

常用零部件的 **Solidworks** 三维建模与仿真

郭术义 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

常用零部件的 SolidWorks 三维建模与仿真

郭术义 著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统讲述了用 SolidWorks 软件进行直齿轮、内齿轮、蜗轮蜗杆、减速器、齿轮油泵、手压阀和千斤顶等常用零部件建模以及运动仿真过程,并通过具体实例——二级齿轮减速器,阐述了齿轮三维建模的应用,为研究其它复杂机械系统的虚拟样机技术提供了参考。

本书着眼于 SolidWorks 虚拟样机软件的最新科技成果,力求做到先进性。在结构方面,齿轮、减速器、齿轮油泵、手压阀和千斤顶在 SolidWorks 的建模过程、虚拟运动仿真过程单独成章,便于学习、理解。

本书可作为从事机械、材料、计算机及相关专业的从事三维虚拟样机技术研究的高校教师和研究生用书,也可供科研机构、企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

常用零部件的 SolidWorks 三维建模与仿真/郭术义
著. —北京:国防工业出版社,2013. 12
ISBN 978-7-118-09257-8
I. ①常... II. ①郭... III. ①机械元件—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TH13-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 290345 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 12 $\frac{1}{4}$ 字数 150 千字

2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

大型复杂机械系统的可靠性研究一直是机械系统研究的重点问题。传统的被动式设计方法浪费大量的人力、物力、财力。虚拟样机技术为机械系统的可靠性研究提供了良好的主动式设计平台。在国外,各大公司认识到虚拟样机技术的科学性、先进性,普遍采用该技术为大型机械系统的可靠性设计提供数据支持。虚拟样机技术中一个比较重要的环节是机械系统的三维快速建模。一般的建模过程非常费时费力,且建模过程由于软件的复杂性非常容易出错,建模效率低下,无法满足现代虚拟样机技术快速发展要求。

SolidWorks 软件法国达索(Dassault Systemes)公司下的子公司 SolidWorks 公司的实体模型设计系统,在目前的三维造型软件领域中占有着非常重要的地位。基于 Windows 风格的 SolidWorks 软件具有功能卓越、易学易用和技术创新三大特点,使得 SolidWorks 成为国际领先的、世界主流的三维机械 CAD 解决方案,是应用最广泛、最成功的三维 CAD/CAE/CAM 软件之一。

齿轮系列、蜗轮蜗杆、减速器、齿轮油泵、手压阀和千斤顶是目前机械行业应用最广的零部件。为解决这类零部件设计周期长,设计成本高和传动质量较低等问题,本书利用 SolidWorks 软件的参数化技术、优化设计技术和虚拟样机技术等现代设计手段进行方案的设计,大大缩短了设计时间,提高了设计效率。

为促进复杂机械系统虚拟样机技术的发展,齿轮的三维快速造型以及运动仿真技术,从而编写了此书。本书就齿轮系列、蜗轮蜗杆、减速器、齿轮油泵、手压阀和千斤顶三维快速成型及虚拟运动仿真技术进行了深入的探讨。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

本书得到了“河南省高等学校青年骨干教师资助计划”支持,在此表示感谢!

作者联系方式为 E-mail:yishuguo@163.com。

作者

2013.10

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 系统仿真建模背景	1
1.2 常用零部件	2
1.3 SolidWorks 软件与常用三维 CAD 软件	4
第二章 齿 轮 建 模	8
2.1 齿轮造型原理	8
2.2 VBA 造型形成齿廓线	8
2.3 外齿轮建模	11
2.4 圆锥齿轮建模	14
2.5 蜗轮蜗杆建模	19
2.5.1 蜗杆建模	19
2.5.2 蜗轮建模	24
2.6 周转轮系零件建模	29
2.6.1 内齿圈建模	29
2.6.2 行星架建模	30
2.6.3 中心轮和行星轮建模	32
2.7 齿轮虚拟装配	33
2.7.1 虚拟装配的概念	33
2.7.2 虚拟装配设计	33
2.7.3 齿轮啮合条件	34

