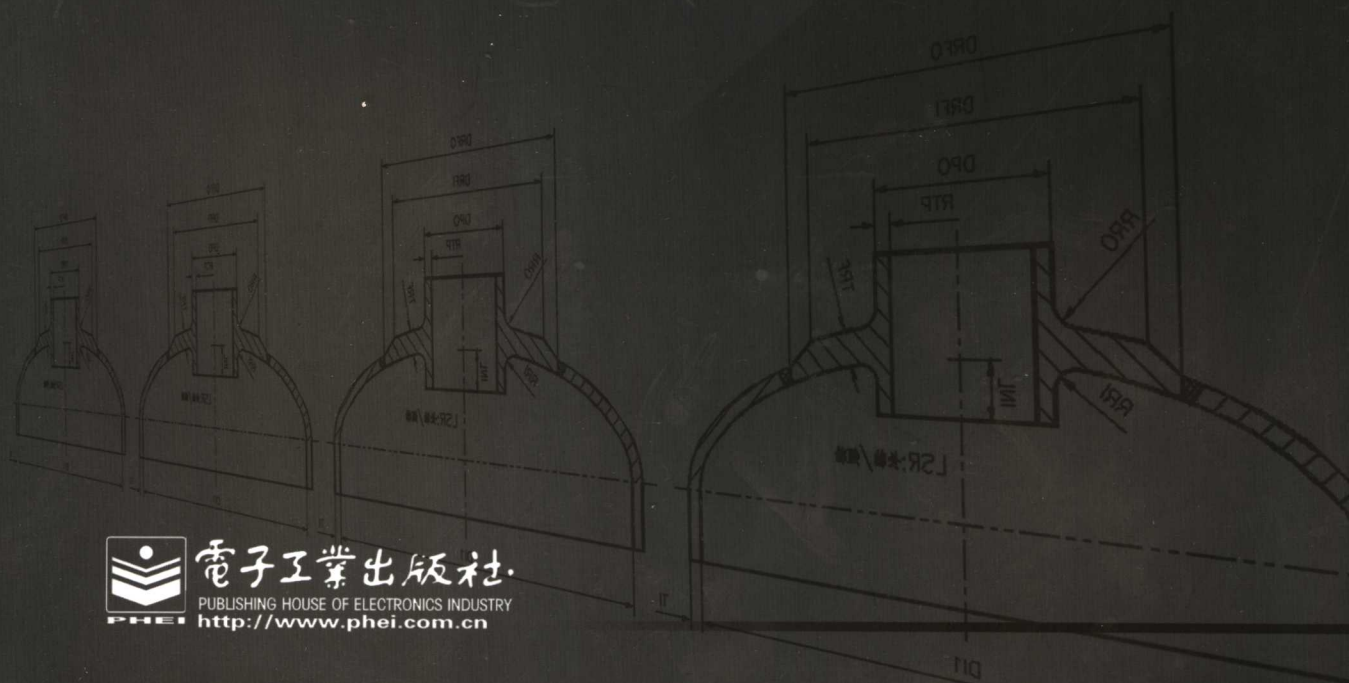


计算机专业人员书库

ANSYS

高级工程有限元分析 范 例 精 选

祝效华 余志祥 等编著



计算机专业人员书库

ANSYS

高级工程有限元分析 范例精选

祝效华 余志祥 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书选用多个行业的典型工程实例,具体讲解运用 ANSYS 高级有限元分析软件的思路和详细步骤,手把手教给读者面对一个工程问题如何筹划方案、建立模型、分析计算、结果处理等。本书的编写人员多为博士或具有丰富实践经验的工程技术人员,并在书中介绍了他们解决实际问题的经验和技巧。书中的代码和范例程序均已调试通过。

本书可作为高校、科研院所的科研人员和研究生的参考书,也适合广大工程技术人员在工作中作为参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 高级工程有限元分析范例精选 / 祝效华等编著. —北京:电子工业出版社, 2004. 10

(计算机专业人员书库)

