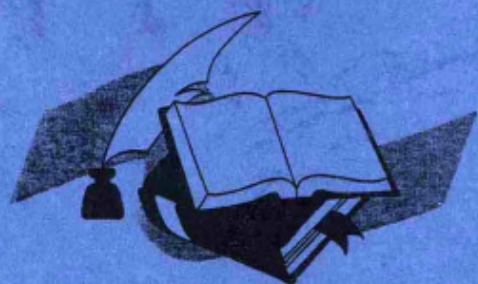


ANSYS

No Boundaries

ANSYS

建模及分网指南



2000年1月

ANSYS 中国



Ansys Inc.

201 Johnson Road
Houston, PA 15342

Underwriters Laboratories Inc.® (UL) issues this certificate to the Firm named above, after assessing the Firm's quality system and finding it in compliance with

ISO 9001:1994

EN ISO 9001:1994; BS EN ISO 9001:1994, ANSI/ASQC Q9001:1994

for the following scope of registration

7372 (US) : Prepackaged Software

The design, development, production, and support of commercial and customized software products, and training for engineering analysis and design. The provision of Quality Assurance and verification services for software products.

This quality system registration is included in UL's Directory of Registered Firms and applies to the provision of goods and/or services as specified in the scope of registration from the address(es) shown above. By issuance of this certificate the firm represents that it will maintain its registration in accordance with the applicable requirements. This certificate is not transferable and remains the property of Underwriters Laboratories Inc. ®.

File Number: A3725

Volume: 1

Issue Date: May 4, 1995

Revision Date: April 18, 1997

Renewal Date: July 4, 1999

S. Joe Shatia
Vice President
Follow-Up Services



Accredited by
Rood voor
Accreditatie



美国 ANSYS 公司北京办事处
地址: 北京市朝阳区光华路 7 号
汉威大厦 11 层 B2
电话: 010-65611940~1948
传真: 010-65611947
邮编: 100004

美国 ANSYS 公司上海代表处
地址: 上海市东安路 8 号
青松城大酒店 721/723/725 室
电话: 021-64435509~5510
传真: 021-64431672
邮编: 200032

美国 ANSYS 公司成都代表处
地址: 成都市大科甲巷 8 号
利都广场 A 座 730~733 室
电话: 028-6671505~506, 6655507
传真: 028-6669252
邮编: 610016

ANSYS China 电子信箱: china@ansys.com.cn

ANSYS China 中文网站: www.ansys.com.cn

目 录

第一章 模型生成概述

1.1 什么是模型生成?	1
1.2 ANSYS 中建模的典型步骤	1
1.2.1 实体建模和直接生成的比较	2
1.3 从 CAD 系统中的输入实体模型	3

第二章 规划分析方案

2.1 规划的重要性	4
2.2 确定分析目标	4
2.3 选择模型类型(二维、三维等)	4
2.4 线性和高次单元的选择	4
2.4.1 线性单元(无中间节点)	5
2.4.2 二次单元(带中间节点)	5
2.5 不同单元连接的限制	8
2.6 找到利用对称性的办法	9
2.6.1 对称结构的说明	9
2.7 决定包含多少细节	10
2.8 确定合适的网格密度	11

第三章 坐标系

3.1 坐标系的类型	12
3.2 总体和局部坐标系	12
3.2.1 总体坐标系	12
3.2.2 局部坐标系	13
3.2.3 坐标系的激活	14
3.2.4 曲面	15
3.2.5 封闭曲面和奇异曲面	15
3.3 显示坐标系	16
3.4 节点坐标系	17
3.4.1 节点坐标系中的数据译码	18
3.5 单元坐标系	18
3.6 结果坐标系	19

第四章 利用工作平面

4.1 什么是工作平面	20
4.2 生成一个工作平面	20
4.2.1 定义一个新的工作平面	20
4.2.2 控制工作平面的显示和样式	21
4.2.3 移动工作平面	21

