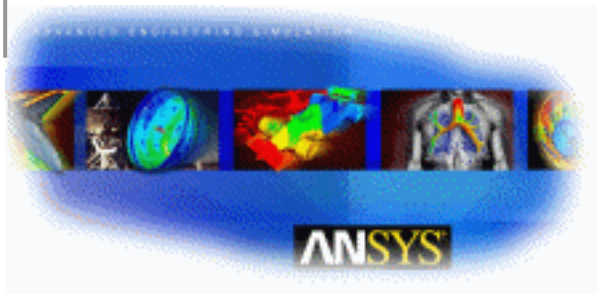
ANSYS 在土木工程中的应用

老虎工作室　李　权　编著



人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目（CIP）数据

ANSYS 在土木工程中的应用／李权编著．—北京：人民邮电出版社，2005.6

ISBN 7-115-13124-4

Ⅰ．A… Ⅱ．李… Ⅲ．土木工程－有限元分析－应用程序，ANSYS Ⅳ．TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 051751 号

内 容 提 要

ANSYS 8.0 是美国 ANSYS 公司开发的大型通用有限元软件的最新版本。该软件是 FEM（Finite Element Method）分析中迄今为止惟一通过 ISO9001 质量认证的计算机辅助工程（CAE）设计分析类软件。ANSYS 8.0 软件是融结构、热力学、流体、电磁和声学等于一体的大型通用有限元分析软件，可广泛用于核工业、铁路与公路交通、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车、电子与家电、国防军工、造船、生物医学、轻工业、地矿、水利水电以及土木建筑工程等方面的科学技术研究。

本书主要介绍 ANSYS 8.0 在土木工程中的应用，包括大坝工程、隧道及地下工程、桥梁结构工程、房屋建筑工程、边坡工程以及基础工程。重点介绍了各类工程结构的力学行为和在工程结构施做和使用过程中的力学行为的有限元分析过程，包括 2D 和 3D 分析。

本书以实例为主导，适合于土木工程类专业的大学生、技术人员和科研人员阅读。

ANSYS 在土木工程中的应用

◆ 编　　著　老虎工作室　李　权
　责任编辑　李永涛

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
　邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
　新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本：787×1092　1/16
　印张：25
　字数：608 千字　　2005 年 6 月第 1 版
　印数：1 – 6 000 册　　2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13124-4/TP・4454

定价：42.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132692　印装质量热线：(010)67129223



老虎工作室

主　编： 沈精虎

编　委： 许曰滨　黄业清　杜俭业　姜　勇　宋一兵
谭雪松　向先波　毕丽蕴　高长铎　田博文
郭万军　詹　翔　宋雪岩　周　锦　冯　辉
王海英　李　仲　马　震　李　辉　蔡汉明
赵　晶　张　伟　朱　凯　彭　智　张艳花
孙海侠　李　权　张　琴　姚育成　杨平辉

关 于 本 书

内容和特点

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司开发的大型通用有限元软件。该软件是 FEM（Finite Element Method）分析中迄今为止惟一通过 ISO9001 质量认证的计算机辅助工程（CAE）设计分析类软件，是融结构、热力学、流体、电磁和声学等于一体的大型通用有限元分析软件。ANSYS 8.0 是该软件的最新版本，新版软件不但为用户提供了更加强大的有限元模拟分析功能，而且全面改进了软件的用户界面，使之更友好、人性化。为了帮助读者迅速掌握该软件在土木工程中的应用，作者根据长期使用 ANSYS 软件进行土木工程力学分析的经验和技巧编写了本书。

本书以工程例子的力学分析过程为主导，深入浅出地介绍了 ANSYS 8.0 在大坝工程、隧道及地下工程、桥梁结构工程、房屋建筑工程、边坡工程以及基础工程中的应用。重点介绍了各类结构在工程结构施做和使用过程中的力学行为的有限元分析过程，包括 2D 和 3D 分析。全书共分 7 章，内容通俗易懂、例子丰富全面，简介如下：

- 第 1 章　大型通用有限元软件 ANSYS 简介。
- 第 2 章　介绍 ANSYS 在坝体工程中的应用。
- 第 3 章　介绍 ANSYS 在隧道及地下工程中的应用。
- 第 4 章　介绍 ANSYS 在桥梁工程中的应用。
- 第 5 章　介绍 ANSYS 在房屋建筑工程中的应用。
- 第 6 章　介绍 ANSYS 在边坡工程中的应用。
- 第 7 章　介绍 ANSYS 在基础工程中的应用。

