

Marc

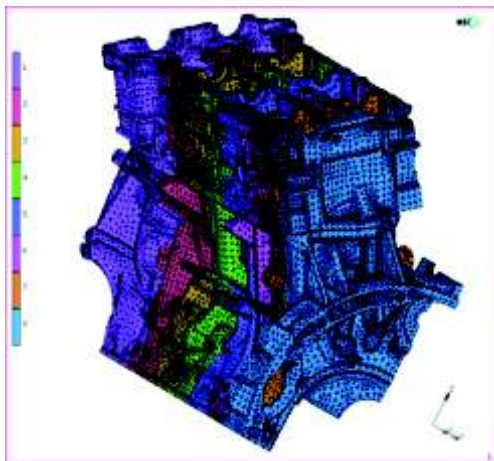
全球非线性有限元软件行业的领导者

Marc是MSC软件公司于1999年收购的Marc公司的产品。Marc公司始创于1967年，是全球首家非线性有限元软件公司。经过四十多年的不懈努力，Marc软件得到学术界和工业界的大力推崇和广泛应用，建立了它在全球非线性有限元软件行业的领导者地位。

随着Marc软件功能的不断扩展，软件的应用领域也从开发初期的核电行业迅速扩展到航空、航天、汽车、造船、铁道、石油化工、能源、电子元件、机械制造、材料工程、土木建筑、医疗器材、冶金工艺和家用电器等，成为许多知名公司和研究机构研发新产品和新技术的必备工具。

一. 产品特色

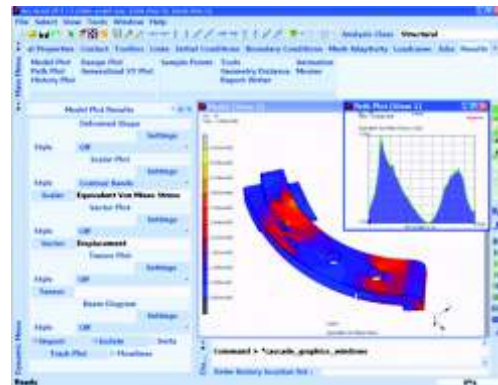
- ◆ 多种物理场的分析能力。
- ◆ 复合场的耦合分析能力。
- ◆ 强大的非线性分析能力。
- ◆ 最先进的接触分析功能。
- ◆ 并行计算功能。
- ◆ 丰富的单元库。
- ◆ 开放的用户环境。
- ◆ 强大的网格自适应功能。
- ◆ 全自动三维网格重划分。



二. 方便高效的用户界面

Marc Mentat作为Marc程序的专用前后处理器，完全支持Marc所有功能。另外Patran已经实现了对Marc结构分析、

热分析和热-结构耦合分析的完全支持，也支持磁场、电场和压电场的分析。全新的Marc Mentat在界面风格上推出了具有时代感且与目前流行的office界面风格一致的最新用户界面，对菜单、工具栏等进行了合理的布局，新的菜单设计还支持窗口的拆分，使用者可以根据个人喜好和需求任意排列和放置窗口的位置。



1. 几何建模

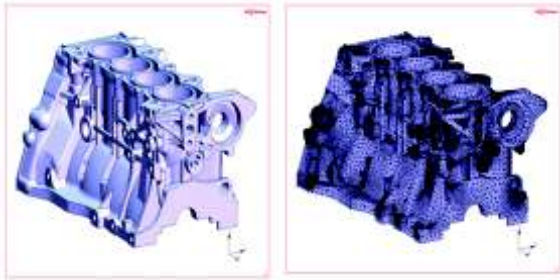
Marc Mentat可通过自顶向下和自底向上的方式生成几何模型，支持对几何元素点、线、面、体的各种，例如增加、删除、编辑和显示等。

2. 网格划分

Marc Mentat提供功能齐全、性能卓越的自动网格生成技术，可以将几何点、线、面元素直接转化成有限单元的节点、线单元和面单元。可以自动对几何形状划分面网格或体网格。具有专门的六面体网格生成器以及Rebar单元生成器。

Marc六面体网格自动划分功能充分考虑了网格划分的基本要求，用户可以指定内部网格稀疏过渡级别，程序在稀疏网格过渡处自动生成多点约束方程，满足位移协调。在种子点分布功能上，可以沿着两个方向设置具有偏置的种子点的分布。

全新的Marc Mentat针对实体网格划分功能进行了重大的改进，对于复杂模型能够在较短的时间内完成实体网格的划分，通过Mentat的原生CAD模型导入接口导入几何模型后只需点击3次就可以完成分网过程，对于复杂的发动机实体网格划分仅使用了4分钟时间就完成了从模型导入到体网格划分的全部工作。



