




“十三五”江苏省高等学校重点教材

# 机构设计与运动仿真 实践教程

周海 王旭华 © 编著

 中国工信出版集团

 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>



“十三五”江苏省高等学校重点教材

# 机构设计与运动仿真实践教程

周海 王旭华 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本教材以机械原理等课程的机构设计知识为基础,综合运用三维 CAD 技术、运动仿真技术,结合典型工程案例,循序渐进地介绍各类机构设计和分析方法。全书共 9 章,内容包括概述、平面连杆机构数字化设计与仿真、凸轮机构数字化设计与仿真、齿轮机构及轮系数字化设计与仿真、间隙机构数字化设计与仿真、组合机构数字化设计与仿真、万向联轴节与螺旋机构的运动仿真、机构动力学分析、机械运动方案设计综合案例,附录中给出了实验报告与实训报告和练习。

本教材可作为高等院校机械类本专科学生机构设计课程的教材和相关实践环节的指导书,也可作为从事机械产品设计的技术人员和运动仿真爱好者的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

机构设计与运动仿真实践教程 / 周海, 王旭华编著. —北京: 电子工业出版社, 2018.7

ISBN 978-7-121-34639-2

I. ①机… II. ①周… ②王… III. ①机械设计—教材 ②机构运动分析—计算机仿真—教材 IV. ①TH122-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第141235号

策划编辑: 许存权

责任编辑: 许存权 特约编辑: 谢忠玉 等

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 字数: 320千字

版 次: 2018年7月第1版

印 次: 2018年7月第1次印刷

定 价: 49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254484, xucq@phei.com.cn。

Preface

## 前 言

随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计的广泛应用,改变了工程设计人员进行产品设计的方法和手段,人们更多直接通过构建三维模型来进行产品设计与分析。因此,迫切需要将三维 CAD 技术引入机械原理课程中,以适应现代工程的生产实践需求。鉴于此,特编写此书。

本书主要有以下特点。

(1) 将三维 CAD 技术、运动仿真技术与机械原理等课程的理论知识有机地融合为一体,建立了以运动学分析、典型机构设计、动力学分析为主线的教材体系。

(2) 理论与实践一体化,用理论教学中的基本原理和设计方法,进行机构设计与分析,以便学生加深对基础理论的理解,将实践教学与机构数字化设计能力培养有机地融为一体。

(3) 将参数化设计、装配设计等三维 CAD 技术和现代设计思想融入教材,以利于现代工程设计意识和工程素质的养成。

(4) 作为一本实践教程,全书案例丰富,在各章中,以 SIEMENS NX 软件为平台,给出各类典型机构设计与分析的思路和操作步骤,有一定的示范性和指导意义。

本书由周海教授、王旭华副教授负责全书的统稿工作。具体编写分工如下:周海编写第 4、9 章,王旭华编写第 3、5、6 章,严潮红编写第 2、8 章,王平编写第 7 章,



阳程编写第1章。

本教材获江苏省高校品牌专业建设工程项目 (Top-notch Academic Programs Project of Jiangsu Higher Education Institutions) 和国家自然科学基金项目 (项目编号: 51675457) 资助, 在编写过程中, 参考了国内外一些优秀教材, 在此一并致谢。

编者

## 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 NX9.0 运动仿真简介	1
1.1.1 NX9.0 运动仿真主界面	2
1.1.2 运动方案的建立与参数设置	3
1.2 装配建模	5
1.2.1 NX 装配方法	6
1.2.2 WAVE 几何链接器	9
思考题	10
第 2 章 平面连杆机构数字化设计与仿真	11
2.1 平面连杆机构简介	11
2.1.1 平面连杆机构的特点和基本类型	11
2.1.2 平面连杆机构运动设计的基本问题	16
2.2 连杆	16
2.2.1 创建连杆	16