读者对象

使用 ANSYS 软件的人越来越多，尤其是在校的土木工程专业的大学生，在进行毕业设计时，几乎 80%的学生都采用 ANSYS 软件进行土木工程结构设计计算。同时，许多研究生也采用 ANSYS 软件进行论文的研究工作。本书可作为学习 ANSYS 软件的土木工程专业的大学生、技术人员和科研人员的教学用书或参考书。

配套光盘内容简介

为了方便读者的学习，本光盘按章收录了完成书中工程实例所需要的建模文件（".log"）以及每个工程实例制作过程的动画演示文件（".avi"）。配套光盘全部内容总计约 600MB，相信会为大家的学习和设计带来有益的帮助。下面是本书配套光盘内容的详细说明。

1. **数据文件**

在创建工程实体模型时，需要根据书中提示打开光盘中相应位置的数据文件（“.log”）。这些数据文件分别保存在与章节对应的文件夹中（如：“\数据文件\第 1 章\Z101Beam.log”表示第 1 章中名字为“Z101Beam”的数据文件，该文件放在光盘中的“\数据文件\第 1 章”目录下），读者可以使用 ANSYS 8.0 软件打开所需的数据文件然后进行后续操作。数据文件（“.log”）可用记事本打开，它记录了包括建模、加载和求解以及后处理所有的操作步骤，只不过采用了命令流的方式来代替点击菜单操作方式，可方便读者进行实例模拟计算。

注意：由于光盘上的文件都是“只读”属性的，因此读者不能直接修改这些文件。读者可以先将这些文件拷贝到硬盘上，去掉文件的“只读”属性，然后再使用。

2. **动画文件**

播放与章节相对应的文件夹中的动画（“.avi”）文件，可以观看各工程实例模型创建的全过程。为了避免每个动画文件过大，播放时间过长，每个模型的动画文件都由 1～3 个小文件组成。一般情况下，用 Windows 自带的“媒体播放器”即可正常播放动画。

注意：播放动画文件前要安装光盘根目录下的“播放 tscc.exe”插件，否则可能导致播放失败。

配套光盘的运行环境

- **硬件环境：奔腾 200MHz 以上多媒体计算机。**
- **软件环境：**Windows 98/NT/2000/XP**。**

谭雪松同志为本书的编写和出版付出了辛勤的劳动，在此表示感谢。

感谢您选择了本书，也请您把对本书的意见和建议告诉我们。

老虎工作室网站 http://www.laohu.net**，电子函件** postmaster@laohu.net**。**

老虎工作室

2005 **年** 3 **月**

目　录

第 1 章　大型通用有限元软件 ANSYS 简介 1

1.1　ANSYS 8.0 软件概述 1
1.2　ANSYS 8.0 的安装和启动 3
1.2.1　安装对系统的要求 3
1.2.2　设置环境变量 3
1.2.3　安装过程 4
1.2.4　运行参数设置 5
1.2.5　启动和退出 9
1.3　有限元分析基本过程 10
1.3.1　有限元分析基本过程概述 10
1.3.2　有限元分析实例 10
1.4　小结 18

第 2 章　ANSYS 在坝体工程中的应用 19

2.1　坝体工程力学问题的简化 20
2.1.1　坝体工程概述 20
2.1.2　进行有限元分析的力学简化 20
2.2　使用 ANSYS 进行坝体工程设计实例 21
2.2.1　前处理 21
2.2.2　加载与求解 25
2.2.3　查看分析结果 27
2.2.4　计算结果分析 35
2.3　小结 37

第 3 章　ANSYS 在隧道及地下工程中的应用 39

3.1　隧道及地下工程结构设计模型 39
3.2　明挖法修建的地铁隧道结构的受力分析 42
3.2.1　荷载—结构法原理 42
3.2.2　问题的描述 44
3.2.3　建模过程 45

