

PAM-CRASH 应用基础

刘 军 李玉龙 编著
刘元镛 审校

西北工业大学出版社

国防科技工业民用专项科研技术研究资助项目

PAM-CRASH 应用基础

刘 军 李玉龙 编著

刘元镛 审校

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书主要讲述 PAM-CRASH 软件的基础知识、应用方法和要点,并结合实例介绍 PAM-CRASH 的一些典型应用,内容兼顾理论与应用实例,具有很强的可读性和实用性。

本书适合理工院校本科高年级学生和研究生作为专业学习的辅导教材,也可以作为相关行业科研人员和工程技术人员的工程设计参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PAM-CRASH 应用基础/刘军,李玉龙编著. —西安:西北工业大学出版社,2008.12
ISBN 978-7-5612-2483-0

I. P… II. ①刘…②李… III. 计算机仿真—应用软件,PAM-CRASH—教材
IV. TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 169861 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.625

字 数:378 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

前 言

随着计算力学、计算数学、计算机技术特别是信息技术的迅猛发展,数值模拟技术日趋成熟。目前,该项技术已广泛应用于航空、航天、核工业、汽车工业、土木、机械等诸多领域,并对这些领域产生了深远的影响。

PAM-CRASH 是基于显式有限元算法的计算机三维碰撞冲击仿真模拟系统,能够在大位移、大旋转、大应变、接触碰撞等问题进行十分精确的模拟,是一个应用于汽车、航空、电子和材料生产等专业领域,用于解决有关冲击、碰撞和安全性虚拟测试等问题的实用工具。PAM-CRASH 以其强大的功能、精确的模拟计算结果,被广大的世界知名用户选用,在其产品的设计开发过程中创造了巨大的价值,发挥了无可替代的作用,受到一致好评。

目前,我国越来越多的用户应用 PAM-CRASH 进行各种问题的分析与计算,但兼顾理论和应用实例的 PAM-CRASH 相关学习和研究资料还相对缺乏,因此,我们编著了本书以满足读者的需求。

全书主要分为两大部分:第一部分介绍了 PAM-CRASH 软件涉及的基础知识、应用方法和要点,主要包括 PAM-CRASH 概述、单元类型、材料模型、求解控制、关键字文件分析、Visual-Environment 3.0 建模、网格生成、前处理、后处理等;第二部分结合实例介绍了 PAM-CRASH 的一些典型应用,主要包括弹性杆撞击分析、子弹侵彻靶板分析、鸟撞飞机风挡分析,并在其中穿插讲述了一些新的建模求解方法。

理论与实践的结合统一是本书的最大特点之一,因此本书具有很强的可读性和实用性。本书还配有一张多媒体教学光盘,光盘包含本书的数据文件及实例的 AVI 动画文件,这对读者使用 PAM-CRASH 将有很大的帮助。

全书共分 9 章。其中,第 1~6 章由刘军编写,第 7~9 章由李玉龙编写。西北工业大学博士生导师刘元镭教授审定了全书并提出许多宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

ESI China 公司 PAM-CRASH 产品经理任磊工程师在本书编写过程中提供了一定的技术支持,在此一并表示感谢。

由于我们水平有限,书中纰漏在所难免,热忱恳请广大师生、读者给予批评指正。

编著者
2008 年 11 月

目 录

第 1 章 PAM-CRASH 概述	1
1.1 ESI 集团简介	1
1.2 PAM-CRASH 概述	4
1.3 PAM-CRASH 的基本概念	13
1.4 PAM-CRASH 的分析流程	16
第 2 章 单元类型	17
2.1 概述	17
2.2 体单元	17
2.3 三维壳单元	18
2.4 厚壳单元	19
2.5 薄壳单元	21
2.6 膜单元	22
2.7 梁单元	23
2.8 杆单元	26
2.9 六自由度弹簧阻尼单元	27
2.10 连接单元	28
2.11 动态连接单元	30
2.12 SPH 单元	31
第 3 章 材料模型	33
3.1 概述	33
3.2 积分算法	34
3.3 沙漏控制	35
3.4 应变率模型	36
3.5 防止负体积	43
3.6 实体材料	44
3.7 壳材料	54
3.8 梁杆材料	58
3.9 连接材料	60

第 4 章 求解控制	62
4.1 概述	62
4.2 基本设置	62
4.3 输出控制	65
4.4 时间步控制	79
4.5 单元控制	81
4.6 SPH 控制	82
第 5 章 PAM-CRASH 关键字文件	84
5.1 概述	84
5.2 关键字文件的格式	84
5.3 关键字文件举例	85
第 6 章 Visual-Environment 3.0	97
6.1 概述	97
6.2 软件界面	97
6.3 模型显示	107
6.4 实体选择	109
6.5 快速显示控制	110
6.6 其他常见操作	112
6.7 建模举例	114
第 7 章 弹性杆撞击分析	138
7.1 概述	138
7.2 建模过程	138
7.3 PAM-CRASH 计算输入文件	157
7.4 求解	160
7.5 Visual-Viewer 后处理	162
第 8 章 子弹侵彻靶板分析	167
8.1 概述	167
8.2 建模过程	167
8.3 PAM-CRASH 计算输入文件	192
8.4 求解	195
8.5 Visual-Viewer 后处理	197

