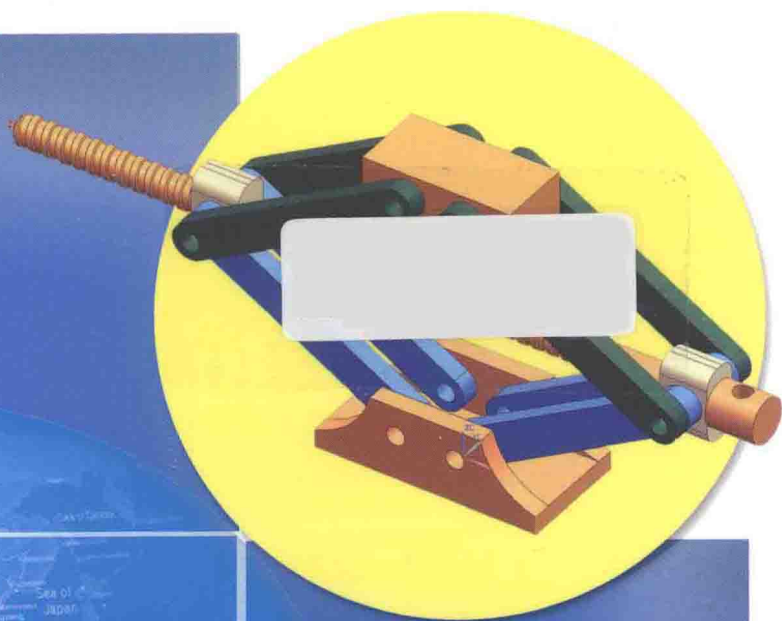




“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# UG NX 机械结构设计 仿真与优化

王卫兵◎主编



清华大学出版社



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# UG NX 机械结构设计 仿真与优化

王卫兵◎主编



常州大学图书馆  
藏书章



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书按高职院校人才培养模式改革的先进教学理念,以典型工作任务为基础,以工作过程为导向,以项目教学的方式进行教学内容的编写。全书共选择了6个具有典型应用特性的UG NX机械结构运动仿真项目,包括平面四连杆的运动仿真、空间连杆滑块机构的运动仿真、剪式千斤顶的设计与运动仿真、挖掘机的运动仿真与优化、二级圆柱齿轮减速器的运动仿真、冲孔工序的机械手运动仿真与优化。每个项目都是一个完整的综合项目,同时也有其侧重点,从而全面介绍UG NX在运动仿真中的应用。每个项目都从工作任务分析、知识技能点、项目实施、任务总结、知识拓展等方面展开内容,内容涵盖了UG NX软件运动仿真的基础知识、连杆的指定、运动副的创建、传动副的创建、运动驱动设置、驱动函数的创建、标志点与封装选项、动画与图表输出等各个方面。

本书可作为高职高专院校机械制造及自动化、计算机辅助设计与制造及相关专业的教材,也可供本科院校相关专业选用,还可作为机械结构设计工程师与自学UG NX运动仿真的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

UG NX机械结构设计仿真与优化/王卫兵主编. —北京:清华大学出版社,2014

ISBN 978-7-302-35522-9

I. ①U… II. ①王… III. ①机械设计-计算机辅助设计-应用软件-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第032518号

责任编辑:钟志芳

封面设计:刘超

版式设计:文森时代

责任校对:赵丽杰

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印装者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.5 字 数:385千字

版 次:2014年10月第1版 印 次:2014年10月第1次印刷

(附CD光盘1张)

印 数:1~2400

定 价:39.80元

产品编号:056763-01

# 前 言

随着计算机技术的发展, CAD/CAE 技术的应用越来越广泛, UG NX 是当前应用最广泛的 CAD/CAM/CAE 一体化软件之一。在新产品或者夹具的设计中, 利用 UG NX 的运动仿真功能进行机械结构的验证, 可以进行运动状态与加载力的验证, 并可以避免产生干涉, 从而缩短产品试制周期, 提高设计的可靠性。

