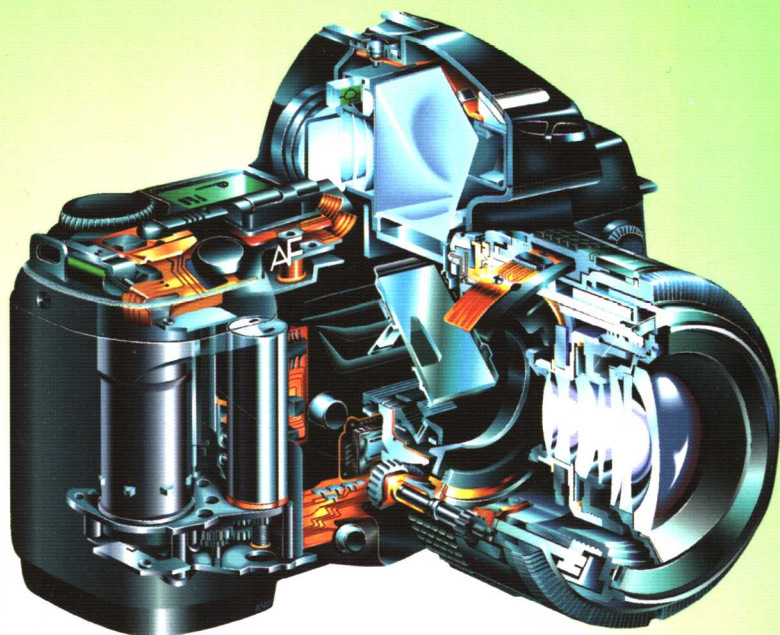


万水
ANSYS 技术丛书



周 宁 等编著 郝文化 审 校

ANSYS

**APDL 高级工程应用
实例分析与二次开发**



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水 ANSYS 技术丛书

ANSYS-APDL 高级工程应用实例 分析与二次开发

周 宁 等编著

郝文化 审 校

中国水利水电出版社

内 容 提 要

ANSYS 软件一般分析过程包括:建立有限元模型—施加边界条件—求解计算—结果分析。为完成这些步骤,ANSYS 软件提供了两种操作方式,即用户图形界面(GUI)操作与参数化设计语言(APDL)操作。ANSYS 参数化设计语言(ANSYS Parameter Design Language)是一种通过参数化变量方式建立分析模型的脚本语言。它可用任何 ASCII 文件的编辑软件生成,如记事本文件。建立的 APDL 命令流文件不受软件版本和系统平台的限制,特别适用于复杂模型及模型需要多次修改重复分析的问题,也更加有利于保存和交流。

本书对 ANSYS 参数化设计语言,即 APDL 语言的编写结构、参数变量与数组的类型及定义、程序结构控制、宏命令等内容进行了详细阐述;然后结合一定的实例,依照前处理器、加载与求解处理器、后处理器、实用菜单命令,对常用 APDL 命令的使用格式、相关变量进行了全面解释。最后,由浅至深逐步给出实用、丰富的机械类与土木类工程实例,以及每个实例的 APDL 源代码和注释。

本书内容由浅入深,简单易懂,可作为高校理工科相关专业高年级本科生、研究生和教师学习 ANSYS 软件的教材,也可作为科学研究及工程技术人员的参考资料。通过阅读本书,读者必将会对 ANSYS 有一个全新的、深层次的了解与掌握。

本书提供 APDL 命令流,可从中国水利水电出版社网站下载,网址为: <http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS-APDL 高级工程应用实例分析与二次开发 / 周宁
等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2007

(万水 ANSYS 技术丛书)

ISBN 978-7-5084-4977-7

I. A… II. 周… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS-
APDL IV. 0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 144844 号

书 名	ANSYS-APDL 高级工程应用实例分析与二次开发
作 者	周 宁 等编著 郝文化 审校
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 26 印张 646 千字
版 次	2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	52.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

ANSYS 公司目前是 CAE (Computer Aided Engineering) 领域的先行者之一。ANSYS 公司一直致力于分析设计软件的开发、维护及售后服务,不断吸取当今世界最新的计算方法和计算机技术,领导着有限元界的发展趋势,并为全球工业界广泛接受,拥有全球最大的用户群。

