

The ANSYS logo is rendered in a large, bold, blue sans-serif font. To its left, there are several horizontal blue lines of varying lengths, creating a stylized graphic element.

ANSYS

参数化语言及 结构静动力分析

■ 孙黄胜 编著

非外借

 中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

ANSYS参数化语言 及结构静动力分析

孙黄胜 编著

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 参数化语言及结构静动力分析 / 孙黄胜编著

—青岛:中国石油大学出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5636-6346-0

I. ①A… II. ①孙… III. ①结构静力分析—有限元分析—应用软件②结构动力分析—有限元分析—应用软件
IV. ①O342-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 287485 号

书 名: ANSYS 参数化语言及结构静动力分析
(ANSYS CANSHUHUA YUYAN JI JIEGOU JINGDONGLI FENXI)

编 著 者: 孙黄胜

责任编辑: 韩 斌(电话 0532—86983559)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: zyepeixun@126.com

排 版 者: 青岛天舒常青文化传媒有限公司

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86983560, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 12

字 数: 276 千

版 印 次: 2019 年 5 月第 1 版 2019 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-6346-0

定 价: 48.00 元

内 容 简 介

ANSYS 是国际上最先进的大型通用有限元软件之一,拥有丰富的单元库和材料库,具有强大的计算能力和模拟能力,在土木工程等多个领域得到了广泛应用。ANSYS 既可以通过人机交互方式完成模拟分析工作,又可以通过参数化编程进行模拟分析。参数化设计语言 (APDL) 提供了一种逐行解释性的编程语言工具,可以实现参数化的有限元分析、二次开发以及设计优化等,是 ANSYS 高级分析技术之一。本书主要介绍参数化语言基础及其在土木结构分析中的应用。

本书内容分为两大部分,前两章主要介绍 APDL 语言的基本要素,包括 APDL 文件的形成与运行、标量参数、数组参数、访问 ANSYS 数据库、矢量运算、循环控制等,这些内容是 APDL 参数化编程的基础。后四章是 APDL 在结构静动力分析中的应用,包括结构静力分析、模态分析、瞬态分析和响应谱分析等,着重介绍在结构模态分析、隔震及消能减震结构地震作用时程分析、地震反应谱及设计反应谱分析等方面的应用。算例分析介绍了如何利用 APDL 编程语言进行结构建模、加载、计算、后处理等工作,提供了命令流及主要命令行的注释。

本书适合于已掌握了一定有限元基本理论和 ANSYS 基础知识的用户,可作为土木工程专业的高年级本科生、研究生和工程技术人员学习 APDL 参数化编程的参考资料。

ANSYS 是广泛应用于工程有限元分析的软件,既可以采用人机交互方式完成建模、加载、计算、后处理等工作,又可以利用参数化语言编程来完成上述工作,而且参数化编程也是利用 ANSYS 进行优化设计、二次开发的基础。利用 ANSYS 软件进行有限元分析工作,用户除了应掌握人机交互方式基本技术外,还应该掌握利用 ANSYS 软件的参数化语言进行编程的技术,提高工程分析效率。

ANSYS 参数化设计语言(ANSYS Parametric Design Language)是一种通过参数(变量)方式建立分析模型的脚本语言,利用该语言可以自动完成常见工程分析任务。按照 ANSYS 命令格式,利用参数化语言,编写命令流形成文本文件,通过读入命令流文件,实现高效建模、加载、计算并进行后处理。而且,利用编写命令流方式可便捷地实现模型修改调试、加载工况调整、计算结果数据的提取、模型保存、技术交流等。

本书结合研究生结构分析课程教学经验,介绍了 ANSYS 参数化语言及其在结构分析中的应用实例。本书共分 6 章,第 1 章介绍了如何生成和使用 APDL 文件;第 2 章介绍了 APDL 编程语言的主要内容,包括参数、数组、循环控制及相应 APDL 命令格式等;第 3 章列出了结构静力分析算例,包括单调静力分析和拟静力分析;第 4 章介绍了结构模态分析并列出了计算实例;第 5 章介绍了结构瞬态分析,主要内容有地震波读取、结构地震作用分析、隔震结构和消能减震结构地震作用分析等;第 6 章介绍了结构响应谱分析,包括利用地震波加速度谱和设计反应谱进行结构响应分析。所有实例包含建模、加载计算及后处理部分,均采用 ANSYS 10.0 版本运行通过,实例命令流文件中对部分关键命令行进行了注释说明,以便将本书作为相近工程分析时的学习参考资料。