发动机缸体实体网格划分

3. 网格操作

Marc Mentat的其它有关网格功能有复制、移动、扩展、对称、转换、单元阶次的转换、检查、重排、相交、清除、松弛、拉直、重划分、附着等。

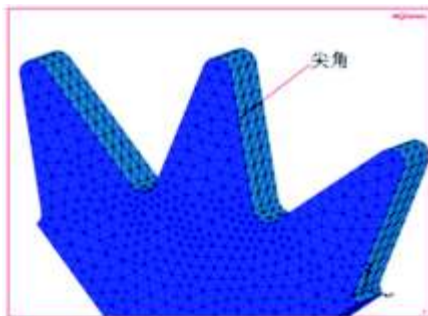
4. 其他功能

Marc Mentat的前处理功能除几何建模和网格划分外，还可以定义边界条件、材料参数、几何参数、接触信息、初始条件、连接关系（如多点约束）等。

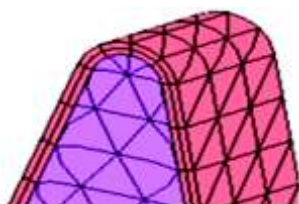
Marc Mentat提供多种方便、易用的选择功能，通过点击模型边界上的一个面(2-D模型中的一条边)就可以快速的根据指定的参数选取一系列连续的对象。

对于聚合物材料，如橡胶类材料，Marc Mentat提供了曲线拟合功能。对于损伤分析所需的材料模型参数，用户定义表述材料连续或不连续软化的曲线后，可自动拟合出分析损伤的材料参数。

在进行网格细化功能方面，全新的Marc Mentat提供了最新的Refine功能，根据给定单元厚度，在表面可以产生薄层单元(五面体/六面体)，在模型边界上不改变体积，对于获取表面上或紧靠表面内部的结果更准确的应力分布很有帮助。



选取齿状结构表层单元面

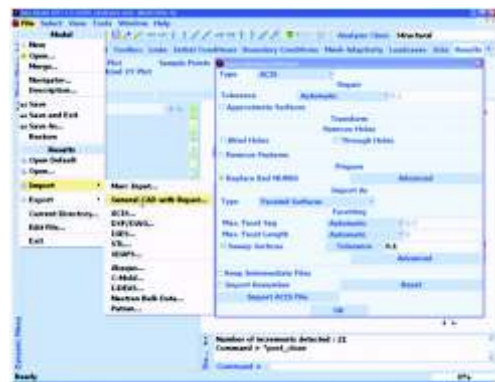


5. Marc Mentat的文件接口

Marc Mentat具备与各种主流CAD、CAE软件的接口，包括：AutoCAD、ACIS、IGES、C-MOLD、STL、I-DEAS、MSC Nastran、Patran、VDAFS。还可以将Marc分析结果以I-DEAS或 Hypermesh 的格式输出，以便在 I-DEAS或 Hypermesh界面上进行后处理。

Marc 可以产生一个模态中性文件（MNF）来定义集成到ADAMS模型中的柔性部件。

Marc Mentat在原有的通用模型接口不断进行版本升级的基础上，还提供了原生CAD模型的接口功能，其中包括目前通用的一些CAD模型接口，例如：Catia V5/R20、Catia V4/4.1.x 4.2.x、Pro/Engineering Wildfire 4、SolidWorks 2009、Unigraphics NX7、Inventor 2010、DXF，同时提供了针对导入的几何模型进行特征修复、删减的功能。



6. Marc Mentat的结果显示

Marc Mentat的后处理支持多种结果显示方式，包括：动画、等值线、云图、切片图、等值面显示、矢量显示、向量显示、张量显示、路径显示、梁剪力图、梁弯曲图、流线图、曲线、表格和文件等。

