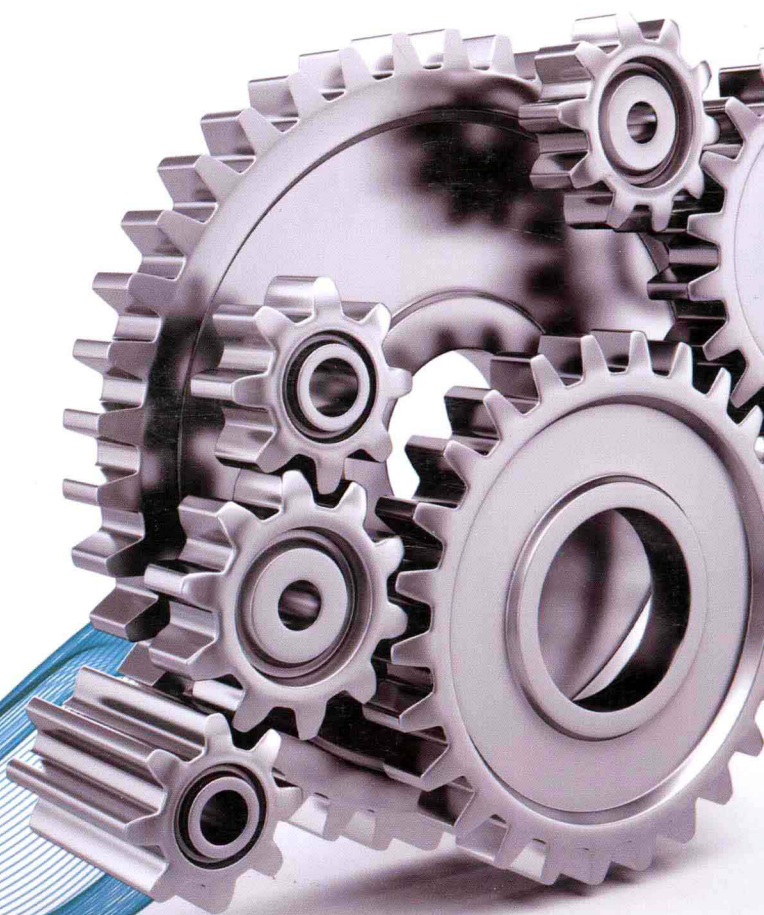


CATIA 数字样机

运动仿真详解

刘宏新 宋微微 著

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

CATIA 数字样机运动仿真详解

第2版

刘宏新 宋微微 著



机械工业出版社

本书注重涵盖数字样机运动仿真的全部技术环节,融入了 CATIA 教学与工程应用过程中的经验和技巧,设置了旨在训练综合应用能力的复杂运动机构实例。各部分内容在保持有机联系的前提下又不失其相对独立性与完整性,力求全面、实用、系统。本书根据读者的反馈意见及使用情况,在原版本的基础上增加了发动机配气机构、棘轮传动等间歇及碰撞运动形式的典型机构示例,补充了仿真机构运行与重放的功能和作用等内容。从而使书中包含的运动机构种类更加完整,更加便于实践应用。同时,本版修正了原版中的文字及图形错误,重新设计了图书封面,形式与内容趋于完善。

本书的结构体系与内容编排既便于机械工程领域的读者系统地学习 CATIA 数字样机运动仿真技术,又适合工程技术人员对工作实践中遇到的技术难点问题进行查询。

图书在版编目 (CIP) 数据

CATIA 数字样机:运动仿真详解/刘宏新,宋微微著. —2 版.

—北京:机械工业出版社,2013.5

ISBN 978-7-111-42526-7

I. ①C… II. ①刘…②宋… III. ①机械工程—计算机
仿真—应用软件 IV. ①TH—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 102004 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云

责任印制:杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2013 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·332 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42526-7

ISBN 978-7-89433-974-4 (光盘)

定价:38.00 元 (含 1CD)

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

作为机械工程领域的高端应用软件，CATIA 自引入国内以来，迅速被广大工程技术人员认可和接受，其全面的数字样机 DMU (DIGITAL MOCK-UP) 功能模块及系统的体系构架极大地提高了产品研发的效率和技术水平。