本书按高职院校人才培养模式改革的先进教学理念, 以典型工作任务为基础, 以工作过程为导向, 采用项目教学的方式组织教学内容编写而成。全书共精选了 6 个具有典型应用特性的 UG NX 运动仿真学习项目载体, 书中每个项目都是非常典型的运动仿真案例, 都是完整的综合项目, 同时也有其侧重点, 从而全面介绍 UG NX 在运动仿真中的应用。每个项目都从工作任务分析、知识技能点、项目实施、任务总结和知识拓展等方面展开内容。

项目 1: 平面四连杆的运动仿真, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真基础知识、连杆的创建、解算方案的设置、动画输出运动仿真的运动控制。

项目 2: 空间连杆滑块机构的运动仿真, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真中运动副的创建与图表输出功能。

项目 3: 剪式千斤顶的设计与运动仿真, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真中的运动驱动与用于运动检查的封装选项以及用于模型优化的主模型尺寸修改功能的应用。

项目 4: 挖掘机的运动仿真与优化, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真中的函数驱动定义与标记点的创建与应用。


项目 5: 二级圆柱齿轮减速器的运动仿真, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真中的传动副创建以及连接副的创建与应用。

项目 6: 冲孔工序的机械手运动仿真与优化, 侧重于讲解 UG NX 运动仿真与机构结构设计的综合应用。

本书附有一张 DVD 光盘, 提供了本书全部的实例素材源文件和项目操作的视频录像, 可以帮助读者轻松、高效地学习。另外, 编者开设了教学网站 (<http://www.wbcax.com/NXmotion>), 网站提供在线的教学与答疑, 同时提供最新的教程与课件供读者下载。

本书由台州职业技术学院王卫兵主编, 杨建西、牛祥永、王金生、王卫仁、吴玲利、吴丽萍、郑晓依等也参与了部分内容的编写。本书在编写过程中, 参考了大量资料, 并得到了台州九谊机电、台州星星模具等企业的大力支持, 在此一并表示感谢!

由于编者水平有限, 书中难免有疏漏与不足之处, 敬请广大读者批评指正。



# 目 录

项目 1 平面四连杆的运动仿真 .....	1
1.1 平面四连杆的机构原理与运动要求 .....	2
1.2 UG NX 运动仿真基础 .....	3
1.2.1 UG NX 运动仿真的特点与应用 .....	3
1.2.2 进入运动仿真模块 .....	3
1.2.3 UG NX 运动仿真的用户界面 .....	5
1.2.4 运动导航器 .....	6
1.2.5 UG NX 运动仿真的文件 .....	6
1.2.6 UG NX 运动仿真的实现步骤 .....	7
1.3 连杆 .....	7
1.4 材料 .....	9
1.5 运动副基础 .....	11
1.6 解算方案 .....	11
1.7 动画 .....	13
1.8 平面四连杆运动仿真的实施 .....	16
1.8.1 创建装配文件 .....	16
1.8.2 运动仿真 .....	18
1.8.3 改变连接点的运动仿真 .....	30
1.8.4 任务总结 .....	34
1.9 拓展：运动仿真模块预设置 .....	35
1.9.1 运动对象参数 .....	35
1.9.2 分析文件的参数 .....	36
1.9.3 后处理参数 .....	37
复习与练习 .....	38
项目 2 空间连杆滑块机构的运动仿真 .....	39
2.1 空间连杆滑块机构的原理与运动要求 .....	40
2.2 运动机构的自由度 .....	41
2.3 运动副 .....	41
2.3.1 旋转副 .....	43
2.3.2 滑动副 .....	46
2.3.3 柱面副 .....	47
2.3.4 螺旋副 .....	49
2.3.5 球面副 .....	50
2.3.6 平面副 .....	50

