

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 基于失效模式设计

4.6 压力容器设计技术进展

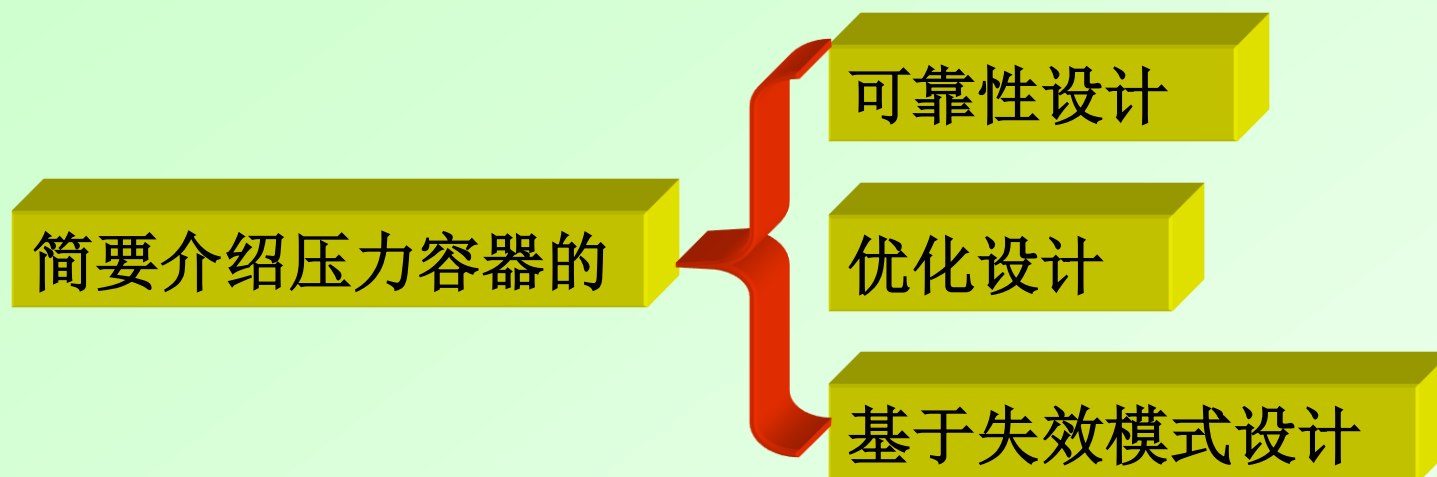
教学重点：

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



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：

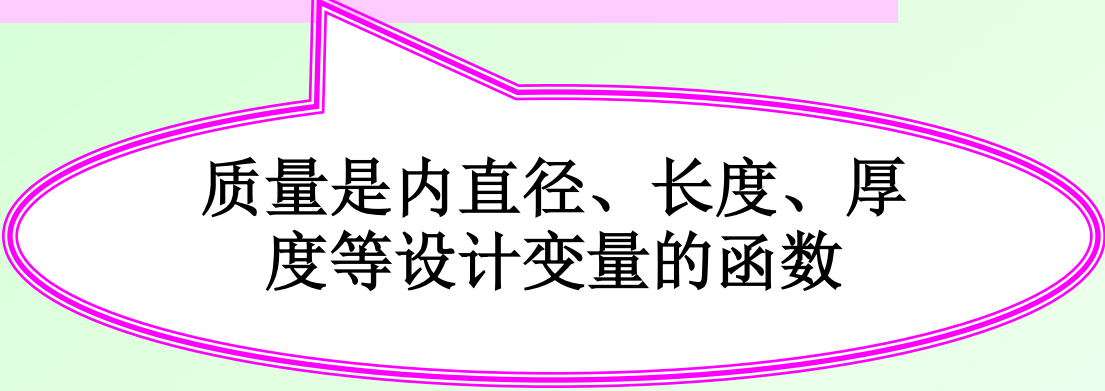
源于生产工艺上的要求和原材料的供货状况，如钢板厚度、卷板机的卷板能力等；

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

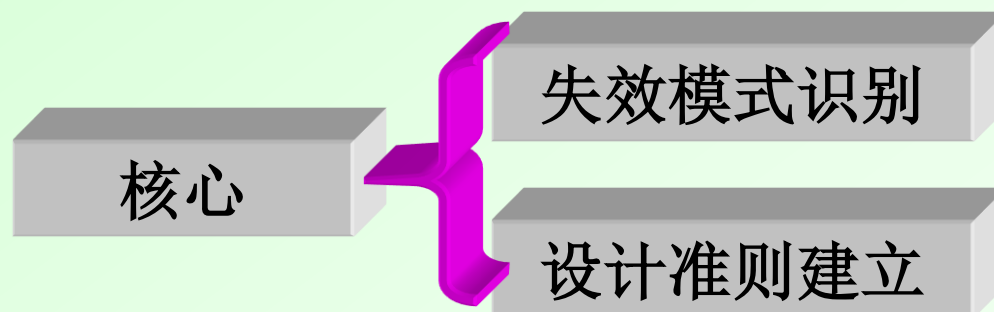
约束条件一般包括：

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 基于失效模式设计

基于失效模式压力容器设计的基本思想：

在设计阶段，根据设计条件，识别压力容器在运输、吊装和使用中可能出现的所有失效模式，针对不同的失效模式确定相应的设计准则，提出防止失效的措施。



4.6.3 基于失效模式设计（续）

压力容器失效模式与结构、材料、载荷、制造、环境等因素有关。

有的是单一因素引起的，如超压引起的塑性垮塌、屈曲等；有的是多种因素共同作用的结果，如高温和交变载荷联合作用引起的蠕变疲劳、腐蚀介质和交变载荷交互作用引起的腐蚀疲劳等。

