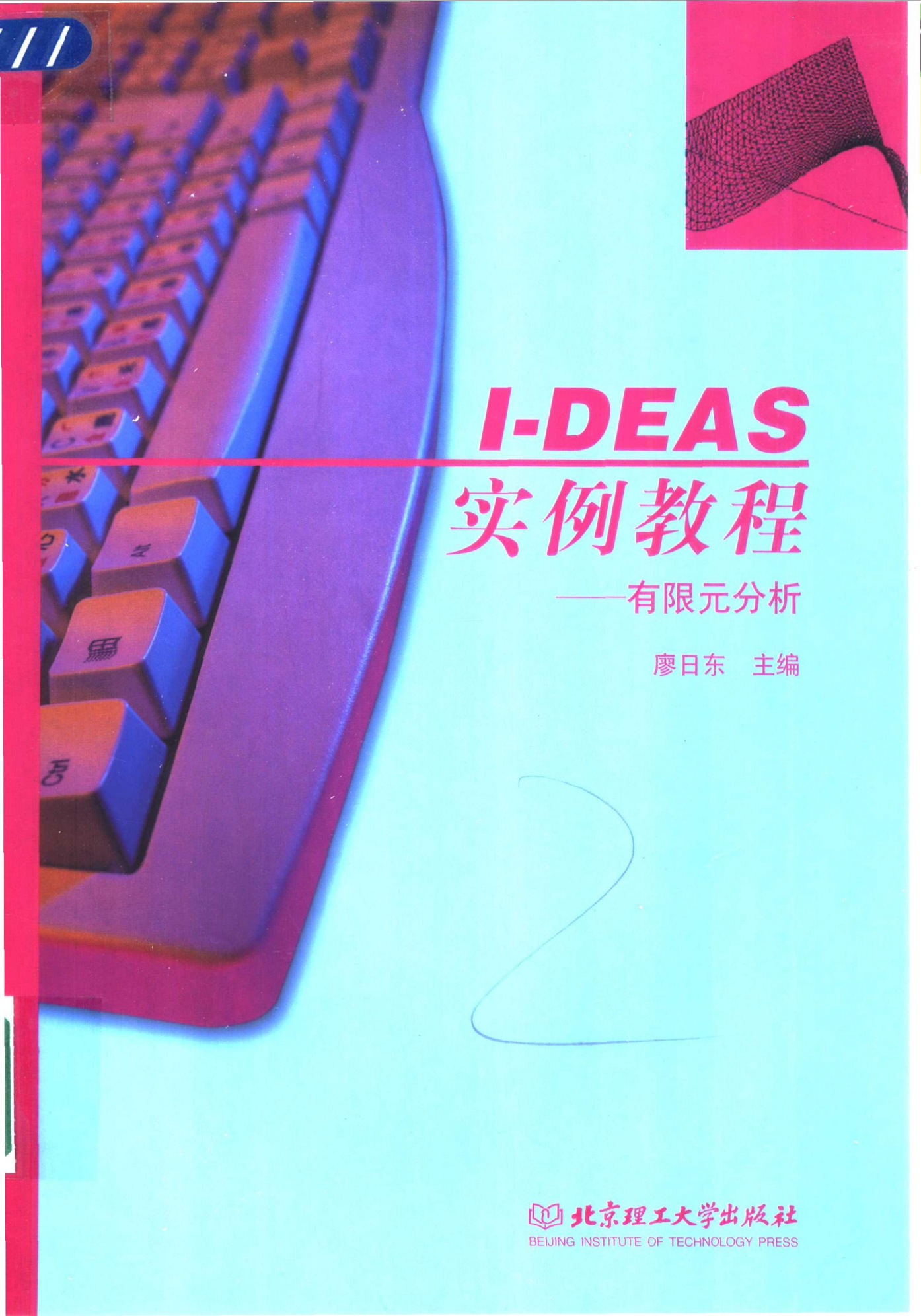




I-DEAS

实例教程

——有限元分析

廖日东 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

I - DEAS 实例教程

——有限元分析

廖日东 主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

I-DEAS 实例教程:有限元分析/廖日东主编. —北京:北京理工大学出版社,2003.2

ISBN 7-5640-0083-X

I. I… II. 廖… III. 计算机辅助制造-应用软件, I-DEAS-有限元分析-教材 IV. TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 093014 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京房山先锋印刷厂

装 订 / 天津市武清区高村印装厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 273 千字

版 次 / 2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 18.00 元

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

I-DEAS 软件是当今国内、外应用最为广泛的几种大型 CAD/CAM/CAE 一体化软件之一,具有较强的有限元分析功能。但是,目前市场上缺乏系统的关于该软件有限元分析功能的教材,使用户难以实现对软件的深入学习和使用。本书编者在多年来的软件学习和应用过程中,总结出难度较大的内容编写成本教程,内容包括装配体有限元分析、变量化分析、自适应分析、复合铺层材料有限元分析、响应分析、非线性静力学分析、P 方法线性静力学分析等七大部分。全书偏重阐述软件应用方法,兼顾介绍相关理论,适用于 I-DEAS 有限元分析软件的中、高级用户,也可供其他从事有限元分析的专业人员参考。

