

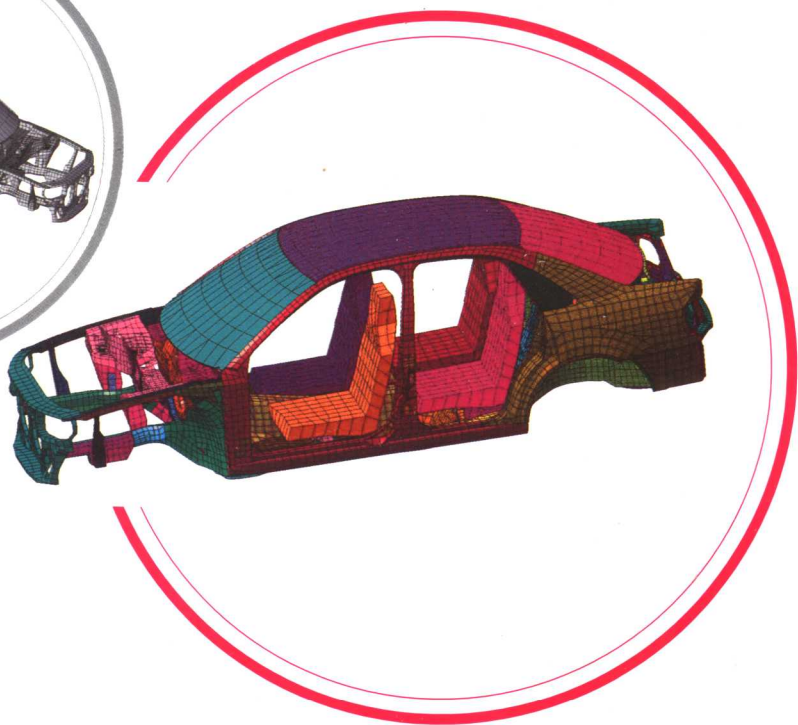


随书附光盘一张

# *Nastran*

## 快速入门与实例

李增刚 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

0241.82-39/12D

2007

# Nastran

## 快速入门与实例

李增刚 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书共分 12 章,主要介绍了大型通用有限元程序 Nastran 数据文件的格式,数据卡的格式,以及一些基本应用和高级应用。本书的内容由浅入深,主要内容包括 Nastran 的输入文件格式的详细说明、静力学计算、对称计算、惯性释放计算、正交模态计算、屈曲计算、直接瞬态计算、模态瞬态计算、直接频率计算、模态频率计算、大质量法、非线性计算、灵敏性和优化计算、超单元的使用和 Patran 的一些操作,相信读者在仔细阅读本书的内容和完成书中的实例后,完全可以进行有限元方面的一些计算。

本书读者对象主要包括大专院校的研究生、博士生以及科研院所、技术公司、企业技术部门的设计人员和分析人员;应用领域包括航空航天、汽车、船舶、发动机、军工和机械生产厂等行业。

### 图书在版编目(CIP)数据

Nastran 快速入门与实例/李增刚编著. —北京:国防工业出版社,2007.6  
ISBN 978-7-118-05152-0

I. N... II. 李... III. 有限元分析—应用软件, Nastran  
IV. 0241.82—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 060561 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 字数 329 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

# 前 言

随着人类认识客观物质世界能力的不断提高,比较完善的科学理论体系已经建立。在众多的理论知识中,人类对物质世界的受力分析以及振动噪声的分析情有独钟,已经建立起了牛顿力学、拉格朗日方程和哈密顿体系等多套力学体系。同时伴随着高性能计算机的出现,人们可以借助于计算机和已有的力学理论知识来认识物质世界,这使得计算力学成为解决实际问题的一种有效而又可靠的方法。在计算力学的分支中,有限元计算研究构件内部的应力、应变以及变形等基本数据,为新产品的设计开发提供必要的参考,除此之外,有限元计算还可以进行更高级的计算,如振动噪声、温度场等,可以说有限元技术可以解决多方面的问题。

随着机器大工业的快速发展,人类改造物质世界的能力也在不断提高,要求出现更好的劳动工具。现代工业已经能够制造出有效的劳动工具来满足人类的需求,例如各种各样的机械产品、人们乘坐的交通工具等,但是对于机械产品内部存在的各种因素和相互作用,很难直接地观察到,这就要求人们借助相应工具和理论知识来推算系统的各种性能数据,这无疑是对产品的设计提出了更高的要求。

要解决一个系统中存在的矛盾,就需要借助于更好的设计手段和设计方法。有限元分析计算在设计阶段就对设计的产品进行性能分析,从而使生产出来的第一个产品最大限度地满足设计指标,它能节省开发费用,缩短开发周期,提高开发效率,是一个有效的设计手段。本书介绍的 Nastran 软件是专门辅助机械产品开发方面的工具,通过有限元计算,在产品开发阶段就可以帮助设计者发现设计缺陷,并提出改进的方法。由于有限元理论方面的书籍较多,所以本书不讲解有限元的理论知识,读者可以参考相关的书籍。

