

汽车先进技术论坛丛书

QICHE XIANJIN JISHU LUNTAN CONGSHU

车辆结构有限元分析

Vehicle Structure Analysis Using Finite Element Method



王国军 李栓成 等编著



本书含1DVD



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014009848

U463
108

汽车先进技术论坛丛书

车辆结构有限元分析

王国军 李栓成 等编著
陈欣 主审



机械工业出版社



北航

C1695786

U463
108
P

848200110

《车辆结构有限元分析》简单介绍了有限元技术在车辆结构分析中的地位作用与应用现状,有限元分析的理论基础;详细介绍了进行车辆结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析、疲劳分析的基本方法和操作步骤,对于每一种分析方法,都给出了具体的案例。书中案例源于工程实际与经典教材,很多具有原创性;案例丰富,突出实用性。为方便读者学习,本书配有光盘。

本书不仅可以作为车辆工程相关专业的教材,对从事车辆装备和其他机械结构分析的工程人员也极具参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

车辆结构有限元分析/王国军等编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 10

(汽车先进技术论坛丛书)

ISBN 978-7-111-43416-0

I. ①车… II. ①王… III. ①汽车—结构分析—有限元分析 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 165734 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:何士娟 责任编辑:何士娟

责任校对:陈越 封面设计:路恩中

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20 印张·491 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43416-0

ISBN 978-7-89405-114-1(光盘)

定价: 59.00 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

前 言

作者结合近年参与车辆装备研究科研课题,以及在“车辆结构有限元”课程讲授过程中取得的成果,编写了本书。书中简单介绍了有限元技术在车辆结构分析中的地位作用与应用现状,有限元分析的理论基础;详细介绍了进行车辆结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析、疲劳分析的基本方法和操作步骤,对于每一种分析方法,都给出了具体的案例。本书讲解由浅入深,并配有光盘,适合读者自学。相对其他有限元类图书,本书具有如下特色:

1. 书中案例源于工程实际与经典教材,很多具有原创性。本书编写过程中,注意从论文、科研项目、经典车辆设计有关教材中选取案例,其中大部分案例都是作者首创编写、调试,具有一定的原创性,令人耳目一新。

2. 案例丰富,突出实用性。在本书编写过程中,侧重案例讲解与实际操作,理论部分只进行深入浅出的介绍。本书有近50个案例,每个案例都有详细的操作步骤,便于读者边看书,边实际操作。

3. 选择的操作平台具有发展潜力和广泛的应用群体。进行有限元分析的商业软件有很多,但是在高校和企业比较普及的是ANSYS,其中ANSYS Workbench操作平台目前最为流行,应用范围较广。本书在撰写过程中选择以ANSYS Workbench为操作平台,同时兼顾ANSYS的传统操作平台ANSYS APDL。

4. 基于ANSYS Workbench的结构疲劳分析,目前还没有中文书籍全面系统介绍这部分内容,本书首次介绍了基于ANSYS Workbench的疲劳分析理论和操作方法,对指导读者进行车辆结构或其他机械结构进行疲劳分析都具有很强的实用价值。

本书由王国军、李栓成、王立操、闫世良和高岩编著。本书不仅可以作为车辆工程相关专业的教材,而且对从事车辆装备和其他机械结构分析的工程人员也极具参考价值。

由于水平有限,本书难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 车辆结构有限元分析概述 | 1 |
| 1.1 有限元技术在车辆工程中的地位与作用 | 1 |
| 1.2 有限元技术在车辆工程中的应用 | 3 |
| 1.3 本书的主要内容 | 8 |
| 第 2 章 有限元分析基础 | 9 |
| 2.1 有限元分析理论基础 | 9 |
| 2.1.1 有限元分析的基本步骤 | 9 |
| 2.1.2 有限元分析实例 | 10 |
| 2.2 ANSYS 基本操作 | 19 |
| 2.2.1 用户界面 | 19 |
| 2.2.2 ANSYS 的数据库 | 21 |
| 2.2.3 ANSYS 的文件格式 | 22 |
| 2.2.4 ANSYS 的帮助系统 | 22 |
| 2.2.5 简单实例 | 25 |
| 2.3 ANSYS Workbench 基本操作 | 32 |
| 2.3.1 ANSYS Workbench 操作界面 | 32 |
| 2.3.2 ANSYS Workbench Mechanical | 34 |
| 2.3.3 简单实例 | 40 |
| 2.4 有限元分析中的单位制 | 46 |
| 2.4.1 ANSYS Workbench 操作平台下的单位设置 | 46 |
| 2.4.2 ANSYS Apdl 操作平台下的单位设置 | 47 |
| 第 3 章 车辆结构常用材料在 ANSYS 中的定义 | 48 |
| 3.1 车辆结构常用材料 | 48 |
| 3.1.1 各种轴类 | 48 |
| 3.1.2 齿轮用钢 | 49 |
| 3.1.3 弹簧 | 49 |
| 3.2 在 ANSYS Workbench 中定义车辆结构材料特性 | 49 |
| 3.2.1 ANSYS Workbench 工程数据操作界面 | 49 |