软件技术发展迅速,在编写本书过程中,I-DEAS 软件已经又经历了两个版本的变化。编者尽量使本书既能适用于软件的多个版本,又能反映软件的最新进展。书中的实例步骤是针对 NT 版 I-DEAS 9.0 给出的。

全书由北京理工大学车辆与交通工程学院计算机应用与仿真中心廖日东主编,冯慧华博士参与了第 3 章内容的编写,张儒华博士参与了第 4 章内容的编写,谈卓君博士参与了第 5 章内容的编写。

由于本书涉及的内容繁多,编者的努力难免顾此失彼、挂一漏万,错误不当之处,望读者批评指正!

编 者

2003.1

目 录

第1章 装配体有限元分析

1.1 概 述	(1)
1.2 采用 Append 命令进行有限元模型的装配	(1)
1.2.1 使用方法及注意事项	(1)
1.2.2 应用实例	(2)
1.3 采用 Create FE Model 命令建立装配体有限元模型	(4)
1.3.1 装配体零件的创建方法	(4)
1.3.2 装配体零件有限元模型的建立	(5)
1.3.3 应用实例	(8)
1.4 用 Create FEM from Assembly 命令建立装配体有限元模型	(10)
1.4.1 创建中应注意的事项	(10)
1.4.2 创建步骤	(11)
1.4.3 映射功能	(12)
1.4.4 装配体有限元模型的更新	(12)
1.4.5 装配体有限元模型的复制	(13)
1.4.6 通过映射顺序进行网格生成控制	(13)

第2章 变量化分析

2.1 变量化分析(Variational Analysis)简介	(14)
2.2 变量化分析的使用	(16)
2.2.1 模型准备	(16)
2.2.2 分析准备	(17)
2.2.3 进行分析	(19)
2.2.4 检查结果	(19)
2.2.5 多项式网格	(20)
2.2.6 重启动功能	(20)
2.3 变量化分析的理论背景	(21)
2.3.1 线性静力学分析	(21)
2.3.2 正则模态分析	(22)
2.4 变量化分析的评价标准	(22)
2.4.1 线性静力学分析	(22)
2.4.2 正则模态分析	(26)
2.5 设计数据库的内容	(26)
2.6 变量化分析例子	(27)
2.6.1 线性静力学变量化分析实例	(27)
2.6.2 正则模态变量化分析实例	(36)

第3章 自适应分析

3.1 线性静力学自适应分析概述	(40)
3.2 自适应分析对有限元模型的要求	(41)
3.2.1 网格划分中需要注意的问题	(41)
3.2.2 奇异性(Singularities)问题	(41)
3.2.3 施加边界条件需要考虑的问题	(42)
3.3 利用自适应网格划分修改网格	(42)
3.4 对自适应网格划分的设置	(44)
3.4.1 选择修改依据	(45)
3.4.2 选择网格修改方式	(45)

第4章 复合铺层材料有限元分析

4.1 复合铺层材料分析概述	(50)
4.2 定义复合铺层材料的特性	(51)
4.2.1 复合铺层材料的定义	(51)
4.2.2 定义复合铺层材料中各向同性材料特性	(52)
4.2.3 定义复合铺层材料中正交各向异性材料特性	(52)
4.2.4 单层任意方向的应力和应变	(53)
4.3 创建单层材料	(54)
4.3.1 指定层的相位角	(54)
4.3.2 指定层组的铺叠顺序	(54)
4.4 创建复合铺层材料	(55)
4.4.1 复合铺层材料的创建	(55)
4.4.2 设定复合铺层材料的铺叠顺序	(56)
4.5 对复合铺层材料的修改	(57)
4.5.1 对当前复合铺层材料中任一层的 ID 进行修改	(57)
4.5.2 从当前复合铺层材料中删除任意层	(58)
4.5.3 在当前复合铺层材料中插入新的层	(58)
4.5.4 修改当前复合铺层材料中任意层的层厚	(58)
4.5.5 修改当前复合铺层材料中任意层相位角	(58)
4.5.6 修改复合铺层材料的属性	(59)
4.5.7 修改当前复合铺层材料中任意层的显示颜色	(59)
4.5.8 创建对复合铺层材料的附加修改	(59)
4.5.9 对复合铺层材料中的材料进行修改	(59)
4.6 复合铺层材料的加载测试	(59)
4.7 复合铺层材料的失效分析	(60)
4.7.1 Hill 失效分析理论	(60)
4.7.2 Tsai - Wu 失效分析理论	(61)
4.7.3 Hoffman 失效分析理论	(61)
4.7.4 最大应力失效分析理论	(61)