ISBN 7-121-00346-5

I. A… II. 祝… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 092790 号

责任编辑: 孙学瑛

印 刷: 北京东光印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 29 字数: 691 千字

印 次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 49.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

半个世纪以来, 计算机科学与应用技术的飞速发展是人类文明和社会进步做出了不可磨灭的贡献。伴随着计算机技术的发展, 涌现出了一大批通用和专用的科学研究和工程应用软件(主要有德国的 ASKA、英国的 PAFEC、法国的 SYSTUS、美国的 ABQUS、ADINA、ANSYS、BERSAFE、BOSOR、COSMOS、ELAS、MARC 和 STARDYNE 等公司的产品), 解决了众多领域的科学和工程问题, 创造了巨大的经济和社会效益。

ANSYS 是最为通用和有效的商用有限元软件之一, 它不断吸收当今世界最新的计算方法和计算机技术, 引领着有限元界的发展趋势, 并为全球工业界所广泛接受, 拥有全球最大的用户群。它融结构、传热学、流体、电磁、声学 and 爆破分析于一体, 具有极为强大的前后处理及计算分析能力, 能够同时模拟结构、热、流体、电磁以及多种物理场间的耦合效应。自 1996 年落户中国以来, ANSYS 以其强大的功能、可靠的质量赢得了中国 CAE 用户的认可, 用户增长率连续 5 年超过 30%。该软件在我国的航空航天、铁路运输业、石油化工、机械制造、能源、汽车、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利等领域得到了广泛的应用, 为各领域的科学研究和工程应用做出了巨大的贡献。ANSYS 是许多高校学习“有限元分析”、“现代 CAE 工程”的指定分析软件, 深受广大师生推崇。

ANSYS 是一个知识和智慧密集型的复杂高科技产品, 软件版本更新较快, 已出版的中文资料也较多, 但它们多偏重于介绍 ANSYS 软件的基础理论和基本操作, 可以让读者较快地熟悉 ANSYS 软件的界面和基本功能。同时, 网上的资料也非常丰富, 但缺乏系统性。读者要解决具有复杂科学和工程背景的实际问题, 仅靠现有的 ANSYS 资料和联机帮助是远远不够的。于是, 为了帮助众多的 ANSYS 初学者尽快提高其实战水平, 我们编写了这本 ANSYS 高级工程有限元分析范例精选。由于相关的 ANSYS 入门材料较多且较易获得, 所以本书没有介绍 ANSYS 的基础知识, 而是假定读者已经初步了解了 ANSYS 的安装及基本操作, 通过大量带有详细步骤的工程实例, 手把手教给读者面对一个工程问题如何筹划方案、建模、分析计算、结果处理, 并融入了一些解决实际问题的相关经验技巧, 编写风格有 GUI、APDL 及其混合这 3 种方式。全部范例均来自科学研究和工程实践, 基本涵盖了 ANSYS 的常用应用领域, 很多范例读者稍作修改就能解决相关领域中类似的科研和工程问题。

由于书中内容涉及范围较广, 传统的篇章分类方法(按前后处理、结构、材料和接触、流体、热、电磁等分析方法分类)难以胜任。本书采用按行业分篇的方法。全书共分 4 篇, 第一篇为土木工程篇; 第二篇为电子工程篇; 第三篇为石油工程篇; 第四篇为一般结构分析及其他。书中课题虽然行业不同, 但其解决方案中的思路、技巧对各行各业的读者都具

