

数码工程师系列丛书

The ANSYS logo is rendered in a large, white, serif font with a subtle 3D effect and a drop shadow, set against a dark blue background with a swirling, vortex-like pattern. Above the logo, there are several circular icons containing various finite element analysis (FEA) results, such as stress distributions and deformation shapes, arranged in a semi-circular arc.

ANSYS

应用实例与分析

邢静忠 编著



科学出版社
www.sciencep.com

数码工程师系列丛书

ANSYS 应用实例与分析

邢静忠 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以命令流方式通过大量的结构分析实例,介绍了 APDL 语言建立模型、求解和结果后处理的全过程。内容覆盖杆系、梁系、实体和板壳结构的静力分析和模态分析。本书以实例讲解为主线,辅以理论计算和有限元结果比较,使读者理解各类问题的力学计算和 ANSYS 命令操作过程,并提高对各类力学问题的理论分析能力和有限元计算能力,以及对有限元计算结果的分析能力。算例注重对问题的力学模型分析和结果分析,类型多样,涉及理论力学、材料力学、结构力学和弹性力学范围。配套程序给读者提供了练习命令流的机会。读者可以通过改变输入条件,观察模型变化,对比分析计算结果,达到举一反三的练习效果。

本书的最大特点是,用命令流方式结合实例讲解常用命令和求解过程,所选择的 67 个算例覆盖了结构分析的多数领域。较多的例题可以帮助读者学习并熟练掌握 ANSYS 的使用,理解有限元基本思想,积累操作经验,不断提高分析处理问题的能力。

本书适合高等院校高年级本科生和研究生使用,也可供从事结构分析和设计的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 应用实例与分析/邢静忠编著. —北京:科学出版社, 2006

(数码工程师系列丛书)

ISBN 7-03-016735-X

I. A… II. 邢… III. 有限元分析-应用程序, ANSYS IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159602 号

责任编辑:吕建忠 赵卫江/责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 2 月第一次印刷 印张: 24

印数: 1—3 000 字数: 558 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131, 编辑部电话 010-62135397-8001 (BI01)

前 言

随着科学技术的进步和计算机技术的日益普及,计算机在提高社会生产力和改善人类生活水平方面发挥了越来越重要的作用。特别是 CAD/CAE/CAM 在工业界日益成熟和普及,极大地提高了工业设计和生产效率,越来越多的人逐渐认识到这些强有力工具的重要性。越来越多从事着设计到生产各个环节的工程人员和在校学生逐步成为这一新技术的主要用户群。企业只有提高研发设计能力,才能应对激烈的市场竞争。而在产品研发过程中,分析设计过程是一个重要环节,其分析方案经常需要多次修改。

有限元技术已经发展成为计算机辅助分析的核心。用 CAE 方法可以减少或避免物理测试过程,通过计算机模拟各种载荷工况下零件或结构的工作状况,准确计算其变形和应力,使产品在设计阶段就能够对其各项性能进行评估,及早发现并及时改进设计上存在的问题,从而大大缩短设计研发周期。

特别是采用有限元分析及优化技术,能够通过改变结构设计参数找到满足使用条件的最合理的结构形式。在新产品开发和老产品改进方面,CAE 软件能够提供对其性能不断改进的设计工具。从而在设计上提供技术支持和理论指导,并使得计算机自动设计成为可能。

ANSYS 作为国际流行的融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于机械、土木、水利、机电、航天、冶金等领域。同时在工程计算、教学实践和科学研究方面积累了大量的应用实例。特别是向在校学生普及 ANSYS 软件,不少学校购买了 ANSYS 软件,并开展了一系列学习和推广热潮。

如何让初学者能快速全面地掌握 ANSYS 的使用要领,完成工程结构分析。本书以结构分析为主要内容,结合应用实例讲解 ANSYS 操作命令和分析过程,为初学者提供快速提高 ANSYS 分析计算能力的实用教程。

