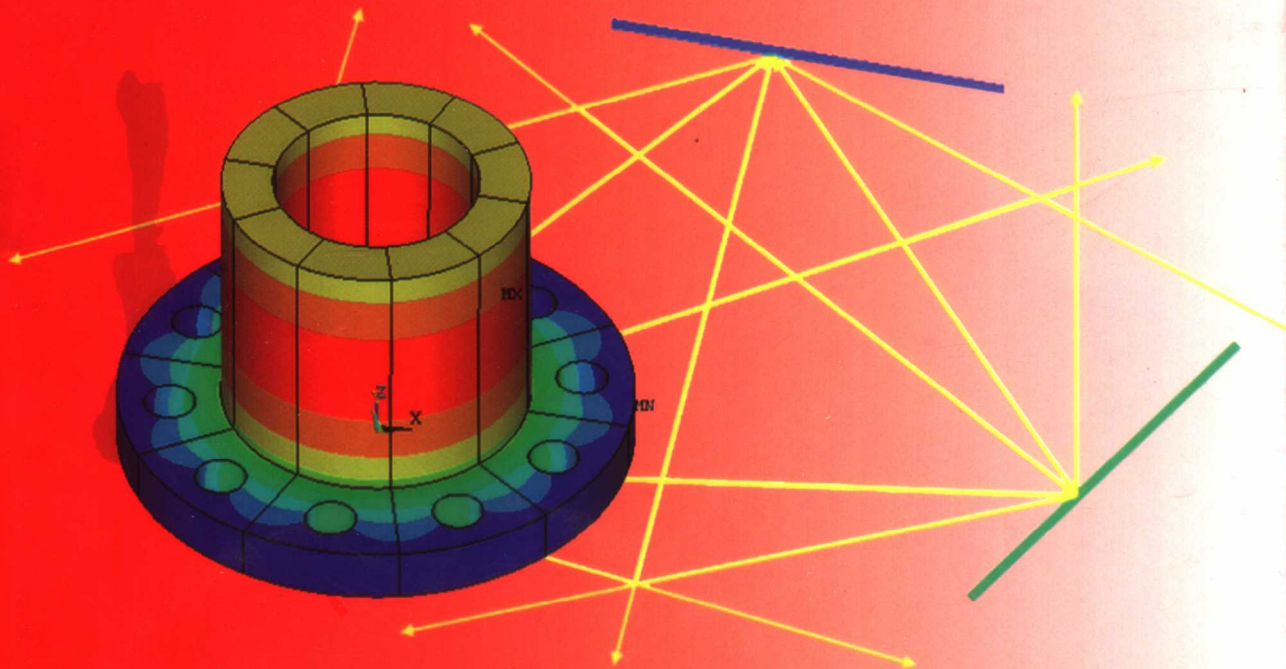


计算机辅助分析实例指导丛书



ANSYS 10.0

热力学有限元分析

三维书屋工作室

实例指导教程

张国智 胡仁喜 陈继刚 等编著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

计算机辅助分析实例指导丛书

ANSYS 10.0 热力学有限元分析 实例指导教程

三维书屋工作室

张国智 胡仁喜 陈继刚 等编著

机械工业出版社

ANSYS10.0 软件是融结构、热、流体、电磁、声学多物理场于一体的大型通用有限元分析软件,包括多个模块,不但可进行隐式分析,也可进行显式分析,并且可进行多物理场间的复杂耦合分析。

本书分为两篇。第一篇讲述了基本传热学理论,应用 ANSYS10.0 进行稳态、瞬态热分析的基本思路,以及进行非线性分析的注意事项。第二篇结合热分析工程实例,这些实例涵盖了坯料电磁感应加热、零件淬火、铸造、锻造、焊接、热电耦合分析等典型应用,由浅入深,详细讲述了应用 ANSYS10.0 进行热分析的基本操作步骤。本书注重方法和思路,重点介绍了应用 ANSYS10.0 进行与热相关的耦合分析方法,包括间接耦合分析、直接耦合分析;耦合场领域,包括热-结构耦合、热-流体耦合、热-电耦合、热-电-磁耦合等,以及隐式热-结构-显式联合应用进行分析的方法。

本书可供汽车、压力容器、国防军工、土木工程、金属热加工等行业的技术、研发人员进行热分析与产品开发使用,也可以作为大学本科与研究生进行热分析学习的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS10.0 热力学有限元分析实例指导教程/张国智等编著.

