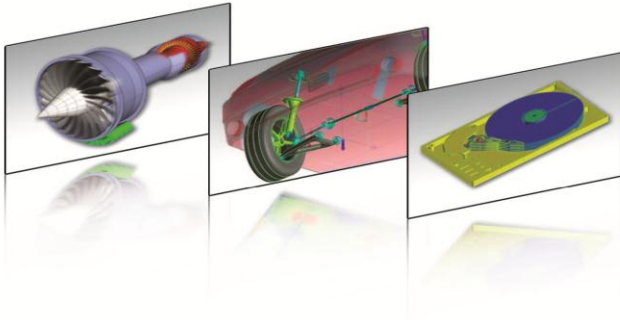


MSC Nastran

— 结构和多学科仿真



在今天多样化激烈竞争的市场环境中,企业制造商们需要在最短的时间内设计和验证产品性能,将最好的产品以最快的速度投放市场。企业设计研发部门所使用的传统的工程分析方法是利用点分析工具,近似地模拟产品在现实环境中的行为,但是通常情况下,产品的性能总是受到多种物理环境的同时影响,用户使用单一分析工具往往不能准确充分地模拟产品的真实性能。为了解决这个问题,进一步提升产品的竞争力,从而使企业更好的适应市场需求,MSC 开发了多学科分析技术,大大减少了仿真分析与实际工作环境之间的差距,确保准确模拟真实的世界,多学科技术是 MSC Software 公司企业级解决方案的核心和基础, MSC Software 的企业仿真方案使用详细的数字产品模型模拟并验证产品各个方面的性能、制定和跟踪严格的设计目标、沟通协调产品开发,从而使产品创新和质量提高到一个最具竞争力的新水平。

一. MSC Nastran 的历史

Nastran 是美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, 简称 NASA, 又称美国宇航局)为适应各种工程分析问题而开发的多用途有限元分析程序。这个系统称为 NASA Structural Analysis System, 命名为 Nastran。

20 世纪 60 年代初,美国宇航局为登月需要,决定使用有限元法开发大型结构分析系统,并能在当时所有大型计算机上运行。MacNeal-Schwendler Corporation (即 MSC 公司)是开发小组主要成员。Nastran 程序最早在 1969 年通过 COSMIC (Computer Software Management and Information Center) 对外发行,一般称为 COSMIC Nastran。之后又有各种版本的 Nastran 程序发行,其中以 MSC 公司所开发的 MSC Nastran 程序用户最为广泛。长期以来 MSC Nastran 已成为标准版的 Nastran, 是全球应用最广泛的分析程序之一。

为了迎合企业准确充分地模拟产品的真实性能的需求,结合当今计算方法、计算机技术的最新发展,从 2001 年以来, MSC Software 投入了大量的研发力量于进行多学科技术的研发,在 2006 年成功发布了新一代的多学科仿真工具 MD Nastran。在继承原有 MSC Nastran 强大功能的基础上,陆续集成了 Marc、Dytran、Sinda、LS-Dyna 以及 Actran 等著名软件的先进技术,大大增强了 Nastran 在高级非线性、显式非线性、热分析、外噪声分析等方面的功能。

2012 年, MD Nastran 和原先的 MSC Nastran 合并,统一名称为 MSC Nastran。

通过提供极限的并行设计仿真能力, MSC Nastran 使企业能够:

- **产品更快速投放市场**—快速透彻了解整个设计性能,能够使设计环节速度更快和使整个方案时间缩短 50% 以上。
- **更低的制造成本**—在设计过程中更早地了解设计产品的性能,从而能够在设计获批准之前

发现和修改缺陷。同时，能够更早地确定可加工性、优化制造环节时间、减少材料余量和防止不必要设备的投资。

- **提高分析效率**— 对共同分析数据模型的支持，避免了在不同学科仿真之间手工传递信息和数据。
- **改善产品质量和降低维护成本**— 通过对多学科之间复杂交互作用的准确描述，MSC Nastran 仿真结果更准确地反映了真实结果，消除了使用过程中意想不到的操作错误。

MSC Nastran 多学科技术在仿真时支持多种学科之间的交互作用和耦合效应，无论是线性、非线性、运动学，还是显式动力学，MSC Nastran 都能够让多种学科一起工作，从而准确地、适时地在多学科之间提供正确的工程和力学反馈。

二. MSC Nastran 的功能模块

MSC Nastran Base 基本包

MSC Nastran Basic 基本模块

MSC Nastran Connectors 连接单元

MSC Nastran Adams Integration 与 Adams 集成接口

MSC Nastran Linear Contact 线性接触

MSC Nastran Linear Structures Package 线性结构包

MSC Nastran Basic 基本模块

MSC Nastran Connectors 连接单元

MSC Nastran Adams Integration 与 Adams 集成接口

MSC Nastran Linear Contact 线性接触

MSC Nastran Dynamics 动力学模块

MSC Nastran DMAP 语言

MSC Nastran Heat Transfer 热传分析

MSC Nastran SMP 共享内存的并行分析

MSC Nastran Dynamics Design Analysis Method(DDAM) 动力学设计分析方法

MSC Nastran Acoustics 内声场模块

MSC Nastran Superelements 超单元

MSC Nastran Nonlinear 非线性模块

MSC Nastran LS Productivity Bundle

MSC Nastran 线性结构包

Patran Basic

Patran Exchange

MSC Nastran Structures Package 结构包

MSC Nastran Basic 基本模块

MSC Nastran Connectors 连接单元

MSC Nastran Adams Integration 与 Adams 集成接口
MSC Nastran Linear Contact 线性接触
MSC Nastran Dynamics 动力学模块
MSC Nastran DMAP 语言
MSC Nastran Heat Transfer 热传分析
MSC Nastran SMP 共享内存的并行分析
MSC Nastran Dynamics Design Analysis Method(DDAM) 动力学设计分析方法
MSC Nastran Acoustics 内声场模块
MSC Nastran Superelements 超单元
MSC Nastran Nonlinear 非线性模块
MSC Nastran Implicit Nonlinear(SOL600) 隐式非线性(SOL600)
MSC Nastran Implicit Nonlinear Marc Translator(SOL600) Marc 转换器
MSC Nastran Implicit Nonlinear Shape Memory Materials(SOL600) 隐式非线性形状记忆合金
MSC Nastran Implicit Nonlinear Hemi Cube View Factors(SOL600) 隐式非线性半立方视角系数

MSC Nastran Design Optimization 设计优化
MSC Nastran Multi-Model Optimization 多模型优化
MSC Nastran ACMS 自动部件模态综合法

可选学科包

MSC Nastran Dynamics 动力学模块

MSC Nastran MD Implicit NL Package MD隐式非线性包

MSC Nastran Advanced Nonlinear(SOL400) 高级非线性(SOL 400)

MSC Nastran Advanced Thermal (RC Network) 高级热分析模块

MSC Nastran Advanced Acoustics(EFEA/EBEA) 高级声学模块

MSC Nastran MD Explicit NL Package (2 cores included) 显式非线性包

MSC Nastran LS-DYNA Translator LS-DYNA转换器

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) 显式非线性 (SOL700)

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) Multi-Processor 2-CPU 显式非线性并行

2-CPU

MSC Nastran MD Explicit NL Package (35 cores included)

MSC Nastran LS-DYNA Translator LS-DYNA转换器

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) 显式非线性 (SOL700)

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) Multi-Processor 35-CPU 显式非线性并行

35-CPU

MSC Nastran MSC Explicit NL Package (500 cores included)

MSC Nastran LS-DYNA Translator LS-DYNA转换器

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) 显式非线性 (SOL700)

MSC Nastran Explicit Nonlinear(SOL700) Multi-Processor 500-CPU 显式非线性并行
500-CPU

MSC Nastran Implicit Nonlinear Package (2 cores included) 隐式非线性包

MSC Nastran Implicit Nonlinear(SOL600) 隐式非线性(SOL600)

MSC Nastran Implicit Nonlinear Marc Translator(SOL600) Marc转换器

MSC Nastran Implicit Nonlinear Shape Memory Materials(SOL600) 隐式非线性形状记忆
合金

MSC Nastran Implicit Nonlinear Hemi Cube View Factors(SOL600) 隐式非线性形半立方
视角系数

MSC Nastran Implicit Nonlinear Multi-Processor 2-CPU 隐式非线性并行2-CPU

MSC Nastran Optimization Package 优化包

MSC Nastran Design Optimization 设计优化

MSC Nastran Multi-Model Optimization 多模型优化

MSC Nastran Heat Transfer: 传热分析

MSC Nastran Nonlinear: 非线性模块

可选模块

MSC Nastran ACMS 自动部件模态综合法

MSC Nastran Acoustics 内声场模块

MSC Nastran Advanced PFA 高级PFA (Progressive Failure Analysis)

MSC Nastran Aeroelasticity I 气弹I

MSC Nastran Aeroelasticity II 气弹II

MSC Nastran Dynamics Design Analysis Method(DDAM) 动力学设计分析方法

MSC Nastran Design Optimization 设计优化

MSC Nastran DMAP 语言

MSC Nastran Exterior Acoustics外噪声分析

MSC Nastran Krylov Solver 求解器

MSC Nastran Multi-Model Optimization 多模型优化

MSC Nastran Superelements 超单元

MSC Nastran Rotordynamics 转子动力学

可选HPC模块

MSC Nastran DMP (Unlimited cores) 分布式并行模块

MSC Nastran GPU (unlimited cores) GPU支持模块

MSC Nastran SMP (Unlimited cores) 共享内存并行模块

可选 SOL 600 非线性HPC模块

MSC Nastran Implicit HPC - 3rd through 4th core

MSC Nastran Implicit HPC - 5rd through 8th core

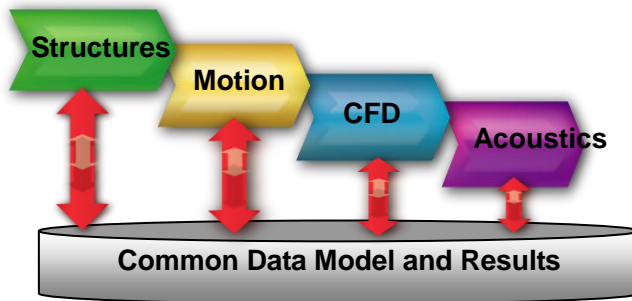
MSC Nastran Implicit HPC - 9rd through 16th core
MSC Nastran Implicit HPC - 17rd through 32th core
MSC Nastran Implicit HPC - 33rd and above

可选 SOL 700 非线性HPC模块

MSC Nastran Explicit HPC - 3rd core
MSC Nastran Explicit HPC - 4th core
MSC Nastran Explicit HPC - 5th through 70th core
MSC Nastran Explicit HPC - 71st through 100th core
MSC Nastran Explicit HPC - 101st through 200th core
MSC Nastran Explicit HPC - 201st through 500th core
MSC Nastran Explicit HPC - 501st through 1000th core

三. 多学科技术特点

1. 公共的数据模型，共同的框架

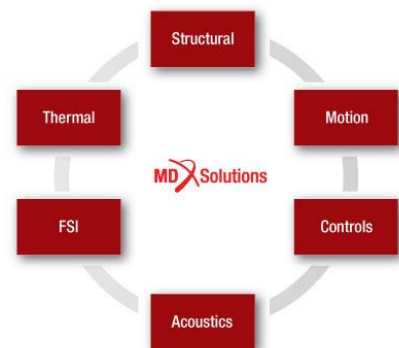


目前用于工程分析的 CAE 软件很多，无论是结构，流体，噪声，电磁，还是多体动力学和控制方面，都有相应的分析软件，由于各自平台的差异，需要分散建立各学科的 CAE 模型。相比将多个独立的仿真工具捆绑在一起分析的方法，多学科技术可以减少 50% 的仿真时间，这主要是因为用户现在可以工作在一个公共的数据模型上来完成各类仿真。由于基于系统级的公共模型同时对多个学科物理过程进行了表述，因此多学科技术允许所有的设计人员从通用的模型中调用数据。但这并不意味着所有学科都用完全一样的模型，而是意味着能够从一个模型中提取出所需的载荷和约束来完成各类仿真。多学科技术根据相互耦合的学科类型来决定分析是同时的、集成的、交叉的还是松散的耦合。而且多学科技术还可以扩展功能，使用统一的用

户子程序，更加开放，更适合二次开发。

2. 多学科仿真

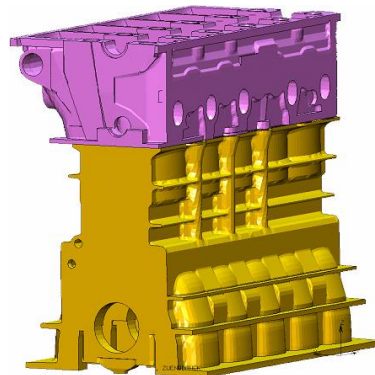
对于单个学科专家仍然要通过许多离散的分析步骤来手工模拟仿真学科之间的复杂交互作用，这样必然会带来信息传输的丢失、降低模拟的精度。工程师有时还手工传递计算信息，或者将运动的信息作为静态的信息来施加到系统中，这个过程可重复性差，人为错误也难以避免。多学科仿真通过链式分析方法模拟多种物理场之间的相互作用



用。无论是线性、非线性、运动、CFD，还是显式非线性动力学，多学科仿真允许许多学科在求解器内核上的集成仿真，而不是仅仅简单地相互之间进行连接。它已完全超越传统的多物理场系统，将多种学科进行深层次的链接/集成。