ANSYS 软件作为最早通过 ISO9001 质量认证的设计分析软件,其全面的分析功能涉及结构、热、流体、电磁场、碰撞、板材成形等多个领域,产品应用的深度、广度、计算结果的高精度及其图形界面的易学易用,已经使之成为机械工业领域产品开发设计必不可少的伙伴。

ANSYS 软件有两种操作方式,即用户图形界面 (GUI) 操作与参数化设计语言 (APDL) 操作。对于前者,市面上已经有较多关于各版本的各种介绍性或应用性的书籍,这就使得很多读者能方便地学习、熟悉 ANSYS 软件,也产生了一大群的初、中级用户,这个基数是很大的。对于后者,在 ANSYS 软件中,每个 GUI 操作对应着一句 APDL 命令;相反,并不是所有的 APDL 命令都有一个 GUI 操作,所以若要进行复杂的分析或要对某个模型进行修改后重新分析,采用 GUI 操作难以完成或过程繁杂,而运用 APDL 命令可以方便地实现,这就是 APDL 语言的优势。另外,对于入门用户,开始即使用 APDL 命令方式分析、解决问题将有助于更加深刻地理解和运用 ANSYS 软件;对于初、中级用户,选用 APDL 命令操作方式将大大提高其 ANSYS 运用水平;对于高级用户,本书也可作为查找操作命令的参考书籍。

主要内容

本书从工程实际分析出发,结合作者长期使用的经验,详细介绍了 ANSYS 参数化设计语言 (ANSYS Parameter Design Language) 的相关概念及语法定义、编写过程、调用步骤。为了使读者能熟练运用一些惯用的关键命令,对部分命令配置了相关操作实例。最后,结合相应的实际机械类、土木类工程实例,使读者能对各部分 APDL 命令的运用作进一步串连与深化理解,以实现 ANSYS 使用水平从初级到高级的过渡。

特点

新颖性: 本书给出的工程实例新颖,同时具有一定的典型性,有相应的工程实际背景。

详细性: 本书首先介绍了 APDL 语言的编写结构、参数变量与数组的类型及定义、程序结构控制、宏命令、二次开发等内容;然后结合一定的实例,就“前处理器”、“加载与求解处理器”、“后处理器”、“实用菜单”分类介绍与解释其中常用的命令语句;最后给出较多由浅至深的工程实例。

实用性强: 无论是菜单及命令的介绍,还是各个具体分析领域的应用,都是基于工程实例的基础上,而且这些分析实例都具有一定的普遍性和典型性,有很好的借鉴作用。

适用面广: 本书的立足点为编程语言教程,可作为对 ANSYS 软件感兴趣的初学者的启蒙

教程,也可作为 ANSYS 中、高级读者检索 APDL 命令的主要参考资料。

可移植性强: APDL 语言对于所有版本的 ANSYS 都是适用的,版本依赖性弱,具有较强的移植性,能更好地适应当前不断更新版本而不过时的资料实用性要求。

适用对象

本书由浅入深,简单易懂,可作为高校理工科相关专业高年级本科生、研究生和教师学习 ANSYS 软件的教材,也可作为科学研究及工程技术人员的参考资料。通过阅读本书,读者必将会对 ANSYS 有一个全新的深层次的了解与掌握。

编写分工

本书由周宁等编著,郝文化审校。同时参与本书编写工作的还有邹素琼、冼进、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、魏乐、韩翔、程小英、谭小丽、卢丽娟、李小琼、周宏、罗吉、许翔燕、陈春、张忠、方小马、黄婉英、周明、宋晶、邓勇等,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免会有不足甚至错误之处,恳请读者及各位专家批评指正。为充分展现本书的编写特点,帮助读者深刻理解本书编写意图与内涵,进一步提高对本书的使用效率,我们建立本书使用指导联络方式,这将是读者与编者之间交流沟通的直通车,欢迎读者将图书使用过程中的各种问题与探讨、建议反馈给我们,本书编者会竭诚给以答复。我们的联系方式 E-mail: china_54@tom.com。

本书提供 APDL 命令流,可从中国水利水电出版社网站下载,网址为: <http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

