

# ADINA

## 应用基础与实例详解

岳戈 陈权 等 · 编著

**ADINA** APPLIED BASE AND  
EXAMPLE DETAILED EXPLAIN



本书附带光盘为ADINA公司提供的900节点版本



人民交通出版社  
China Communications Press

0241.82-39/21D

2008

# ADINA

## 应用基础与实例详解

岳戈 陈权 等·编著

**ADINA** APPLIED BASE AND  
EXAMPLE DETALIED EXPLAIN



人民交通出版社  
China Communications Press

## 内 容 提 要

本书以 ADINA 结构模块为主,详细介绍了 ADINA 的使用操作,包括界面、几何模型、有限元模型、分析类型、后处理、命令流等方面的系统讲解,面向初学者设计了 21 道练习例题,涵盖了结构部分的主要技术功能,实用性强是本书最大特点。

### 图书在版编目(CIP)数据

ADINA 应用基础与实例详解/岳戈等编著.—北京:  
人民交通出版社, 2008.7  
ISBN978-7-114-07250-5

I. A… II. 岳… III. 建筑设计: 计算机辅助设计-应  
用软件, ADINA IV. TU201.4  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 093130 号

书 名:ADINA 应用基础与实例详解

著 作 者:岳 戈 陈 权 等

责任编辑:高 培

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757969 59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:23.25

字 数:560 千

版 次:2008 年 7 月第 1 版

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07250-5

定 价:49.00 元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

## 前 言

ADINA 非线性有限元软件对中国用户并不陌生。1981 年 ADINA 的非商业软件进入中国市场,为有限元在我国的应用起到了很好的推动作用,不但解决了许多急需解决的工程问题,其源代码也成为国内一些程序开发研究的基础。20 世纪 80 年代末 NASTRAN、ANSYS、ABAQUS、MARC 等优秀商业化软件相继进入我国,在科研、工程、教育领域广泛应用,用户们似乎有一种“五岳归来不看山”的感觉。

2002 年 ADINA 的商业化软件再次进入中国,用户惊奇地发现,ADINA 卓越的非线性求解功能、强大的流固耦合场求解功能比之其他软件更胜一筹。

近年来许多用户,尤其是高校师生深感 ADINA 软件资料匮乏。鉴于这种情况,一些 ADINA 用户以焦点仿真工作室的名义编写了本书。本书以结构分析为主,面向初学者,详细介绍了 ADINA 的使用操作,并提供了几十个例题,用户通过本书的学习,特别是例题练习,肯定会受益匪浅。第 8 章有部分实例难度超出了本书的预期内容,这些练习前面加注了“\*”号。

为了后续学习应用的需要,焦点仿真工作室还编写了《ADINA CFD/FSI 分析及应用》、《ADINA 应用实例汇编》,为本书的高级内容部分。

由于作者水平有限,希望本书能起到抛砖引玉的作用。

参加本书编写并为此付出辛勤劳动的有岳戈、陈权、王丽娟、晓舟、梁宇白、陈晨几位同志。本书之所以出版与人民交通出版社土木与建筑图书出版中心的大力支持与帮助是分不开的,在这里对他们的工作表示诚挚的谢意。

