



计算机辅助分析实例指导丛书

ANSYS 11.0

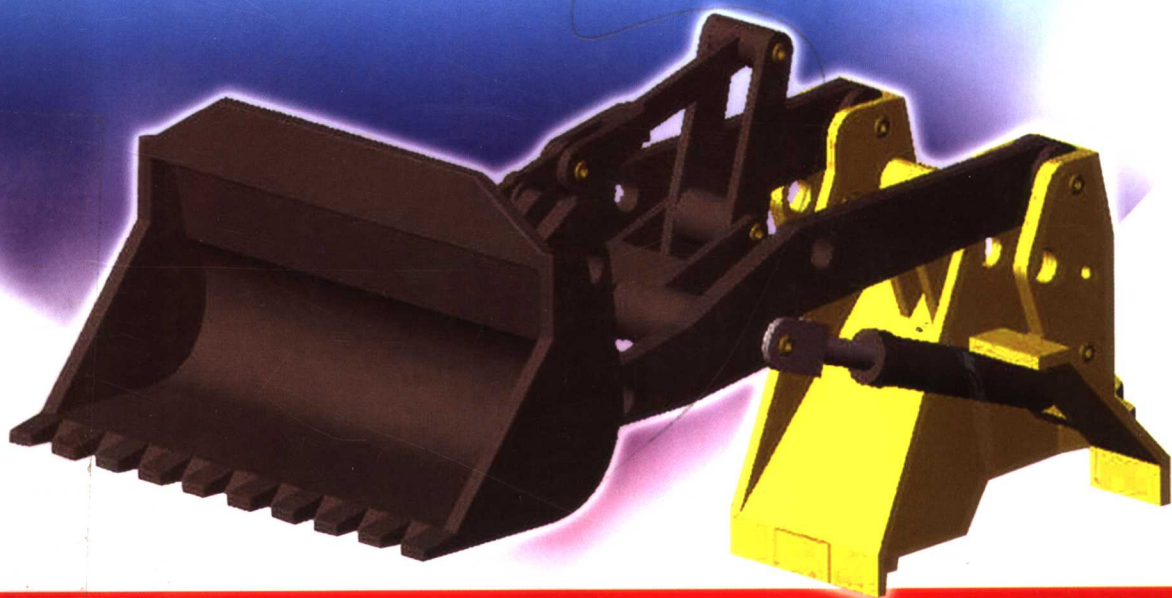


结构与热力学有限元分析

实例指导教程

三维书屋工作室

王建江 胡仁喜 刘英林 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

0241.82-39/17D

2008

ANSYS 11.0 结构与热力学有限元分析 实例指导教程

三维书屋工作室

王建江 胡仁喜 刘英林 等编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS11.0 为依据,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 具体工程应用方法。书中尽量避开了繁琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者使用该软件的经验,实例部分采用 GUI 方式一步一步地对操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令,在每个实例的后面列出了分析过程的命令流文件。

本书分为两部分,第一部分 6 章,为操作基础篇,介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法:第 1 章 ANSYS 概述;第 2 章几何建模;第 3 章划分网格;第 4 章施加载荷;第 5 章求解;第 6 章后处理。第二部分 10 章,实例篇,讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧:第 7 章静力学分析;第 8 章模态分析;第 9 章谐响应分析;第 10 章瞬态动力学分析;第 11 章谱分析;第 12 章非线性分析;第 13 章结构屈曲分析;第 14 章接触问题分析;第 15 章结构优化设计;第 16 章热分析。

本书适用于 ANSYS 软件的初中级用户,可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的培训教材,也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS11.0 结构与热力学有限元分析实例指导教程/王建江等编著. —北京:机械工业出版社, 2008.3
ISBN 978-7-111-23601-6

I. ①A… II. 王 III. ①工程结构—有限元分析—应用程序, ANSYS11.0—教材
②热力学—有限元分析—应用程序, ANSYS11.0—教材 IV. TU3-39 0414.1-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 028020 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云 责任印制:李妍

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·34.5 印张·856 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23601-6

ISBN 978-7-89482-582-7 (光盘)

