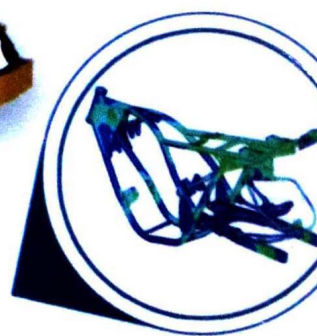
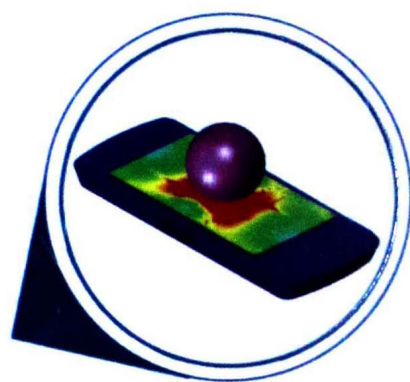


HyperWorks进阶教程系列

RADIOSS

理论基础与 工程应用

欧贺国 方献军 洪清泉 等编著



附赠超值  光盘

- 全书练习实例模型文件+视频讲解
- Altair中国HyperWorks技术大会论文集



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

HyperWorks 进阶教程系列

RADIOSS 理论基础与工程应用

欧贺国 方献军 洪清泉 等编著



机械工业出版社

本书主要介绍了 RADIOSS 的理论方法、基础练习、使用技巧和工程应用。

本书的主要内容包括 RADIOSS 有限元求解器介绍、线性静力分析、非线性静力分析、线性屈曲分析、RADIOSS 惯性释放分析、模态分析、频率响应分析、瞬态响应分析、响应谱分析和随机振动分析、热-热力耦合分析、疲劳分析、NVH 分析、RADIOSS Block 概述、显式非线性基本理论、常用单元类型、材料与失效模型、运动约束、接触、气囊模型、SPH 和 ALE 求解流固耦合问题、RADIOSS Block 隐式分析。

本书中实例所涉及的模型文件和结果文件，读者可在随书附赠的光盘中找到。

本书由 Altair 中国公司技术团队编写，是 Altair 中国公司推荐的 HyperWorks 软件培训用书，适合机械、汽车、航空航天、船舶、军工、重型装备、电子及家电等相关行业工程技术人员的自学或参考，也可作为理工院校相关专业师生学习或者教学用书。

图书在版编目（CIP）数据

RADIOSS 理论基础与工程应用 / 欧贺国，方献军，洪清泉编著. —北京：机械工业出版社，2013.3

HyperWorks 进阶教程系列

ISBN 978-7-111-41577-0

I. ①R… II. ①欧… ②方… ③洪… III. ①有限元分析—应用软件—教材 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 033774 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：丁 诚 张淑谦

责任编辑：张淑谦

责任印制：邓 博

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2013 年 3 月·第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·33.5 印张·822 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-41577-0

ISBN 978-7-89433-829-7（光盘）

定价：99.00 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

序 一

Altair 公司于 1985 年从工程咨询起家，在 1989 年发布了 HyperMesh 软件，并很快在汽车业得到广泛认同，从此激发了 Altair 在软件上投入的热情。1994 年，Altair 推出了 OptiStruct 模块，当年即获得《工业周刊》(Industry Week) 年度技术奖。随后的几年，Altair 通过收购和开发，扩展了一系列模块，并于 1999 年整合成 HyperWorks 软件包。在 2006 年收购 RADIOSS 软件后，Altair 终于在结构仿真和优化方面形成了完整的产品系列。