3.2.4 加载与求解 51
3.2.5 后处理 53
3.2.6 计算结果分析 60
3.2.7 小结 61
3.3 高速公路隧道开挖全过程仿真分析 61
3.3.1 隧道概述 62
3.3.2 施工方法介绍 65
3.3.3 建模 67
3.3.4 加载与初始地应力场模拟 76
3.3.5 左洞上台阶开挖模拟分析 84
3.3.6 左洞下台阶开挖模拟分析 93
3.3.7 左隧道二次衬砌模拟分析 101
3.3.8 右洞上台阶开挖模拟分析 105
3.3.9 右隧道下台阶开挖模拟分析 112
3.3.10 右隧道二次衬砌模拟分析 119
3.3.11 计算结果分析 124
3.3.12 小结 124
3.4 单线铁路隧道开挖全过程三维仿真分析 125
3.4.1 隧道概述 125
3.4.2 施工方法介绍 128
3.4.3 建模 128
3.4.4 加载与初始地应力场模拟 137
3.4.5 第一次进尺开挖模拟分析 145
3.4.6 第二次进尺开挖模拟分析 152
3.4.7 第三次进尺开挖模拟分析 159
3.4.8 第四次进尺开挖模拟分析 166
3.4.9 第五次进尺开挖模拟分析 173
3.4.10 第六次进尺开挖模拟分析 180
3.4.11 计算结果分析 185
3.4.12 小结 186

第 4 章 ANSYS 在桥梁工程中的应用 187

4.1 桥梁结构设计方法 187
4.1.1 桥梁的组成、分类及其发展 188
4.1.2 桥梁结构设计方法 189
4.1.3 计算机辅助桥梁结构设计 190
4.2 公路预应力混凝土连续梁桥的受力分析 190
4.2.1 公路预应力混凝土连续梁桥结构设计 191

4.2.2 连续梁桥结构分析建模 192
4.2.3 LS1 工况下连续梁桥结构分析 196
4.2.4 LS2 工况下连续梁桥结构分析 200
4.2.5 LS3 工况下连续梁桥结构分析 202
4.2.6 LS4 工况下连续梁桥结构分析 204
4.2.7 LS5 工况下连续梁桥结构分析 206
4.2.8 LS6 工况下连续梁桥结构分析 208
4.2.9 计算结果分析 210
4.2.10 小结 211
4.3 铁路钢桁架桥的受力分析 211
4.3.1 单线铁路简支栓焊桁架桥结构设计 211
4.3.2 最不利荷载位置的确定 212
4.3.3 钢桁架桥结构分析建模 217
4.3.4 LS1 工况下钢桁架桥结构分析 220
4.3.5 LS2 工况下钢桁架桥结构分析 223
4.3.6 计算结果分析 226
4.3.7 小结 226
4.4 公路连续刚构桥施工全过程仿真分析 226
4.4.1 连续刚构桥施工设计 226
4.4.2 连续刚构桥施工过程仿真分析建模 228
4.4.3 LS1 连续刚构桥施工过程仿真分析 231
4.4.4 LS2 连续刚构桥施工过程仿真分析 235
4.4.5 LS3 连续刚构桥施工过程仿真分析 237
4.4.6 LS4 连续刚构桥施工过程仿真分析 239
4.4.7 LS5 连续刚构桥施工过程仿真分析 241
4.4.8 计算结果分析 243
4.4.9 小结 243
4.5 公路连续刚构桥三维仿真分析 243
4.5.1 连续刚构桥构造设计 244
4.5.2 连续刚构桥三维仿真分析建模 244
4.5.3 自重荷载条件下连续刚构桥三维仿真分析 251
4.5.4 汽车超 20 荷载条件下连续刚构桥三维仿真分析 256
4.5.5 挂车 120 荷载条件下连续刚构桥三维仿真分析 260
4.5.6 计算结果分析 264
4.5.7 小结 264
第 5 章 ANSYS 在房屋建筑工程中的应用 265
5.1 房屋建筑结构概述 265

