



计算机辅助分析 (CAE) 系列
JISUANJIFUZHUFENXI(CAE)XILIE

UG NX 9.0

动力学与有限元分析 从入门到精通

全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述

循序渐进的分析讲解
实用典型的实例引导

随书配送 DVD 光盘。包含全书所有实例的源文件素材，并制作了全部实例的制作过程动画 AVI 文件和效果图演示。可以帮助读者更加形象直观、轻松自在地学习本书。



三维书屋工作室

胡仁喜 刘昌丽 等编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



UG NX 9.0 动力学与有限元分析 从入门到精通

胡仁喜 刘昌丽 等编著

机械工业出版社

本书主要针对 UG NX 9.0 的强大分析功能而编写,通过大量丰富的实例全面讲解 UG NX 9.0 在动力学分析和有限元分析领域的应用和功能。全书共分为两篇,第 1 篇为动力学分析篇,主要介绍 UG NX 9.0 动力学分析的一些基础知识和操作实例,包括运动仿真基础,连杆、质量及材料,运动副,传动副,约束,力的创建,连接器,仿真结果输出,机构检查,XY 函数编辑器,动力学分析综合实例。第 2 篇为有限元分析篇,主要介绍 UG NX 9.0 有限元分析的一些基础知识和操作实例,包括模型分析准备,建立有限元模型,有限元模型的编辑,分析和查看结果,球摆分析综合实例。

本书适合于高等院校工科相关专业本科高年级学生和研究生作为计算机辅助分析应用辅助教材,也可以作为科研技术人员研究辅助参考资料。

为了方便读者的学习,本书配备了一张多媒体随书光盘,包含了全书所有实例操作的源文件和结果文件,以及全部实例操作过程录音讲解录屏 AVI 文件,可以帮助读者更加形象直观地学习本书。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 9.0 动力学与有限元分析从入门到精通/胡仁喜等编著.
—2 版.—北京:机械工业出版社,2014.10
ISBN 978-7-111-47792-1

I. ①U… II. ①胡… III. ①动力学分析—计算机辅助设计—应用软件②有限元分析—计算机辅助设计—应用软件
IV. ①0241.82-39②0655.9-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 199189 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:曲彩云 责任印制:刘 岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2014 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24.25 印张·601 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-47792-1

ISBN 978-7-89405-517-0 (光盘)

定价:66.00 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

Unigraphics Solutions 公司（简称 UGS）是全球著名的 MCAD 供应商，主要为汽车与交通、航空航天、日用消费品、通用机械及电子工业等领域通过其虚拟产品开发（VPD）的理念提供多级化的、集成的、企业级的包括软件产品与服务在内的完整的 MCAD 解决方案。其主要的 CAD 产品是 UG。

UG 每次的最新版本都代表了当时制造技术的发展前沿，很多现代设计方法和理念都能较快地在新版本中反映出来。这一次发布的最新版本——UG NX 9.0 在很多方面都进行了改进和升级，例如并行工程中的几何关联设计、参数化设计等。

UG 软件是一个集成化的 CAD/CAE/CAM 系统软件，它为工程设计人员提供了非常强大的应用工具，这些工具可以对产品进行设计（包括零件设计和装配设计）、工程分析（有限元分析和运动机构分析）、绘制工程图、编制数控加工程序等。

近年来，随着 UG 软件在中国市场的日益普及，人们对 UG 软件的强大功能逐步产生深入认识，UG 软件也在各行各业，尤其是工业领域得到了广泛的应用。为了满足广大读者学习了解 UG 软件功能的需要，在目前的图书市场上，各大出版机构推出了大量的 UG 学习图书，但在这些图书中，几乎没有一本是专门针对 UG 的 CAE 分析功能展开讲解的。基于人们对 UG 软件 CAE 功能学习的迫切需要与相关学习资料短缺的矛盾考量，我们组织各大科研院所相关领域的专家和学者编写了本书。他们具有深厚的理论基础和丰富的软件应用经验，将自身的经验和智慧溶入字里行间。希望本书的推出能为广大读者带来裨益。