2012 是 Altair 进入中国的第 11 个年头，在这 11 年中，在 Altair 中国同仁的不懈努力下，Altair 中国业务有了长足的发展，HyperWorks 用户群也逐渐壮大。为此，2007 年开始，我们每年举办 HyperWorks 技术大会 (HTC) 暨 Altair 用户年会。在会上，不仅有大会主题发言，还有大量的用户论文交流。2007 年，上海的第一届 HTC 大会就收到了 70 多篇论文，大部分是关于 HyperMesh 的应用。2008 年，在北京的第二届 HTC 大会上开始有一些制造仿真技术 (HyperXtrude/HyperForm) 方面的论文。2009~2010 年，在上海的第三、四届 HTC 大会上论文数都超过了 120 篇，内容涵盖的行业更广，应用的模块更多，涌现了大量的有限元求解、多体动力学仿真 (MotionSolve)、优化设计及二次开发的成功案例。

Altair 早些年的成功基本上得益于好的产品以及技术人员的口口相传。Altair 的业务模式也为 HyperWorks 的普及提供了强有力的支持，使得高端 CAE 的进入门槛大大降低。随着业务的飞速发展，要求使用 HyperWorks 的技术人员也越来越多，大家迫切希望有一些更好的教程，能帮助他们更快地上手、更系统地学习、更深入地应用。在这样的背景下，我们组织编写了 HyperWorks 进阶教程系列：《HyperMesh & HyperView 应用技巧与高级实例》、《OptiStruct & HyperStudy 理论基础与工程应用》、《RADIOSS 理论基础与工程应用》，以满足广大 CAE 工程师及爱好者的要求，并帮助高校学子更快掌握 HyperWorks 的软件应用。

无论您是新入行，还是已在这一行工作多年，您一定会为 CAE 工具的多样化伤透脑筋。HyperWorks 在高端 CAE 技术上提供了一站式解决方案，不仅使系统精简，同时又可同其他系统共享 CAE 模型，更进一步将目前的主流 CAE 求解器集成在统一的环境上，组成一个高效的产品研发平台，从而将创新、成本、效率有机结合起来，构造最有效的产品创新设计平台解决方案。Altair “以用户的成功衡量我们的业绩” 的服务理念、不断创新的技术和业务模式、全球工程咨询经验的导入，会助您更上一层楼！

戚国焕
Altair 大中华区总经理

序 二

RADIOSS 是碰撞数值仿真领域成熟的有限元软件之一。在 20 世纪 70 年代，碰撞仿真仅使用梁和非线性铰单元进行，难以预测结构的实际行为。在 20 世纪 80 年代，板壳单元和接触算法被引入到管结构的碰撞预测中来。动态非线性守恒方程可以通过隐式或显式数值方法进行时间积分，因为难以解决高度非线性接触下的收敛问题，隐式方法不能处理后屈曲问题。显式时间积分和减缩积分壳单元的使用，以及超级矢量计算机（CRAY）的出现，促成了工业界第一次碰撞仿真的进行。在此背景下，针对向量计算机进行优化，并使用向量编程的有限元软件 RADIOSS 诞生了。

工业界第一个汽车碰撞模型仅有 6,000 单元，因此其精度不高，结构的吸能情况被高估。今天碰撞模型的规模大致是第一个汽车碰撞模型的 1000 倍，使用的基本方法是相同的，当然也有很多改进和增强。例如，接触搜索的八叉树算法代替桶排序算法，壳单元使用一个积分点与非对称模式的解析集成，恒定积分时间步长技术的开发，新的材料本构模型。同时，还有很多新的建模技术被开发出来，如焊点模型、风窗玻璃、发动机悬置、气囊展开……，汽车的每个零部件都形成了它们自身的最佳建模技术。

今天，RADIOSS 已经不仅仅是碰撞仿真软件，它能够求解应用力学领域许多的非线性问题，如高速冲击、准静态非线性问题、制造过程（如冲压）、流固耦合等。对于结构碰撞仿真，RADIOSS 包含高效而精确的壳单元公式、接触算法、考虑材料与几何非线性的拉格朗日类型材料模型。RADIOSS 还有任意拉格朗日欧拉（ALE）格式、准静态非线性隐式积分格式、广泛的单元公式和百余种材料模型用于模拟延性和脆性材料、复合材料、流体和泡沫等，同时 RADIOSS 还提供了大量高级的材料失效模型。