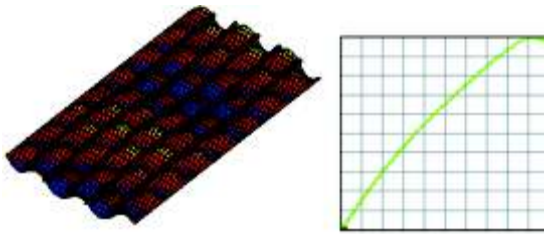
三. 强大的分析功能

Marc软件是一个功能强大的有限元分析系统，提供了各种问题的解决方案。

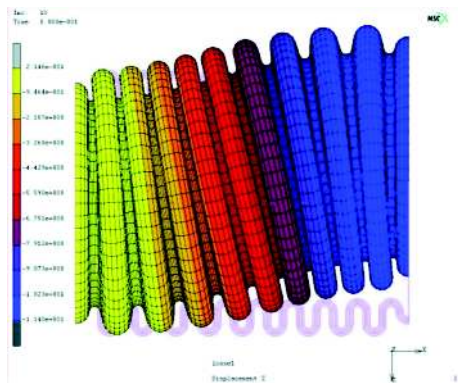
1. 非线性结构分析. 非线性结构分析

- ◆ 非线性静力分析：包括材料非线性、几何非线性和非线性边界条件。
- ◆ 非线性瞬态分析：时间函数驱动的过程分析。
- ◆ 非线性动力分析：包括模态分析、瞬态响应分析、简谐响应分析、频谱响应分析。
- ◆ 非线性屈曲分析：Marc软件处理稳定性问题的方法有两类。一类是简单地按特征值问题求解失稳形态和临界载荷的特征值分析；另一类是追踪失稳路径，获取失稳前后结构

变形、应力和载荷变化完整信息的增量有限元分析。

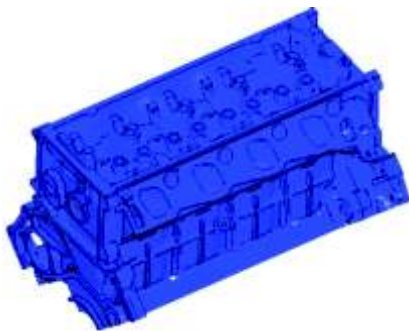


带加强筋的船甲板非线性失稳分析

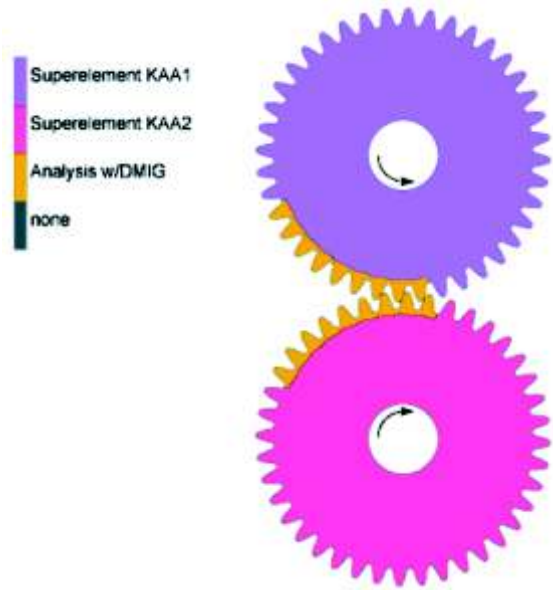


多层波纹管的非线性屈曲分析

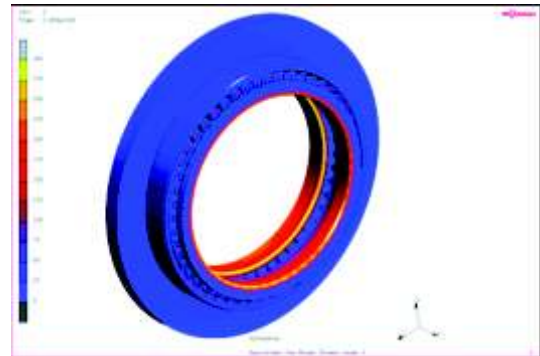
- ◆ 刚塑性分析
- ◆ 粘塑性分析
- ◆ 弹塑性分析
- ◆ 粘弹性分析
- ◆ 超弹性分析
- ◆ 超塑性分析
- ◆ 周期对称结构分析
- ◆ 灵敏度和优化分析
- ◆ 超单元分析



发动机结构热机耦合分析



利用超单元技术进行齿轮接触分析

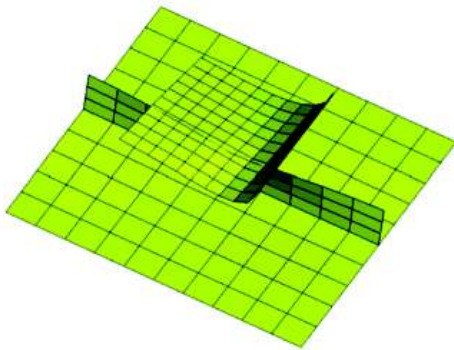


轴承接触分析

◆ **接触分析功能：**在同类软件中Marc具有最强的接触分析能力。具有传统的间隙摩擦单元模式，也可以用非线性弹簧单元来模拟非线性支撑边界。对于基本的接触状态，Marc提供基于直接约束的接触算法，可自动分析变形体之间，变形体与刚体以及变形体自身的接触。新的segment-to-segment的接触形式，支持变形体和变形体之间发生了大滑动、要考虑摩擦影响的情况。能准确计算不连续边界接触应力输出，应力分布变得非常连续。