2.3.7	万向节	51
2.3.8	固定副	52
2.4	装配约束映射至运动副	53
2.5	图表输出	54
2.6	空间连杆滑块机构运动仿真的实施	57
2.6.1	创建装配文件	57
2.6.2	运动仿真初始设置	63
2.6.3	添加驱动的运动仿真	78
2.6.4	任务总结	81
2.7	拓展：基本运动副与约束	82
2.7.1	基本运动副	82
2.7.2	约束	83
	复习和练习	86
<b>项目 3</b>	<b>剪式千斤顶的设计与运动仿真</b>	<b>87</b>
3.1	剪式千斤顶的机构原理与运动要求	88
3.2	驱动	89
3.2.1	恒定运动驱动	89
3.2.2	简谐运动驱动	90
3.2.3	铰接运动驱动	91
3.3	封装选项	92
3.3.1	干涉	92
3.3.2	测量	94
3.3.3	追踪	96
3.3.4	动画中的封装选项	97
3.4	主模型尺寸编辑	98
3.5	剪式千斤顶的设计与运动仿真实施	98
3.5.1	创建主模型	98
3.5.2	简化模型的运动仿真	106
3.5.3	完整模型的运动仿真	115
3.5.4	设置干涉与测量	118
3.5.5	更改设计方案再次仿真	121
3.5.6	任务总结	131
3.6	拓展：电动机驱动	132
	复习和练习	135
<b>项目 4</b>	<b>挖掘机的运动仿真与优化</b>	<b>136</b>
4.1	挖掘机的工作原理与运动要求	137
4.2	运动函数	138
4.2.1	函数管理器	139

4.2.2	函数编辑器	140
4.2.3	XY 图表函数	141
4.3	标记与智能点	141
4.3.1	标记	141
4.3.2	智能点	141
4.3.3	智能点与标记的区别	142
4.4	运动仿真导出	142
4.5	挖掘机运动仿真与优化的实施	143
4.5.1	创建装配文件	143
4.5.2	运动仿真初始设置	156
4.5.3	后处理与轨迹优化	169
4.5.4	任务总结	180
4.6	拓展: AFU 表格与电子表格驱动	180
4.6.1	AFU 表格	180
4.6.2	填充电子表格	182
4.6.3	电子表格驱动	183
	复习与练习	184
项目 5	二级圆柱齿轮减速器的运动仿真	185
5.1	圆柱齿轮减速器的运动原理与运动要求	186
5.2	传动副	187
5.2.1	齿轮副	187
5.2.2	齿轮齿条副	188
5.2.3	线缆副	189
5.2.4	2-3 传动副	190
5.3	接触	190
5.3.1	3D 接触	190
5.3.2	2D 接触	191
5.4	减速器设计与运动仿真的实施	193
5.4.1	创建减速器模型	193
5.4.2	减速器的齿轮副连接运动仿真	201
5.4.3	减速器的 3D 碰撞运动仿真	208
5.4.4	任务总结	210
5.5	拓展: 弹簧与衬套	211
5.5.1	弹簧	211
5.5.2	衬套	212
	复习与练习	214
项目 6	冲孔工序的机械手运动仿真与优化	215
6.1	冲孔工序机械手上下料机构的原理与运动要求	216

---

6.2	冲孔机的运动仿真 .....	218
6.2.1	运动仿真的模型准备 .....	218
6.2.2	冲孔机的运动仿真 .....	220
6.2.3	冲孔机的运动仿真任务小结 .....	227
6.3	机械手的运动仿真 .....	227
6.3.1	机械手的运动仿真实施 .....	227
6.3.2	机械手的运动仿真任务小结 .....	237
6.4	机械手与冲孔机的配合 .....	237
6.4.1	机械手与冲孔机配合的运动仿真 .....	237
6.4.2	机械手与冲孔机配合的运动仿真任务小结 .....	244
6.5	机械手上下料机构的设计优化 .....	245
	复习与练习 .....	253
	参考文献 .....	254