定价: 62.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话(010) 68326294

购书热线电话(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版



光盘说明

本书所附多媒体光盘中包含了全书的实例效果图片、所有实例源文件，以及所有实例的操作过程AVI动画文件。光盘采用友好的人工交互界面，配以清新悦耳的背景音乐，帮助读者更加形象、具体、轻松、愉快地学习本书。

具体操作方法如下

1. 插入光盘。本光盘采用自动播放模式，如果不能直接进入播放模式，可以在计算机中找到“我的电脑”或资源管理器中光盘所在的盘符，打开光盘文件，双击按钮，则可以打开光盘播放界面。

2. 光盘自动进入操作控制界面，如图1所示。

3. 单击界面中的【图片浏览】按钮，则进入图片浏览界面，如图2所示。可以通过单击界面上的【上一页】或【下一页】按钮浏览书中典型实例效果图片。



图1 操作控制界面



图2 图片浏览界面



图3 动画演示界面

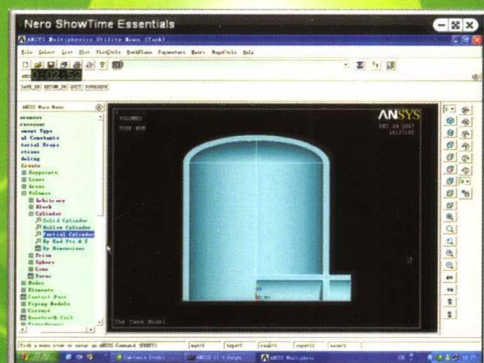


图4 操作过程动画

4. 单击界面中的【动画演示】按钮，则进入动画演示界面，如图3所示。单击动画演示界面上任意一个按钮，则进入动画播放界面，同时会播放配有背景音乐的操作过程动画，如图4所示。

5. 单击【退出】按钮或按钮退出各级界面，以至最后退出光盘操作。

目 录

前言

第 1 章 ANSYS 11.0 入门	1
1.1 ANSYS11.0 的用户界面	1
1.2 ANSYS 文件系统	3
1.2.1 文件类型	3
1.2.2 文件管理	4
1.3 ANSYS 分析过程	7
1.3.1 建立模型	8
1.3.2 加载并求解	8
1.3.3 后处理	9
1.4 实例入门	9
1.4.1 分析实例描述	9
1.4.2 建立模型	9
1.4.3 加载求解	19
1.4.4 查看计算结果	22
1.5 本章小结	24
第 2 章 几何建模	25
2.1 坐标系简介	25
2.1.1 总体和局部坐标系	26
2.1.2 显示坐标系	28
2.1.3 节点坐标系	29
2.1.4 单元坐标系	30
2.1.5 结果坐标系	30
2.2 工作平面的使用	31
2.2.1 定义一个新的工作平面	31
2.2.2 控制工作平面的显示和样式	32
2.2.3 移动工作平面	32
2.2.4 旋转工作平面	32
2.2.5 还原一个已定义的工作平面	33
2.3 布尔操作	33
2.3.1 布尔运算的设置	34
2.3.2 交运算	34
2.3.3 两两相交	36
2.3.4 相加	37
2.3.5 相减	37
2.3.6 利用工作平面做减运算	38
2.3.7 搭接	39

2.3.8 分割.....	39
2.3.9 粘接（或合并）.....	40
2.4 编辑几何模型.....	40
2.4.1 按照样本生成图元.....	41
2.4.2 由对称映像生成图元.....	41
2.4.3 将样本图元转换坐标系.....	42
2.4.4 实体模型图元的缩放.....	42
2.5 自底向上创建几何模型.....	43
2.5.1 关键点.....	44
2.5.2 硬点.....	46
2.5.3 线.....	47
2.5.4 面.....	49
2.5.5 体.....	50
2.6 实例——储液罐的实体建模.....	52
2.6.1 GUI 方式.....	52
2.6.2 命令流方式.....	58
2.7 自顶向下创建几何模型（体素）.....	60
2.7.1 创建面体素.....	60
2.7.2 创建实体体素.....	61
2.8 实例——轴承座的实体建模.....	62
2.8.1 GUI 方式.....	63
2.8.2 命令流方式.....	72
2.9 从 IGES 文件中将几何模型导入到 ANSYS.....	73
2.9.1 使用 SMOOTH 选项.....	74
2.9.2 使用 FACETED 选项.....	75
2.10 本章小结.....	75
第 3 章 划分网格.....	77
3.1 有限元网格概论.....	77
3.2 设定单元属性.....	78
3.2.1 生成单元属性表.....	78
3.2.2 在划分网格之前分配单元属性.....	79
3.3 网格划分的控制.....	81
3.3.1 ANSYS 网格划分工具（MeshTool）.....	81
3.3.2 单元形状.....	82
3.3.3 选择自由或映射网格划分.....	83
3.3.4 控制单元边中节点的位置.....	83
3.3.5 划分自由网格时的单元尺寸控制（SmartSizing）.....	84
3.3.6 映射网格划分中单元的默认尺寸.....	84
3.3.7 局部网格划分控制.....	86

