



CAD/CAM/CAE工程应用丛书

ANSYS系列

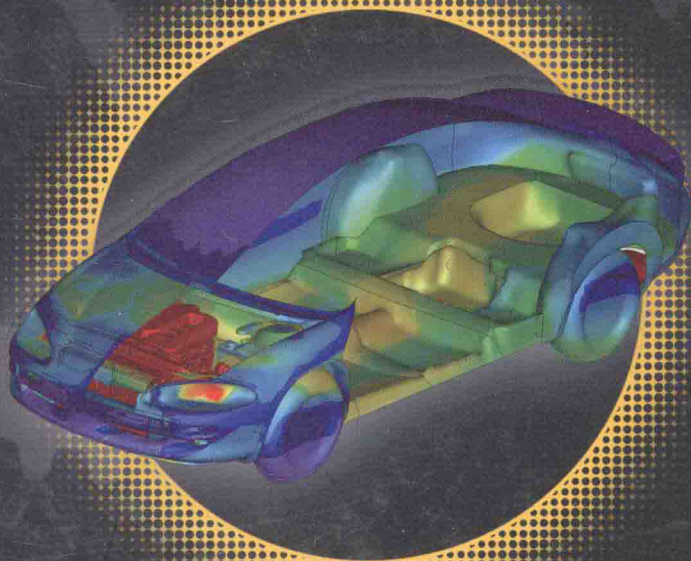
ANSYS Workbench 15.0

有限元分析 从入门到精通

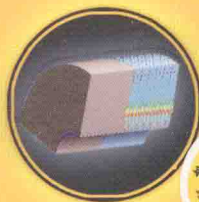
CAE应用联盟 组编 张岩 等编著

本书核心内容包含

- ANSYS Workbench介绍
- 线性静力分析
- 非线性静力分析
- 谐响应分析
- 响应谱分析
- 随机振动分析
- 显式动力学分析
- 刚体动力学分析
- 疲劳分析
- 断裂分析
- 循环对称分析
- 热分析
- 静磁场分析
- 流场分析
- Design Exploration应用



附赠全书范例
素材  光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书 · ANSYS 系列

ANSYS Workbench 15.0 有限元分析 从入门到精通

CAE 应用联盟 组 编

张 岩 等编著



机械工业出版社

本书详细介绍了 ANSYS Workbench 15.0 的功能及应用。通过学习本书, 读者能掌握软件的操作、领悟解决相关工程领域实际问题的思路与方法。

本书分基础和实际工程应用两个层次讲解, 共 25 章。第 1~5 章讲解 ANSYS Workbench 的基础知识, 包括 ANSYS Workbench 平台、工程数据模块 Engineering Data、建模模块 Design Modeler、网格划分 Meshing 和仿真计算模块 Mechanical 等; 第 6~25 章依托工程中常见的案例, 按照不同的分析方式, 分层次、分类别进行讲解, 包括在 ANSYS Workbench 中进行结构静力学分析(包括线性及非线性静力分析)、接触分析、结构动力学分析(包括屈曲、模态、谐响应、响应谱、随机振动、瞬态等分析)、显式动力学分析、刚体运动学分析、垫片分析、疲劳分析、断裂分析、循环对称分析、子模型分析、热分析、静磁场分析、流场分析和优化计算的操作方法等, 具有非常重要的参考价值。

本书适合理工类院校土木工程、机械工程、力学、电子工程等相关专业的高年级本科生、研究生及教师使用, 也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS Workbench 15.0 有限元分析从入门到精通/CAE 应用联盟组编; 张岩 等编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.9

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 978-7-111-48295-6

I. ①A… II. ①C… ②张… III. ①有限元分析-应用软件

IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 241504 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张淑谦 责任校对: 张艳霞

责任编辑: 张淑谦

责任印制: 李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·26.5 印张·655 千字

0001-4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48295-6

ISBN 978-7-89405-576-7 (光盘)

定价: 72.00 元(含 1DVD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透，CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用，从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式，对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早，使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计，而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发，以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用，不但可以提高设计质量，缩短工程周期，还可以节省大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性，掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧，已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而，仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的，只有将计算机技术和工程实际结合起来，才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑，机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Creo、UG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用，以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作，配以大量具有代表性的实例，并融入了作者丰富的实践经验，使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点，是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社

前 言

自 ANSYS 7.0 开始, ANSYS 公司便推出了 ANSYS 经典版和 ANSYS Workbench 版两个版本, 目前最新版本为 15.0。Workbench 是 ANSYS 公司推出的协同仿真环境, 可以解决企业产品研发过程中 CAE 软件的异构问题。

ANSYS Workbench 为有限元分析提供了强大的处理工具。目前, ANSYS 已经在很多领域取得了成功应用。本书针对 ANSYS Workbench 在相关领域的应用, 以 ANSYS Workbench 15.0 为工具, 以引导读者掌握 ANSYS Workbench 的使用方法为目的进行编写。