—北京:机械工业出版社,2007.6

(计算机辅助分析实例指导丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 21338 - 3

I. A… II. 张… III. 热力学—有限元分析—应用程序, ANSYS10.0
—教材 IV. 0414.1 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 055795 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:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 25.75 印张 · 636 千字

0001—5000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 21338 - 3

ISBN 978 - 7 - 89482 - 154 - 6(光盘)

定价:56.00 元(含 1CD)

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

封面防伪标均为盗版

前言

有限元法作为工程应用较为广泛的一种计算方法，自 20 世纪中叶以来，以其独有的计算优势得到了广泛的发展和应用。根据不同的有限元算法，产生了一批非常成熟的通用和专业有限元商业软件。随着计算机技术的飞速发展，各种工程软件也得以广泛应用。ANSYS 软件以它的多物理场耦合分析功能而成为 CAE 软件的应用主流，在热分析工程应用中得到了较为广泛的应用。

ANSYS 软件是融结构、热、流体、电磁、声学多物理场于一体的大型通用有限元分析软件，由世界上著名的有限元分析软件公司——美国 ANSYS 公司开发。它提供与多数 CAD 软件的接口，实现数据共享和交换，同时也提供给用户以 ANSYS 为平台进行开发的各种工具。

ANSYS 功能强大，操作简单方便。本书以 ANSYS10.0 为平台，对 ANSYS10.0 热分析与与热相关的耦合场分析的基本思路、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 ANSYS10.0 具体工程应用方法。

本书分为两部分。第一部分为热分析基本教程篇，包括：第 1 章，介绍了 ANSYS10.0 的热分析及耦合场分析能力，以及常用的拾取和显示操作方法；第 2 章，介绍了传热学的基本理论；第 3 章，介绍了 ANSYS10.0 稳态热分析的基本步骤；第 4 章，介绍了 ANSYS10.0 瞬态热分析的基本思路和步骤；第 5 章，介绍了 ANSYS10.0 瞬态热分析的基本思路和步骤；第 6 章，介绍了 ANSYS10.0 相变分析的基本步骤；第 7 章，介绍了 ANSYSFLOTTRAN CFD 分析的基本步骤；第 8 章，介绍了在热分析中应用到的自适应网格划分及生死单元技术；第 9 章，介绍了与温度场相关的 ANSYS10.0 耦合场分析方法，并重点介绍了间接手工热——应力耦合分析方法。第二部分为热分析工程应用实例详解篇，该篇涵盖了热分析典型工程应用，包括：第 10 章，详细介绍了电线生热、蒸汽管、热力管、肋片换热器等稳态热分析的 ANSYS10.0 操作步骤；第 11 章，详细介绍了钢板加热过程、钢制零件淬油过程、温度控制加热器、两环形零件在一圆筒形水箱中的冷却过程等瞬态热分析的 ANSYS10.0 操作步骤；第 12 章，详细介绍了黑体热辐射、两同心圆柱体间热辐射、长方体形坯料空冷过程分析、圆台形物体等热辐射分析的 ANSYS10.0 操作步骤；第 13 章，详细介绍了茶杯中水结冰过程分析、零件铸造过程分析、焊接件两焊缝在顺序焊接过程中的分析等相变分析的 ANSYS10.0 操作步骤；第 14 章，详细介绍了应用 CFD 进行长方体热辐射、换热器分析的 ANSYS10.0 操作步骤；第 15 章，详细介绍了两个膨胀系数不同的物体的热应力分析、两厚壁筒热应力分析、两物体热接触分析、扁挤压筒的热结构耦合分析、圆柱形坯料镦粗过程分析等热结构耦合 ANSYS10.0 操作步骤；第 16 章，详细介绍了两物体相对滑动和相对转动过程中的摩擦生热分析的 ANSYS 操作步骤；第 17 章，为高级应用实例详解，主要介绍了地下弥散过程分析、应用自适应网格技术的矩形截面梁的稳态热分析、热电耦合分析、电磁感应加热分析等的 ANSYS10.0 操作步骤。

本书适合 ANSYS10.0 热分析初学者阅读，也适合期望提高热分析工程应用能力的读者使用。本书所举实例具有典型性、新颖性的特点。随书配送的光盘，包括全书所有实例的 APDL 程序文件，读者可以轻松快捷地掌握 ANSYS10.0 热分析的操作技巧和工程应用方法。

