

# 现代CAD设计技术的内涵 及其发展



# 主要内容

- 设计技术的含义与现代设计方法
- 数字化设计技术的发展
- 现代CAD技术
- 计算机仿真设计技术
- 现代设计中知识的作用
- 结束语

# 一、设计技术的意义和方法

## 1、设计的含义

- 引言

设计→过程，研究解决怎样设计（HOW）的问题

描述特性 { 方法论  
设计程序  
创造性思维

设计→结果，研究解决设计应该怎样（WHY）的问题

价值特性 { 社会  
经济  
文化

设计环境 { 有限的资源  
有限的理性

——入道者成“师”，不入道者成“匠”

设计师的成长 { “以技入道”  
“由理入道”

- 设计的定义
- Archer（阿切尔） “设计是围绕目标的问题求解活动”，以心理学研究为基础

{ 问题的定义  
问题的求解过程  
问题的求解策略

评价设计的标准：

设计思维过程的合理性

设计工作的目标性

- Asimow（阿西莫夫）——“设计是高风险，高不确定条件下的决策过程”

设计本质特性是“多方案选择”→ 有限理性

{ 希望“足够满意”  
不求“唯一最佳方案”

- Booker（鲍克）——“设计是获得足够把握前，对未来产品尽可能多地模拟”

强调模型的作用 { 实物模型  
数字模型  
计算机模仿真型

- Gregory (葛雷佳利)——“设计是拿出使人满意的产品” → 设计以人为本的思想
- Reswick (李斯威克) ——“设计是从无到有的创造”，创造新的有用的事物：

科学是研究已有的东西

设计是创造新的有用的东西

{ 设计知识是科学 → 用科学活动解释设计

{ 设计是艺术，尽管用到了科学知识



- V.Hubka的学术思想（功能和结构设计）

以人的需求为根据，利用系统分析的方法经过“技术过程”→“技术系统”→“功能结构图”→“形态学矩阵”→多个可行方案→综合择优等过程，确定尺寸、结构设计的根据。





- 我们的定义：设计是利用必要的资源和手段，通过人类创造性思维与研究活动，促使理性构想达成“物化”的过程。

资源——知识、经验、材料、信息、  
环境（人文、社会、经济等）

手段——设计方法、工具、软硬件

思维与研究——知识形成、综合、  
升华、飞跃

理性构思——符合实际环境条件和设计  
目标的方案，并经过验证

## 2、传统设计的特点

- 方法——类比、经验、模型实验（依赖于经验）
- 过程——初步设计→技术设计→详细设计（串联方式按部就班进行）
- 环境——手工方法、设计手册、模型、经验
- 思维方式——收敛式思维，强调局部
- 设计结果——少方案，设计费用低

### 3、现代设计的特点

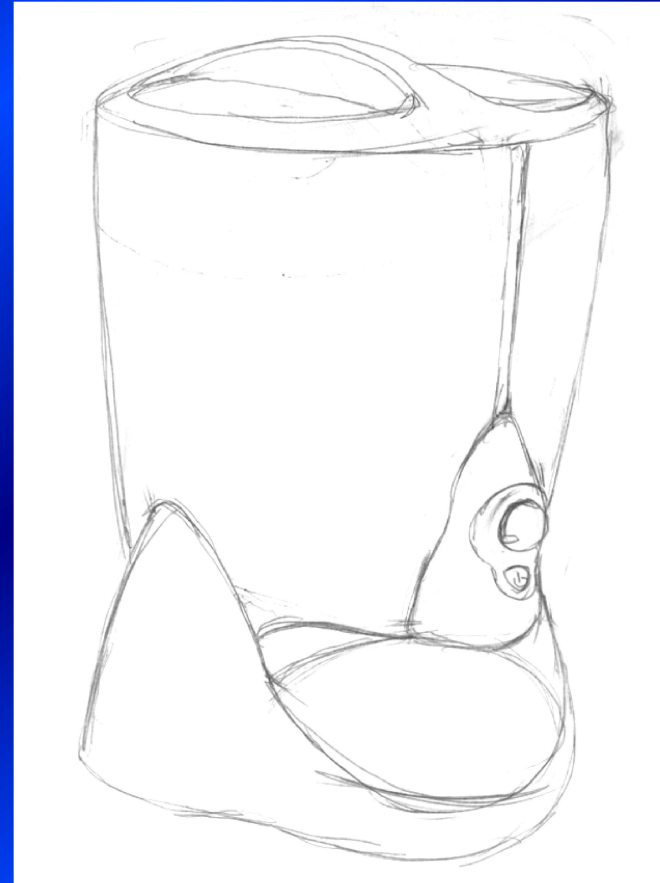
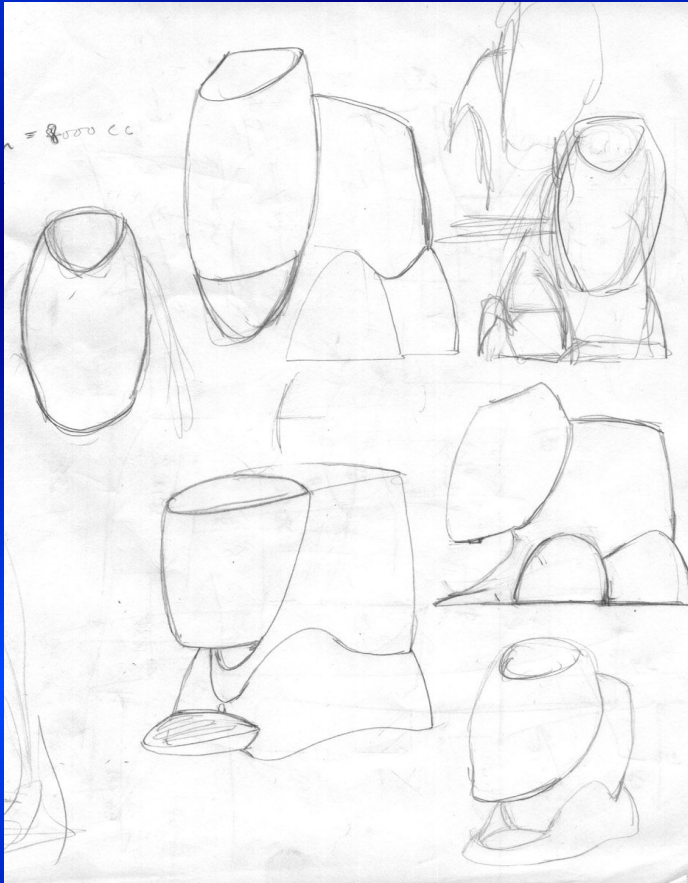
- 系统性——视设计对象为系统，考虑内、外联系，力求整体最佳
- 创造性——重视人的创造潜力，以创新为目的和标志
- 综合性——市场需求为导向，兼顾生产、管理、销售、用户因素，探索多种解决问题的途径
- 多解性——可短期提供多个方案，保证设计结果相对最优

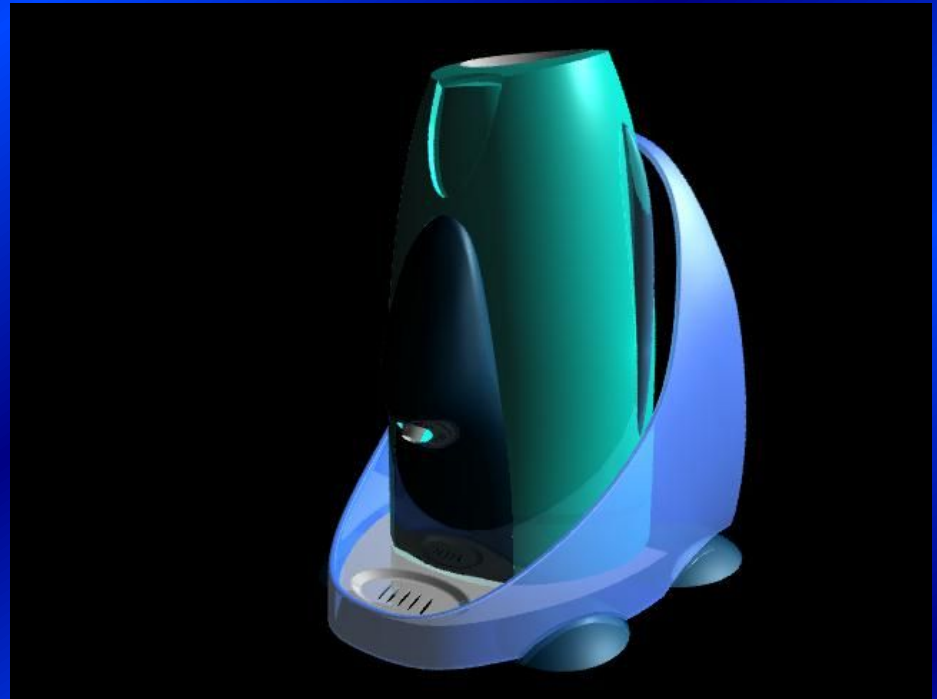
- 设计的环境——信息极为丰富，知识高度融合，新材料、新工艺层出不穷，计算机软、硬件技术为设计提供了前所未有的良好环境，市场经济的高度发达，产品的激烈竞争，成为推动现代设计方法发展的社会背景
- 设计观念——经验的、类比的、局部的，  
变成逻辑的、推理的、系统的
- 思维方式——静态的、少变量和方案的、收敛的变成动态的、多变量的、多方案的、扩散的。

- 设计手段——依赖于经验、手工、实物模型变为依靠分析、计算机软、硬件功能、数学模型与仿真。
- 设计方法——优化设计、可靠性设计、计算机仿真设计、多刚体动力学分析、有限元分析、现代工业设计、价值工程、反求工程、相似设计，绿色设计等
- 实用设计技术——CAID、CAD、仿真设计、网络协同设计、虚拟现实与数字化样机等

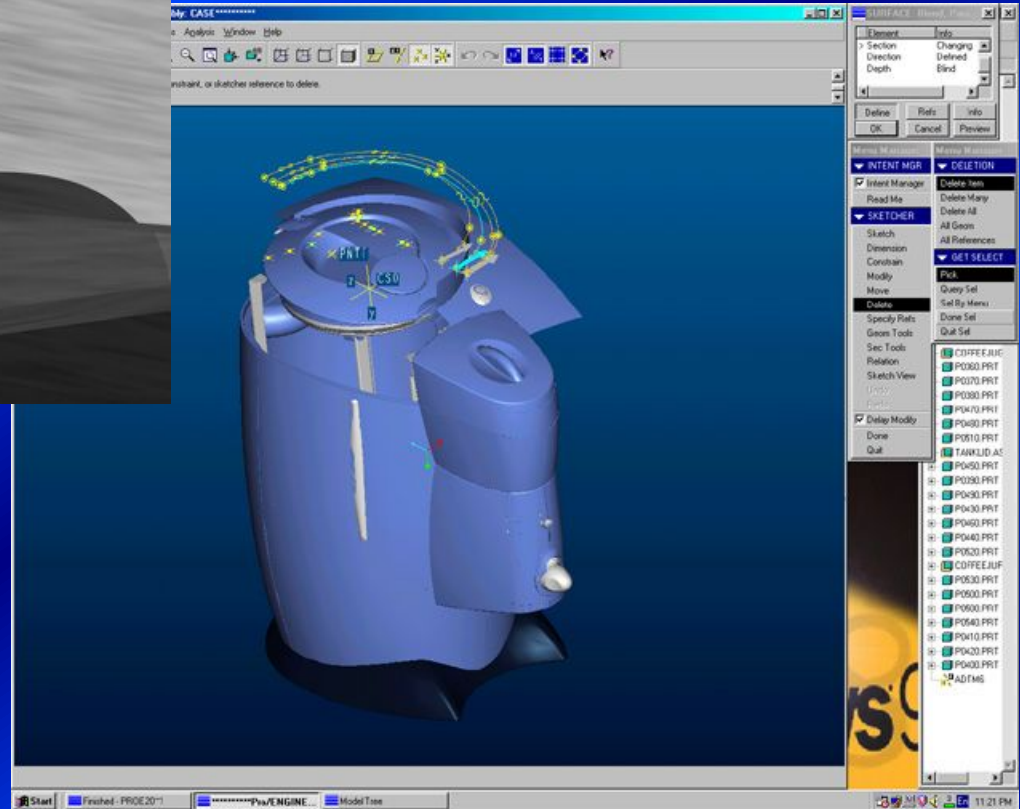


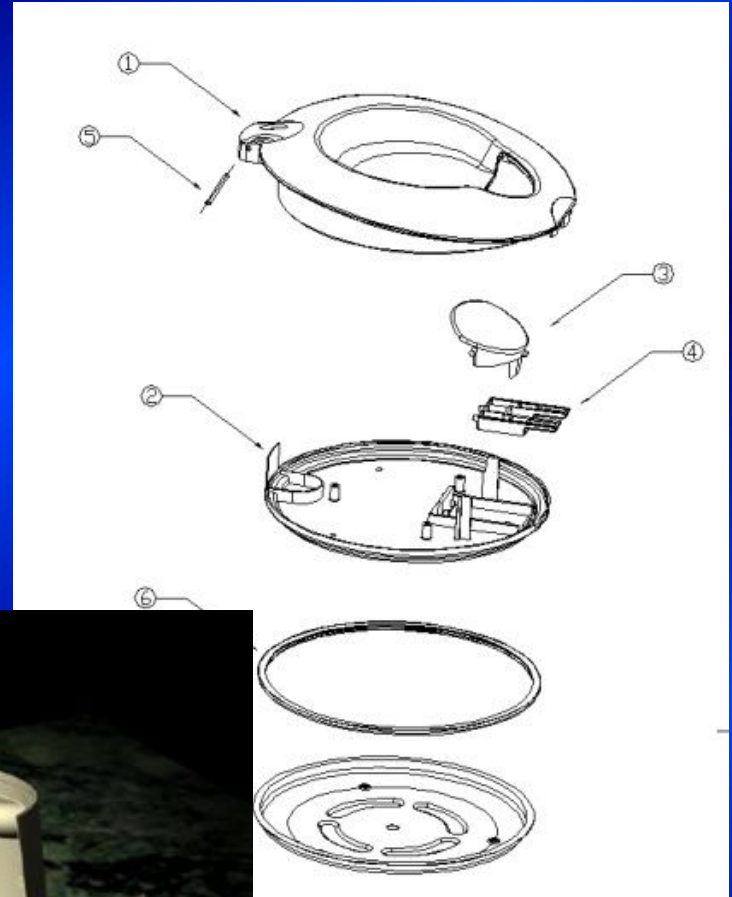
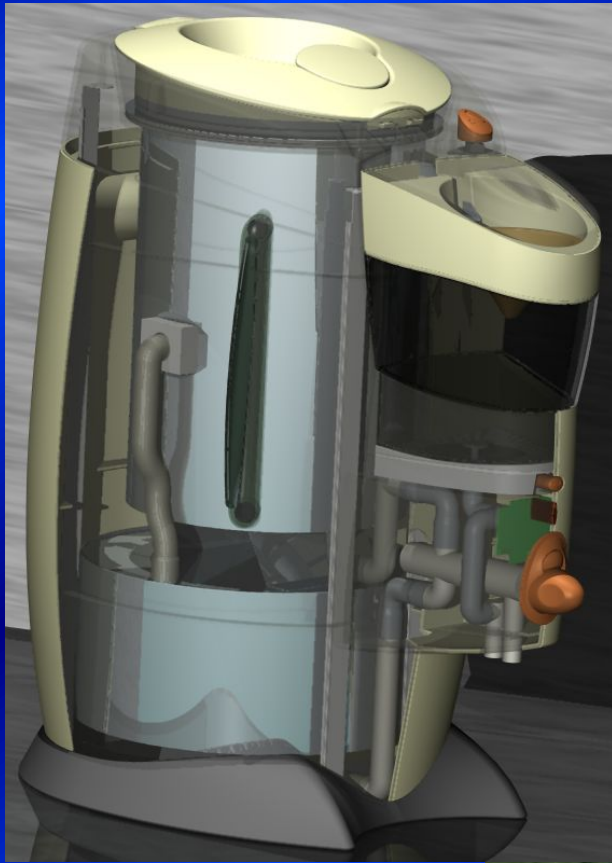
# 机电产品现代设计实例