有参考价值。

本书集结了十余位不同学科领域的佼佼者参与编著,力求集百家所长,以提高其实用性和代表性。全书由西南石油学院祝效华博士主编,西南交通大学余志祥博士编写了本书中第一篇第6、7、8章,广东省水利电力设计院李贤锋博士(得到张伟博士支持)编写了本书中第一篇第10章,中科院上海微系统所程迎军博士编写了本书中第二篇第1、2、3章,新加坡国立大学土木工程系余红霞博士编写了第一篇第4章,黑龙江哈尔滨电机有限责任公司袁昌健工程师编写了第四篇第1、2、3章,西安交通大学材料科学与工程学院焊接研究所李文亚博士编写了第四篇第5章,西南石油学院唐波博士编写了第三篇第3、4章,河海大学李骁春编写了第一篇第2、3章,安费诺东亚电子(深圳)科技有限公司邓平华博士编写了第二篇第4章,西南石油学院冯少波博士编写了第三篇第1、2章,浙江大学郭勇博士编写了第一篇第9章,北京交通大学土建学院杨风利编写了第一篇第11章,中国船舶科学研究中心(无锡)张爱锋编写了第一篇第5章,四川大学建筑与环境学院李伟编写了第四篇第4章,北京交通大学土建学院林文泉编写了第一篇第12章,清华大学马智刚编写了第一篇第1章。西南石油学院童华参与了全书的筹划、统稿和部分编写工作。本书的编写人员多为博士或具有丰富实践经验且具有硕士学位的工程技术人员,书中的代码和范例程序均已调试通过。初稿完成之后,西南石油学院吕之忠、杨眉、蒋发光老师和李前贵、曾兴昌、杨文领等参与了审稿工作,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。另外,还要衷心感谢电子工业出版社的张毅编辑,没有他的认真工作和努力,本书是不可能和读者见面的。最后向全书的作者表示衷心的感谢,是大家的协作精神促使了本书的诞生。

本书可以作为高校、科研院所的科研人员和研究生的参考书,亦可作为广大工程技术人员的参考书。

由于时间有限,书中一定存在疏漏和不妥之处,欢迎读者就书中问题与作者进行讨论。作者的电子邮件参见附录。

编著者

2004年2月西南石油学院

目 录

绪论 ANSYS 介绍	1
-------------	---

第一篇 土木工程篇

第 1 章 工业厂房主梁吊点计算	18
1.1 用 ANSYS 建模分析	18
1.1.1 确定分析单元	18
1.1.2 建模	18
1.1.3 划分网格	22
1.1.4 加载、计算、分析	24
第 2 章 混凝土初应力问题	26
2.1 问题描述	26
2.2 解法一：直接法	27
2.2.1 GUI 方式	27
2.2.2 APDL 方式	29
2.3 解法二：FORTRAN 与 ANSYS 混合法	30
小结	32
第 3 章 混凝土墙体施工期温度应力计算	33
3.1 问题描述	33
3.2 APDL 命令流文件	34
3.2.1 建立控制文件 control.txt	34
3.2.2 建立热分析文件 tempture.txt	34
3.2.3 建立 calcula.txt 文件	40
3.2.4 建立 s_plot 文件	42
小结	43
第 4 章 钢框架的火灾反应分析	44
4.1 分析问题简介	44
4.2 传热-静力耦合分析法	45
4.3 单独进行传热分析和结构分析	67

4.3.1 表格的定义和使用	67
4.3.2 文件的操作与使用	69
第5章 结构的屈曲分析	72
5.1 箱形单闭室的结构非线性屈曲分析	72
5.1.1 屈曲分析的概念	72
5.1.2 屈曲分析的类型	72
5.1.3 结构非线性屈曲分析的算例	75
第6章 膜结构非线性有限元分析	83
6.1 膜结构及其形态确定理论概述	83
6.1.1 初始形态确定分析	83
6.1.2 初始形态确定的步骤	84
6.1.3 初始形态确定的非线性有限元方法	85
6.2 膜结构形态确定的实现步骤	87
6.3 膜结构形态确定的分析流程 (GUI)	87
6.3.1 膜结构算例	87
6.3.2 计算假定	88
6.3.3 结构求解流程	88
6.4 膜结构静力荷载非线性分析	100
6.4.1 膜结构荷载分析概述	100
6.4.2 膜结构荷载分析理论	101
6.5 膜结构静力荷载非线性分析流程 (GUI)	102
6.5.1 结构模型	102
6.5.2 计算假定	103
6.5.3 计算流程 (GUI)	103
6.6 张拉膜结构模态分析 (GUI)	111
6.6.1 膜结构模态分析基本理论	111
6.6.2 计算假定	113
6.6.3 计算流程 (GUI)	113
6.7 结构分析 APDL 流程	117
小结	121
第7章 轻钢门式刚架结构整体分析	122
7.1 结构模型建立	122
7.1.1 计算假定	122
7.1.2 范例意义	122
7.2 门式刚架结构的分析流程 (GUI)	122

