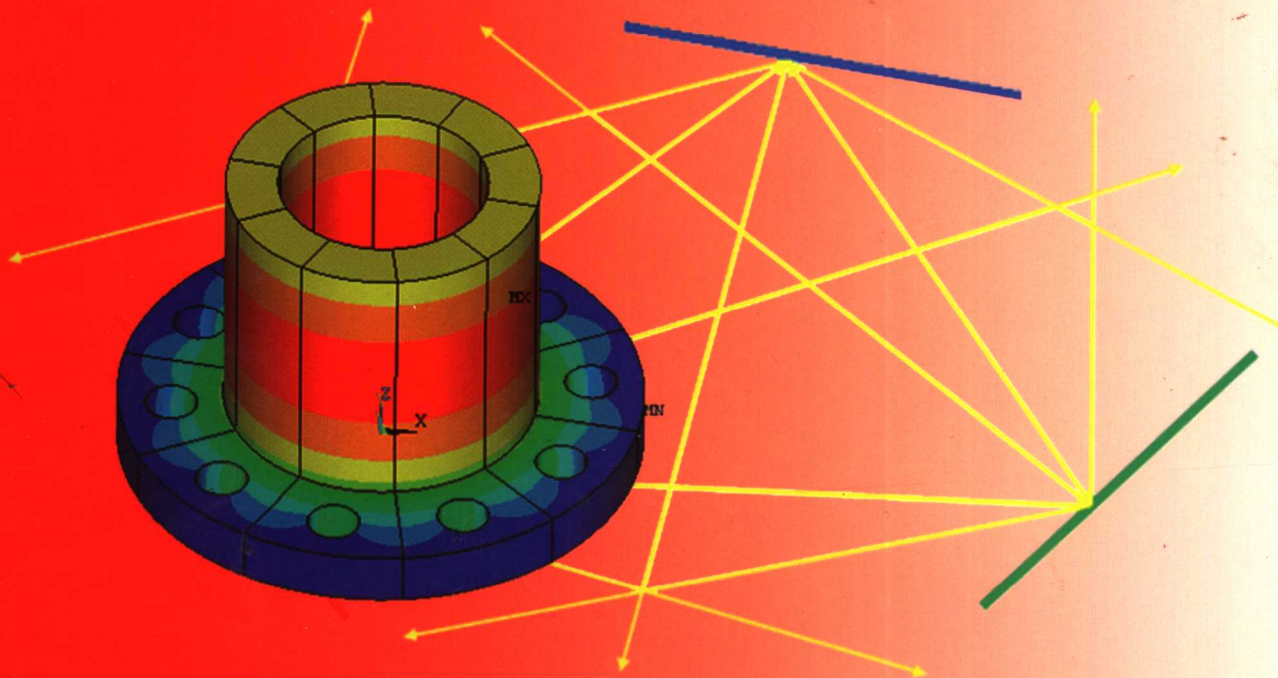


计算机辅助分析实例指导丛书



# 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

本书所附多媒体光盘中包含了全书的实例效果图片、所有实例源文件，以及所有实例的操作过程AVI动画文件。光盘采用友好的人工交互界面，配以清新悦耳的背景音乐，帮助读者更加形象、具体、轻松、愉快地学习本书。

具体操作方法如下

1. 插入光盘。本光盘采用自动播放模式，如果不能直接进入播放模式，可以在计算机中找到“我的电脑”或资源管理器中光盘所在的盘符，打开光盘文件，双击按钮，则可以打开光盘播放界面。