3. 高性能计算

10年前，我们还在为CAE分析模型规模的限制找各种简化的方法，而现在，进行上千万自由度有限元模型的线性，振动，噪声，非线性分析已经是很平常的一件事情。MSC Nastran第一个真正将软件移植到IPL-64系统，消除了以往的仿真工具对物理内存利用能力的限制，MSC Nastran可以充分利用硬件平台的物理内存，大幅度提高计算效率。MSC Nastran运行性能针对64位的超级计算机平台进行了专门的优化，复杂的、超大大的模型仍可以通过多个64位处理器并行计算而得以仿真。MSC Nastran进行了算法优化以充分利用并行和64位计算结构的革新带来的好处，以便于快速地得到极其复杂工程问题的准确结果。优化了在64位超级计算环境中的运行性能后，MSC Nastran既可以做简单的线性静力分析，也能够做数百万自由度的极其复杂的瞬态非线性分析。如图所示的发动机模型，共有2千4百万个自由度，在小型机上运算，采用新加的迭代求解器，不到50分钟求解一个线性静力载荷工况。

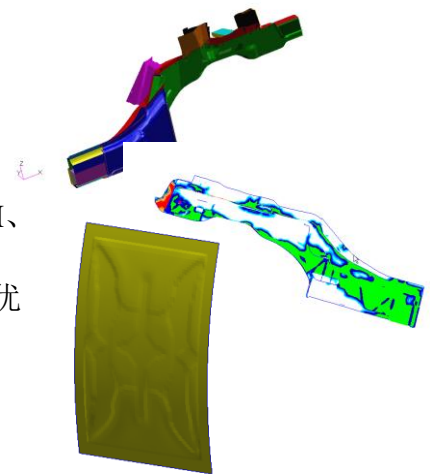


发动机模型

4. 实现真正的多学科优化

MSC Nastran的优化功能具有尺寸、形状、拓扑、形貌等优化能力以及组合优化能力，可以提高整个设计效率并预测产品全生命周期内的性能。MSC Nastran独特的优化序列能够综合考虑各种工况，例如静力、屈曲、动力学、NVH、内外噪声等，进行鲁棒性优化设计。

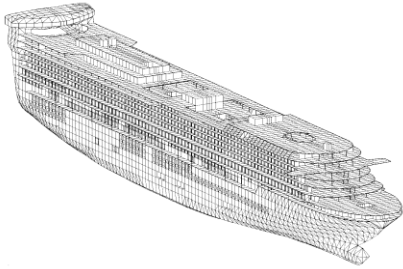
- 有效的优化技术 – 尺寸，形状，拓扑，形貌和Topometry优化
- 在优化中可以定义粘接接触
- 可以集成自己的优化算法
- 非线性优化
- 随机仿真功能
- 设计响应跨越多学科，同时访问尺寸，形状和拓扑优化的高级系统优化



四. MSC Nastran 软件功能

1. 基本功能

MSC Nastran 的基本模块支持各种材料模式的线性分析,包括:均质各向同性材料、正交各项异性材料、各项异性材料和随温度变化的材料等。



- ◆ 具有惯性释放的静力分析:考虑结构的惯性作用,可计算无约束自由结构在静力载荷和加速度作用下产生的准静态响应
- ◆ 线性接触分析:在线性静力分析中,可以定义接触和粘接,为装配体的线性分析提供了方便且精确的方法。接触分析时,提供基于精度和基于性能的参数控制,明显提高计算效率。
- ◆ 线性屈曲:可以考虑固定的预载荷,也可使用

惯性释放。

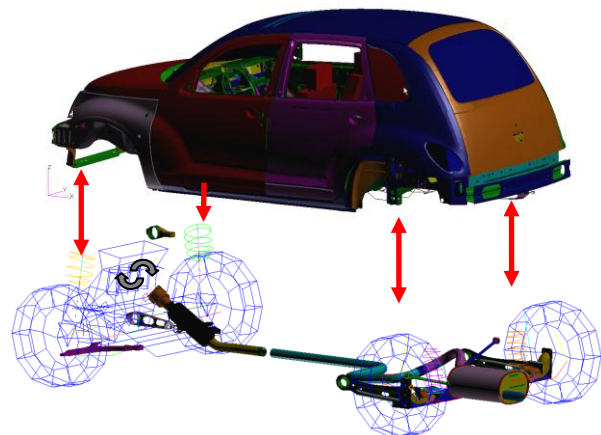
- ◆ 正则模态分析

2. 动力学分析

结构动力学分析是 MSC Nastran 的最主要强项之一,它具有其它有限元分析软件所无法比拟的强大分析功能。MSC Nastran 动力学分析功能包括时间域的瞬态响应和频率域的频率响应分析,方法有直接积分法和模态法,同时考虑各种阻尼如结构阻尼、材料阻尼和模态阻尼效应的作用。MSC Nastran 动力学响应分析可以准确预测结构的动力特性,大大提高虚拟产品开发的成熟度,改善物理样机的产品品质。主要包括以下分析类型

- ◆ 正则模态和复特征值分析
- ◆ 非线性模态(即预应力模态)分析
- ◆ 频率响应分析
- ◆ 瞬态响应分析
- ◆ 强迫运动分析
- ◆ 随机振动分析
- ◆ 冲击谱和谱响应分析
- ◆ 动力灵敏度和优化分析
- ◆ 部件频响应函数分析 (FRF)
- ◆ 基于频响应函数的装配分析

MSC Nastran 不但可以求解部件和装配件的频率响应函数,而且具有频响应函数装配功能,通过频响应函数装配,可以由部件或子系统的频响函数得到整个装配件的频率响应函数,从而研究系统各部件之间的耦合关系,确定振动和噪声的传递路径,为减振降噪提供工程



指导。

FRF / FBA / TPA (NVH 全新的算法)

频响函数 (FRF)

- 在指定频率单位载荷下的响应
- 不同的激励频率有不同的响应
- 是激励频率的函数

基于 FRF 的装配 (FBA)

- 装配每一个部件的 FRF 得到系统级的频响函数
- 也称为基于 FRF 的子结构(FBS)

传递路径分析(TPA)

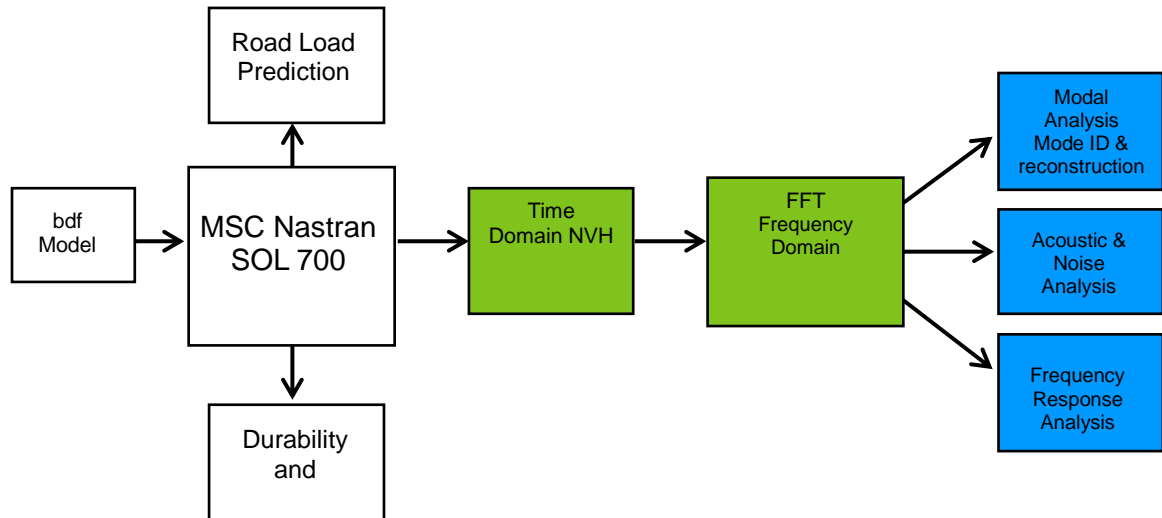
- 跟踪能量从源到接收处的流动过程，分析能量传递路径。

针对中小及超大型问题不同的解题规模，用户还可灵活选择 MSC Nastran 不同的动力学方法加以求解，如对大型结构动力学问题，可采用特征缩减技术和子结构分析方法。

时域 NVH 分析

MSC Nastran 的另一特色是集成了显式非线性计算和信号分析，能提供时域 NVH 分析的功能。在瞬态显式分析过程中，通过计及非线性因素的影响，提高 NVH 分析的精度。

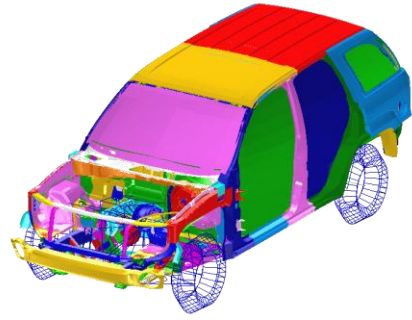
基于系统级事件的仿真途径



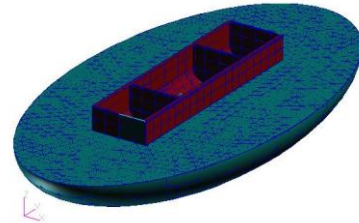
3. 流-固耦合和声场分析

流-固耦合分析主要用于解决流体(含气体)与结构之间的相互作用。主要应用在汽车 NVH、列车车辆和飞机客舱等的内噪音预测分析，以及考虑流体质量影响的流体中结构如舰船的模态特性分析等。MSC Nastran 中拥有多种方法求解完全的流-固耦合分析问题，包括：

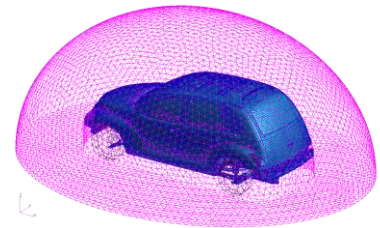
- 流-固耦合法：流-固耦合法广泛用于声学 and 噪音控制领域中,如发动机噪声控制、汽车车厢和飞机客舱内的声场分布控制和研究、NVH 等。分析过程中,利用直接法和模态法进行动力响应分析。流体假设是无旋和可压缩的,分析的基本控制方程是三维波方程,两种特殊的单元被用来描述流-固耦合边界。此外, MSC Nastran 新增加的声吸收单元可以精确描述材料的频变吸声性能,方便地模拟汽车中的座椅,内饰材料等。(噪)声学载荷由节点的压力来描述,既可以是常量,也可以是与频率或时间相关的函数,还可以是声流容积、通量、流率或功率谱密度函数。对不同结构产品的噪声影响结果可被分别输出。对于频率范围较宽,模型规模较大的声场分析可以方便地结合 MSC Nastran 的 ACMS 方法,同时利用并行计算技术、超单元技术,大大提高计算效率和精度。



- 新的内声场计算方法,采用弱耦合声学计算公式,提高计算速度。
- 水弹性流体单元法：该方法通常用来求解具有结构界面、可压缩性及重力效应的广泛流体问题。水弹性流体单元法可用于标准的模态分析、瞬态分析、复特征值分析和频率响应分析。当流体作用于结构时,要求必须指出耦合界面上的流体节点和相应的结构节点。自由度在结构模型中是位移和转角,而在流体模型中则是在轴对称坐标系中调和压力函数的傅利叶系数。类似于结构分析,流体模型产生"刚度"和"质量"矩阵,但具有不同的物理意义。载荷、约束、节点排序或自由度凝聚不能直接用于流体节点上。
- 虚质量法：虚质量法是仅考虑流体质量对结构的影响,主要用于以下流-固耦合问题的分析：
 - a) 结构沉浸在一个具有自由液面的无限或半无限液体里
 - b) 容器内盛有具有自由液面的不可压缩液体
 - c) 以上二种情况的组合,如船在水中而舱内又装有不充满的液体



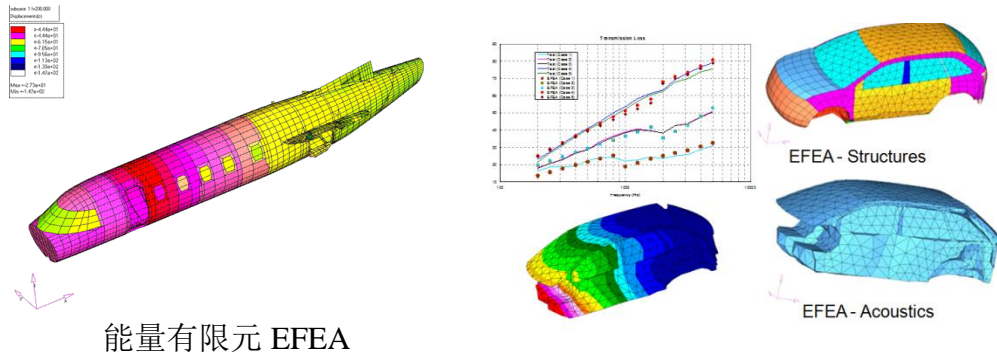
MSC Nastran 的声场分析功能还集成了 Actran 的声学求解技术,不但可以进行内声场的分析,还可以进行外声场的分析。可以分析结构的声辐射,声传播,吸收,散射以及结构声振耦合问题等。并且最大的特点是可以求解大型结构的内外声结构耦合分析和优化,如整车的声响分析和动力系统的声辐射。



