管的耦合分析，耦合了结构，热以及流场（需要流固耦合模块授权才能计算）。下图是该排气总管的温度分布图。



中仿 ADINA TMC 模块可以用来耦合一些物理方程类似于传热方程的问题，例如电场，多孔介质流，因此，同样适用于压电分析以及两相介质/土壤固结分析。

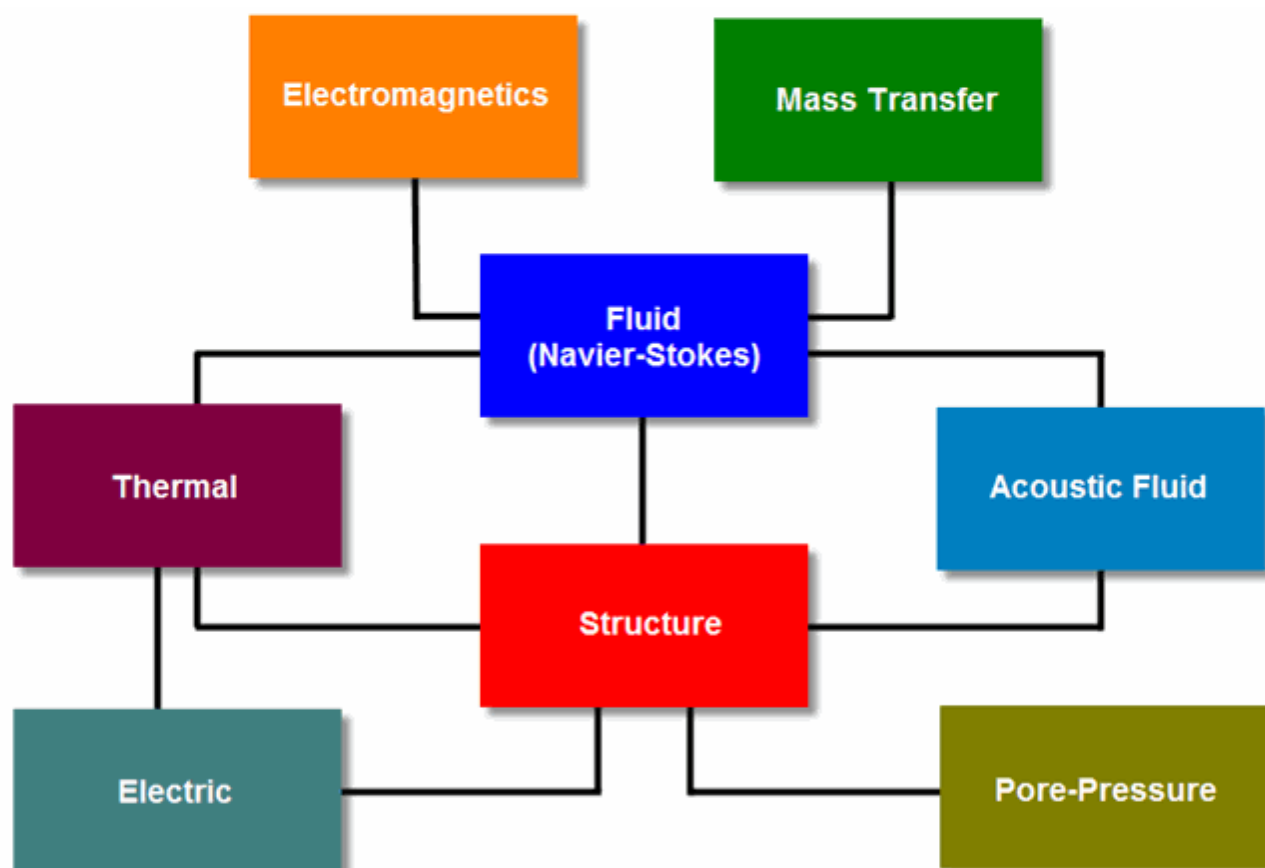
一些 TMC 模块在工业上的应用：

- 汽车制造系统
- 金属成形
- 焊接工艺
- 微机电系统(MEMS)
- 压力容器
- 压电传感器/执行器
- 土壤固结

中仿 ADINA 多场耦合功能

多物理场问题发生在一个系统受到各种不同物理场的交互影响时，比如结构变形，流体流动，电场，温度和孔隙压力…

在工程和科研中，很多问题都会涉及到不同物理场的相互耦合，但在过去，由于计算能力有限，这些耦合现象都会被忽略或者非常近似地处理。现在，中仿 ADINA 所提供的分析功能中，许多重要的多物理场耦合效应都被包括在内。由于提供了耦合分析功能，将可以帮助用户更深入地洞察设计的性能，指导开发更经济安全的产品，以及更好地理解自然现象的原因和结果。[1]



中仿 ADINA 多物理场功能架构图

在数学层面，多物理场问题是由一组耦合的偏微分方程(PDEs)所描述的。这对联合方程的求解对算法的稳定性提出了挑战，如何用一种通用且有效率的方式处理这类交互问题。

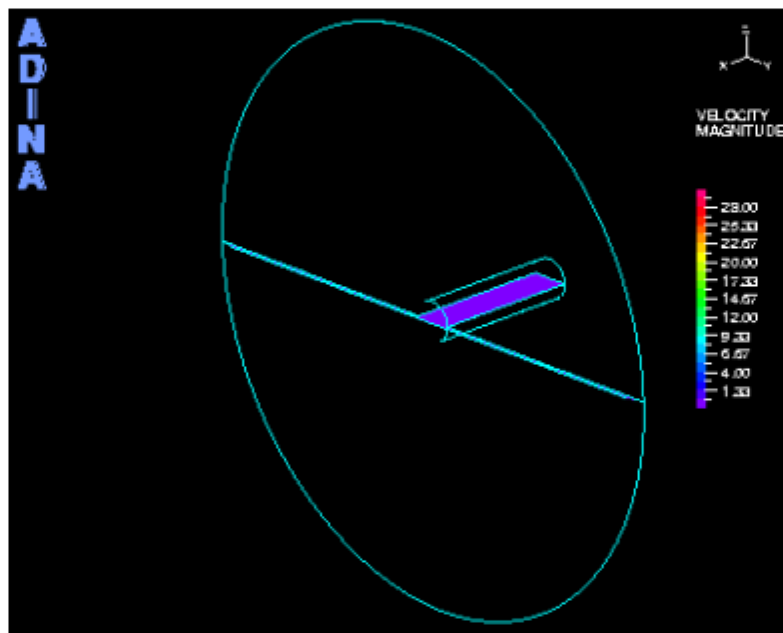
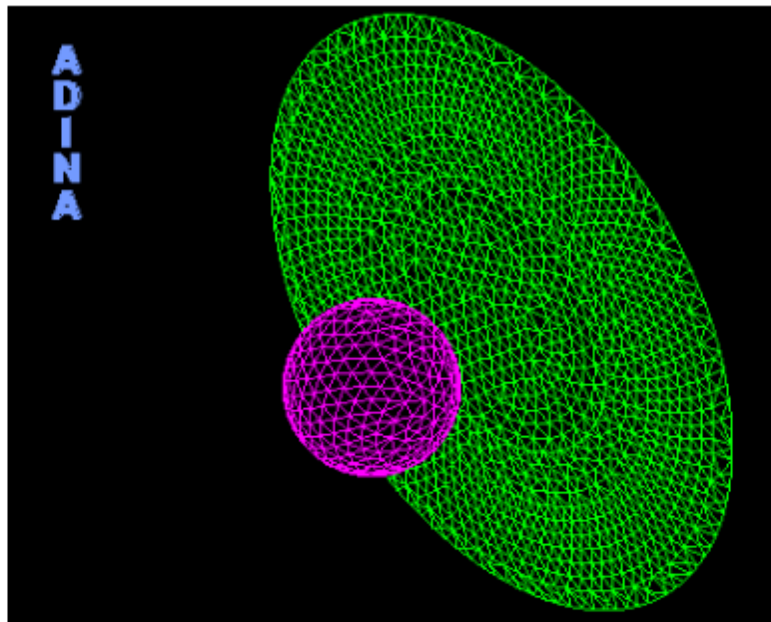
中仿 ADINA 多物理场模块包含了中仿 ADINA 中所有的求解功能：结构力学、传热、CFD 以及一系列整合在诸个模式下的多物理场功能。

- 流固耦合(FSI)
- 热固耦合(TMC)
- 结构-孔隙压力耦合（多孔介质弹性）
- 热-流体-结构耦合
- 电场-结构耦合（压电）
- 热-电耦合（焦耳热）
- 声流体-结构耦合
- 流体流动-物质传输耦合
- 流体流动-电磁耦合

中仿 ADINA 的多物理场功能在幅度和深度上兼具优越性。使用该模块求解，不仅能考虑到各种物理场的交互作用，还能在不损失精确度的前提下分析单个物理场。

流固耦合(FSI)

中仿 ADINA 流固耦合模式是在一个高度集成的界面下求解各类非线性结构和 Navier-Stokes 流体耦合的问题。



利用隐式时间积分法模拟安全气囊展开的 FSI 问题

工业应用举例

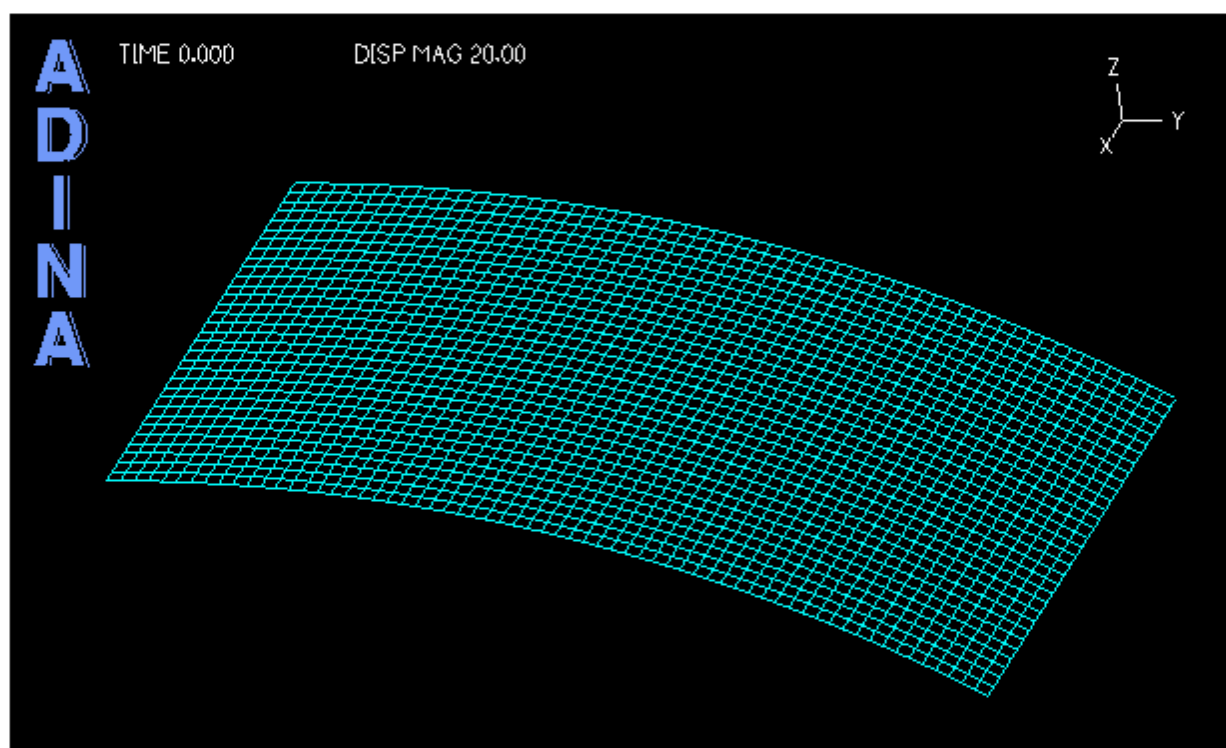
- 汽车系统
- 生物应用
- 核电站
- 压缩机，泵和管道系统

- 微机电系统(MEMS)

