



ANSYS分析入门与 上机应用

◎主 编 李 磊
◎副主编 张 丽 郭俊宏

ANSYS 分析入门与上机应用

主 编 李磊

副主编 张丽 郭俊宏



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 分析入门与上机应用 / 李磊主编. — 天津 :
天津大学出版社, 2018. 6
ISBN 978-7-5618-6051-9

I. ①A… II. ①李… III. ①有限元分析—应用软件
IV. ①O241. 82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 006206 号

ANSYS FENXI RUMEN YU SHANGJI YINGYONG

出版发行	天津大学出版社
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)
电 话	发行部: 022-27403647
网 址	publish.tju.edu.cn
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司
经 销	全国各地新华书店
开 本	185mm × 260mm
印 张	10.25
字 数	206 千
版 次	2018 年 6 月第 1 版
印 次	2018 年 6 月第 1 次
定 价	27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与我社发行部联系调换
版权所有 侵权必究

| 前 言 |

以往介绍 ANSYS 应用实例的书籍，要么介绍得非常繁杂且内容较多，要么只给出命令流，或者只介绍某个局部模块，但是许多学生或学者没有那么多时间去理解里面的全部内容，而且有些案例较难，对于学习基础差的学生或学者不易掌握，造成其学习困难。为此，本书以 ANSYS 版本为平台，对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍，并结合典型应用实例详细讲述了 ANSYS 的具体工程应用方法，提高读者 GUI 界面操作能力。前 7 章为操作基础，介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法：第 1 章 ANSYS 主要功能与模块，第 2 章 ANSYS 界面介绍，第 3 章 ANSYS 分析过程与单元属性，第 4 章坐标系与工作平面，第 5 章实体建模与网格划分，第 6 章 ANSYS 加载与求解，第 7 章 ANSYS 结果后处理。第 8 章为综合实例，按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与求解步骤。

本书适用于 ANSYS 软件的初、中级用户以及有初步使用经验的技术人员；本书可作为理工科院校相关专业的高年级本科生、研究生学习教材，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。

由于编写仓促，编者知识水平有限，书中难免存在错误和不当之处，敬请读者批评指正，以便日后修改和弥补。

编者

2017 年 12 月

| 目 录 |

第 1 章	ANSYS 主要功能与模块	1
1.1	有限元简介	1
1.2	ANSYS 简介	2
1.3	ANSYS 功能与模块	3
第 2 章	ANSYS 界面介绍	6
2.1	通用菜单	6
2.2	主菜单	9
2.3	工具栏与图形窗口	11
2.4	输入窗口与输出窗口	12
第 3 章	ANSYS 分析过程与单元属性	13
3.1	ANSYS 分析问题主要过程	13
3.2	单元属性定义	14
3.3	材料模型界面	17
3.4	练习	22
第 4 章	坐标系与工作平面	26
4.1	ANSYS 中的坐标系	27
4.2	工作平面	28
4.3	练习	29
第 5 章	实体建模与网格划分	31
5.1	实体模型及有限元模型	31
5.2	布尔运算	33
5.3	网格划分	36
5.4	练习	42

第 6 章 ANSYS 加载与求解	44
6.1 施加荷载和 DOF 约束	44
6.2 求解	55
6.3 练习	60
第 7 章 ANSYS 结果后处理	62
7.1 通用后处理器	62
7.2 时间 - 历程后处理器	72
7.3 动画生成	75
7.4 报告生成	76
7.5 启动报告生成器	76
第 8 章 综合实例	78
8.1 结构静力学分析实例 (线性分析)	78
8.2 温度场分析	98
8.3 模态分析	113
8.4 接触分析	120
8.5 屈曲分析	137
8.6 非线性分析	142
参考文献	155

第 1 章 ANSYS 主要功能与模块

1.1 有限元简介

有限元方法或有限元分析，是求取复杂微分方程近似解的一种非常有效的工具，是现代数字化科技的一种重要基础性原理。将它应用于科学研究中，它可成为探究物质客观规律的先进手段。将它应用于工程技术中，它可成为工程设计和分析的可靠工具。严格来说，有限元分析必须包含三个方面：①有限元方法的基本数学力学原理；②基于原理所形成的实用软件；③使用时的计算机硬件。随着现代计算机技术的发展，一般的个人计算机就能满足第二和第三方面的要求。随着工程技术的不断发展，本书将在基本操作的基础上，通过一些典型的实例深入浅出地阐述有限元分析的基本原理，并强调原理的工程背景和物理概念；通过 ANSYS 分析平台展示具体应用有限元方法的建模过程与分析过程。

任何具有一定使用功能的构件（称为变形体）都是由满足要求的材料所制造的，在设计阶段，就需要对该构件在可能的外力作用下的内部状态进行分析，以便核对所使用材料是否安全、可靠，以避免造成重大安全事故。描述构件的力学信息一般有如下三类：

- (1) 构件中因承载在任意位置上所引起的移动，称为位移（Displacement）；
- (2) 构件中因承载在任意位置上所引起的变形状态，称为应变（Strain）；
- (3) 构件中因承载在任意位置上所引起的受力状态，称为应力（Stress）。

若该构件为简单形状，且外力分布也比较单一，如杆、梁、柱、板就可以采用材料力学的方法，一般都可以给出解析公式，应用比较方便；但对于几何形状较为复杂的构件却很难得到准确的结果，甚至根本得不到结果。

有限元分析的目的：针对具有任意复杂几何形状的变形体，完整获取在复杂外力作用下其内部的准确力学信息，即求取该变形体的三类力学信息（位移、应变、应力）。在准确进行力学分析的基础上，设计师可以对所设计对象进行强度（Strength）、刚度（Stiffness）等方面的评判，以便对不合理的设计参数进行修改，以得到较优化的设计方案；然后，再次进行方案修改后的有限元分析，以进行最后的力学评判和校核，确定出最后的设计

方案。

有限元分析的最大特点就是标准化和规范化,这种特点使得大规模分析和计算成为可能,当采用了现代化的计算机以及所编制的软件作为实现平台时,复杂工程问题的大规模分析就变为了现实。实现有限元分析标准化和规范化的载体就是单元,这就需要我们构建起各种各样的具有代表性的单元,一旦有了这些单元,就好像建筑施工中有了一些标准的预制构件(如梁、板等),可以按设计要求搭建出各种各样的复杂结构。