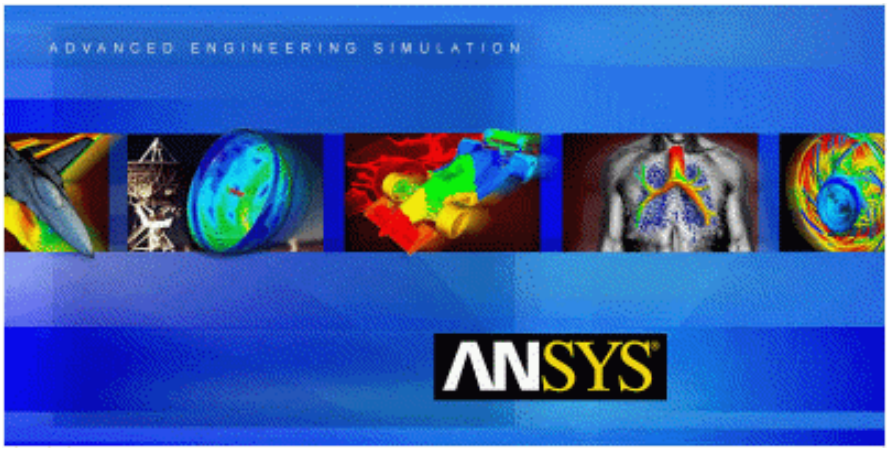
5.1.1 房屋建筑结构体系 265
5.1.2 房屋建筑结构的力学计算方法 266
5.1.3 国内外房屋建筑结构计算与设计软件 267
5.2 网架屋顶结构的受力分析 267
5.2.1 体育馆钢网架屋盖构造设计 267
5.2.2 建模与网格划分 268
5.2.3 钢网架屋盖结构受力分析 272
5.2.4 计算结果分析 277
5.2.5 小结 277
5.3 框架结构的三维仿真分析 277
5.3.1 办公楼框架结构的构造设计 277
5.3.2 框架结构三维仿真分析建模和网格划分 279
5.3.3 自重荷载条件下框架结构三维仿真分析 284
5.3.4 人群荷载条件下框架结构三维仿真分析 289
5.3.5 计算结果分析 293
5.3.6 小结 293

第 6 章 ANSYS 在边坡工程中的应用 295

6.1 边坡的防护概述 295
6.1.1 边坡防护设计中坡度的确定 295
6.1.2 边坡的防护形式 296
6.1.3 边坡防护中水的处理 297
6.2 高速公路边坡修建过程的仿真分析 297
6.2.1 高速公路边坡防护结构的构造设计 297
6.2.2 建模与网格划分 298
6.2.3 加载与初始地应力场模拟 304
6.2.4 上台边坡开挖模拟分析 311
6.2.5 下台边坡开挖模拟分析 316
6.2.6 计算结果分析 322
6.2.7 小结 322
6.3 铁路加锚索高边坡的修建过程仿真分析 323
6.3.1 铁路加锚索高边坡防护结构的构造设计 323
6.3.2 建模与网格划分 324
6.3.3 加载与初始地应力场模拟 330
6.3.4 上台边坡开挖模拟分析 337
6.3.5 下台边坡开挖模拟分析 344
6.3.6 计算结果分析 350
6.3.7 小结 350

第 7 章　ANSYS 在基础工程中的应用 351
7.1　基础工程概述 351
7.1.1　基础的分类形式 352
7.1.2　基础的力学分析模型 352
7.2　桥梁全桩基础的三维仿真分析 353
7.2.1　桥梁全桩基础的构造设计 353
7.2.2　全桩基础三维仿真分析建模和网格划分 354
7.2.3　自重荷载条件下全桩基础三维仿真分析 359
7.2.4　汽车超 20 荷载条件全桩基础三维仿真分析 364
7.2.5　计算结果分析 368
7.2.6　小结 368
7.3　房屋建筑筏形基础的力学分析 368
7.3.1　框架房屋筏形基础的构造设计 368
7.3.2　筏形基础受力分析建模和网格划分 369
7.3.3　自重荷载条件下筏形基础受力分析 374
7.3.4　人群荷载条件筏形基础力学分析 380
7.3.5　计算结果分析 385
7.3.6　小结 385

第1章　大型通用有限元软件 ANSYS 简介



主要内容：

- ANSYS 8.0 **软件概述。**
- ANSYS 8.0 **的安装和启动。**
- **有限元分析基本过程实例。**

本章首先介绍 ANSYS 8.0 **软件的主要功能、支持的** CAD **系统、主要技术特点和在计算机辅助工程中的地位。然后介绍** ANSYS 8.0 **软件在安装时的系统要求、安装过程、运行参数设置、启动和退出等内容。最后以悬臂梁求解问题为例，介绍了有限元分析的基本过程，包括建立模型、加载与求解以及后处理等。**