本书采用命令流方式,从最经典的力学问题入手,采用理论分析和 ANSYS 计算相结合,重点讲解模型简化,计算结果分析和比较。使读者在对问题有一个大致的把握后,开始建模计算,并对计算结果的正确性和准确性作出准确判断。

为什么要学习命令流?首先,只有通过命令流,才能使用许多高级功能;第二,即使某些基本功能,GUI 菜单也不提供,只有命令流方式;第三,命令流方式比 GUI 方式快得多,程序代码可以重用。

学会 ANSYS 软件使用并不难,最困难的是:得到和实际模型一致的结果,并能分析出计算结果和实际情况的大致差异。解决这个困难的出路只有一条:就是不断积累各种分析算例的实际计算经验。本书的算例就是帮助读者在结构静力分析和动力分析方面,对杆、梁、板壳和实体结构模型和各类结构分析单元特性开始技术积累和经验积累的过程。相信读者读完本书,并结合程序算例演练后,一定会变成一位 ANSYS 分析高手。不仅在软件操作方面,更多的是在模型理论分析和结果评价方面成为一个经验丰富的专家。

本书在编写过程中得到了仿真互动网站 www.simwe.com 上的许多有限元爱好者的帮助和支持。同时我也非常感谢我的同事和我的家人对本工作的理解和支持。本书的部分资料来源于 ANSYS 验证算例和书后所列参考文献, 特向其作者表示感谢。同时也感谢科学出版社技术分社对作者的信任和编辑们为本书的出版所付出的辛勤工作!

全书由邢静忠编著, 陈晓霞、李世荣、宋曦、马连生、何天虎、赵永刚、马永斌、何春林、赵红晓、胡建琴、张小红等参与了编写工作。我的硕士研究生崔远晖和李军参与了书稿校对。

由于时间仓促和作者的认识局限, 书中错误难免, 欢迎读者批评指正。

书中程序可以从 <http://hsingjzh.welan.com> 或 <http://www.welan.com/author/personal/hsingjzh/hsingjzh.asp> 下载。

作者电子邮箱: hsingjzh@sina.com。

作 者

2005 年 10 月

目 录

第 1 章 ANSYS 使用简介	1
1.1 ANSYS 10.0 环境简介	1
1.1.1 ANSYS 10.0 的启动	1
1.1.2 ANSYS 10.0 的用户界面	3
1.1.3 ANSYS 10.0 的求解过程	4
1.2 分析过程中最常用的命令	5
1.2.1 起始层命令	5
1.2.2 前处理命令	6
1.2.3 求解命令	8
1.2.4 一般后处理命令	8
1.3 结构分析问题	9
1.3.1 杆系问题	9
1.3.2 梁系问题	10
第 2 章 杆系结构静力分析	12
2.1 铰接杆在外力作用下的变形	13
2.2 人字形屋架的静力分析	16
2.3 超静定拉压杆的反力计算	20
2.4 平行杆件与刚性梁连接的热应力问题	22
2.5 端部有间隙的杆的热膨胀	25
第 3 章 梁的弯曲静力分析	28
3.1 单跨等截面超静定梁的平面弯曲	28
3.2 四跨连续梁的内力计算	35
3.3 七层框架结构计算	40
3.4 工字形截面外伸梁的平面弯曲	45
3.5 矩形截面梁的纵横弯曲分析	49
3.6 空间刚架静力分析	57
3.7 悬臂梁的双向弯曲	61
3.8 圆形截面悬臂杆的弯扭组合变形	73
3.9 悬臂等强度梁的弯曲	77
3.10 弹性地基半无限长梁在端部力和力偶作用下的变形	85
3.11 偏心受压杆的大变形分析	88
3.12 带有弹簧的支架的大变形分析	92
3.13 塔机标准节内力分析	97
3.14 自行车车架变形和内力分析	105