| | | |
|------------|------------------------------------|------------|
| 3.2.2 | 为当前项目添加材料 | 51 |
| 3.2.3 | 定义一种新材料 | 52 |
| 3.2.4 | 应用案例 | 53 |
| 第4章 | 车辆结构有限元建模技术 | 55 |
| 4.1 | 几何建模 | 55 |
| 4.1.1 | 基本操作界面 | 55 |
| 4.1.2 | 草图建模 | 58 |
| 4.1.3 | 工作平面 | 59 |
| 4.1.4 | 拉伸操作 | 61 |
| 4.1.5 | 扫略操作 | 66 |
| 4.1.6 | 旋转操作 | 68 |
| 4.1.7 | 组合体操作 | 70 |
| 4.1.8 | 抽取中面 | 74 |
| 4.1.9 | 表面印记(Imprint Faces) | 77 |
| 4.1.10 | 点焊建模 | 79 |
| 4.1.11 | 概念建模之梁 | 85 |
| 4.1.12 | 概念建模之面 | 93 |
| 4.2 | 接触 | 98 |
| 4.2.1 | 接触的基本知识 | 98 |
| 4.2.2 | 接触单元的特点 | 98 |
| 4.2.3 | 接触的偏移设置 | 99 |
| 4.2.4 | 接触对的自动生成 | 100 |
| 4.2.5 | 接触对的重新命名 | 101 |
| 4.2.6 | 接触对的手动定义 | 101 |
| 4.3 | 网格划分 | 102 |
| 4.3.1 | 自动划分网格 | 103 |
| 4.3.2 | 采用四面体划分网格 | 105 |
| 4.3.3 | 以六面体为主划分网格 | 106 |
| 4.3.4 | 采用扫略方法(Sweep)划分六面体网格 | 106 |
| 4.3.5 | 多域划分网格 | 107 |
| 4.4 | 载荷与约束 | 109 |
| 4.4.1 | 载荷 | 109 |
| 4.4.2 | 约束 | 122 |
| 第5章 | 车辆结构有限元静力学分析 | 126 |
| 5.1 | 结构有限元静力学分析基础 | 126 |
| 5.1.1 | 在 ANSYS Workbench 平台上进行静力学分析 | 127 |
| 5.1.2 | 在 ANSYS Apdl 操作平台上进行静力学分析 | 131 |
| 5.2 | 汽车驱动桥桥壳的有限元分析 | 135 |
| 5.2.1 | 启动 ANSYS Workbench 建立后桥分析项目 | 135 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 5.2.2 | 导入几何模型 | 135 |
| 5.2.3 | 添加材料信息 | 136 |
| 5.2.4 | 进行网格划分 | 137 |
| 5.2.5 | 施加载荷及约束 | 137 |
| 5.2.6 | 设定求解结果 | 140 |
| 5.2.7 | 结果分析 | 140 |
| 5.3 | 支架的有限元分析 | 140 |
| 5.3.1 | 启动 ANSYS Workbench 建立支架分析项目 | 141 |
| 5.3.2 | 导入几何模型 | 141 |
| 5.3.3 | 添加材料信息 | 143 |
| 5.3.4 | 用螺栓连接车架和支架 | 143 |
| 5.3.5 | 进行网格划分 | 144 |
| 5.3.6 | 施加载荷及约束 | 145 |
| 5.3.7 | 设定求解结果 | 146 |
| 5.3.8 | 结果分析 | 146 |
| 5.4 | 悬架结构模拟实例 | 147 |
| 5.4.1 | 打开 ANSYS Workbench 项目文件 | 147 |
| 5.4.2 | 导入几何模型 | 148 |
| 5.4.3 | 用弹簧连接车架和平衡梁 | 148 |
| 5.4.4 | 施加载荷及约束 | 149 |
| 5.4.5 | 设定求解结果 | 151 |
| 5.4.6 | 结果分析 | 152 |
| 第 6 章 | 车辆结构有限元模态分析 | 154 |
| 6.1 | 有限元模态分析基础 | 154 |
| 6.1.1 | 基本概念 | 154 |
| 6.1.2 | 在 ANSYS Workbench 平台上进行模态分析 | 156 |
| 6.1.3 | 在 ANSYS Apdl 操作平台上进行模态分析 | 160 |
| 6.2 | 某越野汽车二自由度振动模态分析 | 169 |
| 6.2.1 | 问题描述 | 169 |
| 6.2.2 | 准备工作 | 170 |
| 6.2.3 | 建立模型 | 176 |
| 6.2.4 | 定义分析类型 | 181 |
| 6.2.5 | 施加约束 | 182 |
| 6.2.6 | 求解 | 184 |
| 6.2.7 | 后处理 | 185 |
| 6.2.8 | Apdl 指令 | 186 |
| 6.3 | 某重型高机动越野汽车的模态分析 | 187 |
| 6.3.1 | 问题描述 | 187 |
| 6.3.2 | 准备工作 | 188 |