本书适合高等院校的研究生及科研院所、汽车、发动机和航空航天等相关领域的科技人员使用。本书分为 12 章,介绍了 Nastran 的一些基本应用和高级应用,本书的内容由浅入深,涉及到的内容包括 Nastran 输入文件格式的详细说明、静力学计算、对称计算、惯性释放计算、正交模态计算、屈曲计算、直接瞬态计算、模态瞬态计算、直接频率计算、模态频率计算、大质量法、非线性计算、灵敏性和优化计算、超单元的使用和 Patran 的一些操作,相信读者在仔细阅读本书的内容和完成书中的实例后,完全可以进行有限元方面的一些计算。

由于受作者水平与时间的限制,书中疏漏和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。在使用本书的过程中如果遇到问题,请通过电子邮件 forengineer@126.com 或 forengineer@sohu.com 与本书作者联系。

作者

2007 年 4 月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| <b>第 1 章 Nastran 的输入文件和输出文件</b> .....  | 1  |
| 1.1 计算机辅助工程概述 .....                    | 1  |
| 1.1.1 计算机辅助工程的含义 .....                 | 1  |
| 1.1.2 有限元计算的重要性 .....                  | 2  |
| 1.1.3 Nastran 概述 .....                 | 3  |
| 1.2 Nastran 的输入文件和输出文件 .....           | 5  |
| 1.2.1 静力学分析实例 .....                    | 5  |
| 1.2.2 Nastran 输入文件的构成 .....            | 7  |
| 1.2.3 Nastran 的输入数据的类型 .....           | 8  |
| 1.2.4 Nastran 的单位制 .....               | 8  |
| 1.2.5 Nastran 输入文件的数据格式 .....          | 9  |
| 1.2.6 在输入文件中添加注释 .....                 | 10 |
| 1.2.7 Nastran 的输出文件 .....              | 10 |
| 1.3 Nastran 的命令 .....                  | 11 |
| 1.4 文件管理命令 .....                       | 12 |
| <br>                                   |    |
| <b>第 2 章 Nastran 有限元模型的材料及属性</b> ..... | 15 |
| 2.1 各向同性材料 .....                       | 15 |
| 2.1.1 各向同性材料的力学关系 .....                | 15 |
| 2.1.2 各向同性材料的定义 .....                  | 16 |
| 2.2 正交各向异性材料 .....                     | 19 |
| 2.2.1 三维单元正交各向异性材料 .....               | 19 |
| 2.2.2 二维单元正交各向异性材料 .....               | 20 |
| 2.3 各向异性材料 .....                       | 21 |
| 2.3.1 二维单元各向异性材料 .....                 | 21 |
| 2.3.2 三维单元各向异性材料 .....                 | 23 |
| 2.4 热传递材料 .....                        | 24 |
| 2.4.1 各向同性热材料 .....                    | 24 |
| 2.4.2 各向异性热材料 .....                    | 25 |
| 2.4.3 热辐射材料的定义 .....                   | 26 |
| 2.5 流体材料的定义 .....                      | 27 |
| 2.6 非线性材料 .....                        | 28 |

|   |    |
|---|----|
| <b>第 3 章 Nastran 的有限元几何模型</b> .....                         | 29 |
| 3.1 坐标系 .....   | 29 |
| 3.1.1 坐标系的分类 .....  | 29 |
| 3.1.2 局部坐标系的创建 .....  | 30 |
| 3.2 节点和标量点 .....  | 31 |
| 3.2.1 节点与标量点 .....  | 31 |
| 3.2.2 节点的定义 .....   | 32 |
| 3.2.3 标量点的定义 .....  | 33 |
| 3.3 零维单元及其属性 .....  | 34 |
| 3.3.1 标量质量单元 .....  | 34 |
| 3.3.2 标量质量单元的属性 .....                                       | 35 |
| 3.3.3 标量弹簧单元 .....  | 36 |
| 3.3.4 标量弹簧单元的属性 .....                                       | 37 |
| 3.3.5 标量阻尼单元 .....  | 37 |
| 3.3.6 标量阻尼单元的属性 .....                                       | 38 |
| 3.4 一维单元及其属性 .....  | 39 |
| 3.4.1 CROD 单元 .....   | 39 |
| 3.4.2 CROD 单元的属性 .....                                      | 40 |
| 3.4.3 CTUBE 单元 .....  | 40 |
| 3.4.4 CTUBE 单元的属性 .....                                     | 40 |
| 3.4.5 CBEND 单元 .....  | 41 |
| 3.4.6 CBEND 单元的属性 .....                                     | 42 |
| 3.4.7 CBAR 单元 .....   | 43 |
| 3.4.8 CBAR 单元的属性 .....                                      | 46 |
| 3.4.9 CBEAM 单元 .....  | 46 |
| 3.4.10 CBEAM 单元的属性 .....                                    | 47 |
| 3.4.11 CVISC 单元 .....                                       | 52 |
| 3.4.12 CVISC 单元的属性 .....                                    | 52 |
| 3.5 二维单元及其属性 .....  | 52 |
| 3.5.1 CQUAD4 单元 .....                                       | 52 |
| 3.5.2 CQUAD8 单元 .....                                       | 53 |
| 3.5.3 CTRIA3 单元 .....                                       | 54 |
| 3.5.4 CTRIA6 单元 .....                                       | 55 |
| 3.5.5 CQUAD <sub>i</sub> 单元和 CTRIA <sub>i</sub> 单元的属性 ..... | 55 |
| 3.5.6 CSHEAR 单元 .....                                       | 56 |
| 3.5.7 CSHEAR 单元的属性 .....                                    | 57 |
| 3.5.8 CRAC2D 单元 .....                                       | 57 |
| 3.5.9 CRAC2D 单元的属性 .....                                    | 58 |