作者

2008 年 2 月于北京

# 目 录

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 第 1 章 ADINA 软件简介 .....                                                  | 1  |
| 1.1 ADINA 软件概况 .....                                                    | 1  |
| 1.2 ADINA 软件的主要技术特点 .....                                               | 2  |
| 1.2.1 Windows 界面风格 .....                                                | 2  |
| 1.2.2 基于 Parasolid 核心的实体建模技术 .....                                      | 2  |
| 1.2.3 丰富的数据接口 .....                                                     | 3  |
| 1.2.4 出色的网格自动生成技术和网格划分能力 .....                                          | 3  |
| 1.2.5 丰富的单元类型和材料模式 .....                                                | 3  |
| 1.2.6 完善的求解理论框架和高效的线性、非线性求解技术 .....                                     | 3  |
| 1.2.7 结构、流体、热的真正耦合分析 .....                                              | 4  |
| 1.2.8 完善的用户开发环境 .....                                                   | 4  |
| 1.2.9 广泛的适用领域 .....                                                     | 4  |
| 1.3 ADINA 软件的主要模块功能简介 .....                                             | 7  |
| 1.3.1 ADINA-AUI(前后处理模块) .....                                           | 7  |
| 1.3.2 ADINA Structure(结构分析模块) .....                                     | 7  |
| 1.3.3 ADINA-CFD(流体分析模块) .....                                           | 8  |
| 1.3.4 ADINA-FSI:流体/结构耦合分析模块(需要 ADINA Structure 和<br>ADINA-CFD 模块) ..... | 9  |
| 1.3.5 ADINA-Thermal:热分析模块 .....                                         | 9  |
| 1.3.6 ADINA-TMC:热/结构耦合分析模块 .....                                        | 9  |
| 1.3.7 Transor:与 CAD/CAE 软件的专用接口 .....                                   | 9  |
| 1.4 ADINA 用户界面(AUI)概述 .....                                             | 9  |
| 1.4.1 综述 .....                                                          | 9  |
| 1.4.2 ADINA 软件的安装 .....                                                 | 10 |
| 1.4.3 启动和退出 AUI .....                                                   | 16 |
| 1.4.4 AUI 布局 .....                                                      | 17 |
| 1.5 ADINA 常用菜单、工具条和对话框操作 .....                                          | 19 |
| 1.5.1 File 菜单 .....                                                     | 19 |
| 1.5.2 Edit 菜单 .....                                                     | 21 |
| 1.5.3 View 菜单 .....                                                     | 22 |
| 1.5.4 图标工具条 .....                                                       | 22 |
| 1.5.5 对话框操作 .....                                                       | 24 |
| 1.6 ADINA 中的区域(ZONE)概念 .....                                            | 26 |