编 者

2007 年 6 月

目 录

前言

第一篇 基础篇

第 1 章 APDL 简介	1
1.1 APDL 语言介绍	1
1.2 APDL 语言应用示例	1
1.2.1 参数化建模实例	2
1.2.2 用 APDL 命令进行流程控制实例	3
1.2.3 APDL 命令流全过程分析实例	3
1.3 本章小结	7
第 2 章 数据类型及其用法	8
2.1 ANSYS 数据类型及命名规则	8
2.1.1 参数数据类型	8
2.1.2 参数命名规则	9
2.2 ANSYS 标量参数及其用法	10
2.2.1 参数的定义和赋值	10
2.2.2 参数的列表显示	14
2.2.3 删除参数	17
2.2.4 字符参数的用法	18
2.2.5 参数值的替换	18
2.2.6 参数运算表达式	21
2.2.7 参数的存储与恢复	22
2.3 ANSYS 数组参数及其用法	24
2.3.1 数组参数基本概念	24
2.3.2 数组参数的定义与赋值	26
2.3.3 表参数的概念与赋值	32
2.3.4 数组参数的列表显示和图形显示	33
2.3.5 数组参数的删除、存储与恢复	39
2.3.6 数组参数写入数据文件	39
2.3.7 数组参数间的运算	41
2.4 ANSYS 内部函数	47
2.4.1 ANSYS 内部函数介绍	47

2.4.2	ANSYS 内部函数举例	48
2.5	本章小结	49
第 3 章	APDL 语言程序控制	50
3.1	条件控制语句	50
3.1.1	条件控制语句基本形式	50
3.1.2	条件控制语句基本命令	51
3.1.3	条件控制语句演变形式	53
3.1.4	条件控制语句举例	54
3.2	循环控制语句	55
3.2.1	DO 循环	55
3.2.2	DOWHILE 循环	58
3.3	其他控制语句	59
3.3.1	无条件转移语句	59
3.3.2	固定增量循环语句	60
3.3.3	冒号循环语句	61
3.4	本章小结	62
第 4 章	APDL 语言常用命令	63
4.1	准备知识	63
4.2	一般前处理器命令	67
4.2.1	设定单元类型及选项命令	67
4.2.2	实常数定义命令	67
4.2.3	材料定义命令	67
4.2.4	截面定义命令	70
4.2.5	建模命令	71
4.2.6	图元操作部分	74
4.2.7	图元移动、复制、映射、删除	76
4.2.8	网格划分常用命令	77
4.2.9	编号控制常用命令	81
4.2.10	耦合与约束方程常用命令	82
4.3	求解处理器命令	84
4.3.1	加载命令	84
4.3.2	求解命令	90
4.4	通用后处理器命令	94
4.5	时间历程后处理命令	98
4.6	实用菜单命令	100
4.6.1	文件相关设定	100
4.6.2	选择命令	100
4.6.3	列表命令	102
4.6.4	绘图命令	102

4.6.5	图形显示控制命令	103
4.7	宏命令及宏文件	106
4.7.1	创建宏文件	106
4.7.2	宏的变量	110
4.7.3	宏的搜索路径	112
4.7.4	宏的运行	112
4.7.5	宏库文件	114
4.7.6	宏的加密	115
4.8	本章小结	117

第二篇 机械应用篇

第 5 章	循环载荷作用下的力学分析	118
5.1	问题描述	118
5.2	GUI 方式求解过程	119
5.2.1	定义工作标题和工作文件名	119
5.2.2	定义单元属性	119
5.2.3	建立几何实体模型	121
5.2.4	网格划分	124
5.2.5	进入求解器加载并求解	126
5.2.6	进入时间历程后处理器查看结果	132
5.2.7	进入通用后处理器查看结果	136
5.3	命令流方式求解	138
5.4	本章小结	141
第 6 章	超声疲劳试样谐响应分析	143
6.1	问题描述	143
6.2	GUI 操作方式	144
6.2.1	定义工作标题和工件文件名	144
6.2.2	定义单元属性	145
6.2.3	建立几何模型	147
6.2.4	生成网格模型	150
6.2.5	进入求解器并指定分析类型	153
6.2.6	谐响应分析	155
6.2.7	进入 POST26 后处理器查看结果	157
6.2.8	进入通用后处理器查看结果	160
6.3	命令流方式求解	163
6.4	本章小结	165
第 7 章	轴承过盈装配分析	166
7.1	问题描述	166