由于时间仓促加之作者水平有限，书中的错误、纰漏之处在所难免，欢迎广大读者、业内人士批评指正。有任何问题请与作者联系：guozhi_z@126.com。

编者

目 录

前言

第 1 篇 热分析基本教程.....	1
第 1 章 ANSYS10.0 热分析简介及常用操作.....	1
1.1 ANSYS10.0 热分析简介.....	1
1.1.1 ANSYS10.0 的热分析能力.....	1
1.1.2 ANSYS10.0 热分析分类.....	2
1.1.3 ANSYS10.0 中与热相关的耦合场分析种类.....	2
1.1.4 ANSYS10.0 中热分析单元简介.....	3
1.2 ANSYS10.0 中的常用操作.....	6
1.2.1 拾取操作.....	6
1.2.2 显示操作.....	7
第 2 章 热分析基础知识.....	10
2.1 传热学基本理论.....	10
2.1.1 符号与单位.....	10
2.1.2 热传递的方式.....	11
2.1.3 热力学第一定律.....	13
2.1.4 热分析的控制方程.....	14
2.2 热分析有限元法.....	14
2.3 热分析网格划分误差及计算误差估计.....	16
第 3 章 稳态热分析.....	18
3.1 稳态热分析概述.....	18
3.1.1 稳态热分析定义.....	18
3.1.2 稳态热分析的控制方程.....	18
3.2 热载荷和边界条件的类型.....	19
3.2.1 概述.....	19
3.2.2 热载荷和边界条件注意事项.....	20
3.3 稳态热分析基本步骤.....	20
第 4 章 瞬态热分析与非线性热分析.....	23
4.1 瞬态热分析概述.....	23
4.1.1 瞬态热分析特性.....	23
4.1.2 瞬态分析前处理考虑因素.....	24
4.1.3 控制方程.....	24
4.1.4 时间积分与时间步长预测.....	25
4.1.5 时间步长设置.....	26

4.1.6 数值求解过程.....	27
4.1.7 瞬态分析准确程度的评估.....	27
4.1.8 初始条件的施加.....	28
4.2 非线性分析综述.....	30
4.2.1 非线性分析特点.....	30
4.2.2 稳态非线性求解过程.....	30
4.2.3 非线性分析步骤.....	31
第5章 热辐射分析.....	40
5.1 热辐射基本理论及在 ANSYS10.0 中的处理方法.....	40
5.1.1 热辐射特性.....	40
5.1.2 热辐射基本术语.....	41
5.1.3 ANSYS10.0 中热辐射的处理方法.....	44
5.2 ANSYS10.0 中辐射建模方法.....	44
5.2.1 使用辐射单元建立辐射模型.....	45
5.2.2 使用表面效应单元建立辐射模型.....	46
5.2.3 使用辐射矩阵单元建立辐射模型.....	48
第6章 相变分析.....	54
6.1 相变基本术语.....	54
6.1.1 相和相变.....	54
6.1.2 潜热和焓.....	55
6.2 ANSYS10.0 中的相变分析基本思路及求解设置.....	56
6.2.1 相变分析基本思路.....	56
6.2.2 求解设置.....	58
第7章 FLOTTRAN CFD 分析简介.....	61
7.1 FLOTTRAN CFD 分析概述.....	61
7.1.1 FLOTTRAN CFD 分析的概念.....	61
7.1.2 FLOTTRAN CFD 分析的种类.....	62
7.2 FLOTTRAN CFD 分析基础.....	63
7.2.1 FLOTTRAN CFD 单元的特点.....	63
7.2.2 FLOTTRAN CFD 分析的一些限制及注意事项.....	63
7.2.3 FLOTTRAN CFD 分析的主要步骤.....	65
7.2.4 FLOTTRAN CFD 分析中产生的一些文件.....	66
7.2.5 FLOTTRAN CFD 分析中提高收敛性和稳定性的常用工具.....	66
7.2.6 FLOTTRAN CFD 分析过程中应处理的问题.....	68
第8章 自适应网格划分及生死单元技术.....	71
8.1 自适应网格划分技术.....	71

8.1.1	自适应网格划分技术定义.....	71
8.1.2	自适应网格划分的先决条件.....	72
8.1.3	自适应网格划分技术的应用方法.....	72
8.1.4	定制 ADAPT 宏 (UADAPT.MAC).....	75
8.1.5	自适应网格划分的一些说明.....	76
8.2	生死单元技术.....	77
8.2.1	单元的生和死的定义.....	77
8.2.2	单元生死的基本原理.....	78
8.2.3	使用 ANSYS10.0 结果控制单元生死方法.....	80
8.2.4	单元生死技术的注意事项.....	82
第9章	与温度场相关的耦合场分析.....	83
9.1	耦合场分析概述.....	83
9.1.1	耦合场分析的定义.....	83
9.1.2	耦合场分析的类型.....	84
9.1.3	直接耦合解法或间接耦合解法的应用范围.....	86
9.1.4	涉及热分析的直接耦合和间接耦合分析典型应用实例.....	87
9.2	间接手工热-应力耦合分析.....	88
9.2.1	基本特点.....	88
9.2.2	基本过程.....	89
9.2.3	基本操作步骤.....	90
9.3	摩擦生热在 ANSYS10.0 中的计算方法.....	92
第2篇	热分析工程应用实例详解.....	94
第10章	稳态热分析实例详解.....	94
10.1	实例一——电线生热分析.....	94
10.1.1	问题描述.....	94
10.1.2	问题分析.....	95
10.1.3	GUI 操作步骤.....	95
10.1.4	总结.....	109
10.1.5	APDL 命令流程序.....	109
10.2	实例二——蒸汽管分析.....	112
10.2.1	问题描述.....	112
10.2.2	问题分析.....	113
10.2.3	GUI 操作步骤.....	113
10.2.4	总结.....	125
10.3	实例三——热力管分析.....	125
10.3.1	问题描述.....	125
10.3.2	问题分析.....	125
10.3.3	GUI 操作步骤.....	126

