

第四章 压力容器设计  
**CHAPTER IV**  
**Design of Pressure Vessel**

**4.6 压力容器设计技术进展**

4.1 概述

4.2 设计准则

4.3 常规设计

4.4 分析设计

4.5 疲劳分析

4.6 压力容器设计技术进展

4.6.1 可靠性设计

4.6.2 优化设计

4.6.3 计算机辅助设计

## 4.6 压力容器设计技术进展

**教学重点：**

新的设计思想的介绍。

**教学难点：**

无。

## 4.6 压力容器设计技术进展

简要介绍压力容器的

可靠性设计

优化设计

计算机辅助设计

### 4.6.1 可靠性设计

设计参数：强度指标、零部件的尺寸、所受的载荷等。

目前设计状况：把各种参数作为确定量，忽略了由于各种条件的变化而使这些参数发生变化的随机因素。

导致

设计的压力容器及零部件的结构尺寸偏大，造成不必要的浪费。

### 4.6.1 可靠性设计（续）

可靠性设计定义：

设计中考虑各种随机因素的影响，将全部或部分参数作为随机变量处理，对其进行统计分析并建立统计模型，运用概率统计方法进行设计计算，全面描述设计对象，使结果更符合实际情况。

特点：用概率统计方法进行设计

### 4.6.1 可靠性设计（续）

#### 可靠性设计的几个概念：

- (1) 失效可能：可靠性设计中，认为所设计的对象总存在着一定的失效可能。
- (2) 应力：施加于装置或零部件上的物理量，如各种机械载荷、热载荷、介质特性等，所有可能引起设计对象失效的因素，一概称之为应力。
- (3) 强度或抗力：所有阻止设计对象失效的因素，即装置或零部件能够承受这种应力的程度称为强度或抗力。

判据：应力作用效果大于强度，则设计对象失效；  
反之，设计对象可靠。

### 4.6.2 优化设计

#### 一、传统设计过程

拟定一个设计方案

形状规则的承压元件，利用规范标准中的计算公式确定尺寸，对局部结构则根据经验确定形状和估算尺寸

进行结构分析，计算出各种载荷作用下的结构响应

判断是否满足规范和预先规定的要求

不满足要求

调整形状或尺寸，重新进行计算校核

满足要求



## 4.6.2 优化设计（续）

当影响设计的因素很多时，只能得到有限候选方案中的最好方案，不可能得到一切可能方案的“最优设计方案”。

结果：  
传统设计方法仅限于方案比较，是一个试凑的过程。

## 4.6.2 优化设计（续）

### 二、压力容器优化设计

#### 优化设计（最优化设计）

根据最优化原理和方法综合各方面的因素，以人机配合方式或“自动探索”方式，在计算机上进行的半自动或自动设计，以选出在现有工程条件下的最佳设计方案。

设计原则：最优设计

设计手段：计算机及  
计算程序

设计方法：最优化数学方法

## 4.6.2 优化设计（续）

压力容器优化设计：

在给定基本结构形式、材料和载荷的情况下，确定结构的形状或尺寸，使某项或几项设计指标取得最优值。

实质：在满足一定约束的条件下，选取适当的设计变量，使目标函数的值最小。目标函数可以是最轻重量、最低寿命周期费用、最小应力集中系数和其它指标。

优化设计可以在保证压力容器安全的情况下，有效减轻压力容器重量、降低成本、延长寿命。

## 4.6.2 优化设计（续）

约束条件大致可分为两类：设计变量上的尺寸限制和状态参数的限制。常用等式或不等式表示。

设计变量尺寸限制：

源于生产工艺上的要求和原材料的供货状况，如钢板厚度、卷板机的卷板能力等；

状态参数的限制：

来源于设计规范、标准、连续性、相容性等要求，如应力不能超过许用应力、许用外压应大于设计外压等。

## 4.6.2 优化设计（续）

如带标准椭圆形封头的圆筒形立式储罐，为节省材料，优化设计时常以最小质量为目标函数。

质量是内直径、长度、厚度等设计变量的函数

约束条件一般包括：

满足容积要求；封头和筒体的厚度应满足强度、最小厚度和钢板规格要求；内直径应在容器公称直径中选取等。

### 4.6.3 计算机辅助设计

**CAD (Computer Aided Design) 技术得到了普遍推广应用**

压力容器属于多品种、单件或小批量生产的产品，采用**CAD**技术，设计师可以更方便地表达设计思想，减少简单重复劳动，缩短设计周期和交货期，提高设计的效率和质量。