1. 本书特点

- 由浅入深、循序渐进: 本书以初中级读者为对象, 首先从 ANSYS Workbench 使用基础讲起, 再辅以 ANSYS Workbench 在工程中的代表案例, 全面介绍了使用其进行常见有限元分析的步骤。
- 步骤详尽、内容新颖: 本书结合作者多年 ANSYS Workbench 使用经验, 通过实际工程应用案例, 将 ANSYS Workbench 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖, 讲解过程辅以相应的图片, 使读者在阅读时一目了然, 从而快速掌握书中所讲内容。
- 实例典型、轻松易学: 学习分析案例的具体操作是掌握 ANSYS Workbench 最好的方式。本书通过综合应用案例, 透彻详尽地讲解了 ANSYS Workbench 在各方面的应用。

2. 本书内容

本书分基础和实际工程应用两个层次共 25 章进行讲解, 其中第 1~5 章为基础知识部分, 第 6~25 章为专题应用部分, 即本书的重点。其中, 基础知识部分是使用 ANSYS Workbench 的基础, 建议读者在学习后续有关分析过程时经常参考该部分的内容, 以掌握基础操作步骤。

专题应用部分以专题的形式对有限元分析常见的类型进行了示例说明, 确保读者能参照这些示例对常见的分析进行设置, 并正确分析。

本书以软件的工程应用为主, 偏重于讲解软件的使用方法。因此, 专题应用中的每个案例都根据实际工程应用做了简化, 以方便读者掌握软件的使用方法。

提示: 本书光盘附赠了书中各案例所用到的素材源文件以及求解结果文件, 以方便读者学习使用。

3. 读者对象

本书既适用于 ANSYS Workbench 初学者, 又适用于有一定基础的工程技术人员, 具体包括以下。

- 初学 ANSYS Workbench 的工程技术人员
- 大中中专院校的教师和在校生
- 参加工作实习的新手
- 广大科研工作人员
- 相关培训机构的教师和学员
- ANSYS Workbench 有限元分析爱好者
- 初中级 ANSYS Workbench 从业人员

4. 读者服务

为了方便解决本书疑难问题，读者在学习过程中如遇到与本书有关的技术问题，可以发邮件到邮箱 caxart@126.com，或者访问博客 <http://blog.sina.com.cn/caxart>，编者会尽快给予解答。

5. 本书作者

本书主要由张岩编写，参与编写的还有丁金滨、唐家鹏、高飞、温正、石良臣、陈艳霞、林金宝、刘浩、凌桂龙、王芳、陈培见、刘成柱、宋玉旺、韩希强、丁凯、张亮亮、孙国强、于苍海、郭海霞、沈再阳、李昕、张文电、陈峰浩、王菁、张建伟和李成芬。

虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中欠妥之处在所难免，希望读者和同仁能够及时指出，共同促进本书质量的提高。

最后，希望本书能为读者的学习和工作提供帮助！

编者

目 录

出版说明

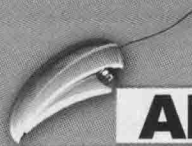
前言

| | | |
|--|------------------|-------|
| 第 1 章 ANSYS Workbench 介绍1 | 3.1.1 DM 概览 | |
| 1.1 软件概述 | 3.1.2 DM 界面 | |
| 1.2 软件界面 | 3.2 项目工程图操作 | |
| 1.3 Workbench 项目工程图 | 3.2.1 项目工程图中的 DM | 和 CAD |
| 1.3.1 项目工程图组成 | 3.2.2 项目工程图中的 DM | 操作 |
| 1.3.2 项目工程图基本操作 | 3.2.3 项目工程图中的 DM | 参数 |
| 1.3.3 常见项目工程图 | 3.3 2D 绘图 | |
| 1.4 ANSYS Workbench 分析 | 3.3.1 草图与平面 | |
| 项目管理 | 3.3.2 自动约束 | |
| 1.4.1 项目文件夹 | 3.3.3 细节查看窗口 | |
| 1.4.2 文件与项目 | 3.3.4 绘图工具箱 | |
| 1.4.3 项目文件管理注意事项 | 3.3.5 修改工具箱 | |
| 1.4.4 ANSYS Workbench 文件 | 3.3.6 尺寸工具箱 | |
| 1.4.5 导入历史数据库 | 3.3.7 约束工具箱 | |
| 1.4.6 日志 | 3.3.8 设置工具箱 | |
| 1.4.7 项目报告 | 3.4 建模 | |
| 1.5 使用帮助 | 3.4.1 体和零件 | |
| 1.6 本章小结 | 3.4.2 细节查看 | |
| 第 2 章 工程数据16 | 3.4.3 布尔操作 | |
| 2.1 工程数据应用 | 3.4.4 3D 特征 | |
| 2.1.1 Engineering Data 应用 | 3.4.5 基本体 | |
| 概览 | 3.4.6 高级特征与工具 | |
| 2.1.2 界面 | 3.4.7 概念建模 | |
| 2.1.3 工程数据源 | 3.5 DM 建模示例 | |
| 2.1.4 材料数据 | 3.5.1 进入 DM | |
| 2.1.5 基本操作 | 3.5.2 草图绘制 | |
| 2.2 材料数据 | 3.5.3 3D 建模 | |
| 2.2.1 支持的材料属性 | 3.5.4 参数化 | |
| 2.2.2 材料属性操作 | 3.6 本章小结 | |
| 2.3 本章小结 | | |
| 第 3 章 几何建模29 | | |
| 3.1 Design Modeler 介绍 | | |