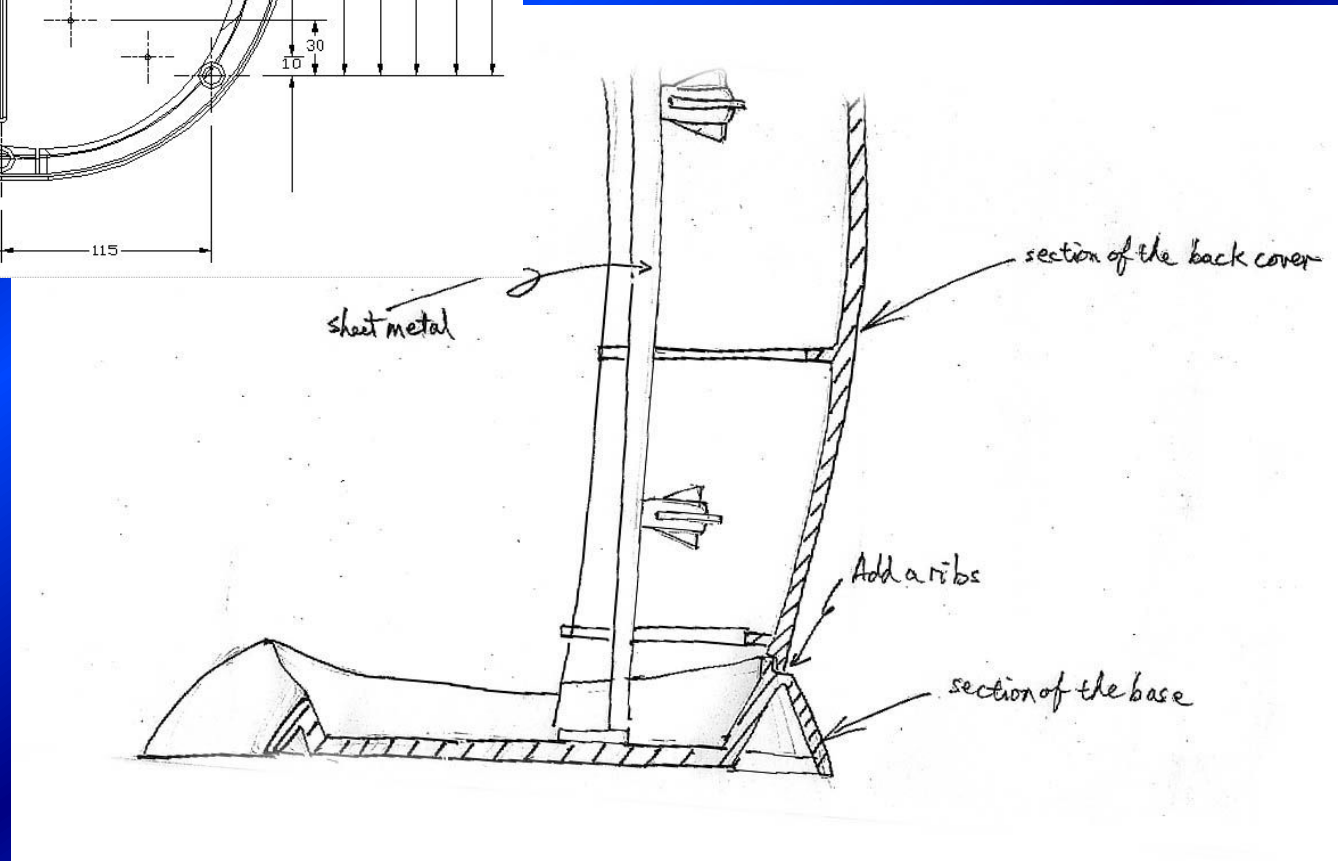
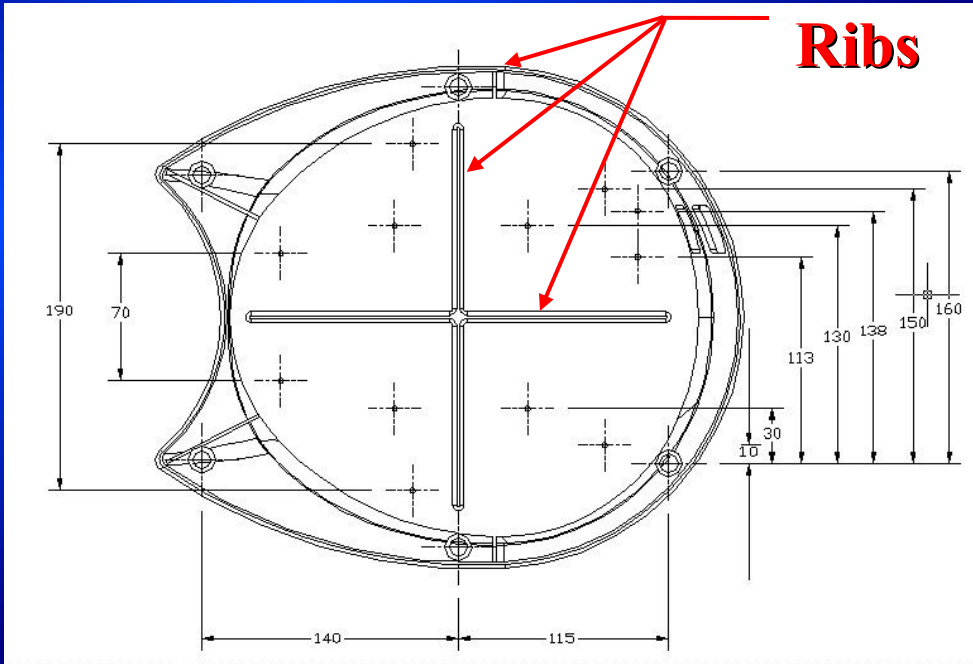


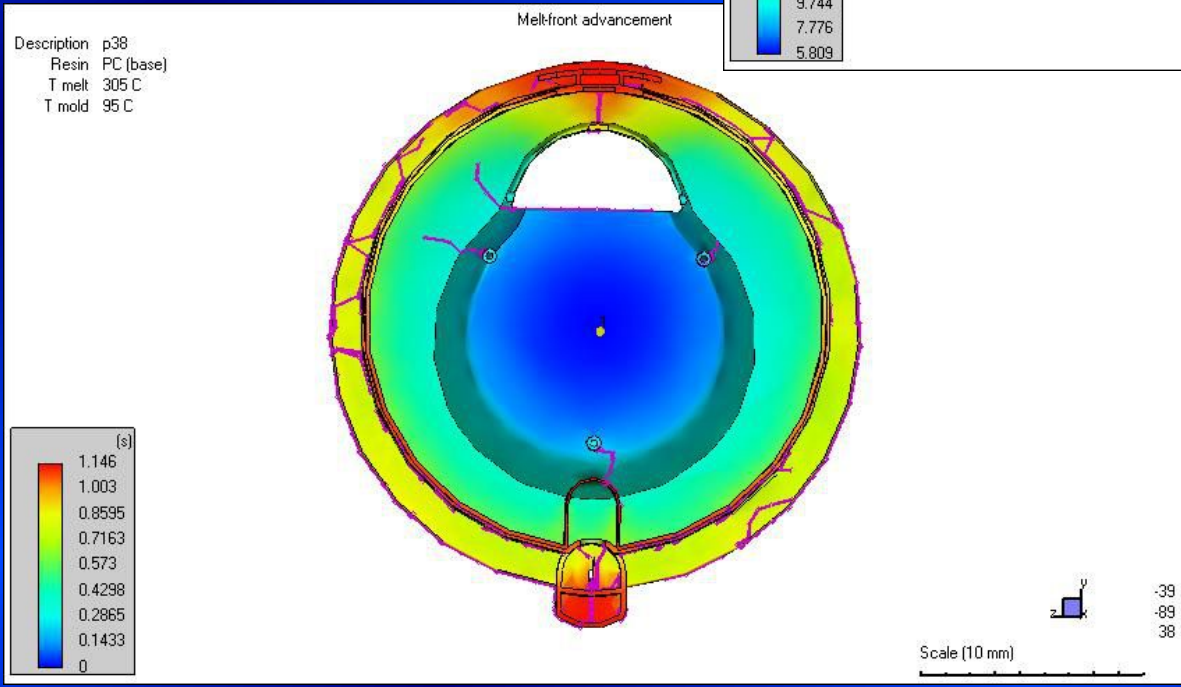
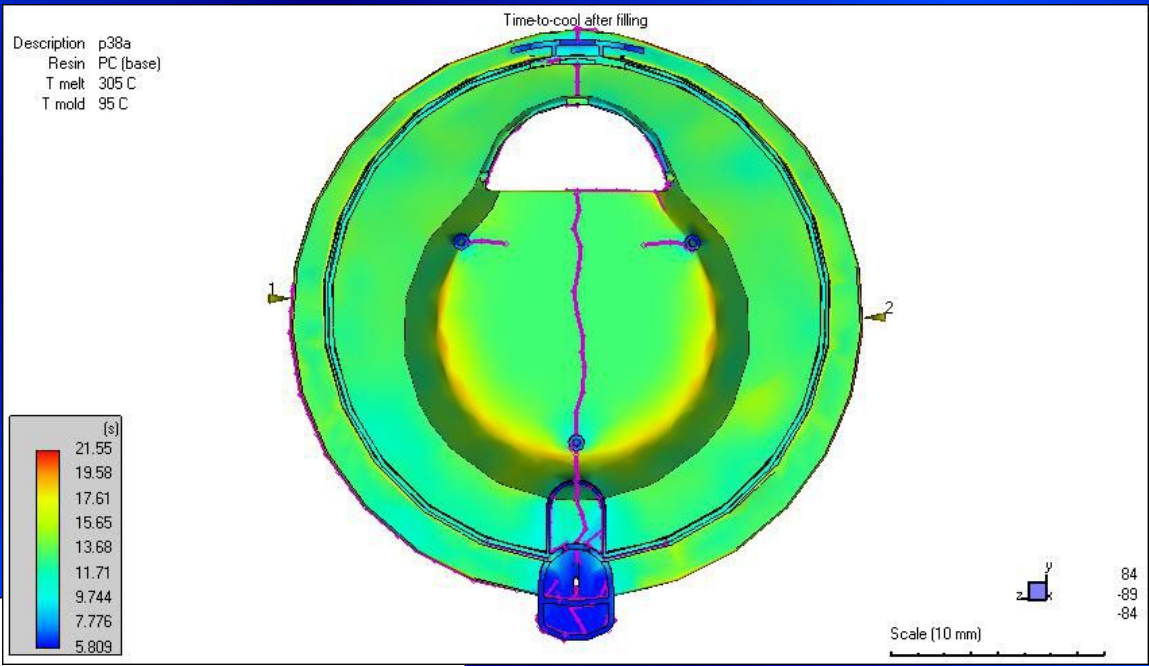




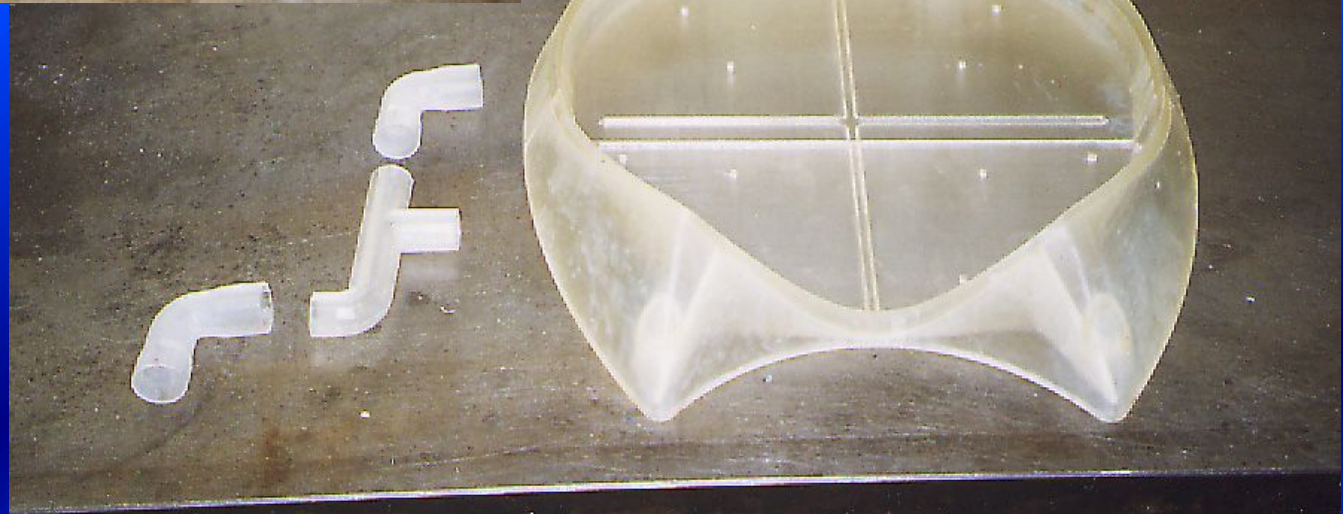
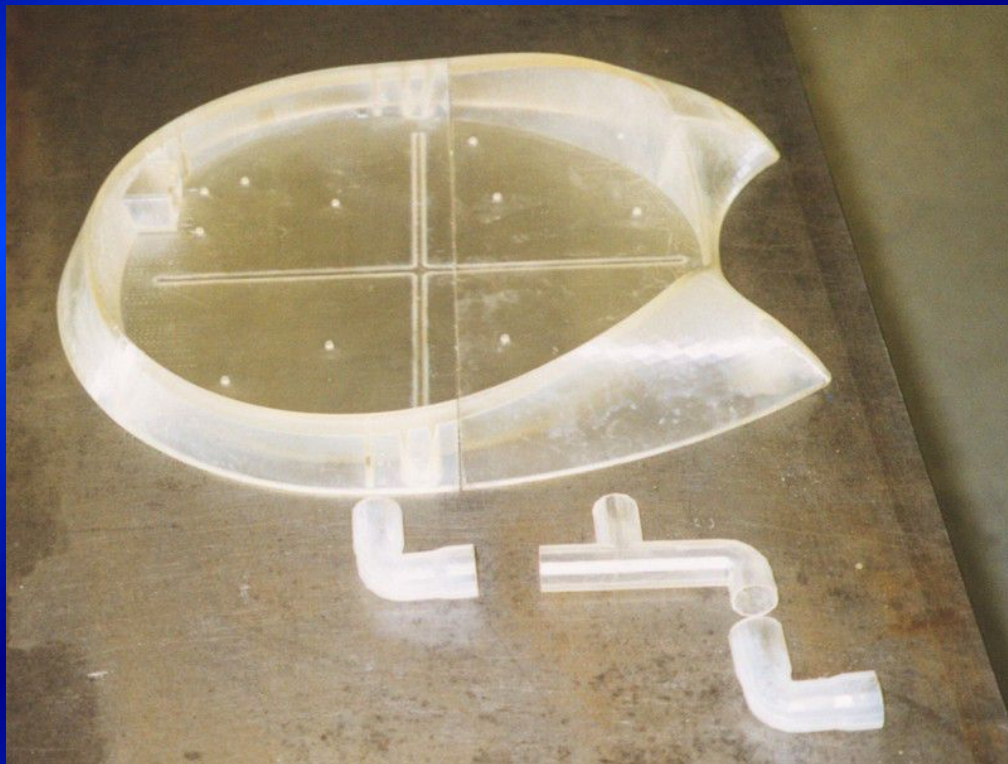












## 二、数字化设计技术的发展

### 1、设计模型及其发展

- 模型——数字化设计技术的基础，在现代设计中起作核心作用
- 模型的种类



符号模型 { 几何模型  
物理模型  
化学模型等

- 产品设计中模型的作用

{ 信息的载体：几何拓扑、物理特性、  
工艺装配、功能维护  
设计表现形式：外观视觉、操作性能、  
结构特点、销售价值

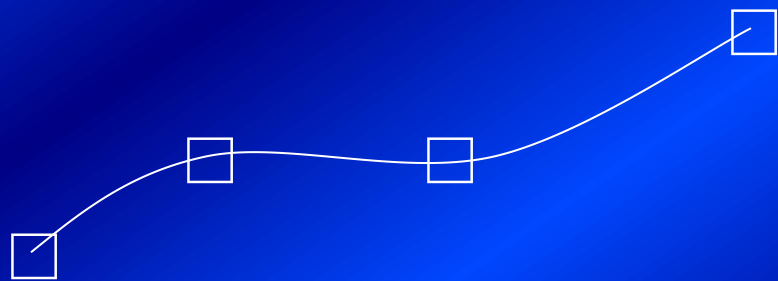
- 设计信息的载体——产品设计模型的特征



- 线框模型（Wire Frame Model）——支持简单的图形表示
- 表面模型（Surface Model）——准确表示物体表面，如曲线、曲面
- 实体模型（Solid Model）——几何和拓扑意义上完备的设计模型
- 特征模型（Feature Model）——真正意义上的产品信息载体模型（可包含零部件和产品的表面质量、结构、工艺、装配、维护等信息，对设计、制造、管理过程意义重大）

- 自由曲线（面）的描述

- A、水下的船体——物理样条



$$EI \cdot K(x) = M(x)$$

$$K(x) = \frac{\ddot{y}}{(1 + \dot{y}^2)^{3/2}}$$

- (1) 二阶连续，小挠度
- (2) 三类边界条件
- (3) 无几何不变性

$$\ddot{y} = \frac{M(x)}{EI}$$

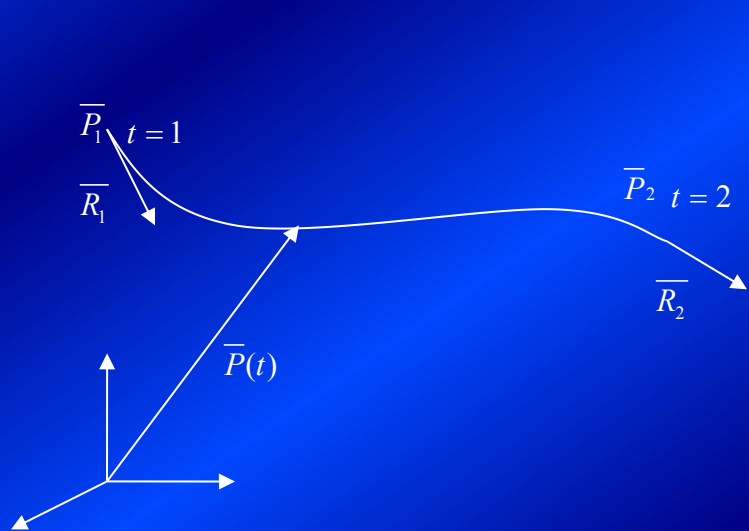
## B、三次参数曲线

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \\ c_x & c_y & c_z \\ d_x & d_y & d_z \end{bmatrix} \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (1)$$