Marc支持梁与梁，梁与壳，梁与实体之间的接触，允许壳单元的边与边、壳单元边与实体等多种非常规接触的分析。

支持多物理场粘接接触定义，此时会形成MPC而不是采用很大的接触转换系数来模拟，这一功能能够实现多个接触体时进行简化分网。



壳单元边与边的接触

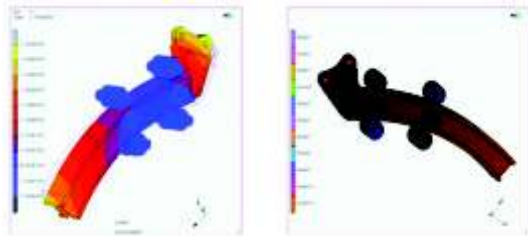
允许接触节点采用多点约束，可以联合使用TYING、SERVO LINK、INSERT、CONTACT、RBE2、RBE3选项。多种接触分离模式，使得Marc的接触算法可以胜任各种不同的问题。

Marc可以根据接触体的平均刚度、接触区单元边长优化变形体接触约束；真正高阶单元接触分析，可以对接触节点或被接触节点的接触应力和摩擦应力进行后处理。Marc并行计算时的约束处理方式进行了特别处理，使并行计算的结果与单个CPU求解的结果完全一致。

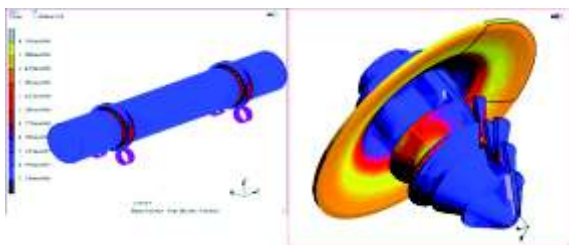
Marc具有基于相对位移的双线性摩擦模型，比基于速度的库仑摩擦模型更准确，比粘滑摩擦模型更通用、效率更高。

Marc静电—结构耦合分析中，允许导体与周围介质网格不协调，因而便于网格划分，对于设备有大运动时，还可以进行整体网格重划分。

Marc在考虑辐射传热的分析中，当接触体出现分离以后，自动增加该物体与环境之间的辐射分析。接触体之间可以定义随时间函数或者其他任意变量变化的摩擦系数、传热系数等；对于多工步的加工过程，可以利用重启功能增加或改变刚性接触体。



襟翼滑轨接触分析



转窑弹性接触分析

汽车弹性部件分析

◆ 初始状态功能

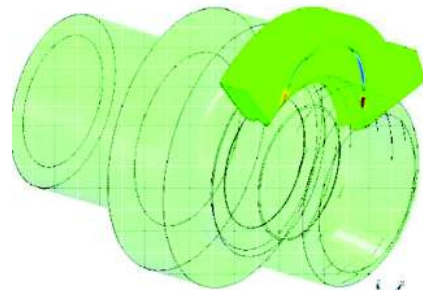
将前一步分析的结果(包括应力、应变、温度、位移等)转化为新模型的初始条件。此功能大大提高的分析的灵活性，加工、土木工程等行业特别有用。

◆ 局部分析功能

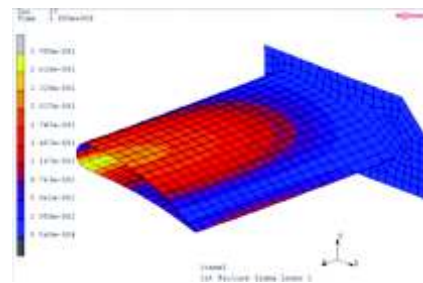
利用整体分析的结果，对结构局部细化网格进行二次分析，可以很经济地得到局部准确的结果。该功能静力分析和瞬态动力学分析均适用。

