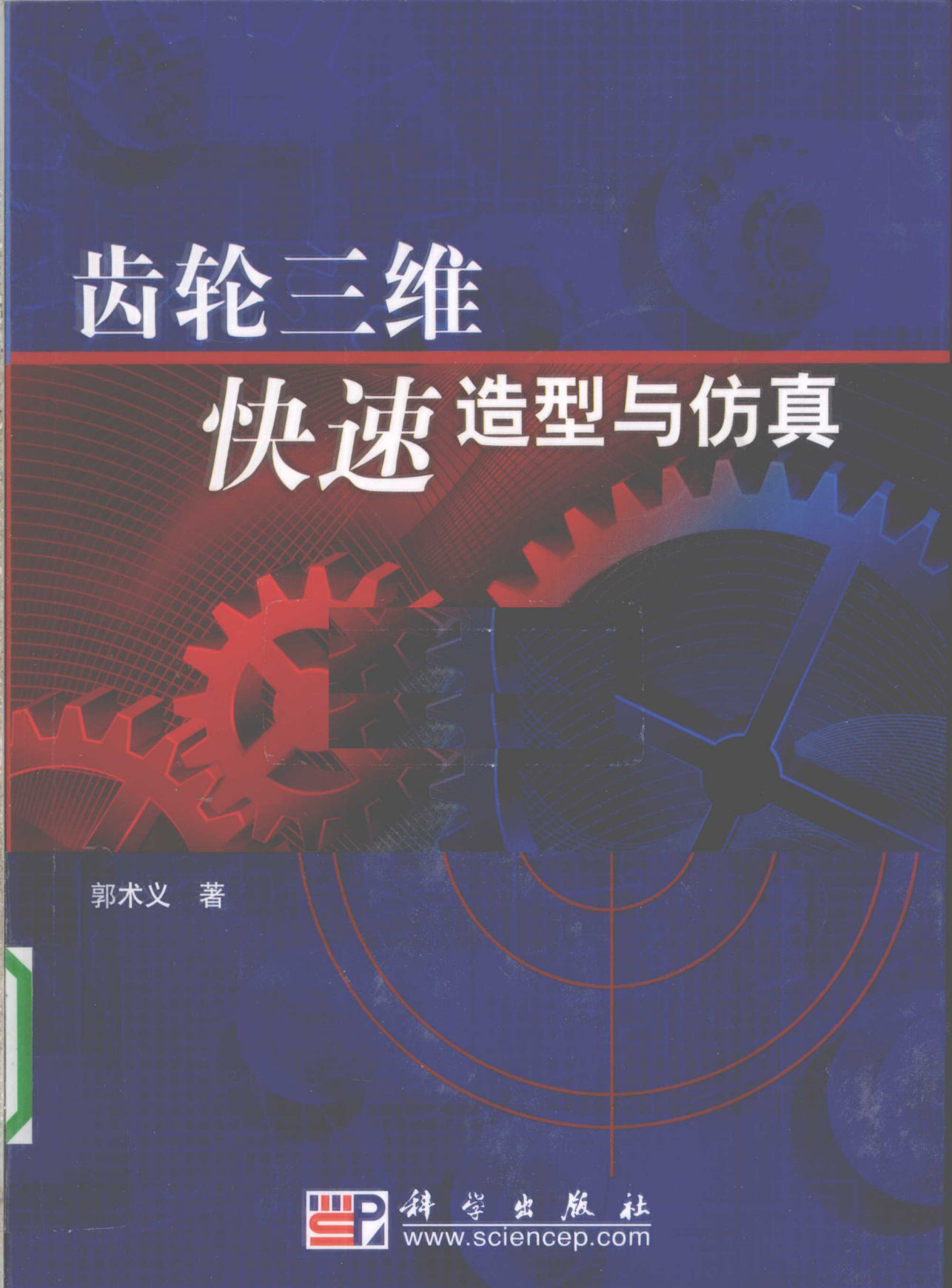




齿轮三维

快速造型与仿真

郭术义 著



科学出版社

www.sciencep.com

齿轮三维快速造型与仿真

郭术义 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统讲述了利用 Pro/E、ADAMS 和 UG 等软件进行直齿轮、斜齿轮、锥齿轮、蜗轮蜗杆快速建模以及运动仿真过程,并通过具体实例——高炉炉顶齿轮传动系统,阐述了齿轮三维快速建模的应用,为研究其他复杂机械系统的虚拟样机技术提供了参考。特别是书中提供了参数化的建模方法,即只要建立一个齿轮模型,其他的同类齿轮仅需要输入对应部分参数即可建模,大大简化了齿轮建模过程,杜绝了齿轮建模过程中出现的错误,节省了时间,提高了齿轮建模效率。