| | |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 第 4 章 网格划分 71 | 6.2.2 结果处理..... 136 |
| 4.1 网格划分概述..... 71 | 6.3 线性静力分析示例..... 138 |
| 4.1.1 Workbench 中的网格 划分..... 71 | 6.3.1 前处理..... 138 |
| 4.1.2 网格划分算法类型..... 72 | 6.3.2 求解..... 144 |
| 4.2 网格划分控制..... 73 | 6.3.3 后处理与其他结果..... 144 |
| 4.2.1 网格划分方法..... 73 | 6.4 本章小结..... 149 |
| 4.2.2 网格划分命令..... 75 | 第 7 章 非线性静力分析 150 |
| 4.2.3 全局网格控制..... 75 | 7.1 概述..... 150 |
| 4.2.4 局部网格控制..... 82 | 7.1.1 几何非线性..... 150 |
| 4.2.5 虚拟拓扑工具..... 84 | 7.1.2 材料非线性..... 152 |
| 4.3 网格划分示例..... 84 | 7.2 非线性静力分析过程..... 153 |
| 4.3.1 DM 建模..... 84 | 7.3 几何非线性静力分析 示例..... 155 |
| 4.3.2 网格划分控制..... 86 | 7.3.1 前处理..... 155 |
| 4.3.3 参数驱动网格划分..... 93 | 7.3.2 求解..... 160 |
| 4.4 CAD 模型划分示例..... 95 | 7.3.3 后处理与 B 项目..... 161 |
| 4.5 本章小结..... 96 | 7.4 材料非线性静力分析 示例..... 165 |
| 第 5 章 Mechanical 介绍 97 | 7.4.1 前处理..... 165 |
| 5.1 Mechanical 基础..... 97 | 7.4.2 求解..... 171 |
| 5.1.1 Mechanical 界面..... 97 | 7.4.3 后处理..... 172 |
| 5.1.2 Mechanical 使用过程..... 105 | 7.5 本章小结..... 174 |
| 5.1.3 Mechanical 支持的分析..... 109 | 第 8 章 接触分析 175 |
| 5.2 Mechanical 使用..... 109 | 8.1 接触分析过程..... 175 |
| 5.2.1 设置几何模型..... 109 | 8.1.1 接触分析流程..... 175 |
| 5.2.2 设置坐标系..... 120 | 8.1.2 接触设置..... 175 |
| 5.2.3 定义连接..... 121 | 8.1.3 接触分析结果..... 178 |
| 5.2.4 分析求解设置..... 124 | 8.2 接触分析示例..... 179 |
| 5.2.5 设置边界条件..... 128 | 8.2.1 前处理..... 179 |
| 5.2.6 结果处理..... 131 | 8.2.2 求解..... 186 |
| 5.3 本章小结..... 132 | 8.2.3 后处理..... 186 |
| 第 6 章 线性静力分析 133 | 8.3 本章小结..... 189 |
| 6.1 线性静力分析概述..... 133 | 第 9 章 屈曲分析 190 |
| 6.1.1 应力应变关系..... 133 | 9.1 概述..... 190 |
| 6.1.2 轴对称模型下的各向 异性线性材料..... 134 | 9.2 屈曲分析过程..... 191 |
| 6.1.3 热膨胀系数..... 135 | 9.2.1 线性屈曲分析过程..... 191 |
| 6.2 线性静力分析操作过程..... 135 | 9.2.2 非线性屈曲分析过程..... 192 |
| 6.2.1 过程概览..... 135 | 9.3 屈曲分析示例..... 192 |