2. 光盘自动进入操作控制界面，如图1所示。

3. 单击界面中的【图片浏览】按钮，则进入图片浏览界面，如图2所示。可以通过单击界面上的【上一页】或【下一页】按钮浏览书中典型实例效果图片。

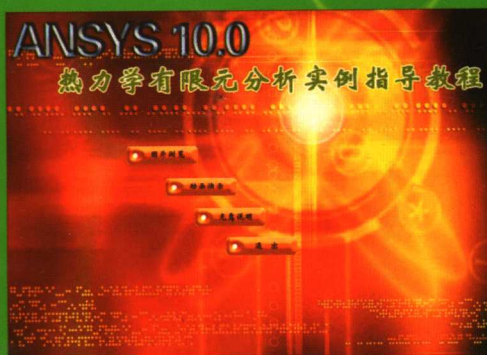


图1 操作控制界面

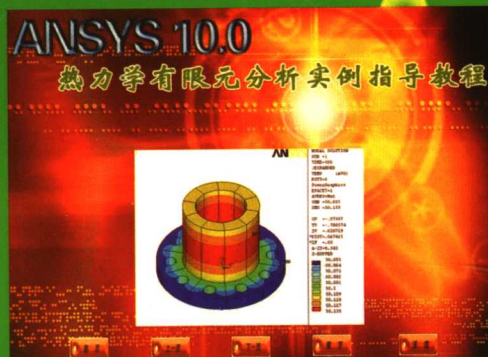


图2 图片浏览界面

4. 单击界面中的【动画演示】按钮，则进入动画演示界面，如图3所示。单击动画演示界面上任意一个按钮，则进入动画播放界面，同时会播放配有背景音乐的操作过程动画，如图4所示。

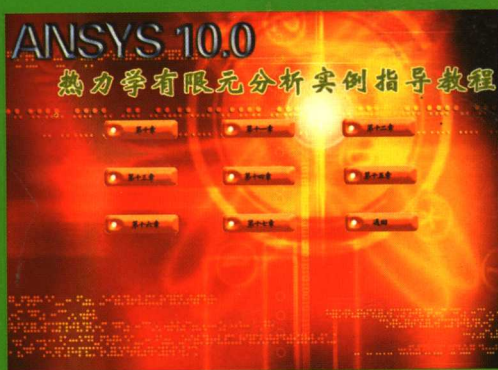


图3 动画演示界面

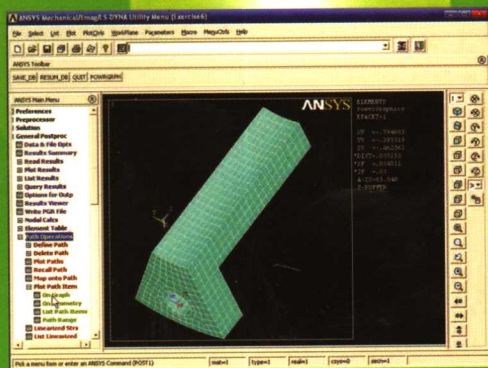



图4 操作过程动画

5. 单击【退出】按钮或按钮退出各级界面，以至最后退出光盘操作。

6. 打开实例源文件的具体方式是：先退出自动播放模式，在光盘所在的盘符单击鼠标右键，这时会显示光盘文件结构。打开其中的“源文件”文件夹，则可以找到需要的源文件。

# 计算机辅助分析实例 指导丛书



地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037  
联系电话：(010) 88326294 网址：<http://www.cmpbook.com>

E-mail: [hurenxi2000@163.com](mailto:hurenxi2000@163.com)

试读结束：需要全本请在线购买：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 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 热分析和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 ANSYSFLOTRAN 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](mailto: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 使用辐射线单元建立辐射模型.....	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 命令流程图 .....	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 命令流程图 .....	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 命令流程序 .....	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。

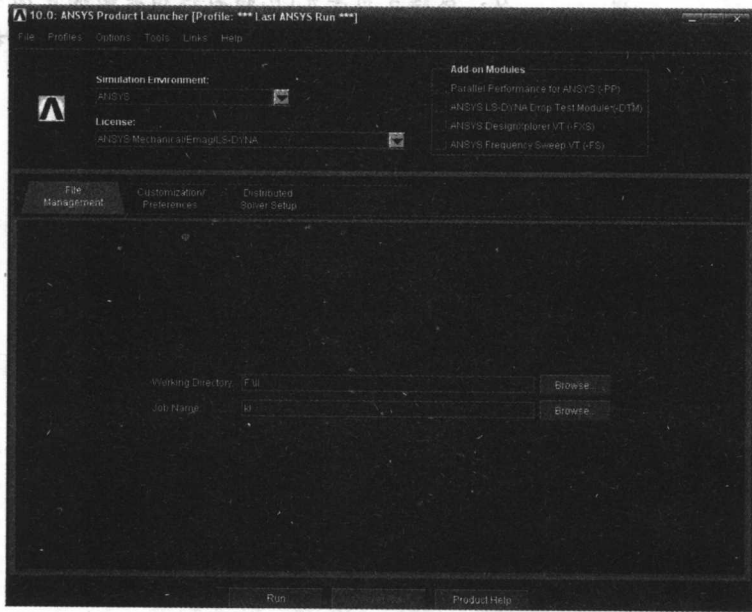


图 1-1 ANSYS10.0 分析模块选择界面

### 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运输热流。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——轴对称谱分析热实体

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 节点轴对称谱分析热实体

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运输带来的热流损失。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。