RADIOSS 求解器现在已经完全集成到 HyperWorks 软件里，从而能够更有效地进行前后处理，更方便与优化迭代或敏感性分析进行集成，并与行业应用进行了深度集成。目前 RADIOSS 的开发集中在新的计算平台构架的可扩展性以及算法的精确性和稳健性。大量的工业应用实践证明 RADIOSS 是一个有效的设计预测工具。

Francis Arnaudeau

Altair CTO 兼 RADIOSS 开发团队管理总监

前言

技术支持和服务是 Altair 公司的核心竞争力之一。从 2001 年开始 Altair 公司就建立了技术团队，为客户提供快速而全面的软件售前、售后技术支持，把 Altair 全球产品创新技术和工程咨询经验带给中国市场。过去十年，正是 CAE 技术引领国内广大制造业企业进行产品创新设计，提升产品竞争力的十年。Altair 中国恰逢其时，以其企业级 CAE 驱动创新平台 HyperWorks 助力中国制造业自主创新，共同成长。Altair 公司见证了许多国内汽车 OEM 厂家的 CAE 队伍从几人到几十人、上百人的发展历程；参与了 HyperWorks 在国内航空航天、电子、船舶、轨道交通、重型机械、军工等行业众多型号和产品上的成功应用；与各企业、科研院所、高校的 CAE 工程师和学生相互学习，共同为提高中国 CAE 技术应用水平而努力。

十年弹指一挥间，Altair HyperWorks 软件已从 V5.0 发展到 V11.0，中国技术团队也已发展到 50 多人。Altair 公司在为客户服务的过程中，积累了大量的软件技巧和工程经验，同时也发现许多工程师和学生苦于目前市场上关于 HyperWorks 的中文书籍很少，只能通过一些有限的渠道进行学习和交流，因此深感同广大 HyperWorks 使用者和爱好者分享技术和经验的重要性。

2011 年 6 月，Altair HyperWorks V11.0 正式发布，包含众多的新技术和新功能，为广大用户带来了超值的 CAE 技术体验。在 Altair 大中华区总经理戚国焕先生的支持下，Altair 公司决定以 V11.0 为基础，编写 HyperWorks 11.0 进阶教程系列丛书。本书介绍了 RADIOSS 求解器的基本理论方法及工程案例。

本书的主要内容包括 RADIOSS 有限元求解器介绍、线性静力分析、非线性静力分析、线性屈曲分析、RADIOSS 惯性释放分析、模态分析、频率响应分析、瞬态响应分析、响应谱分析和随机振动分析、热-热力耦合分析 RADIOSS 疲劳分析、NVH 分析、RADIOSS Block 概述、显式非线性基本理论、常用单元类型、材料与失效模型、运动约束、接触、气囊模型、SPH 和 ALE 求解流固耦合问题、RADIOSS Block 隐式分析。

本书主要由欧贺国、方献军和洪清泉编写。参与编写的还有 Altair 中国公司技术团队成员耿永宁、徐自立、张宁、袁山和武永甫。

由于编者水平有限，书中错误及不足之处在所难免，敬请广大读者不吝指正，也欢迎大家共同探讨，可发邮件至 info@altair.com.cn 进行联系。

Altair 中国技术团队

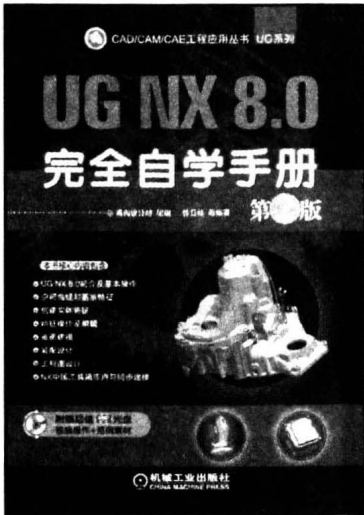
CAD/CAM/CAE 工程应用丛书

打造 CAD 图书领域的“中国制造”