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|------------|-----------------------|-----------------|------------|
| 9.3.1 | 前处理 | 193 | 12.2.3 | 单点响应谱分析 | 243 |
| 9.3.2 | 线性静力分析求解 | 197 | 12.2.4 | 多点响应谱分析 | 246 |
| 9.3.3 | 线性屈曲分析求解与 后处理 | 197 | 12.3 | 本章小结 | 249 |
| 9.3.4 | 非线性屈曲分析求解与 后处理 | 200 | 第 13 章 随机振动分析 | | 250 |
| 9.4 | 本章小结 | 206 | 13.1 | 随机振动分析过程 | 250 |
| 第 10 章 模态分析 | | 207 | 13.1.1 | 随机振动分析概述 | 250 |
| 10.1 | 模态分析基础 | 207 | 13.1.2 | 随机振动分析过程 | 250 |
| 10.1.1 | 概述 | 207 | 13.2 | 随机振动分析示例 | 251 |
| 10.1.2 | 模态分析过程 | 208 | 13.2.1 | 前处理 | 251 |
| 10.2 | 模态分析示例 | 208 | 13.2.2 | 模态分析 | 254 |
| 10.2.1 | 前处理 | 208 | 13.2.3 | 随机振动分析 | 254 |
| 10.2.2 | 模态分析 | 211 | 13.3 | 本章小结 | 258 |
| 10.2.3 | 静力分析 | 215 | 第 14 章 瞬态分析 | | 259 |
| 10.2.4 | 预应力模态分析 | 217 | 14.1 | 瞬态分析步骤 | 259 |
| 10.3 | 本章小结 | 219 | 14.1.1 | 瞬态分析概述 | 259 |
| 第 11 章 谐响应分析 | | 220 | 14.1.2 | 瞬态分析步骤 | 261 |
| 11.1 | 概述 | 220 | 14.2 | 瞬态分析示例 | 261 |
| 11.1.1 | 谐响应概念 | 220 | 14.2.1 | 前处理 | 261 |
| 11.1.2 | 谐响应分析理论简介 | 220 | 14.2.2 | 求解 | 265 |
| 11.2 | 谐响应分析的方法 与过程 | 223 | 14.2.3 | 后处理 | 266 |
| 11.2.1 | 谐响应分析方法 | 223 | 14.3 | 本章小结 | 269 |
| 11.2.2 | 谐响应分析过程 | 223 | 第 15 章 显式动力学分析 | | 270 |
| 11.3 | 谐响应分析示例 | 224 | 15.1 | 显式动力学分析过程 | 270 |
| 11.3.1 | 前处理 | 224 | 15.1.1 | 显式动力学概述 | 270 |
| 11.3.2 | 模态分析 | 227 | 15.1.2 | 显式动力学分析过程 | 270 |
| 11.3.3 | 模态叠加法分析 | 227 | 15.2 | 显式动力学分析示例 | 271 |
| 11.3.4 | 完全法分析 | 232 | 15.2.1 | 前处理 | 271 |
| 11.4 | 本章小结 | 235 | 15.2.2 | 求解 | 276 |
| 第 12 章 响应谱分析 | | 236 | 15.2.3 | 后处理 | 277 |
| 12.1 | 响应谱分析基础 | 236 | 15.3 | 本章小结 | 280 |
| 12.1.1 | 响应谱分析概述 | 236 | 第 16 章 刚体运动学分析 | | 281 |
| 12.1.2 | 响应谱分析流程 | 237 | 16.1 | 刚体运动学分析过程 | 281 |
| 12.2 | 响应谱分析示例 | 237 | 16.1.1 | 刚体运动学分析 流程概览 | 281 |
| 12.2.1 | 前处理 | 237 | 16.1.2 | 连接类型 | 281 |
| 12.2.2 | 模态分析 | 241 | 16.2 | 刚体运动学示例 | 283 |
| | | | 16.2.1 | 前处理 | 283 |
| | | | 16.2.2 | 求解 | 286 |

| | | | |
|----------------------------|------------|---------------------------|------------|
| 16.2.3 后处理····· | 287 | 20.2.1 前处理····· | 330 |
| 16.3 本章小结····· | 290 | 20.2.2 求解····· | 334 |
| 第 17 章 垫片分析 ····· | 291 | 20.2.3 后处理····· | 334 |
| 17.1 垫片分析过程····· | 291 | 20.3 本章小结····· | 335 |
| 17.1.1 垫片分析概述····· | 291 | 第 21 章 子模型分析 ····· | 336 |
| 17.1.2 垫片分析流程····· | 291 | 21.1 子模型分析基础····· | 336 |
| 17.2 垫片分析示例····· | 292 | 21.1.1 子模型概述····· | 336 |
| 17.2.1 前处理····· | 292 | 21.1.2 子模型分析流程····· | 337 |
| 17.2.2 求解····· | 297 | 21.2 子模型分析示例····· | 337 |
| 17.2.3 后处理····· | 298 | 21.2.1 粗糙模型分析····· | 338 |
| 17.3 本章小结····· | 304 | 21.2.2 子模型分析····· | 342 |
| 第 18 章 疲劳分析 ····· | 305 | 21.3 本章小结····· | 346 |
| 18.1 疲劳分析过程····· | 305 | 第 22 章 热分析 ····· | 347 |
| 18.1.1 概述····· | 305 | 22.1 热分析基础····· | 347 |
| 18.1.2 疲劳分析流程····· | 306 | 22.1.1 单位····· | 347 |
| 18.1.3 查看疲劳分析结果····· | 306 | 22.1.2 基础理论····· | 347 |
| 18.2 疲劳分析示例····· | 307 | 22.1.3 热分析流程····· | 349 |
| 18.2.1 前处理····· | 307 | 22.2 热分析示例····· | 350 |
| 18.2.2 静力分析····· | 311 | 22.2.1 前处理····· | 350 |
| 18.2.3 疲劳分析····· | 311 | 22.2.2 稳态热分析····· | 354 |
| 18.3 本章小结····· | 314 | 22.2.3 瞬态热分析····· | 356 |
| 第 19 章 断裂分析 ····· | 315 | 22.3 本章小结····· | 362 |
| 19.1 断裂分析过程····· | 315 | 第 23 章 静磁场分析 ····· | 363 |
| 19.1.1 断裂模式····· | 315 | 23.1 静磁场分析基础····· | 363 |
| 19.1.2 断裂力学参数····· | 316 | 23.1.1 静磁场分析应用····· | 363 |
| 19.1.3 断裂力学仿真方法····· | 317 | 23.1.2 静磁场分析过程····· | 363 |
| 19.1.4 断裂分析流程····· | 317 | 23.2 静磁场分析示例····· | 364 |
| 19.2 断裂分析示例····· | 318 | 23.2.1 前处理····· | 364 |
| 19.2.1 前处理····· | 318 | 23.2.2 求解····· | 370 |
| 19.2.2 求解····· | 323 | 23.2.3 后处理····· | 370 |
| 19.2.3 后处理····· | 323 | 23.3 本章小结····· | 372 |
| 19.3 本章小结····· | 328 | 第 24 章 流场分析 ····· | 373 |
| 第 20 章 循环对称分析 ····· | 329 | 24.1 流场分析基础····· | 373 |
| 20.1 循环对称分析基础····· | 329 | 24.1.1 CFX 流场分析流程····· | 373 |
| 20.1.1 分析概览····· | 329 | 24.1.2 物理条件定义····· | 373 |
| 20.1.2 循环对称模型····· | 329 | 24.1.3 CFX 求解····· | 374 |
| 20.1.3 循环对称分析流程····· | 330 | 24.1.4 CFX 后处理····· | 375 |
| 20.2 循环对称分析示例····· | 330 | 24.2 流场分析示例····· | 375 |



