



二代龙震工作室 编著

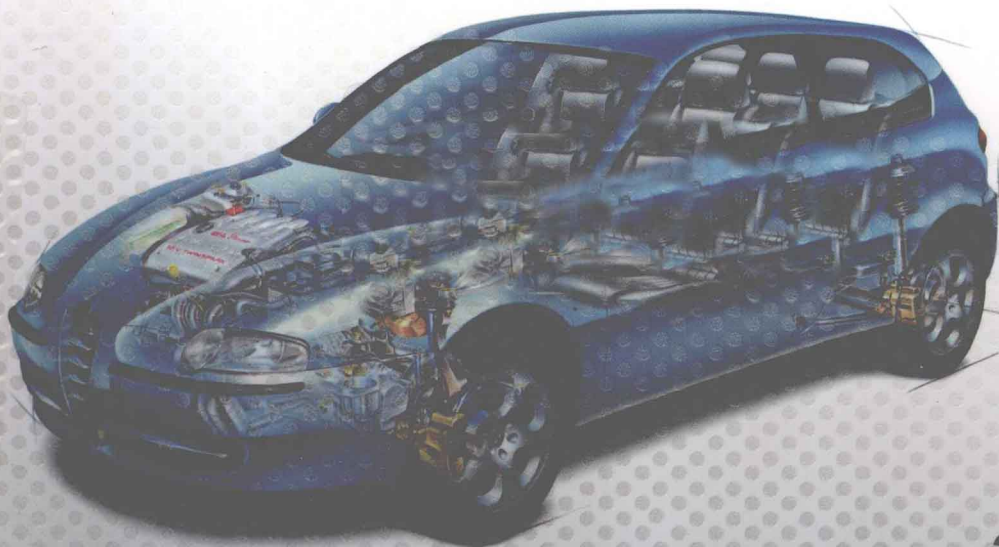
工业设计院

Pro/MECHANICA

Wildfire 5.0

结构/热力分析

- 充分融合理论和实务，范例丰富
- 含衔接ANSYS的详细操作
- 含ANSYS10(12)入门和丰富实例
- 范例简单易学，充分方便初学者学习
- 特殊的文字图例著作风格，不需来回翻对文图，**效果直接，易读易懂**
- 基础高级兼俱，著作团队专业性强
- 提供重点范例的视频文件
- 提供本书所有**范例和网上问题咨询**



清华大学出版社

工业设计院

Pro/MECHANICA Wildfire 5.0

结构/热力分析

二代龙震工作室 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细介绍如何使用 Pro/MECHANICA 来进行结构设计。在本书中,我们以真实的设计范例来演示如何对产品做结构的分析。本书还介绍了闻名于机构 CAE 专业软件领域的 ANSYS,同时还比较了它和 Pro/MECHANICA 的分析结果数据。本书的主要内容包括:Pro/MECHANICA 初步、准备模型(基本模式)、灵敏度研究和优化分析、其他类型的分析实例、MECHANICA 的有限元模式、MECHANICA 的分析实例集、ANSYS 初步、ANSYS 的分析实例集、综合实务范例。

本书适合机械等相关行业的所有设计和制图人员,同时也是机械本科或相关专业的最佳学习教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

Pro/MECHANICA Wildfire 5.0 结构/热力分析/二代龙震工作室编著. —北京:清华大学出版社,2011.10
(工业设计院)

ISBN 978-7-302-26008-0

I. ①P II. ①二… III. ①机械设计:计算机辅助设计—应用软件, Pro/Mechanica Wildfire 5.0
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 119806 号

责任编辑:张彦青

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:34.25 字 数:826 千字

附光盘 2 张

版 次:2011 年 10 月第 1 版

印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:72.00 元

产品编号:035096-01

丛 书 序

本工作室针对 Pro/ENGINEER 这个 CAD/CAE/CAM 大型软件所写的系列书是包含在《工业设计院》总称之下。而系列的顺序是按整个工业设计的上、下游流程，以及其所代表的几个热门职业：造型设计师、建模师、机构设计师、结构设计师以及模具设计师等所涉及的专业课程；然后，再搭配 Pro/ENGINEER 这个软件的各种合适模块，来诠释其技术和软件工具的应用。