7.2	GUI 操作方式求解	167
7.2.1	定义工作标题和工件文件名	167
7.2.2	定义单元属性	167
7.2.3	建立几何模型	169
7.2.4	网格划分	175
7.2.5	定义耦合	178
7.2.6	利用接触向导生成接触	180
7.2.7	加载求解	182
7.2.8	查看求解结果	185
7.2.9	退出 ANSYS	189
7.3	命令流方式求解	189
7.4	本章小结	195
第 8 章	焊接过程仿真分析	196
8.1	问题描述	196
8.2	GUI 方式求解过程	197
8.2.1	定义工作标题和工作文件名	197
8.2.2	定义单元属性	197
8.2.3	建立几何实体模型	201
8.2.4	网格划分	202
8.2.5	进入求解器加载并求解	204
8.2.6	进入时间历程后处理器查看结果	216
8.2.7	进入通用后处理器查看结果	219
8.3	命令流方式求解	221
8.4	本章小结	233

第三篇 土木应用篇

第 9 章	桥梁结构仿真分析	234
9.1	斜拉桥动力特性分析	234
9.1.1	问题描述	234
9.1.2	GUI 方式求解	236
9.1.3	命令流方式求解	269
9.2	拱桥移动载荷作用分析	279
9.2.1	问题描述	279
9.2.2	GUI 方式求解	279
9.2.3	命令流方式求解	279
9.3	本章小结	286
第 10 章	建筑结构仿真分析	287
10.1	楼层浇注过程仿真分析	287

10.1.1	问题描述	287
10.1.2	GUI 方式求解	288
10.1.3	命令流方式求解	316
10.2	水库大坝地震响应分析	325
10.2.1	问题描述	325
10.2.2	GUI 方式求解	325
10.2.3	命令流方式求解	325
10.3	本章小结	334
第 11 章	地下结构仿真分析	336
11.1	隧道开挖仿真分析	336
11.1.1	问题描述	336
11.1.2	GUI 方式求解	337
11.1.3	命令流方式求解	355
11.2	排水管道仿真分析	360
11.2.1	问题描述	360
11.2.2	GUI 方式求解	360
11.2.3	命令流方式求解	361
11.3	本章小结	368

第四篇 APDL 语言二次开发篇

第 12 章	APDL 语言二次开发	369
12.1	ANSYS 二次开发概述	369
12.1.1	UIDL (用户界面设计语言)	369
12.1.2	UPFs (用户程序特性)	370
12.1.3	数据接口	370
12.1.4	APDL (参数化程序设计语言)	370
12.2	APDL 二次开发功能	371
12.2.1	定制工具条按钮	371
12.2.2	定制参数输入对话框	377
12.2.3	调用程序已有对话框	380
12.2.4	调用拾取对话框	381
12.2.5	定制运行进度对话框	382
12.3	APDL 二次开发实例	383
12.3.1	实例背景	383
12.3.2	二次开发实例过程	383
12.3.3	运行实例	400
12.4	本章小结	405

第一篇 基础篇

第 1 章 APDL 简介

知识点

- APDL 语言介绍
- APDL 语言应用示例

本章导读

本章主要介绍 APDL 语言的特征。通过本章的学习，可以对 APDL 参数化有限元分析技术有初步的了解和认识，并通过本章的一些小的应用例子来加深对 APDL 参数化建模、加载、求解以及后处理等操作的理解。

1.1 APDL 语言介绍

APDL 是 ANSYS 参数化设计语言 (ANSYS Parameter Design Language) 的简称，是一种类似于 FORTRAN 的解释性语言，并作为 ANSYS 的二次开发工具。应用 APDL 编写的脚本程序具有一般程序的功能，可以自动完成大部分图形用户界面 (GUI) 操作任务，甚至可以完成某些 GUI 无法实现的功能，如参数化建模和求解控制等。APDL 还包括一些其他特点，如重复执行一条命令、宏程序、选择结构 if-then-else、循环结构 do-loop，可以对标量、矢量、矩阵等进行代数运算，还可以对 ANSYS 的有限元数据库进行访问。通过 APDL 进行参数化建模、复杂载荷的参数化加载、求解控制以及后处理的参数化数据处理分析来达到使用者想要达到的目的。APDL 是一些复杂结构分析的基础，比如优化设计、自适应网格划分、高级数据分析处理等。建立的 APDL 命令流文件不受软件版本和系统平台的限制，特别适用于复杂模型及模型需要多次修改重复分析的问题，也更加有利于保存和交流。同时 APDL 参数化设计语言为用户求解自己独特的问题和产品的序列性开发提供了一种低成本、高效率的手段。