本书由编者统稿和编排,感谢研究生高旭、延庆同在文字编辑、图表整理过程中付出的努力。同时感谢山东科技大学的出版资助。

由于编者水平有限,书中难免存在纰漏,敬请读者批评指教,编者不胜感激。

编者的 E-mail 地址为 sunshine7528@163.com,欢迎各位读者来信讨论。

孙黄胜
2018 年 10 月
于山东科技大学

第 1 章 APDL 参数化语言概述	1
1.1 APDL 简介	1
1.2 APDL 的功能及特点	1
1.3 生成 APDL 文件	4
1.4 APDL 文件的执行	7
第 2 章 参数及参数运算	8
2.1 标量参数和数组参数	8
2.2 访问 ANSYS 数据库	18
2.3 矢量运算	24
2.4 数据文件读入与写出	27
2.5 表格型数组参数	30
2.6 循环及分支控制	35
第 3 章 结构静力分析	40
3.1 结构单调静力分析	41
3.2 结构拟静力分析	54
第 4 章 结构模态分析	56
4.1 模态分析基本理论	56
4.2 模态分析算例	58
第 5 章 结构地震作用时程分析	79
5.1 ANSYS 瞬态分析	79
5.2 地震波读取及处理	84
5.3 层间结构地震作用时程分析	86
5.4 框架结构地震作用分析	89

5.5	隔震及消能减震结构地震作用分析	97
5.6	时程分析时的重力处理	160
第6章	结构响应谱分析	164
6.1	谱分析基本理论	164
6.2	谱分析算例	165
6.3	荷载效应组合	175
参考文献	183

第 1 章

APDL 参数化语言概述

1.1 APDL 简介

ANSYS 是一个广泛应用于众多领域的集结构、热、流体、电磁、声学于一体的有限元软件。与其他有限元软件的分析过程类似,ANSYS 软件的标准分析过程包括建立分析模型并施加边界条件及荷载、求解计算、结果提取及分析等 3 个主要步骤。ANSYS 提供了两种工作模式,即人机交互方式(GUI 方式)和命令流输入方式(BATCH 方式)。前者适合初学者,用户不需要记住编程语言的使用规则与命令的使用格式,只需用鼠标在图形界面上进行操作即可。对于简单的分析模型而言,采用 GUI 方式更方便,但对于一个大型复杂模型而言,往往需要对模型进行反复修改,这些重复工作有时会占用大量计算时间。为了解决这个问题,ANSYS 软件提供了一种以命令流方式进行分析的功能,即 ANSYS 参数化设计语言 APDL,利用其文本文件进行模型参数修改、计算、提取计算结果并处理,用户可以完成任意多次的分析,从而大大减少了修改模型后重新分析时所需的时间,提高了分析效率,减少了分析成本。另外有一些命令无法通过 GUI 方式实现,而通过 APDL 则很容易达到目的。

APDL 是 ANSYS Parametric Design Language 的缩写,即 ANSYS 参数化设计语言,它是一种类似 FORTRAN 77 的解释性语言,提供一般程序语言的功能,如参数、宏、标量、向量及矩阵运算、分支、循环、重复以及访问 ANSYS 有限元数据库等,另外还提供简单界面定制功能,实现参数交互输入、消息机制、界面驱动和运行应用程序等。

利用 APDL 的程序语言与宏技术组织管理 ANSYS 的有限元分析命令,就可以实现参数化建模、施加参数化荷载、求解及参数化后处理结果的显示,从而实现参数化有限元分析的全过程。同时,以 APDL 为基础用户可以开发专用有限元分析程序,或者编写经常重复使用的功能小程序,如建立标准化零件库、特殊材料属性、特殊荷载、设计优化等。

1.2 APDL 的功能及特点

APDL 具有以下功能,用户可根据需要进行组合使用或单独使用:

- 标量参数;

- 数组参数；
- 表达式和函数；
- 分支和循环；
- 重复功能和缩写；
- 宏；
- 用户程序。

采用 APDL 建模、计算并处理数据，具有以下优点：

● 可以减少大量的重复工作，特别适用于经少许修改（如修改模型几何尺寸、网格密度、荷载大小等）后需要多次重复计算的场合，可节省大量时间。

● 便于保存和携带。一个 APDL 的 ASCII 文件一般只有几十千字节，最多也只要几百千字节，其数据文件的大小仅为 GUI 数据文件的千分之一，无论是在网上还是在平常的交流中都很方便。