目前压力容器的CAD系统中

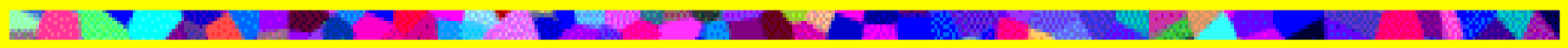
模块化设计

参数化设计

### 4.6.3 计算机辅助设计（续）

#### 模块化设计：

在功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，通过模块选择与组合，在一定范围内根据不同功能构成不同性能、不同规格的系列产品。



优点：缩短概念设计周期，提高产品的灵活性和适应性，快捷地响应用户的多品种、小批量的需求。

模块化设计包括：模块的创建和模块的综合两个过程。

模块创建：功能模块的划分过程和功能模块的结构设计过程

模块综合：根据具体设计要求，进行功能分解，即从模块集中选择合适的模块实现分解功能，并最终将分功能模块组合形成产品。

### 4.6.3 计算机辅助设计（续）

#### 参数化设计

具有强有力的草图设计、尺寸驱动等功能，已成为概念设计、系列化设计的有效手段。目前许多CAD系统也具有一定的参数化设计功能，如国际上流行的Pro/Engineer、I-DEAS等系统。

#### 压力容器参数化设计

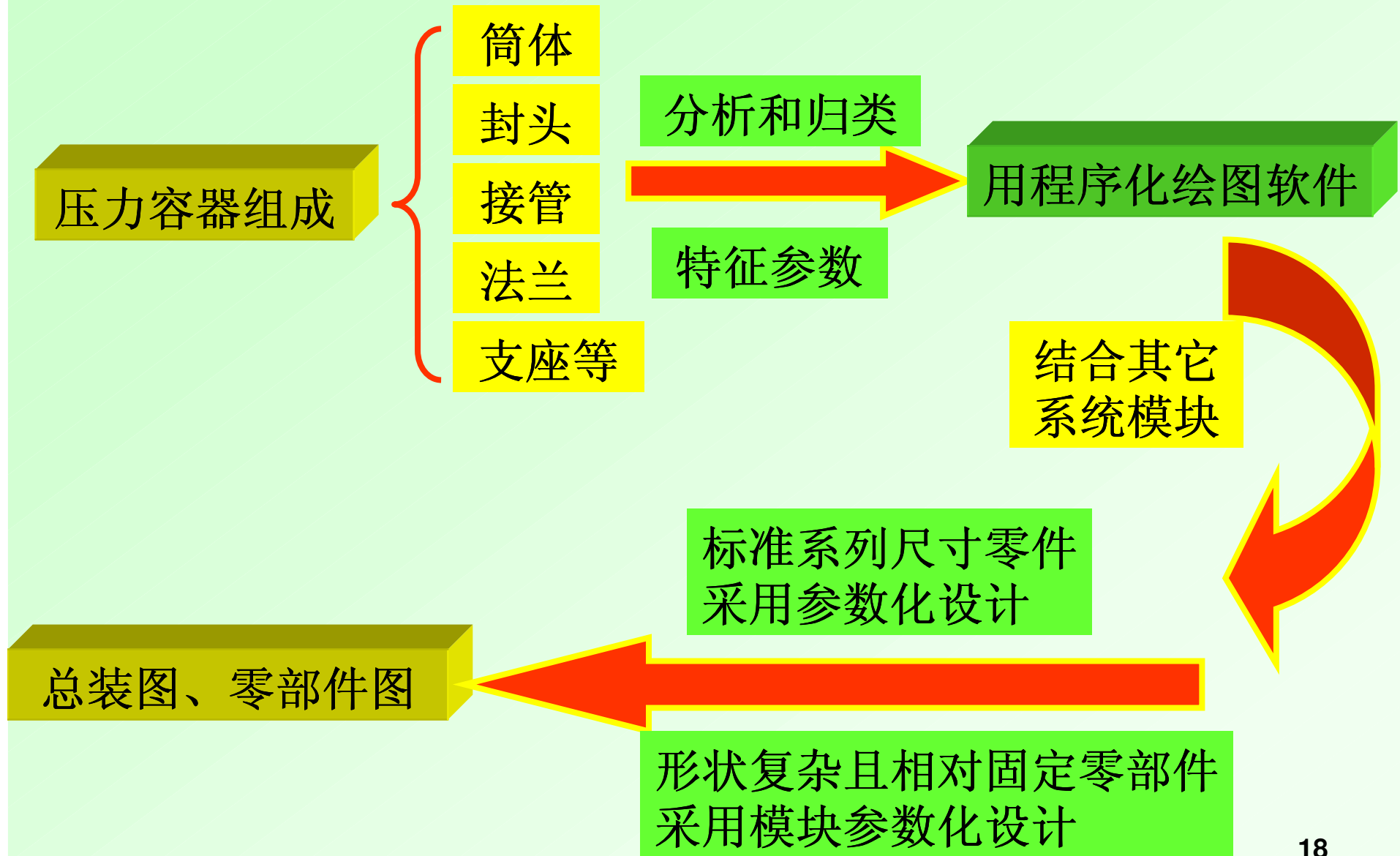
适用于结构形状比较固定，尺寸关系可用一组参数来确定的定型系列产品和标准零部件（如筒体、封头、支座、法兰等）的设计。