2. 失效和破坏分析

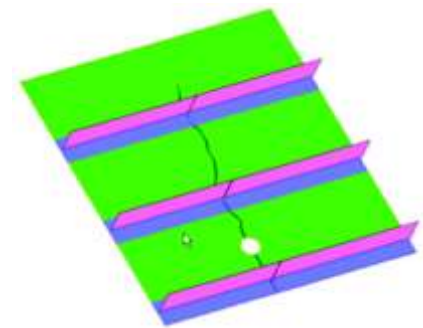
◆ 断裂分析：支持线弹性或脆性材料的应力强度因子和J积分评定，非线性弹性材料J积分评定，包含惯性、热载、有限非弹性应变影响的广义J积分计算；VCCT虚拟裂纹闭合技术提供了一种新的能量释放率计算方式，并且使得裂纹的动态扩展和疲劳扩展计算变成了现实。



表面裂纹前缘应力强度因子的计算



赛车阻流板部件失效指数分析结果



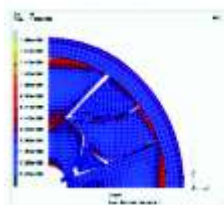
加强筋结构的裂纹扩展分析

◆ 支持基于应变不变量的模型，能够准确预测破坏，对于基体和纤维采用不同的放大矩阵和定律。

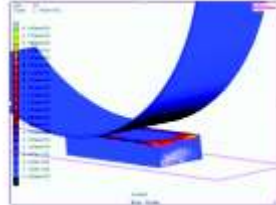
◆ 裂纹萌生与扩展：支持疲劳裂纹扩展模式 (Fatigue) 以及直接裂纹扩展模式(Direct)。提供多种裂纹扩展的方法，如网格重划分 (Remeshing)、释放约束 (Release Constrains)、切割单元边 (Split Element Edges) 以及直接切割单元 (Cut Through Elements)。可对于具有加强筋结构的裂纹进行扩展分析。

- ◆ 复合材料的分层
- ◆ 韧性金属损伤和橡胶软化失效
- ◆ 复合材料脱层分析：支持粘合区域建模 (Cohesive Zone Modeling CZM)。可进行同种材料内部 Within Material或在不同种材料间Material Interface间的脱层分析。可以针二维、三维有限元模型进行脱层模拟，并且对于分层结构间的粘胶部位可以自动或手动定义界面单元模拟分层过程中粘胶部位的影响和变化。

◆ 磨损分析



核燃料断裂分析

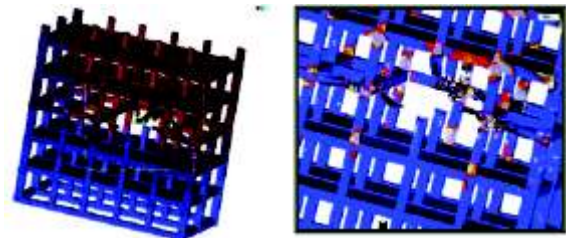


模具的磨损分析

3. 传热过程分析

Marc软件具有功能强大的一维、二维、三维稳态/瞬态热传导分析能力；能够描述各向同性、各向异性、或正交各向异性的热物理参数。

Marc软件提供四种热分析边界条件：温度、热流强度、表面对流、表面辐射。对于强迫对流传热分析，还可以定义速度场。Marc可以计算相变潜热，可以进行有接触传热的耦合分析。



美国纽约世贸大楼撞击事件模拟

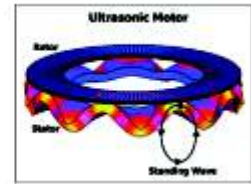
4. 多场耦合分析

Marc支持静电场分析、静磁场分析、滑动轴承分析、流体分析、声场分析等场分析。另外Marc还具备很强的的多场耦合分析功能，支持热-机耦合、流-热-固耦合、热-电

耦合（焦耳热生成）、热-电-固耦合、磁-热耦合、磁-结构耦合、扩散-应力耦合、压电分析、流体-土壤耦合（土壤渗流）相互作用以及电磁场耦合。



刹车盘热机耦合分析



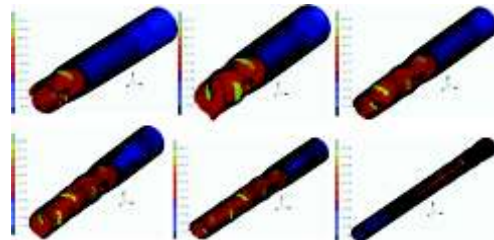
微型超声马达压电分

5. 加工过程仿真

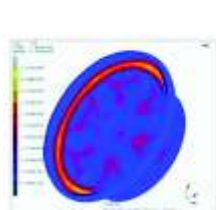
Marc可以用于多种加工过程的仿真，例如：锻造、挤压、冲压、超塑、板材拉深、粉末成型、吹制、铸造、热处理、焊接、切削、复合材料固化等。