| | | |
|---------------------------|--------------------------------|------------|
| 6.3.3 | 建立模型 | 193 |
| 6.3.4 | 定义分析类型 | 199 |
| 6.3.5 | 施加约束 | 199 |
| 6.3.6 | 求解 | 201 |
| 6.3.7 | 后处理 | 202 |
| 6.3.8 | Apdl 指令 | 206 |
| 第7章 车辆结构有限元谐响应分析 | | 208 |
| 7.1 | 有限元谐响应分析基础 | 208 |
| 7.1.1 | 基本概念 | 208 |
| 7.1.2 | 在 ANSYS Workbench 平台上进行谐响应分析 | 210 |
| 7.1.3 | 在 ANSYS Apdl 操作平台上进行谐响应分析 | 213 |
| 7.2 | 某越野车汽车二自由度振动谐响应分析 | 220 |
| 7.2.1 | 问题描述 | 220 |
| 7.2.2 | 准备工作 | 220 |
| 7.2.3 | 建立模型 | 221 |
| 7.2.4 | 定义分析类型 | 221 |
| 7.2.5 | 施加约束 | 222 |
| 7.2.6 | 进行求解 | 225 |
| 7.2.7 | 后处理 | 225 |
| 第8章 车辆结构有限元瞬态动力学分析 | | 231 |
| 8.1 | 有限元瞬态动力学分析基础 | 231 |
| 8.1.1 | 基本概念 | 231 |
| 8.1.2 | 在 ANSYS Workbench 平台上进行瞬态动力学分析 | 232 |
| 8.1.3 | 在 ANSYS Apdl 平台上进行瞬态动力学分析 | 237 |
| 8.2 | 某越野车汽车二自由度振动瞬态动力学分析 | 246 |
| 8.2.1 | 问题描述 | 246 |
| 8.2.2 | 准备工作 | 247 |
| 8.2.3 | 建立模型 | 248 |
| 8.2.4 | 定义分析类型 | 248 |
| 8.2.5 | 施加约束 | 248 |
| 8.2.6 | 求解 | 252 |
| 8.2.7 | 后处理 | 252 |
| 8.2.8 | Apdl 指令 | 254 |
| 第9章 车辆结构有限元疲劳分析 | | 257 |
| 9.1 | 结构疲劳分析基础 | 257 |
| 9.1.1 | 基本概念 | 257 |
| 9.1.2 | 疲劳破坏的特点 | 257 |
| 9.1.3 | 疲劳分析的基本流程 | 259 |
| 9.2 | 应力疲劳分析 | 259 |

第 1 章

车辆结构有限元分析概述

1.1 有限元技术在车辆工程中的地位与作用

近年来中国车辆工业发展迅速。2009 年汽车整车产量达 1379 万辆，销售 1364 万辆，成为世界第一汽车生产和消费国。2011 年我国汽车销售超过 1850 万辆。但是，国产车辆技术水平与市场要求差距还很大。在国内外汽车市场激烈竞争的局面下，车辆技术质量已成为各厂家的第一生命线。

有限元技术对提高车辆质量和车辆企业开发能力具有重要作用。目前许多商业有限元分析软件功能全面，涉及结构、疲劳、热、流体、电磁场、碰撞、钣金成形等专业领域，这些软件易学易用，已经成为车辆开发必不可少的工具。

在很多车辆知名企业中，有限元分析已是车辆设计链中必需的工作，没有有限元分析的设计不能进入下一个技术流程。新车开发中的疲劳寿命、振动、噪声、刚度、强度等问题，可通过有限元技术在设计阶段解决，提高设计质量，缩短开发周期，节省开发费用，同时避免产品投放市场初期可能出现的质量问题。目前，国际上大多数车辆企业将新产品开发工作分为四个阶段：

第一阶段——市场策划阶段。通过市场调研，设定市场定位，建立新产品目标。

第二阶段——概念设计和可行性研究。有限元技术可以帮助总设计师粗略确定车身、发动机等主要总成的拓扑和结构参数。分析虽然不是最后精确的结果，但可以使总设计师做到“心中有数”，以便能够向设计工程师布置明确的设计任务，分配强度、刚度、质量等设计指标，从而保证设计指标既是高水平的又是可行的。

第三阶段——产品设计和原型车确认。在这一阶段需要大量应用有限元技术，以便得到优化设计的结果。有限元技术支持大部分汽车零部件的分析与设计，帮助工程师应用有限元技术进行强度、刚度校核和优化设计，保证产品设计水平。

第四阶段——确认设计，解决设计存在的问题。针对样车试验中暴露的问题，可以应用有限元技术进行专项分析，诊断问题原因，验证对策可行性，将问题解决在投放市场之前。这个阶段已经有完全的有限元分析技术参数，可以进行各种更详细、更精确的分析，建立评价标准和结果档案。

美军充分认识到了有限元技术在提高车辆可靠性中的重要作用。美国国防部与和政府工业电子信息协会密切合作，开发了一个新的标准 GEIA-STD-0009（系统设计、开发、制造可靠