4.7.5	最大应变失效分析理论·····	(62)
4.7.6	用户自定义的失效分析理论·····	(62)
4.8	复合铺层材料模型的求解和结果分析·····	(63)
4.8.1	将复合铺层材料应用到有限元分析模型中·····	(63)
4.8.2	进行有限元求解分析·····	(63)
4.8.3	对复合铺层材料的后处理·····	(65)
4.9	复合铺层结构细观力学理论简介·····	(66)
4.9.1	弹性常数的计算·····	(66)
4.9.2	层的热特性计算·····	(69)
第5章 响应分析		
5.1	I-DEAS 响应分析概述·····	(70)
5.1.1	I-DEAS 响应分析类型·····	(70)
5.1.2	I-DEAS 响应分析过程概述·····	(70)
5.1.3	I-DEAS 静响应分析概述·····	(72)
5.1.4	I-DEAS 瞬态响应分析概述·····	(73)
5.1.5	I-DEAS 频域响应分析概述·····	(74)
5.1.6	I-DEAS 响应分析的一些特殊功能·····	(74)
5.1.7	I-DEAS 响应分析中有关函数的功能·····	(76)
5.2	I-DEAS 静响应分析·····	(77)
5.3	I-DEAS 动响应分析·····	(78)
5.3.1	选择模态响应与物理响应的转化方法·····	(78)
5.3.2	采用正则模态结果进行动响应分析·····	(78)
5.3.3	采用正则模态和静力学修正结果进行动响应分析·····	(79)
5.3.4	采用测试振型进行动响应分析·····	(81)
5.4	动响应分析模型的建立·····	(82)
5.4.1	响应分析有限元模型的建立·····	(82)
5.4.2	响应分析的边界条件·····	(83)
5.4.3	动力分析边界条件施加实例·····	(83)
5.5	动响应分析的模态表示·····	(84)
5.5.1	模态位移法·····	(84)
5.5.2	模态加速度法·····	(85)
5.5.3	强迫运动激励下响应分析的模态表示·····	(85)
5.5.4	模态模型·····	(85)
5.5.5	数据转换结果(Data Recovery Result)·····	(85)
5.6	加载定义·····	(86)
5.6.1	载荷集的缩放·····	(86)
5.6.2	定义激励函数·····	(86)
5.6.3	创建激励函数·····	(87)
5.6.4	导入激励函数·····	(89)

5.6.5	激励函数的使用	(89)
5.6.6	修改函数	(90)
5.7	定义事件	(90)
5.7.1	定义静态事件	(90)
5.7.2	定义瞬态事件	(91)
5.7.3	定义频域事件	(93)
5.8	响应计算	(94)
5.8.1	动响应计算	(94)
5.8.2	响应计算的重启动	(96)
5.8.3	多区域响应评估	(97)
5.9	I-DEAS 响应分析基本理论	(97)
5.9.1	模态缩减理论简述	(97)
5.9.2	模态加速度法	(98)
5.9.3	模态位移法	(99)
5.9.4	瞬态响应分析	(100)
5.9.5	频响分析	(100)
5.9.6	模态阻尼	(101)
5.9.7	初始碰撞	(101)
5.9.8	旋转力和偏心质量	(103)
5.9.9	随机采样	(104)
5.9.10	动力学分析中的壳应力合成	(104)
5.9.11	静态分析中的热效应	(105)
5.10	动响应分析实例	(105)

第6章 非线性静力学分析

6.1	I-DEAS 非线性静力学分析概述	(112)
6.1.1	I-DEAS 非线性分析功能简介	(112)
6.1.2	非线性静力分析的加载方法	(112)
6.1.3	材料非线性分析的材料定义	(116)
6.1.4	非线性静力分析的基本步骤	(116)
6.1.5	I-DEAS 非线性静力学分析的局限性	(117)
6.2	非线性静力学有限元列式	(117)
6.2.1	平衡方程	(117)
6.2.2	迭代过程	(118)
6.3	定义非线性静力分析中的加载和求解控制	(120)
6.3.1	载荷历程及加载方法	(120)
6.3.2	加载和求解控制>Loading and Solution Control)对话框	(121)
6.3.3	选择非线性静态分析的收敛准则	(124)
6.3.4	非线性静态分析中时间段的刚度控制	(125)
6.3.5	选择非线性静态分析的结果输出	(127)

6.3.6 非线性静态分析求解选项的选择	(127)
6.4 塑性分析	(131)
6.4.1 概述	(131)
6.4.2 塑性模型	(131)
6.5 蠕变分析	(134)
6.5.1 概述	(134)
6.5.2 蠕变模型	(135)
6.5.3 蠕变方程	(136)
6.5.4 蠕变控制	(139)
6.6 梁模型的非线性分析	(141)
6.6.1 概述	(141)
6.6.2 梁的几何非线性分析	(141)
6.6.3 梁的塑性分析	(142)
6.7 接触分析	(143)
6.7.1 概述	(143)
6.7.2 I-DEAS 接触算法	(145)
6.7.3 怎样在边界条件中设置接触	(149)
6.7.4 求解器中接触控制参数的设置	(154)
6.7.5 接触分析的一些技巧和要点	(155)
第7章 P方法线性静力学分析	
7.1 什么是P方法线性静力学分析	(161)
7.2 I-DEAS P单元	(161)
7.2.1 单元拓扑形状	(161)
7.2.2 单元自由度	(162)
7.2.3 单元列式	(162)
7.2.4 结果数据点	(164)
7.2.5 节点自由度	(168)
7.2.6 相关数据	(168)
7.3 P方法分析中的边界条件	(168)
7.4 P方法线性静力学分析实例	(170)
主要参考文献	(174)