在Marc Mentat界面下可以定义焊接仿真中热源的各种属性，包括尺寸、形状、大小和移动速度，以及热源的运动路径、方向和重复次数，焊料单元在后处理中可以自动根据单元死活情况进行显示。

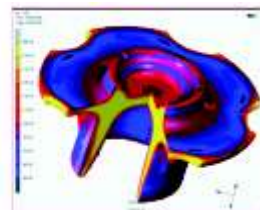
对于数控加工模拟，在Marc Mentat和Marc中也具有一些独有的功能。



多道次钢管轧制成形



车轮锻造过程模拟



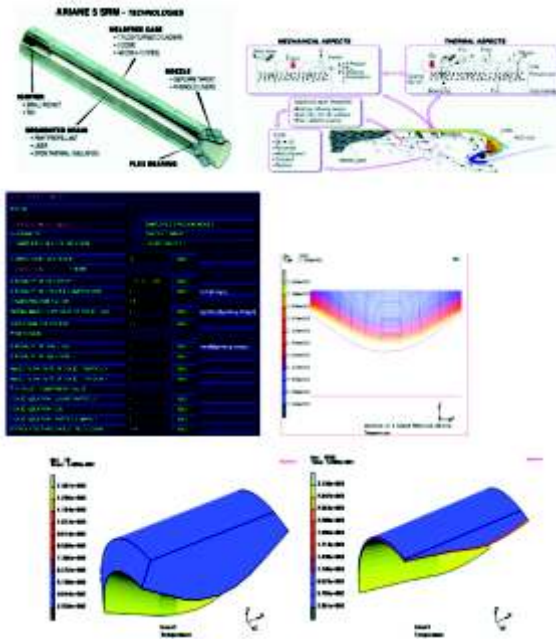
循环对称部件体成型模拟



预警机薄壁承载力件数控成型模拟

6. 热烧蚀分析

根据航天器热防护和固体推进剂烧蚀分析的工程需求，MSC专门开发了烧蚀分析模块，可以考虑烧蚀过程中的各种复杂因素。



火箭结构烧蚀模拟

7. 稳定的求解技术

◆ 多种时间积分：对于瞬态热传导问题，Marc采用后差分格式计算温度的变化率，获得温度场求解的递推格式。在求解过程中，Marc提供三种时间积分方案：隐式Newmark-beta方法、隐式单步Houbolt方法、显式中心差分方法。

◆ 智能带宽优化：Marc提供三种优化带宽方法：Cuthill-McKee算法、Sloan算法和最小自由度优化算法。此外，也可以接收用户自行定义的内部节点编号。

◆ 多种迭代算法：Marc提供了三种非线性迭代求解方法：全牛顿-拉夫森迭代、修正的牛顿-拉夫森迭代、有应变修正的全牛顿-拉夫森方法。

◆ 可控收敛判据：Marc提供了三种不同的收敛判据：残余力判据、位移判据、应变能判据。

◆ 多方案求解器：Marc有多种代数方程组求解方法：直接法、迭代法、并行求解器。

◆ 自动加载控制：Marc软件针对不同的分析问题提供的多种载荷/时间步长的自适应控制方法。包括：弧长法、自适应步长、自动载荷步长、自动时间步长、显式蠕变分析的自动载荷步长、热弹性蠕变或热塑性蠕变的自适应载荷步长。自适应载荷步长和时间步长控制是得到复杂非线性模拟准确结果的有效方法。Marc的自动加载控制可以实现发生物理或数值不稳定的条件下获得合理的计算结果，这一技术保证了准静态分析和动力分析的求解可靠性与精度。Marc的准

静态阻尼模型，对于系统突变问题（接触、失稳等）的自动时间步长设定十分可靠，用户不需指定任何阻尼系数；Marc的可控步长调整功能，能够避免步长增长过快与出现过小的时间步长。

四. 丰富的材料模型

◆ Marc软件提供了极其丰富的材料模型。

1. 基本材料

- ◆ 线弹性材料模型
- ◆ 非线性弹性材料模型
- ◆ 亚弹性材料模型
- ◆ 超弹性材料模型
- ◆ 理想塑性、弹塑性、超塑性、粉末塑性、粘塑性、粘弹性材料模型
- ◆ 热流变、记忆合金、蠕变材料模型

2. 失效材料

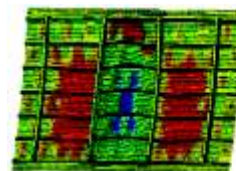
- ◆ 金属材料损伤模型
- ◆ 橡胶材料损伤模型
- ◆ 复合材料损伤模型
- ◆ 抵抗拉材料损伤模型
- ◆ 磨损模型