失效模式有时还会随着操作条件的变化而改变。压力容器标准没有必要、也不可能囊括所有失效模式、除考虑标准所涵盖的失效模式外，设计师在设计时还应充分考虑容器可能出现的其他失效模式。

4.6.3 基于失效模式设计（续）

针对不同的失效模式确定相应的设计准则时，通常有两种情况。

对于标准涵盖的失效模式

选用标准中给出的设计准则，包括设计计算方法以及结构、材料、制造和检验等建造要求；

对于标准没有涵盖的失效模式

通过试验研究、理论分析、数值模拟等方法，确定失效判据，再引入安全系数，建立与失效判据相对应的设计计算方法，并提出相应的建造要求和使用要求。

4.6.3 基于失效模式设计（续）

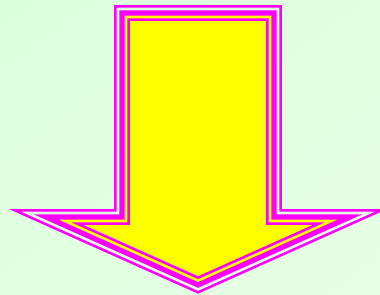
近年来，压力容器设计呈现出一些新的发展趋势，如

- （1）基于风险的压力容器设计
- （2）全弹塑性分析设计
- （3）根据使用环境和危害程度确定安全裕度的设计方法
- （4）压力容器轻量化设计等。

附加 计算机辅助设计

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)

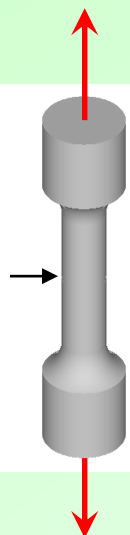
拉杆试验

20,000 lbs.

面积 =

1.0 in.²

20,000 lbs.

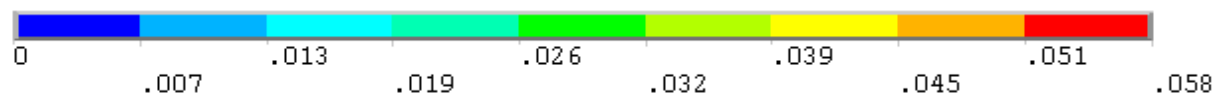
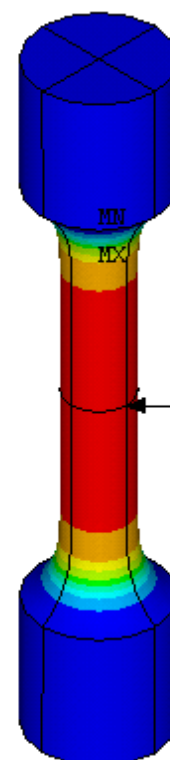


1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =4
TIME=20000
/EXPANDED
EPTOY (AVG)
RSYS=0
DMX =.139
SMN =0
SMX =.058