第 9 章 鸟撞飞机风挡分析.....	202
9.1 概述	202
9.2 建模过程	203
9.3 PAM-CRASH 计算输入文件.....	228
9.4 求解	233
9.5 Visual-Viewer 后处理	234
参考文献.....	242

第 1 章 PAM-CRASH 概述

1.1 ESI 集团简介

1.1.1 ESI 集团概况

作为虚拟测试方案的先锋,ESI 集团是全球首屈一指的材料物理学数值模拟原型和制造流程的供应商。ESI 集团开发出一整套连贯的、工业导向的应用工具,可以真实地模拟产品在测试中的表现,通过预测产品性能的整合效果而微调生产流程,并评估环境对产品使用的影响。ESI 集团的产品组合已经业界验证,并在多行业的价值链中结合使用,演绎成为一种具有独特协同效应的虚拟工程解决方案——Virtual Try-Out Space[虚拟试验空间(VTOS)],以不断地对虚拟原型进行改善。VTOS 解决方案可以大大降低成本和缩短开发周期,极大地提高产品的竞争优势,并逐步减少对实际原型的需求。ESI 集团 2005 财政年度的营业额为 6 200 多万欧元,在全球拥有 500 多名高层次专家。公司及其全球代理网络为 30 多个国家的客户提供销售和技术支援。

1.1.2 ESI 集团的历史

ESI 集团自 1973 年成立以来,发展十分迅速。

1973 年,ESI 在法国创办,最初作为一家顾问公司从事欧洲国防、航空和核工业的数值工程模拟服务工作。

1979 年,ESI 在德国设立全球第一个分支机构。

1985 年,ESI 公司成功实现全球第一台汽车的虚拟碰撞模拟——大众 Polo。

1986 年,世界上第一个商业版本的碰撞模拟软件 PAM - CRASH 正式面世。

1991 年,ESI 集团在美国和日本设立分支机构。ESI 集团宣布发布 PAM-SYSTEM 软件家族,包括用于被动安全性分析的 PAM-SAFE 和用于跌落试验分析的 PAM-SHOCK。

1994 年,ESI 在荷兰设立分支机构。

1995 年,PAM-CRASH 成为世界最知名的碰撞模拟系统,其用户包括奥迪、宝马、大宇、通用、本田、现代、大众和丰田等。ESI 集团在韩国设立韩国 ESI 公司。

1996 年,通用汽车模具制造部成为 PAM-STAMP 全球最大的客户。

1997 年,ESI 集团宣布推出铸造模拟软件 PAM-CAST / SIMULOR。ESI 宣布收购 Framasoft,包括其核心产品 SYSWELD, SYSTUS, SYSPLY。

1999 年,ESI 集团增加其注册资本至 520 万欧元。

2000 年,ESI 集团在巴黎成功上市。ESI 集团在中国广州设立 ESI 博睿仿真工程科技有限公司(ESTI)。ESI 正式推出用于塑料和复合材料模压成形和温间成形的模拟软件 PAM-

FORM 2000,以及电磁兼容模拟软件 PAM-CEM 2000。ESI 集团收购 Dynamic Software, 包括其核心产品 OPTRIS。

2001 年,ESI 集团与 MTS 系统公司签署协议,联合开发噪声与振动模拟市场。MTS 继续在全球范围内代理 ESI Rayon 产品。ESI 集团收购法国公司 Starco,Starco 为专门从事噪声与振动模拟的公司,主要产品有 Rayon。ESI 集团收购加拿大公司 L3P,包括其用于树脂转移成形模拟的产品 LCMFLOT。ESI 集团收购用于快速冲压模具设计的产品 VIKING。捷克公司 MECAS 加入 ESI,负责 ESI 产品在东欧的市场开发和技术支持。ESI 在西班牙也设立了分公司。

2002 年,Calcom S. A. 加入 ESI 集团。ESI 集团收购 Pro-CAST 铸造模拟软件。ESI 集团通过股权控制成为 VASCI (Vibro- Acoustic Sciences) 的绝对大股东并控制 VASCI 产品的全球授权和发展方向。ESI 集团与雷诺集团签署全面合作协议。ESI 推出第二代模拟仿真系统,包括 PAM-CRASH, PAM-STAMP 2G。

