

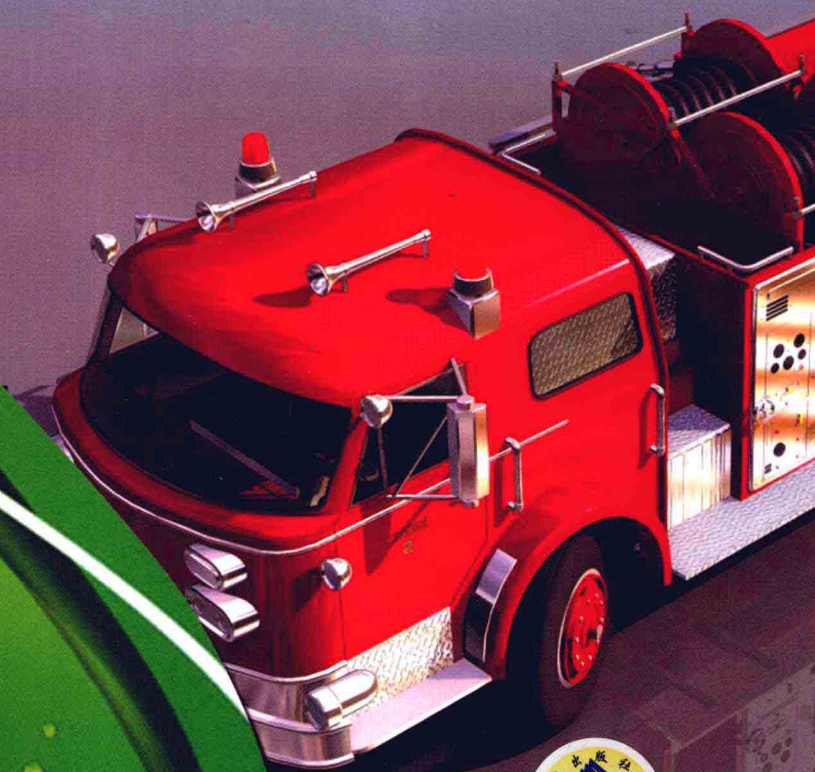
计算机辅助分析(CAE)系列

Pro/ENGINEER Wildfire 5.0

动力学与有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室

乔建军 王保平 胡仁喜 等编著



Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 动力学与有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室

乔建军 王保平 胡仁喜 等编著



机械工业出版社

本书涵盖了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 的 Mechanism (运动/动力学仿真技术)、Mechanica (有限元分析技术) 两大模块, 介绍了动力学分析、动画制作、结构分析和热力学分析模型的创建及分析过程。根据由浅入深、前后呼应的教学原则进行内容安排, 从而使读者能更快、更深入地理解 Pro / ENGINEER Wildfire 5.0 软件中的一些抽象概念、复杂命令和功能, 并对运用该软件进行产品分析的过程有全面的了解。本书第 1 章介绍了使用该软件进行分析的 3 种模式: FEM 模式、集成模式和独立模式, 重点以集成模式为讲解对象, 介绍了机构动力学和有限元分析。第 2 章~第 5 章介绍了动力学分析模块的建立和环境的设置、动力学分析和动画制作等。第 6 章~第 9 章介绍了机构结构分析和热力学分析模型的建立及分析过程。每个知识点都使用了命令讲解结合具体实例的方法, 可以在学习软件操作的同时通过实例练习来迅速掌握相关知识。每部分都有综合实例练习, 通过学习知识, 更加快速有效地掌握软件的使用。

本书的特点是详细介绍了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 中各种工具命令的使用方法, 突出了工具命令的操作方法, 使用大量实例阐述工具命令的使用方法和相关的知识和技巧。本书可作为机械设计技术人员学习基于 Pro / Engineer Wildfire 5.0 进行机械结构有限元分析的入门与实践的书籍, 也可作为大专院校机械类专业学生的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 动力学与有限元分析从入门到精通/乔建军等编著. —北京: 机械工业出版社, 2010.1
ISBN 978-7-111-29405-4