本书主要针对 UG NX9.0 的强大分析功能而编写，通过大量丰富的实例全面讲解 UG NX9.0 在动力学分析和有限元分析领域的应用和功能。全书共分为两篇，第 1 篇为动力学分析篇，主要介绍 UG NX9.0 动力学分析的一些基础知识和操作实例，包括运动仿真基础，连杆、质量及材料，运动副，传动副，约束，力的创建，连接器，仿真结果输出，机构检查，XY 函数编辑器，动力学分析综合实例等知识。第 2 篇为有限元分析篇，主要介绍 UG NX9.0 有限元分析的一些基础知识和操作实例，包括模型分析准备，建立有限元模型，有限元模型的编辑，分析和查看结果，球摆分析综合实例等知识。

本书适合于高等院校工科相关专业本科高年级学生和研究生作为计算机辅助分析应用自学教材，也可以作为科研技术人员的研究辅助参考资料。

为了方便读者的学习，本书随书配备了一张多媒体光盘，包含了全书所有实例操作的源文件和结果文件，以及全部实例操作过程的录音讲解和录屏 AVI 文件，可以帮助读者更加形象直观地学习本书。

本书由三维书屋工作室总策划，胡仁喜和刘昌丽主要编写。王佩楷、董伟、周冰、张俊生、王兵学、王渊峰、李瑞、王玮、王敏、王义发、王玉秋、王培合、袁涛、闫聪聪、张日晶、路纯红、康士廷、李鹏、周广芬、王艳池、卢园、万金环、杨雪静、甘勤涛、孟培等参加了部分章节的编写工作。

由于时间仓促，编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，希望广大读者登录网站 www.sjzswsw.com 或发邮件（win760520@126.com）提出宝贵的批评意见。

编 者

目 录

前言

第1篇 动力学分析篇

第1章 运动仿真基础	2
1.1 运动分析概述	3
1.1.1 什么是运动分析	3
1.1.2 理论力学	3
1.1.3 运动仿真的实现	4
1.1.4 Gruebler	5
1.2 运动分析的进入和执行	6
1.2.1 进入仿真模块	6
1.2.2 执行运动分析	7
1.3 运动仿真选项	9
1.3.1 运动仿真界面	9
1.3.2 运动仿真导航器	9
1.3.3 【主页】选项卡	10
1.3.4 【动画】面组	12
1.4 UG NX 9.0 平台	13
1.4.1 操作系统要求	13
1.4.2 硬件要求	13
1.4.3 系统约定	15
1.5 练习题	15
第2章 连杆、质量及材料	16
2.1 连杆的定义	17
2.1.1 创建连杆	17
2.1.2 质量特性	18
2.1.3 定义质量特性	18
2.2 材料	19
2.2.1 调用材料	20
2.2.2 定义材料	21
2.3 练习题	21
第3章 运动副	22
3.1 运动副的定义和类型	23
3.1.1 运动副的定义	23
3.1.2 运动副的类型	23
3.2 创建运动副	25
3.2.1 创建运动副的步骤	25
3.2.2 创建啮合连杆	26

3.2.3	固定副	28
3.2.4	旋转副	28
3.2.5	滑动副	31
3.2.6	柱面副	33
3.2.7	球面副	36
3.2.8	万向节	38
3.2.9	平面副	44
3.2.10	螺旋副	46
3.3	实例——三连杆运动机构	50
3.3.1	创建连杆	50
3.3.2	创建运动副	52
3.3.3	动画分析	55
3.4	实例——冲床模型	56
3.4.1	装配转盘	57
3.4.2	装配冲头	59
3.4.3	创建连杆与运动副	60
3.4.4	动画分析	64
3.4.5	优化模型	65
3.5	实例——台虎钳模型	66
3.5.1	创建连杆和运动副	66
3.5.2	创建台虎钳动画	69
3.6	练习题	70
第 4 章	传动副	71
4.1	创建传动副	72
4.1.1	齿轮副	72
4.1.2	创建齿轮副	72
4.1.3	创建蜗轮蜗杆运动	73
4.1.4	齿轮齿条副	77
4.1.5	创建齿轮齿条副	77
4.1.6	线缆副	78
4.1.7	滑轮模型	79
4.2	实例——二级减速器	83
4.2.1	创建连杆和旋转副	83
4.2.2	创建齿轮副与动画	86
4.3	实例——汽车转向机构	87
4.3.1	创建连杆	87
4.3.2	创建运动副	89
4.3.3	创建齿轮齿条副	91
4.3.4	运动分析	92