- (1) 便于矢量和矩阵表示，规格化变量
- (2) 形状仅与型值点位置有关，与坐标系无关
- (3) 形状数学描述的标准形式 (Ferguson, 1964)

## C、三次参数曲线的Hermite形式

- 已知参数曲线端点位置和切矢即可定义Hermite曲线，如图由（1）可得



$$\bar{P}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P}_1 \\ \bar{P}_2 \\ \bar{R}_1 \\ \bar{R}_2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{P}(t) = T \cdot M_h \cdot G_h \quad (2)$$

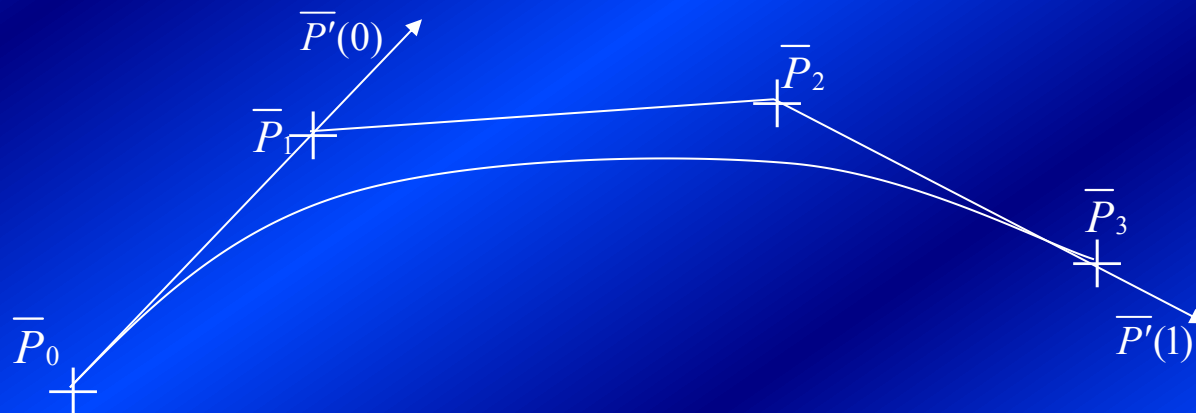
$M_h$ ——Hermite矩阵

$G_h$ ——Hermite几何矢量

## D、Bezier曲线的秘密

若： $\bar{P}_0 = \bar{P}(0)$  ，  $\bar{P}_3 = \bar{P}(1)$  ；

$$\bar{P}'(0) = 3(\bar{P}_1 - \bar{P}_0) \quad ; \quad \bar{P}'(1) = 3(\bar{P}_3 - \bar{P}_2)$$



则 (2) 中的  $G_h$  可表示为

$$G_h = \begin{bmatrix} \bar{P}(0) \\ \bar{P}(1) \\ \bar{P}'(0) \\ \bar{P}'(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P}_0 \\ \bar{P}_1 \\ \bar{P}_2 \\ \bar{P}_3 \end{bmatrix} = M_{hb} \cdot \bar{P}_i$$

• 代入 (2) , 令

$$M_b = M_h \cdot M_{hb} = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

则

$$\overline{P}(t) = T \cdot M_b \cdot \overline{P}_i \quad i=0,1,2,3. \quad 0 \leq t < 1 \quad (3)$$

为三次Bezier曲线的矩阵形式。

• Bezier曲线的参数方程可写为

$$\overline{P}(t) = \sum_{i=0}^n \overline{P}_i \cdot B_{i,n}(t) \quad 0 \leq t < 1 \quad (4)$$

式中  $B_{i,n}(t)$  称为Bernstein基函数

$$B_{i,n}(t) = C_n^i \cdot t^i (1-t)^{n-i} \quad C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

当n=3时 (4) 式即为 (3) 式



# 三、现代CAD技术

## 一、先进制造技术对CAD的需求

- T、Q、C、S、E需求

T--最快的上市速度 (Time to market)

Q--最好的质量(Quality)

C--最低的成本(Cost)

S--最优的服务(Service)

E--最清洁的环境(Environment)

- 由于设计阶段决定了产品成本的70%以上，采用先进制造技术的企业必然将产品设计这个环节视作其生命线，**先进设计技术必然成为先进制造技术的核心之一。**
- **CAD(Computer Aided Design)**是使用计算机系统来辅助一项产品或工程设计的**建模、修改、分析和优化**的过程和技术.它是一种新的设计方法，也是一门多学科综合应用新技术。

## CAD技术发展的几个阶段

- 第一代CAD系统出现于60年代，技术特点是利用解析几何的方法定义点、线、圆等图素,主要用于平面绘图。
- 第二代CAD系统始于70年代，技术特点是交互式技术及几何造型系统。三维线框模型、表面模型、实体模型和Sweep、CSG、B-rep等表示法可用于复杂结构的设计。
- 第三代CAD系统始于80年代中期，特征建模和基于约束的参数化和变量化建模方法是其技术特点，保证了二、三维模型修改时的相互关联性，以及CAD/CAM信息集成。

## 二、先进制造技术对CAD的影响

- **CIMS(Computer Integrated Manufacturing System) 的影响——信息的集成**

解决异构环境下信息集成的三个关键问题

- (1) 产品建模问题
- (2) 数据交换问题
- (3) 工程数据管理问题

- 并行工程 (Concurrent Engineering, CE)的影响  
——过程的集成

对CAD技术提出了以下要求:

- (1) 支持开发过程的重构和建模。
- (2) 实现协同设计的环境, 支持多学科队伍的协同工作。
- (3) 提供功能集成、信息集成的支持并行设计的CAx (CAD CAPP CAM...)和DFx工具。

- **敏捷制造(Agile Manufacturing,AE)的影响——  
——企业的集成**

敏捷制造模式必须具有敏捷设计的模式:

- (1) 提供实现产品敏捷设计的使能技术,如  
资源共享、信息服务、合作建模、联  
盟内的数据管理与设计过程管理等技术。
- (2) 提供支持产品敏捷设计的网络通信平台  
及相关技术的解决方案



### 三、现代CAD技术的提出

- 先进制造技术经历了信息集成—过程集成—企业集成的发展历程，现代CAD技术也在沿着信息集成—过程集成—企业集成的道路发展。
- 现代CAD技术是指在复杂的大系统环境下,支持产品自动化设计的设计理论和方法、设计环境、设计工具各相关技术的总称，它们能使设计工作实现集成化、网络化和智能化，达到提高产品设计质量、降低产品成本和缩短设计周期的目的。



# 现代CAD技术研究的主要问题

- 研究现代设计理论与方法学
- 并行设计、协同设计、虚拟设计、大规模定制设计、绿色设计
- 协同设计环境的支持技术
- 协同设计的管理技术
- 产品数字化定义及建模技术
- 基于PDM产品数据管理与 workflow（过程）管理技术
- 发展集成的CAx和DFx工具和计算机仿真技术

## 四、现代CAD与计算机仿真技术在机械设计中的应用与展望

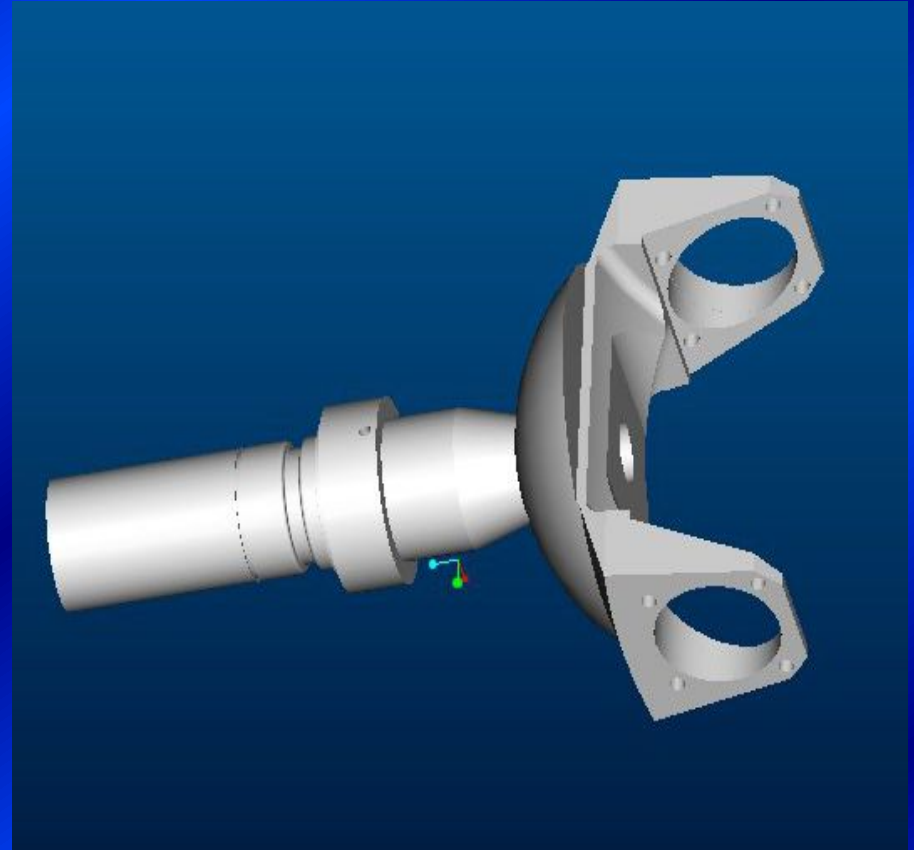
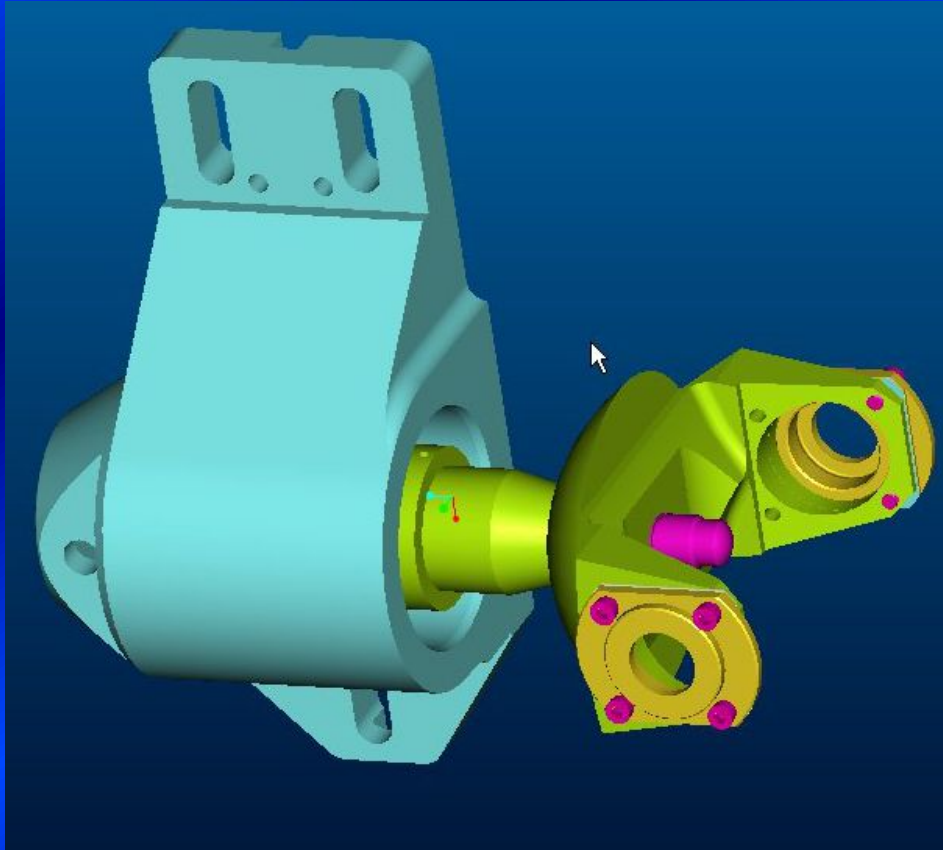
例：高速卷烟机械的特点

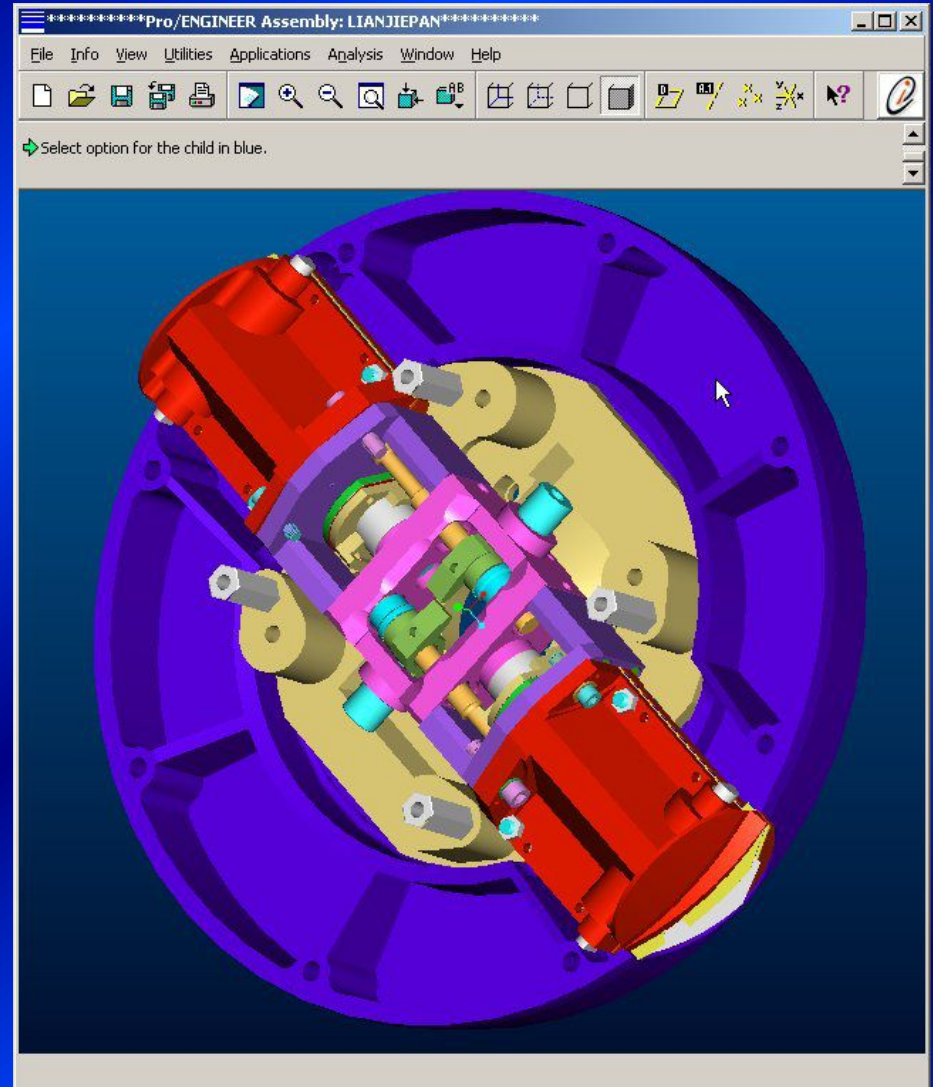
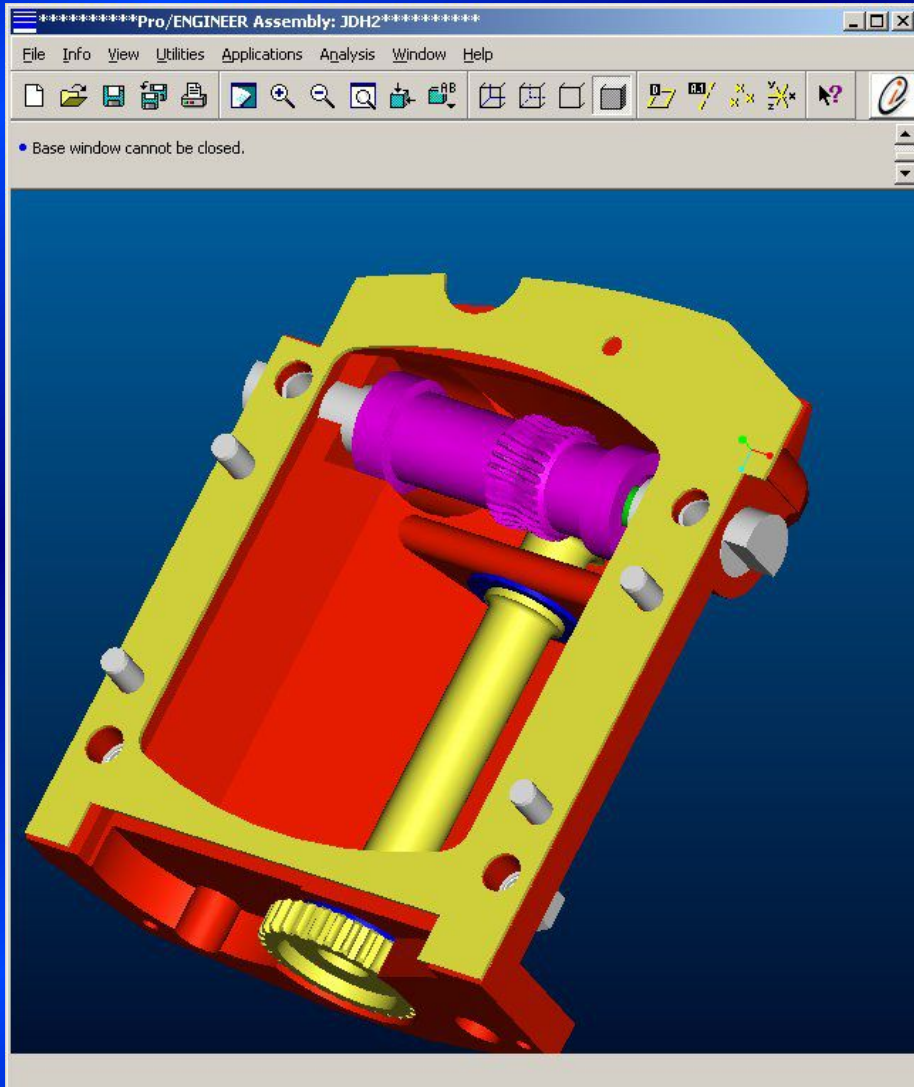
- 高速、高效的自动化机器
- 灵巧机械与快速测量、控制的综合系统
- 高速、动态、高可靠性机电一体化典型
- 加工对象材料特殊