I. P… II. 乔… III. ①动力学分析—应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 ②有限元分析—应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire 5.0
IV. 0655.9 0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 240515 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
北京蓝海印刷有限公司印刷
2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 23 印张 · 568 千字
0001—3000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-29405-4
ISBN 978-7-89451-390-8 (光盘)
定价: 56.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部: (010) 68993821

前 言

Pro / Engineer 是基于单一数据库、参数化、特征、全相关及工程数据再利用等概念的基础上开发出的一个功能强大的 CAD / CAE / CAM 软件, 它可将产品从设计到生产加工的过程集成在一起, 让所有用户同时进行同一产品的设计与制造工作。它是 3D 产品设计的行业标准。作为业界领先的生产效率工具, 它促进用户采用最佳设计做法, 同时确保遵守业界和公司的标准。集成的参数化 3D CAD/CAM/CAE 解决方案可让设计速度比以前快, 同时最大限度地增强创新力度并提高质量, 最终创造出不同凡响的产品。

本书基本涵盖了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 动力学分析、机构分析两大部分。从基本操作到模型建立、从概念到综合实例、从分析到优化设计的编制, 讲述了模块中各工具的操作方法、使用步骤和基本功能。在每章的最后, 以实例的形式进一步巩固所学基本工具的使用。本书最后以两个典型实例(二级减速器、活塞连杆机构)讲解了使用 Pro / Engineer Wildfire 5.0 进行工程分析的设计过程。本书的特点主要体现在以下几个方面:

- ❑ 编排采用循序渐进的方式, 适合初、中、高级读者逐步掌握 Pro / Engineer Wildfire 5.0 软件使用的基本操作方法进行产品分析和优化设计的精髓。
- ❑ 以知识点为介绍单元, 通过概念、操作方法、经典实例, 透彻地剖析每个知识点, 让读者深切掌握每个知识点。
- ❑ 采用了浅显易懂的例子, 容易上手操作。每个例子讲解步骤简单全面, 易于理解。
- ❑ 对关键性的技巧以“注意”提醒读者, 减少不必要的时间和精力去琢磨和研究它。
- ❑ 内容翔实, 选例典型, 针对性强, 叙述言简意赅、清晰流畅、讲解透彻, 能使读者快速掌握 Pro / Engineer Wildfire 5.0 动力学分析、机构分析模块的应用要领。
- ❑ 结合内容在光盘中配置了大量实例源文件, 以及相关的视频讲解内容, 对书中的各个重要实例进行针对性讲解, 便于读者掌握实例操作的流程和技巧

本书共分为 3 篇 11 章, 第 1 篇(第 1~5 章)机构动力学分析。讲述了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 软件进行动力学和有限元分析的三种模式、动力学分析模块的介绍、建立运动模型及设置运动环境、动力学分析和动画制作等基础知识; 第 2 篇(第 6~9 章)结构与热力学分析。介绍了结构分析模块、建立机构分析模型的方法步骤、机构各种结构分析以及热力学分析等内容。讲述了静态分析、模态分析、失稳分析、疲劳分析、预应力分析、动态分析以及敏感度分析、优化设计等; 第 3 篇(第 10 章、第 11 章)综合实例。以最常见的二级减速器、活塞连杆机构为例, 讲述了动力学和结构分析创建过程, 巩固各模块中常见工具的使用方法和技巧, 通过举一反三, 让读者具有独立完成项目分析设计的能力。