1.2 APDL 语言应用示例

为了使读者对 APDL 参数化设计语言有个初步的了解，特提供以下简单例子。这些小的应用例子包括了 APDL 参数化建模、加载、求解和后处理等操作。通过对这些例子的学习，读者会对 APDL 语言在 ANSYS 有限元分析中的应用及其分析步骤有宏观的了解和认识。

1.2.1 参数化建模实例

采用参数化建模来生成一个圆环体，圆环体的内半径（Inner Minor Radius）、外半径（Outer Minor Radius）和主半径（Major Radius）用参数来替代，如图 1-1 所示，以便于在调整圆环体大小的时候只修改命令流中的参数值，这样可以大大节约重新建模的时间，从而提高建模效率。

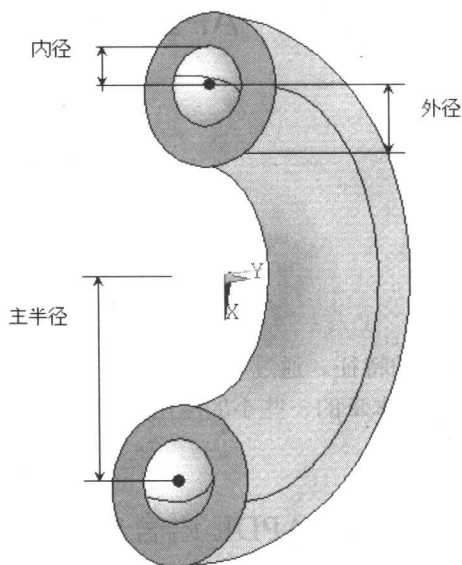


图 1-1 圆环体的尺寸参数

APDL 命令流如下：

FINI	!退出以前的模块
/CLEAR,START	!清除系统中的所有数据，重新读取启动文件设置
/FILNAME,EG1_1,1	!指定文件名，启动新的日志文件和错误文件
RI=20	!圆环体的内径
RO=80	!圆环体的外径
RM=200	!圆环体的主半径
/PREP7	!进入前处理模块
TORUS,RI,RO,RM,0,360	!建一个完整的轮环体
/VIEW,1,1,1,1	!改变视图方向
/REP	!重新绘图
FINI	!退出前处理模块

当以上的命令流运行完毕时，就可得到如图 1-2 所示的模型。

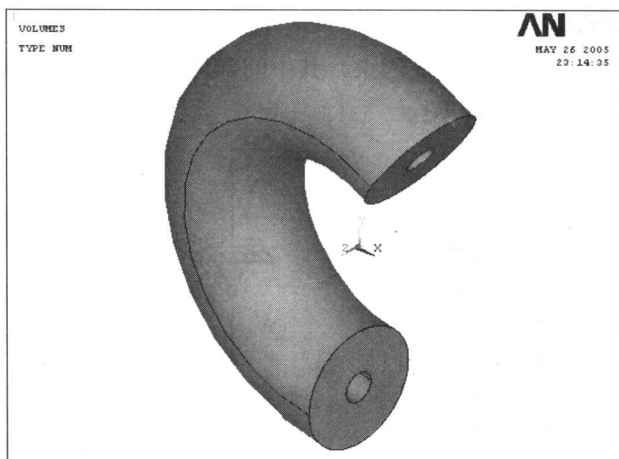


图 1-2 参数化建模生成圆环体

1.2.2 用 APDL 命令进行流程控制实例

通过循环语句和函数表达式来建立几何模型可以大大减少重复性的劳动。本例是要绘出正弦曲线上的关键点，如果只用一个一个的关键点来建立几何模型，那么将会耗费很多的时间和精力。采用下面的 APDL 命令流的方式可以很快地建立正弦曲线上的点，而且可以根据需要调整点的密度。

APDL 命令流如下：

```

FINI                                !退出以前的模块
/CLEAR,START                        !清除系统中的所有数据，读入启动文件设置
/FILNAME,EG1_2,1                    !指定当前工作文件名，启动新的日志文件和错误文件

/PREP7                              !进入前处理模块，建立模型
*AFUN,DEG                           !定义角度的单位为度
*DO,KK,1,360                         !通过一个 DO 循环建立正弦走向的一系列点
K,KK,KK,100*SIN(KK),0
*ENDDO
KPLOT                               !绘出关键点
FINI                                !退出前处理模块