7.2.1 结构概况	122
7.2.2 结构求解流程	123
小结	154
第 8 章 点式幕墙索桁架结构分析	155
8.1 幕墙索桁架结构模型建立	155
8.1.1 计算假定	155
8.1.2 范例意义	155
8.2 索桁架结构的分析流程 (GUI)	155
8.2.1 结构概况	155
8.2.2 结构求解流程	157
小结	185
第 9 章 复合结构弹塑性分析	186
9.1 碳纤维加固的钢筋混凝土结构弹塑性分析	186
9.1.1 钢筋混凝土单向板碳纤维加固后的受力性能分析	186
9.1.2 混凝土单向板受力分析流程	188
小结	205
第 10 章 土木工程施工过程仿真分析	206
10.1 混凝土拱坝的施工仿真分析流程	206
10.1.1 参数化 APDL 语言建立拱坝模型	206
10.1.2 编制模拟混凝土浇注的施工过程	227
10.2 预应力钢筋混凝土桥施工仿真分析流程	236
10.2.1 预应力混凝土桥 APDL 仿真	237
10.2.2 编制模拟混凝土浇注的施工过程	249
第 11 章 RPC 预应力混凝土给排水管道分析	257
11.1 准备建立模型	257
11.2 开始建立模型	258
11.2.1 建立混凝土单元模型	258
11.2.2 建立箍筋单元	261
11.3 对模型施加边界条件和加载	264
11.3.1 边界条件的施加	264
11.3.2 施加荷载	266
11.4 计算结果及其后处理	269
11.4.1 运行程序得到计算结果	269
11.4.2 进入后处理器进行计算结果分析	269

第 12 章 单孔地道桥结构分析	272
12.1 模型建立	272
12.2 求解	279
12.3 后处理	280

第二篇 电子工程篇

第 13 章 电子封装中的热模拟	284
13.1 问题描述	284
13.2 热模拟流程	285
13.2.1 设定结构基本参数（以国际单位表示）	286
13.2.2 选择单元类型	287
13.2.3 定义材料参数	287
13.2.4 建立几何模型	287
13.2.5 赋材料属性	291
13.2.6 划分网格	292
13.2.7 施加载荷并求解	293
13.2.8 查看温度分布图	295
13.2.9 热平衡分析	297
第 14 章 电子封装中的热-流体耦合模拟	301
14.1 问题描述	301
14.2 模拟流程	302
14.2.1 设定结构基本参数（以国际单位表示）	302
14.2.2 选择单元类型	303
14.2.3 定义材料参数	304
14.2.4 建立几何模型	304
14.2.5 赋予材料属性	308
14.2.6 划分网格	310
14.2.7 施加载荷并求解	310
14.2.8 查看温度分布图	311
第 15 章 电子封装中热循环加载下的力学模拟	313
15.1 问题描述	313
15.2 模拟流程	314
15.2.1 设定结构基本参数（以国际单位表示）	314
15.2.2 选择单元类型	315

15.2.3	定义材料参数	315
15.2.4	建立几何模型	316
15.2.5	赋予材料属性	318
15.2.6	划分网格	320
15.2.7	施加载荷并求解	320
15.2.8	查看结果	323
第 16 章	压电耦合场分析	326
16.1	压电耦合场分析说明	326
16.1.1	压电矩阵	326
16.1.2	压电材料本构方程	326
16.2	压电实例	327
16.2.1	模型说明	327
16.2.2	命令流	328
16.2.3	结果	341
 第三篇 石油工程篇 		
第 17 章	偏磨套管抗挤强度分析	344
17.1	偏磨套管抗挤强度分析总体思路	344
17.2	偏磨套管抗挤强度分析过程	345
17.2.1	问题的描述	345
17.2.2	分析过程 GUI 方法	345
17.2.3	结果处理及计算套管抗挤强度	349
17.2.4	分析过程 APDL 程序方法	350
第 18 章	弯曲段套管抗挤强度分析	352
18.1	弯曲段套管抗挤强度分析总体思路	352
18.2	弯曲段套管抗挤强度分析过程	352
18.2.1	问题的描述	352
18.2.2	分析过程 GUI 方法	352
18.2.3	结果处理及计算套管抗挤强度	356
18.2.4	分析过程 APDL 程序方法	357
小结		359
第 19 章	气动刹车装置橡胶活塞膜分析	360
19.1	气动刹车装置橡胶膜力学模型	360
19.1.1	几何结构	360