有限元分析的最主要内容就是研究单元,即先给出单元的节点位移和节点力,然后基于单元节点位移与节点力的相互关系直接获得相应的刚度系数,进而得到单元的刚度方程,实际上就是要得到针对单元节点的平衡方程。针对实际的复杂结构,根据实际的连接关系,将单元组装为整体刚度方程,这实际上也是得到整体结构的基于节点位移的整体平衡方程。

近40多年来,伴随着计算机科学和技术的快速发展,有限元法作为工程分析的有效方法,在理论、方法的研究,计算机程序的开发以及应用领域的开拓诸方面均取得了根本性的发展。它不仅成功地运用于固体静力学,近年来也应用于解决动力学、电磁学等问题。

1.2 ANSYS 简介

ANSYS 是一种融结构、热、流场、电磁和声学于一体的大型通用有限元软件,广泛应用于航空航天、汽车、造船、铁道、电子、机械制造、地矿、水利、核能、石化、生物、医学、土木工程、轻工和一般工业等行业以及设计、科研和高校等部门,可在微机或工作stations上运行,能够进行应力分析、热分析、流场分析、电磁场分析等多物理场分析及耦合分析,并且具有强大的前后处理功能。ANSYS 的流场分析求解模块 FLOTRAN 基于能量守恒、质量守恒和动量守恒原理,能求解流场速度、压力、温度分布等参数。利用 ANSYS 软件对干气密封面结构处的流场进行仿真分析,能够为干气密封面结构的合理设计提供理论依据。ANSYS 公司成立于1970年,总部设在美国的宾夕法尼亚州,目前是世界 CAE 行业中较大的公司之一。其创始人 John Swanson 博士是匹兹堡大学力学教授、有限元界权威。在40多年的发展过程中,ANSYS 不断改进提高,功能不断增强,目前最新的版本已发展到16.0。

1970年成立的美国 ANSYS 公司是世界 CAE 行业著名的公司之一,长期以来一直致力于设计分析软件的开发、研制,其先进的技术及高质量的产品赢得了业界的广泛认可。在我国,ANSYS 用户也越来越多,三峡工程、二滩水电站、黄河下游特大型

公路斜拉桥、国家大剧院等在结构设计时都采用了 ANSYS 作为分析工具。ANSYS 的界面非常友好,有些类似于 AutoCAD,其使用方法也和 AutoCAD 有相似的地方:GUI 方式和命令流方式。GUI (Graphical User Interface) 方式即通过点击菜单项,在弹出的对话框中输入参数并进行相应设置从而进行问题的分析和求解。命令流方式是指在 ANSYS 的命令流输入窗口输入求解所需的命令,通过执行这些命令来实现问题的解答。GUI 方式较容易掌握,但是在熟悉了 ANSYS 的命令之后,使用命令流方式要比 GUI 方式的效率高出许多。但对于初学者来说,GUI 方式更加容易理解,本书采用两种方式结合来举例说明。

目前,ANSYS 软件已形成完善、成熟的三大核心体系:①以结构、热力学为核心的 MCAE 体系;②以计算流体动力学为核心的 CFD 体系;③以计算电磁学为核心的 CEM 体系。这三大体系不仅提供 MCAE、CFD、CEM 领域的单场分析技术,各单场分析技术之间还可以形成多物理场耦合分析机制。

1.3 ANSYS 功能与模块

ANSYS 是一个大型通用的商业有限元软件,功能完备的前后处理器使 ANSYS 易学易用,强大的图形处理能力及多功能的实用工具使得用户在处理问题时得心应手,奇特的多平台解决方案使用户能够做到物尽其用,多种平台支持 (NT、LINUX、UNIX) 和异种异构网络浮动,各种硬件平台数据库兼容,功能一致,界面统一。

ANSYS 具有强大的实体建模技术。它与现在流行的大多数 CAD 软件类似,通过自顶向下或自底向上两种方式以及布尔运算、坐标变换、曲线构造、蒙皮技术、拖拉、旋转、拷贝、镜射、倒角等多种手段,可以建立起真实地反映工程结构的复杂几何模型。

ANSYS 提供两种基本网格划分技术:智能网格和映射网格,分别适合于 ANSYS 初学者和高级使用者。智能网格、自适应、局部细分、层网格、网格随移、金字塔单元 (六面体与四面体单元的过渡单元) 等多种网格划分工具,帮助用户建立精确的有限元模型。

另外,ANSYS 还提供了与 CAD 软件专用的数据接口,能实现与 CAD 软件的无缝几何模型传递。这些 CAD 软件有 Pro/E、UG、CATIA、IDEAS, Solidwork、Solid edge、Inventor、MDT 等。ANSYS 还可以读取 SAT、STEP、ParaSolid、IGES 格式的图形标准文件。

此外,ANSYS 还具有近 200 种单元类型,这些丰富的单元特性能使用户方便而准确地构建出反映实际结构的仿真计算模型。

ANSYS 提供了对各种物理场的分析,是目前唯一能融结构、热、电磁、流场、声学等

为一体的有限元软件。除了常规的线性、非线性结构静力、动力分析之外，它还可以解决高度非线性结构的动力分析、结构非线性及非线性屈曲分析。提供的多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置。

ANSYS 的后处理用来观察 ANSYS 的分析结果。ANSYS 的后处理分为通用后处理模块和时点后处理模块两部分。后处理结果可能包括位移、温度、应力、应变、速度以及热流等，输出形式可以是图形显示和数据列表两种。ANSYS 还提供自动或手动时程计算结果处理的工具。

ANSYS 的主要功能如下。

1. 结构分析

结构分析是有限元分析方法最常用的一个功能。ANSYS 能够完成的结构分析有：结构静力学分析，结构非线性分析，结构动力学分析，隐式、显式及显式 - 隐式 - 显式耦合求解。

2. 热分析

热分析用于计算一个系统的温度等热物理量的分布及变化情况。ANSYS 能够完成的热分析有：稳态温度场分析、瞬态温度场分析、相变分析、辐射分析。

3. 流体动力学分析

ANSYS 程序的 FLOTRAN CFD 分析功能能够进行二维及三维的流体瞬态和稳态动力学分析。ANSYS 能够完成的流体动力学分析有：层流、紊流分析，自由对流与强迫对流分析，可压缩流/不可压缩流分析，亚音速、跨音速、超音速流动分析，多组分流动分析，移动壁面及自由界面分析，牛顿流体与非牛顿流体分析，内流和外流分析，分布阻尼和 FAN 模型，热辐射边界条件，管流。