2.7.4	齿轮装配方法	34
2.7.5	齿轮干涉检查	36
2.8	齿轮周转轮系装配	37
2.8.1	齿轮工作原理	37
2.8.2	装配方法	37
2.8.3	爆炸图制作	40
2.9	蜗轮蜗杆装配	41
2.9.1	工作性质	41
2.9.2	装配方法	42
2.9.3	干涉检查	43
2.10	齿轮运动仿真分析	45
2.10.1	碰撞接触状态仿真	46
2.10.2	耦合运动仿真	51
2.11	周转轮系运动仿真	53
2.11.1	一个自由度行星轮系 3D 碰撞运动仿真	53
2.11.2	两个自由度差动轮系 3D 碰撞运动仿真	55
2.11.3	两个自由度差动轮系耦合运动仿真	57
2.12	制作仿真动画	61
第三章 一级齿轮减速器建模与仿真		62
3.1	一级齿轮减速器的工作原理	62
3.2	一级齿轮减速器的轴的建模	62
3.2.1	轴的设计思路与实现方法	62
3.2.2	轴的设计过程	62
3.3	迈迪三维设计工具集	68
3.4	齿轮建模	73
3.5	其它零件的建模	73
3.6	减速器的虚拟装配	76
3.6.1	轴与大齿轮及套筒的装配	76

3.6.2	轴与大齿轮及套筒装配体的干涉检查	78
3.6.3	减速器整机的装配	79
3.7	减速器仿真分析	82
3.7.1	碰撞接触仿真分析	82
3.7.2	耦合运动仿真分析	85
第四章	二级齿轮减速器建模与仿真	88
4.1	减速器基座的建模	88
4.1.1	基座轮廓的生成	88
4.1.2	轴承座的生成	91
4.1.3	螺孔、定位销孔的生成	94
4.1.4	最终模型	97
4.2	其它零件的建模	98
4.3	虚拟装配过程	104
4.3.1	低速轴装配	104
4.3.2	中速轴装配	108
4.3.3	高速轴装配	109
4.3.4	整机装配	109
4.3.5	爆炸视图	110
4.3.6	干涉检查	110
4.4	仿真分析	112
4.4.1	动画生成	112
4.4.2	仿真分析	112
第五章	齿轮油泵建模与仿真	116
5.1	齿轮油泵的工作原理	116
5.2	齿轮油泵的建模	116
5.2.1	齿轮的建模	116
5.2.2	阶梯轴的建模	117

5.2.3	阶梯轴键槽的建模	118
5.2.4	阶梯轴倒角	118
5.2.5	压紧螺母的建模	120
5.3	齿轮油泵中标准件建模	125
5.3.1	螺钉的建模	125
5.3.2	销的建模	126
5.4	齿轮油泵的虚拟装配	127
5.4.1	装配方法	127
5.4.2	装配过程	127
5.4.3	干涉检查	129
5.4.4	爆炸视图	130
5.5	齿轮油泵的运动仿真	131
5.5.1	三维碰撞接触状态模拟	131
5.5.2	耦合运动模拟分析	132
第六章	手压阀建模与仿真	135
6.1	手压阀的工作原理	135
6.2	手压阀的建模	136
6.2.1	手压阀阀体的建模	136
6.2.2	手压阀弹簧的建模	138
6.2.3	手压阀螺母的建模	140
6.2.4	手压阀其它零件的建模	143
6.3	手压阀的装配	145
6.3.1	手压阀装配	145
6.3.2	手压阀干涉检查	146
6.3.3	手压阀爆炸图	146
6.4	手压阀的仿真分析	147
6.4.1	手压阀仿真参数设置	147
6.4.2	手压阀仿真结果	148

第七章 千斤顶建模与仿真	154
7.1 千斤顶的工作原理	154
7.2 千斤顶的建模	154
7.2.1 绞杠的建模	154
7.2.2 螺套的建模	156
7.2.3 底座的建模	159
7.2.4 螺杆的建模	161
7.2.5 顶垫的建模	164
7.2.6 定位螺栓的建模	165
7.3 千斤顶的虚拟装配	165
7.3.1 装配过程	165
7.3.2 千斤顶干涉检查	169
7.3.3 千斤顶爆炸视图	170
7.4 千斤顶的仿真分析	170
7.4.1 仿真设置	170
7.4.2 仿真结果	173
附录	178
参考文献	183