|              |                                   |           |
|--------------|-----------------------------------|-----------|
| 3.6          | 三维单元及其属性                          | 58        |
| 3.6.1        | CTETRA 单元                         | 59        |
| 3.6.2        | CPENTA 单元                         | 59        |
| 3.6.3        | CHEXA 单元                          | 60        |
| 3.6.4        | CTETRA 单元、CPENTA 单元和 CTRIAX 单元的属性 | 61        |
| 3.6.5        | CTRIAX6 单元                        | 61        |
| 3.6.6        | CTRIAX 单元                         | 62        |
| 3.6.7        | CQUADX 单元                         | 62        |
| 3.7          | R 单元                              | 63        |
| 3.7.1        | RROD 单元                           | 63        |
| 3.7.2        | RBAR 单元                           | 64        |
| 3.7.3        | RTRPLT 单元                         | 64        |
| 3.7.4        | RBE1 单元                           | 65        |
| 3.7.5        | RBE2 单元                           | 65        |
| 3.7.6        | RBE3 单元                           | 66        |
| 3.7.7        | RSPLINE 单元                        | 67        |
| 3.7.8        | RSSCON 单元                         | 67        |
| 3.8          | 特殊单元及其属性                          | 68        |
| 3.8.1        | CBUSH 单元                          | 68        |
| 3.8.2        | CBUSH 单元的属性                       | 68        |
| 3.8.3        | CBUSH1D 单元                        | 69        |
| 3.8.4        | CBUSH1D 单元的属性                     | 70        |
| 3.8.5        | CWELD 单元                          | 71        |
| 3.8.6        | CWELD 单元的属性                       | 72        |
| 3.8.7        | CGAP 单元                           | 72        |
| 3.8.8        | CGAP 单元的属性                        | 73        |
| 3.8.9        | CONM1 和 CONM2 单元                  | 74        |
| 3.8.10       | 接触单元及其属性                          | 74        |
| <b>第 4 章</b> | <b>Nastran 有限元模型的约束和载荷</b>        | <b>77</b> |
| 4.1          | 添加约束                              | 77        |
| 4.1.1        | 单点约束                              | 77        |
| 4.1.2        | 自动添加约束                            | 78        |
| 4.1.3        | 多点约束                              | 79        |
| 4.2          | 静态载荷                              | 79        |
| 4.2.1        | 节点集中力                             | 80        |
| 4.2.2        | 节点集中力矩                            | 81        |
| 4.2.3        | 分布载荷                              | 82        |
| 4.3          | 惯性载荷                              | 84        |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 4.4        | 温度载荷                          | 85         |
| 4.4.1      | 节点温度                          | 85         |
| 4.4.2      | 单元温度                          | 85         |
| 4.5        | 强迫位移和强迫运动                     | 86         |
| 4.6        | 动态载荷                          | 87         |
| 4.6.1      | 时间动态载荷                        | 87         |
| 4.6.2      | 频率动态载荷                        | 90         |
| 4.6.3      | 随机激励                          | 92         |
| 4.7        | 组合载荷                          | 92         |
| 4.7.1      | 静态载荷的组合                       | 92         |
| 4.7.2      | 动态载荷的组合                       | 93         |
| <b>第5章</b> | <b>Nastran 输入文件的执行控制与工况控制</b> | <b>95</b>  |
| 5.1        | 执行控制部分                        | 95         |
| 5.2        | 工况控制命令                        | 97         |
| <b>第6章</b> | <b>静力学计算</b>                  | <b>106</b> |
| 6.1        | 集中力静力学计算                      | 106        |
| 6.1.1      | 问题描述                          | 106        |
| 6.1.2      | 创建节点                          | 106        |
| 6.1.3      | 创建材料和属性                       | 107        |
| 6.1.4      | 创建单元                          | 108        |
| 6.1.5      | 创建约束                          | 108        |
| 6.1.6      | 定义载荷                          | 109        |
| 6.1.7      | 指定求解序列                        | 109        |
| 6.1.8      | 定义载荷工况                        | 109        |
| 6.1.9      | 计算并查看结果                       | 110        |
| 6.2        | 标量单元的应用                       | 112        |
| 6.2.1      | 问题描述                          | 112        |
| 6.2.2      | 生成 bdf 文件                     | 112        |
| 6.2.3      | 计算并查看结果                       | 113        |
| 6.3        | 梁单元和杆单元的应用                    | 114        |
| 6.3.1      | 问题描述                          | 114        |
| 6.3.2      | 生成 bdf 文件                     | 114        |
| 6.3.3      | 计算并查看结果                       | 117        |
| 6.4        | 惯性释放                          | 117        |
| 6.4.1      | 惯性释放的概念                       | 117        |
| 6.4.2      | 导弹的惯性释放计算                     | 118        |