● 不受 ANSYS 软件的系统操作平台的限制。即用户使用 APDL 文件既可以在 Windows 平台进行交流运行，又可以在 UNIX 或其他操作平台上运行。而用 GUI 方式生成的数据文件只能在编制它的操作平台上运行，不能在其他操作平台上直接运行。

● 不受 ANSYS 软件版本的限制。一般情况下，ANSYS 软件以 GUI 方式生成的数据文件只能向上兼容一个版本，而 APDL 文件则不存在这个限制，仅有个别命令会受版本影响。

● 在进行优化设计和自适应网格划分分析时，必须使用 APDL 文件系统。

● 需要大量输入数据时（例如风荷载、地震波数据），必须采用 APDL 文件。

● 利用 APDL 方式，用户很容易建立参数化的零件库，以利于其快速生成有限元分析模型。

● 利用 APDL 可以编写一些常用命令的集合即宏命令，或者制作快捷键，并将其放在工具栏上。

● 可以利用 APDL 从事二次开发。

例 1.1 如图 1-1 所示一门式刚架，柱高 3.9 m，梁跨 6.0 m，柱截面 450 mm×450 mm，梁截面 250 mm×550 mm。材料弹性模量为 3.0×10^4 MPa，密度为 2 500 kg/m³。顶点作用一水平集中力 $F=50$ kN。求刚架顶点水平位移及弯矩分布。

该例可采用 GUI 方式建模分析，效率相对较低且不适合反复计算不同工况，若采用 APDL 方式，编写命令流如下（程序中中英文字符不分大小写、正斜体，感叹号表注释，全书同）：

[EX1.1]

```
width1=0.45          ! 柱截面宽度和高度
width2=0.25         ! 梁截面宽度
thick2=0.55         ! 梁截面高度
```

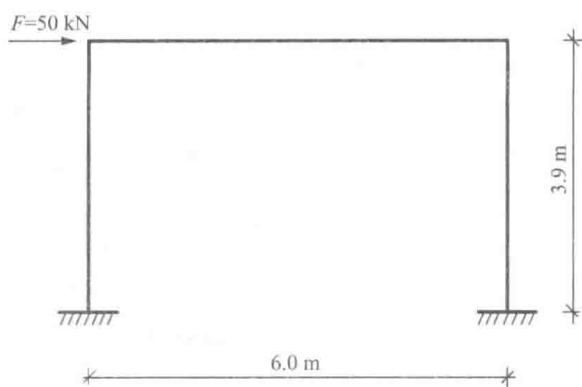


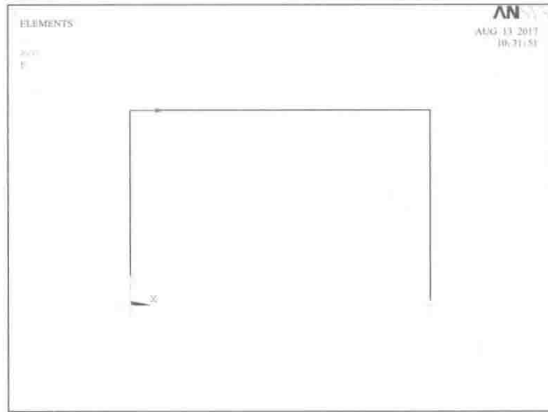
图 1-1 门式刚架

```

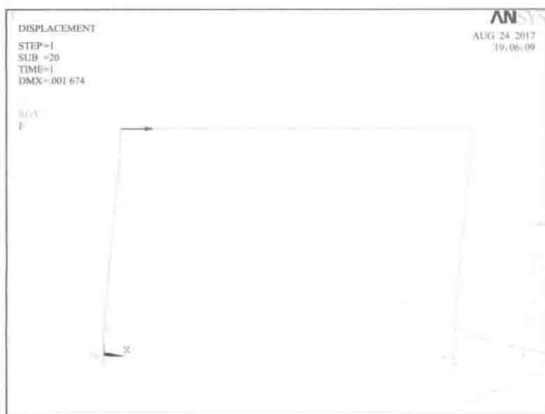
heig=3.9          ! 柱高
leng=6.0          ! 梁跨度
elamol=3.0e10    ! 梁柱材料弹性模量
dens1=2500       ! 材料密度
forc=50e3        ! 顶点水平作用力
/PREP7           ! 进入前处理模块
ET,1,BEAM4       ! 定义单元
R,1,width1*width1,width1**4/12,width1**4/12,width1,width1 ! 定义实常数
R,2,width2*thick2,width2**3*thick2/12,width1*thick2**3/12,thick2,width2
MP,EX,1,elamol, ! 定义材料属性
MP,DENS,1,dens1
K,1,0,0,0        ! 建立几何模型,定义关键点
K,2,leng,0,0
K,3,leng,0,heig,
K,4,0,0,heig,
L,1,4            ! 连点成线
L,2,3
L,4,3
TYPE,1           ! 划分柱单元前,申明单元类型
MAT,1            ! 申明材料类型
REAL,1           ! 申明实常数
LESIZE,ALL,0.3  ! 规定单元尺寸
LMESH,1,2        ! 划分柱单元
REAL,2           ! 申明梁单元实常数
LMESH,3          ! 划分梁单元
NSEL,,loc,z,0   ! 柱底节点自由度约束
D,all,all,      ! 两柱底节点所有自由度值取0,即固定约束
ALLSEL,all
FINI
/SOLU            ! 进入计算求解模块
ANTYPE,0        ! 分析类型为静力分析
F,2,FX,forc,    ! 节点2处施加水平向荷载
NSUBST,20,30,10 ! 规定荷载步子步数
TIME,1          ! 规定时间
SOLVE           ! 求解计算
/POST1          ! 进入后处理模块
SET,last        ! 规定处理最后子步结果
PLDISP,0        ! 显示变形图
PLNSOL,U,X,0,1.0 ! 显示X向位移云图
ETABLE,IMOMENT,SMISC,5 ! 单元节点I弯矩表
ETABLE,JMOMENT,SMISC,11 ! 单元节点J弯矩表
PLLS,IMOMENT,JMOMENT,,0 ! 绘弯矩图
FINI