《工业设计院》分以下四大系列：

(1) 基础设计系列：主要是建模和画工程图，所有机械范畴都要用到。

(2) 造型设计系列：工业设计最上游，即产品原型的确定阶段。能主导设计的就是造型设计师，按确认图样生产或抄录的就是建模师。

(3) 分析设计系列：工业设计流程的中间阶段，用来事先分析解决可能发生于制造阶段的难题。在以前，由于主要的分析人才来自研究所层级，一般或低技术层级的企业不易取得。近年来，由于 CAE(计算机辅助分析)软件仿真技术突飞猛进，让需求人才的门槛大幅降低！现在，只要具有设计经验，不论学历，都可以很好地上手；没有经验的，职业院校及专科以上程度即可。因此，机械本科的学子们出校门时，就具备简易基本的机构、结构分析能力，已逐渐形成风潮。

(4) 模具设计系列：制造阶段一向是工业设计最重要的下游，其顺利与否主导产品的成败；所用的生产机械、设计时间与人力则严重影响产品的成本。在这方面，我们将按当前模具产业中，市场占有率最大的两个(塑料模与冲压模)，来编以下的两系列书：

- 塑料模具设计系列
- 冲压模具设计系列

我们再以下图来说明本系列书：



二代龙震工作室

《Pro/ENGINEER 工业设计院》

不论专业，大家都要学！

基础设计系列

Pro/ENGINEER WildfireX.0 基础设计
Pro/ENGINEER WildfireX.0 进阶提高
Pro/ENGINEER WildfireX.0 高级设计
Pro/DETAIL WildfireX.0 工程图设计

造型设计系列

Pro/ENGINEER ISDX WildfireX.0 造型设计

- 想从事造型设计师者
- 想从事建模师者

分析设计系列

Pro/Mechanism WildfireX.0 机构运动分析
Pro/MECHANICA WildfireX.0 结构热力分析

冲压模具设计系列

冲压模具基础教程
Pro/SHEETMETAL WildfireX.0 钣金造型设计

- 想从事冲压模具设计师者
- 已从事其他类模具师，想跨业到冲压模具设计师者

塑料模具设计系列

塑料模具基础教程
Pro/MOLDESIGN WildfireX.0 拆模设计
AutoCAD塑料模具图基础与2D排位教程
Geomagic Studio Imageware逆向抄数基础

- 想从事塑料模具设计师者
- 已从事NC程序设计师或其他类模具师，想升级或跨业到塑料模具设计师者

本书属于：《分析设计》系列。基本上是为了工业设计流程中，最上层的造型设计专业而写的。以下，就是本系列两本书的内容简述。

类别	系列编号	书 名	内容方向
Pro/E 分析设计院(两本)	6	Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析	这两本书在 Wildfire 2.0 版时，机构和结构是合成一本的。但读者反应热烈，提供了很多意见，而原本机构和结构就是两个专业，内容很多。所以，在 Wildfire 3.0/4.0 版时，就将该书拆成这两本，并各自增添范例内容。到了 5.0 版以后，将更注重范例的增加
	7	Pro/MECHANICA Wildfire 5.0 结构/热力分析	

《Pro/MECHANICA Wildfire 5.0 结构/热力分析》将接续《Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析》一书，继续和您一起来学习结构方面的分析技能。在产业里，直接牵涉到

产品成本与耐用性的结构分析，其份量一向更重于机构分析。学好结构分析，就可以为企业在成本与耐用性的取舍间，取得最佳的平衡点。而分析者也可以通过这个技能，取得企业给他的高薪资定位。

本书将采用 Pro/MECHANICA 与 ANSYS 并重的方式来教导学子们。其中，Pro/MECHANICA 是入门，ANSYS 则是市场主流(因需要深入的专业背景，才能较好操作；因此以 Pro/MECHANICA 入门)。本书从 Wildfire 4.0 版以后，就逐步增加更多更实用的范例；到了本书，又于最后再增加综合实务范例，让更多未来的设计师可以在出校门前，就拥有丰富熟练的机构分析经验和技能。

二代龙震工作室

作 者 序

大家都知道：机构、结构和热力等分析领域的应用，决定了一个企业的等级、产品质量和成本控制。所以它所需要的人才专业，同时进入门槛高。然而，在 CAE 软件功能的长足进步和发展下，现在进入这个专业的门槛已经降低。只要有心，大学本科、高职高专的工程师都可以轻易上手。

本书将以结构为主题来为 CAE 分析作一完美的结尾，通过 Pro/MECHANICA 的入门和一定专业素养的养成，任何机械相关专业的读者，将轻易地跨入这个原本是研究生程度的专业领域。这对目前机构和结构设计人才大量缺乏，且急需这类人才的企业来说，CAE 应用人才的取得将因 CAE 软件的大幅进步而获得些许缓解。