丛书特色

- **历久弥新**：为响应国家“两化融合”的号召，机工社历经十年倾力打造本系列丛书，丛书每年重印率达 90%、改版率达 50%，已成为国内 CAD 图书领域的最经典套系之一。
- **专业实用**：丛书内容涉及机械设计、有限元分析、制造技术应用、流场分析、建筑施工图、室内装潢图、水暖电布线图和建筑总图等，可以快速有效地帮助读者解决实际工程问题。
- **品种丰富**：本丛书目前动销品种近 200 种，产品包含了 CAX 领域全部主流应用软件和应用领域，包括 AutoCAD，UG，Pro/E，MATLAB，SolidWorks，HyperWorks，ANSYS，Mastercam，Inventor 等。
- **经典畅销**：经典畅销书层出不穷，累计销售过万册的品种达数十种。像《AutoCAD 室内装潢设计》、《UG NX 7.5 完全自学手册》、《Pro/ENGINEER Wildfire5.0 从入门到精通》、《ANSYS 结构分析工程应用实例解析》等书整体销量已过 3 万册。
- **配套资源丰富**：几乎每本书都提供配有书中实例素材、操作视频、PPT 课件等资源，方便读者的理解和学习，以达到事半功倍的效果。
- **金牌作者云集**：拥有一大批行业专家和畅销书作者，如唐湘民、韩风起、钟日铭、江洪、张朝晖和张忠将等。

丛书介绍



书名：UG NX 8.0完全自学手册 第2版
书号：978-7-111-38414-4
作者：钟日铭 等
定价：75.00元

★本书以UG NX 8.0中文版为软件操作基础，结合典型范例循序渐进地介绍NX 8.0中文版的软件功能和实战应用知识。本书知识全面、实用，共分9章，内容包括UG NX 8.0入门简介及基本操作、草图、空间曲线与基准特征、创建实体特征、特征操作及编辑、曲面建模、装配设计、工程图设计、UG NX中国工具箱应用与同步建模。



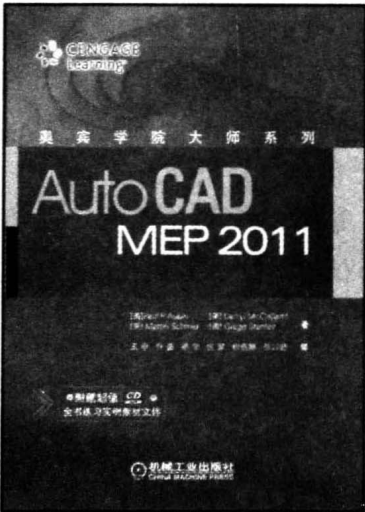
书名: SolidWorks 2011机械设计完全实例教程
书号: 978-7-111-36514-3
作者: 张忠将 等
定价: 62.00元

★本书紧密结合实际应用，以众多精彩的机械设计实例为引导，详细介绍了SolidWorks从模型创建到出工程图，再到模型分析和仿真等的操作过程。本书实例涵盖典型机械零件、输送机械、制动机械、农用机械、紧固和夹具、传动机构和弹簧 / 控制装置等的设计。



书名: HyperMesh&HyperView应用技巧与高级实例
书号: 978-7-111-39535-5
作者: 王钰栋 等
定价: 99.00元

★本书分两部分，前一部分主要介绍HyperMesh有限元前处理软件，包括HyperMesh的基础知识、几何清理、2D网格划分、3D网格划分、1D单元创建、航空应用和主流求解器接口介绍，还包括关于HyperMesh的用户二次开发功能。后一部分主要介绍HyperView、HyperGraph等有限元后处理软件，包括用HyperView查看结果云图、变形图、结果数据、创建截面、创建测量点、报告模板等，用HyperGraph建立数据曲线、曲线的数据处理和三维曲线曲面的创建、处理等。