|        |                     |    |
|--------|---------------------|----|
| 1.6.1  | 定义区域                | 27 |
| 1.6.2  | 激活区域                | 29 |
| 1.6.3  | 指定区域颜色              | 29 |
| 1.6.4  | 显示区域                | 30 |
| 1.6.5  | 区域结果变量列表            | 30 |
| 1.7    | ADINA 文件系统          | 31 |
| 1.7.1  | ADINA 系统中用到的主要文件类型  | 31 |
| 1.7.2  | 数据库和数据库文件           | 32 |
| 1.7.3  | 临时作业文件              | 32 |
| 1.7.4  | 映像(Mapping)文件       | 32 |
| 1.7.5  | CAD 和有限元数据文件        | 33 |
| 1.7.6  | 求解器输入数据文件           | 34 |
| 1.7.7  | 批处理(Batch)文件        | 34 |
| 1.7.8  | 作业(Session)文件和命令文件  | 34 |
| 1.7.9  | 计算结果(porthole)文件    | 35 |
| 1.7.10 | ADINA 系统文件调用关系      | 35 |
| 第2章    | ADINA 基本分析过程与分析控制参数 | 38 |
| 2.1    | ADINA 有限元分析的基本步骤    | 38 |
| 2.2    | ADINA 建模的步骤         | 39 |
| 2.2.1  | 建议按照如下的步骤定义模型       | 39 |
| 2.2.2  | 有限元分析中的单位制          | 39 |
| 2.3    | ADINA 的分析控制参数       | 39 |
| 2.3.1  | 标题                  | 39 |
| 2.3.2  | 自由度                 | 40 |
| 2.3.3  | 时间函数                | 41 |
| 2.3.4  | 时间步                 | 42 |
| 2.3.5  | 分析假定                | 43 |
| 2.3.6  | 方程求解设置              | 46 |
| 2.3.7  | 其他分析控制选项            | 48 |
| 2.3.8  | 文件控制                | 49 |
| 第3章    | 几何建模                | 54 |
| 3.1    | 坐标系                 | 55 |
| 3.1.1  | 局部坐标系的类型            | 55 |
| 3.1.2  | 定义局部坐标系的方法          | 56 |
| 3.1.3  | 创建局部坐标系的操作步骤        | 57 |
| 3.2    | Native 几何建模方式       | 58 |
| 3.2.1  | 创建和删除点              | 58 |
| 3.2.2  | 创建和删除线              | 59 |
| 3.2.3  | 创建和删除面              | 67 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 3.2.4 创建和删除体               | 70  |
| 3.2.5 空间函数                 | 73  |
| 3.2.6 实例:拉力作用下的开孔板         | 75  |
| 3.3 Parasolid 几何建模方式       | 87  |
| 3.3.1 导入 Parasolid 模型      | 87  |
| 3.3.2 创建和删除 Parasolid 体    | 88  |
| 3.3.3 切割面(Section Sheet)   | 94  |
| 3.3.4 布尔运算                 | 95  |
| 3.3.5 Parasolid 体修改器       | 98  |
| 3.3.6 实例:压力容器几何建模          | 102 |
| 3.4 两种几何建模方式的共用操作          | 105 |
| 3.4.1 几何变换                 | 105 |
| 3.4.2 几何域                  | 107 |
| 3.4.3 几何尺度测量               | 107 |
| 3.4.4 面连接                  | 107 |
| <b>第4章 有限元模型与网格划分</b>      | 108 |
| 4.1 材料                     | 108 |
| 4.1.1 ADINA 中的应力应变类型       | 108 |
| 4.1.2 ADINA Structure 材料模型 | 110 |
| 4.1.3 ADINA-Thermal 材料模型   | 120 |
| 4.1.4 ADINA-CFD 材料模型       | 121 |
| 4.2 单元和单元组                 | 123 |
| 4.2.1 单元类型                 | 123 |
| 4.2.2 定义单元组                | 124 |
| 4.2.3 几何元素的单元属性            | 128 |
| 4.3 边界条件                   | 129 |
| 4.3.1 自由度边界条件              | 129 |
| 4.3.2 约束方程                 | 130 |
| 4.3.3 刚性连接                 | 130 |
| 4.3.4 梁的端点自由度松弛            | 131 |
| 4.4 荷载                     | 131 |
| 4.4.1 荷载类型与施加对象            | 131 |
| 4.4.2 定义与施加荷载              | 132 |
| 4.5 初始条件                   | 133 |
| 4.5.1 定义初始条件               | 134 |
| 4.5.2 施加初始条件               | 134 |
| 4.6 接触                     | 135 |
| 4.6.1 接触组(Contact Group)   | 135 |
| 4.6.2 接触面                  | 136 |

|            |                                 |            |
|------------|---------------------------------|------------|
| 4.6.3      | 接触对 .....                       | 137        |
| 4.6.4      | 划分接触网格 .....                    | 138        |
| 4.6.5      | 接触控制 .....                      | 138        |
| 4.7        | 网格密度控制与网格划分 .....               | 139        |
| 4.7.1      | 网格划分密度 .....                    | 139        |
| 4.7.2      | 生成单元和节点 .....                   | 141        |
| 4.7.3      | 删除生成的单元和节点 .....                | 146        |
| <b>第5章</b> | <b>分析类型与求解</b> .....            | <b>147</b> |
| 5.1        | 分析类型 .....                      | 147        |
| 5.2        | 求解 .....                        | 152        |
| 5.2.1      | 生成求解器输入数据文件 .....               | 152        |
| 5.2.2      | AUI 环境启动求解 .....                | 152        |
| 5.2.3      | Windows Start Menu 方式启动求解 ..... | 153        |
| 5.2.4      | 批处理模式进行求解 .....                 | 153        |
| 5.2.5      | 内存分配 .....                      | 153        |
| 5.3        | 求解器 .....                       | 154        |
| <b>第6章</b> | <b>后处理</b> .....                | <b>155</b> |
| 6.1        | 读入结果文件 .....                    | 155        |
| 6.1.1      | 完整地读入结果文件 .....                 | 155        |
| 6.1.2      | 有选择地读入结果文件 .....                | 156        |
| 6.1.3      | 读入耦合分析的结果文件 .....               | 156        |
| 6.2        | 网格图 .....                       | 156        |
| 6.2.1      | 显示初始网格 .....                    | 156        |
| 6.2.2      | 显示变形网格 .....                    | 156        |
| 6.2.3      | 变形显示比例 .....                    | 157        |
| 6.2.4      | 显示节段法向 .....                    | 157        |
| 6.2.5      | 显示接触面 .....                     | 157        |
| 6.2.6      | 显示刚性连接和约束方程 .....               | 157        |
| 6.2.7      | 显示荷载 .....                      | 157        |
| 6.2.8      | 显示边界条件 .....                    | 157        |
| 6.2.9      | 修改网格图 .....                     | 157        |
| 6.3        | 云图/等值线图 .....                   | 158        |
| 6.3.1      | 显示云图/等值线图 .....                 | 158        |
| 6.3.2      | 修改云图/等值线图 .....                 | 159        |
| 6.3.3      | 删除云图/等值线图 .....                 | 159        |
| 6.3.4      | 光滑处理开关 .....                    | 159        |
| 6.4        | 矢量图 .....                       | 160        |
| 6.4.1      | 显示矢量图 .....                     | 160        |
| 6.4.2      | 修改矢量图 .....                     | 160        |