- 内外噪声
 - Nastran 的噪声分析拓展到无限区域,诸如汽车发动机、飞行器的声辐射。
- 无限元技术

- 集成了经过测试和验证的 MSC Actran 的无限元技术
 - 不需要在结构和声学分析两个不同的程序之间进行复杂的数据传递
- 可以解决超大规模，全耦合的振动噪声耦合仿真问题。
 - 可以计算结构辐射的声压、声强、声功率等，为结构件的声辐射能力提供定量描述。
 - 高级声学模块

传统的有限元方法对声场的分析通常都是局限于中低频声场，对中高频声场，由于模态密度高，声波波长短，一般的有限元方法难以应用。为解决这一问题，MSC Nastran 采用先进的能量有限元和能量边界元技术(EFEA/EBEA)，可以准确求解中高频的声场问题。



4.自动部件模态综合法 – ACMS

ACMS(Automated Component Mode Synthesis)自动部件模态综合法，使得工程师能够实现对大模型的动力响应分析和声场分析，ACMS 法自动将一个大模型用区域分解法分成几个子区域进行各个子结构的模态分析，然后进行模态综合，由此得到整体结构的动力学特性。采用 ACMS 法可大大减少大模型的计算时间，例如对近 1400 万自由度的汽车模型（500Hz 内 2500 阶模态），采用全模型标准的模态法频率响应分析(SOL 111)进行求解用时约 26 小时，而采用 MSC Nastran 的 ACMS 方法用时只需 4 小时，同时占用的计算资源也大大降低，所以采用 MSC Nastran 的自动部件模态综合技术为大型结构的动力学分析在精度和计算速度上提供很好的解决方案。

在 MSC Nastran 中，自动部件模态综合法(ACMS)得到了大大增强，新增加了矩阵域自动部件模态综合法(MDACMS)，此法基于自由度计算，与已有的几何域自动部件模态综合法(GDACMS)相比计算速度更快，而且模型越复杂，计算效率提升越明显；可应用于模态分析，瞬态分析，频响应分析及优化分析，对于多点约束(MPC)多的情况下计算效率更高。

提供的多种区域划分方法（随求解类型变化）

- 几何区域划分（适用 SOL103, 111, 112, 200）
- 频率域划分（适用 SOL 111, 200）
- 自由度域（适用 SOL 103, 111, 200）– 新的缺省方法
- 几何域与频率域相结合(适用 SOL 111, 200)
- 矩阵域与频率域相结合(适用 SOL 200)
- 智能的并行处理，可对计算负荷进行动态平衡，充分利用 CPU 的性能。

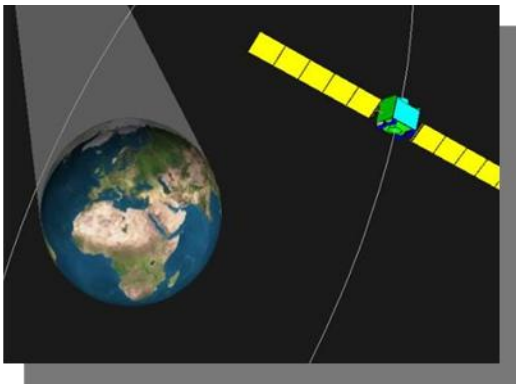
应用于不同求解类型:

- MSC Nastran 动力分析 (SOL103, 111, 112)
- MSC Nastran 声学分析 (SOL 108)
- MSC Nastran 设计优化 (SOL 200)
- MSC Nastran 与 ADAMS 的集成
- 结构外部超单元技术
- 声学外部超单元技术 (包含流体空腔和流固边界)

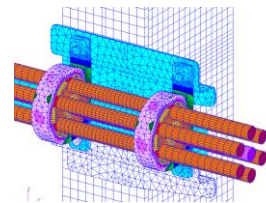
MSC Nastran 的 ACMS 技术可与分布式域并行计算技术 (DMP) 相结合, 对频率范围较宽且有多个动力载荷的复杂模型, 可大幅度提高计算速度和计算精度。

5. 热传递分析

热传递分析通常用来校验结构零件在热边界条件或热环境下的产品特性, 利用 MSC Nastran 可以计算出结构内的温度分布状况, 并直观地看到



结构内潜热、热点位置及分布。用户可通过改变发热元件的位置、提高散热手段、绝热处理或用其它方法优化产品的热性能。



MSC Nastran 可以解决包括传导、对流、辐射、相变、热控系统在内的热交换现象, 计算辐射视角系数, 并真实地仿真各类边界条件, 建立各种复杂的材料和几何模型, 模拟热控系统, 并能进行热-结构耦合分析。

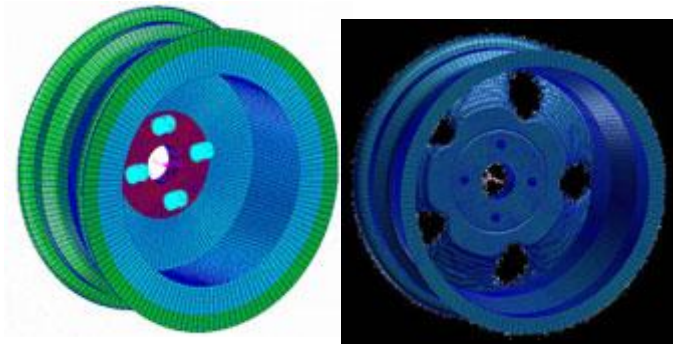
MSC Nastran 提供了适于稳态和瞬态热分析的线性、非线性求解算法。SINDA/G 和 P/Thermal 的高级热分析功能将集成到 MSC Nastran SOL400 中, 同时, MSC Nastran 可以连接多种商业化的空间轨道热分析软件, 如 THERMICA, NEVADA, TSS, TRASYS 和 SINDARad 等, 在这些软件中计算出来的辐射交换系数将自动传递 MSC Nastran 中。MSC Nastran 还提供了 9 个稳态求解器和 12 个瞬态求解器, 用户可以指定求解器求解, 同时支持双精度计算。

MSC Nastran 支持热-结构链式分析和完全的热-结构耦合分析。在热-结构链式分析中, 热分析的网格可以和结构分析的网格不同, 热分析的结果将自动插值到结构网格中。支持热接触功能, 热可以通过接触传递, 大大方便了建模。为航天航空结构、汽车发动机, 刹车系统, 动力总成等的热分析提供了有力的解决工具。MSC Nastran 中的迭代求解器可以高效求解大型体单元模型的非线性稳态和瞬态热分析问题。

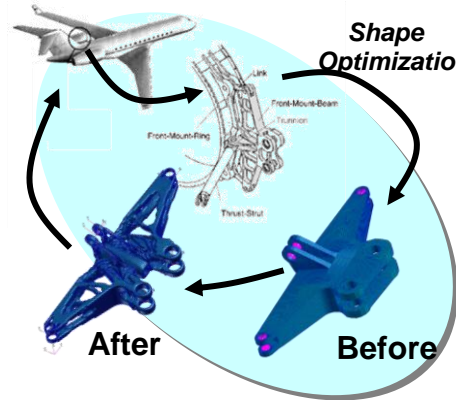
6. 设计灵敏度及优化分析

设计优化是为了满足特定优选目标如最小重量、最大第一阶固有频率或最小噪声级等的综合设计过程。MSC Nastran 拥有强大、高效的设计优化能力, 其优化过程由设计灵敏度分析及优化两大部分组成, 可对静力、模态、屈曲、瞬态响应、频率响应、气动弹性和颤振分析进行优化。高效的优化算法允许在大模型中定义成千上

百个设计变量和响应。设计灵敏度支持并行环境下的计算，大大提高了设计灵敏度的计算效率。



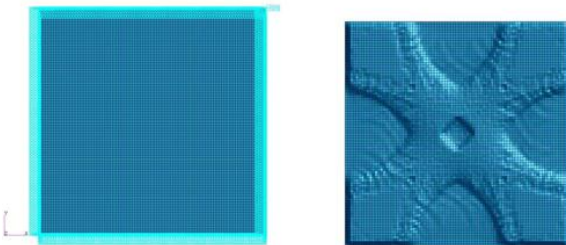
轮毂拓扑优化分析



飞机发动机挂架多工况多约束优化分析

除了具有用于结构优化和零部件详细设计过程的形状和尺寸优化设计的能力外，MSC Nastran 又集成了适于产品概念设计阶段的拓扑优化功能。

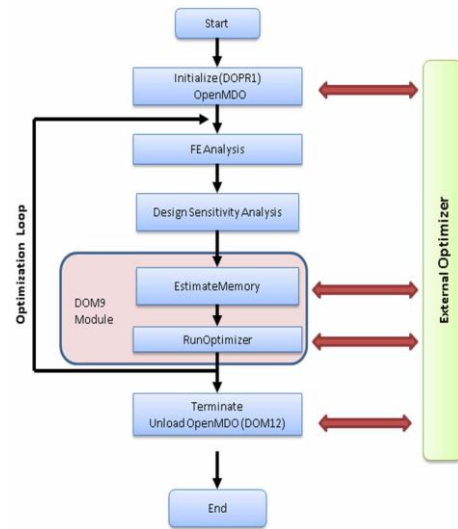
拓扑优化是与参数化形状优化或尺寸优化不同的非参数化形状优化方法。在产品概念设计阶段，为结构拓扑形状或几何轮廓提供初始建议的设计方案。拓扑优化采用 Homogenization 方法，在满足结构设计区域的剩余体积（质量）比的约束条件下，对静力分析满足最小平均柔度或最大平均刚度，在模态分析中，满足最大基本特征值或指定模态与计算模态的最小差。目前的拓扑优化设计单元为一阶壳元和实体单元。拓扑优化还包括 Topometry 功能，它可以以每个单元作为设计变量，根据设定的目标，优化每个单元的厚度（材料分布）；Topography（形貌）优化，优化板壳的形貌。拓扑优化的过程中可以考虑加工工艺要求，以保证优化后的结构能被制造出来。Topometry 优化还支持复合材料层厚度的优化。



钣金件的形貌优化

另外，MSC Nastran 还有以下全新的优化功能：

- 综合了尺寸，形状和拓扑优化，更快速的找到优化路径
- 外噪声响应优化，可以将汽车的 NVH 优化分析扩展到外声场
- 随机优化
- Sol 200 可以有粘接接触，这个是特有的装配体优化功能
- 非线性优化
- 部件超单元优化，使用超单元技术，提高优化效率。
- **OpenMDOTM** 外部优化器服务
通过用户定义的 SCA 服务,访问外部优化器,柔性使用第三方优化器或者内部开发的优化器,可以对不同优化算法进行验证和比较



MSC Nastran 的优化功能可以实现多学科优化，可以进行以下分析类型及其组合分析的优化。

- 静力分析 (SOL 101)
- 模态分析 (SOL 103)
- 屈曲分析 (SOL 105)
- 直接法复特征值分析 (SOL 107)
- 直接法频率响应分析 (SOL 108)*
- 模态法复特征值分析 (SOL 110)
- 模态法频率响应分析 (SOL 111)*
- 模态法瞬态响应分析 (SOL 112)*
- 静气弹分析 (SOL 144)
- 颤振分析 (SOL 145)

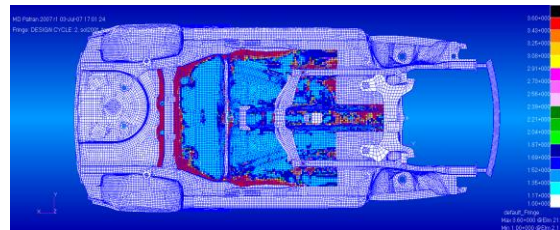
凡是标*号的都可以进行噪声优化。

在 MSC Nastran 中开发了一种新的高效的优化器(IPOPT)，可处理数万个设计变量，对约束较少的优化问题效率特别高，该优化器可进行形状、大小、拓扑、形貌和 Topometry 优化。

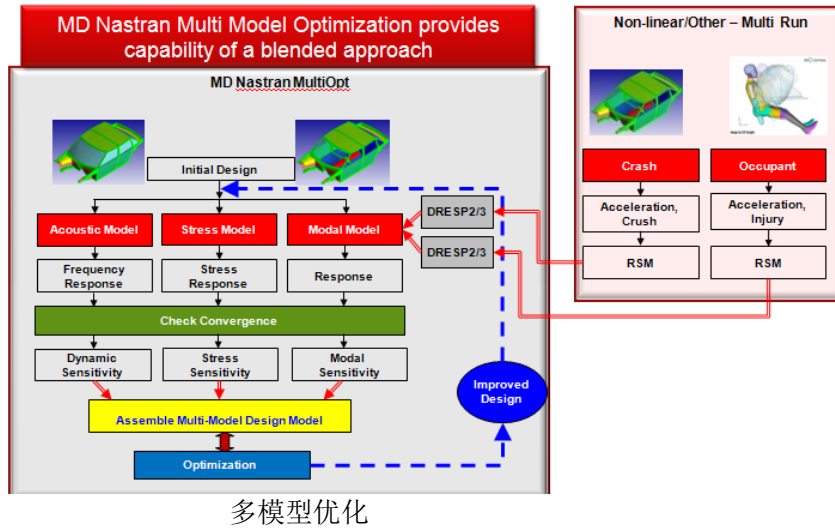
除了线性优化外，MSC Nastran 还具有非线性响应优化功能。可进行大小、形状和拓扑优化，并且支持接触。

- 多模型优化

多模型优化技术可以实现多个重要设计学科的同时优化。多模型优化技术集成了不同学科模型，并同时优化整个设计以满足多个重要的设计目标如性能、成本、寿命以及重量等。优化过程自动进行每个模型的计算，并自动传递数据到下一个模型。多模型优化可实现真正的全局最优。