4. 电磁场分析

ANSYS 程序能分析电感、电容、涡流、电场分布、磁力线及能量损失等电磁场问题，也可用于螺线管、发电机、变换器、电解槽等装置的设计与分析。ANSYS 能够完成的电磁场分析有：2D、3D 及轴对称静磁场分析；2D、3D 及轴对称时变磁场、交流磁场分析；静电场、AC 电场分析。

5. 声学分析

ANSYS 程序能进行声波在含流体介质中传播的研究，也能分析浸泡在流体中固体结构的动态特性。ANSYS 能够完成的声学分析有：声波在容器内流体介质中的传播，声波在固体介质中的传播，水下结构的动力分析，无限表面吸收单元。

6. 压电分析

ANSYS 软件能分析二维或三维结构对 AC、DC 或任意随时间变化的电流或机械荷载的

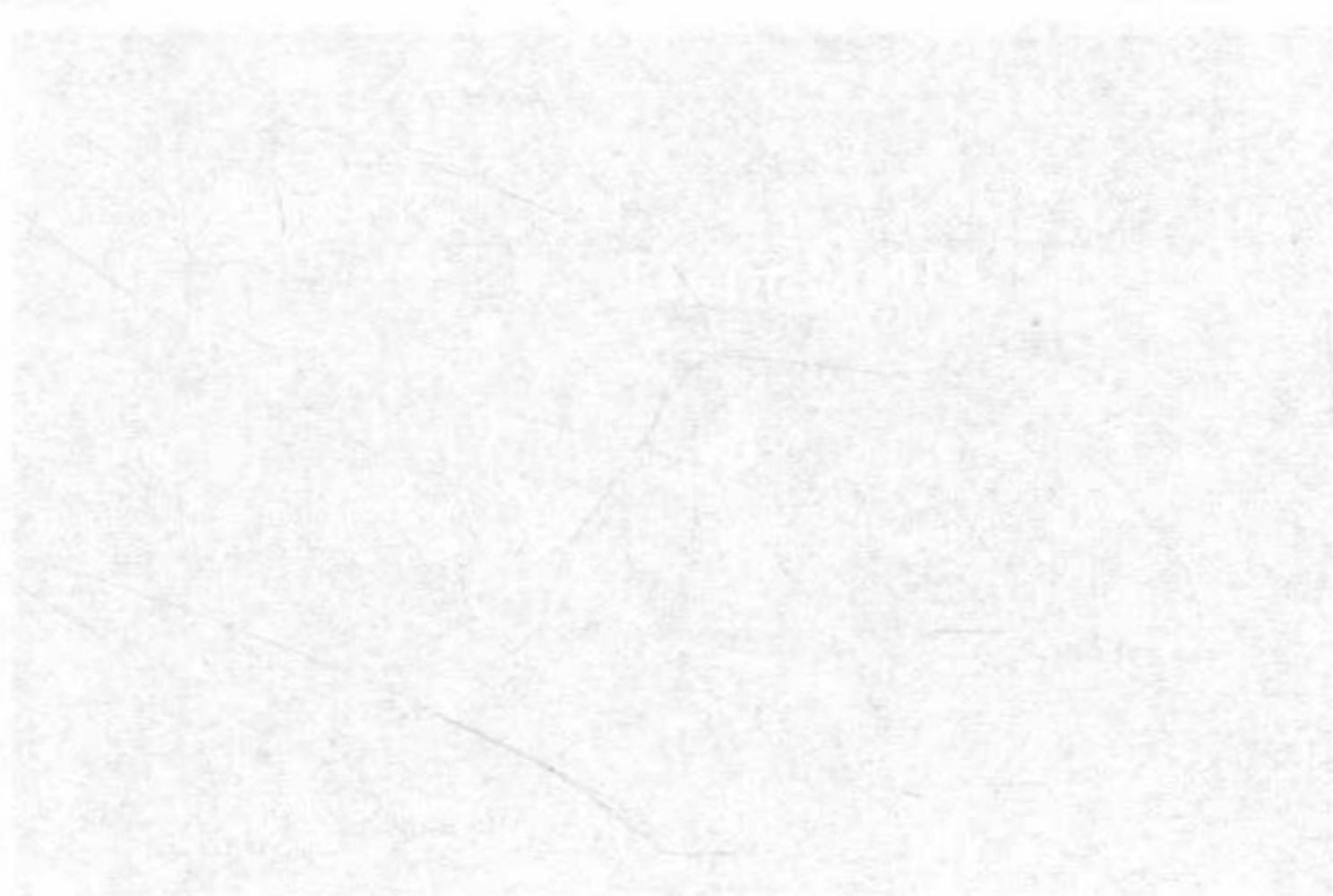
响应。ANSYS 能够完成的压电分析有：稳态分析，瞬态分析，谐响应分析，瞬态响应分析，交流、直流、时变电荷载或机械荷载分析。

7. 多耦合场分析

多耦合场分析就是考虑两个或多个物理场之间的相互作用。ANSYS 统一数据库及多物理场分析并存的特点保证了其能够方便地进行耦合场分析，可以分析的耦合类型有：热—应力，磁—热、磁—结构，流体—热，流体—结构，热—电，电—磁—热—流体—应力。

8. 优化设计

优化设计是一种寻找最优设计方案的技术。ANSYS 程序提供多种优化方法，包括零阶方法和一阶方法等。对此，ANSYS 提供了一系列分析—评估—修正的过程。此外，ANSYS 程序还提供了一系列优化工具以提高优化过程的效率。



第2章 ANSYS 界面介绍

2.1 通用菜单

图 2-1 是 ANSYS 菜单窗口分布图，主要有通用菜单、输入窗口、工具栏、主菜单、图形窗口以及图形显示窗口等。通用菜单位于整个窗口的最上方，其主要命令如下。



图 2-1 ANSYS 菜单窗口分布

2.1.1 文件菜单（File）

文件菜单主要用于实现新建、打开、存储以及输出等功能，如图 2-2 所示。

Clear & Start New ...	清除或开始一个新的数据库
Change Jobname ...	更改工作文件名
Change Directory ...	更改工作目录
Change Title ...	更改工作标题
Resume Jobname.db ...	打开一个数据库
Resume from ...	从其他位置打开一个数据库
Save as Jobname.db	存储数据库为默认的文件名
Save as ...	另存数据库为
Write DB log file ...	记录数据库过程操作
Read Input from ...	读入ANSYS数据文件
Switch Output to ...	将数据文件转化为另外形式的文件
List	列表显示
File Operations	文件操作
ANSYS File Options ...	ANSYS文件选项
Import	导入其他形式的模型
Export ...	导出模型
Report Generator ...	计算报告生成器
Exit ...	退出ANSYS

