

Dytran

非线性瞬态动力学和瞬态流固耦合问题的数值仿真工具

Dytran 是MSC软件公司的核心产品之一,适用于瞬态非线性动力问题、瞬态流固耦合问题的数值仿真。

从1988年开始, MSC在结构瞬态动力响应软件DYNA3D框架下开发了Dyna并于1990年发布了第一个版本。该程序继承了DYNA3D优异的快速显式积分算法和丰富的材料模式,采用MSC Nastran的输入数据格式,可用于分析各种非线性瞬态响应,如高速撞击、接触摩擦、冲压成型等。

1993年MSC发布了Dytran的第一个商业版本。该产品集Dyna和PISCES 3D之大成,拉格朗日和欧拉算法优势互补,成为第一个能够模拟复杂流固耦合问题、高度非线性、瞬态动力响应的大型商用软件,适合于模拟国防军工领域常见的爆炸、穿甲等流固耦合问题,在国防、航空航天、核安全、石化等领域有广泛应用。在随后的发展中,Dytran在单元库、数据结构、前后处理等方面与MSC的旗舰产品MSC Nastran趋于一致。

在问世的十余年中,Dytran历经无数航空、航天、汽车、造船、铁路、国防、核工业等领域科研和工程项目考验。该软件的开发环境经过ISO认证,每天都要通过500个以上例题的自动测试以保证程序的可靠性和稳定性。2003年MSC软件公司与LSTC公司达成全球战略合作协议,将LS-DYNA程序完全集成入Dytran。此功能在Windows, UNIX和Linux操作系统上均可方便实现。计算高效,求解稳定。MSC将最强的Lagrange技术与最强的Euler、耦合技术相结合,形成功能最为强大的非线性显式有限元软件。



美国海军的空军作战中心 (NAWC) 水上飞机撞击水面仿真

一. Dytran的特色

Dytran是一种用于分析结构及流体材料的非线性动态行为的数值仿真程序。该程序采用显式积分法并能模拟各种材料及几何非线性,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技术。软件具有丰富的材料模型,能够模拟从金属、非金属(包括土壤、塑料、橡胶等)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。

- ◆ 与Patran完全集成,易于建模
- ◆ 领先的材料流动欧拉技术
- ◆ 纯结构的有限元技术和纯流动的欧拉有限体积技术结合,形成精确独特的流固耦合技术

- ◆ 强大的结构分析能力: Dytran包括完整的单元类型和大量的材料模型,从金属、复合材料、混凝土到塑料、橡胶和泡沫。采用更新的拉格朗日(Update Lagrangian)方法和显式时间积分技术,具备对极度大变形和结构失效问题的分析能力。提供各种定义接触的模式,能够模拟各种复杂边界条件

- ◆ 在Patran开发环境支持下,易于实现客户化

Dytran具有强大的仿真功能,范围之广涉及到了CAE的整个领域——结构、流体与机构。集成了来自多种软件的求解器。从理论上讲几乎可以模拟任何力学过程(在硬件资源满足需要的前提下)。用户可以根据自己的需要,创造性地运用该程序,开发出更多新的应用领域来。



汽车,安全气囊,假人整体碰撞分析

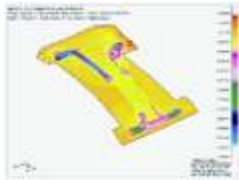
二. Dytran基本功能

1. 完整的单元库

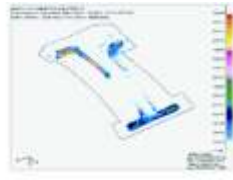
Dytran采用Lagrange和Euler两种处理器对结构和流体进行建模。实体、壳、梁、薄膜、弹簧和刚性单元被Lagrange处理器用于结构的建模; Euler网格由三维体单元组成, Euler处理器可以处理具有剪切强度的材料的流动。Dytran具备完整的一维、二维、三维单元库。