1.1　ANSYS 8.0 软件概述

ANSYS 8.0 **是大型通用有限元软件，可用于土木工程、水利水电以及机械制造等方面的有限元分析。有限元法（**FEM**，即** Finite Element Method**）是采用计算机进行数值模拟计算的一种方法，包括连续体的离散化（建立几何模型和单元划分）、加边界条件（对于土木工程来讲，是位移边界条件和力边界条件）、求解方程组以及输出分析结果。以下对** ANSYS 8.0 **软件的主要功能、支持的** CAD **系统、主要技术特点和在计算机辅助工程中的地位进行介绍。**

一、主要功能

ANSYS 8.0 **是大型通用有限元分析软件，是迄今为止在世界范围内惟一通过** ISO9001 **质量认证的计算机辅助工程（**CAE**）设计分析类软件。**

ANSYS 8.0 软件是融结构、热力学、流体、电磁和声学等于一体的大型通用有限元分析软件，可广泛用于核工业、铁路与公路交通、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车、电子与家电、国防军工、造船、生物医学、轻工业、地矿、水利水电以及土木建筑工程等方面的科学技术研究。

二、支持的 CAD 系统

ANSYS 8.0 软件支持的常用 CAD（计算机辅助设计）系统有：UG、Pro/ENGINEER、Autodesk Inventor、Mechanical Desktop、SolidWorks 和 Solid Edge 等。

ANSYS 8.0 所支持的图形传递标准为 Sat、Parasolid 和 IGES 等。

三、主要技术特点

ANSYS 8.0 的技术特点如下：

- 是惟一具有多场及多场耦合功能的大型通用有限元分析软件。
- 可实现前后处理、分析与求解以及多场分析中数据库相统一的有限元分析软件。
- 是独一无二的以及具有流场优化功能的分析软件。
- 可进行建模、加载、求解和分析结果输出。
- 具有强大的非线性分析功能。
- 具有快速求解器和最早采用并行计算技术的 FEM 软件。
- 可实现在微机、工作站、大型计算机乃至巨型计算机所有硬件平台上的数据文件兼容。
- 具有智能网格划分功能。
- 支持从微机、工作站到大型计算机乃至巨型计算机所有硬件平台，且用户界面是统一的。
- 可与大多数 CAD 软件进行数据交换。
- 具有多层次、多种类的计算分析模块。
- 具有良好的用户自己开发的环境和自动生成分析报告等。

四、ANSYS 软件的地位

在计算机辅助工程（CAE）领域内，ANSYS 具有明显的优势，概括起来表现在以下几个方面。

- ANSYS 8.0 软件是迄今为止在世界范围内惟一通过 ISO9001 质量认证的计算机辅助工程设计分析类软件。
- ANSYS 8.0 软件是在世界范围内增长最快的 CAE 软件。
- ANSYS 8.0 软件是美国 ASME（机械工程师协会）、NQA（美国核安全局），以及近 20 个专业技术协会认证的标准科学技术分析软件。
- ANSYS 公司是 FEM（有限元方法）界惟一获得美国“技术先导公司”称号的软件公司。
- ANSYS 8.0 软件是全世界 70%以上的高校和科研单位采用的分析软件。
- ANSYS 8.0 软件在中国有数百家的用户群。
- ANSYS 公司建立了多方位、多层次的售后服务机构。

1.2 ANSYS 8.0 的安装和启动

下面介绍 ANSYS 8.0 软件在安装时的系统要求、安装过程、运行参数设置、启动和退出等，同时也介绍在安装过程中的一些注意事项。

1.2.1 安装对系统的要求

ANSYS 8.0 安装所要求的系统配置如下：

- 支持 Windows 9x/2000/NT4.0/XP 及 HP/SGI/SUN。
- 至少需要 64MB 内存（推荐 128MB）。
- 光驱为 CD-ROM 倍速驱动器。
- Microsoft 兼容鼠标。
- Intel 奔腾 III 处理器或者主频更高的处理器，如 P4、Celeron4 处理器等。
- 2GB 以上硬盘空间，用于安装 ANSYS 软件及其配套使用的软件。
- 在 1024×768 分辨率下，可显示 256 色以上显卡（推荐 24 位真彩色以上显卡）。