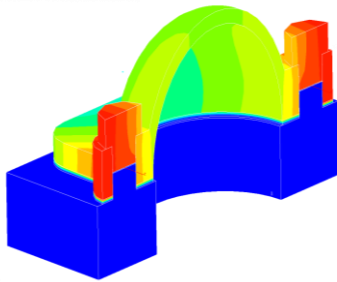


奥迪汽车优化分析



7. 装配体建模

Connectors - 包含焊点单元 CWELD，连接单元 CFAST，支持大位移，大转角，缝焊单元 CSEAM。可以计算连接单元辅助节点的位移以及 CSEAM 单元的应力和应变。CWELD 单元的连接力可以在用户指定的坐标系中输出。

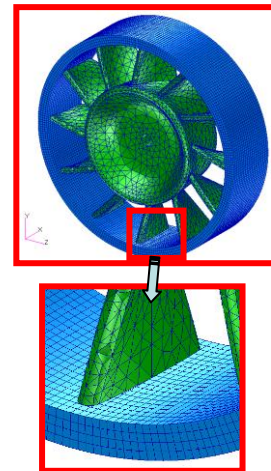


Bolts - 考虑螺栓预紧力，自动实现装配体模型中的螺栓预紧。

Line Interface Element - 线性界面单元，用于连接部件边界不协调网格，壳-壳，梁-梁，也可用于总体到局部的分析。

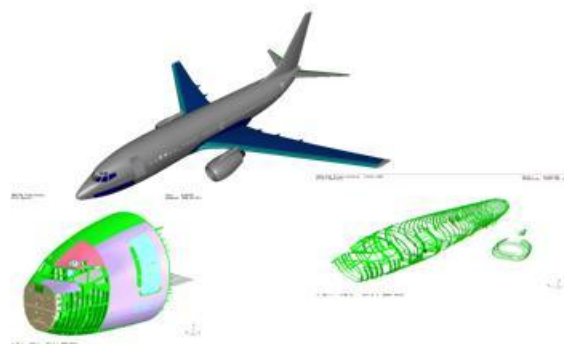
Contact&Glue - 高级装配体建模，使用线性接触定义装配体模型，可用于 sol101 的求解。所有的线性求解器都可以用 Glue 连接功能来协调不一致的网格。

全自动刚性单元 RBE2GS - 在接近的一对节点之间进行刚性连接



8. 多级超单元分析

超单元分析是求解大型问题一种十分有效的手段，特别是当工程师打算对整体结构进行局部修改或进行详细分析的时候。超单元主要是通过把整体结构分解成很多小的子部件来进行分析，即将结构的特征矩阵（刚度、传导率、质量、比热、阻尼等）压缩成一组主自由度，类似于子结构方法，但较其相比具有更强的功能且更易于使



用。子结构可使问题表达简单、计算效率提高、计算机的存储量降低。超单元分析则在子结构的基础上增加了重复和镜像映射以及多层子结构功能, 不仅可单独运算而且可与整体模型混合使用, 结构中的非线性与线性部分分开处理可以减小非线性问题的规模。应用超单元工程师仅需对所关心的, 影响较大的超单元部件进行重新计算, 从而使分析过程更经济、更高效, 避免了总体模型的修改和对整个结构的重新计算。MSC Nastran 优异的多级超单元分析功能在大型工程项目国际合作中得到了广泛使用, 如飞机的发动机、机头、机身、机翼、垂尾、舱门等在最终装配出厂前可由不同地区和不同国家分别进行设计和生产, 此间每一项目分包商不但可利用超单元功能独立进行各种结构分析, 而且还可通过数据通讯在某一地利用模态综合技术通过计算机模拟整个飞机的结构特性。

多级超单元分析是 MSC Nastran 的主要强项之一, 适用于所有的分析类型, 如线性静力分析、正则模态分析、复模态分析, 几何和材料非线性分析、响应谱分析、频率响应、瞬态响应分析、模态综合分析(混合边界方法和自由边界方法)、设计灵敏度分析、稳态、非稳态、线性、非线性传热分析、声学分析、优化分析等。

9. 高级对称分析

针对结构的对称、反对称、轴对称或循环对称等不同的特点, MSC Nastran 提供了不同的单元类型和算法。高级对称分析可大大压缩大型结构分析问题的规模, 提高计算效率。

很多结构, 包括旋转机械乃至太空中的雷达天线, 经常是一些由绕某一轴循环有序周期性排列的特定的结构件组成, 对于这类结构通常就要用循环对称或称之为旋转对称方法进行结构分析。在分析时仅需要选取特定的结构件即可获得整个组件结构的计算结果, 可以减少计算和建模的时间。循环对称可分二种对称类型, 即简单循环对称和循环复合对称。简单旋转对称中, 对称结构件没有平面镜像对称面且边界可以有双向弯曲曲面; 复合循环对称中, 每个对称结构件具有一个平面镜像对称面, 且对称结构件之间的边界是平面。循环对称分析通常可解决线性静力、模态、屈曲及频率响应分析等问题。

最特殊的是轴对称问题, 可以用轴对称单元模拟, 也可以用循环对称的方法简化模型。

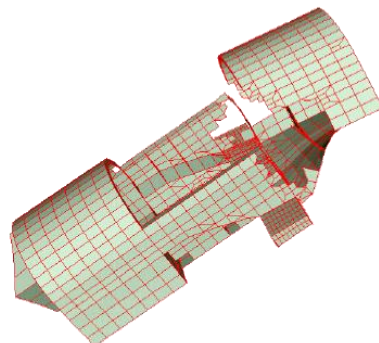
10. 复合材料分析

MSC Nastran 具有很强的复合材料分析功能, 在复合材料及复合材料的断裂、失效分析, 复合材料加工铺层模拟中持续占据领先地位。

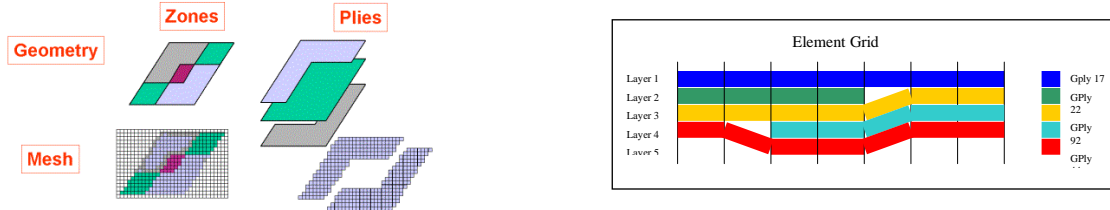
Laminate modeling-复合材料铺层分析

- 可以导入 FiberSim 的数据
- 铺层和折叠
- 可以输出 CAM 所需数据
- 可以将复杂结构的单元特性自动传递给 MSC Nastran 等求解器

MSC Nastran 支持 2D, 3D 复合材料单元, 实体



-壳单元层间剪切计算精度高；网格重划分功能使得裂纹扩展分析非常稳定；支持复合材料层间的 VCCT 和 Delamination 分层分析 (2D, 3D, Cohesive zone 模型)；还支持一些特殊的复合材料单元：

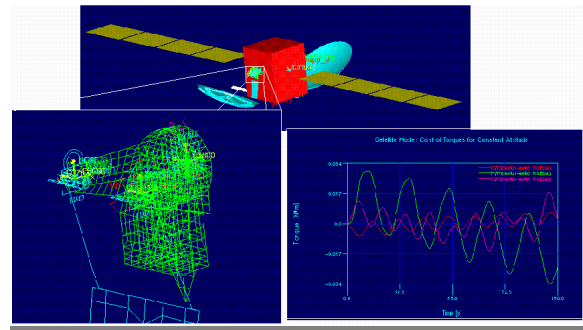
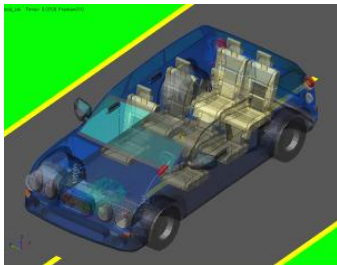


复合材料单元 (laminated composite and solid-shell elements)
Rebar 单元 (纤维加固复合材料)

借助于 MSC.Patran/SimXpert 可方便地定义各种复合材料。MSC Nastran 的复合材料分析适用于所有的分析类型。另外，复合材料的优化设计也进一步拓展，除了可以对加工铺层进行优化以外，还可以对总体铺层的每一层进行优化设计

11. 与 Adams 集成进行刚/弹性体多体分析

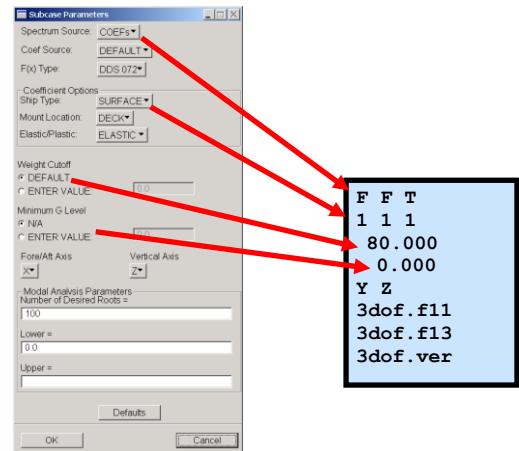
MSC Nastran 可与 Adams 无缝集成，使得 Adams 可以方便地对系统关键零部件的强度、刚度进行刚体/柔体混合的多体运动学、动力学分析。MSC Nastran 的求解输出可以导入到 Adams 中进行刚/柔耦合分析，同时 Adams 的线性化的系统模型也能导入到 MSC Nastran 中进行结构有限元分析。最新的 MSC Nastran 和 Adams 在数据转换过程中已经不需要借助 MNF 中性文件，使得接口更加直接。同时，Adams 包含了控制模块，可以更加准确的模拟汽车的真实运动过程。



12. DDAM—动力设计分析方法

新的求解序列 SOL 187
用于研究水下爆炸对船用设备的冲击效应
前后处理界面支持
DDAM 的主要分析对象

- 排气设备
- 桅杆设计
- 军船船用设备
- 推进器桨轴设计

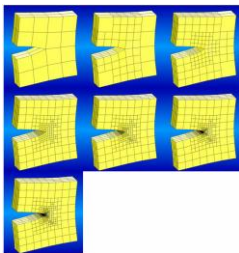
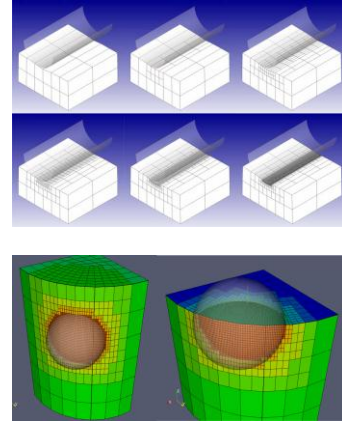


- 方向舵设计优化
- 动力系统，如燃气轮机等

13.局部自适应网格

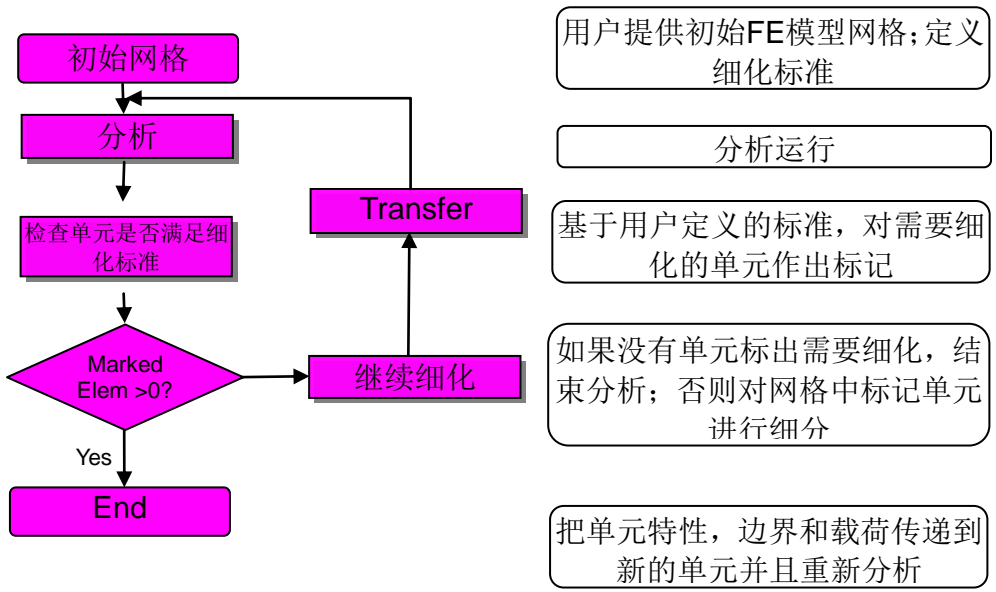
功能

- 一部分结构自动网格细化 (h-adaptivity)
- 能够用于接触模型和超单元
- 可以用于 SOL101 和 SOL400
- 可以用于不同类型的单元
 - 例如： 三角形/四边形，线性/二次单元，线/面/体



价值

- 在应力集中的区域自动网格细化
- 不需要预先知道高应力区域的位置
- 避免了反复手工网格重划分



14. 非线性功能 (SOL 400 SOL600 SOL 700)