4.4	实例——汽车刮水器	94
4.4.1	创建连杆	94
4.4.2	创建运动副	95
4.4.3	创建传动副	99
4.5	练习题	101
第5章	约束	102
5.1	创建约束	103
5.1.1	点在线上副	103
5.1.2	创建点在线上副	103
5.1.3	线在线上副	106
5.1.4	创建线在线上副	106
5.1.5	点在曲面上副	109
5.1.6	创建点在曲面上副	109
5.2	实例——玻璃切割机模型	113
5.2.1	创建连杆和运动副	113
5.2.2	创建约束	116
5.2.3	结果分析	117
5.3	实例——仿形运动机构	118
5.3.1	运动要求及分析思路	118
5.3.2	创建辅助对象	119
5.3.3	创建连杆	121
5.3.4	创建运动副	122
5.3.5	创建约束	125
5.3.6	运动分析	126
5.4	练习题	127
第6章	力的创建	128
6.1	载荷	129
6.1.1	标量力	129
6.1.2	创建标量力	130
6.1.3	矢量力	133
6.1.4	创建矢量力	133
6.1.5	创建标量扭矩	136
6.1.6	矢量扭矩	138
6.1.7	创建矢量扭矩	139
6.2	重力与摩擦力	142
6.2.1	重力	142
6.2.2	摩擦力	142
6.2.3	实例——摩擦力试验	144
6.3	练习题	146

第7章 连接器	147
7.1 弹性连接	148
7.1.1 弹簧	148
7.1.2 弹簧力	148
7.1.3 创建拉伸弹簧	149
7.1.4 创建扭转弹簧	152
7.1.5 弹簧柔性变形动画	154
7.1.6 衬套	157
7.1.7 创建衬套	158
7.2 阻尼连接	162
7.2.1 阻尼	162
7.2.2 创建阻尼	162
7.3 接触单元	165
7.3.1 2D 接触	165
7.3.2 创建 2D 接触	166
7.3.3 3D 接触原理	168
7.3.4 创建 3D 接触	169
7.4 实例——离合器	171
7.4.1 离合器运动分析	171
7.4.2 创建连杆	172
7.4.3 创建运动副	173
7.4.4 创建连接器与力	176
7.4.5 动画分析	178
7.4.6 图表输出	179
7.5 实例——撞击试验	181
7.5.1 创建连杆	181
7.5.2 创建运动副	182
7.5.3 创建力与连接器	183
7.5.4 创建动画	186
7.5.5 修正参数	187
7.5.6 图表输出	189
7.6 练习题	191
第8章 仿真结果输出	192
8.1 动画分析	193
8.1.1 常规驱动	193
8.1.2 铰链运动驱动	194
8.1.3 电子表格驱动	197
8.1.4 静力平衡	198
8.1.5 求解器参数	199