### 4.6.3 计算机辅助设计（续）

将模块化设计与参数化设计相结合，应用于压力容器的设计，可以大大提高设计效率，从根本上解决繁重的绘图工作，并有利于压力容器设计的系列化、标准化。

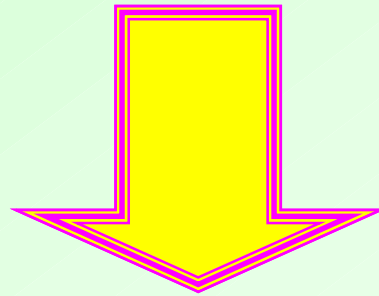
### 4.6.3 计算机辅助设计（续）



### 4.6.3 计算机辅助设计（续）

计算机辅助工程（CAE: Computer Aided Engineering）

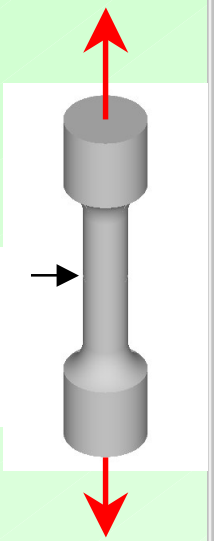
传统计算机辅助设计（CAD: Computer Aided Design）



计算机辅助工程（CAE: Computer Aided Engineering）

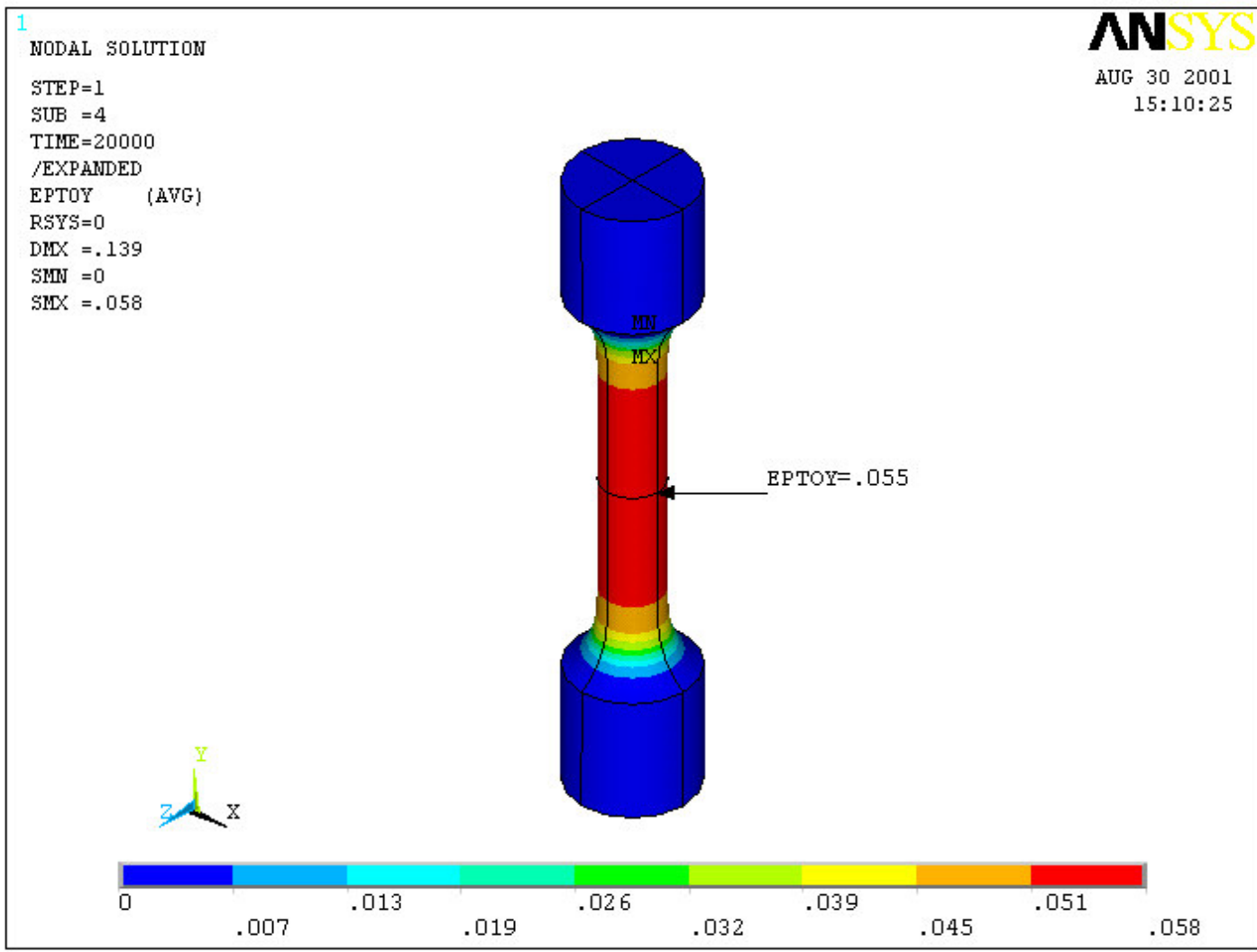
# 拉杆试验

20,000 lbs.



面积 =  
1.0 in.<sup>2</sup>

20,000 lbs.