第 1 章 装配体有限元分析

1.1 概 述

在 I-DEAS 软件（以下简称软件）中，有限元模型可以基于零件模型也可以基于装配体模型。基于装配体建立的有限元模型，可以用于分析零件之间的相互作用。

通常，用户建立的是基于单个零件的有限元模型。为了分析装配体，用户需要将这些“部件有限元模型”组合成一个“装配体有限元模型”。软件为此提供了如下三种不同的方法：

(1) 采用 Append 命令。这是最简单的方法。通过该方法可以组合两个有限元模型及其相关的零件模型。

(2) 采用 Create FE Model 命令。这种方法功能比上一种更强。通过该方法可以针对一个装配体中的多个零件建立单个有限元模型。如果该装配体中的零件模型已经附有有限元模型，通过该方法可以将其加入到新的装配体有限元模型中。

(3) 采用 Create FEM from Assembly 命令。相比之下，这种方法最为灵活。使用该方法，用户不仅可以针对一个装配体创建单个有限元模型，而且可以在建模过程中对建立的装配体有限元模型进行自动更新，以反映装配模型中部件的装配层次（Hierarchy）或位置构型（Configuration）的变化。采用该方法时用户还可以控制节点和单元的标号。另外，采用该方法建立装配体有限元模型时，软件将自动地为每一个部件有限元模型建立一个“组”。

本章将针对上述三种方法进行详细介绍。

1.2 采用 Append 命令进行有限元模型的装配

1.2.1 使用方法及注意事项

执行 Append 命令后，软件实际上是将两个有限元模型（分别称之为“源”模型和“目标”模型）及其所参考的几何模型，按各自原先的位置叠加在一起（与实体建模中的 Add 运算相同，但要注意的是与 Join 运算不同），生成名为“目标模型”的有限元模型及其所依附的几何模型。生成的有限元模型包含了原先的两个有限元模型中的边界条件、坐标系、组、节点和单元等。同样地，生成的几何模型也包括了两个初始模型的几何体及建模历程。

用户可以先将两个零件进行叠加（Append），然后对生成的几何体进行网格划分；也可以先对两个零件单独进行网格划分，然后再对二者进行叠加。无论采用哪种方式，生成的结果都是一个可以进行求解的单个有限元模型。

采用 Append 命令时，用户可以对节点和单元的编号进行部分控制。在执行 Append 命令之前，用户最好为每个模型创建一个“组”，这样可以使后续编号更容易一些。

[注意] 使用 Append 命令时, 如果两个有限元模型中有一个 (无论是“源”模型还是“目标”模型) 包含有网格截面 (Mesh Sections) 模型 (当创建有限元模型时, 如果在 FE Model Create 对话框中打开 All Sections 按钮开关, 即生成截面模型), 则软件通过如下过程自动将不含网格截面的模型转化为 All Sections 有限元模型:

- (1) 在模型中的每个表面上创建一个截面 (Section);
- (2) 将所有网格定义转化至截面上;
- (3) 将所有有效的基于几何的边界条件转化至截面上;
- (4) 删除所有与网格截面不匹配的边界条件 (如数据边、基于几何的接触区和接触对等)。

1.2.2 应用实例

本例的建模对象是铰链装配体中的两个零件——销和铰链。其中, 销将被视为“源”零件, 而铰链将作为“目标”零件。两零件示意如图 1-1。读者可以采用自己建立的两个零件仿照下列步骤进行练习。