第一章 绪 论

1.1 系统仿真建模背景

近年来建模、虚拟装配与仿真技术飞速发展,分布式交互仿真技术向人们展示了建模与仿真技术对复杂系统的设计与分析带来的巨大帮助,这些复杂系统完全可以与生产系统的复杂性相媲美。

虚拟制造和虚拟产品设计技术已成为先进制造技术的重要研究方向。虚拟产品设计技术属于以设计为主导的虚拟制造技术,它以虚拟现实为基础,利用计算机建模和仿真技术,通过网络提供的协同方式,让分布在不同地点的设计人员对产品设计和制造等过程进行建模和仿真。同时允许客户参与协同过程,提供产品并行设计、虚拟加工装配及虚拟产品的动态仿真,在数字化环境中以更小的资源消耗、更短的开发周期和更优的设计结果完成新产品开发。建立模型是仿真的前提(即建立一个能够支持基于仿真环境的产品模型),它直接决定产品开发环境的有效性。

作为虚拟制造的关键技术之一,虚拟装配技术近年来受到了学术界和工业界的广泛关注,并对敏捷制造、虚拟制造等先进制造模式的实施具有深远影响。通过建立产品数字化装配模型,虚拟装配技术在计算机上创建近乎实际的虚拟环境,可以用虚拟产品代替传统设计中的物理样机,能够方便地对产品的装配过程进行模拟与分析,预估产

品的装配性能,及早发现潜在的装配冲突与缺陷,并将这些装配信息反馈给设计人员。运用该技术不但有利于并行工程的开展,而且还可以大大缩短产品开发周期,降低生产成本,提高产品在市场中的竞争力。

仿真技术是使信息技术与制造技术结合的桥梁,使设计师能够在计算机中进行零件的装配仿真,减少了实物模型在设计中的应用,从而在设计阶段就解决了零件间的冲突干涉等制造中的关键问题,是使企业产生最大经济效益的核心技术。

1.2 常用零部件

齿轮机构是用来传递空间任意两轴间的运动和动力的一种传动机构,由于其具有功率范围大、传动效率高、传动比准确、使用寿命长和工作安全可靠等特点,已成为现代机械中应用最广泛的传动机构之一。相应地,齿轮机构的设计也成为产品设计的一项重要内容。随着 CAD 软件的广泛应用,产品的虚拟设计成为降低产品设计成本且方便快捷的一种有效手段。为完成产品的虚拟装配,势必要建立齿轮的三维虚拟模型。而一般的 CAD 软件虽然都能进行齿轮的实体造型,但是过程往往比较繁复,而且当齿轮参数发生变化以后,需要对齿轮重新进行实体造型,重复劳动多,效率低下。

SolidWorks 软件没有给出齿轮渐开线轮廓的构造方法,而很多场合我们需要这样的造型,这就需要对 SolidWorks 进行二次开发,用程序来实现。

齿轮减速器具有效率高、寿命长、维护简便等特点,因而是机械传动中应用极为广泛的一种传动机构。运用 SolidWorks 软件,设计人员可以在建造真实齿轮传动装置之前建立整个装置的虚拟样机,然后

模拟减速器的运动过程,就可以在减速器的开发过程中发现设计中存在的不足和缺陷,满足用户要求的程度,从而为进一步优化设计齿轮减速器提供依据。齿轮减速器是把机械传动中的动力机(主动机)与工作机(从动机)连接起来,通过差异齿形和齿数的齿轮以差异级数传动,实现定传动比减速(或增速)的机械传动装置,减速时称为减速器(增速时称为增速器)。

齿轮油泵是液压系统中常用的液压泵,目前已经广泛应用于生产的各行各业中,传统的齿轮油泵设计已经不能满足企业对齿轮油泵的结构和性能的新要求。为解决齿轮油泵的设计周期长、设计成本高、传动质量较低等问题,必须采用参数化技术、优化设计技术和虚拟样机技术等现代设计手段来进行齿轮油泵的设计。