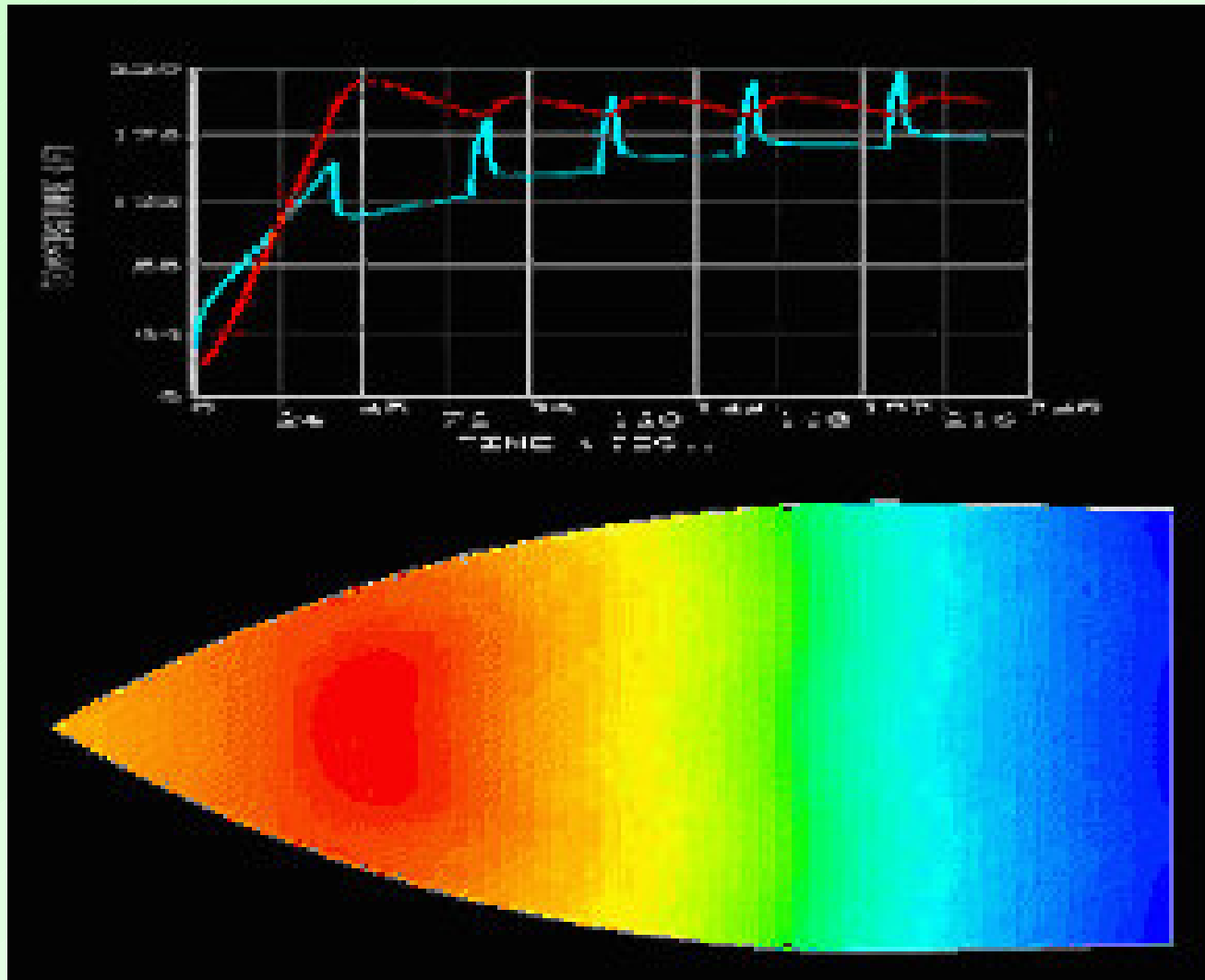
非线性分析



# 非线性分析

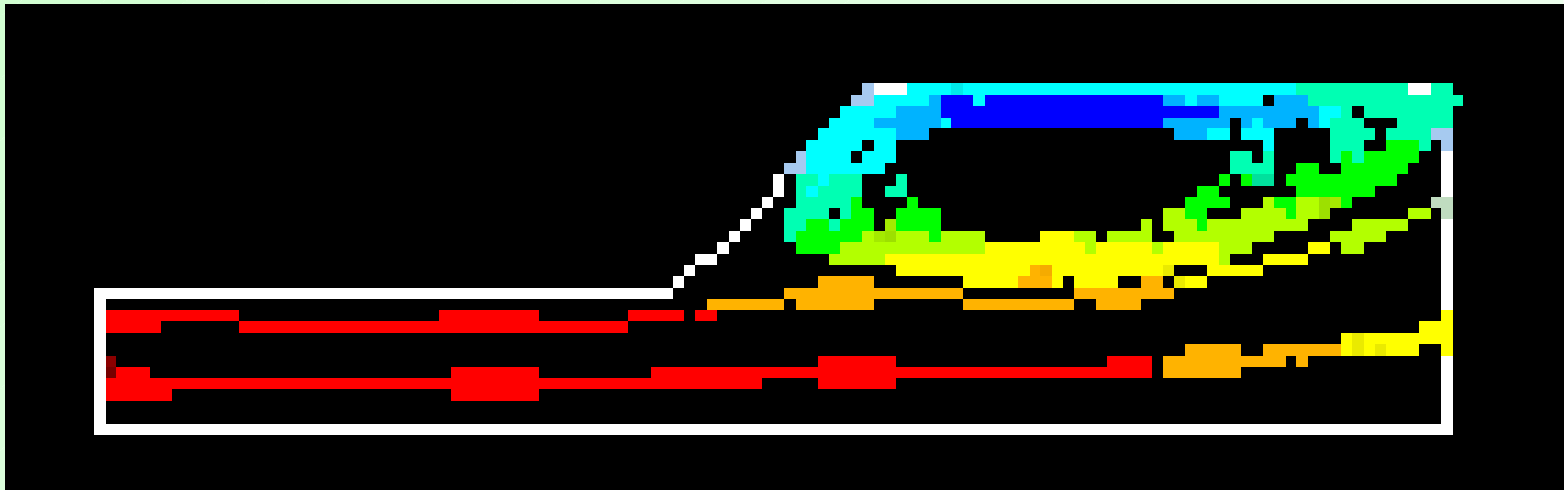


- 热分析：用于确定物体的温度分布。其他感兴趣的包括热损失或获得的量，热梯度、热通量等也可以获得。



## • 计算流体力学 (CFD)

- 确定流体的流动及温度分布
- **ANSYS/FLOTRAN** 可以模拟层流和湍流，可压和不可压缩流动及多组份流体
- 应用：航空航天，电子封装，汽车设计
- 典型量包括速度、压力、温度及对流换热系数