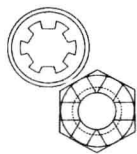
数字样机可以简单地理解为由计算机呈现的、可替代物理样机功能的虚拟现实。通过数字样机，设计者可以创建、验证、优化和管理从概念到售后的产品生命周期过程，团队成员能够根据协议共享数字资源。数字样机技术以计算机辅助技术 CAX (CAD、CAM、CAE、CAPP、CIM、CIMS、CAS、CAT、CAI) 和以产品生命周期为范围的设计技术 DFX (DFA、DFM、DFC、DFV、DFG、DFL) 为基础，以机械系统运动学、动力学、材料学和控制理论为核心，融合虚拟现实、仿真、三维图形等技术，将分散的产品设计、制造与销售等过程有机地集成在一起。数字样机可以降低，甚至脱离对物理样机的依赖，是现代机械工业领域高端技术的代表。

运动仿真是数字样机的重要功能之一，也是 CATIA 的特色模块。具有运动属性的数字样机可以替代实物样机供设计者分析与运动相关的性能和参数。运动仿真是数字化技术全面应用于产品开发过程的方案验证、功能展示、设计定型与结构优化阶段的必要技术环节。但由于中国的工程技术人员接触和使用 CATIA 的时间较短，目前相关的书籍和资料还很不系统和全面，有限的文献资源主要集中在三维建模、虚拟装配与曲面造型等基础模块。这种情况严重制约了 CATIA 强大的机械工程技术全面解决方案的充分发挥。作为国内高校第一批开设 CATIA 专业课程的教师，作者对目前广大学生和工程技术人员学习和掌握这一先进技术存在的实际困难深有感触，并最终决定将多年来教学过程中积累的 CATIA 运动仿真模块的材料进行整理出版，希望为广大读者更好地使用 CATIA 做出一点贡献。

针对运动仿真的核心内容，本书设计、制作了大量涵盖各种运动形式的典型机构模型，详细讲解了运动机构的建立过程以及基于运动仿真的数字样机分析方法。全书共分为概述、面接触运动副（低副）、点线面接触运动副（高副）、关联运动副、基于轴系的运动副、复杂运动示例、仿真机构的运行与重放、基于运动仿真的数字样机分析 8 章，以及一个运动副一览表附录，力求系统和全面。各章节配合实例介绍了详细的操作步骤，专门设计了训练综合应用能力的复杂运动机构实例，并将作者在 CATIA 教学与工程应用过程中总结的经验和技巧融入其中。实例模型在 CATIA V5 R19 及 R20 汉化版本中制作完成，为兼顾习惯应用英文版本的读者阅读以及英文版资料的查询，书中将所涉及的功能指令与操作信息均采用中英文对照的形式编写。全书的结构体系和内容设置既便于读者系统地学习运动仿真技术，又适合工程技术人员在实际工作中对仿真技术的难点进行查询。

由于作者水平所限，虽认真谨慎，纰漏与不当之处仍在所难免，恳请读者能够谅解并予以指正，也希望能与广大读者就 CATIA 功能的全面开发进行交流与合作。

作 者



普通高等教育机械工程学科“十二五”规划教材编委会

主 任

(以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘舜尧 李孟仁 尚建忠 唐进元

委 员

(以姓氏笔画为序)

丁敬平	万贤杞	王剑彬	王菊槐	王湘江	尹喜云
龙春光	叶久新	母福生	朱石沙	伍利群	刘吉兆
刘先兰	刘忠伟	刘金华	安伟科	杨舜洲	李必文
李 岚	李 岳	李新华	何国旗	何哲明	何竞飞
汪大鹏	张敬坚	陈召国	陈志刚	林国湘	罗烈雷
周里群	周知进	赵又红	胡成武	胡仲勋	胡争光
胡忠举	胡泽豪	钟丽萍	贺尚红	聂松辉	莫亚武
夏宏玉	夏卿坤	夏毅敏	高为国	高英武	郭克希
龚曙光	彭如恕	彭佑多	蒋寿生	曾周亮	谭援强
谭晶莹	潘存云				

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 数字样机与运动仿真	1
1.2 工作窗口	1
1.2.1 工具栏	2
1.2.2 结构树	3
1.3 运动仿真的流程	4
1.4 运动机构的建立	6
1.4.1 数字样机的准备	6
1.4.2 运动副的创建	6
1.4.3 固定件定义	17
1.4.4 施加驱动命令	18
1.5 运动模拟	20
第 2 章 面接触运动副（低副）	21
2.1 旋转	21
2.1.1 概念与创建要素	21
2.1.2 旋转运动副的创建	21
2.1.3 机构驱动	23
2.2 棱形	25
2.2.1 概念与创建要素	25
2.2.2 棱形运动副的创建	25
2.2.3 机构驱动	28
2.3 圆柱	29
2.3.1 概念与创建要素	29
2.3.2 圆柱运动副的创建	30
2.3.3 机构驱动	32
2.4 螺钉	33
2.4.1 概念与创建要素	33
2.4.2 螺钉运动副的创建	33
2.4.3 机构驱动	35
2.4.4 应用示例	37
2.5 球面	38
2.5.1 概念与创建要素	38
2.5.2 球面运动副的创建	38
2.6 平面	40
2.6.1 概念与创建要素	40