8.2	电子表格	200
8.2.1	电子表格和系统平台	200
8.2.2	创建和编辑电子表格	200
8.2.3	电子表格驱动模型	202
8.3	图表输出	204
8.3.1	UG NX 图表输出	204
8.3.2	电子表格输出	210
8.4	创建照片与视频	211
8.4.1	创建照片	212
8.4.2	创建视频	212
8.5	练习题	213
第 9 章	机构检查	214
9.1	封装选项	215
9.1.1	干涉检查	215
9.1.2	测量	218
9.1.3	追踪	221
9.2	标记功能	224
9.2.1	标记	224
9.2.2	智能点	227
9.2.3	传感器	229
9.3	实例——剪式千斤顶	232
9.3.1	运动要求及分析思路	232
9.3.2	创建连杆	234
9.3.3	创建剪式机构运动副	235
9.3.4	创建螺杆机构运动副	237
9.3.5	干涉检查	241
9.3.6	转速和顶起速度的图表	243
9.3.7	测量最大顶起高度	245
9.4	练习题	248
第 10 章	XY 函数编辑器	249
10.1	运动函数	250
10.1.1	多项式函数	250
10.1.2	简谐运动函数	252
10.1.3	间歇函数	255
10.2	AFU 格式表	259
10.2.1	对话框选项	259
10.2.2	使用随机数字	261
10.2.3	执行波形扫描	264
10.2.4	从栅格数字化	265

10.2.5	从数据（绘图）数字化	268
10.2.6	从文本（电子表格）编辑器键入	269
10.3	实例——料斗运动	272
10.3.1	分析思路	272
10.3.2	定义连杆	273
10.3.3	创建料斗函数	275
10.3.4	创建外壳函数	277
10.3.5	创建辅助连杆函数	279
10.3.6	运动分析	281
10.3.7	干涉检查	284
10.3.8	创建视频	285
10.4	练习题	286
第 11 章	动力学分析综合实例	287
11.1	起重机模型优化	288
11.1.1	定义载荷	288
11.1.2	运动分析	289
11.1.3	编辑主模型尺寸	290
11.1.4	更新主模型	291
11.2	注射模	292
11.2.1	运动要求及分析思路	292
11.2.2	创建连杆	293
11.2.3	动模动作	295
11.2.4	滑块动作	297
11.2.5	顶针板动作	298
11.2.6	顶出杆动作	300
11.2.7	动画分析	302
11.2.8	图表输出	303
11.3	落地扇	305
11.3.1	运动要求及分析思路	305
11.3.2	创建连杆	306
11.3.3	运动副	308
11.3.4	创建传动副	310
11.3.5	动画分析	312
11.4	练习题	313
第 2 篇	有限元分析篇	
第 12 章	有限元分析准备	316
12.1	分析模块的介绍	317
12.2	有限元模型和仿真模型的建立	317
12.3	求解器和分析类型	318

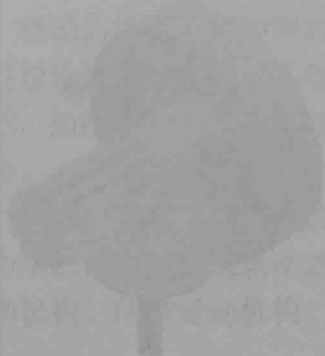
12.3.1	求解器	318
12.3.2	分析类型	319
12.4	模型准备	319
12.4.1	理想化几何体	319
12.4.2	移除几何特征	321
12.4.3	拆分体	321
12.4.4	中面	322
12.4.5	缝合	323
12.4.6	分割面	324
12.5	练习题	325
第 13 章	建立有限元模型	326
13.1	材料属性	327
13.2	添加载荷	330
13.2.1	载荷类型	331
13.2.2	载荷添加矢量	331
13.2.3	载荷添加方案	332
13.3	边界条件的加载	333
13.3.1	边界条件类型	333
13.3.2	约束类型	333
13.4	划分网格	334
13.4.1	网格类型	334
13.4.2	零维网格	335
13.4.3	一维网格	336
13.4.4	二维网格	336
13.4.5	三维四面体网格	338
13.4.6	三维扫描网格	338
13.4.7	接触网格	339
13.4.8	曲面接触网格	341
13.5	创建解法	342
13.5.1	解算方案	342
13.5.2	步骤-子工况	343
13.6	练习题	343
第 14 章	有限元模型的编辑	344
14.1	分析模型的编辑	345
14.1.1	抑制特征	345
14.1.2	释放特征	345
14.1.3	编辑有限元特征参数	345
14.1.4	主模型尺寸编辑	346
14.2	单元操作	347