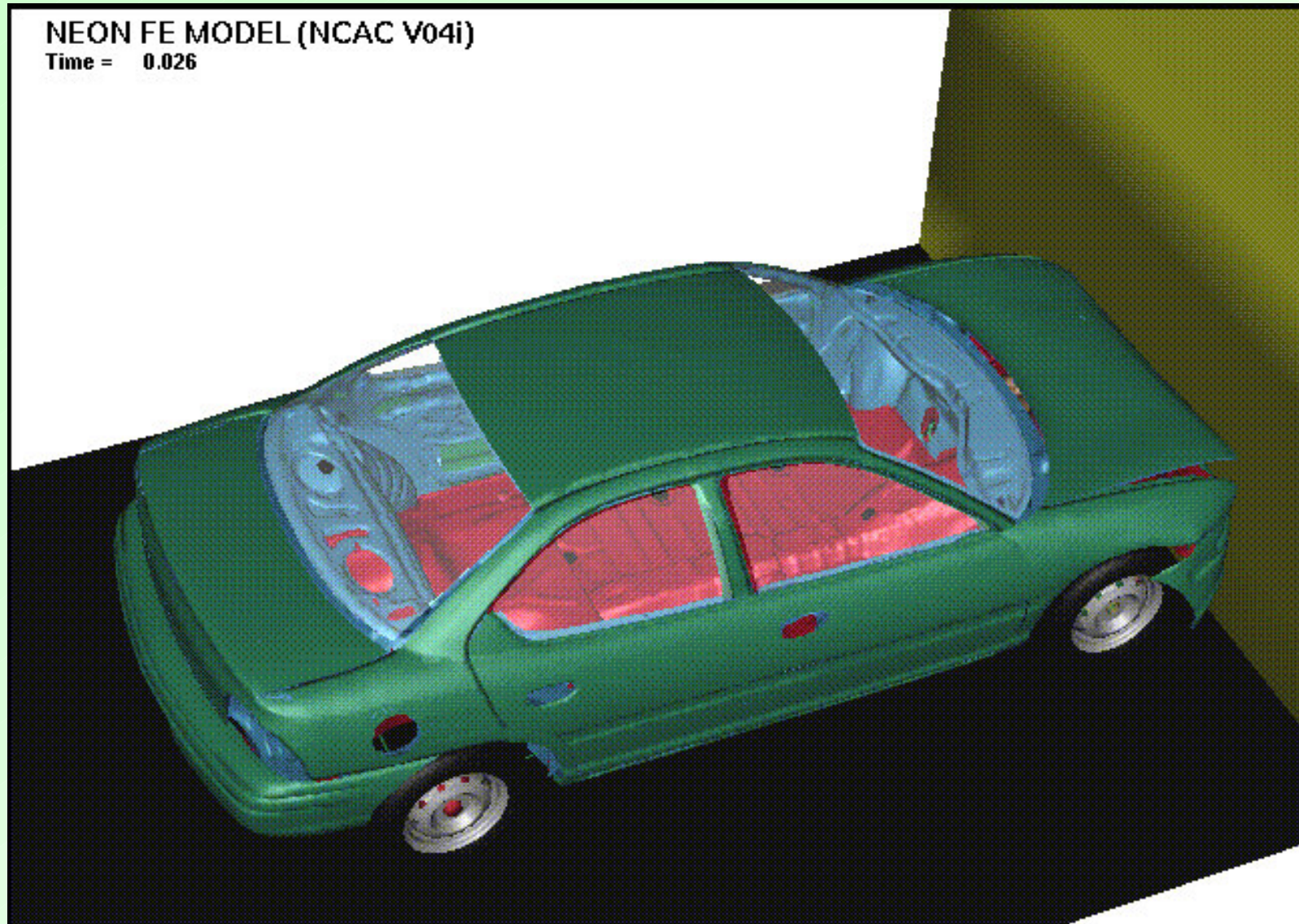




•显示动力学 ANSYS/LS-DYNA

-侧重惯性力占主导的大变形模拟

-用于模拟冲击、碰撞、跌落、爆炸、快速成型等高度非线性问题



随着计算机能力的增强、分析手段的提高，设计者在结构设计阶段就可以预见到诸如焊接过程中产生的残余应力、设备组装和运输过程中可能会出现的问题，并在设计中解决这些问题。

利用CAE技术进行结构优化设计、进行分析设计都使得压力容器设计技术迅速进步，使压力容器的安全性和经济性得到更充分的保障。