3.3.8 内部网格划分控制.....	87
3.3.9 生成过渡棱锥单元.....	89
3.3.10 将退化的四面体单元转化为非退化的形式.....	90
3.3.11 执行层网格划分.....	90
3.4 自由网格划分和映射网格划分控制.....	91
3.4.1 自由网格划分.....	91
3.4.2 映射网格划分.....	92
3.5 给实体模型划分有限元网格.....	98
3.5.1 用 xMESH 命令生成网格.....	98
3.5.2 生成带方向节点的梁单元网格.....	99
3.5.3 在分界线或者分界面处生成单位厚度的界面单元.....	101
3.6 实例——储液罐的网格划分.....	102
3.6.1 GUI 方式.....	102
3.6.2 命令流方式.....	106
3.7 延伸和扫略生成有限元模型.....	107
3.7.1 延伸 (Extrude) 生成网格.....	107
3.7.2 扫略 (VSWEEP) 生成网格.....	110
3.8 修正有限元模型.....	113
3.8.1 局部细化网格.....	113
3.8.2 移动和复制节点和单元.....	116
3.8.3 控制面、线和单元的法向.....	117
3.8.4 修改单元属性.....	119
3.9 直接通过节点和单元生成有限元模型.....	119
3.9.1 节点.....	120
3.9.2 单元.....	122
3.10 编号控制.....	124
3.10.1 合并重复项.....	124
3.10.2 编号压缩.....	125
3.10.3 设定起始编号.....	126
3.10.4 编号偏差.....	127
3.11 实例——轴承座的网格划分.....	127
3.11.1 GUI 方式.....	127
3.11.2 命令流方式.....	134
3.12 本章小结.....	135
第4章 施加载荷.....	136
4.1 载荷概论.....	136
4.1.1 什么是载荷.....	136
4.1.2 载荷步、子步和平衡迭代.....	137
4.1.3 时间参数.....	138

4.1.4 阶跃载荷与坡道载荷	139
4.2 施加载荷	140
4.2.1 施加载荷	140
4.2.2 轴对称载荷与反作用力	146
4.2.3 利用表格来施加载荷	147
4.2.4 利用函数来施加载荷和边界条件	150
4.3 实例——轴承座的载荷和约束施加	152
4.3.1 GUI 方式	152
4.3.2 命令流方式	156
4.4 设定载荷步选项	157
4.4.1 通用选项	157
4.4.2 动力学分析选项	160
4.4.3 非线性选项	161
4.4.4 输出控制	161
4.4.5 Biot-Savart 选项	163
4.4.6 谱分析选项	163
4.4.7 创建多载荷步文件	163
4.5 实例——储液罐的载荷和约束施加	165
4.5.1 GUI 方式	165
4.5.2 命令流方式	170
4.6 本章小结	172
第 5 章 求解	173
5.1 求解概论	173
5.1.1 使用直接求解法	174
5.1.2 使用其他求解器	175
5.1.3 获得解答	175
5.2 利用特定的求解控制器来指定求解类型	175
5.2.1 使用 Abridged Solution 菜单选项	176
5.2.2 使用求解控制对话框	176
5.3 多载荷步求解	178
5.3.1 多重求解法	178
5.3.2 使用载荷步文件法	178
5.3.3 使用数组参数法（矩阵参数法）	179
5.4 实例——轴承座和储液罐模型求解	181
5.5 本章小结	182
第 6 章 后处理	183
6.1 后处理概述	183
6.1.1 结果文件	184
6.1.2 后处理可用的数据类型	184