第 4 章 2D 和 3D 实体建模及应力分析	110
4.1 带 3 个圆孔的平面支座分析	110
4.2 角支座应力分析	114
4.3 立体斜支座的实体建模	119
4.4 四分之一车轮实体建模	123
4.5 轴承支座的实体建模	126
4.6 均布荷载作用下深梁的变形和应力	132
4.7 一对集中力作用下的圆环	141
4.8 用实体单元分析变截面杆的拉伸	147
4.9 用二维实体单元分析等截面悬臂梁的平面弯曲	152
4.10 在端部集中力下的变截面悬臂梁	157
4.11 纯弯曲悬臂曲梁的二维静力分析	164
4.12 端部集中力下悬臂圆环曲梁弯曲的三维分析	171
4.13 均匀拉力作用下含圆孔板的孔边应力集中	182
4.14 两端固定的厚壁管道在自重作用下的变形和应力	193
4.15 联轴器膜片多工况分析	199
第 5 章 薄膜和板壳体计算	207
5.1 含椭圆孔的椭圆薄膜在外部张力作用下的静力分析	207
5.2 圆形薄膜大变形静力分析	214
5.3 柱形容器在内压作用下的静力分析	219
5.4 圆柱形薄壳在均匀内压作用下的静力分析	222
5.5 简支和固支圆板在不同荷载作用下的弯曲	226
5.6 悬臂长板的大挠度弯曲	234
5.7 用壳体单元分析受均布荷载作用的固支圆板大挠度弯曲	243
5.8 利用拉伸操作建立膨胀弯管模型	247
5.9 两端简支开口柱壳在自重作用下的静力分析	253
5.10 圆筒在一对横向集中力作用下的变形	257
第 6 章 结构稳定性分析	263
6.1 利用梁单元计算压杆稳定性	263
6.2 利用实体单元计算压杆稳定性	266
6.3 悬臂压杆的过屈曲分析	269
6.4 平面钢架的平面外失稳	277
6.5 两边简支开口柱壳在集中力作用下的大变形屈曲	286
6.6 矩形截面悬臂梁的侧向稳定性分析	292
第 7 章 简单振动和梁的振动	298
7.1 单自由度弹簧质量系统的频率计算	298
7.2 悬索自由振动的频率	301
7.3 用弹簧单元连接的圆盘的扭转振动	305
7.4 圆杆连接圆盘的扭转振动	308

7.5 钻杆的扭转自由振动	311
7.6 简支梁的自振频率计算	315
7.7 自由-自由梁的纵向自由振动	321
7.8 有轴向压力作用的简支梁的自由振动	324
7.9 用壳体单元计算悬臂等强度梁的自由振动	329
7.10 矩形截面薄壁悬臂梁的自由振动	333
第8章 膜板和实体振动	339
8.1 圆形张紧薄膜的自由振动	339
8.2 薄膜二维和三维非轴对称自由振动	343
8.3 悬臂长板的自由振动频率	354
8.4 悬臂宽板的模态分析	357
8.5 固支圆板的自由振动	361
8.6 用实体单元分析圆环振动	364
8.7 机翼模型的振动分析	368
参考文献	374

第 1 章 ANSYS 使用简介

1.1 ANSYS 10.0 环境简介

使用过 AutoCAD 软件的读者很容易理解 ANSYS 的两种工作模式，一种是交互式图形用户界面模式 (interactive mode)；另一种是批命令模式 (batch mode)。交互式图形用户界面适用于一般的初学者和对简单工程应用问题的分析，使用交互式图形用户界面所提供的命令菜单可方便地实现交互式访问程序的各个功能，包括建模、保存文件、打印图形及结果分析等。但若分析问题要花很长时间，可把分析问题的命令用文本编辑软件做成文本文件，利用 ANSYS 的批命令模式进行分析。