2.6.2 平面运动副的创建.....	41
第 3 章 点线面接触运动副（高副）	44
3.1 点曲线.....	44
3.1.1 概念与创建要素.....	44
3.1.2 运动副的创建.....	44
3.1.3 机构驱动.....	49
3.2 滑动曲线.....	51
3.2.1 概念与创建要素.....	51
3.2.2 运动副的创建.....	51
3.2.3 机构驱动.....	54
3.3 滚动曲线.....	55
3.3.1 概念与创建要素.....	55
3.3.2 运动副的创建.....	56
3.3.3 机构驱动.....	61
3.4 点曲面.....	62
3.4.1 概念与创建要素.....	62
3.4.2 运动副的创建.....	62
3.4.3 机构驱动.....	67
第 4 章 关联运动副.....	69
4.1 U 形接合.....	69
4.1.1 概念与创建要素.....	69
4.1.2 运动副的创建.....	69
4.1.3 机构驱动.....	71
4.1.4 应用示例.....	73
4.2 CV 接合.....	73
4.2.1 概念与创建要素.....	73
4.2.2 运动副的创建.....	73
4.2.3 机构驱动.....	76
4.2.4 应用示例.....	77
4.3 齿轮.....	78
4.3.1 概念与创建要素.....	78
4.3.2 运动副的创建.....	78
4.3.3 机构驱动.....	84
4.3.4 应用示例.....	85
4.4 齿轮齿条.....	86
4.4.1 概念与创建要素.....	86
4.4.2 运动副的创建.....	86
4.4.3 机构驱动.....	92
4.4.4 多级传动.....	93

4.5 电缆接合.....	94
4.5.1 概念与创建要素.....	94
4.5.2 运动副的创建.....	94
4.5.3 机构驱动.....	98
4.6 刚性接合.....	100
4.6.1 概念与创建要素.....	100
4.6.2 运动副的创建.....	100
4.6.3 应用示例.....	102
第 5 章 基于轴系的运动副.....	104
5.1 基本概念.....	104
5.2 轴系的创建.....	105
5.2.1 模型准备.....	105
5.2.2 创建原点.....	105
5.2.3 插入轴系.....	106
5.3 基于轴接合的运动机构.....	107
5.3.1 旋转.....	107
5.3.2 棱形.....	108
5.3.3 圆柱.....	111
5.3.4 U 形接合.....	113
5.3.5 球面.....	116
5.4 应用示例.....	117
5.4.1 模型运动分析.....	117
5.4.2 运动副的创建.....	118
5.4.3 机构驱动.....	123
第 6 章 复杂运动示例.....	124
6.1 球轴承.....	124
6.1.1 仿真运动的描述.....	124
6.1.2 样机装配.....	124
6.1.3 运动副创建.....	126
6.1.4 机构驱动.....	127
6.2 斜盘式柱塞泵.....	127
6.2.1 仿真运动的描述.....	127
6.2.2 样机装配.....	127
6.2.3 运动副创建.....	129
6.2.4 机构驱动.....	130
6.3 配气机构.....	131
6.3.1 仿真运动的描述.....	131
6.3.2 样机装配.....	132
6.3.3 运动副创建.....	132

6.3.4 机构驱动.....	133
6.4 排种器.....	133
6.4.1 仿真运动的描述.....	133
6.4.2 样机装配.....	134
6.4.3 运动副创建.....	135
6.4.4 机构驱动.....	135
6.5 双轴单铰接驱动轮.....	136
6.5.1 仿真运动的描述.....	136
6.5.2 样机装配.....	137
6.5.3 运动副创建.....	138
6.5.4 机构驱动.....	139
6.6 轻型自走底盘.....	139
6.6.1 仿真运动的描述.....	139
6.6.2 运动副创建.....	140
6.6.3 机构驱动.....	143
6.6.4 关键运动副.....	145
第 7 章 仿真机构的运行与重放.....	147
7.1 基本运行与位置调整.....	147
7.1.1 使用命令模拟.....	147
7.1.2 位置调整.....	148
7.2 基于运动函数的模拟.....	148
7.2.1 运动函数的编制.....	148
7.2.2 运动模拟.....	151
7.3 综合模拟.....	152
7.3.1 基本操作.....	152
7.3.2 模拟过程记录.....	154
7.3.3 分步运动.....	155
7.3.4 碰撞运动.....	158
7.3.5 模拟记录查看.....	160
7.4 多驱动程序控制.....	162
7.4.1 机械手.....	162
7.4.2 棘轮机构.....	168
7.5 模拟编辑与重放.....	179
7.5.1 生成重放.....	179
7.5.2 动画文件制作.....	180
7.5.3 观看重放.....	180
7.6 序列编辑与播放.....	181
7.6.1 序列编辑.....	181
7.6.2 模拟播放器.....	182