2. 丰富的材料库

Dytran的材料模式中,它包括了线弹性、弹塑性、刚性材料、橡胶材料、低密度泡沫材料、土壤材料、正交各向异性材料、层合复合材料、率相关材料以及各种屈服准则、失效模式、状态方程、多点爆炸燃烧模型等。

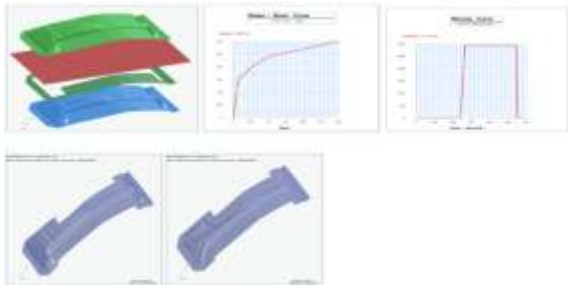


成形状态钣金件厚度分布



合模状态最大主应变

Dytran 采用组合方式可定义上百种材料模式。通过大量用户子程序接口,可以定义各种材料破坏模式。



东风柳州汽车有限公司对汽车中立柱外板的冲压成形数值仿真

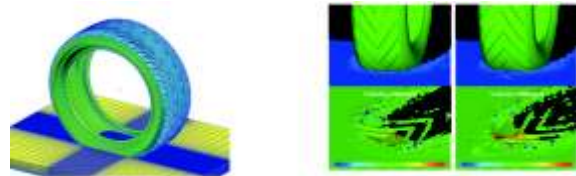
3. 载荷

载荷模式可以是与时间有关的定向或随动的集中载荷、压力、体积力以及各种初始条件和强迫运动。在Euler网格中还可以定义具有各种性质的流动界面等。

4. 接触算法

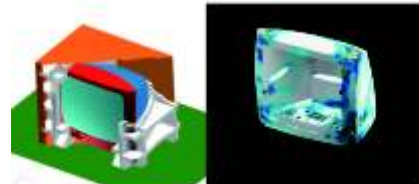
Dytran可以处理多个构件相互高速撞击问题,接触界面可以扩大、缩小、考虑摩擦的相对滑动、分离及粘结。

- ◆ 面与面接触
 - 变形体-变形体接触
 - 变形体-刚性体接触
 - 刚体-刚体接触
- ◆ 点与面接触
 - 节点-变形体接触
 - 节点-刚性体接触
- ◆ 单面自身接触(self-contact)
- ◆ BPLANE接触法,有效解决接触面死角区域和穿透问题,并且计算效率高、稳定性好,尤其适于气囊展开分析。
- ◆ 高效的自适应接触(侵蚀接触):可以定义单元与单元间、不同材料间的侵蚀接触
- ◆ 所有的接触均可考虑库伦摩擦,静、动力摩擦系数和滞留系数
 - ◆ 考虑壳单元厚度及间隙
 - ◆ 粘合连接



轮胎排水性分析有限元模型

轮胎排水性分析



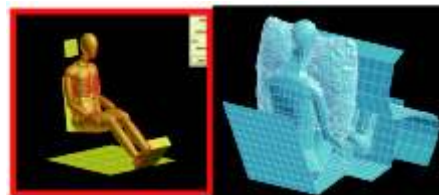
电视机包装箱跌落仿真

5. 刚性体

Dytran可以用多种方法定义刚性体,刚性体的各种性质如质量、各惯性矩均可以自动计算或用户自己定义。此外还有各种运动副模型。更新的拉格朗日法能够有效地模拟大位移、大转动。显式时间积分法适应性强,简单实用,稳定性和效率均令人满意。刚性部分和柔性部分自然融合实现“天然”的非线性的刚柔耦合。对机构部件弹性碰撞能够进行精确模拟。

6. 安全防护(假人模型/安全气囊)