图 2-2 文件菜单

2.1.2 选择菜单 (Select)

选择菜单主要用于组件和项目的选取与创建等功能，如图 2-3 所示。

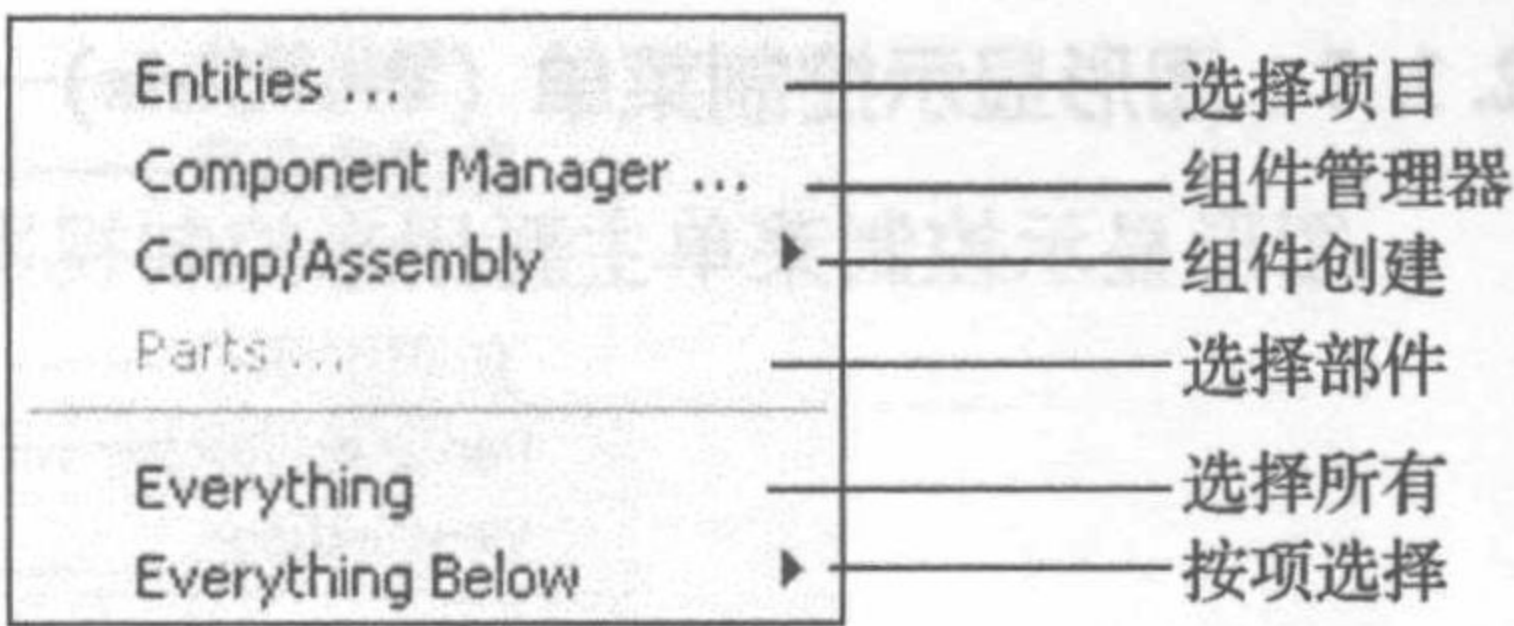


图 2-3 选择菜单

2.1.3 列表显示菜单 (List)