MSC Nastran 非线性模块用于分析高度非线性问题，二维、三维大位移接触等问题，其功能强大，涵盖了完整的非线性类型即材料非线性、接触、大位移/转动和大应变，并且包含了隐式，显式，以及链接分析功能的非线性分析。其中，接触体的定义十分方便，只需定义独立的接触体和接触表，可以定义变形体间、变形体-刚性体间、自身接触等接触类型，接触可以是考虑各种摩擦模型、粘连和分离等。具有丰富的单元库和非线性材料模型，分析类型可以是静力非线性、非线性屈曲和

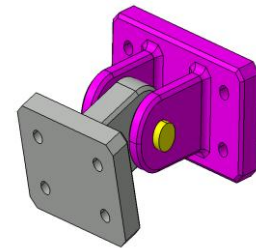
Sol 400	Sol 600	Sol 700
高级非线性 耦合分析 静力，瞬态 非线性联合 分析 接触分析 链式分析 扰动分析	隐式非线性 接触分析 热分析	显式非线性 Dyna+Dytran 包括流固耦合

模态、动力非线性和蠕变分析及多种非线性的组合。它可采用区域分解并行技术，大大加速非线性分析过程。MSC Nastran 的非线性求解序列包含了：

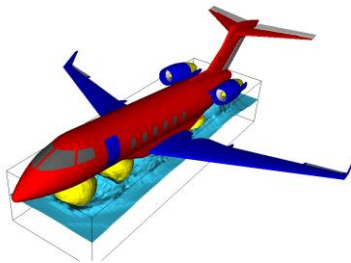
MSC Nastran的隐式非线性分析模块 SOL 600，集成了功能强大的非线性软件Marc的功能，可以求解各种高度结构非线性问题以及热分析、耦合分析问题等。SOL 600所能解决的问题涵盖了各个工程领域，

如航空航天、汽车、通用机械、生物医疗、电子电器等；能够解决各种类型的非线性问题，无论是简单的还是复杂的，包括多体接触、多工况载荷、非线性材料和几何非线性等。 SOL 600支持多种复杂的非线性材料模型，包括复合材料、粘弹性材料和超弹性材料等。SOL 600可以对加工成型，如板料冲压、体成型等高度非线性的问题进行虚拟仿真，预测加工结果。网格自动重划分功能可以高效的解决复杂的多体接触问题，而不需要人为的对模型进行重新检查、重新划分网格和重新递交分析，节约大量的时间和费用。此外，SOL 600还具有如下功能：

- 热传导分析和热应力分析的自动建模
- 进行复合材料的热分析时可以考虑厚度方向的热梯度分布
- 增强了建模功能，包括铆接单元、焊点单元和 Bush 单元（CFAST, CWELD, CBUSH）的大变形方程
- 使用虚裂纹闭合法（VCCT）或者洛仑兹方法计算应力强度因子；计算复合材料分层
- 摩擦面不同方向不同的摩擦系数



MSC Nastran 的显式非线性分析模块 SOL 700，完全集成了 Dytran 的流固耦合分析功能和 LS-DYNA 的结构分析功能，可进行各种高度瞬态非线性事件的仿真分析。该模块采用显式积分法并能模拟各种材料非线性、几何非线性和碰撞接触非线性，特别适合于分析包含大变形、高度非线性和复杂的动态边界条件的短暂的动力学过程。软件中同时提供拉格朗日求解器与欧拉求解器，因而既能模拟结构又能模拟流体。拉格朗日网格与欧拉网格之间可以进行耦合，从而可以分析流体与结构之间的相互



作用, 形成精确独特的流固耦合求解技术。软件具有丰富的材料模型并且提供各种接触的定义模式，能够模拟从金属、非金属（包括土壤、塑料、橡胶，泡沫等）到复合材料，从线弹性、屈服、状态方程、破坏、剥离到爆炸燃烧等各种行为模式，和模拟各种复杂边界条件。对于超大变形问题，SOL 700 提供了独特的无网格 SPH（Smooth Particle Hydrodynamics）技术，可模

拟流体以及超高速碰撞时的大变形。同时，SOL 700 还支持链式分析功能，可以进行显式—显式、显式—隐式、隐式—显式—隐式的链式分析，用于多步跌落分析、回弹分析和预应力—回弹分析。

SOL 700 模块支持 160 多种材料模型，具有 50 多种接触类型，接触类型齐全。并具有极好的并行计算能力，包括分布式并行算法（DMP）和共享内存式并行（SMP）。DMP 不仅可用于结构分析，而且可用于流固耦合分析，支持含多材料欧拉域的 FSI 分析。目前，SOL700 已经支持 LSTC 真人大小 50% 的三代假人模型。SOL700 广泛应用在以下领域。

- 结构的适撞性分析，如汽车、飞机、火车、轮船等运输工具的碰撞分析、船体搁浅、鸟体撞击飞机结构、航空发动机包容性分析等。新增 2 个新材料模型：木材材料模型（MATD143）和雪材料模型（MATD155），用户可模拟的范围更广，包括：直升机叶片在树林和雪地中的坠撞，船舶冰山的碰撞等。
- 安全防护分析，如安全头盔设计、安全气囊膨胀分析以及汽车-安全气囊-人体三者结合在汽车碰撞过程中的响应，飞行器安全性分析（飞行器坠毁、带气囊着陆等）
- 跌落试验，如各种物体（武器弹药、化工产品、仪器设备、电器如遥控器、手机、电视机等）的跌落过程仿真
- 金属弹塑性大变形成形，如钣金冲压成形、全三维锻造成形等。具有热分析和耦合分析能力，包括：

热机耦合分析、热接触、热材料以及热载荷和边界条件等。在显式非线性计算中，可以考虑热的影响。例如：在钣金成型模拟中，考虑初始温度和热接触。

- 爆炸与冲击，如水下爆炸、地下爆炸、容器中爆炸对结构的影响及破坏、爆炸成形、爆炸分离、爆炸容器的设计优化分析、爆炸对建筑物等设施结构的破坏分析、聚能炸药的能量聚焦设计分析、战斗部结构的设计分析；
- 水下/空中弹体发射过程，火炮助推器模拟，动态仿真高速、超高速穿甲，如飞弹打击或穿透靶体(单个或复合靶体)及侵彻过程等问题
- 流体动力分析，如液体、气体的流动分析、液体晃动分析，水上迫降
- 轮胎在积水路面排水性和动平衡分析
- 高速列车运行系统动力学分析。高速列车运行

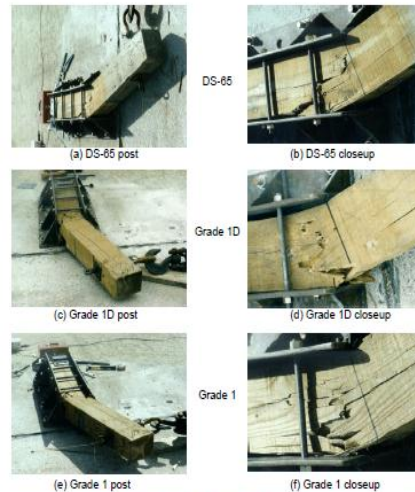
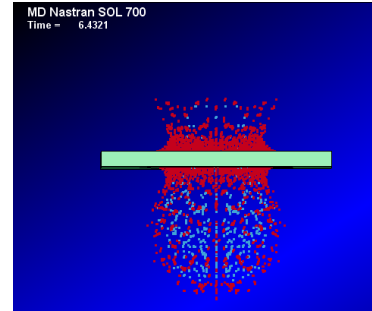
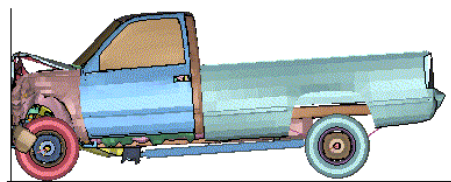
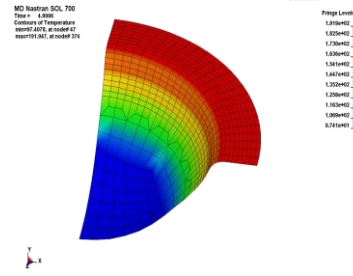
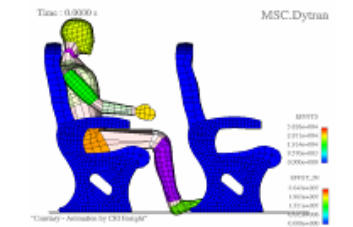
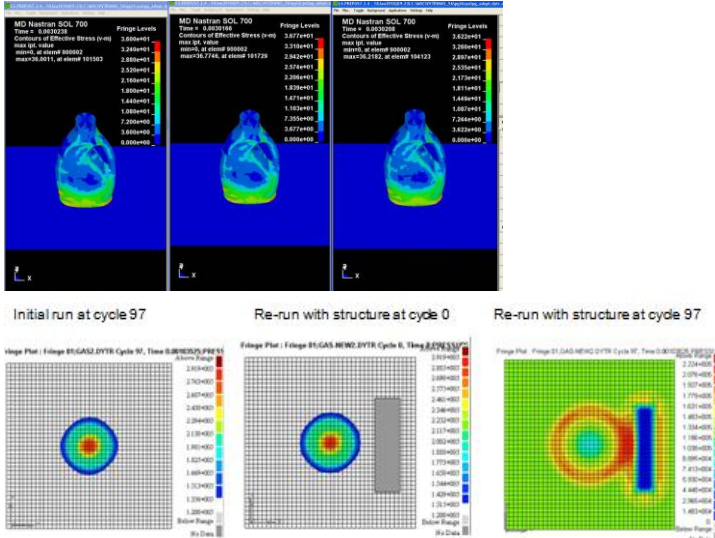


Figure 59. Typical static post test results.



中引起的空气脉动力对声屏障结构的作用，车辆过桥的动态响应及其它瞬态高速过程仿真。

- 支持自适应欧拉网格的分布式并行计算(DMP)，流固耦合问题求解可以更加高效。同时支持细网格到粗网格的结果映射，大大提高了计算效率。用户在爆炸波的模拟中，可以将计算分为两步，第一步计算忽略结构，第二步计算考虑结构，并将第一步的结果读入。这样，用户可以大大提高效率，并支持多个结构。

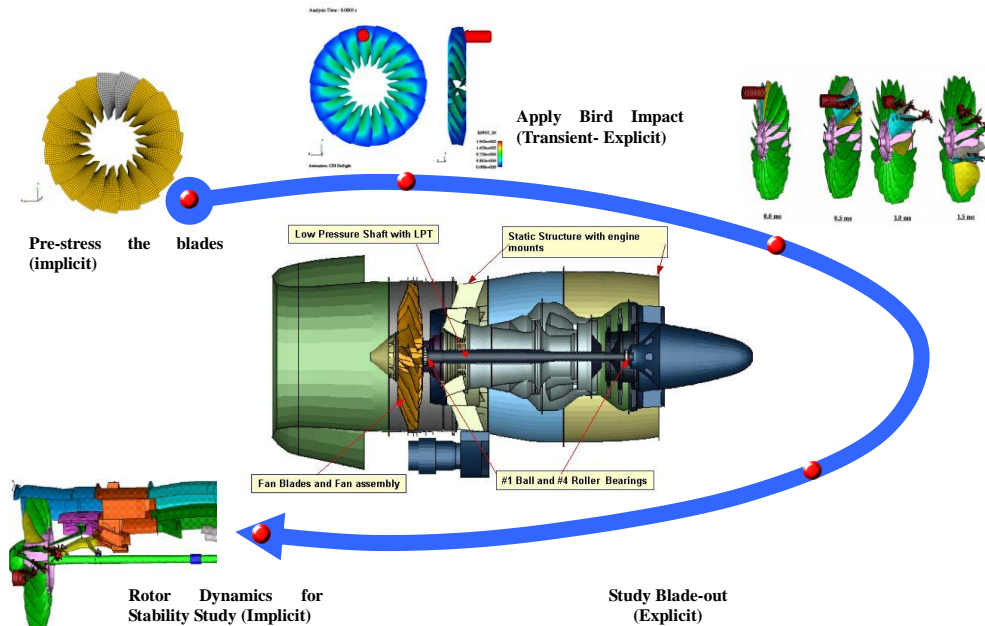


MSC Nastran 的高级非线性模块 SOL 400

具有超强的非线性分析能力。其特色功能有：

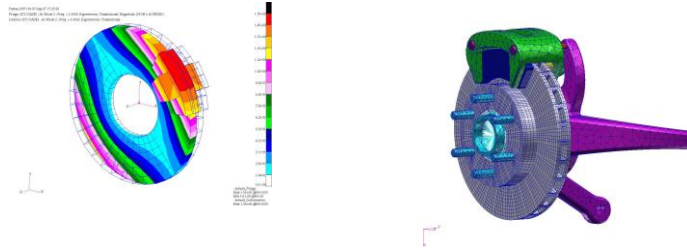
1. 分析链功能

可以实现链式多步分析，前一步分析结果是后一步分析的初始条件。广泛应用于各种预载荷、预工况分析。可以链接的分析类型有：线性和非线性静态分析、模态分析、屈曲分析、频率响应分析、瞬态响应分析、直接法复特征值分析、模态法复特征值分析、Body Approach 分析等。