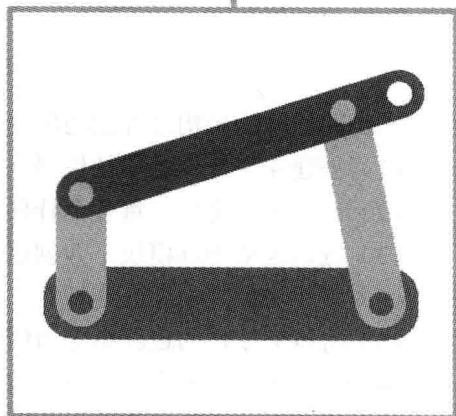


# 项目 平面四连杆的运动仿真



## 学习目标

- ❑ 了解 NX 运动仿真的特点与应用
- ❑ 进入运动仿真模块
- ❑ 了解运动仿真模块的常用工具条的应用
- ❑ 了解运动仿真的一般步骤
- ❑ 能够创建连杆并指定固定连杆
- ❑ 能够创建运动副
- ❑ 能够为运动副指定驱动
- ❑ 能为运动仿真设置解算器
- ❑ 能运用动画工具查看仿真结果



## 1.1 平面四连杆的机构原理与运动要求

平面四连杆机构是一种常用的结构，而所有运动副均为转动副的四杆机构称为铰链四杆机构，它是平面四杆机构的基本形式，其他四杆机构都可以看成是在它的基础上演化而来的。

在平面四连杆中，选定其中一个构件作为机架之后，直接与机架连接的构件称为连架杆，不直接与机架连接的构件称为连杆，能够做整周回转的构件被称作曲柄，只能在某一角度范围内往复摆动的构件称为摇杆。在铰链四杆机构中，有的连架杆能做整周转动，有的则不能，两构件的相对回转角为  $360^\circ$  的转动副称为整转副。整转副的存在是曲柄存在的必要条件，按照连架杆是否可以做整周转动，可以将其分为 3 种基本形式，即曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构。铰链四杆机构的两个连架杆中若一个为曲柄，另一杆为摇杆，则此机构称为曲柄摇杆机构。曲柄摇杆机构的功能是：将转动转换为摆动，或将摆动转换为转动。

如图 1-1 所示，图中由 4 个杆件组成了一个曲柄摇杆机构。杆件 L1、L2、L3、L4 在端点位置 A、B、C、D 处分别铰接，形成铰链四杆机构，其中 L4 为固定的机架，L1 为连杆，L2 为曲柄，L3 为摇杆。L2 可以做整周的转动，而 L3 只能做摆动。

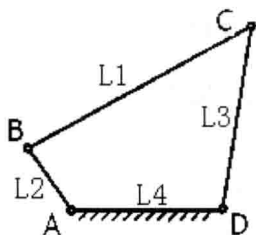


图 1-1 曲柄摇杆机构

平面四连杆的机构进行运动仿真时，需要进行以下操作。

- (1) 创建 4 个杆件的零件模型。
- (2) 创建装配文件，将各个杆件装配到一个装配文件中。
- (3) 进入运动仿真模块，并创建运动仿真。
- (4) 将 4 个杆件定义为连杆。
- (5) 将机架零件的连杆指定为固定连杆，不允许移动或旋转。
- (6) 在两个连杆的连接部分创建旋转副，并且必须要注意其方位一致。
- (7) 需要在曲柄与机架连接的旋转运动副上增加旋转驱动。
- (8) 指定解算方案进行解算。
- (9) 查看运动仿真的动画结果。

## 1.2 UG NX 运动仿真基础

### 1.2.1 UG NX 运动仿真的特点与应用

NX 软件是 Siemens PLM Software 的重要组成部分,其前身为 Unigraphics NX (简称 UG NX),因而习惯上仍称为 UG NX。NX 包含一整套的 CAD、CAM 和 CAE 软件应用程序,涵盖了整个数字化产品开发过程,具有强大的设计、加工、分析能力。在汽车、机械、航天、航空、家电、医疗仪器和模具等制造业中得到广泛的应用。

NX 运动仿真(NX/Motion)是 NX/CAE 模块中的主要部分,能对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三维实体模型,利用运动仿真功能可以给三维实体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/Motion 的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,得到大量运动机构的运动参数。通过对这个运动仿真模型进行运动学或动力学运动分析就可以验证该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、加速度、速度和力的变化情况,可以指导对运动机构进行优化设计。