列表显示菜单主要用于显示文件信息、图形信息、组件信息以及属性信息等功能，如图 2-4 所示。

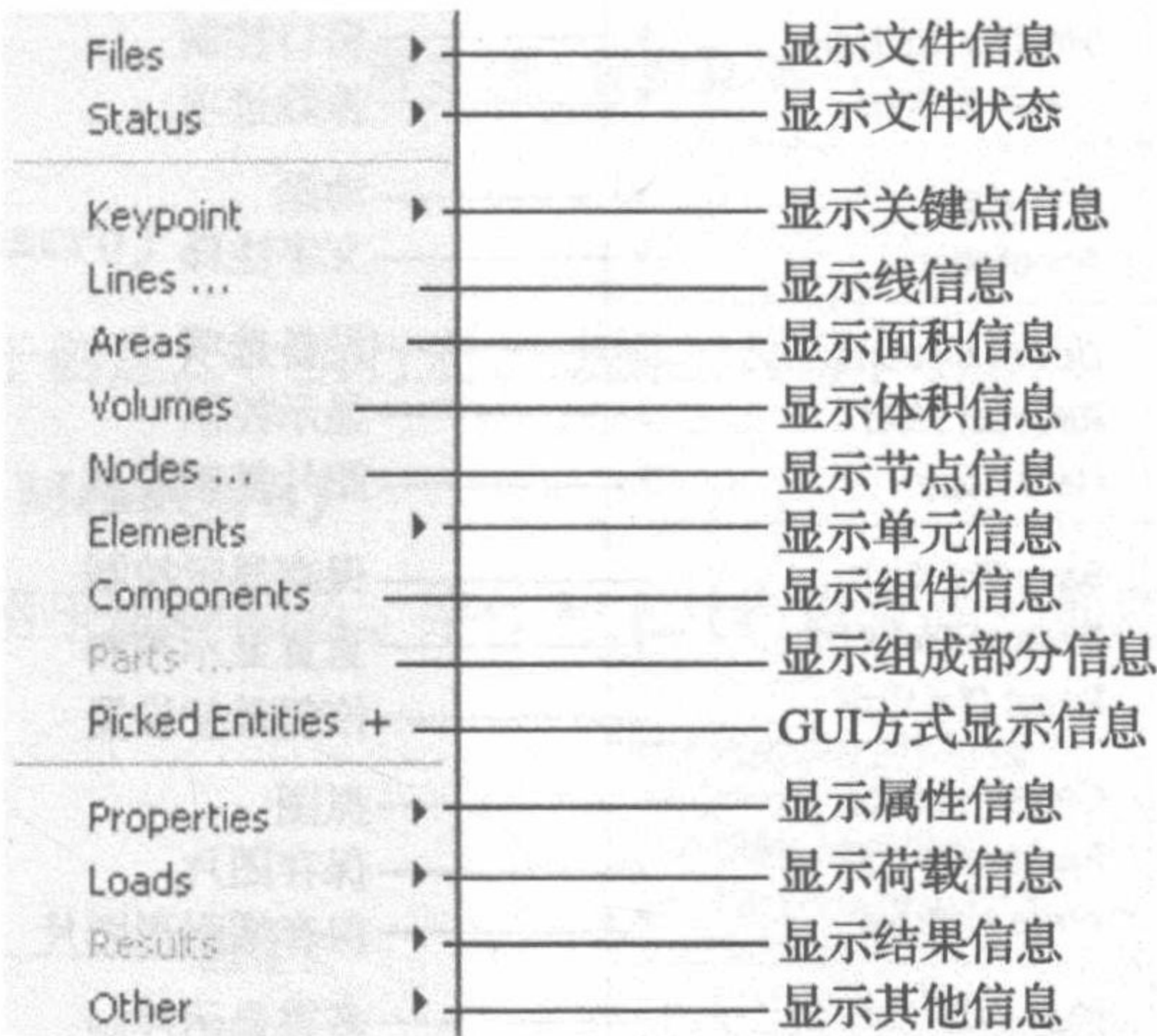


图 2-4 列表显示菜单

2.1.4 图形显示菜单 (Plot)

图形显示菜单主要用于显示图形单元、材料、数据表等信息，如图 2-5 所示。



图 2-5 图形显示菜单

2.1.5 图形显示控制菜单 (PlotCtrls)

图形显示控制菜单主要用来控制视图、字体、窗口、动画和设备等，如图 2-6 所示。

Pan Zoom Rotate ...	视图旋转放大
View Settings	视图设置
Numbering ...	数目符号控制
Symbols ...	标志控制
Style	风格控制
Font Controls	字体控制
Window Controls	窗口控制
Erase Options	擦除选项
Animate	动画
Annotation	文字注释
Device Options ...	设备选项
Redirect Plots	显示控制
Hard Copy	图片复制控制
Save Plot Ctrls ...	保存显示控制
Restore Plot Ctrls ...	重置显示控制
Reset Plot Ctrls	恢复最初设置
Capture Image ...	抓图
Restore Image ...	保存图片
Write Metafile	保存增强形图片
Multi-Plot Controls ...	多重显示控制
Multi-Window Layout ...	多重窗口控制
Best Quality Image	图片质量控制

图 2-6 图形显示控制菜单

2.1.6 工作平面菜单 (WorkPlane)

工作平面菜单主要用来操作工作平面以及坐标系统等，如图 2-7 所示。

Display Working Plane	显示工作平面
Show WP Status	显示工作平面信息
WP Settings ...	工作平面设置
Offset WP by Increments ...	工作平面偏移
Offset WP to	工作平面偏移位置
Align WP with	对齐工作平面
Change Active CS to	改变当前坐标系到
Change Display CS to	改变显示坐标系到
Local Coordinate Systems	当前坐标系系统

图 2-7 工作平面菜单

2.1.7 参数菜单 (Parameters)

参数菜单主要用来设置参数、操作矩阵和函数等，如图 2-8 所示。

Scalar Parameters ...	参数设置
Get Scalar Data ...	获取参数值
Array Parameters	矩阵参数设置
Get Array Data ...	获取矩阵值
Array Operations	矩阵操作
Functions	函数设置
Angular Units ...	角度单位
Save Parameters ...	保存参数
Restore Parameters ...	重置参数值

图 2-8 参数菜单

2.1.8 宏命令菜单 (Macro)

宏命令菜单主要用于创建宏、执行宏、编辑工具等，如图 2-9 所示。

2.1.9 菜单控制菜单 (MenuCtrls)

菜单控制菜单主要用于选择颜色、字体和工具栏设置等，如图 2-10 所示。

Create Macro ...	创建宏
Execute Macro ...	执行宏
Macro Search Path ...	宏命令执行路径
Execute Data Block ...	执行数据块
Edit Abbreviations ...	编辑简化工具按钮
Save Abbr ...	保存简化工具按钮
Restore Abbr ...	重置简化工具按钮

图 2-9 宏命令菜单

Mechanical Toolbar	机械工具栏按钮
Color Selection ...	颜色选择
Font Selection ...	字体选择
Update Toolbar	更新工具栏
Edit Toolbar ...	编辑工具栏
Save Toolbar ...	保存工具栏
Restore Toolbar ...	重置工具栏
Message Controls ...	信息控制
Save Menu Layout	保存菜单窗口布置

图 2-10 菜单控制菜单

2.2 主菜单

主菜单包括优选项菜单、前处理、求解、通用后处理、时间历程后处理、拓扑优化、优化设计、概论设计、运行统计和完成等功能，如图 2-11 所示。

2.2.1 Preprocessor 优选项菜单

Preprocessor 优选项菜单主要包括单元类型、实参数、材料参数、段设置、建模、网格划分、编号控制、荷载设置和路径设置等功能，是分析工程问题的前处理过程，如图 2-12 所示。单元类型要求对工程问题进行类型选择，其中有梁单元、2D 单元、实体单元、管单元、壳单元等，涉及弹性力学中的平面应力问题、平面应变问题以及轴对称问题。实参数里面包括模型的面积设置、惯性矩设置等，是构成实体模型的重要组成部分。材料参数中有弹性模量、泊松比、密度、热膨胀系数等参数的设置，是赋予材料性质的重要途径。