性程序标准)。美国国防部承担这一项目的原因是许多系统在开发阶段的初始试验和评价中达不到可靠性要求，国防科学开发试验与评价中心认为解决这一问题急需一个新的可靠性程序。GEIA-STD-0009 的核心是可靠性工程和可靠性增长，如图 1-1 所示。虚拟分析作为可靠性试验评价过程中的一个基础环节，已经写入标准。

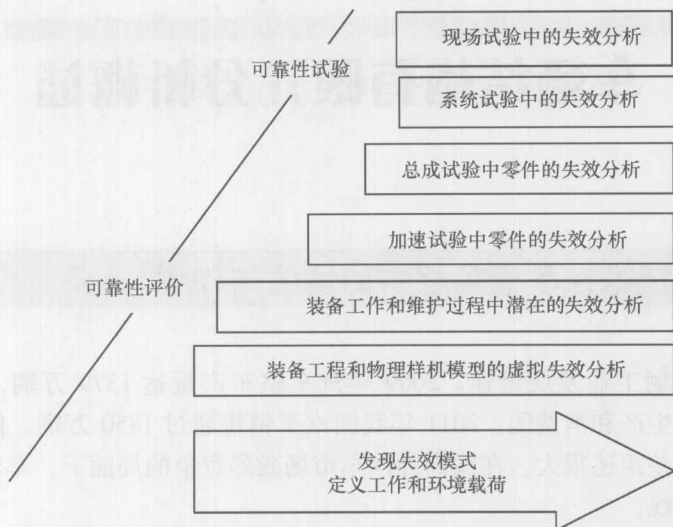


图 1-1 GEIA-STD-0009 可靠性试验评价验证过程

图 1-2 是文献[3]在对 GEIA-STD-0009 介绍过程中给出的某战术车辆通过阿伯丁试验场典型道路的仿真分析实例。

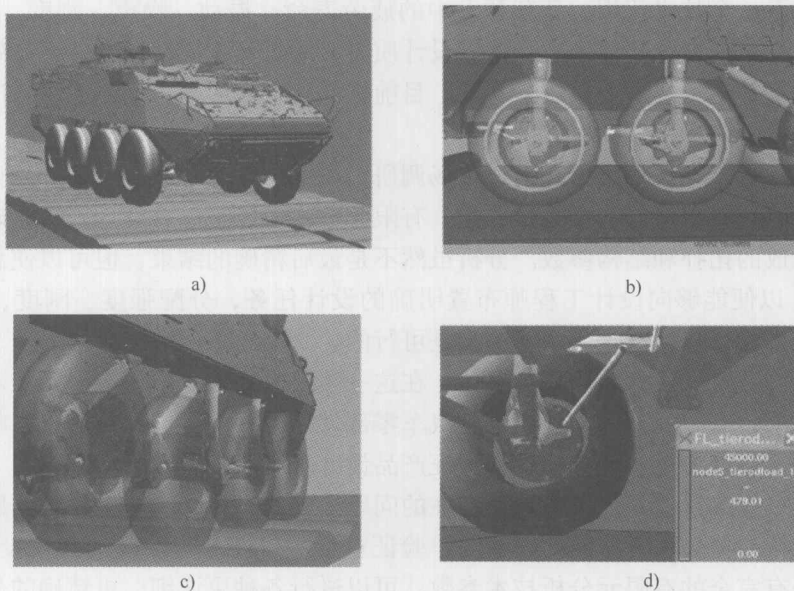


图 1-2 战术车辆仿真分析

a) 比利时道路 b) 压过 10in(1in=0.0254m) 的半圆木 c) 6in 搓板路 d) 仿真分析

通过上述仿真分析,可以得到悬架上各零件的载荷信息,图1-3是利用这些载荷对悬架A型控制臂进行疲劳寿命计算的结果,并且需要将这些仿真分析结果与实际测试结果相比较。图1-4给出了A型控制臂上应变测点布置情况。