4.2.4 工作平面的旋转	22
4.2.5 还原一个已定义的工作平面	22
4.3 增强的工作平面	22
4.3.1 捕捉增量	23
4.3.2 显示栅格	23
4.3.3 恢复容差	23
4.3.4 坐标系类型	23
4.3.5 工作平面的轨迹	24

第五章 实体建模

5.1 实体建模操作概述	26
5.2 用自底向上的方法建模	29
5.2.1 关键点	29
5.2.2 硬点	32
5.2.3 线	34
5.2.4 面	37
5.2.5 体	40
5.2.6 拖拉操作	44
5.3 用自顶向下的方法建模:体素	44
5.3.1 什么是体素	44
5.3.2 如何生成面体素	44
5.3.3 如何生成实体体素	46
5.4 用布尔运算雕塑实体模型	49
5.4.1 是否保留原始图元	50
5.4.2 其它有用的 BOPTN 设置	50
5.4.3 布尔运算之后的图元编号	50
5.4.4 交运算	51
5.4.5 两两相交	53
5.4.6 加运算	54
5.4.7 减运算	55
5.4.8 用工作平面的减运算	62
5.4.9 分类运算	63
5.4.10 搭接功能	63
5.4.11 分割	65
5.4.12 粘接 (合并)	66
5.4.13 布尔运算的替代	67
5.5 布尔运算之后的更新	68
5.6 移动和拷贝实体模型	69
5.6.1 按照样本生成图元	70
5.6.2 由对称映像生成图元	70
5.6.3 将图元样本转换坐标系	70
5.7 实体模型图元的缩放	71
5.8 实体模型加载	72

5.8.1 传递实体模型载荷	72
5.8.2 显示载荷标记	73
5.8.3 关闭节点和关键点位置处的大标记	73
5.8.4 选择图形显示中的数字格式	73
5.8.5 实体模型载荷列表	73
5.9 质量和惯量计算	74
5.10 实体建模中的注意事项	75
5.10.1 实体模型图元的显示	75
5.10.2 布尔操作失败	75
5.10.3 从图形上识别单元退化	76
5.10.4 退化的关键点列表	76
5.10.5 建议采取的一些正确措施	79
5.10.6 其它提示	80

第六章 输入实体模型

6.1 从 IGES 文件中输入实体模型	83
6.2 用 IGES 文件进行工作	83
6.2.1 使用 DEFAULT 选项	83
6.2.2 用 DEFAULT 选项输入 IGES 文件	85
6.2.3 修补拓扑结构	86
6.2.4 使用建模工具	90
6.2.5 使用 ALTERNATE 选项	102
6.2.6 使用其它建模命令	104

第七章 对实体模型进行网格划分

7.1 如何对实体模型进行网格划分	105
7.1.1 自由网格还是映射网格?	105
7.2 定义单元属性	105
7.2.1 生成单元属性表	106
7.2.2 在划分网格之前分配单元属性	107
7.3 网格划分控制	110
7.3.1 ANSYS 网格划分工具	110
7.3.2 单元形状	110
7.3.3 选择自由或映射网格划分	112
7.3.4 控制边中节点的位置	113
7.3.5 自由网格划分中单元的智能单元尺寸	113
7.3.6 映射网格划分的缺省单元尺寸	116
7.3.7 局部网格划分控制	117
7.3.8 内部网格划分控制	119
7.3.9 生成过渡的金字塔单元	124
7.3.10 将退化的四面体单元转化为非退化形式	125
7.3.11 对层进行网格划分	128
7.3.12 通过 GUI 设置层网格划分控制	128