目前大量生产的手压阀有弹簧式和杆式两大类。另外还有冲量式手压阀、先导式手压阀、安全切换阀、安全解压阀、静重式手压阀等。弹簧式手压阀主要依靠弹簧的作用力而工作,弹簧式手压阀中又有封闭和不封闭的,一般易燃、易爆或有毒的介质应选用封闭式,蒸汽或惰性气体等可以选用不封闭式,在弹簧式手压阀中还有带扳手和不带扳手的。扳手的作用主要是检查阀瓣的灵活程度,有时也可以用作手动紧急泄压用,杠杆式手压阀主要依靠杠杆重锤的作用力而工作,但由于杠杆式手压阀体积庞大往往限制了选用范围。温度较高时选用带散热器的手压阀。

千斤顶是一种起重高度小(小于 1m)的最简单的起重设备。它有机械式和液压式两种。机械式千斤顶又有齿条式与螺旋式两种,由于起重量小,操作费力,一般只用于机械维修工作,在修桥过程中不适用。液压式千斤顶结构紧凑,工作平稳,有自锁作用,故使用广泛。其缺点是起重高度有限,起升速度慢。

千斤顶主要用于厂矿、交通运输等部门,起到车辆修理及其它起

重、支撑等作用。其结构轻巧坚固、灵活可靠,一人即可携带和操作。千斤顶是用刚性顶举件作为工作装置,通过顶部托座或底部托爪在小行程内顶升重物的轻小起重设备。

1.3 SolidWorks 软件与常用三维 CAD 软件

计算机辅助设计(Computer Aided Design,CAD)技术是电子信息技术的-一个重要组成部分。CAD 技术开发与应用水平已经成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化程度高低的重要标志之一。

CAD 的发展经历了从二维到三维,从最初的三维线框造型到今天的特征造型,从仅为某些大企业的专用工具到整个设计领域的全面普及这样一个不同凡响的发展道路。

在 CAD 发展的早期,二维 CAD 系统主要完成二维工程图的绘制。产品以 Autodesk 公司的 AutoCAD 系统为代表,大多数企业设计部门使用二维工程图表达产品设计意图,制造部门将设计部门提供的设计图重现立体模型,整个过程重复性工作很多,浪费了大量的人力和时间。20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期,为了适应设计和加工的要求,发展了三维 CAD 软件。

使用三维 CAD 系统进行产品造型与设计,符合工程师的思维习惯,具有二维 CAD 无可比拟的优点。人们可以方便地设计零件,而且对于设计好的零件还可以用于装配设计、干涉检查和运动仿真,既直观又便捷。更重要的是,还可以由零件和装配体自动生成各种工程图。

Parametric TechnologyCrop 公司(PTC)的 Pro/E 以其参数化、基于特征、全相关等概念闻名于 CAD 界。该软件的应用领域主要是针对产品的三维实体模型建立、三维实体零件的加工以及设计产品的

有限元分析。

Pro/E 不是基于 Windows 操作平台开发的,因此该软件并非窗口式的对话框,这样一来就给学习者带来了一定的麻烦。同时该软件不支持布尔运算以及其它局部造型操作,从而限制了它的使用。该软件的价格相对较高,但由于它的功能很强大,国内的一些大型企业依然是它的主要用户。

Unigraphics Solutions 公司的 UG 应用范围基本和 Pro/E 相似,它以 Parasolid 几何造型核心为基础,采用基于约束的特征建模技术和传统的几何建模为一体的复合建模技术。在三维实体造型时,由于几何和尺寸约束在造型的过程中被捕捉,生成的几何体总是完全约束的,约束类型是 3D 的,而且可用于控制参数曲面。该软件的主要缺点是不允许在零件之间定义约束。但 UG 具有统一的数据库,从而实现了 CAD、CAE、CAM 之间无数据交换的自由转换。目前我国很多的航空企业都在使用这种软件,但是 UG 使用起来比较复杂,软件相对较难掌握。