|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 6.4.3 删除矢量图 .....                       | 160 |
| 6.4.4 快速显示主应力矢量图 .....                  | 160 |
| 6.5 切片图 .....                           | 160 |
| 6.6 曲线图 .....                           | 162 |
| 6.6.1 路径曲线 .....                        | 162 |
| 6.6.2 时程曲线 .....                        | 162 |
| 6.7 动画 .....                            | 163 |
| 6.8 列表 .....                            | 164 |
| 6.8.1 摘要信息 .....                        | 165 |
| 6.8.2 极值列表(ADINA-AUI 适用) .....          | 165 |
| 6.8.3 使用过滤器列表(ADINA-AUI 适用) .....       | 166 |
| 6.8.4 不经过滤的列表(ADINA-AUI 适用) .....       | 166 |
| <b>第7章 ADINA 命令</b> .....               | 167 |
| 7.1 命令输入模式 .....                        | 167 |
| 7.2 命令的格式 .....                         | 167 |
| <b>第8章 实例详解</b> .....                   | 172 |
| 实例1 集中/均布荷载作用下的悬臂梁 .....                | 172 |
| 实例2 平面框架静力分析(节点自由度松弛) .....             | 179 |
| 实例3 预应力混凝土梁 .....                       | 186 |
| 实例4 约束方程应用(不同自由度单元连接) .....             | 203 |
| 实例5 初始应力场施加 .....                       | 211 |
| 实例6 三维实体单元测试 .....                      | 224 |
| 实例7 结构非线性:方块体大变形分析 .....                | 230 |
| 实例8 接触模态分析 .....                        | 239 |
| 实例9 冲击载荷作用的梁——模态叠加 .....                | 249 |
| 实例10 地震载荷作用的梁——谱分析 .....                | 252 |
| 实例11 一端有弹簧支撑的悬臂梁 .....                  | 256 |
| *实例12 流固耦合计算——水坝相互作用(势流体) .....         | 260 |
| 实例13 桩与土计算 .....                        | 270 |
| *实例14 蒸汽—空气热交换器 .....                   | 287 |
| *实例15 用滑移网格法对简化的涡轮做 FSI 分析 .....        | 297 |
| *实例16 结构流体和热的三场耦合模型 .....               | 302 |
| *实例17 带多孔介质的流固耦合模型 .....                | 313 |
| 实例18 带散热片的轴对称管的热机耦合分析 .....             | 324 |
| 实例19 板梁的屈曲分析 .....                      | 332 |
| 实例20 采用 LDC 算法计算网壳结构的稳定性、屈曲和后屈曲分析 ..... | 338 |
| 实例21 受均匀拉力的中心开孔板 .....                  | 345 |
| <b>附录</b> .....                         | 355 |
| <b>参考文献</b> .....                       | 362 |