本书着眼于 Pro/E、ADAMS 和 UG 等虚拟样机软件的最新科技成果,力求做到先进性。本书系统阐述直齿轮、斜齿轮、锥齿轮和蜗轮蜗杆在 Pro/E 的建模过程和参数化建模、虚拟运动仿真过程,独立成章,便于学习和理解。

本书可作为从事机械、材料及三维虚拟样机技术研究的科技人员,以及相关企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

齿轮三维快速造型与仿真/郭术义著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-028785-4

I. ①齿… II. ①郭… III. ①齿轮-成型-技术②齿轮-计算机仿真
IV. ①TH132.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 166291 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 9 月第一次印刷 印张:12 1/4

印数:1-1500 字数:270 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62132124(VA03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

Pro/E(Pro/Engineer 软件)是美国参数技术公司(Parametric Technology Corporation, 简称 PTC)的重要产品,在目前的三维造型软件领域中占有重要地位,它作为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准而得到了业界的认可和推广,是现今最成功的 CAD/CAE/CAM 软件之一。

ADAMS 软件是美国 MDI 公司(Mechanical Dynamics Inc.)开发的虚拟样机分析软件。目前,ADAMS 已经被全世界各行各业的数百家主要制造商采用,占据了机械系统动态仿真分析软件国际市场份额的 51%。ADAMS 软件使用交互式图形环境和零件库、约束库、力库,创建完全参数化的机械系统几何模型而建立系统动力学方程,对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析,可用于预测机械系统的性能、运动范围、碰撞检测、峰值载荷以及计算有限元的输入载荷等。

UG(Unigraphics)是 Unigraphics Solution 公司推出的集 CAD/CAE/CAM 为一体的三维机械设计平台,广泛应用于航空、航天、汽车和造船等领域。UG 是一个全三维、双精度的造型系统,能够精确地描述任何几何形体,用户通过这些形体的组合,就可以对产品进行设计、分析。

齿轮传动在各个行业中应用广泛,但 Pro/E、ADAMS 和 UG 等软件并没有提供相应的模块。尽管通过复杂的造型设计可以生成齿轮,但变化齿形、齿数、模数和变位系数等参数后,又需进行复杂的设计计算和造型形状判断,工作量繁杂,因此齿轮的三维快速造型设计成为造型设计中望而却步的工作。

为促进复杂机械系统虚拟样机技术、齿轮的三维快速造型以及运动仿真技术的发展,我们撰写了此书。本书着眼于 Pro/E、ADAMS 和 UG 等虚拟技术软件的最新科技成果,力求做到先进性。本书主要就直齿轮、斜齿轮、蜗轮蜗杆、锥齿轮的三维快速成型及虚拟运动仿真技术进行

了深入的探讨,并通过高炉溜槽传动装置的虚拟建模、运动分析为例探索了复杂机械系统虚拟样机技术。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

作者联系地址为 E-mail:yishuguo@163.com

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 机械系统仿真技术概述	1
1.1.1 机械系统的统一表达模型	2
1.1.2 机械系统运动学分析	2
1.1.3 机械系统动力学分析	2
1.2 机械系统动态仿真中的关键技术	3
1.2.1 三维建模	3
1.2.2 有限元分析技术	3
1.2.3 最优化技术	4
1.3 机械系统动态仿真步骤	4
第二章 直齿轮参数化建模	5
2.1 引言	5
2.1.1 齿轮参数	5
2.1.2 齿轮方程	6
2.2 齿轮的创建	7
2.2.1 齿轮的自动化设计流程图	7
2.2.2 新建零件	7
2.2.3 设置齿轮参数	9
2.2.4 绘制齿轮基本圆	9
2.2.5 创建齿轮关系式,确定齿轮尺寸	10
2.2.6 创建基础实体	14
2.2.7 创建齿槽	14
2.2.8 旋转复制齿槽	15
2.2.9 阵列齿槽	16
2.2.10 创建齿轮辐板	17
2.2.11 创建拔模特征	18