## 烟草机械的发展趋势

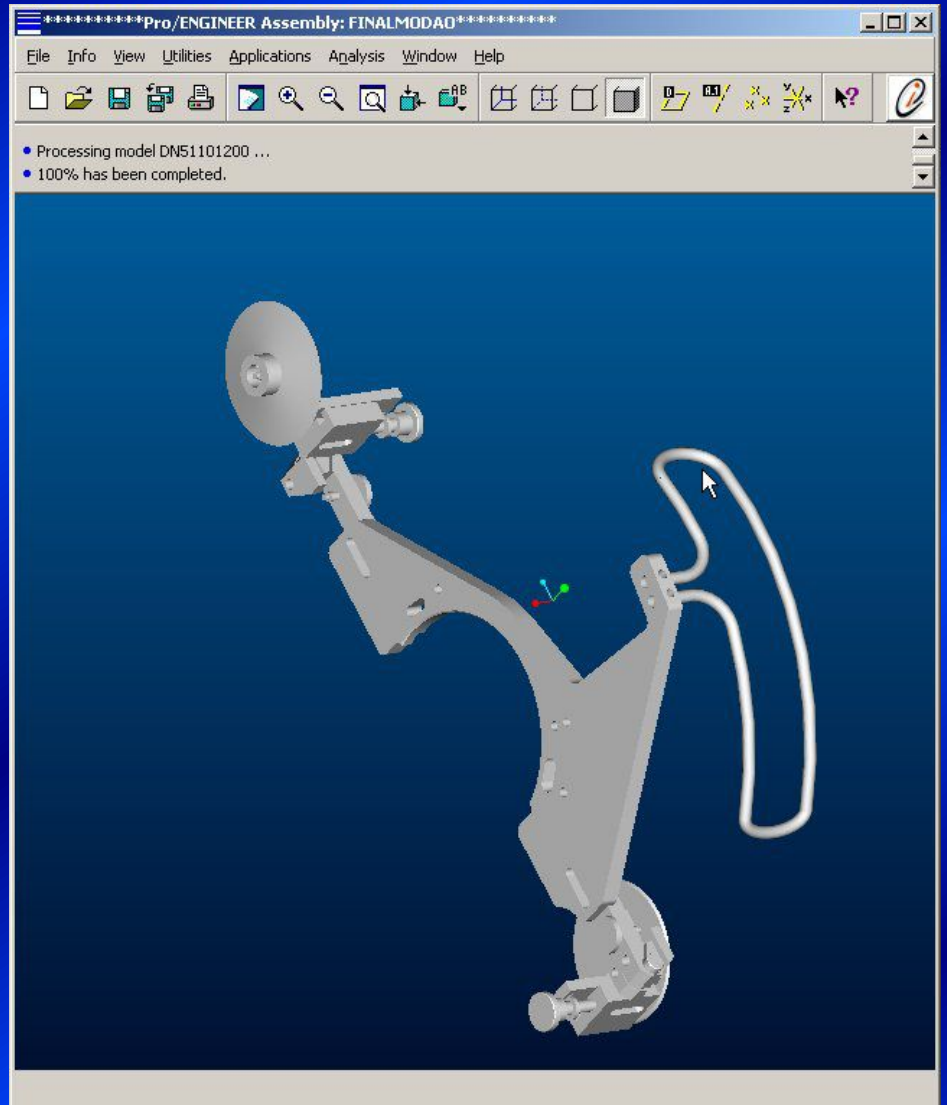
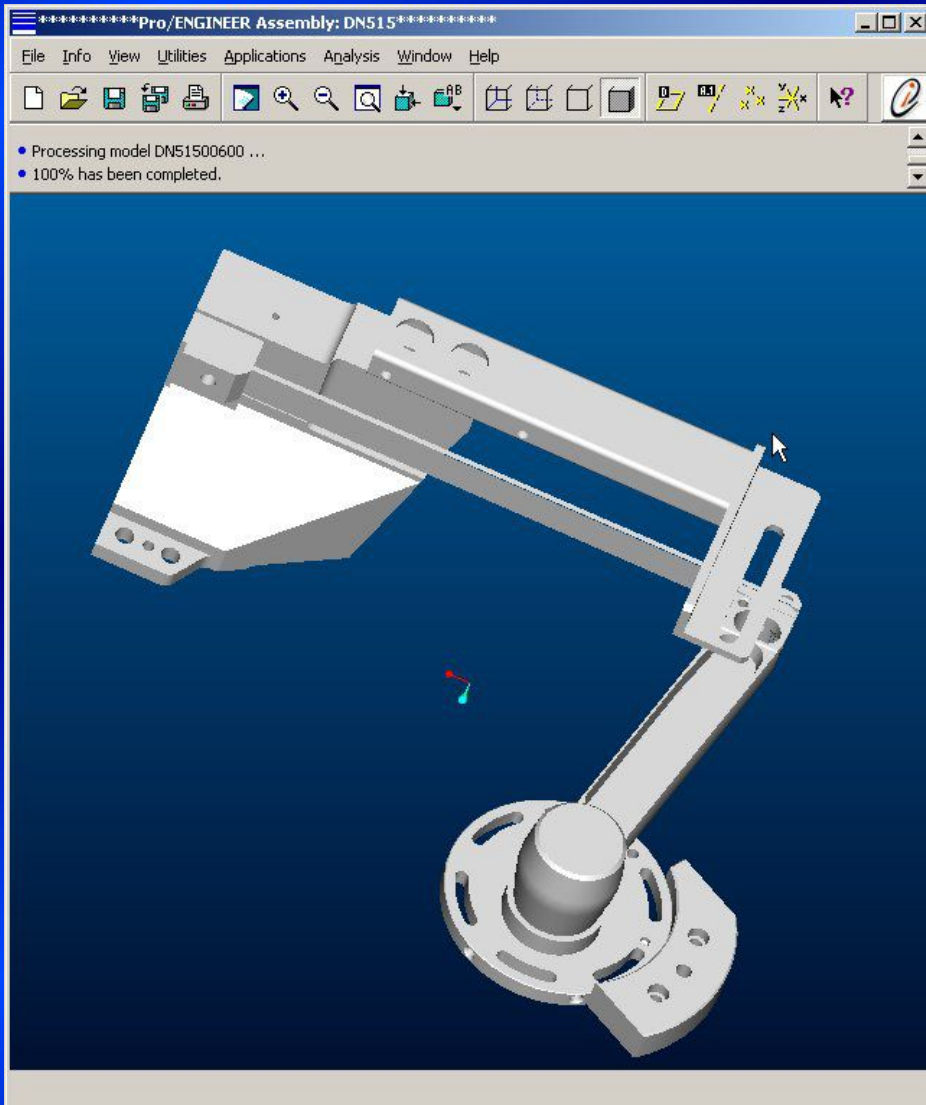
- 更高的速度和可靠性, 更好的动态性能
- 大量使用数字化技术, 完成动作及位置的控制, 实现柔性调整
- 新的材料输送原理和技术(如气动送丝等)
- 新的烟支成型与加工原理
- 新的高速动态检测原理和技术

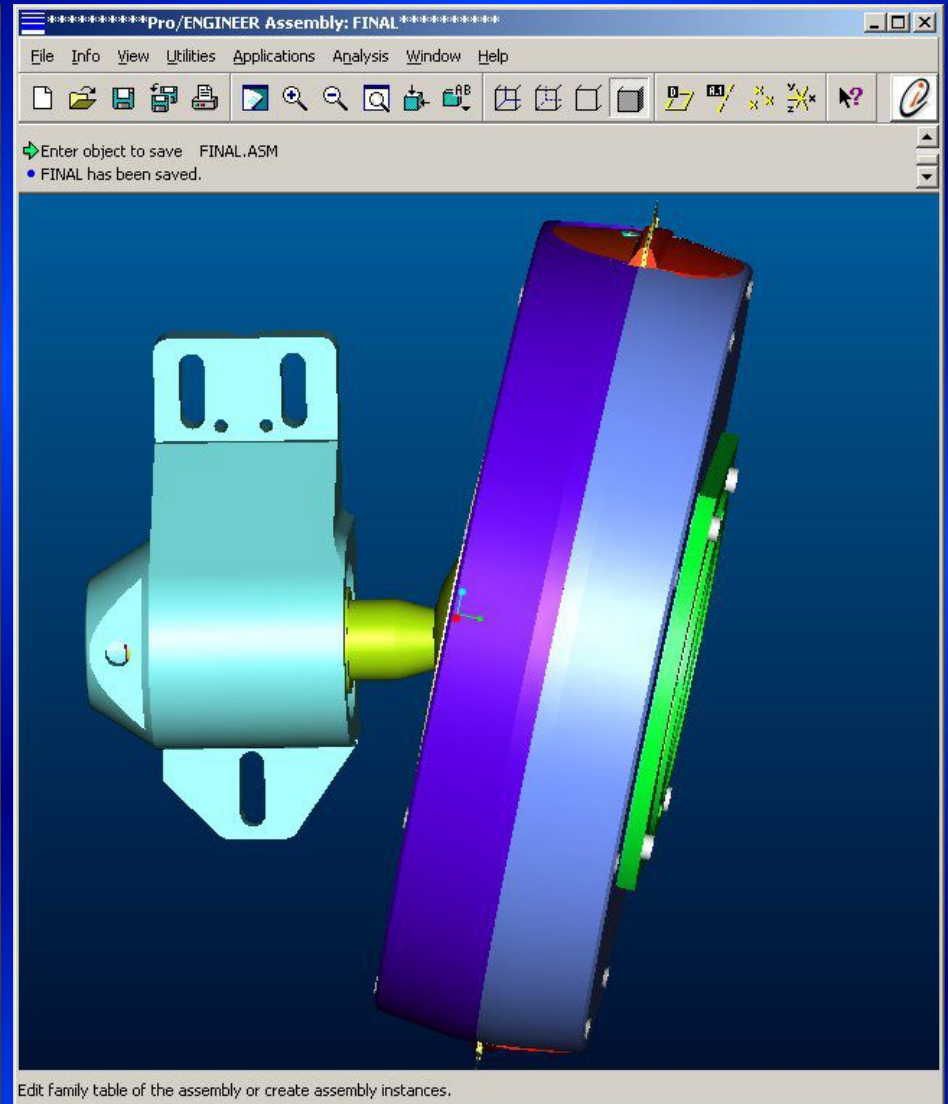
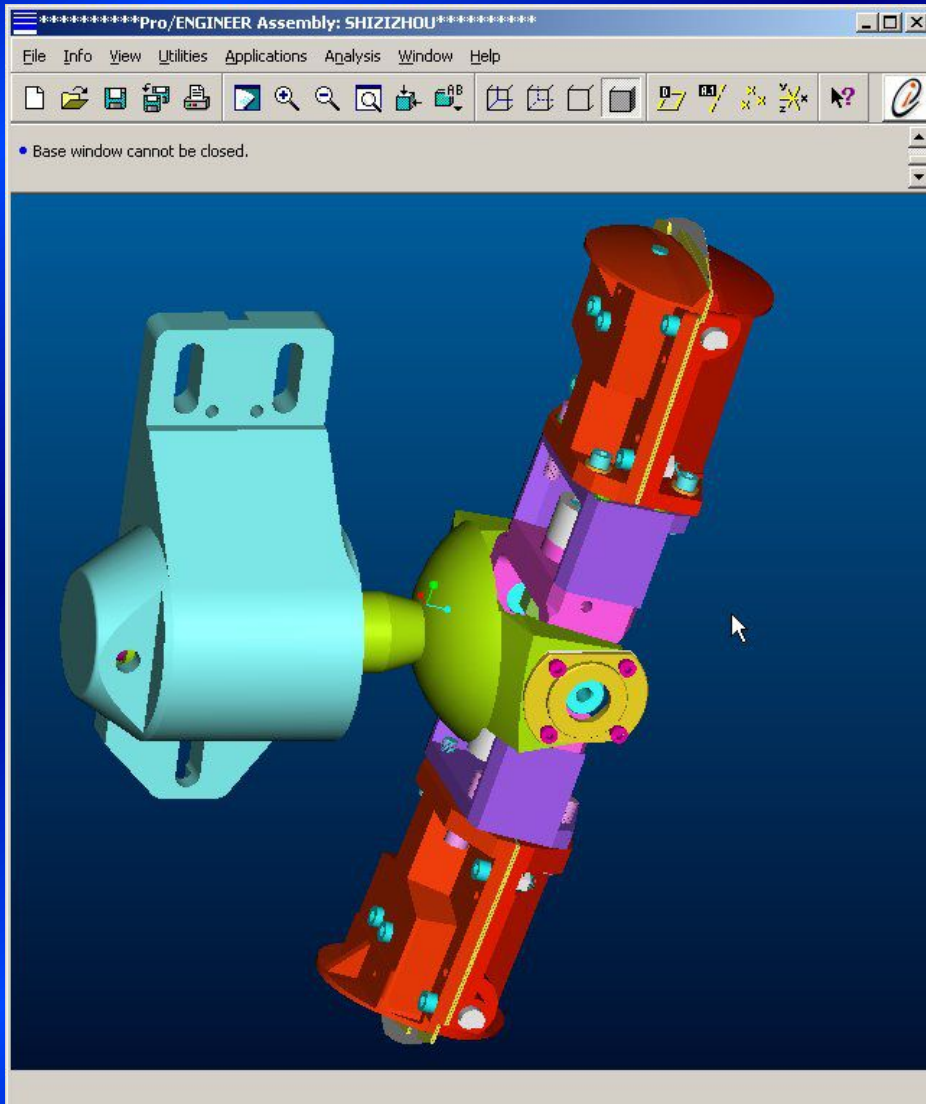
# 烟支切割装置的特征建模











# 研究的主要相关成果（1）

在Pro/E环境下用FB—ABMS系统完整地建立了猎豹越野车一个车型的车身和底板各块曲面零件的三维CAD特征模型，并实现了上述各零件的三维装配；

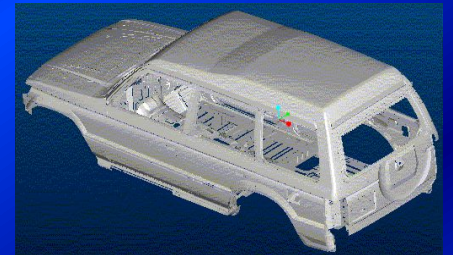
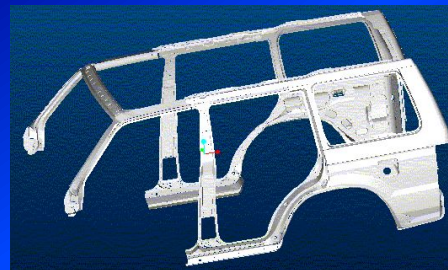
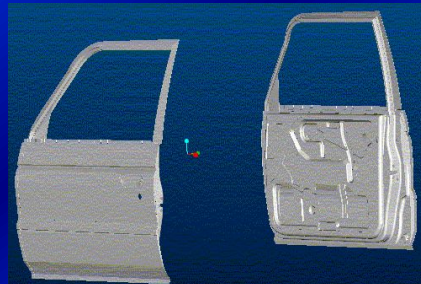
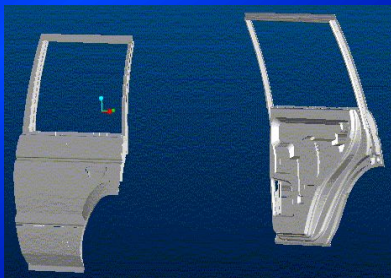
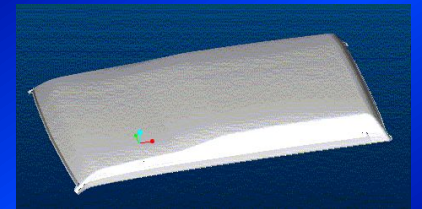
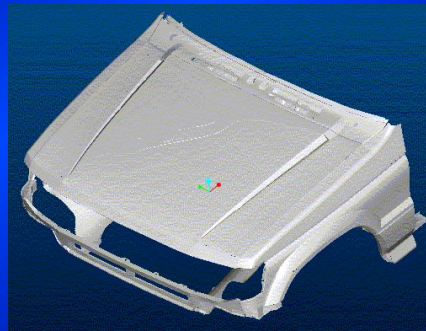
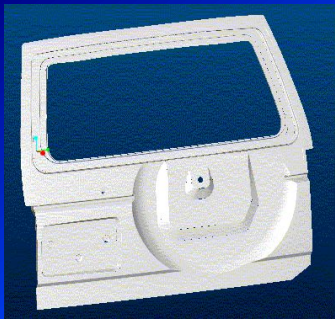
部件分离图