批命令模式是一种后台工作方式，批命令文件的编写语法是通过 ANSYS 软件自带的一种过程化语言——参数设计语言 (APDL) 来实现的。APDL 允许用户通过定义或程序计算给 ANSYS 命令中的变量 (参数) 赋值，由于代码可以重复使用和修改，所以能够大大提高工作效率，缩短重新分析所花费的时间，特别是在进行相似工程问题的分析时，只要对程序进行少许的更改就可以重新使用。

由于 APDL 文件短小，便于交换分析过程，同时由于 ANSYS 具有大量以 APDL 程序的方式提供的计算资料，所以，学习和使用 APDL 是掌握 ANSYS 软件的必要手段。

1.1.1 ANSYS 10.0 的启动

1. 启动

ANSYS 软件安装完成后，会生成一个程序组，包括许多启动 ANSYS 的常用模式和常用工具，程序组界面如图 1.1 所示。初次使用建议以“ANSYS Product Launcher”模式进入，用这种模式启动后，会弹出一个交互式窗口 (如图 1.2 所示)。在该窗口中用户可以指定工作文件名称、工作目录等参数。如果读者不需要改变这些参数，想直接按照当前设置进入 ANSYS，则可以单击 Run 按钮直接进入。还有一种启动方式就是批处理方式 (batch mode)，在这种方式下指定输入的 APDL 文件后，系统就会自动开始结构分析。

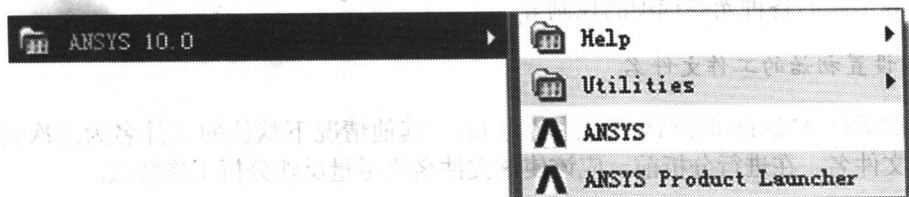


图 1.1 ANSYS 10.0 程序组的启动菜单

2. 选择合适的 ANSYS 产品

如图 1.2 所示, 在“License”选项中, 用户可根据自己要进行分析的工程选择需要的产品类型, 如力学分析、结构分析、流体分析、多物理场仿真分析、显式瞬态动力分析 (LS-DYNA) 等。选择不同的产品, ANSYS 的图形用户界面 (GUI) 中的菜单会有所不同, 交互式图形用户界面模式操作也有不同的变化。