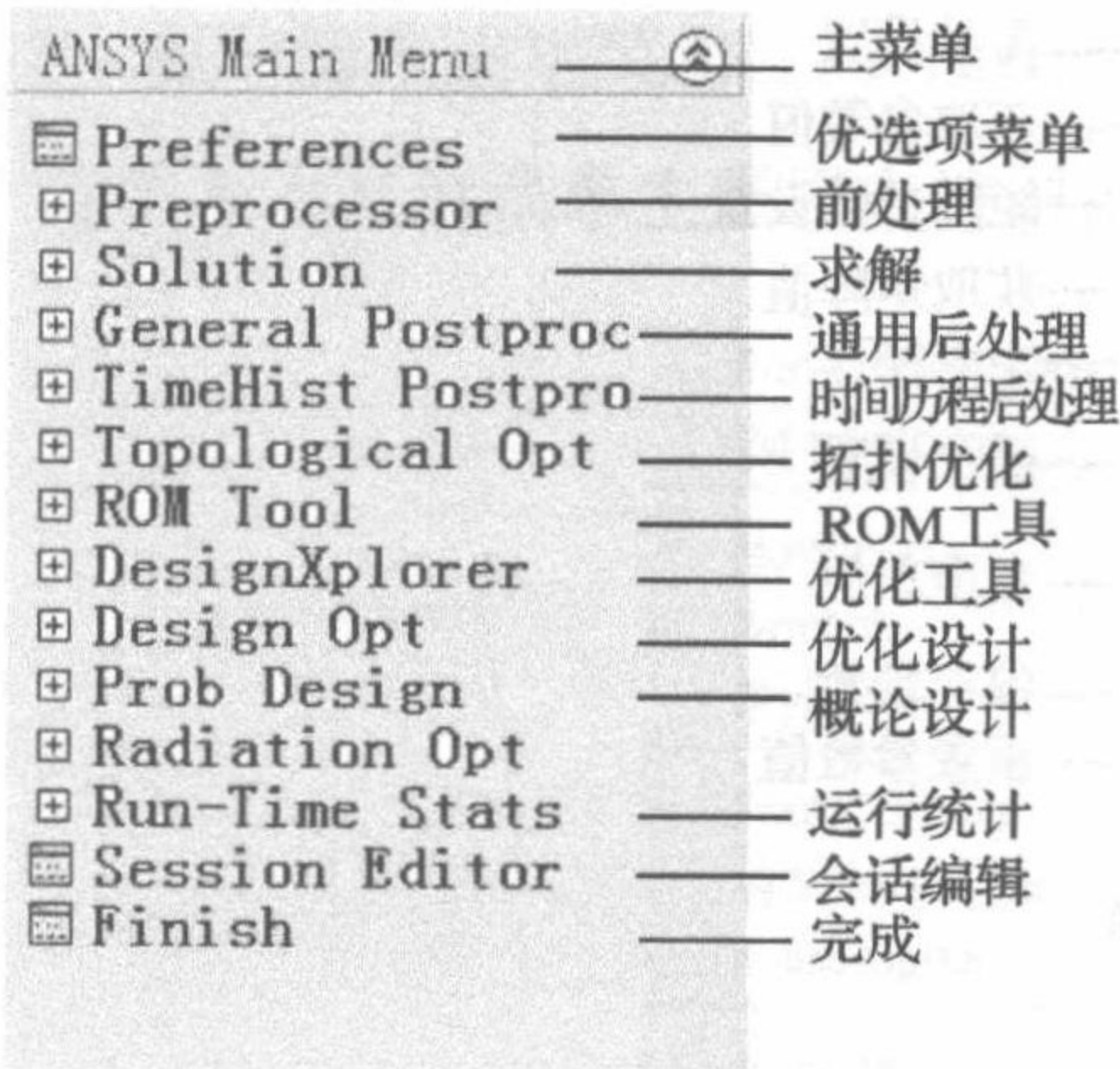


图 2-11 主菜单



图 2-12 Preprocessor 优选项菜单

2.2.2 Solution 求解

Solution 求解主要用于对前处理的模型进行边界条件设置和计算，主要包括分析类型、定义荷载、荷载步选项、结果跟踪和求解等功能，如图 2-13 所示。

2.2.3 General Postproc 通用后处理

General Postproc 通用后处理主要包括数据和文件选项、结果汇总、读取结果、输出选项、结果查看和定义/修改等功能，分析计算后的模型结果，如图 2-14 所示。通过云图、列表显示、等值线显示等图形表达计算结果。