本书由三维书屋工作室策划, 主要由大同电力机车有限责任公司的乔建军老师、广东白云学院的王保平老师和军械工程学院的胡仁喜老师编写, 同时参加编写的还有王义发、谷德桥、张俊生、阳平华、周冰、董伟、王兵学、王渊峰、郑长松、王敏、王艳池、李瑞、周广芬、李鹏、陈丽芹、王玉秋、李世强、王佩楷、袁涛、王培合、刘昌丽、康士廷、熊慧、张日晶、路纯红等。由于编者水平有限, 时间仓促, 难免有欠缺之处。竭诚欢迎广大读者登录网站 www.bjsanweishuwu.com 发电子邮件到编者的电子信箱: win760520@126.com, 对本书提出批评和建议, 以方便作进一步的修改。

作 者

目 录

前言

第 1 篇 机构动力学分析

第 1 章 动力学与有限元分析概述	2
1.1 机构的工作模式	2
1.1.1 FEM 模式	3
1.1.2 集成模式	3
1.1.3 独立模式	3
1.2 Pro/Engineer Mechanical 的安装	4
第 2 章 动力学分析	6
2.1 机构模块介绍	6
2.1.1 机构模块简介	6
2.1.2 运动学分析流程	6
2.1.3 动力学分析流程	7
2.2 机构工作台	8
2.3 菜单栏介绍	10
2.3.1 文件 (F) 菜单	10
2.3.2 编辑 (E) 菜单	13
2.3.3 视图菜单	16
2.3.4 插入菜单	18
2.3.5 分析菜单	18
2.3.6 信息菜单	18
2.3.7 应用程序菜单	20
2.3.8 工具菜单栏	21
2.4 工具栏	21
2.4.1 机构工具栏	21
2.4.2 模型工具栏	22
2.4.3 动态工具栏	22
2.4.4 运动工具栏	23
2.5 结构树	23
2.5.1 模型树	23
2.5.2 机构树	24
第 3 章 建立运动模型及设置运动环境	25
3.1 建立常规连接	25
3.1.1 刚性连接	26
3.1.2 销钉连接	26
3.1.3 滑动杆连接	27

3.1.4	圆柱连接	28
3.1.5	平面连接	29
3.1.6	球连接	30
3.1.7	轴承连接	30
3.1.8	焊缝连接	31
3.1.9	一般连接	32
3.1.10	6DOF 连接	33
3.1.11	槽连接	34
3.2	建立特殊连接	35
3.2.1	凸轮连接	35
3.2.2	3D 接触连接	40
3.2.3	齿轮连接	41
3.2.4	传动带连接	46
3.3	调节连接方式	50
3.4	定义运动机构	51
3.5	拖动和快照	52
3.6	定义伺服电动机	55
3.7	设置运动环境	62
3.7.1	定义重力	63
3.7.2	定义执行电动机	64
3.7.3	定义弹簧	64
3.7.4	创建阻尼器	67
3.7.5	创建力/力矩	68
3.7.6	定义初始条件	71
3.8	定义质量属性	72
3.9	术语表	73
第4章	机构动力学分析	75
4.1	机构分析	75
4.1.1	位置分析	76
4.1.2	运动学分析	77
4.1.3	动态分析	78
4.1.4	静态分析	82
4.1.5	力平滑分析	84
4.2	分析结果	87
4.2.1	回放	87
4.2.2	测量	90
4.2.3	轨迹曲线	94
4.3	常规机构仿真	96
4.3.1	连杆机构	96

4.3.2	凸轮机构	102
4.3.3	齿轮机构	106
第5章	动画制作	111
5.1	动画制作概述	111
5.1.1	进入动画制作模块	111
5.1.2	动画制作菜单栏介绍	112
5.1.3	动画制作工具栏	112
5.2	定义动画	112
5.2.1	创建动画	113
5.2.2	动画显示	115
5.2.3	定义主体	115
5.3	动画制作	116
5.3.1	关键帧排序	116
5.3.2	事件	117
5.3.3	锁定主体	118
5.3.4	创建电动机	119
5.3.5	连接状态	119
5.3.6	定时视图	120
5.3.7	定时透明视图	120
5.3.8	定时显示	121
5.3.9	编辑和移除对象	121
5.4	生成动画	122
5.4.1	启动动画	122
5.4.2	回放	122
5.4.3	输出动画	122