10.3.4 总结	142
10.4 实例四——肋片换热器分析	142
10.4.1 问题描述	142
10.4.2 问题分析	142
10.4.3 GUI 操作步骤	143
10.4.4 总结	149
第 11 章 瞬态热分析实例详解	150
11.1 实例一——钢板加热过程分析	150
11.1.1 问题描述	150
11.1.2 问题分析	151
11.1.3 GUI 操作步骤	151
11.1.4 总结	157
11.1.5 APDL 命令流程序	158
11.2 实例二——钢制零件淬油过程分析	160
11.2.1 问题描述	160
11.2.2 问题分析	161
11.2.3 GUI 操作步骤	161
11.2.4 总结	167
11.3 实例三——温度控制加热器分析	167
11.3.1 问题描述	167
11.3.2 问题分析	168
11.3.3 GUI 操作步骤	168
11.3.4 总结	175
11.4 实例四——两环形零件在一圆筒形水箱中冷却过程分析	176
11.4.1 问题描述	176
11.4.2 问题分析	176
11.4.3 GUI 操作步骤	176
11.4.4 总结	182
第 12 章 热辐射分析实例详解	183
12.1 实例一——黑体热辐射分析	183
12.1.1 问题描述	183
12.1.2 问题分析	184
12.1.3 GUI 操作步骤	184
12.1.4 总结	187
12.1.5 APDL 命令流程序	187
12.2 实例二——两同心圆柱体间热辐射分析	188
12.2.1 问题描述	188
12.2.2 问题分析	189

12.2.3 GUI 操作步骤.....	189
12.2.4 总结.....	198
12.3 实例三——长方体形坯料空冷过程分析.....	198
12.3.1 问题描述.....	198
12.3.2 问题分析.....	199
12.3.3 GUI 操作步骤.....	199
12.3.4 总结.....	204
12.4 实例四——圆台形物体热辐射分析.....	204
12.4.1 问题描述.....	204
12.4.2 问题分析.....	205
12.4.3 GUI 操作步骤.....	205
12.4.4 总结.....	211
第 13 章 相变分析实例详解.....	212
13.1 实例一——茶杯中水结冰过程分析.....	212
13.1.1 问题描述.....	212
13.1.2 问题分析.....	213
13.1.3 GUI 操作步骤.....	213
13.1.4 总结.....	225
13.1.5 APDL 命令程序.....	225
13.2 实例二——某零件铸造过程分析.....	228
13.2.1 问题描述.....	228
13.2.2 问题分析.....	229
13.2.3 GUI 操作步骤.....	229
13.2.4 总结.....	237
13.3 实例三——某焊接件的两条焊缝在顺序焊接过程中的分析.....	237
13.3.1 问题描述.....	237
13.3.2 问题分析.....	238
13.3.3 GUI 操作步骤.....	238
13.3.4 总结.....	247
第 14 章 CFD 分析实例详解.....	248
14.1 实例一——长方体热辐射分析.....	248
14.1.1 问题描述.....	248
14.1.2 问题分析.....	249
14.1.3 GUI 操作步骤.....	249
14.1.4 总结.....	255
14.1.5 APDL 命令程序.....	256
14.2 实例二——某换热器分析.....	257
14.2.1 问题描述.....	257

14.2.2 问题分析	258
14.2.3 GUI 操作步骤	258
14.2.4 总结	269
第 15 章 热结构耦合分析实例详解	270
15.1 实例一——两不同膨胀系数的物体热应力分析	270
15.1.1 问题描述	270
15.1.2 问题分析	271
15.1.3 GUI 操作步骤	271
15.1.4 总结	278
15.1.5 APDL 命令程序	278
15.2 实例二——两厚壁筒热应力分析	279
15.2.1 问题描述	279
15.2.2 问题分析	280
15.2.3 GUI 操作步骤	280
15.2.4 总结	289
15.3 实例三——两物体热接触分析	290
15.3.1 问题描述	290
15.3.2 问题分析	290
15.3.3 GUI 操作步骤	291
15.3.4 总结	298
15.4 实例四——某扁挤压筒的热结构耦合分析	298
15.4.1 问题描述	298
15.4.2 问题分析	299
15.4.3 GUI 操作步骤	299
15.4.4 总结	307
15.5 实例五——圆柱形坯料镦粗过程分析	307
15.5.1 问题描述	307
15.5.2 问题分析	308
15.5.3 GUI 操作步骤	308
15.5.4 总结	317
第 16 章 摩擦生热分析实例详解	318
16.1 实例一——两物体相对滑动过程中的摩擦生热分析	318
16.1.1 问题描述	318
16.1.2 问题分析	319
16.1.3 GUI 操作步骤	319
16.1.4 总结	327
16.1.5 APDL 命令程序	327
16.2 实例二——两物体相对转动过程中的摩擦生热分析	332