2.2.12 创建孔	19
2.2.13 旋转复制孔	20
2.2.14 阵列孔	20
2.2.15 创建轮轴	21
2.2.16 创建轮孔	21
2.3 齿轮的参数化	22
2.3.1 编辑程序	22
2.3.2 齿轮参数关系程序	23
2.3.3 参数化实例	24
2.3.4 小结	24
第三章 直齿轮运动学仿真分析	25
3.1 设计过程	25
3.2 零件装配	25
3.2.1 新建组件文件	25
3.2.2 创建基准特征	25
3.2.3 连接元件	27
3.2.4 装配干涉分析	28
3.2.5 定义齿轮副	28
3.3 创建分析	30
3.3.1 添加驱动器	30
3.3.2 创建运动分析	30
3.3.3 结构回放并制作成媒体播放文件	30
3.4 直齿轮对角速度分析	31
3.5 加速度和位置分析	33
第四章 斜齿轮参数化建模	35
4.1 设计流程	35
4.2 圆柱斜齿轮的设计	36
4.2.1 新建零件	36
4.2.2 齿轮参数设定	36
4.2.3 齿轮基本圆绘制	37
4.2.4 创建齿轮关系式,确定齿轮尺寸	38
4.2.5 创建齿轮齿廓线	39
4.2.6 创建一条齿廓曲线	42

4.2.7 复制齿廓曲线	42
4.2.8 创建第一个齿	44
4.2.9 复制第一个齿	47
4.2.10 阵列齿	47
4.2.11 创建齿轮实体并修饰	48
4.3 参数化齿轮	55
4.3.1 参数化程序	55
4.3.2 创建第二齿轮实体	56
4.4 保存退出	57
第五章 斜齿轮啮合运动学仿真	58
5.1 设计过程	58
5.2 仿真设计步骤	58
5.2.1 新建组件文件	58
5.2.2 创建基准特征	58
5.2.3 连接元件	59
5.2.4 定义齿轮副	60
5.2.5 添加驱动	61
5.2.6 分析定义	62
5.2.7 结果回放并制成媒体播放文件	62
5.2.8 斜齿轮角速度结果分析	63
5.2.9 斜齿轮速度及加速度分析	65
第六章 锥齿轮建模与参数化	67
6.1 设计过程	67
6.2 锥齿轮设计过程	67
6.2.1 新建零件文件	67
6.2.2 设置直齿圆柱锥齿轮参数和关系式	68
6.2.3 创建锥齿轮几何曲线	69
6.2.4 创建大端齿轮基本圆	70
6.2.5 创建小端齿轮基本圆	72
6.2.6 创建大端齿轮渐开线	73
6.2.7 创建小端齿轮渐开线	75
6.2.8 镜像渐开线	76
6.2.9 创建第 1 个轮齿	77

6.2.10 复制和阵列轮齿	77
6.2.11 创建锥体	78
6.3 锥齿轮的参数化过程	79
第七章 锥齿轮的装配和运动仿真分析	80
7.1 设计思路	80
7.2 锥齿轮装配过程	80
7.2.1 新建组建文件	80
7.2.2 创建基准特征	80
7.2.3 连接元件	82
7.3 PRO/E 中锥齿轮运动仿真分析	82
7.3.1 定义齿轮副	82
7.3.2 添加驱动器	83
7.3.3 创建运动分析	83
7.3.4 结果回放并制作成多媒体播放文件	84
7.3.5 锥齿轮仿真分析	84
7.4 ADAMS 中锥齿轮运动仿真分析	87
7.4.1 利用 PRO/E 中的 MECH/Pro 将锥齿轮导入 ADAMS	87
7.4.2 ADAMS 分析锥齿轮运动	89
7.4.3 ADAMS 中数据测量	91
第八章 蜗杆的建模与参数化	94
8.1 设计过程	94
8.2 蜗杆螺旋线实体的参数化建模	94
8.2.1 蜗杆螺旋部分的实体建模	94
8.2.2 蜗杆螺旋参数化建模	101
8.3 蜗杆杆件实体建模	102
8.3.1 蜗杆杆件左部分的实体建模	102
8.3.2 蜗杆杆件右部分的实体建模	103
8.4 蜗杆组件的组合实体建模	104
第九章 蜗轮的建模与参数化	105
9.1 蜗轮建模过程	105
9.2 蜗轮螺旋线实体的参数化建模	105
9.2.1 蜗轮螺旋部分的实体建模	105
9.2.2 蜗轮参数	119