第2篇 结构与热力学分析

第6章	结构分析概述	124
6.1	结构分析模块	125
6.1.1	结构分析模块简介	125
6.1.2	分析流程	126
6.2	结构分析工作台	134
6.3	菜单栏	134
6.3.1	“文件”菜单	134
6.3.2	“编辑”菜单	135
6.3.3	“插入”菜单	135
6.3.4	“属性”菜单	136
6.3.5	“AutoGEM”菜单	136
6.3.6	“分析”菜单	136

6.4 工具栏	137
第7章 建立结构分析模型	138
7.1 简化模型	138
7.2 创建载荷	138
7.2.1 创建载荷集	139
7.2.2 创建力/力矩载荷	140
7.2.3 创建压力载荷	143
7.2.4 创建承载载荷	148
7.2.5 创建重力载荷	150
7.2.6 创建离心载荷	152
7.2.7 创建温度载荷	154
7.3 创建约束	155
7.3.1 创建约束集	156
7.3.2 创建位移约束	157
7.3.3 创建平面约束	160
7.3.4 创建销钉约束	161
7.3.5 创建球约束	162
7.3.6 创建对称约束	164
7.4 理想化模型	167
7.4.1 创建壳	167
7.4.2 创建梁	172
7.4.3 创建弹簧	179
7.4.4 创建质量	182
7.5 创建连接	184
7.5.1 创建界面	185
7.5.2 创建焊接	186
7.5.3 创建刚性连接	189
7.5.4 创建受力连接	192
7.5.5 创建紧固件连接	193
7.6 材料	195
7.6.1 定义材料	195
7.6.2 创建材料方向	197
7.6.3 分配材料	198
7.7 创建模拟测量	200
7.8 网格划分	201
7.9 创建曲面区域和体积块区域	205
7.9.1 创建曲面区域	205
7.9.2 创建体积	207
7.10 显示控制	211

第 8 章 结构分析	213
8.1 分析的类型	213
8.2 建立结构分析	215
8.2.1 静态分析	215
8.2.2 模态分析	223
8.2.3 失稳分析	227
8.2.4 疲劳分析	229
8.2.5 预应力静态分析	237
8.2.6 预应力模态分析	241
8.3 动态分析	245
8.3.1 动态时域分析	245
8.3.2 动态频域分析	252
8.3.3 动态冲击分析	256
8.3.4 动态随机分析	258
8.4 设计研究	261
8.4.1 标准设计研究	261
8.4.2 敏感度设计研究	264
8.4.3 优化设计研究	270
8.5 电动机吊座的结构分析	274
8.5.1 创建模型	274
8.5.2 建立分析模型	277
8.5.3 结构分析	278
8.5.4 优化设计	285
8.5.5 升级零件	286
第 9 章 热力学分析	288
9.1 热力学分析概述	288
9.1.1 进入热力学分析	288
9.1.2 操作平台介绍	288
9.1.3 分析流程	289
9.2 创建热力载荷	290
9.2.1 创建载荷集	290
9.2.2 创建热力载荷	291
9.3 创建边界条件	293
9.3.1 创建边界条件集	293
9.3.2 创建规定温度	294
9.3.3 创建对流条件	296
9.3.4 创建热对称性	298
9.4 建立分析和研究	300
9.4.1 创建稳态热分析	300

9.4.2 创建瞬态热分析	303
9.5 CPU 散热片分析	307
9.5.1 建立简化模型	307
9.5.2 分配材质并创建曲面区域	309
9.5.3 施加热力载荷	310
9.5.4 设置边界条件	310
9.5.5 运行分析并获取结果	311