内部广角视图1

2

3

4

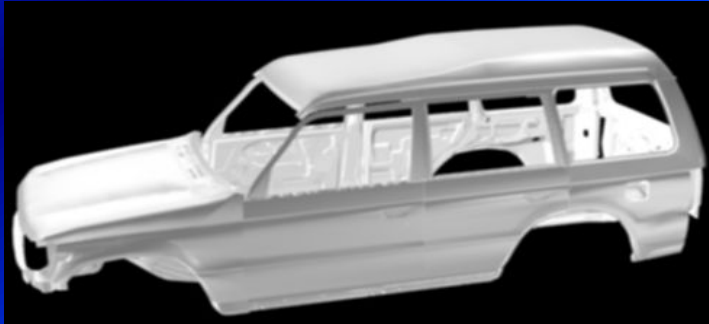




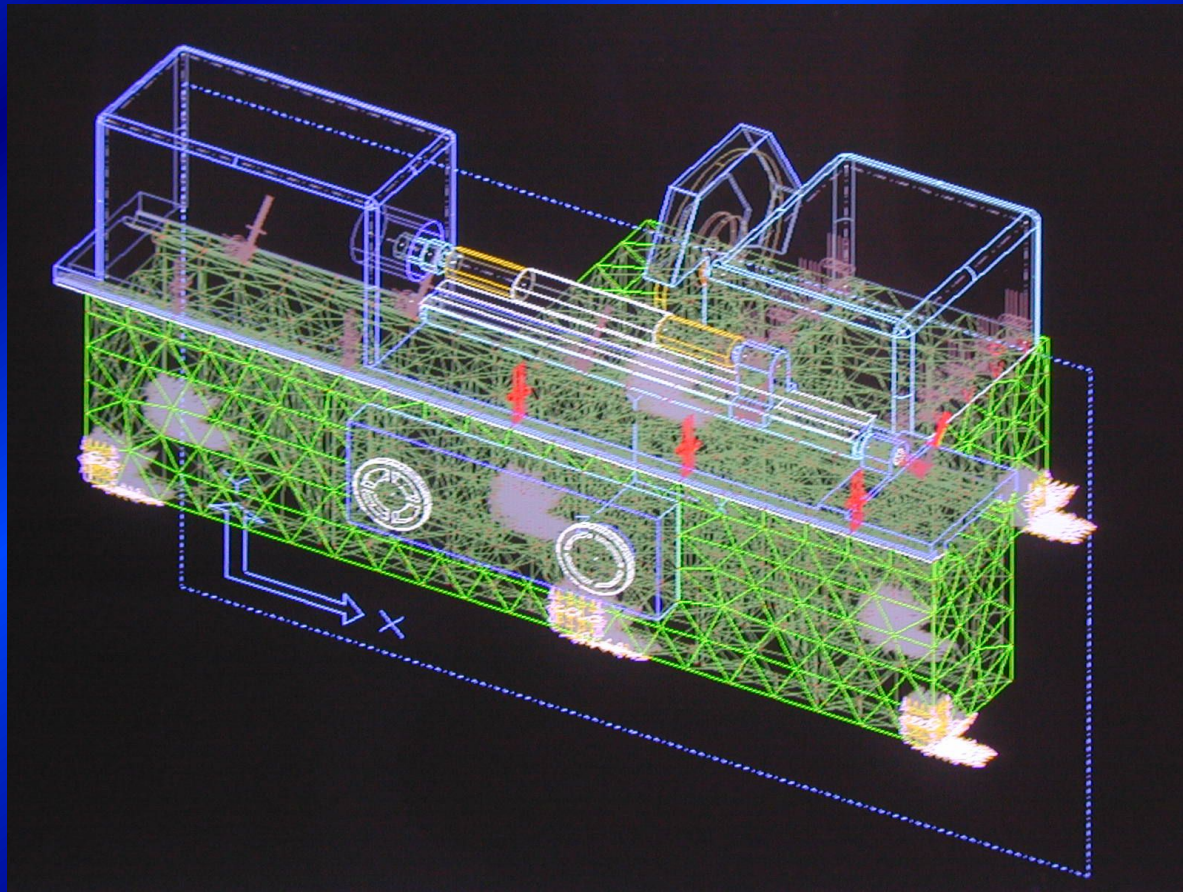
# 成果用于车身改型设计

基于猎豹越野车整车三维模型的工程应用仿真研究：

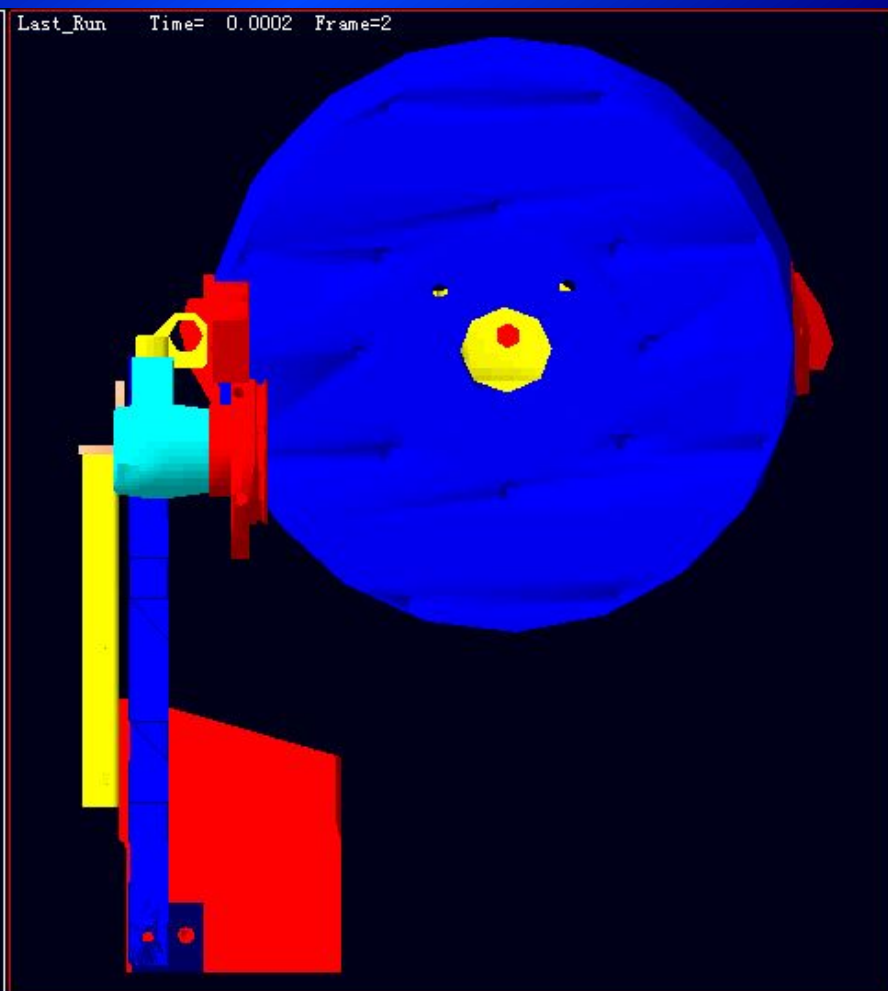
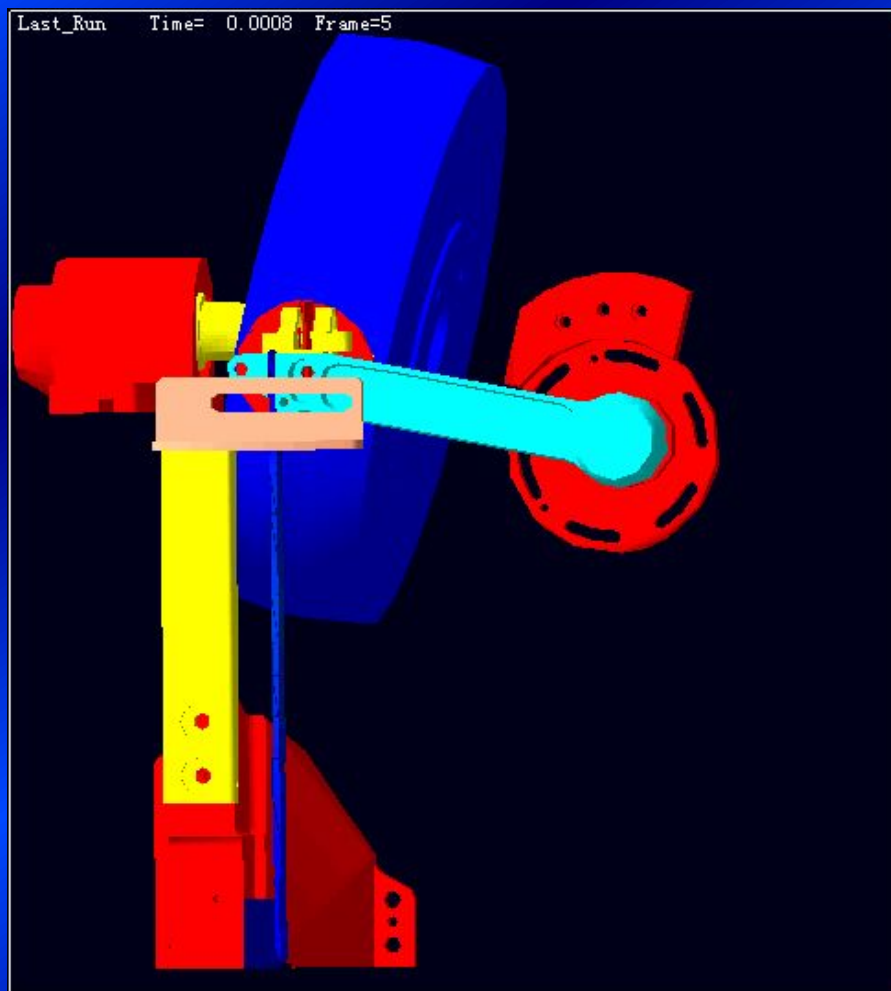
## ◆ 车身改型设计



# 多刚体与有限元耦合仿真

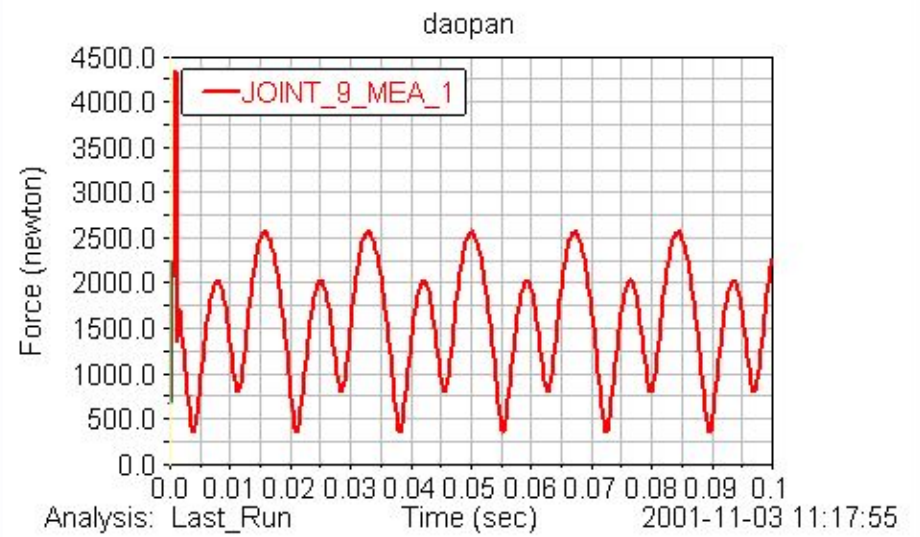
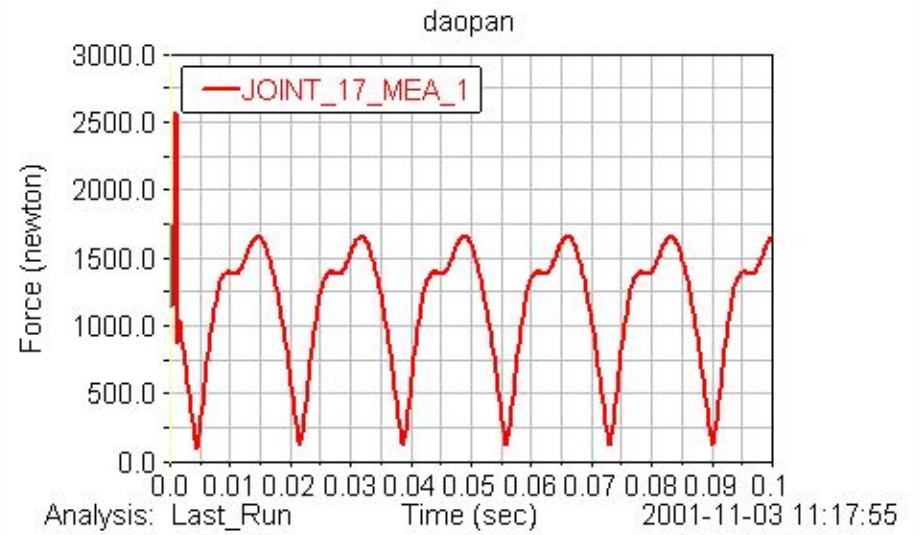
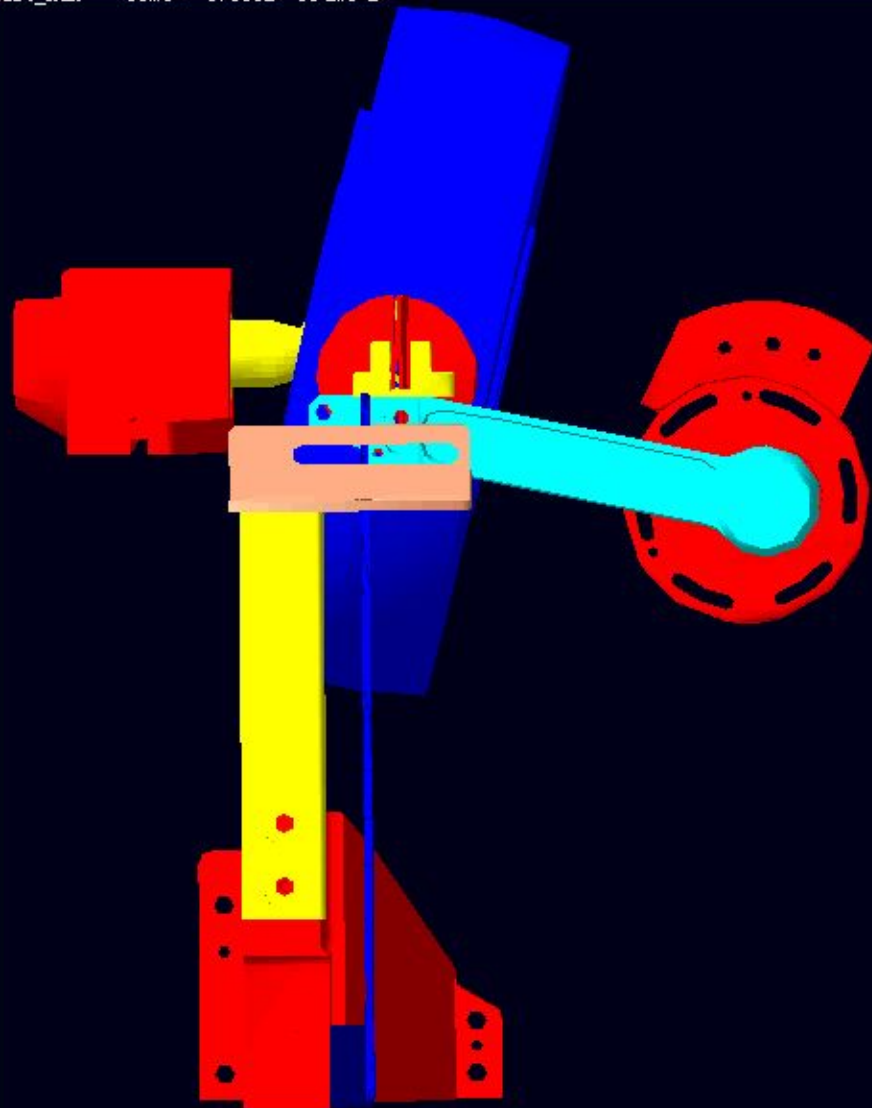