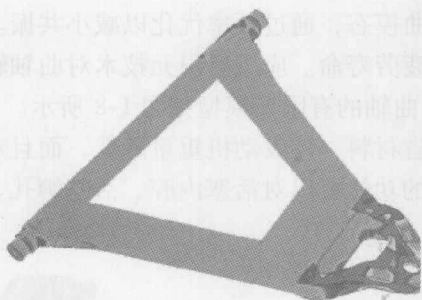


图 1-3 对悬架 A 型控制臂进行疲劳寿命计算

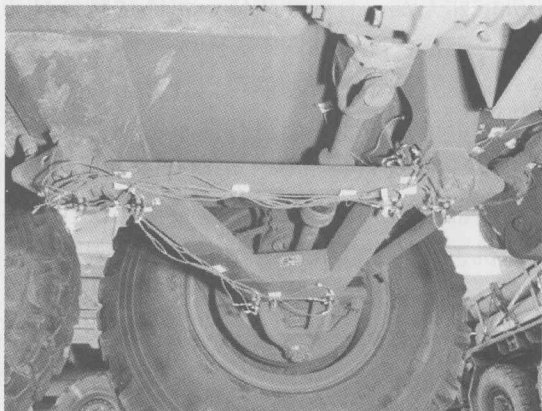


图 1-4 A 型控制臂上应变测点布置情况

1.2 有限元技术在车辆工程中的应用

1. 发动机机体

发动机机体同时承受着热负荷和机械负荷,本质上是多物理场耦合工作体,图1-5是某V6发动机机体热分析、结构分析和热—结构耦合分析的有限元模型。

机体、缸盖的热分析特别重要,热疲劳是失效和“拉缸”的主要原因,为保证可靠性与耐久性,可以应用有限元技术分析机械和热负荷下的刚度、强度,如图1-6所示。

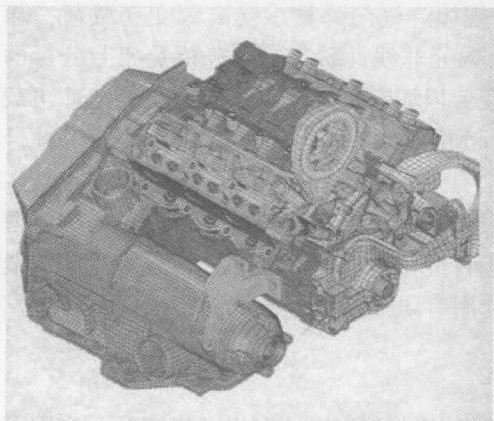


图 1-5 V6 发动机有限元整体模型

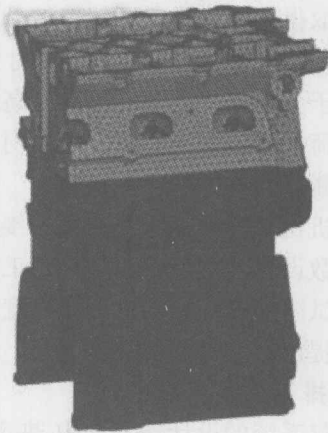


图 1-6 缸盖、机体分析

有限元方法可以算出机体的固有频率及模态,以控制噪声源。此外还可以模拟机体的热冲击实验、热—结构耦合分析,计算出机械负载、热负荷双重作用下机体的变形和应力分布。

2. 曲柄连杆机构运动件

活塞、曲柄连杆等运动件是承受热-机械耦合负荷的部件，因为往复运动，其质量对整个发动机性能非常重要。有限元热和机械载荷下的分析可以为设计提供依据。连杆强度是发动机设计关键，有限元柔体-柔体接触计算功能可以准确模拟连杆与大头盖、活塞销、曲柄间联合工作状况，如图 1-7 所示。

有限元模态分析功能可以计算出曲轴扭转与弯曲模态，通过频率优化以减小共振。有限元的疲劳计算功能，能进行曲轴的疲劳分析，预测疲劳寿命。应用有限元技术对曲轴轴颈及油膜进行流-固耦合分析，可以评价曲轴的耐磨性，曲轴的有限元模型如图 1-8 所示。

曲轴连杆机构运动件的重量优化设计，不仅节省材料，使发动机重量降低，而且对改善发动机整体的工作状况特别有效，有限元形状优化的功能可以对活塞内腔、活塞销孔、连杆形状、曲轴圆角和曲柄臂尺寸进行优化设计。

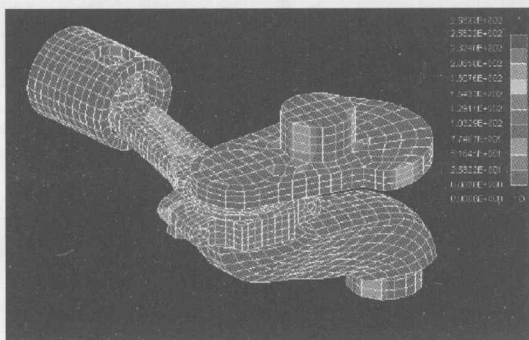


图 1-7 曲柄连杆机构的柔体运动学、动力学分析

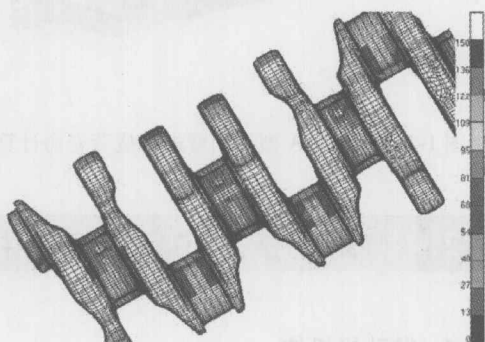


图 1-8 曲轴的有限元模型

3. 配气机构

进排气门、气门弹簧、摇臂、推杆、挺杆、凸轮轴、正时齿轮组成的配气机构直接影响发动机性能，要求进行精确计算。通过有限元分析能够考虑配气机构中各个部件的弹性变形，从而取得比刚体假定更精确的凸轮-气门运动规律。气门弹簧承受高频交变载荷，随着多气门设计的发展趋势，对弹簧尺寸限制加大，有限元非线性瞬态动力分析及疲劳分析的功能，可用于分析非线性变节距弹簧高应力破坏及疲劳损坏问题。进、排气门受高速冲击载荷和高温载荷作用，有限元技术可以对热-结构耦合问题进行仿真分析，对进、排气门进行疲劳寿命预测。