2.2.2	连杆属性	17
2.3	运动副	20
2.3.1	运动副的定义	20
2.3.2	运动副的类型	20
2.3.3	Gruebler 数与自由度	21
2.3.4	旋转副	21
2.3.5	滑动副	23
2.4	运动驱动	24
2.5	仿真解算与结果输出	25
2.5.1	解算	25
2.5.2	动画的播放及输出	26
2.5.3	图表功能	27
2.6	平面连杆机构运动学分析	29
2.6.1	分析要求	29
2.6.2	平面机构数字化模型的建立	29
2.6.3	运动分析方案的建立	30
2.6.4	运动方案分析	31
2.6.5	运动结果分析	36
2.7	砂箱翻转机构的设计及仿真	36
2.7.1	设计要求	36
2.7.2	平面机构数字化设计及模型的建立	37
2.7.3	建立运动方案并分析	38
2.8	牛头刨床机构的设计及仿真	40
2.8.1	设计要求	40
2.8.2	平面机构数字化设计及模型的建立	40
2.8.3	建立运动方案并分析	41
2.9	曲柄滑块机构的设计及仿真	43
2.9.1	设计要求	43
2.9.2	平面机构数字化设计及模型的建立	44
2.9.3	建立运动方案并分析	45
	思考题	46



第3章 凸轮机构数字化设计与仿真	48
3.1 凸轮机构简介	48
3.1.1 凸轮机构的组成	48
3.1.2 凸轮机构的分类	48
3.1.3 从动件常用运动规律	51
3.2 凸轮机构数字化设计	52
3.2.1 凸轮机构设计的主要问题	52
3.2.2 凸轮机构的计算机辅助设计	52
3.2.3 参数化曲线	53
3.3 凸轮机构运动副定义	55
3.3.1 点在线上副	55
3.3.2 线在线上副	56
3.4 对心直动滚子从动件凸轮机构设计	58
3.4.1 凸轮机构主要结构参数及运动规律的确定	58
3.4.2 建立凸轮机构的运动简图	58
3.4.3 建立凸轮机构的装配模型	61
3.4.4 直动盘形凸轮机构的运动仿真	62
3.4.5 输出运动曲线	63
3.5 绕线机凸轮机构建模与仿真	64
3.5.1 凸轮机构主要结构参数及运动规律的确定	65
3.5.2 建立凸轮的轮廓曲线	65
3.5.3 凸轮机构装配模型的建立	67
3.5.4 凸轮机构的运动仿真	67
3.5.5 输出运动曲线	68
3.6 自动送料凸轮机构的建模与仿真	70
3.6.1 凸轮机构主要结构参数及运动规律的确定	70
3.6.2 圆柱凸轮数字化模型的建立	71
3.6.3 圆柱凸轮机构装配模型的建立	73
3.6.4 圆柱凸轮机构的运动仿真	73
3.6.5 输出运动曲线	75
思考题	76





第4章 齿轮机构及轮系数字化设计与仿真	77
4.1 齿轮机构概述	77
4.1.1 齿轮机构的类型	77
4.1.2 齿轮机构的特点	79
4.2 轮系概述	79
4.2.1 轮系的类型	79
4.2.2 轮系的特点	81
4.3 齿轮机构运动副定义	81
4.3.1 齿轮副	81
4.3.2 齿轮/齿条副	83
4.4 直齿锥齿轮机构设计	83
4.4.1 参数计算	83
4.4.2 建立直齿锥齿轮机构数字化模型	84
4.4.3 运动仿真	85
4.5 2K-H型行星轮系设计	87
4.5.1 行星轮系的设计	87
4.5.2 建立2K-H型行星轮系数字化模型	87
4.5.3 行星轮系的运动仿真	89
4.6 3K型行星轮系设计	90
4.6.1 参数计算	90
4.6.2 建立3K型行星轮系装配模型	93
4.6.3 3K型行星轮系运动仿真	94
思考题	95
第5章 间隙机构数字化设计与仿真	96
5.1 间隙机构简介	96
5.1.1 棘轮机构	96
5.1.2 槽轮机构	98
5.1.3 凸轮式间歇运动机构	100
5.1.4 不完全齿轮机构	100
5.1.5 间歇运动机构设计的基本问题	101
5.2 棘轮机构建模与仿真	101