1.1.3 ESI 集团的产品

ESI 集团的主要产品有虚拟原型、优化工具、振动噪声、虚拟制造、虚拟环境、生物力学。

1. 虚拟原型(Virtual Prototyping)

PAM-CRASH:新一代的计算机三维碰撞模拟系统,是世界上使用最广泛的碰撞模拟软件。

PAM-SAFE 2G:基于有限元算法的汽车被动安全性模拟分析系统,包括约束系统(安全气囊、安全带)和假人模型,并整合了多刚体算法。

PAM-SHOCK HVI:适合高速冲击/碰撞的模拟分析系统。

PAM-MEDYSA 2G:复杂机械系统的设计优化及性能验证。

SYSPLY:功能强大的复合材料结构设计与分析系统,特别适合于多层材料。

SYSTUS:通用的有限元分析软件,可用于机械分析、电磁分析和热传导分析。

EASi-CRASH DYNA:为 LS-DYNATM 多体及有限元乘员安全性模拟而设的完整且高效的 CAE 环境。

EASi-CRASH RAD:为 RADIOSSTM 多体及有限元乘员安全性模拟而设的完整且高效的 CAE 环境。

EASi-CRASH MAD:为 MADYMATM 多体及有限元乘员安全性模拟而设的完整且高效的 CAE 环境。

EASi-FOLDER:首个不依赖于求解器的气囊折叠软件,用以完成安全性模拟中复杂的气囊折叠模型。

EASi-SEAL:交互式、综合性的设计验证环境,可以快速地评价多重密封系统及闭合设计。

EASi-PROCESS:一项建立汽车及航天工程 CAE 进程并使之自动化、标准化的先进技术。

EASi-BASIC NASTRAN:十分完整的 NASTRAN 模拟环境,是一项对大型系统模型进

行管理及装配的企业性技术。

2. 振动噪声(Vibro-Acoustics)

RAYON:低频噪声预测、分析及设计。

AutoSEA2:宽带噪声和振动实时预测、分析及设计。

AutoSEA2 LT:快速而简便的评估宽带噪声及振动。

FOAM-X:泡沫和纤维材料声学特性分析。

NOVA:多层材料的声学特性模拟及其设计。

PAM-VA One:全频谱噪声分析的集成模拟环境。

3. 优化工具(Optimizing the Virtual World)

PAM-OPT:优化软件包,取代昂贵而耗时的传统的反复试验逼近方法。

GEOMESH:几何分析、修补、重建,以及自动划分表面网格和体网格的工具软件。

CFD-VisCART:笛卡儿自适应网格生成系统,应用于CFD-ACE+和CFD-FASTRAN的流体求解器,非常适合极度复杂的几何形状,比如汽车的引擎罩下和飞行器的整体结构。

Visual Environment:开放性的协同工程应用环境,为碰撞模拟用户提供高效的工作界面。

4. 虚拟制造(Virtual Manufacturing)

PAM-STAMP 2G:迄今为止,世界上唯一整合了所有钣金成形过程的有限元冲压模拟求解方案。从模具设计的可行性、快速模面生成与修改,到冲压过程的模拟与优化设计,都整合到了新一代的PAM-STMP 2G当中。

PAM-TUBE 2G:冲压模拟解决方案产品链中的新产品,为弯管和液压成形过程模拟分析而精心设计。

PAM-FORM:塑料、非金属与复合材料热成形模拟系统。

PAM-RTM:树脂转移成形模拟分析系统。

PROCAST:铸造模拟软件,采用基于有限元(FEM)的数值计算和综合求解的方法,对铸件充型、凝固和冷却过程中的流场、温度场、应力场、电磁场进行模拟分析。

PAM-QUIKCAST:快速铸造模拟软件,采用基于有限差分法(FDM)的数值计算方法,操作简单、方便,可应用于砂模铸造、金属模铸造、高/低压铸造等多种铸造过程。

CALCOSOFT:快速有效的连续铸造过程模拟分析系统。

SYSWELD:世界上最著名的热处理、焊接模拟和焊接装配软件,能对三维热、机械、金相组织等进行准确模拟,包括热处理向导、焊接模拟向导和装配模拟向导。

PAM-ASSEMBLY:完整集成的焊接装配模拟解决方案。

PAM-TFA:作为达索系统CAA V5的金牌合作伙伴,ESI集团集成到CATIA V5环境下的第一个应用程序。

5. 虚拟环境(Virtual Environment)