3. 复合材料

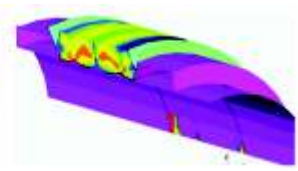
Marc软件具有极强的复合材料模拟能力，能够描述层状复合材料、加强筋复合材料和实体复合材料。并提供了用于模拟混合纤维以及粒子的复合混合材料的定义功能。

4. 橡胶材料

Marc利用应变能函数的超弹性本构模型描述橡胶材料的行为。它提供了十余种描述弹性应变能的函数：包括基本Neo-Hookean函数、二项Mooney-Rivlin函数、三项Mooney-Rivlin函数、5阶Mooney本构(5th order Mooney model)、Signorini函数、三次不变量函数、三次变形函数Yeoh函数、Boyce-Arruda模型、Gent模型、广义Ogden应变能函数。这些模型覆盖的各种橡胶材料的行为特性。



复合材料结构非线性屈曲分析

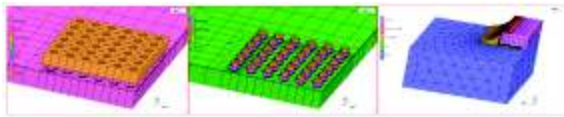


石油钻井设备封隔器大变形分析

5. 其它材料

垫片材料、低抗拉材料、岩石、冰雪材料、土壤模型，生物材料、泡沫材料、塑料材料。Marc提供了模拟粉末材料

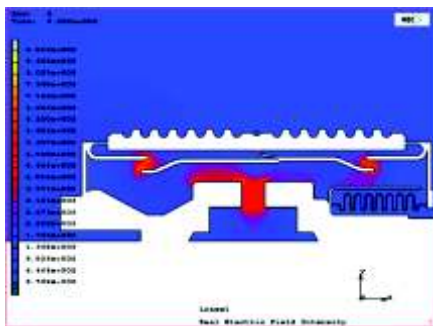
本构模型的指数帽模型（Exponential Cap Model），以及用于模拟电子行业常用的焊接材料的Anand 模型。



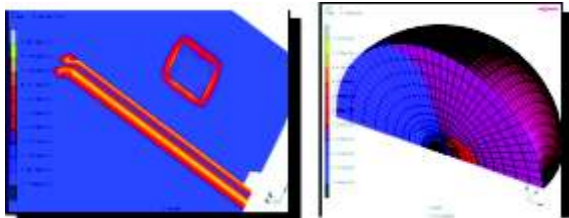
焊接材料Anand 模型

6. 非结构材料

模拟电场，磁场，声场。



高压开关电场分析



瞬态磁感应电流
成都旭光电子股份有限公司
高压真空开关电场分析结果

静磁-结构耦合分析-洛伦兹力
北京天坛医院与清华大学
颅内载瘤动脉血管应力计算

五. 丰富的单元类型

1. 结构分析单元

缆绳单元、梁单元、薄膜单元、壳单元、连续体元、间隙-摩擦元、半无限元、弯管单元、剪切板单元、加强筋单元、不可压单元、常膨胀单元、假定应变单元。

2. 传热分析单元

三维杆单元、平面和轴对称单元、平面和轴对称半无限元、六面体元/四面体元、半无限体元、轴对称或空间壳体单元。

3. 其它分析单元

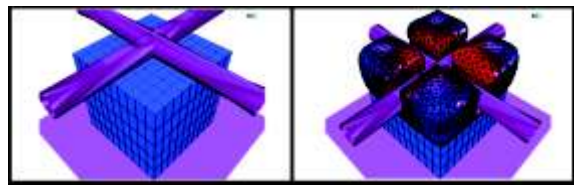
声场分析、电场分析、滑动轴承分析、磁场分析、电-磁场分析、压电分析、密封空腔结构分析、土壤分析、流体

分析单元

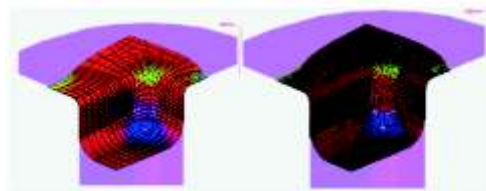
电磁分析的单元，包括4节点、10节点四面体单元和2节点线单元，可以实现复杂结构的网格划分以及边界条件的施加。Rebar单元的后处理可以显示rebar和在rebar层平面中参考轴投影的夹角变化。