书名: 奥宾学院大师系列: AutoCAD MEP 2011
书号: 978-7-111-39432-7
作者: [美]Paul F. Aubin 等著; 王申 等译
定价: 129.00元

★本书是目前国内针对 AutoCAD®MEP 软件介绍、应用举例的权威用书，深入浅出地阐述了 AutoCAD®MEP 2011 的各项功能，对 AutoCAD MEP 软件的工作方法、基本原理和操作步骤进行了详细的介绍，并通过项目样例系统地介绍了如何使用该软件进行水、暖、电设计，更简明扼要地展示了如何进行各专业之间的协同。本书还特别介绍了如何创建各种类型的内容构件，字里行间的提示和小技巧亦是本书亮点之一，这些知识点均由本书作者通过积累多年的实战经验总结而成，为广大读者的实践旅程提供了捷径。

目 录

序一
序二
前言

第 1 章 RADIOSS 有限元求解器介绍 1

1.1	HyperWorks 软件的优点	2	1.3.4	单元介绍	7
1.2	RADIOSS 简介	2	1.3.5	材料介绍	8
1.3	RADIOSS Bulk Data 输入文件		1.3.6	有限元分析的结果	9
	概述	4	1.4	RADIOSS Bulk Data 分析流程及	
				运行选项	10
1.3.1	RADIOSS Bulk Data 输入		1.4.1	RADIOSS Bulk Data 分析流程 ...	10
	文件简介	4	1.4.2	RADIOSS 运行选项 (Block 和	
1.3.2	I/O 选项和 SUBCASE 段			Bulk Data)	10
	使用指南	5	1.5	本章小结	14
1.3.3	输入/输出文件类型介绍	7			

第 2 章 线性静力分析 16

2.1	静力分析基本理论及软件分析		2.2.3	HyperBeam 的使用	41
	流程	17	2.2.4	接触分析	47
2.1.1	静力分析基本理论	17	2.3	相关知识	56
2.1.2	以 HyperMesh 为前处理的软件		2.3.1	剪切中心的定义及计算方法	56
	分析流程	17	2.3.2	在 HyperMesh 中为 RADIOSS Bulk	
2.2	线性静力分析实例	18		Data 施加载荷	57
2.2.1	带孔方板的线性静态分析	18	2.4	本章小结	61
2.2.2	自由体载荷提取技术 (FBD) ...	26			

第 3 章 非线性静力分析 63

3.1	非线性静力分析基本理论	64	3.1.1	非线性准静态 GAP 和接触	
-----	-------------------	----	-------	----------------	--

分析介绍	64
3.1.2 非线性求解方法	64
3.1.3 增量加载	65
3.1.4 非线性收敛性判别准则	65
3.1.5 非线性问题设置	66
3.1.6 非线性收敛注意事项	67
3.1.7 非线性分析工况定义示例	69
3.1.8 用户注意事项	71

3.1.9 几何线性分析和几何非线性 分析的区别	72
3.1.10 隐式分析和显式分析的区别 ...	73
3.2 非线性分析实例	76
3.2.1 弯板的非线性隐式分析	76
3.2.2 接触及弹塑性分析	82
3.3 本章小结	89

第 4 章 线性屈曲分析..... 90

4.1 线性屈曲分析基本理论	91
4.2 线性屈曲分析实例	92
4.2.1 细长杆的三维屈曲分析	92
4.2.2 机翼模型的三维屈曲分析	97

4.2.3 预载荷的屈曲分析	102
4.3 壳单元与实体单元连接方法 介绍	103
4.4 本章小结	108

第 5 章 RADIOSS 惯性释放分析 109

5.1 惯性释放分析简介	110
5.2 惯性释放分析实例	111
5.3 RBE2 和 RBE3 介绍	116

5.3.1 RBE2 单元	116
5.3.2 RBE3 单元	117
5.4 本章小结	120

第 6 章 模态分析 121

6.1 模态分析基本理论	122
6.1.1 实特征值分析	122
6.1.2 复特征值分析	122
6.2 模态分析实例	123
6.2.1 支架的模态分析	123
6.2.2 白车身模态分析	126