5.2.1	棘轮机构主要结构参数的确定	102
5.2.2	建立棘轮机构的装配模型	102
5.2.3	棘轮机构运动仿真	104
5.3	槽轮机构的设计与仿真	105
5.3.1	槽轮机构主要结构参数的确定	105
5.3.2	绘制槽轮机构草图	106
5.3.3	槽轮机构装配模型的建立	108
5.3.4	槽轮机构的运动仿真	108
5.4	不完全齿轮机构的设计	110
5.4.1	主要结构参数的确定	110
5.4.2	不完全齿轮机构装配模型的建立	111
5.4.3	不完全齿轮机构的运动仿真	113
	思考题	114
<b>第 6 章</b>	<b>组合机构数字化设计与仿真</b>	<b>115</b>
6.1	组合机构简介	115
6.1.1	机构的组合方式	115
6.1.2	组合机构的类型和功能	117
6.2	运动函数	118
6.2.1	step 函数	118
6.2.2	余弦函数——简谐运动	119
6.3	封装选项	120
6.4	凸轮-连杆组合机构的设计与仿真	121
6.4.1	设计依据	121
6.4.2	建立凸轮-连杆组合机构的运动简图	121
6.4.3	心脏线凸轮-连杆组合机构的运动仿真	123
6.5	齿轮-连杆组合机构的设计	124
6.5.1	单排内啮合式行星轮系-连杆组合机构装配模型的建立	124
6.5.2	单排内啮合式行星轮系-连杆组合机构的运动仿真	125
6.6	凸轮-齿轮组合机构的设计	127
6.6.1	设计依据	127
6.6.2	固定凸轮周转轮系装配模型的建立	128
6.6.3	建立凸轮-齿轮组合机构的装配模型	129



6.6.4 凸轮-齿轮组合机构运动仿真	129
思考题	130
<b>第7章 万向联轴节与螺旋机构的运动仿真</b>	<b>131</b>
7.1 简介	131
7.1.1 万向联轴节简介	131
7.1.2 螺旋机构简介	132
7.2 运动副定义	133
7.2.1 万向节副	133
7.2.2 螺旋副	133
7.2.3 柱面副	134
7.3 双万向联轴节的建模与仿真	134
7.3.1 建立双万向联轴节的装配模型	134
7.3.2 建立双万向联轴节的运动学仿真	136
7.4 手动夹爪机构的建模与仿真	138
7.4.1 手动夹爪机构运动简图	138
7.4.2 建立手动夹爪机构的装配模型	138
7.4.3 手动夹爪机构的运动仿真	139
思考题	141
<b>第8章 机构动力学分析</b>	<b>142</b>
8.1 载荷	142
8.1.1 标量力	143
8.1.2 矢量力	145
8.1.3 标量扭矩	147
8.1.4 矢量扭矩	148
8.2 重力与摩擦力	149
8.2.1 重力	150
8.2.2 摩擦力	151
8.3 NX 动力学仿真案例	154
思考题	156
<b>第9章 机械运动方案设计综合案例</b>	<b>157</b>
9.1 机械运动方案设计过程	157



9.2 车床四方刀架体铣夹具设计 .....	158
9.2.1 设计依据 .....	158
9.2.2 运动方案设计 .....	159
9.2.3 结构方案设计 .....	160
9.2.4 结构设计 .....	160
9.2.5 运动仿真和干涉检查 .....	161
思考题 .....	162
<b>附录 实验报告与实训报告 .....</b>	<b>164</b>
附录 A 《理论力学》实验报告 .....	164
附录 B 《机构与零部件设计》实验报告 .....	170
B1 凸轮机构数字化设计与仿真实验报告 .....	170
B2 牛头刨床主体机构设计与虚拟仿真实验报告 .....	174
B3 行星轮系的数字化设计与仿真实验报告 .....	177
附录 C 运动分析与动画设计实践 .....	180
<b>参考文献 .....</b>	<b>186</b>