| | | | | | |
|---------------|---------------------------|-----|--------|--------------------|-----|
| 24.2.1 | 前处理 | 375 | 25.1.2 | 实验设计 | 390 |
| 24.2.2 | 求解 | 381 | 25.1.3 | 相关参数 | 391 |
| 24.2.3 | 后处理 | 381 | 25.1.4 | 响应面 | 394 |
| 24.3 | 流场致温度场分析示例 | 383 | 25.1.5 | 目标驱动优化 | 395 |
| 24.3.1 | 前处理 | 383 | 25.1.6 | 六西格玛分析 | 398 |
| 24.3.2 | 求解 | 385 | 25.2 | Design Exploration | |
| 24.3.3 | 后处理 | 386 | 应用示例 | 399 | |
| 24.4 | 本章小结 | 387 | 25.2.1 | 基础分析 | 399 |
| 第 25 章 | Design Exploration | | 25.2.2 | 响应面 | 404 |
| 应用 | 388 | | 25.2.3 | 目标驱动优化 | 406 |
| 25.1 | Design Exploration | | 25.2.4 | SSA 分析 | 408 |
| 基础 | 388 | | 25.3 | 本章小结 | 411 |
| 25.1.1 | Design Exploration | | 参考文献 | 412 | |
| 概览 | 388 | | | | |



第1章 ANSYS Workbench 介绍



ANSYS Workbench 是 ANSYS 公司提供的协同仿真环境，通过对产品研发流程中仿真环境的开发与实施，搭建一个具有自主知识产权、集成多学科异构 CAE 技术的仿真系统。本章主要介绍 ANSYS Workbench 15.0 的软件界面、基础使用知识和分析流程。

学习目标：

- 熟悉 ANSYS Workbench 界面。
- 理解项目工程图。
- 理解 ANSYS Workbench 分析项目管理。

1.1 软件概述

Workbench 的主要目的是为解决传统 CAE 软件在设计研发中的不足，提高 ANSYS 与相关行业的结合性，方便共享数据，并在整个设计流程中极好地应用该软件。

ANSYS Workbench 主要由三个模块组成，分别为：

- Design Modeler——用来建立 CAD 几何模型，为分析做准备。
- Design Simulation——用 ANSYS 的分析模块实现网格划分、求解以及后处理，包括常见的 Mechanical、Fluent 等。
- Design Exploration——用于研究变量的输入（几何、载荷等）对响应（应力、频率等）的影响，可实现优化。

除了以上三个主要模块，ANSYS Workbench 还集成了很多其他模块，较典型的有：用于专业涡轮叶片设计的 Blade Modeler，进行全隐性耦合算法的 CFX，用于爆炸等场合的高度非线性显式动力学分析的 AUTODYN。这些模块将 ANSYS Workbench 打造成了应用极广的有限元分析软件。

1.2 软件界面

在安装好 ANSYS Workbench 15.0 的计算机上，只需要单击启动程序图标或快捷方式就可以打开 ANSYS Workbench 15.0 启动界面；单击 OK 按钮，关闭 Getting Started 对话框后，可以看到完整的软件界面，如图 1-1 所示。该界面上包括如下几个部分。

- 标题栏——位于界面顶部，显示待分析项目的名称（图 1-1 中显示的名称为 Unsaved Project）。
- 菜单栏——位于标题栏下，提供常见的菜单操作。需要注意的是 Units 菜单（见图 1-2），其提供了不同的单位制供用户选择，默认情况下采用米-千克公制单位制。