6.2 通用后处理器 (POST1)	185
6.2.1 将数据结果读入数据库	185
6.2.2 图像显示结果	192
6.2.3 列表显示结果	199
6.2.4 将结果旋转到不同坐标系中显示	201
6.3 实例——轴承座计算结果后处理	203
6.3.1 GUI 方式	203
6.3.2 命令流方式	207
6.4 时间历程后处理 (POST26)	208
6.4.1 定义和储存 POST26 变量	208
6.4.2 检查变量	210
6.4.3 POST26 后处理器的其他功能	213
6.5 实例——储液罐计算结果后处理	214
6.5.1 GUI 方式	214
6.5.2 命令流方式	217
6.6 本章小结	218
第7章 结构静力分析	219
7.1 结构静力概论	219
7.2 结构静力学分析的基本设置	220
7.2.1 设置求解控制选项	220
7.2.2 设置其他求解选项	224
7.2.3 施加载荷	229
7.3 实例——悬臂梁的横向切应力分析	231
7.3.1 问题的描述	231
7.3.2 GUI 路径模式	232
7.3.3 命令流模式	247
7.4 本章小结	247
第8章 模态分析	248
8.1 模态分析概论	248
8.2 模态分析的基本设置	249
8.2.1 加载及求解	249
8.2.2 扩展模态	252
8.3 实例——压电变换器的自振频率分析	253
8.3.1 问题描述	254
8.3.2 GUI 模式	255
8.3.3 命令流模式	273
8.4 本章小结	273
第9章 谐响应分析	274
9.1 谐响应分析概论	274

9.1.1 完全法 (Full Method)	275
9.1.2 减缩法 (Reduced Method)	275
9.1.3 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	275
9.1.4 3 种方法的共同局限性	276
9.2 谐响应分析的基本设置	276
9.2.1 定义分析类型和载荷选项	276
9.2.2 在模型上加载	278
9.2.3 指定载荷步选项	281
9.3 实例——弹簧质子系统的谐响应分析	282
9.3.1 问题描述	283
9.3.2 GUI 模式	283
9.3.3 命令流方式	300
9.4 本章小结	300
第 10 章 瞬态动力学分析	301
10.1 瞬态动力学概论	301
10.1.1 完全法 (Full Method)	302
10.1.2 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	302
10.1.3 减缩法 (Reduced Method)	302
10.2 瞬态动力学分析的基本设置	303
10.2.1 建立初始条件	303
10.2.2 设定求解控制器	304
10.2.3 设定其他求解选项	306
10.2.4 施加载荷	306
10.2.5 设定多载荷步	308
10.3 实例——哥伦布阻尼的自由振动分析	308
10.3.1 问题描述	308
10.3.2 GUI 模式	309
10.3.3 命令流模式	328
10.4 本章小结	328
第 11 章 谱分析	329
11.1 谱分析概论	329
11.1.1 响应谱	329
11.1.2 动力设计分析方法 (DDAM)	330
11.1.3 功率谱密度 (PSD)	330
11.2 谱分析的基本步骤	330
11.2.1 谱分析	331
11.2.2 扩展模态	333
11.2.3 合并模态	334
11.3 实例——支撑平板的动力效果分析	335