第 8 章 基于运动仿真的数字样机分析.....	184
8.1 机械装置分析.....	184
8.2 运动副运动规律.....	186
8.3 运动参数测量.....	188
8.3.1 设置测量基准点.....	188
8.3.2 建立参考轴系.....	188
8.3.3 放置传感器.....	188
8.3.4 测量.....	189
8.4 机构运动轨迹分析.....	190
8.4.1 单一运动轨迹.....	191
8.4.2 合成运动轨迹.....	191
8.5 扫掠包络体.....	193
8.5.1 基于运动法则的扫掠.....	193
8.5.2 基于重放的扫掠.....	195
8.6 空间分析.....	197
8.6.1 干涉与碰撞.....	197
8.6.2 距离和区域分析.....	201

第1章 概述

1.1 数字样机与运动仿真

数字样机 (Digital Mock-Up, DMU) 可以简单地理解为由计算机呈现的、可替代物理样机功能的虚拟现实。通过数字样机, 设计者可以创建、验证、优化和管理从概念到售后的产品生命周期全过程, 团队成员能够根据协议共享数字资源。

数字样机技术以计算机辅助技术“CAX”(CAD、CAM、CAE、CAPP、CIM、CIMS、CAS、CAT、CAI) 和面向产品生命周期全过程的设计技术“DFX”(DFA、DFM、DFC、DFV、DFG、DFL) 为基础, 以机械系统运动学、动力学、材料学和控制理论为核心, 融合虚拟现实、仿真、三维图形等技术, 将分散的产品设计、制造与销售过程有机地集成在一起。数字样机可以减少或取消对物理样机的依赖, 有效提高效率, 节约成本, 是现代制造业最高端技术的代表。

运动仿真是数字样机的重要功能之一, 具有运动属性的数字样机可以替代实物样机供设计者分析与运动相关的性能和参数。运动仿真是数字化技术应用于产品开发过程的设计方案验证、功能展示、设计定型与结构优化阶段的必要技术环节。

1.2 工作窗口

启动 CATIA V5, 在屏幕上部菜单栏中按“开始 (Start)”→“数字化装配 (Digital Mockup)”→“DMU 运动机构 (DMU Kinematics)”的路径进入数字样机运动仿真工作窗口, 如图 1-1 所示。

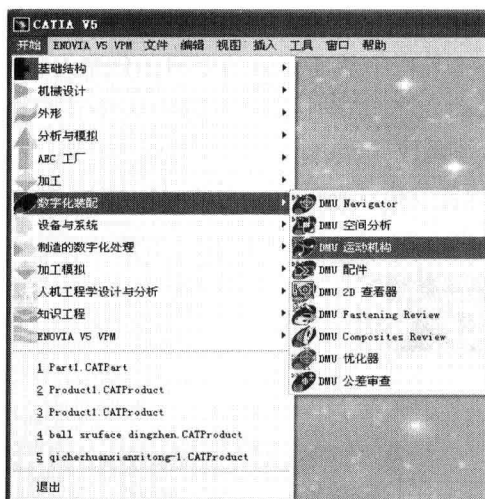


图 1-1 运动仿真工作窗口启动路径

运动仿真工作窗口打开后如图 1-2 所示。工作台布局与其他围绕产品 (Product) 而进行的操作台基本一致, 上部为菜单区 (Menus), 下部第一层为通用工具栏区 (Standard toolbar zone)、第二层为命令提示区 (Dialog zone), 中部为图形工作区 (Graphic zone), 左侧为操作对象“Product”的树形结构图 (Tree and associated geometry), 与其他工