```

运行以上的命令流可以得到如图 1-3 所示的关键点几何模型。

1.2.3 APDL 命令流全过程分析实例

本例通过一个简单的结构力学问题介绍 APDL 参数化建模、加载、求解和后处理等操作步骤，让读者对 ANSYS 参数化分析有初步的了解。

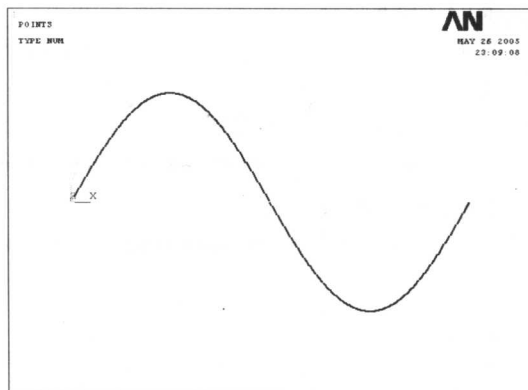


图 1-3 APDL 命令流建立正弦曲线关键点

1. 问题描述

一根长为 L 的等截面竖直杆两端受约束，其中间部位受两个竖直向下的集中力 F_1 和 F_2 ，如图 1-4 所示，求其约束反力 R_1 和 R_2 。

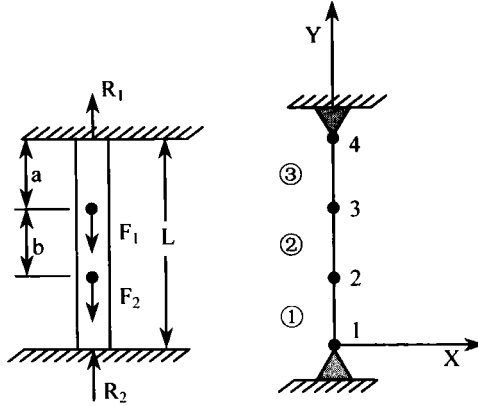


图 1-4 计算模型简图

弹性模量: $E=30 \times 10^6 \text{ psi}$

几何尺寸: $L=10 \text{ in}$, $a=b=3 \text{ in}$

载荷大小: $F_1 = 2F_2 = 1000 \text{ lb}$

2. 分析步骤

1) 定义单元类型、实常数和材料属性。

```
FINISH                                !退出以前的模块
/CLEAR,START                          !清除系统中的所有数据，读入启动文件设置
/FILNAME,EG1_3,1                      !指定当前工作文件名，启动新的日志文件和错误文件
!*****
```

!进入前处理区

!*****

```
/PREP7
```

```
ET,1,LINK1
```

```
R,1,1                                !设置横截面积(ARBITRARY)=1
```

```
MP,EX,1,30E6
```