您将从结构的建模和初步设计养成开始，逐步进入分析的阶段。从而再将分析的结果回头拿来作修正，以让您的机构设计更完美(这是您最有成就感的)，更重要的是：更节省成本(这是老板最希望的)。

除了 Pro/MECHANICA 以外，著名的结构分析软件 ANSYS 也是本书最后两章的重点。除了讲述它和 Pro/MECHANICA 的衔接操作以外，您也将通过丰富的实例章节来了解它们为什么是个中翘楚，以在未来再度提升而进入更专业的领域。

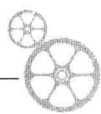
本书在 2.0 出版这段期间，接受读者建议，在实例方面大量增加，同时在 ANSYS 方面增加大量的实例。相信这会让持续支持我们的读者感到一定程度的满意。

不论是龙震工作室，还是二代龙震工作室(大陆工作室)，我们开发的计算机书籍共同的特性在于：

- 个性化的服务，理论与专业的完美组合。书中摒弃一般图书只注重理论功能介绍，而忽视读者本身专业需要的缺点，既介绍了软件功能的使用技巧，又结合了读者专业的特点，同时也注重实务的需求。
- 以图例形式来完成对操作过程的解说，避免使用冗长文字来破坏思考，一向是龙震工作室所著书籍的一贯特色。
- 比拟多媒体动画的全步骤式图例。我们所展示的全步骤式图例，效果和多媒体动画教学是一样的。
- 网站技术支持。凡是购买龙震工作室开发的图书的读者，都可以通过“龙震在线”来获得最快捷的支持。同时，网站的内容和服务方式还会不断扩充。

您一样可以像往常一样，通过以下工作室专属网站或电子邮件信箱来提出咨询：

龙震在线：<http://www.dragon2g.com>



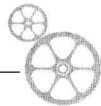
E-mail: dragon.dragon2@msa.hinet.net

本书在出版过程中，得到了清华大学第三事业部的大力协助，在此深表感谢。然而，在此我们还要对广大支持我们的读者，致以十二万分的敬意和谢意，在本工作室出版的过程中，您的支持导致我们所著书籍的持续，也让我们提供的长期免费服务得以坚持！再次感谢各位！

二代龙震工作室

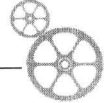
目 录

第 1 章 结构和热力	1	2.3.4 Thermal 模式里的载荷	55
1.1 为什么要学习本书	2	2.4 理想化模型	57
1.2 本书的结构和方向	2	2.4.1 质量、弹簧和梁模型	57
1.2.1 本书的结构	2	2.4.2 抽壳模型	60
1.2.2 本书实例的方向	2	2.5 连接对	65
1.2.3 本书的视频文件	3	2.5.1 刚性连接(Native 模式)	66
1.3 结构和机构的区别	3	2.5.2 焊缝	67
1.3.1 机构的概念复习	3	2.5.3 点焊(Native 模式)	69
1.3.2 结构的概念	4	2.5.4 紧固件(组件文件的 Native 模式下)	70
1.4 热力分析	6	2.5.5 界面	72
1.5 Pro/MECHANICA 简介	6	2.5.6 刚性连接(FEM 模式)	73
1.6 Pro/MECHANICA 的界面	7	2.5.7 受力连接(FEM 模式)	74
1.6.1 本书所使用的 Pro/MECHANICA 版本和安装	7	2.5.8 间隙(FEM 模式)	75
1.6.2 MECHANICA 的操作模式	7	2.6 曲面区域和体积块区域	76
1.6.3 集成模式的界面	8	习题	80
1.6.4 独立模式的界面	11	第 3 章 灵敏度研究和优化分析 (基本模式)	81
1.7 Pro/MECHANICA 的分析流程	12	3.1 分析的类型	82
1.8 结构图表的常识	13	3.2 分析初步	83
1.8.1 MECHANICA 的显示类型	13	3.2.1 画出产品的简化轮廓	83
1.8.2 配合显示类型的分析项目	14	3.2.2 增加分析区域(曲面区域)	84
1.8.3 图表的单位	17	3.2.3 定义中间曲面	84
1.9 材料力学中的四种强度理论	18	3.2.4 指定材料性质	85
习题	21	3.2.5 施加约束	85
第 2 章 创建准备做分析的模型	23	3.2.6 施加载荷	87
2.1 建模和单位的设置	24	3.2.7 定义静态分析	87
2.2 简化模型(基本模式)	24	3.2.8 创建一标准的设计研究	89
2.3 材料、约束和载荷的定义	26	3.2.9 热载荷和热力分析	96
2.3.1 定义材料	26	3.2.10 定义热力分析并 结合应力分析	98
2.3.2 定义约束	31	3.2.11 查看分析的内容	101
2.3.3 定义载荷	42		