# 第 1 章

## 概 述

机构是机械产品的核心，机械化主要依靠各种机构实现。本书主要介绍在 NX 环境下，综合运用运动仿真相关功能以及装配建模等三维 CAD 技术进行典型机构的数字化设计与分析。

### 1.1 NX9.0 运动仿真简介

NX 运动仿真能对任何二维或三维机构进行复杂的运动学分析、动力分析和设计仿真。通过 NX 的建模功能建立一个机构或产品的数字化模型，利用 NX 的运动仿真功能给数字化模型的各个部件赋予一定的运动学特性，再在各个部件之间设立一定的连接关系，即可建立一个运动仿真模型。NX 的运动仿真功能可以对运动机构进行大量的装配分析工作、运动合理性分析工作，诸如干涉检查、轨迹包络等，得到大量的机构运动参数。通过对运动仿真模型进行运动学或动力学运动分析，可以验证运动机构设计的合理性，并且可以利用图形输出各个部件的位移、坐标、速度、加速度和力的变化情况，从而对运动机构进行优化。



运动仿真功能的实现步骤为：①建立或打开机构模型，进入运动仿真环境，构建一个运动分析方案；②进行运动方案的构建，包括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机构载荷；③进行运动参数的设置，提交运动仿真模型数据，同时进行运动仿真动画的输出和运动过程的控制；④运动分析结果的数据输出和表格、变化曲线输出，人为地进行机构运动特性的分析。

### 1.1.1 NX9.0 运动仿真主界面

在进行运动仿真之前，先打开 NX9.0 运动仿真的主界面。选择 NX 主界面中的【文件】|【运动仿真】，随后弹出提示框，单击“是”按钮，如图 1-1 所示。

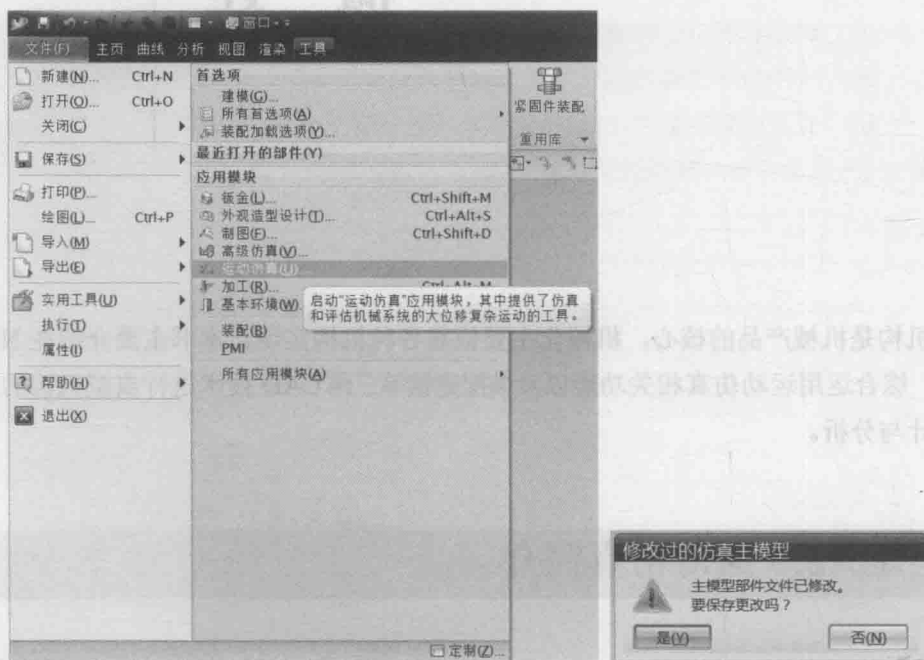


图 1-1 执行运动仿真命令

选择该菜单命令后，系统将自动打开运动仿真的主界面，同时弹出运动仿真工具栏。

该界面分为三个部分：运动仿真工具栏、运动导航器窗口和绘图区。运动仿真工具栏部分主要是运动仿真各项功能的快捷按钮，运动导航器窗口部分主要是显示当前操作下处于工作状态的各个运动场景的信息。运动仿真工具栏区又分为 7 个模块：设置、传动副、连接器、约束、加载、控制及分析，如图 1-2 所示。