7.3.13 通过命令设置层网格划分控制	128
7.3.14 线上层网格划分规格的列表	128
7.4 自由网格和映射网格划分控制	128
7.4.1 自由网格划分	129
7.4.2 映射网格划分	131
7.5 实体模型的网格划分	140
7.5.1 利用 xMESH 命令生成网格	140
7.5.2 生成带有方向节点的梁单元网格	141
7.5.3 由面生成体网格	146
7.5.4 利用 xMESH 命令的注意事项	146
7.5.5 通过扫掠生成体网格	146
7.5.6 中断网格划分操作	153
7.5.7 单元形状检查	153
7.5.8 网格有效性的检查	160
7.6 修改网格	163
7.6.1 对模型重新划分网格	163
7.6.2 利用网格划分 Accept/Reject 提示	164
7.6.3 清除网格	164
7.6.4 细化局部网格	164
7.6.5 改进网格(只针对四面体单元网格)	164
7.7 一些提示和注意事项	166
7.7.1 注意事项	166
7.7.2 进一步的提示	168
7.8 使用 CPCYC 和 MSHCOPY 命令	168
7.8.1 CPCYC 命令	168
7.8.2 CPCYC 结果	169
7.8.3 MSHCOPY 例子	169
7.8.4 低扇区边界	170
7.8.5 由 MSHCOPY 和 AMESH 生成的面单元	171
7.8.6 对扇区体划分网格	171

第八章 修改模型

8.1 简介	173
8.2 细化局部网格	173
8.2.1 如何细化网格	173
8.2.2 细化命令和菜单途径	174
8.2.3 属性和载荷的转换	177
8.2.4 网格细化的其它特征	178
8.2.5 网格细化的限制	179
8.3 节点和单元的移动与拷贝	180
8.4 记录单元面和方向	182
8.4.1 控制面、线和单元的法向	183
8.5 已划分网格模型的修改: 清除和删除	185

8.5.1 清除网格	186
8.5.2 删除实体模型图元	188
8.5.3 修改实体模型图元	188
8.6 理解实体模型的相互对照检查	189
8.6.1 绕开相互对照检查(一种危险的举动)	190

第九章 直接生成

9.1 什么是直接生成	192
9.2 节点	192
9.2.1 定义节点	192
9.2.2 从已有节点生成另外的节点	193
9.2.3 查看和删除节点	193
9.2.4 移动节点	194
9.2.5 计算节点间的距离	194
9.2.6 旋转节点坐标系	194
9.2.7 读、写包含节点数据的文本文件	195
9.3 单元	195
9.3.1 定义单元属性的前提条件	195
9.3.2 定义单元	197
9.3.3 查看和删除单元	197
9.3.4 从已有单元生成另外的单元	198
9.3.5 用特殊方法生成单元	198
9.3.6 读写包含单元数据的文本文件	199
9.3.7 注意重复单元	200
9.3.8 通过改变节点修改单元	200
9.3.9 通过修改单元属性修改单元	200
9.3.10 增加和删除边中节点的注意事项	201

第十章 管路模型

10.1 管路命令简介	202
10.2 管路命令能做的工作	202
10.3 用管路命令建立管路系统模型	202
10.3.1 指定工作名称和标题	202
10.3.2 建立基本的管路数据	203
10.3.3 定义管路系统的几何尺寸	204
10.4 输入示例	205

第十一章 编号控制和单元重排序

11.1 编号控制	208
11.1.1 合并重复项	208
11.1.2 编号压缩	210
11.1.3 设置起始编号	210
11.1.4 编号偏差	211

11.2 单元重排序	211
------------	-----

第十二章 耦合和约束方程

12.1 概述	213
12.2 何谓耦合	213
12.3 如何生成耦合自由度集	213
12.3.1 在给定点处生成并修改耦合自由度集	213
12.3.2 耦合重合节点	213
12.3.3 生成更多的耦合集	214
12.3.4 耦合集的列表和删除	214
12.4 耦合的其它条件	214
12.5 什么是约束方程?	215
12.6 如何生成约束方程	215
12.6.1 直接方法	215
12.6.2 修改约束方程	216
12.6.3 直接与自动生成约束方程的对比	217
12.6.4 约束方程的列表和删除	218
12.7 约束方程的其它注意事项	218

第十三章 模型的合并和归档

13.1 合并模型	219
13.2 模型归档	219
13.2.1 Log 文件(File.LOG)	219
13.2.2 数据库文件(File.DB)	220
13.2.3 CDWRITE 文件	220

第十四章 ANSYS 与其他程序的接口

14.1 什么是接口软件?	222
14.2 与计算机辅助设计(CAD)程序的接口	222
14.3 与其它有限元分析 (FEA) 程序的接口	222
14.4 其它接口	222

第一章 模型生成概述

1.1 什么是模型生成?