PAM-FLOW:新一代精确的空气动力分析软件,适用范围从涡轮机到汽车阻力系数。

PAM-CEM:先进的三维电磁干扰模拟软件。

CRIPTE:电磁线缆干涉模拟的唯一工具,由NOERA的工程师开发,现在由ESI集团负

责销售,目前已经广泛应用在汽车、飞机和地铁等领域。

SYSMAGNA:低频领域的电磁模拟软件。

CFD-ACE+:非常先进的 CFD 和多物理场模拟软件,能够耦合模拟流体、热、化学、生物、电、机械等现象。目前 CFD-ACE+已经被全世界的 400 多家客户用来实现各种不同的用途,它们几乎涵盖了所有的工业领域。

CFD-CADalyzer:允许快速连续或并行的 CFD 模拟,从而评估多个设计变量和设计方案的性能,向设计者提供高精度支持。CFD-CADalyzer 可以直接在 CAD 模型上运行,避免了因不同几何文件格式之间的转换所带来的各种缺陷。

CFD-FASTRAN:是空气动力学和气体热力学领域处于领先地位的商业化 CFD 软件包,针对航空航天工业开发,采用最新的多重移动体技术来模拟航空航天问题,包括导弹的发射、操纵和级分离,飞行器的飞行动力学和存储舱分离。

CFD-TOPO:预测显微镜级别下半导体材料的传输、化学、蚀刻和沉积,能够预测电子设备的多种材料在热或等离子增强处理过程中的三维拓扑演变。

6. 生物力学(Virtual Human)

BIOMECHANICS 适合不同领域的人体数字模型,可用于人体运动分析和舒适性分析,也可用于医学研究。

1.2 PAM-CRASH 概述

1.2.1 概述

PAM-CRASH 是基于显式有限元算法的计算机三维碰撞冲击仿真模拟系统,是一个应用于汽车、航空、电子和材料生产等专业领域有关冲击、碰撞和安全性虚拟测试等问题解决的实用工具,能够对大位移、大旋转、大应变、接触碰撞等问题进行十分精确的模拟,能够简便地处理异常复杂的边界约束。PAM-CRASH 主要有以下显著特点:

支持多 CPU 并行计算(DMP 和 SMP),运算效率高;

三维图形显示属性灵活控制,色彩多样逼真;

灵活控制计算的时间步长;

动态分配内存,无须用户设置;

自动消除初始穿透;

灵活搜寻接触区间;

针对大变形材料可采用特有的 Adaptive Mesh, Frozen Matric, Non-linear Contact Stiffness 等措施来保证求解的稳定性和精确性;

可设定材料的断裂失效条件;

简便地定义焊点、铆钉等约束及其断裂条件;

可设置阻尼以加快求解弹性接触时的收敛;

针对汽车碰撞而特设指标整形、输出、比较模块。

1.2.2 应用领域

PAM-CRASH 以其强大的功能、精确的模拟计算结果,被广大的世界知名用户所选用,在其产品的设计开发过程中创造了巨大的价值,发挥了无可取代的作用,受到一致好评。图 1.1~图 1.10 显示了 PAM-CRASH 在部分行业的应用情况,所有图形均为真实的有限元模型。