2) 建立有限元分析模型。

!*****

!建立几何模型

!*****

```
N,1
```

```
N,2,,4
```

```
N,3,,7
```

```
N,4,,10
```

E,1,2

!定义单元

EGEN,3,1,1

运行完以上的命令后可以得到有限单元模型，如图 1-5 所示。

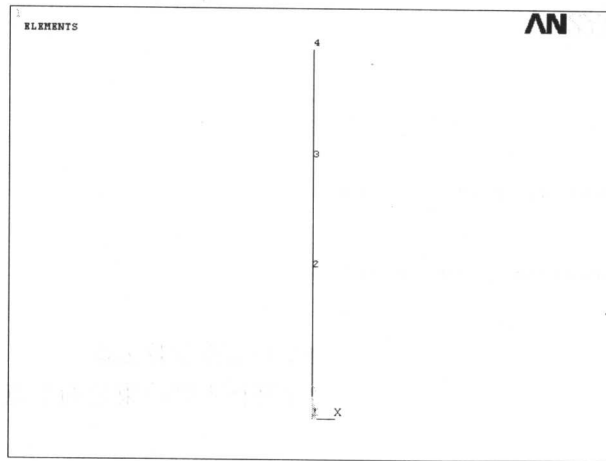


图 1-5 有限元模型

为了更直观地显示单元的形状，可以通过以下命令流来绘出单元形状，如图 1-6 所示。

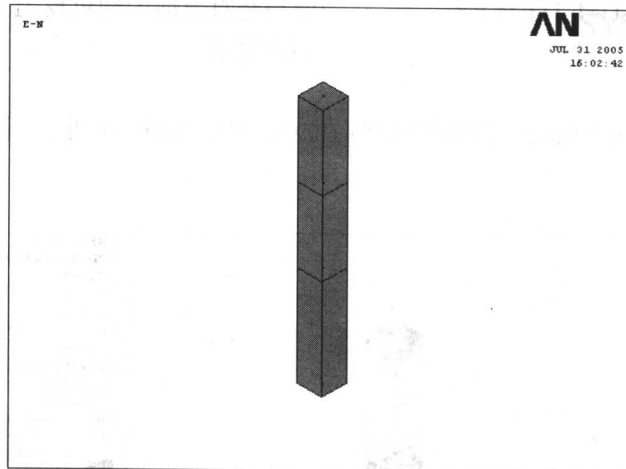


图 1-6 单元形状显示图

/ESHAPE,1

!设定绘制单元形状选项

/VIEW,1,1,1,1

!改变视图方向

EPlot

!绘制单元

FINISH

3) 定义约束并进行加载。

!*****

!定义约束并进行加载

```

!*****
/SOLU
ANTYPE,STATIC                                !设置分析类型为静态分析
D,1,ALL,,,4,3                                !施加节点约束
F,2,FY,-500
F,3,FY,-1000
FINISH
4) 后处理。
!*****
!后处理
!*****
/POST1
PLNSOL,U,Y,2                                !绘制节点位移云图
NSEL,S,LOC,Y,10                              !选择杆上端约束处的节点
FSUM
*GET,REAC_1,FSUM,,ITEM,FY                    !取得竖直方向的约束反力
NSEL,S,LOC,Y,0                              !选择杆下端约束处的节点
FSUM
*GET,REAC_2,FSUM,,ITEM,FY                    !取得竖直方向的约束反力
*STATUS                                       !列表显示
FINI

```

运行以上 APDL 命令流可以得到杆的竖向位移云图，如图 1-7 所示，杆端约束反力列表显示如图 1-8 所示。

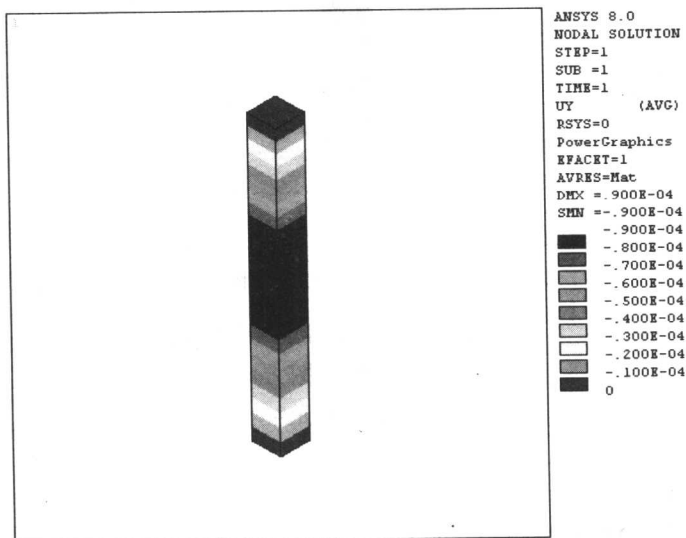


图 1-7 竖向位移云图

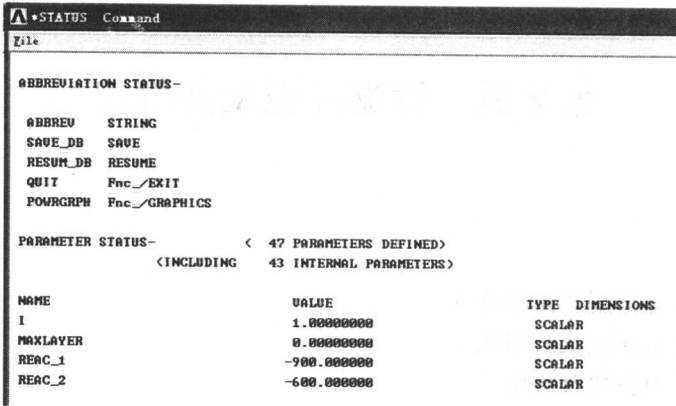


图 1-8 杆端约束反力列表显示图

1.3 本章小结

本章对 APDL 语言的基础知识和分析应用作了初步的介绍，通过本章的学习，读者应对 APDL 参数化建模、加载、求解以及后处理等操作有初步的了解和认识。