```

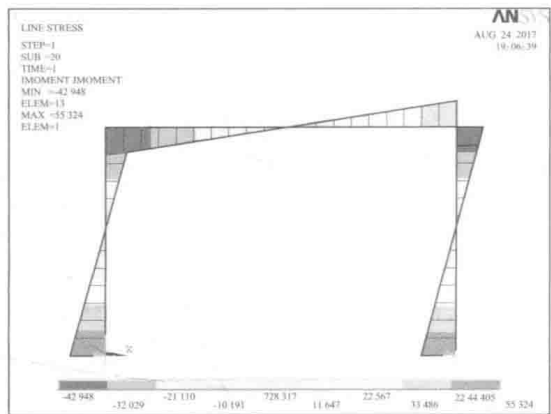
得到结构模型、变形和弯矩分布如图 1-2(a)(b)(c)所示。



(a) 刚架模型



(b) 变形



(c) 弯矩分布

图 1-2 刚架分析

从该简单示例可以看出,门式刚架荷载作用下的静力分析主要包括参数定义、建立模型 (/PREP7)、计算求解 (/SOLU)、后处理 (/POST1) 等几部分。该程序文本文件大小约 1 kb,若要分析不同工况,只需要修改前部参数数值再重新运行计算即可。

尽管有上述优点,但在使用 APDL 中也会遇到下列缺点:

- 在 ANSYS 软件中对于每个 GUI 方式的操作基本上都有一个操作命令与之对应,这样就生成了大量的操作命令,要记住这些命令是很困难的。

- APDL 文件方式不直观,由于其属于一种脚本语言,必须要将输入文件中的命令执行完才能得到结果。

- 当然,在重复执行时也要花费一定的时间。

总之,APDL 方式对于处理一个大型的复杂模型来说是利大于弊,尤其适用于需要反复计算、大量数据输入、有规律性几何数据输入等情况。

1.3 生成 APDL 文件

在 GUI 方式下,用户每执行一次操作,ANSYS 都会将与该操作路径相对应的操作命令

写入一个 LOG 文件里,默认文件名为“Jobname.log”,若没有指定工作文件名,则为“File.log”。该文件是生成 APDL 文件的基础,初学者可以通过结合 GUI 操作及对应的 LOG 文件命令记录来学习 APDL。

但 LOG 文件一般不能直接用作 APDL 文件,因为:

(1) LOG 文件往往非常冗长,因为在 GUI 方式下,有大量的视图操作也被写入 LOG 文件,而该视图操作不影响分析模型本身。

(2) 在 GUI 方式下可以使用图形拾取操作(即可直接用鼠标点选或框选关键点、线、面、节点、单元等),而 APDL 方式下不能采用图形拾取操作,需转换为操作命令来执行,如按编号或属性等建立选择集再进行下一步操作。