传统机械设计中,设计者仅仅是做出二维的零件图或二维的装配图,无法准确地预测出机构在运行过程中各零件是否干涉、驱动力是否满足、运动部件的行程能否达到要求等细节问题。若设计者对机构在运转中的情况停留在理论计算以及自己对机构的分析评估上,在此条件下设计的机构不免会存在各种隐患和漏洞。制造完成的机构在运行中可能会面临各种问题,而需要对机构某部件再次进行设计或改进,影响了工作效率。在机械设计过程中引入运动仿真功能可以直接避免上述问题,设计者可对仿真中发现的问题进行相应的处理,同时也能够为用户提供更加直观、更有说服力的动画产品演示。

### 1.2.2 进入运动仿真模块

要进行运动仿真,先要进入 NX 运动仿真的主界面。通常是在打开主模型之后再进入仿真模块。

#### 1. 选择运动仿真模块

在 NX 的主界面中选择【开始】|【运动仿真】命令,将进入运动仿真模块,如图 1-2 所示。



**注意:** 如果当前模型未保存,或者保存后做过更改,系统将提示是否保存当前文件,如图 1-3 所示。



图 1-2 进入运动仿真

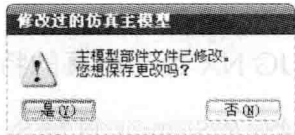


图 1-3 修改过的仿真主模型

**注意：**如果已有打开的模型工作在仿真模块，则需要先关闭活动的仿真部件，如图 1-4 所示。

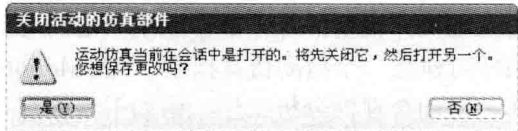


图 1-4 关闭活动的仿真部件

## 2. 新建仿真

进入运动仿真后将显示【运动】工具条，但是其显示为灰色，也就是未被激活的状态，无法进行操作。在进行运动仿真之前必须先建立一个运动仿真方案，而运动模型的数据都存储在运动仿真方案之中，所以运动仿真方案的建立是整个运动仿真过程的入口。

在运动导航器中选择根目录图标，单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择【新建仿真】命令，如图 1-5 所示，系统将打开【环境】对话框，如图 1-6 所示。



图 1-5 新建仿真

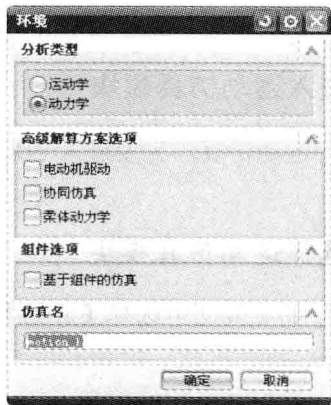


图 1-6 【环境】对话框

在【环境】对话框中选择分析类型、指定高级解算方案选项与组件选项，然后指定仿真名，再单击【确定】按钮将新建仿真方案。此时，【运动】工具条上的工具将被激活，可以应用。

在分析类型中，运动学分析仿真机构的运动并决定机构在约束状态下的位移、速度、

加速度和反作用力的值的范围。运动学分析时，对有自由度或有初始力的机构，解算器不能进行求解，这类机构需要作动力学分析，因而在大多数情况下都采用动力学分析。

运动仿真方案建立后便可以对三维实体模型设置各种运动参数了，在该仿真方案中设定的所有的运动参数都将存储在该运动仿真方案之中，由这些运动参数所构建的运动模型也将以该运动仿真方案为载体进行运动仿真。

### 1.2.3 UG NX 运动仿真的用户界面

运动仿真模块的用户界面与建模模块的用户界面基本相同，如图 1-7 所示为运动仿真的工作界面。运动仿真的工作界面分为工具条、运动导航器与绘图区几个部分。除了【标准】工具条外，还增加了【运动】工具条与【动画控制】工具条。