作台的区别在于屏幕右侧放置了对应运动仿真窗口的功能工具栏（Active work bench toolbar）。

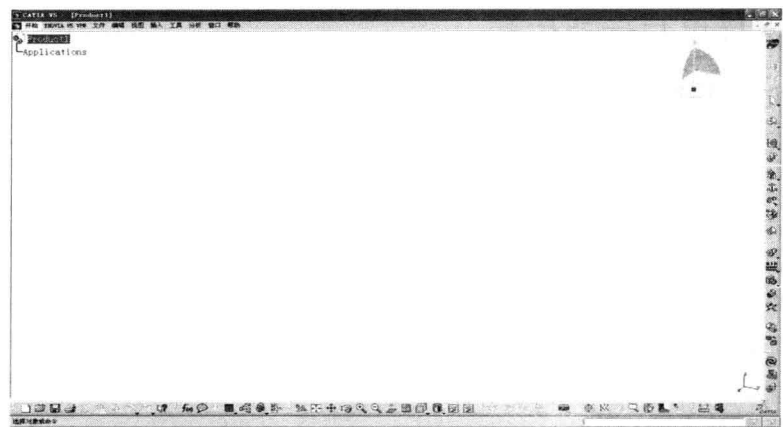


图 1-2 运动仿真工作窗口

1. 2. 1 工具栏

运动仿真工作台常用的工具栏有“DMU 运动机构（DMU Kinematics）”、“运动机构更新（Kinematics Update）”、“DMU 一般动画（DMU Generic Animation）”及“DMU 空间分析（DMU Space Analysis）”。本章仅就各运动仿真工具栏的组成及功能作一般性介绍，栏中每个功能指令的具体应用详见后续章节。

(1) DMU 运动机构

“DMU 运动机构（DMU Kinematics）”工具栏提供了数字样机运动机构的构建及运动仿真实现的基本功能。工具栏中从前至后功能图标分别为：模拟（Simulation）、机械装置修饰（Mechanism Dress up）、运动接合点（Kinematics Joints）、固定件（Fixed Part）、装配件约束转换（Assembly Constraints Conversion）、速度及加速度（Speed and Acceleration）、机械装置分析（Mechanism Analysis）。其中模拟和运动接合点有扩展功能工具栏，如图 1-3 所示。

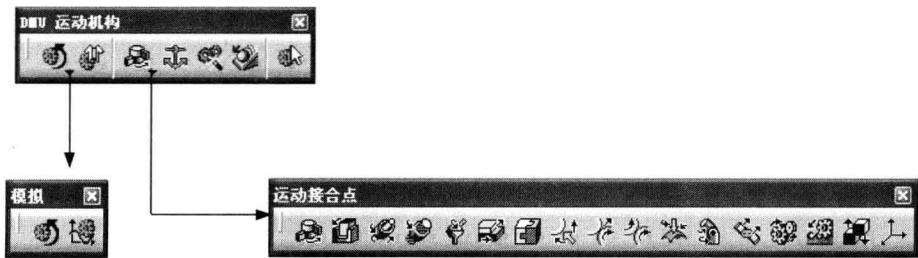


图 1-3 DMU 运动机构工具栏

(2) 运动机构更新

“运动机构更新（Kinematics Update）”工具栏如图 1-4 所示，它提供运动约束改

变后的位置更新 (Update Positions)、子机械装置导入 (Import Sub-Mechanisms) 与动态仿真后的机械装置初始位置重置 (Reset Positions) 等功能。



图 1-4 运动机构更新工具栏

(3) DMU 一般动画

“DMU 一般动画 (DMU Generic Animation)” 工具栏提供运动仿真的动画制作、管理以及部分运动分析功能。工具栏的功能图标由综合模拟 (Generic Simulation)、重放 (Simulation Player)、碰撞检测 (Clash Detection)、扫掠包络体 (Swept Volume)、运动轨迹 (Trace) 等组成。其中综合模拟、重放和碰撞检测有扩展功能工具栏，如图 1-5 所示。

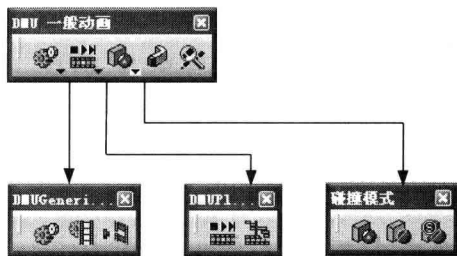


图 1-5 DMU 一般动画工具栏

(4) DMU 空间分析

“DMU 空间分析 (DMU Space Analysis)” 工具栏用于对数字样机就与空间有关的距离、干涉及运动的范围进行研究，如图 1-6 所示。工具栏具有碰撞 (Clash)、距离与区域分析 (Distance and Band Analysis) 两个功能图标。