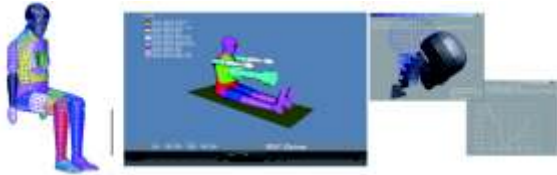
Dytran在安全防护方面具有安全气囊展开分析能力;它与美国航天医学研究中心开发的ATB程序提供的假人模型(此模型主要应用于动态运动中人体生物力学研究)进行了全面集成。Dytran的假人模型包括:基于SI制的假人模型即5%、50%和95%的混合III型假人,以及SI制和英制的50%的混合II型假人和英制50%的混合III型假人模型。此外Dytran与荷兰TNO公司的Madymo软件的假人模型直接耦合,可方便地调用它的多种假人模型。利用假人模型和Dytran可以在汽车碰撞或飞机着陆时模拟人体的响应及运动姿态。



Dytran利用流固耦合分析功能模拟气囊展开,同时可以模拟展开过程中气囊内热传导。对气囊内的气体描述允许采用均匀压力或更精确的完全气动力学方法。分析模型中考虑了气囊的多孔性,通过孔洞的渗透性。Dytran先进的气囊展开技术除了用于乘员安全性模拟,也能用在飞行器回收和着陆时的气囊展开模拟。

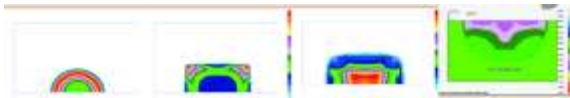
在Dytran的最新版本中增加了5%的混合III型女性假人,这是由美国联邦汽车安全法规FMVSS208所要求的,专门针

对乘员OOP(非正常坐姿, 如女性, 小孩等)问题进行仿真所开发的女性假人, 可分析假人的颈部、胸部的伤害值。

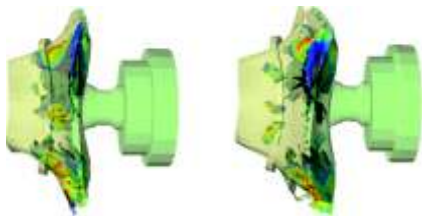


7. 爆炸分析

Dytran具有丰富的材料模式、状态方程(JWL炸药方程)及各种起爆条件, 能够用于模拟爆炸波的传播、爆轰产物的运动以及爆炸冲击波对结构的响应。Dytran的爆炸分析支持单点爆炸分析和多个爆炸点的多点爆炸仿真。



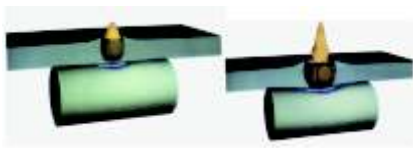
爆轰波的传播



叶片爆裂

8. 水下爆炸

Dytran可以考虑孔穴模型, 用于计算水下爆炸的流体与结构的相互作用; 强大的爆炸气泡算法, 能够保证精确模拟水下爆炸问题。



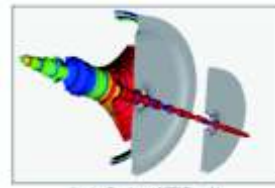
浅水水下爆炸对水下舰船结构响应仿真



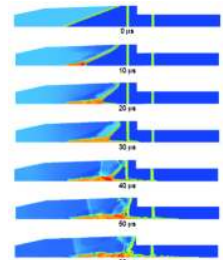
深水炸弹冲击波及其对结构作用

9. 点火膨胀(IG)状态方程

模拟爆炸波的形成和扩展, 现适用于多材料欧拉求解器, IG状态方程是2004版新增加的模拟爆炸材料的状态方程, 2005版本除去了只用于一种材料的限制, IG材料可与多自适应欧拉域、耦合和空材料一起工作, 更加准确地模拟爆炸过程, 如聚能射流的形成及其穿甲过程的模拟。