11.3.1 问题描述.....	336
11.3.2 GUI 模式.....	336
11.3.3 命令流.....	370
11.4 本章小结.....	370
第 12 章 非线性分析.....	371
12.1 非线性分析概论.....	371
12.1.1 非线性行为的原因.....	371
12.1.2 非线性分析的基本信息.....	372
12.1.3 几何非线性.....	375
12.1.4 材料非线性.....	376
12.1.5 其他非线性问题.....	381
12.2 非线性分析的基本设置.....	381
12.2.1 设置求解控制器.....	381
12.2.2 设定其他求解选项.....	384
12.3 实例——螺栓的蠕变分析.....	386
12.3.1 问题描述.....	386
12.3.2 GUI 路径模式.....	386
12.3.3 命令流.....	397
12.4 本章小结.....	397
第 13 章 结构屈曲分析.....	398
13.1 结构屈曲概论.....	398
13.2 结构屈曲分析的基本设置.....	399
13.2.1 获得静力解.....	399
13.2.2 获得特征值屈曲解.....	399
13.2.3 扩展解.....	401
13.3 实例——框架结构的屈曲分析.....	402
13.3.1 问题描述.....	402
13.3.2 GUI 模式.....	402
13.3.3 命令流.....	423
13.4 本章小结.....	423
第 14 章 接触问题分析.....	424
14.1 接触问题概论.....	424
14.1.1 一般分类.....	424
14.1.2 接触单元.....	425
14.2 接触分析的基本设置.....	426
14.2.1 建立模型, 并划分网格.....	426
14.2.2 识别接触对.....	426
14.2.3 定义刚性目标面.....	426
14.2.4 定义柔性接触面.....	428

14.2.5	设置实常数和单元关键点	430
14.2.6	控制刚性目标面的运动	431
14.2.7	给变形体单元施加必要的边界条件	432
14.2.8	定义求解选项和载荷步	432
14.3	实例——陶瓷套管的接触分析	433
14.3.1	问题描述	433
14.3.2	GUI 方式	434
14.3.3	命令流方式	454
14.4	本章小结	455
第 15 章	结构优化	456
15.1	结构优化设计概论	456
15.2	优化设计的基本步骤	458
15.2.1	生成分析文件	459
15.2.2	建立优化过程中的参数	462
15.2.3	进入 OPT 处理器, 指定分析文件 (OPT)	463
15.2.4	指定优化变量	463
15.2.5	选择优化工具或优化方法	464
15.2.6	指定优化循环控制方式	465
15.2.7	进行优化分析	466
15.2.8	查看设计序列结果	467
15.3	实例——框架结构的优化设计	468
15.3.1	问题描述	468
15.3.2	GUI 方式	469
15.3.3	命令流方式	489
15.4	本章小结	488
第 16 章	热分析	488
16.1	热分析概论	489
16.1.1	热分析的特点	489
16.1.2	热分析单元	490
16.2	热分析的基本过程	491
16.2.1	稳态热分析	491
16.2.2	瞬态热分析	499
16.3	稳态热分析的实例——换热管的热分析	504
16.3.1	GUI 分析过程	505
16.3.2	命令流方式	518
16.4	瞬态热分析实例——钢球淬火过程温度分析	518
16.4.1	GUI 分析过程	518
16.4.2	命令流方式	531
16.5	热应力分析实例——换热管的热应力分析	531

16.5.1 GUI 分析过程	532
16.5.2 命令流方式	538
16.6 本章小结	538

第 1 章 ANSYS 11.0 入门



本章简要介绍有限元分析方法的有关理论知识，并由此引伸出有限元分析软件 ANSYS 的最新版本 11.0。讲述了 ANSYS 的功能模块与新增功能，以及 ANSYS 的启动、配置与程序结构。



本章重点

- 有限单元法简介
- ANSYS 简介
- ANSYS 分析过程

1.1 ANSYS11.0 的用户界面

启动 ANSYS11.0 并设定工作目录和工作文件名之后，进入如图 1-1 所示 ANSYS11.0 的 GUI (Graphical User Interface) 图形用户界面，主要包括以下几个部分：

1. 实用菜单

包括文件操作 (File)、选择功能 (Select)、数据列表 (List)、图形显示 (Plot)、视图环境控制 (PlotCtrls)、工作平面 (WorkPlane)、参数 (Parameters)、宏命令 (Macro)、菜单控制 (MenuCtrls) 和帮助 (Help) 共 10 个下拉菜单，囊括了 ANSYS 的绝大部分系统环境配置功能。在 ANSYS 运行的任何时候均可以访问该菜单。