图 1-6 DMU 空间分析工具栏

1. 2. 2 结构树

一个典型的、具备运动仿真分析功能的数字样机，其结构树如图 1-7 所示。与其他仅完成静态装配约束的产品结构树相比，它最大的变化在于结构树上的“Applications”节点下出现了运动仿真专用的要素与子节点。

“机械装置 (Mechanisms)” 在运动副创建过程中生成。其中，“机械装置.1 (Mechanism.1)” 为运动机构的序号，一个“机械装置 (Mechanisms)” 下可以具有多个运动机构。

“自由度 (DOF)” 显示数字样机可动零部件的全部自由度。如固定件定义完成，且机构所有驱动命令被施加后自由度 (DOF) = 0，表示机构可以进行运动模拟。

“接合 (Joints)” 节点下显示数字样机已创建完成的所有运动副，该例为旋转 (Revolute)、棱柱副 (Prismatic) 两个低副，以及一个点曲线 (Point Curve) 高副。

“命令 (Commands)” 节点中记录机构运动的驱动命令数量和驱动位置，本例为一个驱动命令，驱动位置为“旋转.1 (Revolute.1)”。

“固定零件 (Fix Part)” 节点中记录被设计者固定的零部件。一个静止的“固定零件 (Fix Part)” 作为数字样机运动仿真过程中的参考元素，是机械可以进行运动模拟的必要条件。一个运动机构只能固定一个零部件，其他要求固定零件属性的零部件采用与已固定件刚性连接的方式进行处理。

“法线/法则 (Laws)” 用以记录由设计者制定的、以公式或程序形式存在的、规定机构运动方式的函数或指令集。制定运动函数或动作程序是运动机构模拟仿真过程中一些运动参数 (如速度、加速度、运动轨迹等) 测量与分析的基础条件。

“速度和加速度 (Speed-Accelerations)” 节点中显示数字样机中被放置了用于测量某一零部件或某一点速度与加速度的传感器。该传感器在运动分析时可以被激活，采集的信息可以图形或数据的形式供设计人员查看。一个数字样机可以在不同部件设置多个“速度和加速度 (Speed-Accelerations)” 传感器，采集所需要的信息。

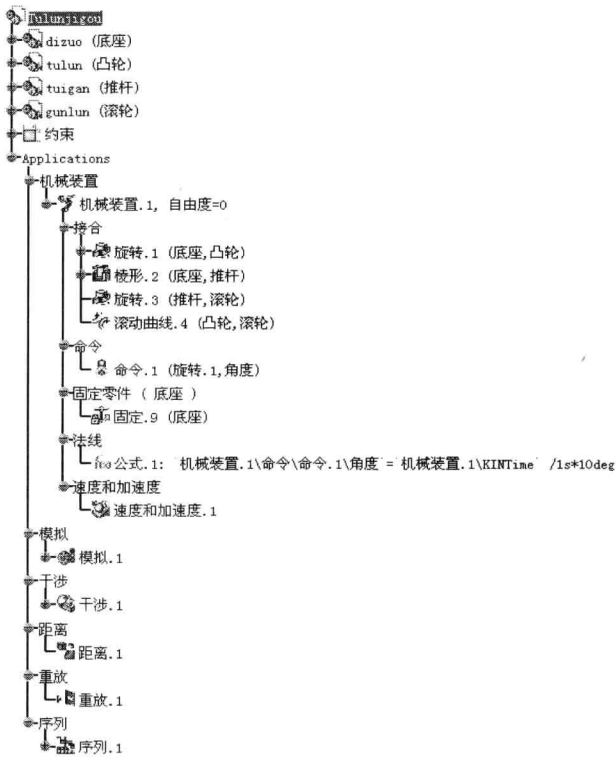


图 1-7 具有运动仿真功能的数字样机结构树

“模拟 (Simulation)”、“干涉 (Interference)”、“距离 (Distance)”、“重放 (Replay)”、“序列 (Sequences)” 等与“机械装置 (Mechanisms)” 同属于“Applications” 的下层节点，这些节点在数字样机运动仿真分析的相应操作过程中自动生成，记录分析结果或模拟状态，方便查看与研究。