|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 7 章 特征值计算</b> .....      | 121 |
| 7.1 提取线性特征值 .....             | 121 |
| 7.1.1 问题描述 .....              | 121 |
| 7.1.2 生成 bdf 文件 .....         | 122 |
| 7.1.3 提交计算并查看结果 .....         | 123 |
| 7.2 线性屈曲 .....                | 124 |
| 7.2.1 问题描述 .....              | 124 |
| 7.2.2 创建 bdf 文件 .....         | 125 |
| 7.2.3 提交计算并查看结果 .....         | 126 |
| <b>第 8 章 动态计算</b> .....       | 128 |
| 8.1 瞬态响应计算 .....              | 128 |
| 8.1.1 问题描述 .....              | 128 |
| 8.1.2 模态计算 .....              | 129 |
| 8.1.3 创建直接瞬态响应的 bdf 文件 .....  | 130 |
| 8.1.4 求解计算并查看结果 .....         | 132 |
| 8.1.5 创建模态瞬态响应的 pdf 文件 .....  | 133 |
| 8.2 频率响应 .....                | 133 |
| 8.2.1 创建直接频率响应的 bdf 文件 .....  | 134 |
| 8.2.2 求解计算并查看结果 .....         | 136 |
| 8.2.3 创建模态频率响应的 bdf 文件 .....  | 137 |
| 8.3 直接强迫运动分析 .....            | 137 |
| 8.3.1 问题描述 .....              | 137 |
| 8.3.2 生成直接强迫运动的 pdf 文件 .....  | 138 |
| 8.3.3 提交计算并查看计算结果 .....       | 140 |
| 8.4 大质量强迫运动 .....             | 141 |
| 8.4.1 生成大质量强迫运动的 pdf 文件 ..... | 141 |
| 8.4.2 提交计算并查看计算结果 .....       | 143 |
| <b>第 9 章 非线性分析</b> .....      | 144 |
| 9.1 非线性单元分析 .....             | 144 |
| 9.1.1 问题描述 .....              | 144 |
| 9.1.2 生成 bdf 文件 .....         | 144 |
| 9.1.3 提交计算并查看计算结果 .....       | 147 |
| 9.2 材料非线性分析 .....             | 148 |
| 9.2.1 问题描述 .....              | 148 |
| 9.2.2 生成 bdf 文件 .....         | 148 |
| 9.2.3 提交计算并查看计算结果 .....       | 151 |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 9.3           | 大变形 .....                   | 152        |
| 9.3.1         | 问题描述 .....                  | 152        |
| 9.3.2         | 生成 bdf 文件 .....             | 153        |
| 9.3.3         | 提交计算和查看结果 .....             | 155        |
| <b>第 10 章</b> | <b>优化和灵敏性分析 .....</b>       | <b>156</b> |
| 10.1          | 优化和灵敏性分析的相关数据卡 .....        | 156        |
| 10.1.1        | 优化和灵敏性分析的流程 .....           | 156        |
| 10.1.2        | 工况控制部分 .....                | 157        |
| 10.1.3        | 设计变量的定义 .....               | 159        |
| 10.1.4        | 方程的定义 .....                 | 161        |
| 10.1.5        | 优化目标的定义 .....               | 162        |
| 10.1.6        | 约束的定义 .....                 | 166        |
| 10.1.7        | 灵敏性分析数据的输出 .....            | 167        |
| 10.2          | 优化和灵敏性分析实例 .....            | 167        |
| 10.2.1        | 汽车灵敏性分析 .....               | 167        |
| 10.2.2        | 悬臂梁的质量优化 .....              | 170        |
| 10.2.3        | 桁架的质量优化 .....               | 175        |
| <b>第 11 章</b> | <b>超单元的使用 .....</b>         | <b>180</b> |
| 11.1          | 超单元的定义 .....                | 180        |
| 11.1.1        | 单级超单元与多级超单元 .....           | 180        |
| 11.1.2        | 超单元的定义 .....                | 182        |
| 11.1.3        | 超单元之间的连接 .....              | 184        |
| 11.1.4        | 旋转或移动超单元 .....              | 186        |
| 11.1.5        | 多工况 .....                   | 186        |
| 11.2          | 超单元计算实例 .....               | 188        |
| 11.2.1        | 超单元静力学计算 .....              | 188        |
| 11.2.2        | 超单元模态计算 .....               | 191        |
| <b>第 12 章</b> | <b>用 Patran 做前后处理 .....</b> | <b>194</b> |
| 12.1          | Patran 基本操作 .....           | 194        |
| 12.1.1        | 建立 Patran 的工作目录 .....       | 194        |
| 12.1.2        | Patran 的界面 .....            | 194        |
| 12.1.3        | 创建组 .....                   | 196        |
| 12.1.4        | 设置元素的显示/隐藏 .....            | 197        |
| 12.1.5        | 设置元素的颜色 .....               | 197        |
| 12.2          | 在 Patran 中建立几何模型 .....      | 198        |
| 12.2.1        | 导入几何模型 .....                | 198        |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 12.2.2 | 在 Patran 中直接建立几何模型 ..... | 199 |
| 12.2.3 | 在 Patran 中划分网格 .....     | 202 |
| 12.2.4 | 在 Patran 中定义材料 .....     | 202 |
| 12.2.5 | 在 Patran 中定义单元的属性 .....  | 203 |
| 12.3   | 在 Patran 中进行静力学计算 .....  | 204 |
| 12.3.1 | 静力学计算 .....              | 204 |
| 12.3.2 | 对称计算 .....               | 206 |
| 12.4   | 模态计算 .....               | 210 |
| 12.5   | 瞬态响应计算 .....             | 211 |
| 12.6   | 频率响应计算 .....             | 216 |