运动导航器窗口显示了文件名称,运动场景的名称、类型、状态、环境参数的设置以及运动模型参数的设置,如图 1-2 所示。运动场景是 NX 运动仿真的框架和入口,它是整个运动模型的载体,储存了运动模型的所有信息。同一个三维实体模型通过设置不同的运动场景可以建立不同的运动模型,从而实现不同的运动过程,得到不同的运动参数。

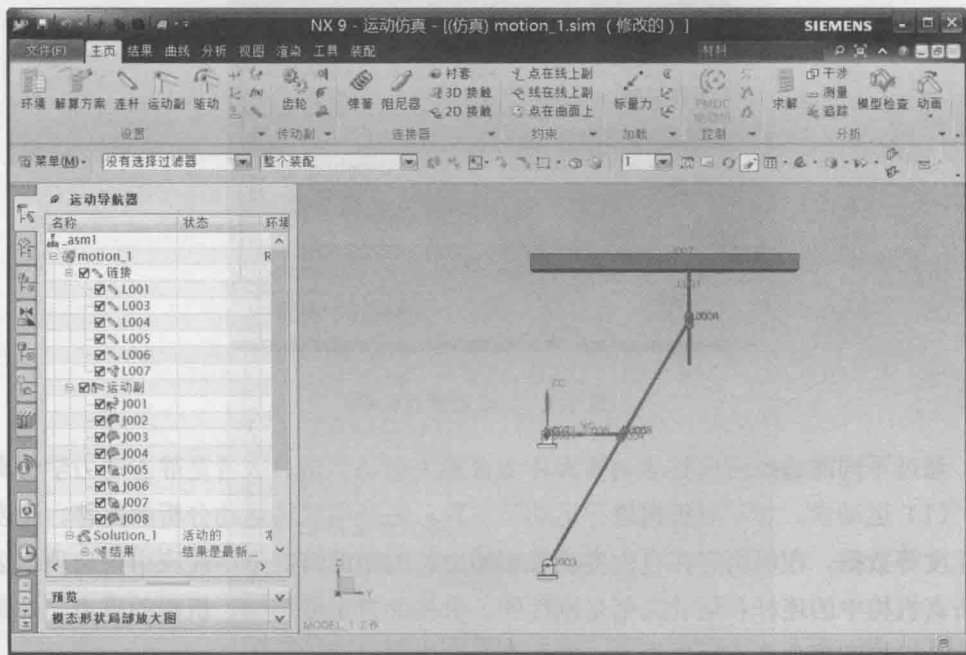


图 1-2 运动仿真主界面

## 1.1.2 运动方案的建立与参数设置

### 1. 运动方案的建立

在 NX 中打开要进行运动仿真的装配文件,在主界面中选择【文件】|【运动仿真】,进入运动仿真模块。

进入运动仿真模块后,需要建立新的仿真方案才能激活运动仿真功能。在资源工具条上选择“运动导航器”,其中的树状结构显示运动仿真操作导航与顺序步骤。右击其中的装配主模型名称,选择“新建仿真”,弹出“环境”对话框,如图 1-3 所示。