1.3 运动仿真的流程

数字样机的运动仿真流程如图 1-8 所示。其中，将数字样机赋予运动属性，即建立运动机构是运动仿真的核心与基础工作。

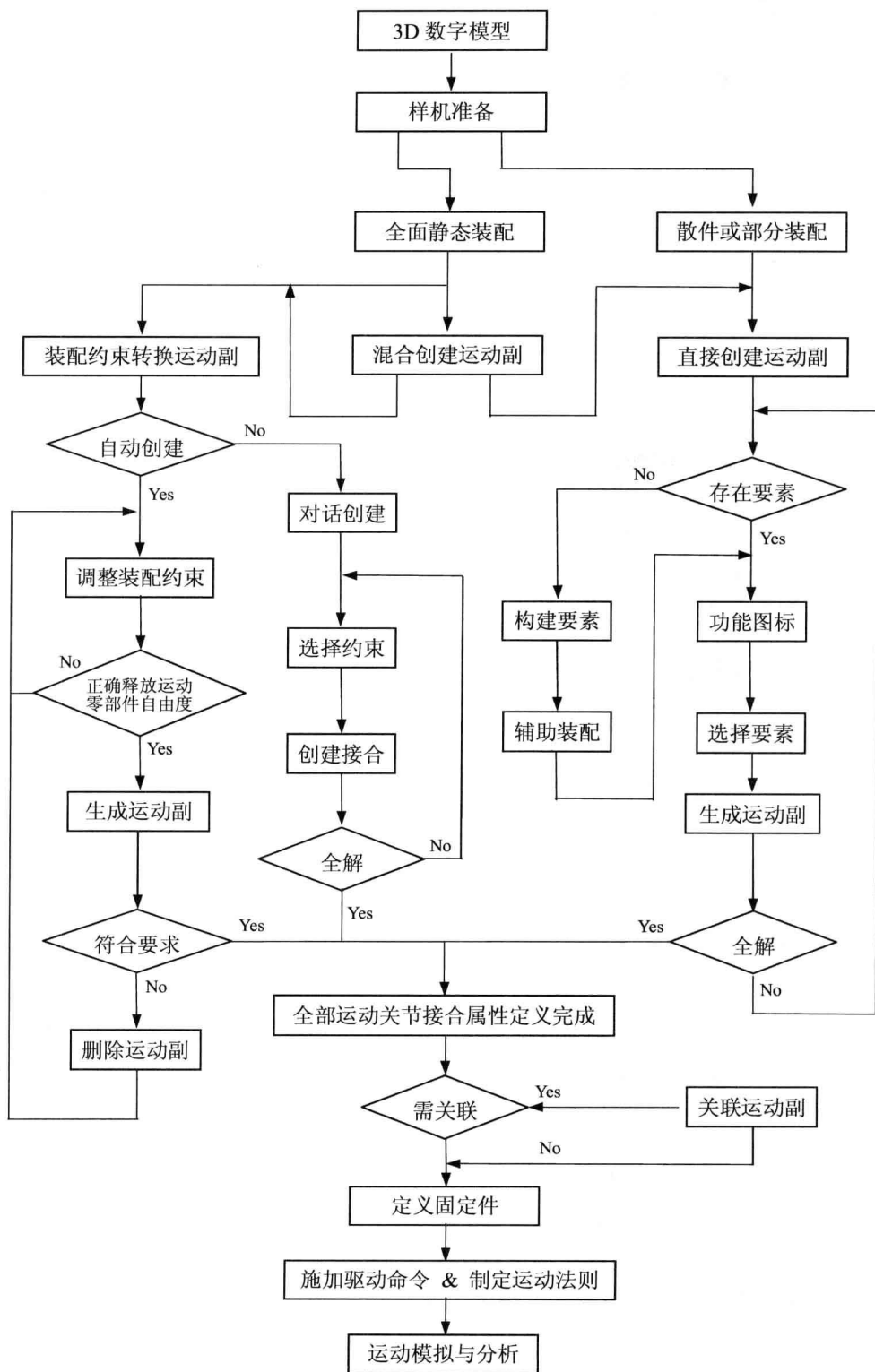


图 1-8 运动仿真流程图

1. 4 运动机构的建立

1. 4. 1 数字样机的准备

数字样机在建立运动机构之前一般应先完成静态装配，具有完整的静态约束。所谓完整的静态约束，是指具有装配关系的两个零部件之间由三个能够限制或规定零部件 3D 空间全部自由度的约束组成，保证数字样机上的每一个零部件均具有唯一确定的位置。

需要了解的是，对于一些只有几个零部件组成的简单样机，以及复杂样机上某些运动副的运动部件，也可以不经过静态装配过程，而直接创建运动机构。

打开随书光盘中的“Exercise\1\1. 4&8. 1-3\gundongtulun. CATProduct”，出现滚动凸轮机构，如图 1-9 所示。该机构已完成全面的静态装配，具备完整的静态约束，参见图示的结构树。