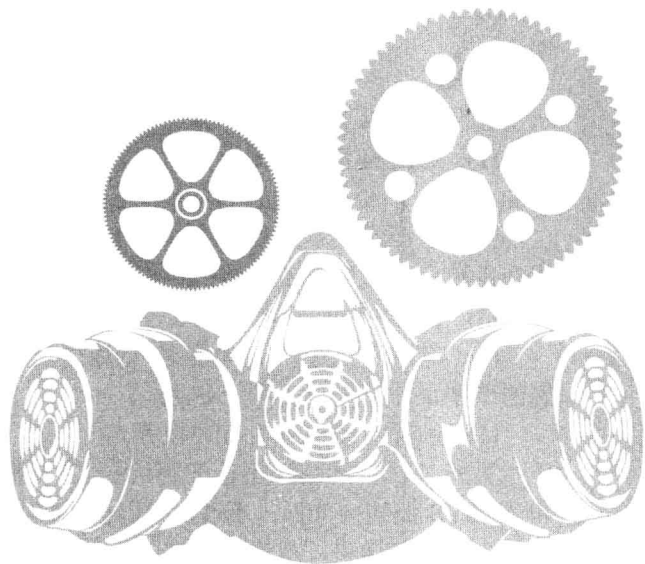


3.3 灵敏度分析与优化设计	104	4.13 随机振动分析	181
3.3.1 灵敏度分析和 优化设计概论	105	4.14 Pro/MECHANICA 的平面分析	183
3.3.2 范例概述	106	4.14.1 平面应力	183
3.3.3 准备模型	106	4.14.2 平面应变问题	186
3.3.4 创建曲面区域和中间曲面	106	4.14.3 2D 对称性	188
3.3.5 创建材料、约束和载荷	108	习题	189
3.3.6 创建测量定义	110	第 5 章 综合范例练习	191
3.3.7 创建静态分析	113	5.1 农用工具机的机构和结构分析	192
3.3.8 创建结果窗口	114	5.1.1 组装出零冗余和零自由度的 机构	193
3.3.9 定义设计参数和创建全局 灵敏度	115	5.1.2 创建载荷	197
3.3.10 创建局部灵敏度研究	119	5.1.3 修正操作	199
3.3.11 优化分析	122	5.1.4 增加弹簧	201
3.3.12 运行批处理工作	124	5.1.5 增加阻尼器	202
3.3.13 更新零件	125	5.1.6 提高级的分析	202
3.4 本章小结	126	5.1.7 后续的结构分析	205
习题	128	5.2 计算机钣金机箱的结构分析	207
第 4 章 其他类型的分析实例	129	5.2.1 分析前的准备	207
4.1 桥梁的分析	130	5.2.2 设计考虑	207
4.1.1 分析初步	130	5.2.3 创建分析模型和单位确认	207
4.1.2 改善梁截面设计	139	5.2.4 简化模型	208
4.1.3 参数定义、灵敏度研究和 优化分析	142	5.2.5 分析	211
4.1.4 心得	143	习题	215
4.2 压缩机固定架的点焊接分析	143	第 6 章 MECHANICA 的 FEM 模式	217
4.3 门闩的接触区域分析	146	6.1 Pro/MECHANICA 在 FEM 方面 所采用的技术	218
4.4 细长圆杆的失稳分析	151	6.2 FEM 模式实务	218
4.5 活塞的疲劳分析	154	6.3 操作修正和注意事项	225
4.6 大变形静态分析	158	6.4 ANSYS 中的数据处理	227
4.7 火箭引擎喷嘴的分析	160	6.5 本章小结	230
4.7.1 练习前的概念补充	161	第 7 章 MECHANICA 的分析实例集	233
4.7.2 练习范例	162	7.1 概述	234
4.8 预应力静态分析	167	7.2 悬臂梁受载分析	234
4.9 预应力模态分析	170	7.3 房屋框架结构分析	238
4.10 动态时域分析	172	7.4 空调外壳受力分析(板壳类)	242
4.11 动态频域分析	176	7.5 梁失稳分析	246
4.12 动态冲击分析	179	7.6 板壳失稳分析	249