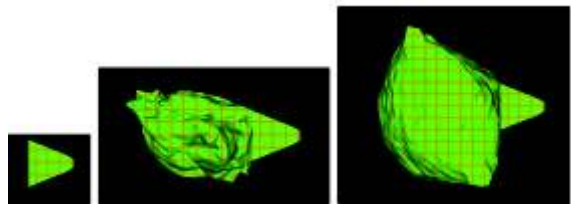
聚能射流的形成及其穿甲过程



10. 先进的Euler网格技术

自适应技术

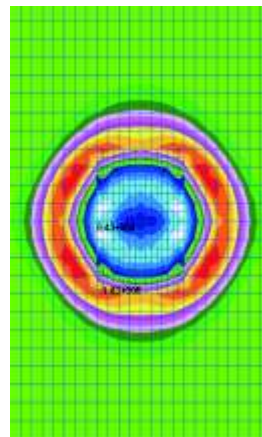
Dytran具有Euler网格的自适应技术, 如图所示, Euler网格的数量可随结构的大小而自动调整, 从而可大量节约耦合计算的CPU时间。



不协调网格的联结技术 (Graded Meshes)

Dytran最新版本开发了无须进行网格过渡协调直接将不同密度的网格联结起来的技术, 如图所示。

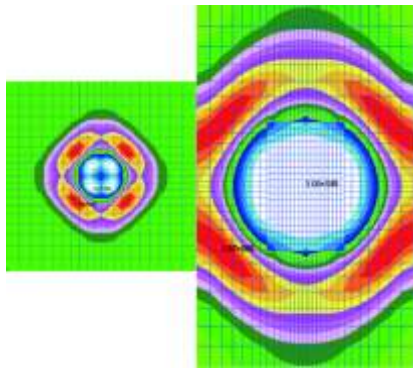
采用该技术, 可以十分方便地在不同区域采用不同密度的网格, 提高了网格的费效比。



非均匀网格的Mesh-Box技术

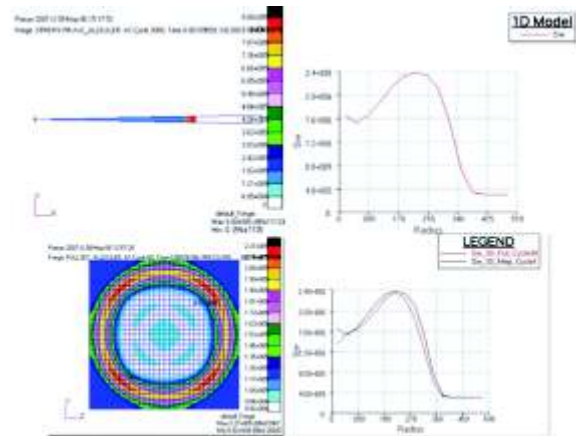
Dytran最新版本允许采用不均匀的网格密度对长方体空间区域进行网格划分, 通过定义各方向上的网格划分数量、最大与最小网格尺寸的比率加以控制。

与Graded meshes结合, 更加方便、灵活地划分出高效率的欧拉网格。



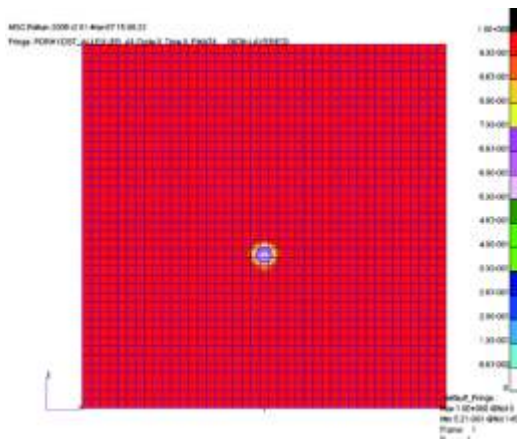
维球对称单元

最新版本的Dytran引入PARAM,SPHERSYM参数,把爆炸传播过程从3维问题经过简化修正为1维问题,大大提高计算速度,同时可以将一维的计算结果映射到三维模型上进行下一步分析。