1.2.2 设置环境变量

在安装 ANSYS 8.0 时，需要按照以下步骤设置环境变量。

设置环境变量

1. 在桌面上右键单击【我的电脑】图标，在弹出的右键快捷菜单中选取【属性】选项，系统弹出如图 1-1 所示【系统属性】对话框，选取其中的【高级】选项卡。



图1-1 【系统属性】对话框

2. 单击 环境变量(N) 按钮，打开如图 1-2 所示【环境变量】对话框。在上部的分组框中单击 新建(W) 按钮，打开如图 1-3 所示的【新建用户变量】对话框，

然后添加以下内容。

- 变量名：ANSYSLMD_LICENSE_FILE。
- 变量值：1055@host（其中 host 为计算机名，例如本例中 host 为 txs）。

最后单击对话框中的 确定 按钮。



图1-2　【环境变量】对话框



图1-3　【新建用户变量】对话框

3. 添加了环境变量的【环境变量】对话框如图 1-4 所示。单击 确定 按钮关闭对话框完成环境变量的添加。

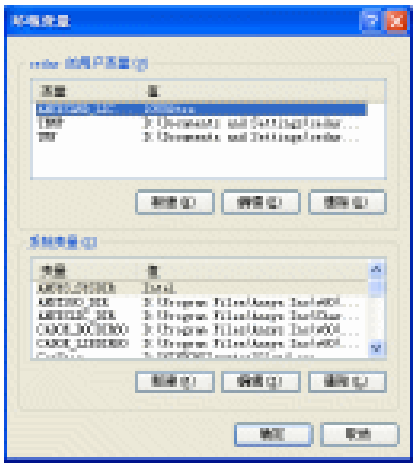


图1-4　【环境变量】对话框

1.2.3　安装过程

运行 setup 安装程序完成 ANSYS 软件的安装，按照提示一步一步地进行，通常使用缺省参数设置即可。在安装过程中，会提示选择安装类型（即是典型安装还是用户自己定义安装），如果选择用户自己定义安装，可以仅安装需要的组件。

安装完成之后重新启动计算机，即可运行 ANSYS 8.0 软件。在运行 ANSYS 8.0 软件时，如果不能正常工作，就要进行运行参数的设置。

1.2.4 运行参数设置

下面结合操作步骤讲述运行参数的设置过程。

设置运行参数

1. ANSYS License **管理设置。**

(1) **在【开始】菜单中选取【所有程序】/【**ANSYS FLEXlm License Manager**】/【**FLEXlm LMTOOLS Utility**】菜单项，打开【**LMTOOLS by Macrovision**】对话框。**

(2) **选中【**Service/License File**】选项卡，选中【**Configuration using Services**】单选按钮，然后在下方列表框中选中【**ANSYS FLEXlm License manager**】选项，如图** 1-5 **所示。**

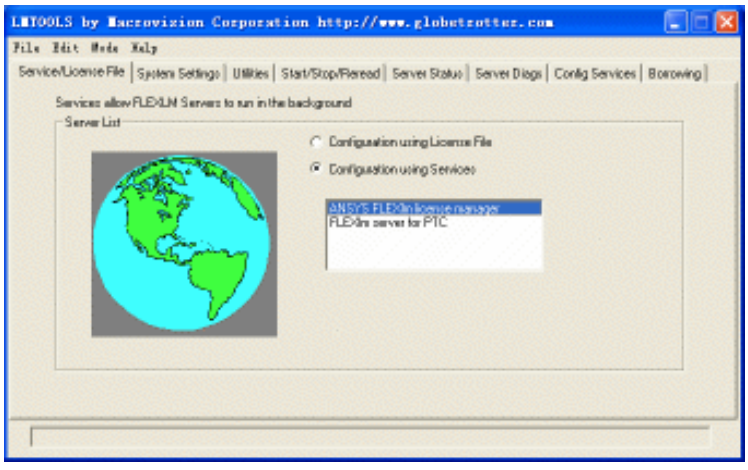


图1-5 **【**Service/License File**】选项卡**

(3) **选中【**Start/Stop/Reread**】选项卡，单击** Stop Server **按钮，直到提示行出现“**Stopping Server**”为止，如图** 1-6 **所示。单击** Start Server **按钮，直到提示行出现“**Server Start Successful**”为止，如图** 1-7 **所示。**