7.7 均布面受载分析.....	253	9.12 立柱的屈曲分析.....	367
7.8 轴承座分析.....	255	9.13 铝板的接触分析.....	369
7.9 轴对称分析.....	258	9.14 热力耦合分析.....	373
7.10 模态分析(1).....	261	9.15 撞击分析.....	380
7.11 模态分析(2).....	264	9.16 跌落分析.....	386
7.12 动态时域分析.....	265	9.17 车架分析.....	395
7.13 动态频域分析.....	271	9.18 锅的热分析.....	400
7.14 动态冲击分析.....	275	9.19 曲面产品的分析.....	403
7.15 随机振动分析.....	278	9.20 结语.....	405
7.16 定块机构综合分析.....	282	习题.....	406
第8章 ANSYS 初步.....	291	第10章 综合范例.....	409
8.1 ANSYS 简介.....	292	10.1 概述.....	410
8.2 ANSYS 初步.....	295	10.1.1 ANSYS 操作提示.....	410
8.2.1 本书所使用的 ANSYS		10.1.2 本章视频文件说明.....	410
版本说明.....	295	10.2 屋顶桁架承载结构分析.....	410
8.2.2 实例初步.....	295	10.3 空间桁架承载结构分析.....	415
8.3 ANSYS 的基本操作.....	303	10.4 工字梁的最大变形及应力分析.....	417
8.3.1 ANSYS 的门户.....	303	10.4.1 Pro/MECHANICA.....	418
8.3.2 ANSYS 的下拉菜单.....	305	10.4.2 ANSYS.....	421
8.3.3 ANSYS 的单位问题.....	317	10.4.3 结果数据比较.....	424
8.3.4 内存控制问题.....	319	10.5 印刷电路板接插件结构优化分析.....	424
8.3.5 配置文件.....	322	10.5.1 Pro/MECHANICA.....	425
8.3.6 视图画面控制和按键控制.....	325	10.5.2 ANSYS.....	427
8.3.7 命令树区的操作.....	325	10.5.3 结果数据比较.....	430
习题.....	326	10.6 平面应力分析.....	430
第9章 ANSYS 的分析实例集.....	327	10.6.1 Pro/MECHANICA.....	431
9.1 范例集.....	328	10.6.2 ANSYS.....	433
9.2 简支梁分析.....	328	10.6.3 结果数据比较.....	436
9.3 桁架分析.....	337	10.7 炮管的平面应变分析.....	436
9.4 轴承座分析.....	341	10.7.1 Pro/MECHANICA.....	437
9.5 支架分析.....	346	10.7.2 ANSYS.....	439
9.6 薄板的对称分析.....	347	10.7.3 结果数据比较.....	442
9.7 飞轮的对称分析.....	351	10.8 壳结构分析(1).....	442
9.8 房屋结构的模态分析.....	352	10.8.1 Pro/MECHANICA.....	443
9.9 轴承座的模态分析.....	357	10.8.2 ANSYS.....	445
9.10 房屋结构的简谐响应分析.....	357	10.8.3 结果数据比较.....	449
9.11 轴承座的简谐响应分析.....	365	10.9 壳结构分析(2).....	449
		10.9.1 Pro/MECHANICA.....	449



10.9.2	ANSYS.....	450	10.16.2	ANSYS	481
10.9.3	结果数据比较	454	10.16.3	结果数据比较	483
10.10	圆柱和钢板的应力和变形分析	454	10.17	悬臂梁的谐响应分析.....	483
10.11	触摸屏与显示屏的应变分析	458	10.18	PCB 光板的随机振动分析	488
10.12	轴承的最大应力分析	460	10.19	PCB 组件的随机振动分析	492
10.12.1	Pro/MECHANICA	461	10.20	圆柱的热分析	494
10.12.2	ANSYS.....	462	10.20.1	Pro/MECHANICA.....	494
10.12.3	结果数据比较	464	10.20.2	ANSYS	496
10.13	手机手写笔的位移分析	464	10.20.3	结果数据比较	498
10.13.1	Pro/MECHANICA	465	10.21	芯片稳态的热分析.....	498
10.13.2	ANSYS.....	466	10.22	金属棒瞬态热分析.....	500
10.13.3	结果数据比较	468	10.23	零件的淬火分析	505
10.14	移动支撑板的最大应变分析	468	10.24	铝条堆叠的热应力和 热应变分析	510
10.14.1	Pro/MECHANICA	469	10.25	铝块和橡胶块的热应力和 热应变分析	514
10.14.2	ANSYS.....	471	10.26	接插件的热分析	517
10.14.3	结果数据比较	474	10.27	本章小结	521
10.15	PCB 光板的模态分析	474	附录 A.....		523
10.15.1	Pro/MECHANICA	475	附录 B.....		529
10.15.2	ANSYS.....	476			
10.15.3	结果数据比较	478			
10.16	PCB 组件的模态分析	479			
10.16.1	Pro/MECHANICA	479			