更多中仿 ADINA FSI 相关介绍，请参考中仿 ANINA 流固耦合模块介绍。

热固耦合(TMC)

热-结构力学的全耦合问题可以使用中仿 ADINA 热固耦合(TMC)模块来求解。在这类问题中，温度分布会影响结构的变形，同时结构的变形也会反过来影响温度场的分布。



复合材料壳体的热固耦合分析

工业应用举例

- 汽车系统
- 金属成型
- 焊接
- 微机电系统(MEMS)

版权声明：本文件含有中仿智能科技（上海）股份有限公司的商业秘密，未经中仿智能科技（上海）股份有限公司批准，不可将本文件或其中部分复印或引用到其他文件中，用于其他目的。

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.cnitech.com 邮箱：info@cnitech.com

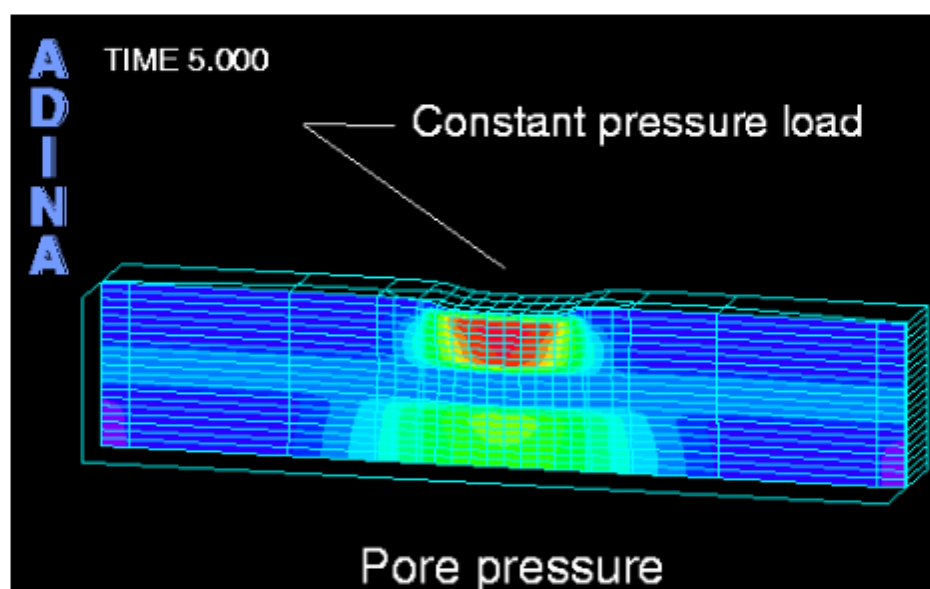
- 压力容器

更多中仿 ADINA TMC 介绍，请参考中仿 ANINA 热固耦合模块介绍页面

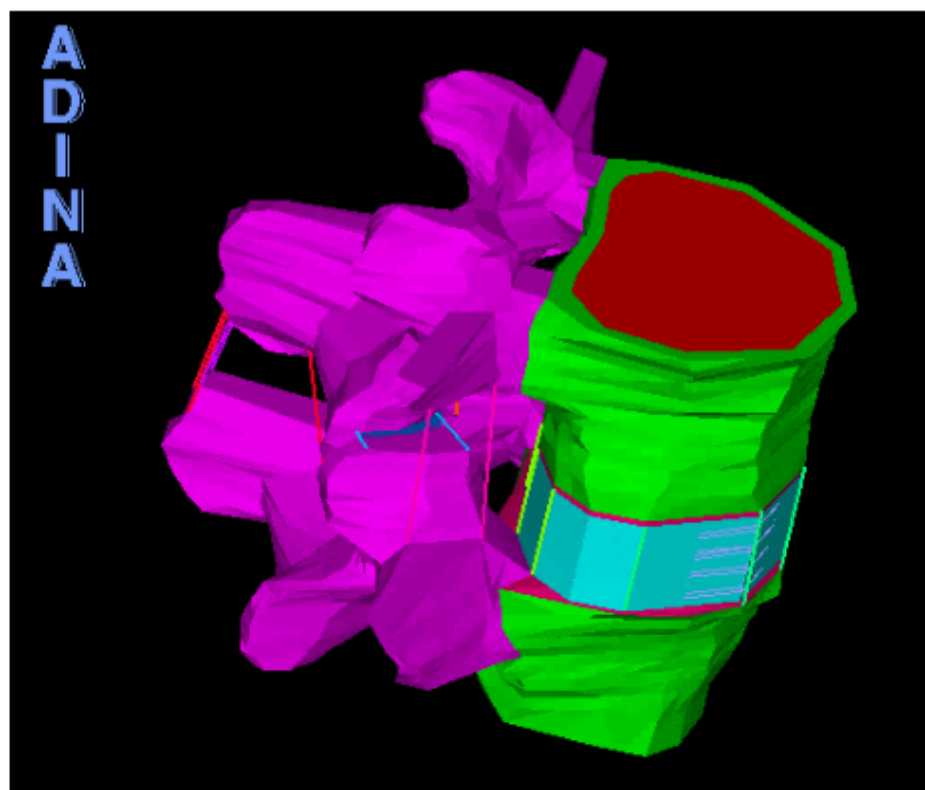
结构-孔隙压力耦合（多孔介质弹性）

这类多场问题是指孔隙弹性和多孔材料（如土壤、生物组织等）变形的产生耦合效应，这类多孔材料是由固体骨架和孔隙流体组成的。结构变形会改变孔隙压力，而孔隙的改变也会导致结构的变形。

中仿 ADINA 中包含有丰富的本构模型用于表征固体骨架，例如：各项同性，正交各向异性，热各向同性，热各向异性，Drucker-Prager，摩尔库伦，热塑性，剑桥模型，蠕变，弹塑性蠕变，等等。