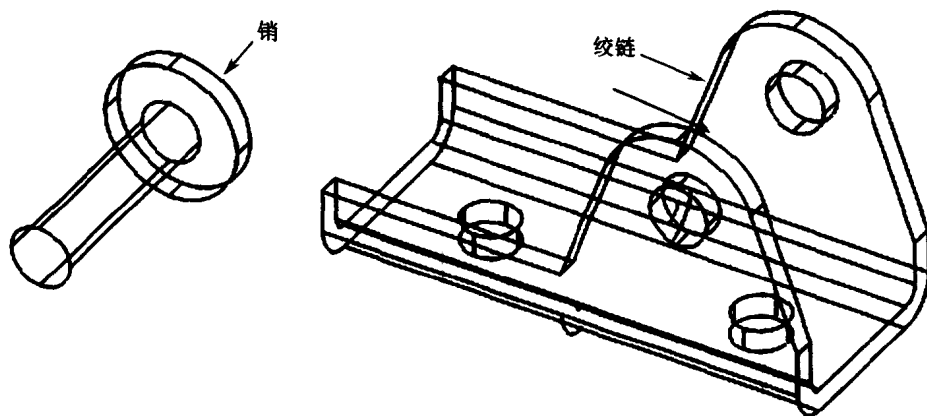


图 1-1

(1) 在几何建模模块中, 创建要进行叠加的两个零件。根据分析时所需要的零件位置, 将两个零件通过移动或旋转等命令进行定位, 得到图 1-2 所示的模型。

(2) 如要保留原零件, 将“目标”零件进行复制 (本例“目标”零件为铰链)。在 Manage Bins 对话框中, 点取铰链零件, 然后点取 Copy。将新零件命名为“Combined Model”。要点取的图标菜单位置如图 1-3。

(3) 在 Boundary Conditions 模块中, 分别创建销和复制的铰链的有限元模型。要点取的图标菜单位置如图 1-4。

(4) 在铰链孔的边缘施加边界条件。要点取的图标菜单位置以及所施加的边界条件的示意如图 1-5。

(5) 将菜单设置为 Long 或 All。要点取的图标菜单路径为 Options, Preferences, Menus, Long。

(6) 点取文字菜单 Manage, Append。

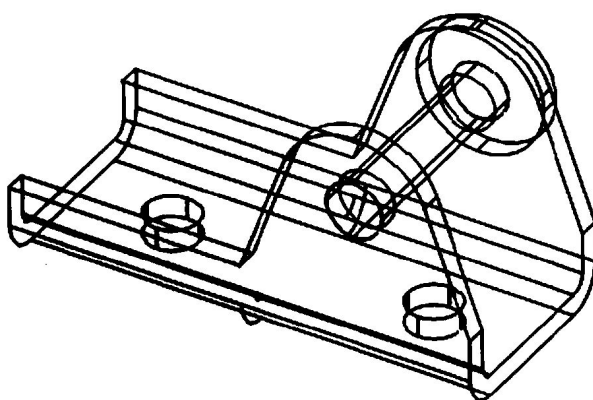


图 1-2



图 1-3

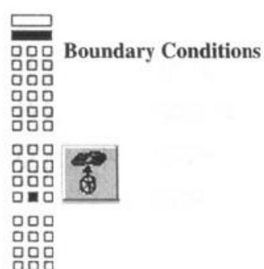


图 1-4

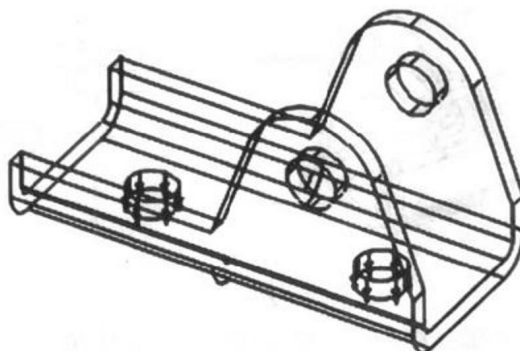
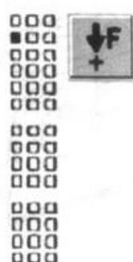


图 1-5

- (7) 点取消为“源”零件。
- (8) 点取复制的铰链“Combined Model”为“目标”零件。完成叠加（Append）之后，生成的“目标”有限元模型将同时包含有销和铰链的几何模型和边界条件。
- (9) 确定“目标”模型在工作台上之后，转至 Meshing 模块对组合模型进行网格划分，得到的装配体有限元网格模型如图 1-6。

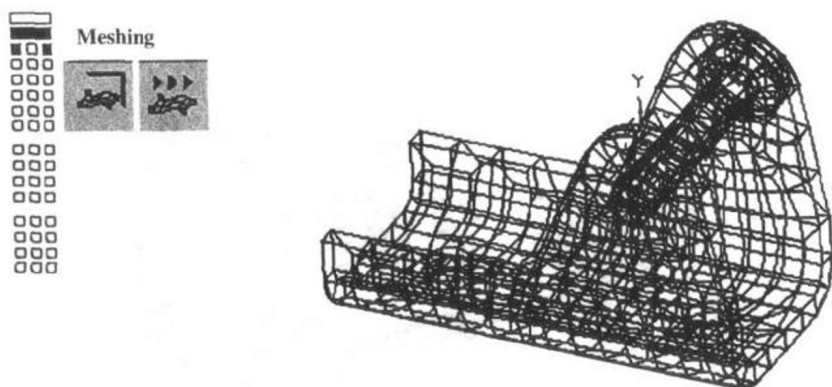


图 1-6

1.3 采用 Create FE Model 命令建立装配体有限元模型

在 I-DEAS 软件中, 用户可以采用 Create FE Model 命令来建立装配体模型的有限元模型。创建过程中, 软件将装配体中的零件 (如图 1-7A 中的 I1, I2, I3) 进行复制, 然后通过 Add 运算将其组合成一个新的零件, 这里称之为装配体零件 (如图 1-7 B)。最后软件基于新零件建立相应的有限元模型。