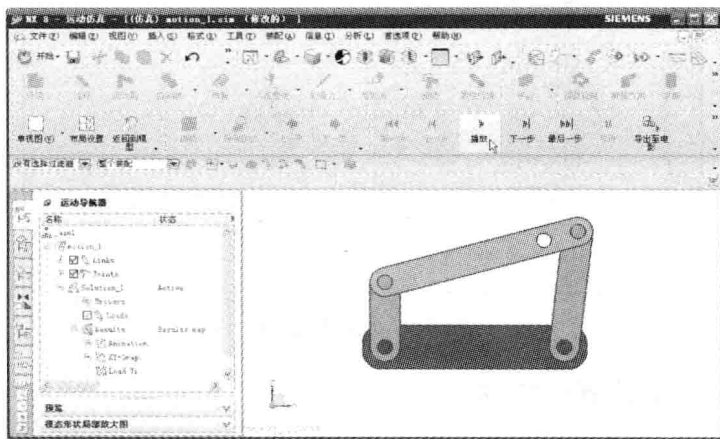


图 1-7 运动仿真的用户界面



**注意：**若单击全屏显示按钮，将以整个屏幕作为绘图区，可以获得最大的显示范围，而工具条将分组显示并浮动在绘图区之上，如图 1-8 所示。

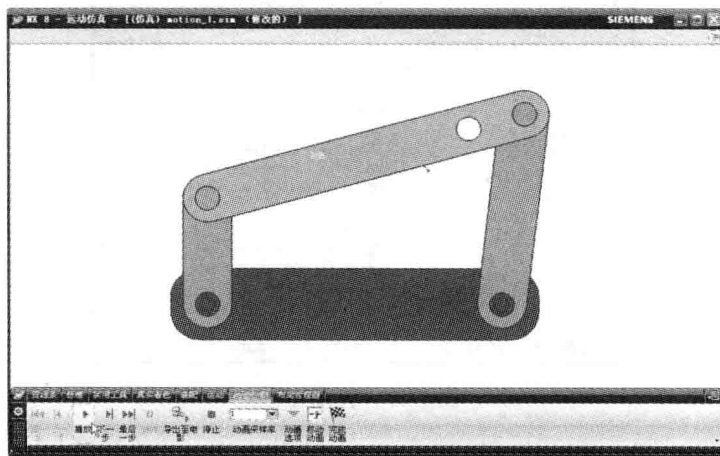


图 1-8 全屏显示

## 1.2.4 运动导航器

运动导航器是用于管理运动仿真的树形窗口，如图 1-9 所示。

在运动导航器中，将显示运动仿真方案、连杆、运动副、解算方案、解算结果等运动仿真相关的对象。在运动导航器窗口，选择对象后，单击鼠标右键，将可以对所选对象进行编辑、删除、克隆等操作。



图 1-9 运动导航器

## 1.2.5 UG NX 运动仿真的文件

进入运动仿真模块并创建新的运动仿真方案后，将新建一个文件夹，该文件夹与主模型具有同样的文件名，如图 1-10 所示。同时，在这个目录下创建一个运动仿真装配模型，初始运动仿真装配模型的默认名称为“motion\_1.sim”，之后创建的运动仿真也放在该目录下。



图 1-10 仿真文件

创建的第一个运动仿真装配模型“motion\_1.sim”文件必定是基于装配主模型的基础上的。随后创建的运动仿真文件可以基于装配主模型也可以基于上一个运动仿真文件。上述