ANSYS

AUG 30 2001

15:10:25



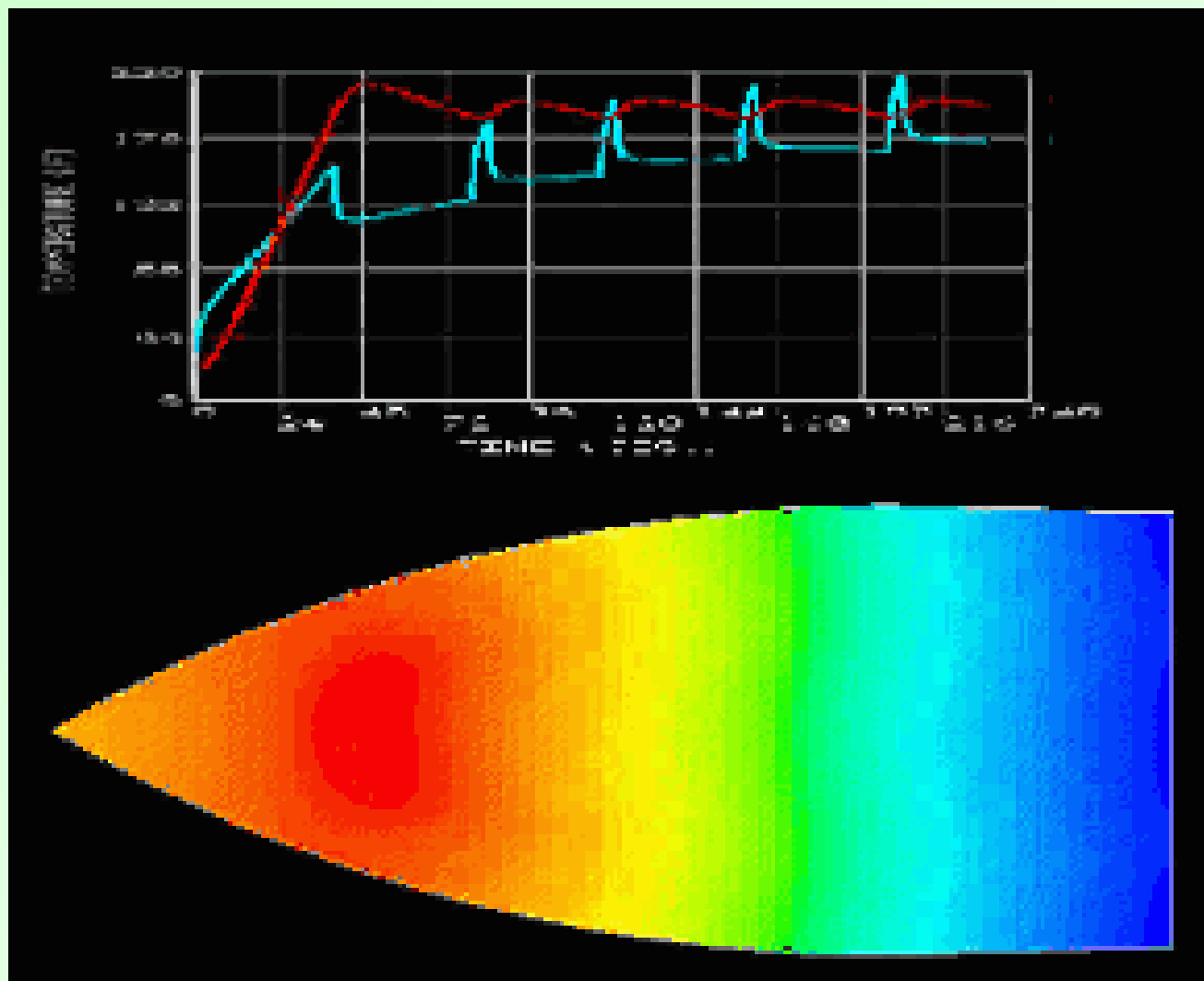
非线性分析



非线性分析

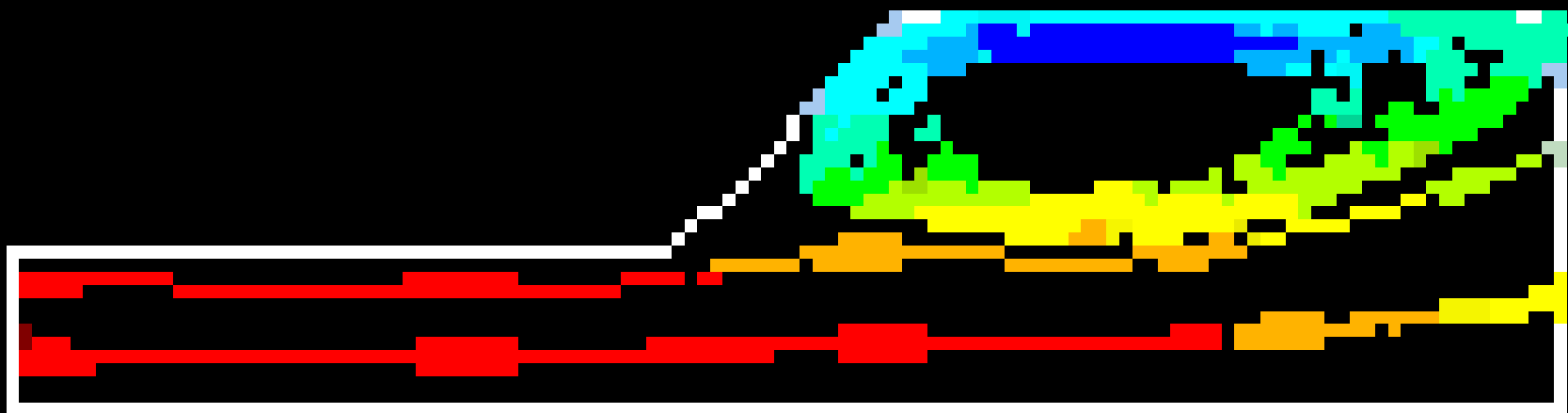


- 热分析：用于确定物体的温度分布。其他感兴趣的包括热损失或获得的量，热梯度、热通量等也可以获得。