静水压力边界条件

最新版本的Dytran可以直接定义静水压力边界条件,以此来对欧拉网格进行压力初始化。这样就改变了以往需要通过施加重力场来模拟初始压力状态的做法,使建模和分析变得较为简单。这一功能对于水下爆炸分析等问题非常有用。

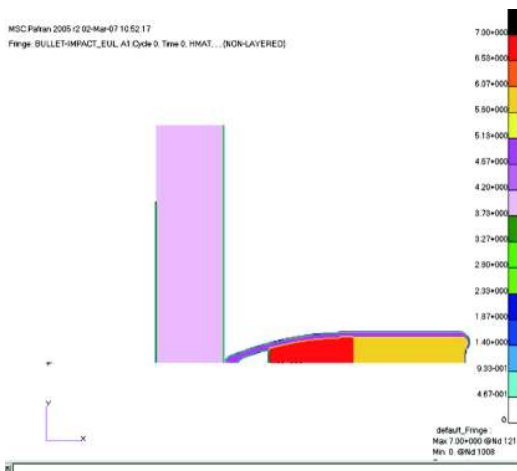
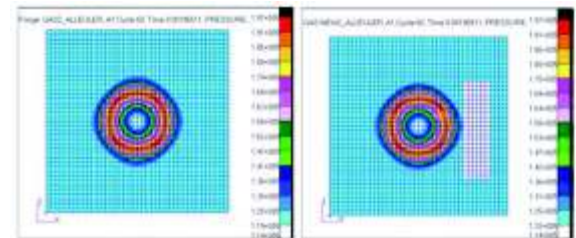


使用ARC文件对欧拉区域初始化

最新版本的Dytran引入EULINIT参数,欧拉区域除了对同一网格模型进行简单再启动的功能外,还具有对不同时间段采用不同网格的高级再启动功能,该功能允许将前一个阶段的计算结果的ARCHIVE文件倒入新的模型,根据网格几何坐标数据将计算结果映射到新的网格中,从而对新网格进行物理参数的初始化,然后进行下一个时间段的分析。

轴对称问题的快速算法

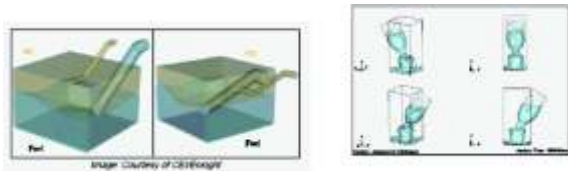
最新版本的Dytran引入PARAM,AXIALSYM参数,把轴对称计算模型从3维问题经过简化修正为平面问题,大大提高计算速度。



11. 强大的流固耦合功能

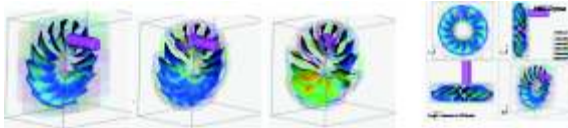
多欧拉域耦合

Dytran独有的“自适应多欧拉区域”技术得到大大扩展,欧拉网格随着耦合面的变化自动调整,此技术从只支持单一材料到支持多材料欧拉的求解器,欧拉材料可以是多种流体/气体材料,亦可以是有刚度但经受大变形的结构材料,这种自适应网格的技术不仅可以优化计算步长提高计算速度,还提高了计算精度。此外,多材料欧拉求解技术在鲁棒性和准确性上得到大大改善;如油箱晃动,燃料箱燃料的注入和流出,水下爆炸,模拟水从瓶中倒入杯中的流动过程等。



燃料箱燃料的注入和流出

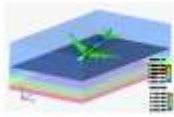
模拟水从瓶中倒入杯中



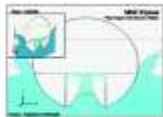
鸟体撞击发动机叶片

失效耦合面定义

最新版本高级的欧拉技术对复杂流固耦合问题提供了无与伦比的仿真技术，如快速耦合、广义耦合和ALE耦合，同时可以定义流固耦合面的失效，可真实预测或再现事故。如飞机水面着陆结构破坏后水流入对结构内部的进一步作用，多个鸟撞击复合层板的失效，油箱受挤压撕裂后箱中油的溢出，船体爆炸后水的浸入等。