由法国 Dassault Systems(达索)公司开发,后被美国 IBM 公司收购的 CATIA 是一个全面的 CAD/CAM/CAE/PDM 应用系统,CATIA 具有一个独特的装配草图生成工具,支持欠约束的装配草图绘制以及装配图中各零件之间的连接定义,可以进行快速的概念设计。它支持参数化造型和布尔操作等造型手段。CATIA 的外形设计和风格设计为零件设计提供了集成工具,而且该软件具有很强的曲面造型功能,集成开发环境也别具一格。同样,CATIA 也可进行有限元分析,特别是,一般的三维造型软件都是在三维空间内观察零件,但是 CATIA 能够进行四维空间的观察,也就是说该软件能够模拟观察者的视野进入到零件的内部去观察零件,并且它还能够模拟真人进行装配。这套软件的价格也不便宜。飞机、汽车等产品就是应用 CATIA

软件开发设计的。

SDRC 公司的 IDEasMasterSeries 是高度集成化的 CAD/CAE/CAM 软件系统。在单一数字模型中完成从产品设计、仿真分析、测量直至数控加工的产品研发全过程。允许用户对一个完整的三维数字产品从几何造型、设计过程、特征到设计约束,都可以实时直接设计和修改,在全约束和非全约束的情况下均可顺利地完成造型,它把直接几何描述和历史树描述结合起来,从而提供了易学易用的特性。模型修改允许形状及拓扑关系变化,操作简便,并非像参数化技术那样仅仅是尺寸驱动,所有操作均为“拖放”方式,它还支持动态导航、登陆、核对等功能。工程分析是它的特长。

国内的 CAD/CAM 系统是近几年才起步的,主要依靠于高等院校的开发研制。这一类的软件种类较多,比如具有自主知识产权的清华大学开发的 GHGEMSCAD(高华 CAD);具有三维功能并与有限元分析、数控加工集成的浙江大学开发的 GS-CAD;具有参数化功能和装配设计功能的华中理工大学开发的开目 CAD,该软件也是 CAD/CAM/CAPP 结合的软件,目前在国内的市场中使用也较多。该软件是全中文的界面,符合中国人的使用习惯,因此近几年国产软件也慢慢得到了应用者的广泛注意。国产软件的价格一般都在几千至几万元左右,比起国外的动辄几十万,甚至上百万元的软件实在是便宜得多。但是国外软件的功能与技术仍是国产软件所不能达到的。

美国 SolidWorks 公司是专业从事三维机械设计、工程分析和产品数据管理软件开发和营销的跨国公司,其软件产品 SolidWorks 提供一系列的三维(3D)设计产品,帮助设计师减少设计时间,增加精确性,提高设计的创新性,并将产品更快推向市场。

SolidWorks 软件是 SolidWorks 公司在 Windows 平台上研制开发的三维机械设计软件,操作简单方便,易学易用,可以快捷地建立各

种结构的模型,是目前应用较为广泛的三维设计软件。它采用参数化特征建模技术,具有极强的设计灵活性。在其任何阶段进行修改设计,同时连动改变相关零部件的参数。SolidWorks 软件具有三个功能强大的应用模块,分别是零件模块、装配体模块、工程图模块。

通过参数化实体模型的建立及各部件的虚拟装配,可以说常见零部件的数字模型已经基本构建完成,但许多隐藏在输出数据背后的各种规律、运行时的具体状态以及可能出现的各种情况仍无法体现,而对常见零部件进行三维动态仿真则可解决上述问题。此外,通过仿真还可得到可能的模型配置。

通过动态仿真试验可以考核和测试常见零部件系统的性能,对不合理的地方及时反馈并进行调整。通过动态分析,把握提高性能措施的方向;通过仿真,在常用零部件的设计阶段,即能做到预测其动态特性,以保证产品制造运转后的要求,同时对虚拟生产出的产品予以检验,以确定能否投入正常生产。

COSMOSMotion 是一个全功能运动仿真软件,与当今主流的三维 CAD 软件 SolidWorks 无缝集成,可以对复杂机械系统进行完整的运动学和动力学仿真,得到系统中各零部件的运动情况,包括位移、速度、加速度和作用力及反作用力等。并以动画、图形、表格等多种形式输出结果,还可将零部件在复杂运动情况下的复杂载荷情况直接输出到主流的有限元分析软件中,从而进行正确的强度和结构分析。

本书采用 SolidWorks 软件对各种齿轮,一级、二级齿轮减速器,齿轮油泵,手压阀和千斤顶等进行了建模和运动仿真。