有限元分析的最终目的是要还原一个实际工程系统的数学行为特征，换句话说分析必须是对一个物理原型准确的数学模型。广义上讲，模型包括所有的节点、单元、材料属性、实常数、边界条件，以及其它用来表现这个物理系统的特征。在 ANSYS 术语中，模型生成一般狭义地指用节点和单元表示空间体域及实际系统连接的生成过程。因此，在这里讨论的模型生成指模型的节点和单元的几何造型。ANSYS 程序为用户提供了下列生成模型的方法：

- 在 ANSYS 中创建实体模型
- 利用直接生成方法
- 输入在计算机辅助设计 (CAD) 系统创建的模型。

1.2 ANSYS 中建模的典型步骤

通常的建模过程应该遵循以下要点：

- 开始确定分析方案。在开始进入 ANSYS 之前，首先确定分析目标，决定模型采取什么样的基本形式，选择合适的单元类型，并考虑如何能建立适当的网格密度。
- 进入前处理 (PREP7) 开始建立模型。多数情况下，将利用实体建模创建模型。
- 建立工作平面。
- 利用几何元素和布尔运算操作生成基本的几何形状。
- 激活适当的坐标系。
- 用自底向上方法生成其它实体，即先定义关键点，然后再生成线、面和体。
- 用布尔运算或编号控制将各个独立的实体模型域适当的连接在一起。
- 生成单元属性表 (单元类型、实常数、材料属性和单元坐标系)。
- 设置单元属性指针。
- 设置网格划分控制以建立想要的网格密度，这个步骤并不总是必要的，因为进入了 ANSYS 程序有缺省单元尺寸设置存在 (参见对实体划分网格)。(若需要程序自动细化网格，此时应退出前处理 (PREP7)，激活自适应网格划分。)
- 通过对实体模型划分网格来生成节点和单元。
- 在生成节点和单元之后，再定义面与面的接触单元，自由度耦合及约束方程等。

- 把模型数据存为 Jobname.DB
- 退出前处理。

1.2.1 实体建模和直接生成的比较。

可以用两种方法来生成模型：实体建模和直接生成。对于实体建模，需要描述模型的几何边界，建立对单元大小及形状的控制，然后令 ANSYS 程序自动生成所有的节点和单元。与之对比，用直接生成方法，在定义 ANSYS 实体模型之前，必须确定每个节点的位置，及每个单元的大小、形状和连接。

尽管有些数据自动生成是可能的，直接生成方法基本上是依次传递的，这种方法要求在建立有限元网格时记录所有的节点号。这种详细的记录对于大模型来说是乏味的，并很可能出错。实体建模一般比直接生成方法更加有效和通用，是一般建模的首选方法。

尽管实体建模有诸多优点，有时会碰到直接生成更方便的情形。用户可以在直接生成与实体建模间方便地来回转换，对模型的不同部分采取适当的不同建模技术。

有关实体建模与直接生成的讨论可分别参考实体建模和直接生成。为便于用户在给定条件下判别使用哪种方法更合适，现将这两种方法的相对优缺点总结如下。

1.2.1.1 实体建模

实体建模的优点：

- 对于庞大或复杂的模型，特别是对三维实体模型更合适。
- 相对而言需处理的数据少一些。
- 容许对节点和单元不能进行的几何操作（如拖拉和旋转）。
- 支持使用面和体素（如多边形面和圆柱体）及布尔运算（相交、相减等）以顺序建立模型。
- 便于使用 ANSYS 程序的优化设计功能。
- 是自适应网格划分所需的。
- 为便于施加载荷之后进行局部网格细化所要求的。（实体模型加载也需要如此）。
- 便于几何上的改进。
- 便于改变单元类型，不受分析模型的限制。