# 第 1 章 Nastran 的输入文件和输出文件

有限元技术从开始应用于航空航天领域至今已有 50 多个年头，已经广泛应用于航空航天、汽车、船舶、发动机等行业，它在国民经济中扮演了越来越重要的角色。采用有限元技术可以降低开发成本，缩短开发周期，减少试验次数和试验成本。Nastran 是较早出现的大型有限元程序，其计算的精度和可靠性已经经过多年的检验，并且在多个领域得到大量的应用，现在正被越来越多的生产厂家、科研院所和大专院校等单位接受。

## 1.1 计算机辅助工程概述

### 1.1.1 计算机辅助工程的含义

随着自然科学的不断发展，人们对客观世界的认识不断深化，因而可以深入到构成复杂系统的单个个体进行内在的微观的原因研究，随着计算机技术的发展，结合自然科学技术的进步，人们对客观物质世界的认识已经提升到一个新的高度，不仅能够研究系统微观原因，也能研究系统的宏观原因。

对客观世界的认识，一方面可以通过真实地接触事物，也就是通过物理试验的方法，去认识其本质和原因；另一方面，还可以利用已有的经验和知识，辅助一定的工具和必要条件去认识事物，从而间接地认识事物。但是直接认识事物的方法其周期可能会很长，投入的人力物力也比较大，有的时候甚至根本不可能，而且直接认识事物也需要现有的经验和知识，是在现有的经验和知识的基础之上对事物进一步的认识。利用已经被证实是正确的经验和知识，以及事物所必须满足的一些必要条件，来推测事物其他方面的未知数据的方法，即间接地认识事物的方法，已经被证实是一个十分有效的方法。

在 20 世纪五六十年代，随着航空航天技术发展，为获得飞行器的各种数据，需要做大量的昂贵的物理试验，这样就会促使人们想用间接的方法计算飞行器的各种数据，从而对飞行器的各种性能进行分析。随着计算机技术的发展，使人们可以在很短的时间内完成对大量数据的处理工作，从而使间接认识事物的方法达到了一个新的高度。

计算机辅助工程，也就是通常所说的 CAE(Computer Aided Engineering)技术就是在自然科学技术和计算机技术不断发展的基础上建立起来的，它是将具体的自然科学与计算机技术相结合，将自然科学的理论知识 and 经验通过计算机语言描述出来，来帮助人们去认识客观的物质世界。通过计算机的高速处理能力，使人们能够在很短的时间内得到和处理大量的数据，拓展了人们认识物质世界的能力，减轻了人们的体力和脑力劳动。