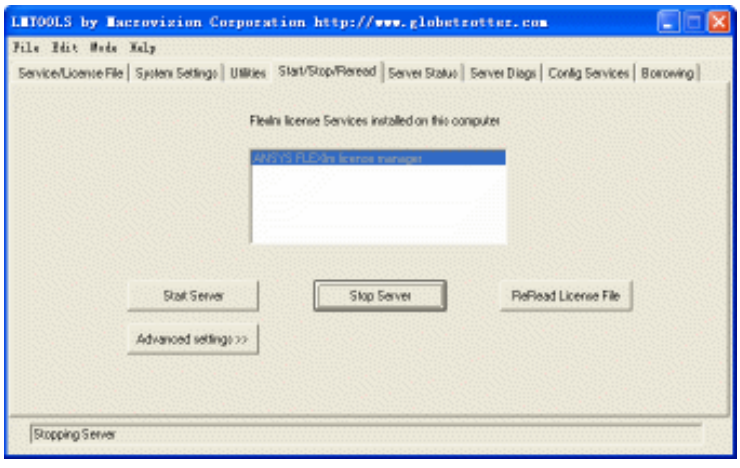


图1-6 **【**Start/Stop/Reread**】选项卡中的“**Stopping Server**”提示**

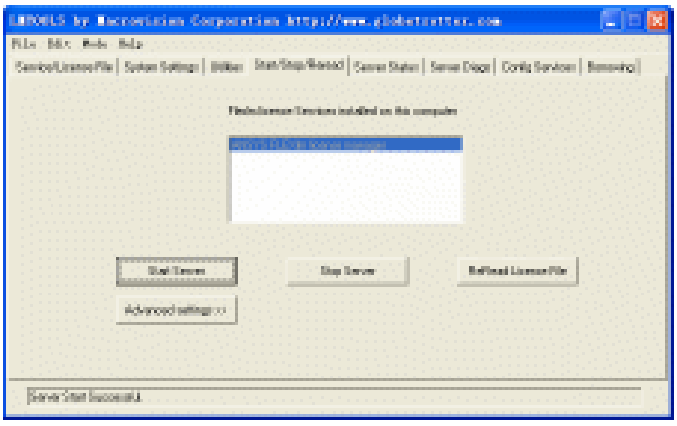


图1-7　【Start/Stop/Reread】选项卡中的“ Server Start Successful ”提示

2.　配置 ANSYS 程序。

在正式使用 ANSYS 8.0 进行设计之前，可以根据设计者的个人爱好来配置设置环境。

(1)　依次选取【开始】/【所有程序】/【ANSYS 8.0】/【Configure ANSYS Products】选项，打开【ANSYS 8.0 Launcher】程序界面进行预先设置，主要设置内容包括模块选择、文件管理、用户管理和程序初始化设置等，如图 1-8 所示。

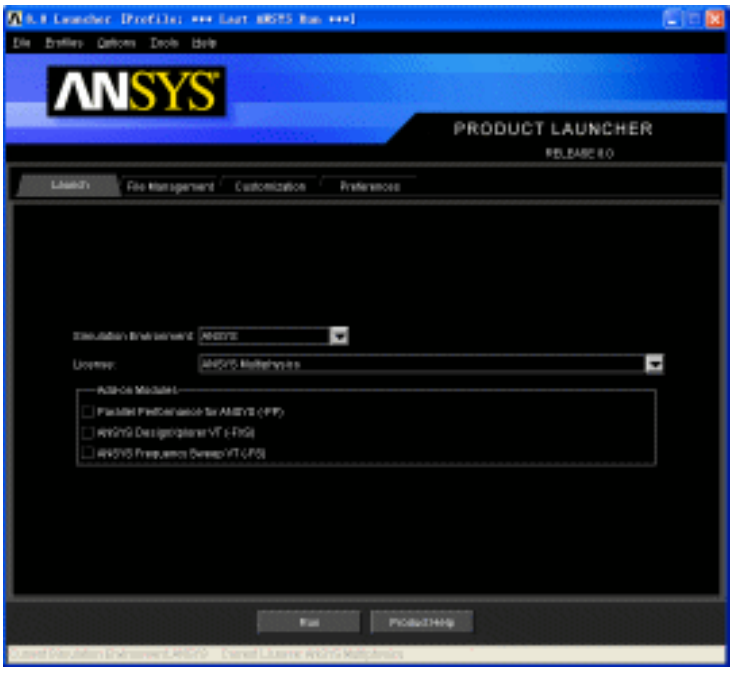


图1-8　【ANSYS 8.0 Launcher】程序设置界面

(2)　选中【Launch】（模块选择）选项卡，在【Simulation Environment】（数值模拟环境）下拉列表中列出以下几种界面。

- 【ANSYS】：通常的 ANSYS 用户界面。
- 【ANSYS Batch】：ANSYS 命令流界面。
- 【LS-DYNA Solver】：线性动力求解界面。