配气机构分析中存在着大量的接触问题，有限元软件中高级接触单元、接触向导、智能化接触参数设置功能可以引导设计工程师方便地进行配气机构的非线性分析，解除了非线性参数选取试凑的麻烦，加速分析进度。图 1-9 为利用有限元结构分析找到了摇臂座裂纹发生的原因，提出改进方法的案例。

4. 进排气系统

进排气系统的设计涉及结构-热-流体-声的综合作用，是典型的多物理场问题。有限元流体动力学计算功能可分析气道的流场分布(图 1-10)、压力分布、温度分布、湍流动能、湍流耗散率，得到气道几何形状对进气效率的影响；通过有限元流场优化，可降低发动机由于进、排气阻力而造成的功率损失。

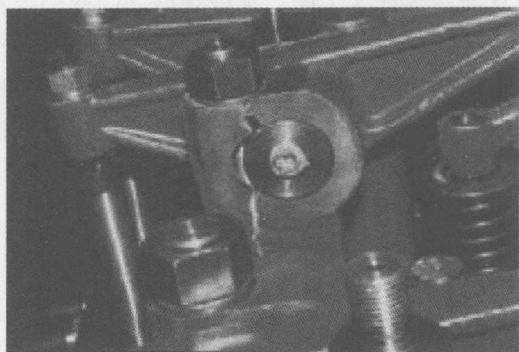
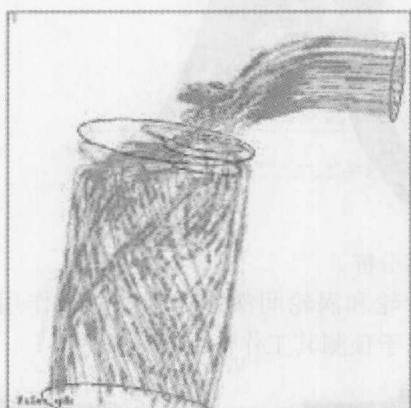
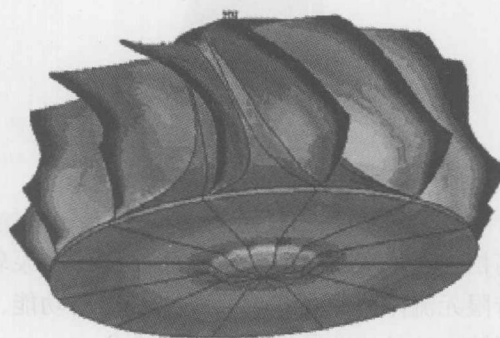


图1-9 气门摇臂的有限元分析



a)



b)

图1-10 流场分布

a) 进气螺旋 b) 增压器涡轮分析

进气、排气系统是汽车噪声的主要声源。有限元声场分析和声场优化可求解出声压分布及分贝级别。通过对消声器的声-流体-结构耦合的优化仿真，有助于降低排气噪声，减小排气阻力。

5. 燃油供给系

燃油喷射和进气螺旋关系到燃烧和排放，有限元流体动力学分析及优化功能允许设计师在物理样机制造之前考查多种气道方案，从而得到最优设计。

国家已经禁止化油器车销售，电喷技术普遍应用，它通过电控实现智能燃油供给，提高功率和控制排放，有限元多物理场仿真技术可模拟电喷过程的“电-磁-结构多场耦合”的工作状况，用于电喷系统的结构设计和性能评价。

6. 冷却系

冷却系设计焦点是结构、空气、水、油中热的流动和传递过程。通过有限元分析可以得到冷却系内温度分布、结构壁面的对流换热系数等，从而为冷却系的设计提供参考。

7. 传动系

变速器、离合器、万向节、主减速器、差速器、半轴、液力耦合器与液力变速器等组成

的传动系承担功率传递功能，部件在随机高载荷条件下工作，强度和振动问题始终是主要矛盾。以主动传动弧齿锥齿轮为例，过去 FEM 分析只能针对啮合过程的一个状态分析，现在有限元技术可以在啮合运动全过程中分析齿轮副的强度和刚度。分析对象可以包含齿轮轴和轴承座，以便于发现因为齿轮轴或轴承座刚度不足而造成的弧齿锥齿轮副碎齿问题。齿轮滚动接触分析如图 1-11 所示。