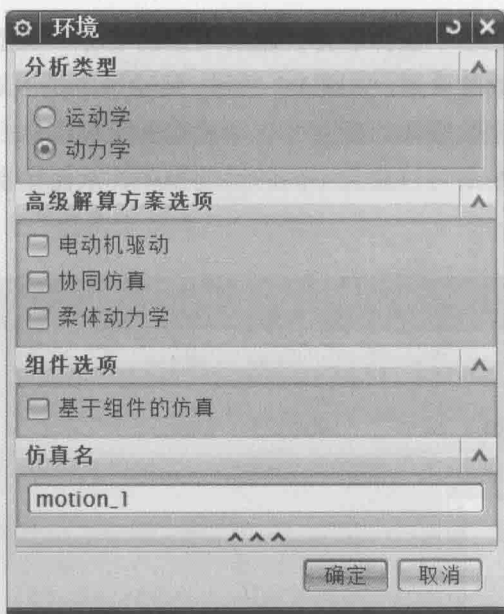


图 1-3 环境设置对话框

通过不同的选择可以将运动仿真环境设置为运动学仿真或者是静态动力学仿真。

(1) 运动学。表示对机构进行运动学仿真，可获得机构运动分析的位移、速度、加速度等数据。在机构存在自由度或者初始力、力矩的情况下不能应用该选项。运动学仿真机构中的连杆和运动副都是刚性的，机构的自由度为 0，机构的重力、外部载荷以及机构摩擦会影响反作用力，但不会影响机构的运动。

(2) 动力学。将对机构进行动力学分析，当机构具有一个或多个自由度或者存在初始载荷时，应选择该选项，通常的运动仿真也是选择该选项。动力学分析将考虑机构实际运动时的各种因素影响，机构中的初始力、摩擦力、组件的质量和惯性等参数都会影响机构的运动。

选中默认的“动力学”分析，默认的运动仿真方案名为“motion\_1”，单击“确定”按钮，进入运动仿真模块，同时运动仿真工具条被激活可用，如图 1-2 所示。

## 2. 运动参数的设置

在运动仿真的设计和分析中，有很多参数要经常使用，因此，最好在设计和分析之前，将一些参数设定好，便于后期调用。

选择【文件】|【所有首选项】|【运动】命令，或者选择【菜单】|【首选项】|【运动】命令，弹出“运动首选项”对话框，如图 1-4 所示。其上常用的参数和选项主要是“名称显示”、“图标比例”、“角度单位”、“质量属性”等，这些选项和参数的设置





需要根据实际分析的对象而定，参数一旦设置后，对整个全局的运动分析都有影响。

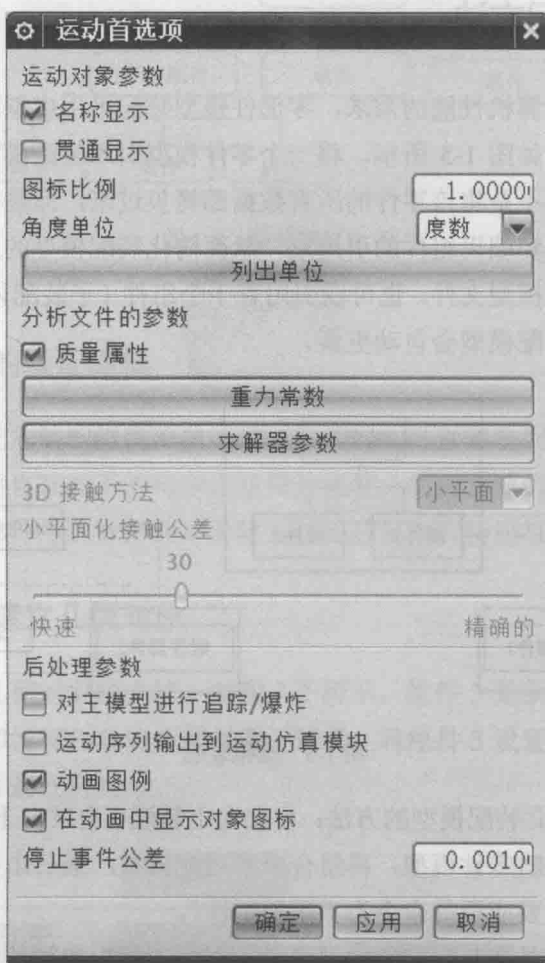


图 1-4 运动首选项对话框

## 1.2 装配建模

装配是 CAD 软件重要的基本功能单元。在现代设计中，装配已不再局限于单纯表达零件之间的配合关系，而且拓展到更多的应用，如运动分析、干涉检查、自顶向下设计等诸多方面。