第 1 章

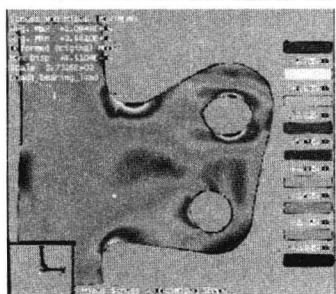
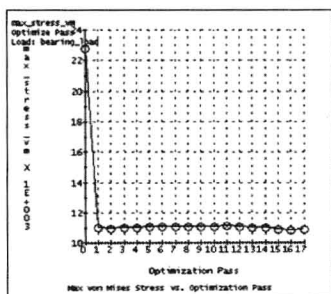
结构和热力

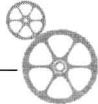
和机构/运动分析一样，结构和热力分析一样属 CAE 的范畴。随着软件的进步和功能的升级，只要是大学本科或职专毕业，具有基本的专业知识者，一样可以轻松来应用 CAE。

当然，对没有受过正式训练的初学者来说，如果完全没有结构学、热传导等方面的基础，坦白说，要进入这个 CAE 领域是很困难的。因此，在龙震老师的坚持下，我们仍将以理论来构筑读者的知识背景，再以实例来验证理论。期望在这样的书本结构下，提高读者的学习效果。

本章将为您讲述本书的结构，先从第 1 章的“结构和热力”主题开始，并补充一些初学者需要知道的结构基本概念。

有了这个基础后，本书后续的章节将开始为您详述重要的结构主题。





1.1 为什么要学习本书

您会因为以下的原因或需要而学习本书。

- (1) 您本身具有机械专业背景，希望以后进入机械设计这行，并在未来再转进到分析专业。
- (2) 您已学过本系列书的前一本：《Pro/Mechanism Wildfire 机构/运动分析》一书，希望在出校门前，能具备基本的机构和结构分析技能。
- (3) 您已在岗，工作上需要基本的结构分析实务。
- (4) 您本身已经在(或准备进入)造型设计、模具设计专业，希望多了解结构分析，让您的造型设计可以更有利于制造。
- (5) 纯粹对结构分析有兴趣者。

另外，我们告诉您，不论学历，只要在机械专业中，就可以来学如何用 Pro/MECHANICA 和 ANSYS 做结构分析；不过，我们仍要提醒您，学习前如果能先研习一下“材料力学”和“热力学”等学科，或许会让您的学习之路更顺畅！

1.2 本书的结构和方向

在开始之前，我们先在本节中说明本书的内容结构与方向。

1.2.1 本书的结构

到 Wildfire 5.0 版，本书已历经 4 个版次。一开始，本书以 Pro/MECHANICA 模块为专门对象，从 Wildfire 4.0 版以后，则同步着重 Pro/MECHANICA 和 ANSYS。因此，本书的结构分以下两大部分。

1. Pro/MECHANICA 的理论与实作

Pro/MECHANICA 提供以实体模型来作为分析模型；因此，在本书的前半段，我们会为您讲述需要的材料力学理论，然后再以实例来说明 Pro/MECHANICA 所提供的工具，可以为您做到哪些结构分析项目。

2. ANSYS 实作

ANSYS 一直是结构分析软件界的翘楚，它的操作模式比较切合实际的流程，所以广为研究或开发单位的喜爱。既然如此，虽然本书的书名是 Pro/MECHANICA，但是实际上我们也兼顾 ANSYS 的应用。当然，材料力学理论的部分同 Pro/MECHANICA。这样，读者买一学二，是很划算的，同时本书中部分使用两软件来做的范例，又可以比较两者的分析结果。

1.2.2 本书实例的方向

结构功能的操作一向不是问题，问题在于，要将结构分析所需要的初始条件设置正确，

就需要正确的知识。所以，在本书实例的前后，我们会尽量提及相关的基本理论常识。然后，按下述的方向来制作实例。

(1) 首先，Pro/MECHANICA 的集成模式是可以直接采用 Pro/E 的实体模型来做结构分析的。但是对比较符合实务的结构分析来说，这算是较新的方式。因此，面对这种新的方式，通常我们都会先使用 PTC 提供的范例来作为实例。因为最了解软件功能的，莫过于出品公司本身！只是，即便是采用软件提供的范例，我们也会有自己的见解和诠释。