6.2.3 简化的制动系统的复特征值 分析	128
6.3 相关卡片	131
6.4 有限元分析中的单位制	135
6.5 模态加速技术	136
6.6 本章小结	137

第 7 章 频率响应分析..... 138

7.1 频率响应分析基本理论	139
-----------------------------	------------

7.2 RADIOSS 频率响应分析

流程	142	7.3.3 轮毂的频率响应分析	153
7.3 分析实例	144	7.3.4 加速度激励的频率响应分析	160
7.3.1 平板的直接频率响应分析	144	7.4 相关卡片	164
7.3.2 平板的模态频率响应分析	151	7.5 本章小结	168

第 8 章 瞬态响应分析..... 169

8.1 瞬态响应分析基本理论	170	8.2.2 支架的模态法瞬态动力学分析 ...	177
8.2 瞬态响应分析实例	172	8.3 相关卡片	182
8.2.1 支架的直接瞬态动力学分析	172	8.4 本章小结	183

第 9 章 响应谱分析和随机振动分析 184

9.1 响应谱分析基本理论	185	9.3.1 响应谱分析实例	189
9.2 随机响应分析（随机振动）基本理论	187	9.3.2 随机响应分析实例（一）	194
9.3 分析实例	189	9.3.3 随机响应分析实例（二）	197
		9.4 本章小结	201

第 10 章 热-热力耦合分析..... 202

10.1 热-热力耦合分析基本理论	203	10.2.1 热应力分析实例	204
10.1.1 稳态热传导分析	203	10.2.2 稳态热传导分析实例	208
10.1.2 热力耦合分析和优化	204	10.2.3 热-结构耦合分析实例	214
10.2 分析实例	204	10.3 本章小结	220

第 11 章 疲劳分析 221

11.1 应力-寿命疲劳分析基本理论	222	11.1.5 创建疲劳分析	224
11.1.1 S-N 曲线	222	11.1.6 压缩载荷时间历程	225
11.1.2 等效名义应力	222	11.1.7 疲劳载荷事件和序列	226
11.1.3 平均应力效应	223	11.2 疲劳（应力-寿命）方法分析实例	226
11.1.4 其他影响疲劳的因素	223	11.3 本章小结	236

第 12 章 NVH 分析 237

12.1	汽车声腔网格划分	238	12.3	本章小结	252
12.2	声固耦合 NVH 分析	247			

第 13 章 RADIOSS Block 概述 253

13.1	RADIOSS Block 历史沿革	254	13.4	RADIOSS 输入文件	258
13.2	RADIOSS 功能	254	13.5	前处理器 HyperCrash	
13.3	RADIOSS Block 文件格式			介绍	259
	系统	255	13.6	本章小结	260

第 14 章 显式非线性基本理论 261

14.1	非线性动力学基本理论	262		控制介绍	266
14.1.1	有限元控制方程的显式积分		14.3.2	RADIOSS Block 时间步长控制	
	算法	262		卡片	267
14.1.2	非线性动力学有限元		14.4	RADIOSS Block 时间步长控制	
	求解流程	264		实例	268
14.2	中心差分算法的稳定条件	265	14.4.1	实例教程——板材拉伸试验	
14.3	RADIOSS Block 时间步长			模拟	268
	控制	266	14.4.2	不同时间步长控制的对比	274
14.3.1	RADIOSS Block 时间步长		14.5	本章小结	275