16.2.1 问题描述	332
16.2.2 问题分析	333
16.2.3 GUI 操作步骤	333
16.2.4 总结	339
第 17 章 高级应用实例详解	340
17.1 实例一——地下弥散过程分析	340
17.1.1 问题描述	340
17.1.2 问题分析	341
17.1.3 GUI 操作步骤	341
17.1.4 总结	344
17.1.5 APDL 命令程序	345
17.2 实例二——矩形截面梁稳态热交换过程的分析	346
17.2.1 问题描述	346
17.2.2 问题分析	347
17.2.3 GUI 操作步骤	347
17.2.4 总结	351
17.3 实例三——表面受变压力载荷的矩形截面梁的分析	351
17.3.1 问题描述	351
17.3.2 问题分析	352
17.3.3 GUI 操作步骤	352
17.3.4 总结	358
17.4 实例四——矩形梁的隐式热分析、隐式结构分析和显式分析	359
17.4.1 问题描述	359
17.4.2 问题分析	359
17.4.3 GUI 操作步骤	360
17.4.4 总结	371
17.5 实例五——由铜板连接的两半导体的热电耦合分析	372
17.5.1 问题描述	372
17.5.2 问题分析	373
17.5.3 GUI 操作步骤	373
17.5.4 总结	379
17.6 实例六——圆柱形坯料的电磁感应加热过程的分析	379
17.6.1 问题描述	379
17.6.2 问题分析	380
17.6.3 GUI 操作步骤	381
17.6.4 总结	398
参考文献	399
后记	400

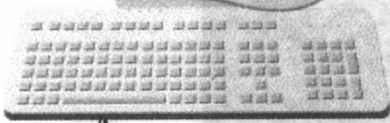
第 1 篇 热分析基本教程

第 1 章 ANSYS10.0 热分析简介及常用操作



内容
提要

本章主要简单介绍了 ANSYS10.0 热分析能力、及热分析单元(包括与热相关的耦合场分析单元),并详细讲述了应用 ANSYS10.0 进行分析时常用的拾取、显示操作方法。



本章重点

- ANSYS10.0 热分析能力简介。
- ANSYS10.0 热分析单元简介。
- ANSYS10.0 中拾取、显示操作。



学习目标

掌握 ANSYS10.0 热分析模块分析能力,对各热分析单元的特点和应用范围有所了解,掌握应用 ANSYS10.0 进行分析时的拾取和显示等常用操作。

1.1 ANSYS10.0 热分析简介

1.1.1 ANSYS10.0 的热分析能力

热分析用于计算一个系统或部件的温度分布及其他热物理参数,如热量的获取或损失、热梯度、热流密度(热通量)等。热分析在许多工程应用中扮演重要角色,如内燃机、涡轮机、换热器、管路系统、电子元件、锻造、铸造等。

在 ANSYS/Multiphysics、ANSYS/Mechanical、ANSYS/Thermal、ANSYS/FLOTRAN、ANSYS/ED 等 5 种产品中包含热分析功能,其中 ANSYS/FLOTRAN 不包含相变热分析。ANSYS10.0 热分析基于能量守恒原理的热平衡方程,用有限元法计算各节点的温度,并导出其他热物理参数。ANSYS10.0 热分析包括热传导、热对流及热辐射 3 种热传递方式,此

外还可以分析相变、有内热源、接触热阻等问题。

从所安装程序中, 点击 ANSYS10.0 > ANSYS Product Launcher, 弹出如图 1-1 所示的“ANSYS10.0 分析模块选择界面”对话框, 在 License 中选择分析模块, 在本书练习中, 均选择 ANSYS Mechanical/Emag/LS-DYNA 模块, 当然也可选择其他模块, 在第 14 章中选择 ANSYS/Structural/FLOTRAN/Prepost LS-DYNA 分析模块。在 Working Directory 中设置工作目录, 在 Job Name 中输入初始文件名, 也可进入 ANSYS10.0 后, 更改工作文件名。选择分析模块, 并设置工作目录和分析文件名后, 点击 Run, 进入 ANSYS10.0。