(2) 然后，您可以在后续的综合范例中，练习到我们自己设计的范例。这些范例通常是基本的标准分析案例。这部分也会是我们未来要抽换或再新增的部分。

(3) 对 ANSYS 的范例方向来说，基本上，Pro/E 有做过的，我们也会做过一次。其实，Pro/MECHANICA 的独立模式就是 ANSYS 的采用简化模型的方式。这比较符合传统的结构分析实务；因此，反正是类似的方式，那不如教知名的 ANSYS 更符合读者的需要。本书所设计的 ANSYS 实例，就是朝这个方向来做的。同时在本书这版中，我们又增加了更多实例。

1.2.3 本书的视频文件

本工作室的所有系列书，现在都附有视频文件。然而，有很多读者来 E-Mail 问为何视频文件无声？我们再次强调：本工作室所出版的所有书籍，按书中图例其实就可以做出，视频只是辅助书中图例的，没有必要每一个都有声音。主要还是要以书中讲述的内容为主，如果有做不出来的，请来咨询，我们都会答复改进！

您要注意的是，对本书来说，视频文件的制作原则如下。

(1) 对 Pro/MECHANICA 来说，由于界面很友好，读者可以很容易通过本书静态的图例或是通过“结构树”区来追踪到设置的内容。因此，Pro/MECHANICA 的范例，原则上不制作视频，但是我们会制作一个名为“Pro_MECHANICA_Say_有声.avi”的视频文件(放在 (07)avi(gb)目录下)，来说明您如何追踪或修改 Pro/MECHANICA 完成文件的操作。

(2) 对 ANSYS 来说，主要的视频文件都集中在本书第 10 章。第 9 章的范例则提供图例。

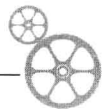
不论是 Pro/MECHANICA 或 ANSYS，没有提供视频的范例，其图例一定比较精细，您按图例都可以完成，而提供视频的范例，图例就会省略很多，范例主要在于陈述步骤过程。

1.3 结构和机构的区别

在开始本章的内容以前，要先端正结构和机构的概念，以及它们各自所代表的意义。我们先从机构谈起，顺便复习一下本系列书第一本：《Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析》一书所带来的概念。

1.3.1 机构的概念复习

现代机构学已通过原先单纯研究机构的结构学、运动学、动力学的理论和方法，发展成为一门研究各种机构的功能、工作原理、类型、设计方法，以及研究机器的运行状态、特性、控制方式和系统设计方法的技术基础学科。它将让一位机构设计师应用它来表现产



品的以下特性。

1. 分析运动特性

只要是产品有动的部分，不同的机构就会表现出不同的运动特性。例如，在玩具和钟表中，用的同样是齿轮机构，但是会因为目的不同而有不同的运动方式。

2. 设计组装特性

要让一个机构能顺利动作，是有一定条件的，否则也就不用设计了。而在什么条件下才能组装出符合条件的机构，正是机构设计关键的课题，也是它的目的。

3. 创新研发能力特性

由于机械工业起源于西方，长久以来，我国在这方面的研究人才较少，所以很多高科技机械和产品，总是因为不明其理只好抄袭。通过 CAE 软件辅助的机构设计，能够让人才不需先面对乏味的教科书公式下，而了解机器或产品的原理特性，然后在产生兴趣后，再到教科书中追寻理论依据。这样，经观摩和累积经验后，就会逐渐有能力进行创新设计，从而提高自主开发产品的能力。

1.3.2 结构的概念

那么结构设计是什么呢？结构要处理的东西算是比较静态的，因为一个产品有了外型(造型设计)以后，就要做机构设计来处理其运动特性。然后，这样的产品在结构上是否坚固，就成了结构设计的重要课题了。当然，通过这些过程后的最后一关，就是隶属制造范畴的模具设计。

在手机设计中，造型设计师拼命想用最酷的点子设计出最新潮的手机外型。但是最酷的造型却不一定会是最佳的机构设计(打开手机的运动方式)；也不一定是最坚固的(结构设计)；当然，更不一定是可以顺利制造的(模具设计)。每一个设计阶段都需要各种人才和专业的配合，同时机构设计、结构设计或是模具设计，都可能会造成造型上的妥协修正。整个过程所投入的人、物力也和成本息息相关。

在手机的例子里，由于机构设计是非常简单的运动，所以很多人，甚至老板都误以为结构设计包含了机构设计。事实上，通过上一篇的学习，相信现在大家都已能回答这个问题了，那就是：要看产品的运动特性而定。如果产品都是简单的机构，那么任何机械系毕业的学生都应该要能设计；但如果牵涉精密复杂的机构，那就需要专业的知识。