飞机水面着陆



鸟撞复合层板的失效

静止耦合面算法

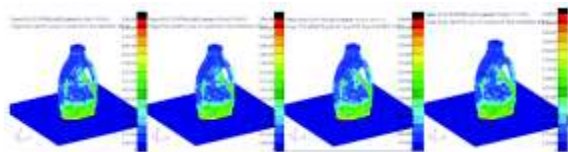
最新版本的Dytran针对耦合面处于静止的情况改进了算法，避免了不必要的计算工作量的浪费，大大提高了这种情况下的计算速度。

耦合表面摩擦力

最新版本的Dytran中引入了耦合面表面的摩擦力模型，从而可以模拟流体流经结构表面时的附面层效应。

DMP并行

最新版本的Dytran中引入DMP并行算法，从而提高计算效率。



1cpu

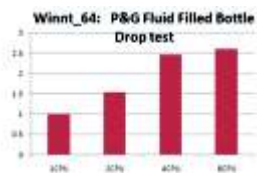
2cpu

4cpu

8cpu



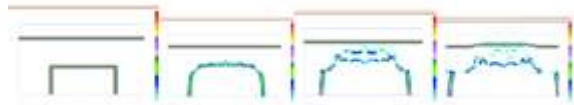
cpu时间



加速比

12. 重启动功能

可以十分方便地将一个规模较大的题目分阶段进行运算。



战斗部破片的形成及对目标的打击

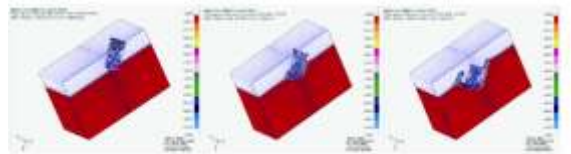


系安全带的人体在撞击过程中响应历程

13. 用户自定义子程序接口

通过预留的大量用户子程序接口，可方便地实现客户化的需求，并进一步扩充Dytran的标准分析功能。

Dytran最新版本功能的不断加强使得Dytran在汽车、宇航、军工和消费等行业的应用前景更加广泛。



弹体侵入无限大混凝土的动态仿真

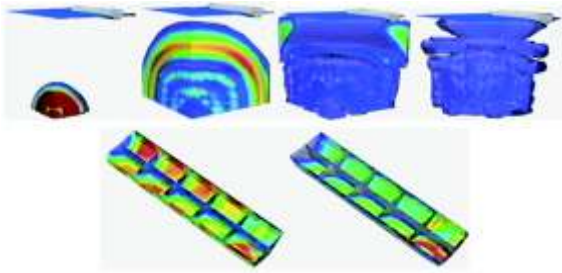
四. Dytran界面

在Patran框架下集成的Dytran前后处理界面清晰、直观，可以方便实现Dytran分析所需的复杂建模、加载、约束等边界条件的设置和可视化，以及计算结果的各种动画处理，并可通过Patran直接与MSC软件的其他产品如MSC Nastran, Marc等进行模型数据交换。详细了解请参见介绍Patran的专门资料。

五. Dytran应用范围

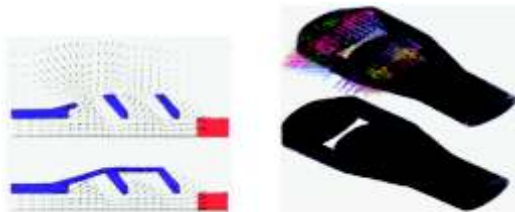
Dytran采用显式积分技术，支持广泛的材料模型，可模拟瞬态高度非线性结构、气体/液体流动、尤其擅长模拟高速碰撞、结构大变形和瞬时内发生的流体结构相互作用事件。广泛应用于：