就现在的发展水平而言，计算机辅助工程(CAE)是一个总的名称，它根据不同学科与计算机技术的结合而有不同的分支。从广义来说，计算机辅助工程的内容很多，包括计

算机辅助设计(CAD)、计算机辅助创新(CAI)、计算机辅助分析(CAA)、计算机辅助优化(CAO)和计算机辅助制造(CAM)等,而人们通常从狭义上来讲计算机辅助工程,也就是根据具体的学科而进行的分类。人们通常所说的计算机辅助工程是狭义上的,狭义上的计算机辅助工程包括计算结构力学(FEA,有限元分析)、计算多体系统动力学(CMD)、计算流体动力学(CFD)等,应用领域包括航空航天、汽车制造、铸造、噪声控制、产品设计等等各个方面。

将 CAE 技术应用于现代工业生产过程中,是将科学技术转化成生产力的一种表现形式。在各种 CAE 技术中,有限元技术是计算机辅助工程的一个最重要的分支,它是人们在开发新的产品时,在概念设计阶段,通过学科理论特别是计算力学和计算机语言,对设计阶段的产品进行虚拟性能测试,达到提高设计性能,降低设计成本,减少产品开发时间的目的。至今还有很多人将有限元计算等价于 CAE。如今有限元仿真计算技术已经比较成熟,已经建立起了可靠的理论体系,在现代工业中得到了广泛的应用,产生了巨大的经济效益。

### 1.1.2 有限元计算的重要性

随着人类社会进步的加快,生活水平的不断提高,人们对产品的要求也越来越高,另外,社会竞争更加激烈,产品复杂程度越来越高,产品开发周期越来越短,产品保修维护期望越来越高,生产计划越来越灵活,在现实中还有一些客观的约束条件,例如昂贵的物理样机试验,严格的法律法规要求等等,因此要提高的产品质量,缩短开发周期,并不是件容易的事情。要克服以上困难,一个行之有效的方法就是通过有限元计算,进行仿真计算,防止各种设计缺陷的存在,提出改进意见,使生产的第一件产品就能满足质量的要求。

传统的产品开发过程如图 1-1 所示,该过程是一个大循环的过程,不仅难于提高产品质量,而且耗费大量的时间和资金。而通过有限元计算,在制造物理样机之前,就可以进行样机的测试,找出和发现潜在的问题,缩短产品开发周期的 40%~70%,其过程如图 1-2 所示,这样不仅节省时间和金钱,还可以大幅度地提高设计质量。CAE 样机技术与传统的设计方式相比,各自在产品利润与开发周期之间的关系如图 1-3 所示,利用 CAE 样机技术,有时只需要投入传统设计方式 10%的费用,就可以达到传统设计 90%的目标。

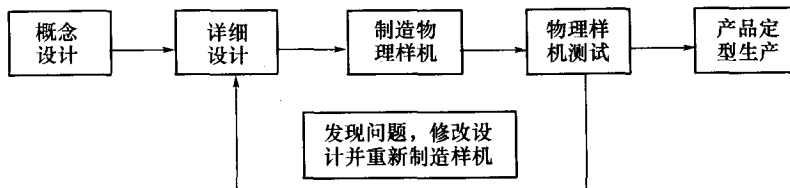


图 1-1 传统的产品开发流程

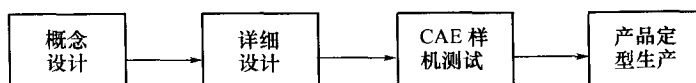


图 1-2 CAE 样机开发流程

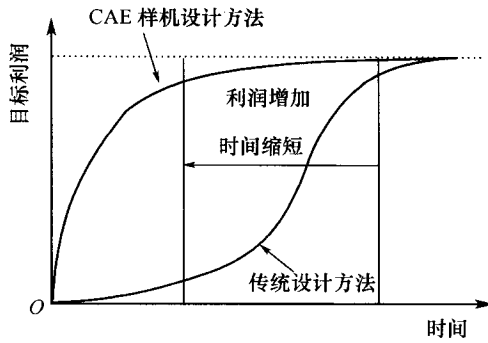


图 1-3 传统设计方法和 CAE 样机设计方法之比较

### 1.1.3 Nastran 概述

Nastran 是 20 世纪 60 年代，美国航天局为发展航天事业而开发的一套用于替代试验的有限元仿真程序。由于完全用试验的方法来发展航天事业需要花费巨大的资金，而用计算机仿真来代替试验相对来说非常经济，而且开发时间也会大大缩短，所以计算机仿真试验被广泛地应用开来。Nastran 原来由多家公司共同开发，所以有多个 Nastran 版本，如 MSC.Nastran、CSA/Nastran、UAI/Nastran、ME/Nastran、SAS/Nastran、COSMIC Nastran、NE/Nastran、VR/Nastran 和 NX/Nastran。当前在我国市场上以 MSC.Nastran 和 NX/Nastran 为主，由于这两个有限元程序的代码基本上完全一样，所以本书在介绍 Nastran 时，不区分 MSC.Nastran 和 NX/Nastran，本书所介绍的内容完全适用于 MSC.Nastran 和 NX/Nastran。