## 第1章 ADINA 软件简介

### 1.1 ADINA 软件概况

ADINA 软件是美国 ADINA R&D 公司的产品,是基于有限元技术的大型通用分析仿真平台,广泛应用于各个工业领域、研究机构和教育机构。ADINA R&D 公司由世界著名的有限元技术专家 K. J. Bathe 博士及其同事于 1986 年创建,总部位于美国马萨诸塞州 Water-town。该公司专门致力于开发能够对结构、热、流体及流固(固)耦合、热固(固)耦合问题进行综合性有限元分析的程序——ADINA,从而为用户提供一揽子解决方案。

K. J. Bathe 博士于 1975 年到麻省理工学院工作,带领研究队伍开发了 ADINA 程序,其含义是 Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis。从 1975 年到 1984 年间,尽管 ADINA 不是商业产品,但它却是全球最先进的有限元分析程序。一方面由于其理论基础深厚、功能强大,被工程界、科学研究、教育等众多用户广泛应用;另一方面其源代码是 Public Domain Code,传播到全球各个领域,甚至很多商业有限元程序都来自 ADINA 的基础代码。我国曾经于 1981 年引进 ADINA 非线性结构分析程序,为有限元程序在我国工程问题中的应用带来了一个新的高潮,许多一直无法解决的工程难题都迎刃而解。经过 30 年的不断发展,ADINA 软件以其领先的计算理论、对非线性问题的稳定求解技术(ADINA 的很多求解技术持有专利)、强大而广泛的多物理场仿真功能获得全球用户的好评,被誉为有限元软件中的精品。

ADINA 系统主要包括下列产品模块:

- ADINA-AUI:前后处理模块
- ADINA Structure:结构分析模块
- ADINA-CFD:计算流体动力学(CFD)分析模块
- ADINA-Thermal:热分析模块
- ADINA-FSI:流体/结构耦合分析模块(包括热)
- ADINA-TMC:热/机械耦合分析模块
- ADINA-M:Parasolid 高级建模模块
- ADINA-Transor:与 CAD/CAE 软件的专用接口
- 900-NODE Version:900 节点的教育学习版(不包含 Parasolid 高级建模功能)

ADINA 软件有 UNIX 工作站版、Linux 版和 Windows 版三个主要版本。从 8.0 版本开始,ADINA 在不同平台上的界面几乎完全一致。目前,ADINA8.4 版已正式发布并面向全球用户供应。ADINA8.4 版的开发历时一年多,增加了许多新功能,并在诸多方面增强了原有功能,比如:在前后处理模块中增加了树状模型视图和标签对话框,在 ADINA-M 模块中消除了对实体模型大小的限制,进一步增强了 IGES 文件转换、网格划分、大规模 CFD 模型求解、显式动力求解、接触问题求解的能力,提供了新的 3 结点壳单元(MITC3 单元)、大应变壳单元

的 ULH 公式、形状记忆合金(SMA)材料模型、VOF 模型中的相变效应、紊流分析中的剪应力传播(SST)模型,等等。本书的写作就是基于 ADINA8.4 版和 Windows 平台的。

另外,ADINA8.4 版支持所有主流计算平台,具体情况参见表 1-1。并且,ADINA 对硬件资源的要求也比较低,对于 PC 机来说,最低配置为:64M 内存/215M 硬盘安装空间/CD-ROM/4M 显存的显卡。

ADINA8.4 版支持的计算平台 表 1-1

| 硬件/操作系统                                                                      | 32 位版本                            | 64 位版本                    | 并行功能 <sup>②</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| HP/HP-UX 11,<br>PA-RISC computers                                            | No                                | Yes, ADINA-M <sup>①</sup> | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| HP/HP-UX 11.22,<br>Itanium computers                                         | No                                | Yes, ADINA-M              | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| Linux kernel 2.4.0 and<br>higher, x86 computers                              | Yes, ADINA-M                      | No                        | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| Linux kernel 2.4.0<br>and higher, Itanium<br>computers(including SGI Altix)  | 提供 x86 版的 AUI,<br>可以使用<br>ADINA-M | Yes                       | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| Linux kernel 2.4.21<br>and higher, Intel X86_64 and AMD<br>Opteron computers | No                                | Yes, ADINA-M              | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| IBM/AIX 5.1                                                                  | No                                | Yes, ADINA-M              | 求解器               |
| SGI/IRIX 6.5.16m<br>and higher                                               | No                                | Yes, ADINA-M              | 总体矩阵组集,<br>求解器    |
| Sun/SunOS 5.8<br>(Solaris 8)                                                 | No                                | Yes, ADINA-M              | 求解器               |
| Windows 2000, XP <sup>③</sup>                                                | Yes, ADINA-M                      | No                        | 求解器               |