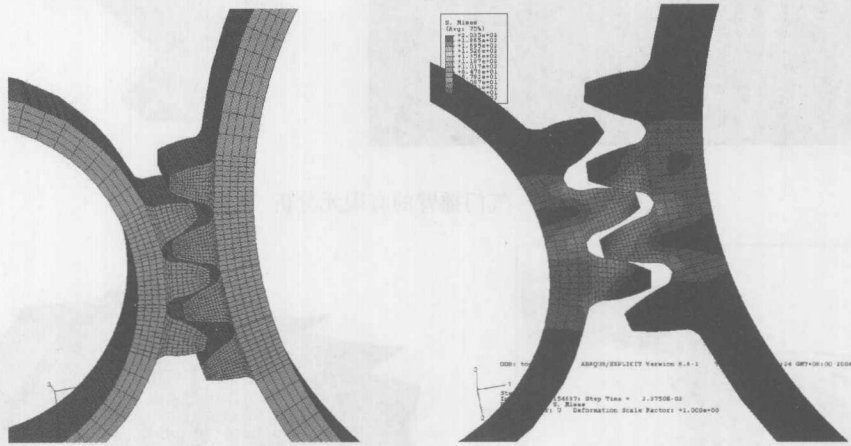


图 1-11 齿轮滚动接触分析

高档汽车采用的液力变矩器是靠流体在泵轮、导轮和涡轮间液体耦合的相互作用工作的。有限元流体和非线性流-固耦合的分析功能，可用于预测其工作性能与可靠性。

扭转振动是传动轴设计的关键技术之一。有限元模态分析可准确预测其固有频率及振型，用于指导设计。

万向节密封套在大变形条件下工作，设计上寿命至少要求达到一个大修期。有限元技术可以对密封套进行寿命及密封性能预测，得出不同的轴交叉角与应力关系曲线，从而指导密封套的设计，其局部应力变化如图 1-12 所示。

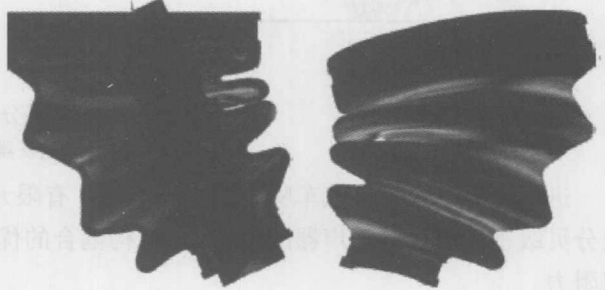


图 1-12 密封套局部应力变化

8. 承载和行驶系

汽车承载和行驶系是高负荷安全构件，可靠性特别重要。有限元技术可以进行非线性柔体运动学、动力学仿真和优化设计。

车架和车身结构，基本是由梁组件焊接(铆接)而成，分析中可用梁单元模型。有限元软件有梁断面几何参数生成和定义单元的断面形状功能，能以真实断面形状显示梁单元，通过后处理能在断面上显示应力结果、按工程习惯绘制弯矩图等，极大方便了梁系模型应用。

2001 年，John Deere 技术中心公布了“车辆结构耐久性试验与仿真分析一体化技术”研究的部分成果(这一技术由美国国防部资助)。研究报告中指出，有限元分析技术可以在装备虚拟样机阶段进行“现场试验”，有限元分析结果可以与实验室、试车场的分析结果进行相关分析，并相互验证，在设计阶段评估装备的结构寿命，降低设计风险。

图 1-13 所示为 John Deere 技术中心建立的车身的有限元模型和分析结果验证情况。图 1-14 所示为有限元模型的加载条件, 图 1-15 所示为计算得到的寿命分布云图。

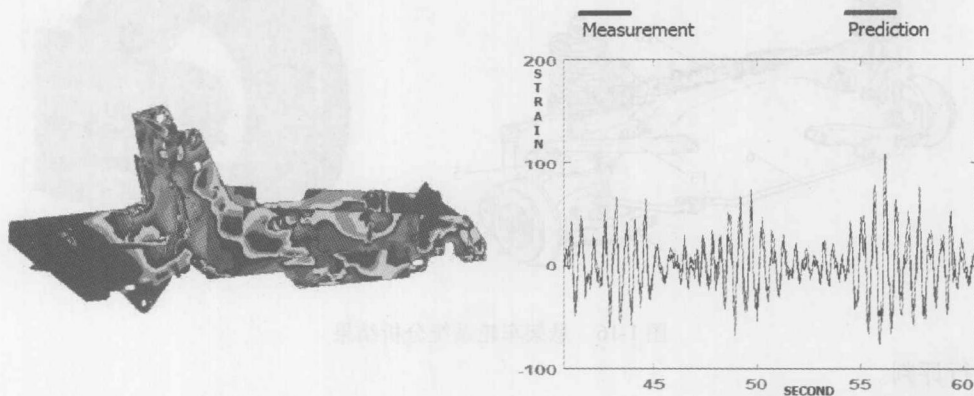


图 1-13 车身的有限元模型和分析结果验证情况

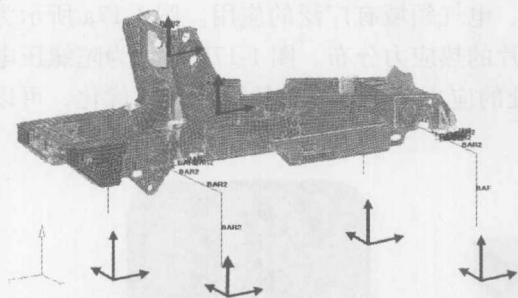


图 1-14 有限元模型加载条件

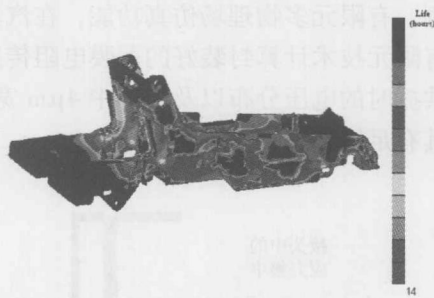


图 1-15 寿命分布云图

报告最后指出, 车辆整体结构耐久性是可以预测的; 车辆整体结构耐久性预测比试验的效率要高很多; 能够节约很多经费; 在投入生产之前, 车辆整体结构耐久性还可以进一步优化。