第 3 篇 综合实例

第 10 章 二级减速器仿真	313
10.1 二级减速器仿真概述	313
10.2 装配模型	314
10.2.1 建立骨架模型	314
10.2.2 装配传动轴	316
10.2.3 装配齿轮	318
10.3 建立运动模型	322
10.3.1 设置连接	322
10.3.2 检查机构	324
10.3.3 定义伺服电动机	325
10.4 运动分析	325
10.4.1 运动学分析	326
10.4.2 回放	326
10.4.3 生成分析测量结果	327
第 11 章 活塞连杆机构	329
11.1 运动仿真	329
11.1.1 组装活塞	329
11.1.2 机构设置	333
11.1.3 运动分析	334
11.2 活塞结构分析	338
11.2.1 建立分析模型	339
11.2.2 结构分析	341
11.2.3 热力学分析	347
11.3 优化设计	351
11.3.1 标准设计研究	351
11.3.2 敏感度设计研究	354
11.3.3 优化设计研究	355
11.3.4 升级模型	356



第1篇

机构动力学分析

本篇主要介绍 Pro / Engineer Wildfire 5.0 软件进行动力学和有限元分析的 3 种模式、动力学分析模块的介绍、建立运动模型及设置运动环境、动力学分析和动画制作等基础知识。

1.1 机构的工作模式

Pro/Engineer Wildfire 5.0 提供了 3 种工作模式，即 FEM (Finite Element Modeling) 模式、

第1章 动力学与有限元分析概述



内容导航

计算机辅助分析 (Computer Aided Engineering) 是结合计算机技术和工程分析技术的新兴技术。CAE 软件将采用计算力学、计算数学、机构动力学、数学仿真技术、工程管理学等诸多学科的传统理论和计算机相结合, 从而形成一种综合性知识密集型的信息产品。CAE 的核心技术为仿真模型运动的运动/动力学仿真技术 (即 Pro/Mechanism) 和有限元分析技术 (即 Pro/Mechanica)。

使用软件对设计模型进行运动仿真和有限元分析, 能够模拟在真实环境工作状况并对其进行分析和研究, 尽早发现设计中的缺陷, 并验证产品功能和性能的可靠性, 提前进行修改和优化, 从而减少制造中发现问题而付出昂贵的代价, 提高设计的可行性和缩短周期。

Pro/Engineer Wildfire 是集 CAD/CAM/CAE 于一体的大型三维设计软件, 其中 CAE 包含运动分析、结构分析和热力学分析 3 大部分, 功能强大, 主要表现在以下几个方面:

(1) 采用运动/动力学的理论和方法, 通过 CAD 绘出实体模型并设计出会运动的机构。对整体机构进行运动/动力学仿真, 分析出如位置、速度、加速度、作用力等具有重要的决定机构性能等设计参数的物理数据。

(2) 采用工程数值分析中的有限元技术, 分析、计算产品机构的应力、变形等物理参数, 分析物理量在空间和时间上的分布和变化规律, 完成机构的线性、非线性、静力、动力的计算分析。

(3) 在满足设计要求的前提下, 采用过程优化设计方法, 对产品的机构、设计参数、结构形状等参数进行优化设计, 使产品机构性能达到最佳状态。

(4) 采用结构强度与寿命评估的理论、方法、规范, 评估机构的安全性、可靠性和使用寿命。

1.1 机构的工作模式

Pro/Engineer Wildfire 提供了 3 种工作模式, 即 FEM (Finite Element Modeling) 模式、

集成模式和独立模式。

1.1.1 FEM 模式

FEM (Finite Element Modeling) 模式是对模型进行网格划分、边界约束、载荷、理想化等前置处理, 随后需要使用第三方软件进行求解, 如 ANSYS。它本身是没有求解功能的。在装配环境或零件环境, 选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】命令, 如图 1.1 所示, 系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框, 如图 1.2 所示, 选中【FEM 模式】复选框, 单击【确定】按钮, 就进入 FEM 分析模式。