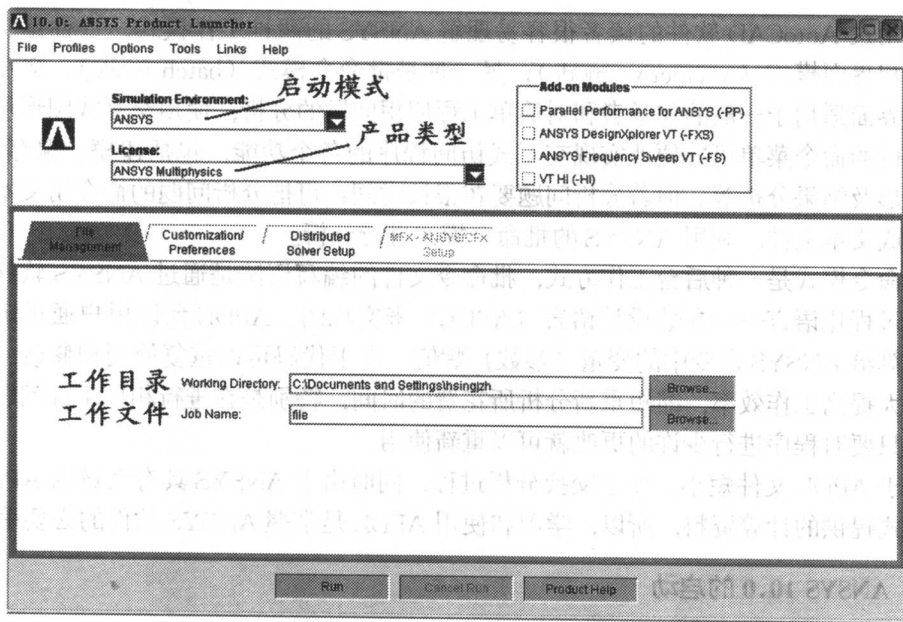


图 1.2 Interactive 的交互式窗口

3. 图形设备的设置

在“Customization/Preferences”标签的 Graphics device name 选项中, ANSYS 提供了 3 种不同的图形设备驱动, 分别为 win32、win32c 和 3D。win32 选项为系统的默认选项, 该选项适合显示大部分的图形。win32c 选项允许用户通过对每个色彩增加亮度而得到额外的色彩进行等值线彩色显示。如果用户的计算机有三维图形设备, 就应该把图形设备名指定为 3D, 该选项能更加有效地执行 ANSYS 软件的某些功能。比如, ANSYS 模型的“实时”动态变化 (旋转、平移等), 透明, 包括反射以及反射的光强、光线方向和消隐的各种光线选项的控制等。

4. 设置初始的工作文件名

首次运行 ANSYS 时默认的文件名为 file, 其他情况下默认的文件名为上次运行时指定的文件名。在进行分析前, 应该使该文件名能尽量反映分析工作特点。

5. 内存管理的设置

ANSYS 10.0 工作空间的缺省值是 512MB, 该工作区域可分为两部分: 数据库空间

和演算空间。数据库空间用来存储 ANSYS 的数据库（几何模型、材料特性、载荷等）；演算空间用来进行所有的内部计算（如单元矩阵的形成、波前法求解、布尔计算等）。

6. 运行 ANSYS 10.0

设置好以上的参数后，单击图 1.2 窗口中的 Run 按钮就可以运行了。

1.1.2 ANSYS 10.0 的用户界面

启动 ANSYS 10.0 后，屏幕出现如图 1.3 所示的界面。和以前版本相比，ANSYS 10.0 的图形用户界面更加紧凑，它只出现两个窗口。

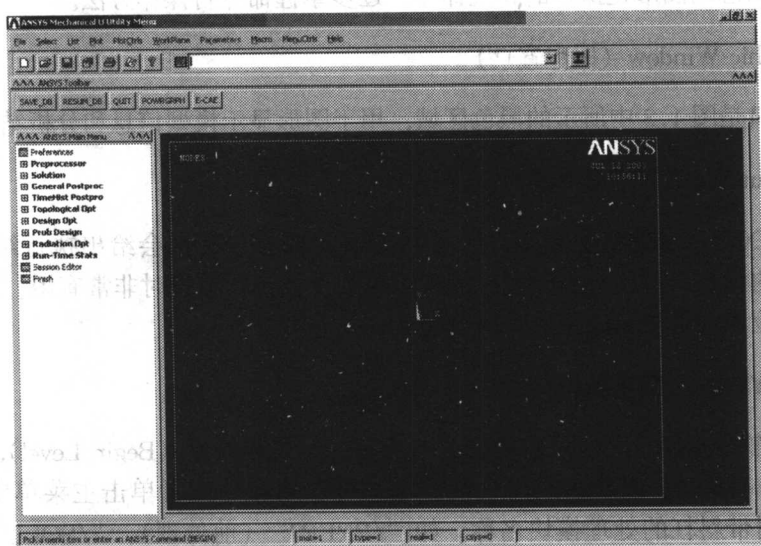


图 1.3 ANSYS 10.0 的图形用户界面

1. Utility Menu（实用命令菜单）

该菜单包含各种应用命令，如文件管理（File）、对象选择（Select）、资料显示（List）、绘图（Plot）、绘图控制（PlotCtrls）、工作平面设定（WorkPlane）、参数控制（Parameters）、宏管理（Macro）、菜单控制（MenuCtrls）及帮助（Help）等。