19.1.2	材料参数	361
19.1.3	模型边界条件	361
19.2	分析过程	362
19.2.1	分析过程 APDL 方法	362
19.2.2	应力及位移分析	364
19.3	优化设计	365
19.3.1	膜体厚度及圆角优化	365
19.3.2	膜体中心半径优化	366
19.3.3	膜体材料优化	366
	小结	367
第 20 章	套管接箍磨损分析	368
20.1	力学模型	368
20.1.1	几何结构	368
20.1.2	材料参数	370
20.1.3	边界条件	370
20.1.4	判据准则	371
20.1.5	模型离散	371
20.2	分析过程	372
20.2.1	分析过程 APDL 方法	372
20.2.2	应力分析	375
20.3	数据处理	375
20.3.1	磨损量与抗内压性能的关系	376
20.3.2	磨损量与抗拉性能的关系	376
20.3.3	沿路径应力变化规律	377
	小结	380

第四篇 一般结构分析及其他

第 21 章	螺栓和法兰连接的接触分析	382
21.1	螺栓和法兰连接的接触分析	382
21.1.1	主轴联轴螺栓作用	382
21.1.2	主轴联轴螺栓分析流程	383
	小结	397
第 22 章	复杂函数加载及实例	398
22.1	复杂载荷	398
22.1.1	余弦载荷	398

22.1.2 余弦载荷加载流程	398
第 23 章 网格划分及实例	404
23.1 复杂有限元网格划分的基本原则	404
23.1.1 网格密度	404
23.1.2 网格疏密	406
23.1.3 单元阶次	406
23.1.4 网格质量	407
23.1.5 网格分界面和分界点	407
23.1.6 位移协调性	407
23.1.7 网格布局	408
23.1.8 节点和单元编号	408
23.2 有限元网格划分实例	408
第 24 章 基于 ANSYS 的三维应力强度因子计算	411
24.1 背景介绍	411
24.2 使用 ANSYS 分析注意事项	411
24.3 问题描述	413
24.4 具体分析	413
24.4.1 建立模型	413
小结	421
第 25 章 冷喷涂过程中固态粒子与基体的变形分析	422
25.1 冷喷涂工艺	422
25.1.1 冷喷涂工艺过程	422
25.1.2 具体问题的描述	422
25.2 粒子与基体变形分析	423
25.2.1 求解思路	423
25.2.2 具体求解过程	423
附录	444

绪论 ANSYS 介绍

0.1 CAE 的发展与 ANSYS

有限元分析方法最早应用于航空航天领域，用来求解线性结构问题。实践证明，这是一种非常有效的数值分析方法。有限元的核心思想是将结构离散化，将实际结构离散为有限数目的规则单元系统，即将无限自由度的求解问题转化为有限自由度的问题，通过建立数学方程获得有限自由度的解，这样可以解决许多采用理论分析无法求解的复杂工程问题。理论研究已经证明，只要将结构对象离散为足够小的单元，有限元求解结果就能够很精确地逼近真实解。从“有限元”的名字出现到今天，经历了几十年的发展，其基本理论已经日趋完善，复杂非线性问题的各种算法得到很大的发展，并且在工程领域得到广泛的应用。