图 1.1 【Mechanica】命令



图 1.2 “Mechanica 模型设置”对话框

1.1.2 集成模式

集成模式运行于 Pro/Engineer Wildfire (野火) 平台之上, 操作界面与 Pro/Engineer Wildfire 相同, 能够直接使用 Pro/Engineer Wildfire (野火) 的参数进行分析和优化。在装配环境或零件环境, 选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】命令, 系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框, 单击【确定】按钮, 进入 Pro/Engineer Wildfire 集成分析模式。

1.1.3 独立模式

独立模式不需要 Pro/Engineer Wildfire 平台的支持, 能够独立运行, 可导入第三方软件模型, 功能要比集成式强, 其操作及界面更接近 UNIX 环境, 较难掌握。需要安装 Pro/Engineer Mechanica 后使用程序组中的快捷方式或使用桌面快捷方式启动, 如图 1.3 所示。

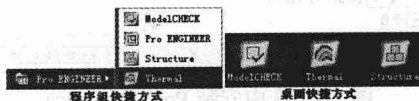


图 1.3 独立模式启动快捷方式

1.2 Pro/Engineer Mechanical 的安装

Pro/Engineer Wildfire 已经将 Pro/Engineer 和 Pro/Mechanica 放置于同一个安装盘中，在安装过程中，选中 Pro/Mechanica 下的“安装此功能”选项，如图 1.4 所示，系统自动将 Pro/Mechanica 进行安装。

Pro/Engineer Wildfire 可以在工作站或 PC 上执行，操作系统可为工作站的 UNIX 或 PC 上的 Windows XP、Windows 2000、Windows NT、Windows Me、Windows 98、Windows 95。若欲在 PC 上执行则硬件需求如下：

- (1) 主板：没有要求，任意品牌都可以。
- (2) CPU：Intel 的 Pentium3、Pentium4、Celeron 及 AMD 的 AthlonXP、Duron 都可以，Pro/Engineer 支持多 CPU 的运行。
- (3) 内存：256M 以上，若需要构建复杂曲面、大型组件、模具设计或产生 NC 加工程序，建议使用 1G 以上。
- (4) 显示卡：任意品牌都可以，Video RAM 在 32MB 以上。
- (5) 网卡：必须要有，牌子不限。
- (6) 硬盘：IDE 或 SCSI 都可以，Pro/Engineer Wildfire 5.0+Pro/Engineer Mechanical 系统软件安装约占 3.3GB，再留约 700MB 的虚拟内存，作为几何运算的数据暂存空间，因此需保留 4GB 左右的硬盘空间予 Pro/Engineer Wildfire 5.0 做系统安装。
- (7) 屏幕：没有特定要求，建议在 17in 以上，分辨率在 1024×768 以上最佳。
- (8) 三键鼠标及键盘：鼠标中间为滚轮式或传统按键式都可以。

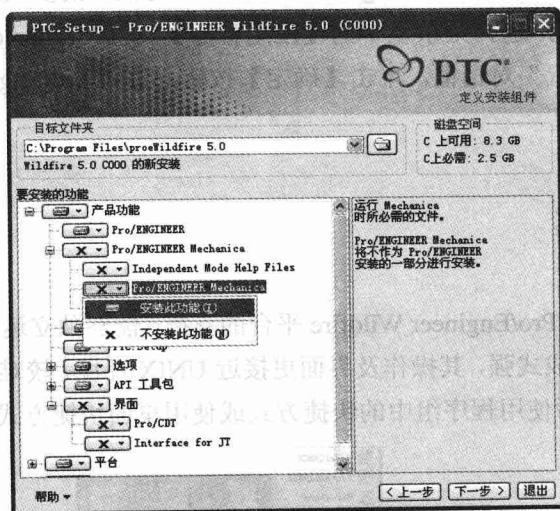


图 1.4 选中安装 Pro/Mechanica



注意

Pro/Engineer Wildfire 安装完后,默认工作目录指向不合理,需要进行修改。右键单击桌面上的 Pro/Engineer 图标,在右键菜单中选择【属性】命令,在“属性”对话框中起始位置文本框中键入需要设置的默认工作目录,如图 1.5 所示,单击【确定】按钮,默认工作目录修改完成。