土壤固结分析



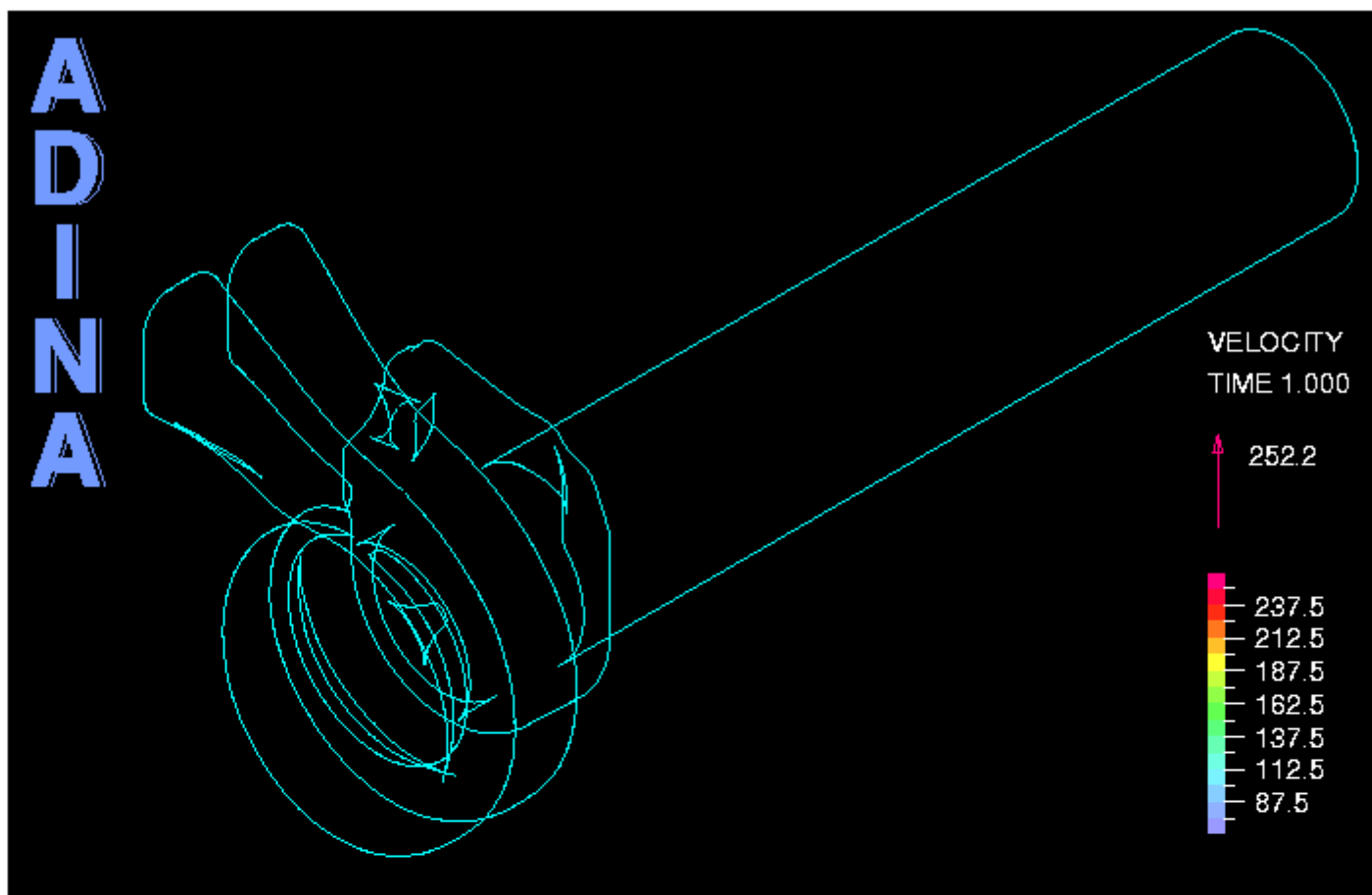
腰间盘积累性劳损问题的有限元多孔弹性预测模型

工业应用举例

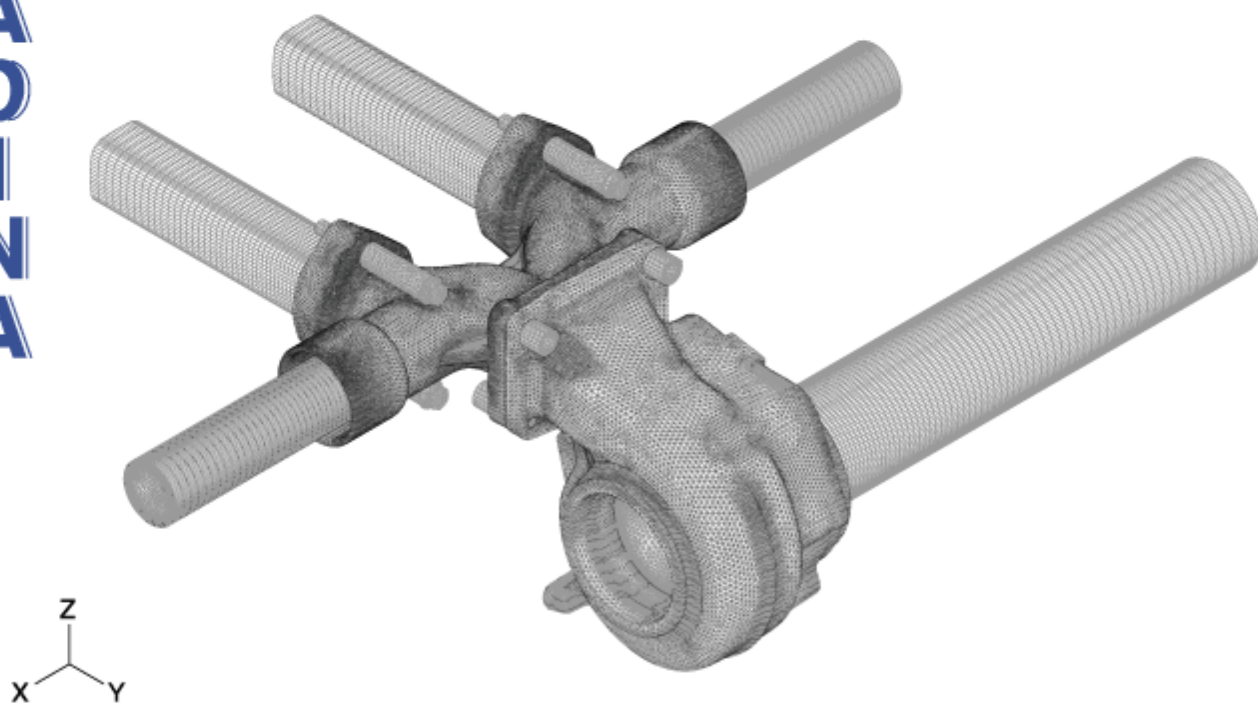
- 岩土力学和地质工程
 - 边坡稳定性
 - 土石坝的地震破坏分析
 - 固结
- 生物医学应用
- 饱和介质中的波传播问题

热-流体-结构耦合

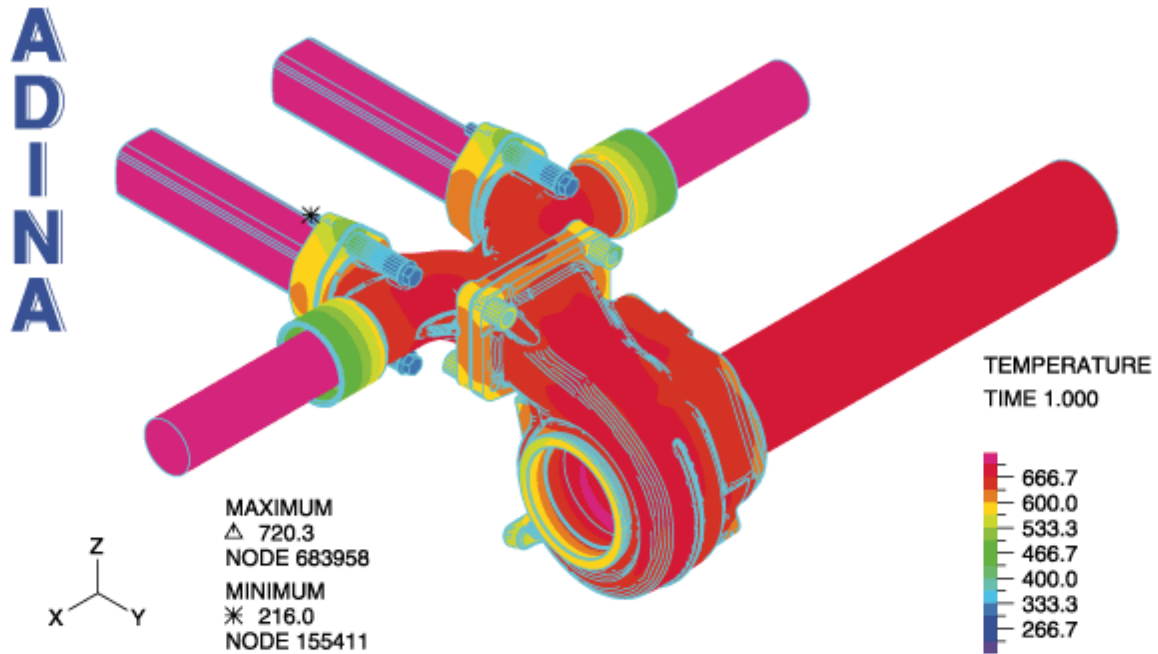
这类多场问题中，传热，流体流动和结构变形是完全耦合的。比如，流体流动会改变系统的温度场，而温度的变化会导致结构的变形，从而改变了流体域的边界条件，影响了流场形态。