2. 快捷工具栏

对于常用的新建、打开、保存数据文件、视图旋转、抓图软件、报告生成器和帮助操作，提供了方便快捷方式。

3. 输入窗口

ANSYS 提供 4 种输入方式：常用的 GUI (图形用户界面) 输入、命令流输入、使用工具条和调用批处理文件。在这个窗口可以输入 ANSYS 的各种命令，在输入命令过程中，ANSYS

自动匹配待选命令的输入格式。

4. 图形窗口

该窗口显示 ANSYS 的分析模型、网格、求解收敛过程、计算结果云图、等值线、动画等图形信息。

5. 工具条

包括一些常用的 ANSYS 命令和函数，是执行命令的快捷方式。用户可以根据需要对该窗口中的快捷命令进行编辑、修改和删除等操作，最多可设置 100 个命令按钮。

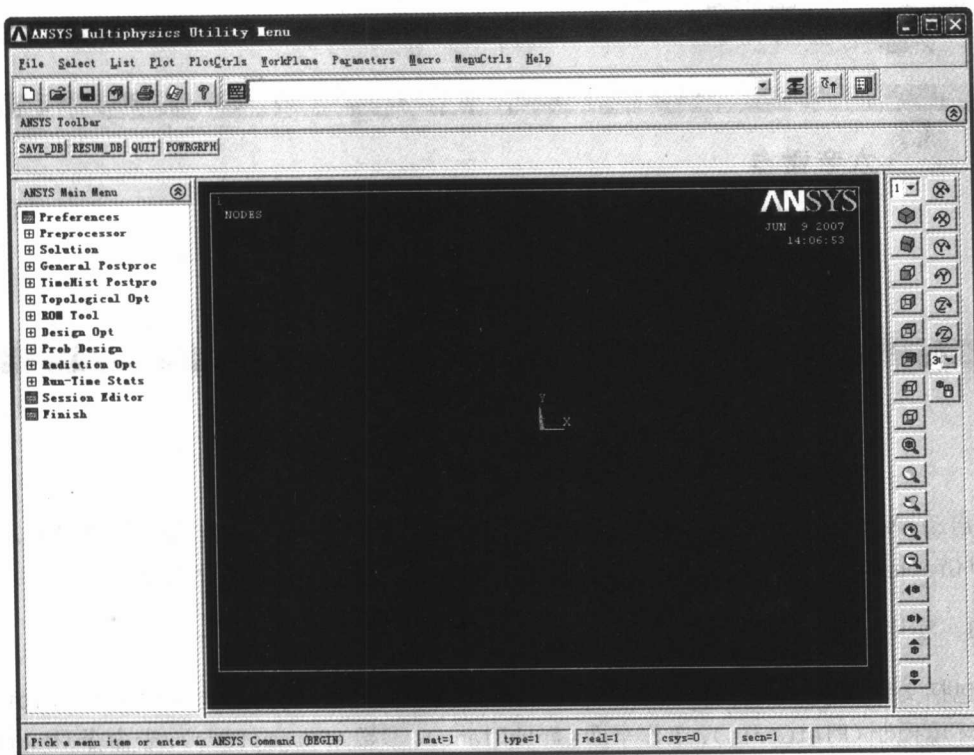


图 1-1 ANSYS11.0 图形用户界面

6. 显示隐藏对话框

在对 ANSYS 进行操作过程中，会弹出很多对话框，重叠的对话框会隐藏，单击输入栏右侧第一个按钮，便可以迅速显示隐藏的对话框。

7. 主菜单

主菜单几乎涵盖了 ANSYS 分析过程的全部菜单命令，按照 ANSYS 分析过程进行排列，依次是个性设置 (Preference)、前处理 (Preprocessor)、求解器 (Solution)、通用后处

理器 (General Postproc)、时间历程后处理 (TimeHist Postproc)、拓扑优化设计 (Topological Opt)、ROM 工具 (ROM Tool)、优化设计 (Design Opt)、概率设计 (Prob Design)、辐射选项 (Radiation Opt)、运行时间状态 (Run-Time Stats)、进程编辑 (Session Editor) 和完成 (Finish)。