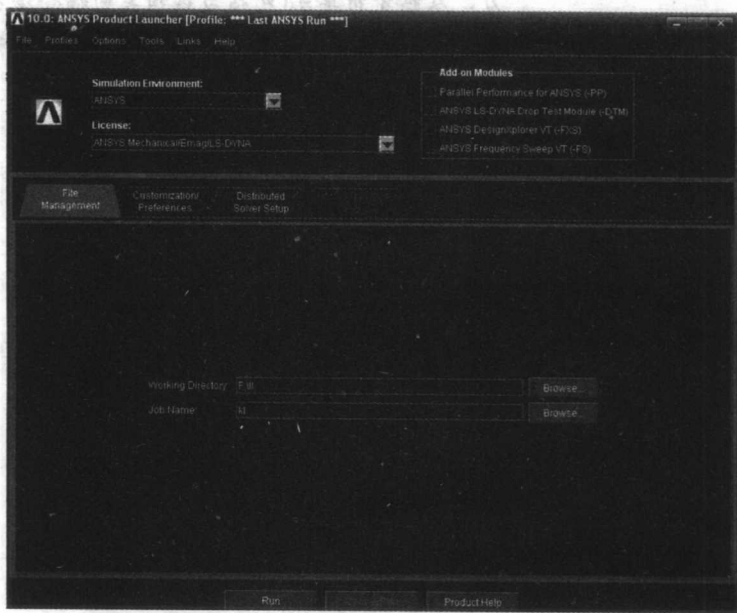


图 1-1 ANSYS10.0 分析模块选择界面

1.1.2 ANSYS10.0 热分析分类

在 ANSYS10.0 中, 热分析主要分两大类:

- 1) 稳态传热: 系统的温度场不随时间变化。
- 2) 瞬态传热: 系统的温度场随时间明显变化。

1.1.3 ANSYS10.0 中与热相关的耦合场分析种类

在 ANSYS10.0 中, 与热相关的耦合场分析主要有以下几种:

- 1) 热—结构耦合。
- 2) 热—流体耦合。
- 3) 热—电耦合。
- 4) 热—磁耦合。
- 5) 热—电—磁—结构耦合。

1.1.4 ANSYS10.0 中热分析单元简介

1. PLANE35——二维 6 节点三角形热实体

它是一个与 8 节点 PLANE77 单元兼容的三角形单元,适用于形状不规则的模型(例如从不同的 CAD/CAM 系统产生的模型)划分网格,只有 1 个温度自由度。

适用于二维的稳态或瞬态热分析。如果包含该单元的模型还需进行结构分析,可被 1 个等效的结构单元(如 PLANE2)所代替。可用作平面单元或轴对称环单元。

2. PLANE55——二维热实体

可作为 1 个具有二维热传导能力的平面或轴对称环单元使用,具有 4 个节点,每个节点只有 1 个温度自由度。此单元有 1 个选项,用来模拟通过多孔介质的非线性稳态流动(渗流)。此时,原有的热参数被解释成相似的流体流动参数。

可用于二维稳态或瞬态热分析问题,并可以补偿由于恒定速度场带来的质量输运热流。如果包含热单元的模型还需进行结构分析,该单元应当被 1 个等效的结构单元(如 PLANE42)所代替。

3. PLANE75——轴对称谐分析热实体

可作为具有三维导热能力的轴对称单元使用,有 4 个节点,每个节点只有 1 个温度自由度。它是 PLANE55 单元轴对称型的一般形式,可承受非轴对称载荷。在剪切偏移中描述了各种载荷情况。

该单元可用于二维轴对称的稳态或瞬态热分析问题。与其等效的结构单元是 PLANE25,相似的带中间节点的单元是 PLANE78。

4. PLANE77——二维 8 节点热实体

是 PLANE55 的高阶形式,每个节点只有 1 个温度自由度。8 节点单元有协调的温度形函数,尤其适用于描述弯曲的边界。

5. PLANE78——8 节点轴对称谐分析热实体

可作为具有三维导热能力的轴对称单元使用。每个节点只有 1 个温度自由度。它是 PLANE77 单元的一般形式,可承受非轴对称载荷,在剪切偏移中描述了各种载荷情况。

8 节点单元有协调的温度形函数,尤其适用于描述弯曲的边界。该单元可用于二维轴对称的稳态或瞬态热分析问题。与其对应的结构单元是 PLANE83。

6. SOLID70——三维热实体

具有 8 个节点,每个节点有 1 个温度自由度。该单元可用于三维的稳态或瞬态的热分析问题,并可补偿由于恒定速度场质量输运带来的热流损失。如果包含热实体单元的模型还需进行结构分析,可被 1 个等效的结构单元(如 SOLID45)所代替