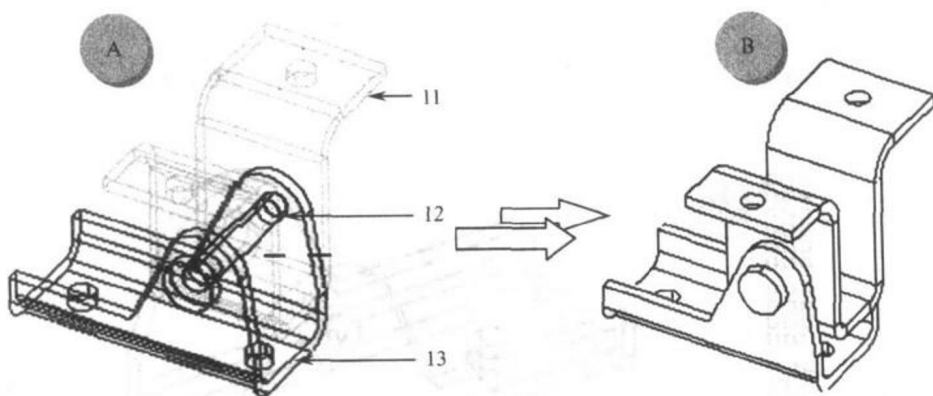


图 1-7

在建立装配体有限元模型时, 装配体中的零部件允许包含自己的有限元模型。用户可以选取零件的有限元模型, 将其合并到代表装配体的新模型中。这一技术可使用户对同一零件既可以进行单独分析也可以进行装配分析。

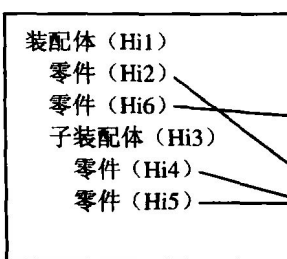
一旦新的零件和相应的有限元模型已经基于装配体创建完成, 用户就可以像对其他任意带有有限元模型的零件一样, 进行修改和管理。

1.3.1 装配体零件的创建方法

执行 Create FE Model 命令后, 装配体中的一个零件将成为产生的装配体零件中的一个特征, 如图 1-8 所示。

需要注意的是,采用 Create FE Model 命令创建装配体零件时,软件不再保持新零件和原来装配体之间的任何相关性。如果要更新零件以反映装配体中的变化(如装配了新的零件),用户需要创建新的有限元模型,因此实际上也就需要生成新的零件。同样地,用户也可以修改生成的新零件(例如针对其建立新的有限元模型),它对原装配体没有任何影响。

原装配体的装配层次



新零件的建模历程树

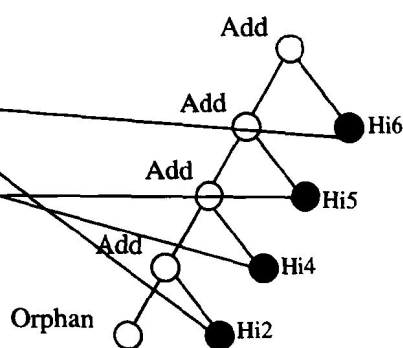


图 1-8

与 Append 命令相同,执行 Create FE Model 命令创建新零件时,软件对各零件实体进行的是“加(Add)”运算,并不会将贴合零件的表面“粘结(Join)”成一体,而是各表面仍然保持独立地重合在一起。

1.3.2 装配体零件有限元模型的建立

基于装配体的新零件创建以后,软件便自动对其配属有限元模型。然后用户可以进行相应的操作,如划分网格、施加边界条件等,最后进行分析计算。

如果原装配体中的零部件已经存在有限元模型(即附有节点、单元或边界条件),用户可以在建立装配体有限元模型的过程中,将其附加到建立的新模型中,并可以对现有的零部件有限元模型进行任意组合,当然,用户也可以不选择现有的零部件有限元模型。如图 1-9 是一个对现有的零部件有限元模型进行任意组合的例子。