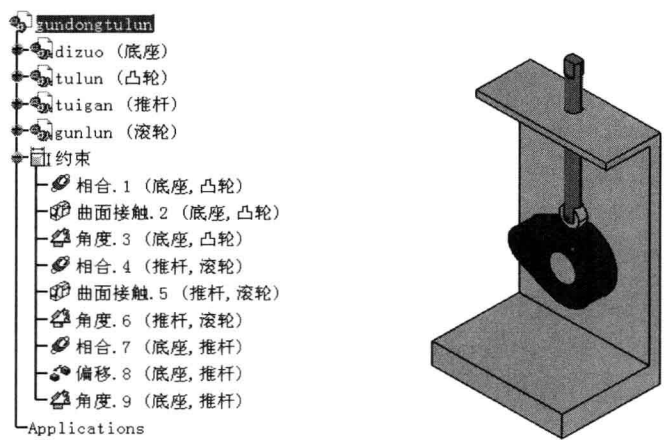


图 1-9 滚动凸轮机构

1. 4. 2 运动副的创建

(1) 运动副的分类与创建方法

运动副可分为两大类，分别是基础运动副和关联运动副。用于规定两个零部件之间运动关系的运动副称为基础运动副，基础运动副又可分为面接触运动副（低副）与点线接触运动副（高副）两种形式。如在一个运动副内涉及 3 个以上零部件或包含两对低副，则称其为关联运动副。刚性连接虽只涉及两个零部件之间的关系，但根据其在运动机构建立过程中的作用将其定义为一种特殊的关联副。运动机构建立的主要工作是基础运动副的创建。

基础运动副创建的方法有装配约束转换法、直接创建法与构建要素创建法三大类。

装配约束转换法利用静态装配过程中已建立的零部件之间由约束所限制的位置关系转换成运动约束（即运动副），转换过程可分为自动创建与手动创建两种形式。

直接创建法是针对可以通过装配约束转换法创建的运动副，在未经装配的数字样机散

件上直接利用模型的几何要素进行运动副的创建，并且在创建运动副的过程中可以自动在结构树的“约束”节点下生成对应的静态装配约束，常用于仅有若干个组件的样机或复杂样机的某些运动部件。

构建要素创建法针对那些无法通过装配约束转换法生成或生成类型与要求不符的运动副，如点曲线、滚动曲线、滑动曲线、点曲面等高副。它需要依赖静态装配约束保证或调整运动副构建要素的位置关系。

关联运动副的创建相对简单，一种方法是先完成相关的基础运动副创建，然后根据关联运动副创建对话框的提示选择已创建好的基础运动副实现关联，这种形式为顺序创建。另一种方法是直接展开关联副创建对话框，在其引导下转入创建相关基础运动副的操作，基础运动副创建完成后自动作为关联副的构成单元，这种形式为逆向创建。逆向创建不需要事先准备相关基础运动副，思路更为清晰。另外，若存在多个关联运动副同时共享某一基础运动副的情况，除第一个创建的关联副可使用顺序创建外，其余关联副在使用该共享基础运动副上只能采用逆向创建。

实际操作过程中，复杂数字样机运动副的创建是根据具体情况综合运用以上各种方法来进行的，读者需在练习过程中体会其中的技巧。本节以图 1-9 所示滚动凸轮为例讲解基础运动副的各种创建方法。

推荐读者先完成数字样机的静态装配，然后再根据实际情况综合运用各种方法创建运动副，这样可以提高效率并且为后续的运动分析建立一个良好的基准。

(2) 装配约束转换法创建运动副

① 自动创建

a. 检查与调整装配约束。自动创建运动副前需检查并调整数字样机的装配约束。根据样机的结构及预期功能释放运动零部件的某一自由度，即逐一核查样机中具有装配关系的零部件之间的约束，并删除限制运动部件运动的约束。本例“滚动曲线凸轮”应删除“角度.3 (Angle.3) (底座，凸轮)”、“角度.6 (Angle.6) (推杆，滚轮)”、“偏移.8 (Offset.8) (底座，推杆)”。调整后的结构树如图 1-10 所示，调整的结果是分别释放了凸轮、滚轮的转动和推杆上下运动的自由度。



图 1-10 调整装配约束

b. 在“DMU 运动机构(DMU Kinematics)”工具栏中单击“装配件约束转换(Assembly Constraints Conversion)”图标，显示图 1-11 所示的“装配件约束转换(Assembly Constraints Conversion)”对话框。