14.2.1	拆分壳	347
14.2.2	合并三角形单元	347
14.2.3	移动节点	347
14.2.4	删除单元	348
14.2.5	创建单元	348
14.2.6	单元拉伸	349
14.2.7	单元旋转	349
14.2.8	单元复制和平移	350
14.2.9	单元复制和投影	351
14.2.10	单元复制和反射	351
14.3	仿真模型的检查	352
14.3.1	单元形状检查	352
14.3.2	单元轮廓检查	353
14.3.3	节点检查	353
14.3.4	二维单元法向检查	354
14.4	节点/单元信息	354
14.5	仿真信息总结	354
14.6	练习题	355
第 15 章	分析和查看结果	356
15.1	分析	357
15.1.1	求解	357
15.1.2	分析作业监视器	358
15.2	后处理控制	358
15.2.1	后处理视图	358
15.2.2	标识(确定结果)	360
15.2.3	动画	361
15.3	实例——柱塞有限元分析	361
15.3.1	有限元模型的建立	361
15.3.2	求解	365
15.3.3	后处理	365
15.4	练习题	367
第 16 章	球摆分析综合实例	368
16.1	模型的建立	369
16.2	模型装配	370
16.3	运动分析	371
16.4	结构分析	374
16.5	练习题	376

第 1 篇

动力学分析篇

本篇主要介绍 UG NX9.0 动力学分析的一些基础知识和操作实例,包括运动仿真基础,连杆、质量及材料,运动副,传动副,约束,力的创建,连接器,仿真结果输出,机构检查,XY 函数编辑器,动力学分析综合实例等知识。



第1章

运动仿真基础

NX 运动仿真模块 (NX/Motion Simulation) 可以对运动机构进行分析。比如动画分析、干涉检查、图表输出等, 从而验证运动机构设计的合理性, 对运动机构进行优化。

重点与难点

- 了解 NX 运动仿真模块。
- 创建运动仿真、执行运动仿真。
- 认识运动仿真各工具栏、对话框的作用。
- 了解 NX 软件对系统和硬件的要求。



1.1 运动分析概述

运动仿真是 UG NX 9.0 数字仿真中的一个模块, 它能对任何二维或三维机构进行复杂的运动学分析、静力分析, 如图 1-1 所示。

使用运动仿真的功能赋予模型的各个部件一定的运动学特性, 再在各个部件之间设立一定的连接关系既可建立一个运动仿真模型。

1.1.1 什么是运动分析

UG NX 运动仿真模块 (UG NX/Motion Simulation) 用于建立运动机构模型, 分析模型的运动规律。运动仿真模块和主模型是分开保存, 从而可以创建不同的运动仿真, 而对主模型不产生影响。

如果运动仿真优化完成, 可以更新到主模型, 完成优化的设计结果。通过运动仿真能完成以下内容:

- ❑ 创建各种运动副、传动机构、施加载荷等。
- ❑ 进行机构的干涉分析、距离、角度测量等。
- ❑ 追踪部件的运动轨迹。
- ❑ 输出部件的速度、加速度、位移和力等图表。

1.1.2 理论力学

理论力学是研究物体的机械运动及物体间相互机械作用的一般规律的学科。理论力学是一门理论性较强的技术基础课, 随着科学技术的发展, 工程专业中许多课程均以理论力学为基础, 如图 1-2 所示。UG NX 运动仿真模块涉及到的有: 静力学、动力学和运动学中的刚体部分。

刚体动力学是动力学的一个分支学科, 它主要研究作用于刚性物体的力与运动的关系。动力学的研究对象是运动速度远小于光速的宏观物体。如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、差动机构、间歇运动机构、直线运动机构、螺旋机构和方向机构等, 如图 1-3 所示。