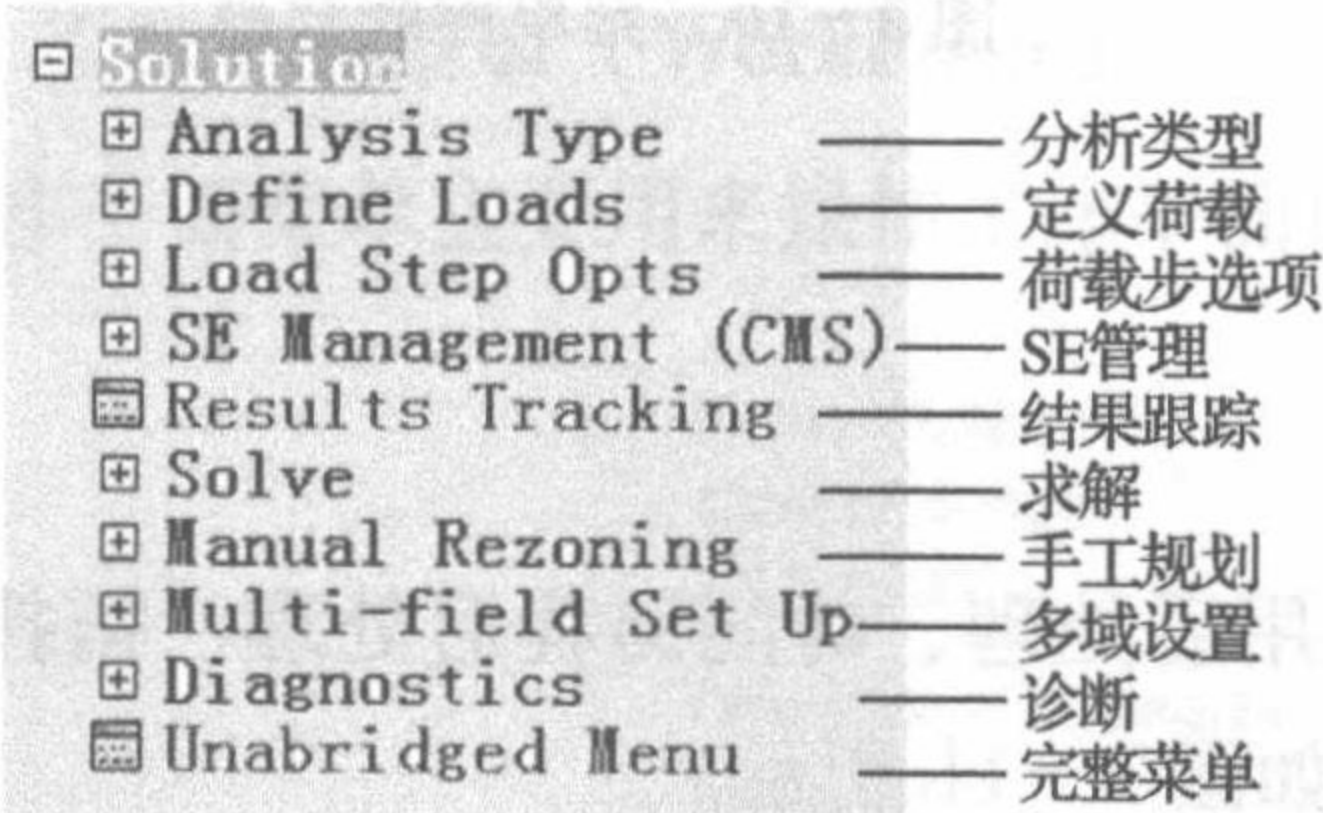


图 2-13 求解

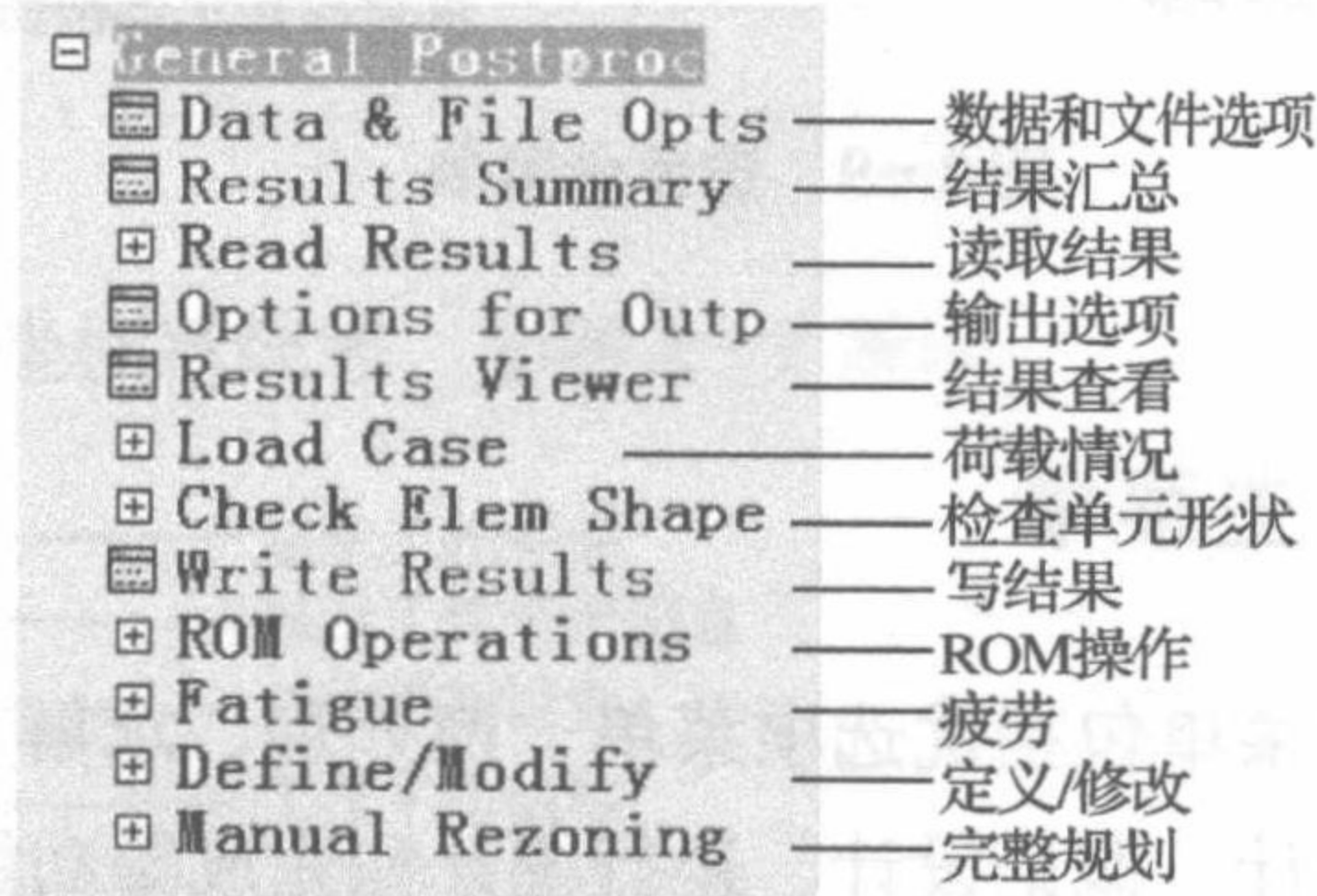


图 2-14 通用后处理

2.2.4 TimeHist Postpro 时间历程后处理

TimeHist Postpro 时间历程后处理主要包括变量观察器、设置、定义变量、图形变量和数字操作等功能，用于对图形结果进行路径表示、数字操作等分析，如图 2-15 所示。