国际上众多研究机构在 20 世纪 60 年代初就已经开始开发有限元算法和分析程序，但是真正的 CAE (Computer Aided Engineering) 软件则诞生于 20 世纪 70 年代初，而近 15 年则是 CAE 软件商品化的发展阶段。CAE 开发商为了满足市场需求和适应计算机软件与硬件技术的迅速发展，对软件的功能、性能和用户界面以及前、后处理功能，都进行了大幅度的改进与扩充。这就使得目前市场上知名的 CAE 软件，在功能、性能、易用性、可靠性，以及运行环境的适应性方面，基本上满足了用户的当前需求，并且解决了大量复杂的实际工程问题。

目前主流 CAE 软件的发展主要表现在以下几个方面。

1. 与 CAD 软件的无缝集成

在未来相当长的时间里，CAD 软件与 CAE 软件还会有明显不同的分工，即设计工作由 CAD 完成，分析主要在 CAE 软件中完成。CAE 软件的发展趋势是与 CAD 集成使用，即用 CAD 软件完成结构部件和零件的造型设计以后，直接传输到 CAE 软件中进行有限元分网并且进行分析计算。如果分析的结果不满足设计要求，则重新进行设计和分析，直到满意为止，从而极大地提高了设计水平和效率。

2. 强大、可靠的网格划分能力

有限元求解的基本过程主要包括：结构离散化、有限元求解、计算结果的后处理三部分。结构离散化后的网格质量直接控制求解时间、结果的误差大小，同时软件的网格划分功能直接关系到工作效率，因此多种网格划分方法、强大的六面体网格自动划分，以及根据求解结果对模型进行自适应分网等能力都是软件能力的重要体现。

3. 求解线性问题到非线性问题

随着科学技术的发展,线性分析结果已经不能满足复杂设计的要求,许多工程涉及的接触装配、材料破坏与失效、非线性断裂、裂纹扩展等仅靠线性求解技术是难以完成的,必须进行非线性求解分析。例如,薄板成型就要求同时考虑结构的大位移、大应变和塑性;而对橡胶、塑料、陶瓷、混凝土及岩土等材料进行分析或者需要考虑材料的塑性、蠕变效应时则要求考虑材料非线性。当然,大量的流体动力学分析、流场中的移动壁面问题、流体/结构耦合分析则是更高程度的非线性问题。众所周知,对于时域内的强非线性问题,传统的隐式时间积分格式有时无法满足求解的要求,这时,就要求程序在结构和多场分析中都具备显式积分算法。

4. 求解结构场到耦合场

目前 CAE 软件的发展方向是结构非线性、流体动力学和耦合场问题的求解。例如由于接触而产生的热问题,金属成型时由于塑性功能而产生的热问题,需要结构场和温度场的有限元结果交叉迭代求解,即“热力耦合”。当流体在结构场中流动时,流体压力会使结构产生变形,结构变形反过来又会影响到流体的流动,即所谓“流固耦合”。有限元的应用越来越深入,人们关注的问题越来越复杂,耦合场问题的求解必将成为 CAE 软件的发展方向。

5. 程序的开放性

无论软件如何发展,都不可能完全满足所有用户的要求,这是因为很多用户处于工程或者科学研究的前沿,需要把自己的任务加入到软件中,完成特殊的分析任务。因此,开发商必须给用户一个开放的环境,允许用户根据自己的实际情况对软件进行扩充,包括用户自己定义单元特性、本构关系、流场边界条件、材料失效模式、结构断裂判据和裂纹的扩展规律等。

ANSYS 软件是 20 世纪 70 年代由美国 ANSYS 公司开发的一套功能强大的有限元通用分析程序,具有强大的前处理、求解和后处理能力,目前广泛应用于航空、航天、汽车、船舶、土木、电子、机械等科学应用领域。ANSYS 把 CAD、CAE、CAM 技术集成于一身,可以满足用户从设计、计算、制造全过程的使用要求。程序的开放性是衡量其能力的一个重要标准,ANSYS 自带的 APDL 语言可以直接以 ANSYS 程序为平台,为用户提供二次开发,其语法简单,易学易用,是用户进行深入研究的强大辅助工具。