图 1-1 机械手

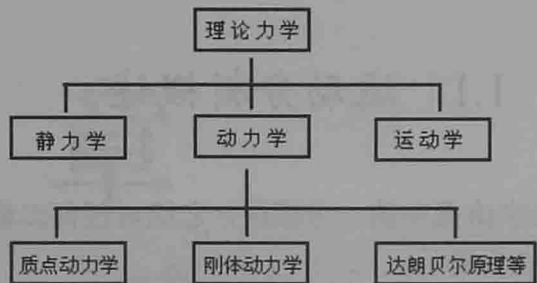


图 1-2 理论力学



图 1-3 典型运动机构

说明：刚体的特点是其质点之间距离的不变性，因此运动机构模型不可能设置变形或受力后变形。

1.1.3 运动仿真的实现

运动仿真部件文件由主模型文件组成，主模型可以是装配文件或单个文件。运动仿真的实现根据模型复杂程度可多可少，如图 1-4 所示。实现运动仿真的 5 个基本步骤如下：

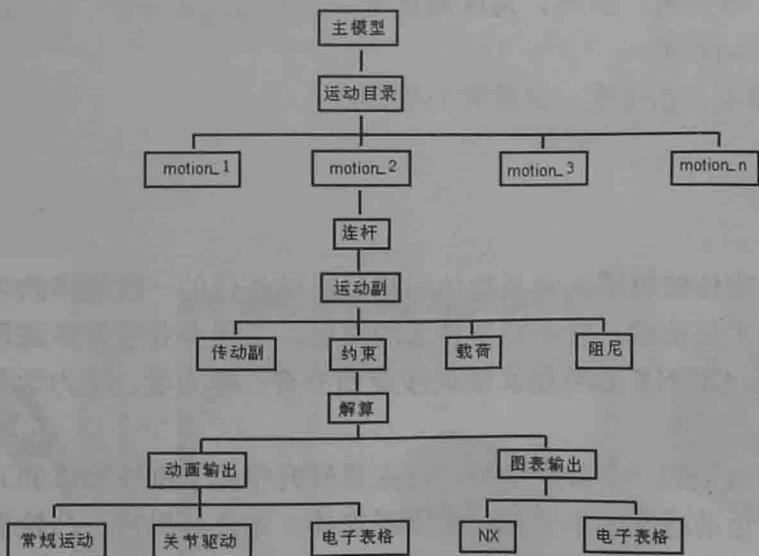


图 1-4 运动仿真结构

- ❑ 建立一个运动仿真文件（motion，后缀为 sim）。
- ❑ 进行运动模型的构建，设置每个零件的连杆特性。
- ❑ 设置两个连杆间的运动副和添加载荷、传动副等。
- ❑ 进行运动参数的设置，提交运动仿真模型数据，解算运动仿真。
- ❑ 运动分析结果的数据输出。

1.1.4 Gruebler

对于单个运动副的自由度（DOF）很容易推算，如果是整个机构的运动自由度用 Gruebler 来表示。Gruebler 是一个近似的值，因为它没有考虑机构中所有的影响因素。解算器主要是考虑运动副的连接、方向确定自由度。当软件确定的自由度和 Gruebler 不一致时，会出现错误信息。

- ❑ 自由度大于零：机构欠约束可以活动，它是动力学分析的对象。
- ❑ 自由度小于零：机构全约束是一般的机构要达到的效果。一般是多个运动副和一个驱动组成。
- ❑ 自由度等于零：机构过约束是机构设计的不妥当，解算会失败。

在运动机构中每增加一个连杆时自由度增加 6 个，创建一个运动副时自由度会减少，并在跟踪条的右方出现 Gruebler 提示 **Joint created - Gruebler count = 18**。Gruebler 的公式如下：

$$\text{Gruebler} = L \times 6 - \sum J - \sum I$$

式中 L 为连杆数目； $\sum J$ 为所有运动副去掉的自由度，常见运动副的自由度见表 1-1； $\sum I$ 为运动驱动数目。

表 1-1 自由度

运动副	Joint	约束
固定副	Fixed	6
旋转副	Revolute	5
滑动副	Slider	5
圆柱副	Cylindrical	4
球面副	Spherical	3
万向节	Universal	4
平面的	Planar	3
螺旋副	Screw	1
齿轮副	Gear Joint	1