# 烟支切割装置仿真分析

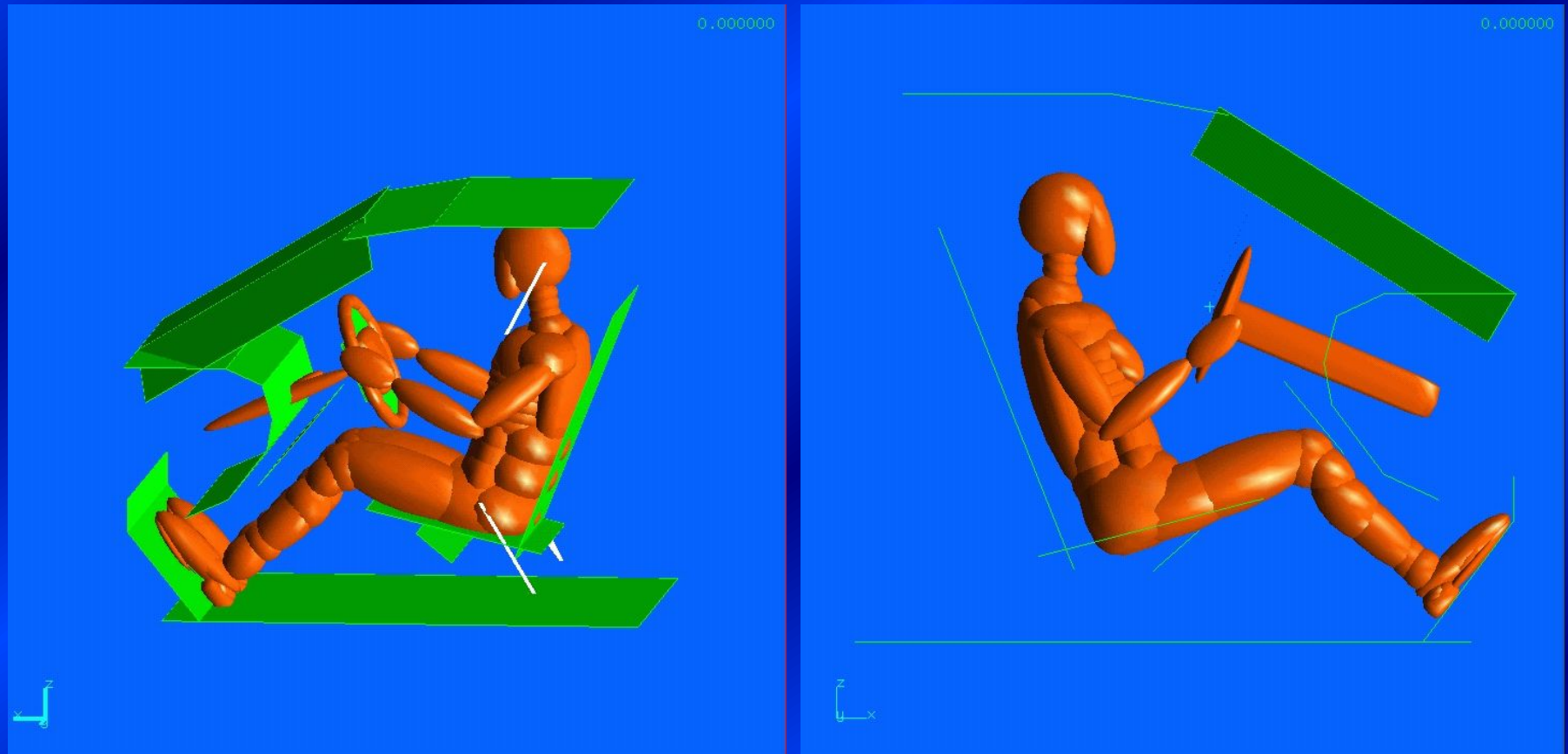




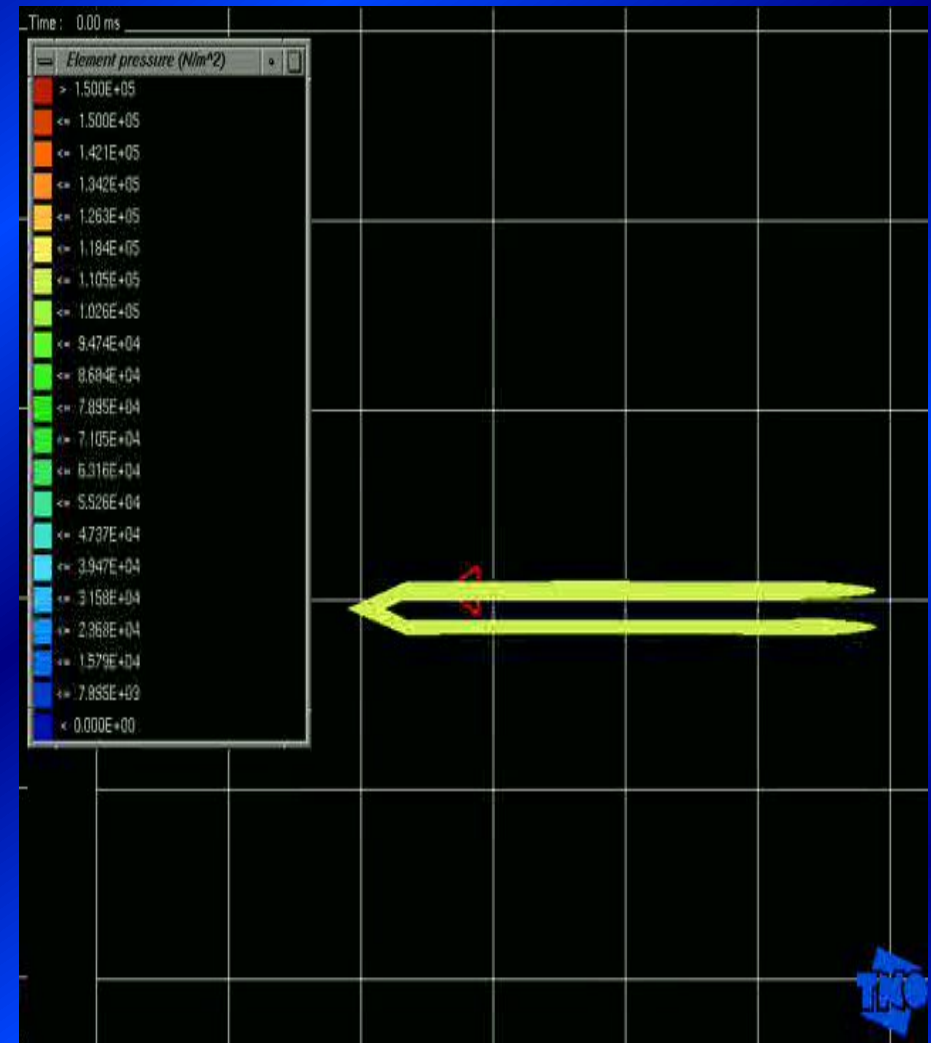
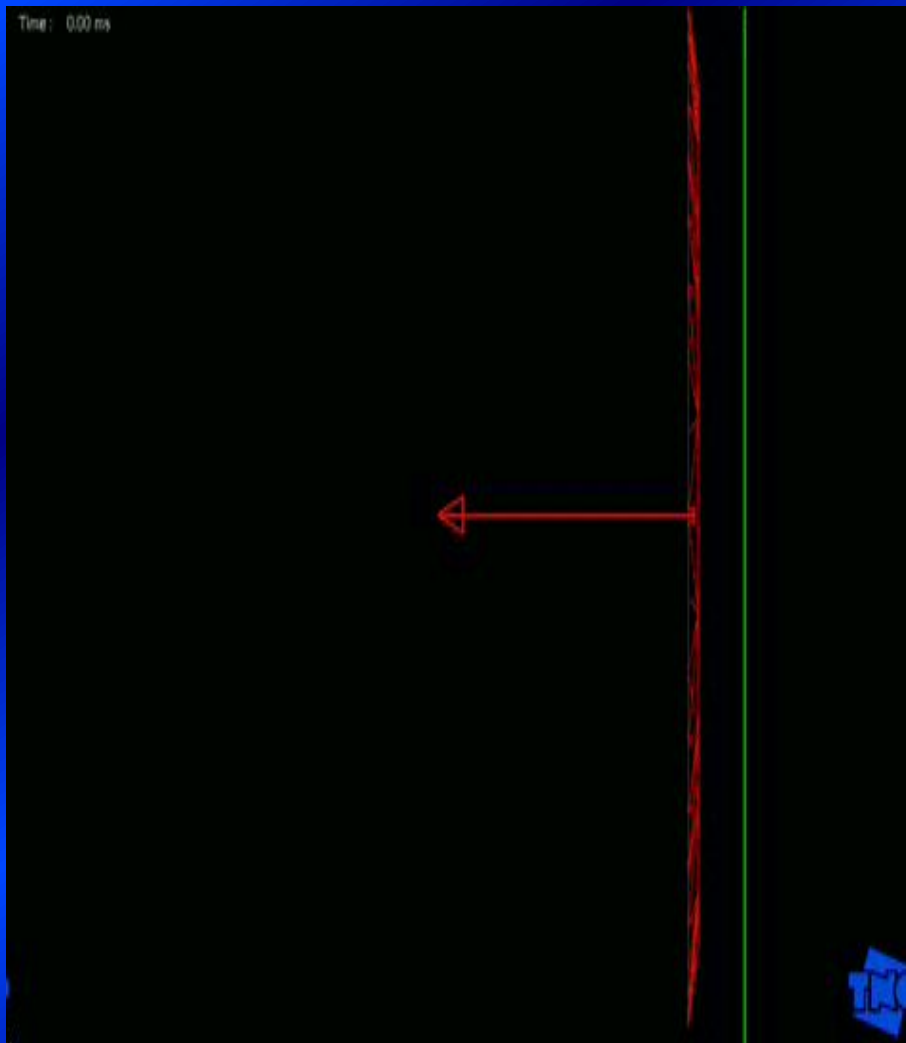
Last\_Run Time= 0.0002 Frame=2



# SAAB900车安全防护装置仿真研究

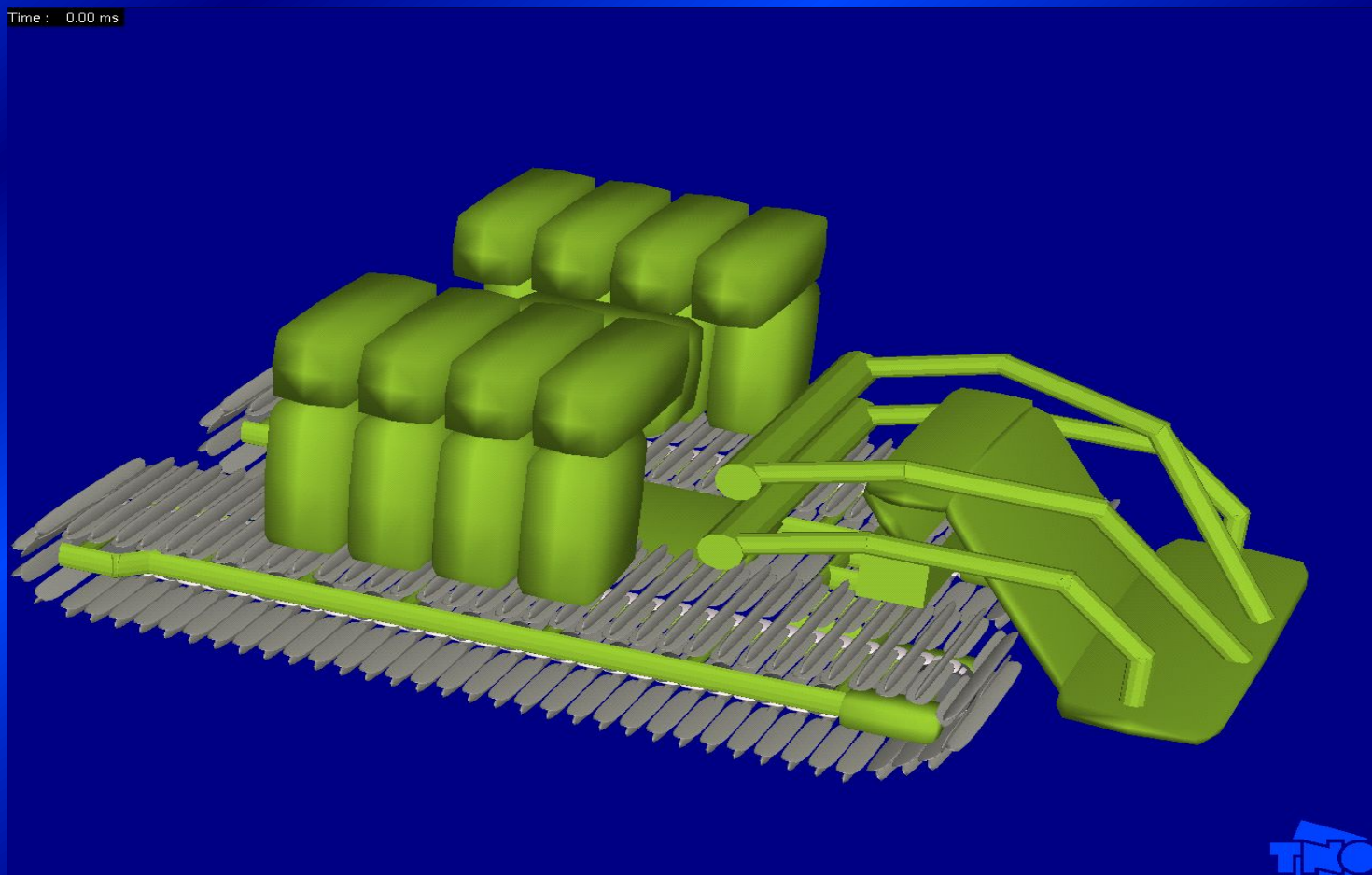


# 安全气囊气体压力分布仿真分析



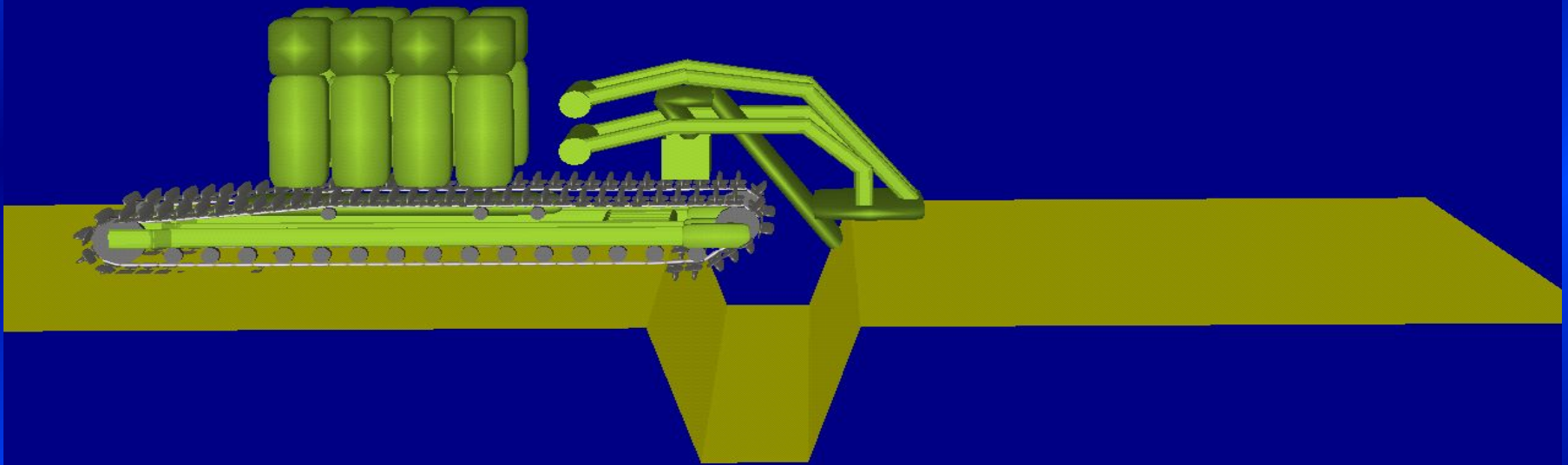
## 研究的主要相关成果（4）

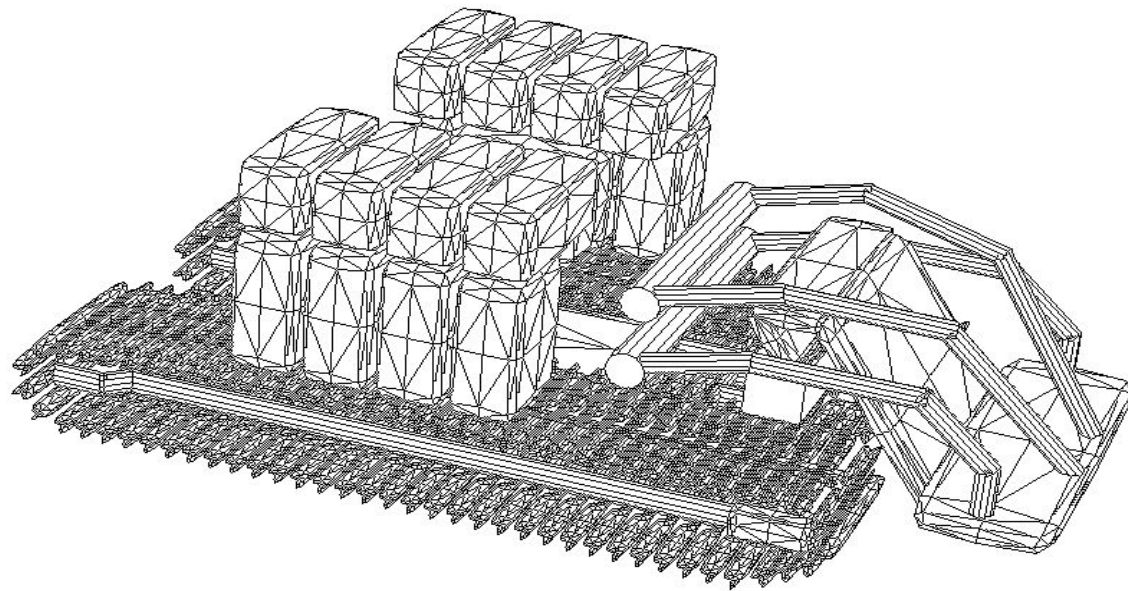
6000米深海集矿机运动仿真（中国大洋协会组织的专家鉴定意见：“用多刚体动力学对复杂的深海集矿机系统进行运动和动力学仿真技术属国际先进水平”）