注:①ADINA-M 仅支持表中标明的平台。  
②只有 ADINA Structure 和 ADINA-Thermal 有并行的总体矩阵组集功能。  
③支持 3GB 地址空间。

1.2 ADINA 软件的主要技术特点

1.2.1 Windows 界面风格

ADINA 软件是一个全集成有限元分析系统,采用完全的 Windows 界面风格,既可以采用图标也可以采用菜单来执行任务。ADINA 可以根据用户的喜好重新布置界面,可以根据用户的需要任意添加和减少图标,还可以自己定义快捷键来完成操作。在前处理中,撤销(Undo)和重做(Redo)次数也可以由用户自己定义。

1.2.2 基于 Parasolid 核心的实体建模技术

ADINA 采用 Parasolid 作为其前处理的几何建模内核技术,这是全球 CAD/CAE 软件最

为流行的建模技术,绝大多数知名 CAD/CAE 软件都采用 Parasolid 作为几何建模的核心技术。因此,ADINA 一方面可以方便地创建各种复杂的几何模型,另一方面可以与采用 Parasolid 核心的软件直接交换几何模型,由于数据结构完全相同,不存在信息失真或丢失的问题,可以实现无缝集成,如 Unigraphics、SolidWorks、IronCAD、SolidEdge、MicroStation。其他一些 CAD/CAE 软件,即使没有采用 Parasolid 内核,只要有 Parasolid 接口,就可将创建的 CAD/CAE 模型以 Parasolid 格式传入 ADINA。

### 1.2.3 丰富的数据接口

除了上面讲到的 Parasolid 接口,ADINA 还提供与国际上流行的其他 CAD/CAE 软件的各种数据传递接口,这些接口可以完成几何模型、有限元模型的转换,有些软件系统甚至可以和 ADINA 直接集成,作为 ADINA 的前后处理使用。例如:

(1)IGES 通用数据接口。一些与 ADINA 还没有直接接口的 CAD 系统通过此接口可以将几何模型读入 ADINA(如 CATIA)。

(2)MSC. Nastran 输入文件可以直接读入 ADINA-AUI 数据库。

(3)与 Pro/Engineer、Unigraphics、SolidEdge、SolidWorks、Microstation、AutoCAD、IDEAS、NASTRAN、PATRAN 实现模型数据传递。

### 1.2.4 出色的网格自动生成技术和网格划分能力

对于有限元计算而言,网格质量与求解器同样重要,也是有限元程序发展的重要方向之一。ADINA 具有多种智能化的网格自动生成技术,提供多种高质量的网格划分器,具有强大的网格划分功能。除常见网格划分外,对复杂模型进行自动六面体网格划分,同时也具有自适应网格重划分功能。

另外,材料、载荷和边界条件可直接赋予几何模型,修改单元网格不会影响模型载荷和边界条件的定义。

### 1.2.5 丰富的单元类型和材料模式

单元类型详见 4.2 节。

ADINA 支持 100 多种金属和非金属材料模式,比如各向同性线弹性、正交各向异性线弹性、非线性弹性、双线段等温塑性、多线段等温塑性、Mroz 双线段等温塑性、正交各向异性塑性、Ilyushin、Gurson、热弹性、热弹塑性、蠕变、混凝土、弹性橡胶、超弹性、曲线描述地质材料、Drucker-Prager、岩石-黏土、带皱褶纤维、黏弹性,等等,此外还支持用户自定义材料。

### 1.2.6 完善的求解理论框架和高效的线性、非线性求解技术

ADINA 求解理论框架如图 1-1 所示,同时具有隐式/显式时间积分算法、有限元/控制体积方法、时域/频域求解方法,实现了真正意义上的结构/热/流体多场耦合问题的求解。