2. 扰动分析

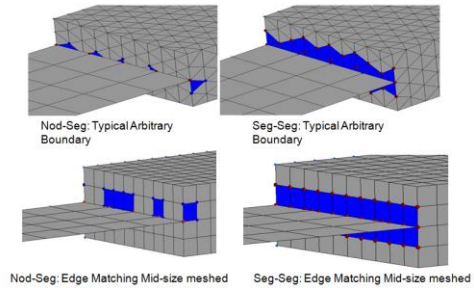
可以获取结构在扰动载荷下的结构响应，研究结构在不平衡状态，或者在平衡状态附近的结构特性。扰动分析包括线性扰动分析，非线性变形结构的正则模态和复特征值的提取，频率响应和模态法瞬态响应的计算。汽车刹车系统的啸叫分析是特殊的线性扰动分析的案例，它综合了接触约束，非对称摩擦力刚度，和复特征值的提取。



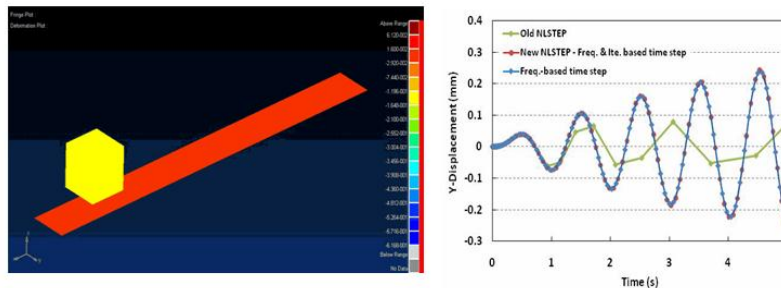
汽车刹车盘啸叫分析

3. 接触分析功能。

支持各种粘接和接触，同时粘接还可定义脱离条件。如体体粘接，体壳粘接，壳壳粘接，壳面内边边粘接等。对不同单元类型的粘接，还可以定义传递力矩的粘接，如体壳粘接，体梁粘接，壳梁粘接等。接触定义除点面接触和面面接触外，还可以定义梁梁接触和壳的边边接触。大大简化了接触分析建模。采用 Segment-to-Segment 的接触算法，支持段段接触的摩擦分析，在滑动摩擦中考虑非对称刚度矩阵，在可变形体中考虑有限滑移。采用 Segment-to-Segment 的接触算法，接触定义无需考虑主-从关系，可得到更光滑的接触力。



4. 瞬态响应自适应时间步长调整技术，在瞬态响应分析过程中，可以基于频率和迭代自动调整时间步长，提高分析效率和精度。



5. 使用等效静态载荷法 (Equivalent Static Load (ESL)) 进行非线性优化。
6. 集成了稳态和瞬态热分析功能，可实现稳态-瞬态的链式分析和热-结构的链式分析。
7. 用户子程序功能，可以定义用户自己的单元、材料和接触计算方法等。

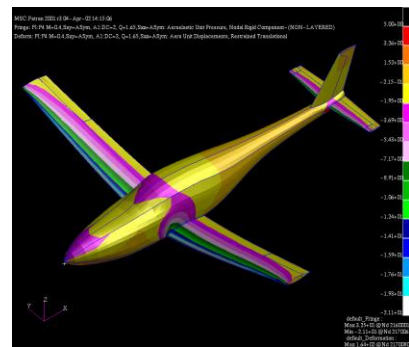
8. 非线性单元偏置，对梁、板单元的偏置，支持微分刚度，并且质量矩阵、载荷均可以考虑偏置的影响。
9. 非线性谐波响应功能，计算非线性系统在谐波激励下的周期响应。

15. 气动弹性及颤振分析

高速行驶的飞行器和受高速气流作用的结构在空气动力和气流扰动的作用下会产生变形和弹性振动，进而会引起附加的气动力，而附加气动力又使结构产生附加的变形和运动。气动弹性力学就是研究气动力、弹性力和惯性力之间的相互作用以及由此引起的对飞行器设计影响的一门边缘学科。颤振现象的本质是气动弹性动不稳定现象。

气动弹性问题涉及气动、惯性及结构力间的相互作用，使用 MSC Nastran 的气动弹性模块可以进行飞机、直升机、导弹、悬索桥甚至烟囱和高压线的气动弹性分析和设计。MSC Nastran 的气动弹性分析功能主要包括：

- 静态气弹响应分析
- 动态气弹响应分析（包括：模态频率响应、模态瞬态响应、随机响应分析）
- 结构颤振分析
- 气动弹性设计敏感度和优化
- 分析的空气流速范围从亚音速到几个马赫数的超音速



A502 静压力分析

适用于各种马赫数的气动力分析方法

- 亚音速偶极子网格法（含体的干扰）
- 片条理论（适用于各种马赫数）
- 超音速马赫盒（Mach Box）方法
- 超音速活塞理论
- 超音速气动分析法 - ZONA51，可以用于超音速运输机、战斗机和导弹的气动力分析。

颤振分析功能

支持如下分析方法：

- K 法：该方法为广大气动弹性分析人员所熟悉，允许常规的阻尼表述。
- KE 法：类似 K 法，但更有效，用于精细颤振分析。
- PK 法：能对响应进行逼真的评估，即便系统处于亚临界状态。

此外，在颤振分析中还可以引入控制系统，也可以从广义矩阵中提取振荡的稳定性导数。气弹分析还有如下的功能的增强：

- 监视点可以更新和相加
- 新型监视点类型(MONCNM)，可以逐条监视气弹结果
- 适合气弹结构分析的多种连接技术
- 新的气弹插值方法提高计算精度
- 稀疏矩阵形式存储样条矩阵大大提高了求解问题的规模。

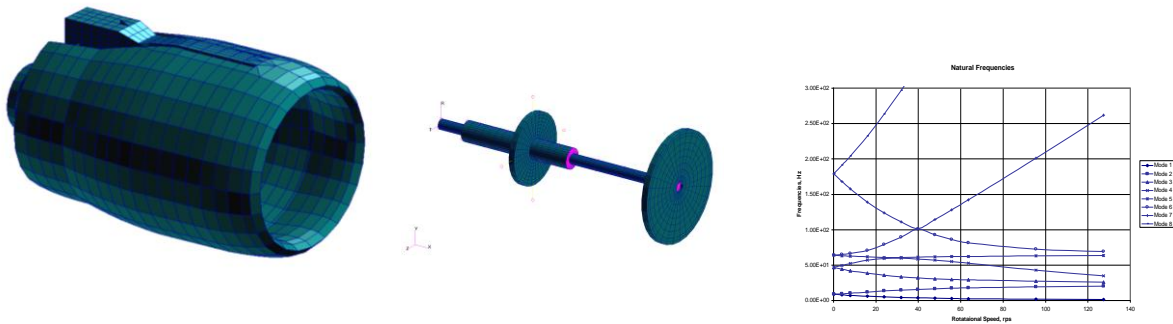
- 气动力的输出，可传递到结构上做详细的应力分析，可用 Patran 显示。
- **高级样条方法 III**

高级样条功能的开发是为了应用标准的 Nastran 气弹技术到使用 CFD 程序创建的气动模型上。经验表明气弹分析中对样条的操作要占用很多的计算时间和磁盘空间。高级样条方法 III 可以缓和样条操作对计算时间和磁盘空间的要求。

高级样条方法 III 的方法来自于 Holger Wendland 教授提出的个体分割概念，通过把用户输入的样条细分成许多小的重叠的样条改进计算性能。在另一方面，高级样条方法的样条松弛能力得到改进，可以允许用户仅对位移样条施加松弛，而不对力样条施加松弛。

16. 转子动力学特性分析

转子动力学主要应用在电力、核能、石化、机械、航空与航天等部门，解决旋转机械的动力设计、振动分析、故障诊断等问题。它的主要任务：分析临界转速、转子不平衡引起的同步振动响应、开始失稳的门坎转速、预计转子在加速或减速过程中的瞬态响应。



航空发动机及其转子动力学分析

MSC Nastran 的转子动力学功能提供给用户相对简便的方法来进行旋转机构的设计与分析。可以进行频响分析（直接法与模态法）、复模态（直接法与模态法）、静态、线性瞬态与非线性瞬态（只有直接法）分析，以满足设计上的需求。

频响分析用来分析转子一支承系统受到任意激励的响应，既可计算与转速无关的外部激励的响应，也可计算由于转子不平衡或其他与转速相关激励所产生的响应。

复模态分析可计算涡动频率与临界转速，涡动模态是转子一支承系统在转子以某一特定转速转动情况下的模态。临界转速是影响转子设计最重要的指标。

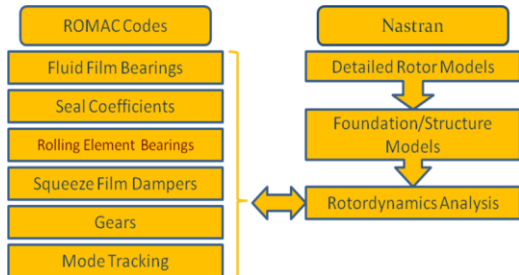
静态分析用来分析由于偏斜等因素造成的载荷影响，避免转子叶片与机匣或其他定子部分的摩擦。

直接线性或非线性瞬态分析可进行转子叶片的动力学仿真，保证结构的强度及避免振动超限。

MSC Nastran 的转子动力学特性分析，考虑了陀螺效应和挤压油膜阻尼器模型。用来分析转子的涡动模态、临界转速、频率响应、瞬态响应以及转子的静态特性等。

可以分析航空发动机、压缩机、离心机、汽轮机、涡轮机和泵等旋转机械转子系统的陀螺力矩和动力学特性。

MSC Nastran 转子动力学集成了美国弗吉尼亚大学的 ROMAC THPAD 软件的功能。THPAD 可以分析包括轴瓦的机械和热变形，径向热变形，液体膜传导，跨膜的粘度变化，支点变形以及用于能量方程和湍流的两相空化模型。基于轴承的物理性质和尺寸以及转子转速和激励频率来计算轴承的系数。因而 MSC Nastran 的转子动力学模块可以处理更柔性的部件，建立频率相关的轴承模型，提高计算精度。与 THPAD 的集成使得 Nastran 对包含液压薄膜轴承、滚动轴承、可倾斜瓦式轴承、密封、齿轮等的转子进行精确分析。



17. Krylov 求解器

Krylov 求解器，能快速有效地计算大频率范围阻尼动力系统的频率响应问题。系统动力方程组需要花费大量的时间进行矩阵分解和回代，Krylov 子空间法直接频率分析法可以快速分解矩阵，求解动力方程组，进行动力学频响分析，特别适合分析带阻尼的动力系统、大量频率值计算系统和频率密度大的实体模型等，如消音器的声场分析，发动机的频率响应分析等。它用更小的频率增量步扫描大频率范围，使得计算更加准确。

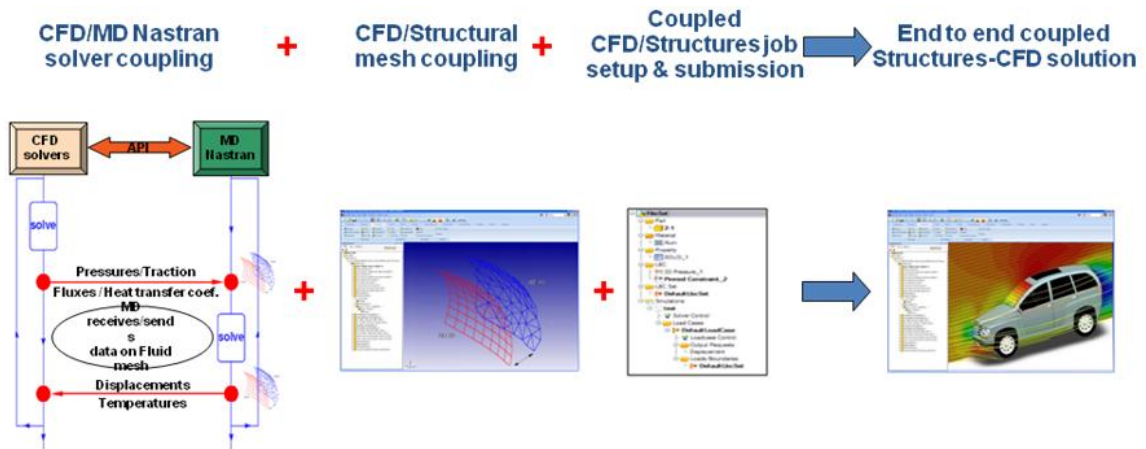
18. 载荷管理

飞行器的设计过程中常常需要对多种不同载荷工况下的机身结构进行分析。通常情况下，载荷工况的改变，需要重新计算才能变化工况下的结果。MSC Nastran 的载荷管理功能可以使用户使用 MSC Nastran 静态分析中的载荷个体，不但可以实现对载荷工况的管理，包括载荷的添加、删除、组合等，而且可以根据载荷工况的变化，自动对已有计算结果进行数据恢复，不要重新计算而得到变化后工况下的结果。

19. CFD 接口开发

MSC Nastran 和 CFD 的接口程序 (OPENFSI)，实现了 MSC Nastran 和主要的 CFD 软件之间的协同仿真。该接口是一个开放的，实现内部强耦合的一个接口，通过 OPENFSI，MSC Nastran 的多学科拓展到计算流体力学领域，真正实现了多学科一体化仿真平台的概念。

通过 OPENFSI，MSC Nastran 计算流固边界处节点的位移和速度输入到 CFD 软件中，同时返回 CFD 软件中边界表面节点的压力到 MSC Nastran 中，实现强耦合计算。