Nastran 的主要功能模块有：基本分析模块(含静力、模态、屈曲、热应力以及流固耦合等)、动力学分析模块、热传导模块、非线性分析模块、设计灵敏度分析及优化模块、超单元分析模块、气动弹性分析模块、DMAP 用户开发工具模块及高级对称分析模块，下面简述如下：

#### 1. 静力分析

静力分析主要用来求解与时间无关或时间作用效果可忽略的静载荷(如集中/分布静力、温度载荷、强迫位移、惯性力)作用下的节点位移、节点力、约束(反)力、单元内力、单元应力和应变能等。

#### 2. 屈曲分析

屈曲分析主要用于研究结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷。

#### 3. 动力学分析

结构动力分析不同于静力分析，用于计算构件在随时间或频率变化的载荷的作用下，构件的位移、速度或加速度等响应，同时还考虑阻尼及惯性效应的作用。Nastran 动力学分析功能包括：正则模态及复特征值分析、频率及瞬态响应分析、声学分析、随机响应分析、响应及冲击谱分析、动力灵敏度分析等。

#### 4. 非线性分析

非线性问题是指构件响应与所受的外载荷并不成比例，在撤消外载荷后，构件将恢

复不到原来的状态。引起非线性问题的原因很多，可以分为几何非线性、材料非线性、非线性边界(接触问题)、非线性单元。几何非线性是指构件在产生较大的变形后，构件的应力与应变关系由线性关系转变成非线性关系。材料非线性是指构件的应力与应变关系本身就是非线性的，非线性材料包括超弹性、热弹性、弹塑性、塑性及蠕变材料等。非线性边界是指一些接触问题，如齿轮传动、冲压成形、橡胶减振器、紧配合装配等，当一个构件与另一个构件或外部边界相接触时通常要考虑非线性边界条件。非线性单元是指除几何、材料、边界非线性外，MSC.Nastran还提供了具有非线性属性的各类分析单元，如非线性阻尼、弹簧、接触单元等。

#### 5. 热传导分析

热传导分析通常用来校验结构零件在热边界条件或热环境下的产品特性，利用Nastran可以计算出结构内的热分布状况，并直观地看到结构内潜热、热点位置及分布。Nastran可以解决包括传导、对流、辐射、相变、热控系统在内所有的热传导现象，并真实地仿真各类边界条件，构造各种复杂的材料和几何模型，模拟热控系统，进行热-结构耦合分析。Nastran的热分析包括线性/非线性稳态热传导分析、线性/非线性瞬态热传导分析、相变分析和热控分析。

#### 6. 多级超单元分析

超单元分析是一种求解大型问题十分有效的手段，特别是当工程师打算对现有结构件做局部修改和重分析时。超单元分析主要是通过把整体结构分化成很多小的子部件来进行分析，即将结构的特征矩阵(刚度、传导率、质量、比热、阻尼等)压缩成一组主自由度，类似于子结构方法，但与其相比具有更强的功能且更易于使用。子结构可使问题表达简单、计算效率提高、计算机的存储量降低。超单元分析则在子结构的基础上增加了重复和镜像映射和多层子结构功能，不仅可单独运算而且可与整体模型混合使用，结构中的非线性与线性部分分开处理可以减小非线性问题的规模。应用超单元的工程师仅需对那些所关心的受影响大的超单元部分进行重新计算，从而使分析过程更经济、更高效，避免了总体模型的修改和对整个结构的重新计算。

#### 7. 流-固耦合分析

流-固耦合分析主要用于解决流体(含气体)与结构之间的相互作用效应。流-固耦合分析问题包括流-固耦合法、水弹性流体单元法、虚质量法。流-固耦合法广泛用于声学 and 噪声控制领域中，如发动机噪声控制、汽车车厢和飞机客舱内的声场分布控制和研究等。水弹性流体单元法通常用来求解具有结构界面、可压缩性及重力效应的流体问题。虚质量法主要用于以下流-固耦合问题的分析：结构沉浸在一个具有自由液面的无限或半无限液体里；容器内盛有具有自由液面的不可压缩液体。

#### 8. 空气动力弹性及颤振分析

气动弹性问题是应用力学的分支，涉及气动、惯性及结构力间的相互作用，在Nastran中提供了多种有效的解决方法。人们所知的飞机、直升机、导弹、斜拉桥乃至高耸的电视发射塔、烟囱等都需要气动弹性方面的计算。Nastran的气动弹性分析功能主要包括：态和动态气弹响应分析、颤振分析及气弹优化。