(1)汽车行业,如图 1.1~图 1.4 所示。

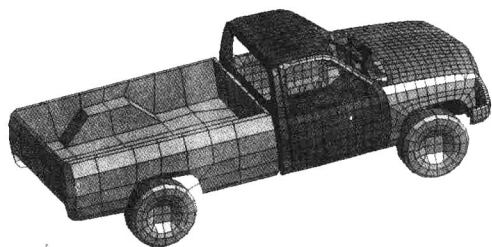


图 1.1 汽车有限元模型

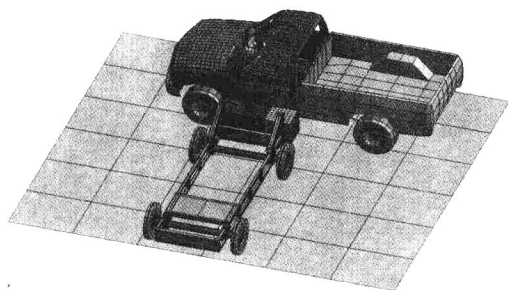


图 1.2 汽车斜撞击模拟



图 1.3 交通事故模拟

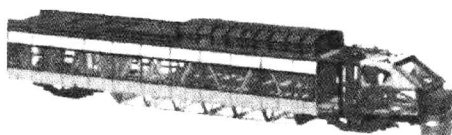


图 1.4 卡车碰撞模拟

(2)铁路机车行业,如图 1.5 所示。

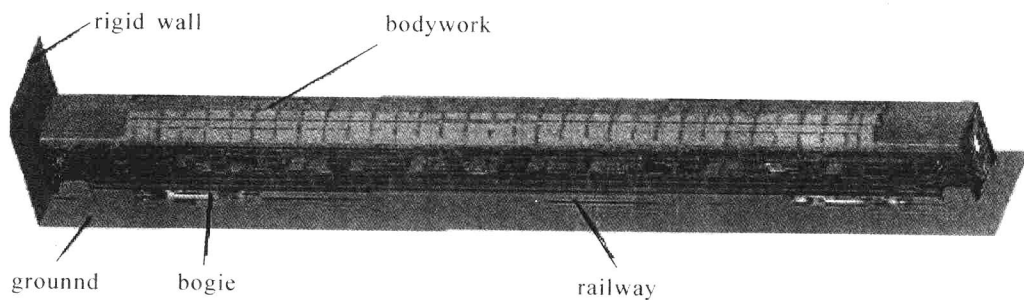


图 1.5 铁路机车与刚性墙碰撞模拟

(3) 船舶行业, 如图 1.6、图 1.7 所示。

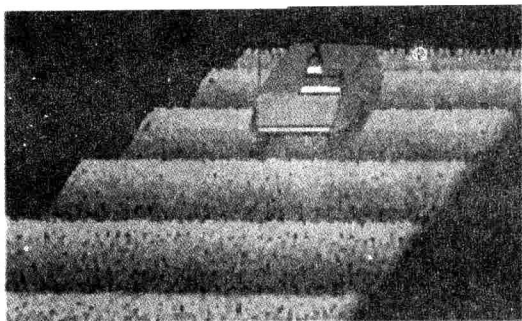


图 1.6 船舶水中航行模拟

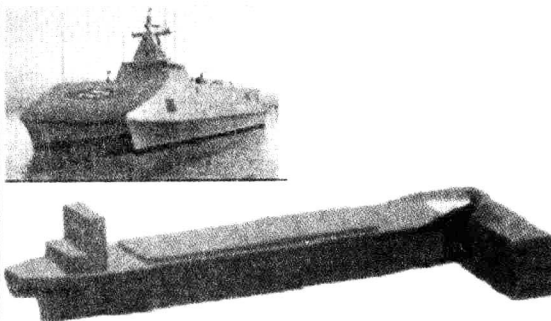


图 1.7 潜艇碰撞模拟

(4) 航空航天, 如图 1.8~图 1.10 所示。

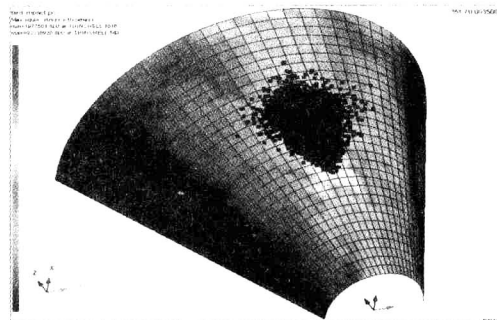
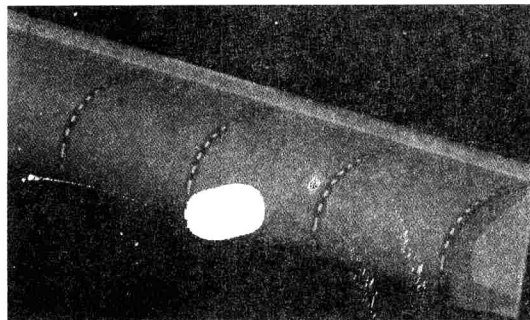