六. MSC Nastran 的单元库

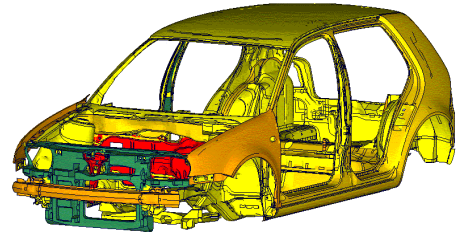
针对实际工程应用，MSC Nastran 独特的单元库具有 100 余种单元类型，通过 MSC 自行开发的“单元派生技术”，可根据解题问题的需要通过变换单元缺省参数，与拥有数百种单元的其它有限元分析软件相比单元类型更多、使用更灵活、更高效。所有这些单元可满足 MSC Nastran 各种分析功能的需要，且保证求解的高精度和高可靠性。

MSC Nastran 装配体建模功能

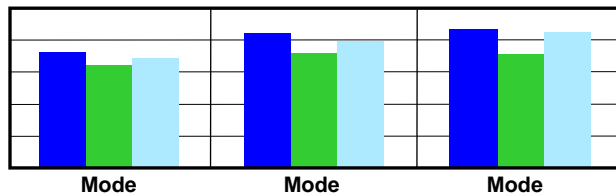
- 缝焊单元(CSEAM)
- 可以输出焊点单元(CWELD, CFAST)的终端位移
- 新型连接类型 RBE2GS 允许两个邻近的 RBE2 单元沿着指定的搜索半径搜索和连接它们的独立节点 (independent grids)

大众的白车身模型

- 3712 个 CWELD 单元
- 3562 个连接 2 个部件
- 150 个连接 3 个部件



模态结果比较



大众汽车公司乘用车身动力学部 Hillmann 说：“过去，全车身模型的点焊建模是个耗费大量时间的过程。现在利用 Nastran 的新功能的焊接单元，大众公司节约了 30% 以上的时间”。

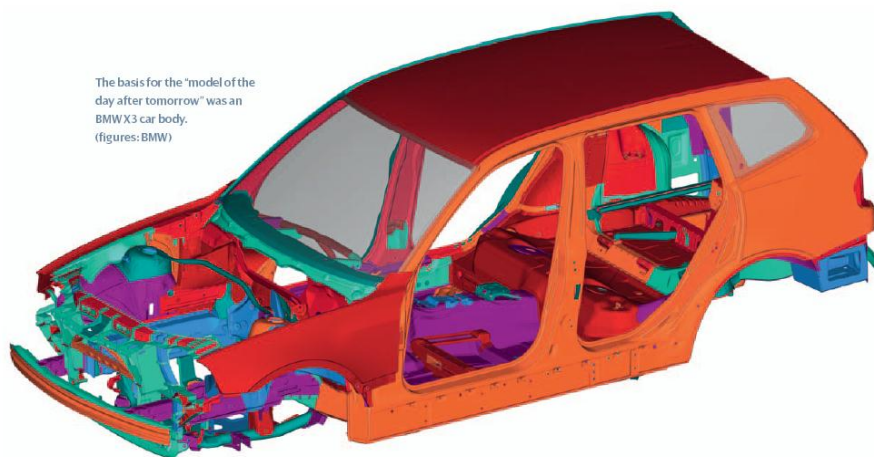
七. 求解方法与高性能

MSC Nastran 具有很多先进的求解方法，以下是其中主要部分：

- 线性方程组的求解：直接法、迭代法、多前沿稀疏法、并行法等；
- 实特征值求解：Lanczos 法、增强逆迭代法、Givens 法、改进 Givens 法、Householder 法、带 Sturm 序列检查的逆迭代法等；
- 复特征值求解：Determinated 法、Hossen-bery 法、新 Hossenbery 法、逆迭代法、复 Lanczos 法，Implicitly Restarted Arnoldi Method (IRAM)法等；
- 非线性方程组迭代求解：全牛顿—拉夫森法、修正的牛顿—拉夫森法、有应变修正的全牛顿—拉夫森法；
- 矩阵运算有七种算法：致密乘致密法、致密乘稀疏法、稀疏乘稀疏法、稀疏乘致密法、稀疏法、三重乘法和并行乘法等。根据具体问题，自动选择最优的矩阵算法；
- 矩阵分解方法：对称矩阵的 Cholsky 法、非对称矩阵的标准法；
- 带宽优化算法：Cuthill-McKee 法、Gbbs-Pool-Stk 法和混合算法等。优化准则：波前均方根最小、带宽最小、轮廓最小、波前上限最小；
- DDAM 法（动力设计分析方法）：使用 DDAM 可以分析各种潜水艇和水面舰船体受爆炸冲击波响应，例如分析动力装置（燃气轮机，汽轮机，柴油机），电子设备及其它结构受爆炸冲击波响应等，满足 NAVSEA（美国海军海上系统司令部）论证要求

高性能计算一直以来都是有限元分析所关注的问题，MSC Nastran 新版本版提供了多个数值计算领域和高性能计算（HPC）的新功能和功能增强，这些功能可以用来解决大规

模、动力学和 NVH 的仿真计算，也可用于隐式非线性、装配体建模、优化设计、转子动力学和气弹性方面的计算。新释放的 CASI 迭代算法，对大规模的实体单元模型计算可以成倍的提高计算速度。MSC Nastran 已经成功在小型机上求解 4.5 亿个自由度的超大型规模的宝马公司的汽车模型。非对称矩阵迭代算法，主要用于外噪声，刹车片等考虑流体，摩擦力而引入非对称矩阵的问题，速度可以提高 2 倍以上。同时，MSC Nastran 一直致力于 SMP 和 DMP 的开发，除了 MSC Nastran 并行计算，Sol600 的并行计算的效率进一步提高，SOL700 是唯一拥有欧拉求解并行计算的 CAE 分析工具



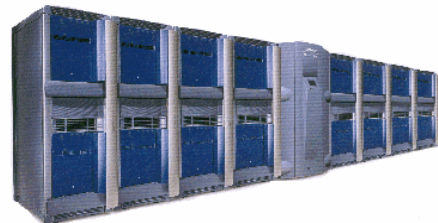
宝马公司超大规模汽车模型

CASI 迭代求解器

- 显著减少 I/O 的使用
- 分析类型
 - 线性和非线性接触
 - 非线性瞬态结构分析
- 主要针对实体单元非常有效

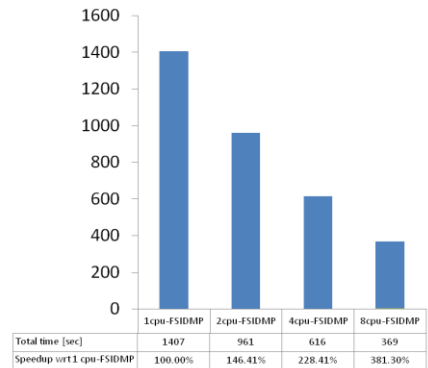
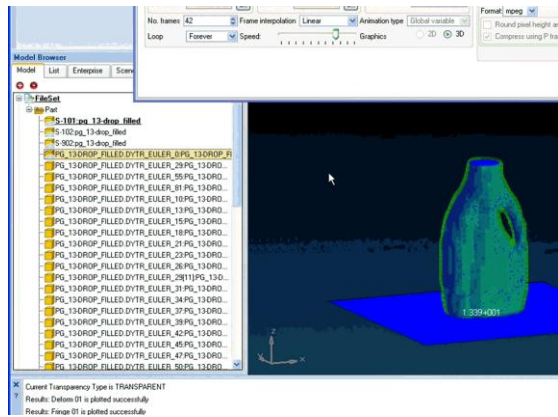
非对称矩阵迭代求解器

- 对流和热辐射分析
- 跟随力刚度
- 摩擦力刚度
- 阻尼矩阵
- 传递函数
- 相比直接迭代求解器速度快 2 倍
- 主要针对大规模实体单元

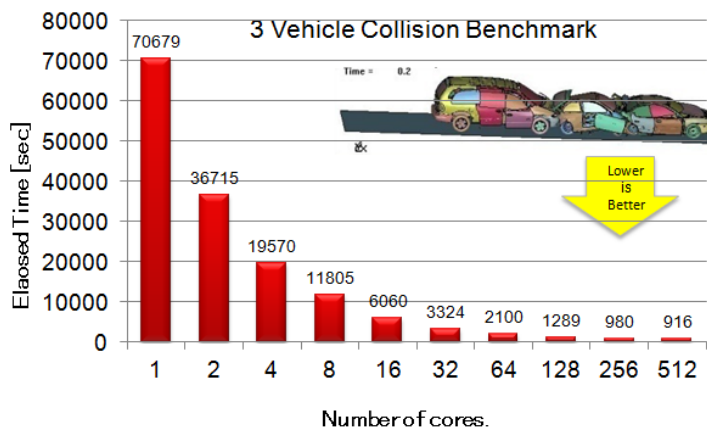


SMP 和 DMP

- 并行效率进一步提高
- 支持 Microsoft CCS 操作系统的并行计算
- Sol700 的欧拉算法开始支持分布式并行
- 支持线性和非线性接触
- 内存自动分配技术 mem = max 显著提高 SOL 400 的计算效率
- 支持 GPU，进行浮点计算。支持 SOL 101, 400, 103, 110, 111, 112 和 200 等求解序列，可大大缩短大模型的实对称稀疏矩阵分解时间，提高效率。MSC Nastran 可以将 GPU 和 CPU, SMP, DMP 混合使用，提高加速比
- Intel AVX 支持



欧拉求解器 DMP 并行分析测试

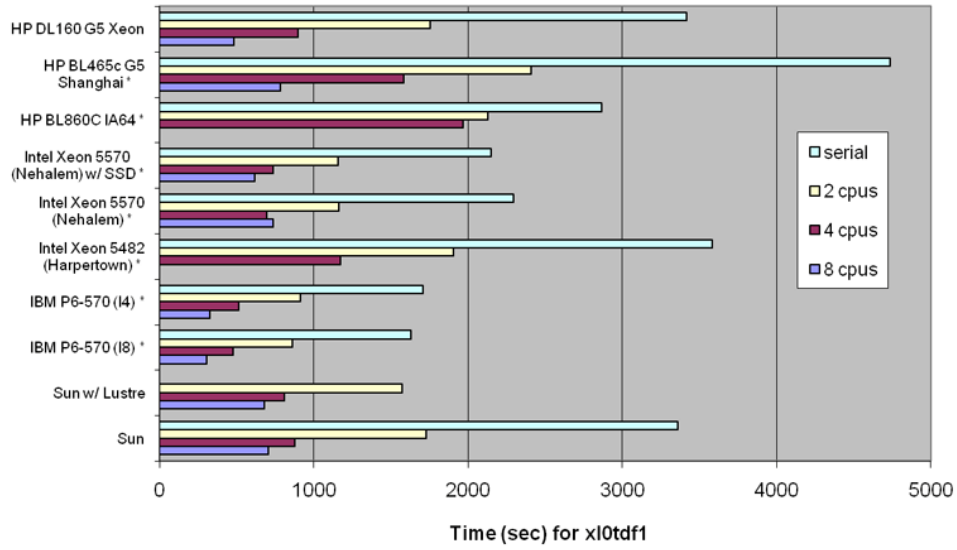


System	SGI Altix ICE 8400
CPU	Xeon X5690 3.46GHz
Memory	24GB/node
Inter connect	InfiniBand 40Gb/sec(4xQDR)
OS	SUSE Linux Enterprise Server
Application	MD Nastran 2011