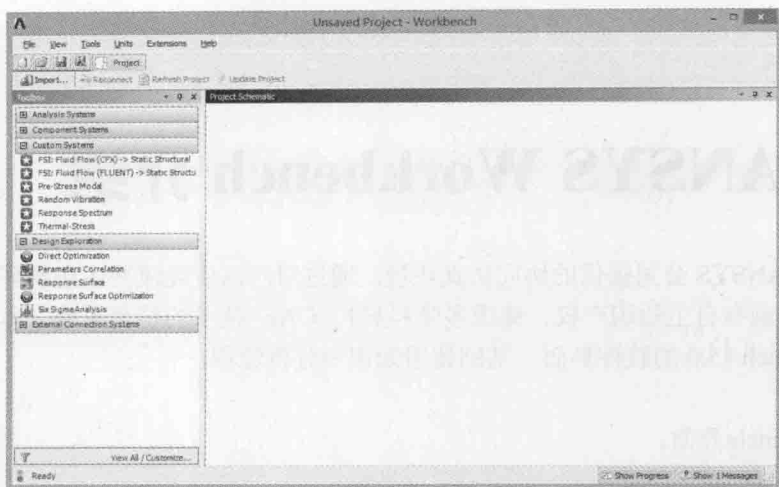


图 1-1 ANSYS Workbench 15.0 界面

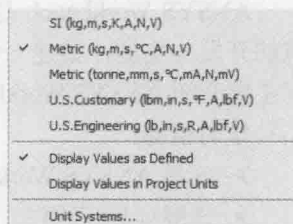


图 1-2 Units 菜单

- 工具栏——位于菜单栏下，第一行图标提供常见的菜单操作快捷方式，同时还包括一个 Project 标签；第二行图标提供常见的分析项目操作快捷方式。
- 工具箱 Toolbox——位于窗口主体的左侧，提供分析所需系统的接入方式。
- 项目视图 Project Schematic——位于窗口主体的右侧，提供分析项目的图示（或称为项目工程图，见图 1-3）。

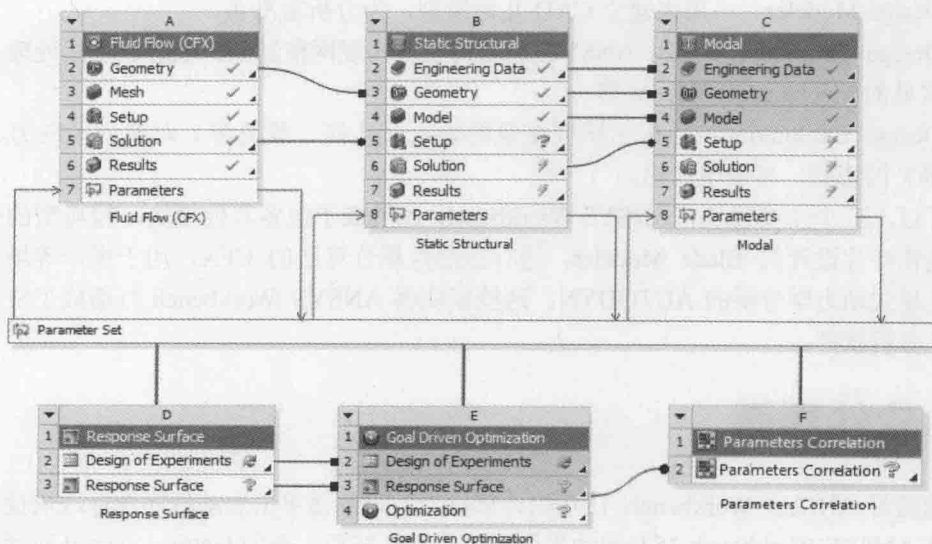


图 1-3 项目工程图示例

- 信息工具栏——位于窗口的下部，用于显示分析项目的状态和显示相关信息的接入方式。

以上几个部分是打开 Workbench 即出现的，还有更多的部分将在本书其他部分讲述。当然，也可以使用菜单栏的 View 菜单对界面进行定制，这里不再赘述。

1.3 Workbench 项目工程图

Workbench 的 Project 标签是用户进行分析工作的区域。在该区域中,分析项目通过项目工程图进行工作。项目工程图可以通过添加一个或多个功能组件的系统来构成,其反映分析过程的时间顺序。



1.3.1 项目工程图组成

项目工程图由位于主界面左侧的 Toolbox 中提供的功能组件构成。这些组件包括分析系统 (Analysis System, 如表 1-1 所示)、组件系统 (Components System, 如表 1-2 所示)、定制系统 (Custom System, 如表 1-3 所示) 和设计优化系统 (Design Exploration, 如表 1-4 所示)。