此单元有 1 个选项,用来模拟通过多孔介质的非线性稳态流动。此时,原有的热参数被解释成相似的流体流动参数,例如温度自由度等效为压力自由度。

7. SOLID87——三维 10 节点四面体热实体

特别适合于对不规则的模型(例如从不同的 CAD/CAM 系统产生的模型)划分网格。每个节点只有 1 个温度自由度。

可用于三维的热稳态或瞬态分析问题,其等效的结构单元如 SOLID92。

8. SOLID90——三维 20 节点热实体

是三维的 8 节点热单元 SOLID70 的高阶形式。20 个节点，每个节点一个温度自由度。20 节点单元有协调的温度形函数，尤其适用于描述弯曲的边界。

适用于三维的稳态或瞬态热分析问题。与其等效的结构单元是 SOLID95。

9. LINK31——辐射单元

用于模拟空间两点间辐射热流率的单轴单元。每个节点有 1 个自由度。可用于二维（平面或轴对称）或三维的稳态或瞬态热分析问题。

允许形状因子和面积分别乘以温度的经验公式是有效的。发射率可与温度相关。如果包含热辐射单元的模型还需要进行结构分析，辐射单元应当被 1 个等效的或（空）结构单元所代替。

10. LINK32——二维传导杆

用于两节点间热传导的单轴单元。该单元每个节点只有 1 个温度自由度。可用于二维（平面或轴对称）的稳态或瞬态热分析问题。

如果包含热传导杆单元的模型还需进行结构分析，该单元可被一个等效的结构单元所代替。

11. LINK33——三维传导杆

用于节点间热传导的单轴单元。该单元每个节点只有 1 个温度自由度。可用于稳态或瞬态的热分析问题。

如果包含热传导杆单元的模型还需进行结构分析，该单元可被 1 个等效的结构单元所代替。

12. LINK34——对流单元

用于模拟节点间热对流的单轴单元。该单元每个节点只有 1 个温度自由度。热对流杆单元可用于二维（平面或轴对称）或三维的稳态或瞬态热分析问题。

如果包含热对流单元的模型还需要进行结构分析，热对流单元可被 1 个等效（或空）的结构单元所代替。单元的表面传热系数为非线性，即表面传热系数是温度或时间的函数。

13. INFIN9——二维无限边界

用于模拟 1 个二维无界问题的开放边界。具有两个节点，每个节点上带有磁矢量势或温度自由度。所依附的单元类型可以为 PLANE13 和 PLANE53 磁单元，或 PLANE55 和 PLANE77 和 PLANE35 热单元。使用磁自由度(AZ)时，分析可以是线性的也可以是非线性的，可以是静态的也可以是动态的。使用热自由度时，只能进行线性稳态分析。

14. INFIN47——三维无限边界

用于模拟无边界场问题的开放边界。其单元形状为 4 节点四边形或 3 节点三角形，每个节点可以有磁势或温度自由度。所依附的单元类型可以是 SOLID5、SOLID96 或 SOLID98 磁单元，也可以是 SOLID70、SOLID90 或 SOLID87 热实体单元。当该单元具有磁自由度时，可以进行磁的线性或非线性的静态分析；当该单元具有热自由度时，只能进行静态分析（线性或非线性）。

15. INFIN110——二维无限实体

用于模拟 1 个二维、边界开放的极大场问题，其 1 个单层用于描述无限体的外部子域。

具有二维（平面的和轴对称）磁势能，温度，或静电势能特性。由4节点或8节点定义，每个节点有单一的自由度。所依附的单元类型可以是 PLANE13 和 PLANE53 磁单元，PLANE55、PLANE35 和 PLANE77 热单元，或静电单元 121。加上磁势或温度自由度后，分析可以是线性的也可以是非线性的，可以是静态的也可以是动态的。

16. INFIN111——三维无限实体

用于模拟1个三维的边界开放的极大场问题，其1个单层用于描述无限体的外部子域。具有二维（平面的和轴对称）磁势能，温度，或静电势能特性。由8节点或20节点定义，有三维磁标量和向量势能，温度或静电势能特性。每个节点有单一的自由度。封闭的单元类型可以是 SOLID96 和 SOLID97 和 SOLID98 和 SOLID5 和 SOLID62 磁单元，SOLID70 和 SOLID90 和 SOLID87 热单元，或静电单元 SOLID122 和 SOLID123。加上磁势或温度自由度后，分析可以是线性的或非线性的，静态的或动态的。

对这个单元的几何体，节点坐标和坐标系在 INFIN111 中显示。由8节点或20节点和材料参数定义。必须定义非零的材料参数。

17. MASS71——热质量

点单元，只有1个温度自由度。具有热容但忽略内部热阻的物体，如果其内部无明显的温度梯度，则可使用热质量单元来模拟它以进行瞬态热分析。该单元还有1个功能，即温度与热产生率相关的能力。可用于一维、二维或三维的稳态或瞬态热分析。