实体建模的缺点：

- 有时需要大量的 CPU 处理时间
- 对小型、简单的模型有时很繁琐，比直接生成需要更多的数据。
- 在某些条件下可能会失败（程序不能生成有限元网格）

1.2.1.2 直接生成

直接生成的优点

- 对小型或简单模型的生成较方便。
- 使用户对几何形状及每个节点和单元的编号有完全的控制。

直接生成的缺点。

- 除最简单的模型外往往比较耗时，大量需要处理的数据可能令人难以忍受。
- 不能用于自适应网格划分。
- 使优化设计变得不方便。
- 改进网格划分十分困难（诸如面网格细化，SmartSizing 等工具均不能使用）。
- 可能是十分乏味的，需要用户留意网格划分的每一个细节；更容易出错。

1.3 从 CAD 系统中的输入实体模型。

代替在 ANSYS 中建模，可在用户擅长的 CAD 系统中建模，存成 IGES 文件格式或其他 ANSYS 接口产品之一的文件格式，并把它输入 ANSYS 中进行分析。

利用 CAD 软件包建模有如下优点：

- 避免了重复对现有 CAD 模型的劳动而生成待分析的实体模型。
- 工程师可利用熟悉的工具去建模。

但是，从 CAD 系统中输入模型如果不适于网格划分则需要大量的修补工作。

关于从 IGES 文件输入实体模型的更多信息，参见输入实体模型。对于从其他类型文件输入实体模型，参见 ANSYS 接口用户指南。

第二章 规划分析方案

2.1 规划的重要性

当开始建模时，用户将（有意地或无意地）作许多决定以确定如何来对物理系统进行数值模拟；分析的目标是什么？模型是全部或仅是物理系统的部分？模型将包含多少细节？选什么样的单元？有限元网格用多大的密度？总之，你将对要回答的问题的计算费用（CPU 时间等）及结果的精度进行平衡考虑。你在规划阶段作出的这些决定将大体上控制你分析的成功与否。

2.2 确定分析目标

确定分析目标的工作与 ANSYS 程序的功能无关，完全取决于用户的知识、经验及职业技能，只有用户才能确定自己的分析目标，开始时建立的目标将影响用户生成模型时的其它选择。

2.3 选择模型类型（二维、三维等）

有限元模型可分为二维和三维两种。可以由点单元、线单元、面单元或实体单元组成，当然，也可以将不同类型的单元混合使用（注意要保证自由度的相容性）。例如，带筋的薄壳结构可用三维壳单元离散蒙皮，用三维梁单元来离散蒙皮下的筋。对模型的尺寸和单元类型的选择也就决定生成模型的方法。

线模型代表二维和三维梁或管结构，及三维轴对称壳结构的二维模型。实体建模通常不便于生成线模型，而通常由直接生成方法创建。

二维实体模型在薄平板结构（平面应力），等截面的“无限长”结构（平面应变）或轴对称实体结构。尽管许多二维分析模型用直接生成方法并不困难，但通常用实体建模更容易。

三维壳模型用于描述三维空间中的薄壁结构，尽管某些三维壳模型用直接生成方法创建并不困难，但用实体建模方法通常会更容易。

三维实体分析模型用于描述三维空间中截面积不等，也不是轴对称的厚结构。用直接生成的方法建立三维实体模型较复杂，实体建模会使其变得容易些。

2.4 线性单元和高次单元的选择

ANSYS 程序的单元库包括两种基本类型的面和体单元：线性单元（有或无特殊形状的）和二次单元。这些基本单元类型如图 面和体类型 所示，下面来探讨这两种基本类型单元的选择。