ADINA 求解非线性问题采用自动时间步长技术,由程序根据问题稳定性自动判断时间步或载荷步大小;提供 Line Search 方式配合 Newton-Raphson 迭代处理循环加载卸载问题模拟;提供基于改进弧长法的 LDC 方法计算非线性屈曲和后屈曲问题;提供专用的固有频域求解器 Determinant-Search 用于流固耦合模态求解,等等。



图 1-1 ADINA 系统的求解理论体系

### 1.2.7 结构、流体、热的真正耦合分析

ADINA-FSI (Fluid Structure Interaction) 是全球领先的流固耦合求解器。由于 ADINA 的结构和流体求解器都是同一家产品, ADINA-FSI 很容易将 ADINA Structure 和 ADINA-CFD 的功能融合在一起, 实现流体/结构耦合的高级分析。特点有:

- 流体和结构的网格可独立划分, 即流体和结构在界面上的网格不需要一致
- 可考虑自由液面运动
- 可考虑移动壁面问题
- 当流体区域发生变化时可考虑网格重划分
- 结构域采用 Lagrange 坐标系, 流体域采用 Euler 坐标系, 流固耦合界面采用 ALE (Arbitrary Lagrange Euler) 坐标系。
  - ALE 输运参量包括速度、压力、位移等参量
  - 不同域自动采用相同时间积分
  - 流固耦合有两种选项
    - ✧ FSI
    - ✧ Thermal FSI
  - 任何流体本构和结构材料都可进行耦合分析

### 1.2.8 完善的用户开发环境

任何一个商业化软件, 都不可能完全满足所有的工程问题以及所有用户的需求, 尤其是研究院所、高校等一些处在科学研究最前沿的单位。为此 ADINA 提供丰富的二次开发功能, 如图 1-2 所示, 允许用户方便地自定义各种用户功能, 常见如本构算法、材料破坏准则、接触摩擦形式; 断裂力学判据和开裂扩展规律、用户边界条件/荷载等等。

### 1.2.9 广泛的适用领域

ADINA 功能强大, 在世界范围内被广泛采用, 表 1-2 列出了 ADINA 的典型应用领域和

所能解决的代表性工程问题。但 ADINA 的适用领域不限于表 1-2 所列的范围,用户们可以灵活地把 ADINA 应用于自己的研究和领域。



图 1-2 ADINA 支持全面二次开发环境

ADINA 的典型应用

表 1-2

| 典型应用领域 | 代表性问题                                                                                                                                                         |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 机械工业   | 结构应力应变分析<br>结构的屈曲、后屈曲分析<br>结构固有动态特性和基于频域的动载响应分析<br>结构时域瞬态动载分析<br>温度相关的结构变形、蠕变和断裂分析<br>机械系统多体接触分析<br>压力容器设计(可考虑高温高压、流固耦合)<br>轴承、减振等系统工作过程仿真(可考虑多体接触、流体流动及流固耦合) |
| 汽车工业   | 部件刚度、强度分析<br>基于 FMVSS 标准的整车结构准静态试验仿真<br>基于 FMVSS 标准的整车结构冲击试验仿真<br>发动机系统多场耦合分析<br>ABS 制动防抱死系统<br>油泵管道应力和流动分析<br>车灯照明系统(考虑灯罩内空气流动、光辐射等效应)<br>轮胎横径向刚度、防滑等力学分析    |
| 材料加工   | 薄板拉伸成形<br>金属轧制<br>金属和塑胶材料的水压成型<br>多种温度相关、硬化模式材料本构<br>金属切割、切削过程仿真<br>考虑塑性变形焦耳热转化<br>考虑部件间接接触传热<br>考虑摩擦生热                                                       |