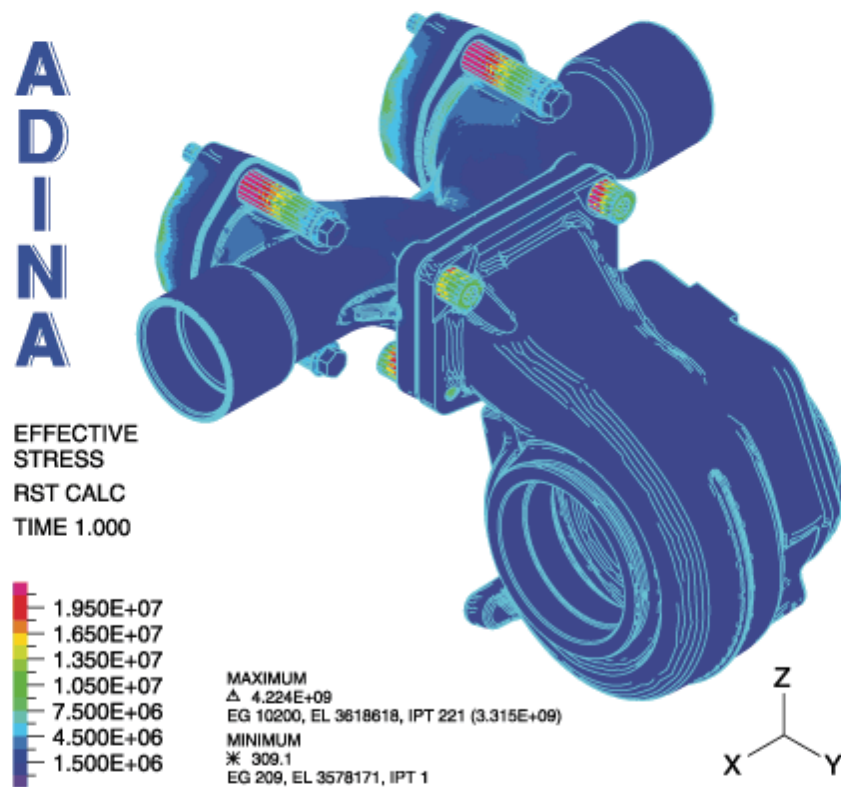
ADINA



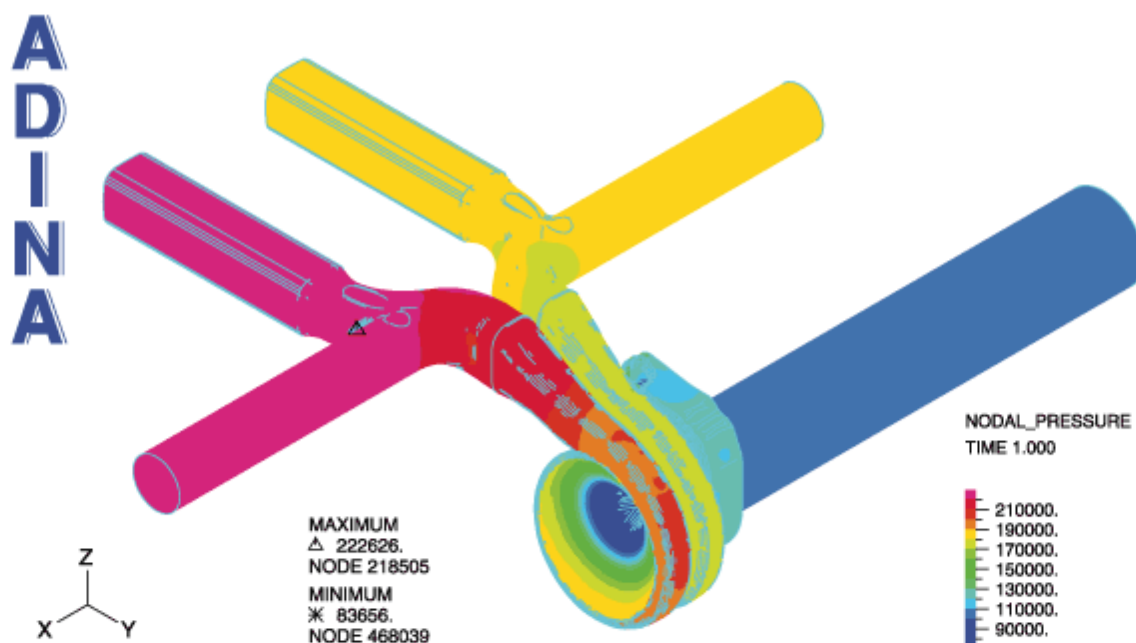
排气管的热，流场和应力分析



排气管流体和固体区域的温度场分布



排气管固体部分的有效应力分布



排气管流体压强分布

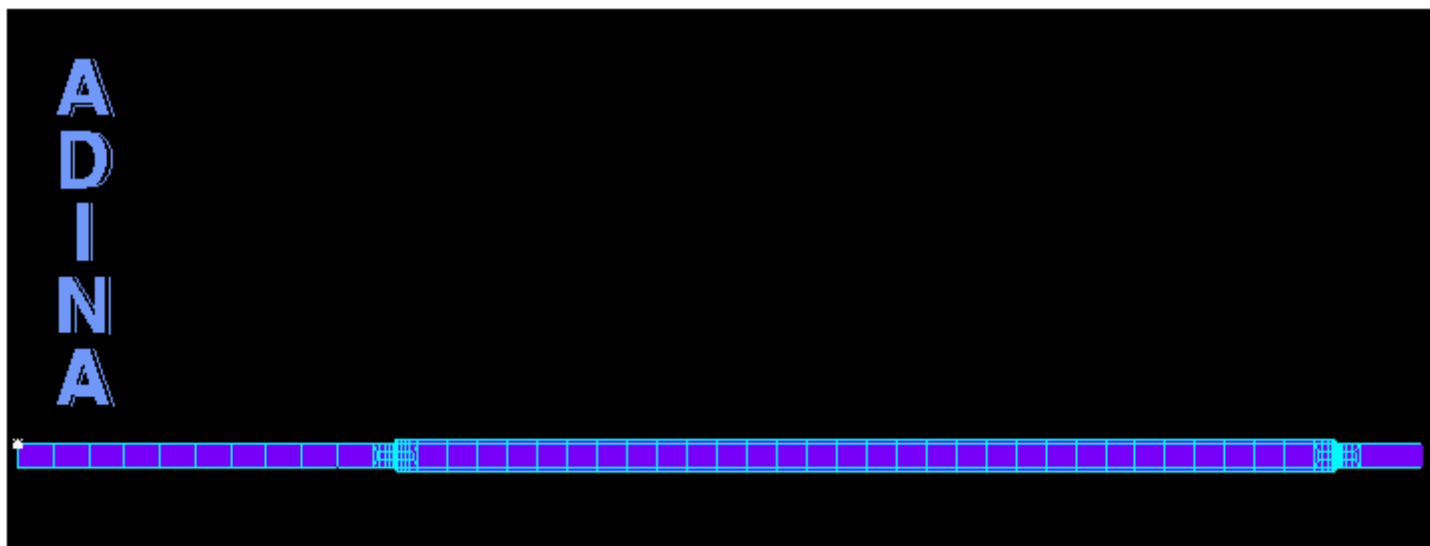
工业应用举例

- 排气管
- 电子封装
- 燃烧系统
- 金属液压成型

电场-结构耦合（压电）

压电问题是电场和结构力学的耦合，将电场施加到压电材料上会引起结构的变形，而结构变形也会引起电场的变化。

这种现象即设计各类传感器和执行器的基础原理。



悬臂梁压电执行器

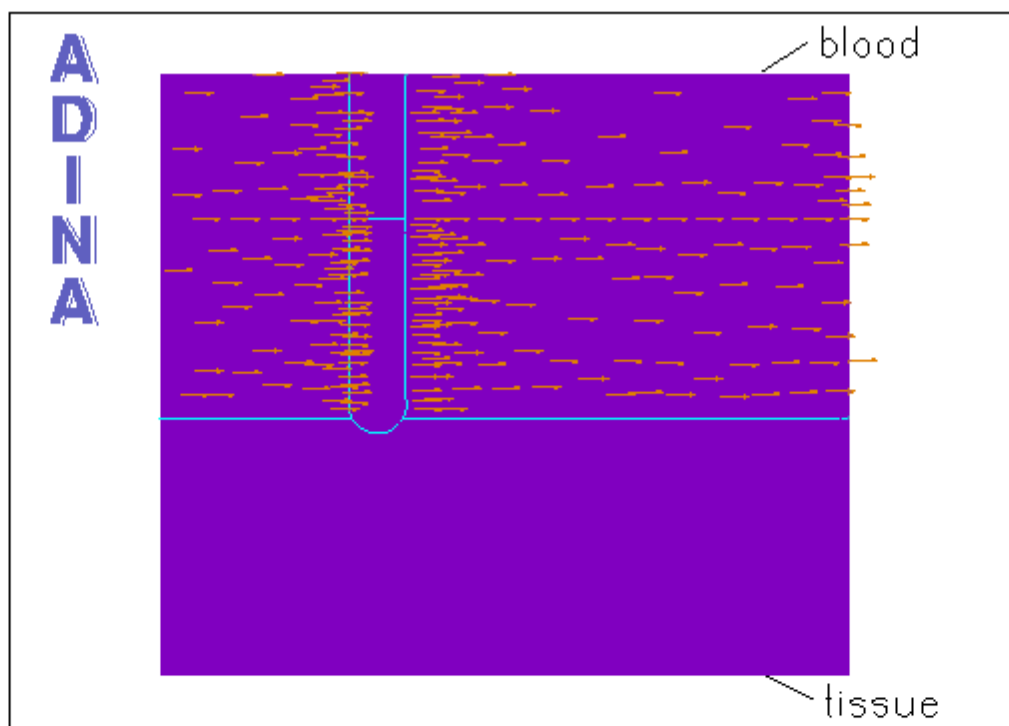
在中仿 ADINA TMC 模块中，用户可采用电场和结构变形的迭代求解，也可利用电位移（电通量）和应变张量（压电矩阵）间的非线性本构关系来求解。

工业应用举例

- 麦克风
- 微泵
- 振动主动控制器件
- 自适应结构

电热耦合（焦耳热）

焦耳加热是指电流生热现象，产生的热量会影响到周围介质的温度。



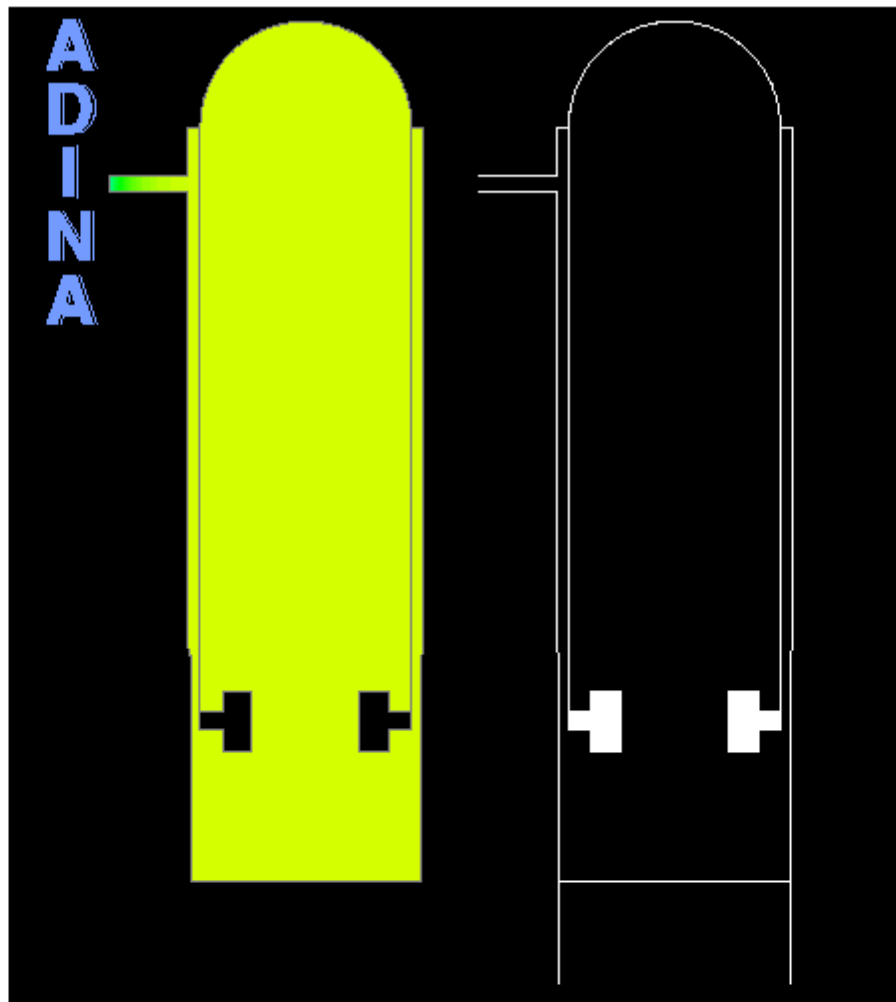
利用中仿 ADINA-F 的焦耳热功能分析组织射频消融问题

工业应用举例

- 保险丝
- 断路器
- 电子封装
- 微机电系统 (MEMS)
- 组织消融

声流体结构耦合

在某些实际应用中，流体可以认为是非粘性的和无旋流动的。这种假设显著降低了计算流体响应和 FSI 问题的计算成本。



利用中仿 ADINA 中的亚音速势流体单元计算 HDR 反应堆失水实验的 FSI 模型

这种多场能力在求解流固耦合频率响应问题时用处很大。

工业应用举例

- 坝体
- 储液罐
- 核电站
- 扬声器
- 水下爆炸

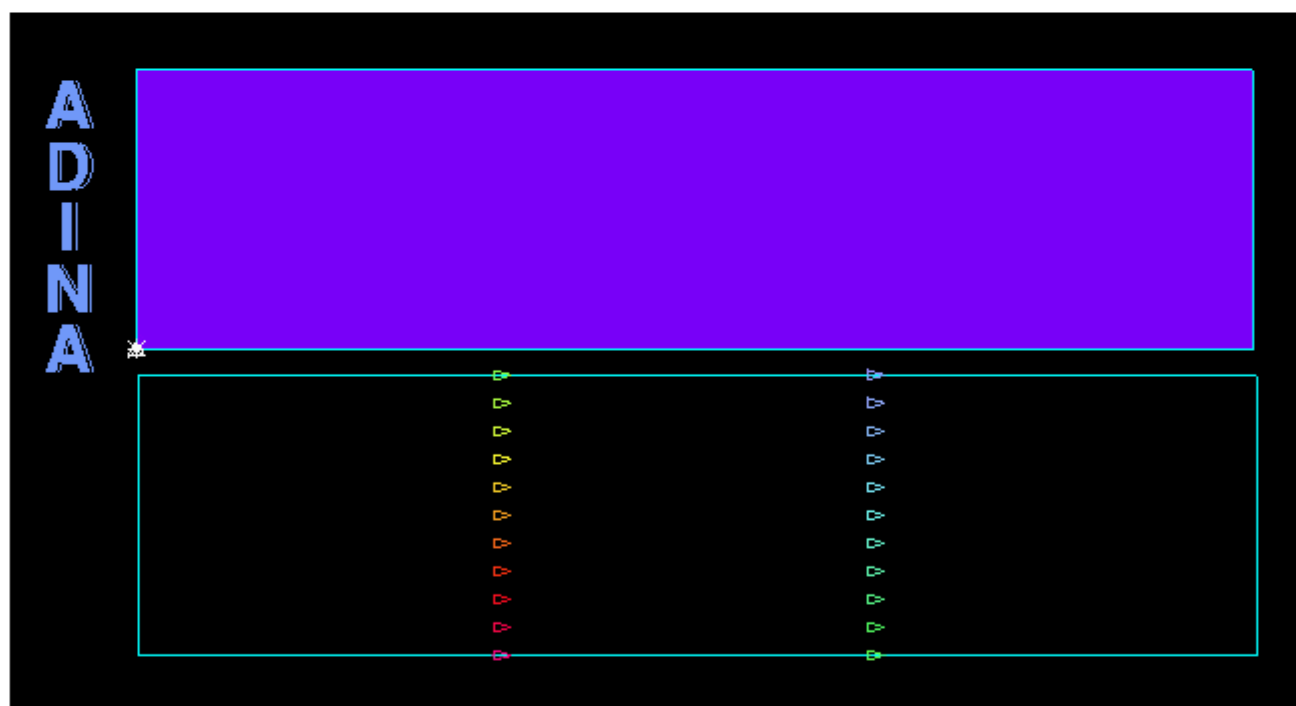
版权声明：本文件含有中仿智能科技（上海）股份有限公司的商业秘密，未经中仿智能科技（上海）股份有限公司批准，不可将本文件或其中部分复印或引用到其他文件中，用于其他目的。

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.cntech.com 邮箱：info@cntech.com

- 水下结构振动问题

流体-传质耦合

这类多场问题是指由动量方程，连续性方程和能量方程所共同描述的溶液和其它溶质的混物流体问题。这类耦合取决于混合物密度与粘度对溶液浓度的依赖程度。溶质的传输会改变混合物密度和粘度的空间分布，影响流体的流态，而流态的改变反过来又会影响溶质的运移情况。