例如:在 XY 平面内先建立 4 个关键点,并连成四条线形成长方形(X 向长 6.6 m,Y 向宽 4.5 m),再往 Z 方向复制 4 份(间隔 3.3 m)。若采用 GUI 方式,形成的 LOG 文件为:

```

/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 10.0   UP20050718   10:02:24   08/10/2017
/input,menust,tmp,*,.....,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,.....,0
/PREP7
K,1,0,0,0,
K,2,6.6,0,0,
K,3,6.6,4.5,0,
K,4,0,4.5,0,
LSTR, 1, 2
LSTR, 2, 3
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 1
/USER, 1
/VIEW, 1, 0.503060889302, -0.6665656661220, 0.550109044588
/ANG, 1, -15.2858484255
/REPLO
LPLOT
FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,1
FITEM,3,-4
LGEN,5,P51X,,0,0,3.3,,0
/DIST,1,1,08222638492,1
/REP,FAST

```



```

/PREP7
K,1,0,0,0
K,2,6.6,0,0
K,3,6.6,4.5,0
K,4,0,4.5,0
LSTR,1,2
LSTR,2,3
LSTR,3,4
LSTR,4,1
LGEN,5,1,4,,0,0,3.3

```

上述两种方式得到的结果是一样的。需要说明的是,将 LOG 文件修改转换为 APDL 文件时,APDL 文件中可以不必写入视图操作命令,视图操作并不影响模型特性;GUI 操作中往往有大量的拾取操作,被选择的对象依赖于对象的编号,相同操作在不同版本间自动形成的编号(关键点、线、节点、单元等)可能不同,从而会导致操作失败,应根据选择对象的坐标、属性来建立选择集,再进行下一步操作,这样就不会导致失败。

如上述 GUI 操作中,将编号为 1~4 的线复制 4 次:

```

FITEM,3,1
FITEM,3,-4
LGEN,5,P51X,,,0,0,3.3,,0

```

可以写为一句命令为:

```
LGEN,5,1,4,,0,0,3.3
```

也可以先建立选择集再操作,写为:

```

LSEL,,LOC,Z,0          ! 选择 Z 坐标为 0 的线,即编号为 1~4 的线
LGEN,5,ALL,,,0,0,3.3  ! 将选择集(编号 1~4 线)沿 Z 向复制 4 次,间距 3.3 m

```

因此,生成 APDL 文件有以下两种方式:

- (1) 通过修改 LOG 文件得到 APDL 文件(保存为 Jobname.txt);
- (2) 对于熟悉 ANSYS 分析步骤的用户,可以直接编写 Jobname.txt 文件。

1.4 APDL 文件的执行

编写完成的 APDL 文件可以通过以下几种方式运行:

(1) 将 APDL 文件中的命令逐行或多行拷贝到 ANSYS 命令输入窗口(command prompt)执行,一般用于调试、检查程序。但应注意部分命令不能在命令窗口中输入执行,如数据格式等。

(2) 完整的 APDL 文件可保存为.txt、.inp 等文本文件,通过 Utility Menu > File > Read Input from... > 在弹出的文件选择对话框中指定命令流文件,即执行 APDL 完整命令流。

第 2 章 参数及参数运算

2.1 标量参数和数组参数

2.1.1 参数的概念与类型

ANSYS 中的参数即 APDL 的变量(类似于 FORTRAN 77 语言中的变量),参数分为标量参数(scalar parameter)和数组参数(array parameter)。标量是指单个的变量,而数组则是由一系列具有相同意义的数据组成的。标量参数有两种类型:数值型和字符型。数组参数有四种类型:数值型、字符型、字符串型和表格类型。ANSYS 中不需要事先申明参数的类型,无论是整型还是实型,所有的数值类型都保存为双精度类型。

与其他编程语言类似,用户可以将一个参数作为一个值赋给 ANSYS 命令,执行这个命令后,参数当前所具有的值将会替代参数。如执行命令流:

```
px=2.7  
py=3.3  
pz=3.9  
/PREP7  
K,1,px,py,pz
```

相当于在坐标(2.7,3.3,3.9)处建立一个关键点 1。如果修改上述命令流中的 px、py、pz 的赋值大小,后面定义关键点 1 的位置则相应改变。再例如,沿 X 方向每隔 6.6 m 定义 10 个关键点,可写为以下几行命令执行,若需要修改间距,只需要修改 interv 赋值即可。

```
interv=6.6  
* DO,i,1,10  
K,i,interv*(i-1),  
* ENDDO
```