图 1.8 鸟撞机翼及风挡模拟

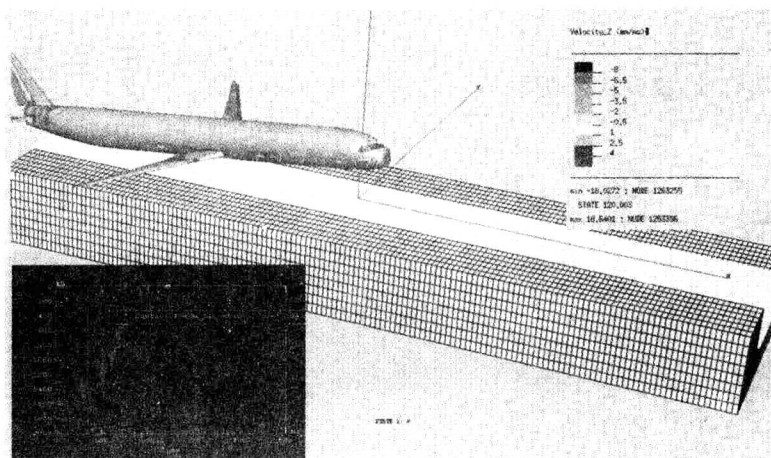


图 1.9 飞机迫降模拟

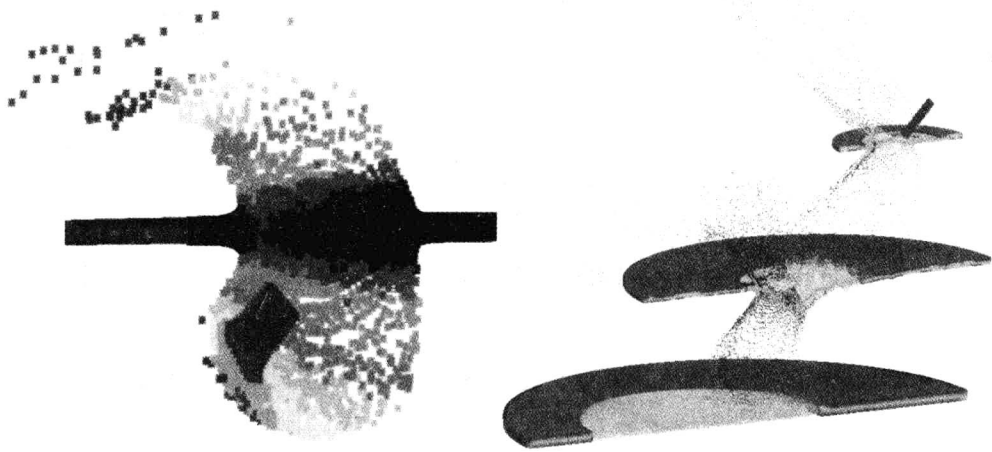


图 1.10 超高速空间撞击模拟

1.2.3 用户界面

PAM-CRASH 本身由前处理模块、求解器、后处理模块组成。按钮方便快捷,菜单分类明晰,使人机交互式的操作简便易行,并且支持命令行操作、自定义宏操作,使高级用户能够发挥自如,实现操作的自动化,图 1.11 显示了在 Visual-Mesh 中进行汽车碰撞模拟的前处理操作界面。

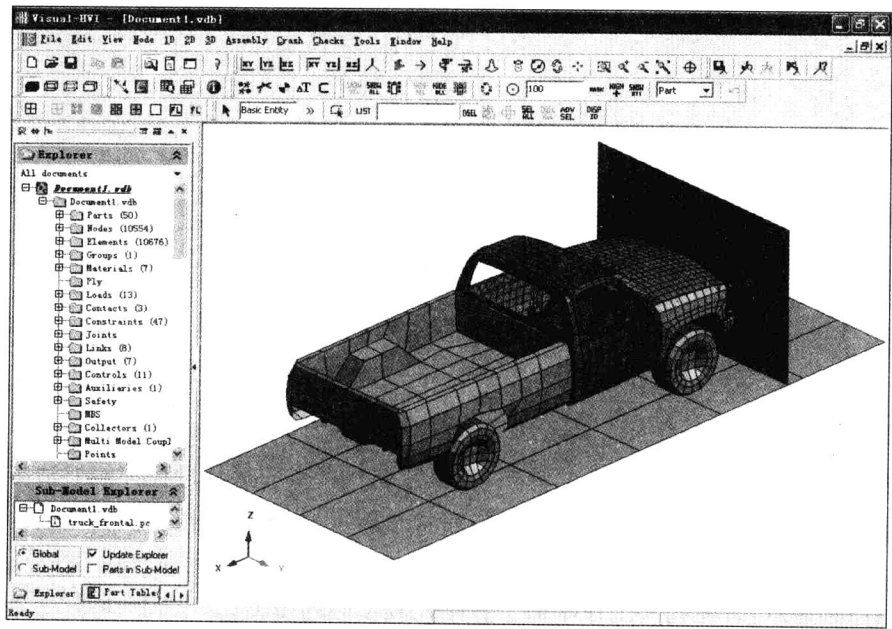


图 1.11 Visual-HVI 前处理操作界面

通过鼠标与功能键的结合使用可轻易完成选取以及平移、平面旋转、三维旋转、动态缩放、窗口缩放、局部隐藏、更改旋转中心等图形操作。

PAM-CRASH 随时可以监控求解进度,了解当前计算状态下的时间步长、剩余时间、接触系统的能量状态等关键参数,避免因设置失误造成漫长却又无效的求解过程。另外,求解过程中会实时输出事件描述文件,公布错误信息和可能的原因,并提供可行的处理建议。

在求解进行的同时,就可以利用后处理模块观察分析刚刚计算的部分结果,无须待整个求解过程完毕之后才进行,这样将使用户能够及时、直观地判断前处理质量,并尽早作出相应的决定。