多孔介质中的多场流动问题

工业应用举例

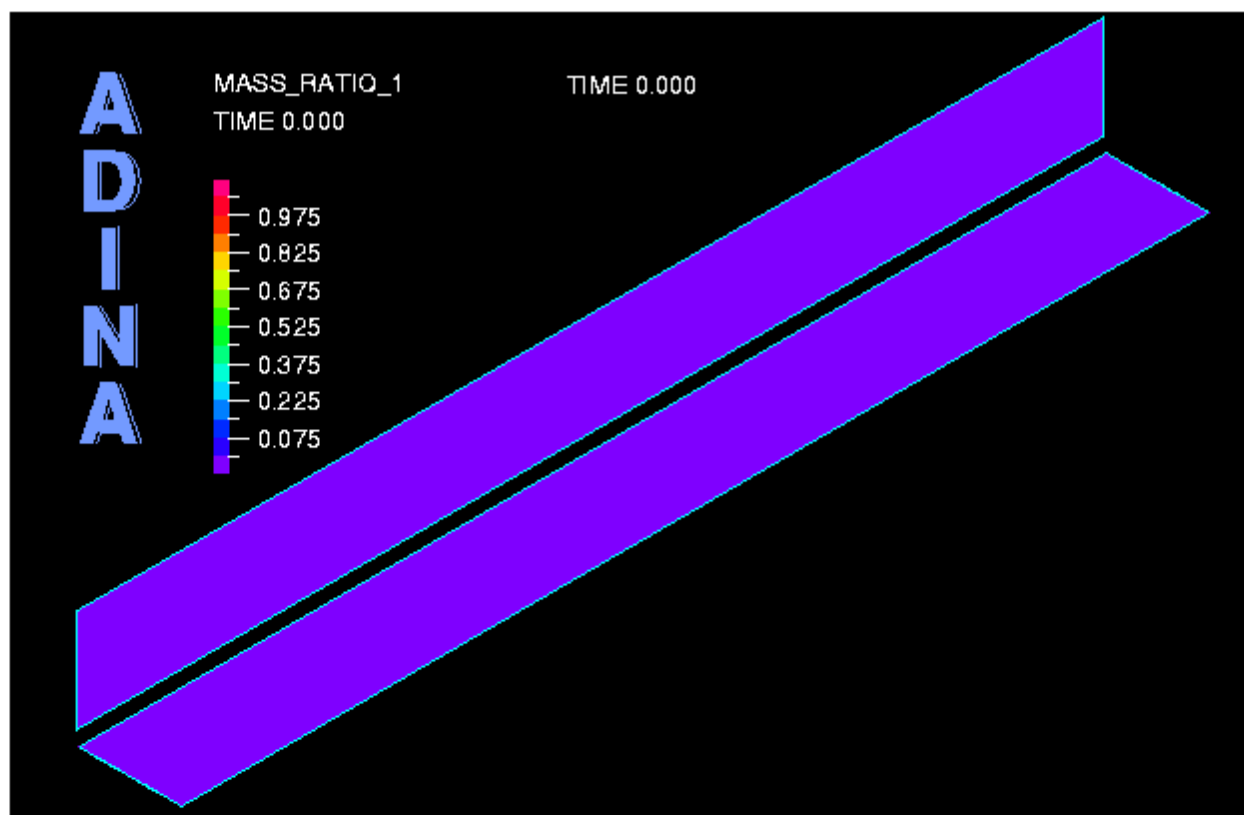
版权声明：本文件含有中仿智能科技（上海）股份有限公司的商业秘密，未经中仿智能科技（上海）股份有限公司批准，不可将本文件或其中部分复印或引用到其他文件中，用于其他目的。

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.cnitech.com 邮箱：info@cnitech.com

- 石油&天然气工业
- 地下水模拟
- 核废料
- 药物输运

流体-电磁耦合

在这类多场问题中，流体的流动是由电磁场所产生的洛伦兹力所驱动的



中仿 ADINA 电磁流体模拟

工业应用举例

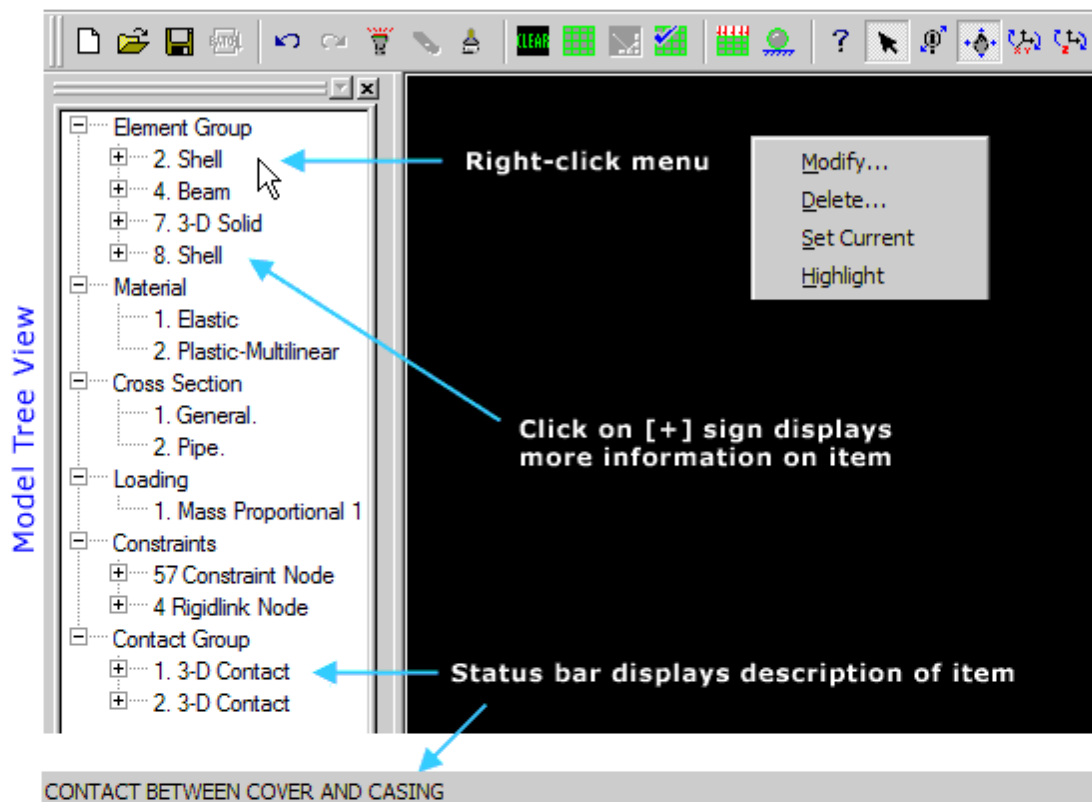
- 电磁动力管道混合器

参考资料

1. K. J. Bathe, The Finite Element Method, in *Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, B. Wah (ed.), J. Wiley and Sons, 1253-1264, 2009.
2. For many examples of applications of ADINA in multiphysics problems, see our [Publications](#) page.

中仿 ADINA 用户界面

AUI 模块 为中仿 ADINA 所有求解器提供完整前后处理功能，均在交互图形化用户界面内完成。



AUI 模块主要特征:

- 几何模型可以直接创建，可以导入不同的支持 Parasolid 的 CAD 格式(例如 NX, SolidEdge 以及 SolidWorks)，或者 IGES 图形。
- 物理属性，载荷以及边界条件，都可以直接在几何模型中添加。单元网格划分修改不影响模型的定义。
- 在控制单元大小分布的情况下可以实现网格的全自动生成，映射网格可以用在简单的几何结构上。
- 会话记录文件保存着用户在建模过程中的输入与选择。完整的模型可以通过这个会话记录文件来复现，通过修改这个记录文件，可以建立一个不同的模型。

AUI 模块的易用性体现在如下几点:

- 完全图形化的交互式界面，特定选择及输入时的下拉菜单及对话框更易于使用。

版权声明：本文件含有中仿智能科技（上海）股份有限公司的商业秘密，未经中仿智能科技（上海）股份有限公司批准，不可将本文件或其中部分复制或引用到其他文件中，用于其他目的。

全国统一客户服务热线：400 888 5100 网址：www.cnitech.com 邮箱：info@cnitech.com

- 常用功能图标显示，便于快速使用。
- 图形窗口中可实现拷贝及粘贴。
- 软件可直接输出 AVI 格式视频文件。
- 软件可输出矢量或位图格式的图形。
- 提供撤销及重做功能，撤销步骤可以自定义。
- 支持动态旋转，缩放及平移模型。
- 为重复性工作提供命令行形式输入方式。

后处理功能，结果可视化工具包含以下内容：

- 变形后及初始化网格显示
- 等值线及等值面显示
- 矢量及张量显示
- 图形中绘制变量
- 屏幕显示变量值同时也可以导出为文件

中仿 ADINA Modeler

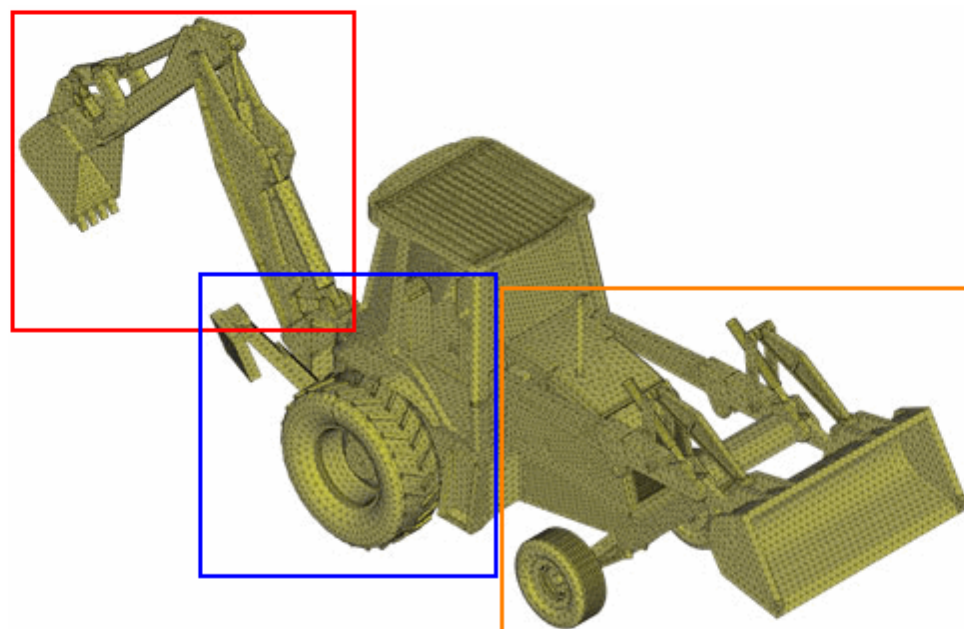
中仿 ADINA-M 模块 是为用户界面下固体建模提供的一个扩展模块，利用此模块，立体几何可以直接在 AUI 程序中利用中仿 ADINA-M 几何单元（例如，长方体、圆柱体等）创建，利用中仿 ADINA-M 模块可以创建更加负责的立体几何模型。此外，中仿 ADINA-M 模块可以直接导入不同格式的 CAD 文件。