在 APDL 中,参数(标量、数组)名称须遵循以下规则:

- (1) 必须以字母开头;
- (2) 只能包含字母、数字和下划线“_”;

(3) 长度不超过 32 个字符。

下面都是一些合法的参数名：

```
abc
pi
x_or_y
```

下面的参数名不合法：

```
my_parameter_name_longer_than_32_characters (长度超过 32 个字符)
2cf3 (以数字开头)
m&-e (含非法字符 "&.")
```

在参数命名时,还要注意以下几条规则：

(1) 不能使用 ANSYS 标识字：

- 自由度(DOF)标识字,如 TEMP、UX、PRES 等；
- 通用标识字,如 ALL、PICK、STAT 等；
- 用户定义标识字,如用 ETABLE 命令定义的；
- 数组类型标识字,如 CHAR、ARRAY、TABLE 等。

(2) 不能使用宏专用的局部参数名:ARG1~ARG9 和 AR10~AR99。

(3) 不能使用由 * ABBR 命令定义的缩写。

(4) 一般不能以下划线“_”开头,以下划线开头的参数为系统隐含参数,只能用于 GUI 和宏中。

(5) 以下划线结尾命名的参数可以用 * STATUS 命令成组列表显示,也可以利用 * DEL 进行成组删除。

2.1.2 标量参数

标量是指只含有一个数值或字符串的变量。标量的定义与赋值有以下 6 种途径：

- 利用命令 * SET 进行定义与赋值；
- 利用赋值号“=”进行定义与赋值；
- 利用菜单路径 Utility Menu>Parameters> Scalar Parameters 或命令输入窗口进行定义与赋值；

- 在启动时利用驱动命令进行定义与赋值；
- 利用 * GET 及其等效函数提取 ANSYS 数据库数据进行定义与赋值(见 2.2 节)；
- 利用 * ASK 命令进行定义与赋值。

1) 利用命令 * SET 进行标量参数定义与赋值

* SET 命令格式如下：

```
* SET,Par,VALUE,VAL2,VAL3,VAL4,VAL5,VAL6,VAL7,VAL8,VAL9,VAL10
```

其中:Par 是参数名;VALUE 是参数的赋值,可以是数值或字符串;VAL2~VAL10 也是参数的赋值,可以是数值或字符串,用于给数组参数赋值。

利用该命令定义和赋值参数的实例如下：


```

* SET,NTOT,2688          ! 即 NTOT 赋值为 2688
* SET,abc,-12.4         ! 即 abc 赋值为 -12.4
* SET,Height,3.9       ! 即 Height 赋值为 3.9
* SET,Elasmod1,3.0e10  ! 即 Elasmod1 赋值为 3.0e10
* SET,px,2.7           ! 即 px 赋值为 2.7
* SET,py,px             ! 即 py 赋值为 2.7
* SET,file2,'Taft'     ! 即 file2 赋值为字符串'Taft'

```

另外,还可以用参数的数学表达式进行赋值,如:

```

* SET,pz,px+py
* SET,Width,2*abc
* SET,f,a+b**c/(d*e)
* SET,pp,px<pz          ! px 等于 2.7,pz 等于 5.4,px<pz 为 True,pp 赋值为 2.7
* SET,pp,px>pz          ! px 等于 2.7,pz 等于 5.4,px>pz 为 False,pp 赋值为 5.4

```

运算表达式中还可含有 ANSYS 内部函数,如:

```
* SET,p1,SIN(pp)*ABS(abc)
```

2) 利用赋值符号“=”进行标量参数定义与赋值

另外一种更简便的参数定义与赋值方法,即用符号“=”定义和赋值参数,其标准格式如下:

```
Name=VALUE
```

其中,Name 是参数名;VALUE 是赋给参数的数值或字符,字符值必须放在一对单引号中,长度不超过 8 个字符。对应上述实例,利用“=”方式定义和赋值方法如下:

```

NTOT=2688
abc=-12.4
Height=3.9
Elasmod1=3.0e10
px=2.7
py=px
file2='Taft'

```

用数学表达式和函数进行赋值,例如:

```

pz=px+py
Width=2*abc
f=a+b**c/(d*e)
pp=px<pz          ! pp 赋值为 2.7
pp=px>pz          ! pp 赋值为 5.4
p1=SIN(pp)*ABS(abc)

```

3) 删除参数

对用户已定义好的参数,当需要删除其中某个参数时,有以下几种方法:

- * SET 命令赋空值删除,对于字符参数则赋值为“(空字符串)。