Nastran SOL 700 Benchmark run on SGI Altix ICE 8400 with 512 Cores

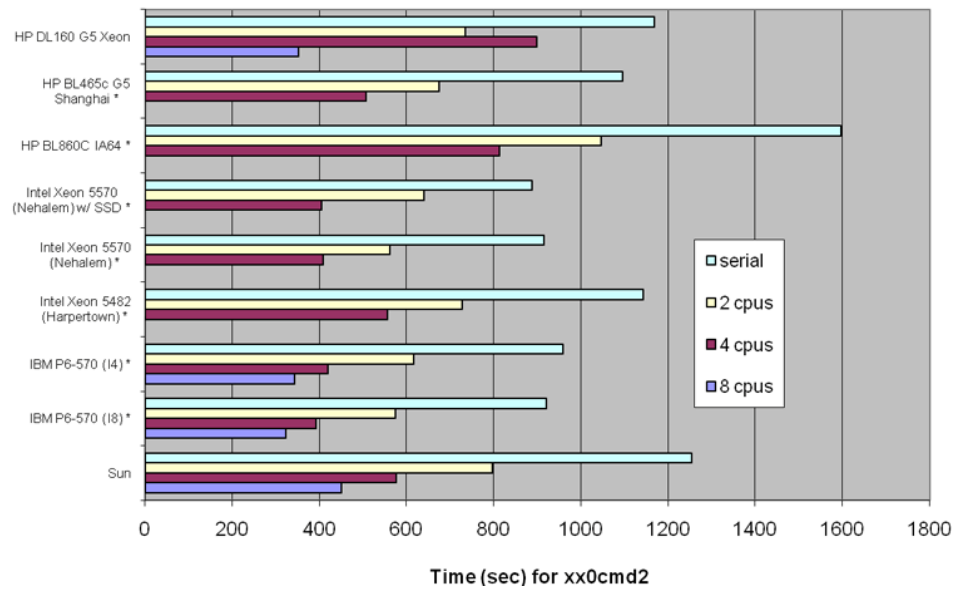
SOL 700 汽车碰撞并行测试

Direct Frequency Response Model



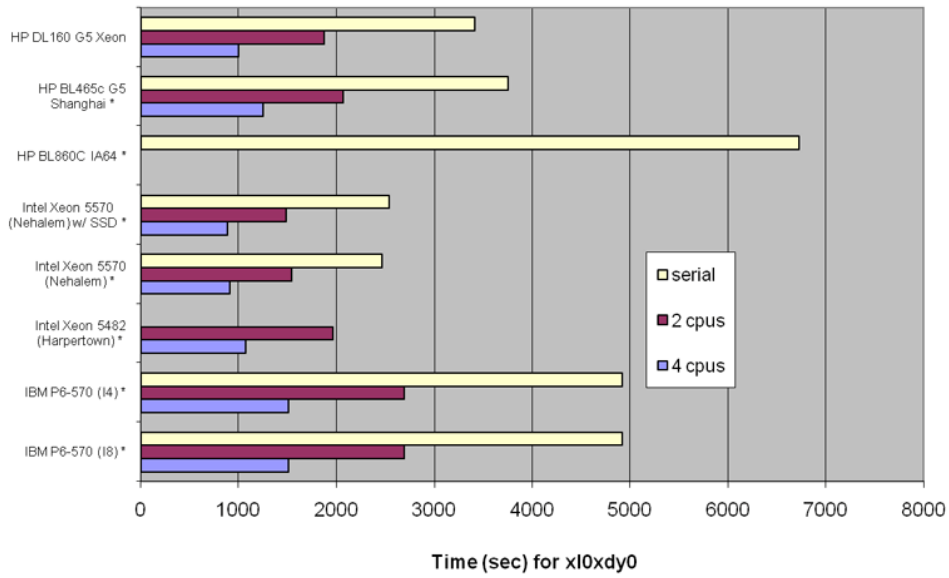
直接频响分析并行测试

Normal Modes with ACMS



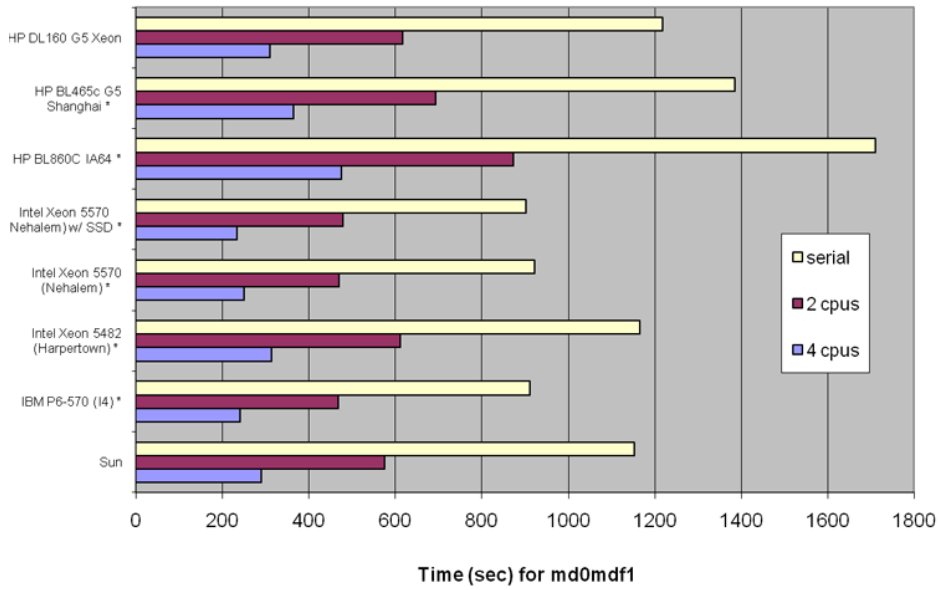
模态分析并行测试

Crash Analysis (Sol 700)

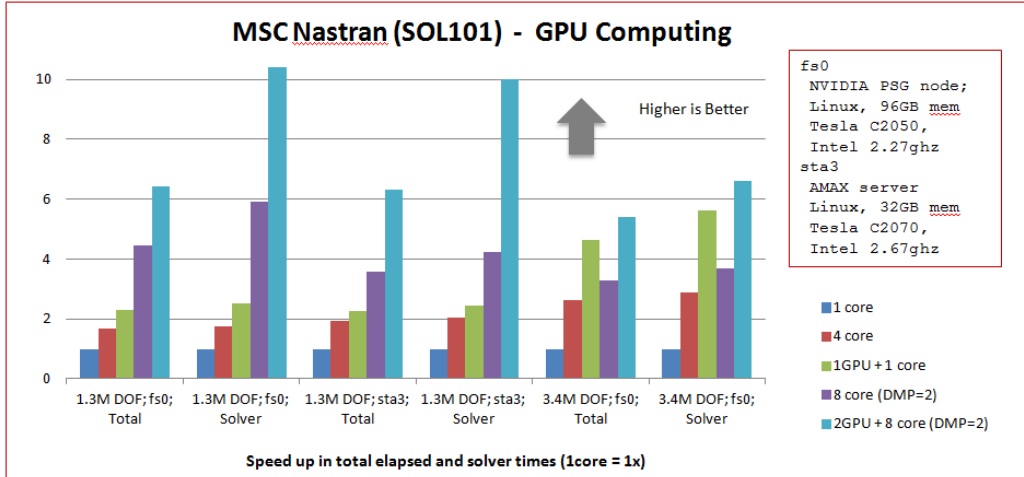


碰撞分析并行测试比较

Modal Frequency Response



模态频响分析并行测试比较



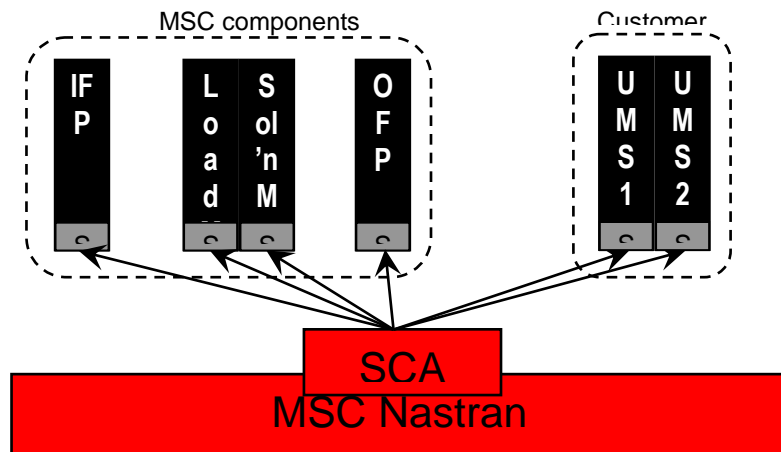
静态分析 GPU 并行测试比较

八. DMAP 语言和二次开发工具

MSC Nastran 的二次开发功能得到了很大的提高，除了传统的 DMAP 开发方式外，还提供了最新的 SCA 模式，即仿真组件架构，提供了便利灵活的开发环境。

DMAP 语言开发

第一种方法是通过脚本语言进行二次开发，即传统的 DMAP 语言开发。作为开放式体系结构，MSC Nastran 的开发工具 DMAP 语言(Direct Matrix Abstraction Program)有着 30 多年的应用历史，不同于其它软件所用的宏命令语言，DMAP 可深入 MSC Nastran 的内核。一个



DMAP 模块可由成千上万个 FORTRAN 子程序组成，并采用高效的方法来处理矩阵。实际上 MSC Nastran 是由一系列 DMAP 子程序顺序执行来完成的。DMAP 能帮助用户改变或直接产生新的求解序列，通过矩阵的合并、分离、增加、删除、或将矩阵输出到有限元后处理、机构分析、测试相关性等一些外部程序中，DMAP 还允许在 MSC Nastran 中直接执行外部程序。另外，用户还可利用 DMAP 编写用户化程序，操作数据库流程。

用 DMAP 进行二次开发有三个主要用途：1、修改 MSC 提供的内置的求解序列，通过修改已有的求解序列，我们可以增加一些程序本身以外的输出，比如输出结构的刚度矩阵等等，也可以作一些额外的计算程序，进而输出一些特定的参数，比如

利用内置函数对总刚度矩阵进行分解等等，更进一步讲，通过修改内置求解序列，我们甚至可以更改程序的运行方式或者实际问题的求解方式；2、访问 MSC 数据库，通过访问程序的数据库文件，可以将一些过程数据存储起来以备后续使用，也可以从数据库中提取数据用于其它方面的应用；3、调用运行外部程序。

SCA 开发

MSC Nastran 集成了最新的 SCA 二次开发环境。仿真组件开发 (SCA) 是 MSC Nastran 的最新的二次开发模式，它提供了更快捷方便安全的开发环境。它是采用驱动模式，直接调用 MSC Nastran 的基本功能并形成封装的模块。SCA 开发支持插件模式，这样可以让开发模块更灵活易用。同时 SCA 模式提供了更丰富的接口，使得外部程序和自有程序能更方便的与 MSC Nastran 协同工作。SCA 也提供了更方便的代码更新功能，可以直接对模块进行局部改进。SCA 模式也支持将 MSC Nastran 核心功能与外部程序集成在同一组件内。

使用 SCA 可以让用户的自编程序与 MSC Nastran 核心程序更方便快捷的无缝集成，SCA 支持的语言种类很多，如 C/C++，Java，Fortra，Python 等常用语言均支持。用户不必拘泥使用同一种语言来进行开发，SCA 可以将不同语言的程序集成在一起。同时 SCA 也提供了输出接口，可以将 MSC Nastran 的核心功能作为插件集成在其他的外部程序中。

九. MSC Nastran 的成功应用案例

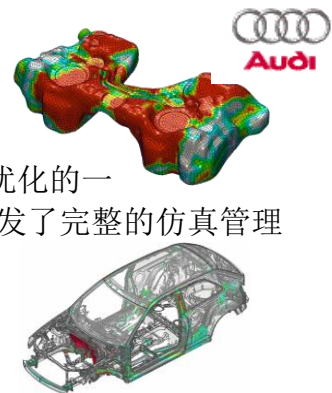
MSC Nastran 推出后在航空航天、汽车、船舶行业等主要行业率先得到了广泛的应用，而后很快推广到通用机械、电子电器、能源行业、医疗设备、油气行业等行业等。正是由于 MSC 全面完整的多学科一体化解决方案，给了各行业的广大工程师提供了现实条件下更加准确和快速的评估设计工具，提高了仿真的可靠性。

Audi AG

面临挑战： 奥迪汽车长时间以来一直在产品开发的过程中使用 MSC Nastran 和 Adams，为了更进一步加速和优化设计流程，他们发现单点分析的诸多局限性。

MSC 解决方案： MSC 提供了线性，动力学，非线性，和多学科优化的一体化仿真环境，同时 MSC 公司提供的 SimManager 还帮助他们开发了完整的仿真管理环境，CAEBench。

价值： 选择了 MSC Nastran 之后，奥迪在设计，研发和提高产品质量，降低成本方面得到了有效的改进。



Volvo 货车

面临挑战： 分析系统使用的差异阻碍了设计周期的缩短

MSC 解决方案： MSC Nastran 提供了集成的多学科求解应用方案包括静力学，动力学，结构优化，NVH 和内外噪声分析。

价值： MSC Nastran 的使用使得产品设计周期大大缩短



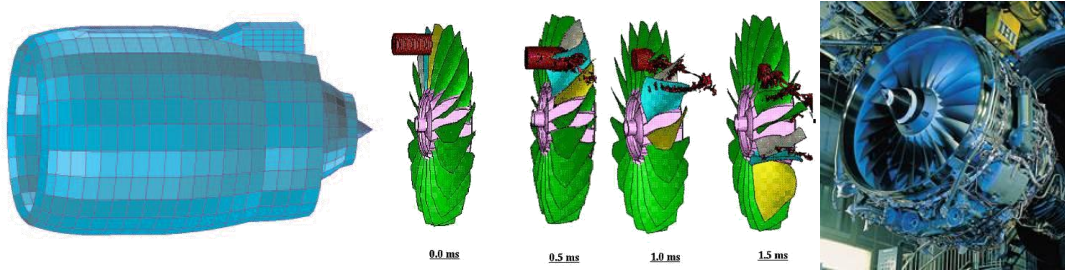
IHI 公司

面临挑战： 产品要求以低成本，短周期投放市场的压力越来越大。

MSC 解决方案： MSC Nastran 转子动力学功能提供了必要的技术实现虚拟测试仿真。

价值： MSC Nastran 缩减了开发成本。

IHI



Fincantieri

面临挑战： 需要满足高质量产品的目标

MSC 解决方案： 将原有的基于 MasterKey 的产品扩展到企业级产品，从而可以访问 MSC Nastran, SimManager 和 SimXpert



价值： 在企业级求解方案中实现标准化，提高了 50% 的生产率。

Airbus



面临挑战： 需要满足提高生产力和产品质量的要求

MSC 解决方案： 将原有的基于 MasterKey 的产品扩展到企业级系统，从而可

以访问 MSC Nastran 和 SimXpert

价值： 显著减少了研发时间，提高了机身开发设计的质量。



Whirlpool

面临挑战： 提高产品质量减少保修成本

MSC 解决方案： 包括 MSC Nastran 在内的 SimEnterprise 平台评估和检验了产品各方面的性能的强有力的工具。

价值： 调整产品研发，加速产品创新，提高产品质量



十. 平台支持

MSC Nastran 具有广泛的平台适用性，可在 PC 机、工作站、小型机、巨型机、超级巨型机等多种硬件平台上运行，支持异种异构平台的网络浮动。支持的操作系统有 UNIX、Linux、Win7、Windows XP, Vista 等。