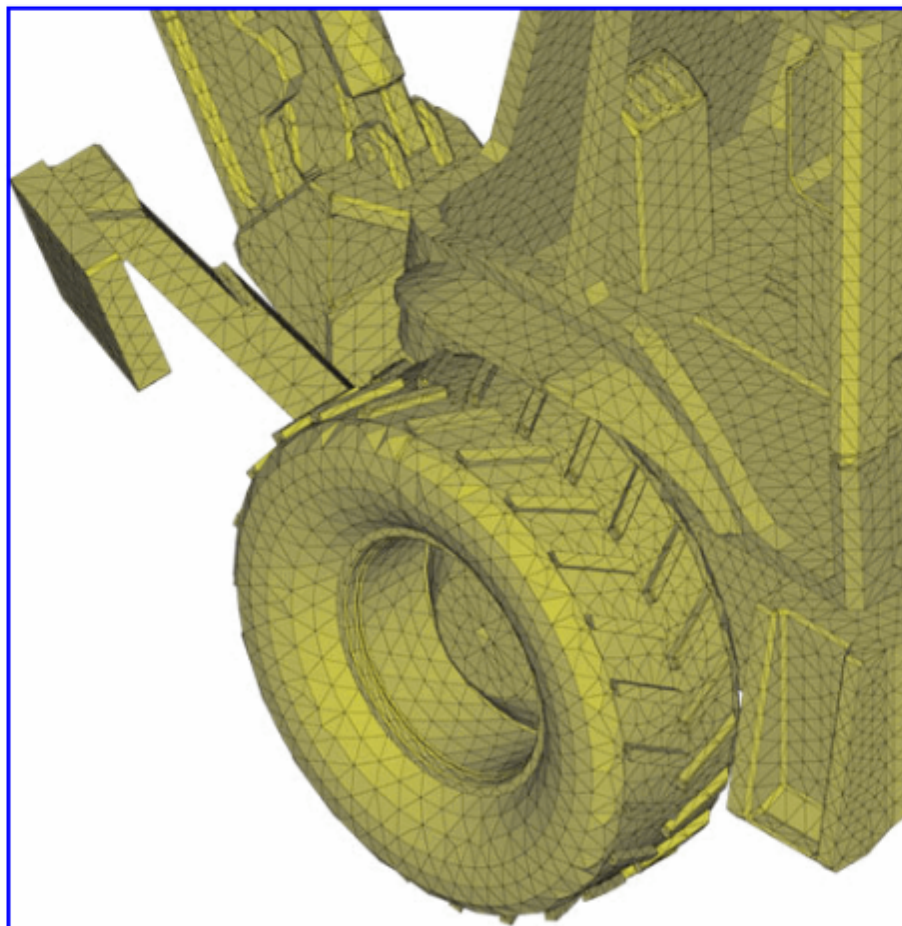
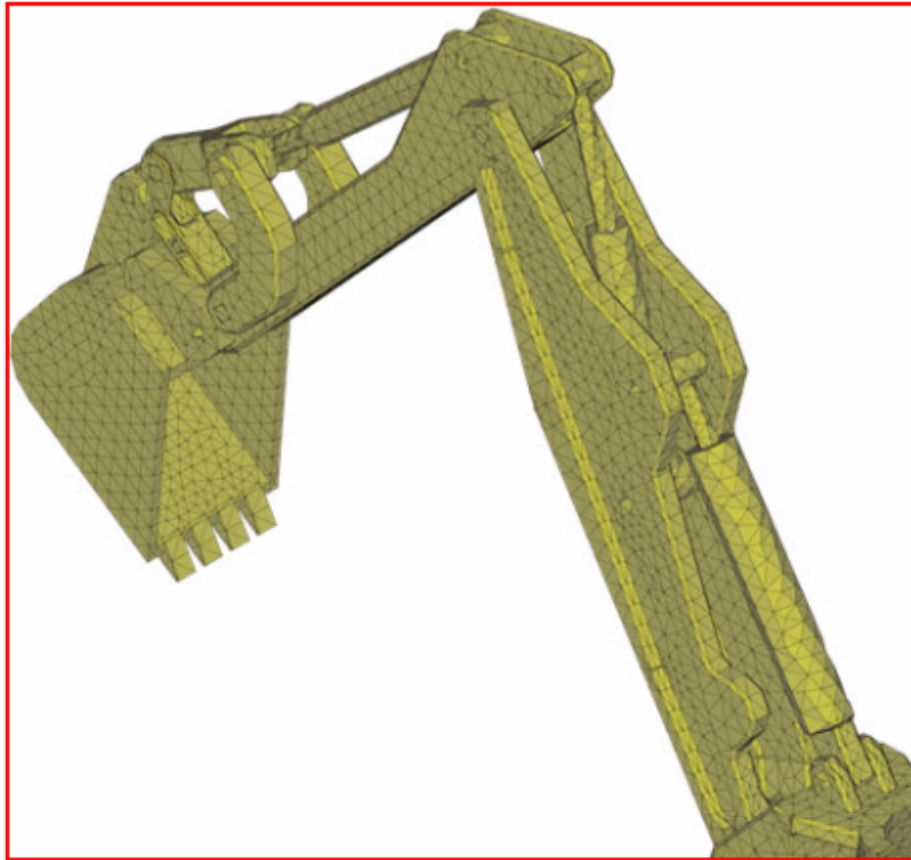
软件包含两种版本的中仿 ADINA-M 模块，一种是基于 Parasolid 几何内核的（称之为中仿 ADINA-M/PS），另一种是基于 Open Cascade 几何内核（称之为中仿 ADINA-M/OC）。

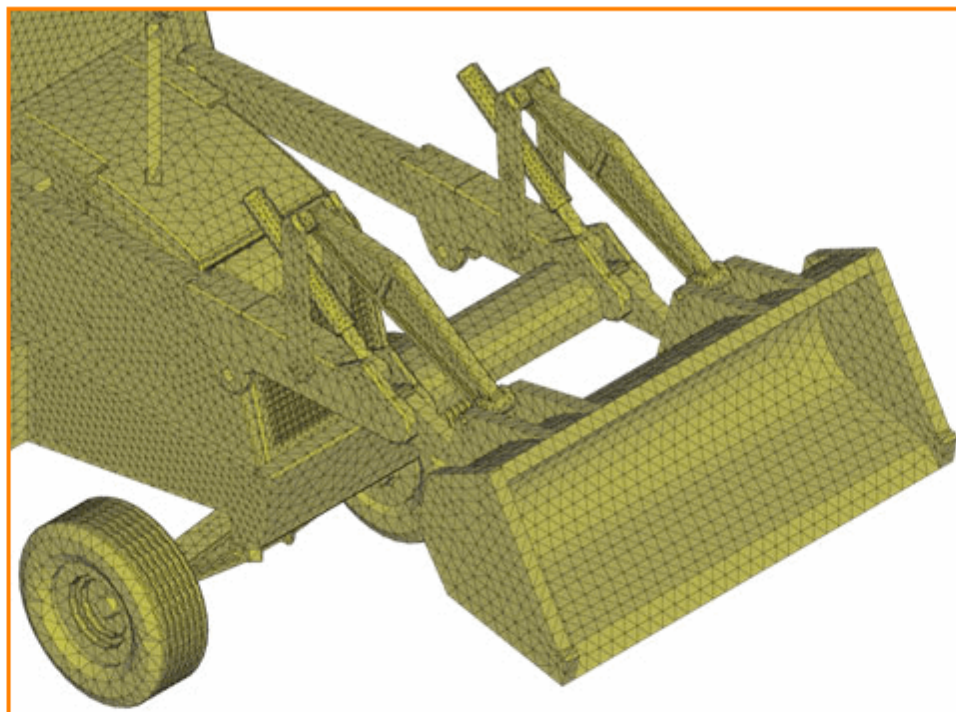
中仿 ADINA-M/PS 基于 [Parasolid](#) 内核，Parasolid 内核是流行 CAD 软件中广泛采用的，例如 [NX](#), [SolidWorks](#), [SolidEdge](#), 以及 [Bentley Systems](#)。Parasolid 内核的几何图形可以直接通过 ADINA-M/PS 导入 AUI 中，导入的图形，在 ADINA AUI 下通过 ADINA-M/PS 工具修改。

中仿 ADINA-M/PS 可以导入 IGES 文件，IGES 格式几何表面可以形成实体。

下图是用中仿 ADINA-M/PS 导入的几何图形，其网格是用 AUI 的自由网格划分自动形成的。







中仿 ADINA-M/OC 基于 Open Cascade 几何内核。因此，用户可以用一些高级的 CAD 程序（例如 FreeCAD, CAD Exchanger and Datakit）来建模，然后导入 ADINA 中。

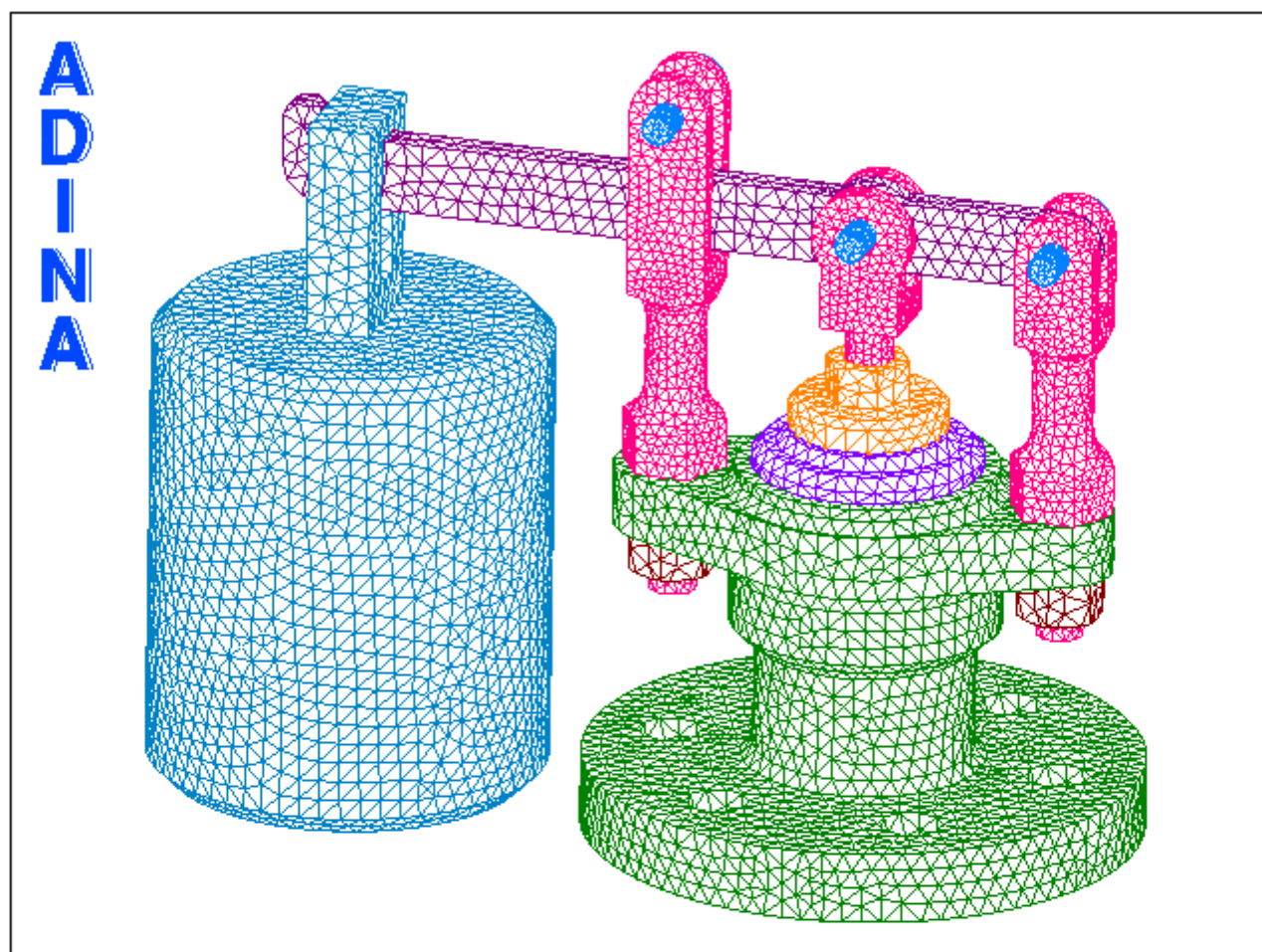
中仿 ADINA-M/OC，可以直接导入 STEP (.stp) 格式以及 IGES 格式的图形，IGES 同样可以直接形成实体几何。