在【License】下拉列表中列出了各种界面下相应的模块，包括力学、流体、

热、电磁和几种场的耦合场等，用户可以根据需要选择，如图 1-9 所示。

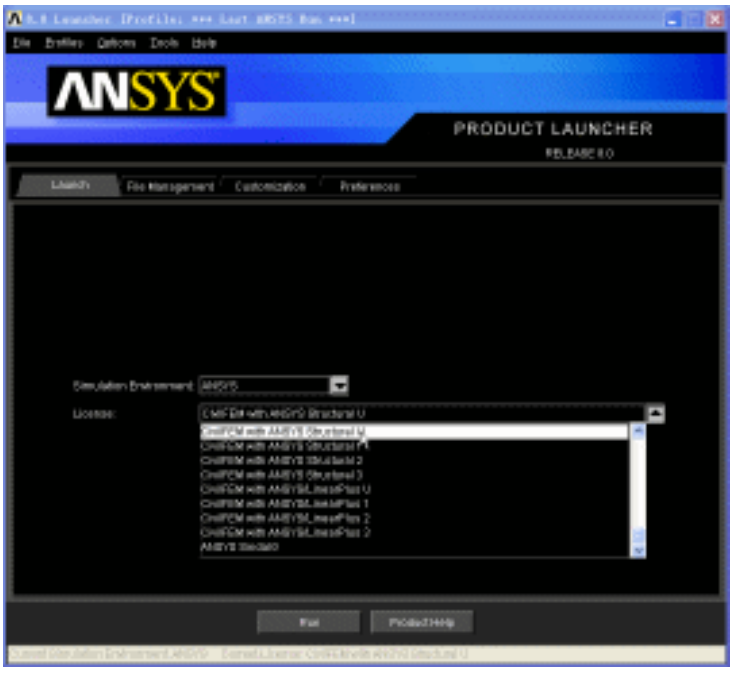


图1-9 【Launch】选项卡

(3) 选中【File Management】（文件管理）选项卡，可在【Working Directory】（工作目录）文本框中设置工作目录，如图 1-10 中的“ D:\MyWorks ”；然后在【Job Name】（项目名）文本框中设置项目名，如图 1-10 中的“ BBbridge ”。

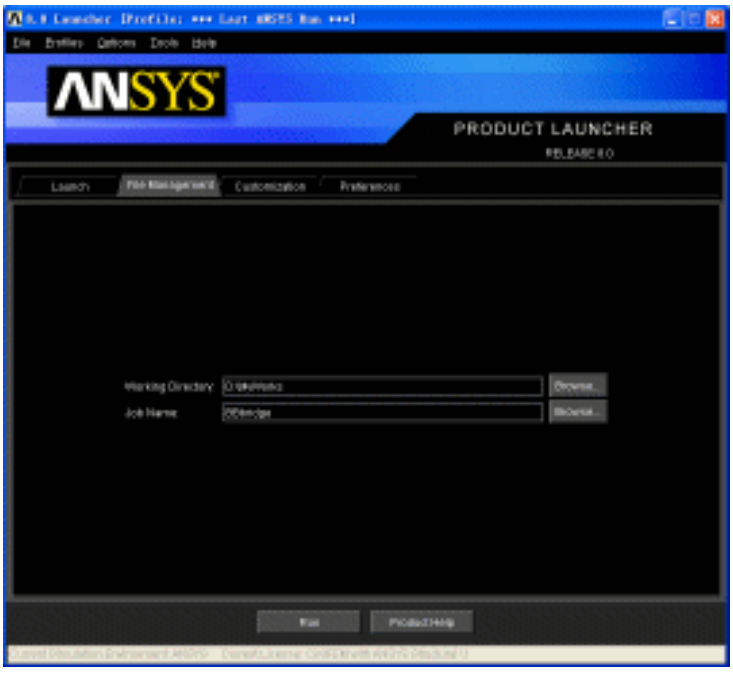


图1-10 【文件管理】选项卡

(4) 选中【Customization】（用户管理）选项卡可以进行用户管理设置，其内容包