ANSYS 程序可以采用 APDL 命令流输入建模分析,也可以采用 GUI 交互式输入方式建模。前一种方式最适合科研人员对同一个产品进行参数分析,修改方便,耗用计算机资源少,而且高级使用者还可以结合行业的特殊问题进行扩展开发,满足用户的特殊需求。后一种方式操作简单、直观,适合于初学者,同时,对已确定的模型进行分析快捷高效。

ANSYS 程序从第一个版本出现到现在已经经历了多个版本的升级。其第一个版本为批处理程序,仅仅具有热分析和线性求解功能。进入 20 世纪 70 年代,有限元技术迅猛的

发展直接带动了 ANSYS 的升级, 程序中逐渐加入了非线性求解功能及子结构求解技术, 同时针对用户市场, 程序也加入了许多行业特殊问题的求解功能, ANSYS 逐渐演变成为一套具有通用性的有限元分析程序。进入 20 世纪 70 年代后期, ANSYS 程序一改数据文件批处理输入方式, 采用 GUI 方式, 极大地简化了使用者的建模分析过程, 当然也快速推动了软件的发展。

国内 ANSYS 用户接触较早的版本为 ANSYS 5.4, 其功能和界面已经基本成熟, 求解问题的领域也深入到多场耦合求解, 基本能够满足各行业用户的使用要求。现在 ANSYS 的最新版本为 8.0 版, 在已有功能的基础上又增加了许多功能和单元, 有兴趣的读者可以在 ANSYS 官方网站 (www.ANSYS.com.cn) 上查询其具体说明。

0.2 ANSYS 的主要分析功能

0.2.1 ANSYS 的基本功能

1. 结构静力分析

用来求解稳态外载引起的系统或部件的位移、应变、应力和力。静力分析很适合求解惯性和阻尼对结构的影响并不显著的问题, 如确定结构中应力集中现象。ANSYS 程序中的静力分析不仅可以进行线性分析, 而且可以进行非线性分析, 如塑性、蠕变、膨胀、大变形、大应变及接触分析。

2. 结构动力学分析

结构动力学分析用来求解随时间变化的载荷对结构或部件的影响。与静力分析不同, 动力学分析要考虑随时间变化的力载荷以及对阻尼和惯性的影响。ANSYS 可进行的结构动力学分析类型包括: 瞬态动力学分析、模态分析、谐波响应分析及随机振动响应分析。

3. 结构非线性分析

结构非线性导致结构或部件的响应随外载荷不成比例的变化。ANSYS 可求解静态和瞬态非线性问题, 包括材料非线性、几何非线性、单元非线性 3 种。

(1) 几何非线性

主要包括大变形、大应变、应力强化、旋转软化、非线性屈曲等问题的分析。

(2) 材料非线性

主要包括弹塑性(双线性随动硬化、双线性各向同性硬化、多线性随动硬化、多线性各向同性硬化、非线性随动硬化、非线性各向同性硬化、非均匀各向异性、速率相关塑性、复合弹塑性等)、非线性弹性(分段线性弹性)、超弹性(各种橡胶、Mooney-Rivlin 材料)、粘弹性(各种玻璃、塑料)、粘塑性(高温金属)、蠕变、膨胀(核材料)、岩土和混凝土材料。

(3) 单元非线性

自动接触处理(点点接触、点地接触、点面接触、刚柔面接触、柔柔面接触、自动单元接触、刚体接触、固联失效接触、固联接触、侵蚀接触、单边接触)、非线性连接单元(3D 空间万向连接单元、非线性拉扭弹簧阻尼器、开关控制单元、间隙单元等)、钢筋混凝土单元(任意布置加强钢筋、可计算和图形显示开裂情况)、材料高度非线性单元(粘弹性专用单元、粘塑性专用单元)、特殊非线性单元(布效应膜壳单元、大变形、大旋转壳单元)。