的结构布置允许用户对运动仿真文件进行修改、编辑、调整和分析，从而实现多个运动仿真的机构设计比较，而不必修改原始的装配主模型。



**注意：**在仿真环境下保存文件，将只保存仿真模型，而对仿真模型的更改并不会影响主模型。



**注意：**在仿真条件下，部分菜单功能将受到限制，如不能进行打开文件与新建文件操作，必须先切换到其他工作模块。

### 1.2.6 UG NX 运动仿真的实现步骤

UG NX 运动仿真和分析处理需分 3 个阶段进行，介绍如下。

#### 1. 前处理阶段

建立一个运动仿真分析方案，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，定义运动驱动。

#### 2. 求解阶段

解算器处理输入数据，并生成输出数据文件，再传送到运动分析模块中。

#### 3. 后处理阶段

运动分析结果的数据输出为表格、图表、动画或报表文件，并且可以根据需要进行机构运动特性的分析。

## 1.3 连 杆

建立一个三维实体模型或者主装配模型后，并不能直接将各个部件按一定的连接关系连接起来，必须给各个部件赋予一定的运动学特性，即让其成为一个可以与别的有着相同的特性的部件之间相连接的连杆构件。同时，为了组成一个能运动的机构，必须把两个相邻构件（包括机架、原动件、从动件）以一定方式连接起来，凡是使两个构件接触而又保持某些相对运动的可动连接即称为运动副。连杆运动副相连接，就组成了运动机构，多个运动机构就可以组成一个复杂的机构。

连杆是运动仿真中最基础的部分，创建连杆通常是创建机构运动仿真的第一步。UG NX 中的连杆代表刚性体的机构特征，并不一定是杆件，任何刚性的结构件均可以指定为连杆，如机架、箱体、齿轮等均可以定义为连杆。



**注意：**一个机构中的所有活动的部件必须指定为连杆，固定的部件也可以指定为连杆。


在工具条上单击【连杆】图标, 系统将弹出【连杆】对话框, 如图 1-11 所示。该对话框中的各个选项说明如下。



图 1-11 【连杆】对话框

## 1. 连杆对象

连杆对象是用于选择连杆特性的几何模型。选择“选择对象”选项后，在图形窗口中选择将要作为连杆的几何模型。



**注意：**可以选择多个几何模型作为一个连杆；但一个几何体只能属于一个连杆，已经被指定为连杆的几何模型不能被选中。

## 2. 设置

选中【固定连杆】复选框，则该连杆将被固定，即将所选的几何体与“地”固定连接，同时将生成一个固定副。

## 3. 名称

在【连杆】对话框中设置连杆的名称，默认的名称为 L001、L002……用户可以指定连杆名称。

## 4. 质量属性选项

质量属性选项用于设置连杆的质量特性，共包含以下 3 个选项。

(1) 自动：由系统自动生成连杆的质量特性，如果连杆是实体并指定了材料，根据连



杆中的实体，系统可以按默认设置自动计算质量特性。在大多数情况下，这些默认计算值可以生成精确的运动仿真结果。

(2) 用户定义：由用户定义质量特性，选择该选项后，需要指定质量和惯性选项。如选择的连杆不是实体，则必须进行用户定义。

(3) 无：不指定，进行运动学分析时，可以不考虑质量属性。

## 5. 质量和惯性

当质量属性选择为“用户定义”时，需要进行质量和惯性的设置，如图 1-12 所示，需要指定质心位置、惯性的 CSYS 坐标系、质量、质量惯性矩（ $I_{xx}$ 、 $I_{yy}$ 、 $I_{zz}$ ）和质量惯性矩积（ $I_{xy}$ 、 $I_{xz}$ 、 $I_{yz}$ ）。

## 6. 初始平动速率与初始转动速度

这两项用于设置连杆的初始平移速度和初始旋转速度，通常情况下都不作设置，即初速度为 0。当选中【启用】复选框后，可以设置在指定方向上的平移速度或者绕指定轴的旋转速度，如图 1-13 所示。



图 1-12 质量和属性



图 1-13 初始平动速率与初始转动速度

## 1.4 材 料

材料特性是计算质量和惯性矩的关键因素，NX 的材料功能可用来创建新材料、检索材料库中的材料特性，并将这些材料特性赋给机构中的实体。



**注意：**UG NX 创建的实体具有默认的密度值，通常设为  $8.73 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ 。在运动仿真中，未分配特定材料的实体均采用此默认的密度值。