传统上动力学分析对象只能是刚体, 应力分析的弹性体只能是被约束的。例如, 图 1-16 所示的悬架系统的动力学分析现在不需要对各机构部件刚化, 可以在考虑结构弹性的同时分析其运动情况和应力响应, 从而提高分析精度。

9. 转向系与制动系

动力转向设计中, 利用有限元技术进行流体分析可计算出管路中流经各阀门、油管、油泵等处的油液流量、压力, 利用流-固耦合分析可计算出动力油缸活塞的运动及应力, 从而保证转向特性。

制动系统是一个重要噪声源, 制动器本身的振动也影响其工作的可靠性与稳定性, ANSYS 的矩阵单元和约束方程的手段, 允许添加阻尼和方程约束, 从而方便地建立更符合实际的制动器摩擦耦合模型, 进行模态分析, 对制动器的尖叫声进行估评, 从而抑制制动噪声。

10. 座椅总成

座椅设计不单是舒适性, 相关的安全性标准规定了座椅对乘员保护的严格要求, 座椅大变形计算成为常规的分析。采用有限元非线性计算功能, 可以对座椅靠背和头枕对乘员保护

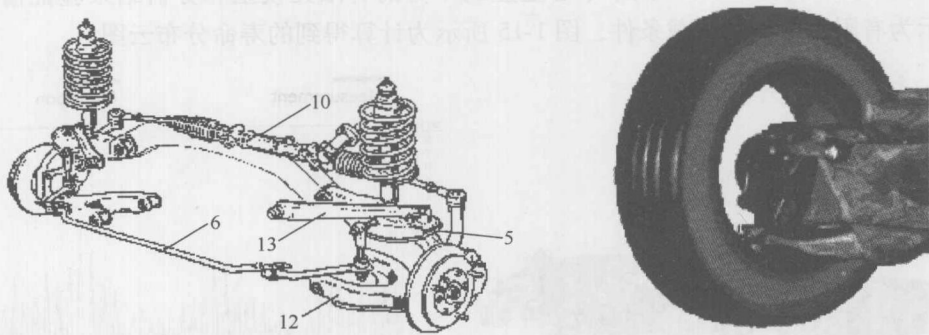


图 1-16 悬架车轮系统分析结果

性能进行评判。

11. 汽车电子、电器

现代汽车已从单一的机械产品变为机电产品，ABS、电子喷射、微机电系统已占到相当的比例。有限元多物理场仿真功能，在汽车电子、电气领域有广泛的应用。图 1-17a 所示为利用有限元技术计算封装好的薄膜电阻传感器芯片的热应力分布。图 1-17b 所示为陀螺压电梁在共振时的电压分布以及结构中 $4\mu\text{m}$ 宽接头处的应力集中。接头的设计通过优化，可以保证其有足够的弹性。

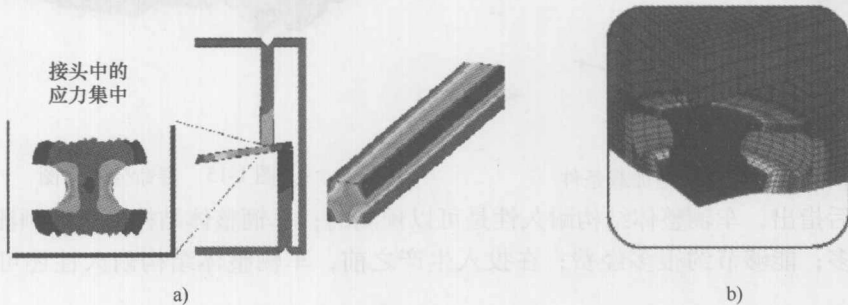


图 1-17 电子产品应力分析
a) 芯片的热应力 b) 应力集中

1.3 本书的主要内容

通过前面的介绍中可以看出，由于有限元法能够解决结构形状和边界条件都非常任意的力学问题而被广泛使用。应用有限元法可以在汽车设计中对所有的结构件、主要零部件的刚度、强度、稳定性进行分析；可以进行构件的模式分析，同时在计算机屏幕上直观形象地再现构件的振动模态，进一步计算出各构件的动力响应，直观地描绘出动态过程。

本书主要针对车辆结构件以及零部件的强度、刚度、模态、动力学响应、疲劳寿命的分析方法进行介绍。针对具体案例，采用在国内应用比较普及的 ANSYS 软件进行讲解。在讲解过程中，以 Workbench 操作界面为主，同时兼顾 ANSYS 传统界面。