4. 运动学分析

ANSYS 可以分析大型三维柔体运动。当运动的积累起主要影响作用时,可使用这些功能分析复杂结构在空间的运动特性,并确定结构中由此产生的应力、应变和变形。

5. 热分析

ANSYS 软件可处理热传递的 3 种基本类型:传导、对流和辐射。热传递的 3 种类型均可进行稳态和瞬态、线性和非线性分析。热分析还具有可以模拟材料固化和熔解过程的相关变分析能力以及模拟热与结构应力之间的热-结构耦合分析能力。

6. 电磁场分析

主要用于电磁场问题的分析,如电感、电容、磁通量密度、涡流、电场分布、磁力线分布、力、运动效应、电路和能量损失等,还可以应用于调节器、发电机、磁体、电解槽及无损检测装置等的设计和分析领域。

7. 流体动力学分析

ANSYS 流体单元能进行流体动力学分析,分析类型可以为瞬态或稳态,分析结果可以是每个节点的压力和通过每个单元的流率。并且可以利用后处理功能产生压力、流率和温度分布的图形显示。另外,还可以使用三维表面效应单元和热一流管单元模拟结构的流体绕流,并包括对流换热效应。

8. 声场分析

软件的声学功能用来研究含流体的介质中声波的传播,或分析浸在流体中的固体结构的动态特性。这些功能可用来确定音响话筒的频率响应,研究音乐大厅的声场强度分布,或预测水对振动船体的阻尼效应。

9. 压电分析

用于分析二维或三维结构对 AC(交流)、DC(直流)或任意随时间变化的电流或机械载荷的响应。这种分析类型可用于换热器、振荡器、谐振器、麦克风等部件及其他电子设备的结构动态性能分析。可进行 4 种类型的分析:静态分析、模态分析、谐波响应分析、

瞬态响应分析。

0.2.2 ANSYS 的高级功能

1. 多物理场耦合分析

考虑两个或多个物理场之间的相互作用对于正确求解很多实际工程问题是必需的,也是 CAE 软件发展的一个趋势。ANSYS 在这方面领导着 CAE 软件的发展方向。ANSYS 目前可以考虑的多物理场分析主要有如下几个方面:热-应力分析、热-结构分析、热-电分析、热-流体分析、磁-热分析、磁-结构分析、感应-加热分析、感应-震荡分析、电磁-电路分析、电-结构分析、电-磁分析、电-磁-热分析、电-磁-热-结构分析、压力-结构分析、速度-温度-压力分析、稳态-流-固分析。

2. 优化设计

优化设计是一种寻找确定最优方案的技术。设计方案的任何方面都是可以优化的,如:尺寸、形状、支撑位置、制造费用自然频率、材料特性等。实际上,所有可以参数化的 ANSYS 选项都可以优化设计。

3. 拓扑优化

拓扑优化是指形状优化,有时也称为外形优化。拓扑优化的目标是寻找承受单载荷或多载荷的物体的最佳材料分配方案。这种方案在拓扑优化中表现为“最大刚度”设计。用户只需要给出结构的参数(材料特性、模型、载荷等)和要省去的材料百分比,程序就能自动进行优化。

4. 单元的“生死”

如果模型中“加入”(或“删除”)材料,模型中响应的单元就“存在”(或“消亡”)。单元“生死”选项就用于这种情况下杀死或重新激活单元。本功能主要用于钻孔(如开矿和挖隧道等)、建筑物施工过程(如桥梁的建筑过程)、顺序组装(如分层的计算机芯片组装)和另外一些用户可以根据单元位置来方便地激活或不激活它们的一些应用中。

5. 用户可扩展功能 (UPF)

ANSYS 软件的开放结构允许连接自己的 FORTRAN 程序和子过程。当前 UPF 主要支持如下特性:用户单元坐标系定位、用户实参、用户摩擦系数、用户塑性屈服准则、用户蠕变方程、用户熔胀准则、用户湿热生成、用户超弹性、用户失效准则、用户粘弹性、用户载荷、用户载荷向量、ANSYS 作为子程序(被调用)、用户优化。

0.3 ANSYS 的求解能力

ANSYS 是世界上惟一真正实现多物理场耦合分析的 CAE 分析系统,集流体、流固耦