后处理模块是可视化仿真的一个重要组成部分,用以查看计算结果,对参数曲线、图形等进行操作,如图 1.12 所示。

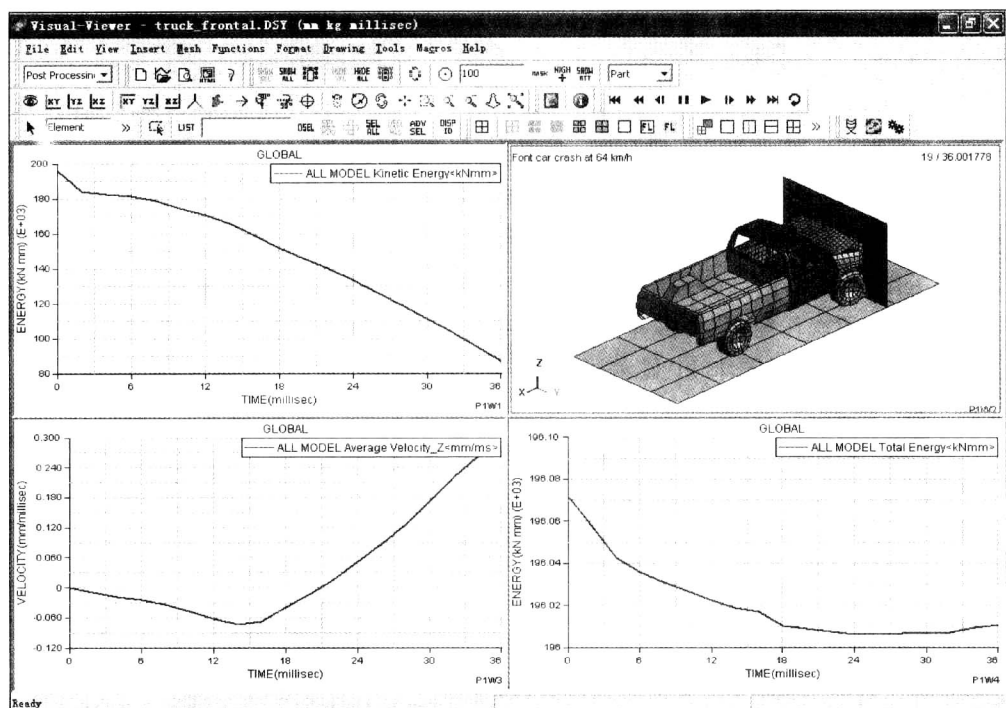


图 1.12 Visual-Viewer 后处理操作界面

后处理模块具有以下主要特点:

动画演示,可定义参考状态,任意选择播放区间,多状态同时显示;

运动轨迹显示,可输出选定节点的轨迹,使得任何观察点的运动过程都能够清晰显现;

任意截取剖面和多剖面比较,多个特征剖面状态显示,为改进结构提供更全面的资料;

多窗口同步/异步显示,可对每个窗口分别进行操作;

多模型同时显示,可在同一工作平面上直接比较不同的模型;

输出 AVI 动画文件,输出区域灵活选择,并可对图形进行三维注释;

可打开 AVI 等格式的试验录像文件,并使之与模拟结果进行同步显示比较。

PAM-CRASH 与其他常用的 CAD/CAE 软件有着非常良好的接口,可以直接读取来自以下软件的模型文件: Ideas/Caeds, Patran, Nastran, Mef/Mosaic, Styler(Strim), Ansys, Dyna, ELFINI。

此外, HyperMESH, FEMAP 等软件也为 PAM-CRASH 设计了专门的输出接口,这样能够避免企业的重复投资,并且使设计人员能够得心应手地使用 PAM 系列软件开展新的工作。

CAE 软件的使用是个系统工程,好的工具应该能够轻易地嵌入到已有的和将来构造的设计流程之中。ESI 集团还有三维网格划分软件 GeoMESH/DeltaMESH, SYSMESH, 三维冲压模拟分析软件 PAM-Stamp/ OPTRIS, 三维模具自动分析设计软件 PAM-DieMaker, 三维铸造模拟分析软件 PAM-Cast, 三维金属焊接及热传导模拟分析软件 SYSWELD, 高速冲击模拟分析软件 PAM-Shock, 结构分析软件 SYSTUS……上述模块有着良好的兼容性,从几何实体的网格划分到最后的整车碰撞模拟实验,每个模块既能独立工作,又可将生成的数据完整地向下一模块传递,使现代化设计生产企业有能力构筑一条虚拟制造的流程,从而大大缩短新产品的开发周期,改善设计精度,提高设计成功率,节约大量的人力、物力、财力开销,如图 1.13 所示。