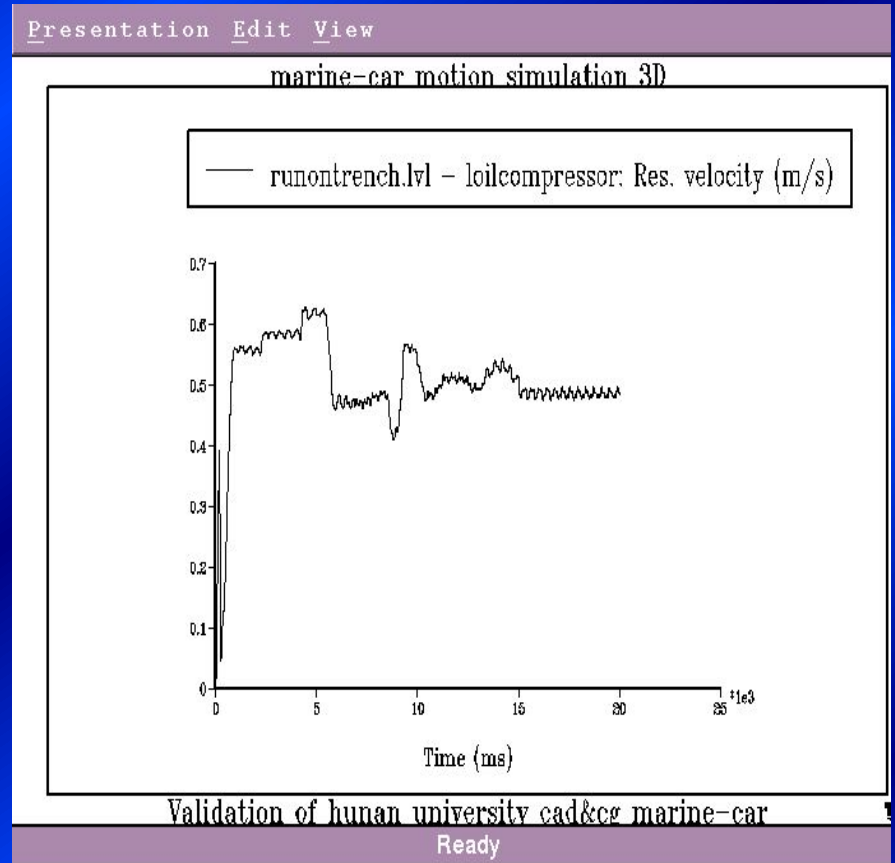
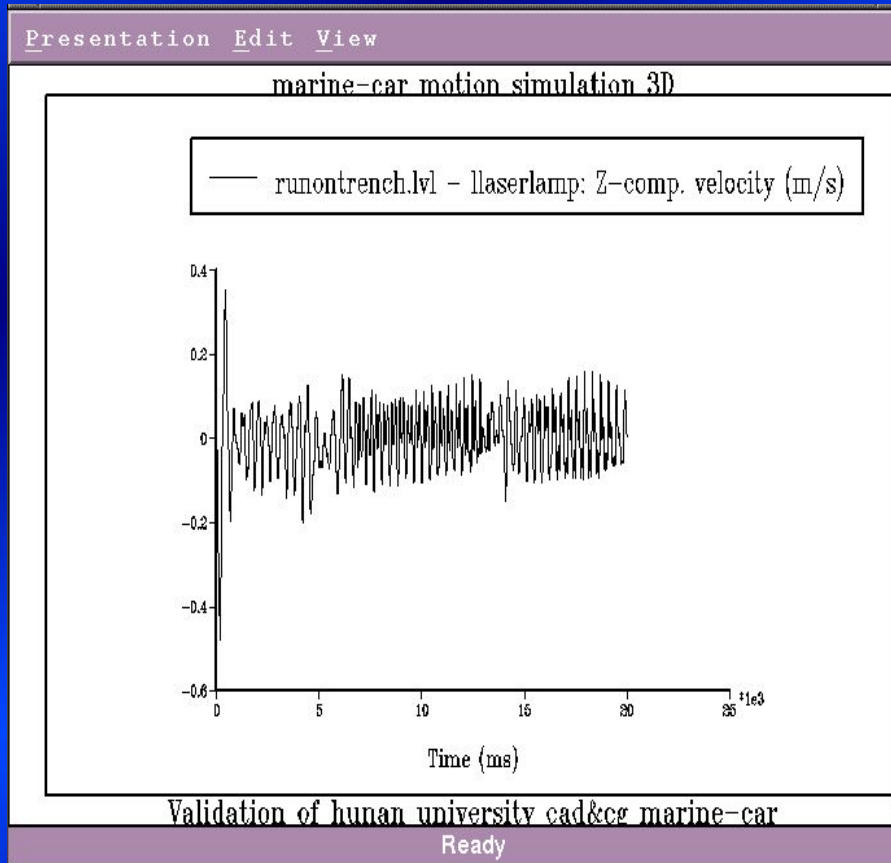
Time : 2800.00 ms



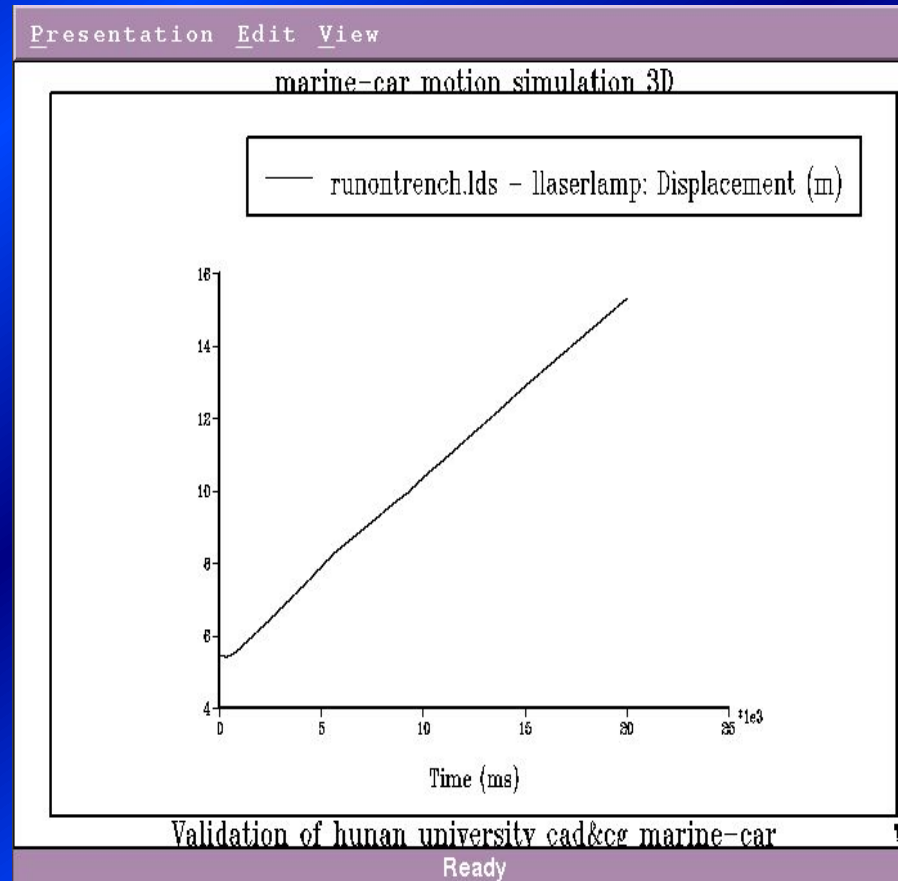
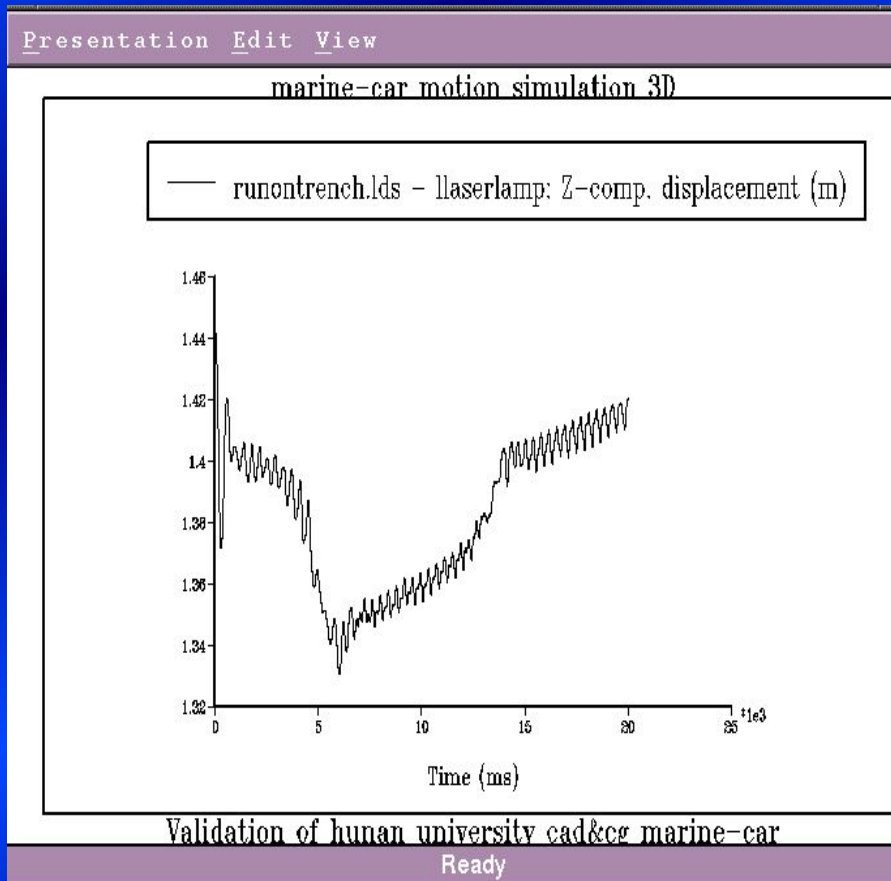




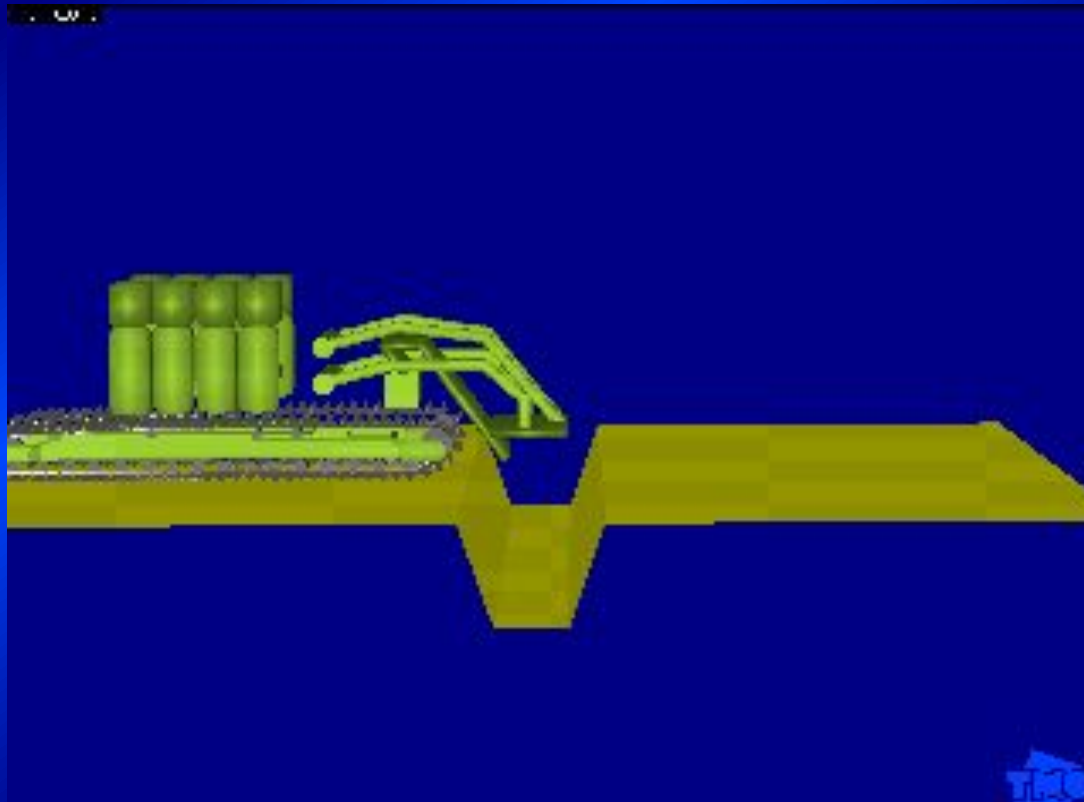
# 6000深海集矿机运动和动力分析



# 6000深海集矿机运动和动力分析



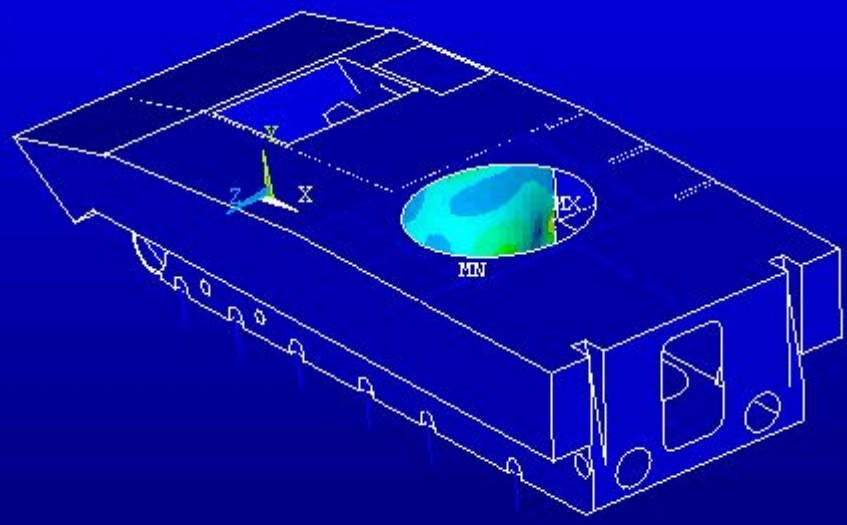
# 深海集矿机仿真



1  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =4  
FREQ=14.951  
SEQV (AVG)  
DMX =.375889  
SMN =1857  
SMX =.118E+10

ANSYS

SEP 21 2001  
10:37:46

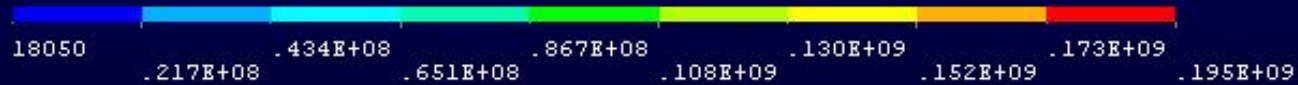
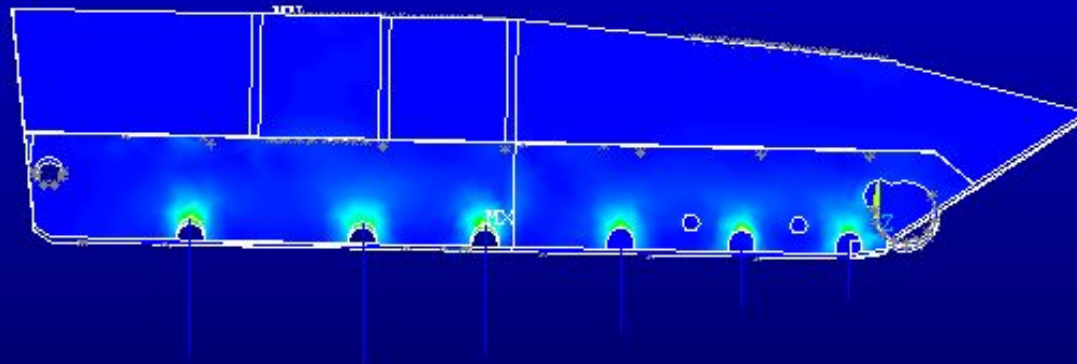