让我们再将主题拉回到结构来！在结构分析中有三个重要的主题，分述如下。

1. 结构强度与寿命评估(Intensity & Life Evaluation of Structure)

由于结构的速度、成本、耐久性、可靠性的要求不断提高，导致结构设计师在设计结构时，以减轻产品重量为最高原则(因为和成本有很大关系)。这样，结构强度与寿命的评估就变得愈来愈复杂，愈来愈重要。要进行结构强度与寿命评估，经常需要参照有关的理论、方法、行业上的规范以及材料的数据。而这些理论、方法、资料大都是通过大量实验、工程实务归纳出来的，国外将这方面的研究成果编制成软件，如 Pro/MECHANICA、FAUIGUE、MARC 等。

2. 结构优化(Structural Optimization)

结构优化技术早期采用的是基于直觉的准则法,如满应力准则法、满应变准则法等。20世纪60年代,数学规划法中导入了结构优化设计,这就是现代结构优化设计的开始。而数学规划法中的复合形法、可行方向法、惩罚函数法等,在结构优化设计中也得到了广泛的应用。到了70年代,就出现了结构优化准则法。其中心思想是:将设计问题的力学特性与数值方法中的各种相似的手段相结合,然后将高度非线性问题转化为一系列近似的带状显示约束问题,最后再通过数学规划法来解答。80年代以后,结构优化设计开始应用于工程优化设计中,并形成了专门研制工程优化设计软件。随着计算机技术的发展,工程优化设计软件可以处理的变量规模不断扩大,从最初的十几个变量发展到上万个变量,从最初的结构尺寸参数优化,到现今的结构形状优化等。当前具有结构优化功能的软件有十多种;如专用的结构优化设计软件SAPOP、ASTROS、OASIS等,而在有限元分析软件中带有优化设计功能的软件有:ANSYS、NASTRAN等;还有集CAD绘图模块、有限元分析和结构优化设计于一身的Pro/MECHANICA。

3. 有限元法(Finite Element Method, FEM)

有限元法的理论基础起源于20世纪40年代,从1943年数学家Courant第一次尝试用最小位能原理来解决t.Venant扭转问题以来,一些应用数学家、物理学家和工程师也都由于种种原因,纷纷涉足有限元法的领域。一直到1960年以后,随着电子计算机的广泛应用和发展,有限元法技术依靠数值计算方法,才迅速发展起来。

在1963—1964年间,Besseling、Melosh和Jones等人证明了有限元法是理兹(Ritz)法的另一种形式,从而让理兹分析的所有理论基础都适用于有限元法,确认了有限元法是处理连续媒介问题的一种普遍方法。以此为理论指导,有限元法的应用已由弹性力学的平面问题,扩展到空间问题、板壳问题;也由静态平衡问题扩展到稳定性问题、动力学问题和波动问题;而在分析对象方面,则从弹性材料扩展到塑性、粘塑性和复合材料;也从固体力学扩展到流体力学、传热学等连续介质力学领域。此外,有限元法技术也逐渐由传统的分析和验证扩展到优化设计,并与计算机辅助设计和辅助制造密切结合,形成了现在CAE技术的整体架构。在此架构下就称为“有限元分析”(Finite Element Analysis, FEA)。

有限元分析是一个以有限元法为基础的技术,已被广泛用于机械和建筑专业中。这门技术的过程是一种方法,可以分析产品零件或组装系统,以确保整个产品是符合设计要求的。有限元模型和产品的几何模型是相关的,通过建模和分析后,工程师将计算出结构反应(变形、应力、温度等),并以图形方式表示出来。如果计算的结果不符预期,那么结构设计师就需再次设计和再次分析,直到达到可接受的设计值为止。而这种再设计/再分析的循环周期,就是前面谈过的“结构优化”。

有限元分析有许多不同的名称:FEA,矩阵/结构分析(Matrix Structural Analysis),梁分析(Beam Analysis),计算结构分析(Computerize structural analysis),P元素分析(P-Element Analysis)和几何元素分析(Geometric Element Analysis)等等。不论名称为何,所有形式的有限元分析皆同样包含了以上所描述的步骤。

可以说:Pro/MECHANICA基本上就是一个应用上述这三个主题的Pro/E模块。简单地讲,结构工程师可在Pro/MECHANICA的协助下,得以更深入地了解产品性能,然后视情