9.3 蜗轮内件实体建模	120
9.4 蜗轮组件实体建模	122
第十章 蜗轮蜗杆的装配与组件参数化	124
10.1 蜗轮蜗杆装配	124
10.2 蜗轮蜗杆的参数化过程	125
10.2.1 蜗杆的参数化	125
10.2.2 蜗轮齿数参数化	126
10.2.3 蜗轮其他内容参数化	127
第十一章 蜗轮蜗杆的运动仿真分析	130
11.1 蜗轮蜗杆运动仿真过程	130
11.2 蜗轮蜗杆运动仿真步骤	130
11.2.1 蜗轮蜗杆装配	130
11.2.2 定义齿轮副	131
11.2.3 添加驱动器	132
11.2.4 创建运动分析	134
11.3 蜗轮蜗杆运动分析结果	136
第十二章 基于 UG 的齿轮、蜗轮蜗杆建模、运动仿真	137
12.1 渐开线的绘制	137
12.1.1 关系表达式	137
12.1.2 建立渐开线	139
12.2 渐开线齿轮建模	140
12.2.1 直齿轮建模	140
12.2.2 斜齿轮建模	145
12.2.3 蜗杆建模	148
12.2.4 蜗轮建模	150
12.3 齿轮装配	151
12.3.1 直齿轮啮合	151
12.3.2 斜齿轮啮合	153
12.3.3 蜗轮蜗杆啮合	155
12.3.4 锥齿轮啮合	157
12.4 齿轮运动仿真	158

第十三章 应用实例	161
13.1 溜槽传动装置	161
13.1.1 溜槽传动装置简介	161
13.1.2 溜槽传动装置虚拟样机技术	162
13.2 零部件的建模	162
13.2.1 圆台的建模	162
13.2.2 溜槽的建模	163
13.2.3 蜗轮轴支撑架的建模	165
13.2.4 溜槽支架的建模	166
13.3 零部件的装配	167
13.3.1 圆台支撑系统装配	167
13.3.2 蜗轮轴和溜槽的装配	169
13.3.3 蜗杆轴和直齿轮装配	170
13.4 系统总体装配	171
13.4.1 机械系统的自由度	171
13.4.2 计算机械系统自由度时注意的问题	172
13.4.3 计算自由度	172
13.4.4 最终装配	172
13.5 模型驱动及运动副条件	173
13.6 仿真结果及分析	176
13.7 其他条件下的分析	178
参考文献	183

第一章 绪 论

随着科技的发展,计算机辅助设计技术越来越广泛地应用在各个设计领域。现在,它已经突破了二维图纸电子化的框架,转向以三维实体建模、动力学模拟仿真和有限元分析为主线的机械系统动态仿真技术。其研究范围主要是机械系统运动学和动力学分析,核心是利用计算机辅助分析技术进行机械系统的运动学和动力学分析,以确定系统及其各构件在任意时刻的位置、速度和加速度,同时,通过求解代数方程组确定引起系统其各构件运动所需的作用力和反作用力。动态仿真技术一出现,就受到了人们的普遍重视和关注,并且相继出现了许多基于动态仿真技术的商业软件,较有影响的有美国参数技术公司 PTC(Parametric Technology Corporation)的 Pro/ENGINEER(以下简称 Pro/E)、美国机械动力公司 MDI(Mechanical Dynamics Inc.)的 ADAMS(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems)、ADSI 的 DADS、德国 INTEC GmbH 公司的 SIMPACK,其他的还有 Working Module、I-DEAS、Phoenix、ANSYS 等。