表 1-1 分析系统

| 分析类型 | 说明 | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Design Assessment | ANSYS 设计评估 | Design Assessment |
| Electric | ANSYS 电场分析 | Electric |
| Explicit Dynamics | ANSYS 显式动力学分析 | Explicit Dynamics |
| Fluid Flow-Blow Molding(Polyflow) | Polyflow 流体吹塑分析 | Fluid Flow - Blow Molding (Polyflow) |
| Fluid Flow-Extrusion(Polyflow) | Polyflow 流体挤压分析 | Fluid Flow - Extrusion (Polyflow) |
| Fluid Flow(CFX) | CFX 流体分析 | Fluid Flow (CFX) |
| Fluid Flow(Fluent) | Fluent 流体分析 | Fluid Flow (Fluent) |
| Fluid Flow(Polyflow) | Polyflow 流体分析 | Fluid Flow (Polyflow) |
| Harmonic Response(ANSYS) | ANSYS 谱响应分析 | Harmonic Response |
| Hydrodynamic Diffraction | ANSYS 水动力衍射分析 | Hydrodynamic Diffraction |
| Hydrodynamic Time Response | ANSYS 水动力时间分析 | Hydrodynamic Time Response |
| IC Engine | ANSYS 内燃机分析 | IC Engine |
| Linear Buckling | ANSYS 线性屈曲分析 | Linear Buckling |
| Linear Buckling(Scmcef) | Scmcef 线性屈曲分析 | Linear Buckling (Samcef) |
| Magnetostatic | ANSYS 静磁场分析 | Magnetostatic |
| Modal | ANSYS 模态分析 | Modal |
| Modal(Scmcef) | Scmcef 模态分析 | Modal (Samcef) |
| Random Vibration | ANSYS 随机振动分析 | Random Vibration |
| Response Spectrum | ANSYS 响应谱分析 | Response Spectrum |
| Rigid Dynamics | ANSYS 刚体动力学分析 | Rigid Dynamics |
| Static Structural | ANSYS 结构静力分析 | Static Structural |
| Static Structural(Scmcef) | Scmcef 结构静力分析 | Static Structural (Samcef) |
| Steady-State Thermal | ANSYS 稳态热分析 | Steady-State Thermal |
| Steady-State Thermal(Scmcef) | Scmcef 稳态热分析 | Steady-State Thermal (Samcef) |
| Thermal-Electric | ANSYS 热电耦合分析 | Thermal-Electric |

(续)

| 分析类型 | 说明 | |
|------------------------------|---------------|---|
| Throughflow | ANSYS 过流分析 |  Throughflow |
| Transient Structural | ANSYS 结构瞬态分析 |  Transient Structural |
| Transient Structural(Scmcef) | Scmcef 结构瞬态分析 |  Transient Structural (Scmcef) |
| Transient Thermal | ANSYS 瞬态热分析 |  Transient Thermal |
| Transient Thermal(Scmcef) | Scmcef 瞬态热分析 |  Transient Thermal (Scmcef) |

表 1-2 组件系统






























| 组件类型 | 说明 | |
|---------------------------------|------------------------|--|
| Autodyn | Autodyn 非线性显式动力分析 |  Auto dyn |
| BladeGen | 涡轮机械叶片设计工具 |  BladeGen |
| CFX | CFX 高端流体分析工具 |  CFX |
| Engineering Data | 工程数据工具 |  Engineering Data |
| Explicit Dynamic(LS-DYNAExport) | LS-DYNA 显式动力分析 |  Explicit Dynamics (LS-DYNA Export) |
| External Data | 接入外部数据 |  External Data |
| External Model | 接入外部模型 |  External Model |
| Finite Element Modeler | FEM 有限元模型工具 |  Finite Element Modeler |
| Fluent | Fluent 流体分析 |  Fluent |
| Fluent(with TGrid meshing) | Fluent 流体分析 (TGrid 网格) |  Fluent (with TGrid meshing) |
| Geometry | 几何建模工具 |  Geometry |
| ICEM CFD | ICEM CFD 网格划分工具 |  ICEM CFD |
| Icepak | 电子热分析工具 |  Icepak |
| Mechanical APDL | 机械 APDL 命令 |  Mechanical APDL |
| Mechanical Model | 机械分析模型 |  Mechanical Model |
| Mesh | 网格划分工具 |  Mesh |
| Microsoft Office Excel | Excel 表格工具 |  Microsoft Office Excel |
| Polyflow | Polyflow 流体分析 |  Polyflow |
| Polyflow-Blow Molding | Polyflow 吹塑分析 |  Polyflow - Blow Molding |
| Polyflow-Extrusion | Polyflow 挤压分析 |  Polyflow - Extrusion |
| Results | 结果后处理工具 |  Results |
| System Coupling | 系统耦合分析 |  System Coupling |
| TurboGrid | 涡轮叶栅通道网格生成工具 |  TurboGrid |
| Vista AFD | 轴流风机初始设计 |  Vista AFD |
| Vista CCD | 离心压缩机初始设计 |  Vista CCD |
| Vista CCD(with CCM) | 径流透平设计 (CCM) |  Vista CCD (with CCM) |
| Vista CPD | 泵初始设计 |  Vista CPD |
| Vista RTD | 径流透平初始设计 |  Vista RTD |
| Vista TF | 叶片二维性能评估工具 |  Vista TF |