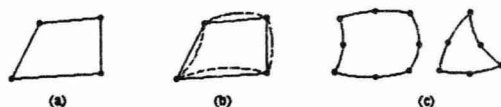


图 2-1 面和体类型。

- (a) 线性等参元
- (b) 特殊形状的线性等参元
- (c) 二次单元

2.4.1 线性单元（无中间节点）

对结构分析，带有附加形函数的角点单元会在合理的计算时间内得到准确的结果。当使用这些单元时，要注意防止在关键区域的退化形式。即避免在结果梯度很大或其它关注的区域使用二维三角线单元和楔形或四面体形的三维线单元。还应避免使用过于扭曲的线性单元，对于非线性结构分析，如果使用线性单元细致地而不是用二次单元相对粗糙的进行网格划分，那么将以很少的花费获得很好的精度。

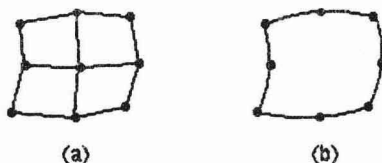


图 2—2 网格的比较

(a)线性单元和(b)二次单元的例子如图网格的比较。

当对弯曲壳体建模时，必须选用弯曲的（二次的）或平面（线性）的壳单元，每种选择都有其优缺点，对于多数的实际情况，主要问题利用平面单元以很少的计算时间，即可获得很高精度的结果。但是，必须保证使用足够多的平面单元来创建曲面。明显地，单元越小，准确性越好。推荐三维平面壳单元延伸不要超过15度的弧，圆锥壳（轴对称线）单元应限制在10度的弧以内（或离Y轴5度）。

对多数非结构分析（热、电磁等），线性单元几乎与高次单元有同样好的结果，而且求解费用较低。退化单元（三角形和四面体）通常在非结构分析中产生准确结果。

2.4.2 二次单元（带中间节点）

对于用退化的单元形式进行的结构分析（即二维三角形单元和楔形或三维四面体单元），二次单元通常会以比线性单元的求解费用更低且产生良好的结果。可是，为正确地使用这些单元，需要注意它们的特殊的性质：

- 对于分布载荷和面压力不象线性单元按一般意义上分配到单元节点上（见图节点分配的平衡），单元的中间节点对反力也表现出相同的非直观的解释。
- 三维带中间节点的热流单元在承受对流载荷时按固定模式分配热流，在中间节点沿一个方面流动而在角点又沿另外方向的流动。
- 对于结构单元，中点节点的温度如果在两相邻角点温度范围之外则要重

新定义为这两角点的平均温度。

- 由于中间节点的质量也大于角节点的质点，所以通常将中间节点选为主自由度（对于减缩自由度分析）。

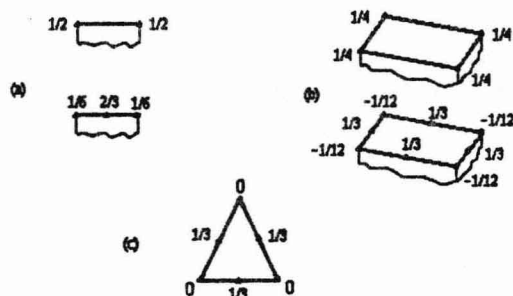


图 2—3 节点分配的平衡

- (a) 二维单元
- (b) 三维单元
- (c) 三维三角形单元

- 由于质量分配不均匀，在动力分析中感兴趣的波传波技术不推荐使用带中间节点的单元。
- 不要在有中间节点的边定义一般的接触表面，也不要将间隙单元与带中间节点的边连接。类似地，对热问题，不要应用辐射连接或非线性对流表面到带有中间节点的边（实体建模的网格划分中提供了去掉特定的中间节点的方法）。
- 当约束一个单元（或表面）的边缘自由度，包括中间节点在内的边缘上所有的节点都要约束。