2. Main Menu（主菜单）

该菜单包含分析功能，如建立模型、外力负载、边界条件、分析类型、求解和后处理等。

3. 工具栏（Toolbar）

执行命令的快捷方式，用户可自己定义。

4. Input Window (输入窗口)

该窗口是输入命令区域,且可以显示命令的提示信息,浏览先前输入的命令,这是用户利用 APDL 进行操作的唯一途径。这里可以使用鼠标和键盘浏览和执行先前使用过的命令,有下拉列表框允许用户选择使用过的命令。该窗口支持 Windows 的拷贝 (Ctrl+C) 和粘贴 (Ctrl+V) 操作,并且增加了大段命令的容量。

这是学习和练习 APDL 的主要途径,同时所有操作的命令清单,都可以在主菜单“Session Editor”中找到。通过编辑修改已有的命令代码,最后粘贴到命令行窗口,可以重现原有的图形化操作过程和命令行操作过程。习惯图形化操作的用户,可以利用这种方法,不断总结图形化操作的相应命令,逐步掌握命令行操作方法。

5. Graphic Window (图形窗口)

图形窗口是图 1.3 中所示的黑色区域,用于图形显示模型信息和分析结果等。

6. Output Window (输出窗口)

类似于 DOS 环境的黑色窗口,几乎对所有的操作,它都会给出执行结果的响应。该文本输出的信息,对用户及时掌握操作结果和查找执行错误时非常有用。通常在后台运行,用户应该经常注意该窗口中的信息。

1.1.3 ANSYS 10.0 的求解过程

ANSYS 软件构架分为两层,如图 1.4 所示,一是起始层 (Begin Level),二是处理层 (Processor Level)。进入和退出这两个层,可以用命令或者单击主菜单中的相应按钮。通常使用带斜杠的处理模块名称,如“/PREP7” (前处理)、“/SOLU” (求解)、“/POST1” (后处理) 进入各个模块。退出各模块,返回起始层都是用 Finish 命令。虽然可以直接从一个处理层跳入另一个处理层,但是作为一个好的习惯,使用 Finish 命令明确地说明结束当前层、返回起始层的操作,有助于提高程序的可读性。

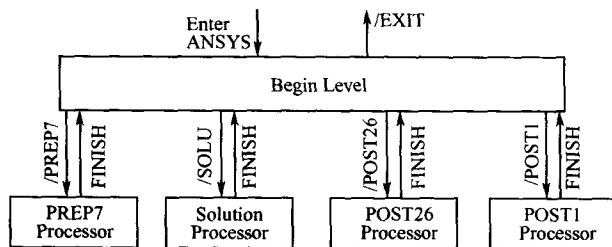


图 1.4 ANSYS 处理模块之间的关系

1. 有限元的常用术语

(1) 节点 (node)

节点就是代表工程系统中一个点的坐标位置,它是构成有限元模型的基本元素。节

点是具有物理意义的自由度, 该自由度为结构系统受到荷载后的系统响应。通常情况下, 对于结构分析, 荷载主要是力、力偶和温度等, 结构响应就是节点位移。

(2) 单元 (element)

单元由节点与节点相连而成, 单元的组合由各节点相互连接。不同特性的有限元模型, 可选用不同种类的单元, ANSYS 提供了一百多种单元, 使用时须慎重选择单元类型。只有深入了解单元特性, 才能运用自如。

(3) 自由度 (DOF, degree of freedom)

节点自由度表示工程系统受到荷载后的响应。结构分析的节点自由度是节点位移。

2. ANSYS 分析问题的基本流程

ANSYS 解决问题的基本流程为: 前处理 (preprocessor) → 求解 (solution) → 一般后处理 (general postprocessor) 和时间历程后处理 (time domain postprocessor) → 结果处理。