第 15 章 常用单元类型 276

15.1	1D 单元	277	15.4	RADIOSS Block 单元公式应用	
15.1.1	杆单元 (Truss)	277		实例	301
15.1.2	梁单元 (Beam)	278	15.4.1	实例教程—圆管碰撞模拟	301
15.1.3	弹簧单元 (Spring)	281	15.4.2	实例教程—齿轮对啮合冲击	
15.2	2D 单元	294		仿真	305
15.3	3D 单元	297	15.4.3	实例教程—手机跌落模拟	316
15.3.1	体单元 (Solid)	297	15.5	本章小结	324
15.3.2	厚板壳单元 (Solid-Shell)	300			

第 16 章 材料与失效模型 325

16.1	RADIOSS Block 材料模型及其 选用	326	16.4.5	/FAIL/WIERZBICKI	345
16.2	常用材料模型	329	16.4.6	/FAIL/CHANG	346
16.2.1	LAW2	329	16.5	工程结构常用材料的建模	348
16.2.2	LAW27	332	16.5.1	金属及其合金	348
16.2.3	LAW36	332	16.5.2	玻璃	352
16.2.4	LAW65	335	16.5.3	泡沫、橡胶、弹性体	352
16.2.5	LAW68	336	16.5.4	复合材料	353
16.2.6	LAW70	337	16.6	RADIOSS Block 材料与失效模型 应用实例	354
16.2.7	LAW82	339	16.6.1	实例教程——橡胶衬套组合负载 变形分析	354
16.3	RADIOSS Block 失效模型 概述	340	16.6.2	实例教程——泡沫块钢球冲击 模拟	361
16.4	常用失效模型	341	16.6.3	实例教程——复合材料梁三点 弯曲分析	372
16.4.1	/FAIL/FLD	341	16.7	本章小结	397
16.4.2	/FAIL/TENSSTRAIN	342			
16.4.3	/FAIL/JOHNSON	343			
16.4.4	/FAIL/TBUTCHER	344			

第 17 章 运动约束 398

17.1	刚体 (/RBODY)	399		跌落试验模拟	402
17.2	刚性墙 (/RWALL)	400	17.4	本章小结	410
17.3	实例教程——带包装材料电视机				

第 18 章 接触 411

18.1	基本概念	412	18.3.2	非对称接触 (Interface Type 5)	416
18.2	绑定接触 (Interface Type 2)	414	18.3.3	使用 Interface Type 3 和 5 的 注意事项	417
18.3	对称和非对称接触 (Interface Type 3 和 5)	415	18.4	刚体接触 (Interface Type 6)	419
18.3.1	对称接触 (Interface Type 3) ...	415			

18.5	通用接触	
	(Interface Type 7)	419
18.5.1	Gap	420
18.5.2	初始穿透	421
18.5.3	接触刚度	423
18.5.4	摩擦	424
18.5.5	时间步长控制	426
18.5.6	质量增加	427

18.5.7	软碰硬	428
18.5.8	边—边接触锁死	428
18.5.9	切向力	429
18.5.10	自动接触的 Gap 警告信息	430
18.5.11	单元删除	430
18.6	边—边接触	
	(Interface Type 11)	431
18.7	本章小结	431

第 19 章 气囊模型 432

19.1	监测体积	
	(Monitored Volume)	433
19.2	经典均压气囊模型	
	(AIRBAG Type)	434
19.2.1	数值阻尼	435
19.2.2	初始条件	435
19.2.3	气体定义	435
19.2.4	泄气孔定义	436
19.2.5	泄漏	437
19.2.6	其他定义形式	437
19.3	均压多腔室流动气囊模型	

	(Type COMMU)	438
19.4	有限体积法气囊模型	
	(FVM Type FVMBAG)	440
19.4.1	基本定义	440
19.4.2	有限体积元的产生与管理	441
19.5	参考度量与气囊折叠	442
19.6	实例教程——使用 HyperCrash	
	进行气囊折叠	443
19.7	实例教程——气囊展开仿真 ...	452
19.8	本章小结	461