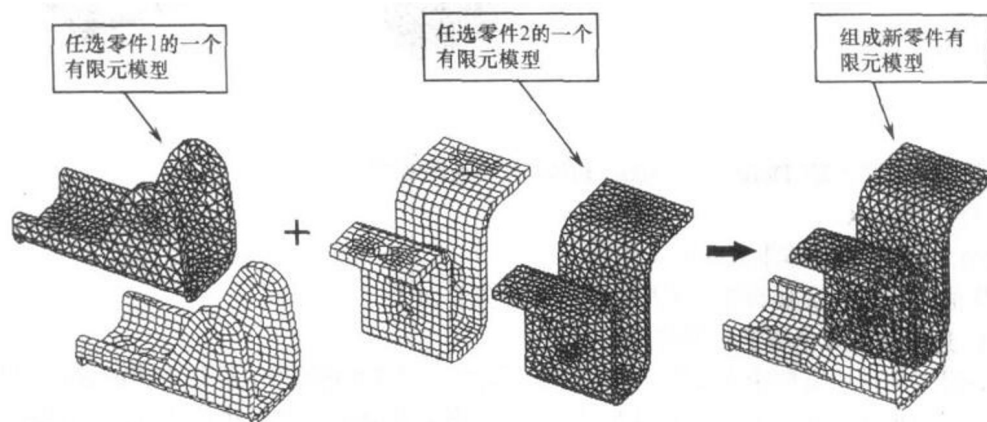


图 1-9

1. 准备建立有限元模型的装配体模型

根据 Create FE Model 命令所具有的功能,用户在 I-DEAS 软件的装配模块中,创建一个进行有限元分析的装配体模型时,需要注意以下几点:

(1) 装配体中可以包含已经带有有限元模型的零部件。这样，使用户既可以对零部件进行单独分析，也可以在装配体中对零部件进行组合分析。另外，如果一个零部件含有多个有限元模型，用户还可以根据需要，任意选择组合到装配体零件有限元模型中。

(2) 通过 **Suppress** 命令，用户可以消除装配体中的某些零部件。这样，在创建新零件时，软件将忽略已经执行 **Suppress** 操作的零部件及相关的有限元模型。在打开 **Define Assembly FE Model** 对话框时，表中将显示哪些零件已执行 **Suppress** 操作。之后，用户如果要重新计入这些零部件，则必须对其进行 **Unsuppress** 操作，然后创建新的装配体有限元模型。

(3) 根据分析的需要，定义装配体的位置构型。尽管对每个装配体，用户可以创建多个构型，但却只能对其中一个构型建立有限元模型。

2. 直接对装配体创建有限元模型

基于装配体建立有限元模型的步骤如下：

(1) 执行 **Create FE Model** 命令。

(2) 选取装配体。

(3) 点取装配体的一个构型（如图 1-10 中的 A）。

(4) 点取 **Define Assembly FEM**，从零部件中选取有限元模型进行组合（如图 1-10 B）。如装配体中的实例不含任何有限元模型，可以跳过该步。



图 1-10

用户也可以点取 **Define Assembly FEM** 来增加新零件中的实体。

(5) 点取 **OK**。

(6) 输入由装配体生成的新零件名。

生成的新零件及其有限元模型将显示在工作平面上。

3. 选取装配体中零部件的有限元模型

如果零部件中有些带有有限元模型，那么用户就可以根据需要，采用 **Define Assembly FE Model** 对话框（如下图 1-11）对这些模型进行选择，将其附加到创建的新有限元模型中，定制装配体有限元模型，提高建模效率。当然，如果装配体的所有零部件都不带有有限元模型，用户可以跳过该对话框，软件对新零件创建一个新的空有限元模型。