(1) 前处理 PREP7

① 建立有限元模型, 如节点坐标、单元等。

② 定义材料属性。

(2) 求解 SOLU

① 施加载荷。

② 定义位移约束条件。

③ 求解。

(3) 一般后处理 POST1 和时间历程后处理 POST26

POST1 用于静态结构分析、屈曲分析及模态分析的结果处理, 如变形、应力、内力等, 它以数据方式或者图形方式把分析结果显示出来。POST26 仅用于结构动态分析, 用于与时间相关的时域处理。

(4) 结果处理

① 检查分析结果。

② 检验分析结果。

得到分析结果后, 如果计算结果在规律上明显错误, 或者与实际模型明显不符, 则需要检查改进分析方案, 重新进行分析。

1.2 分析过程中最常用的命令

1.2.1 起始层命令

1. 清除数据中的数据

```
/CLEAR
```

2. 定义分析标题

```
/TITLE, Title
```

该标题信息将会出现在图形窗口的下方，并在所有图形显示资料中显示。给每个工程起一个便于记忆和识别的标题是一个好习惯，以便于日后查看和计算结果的交流。遗憾的是，这个标题内容只能使用英文。

3. 申明单位制

`/UNITS, LABEL`

该命令用来表示分析时所采用的单位，LABEL 表示系统单位，LABEL = SI（国际单位：米、公斤、秒）；LABEL = CSG（公制：厘米、克、秒）；LABEL = BFT（英制：长度 = ft）；LABEL = BIN（英制：长度 = in）。

注意：此命令不提供菜单操作。

4. 列表显示节点信息

`NLIST`

将现有节点信息按节点次序列于窗口中，供用户检查所定义的节点。

5. 列表显示单元信息

`ELIST`

将现有单元信息按单元次序列于窗口中，供用户检查单元各项属性。

6. 列表显示材料参数，实常数

`MPLIST` 和 `RLIST`

将已定义的材料参数信息或实常数信息，按定义的编号次序列于窗口中，供用户检查所定义的这些参数。

像这些查看内部数据的 LIST 命令还有许多，通常表示为 XLIST 命令。X 指代：N (node), E (element), ET (element type), MP (material property), R (real constant) 等。

1.2.2 前处理命令

1. 进入前处理模块

`/PREP7`

GUI:

Main Menu > Preprocessor

2. 定义节点

`N, NODE, X, Y, Z, THXY, THYZ, THZX`

在坐标 (X, Y, Z) 处定义节点 NODE，局部坐标系的方向沿着 THXY、THYZ、THZX 方向。

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Nodes>In Active CS

3. 定义单元类型 (ET)

ET, ITYPE, Ename, KOPT1, KOPT2, KOPT3, KOPT4, KOPT5, KOPT6, INOPR

从 ANSYS 单元库中选择某个单元并定义该单元类型编号。ITYPE 为单元类型编号。Ename 为 ANSYS 单元库的名称, 即所选择的单元类型。KOPT1~KOPT6 为单元特性编码。如果模型中包含了多种单元类型, 这里就应该定义所有使用到的单元类型。在定义单元之前, 应该用 TYPE 命令申明即将定义单元的类型编号。

GUI:

Main Menu>Preprocessor Element Type>Add/Edit/Delete

4. 定义材料的属性 (MP)

MP, Lab, MAT, C0, C1, C2, C3, C4

材料属性为固定值时, 其值为 C0, 当随温度变化时, 由后 4 个参数控制。Lab 为材料属性类别, 任何元素具备何种属性在单元属性表中均有详细的说明, 例如弹性模量 (Lab = EX, EY, EZ)、密度 (Lab = DENS)、泊松比 (Lab = NUXY, NUXYZ, NUZX)、剪切模量 (Lab = GXY, GYZ, GXZ)、热膨胀系数 (Lab = ALPX, ALPY, ALPZ) 等。MAT 是定义的材料编号, 它用于引用该材料。在定义单元之前, 应该用 MAT 命令申明即将定义单元的材料类型编号。