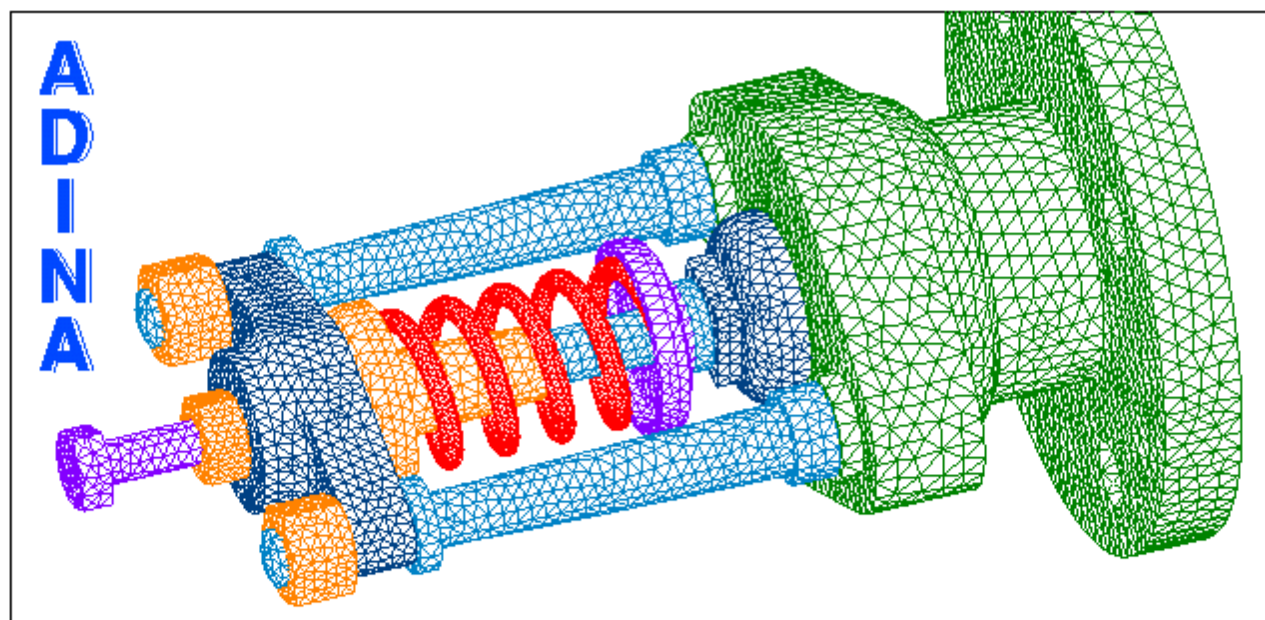
中仿 ADINA-M/OC 利用与中仿 ADINA-M/PS 相同的命令格式，因此，熟悉中仿 ADINA-M/PS 的用户可以很容易的掌握此接口模块的使用方法。

中仿 ADINA-M/OC 的功能包括:

- 导入由 Open Cascade 内核 CAD 软件建立的边界几何图形。
- 定义实体几何基元（长方体，球体，圆柱体，圆环，圆锥，管，棱柱），薄板实体（曲面）以及转换实体。
- 通过扫掠或旋转几何面形成实体。
- 通过布尔运算修改几何模型。

下列图形，显示的是通过 IGES 导入后形成的实体模型，用 AUI 实现的网格划分。





若有中仿 ADINA-M/PS 或中仿 ADINA-M/OC 模块的授权，AUI 可以拥有下列更多的特色功能：

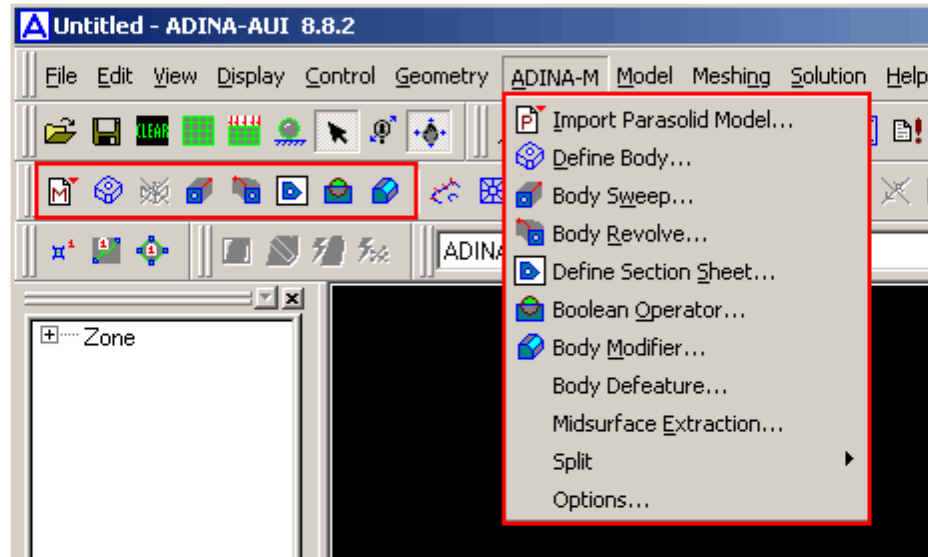
特色功能	描述
导入 Parasolid 模型*	导入 Parasolid 内核 CAD 软件所建立的几何图形
定义实体	定义实体几何基元（长方体，球体，圆柱体，圆环，圆锥，管，棱柱），薄板实体（曲面）以及转换实体
实体扫掠	沿给定的方向或者曲线，通过扫掠已有的面来创建几何实体
实体旋转	沿轴旋转面，创建几何实体
定义截断面*	通过定义的截面将几何实体划分成两段或多段
布尔操作	通过交集、并集等操作修改几何实体
模型简化*	去除实体中微小面

分割*

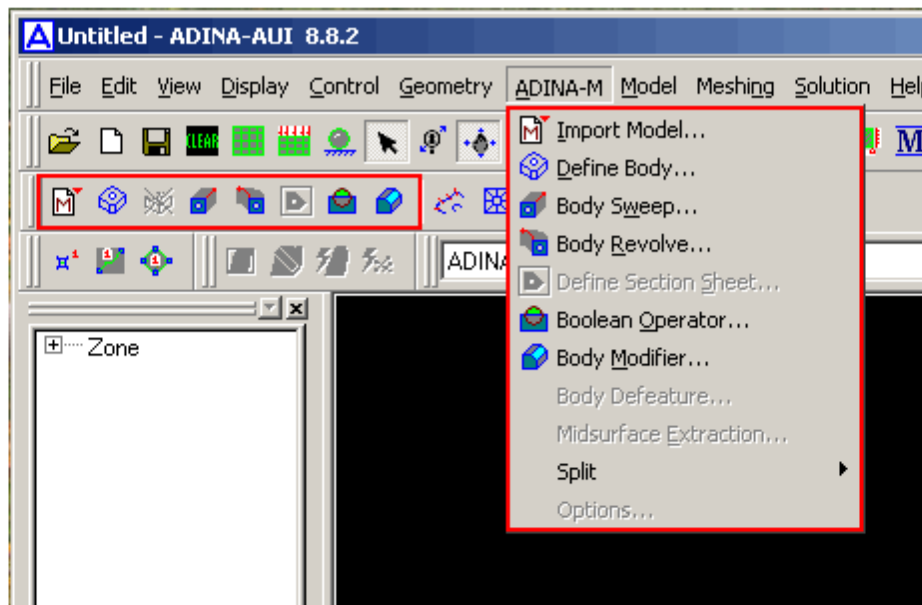
将实体通过边或面分割成两部分

* 仅限中仿 ADINA-M/PS 中

下图显示的 AUI 环境列表中提到的中仿 ADINA-M/PS。



下图显示的是 AUI 环境列表中提到的中仿 ADINA-M/OC 选项。

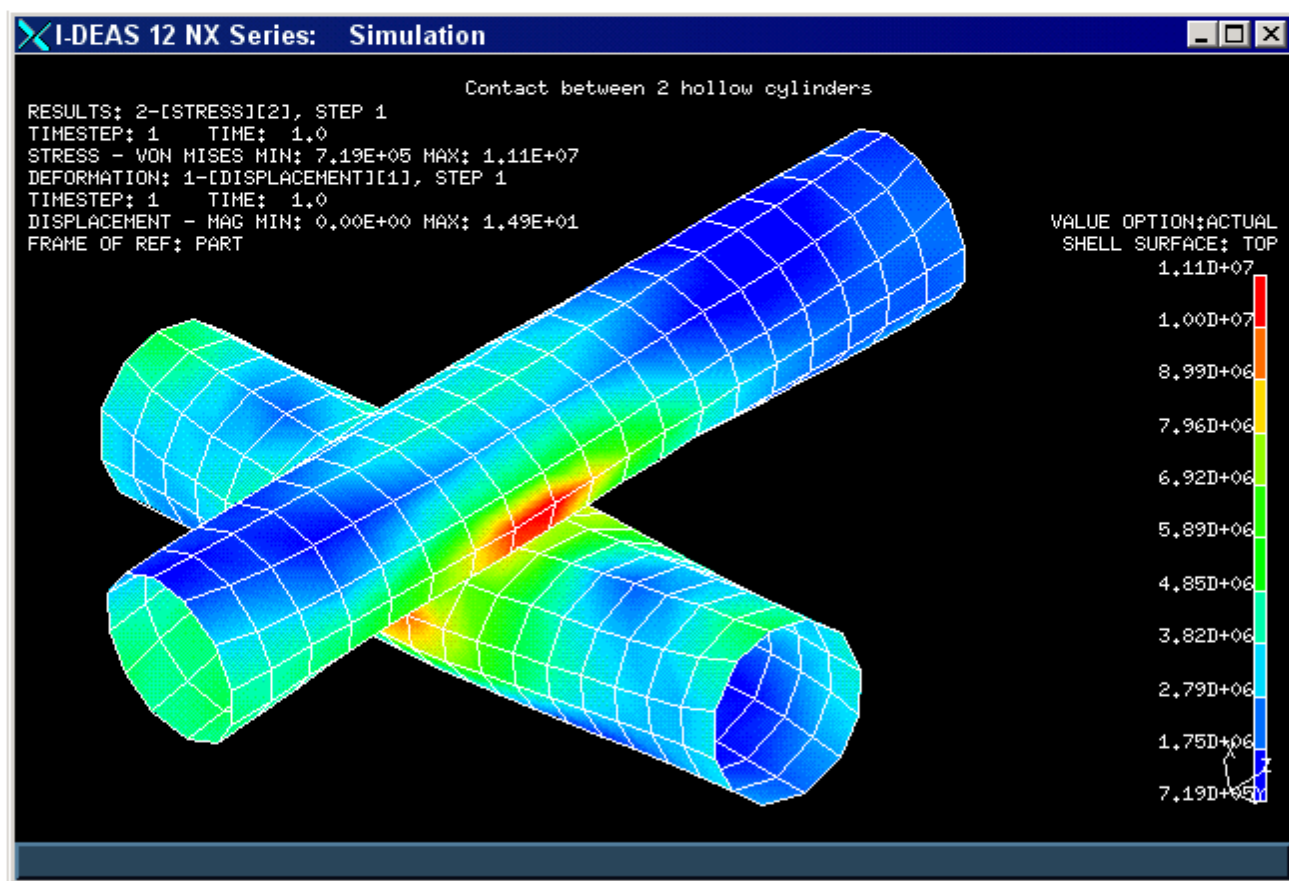


CAD/CAE INTERFACES

中仿 ADINA 工程仿真系统 提供了完整的前后处理分析功能（AUI），为使部分熟悉第三方前后处理工具的用户更有效率的创建有限元模型，软件提供了更多的前后处理接口功能：