8. 状态栏

这个位置显示 ANSYS 的一些当前信息，如当前所在的模块、材料属性、单元实常数及系统坐标等。

9. 视图控制栏

用户可以利用这些快捷方式方便地进行视图操作，如前视、后视、俯视、旋转任意角度看、放大或缩小、移动图形等，调整到用户最佳视图角度。

10. 输出窗口

该窗口的主要功能在于同步显示 ANSYS 对已进行的菜单操作或已输入命令的反馈信息，用户输入命令或菜单操作的出错信息和警告信息等，关闭此窗口，ANSYS 将强行退出。



用户可以充分利用输出窗口的提示信息，改正自己操作错误，对修改用户编写的命令流特别有用。

11. 接触管理对话框

用来创建接触对 (Contact pairs) 以及对接触属性进行设置。

1.2 ANSYS 文件系统

1.2.1 文件类型

ANSYS 程序广泛应用文件来存储和恢复数据，特别是在求解分析时。这些文件被命名为 jobname.ext，其中 jobname 是默认的工作名，默认作业名为 File，用户可以更改，最大长度可达 32 个字符，但必须是英文名，ANSYS 不支持中文的文件名；ext 是由 ANSYS 定义的唯一由 2~4 个字符组成的扩展名，用于表明文件的内容。

ANSYS 程序运行产生的文件中，有一些文件在 ANSYS 运行结束前产生但在某一时刻会自动删除，这些文件称为临时文件 (见表 1-1)；另外一些文件在运行结束后保留的文件则称为永久文件 (见表 1-2)。

表 1-1 ANSYS 产生的临时文件

文件名	类型	内容
Jobname.ano	文本	图形注释命令
Jobname.bat	文本	从批处理输入文件中复制的输入数据
Jobname.don	文本	嵌套层 (级) 的循环命令
Jobname.erot	二进制	旋转单元矩阵文件
Jobname.page	二进制	ANSYS 虚拟内存页文件

临时文件一般是计算过程中存储某些中间信息的文件，如 ANSYS 虚拟内存页（Jobname. PAGE）以及旋转某些中间信息的文件（Jobname. EROT）等。

表 1-2 ANSYS 产生的永久性文件

文件名	类型	内容
Jobname. out	文本	输出文件
Jobname. db	二进制	数据文件
Jobname. rst	二进制	结构与耦合分析文件
Jobname. rth	二进制	热分析文件
文件名	类型	内容
Jobname. rmg	二进制	磁场分析文件
Jobname. rfl	二进制	流体分析文件
Jobname. sn	文本	载荷步文件
Jobname. grph	文本	图形文件
Jobname. emat	二进制	单元矩阵文件
Jobname. log	文本	日志文件
Jobname. err	文本	错误文件
Jobname. elem	文本	单元定义文件
Jobname. esav	二进制	单元数据存储文件

1.2.2 文件管理

1. 指定文件名

ANSYS 的文件名有以下 3 种方式来指定：

(1) 进入 ANSYS 后，通过以下方法实现更改工作文件名：

命令流方法：/FILENAME, fname

或 GUI 方法：Utility Menu>FILE>Change Jobname...

(2) 由 Interactive 式启动进入 ANSYS 后，直接运行，则 ANSYS 的文件名默认为 file。

(3) 由 Interactive 式启动进入 ANSYS 后，在运行环境设置窗口中 job name 项中把系统默认的 file 更改为用户想要输入的文件名。

2. 保存数据库文件

ANSYS 数据库文件包含了建模、求解、后处理所产生的保存在内存中的数据，一般指存储几何信息、节点单元信息、边界条件、载荷信息、材料信息、位移、应变、应力和温度等数据库文件，后缀为. db。

存储操作将 ANSYS 数据库文件从内存中写入数据库文件 jobname. db，作为数据库当前状态的一个备份。由于 ANSYS 软件没有其他有限元软件的即时 UNDO 功能以及 ANSYS 没有自动保存功能，因此，建议用户在不能确定下一个操作是否稳妥时，保存一下当前数据库，以便及时恢复。

ANSYS 提供以下 3 种方式存储数据库：

(1) 利用工具栏上面的 SAVE_DB 命令，如图 1-2 所示。

(2) 使用命令流方式进行存储数据库

命令：SAVE, Fname, ext, dir, slab