在稳态求解中，它只起到与温度相关的热源或热的接收器的作用。其他在热分析问题中有特殊用途的单元为 COMBIN14 和 COMBIN40。

如果包含热质量单元的模型还需要进行结构分析，该单元可被1个等效的结构单元所代替（如 MASS21）。

18. SHELL57——热壳

是三维、具有面内导热能力的单元，具有4个节点，每个节点有1个温度自由度。该单元可用于三维的稳态或瞬态的热分析问题。

如果包含本单元的模型还需要进行结构分析，可被1个等效的结构单元（如 SHELL63）所代替。如果面内及横向的导热都需要考虑，则需要使用实体单元 SOLID70 或 SOLID90。

19. SHELL131——4节点热层壳单元

三维的层壳单元，具有面内和厚度方向的热传导能力。本单元有4个节点，每个节点最多可以有32个自由度。本单元适用于三维的稳态或瞬态热分析问题，产生的节点温度可施加于结构壳单元以用于模拟热弯曲。与其等效的结构单元有 SHELL43、SHELL63、SHELL143 或 SHELL181。

20. SHELL132——8节点热层壳单元

三维的层壳单元，具有面内和厚度方向的热传导能力。本单元有8个节点，每个节点最多可以有32个自由度。本单元适用于三维的稳态或瞬态热分析问题，产生的节点温度可施加于结构壳单元，以用于模拟热弯曲。其等效的结构单元有 SHELL91、SHELL93 或 SHELL99。

21. PLANE13——二维耦合场实体

具有二维磁场、温度场、电场和结构场之间有限耦合的功能。由4个节点定义，每个节

点可达到 4 个自由度。具有非线性磁场功能，可用于模拟 B-H 曲线和永久磁铁去磁曲线。具有大变形和应力钢化功能。当用于纯结构分析时，具有大变形功能。相似的耦合场单元有 SOLID5、SOLID98 和 SOLID62。

22. SOLID5——三维耦合场实体

具有三维磁场、温度场、电场、压电场和结构场之间有限耦合的功能。本单元由 8 个节点定义，每个节点有 6 个自由度。在静态磁场分析中，可以使用标量势公式（对于简化的 RSP、微分的 DSP、通用的 GSP）。在结构和压电分析中，具有大变形的应力钢化功能。与其相似的耦合场单元有 PLANE13、SOLID62 和 SOLID98。

1.2 ANSYS10.0 中的常用操作

1.2.1 拾取操作

应用 ANSYS10.0 进行分析的过程中，无论前处理还是后处理，常用到对关键点、线、面、体、节点、单元的选择，掌握 ANSYS10.0 的选择功能很重要。掌握组合选择，比如基于体选单元等，也是提高分析效率的重要工具。现详细分析如下：

GUI 操作：选择 Utility Menu>Select>Entities，拾取菜单如图 1-2 所示。

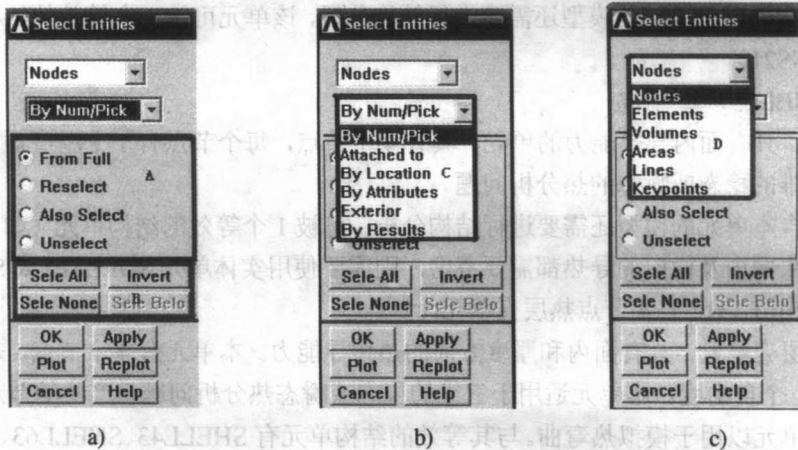


图 1-2 拾取菜单

命令：NSEL。

使用格式：NSEL, TYPE, ITEM, COMP, VMIN, VMAX, VINC, KABS。其中：

1) TYPE：选择类型的有效标签。它的值有：

- S(From Full)：从数据集里选择一组新的数据子集(默认设置)。
- R(Reselect)：从当前选择的子集里再重新选择一组数据子集。
- A(Also Select)：从数据集中另外再选择一组子集与当前已选择的一组数据子集。
- U(Unselect)：从当前数据子集里删除刚选择的一组数据子集。