采用 **Define Assembly FE Model** 对话框，用户可以进行如下工作：

(1) 选择装配体中零部件带有的有限元模型。

(2) 对有限元模型中的某些元素（如边界条件、坐标系等）进行过滤。

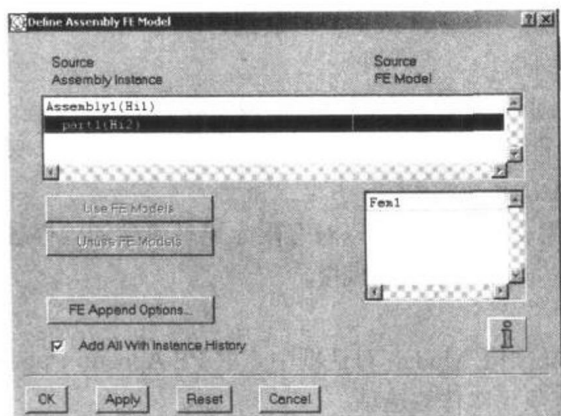


图 1-11

(3) 管理增加到新零件中的零件实例的建模历程。

[注意] 尽管每个零部件可能带有多个有限元模型，但用户只能选择一个追加到新模型中。如果要对零部件有限元模型进行不同的组合，必须创建新的装配体有限元模型。

例如，图 1-12 某装配体包含三个零部件，每个零部件带有两个有限元模型，那么用户就可以根据需要，从每个零部件的有限元模型中任选一个组合成新的装配体有限元模型。

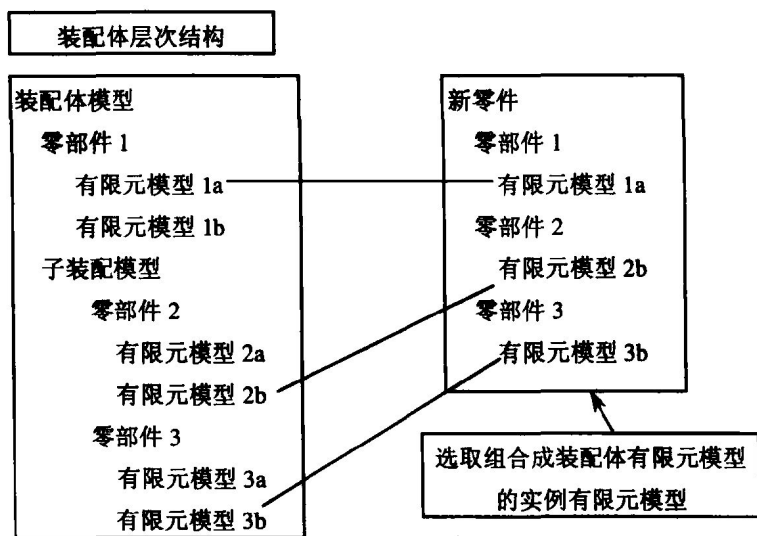


图 1-12

选取零件模型的有限元模型的步骤如下：

(1) 从 Source Assembly Instance 表中选取零件模型。用鼠标双击零件名可以在子装配体中显示相应的模型。

(2) 从旁边的表格中选取零件的一个有限元模型。

(3) 根据需要，继续选取其他零件的有限元模型，完成后点击 OK。

如果要排除某零件的有限元模型，可点取该零件，然后在旁边的表格中取消相应的有限元模型的选定即可。

为子装配体中所有的零件选取有限元模型的步骤如下：

(1) 从 Source Assembly Instance 表中点取装配体。

(2) 点取 Use FE Models。

(3) 继续为其他子装配体点取有限元模型，或点取 OK。

要排除子装配体的有限元模型，可以采用上述同样的步骤，只是点取的是 Unuse FE Models 而不是 Use FE Models。

在进行有限元模型组合时，用户可以对有限元模型包含的内容进行过滤，从而只选取与装配体分析有关的内容，以减小模型的规模。

过滤步骤如下：

(1) 在 Define Assembly FE Model 对话框中点取 FE Append Options。

(2) 关闭要过滤的有限元实体的选项。

(3) 点取 OK。

在建立装配体有限元模型时，用户可以选择在新零件中是否包含原零件的建模历程树。选择不包含零件的建模历程树，可以减小模型文件的规模，提高建模的效率。但同时，由于没有建模历程树，用户将不能通过选取尺寸、特征或关系式等方式对零件进行修改。图 1-13A 给出了一个新零件的历程树的例子，其中不含历程树的特征以 Orphan 的形式显示（图 1-13 B）。不过，任何进一步的操作，都会在零件中增加相应的历程。

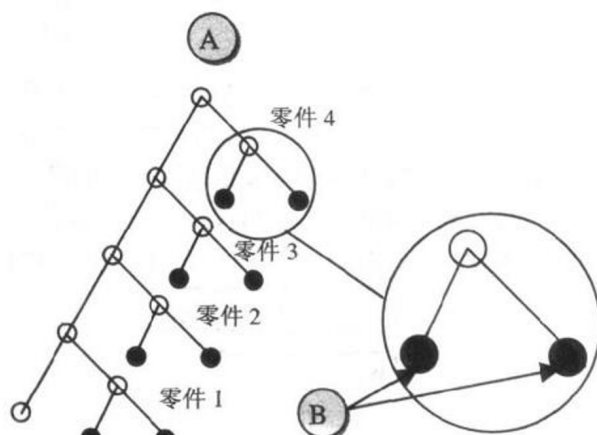


图 1-13

要消除实例的历程树，可以关闭 Add All with Instance History 开关。

[注意] 该命令不影响原装配体模型，它只是影响零部件的复制。由于装配体有限元建模实际上是基于采用这些零部件的副本组合生成的新零件而进行的，因此，消除零部件的历程树之后，如果要对零件进行修改，就只能重新创建一个新的装配体有限元。

1.3.3 应用实例

本例介绍怎样采用 Create FE Model 命令建立装配体的有限元模型。例中假设装配体中包含三个零件（如图 1-14 所示），同时假设每一个零件均已带有有限元模型。用户也可以自己创建一个简单的装配体模型，仿照本例的步骤进行相应的练习。

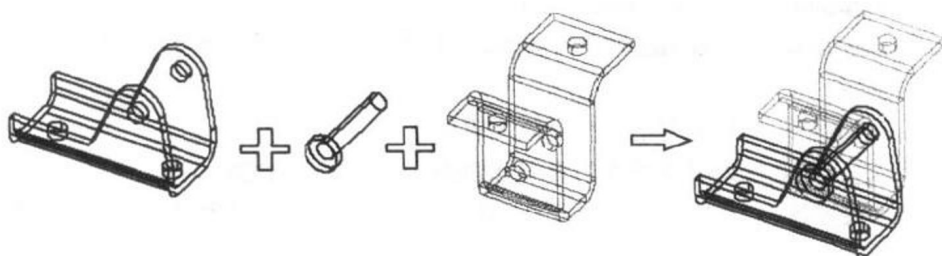


图 1-14