六. 先进的网格适应技术

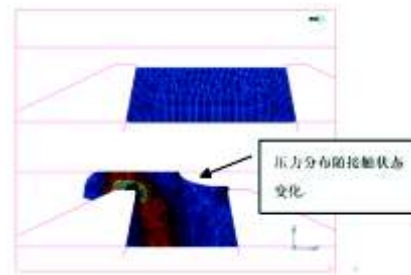
Marc不但支持二维三角形和四边形网格的自动重分，还支持三维四面体网格、三维六面体网格和壳单元的自动重划分。



三维实体网格重划分实例



壳单元网格重划分实例



密封件分析

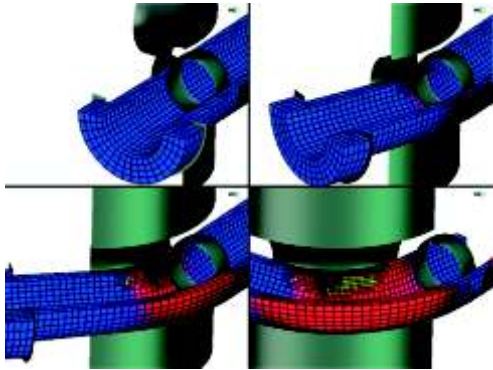
将自动网格重分技术与节点反力松弛技术结合，可以分析裂纹开裂等自由面的增生问题。

自适应网格生成技术是以某种误差判据为依据的。一旦误差准则在指定的单元中被满足，这些单元会按给定的单元细分级别在指定的载荷增量步内被重新划分。

Marc的自动网格重分和自适应网格生成技术支持并行求解。将自动网格重分技术与自适应网格生成技术与并行分析技术相结合，可以达到效率与精度上的完美结合；

Marc的单元死活技术允许在分析过程中根据需要随时增加或删除单元。也可通过用户子程序接口，定义判定单元死活的条件。Marc软件的单元死活技术能够与网格自适应技术和网格重划技术组合运用。比如，将自适应技术与单元死活

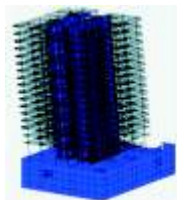
技术组合，可以进行多次堆焊焊接的工艺技术仿真。



接触区域网格自适应后的接触区密网格

七. 强大的二次开发功能

Marc软件提供了300多个特定功能的开放程序公共块和100多个用户子程序接口。用户可以不受限制的调用这些程序模块。用户子程序接口覆盖了Marc有限元分析的所有环节，在国内外的用户中有很多成功的案例，特别是在用户本构模型定义、复杂边界条件施加等方面尤为成功。



建筑结构连续坍塌模拟



车辆过桥分析

八. 优异的并行求解算法

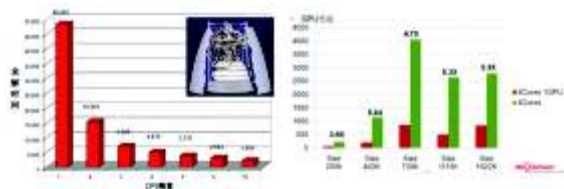
Marc软件对于大型线性和非线性问题的求解可以利用多CPU并行计算的方法来解决。该方法的特点是各区域单独计算，包括单元组装、矩阵分解、应力计算，最后输出整个模型的结果。

并行分析时可以采用单个输入文件而不必每个区域分别拥有一个输入文件；采用专门的并行单元技术、材料模型、接触算法使得CPU和内存实现了很高的效率。

Marc软件的并行版本能在共享内存或分布内存的多CPU服务器或工作站上运行。也可以在联网的UNIX工作站或者集群机中运行，甚至可以在基于Windows网络平台的PC机群中运行。

Marc并行分析的计算速度可以达到线性甚至超线性。

Marc允许使用 Nvidia GPGPU 硬件来改善计算性能。使用GPU设备将减少运算时间。性能改善在大模型（例如100,000到2000,000自由度的模型）分析中能够很好体现。并且GPGPU功能可用于并行计算parallel (DDM)。目前可以使用例如 Nvidia Quadro 6000 或 Tesla C2090, C2075, C2070, C2050 卡。GPGPU功能目前仅支持配置了Intel硬件的Windows 64-bit 和 Linux 64-bit 平台。



Marc的并行计算速度比较

九. 软硬件支持平台

Marc、Marc Mentat具有广泛的平台适用性，可在PC机、工作站、小型机、超级计算机等多种硬件平台上运行，支持异构平台的网络浮动。支持的操作系统有UNIX、Linux、Windows等。