图 2—4 在间隙或接触表面处避免中间节点

- 单元的角点只能与单元的角点相连，而不能与相邻单元的中间节点相连。相邻的单元应该有相连（或共同的）中间节点



图 2—5 避免单元间中间节点与角点相连

- 对于有中间节点的单元，通常希望每一个这样的中间节点在相应角点之间直接的中点位置，可是，有时却希望出现在其它地方：

一节点沿着弯曲的几何边界通常可产生更准确的分析结果—所有的 ANSYS 网格划分器缺省地将它们放在那里。

一有的内边界也不得不弯曲以防止单元倒置或过于扭曲, ANSYS 网格划分器有时也产生这种弯曲。

一用带有故意将中间节点偏离中心四分之一点可以模拟裂纹尖端的奇异性, 利用 ANSYS 的 KSCON 命令可以产生这种特殊的面网格。(Main Menu>Preprocessor>-Meshing-Size Cntrl>-Concentrat KPs>Create)

- 中间节点位置可由下面描述的单元形状测试进行检查 (对于控制单元形状的检查信息可参见本手册的对实体模型划分网格)。

——除三节点三角形和四节点四面体外的所有实体和壳单元都要进行实三维空间与单元本身的自然坐标空间一致性映射的测试。雅可比比值过大表明单元过于扭曲, 可能是由中间节点的位置设置不当引起的。关于雅可比比值测试的细节, 参见 ANSYS 理论手册中的单元形状测试部分。

- 如果不给中间节点指定位置, 程序会自动按线性笛卡尔坐标插值将中间节点放在两角点的中间, 按此法放置的节点的节点坐标系旋转角度也是按线性插值得到。
- 在相连单元的公共边应有相同的节点数, 当混合单元类型时有必要从一个单元去除中间节点。例如, 下图中的 8 节点单元与一个 4 节点单元相连时应把 8 节点单元的 N 节点去掉 (或在生成这个单元时给它一个 0 节点号)。



图 2—6 避免单元相交时中点节点不匹

注: 程序在下列情况会自动地将线性 and 二次单元共同一侧的中间节点去掉: 一个面 (或体) 用线性单元划分网格 (AMESH、VMESH、FVMESH), 然后相邻面 (或体) 用二次单元划分网格。如果网格划分的次序颠倒了, 中间节点则不能去掉 (先分二次单元, 后分线性单元)。

- 去掉了中间节点意味着边缘仍保持直的, 相应地导致刚度增加, 建议只在过渡区域使用去掉中间节点的单元, 而不在增加了形函数的简化线单元处使用。如果需要, 那么在产生单元之后可利用下列命令增加或去掉中间节点:

命令: EMID

GUI: Main Menu>Preprocessor>Move / Modify>Add Mid Nodes

Main Menu>Preprocessor>Move / Modify>Remove Mid Nd

命令: EMODIF

GUI : Main Menu>Preprocessor>Move / Modify>Modify Nodes

- 二次单元并不比线性单元的积分点多。因此，在非线形分析中优先使用线性单元。
- 诸如平面 PLANE82 和 SHELL93 的高次四面体单元的一种网格可由于零变形能而产生奇异。
- 对后处程序只用截面的角点和隐藏线显示，类似地，节点应力结果的输出和后处理只能对角节点进行。
- 在图形显示时，曲边形的中间节点单元显示为直线段（除非使用 Powergraphics）模型因此看起来比实际的要粗糙些。

2.5 不同单元连接的限制

在连接有不同自由度(DOFs)的单元时必须小心，因为在界面处可能会发生不协调的情况，当单元彼此不协调时，求解时会在不同单元之间传递不适当的力或力矩。

为保证协调，两个单元必须有相同的自由度。例如，它们必须有相同数目和类型的位移自由度及相同数目和类型的旋转自由度，而且，自由度必须是耦合的，即它们必须连续地穿过界面处单元的边界。