#### 9. 设计灵敏度及优化分析

Nastran的优化过程由设计灵敏度分析及优化两大部分组成，可对静力、模态、屈曲、

瞬态响应、频率响应、气动弹性和颤振分析进行优化。设计灵敏度分析可计算出结构响应对应于各设计变量的导数，以确定设计变化过程中对结构响应最敏感的部分，获得灵敏度系数和最佳的设计参数。在灵敏度分析的基础上，设计优化可以快速地给出最优的设计变量值。设计优化分析可以获得某些目标，如应力、位移、固有频率等的最大值或最小值。

### 10. 高级对称分析

针对结构的对称、反对称、轴对称或循环对称等不同的特点，可以采用对称分析、轴对称分析或高级循环对称分析。对称分析可以用1/2或1/4的模型来进行计算。轴对称分析可以分析那些绕某一轴线旋转而得到的具有轴对称的模型，只需分析结构的一个截面。高级循环对称分析可以分析那些绕某一轴循环有序周期性排列而成的特定的结构，在分析时仅需要选取特定的结构件即可获得整个组件结构的计算结果，减少计算和建模的时间。

## 1.2 Nastran 的输入文件和输出文件

Nastran 的求解过程是先产生输入文件，然后将输入文件提交给 Nastran 进行计算，计算结束后查看结果。输入文件包含节点、单元、载荷、约束、工况和执行控制等信息，输入文件可以手工产生，也可以用专门的前处理软件生成。对于简单的模型可以用手工的方法创建输入文件，对于复杂的模型可以用专门的前处理软件来创建输入文件。不论简单与复杂，通常都需要手工修改输入文件，因此熟习 Nastran 的输入文件的格式和语法至关重要，本书主要介绍 Nastran 输入文件的构成、命令的格式和语法，并配以大量的实例，使读者能够迅速利用 Nastran 进行有关的计算。Nastran 的输入文件通常称为 bdf(Bulk Data File)文件，常以.bdf、.dat 或.blk 为扩展名。

### 1.2.1 静力学分析实例

例如对于图 1-4 所示的简单模型，一侧固定，另一侧受到两个集中载荷的作用，用记事本创建一个文本文件，在其中输入如表 1-1 所列的内容，然后将文件提交给 Nastran 进行计算，可参考本书附带光盘 statics\chapter\_1 目录下的 chapter1.bdf 文件，在计算结束后就可以看到计算结果文件 chapter1.f06 和 chapter1.op2，对于表 1-1 中的内容，我们会在后面章节中进行详细介绍。

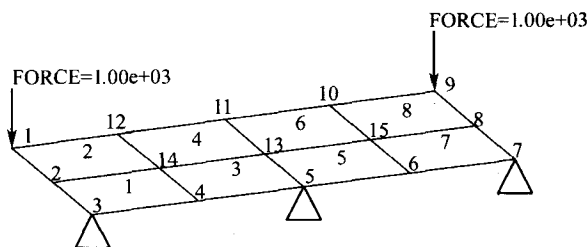


图 1-4 简单模型的静力学分析



表 1-1 简单模型的静力学分析输入

```

SOL 101
CEND
DISPLACEMENT=ALL
STRESS=ALL
SPC=1
LOAD=1
BEGIN BULK
$
GRID,15,,49.8,49.8,0.0
GRID,14,,149.5,49.8,0.0
GRID,13,,99.7,49.8,0.0
GRID,12,,149.5,99.6,0.0
GRID,11,,99.7,99.6,0.0
GRID,10,,49.8,99.6,0.0
GRID,9,,0.0,99.6,0.0
GRID,8,,0.0,49.8,0.0
GRID,7,,0.0,0.0,0.0
GRID,6,,49.8,0.0,0.0
GRID,5,,99.7,0.0,0.0
GRID,4,,149.5,0.0,0.0
GRID,3,,199.4,0.0,0.0
GRID,2,,199.4,49.8,0.0
GRID,1,,199.4,99.6,0.0
$
PSHELL,2,1,1,,1,,1
MAT1,1,2.1+11,,0.3,7800
$
CQUAD4,8,2,8,9,10,15
CQUAD4,7,2,7,8,15,6
CQUAD4,6,2,15,10,11,13
CQUAD4,5,2,6,15,13,5
CQUAD4,4,2,13,11,12,14
CQUAD4,3,2,5,13,14,4
CQUAD4,2,2,14,12,1,2
CQUAD4,1,2,4,14,2,3
$
PARAM,POST,-1
$
SPC1,1,123456,3,5,7
$
FORCE,1,1,,1,,0.0,0.0,1000.
FORCE,1,9,,1.0,0.0,0.0,1000.0
$
ENDDATA
    
```