第 20 章 SPH 和 ALE 求解流固耦合问题 463

20.1	SPH 基础	464
20.2	ALE 基础	466
	公式的选择	467
20.3	SPH 和 ALE 应用实例	470
20.3.1	实例教程——应用 SPH 方法进行	

	机翼鸟撞分析	470
20.3.2	实例教程——应用 ALE 方法进行	
	船舶入水仿真	479
20.3.3	实例教程——水下爆炸仿真 ...	487
20.4	本章小结	495

第 21 章 RADIOSS Block 隐式分析 496

21.1	RADIOSS Block 隐式功能	
	介绍	497
21.1.1	单元公式	497

21.1.2	材料兼容性	498
21.1.3	运动学条件	498
21.1.4	接触	498

21.1.5	载荷	498	21.5	非线性分析	501
21.2	激活隐式分析	498	21.6	RADIOSS Block 隐式分析	
21.2.1	线性分析	499		Engine 文件示例	502
21.2.2	非线性分析	499	21.7	实例教程——搭接接头隐式非线性	
21.3	隐式求解器	500		分析实例	504
21.4	准静态分析	500	21.8	本章小结	517

第 1 章

RADIOSS 有限元求解器介绍



本章前半部分主要介绍有限元求解器 RADIOSS 的功能和架构，后半部分主要介绍 RADIOSS Bulk Data 输入文件的格式、常用关键字卡片、作业提交方法和运行选项等。从 12.0 版本开始，RADIOSS Bulk Data 将改回原来名称 OptoStruct。

本章重点知识

- 1.1 Hyper Works 软件的优点
- 1.2 RADIOSS 简介
- 1.3 RADIOSS Bulk Data 输入文件概述
- 1.4 RADIOSS Bulk Data 分析流程及运行选项
- 1.5 本章小结

1.1 HyperWorks 软件的优点

Altair 公司的 HyperWorks 系列软件是企业级 CAE 解决方案。Altair 公司始终遵循开放的理念，在其平台基础上坚持为客户提供最为广泛的 CAD 和 CAE 软件接口。HyperWorks 具有如下优点。

1. 良好的交互性

- (1) 广泛的 CAD/CAE/CFD 软件接口。
- (2) 高质量的“几何-网格”相互转换技术。
- (3) 直接集成 Microsoft Office 应用程序。

2. 高性价比的求解器技术

- (1) RADIOSS 求解器技术全面，涵盖各类分析范畴。
- (2) 多体动力学仿真技术轻松应对刚柔耦合问题。

3. 功能强大的建模和可视化技术

- (1) 自动化的几何清理和网格划分功能，确保较高的建模效率。
- (2) 强大的交互功能帮助用户提升模型质量，确保仿真精度。
- (3) 强大的图形驱动，轻松驾驭超大模型。
- (4) 丰富的后处理功能和生动直观的后处理效果。

4. 行业领先的优化创新技术

- (1) 被广泛应用于工程实际的结构和多学科优化技术。
- (2) 丰富的设计案例库可供参考，提升行业创新能力。

5. 强大而可靠的流程和数据管理技术

- (1) 成熟的架构，易于快速部署和实施。
- (2) 开放的架构，易于与其他系统或应用程序集成。
- (3) 利用 PBS 技术实现数据和计算资源的整体管理。

1.2 RADIOSS 简介

RADIOSS 是 HyperWorks 系列软件中的结构求解器。RADIOSS 求解器在显式非线性分析领域拥有悠久的历史。在融合最新开发的线性和隐式非线性求解功能后，它又创造了新的价值。使用该求解器可帮助提升产品的刚度、强度、耐用性、NVH 特性、碰撞安全性能和可制造性等，可以降低物理实验的成本，提升整体研发的效率和质量。RADIOSS 融合了线性与非线性结构有限元求解技术、多体动力学仿真技术和流固耦合仿真技术。RADIOSS 求解器的突出优势如下。

1. 可靠

在多 CPU 和不同操作系统环境下确保仿真结果的一致性。