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Matial Props>Material Models

5. 定义实常数

R, NSET, R1, R2, R3, R4, R5, R6

表示某一单元的补充几何特征, 如梁单元的截面积, 壳单元的厚度等。NSET 是实常数编号, 其余参数必须与单元表规定的顺序和意义一致。在定义单元时, 如果使用到实常数, 就应该用 REAL 命令申明即将定义单元的实常数编号。

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Real Constants>Add/Edit/Delete

6. 定义单元

E, I, J, K, L, M, N, O, P

用节点 I、J、K、L、M、N、O、P 定义单元。最多可以有 8 个节点, 最少可以只有 1 个节点, 依单元类型而定。单元类型 (ET)、材料属性 (MP) 及实常数 (R) 等属性取当前设置值。

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Elements>Auto Numbered>Thru Nodes

7. 删除和图形显示节点单元

对节点和单元进行的操作命令还有：删除 NDELE 和 EDELE；图形显示 NPLOT 和 EPLOT 等。

1.2.3 求解命令

1. 进入求解模块

/SOLU

GUI:

Main Menu> Solution

2. 定义节点约束

D, NODE, Lab, VALUE, VALUE2, NEND, NINC

位移约束节点 NODE，位移自由度的 Lab 可以是 ALL（所有自由度），或者自由度 UX、UY、UZ、ROTX、ROTY 及 ROTZ 等。如果位移等于已知值，位移值用 VALUE 指定。如果需要一次定义多个节点，用 NEND 指定最后一个节点，NINC 是节点编号增量。

GUI:

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply>

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply>

3. 定义节点荷载

F, NODE, Lab, VALUE, VALUE2, NEND, NINC

在节点 NODE 上定义节点荷载。荷载 Lab 可以是集中力 FX、FY、FZ，集中力偶 MX、MY、MZ 等，荷载大小用 VALUE 指定。如果需要一次定义多个节点，用 NEND 指定最后一个节点，NINC 是节点编号增量。

GUI:

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply>

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply>

4. 开始求解

SOLVE

按照当前设置，开始求解。在求解完成后，屏幕窗口弹出提示“Solution is done!”

GUI:

Main Menu> Solution> Current LS

1.2.4 一般后处理命令

1. 进入后处理 POST1 模块

/POST1

GUI:

Main Menu> General Postproc

2. 图形显示变形形状

PLDISP, 2

在图形窗口中, 显示结构变形图。参数“2”表示绘制原有模型轮廓线。如果没有参数, 只显示变形后的结构形状。

GUI:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Deformed Shape

Utility Menu>Plot>Results>Deformed Shape

3. 列表显示节点位移结果

PLDISP

以列表方式显示节点位移计算结果。

4. 列表显示单元结果

PLESOL, Item, Comp

显示单元结果。Item 表示结果类型, 一般是应力 S。Comp 表示具体的哪一个应力分量: 有 X、Y、Z 或者 1、2、3 (表示 3 个坐标上的正应力分量或主应力分量), 剪应力分量用 XY、XZ、YZ 表示。比如: “S, X” 表示 X 方向的正应力, “S, 3” 是最大对应力。

单元应力在单元边界上一般是不连续的, 所以更光滑的应力结果可以用 PLNSOL 得到。

GUI:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Element Solu

Utility Menu>Plot>Results>Contour Plot>Elem Solution

5. 列表显示节点处的结果

PLNSOL, Item, Comp

显示节点结果。Item 结果可以是应力 S (同上面 PLESOL 中的应力约定), 也可以是节点位移 U。Comp 表示具体的哪一个应力分量, 或者位移分量 (有 X、Y、Z 等)。

GUI:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Element Solu

Utility Menu>Plot>Results>Contour Plot>Elem Solution

1.3 结构分析问题

1.3.1 杆系问题

杆系结构是指结构由许多细长杆件构成的结构系统, 且杆件的弯曲刚度较小, 或者