- ◆ 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；

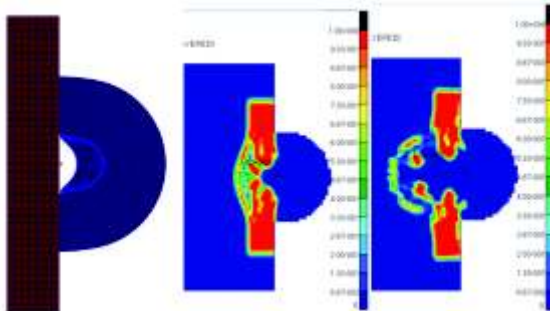


日立造船分析船体结构在水下爆炸冲击波作用下的动态响应

◆ 水下/空中弹体发射过程, 火炮制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

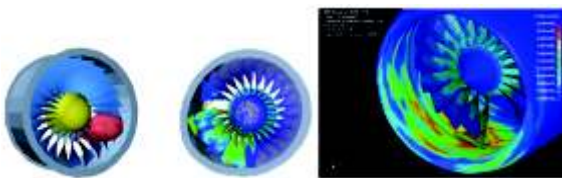


火炮制推器计算仿真



射流

◆ 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;

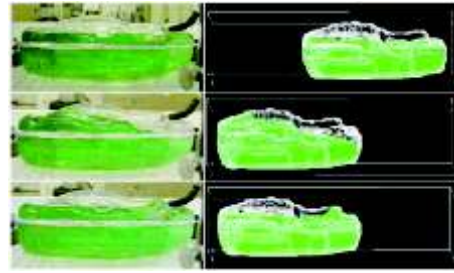


鸟体撞击发动机

◆ 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

◆ 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

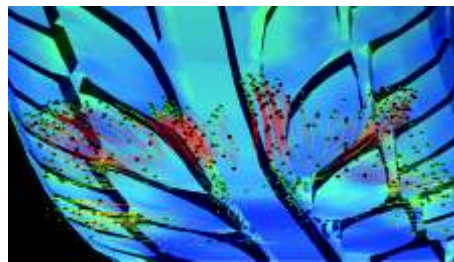
◆ 流体动力分析, 如液体、气体的流动分析、液体晃动分析, 水上迫降



汽车油箱的晃动仿真

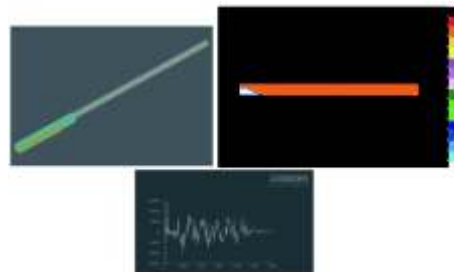
◆ 安全防护分析, 如安全头盔设计、安全气囊膨胀分析以及汽车~气囊~人体三者结合在汽车碰撞过程中的响应, 飞行器安全性分析(飞行器坠毁、带气囊着陆等)

◆ 轮胎在积水路面排水性和动平衡分析



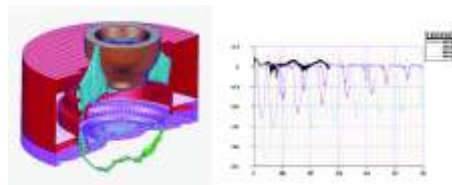
刹车时轮胎水流

◆ 高速列车运行系统动力学分析。高速列车穿隧道的冲击波响应, 高速列车运行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等及其它瞬态高速过程仿真。



高速列车运行中引起的作用在声屏障结构上的空气脉动力分析

◆ 液阻型橡胶隔振器瞬态动力响应分析。



液阻型橡胶隔振器分析部分模型及分析结果

六. Dytran平台支持

Dytran 支持 HP, IBM, SGI, SUN等 UNIX工作 站 和 WINDOWS计 算 机 。 支 持 UNIX 、 LINUX、 WINDOWS2000/XP等操作系统, 支持SMP、DMP并行计算。