Model si

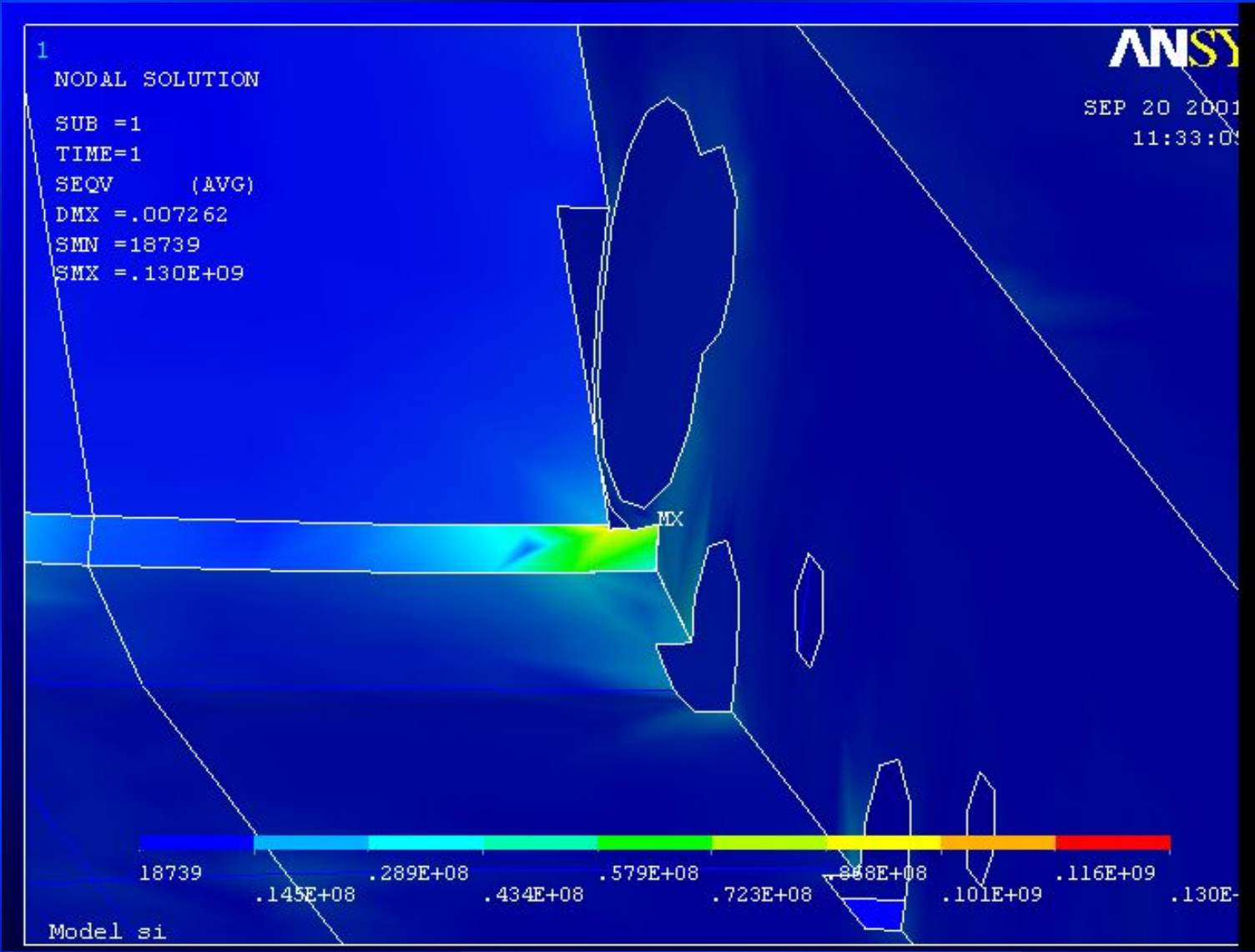
1  
NODAL SOLUTION

SEP 21 2001  
10:43:53

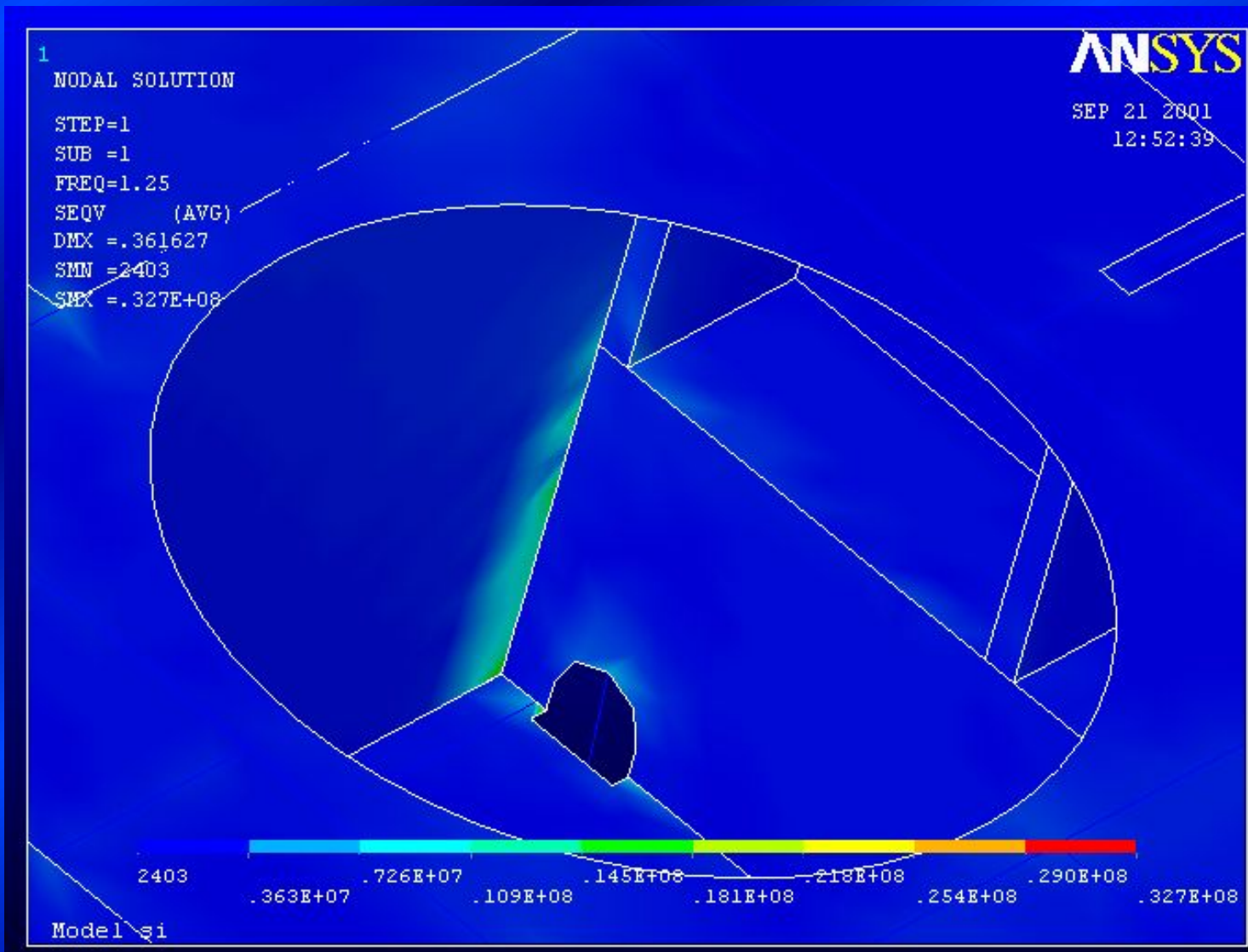
STEP=1  
SUB =1  
FREQ=1.25  
SEQV (AVG)  
DMX =.223876  
SMN =18050  
SMX =.195E+09

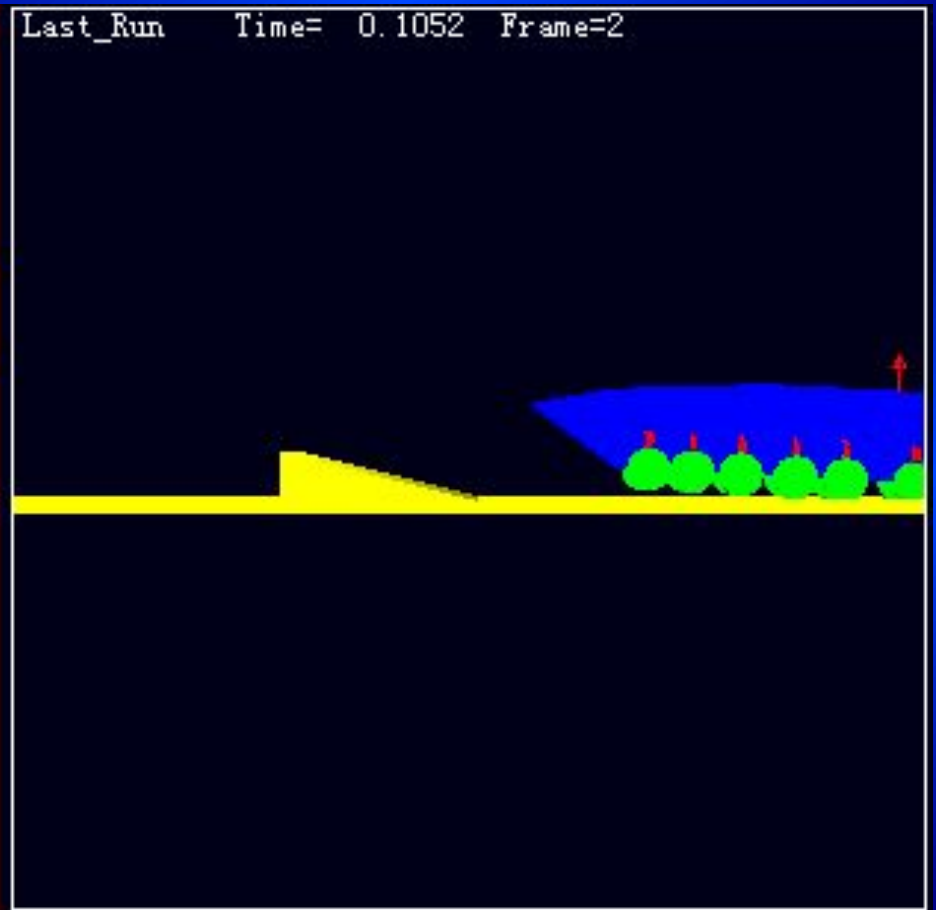
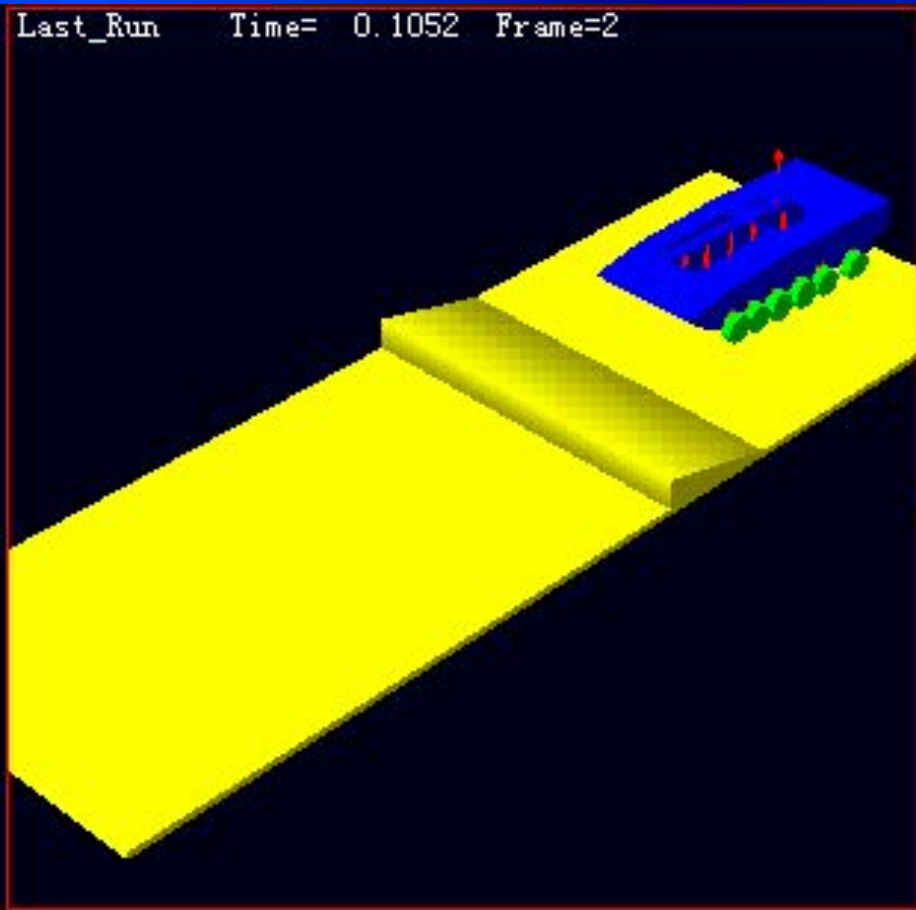


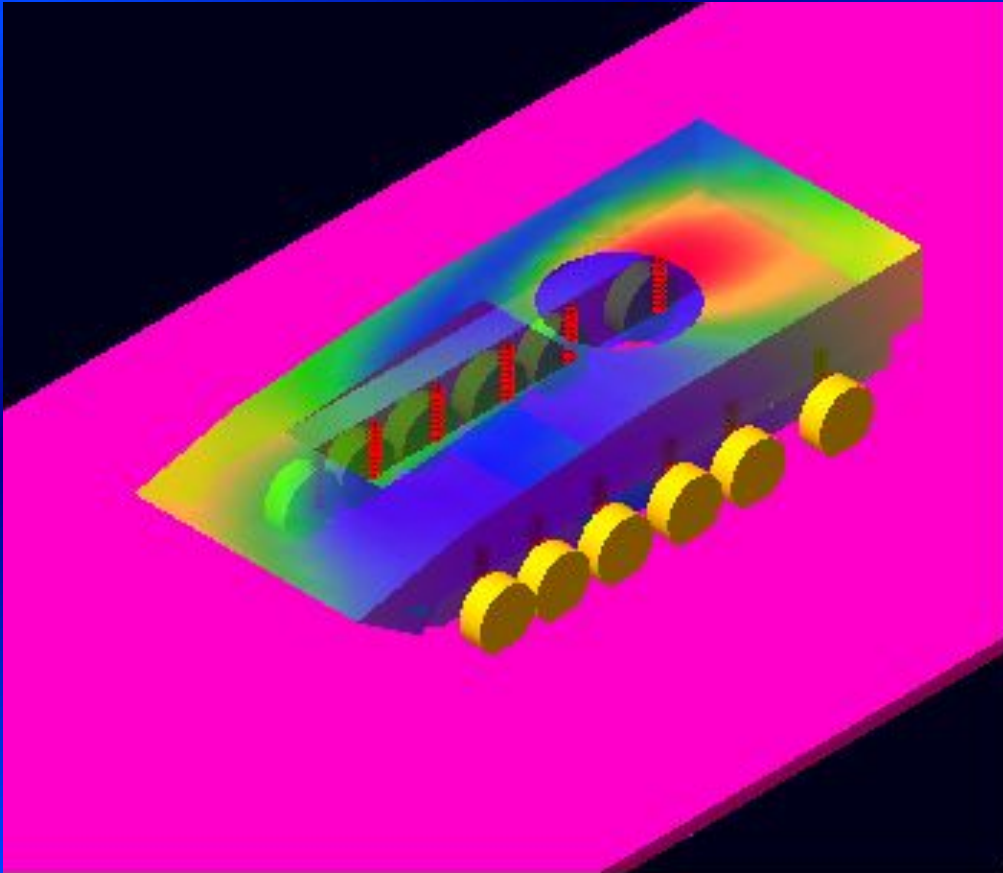
Model si











# 讨论和结语

- 设计分析技术的集成化, 网络化对设计模型提出了新的要求——并行设计 PDM STEP 协同设计. 三维特征模型和技术是重要发展方向之一.
- 多刚体动力学和有限元方法的有机结合形成了机电产品计算机仿真的基础, 两者不可偏废.
- 加强各学科的融合与交叉, 在创新的基础上实现超越式发展是我国机械工业发展必经之路.