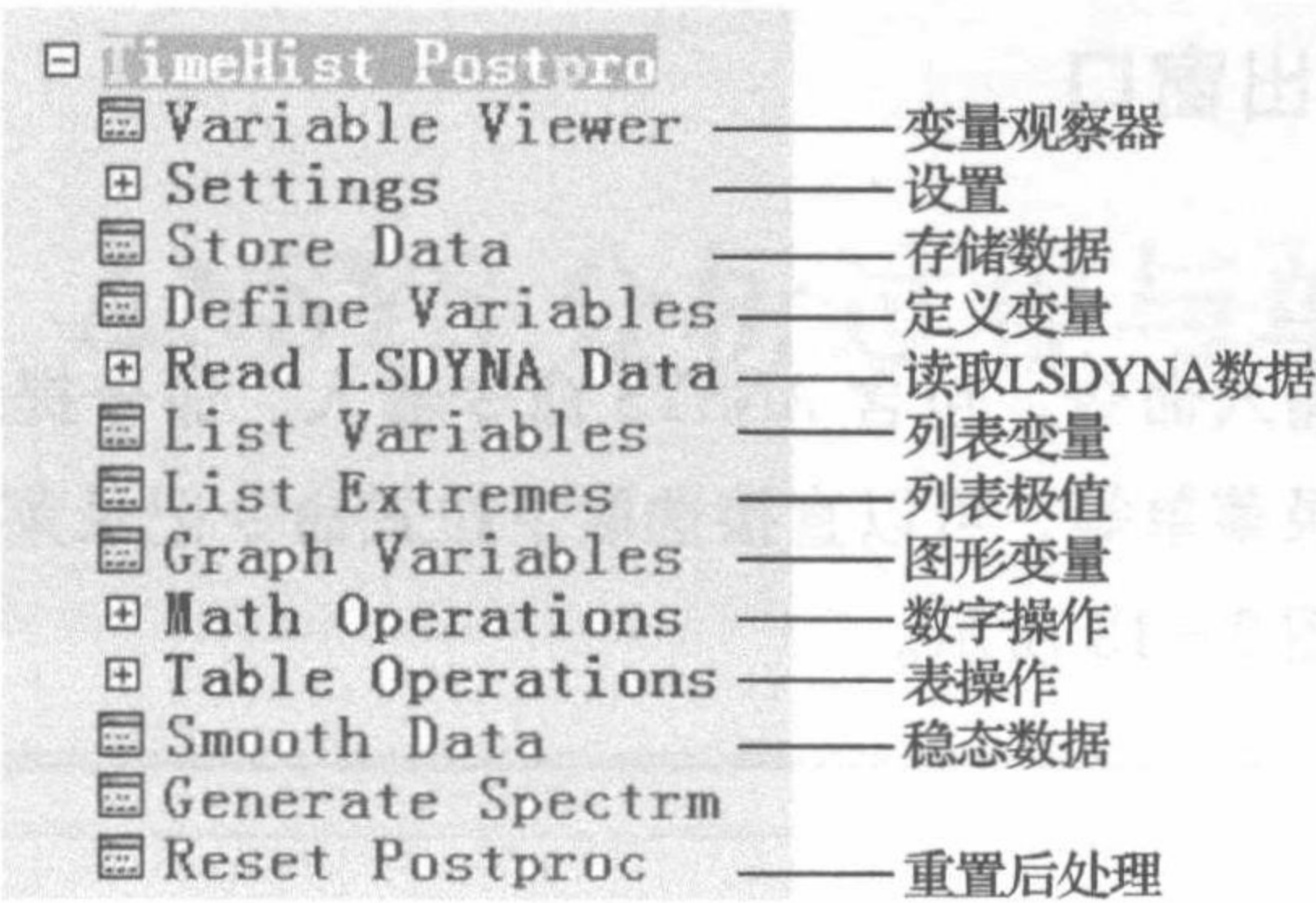


图 2-15 时间历程后处理

2.3 工具栏与图形窗口

工具栏是执行命令的快捷方式，以便随时单击执行缩写命令或者宏文件等。默认的按钮从左到右依次为“存储数据库文件 (SAVE_DB)”按钮、“恢复数据库文件 (RESUM_DB)”按钮、“退出 ANSYS (QUIT)”按钮和“图形显示模式切换按钮 (POWRGRPH)”按钮，用户可以根据个人使用习惯来增加快捷按钮，如图 2-16 所示。

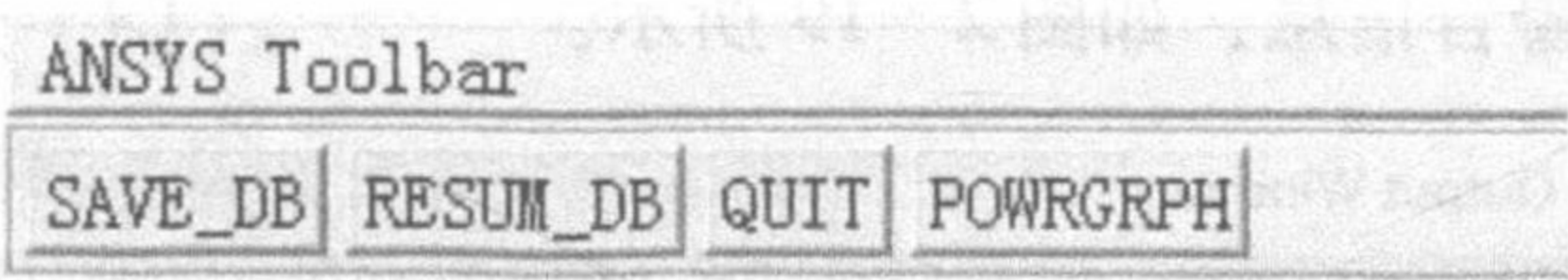


图 2-16 工具栏

图形用户界面或者 GUI 是一个允许使用键盘、指点设备（鼠标、跟踪球或者触摸板）及显示器与计算机进行交互的程序。输入来自于键盘和指点设备，输出显示在显示器上。界面的设计不仅包含字符，还包含窗口、图形和图标（小图形），而且所有这些东西都是可操控的。在显示信息时，广义地讲，有两种类型的数据，即文本（字符）和图形（图像），因此将其命名为图形用户界面。

图形显示控制按钮由若干快捷键组成，提供快速的图形显示控制，可以方便地实现图形的平移、旋转和缩放等操作，如图 2-17 所示。

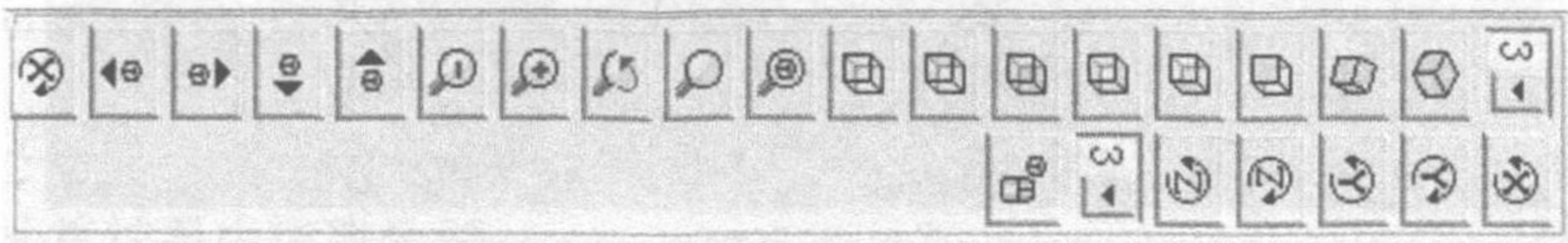


图 2-17 图形显示控制按钮