续上表

| 典型应用领域 | 代表性问题                                                                                                                                                                              |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 航空航天   | 部件刚度、强度分析<br>大型结构的模态求解<br>部件、整体结构的航空航天力学环境预测<br>纤维增强复合板的大变形、屈曲失稳分析<br>不可压、微可压、可压流动分析<br>低速、跨音速、超音速流动分析<br>流固耦合分析<br>火箭发射(同时考虑高马赫数流动和流固耦合)                                          |
| 土木工程   | 大型结构按标准校核计算<br>桥梁、楼塔的时域、频域动态响应分析<br>大型建筑的地震响应分析<br>大型容器(油罐等)的地震响应分析<br>坝、隧道、桥等多孔介质体固结、渗流分析<br>混凝土结构、岩土分析<br>结构(桩)与土壤的相互作用<br>隧道开挖、支护等施工过程仿真<br>大坝浇注、管道填埋等施工过程仿真                    |
| 电子电器   | 静电场分析<br>压电效应分析(可由用户自定义压电特性)<br>电子产品跌落仿真<br>麦克风、音响、助听器的声学设计(声场、结构耦合求解)<br>压缩机内部工质流动分析<br>热交换设计(同时考虑多相流动、热、流固耦合)<br>焊点(封装工艺)设计(循环加载和材料蠕变)<br>电子产品散热设计<br>MEMS(微机电系统)器件设计(尤其涉及微流体问题) |
| 断裂力学   | 求解裂纹萌生、扩展历史<br>可考虑周围流体流动<br>可考虑温度、压力、动力学效应等因素<br>采用网格自适应划分技术<br>用户可自定义材料模式、断裂判据和裂纹扩展规律                                                                                             |
| 国防军工   | 应力波传播问题<br>核容器设计(高温高压、金属蠕变、流固耦合)<br>防护工程结构设计<br>结构冲击、破坏<br>材料热力耦合破坏研究                                                                                                              |
| 生物力学   | 骨骼受力变形分析<br>假肢、假牙等力学设计<br>细胞在血管中的运动、结石排石过程仿真<br>人工肺、心脏的工作过程<br>脑组织损伤                                                                                                               |

### 1.3 ADINA 软件的主要模块功能简介

ADINA 系统的每个模块都有着丰富的功能,简介如下。

#### 1.3.1 ADINA-AUI(前后处理模块)

- 基于 Parasolid 内核的实体建模
- 几何 Parasolid 接口
- 有限元模型数据接口
- 通用 IGES 几何传输
- 自动网格划分
- 加载和边界条件
- 模型列表
- 结果列表
- 等值线显示
- 向量显示
- 流场粒子流显示
- 动画生成
- 多种图形输出格式 Bmp, Jpeg, Gif...
- 用户自定义图标
- 在线帮助文档
- 宏语言
- 二次开发资源

#### 1.3.2 ADINA Structure(结构分析模块)

##### (1)结构线性分析

- 静力分析
- 隐式瞬态算法
- 显式瞬态算法
- 频率/模态
- 模态叠加
- 周期对称
- 子结构
- 声流体

##### (2)结构非线性分析

- 材料非线性
- 大变形/大应变/大转动
- 静力分析

- 隐式瞬态算法
- 显式瞬态算法
- 接触(包括考虑接触的模态分析)
- 断裂力学(裂纹扩展、考虑动力学、温度效应、用户自定义单元、材料模式、断裂力学判据和裂纹扩展规律……)
- 模态叠加
- 复合材料(每层可以为不同的非线性材料、多种复合材料失效准则)
- 多孔介质
- 子结构
- 单元生死
- 初始应变/应力输入
- 重启动/结果映射/自动时间步长控制/势流体
- (3) 频域求解
- 响应谱
- 傅立叶分析
- 谐振
- 随机振动
- 基础响应谱
- (4) 屈曲分析
- 线性屈曲
- 非线性屈曲

### 1.3.3 ADINA-CFD(流体分析模块)

- 稳态/瞬态
- 层流/湍流
- 有限元/控制体积(Lagrange/Euler/ALE 物质与参考构形关系)
- 牛顿/非牛顿流体
- 不可压缩流动
- 微可压缩流动
- 低速可压缩流动
- 高速可压缩流动
- 各种湍流模型
- 自然/强迫对流
- 共轭传热/传质
- 气/液相变、气蚀
- 自动无量纲化
- CFL 自动求解控制
- 重启动,结果映射