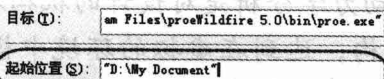


图 1.5 “属性”对话框

第2章 动力学分析



内容导航

动力学分析是对设计的机构在计算机上虚拟所设计的机构,达到在虚拟的环境中模拟现实机构运动的目的。对于提高设计效率、降低成本、缩短设计周期有很大的作用。Pro/Engineer Wildfire 5.0 提供了专门进行运动学和动力学分析功能的“机构模块”,即 Mechanism 模块。使用该模块,可实现对机构的定义,使机构中的零件移动及对机构的运动进行分析研究。

2.1 机构模块介绍

2.1.1 机构模块简介

在 Pro/Engineer Wildfire 5.0 中,运动仿真和动态分析功能集成于机构模块中,包括机械设计和动态分析两方面的分析功能。运动仿真是使用机械设计功能来创建机构,定义特定运动副,创建使其能够运动的伺服电动机,实现机构的运动模拟。并可以观察并记录分析,可以进行测量位置、速度、加速度等运动特征,可以通过图形直观地显示这些测量值。也可以创建轨迹曲线和运动包络,用物理方法描述运动。动态分析是使用机械动态功能在机构上定义重力、力和力矩、弹簧、阻尼等特征。可以对机构设置材料、密度等基本属性特征,使其更加接近现实中的机构,达到真实模拟现实的目的。

如果对机构进行运动仿真分析,不涉及质量、重力等基本属性参数,只需要使用机械设计分析就能实现运动分析。如果还需要更进一步分析机构在受到重力、外力和力矩、阻尼等参数影响下的仿真运动,必须使用机械设计功能进行静态分析,机械动态进行动态分析。

2.1.2 运动学分析流程

机构运动学仅讨论与刚体运动本身有关的因素,而不讨论引起这些运动的因素(如

重力、外力和摩擦力等)。因此,运动学属空间和时间等基本概念及其导致的速度和加速度。运动仿真就是机构运动学分析,它是不考虑作用于机构系统上的力的情况下分析机构运动,并对主体位置、速度和加速度进行测量。运动仿真的分析流程,如图 2.1 所示。



图 2.1 运动学分析流程

1. 创建模型

建立模型是设计运动仿真的基础步骤,只有机构模型建立正确合理,机构的模拟才能够顺利进行。在机构运动仿真功能中,创建模型主要包括定义机构中的主体、建立零件之间的连接、设置连接轴的属性,根据设计需要,添加凸轮、槽轮、齿轮副等特殊连接。

2. 检查模型

在装配模型中,拖动可以移动的零部件,观察装配连接情况。

3. 添加模型化要素

在创建完模型以后,在机构添加伺服电动机等运动分析要素。

4. 准备进行分析

定义初始位置,建立测量方式。

5. 创建分析模型

创建分析模型就是对所创建的机构模型进行运动学分析。

6. 获取结果

通过前面对机构模型的建立以及进行分析,可以使用回放功能对分析结果进行回放,进行零件之间的干涉检查,观察测量结果,获取轨迹曲线和运动包络线,有利于设计者了解机构的设计合理性、可行性等工程分析。

2.1.3 动力学分析流程

机构动力学是运动学和力学的统称。力学是处理作用在物体上的力。此时,重力的影响就会被加以考虑。而机构动力学主要是讨论机构上作用的所有力,包括重力、摩擦力和其他外力。动态分析就是机构动力学分析,即根据实际受力情况对机构添加多个建模图元,包括弹簧、阻尼器、力/力矩负荷和重力。可根据电动机所施加的力及其位置、速度和加速度来定义电动机。不但可以分析重复组件和运动,而且可以创建测量,以监测连接上的力以及点、定点和连接轴的速度或加速度。其分析流程与运动仿真分析流程