表 1-3 定制系统











| 名称 | 说明 | |
|---|-------------------|--|
| FSI:Fluid Flow(CFX)->Static Structural | 基于 CFX 的流固耦合分析 |  FSI: Fluid Flow (CFX) -> Static Structural  FSI: Fluid Flow (FLUENT) -> Static Structural  Pre-Stress Modal  Random Vibration  Response Spectrum  Thermal-Stress |
| FSI:Fluid Flow(FLUENT)->Static Structural | 基于 FLUENT 的流固耦合分析 | |
| Pre-Stress Modal | 预应力模态分析 | |
| Random Vibration | 随机振动分析 | |
| Response Spectrum | 响应谱分析 | |
| Thermal-Stress | 热应力分析 | |

表 1-4 设计优化系统

| 名称 | 说明 | |
|-------------------------------|----------|--|
| Direct Optimization | 直接优化工具 |  Direct Optimization  Parameters Correlation  Response Surface  Response Surface Optimization  Six Sigma Analysis |
| Parameters Correlation | 参数关联工具 | |
| Response Surface | 响应面工具 | |
| Response Surface Optimization | 响应面优化工具 | |
| Six Sigma Analysis | 六西格玛分析工具 | |

1.3.2 项目工程图基本操作

本小节介绍项目工程图的基本操作，包括添加系统、命名系统、创建并连接系统、复制/移动/删除/替换系统。

1. 添加系统

建立分析项目工程图的第一步就是添加系统。ANSYS Workbench 提供下面所述的 3 种方法向项目工程图中添加新的系统。

- 1) 在 Toolbox 中双击系统图标。
- 2) 从 Toolbox 中拖拽图标到项目工程图所在区域，并松开鼠标键。
- 3) 鼠标右键单击项目工程图，并从弹出的快捷菜单中选择合适的系统。

2. 命名系统

通常而言，在分析开始前，对所添加的系统进行命名是一个很好的习惯，这样可以帮助用户方便地记住项目工程图的细节。在操作中，可以在系统建立时直接命名或对已有的系统进行重命名。

- 直接命名：在添加系统后，系统下的文字框通常为高亮的，这时可以通过编辑文字进行命名。
- 重新命名：在已有的系统上，可以通过使用鼠标双击文字框高亮显示的系统名称，然后进行命名。

3. 创建并连接系统

在添加一个系统后，可以向项目工程图中添加更多的系统。新的系统可以为独立系统，也可以连接到别的系统上。

(1) 独立系统

独立系统在分析中，可以提供对比或提供不同的分析对象结果集成的便利。可以通过下面所述的两种方法创建独立系统。

- 1) 双击 Toolbox 的相应图标。
- 2) 使用拖拽 Toolbox 的相应图标方式添加。

(2) 连接系统

连接系统可以使不同系统间数据实现共享，这样可以快捷地实现多物理场耦合分析与多步骤分析等。可以使用如下方法连接系统。

1) 连接已有系统：使用拖拽的方法可以连接两个已有系统。具体的操作为：从一个系统中拖拽共享项到另一个系统中的相应位置。

2) 创建新的待连接系统：可以采用两种方式实现，分别为从 Toolbox 中拖拽相应的图标到已有系统待分享数据项的位置上或在已有系统待分享数据项上右击鼠标选择相应的系统。

4. 复制系统

可以采用鼠标右击并从弹出的快捷菜单中选择 Duplicate 的方式来实现已有系统的复制，但根据右击位置的不同，产生的结果可能不同。

1) 在系统的第一行单击鼠标，可以复制一个独立的系统，但新系统与原系统没有数据共享。

2) 在 Geometry 项上进行复制，得到的新系统将与原系统分享 Engineering Data 数据，而其他数据可编辑。

3) 在 Model 项上进行复制，得到的新系统将与原系统分享 Engineering Data 和 Geometry 数据，而其他数据均可编辑。

4) 在 Setup 项上进行复制，得到的新系统将与原系统分享 Engineering Data、Geometry 和 Model 数据，而其他数据均可编辑。

如需复制多个连接系统，则需要使用导出功能先得到数据文件，而后再导入。例如对于力学分析应用，先导出.mechdat 文件，然后再导入这个文件。

5. 移动

在项目工程图中，可以将系统从一个位置移动到另外一个位置。所需要的操作为：按住分析的头部并将系统拖至新的位置。这个位置可以从预览图中看到。

6. 删除

在项目工程图中，可以通过右击项目头部并从快捷菜单中选择 Delete 或直接按〈Delete〉键的方式来删除系统。

7. 替换

可以通过右击项目头部并从快捷菜单中选择 Replace With 并选择相应系统的方式，对原有的系统进行替换。

1.3.3 常见项目工程图

本小节介绍两种常见的基本项目工程图。

1. 基本力学分析项目图

图 1-4 为一个典型的力学分析系统，其构成了基本力学分析项目图。在向工程项目图中添加了该系统后，Engineering Data 项一般已设定好，但用户也可以通过 Engineering Data 设