接口	描述
<u>Parasolid</u>	中仿 ADINA-M/PS 基于 Parasolid 内核，Parasolid 内核是流行 CAD 软件中广泛采用的，例如 NX, SolidWorks, SolidEdge, 以及 Bentley Systems
<u>IGES</u>	当不支持直接建模时（例如 CATIA），IGES 格式是 CAD 软件转存的首选
 <u>Open Cascade</u>	中仿 ADINA-M/OC 基于 Open Cascade 几何内核。因此，用户可以用一些高级的 CAD 程序（例如 FreeCAD, CAD Exchanger and Datakit）来建模
<u>STL</u>	STL 文件是由扫描三维图像或 CAD 软件得到（例如 AutoCAD），此格式可以导入中仿 ADINA，中仿 ADINA 由此创建必要的点线面来定义有限单元的网格划分以及载荷和边界条件。
 <u>STEP</u>	STEP (标准的产品交换格式数据) 文件 可以在有中仿 ADINA-M/OC 模块授权时导入
<u>Point Cloud</u>	中仿 ADINA 导入三维扫描图像的点云数据，创建立体几何模型。这个几何模型可以保存为 STL 格式，便于进一步的处理。
<u>I-DEAS NX</u>	I-DEAS 有限元模型可以转到中仿 ADINA 中计算，结果可以转回 I-DEAS 数据库中后处理。
 <u>Femap</u>	Femap 有限元模型可以转化到中仿 ADINA 结构力学、流体力学以及流固耦合模块中进行计算，结果可以导回到 Femap 中进行查看。

<u>NX</u>	中仿 ADINA 支持 NX 作为前后处理的环境，NX 生成的网格可以导入到中仿 ADINA，中仿 ADINA 的计算结果可以导入到 NX 中做后处理。
<u>Nastran</u>	Nastran 输入文件可以直接导入 AUI 程序，包括 NX Nastran 命令，例如三维接触定义，同样支持。额外的载荷和边界条件同样可以导入其内。中仿 ADINA 的计算结果，可以输出为 Nastran 的 op2 格式，此文件可以直接在 Nastran 中读取来做后处理。
<u>EnSight</u>	中仿 ADINA 允许将流体模块及结构力学模块的结果导出为 EnSight 格式，可以在 EnSight 中进行后处理。



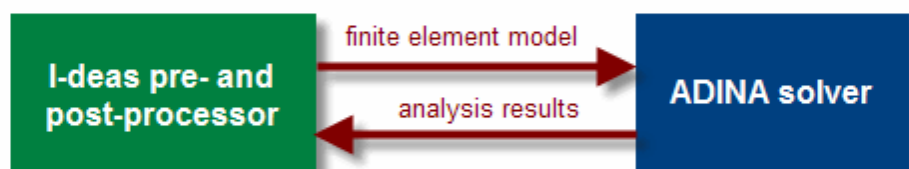
I-deas 建模，中仿 ADINA 求解，返回到 I-deas 后处理

中仿 ADINA 前后处理选项

尽管 AUI 模块提供了完整的前后处理能力，我们认识到，一些用户可以通过自身所熟悉的第三方软件，做更有效率的计算，下面的内容，将逐一展示中仿 ADINA 在前后处理方面的开放性能力。

直接用 I-deas/NX 接口

对于 I-deas 用户，中仿 ADINA 提供一个完全整合的界面，这个界面允许用户在 I-deas 环境下完成所有的前后处理操作。顶部的图形显示了一个简单的例子，用 I-deas 建模，用中仿 ADINA 求解，中仿 ADINA 的计算结果，返回到 I-deas 数据库进行后处理。



Nastran 输入

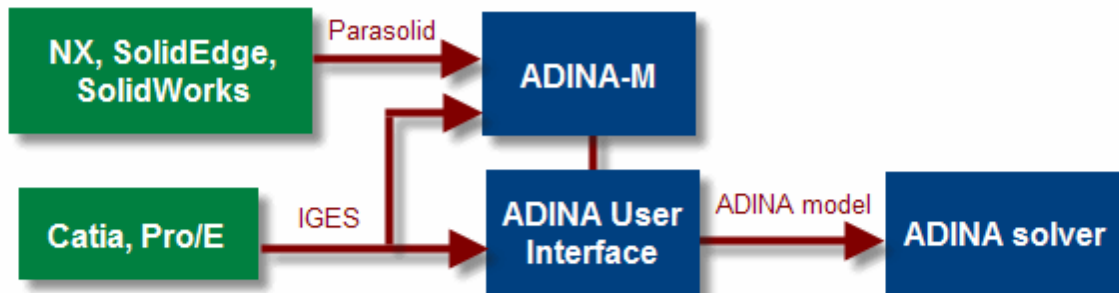
中仿 ADINA 一个重要特点，是其可以通过 Nastran 格式来接入其他有限元模型。用户可以通过不同的有限元程序（例如 NX，Femap，ANSA，Hypermesh）建立有限元模型，将模型导出为 Nastran 格式，AUI 可以导入这些已经添加了在边界条件的模型。支持这功能的，不仅仅只是结构力学模块，还包括流体或流固耦合模块。



几何输入

中仿 ADINA-M/PS 基于 Parasolid 内核，Parasolid 内核是流行 CAD 软件中广泛采用的，例如 NX，SolidWorks，

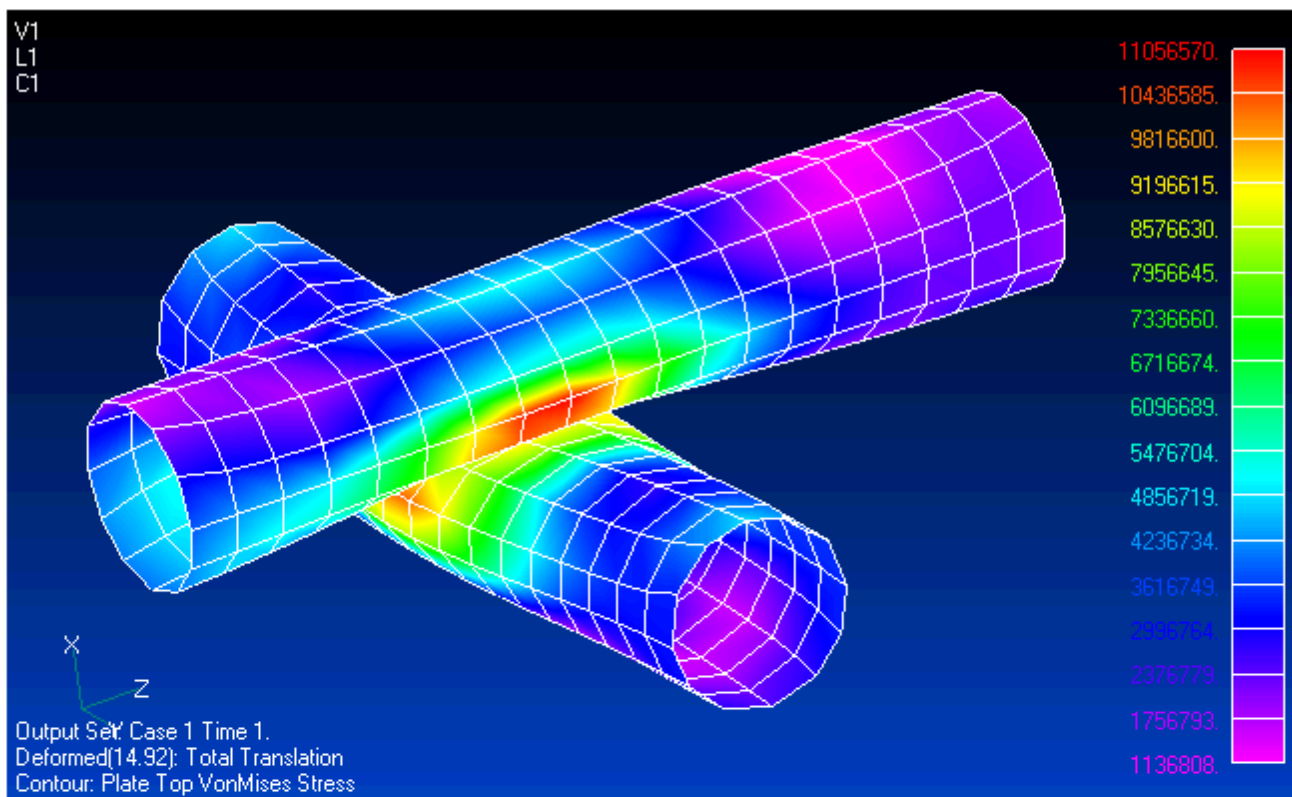
SolidEdge, 以及 Bentley Systems。Parasolid 内核的几何图形可以直接通过中仿 ADINA-M/PS 导入 AUI 中, 导入的图形, 在中仿 ADINA AUI 下通过中仿 ADINA-M/PS 工具修改。



对于非 Parasolid 格式的几何模型, 可以通过转化为 IGES 文件来导入中仿 ADINA 中, 通过中仿 ADINA-M 将 IGES 格式的几何边实现实体的建立。

结果输出

中仿 ADINA 结构分析的结果, 可以输出为 Nastran 的 op2 格式或者 I-deas 非通用格式, 因此, 中仿 ADINA 的结果可以用 NX, Femap, mETa 或者 FEMFAT 程序来精细后处理。



通过中仿 ADINA 输出的 op2 格式文件，在 Femap 中的结果后处理(同顶上图形)

EnSight 输出

对于大型模型，通常需要一个可视化程序来查看计算结果，最近，中仿 ADINA 添加了一个功能，允许将流体模块及结构力学模块的结果导出为 EnSight 格式。