Pro/E 是 PTC 开发的大型 CAD/CAM/CAE 软件。该软件先进的设计理念体现了机械设计自动化(Mechanical Design Automation, MDA)系列软件的最新发展方向,成为提供工业解决方案的有力工具,因而被广泛应用于机械、电子、航空、航天、军工、纺织等行业。用 Pro/E 设计的每一实体模型均有对应的主要设计步骤及尺寸参数列表,通过修改此列表即可根据需要对设计内容进行全面修改,而该列表的修改可通过运行 Pro/E 中的 Program 程序来实现,即通过对 Program 程序的二次开发可实现零件的参数化设计。一个(或一类)零件可用一些概念化的特征参数来控制零件的结构尺寸,从而实现精确、快速地设计。

1.1 机械系统仿真技术概述

众所周知,任何一个机械系统都可以视为是由多个相互连接、彼此能够相对运动的构件的组合,机械系统动态仿真技术的核心是利用计算机辅助分析技术进行机械系统的运动学和动力学分析仿真,以确定系统及其各构件在任意时刻的位置、速度和加速度,进而确定引起系统及其各构件运动所需的作用力。

1.1.1 机械系统的统一表达模型

在进行机械系统动态仿真中需建立系统的统一表达模型,以记录各种各样的机构完整信息。图 1.1 给出了机械系统的统一模型。其中结构模型表达了系统中运动副和构件之间的拓扑关系和属性;运动模型表达了与运动副相对应的运动量;特性及变量间的约束关系动力模型表达了构件上的各种载荷、属性及约束关系。

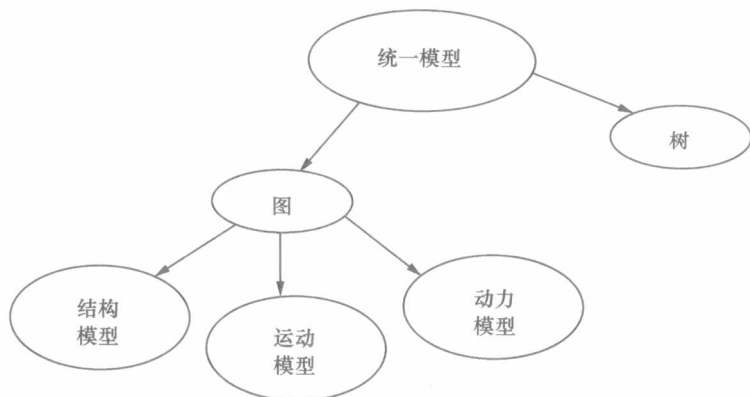


图 1.1 机械系统统一模型

1.1.2 机械系统运动学分析

机械系统运动分析应完成方程的自动生成;降维且方程易于求解;利用动力学方程的自动生成与求解;运动过程及运动特性的图形显示等。这些目标主要取决于机械系统拓扑结构的数学描述及机械系统中的各机构结构单元的划分方式,其分析方程有统一形式的位置方程、速度方程和加速度方程。

1.1.3 机械系统动力学分析

机械系统动力学分析应完成动力学分析方程的自动生成,降维且易于求解,其分析方程的一般形式为

$$[\alpha][R] + [\beta][F + F^*] + [\gamma][M + M^*] = 0 \quad (1.1)$$

式中, $[R]$ 为待求支反力矩阵; $[F + F^*]$ 为已知外力和惯性力矩阵; $[M + M^*]$ 为已知外力矩和惯性力矩矩阵。

方程的生成在于构造系数矩阵 $[\alpha]$ 、 $[\beta]$ 和 $[\gamma]$, 而方程的维数取决于机械系统中各构件结构单元的划分方式和各构件的拓扑结构特征。另外, 由虚功原理也可方便地导出动力学方程的另一表达形式, 即

$$[A]^T[R] + [B]^T[F + F^*] + [C][M + M^*] = 0 \quad (1.2)$$

式中,系数矩阵 $[A]$ 、 $[B]$ 和 $[C]$ 的元素分别为

$$a_{ij} = \frac{\partial r_{Ri}}{\partial q_j} \quad b_{ij} = \frac{\partial r_{Fi}}{\partial q_j} \quad c_{ij} = \frac{\partial \theta_i}{\partial q_j}$$

式(1.2)中的维数亦取决于各机械系统中各构件结构单元的划分,式(1.2)的自动生成在于确定 a_{ij} 、 b_{ij} 和 c_{ij} ,在分析过程中主要采用速度、加速度的线性叠加。