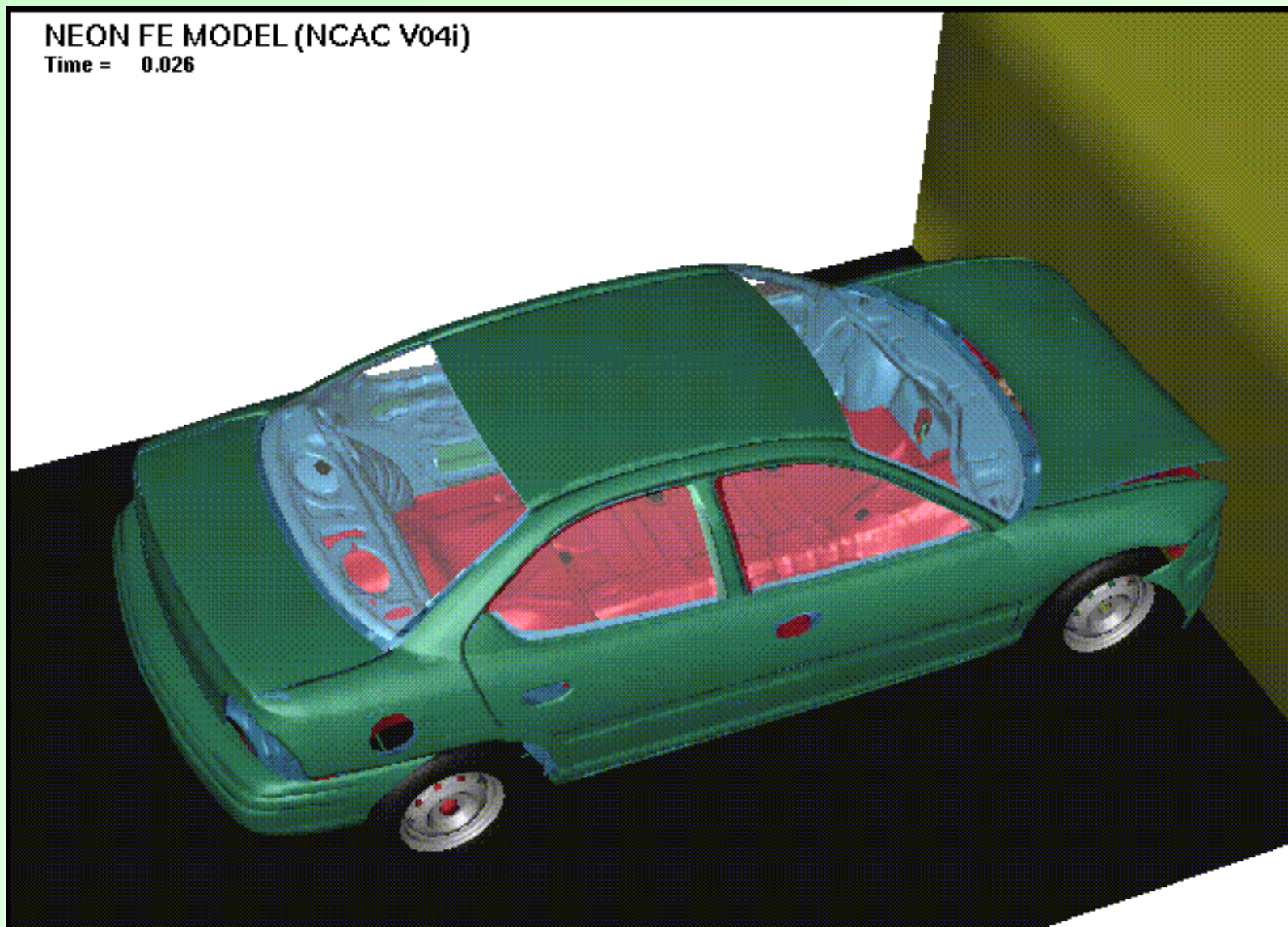
• 计算流体力学 (CFD)

- 确定流体的流动及温度分布
- **ANSYS/FLOTTRAN** 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



4.6.3 计算机辅助设计（续）

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。