考查三个应用了不协调单元的例子：

- 单元有不同个数的自由度是不协调的，SHELL63 和 BEAM4 单元每个节点有三个平动和三个转动自由度。Solid45 单元每个节点有三个平动自由度，但缺少转动自由度。如果 Solid45 单元与 SHELL63 或 BEAM4 单元相连，相应平动自由度的节点力会传到实体块单元上。但是，相应 SHELL63 和 BEAM4 单元的转动自由度的节点位移则不会传递给 SOLID45 单元。
- 单元有相同个数的自由度也不总是协调的。BEAM3（二维弹性梁）单元和 SHELL41（薄膜壳）单元每个节点都各有三个自由度。可是，壳单元有三个平动自由度（UX、UY 和 UZ），而梁单元只有两个平动自由度（UX 和 UY），因为只有 UZ 的结果能反映壳单元的刚度，而且壳单元没有转动自由度（ROTZ）而梁单元有。与梁单元旋转自由度对应的节点位移将不会传递给壳单元，界面表现为梁象是被钉住了。
- 三维梁单元与三维壳单元每个节点都有 6 个自由度，可是，壳单元的 ROTZ 自由度是与平面内旋转刚度相联系的，这是一个虚构的刚度；即它不是数学计算的真实刚度，因此壳的 ROTZ 自由度不是真实的自由度。（例外是当 SHELL43 或 SHELL63 单元（两者都有 KEYOPT(3)=2）的 Allman 旋转刚度被激活时），因此对三维梁单元仅有一个节点与三维壳单元相连导致梁单元的旋转自由度与壳单元的 ROTZ 自由度对应是不协调的，不应该将梁单元与壳单元按此方式连接起来。

类似的不协调也可在不同数目和（或）类型自由度的单元之间存在。

当连接单元有协调的自由度时也有限制存在，在 SOLID72 或 SOLID73 单元

与其它类型的单元连接及加在 SOLID72 或 SOLID73 单元上的刚体运动约束不足时也有出现错误结果的危险。这个问题甚至也在诸如 SOLID72 和 SOLID73 的有 6 个自由度的其它单元类型中存在，以下对 SOLID72 和 SOLID73 单元限制的叙述在 ANSYS 单元参考手册 中指出了：

- 应当对 SOLID72 或 SOLID73 单元的节点指定刚体运动约束，因为对其它单元而不是这些实体块单元指定约束可能导致错误的结果。
- 要对至少一个节点给出全部三个转动方向的约束。

这些问题并不会使分析无效，但至少应该注意到两个不同类型单元交界的条件。

2.6 找到利用对称性的办法

许多物体都有某种对称，重复对称（如一个长管道上平均分布的散热片，反对称（如塑料容器的模子），或轴对称（如灯泡）。当一个物体在所有方面都是对称的（几何、载荷、约束和材料属性），可以利用上述事实减少模型的大小和范围。

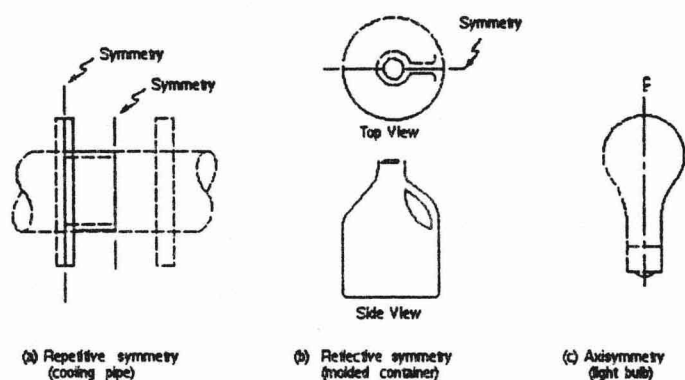


图 2-7 对称的例子

(A) 重复对称（散热等）(B) 镜像对称（模铸容器）(C) 轴对称（灯泡）

2.6.1 对称结构的说明

任何表现在为对一中心轴几何对称的结构（如旋转壳或实体）是轴对称。例如直管、圆锥、圆盘、圆盖等。

三维轴对称结构的模型可用二维形式等效。可以想象得到二维轴对称分析较相应的三维分析更精确。

由定义可知，一个完全轴对称模型只能施加轴对称载荷。但在很多情况下，轴对称结构实际受的并不是轴对称载荷，必须利用一种特殊的轴对称谐波单元，来建立轴对称结构二维模型的非轴对称载荷。详见 ANSYS 单元手册 中的 带有非轴对称载荷的轴对称单元。