1.2 机械系统动态仿真中的关键技术

在进行机械系统动态仿真过程中,除运动学和动力学仿真技术外,还包含各种相关技术。图 1.2 描述了机械系统动态仿真中的相关技术。

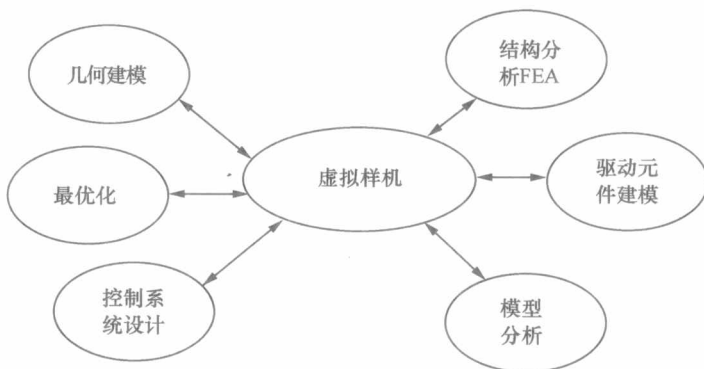


图 1.2 系统动态仿真相关技术

1.2.1 三维建模

机械系统的分析与仿真,首先要解决的是机械系统的几何建模问题。考虑到整个系统的运动特点,面向机械系统的几何模型应该构造便利、信息量精练、消隐快、适应性强、修改灵活和管理方便。目前,主要采用的是机械系统装配结构的层次实体几何表示方法(HDSG),该方法采用形体分割和积木式拼装思想设计,面向机械系统的几何模型。

1.2.2 有限元分析技术

利用机械系统的运动学和动力学分析结果,确定进行机械系统有限元分析所需的外力和边界条件,或者利用有限元分析对机械系统中的各构件应力、应变和强度进行进一步的分析。

1.2.3 最优化技术

运用机械系统动态仿真分析技术进行机械系统优化设计和分析,确定最佳设计结构和参数值,使机械系统获得最佳的综合性能。

1.3 机械系统动态仿真步骤

机械系统动态仿真步骤见图 1.3。

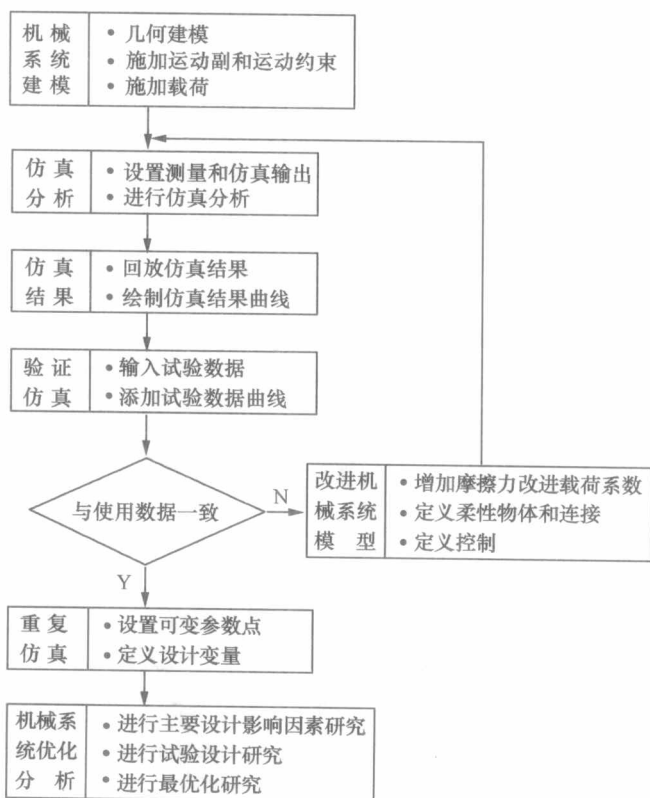


图 1.3 机械系统仿真优化流程图

第二章 直齿轮参数化建模

2.1 引言

Pro/E 软件拥有基于特征的参数化实体造型能力,其中 Program 模块是 Pro/E 自动化零件与组合件设计的一项重要工具,使用者可以经由非常简易且高级的程序语言来控制特征的出现与否、尺寸的大小、零件的出现与否、零件的个数等。当零件或组合件的 Program 设计完成后,往后读取此零件或组合件时,其各种变化情况即可利用问答式的方式得到不同的形状,以实现产品设计的要求。