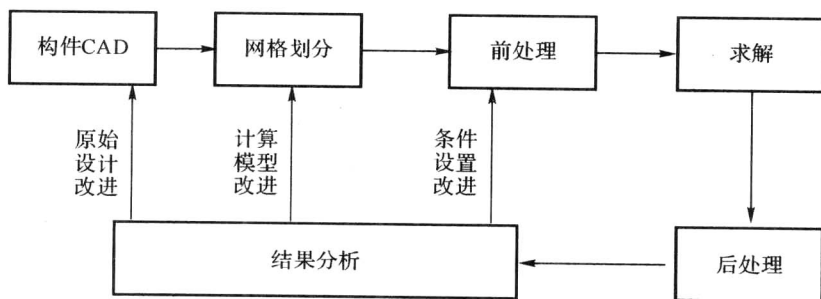


图 1.13 构件设计流程

使用 CAD 软件绘制立体图形,然后利用网格生成器或网格划分软件把实体图形离散化,但由于 CAD 图形的复杂性,离散化后所获得的有限元网格模型难免有些缺陷,这样会影响到模拟计算,而且有些缺陷可能是致命的。因此,PAM-CRASH 可对导入的模型进行以下元素几何质量的检查:无体积或负体积,长宽比,角度,翘曲,法向,初始渗透……对于有问题的元素可以将其删掉或者进行一些修改,例如修改、合并节点,重建元素等。在 PAM-CRASH 中可以建立的元素类型有壳(shell)、膜(membrane)、弹簧(spring)、铰链(joint)、杆(bar)、梁(beam)、体(solid)。

时间步长的检查也是建模阶段很重要的一项工作,使用户对计算的时间进程有一个初步概念,便于采取一些时间步长的控制措施。时间步长检查结果以云图的形式显示,用户可根据时间步长的分布情况决定是否采取措施或采取哪种措施,从而提高计算时间的可行性。

为满足碰撞研究中障碍体形式多样的要求,PAM-CRASH 中有多种刚性墙体类型供选择:平面、立方体、球面、圆柱、自定义型面。刚性墙体的质量、大小、运动速度及其方向、接触摩擦因数等性质可任意设定,用户可以灵活运用这些刚性墙体进行各种形式的碰撞模拟。

接触形式多样,除了常规的面/面接触、点/面接触、边/边接触,还有焊接/铆接(Tied Interface)和智能自接触,如图 1.14 所示。焊接/铆接的定义独立于网格节点之外,轻松实现零件之间的约束设置,与零件网格的修改互不干涉。而智能自接触则可实现接触搜索处理的自动化,无须用户进行烦琐的判断设置,简化了建模。

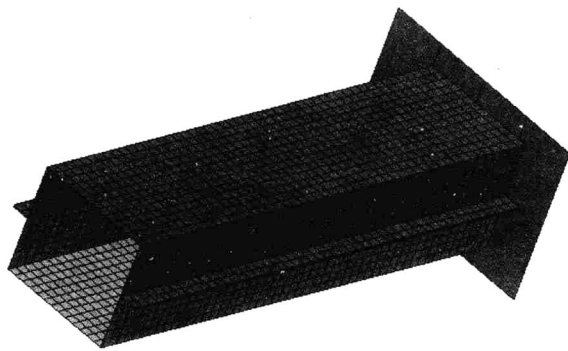


图 1.14 多种连接有限元模型

刚性体在建模中有着广泛的应用,可将一对节点(通常用于简化铆接关系)、整个实体(替代变形小的刚性部件)设为刚性体,以合理简化模型,减少建模工作量,缩短求解时间。同时,根据实际需要还可通过传感器任意转换刚体与非刚体。传感器类型多样,灵活设定数字传感器,用时间、接触力、加速度、相对位移等物理参数以及逻辑参数来控制某一项设置,可实现动态复杂的模拟控制。

关于广泛应用于各部件连接的焊点和铆钉等在 PAM-CRASH 中可轻松定义,并且能设定其断裂条件,真实反映客观进程。

参数的输出灵活多样,输出对象可以是节点、元素以及整个模拟对象,输出参数有位移、旋转角度、速度、角速度、加速度、角加速度、接触力、应力、应变、材料厚度、温度、能量密度等,默认输出状态下它们都是时间的函数,用户也可以根据需求自定义函数关系输出。

对于输出的曲线可以同步显示多条曲线,即在一个曲线框中显示,这些曲线可以由同一个模型或不同模型输出的,大大方便了各曲线的相互比较及其操作(移位、改变比例、镜像等),曲线的颜色、宽度、线性注释等属性可以任意修改。软件中配备有多种整形滤波器(SAE, FIR100, ...),可以选择合适的型号进行滤波处理,滤掉碰撞中混入的各种噪声,使输出的曲线更加直观有效,另外,用户也可根据需要自定义滤波器属性。

除此之外,多参数控制云图显示清晰直观,速度、位移、厚度、应力、应变等各种指标通过渐变色彩清晰地表现在三维图形上,可设定所观察量的阈值,过滤掉不关心的数值范围,各部位的数值、各数值范围所在部位一目了然。

1.2.4 材料模型

材料模型的准确与否,是仿真模拟的关键要素之一,PAM-CRASH 提供了金属、塑料、复合材料等众多常用的材料模型,如表 1-1 所示。