齿轮传动在机械行业中应用广泛,但 Pro/E 软件没有相应的模块。通过复杂的造型设计虽可以生成齿轮,但变化齿数、模数和变位系数后,又需进行复杂的设计计算和造型形状判断,工作量很大,齿轮的三维造型设计成为造型设计中望而却步的工作。本章基于渐开线齿轮的生成原理,结合 Program 程序,研究了变位直齿圆柱齿轮实体造型的自动化设计程序,用户只要输入齿轮的设计参数(齿数 z_1 、 z_2 ,模数 m ,变位系数 x_1 、 x_2 ,齿槽圆角半径、齿宽、轴孔直径、键槽高度和宽度)就可以快速地生成齿轮实体,使用简单方便,可广泛地应用于机械产品的三维造型设计。

2.1.1 齿轮参数

齿轮的外型是一个渐开线(involute),而渐开线的几何意义是一个点绕着一个圆旋转时,点与圆心的距离逐渐加大,如在图 2.1 中,点 A 沿着基圆往右走,而渐开线的相对应点则与圆心 O 的距离逐渐加大,因此 A 走到 D 点时,渐开线走到 C 点。所以,我们可以利用 Variable Section Sweep 的做法,使一条直线沿着圆弧线做 Sweep,而在 Sweep 过程中,以渐开线数学式控制直线至圆心的距离。

齿轮的名词定义见图 2.2,而渐开线的数学式可用以下参数式来表示

$$\left. \begin{aligned} x &= r_b(\cos\epsilon + \epsilon\sin\epsilon) \\ y &= r_b(\sin\epsilon + \epsilon\cos\epsilon) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

式中, x 、 y ——渐开线上的点坐标;

r_b ——基圆半径;

ϵ ——Roll 角。

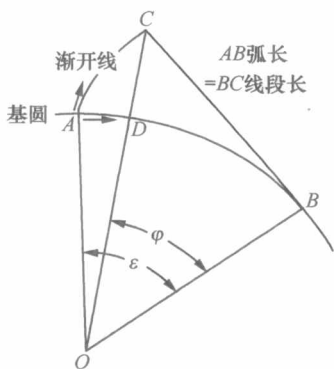


图 2.1 渐开线轨迹

ε: Roll 角; φ: 压力角

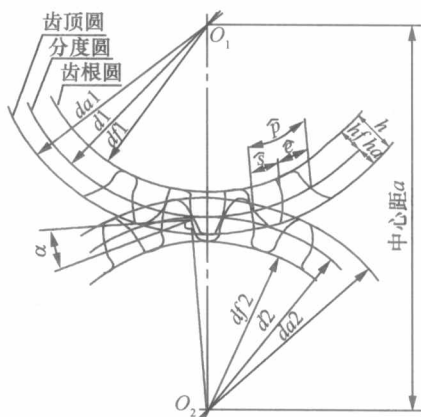


图 2.2 齿轮名词定义

若以多项式表示则为

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ &= r_b \sqrt{1 + \epsilon^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.1.2 齿轮方程

设计渐开线时,已知条件为齿数、压力角及模数,式(2.2)中的基圆半径 r_b 及 Roll 角 ϵ 可利用下列公式求得。

1) 齿轮分度圆半径 r_p

$$r_p = \text{齿数} \times \text{模数} \quad (2.3)$$

(模数为分度圆直径与齿数的比值,模数越大,齿形越大)

2) 齿轮基圆半径 r_b

$$r_b = \text{分度圆半径} \times \cos(\text{压力角}) \quad (2.4)$$

3) 齿轮齿距 p_c

$$p_c = \pi \times \text{模数} \quad (2.5)$$

4) 在分度圆上齿厚 t_p

$$t_p = \frac{p_c}{2} \quad (2.6)$$

5) 齿顶圆半径 r_a

$$r_a = r_p + 1m \quad (2.7)$$

6) 齿根圆半径 r_d

$$r_d = r_p - b = r_p - 1.157m \quad (2.8)$$

7) 基圆上齿厚 t_b

$$t_b = 2 \times \text{基圆半径} \times \left[\frac{\text{分度圆上齿厚}}{2 \times \text{分度圆半径}} + \text{inv}(\varphi) \right]$$