



应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

SolidWorks工程应用

王伟 张融 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

SolidWorks 工程应用

主 编	王 伟	武昌工学院
	张 融	武昌工学院
副主编	章小红	武汉东湖学院
	朱凤霞	武汉理工大学华夏学院
	张秀梅	武昌工学院
主 审	周晓星	

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书主要介绍了 SolidWorks 中文版本的基本功能与使用技巧。

全书共分 9 章,内容包括概述、SolidWorks 软件介绍、草图绘制、零件建模、装配体、工程图和曲面设计等知识,最后对机构运动分析与零件的受力分析进行初步介绍。

本书在编写零件建模时,先对设计思路进行详细分析,再逐步介绍其设计过程和操作步骤,使读者领会利用 SolidWorks 软件进行机械设计的思路和技巧。

本书编写特点:示例典型丰富,内容实用,结合工程实例进行讲解,并在随书光盘中提供详细的模型。

本书实例选择典型,分析透彻,内容实用,并在随书光盘中提供了详细的模型。本书适合于利用 SolidWorks 进行机械设计的技术人员,也可以供大专院校机械专业及其相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

SolidWorks 工程应用/王伟 张融 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.3
ISBN 978-7-5609-8603-6

I. S… II. ①王… ②张… III. 计算机辅助设计-应用软件-高等学校-教材 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 308868 号

SolidWorks 工程应用

王伟 张融 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:狄宝珠

责任校对:张 琳

封面设计:李 嫒

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:22

字 数:563 千字

版 次:2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:42.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

编 委 会

总策划:袁 冲

顾 问:文友先

成 员(排名不分先后):

容一鸣	潘 笑	李家伟	卢帆兴	孙立鹏
杨玉蓓	胡均安	叶大萌	冯德强	张胜利
李立慧	张 荣	贾建平	严小黑	王 伟
石从继	邓拥军	桂 伟	姜存学	蒋慧琼
李启友	赵 燕	张 融	李如钢	江晓明
徐汉斌	熊才高	肖书浩	王 琨	卢 霞

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

鸣谢学校名单

(排名不分先后)

华中科技大学武昌分校

武汉东湖学院

海军工程大学

武汉工业学院工商学院

武汉工程大学邮电信息学院

湖北工业大学工程技术学院

武汉生物工程学院

中国地质大学江城学院

湖北工业大学商贸学院

武汉理工大学华夏学院

江汉大学文理学院

江西理工大学应用科学学院

河海大学文天学院

北京化工大学北方学院

华东交通大学理工学院

广州技术师范学院天河学院

大连工业大学艺术与信息工程学院

北京交通大学海滨学院

广西工学院鹿山学院

燕山大学里仁学院

长春理工大学光电信息学院

广州大学松田学院

沈阳航空航天大学北方科技学院

大连理工大学城市学院

武汉科技大学城市学院

电子科技大学中山学院

吉林大学珠海学院

北京理工大学珠海学院

东莞理工学院城市学院

集美大学诚毅学院

河南理工大学万方科技学院

浙江大学城市学院

安徽工程大学机电学院

长沙理工大学城南学院

青岛滨海学院

南京航空航天大学金城学院



2010年12月,我们邀请了十多所二本和三本层次院校的机电学科教学负责人和骨干教师召开了应用型本科院校机电类专业的教学研讨和教材建设会议。会议重点研讨了当前应用型本科机电专业建设、课程设置、招生就业、教材使用、实验实训课程改革等情况。大家一致认为,教材建设是专业建设发展的重要环节,配合教学改革进行教材改革已迫在眉睫。尤其是独立学院面临脱离母体学校独立发展的紧迫形势,编写适合自身特点的教材,也是水到渠成。大家认为编写应用型本科教材,切合市场的需要,也切合各个学院内涵提升的需要,会议决定开发一套应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材,它以独立学院为主体,广泛吸纳民办院校(包括二类本科院校)参与。

这套教材定位在应用型本科的培养层次。应用型本科终究还是本科,绝不等同于高职,因此,教材编写要力求摒弃传统本科的压缩版,也要避免陷入高职提高版的误区,必须围绕本科生所要掌握的基础理论展开,体现理论够用的原则,并要融入新知识、新技术、新内容、新材料,体现最新发展动态,具有一定的前瞻性。其次,我们希望每种教材最好是由一名教师和一名有企业实际岗位工作经验的工程师来联合主编,要求案例和实训方案来源于生产一线,具有代表性和典型性,突出实用性。在体例编排和内容组织上,建议主编根据课程实际情况,借鉴高职教材以职业活动为导向,以职业技能为核心,突出任务驱动的特点,在形式上能有所创新,达到编写体例新颖,主次分明的目的,条件成熟的能配上配套的习题和教学课件。

总之,我们希望这套教材能够体现“层次适用、理论够用、案例实用、体例创新”的“三用一新”的特点,并达到:思想性、科学性和方法论相统一;先进性和基础性相统一;理论知识和实践知识相统一;综合性和针对性相统一;教材内容与实际工作岗位对接。

需要特别说明的是,由于时间关系我们没有邀请更多的院校参加会议,但是并不影响我们“博采众长”,我们通过电话、邮件、网络等,得到了很多有价值的信息,有的老师热情地提供了人才培养方案,有的老师推荐兄弟院校教师参与,有的老师提供精品课程建设的经验,有的老师提供从企业获取的案例资料等,这些都极大地丰富了编写团队的素材;为教材编写提供了强有力的支撑,这些老师及其学校直接和间接地为本套教材的出版做出了贡献。因此,我们特意收录这些院校的名单,以示鸣谢!

本系列教材主编和编写人员都是经过精选的,主要选择富有教学和教学改革实践经验和一定精品课程建设经验的教师或生产一线的工程师来担任。为了确保教材的编写质量,我们还邀请了当前国内一流的机电专业教学与研究方面的权威专家对个别教材进行了认真

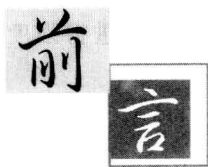
的审稿。专家们普遍给予了高度的肯定,同时也提出了很多宝贵的意见和建议,使得这套教材能更加完善。相信这是一套学生便于学习实践、教师便于教学指导的好教材。也希望各院校在使用的过程当中,给我们提出宝贵的意见和建议,便于我们不断修订完善!同时,欢迎更多的老师参与到编写修订团队中来!

我们的联系方式如下。

联系人	QQ 号	QQ 群	E-MAIL
袁冲	151211854	126692072	yingxiao2995@yahoo.com.cn
地址	武汉市珞瑜路 1037 号华中科技大学出版社(430074)		

编委会

2011 年 6 月



机械计算机辅助设计与制造(机械 CAD/CAM)是随着计算机和信息技术的发展而产生和发展起来的一门综合性的应用技术,是高等院校机械专业及其相关专业学生必须掌握的一门基本技术。

机械 CAD/CAM 技术涉及内容非常广泛。本书从应用型本科院校教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,在机械专业及其相关专业人才培养模式转变及教学方法改革的背景下,在内容安排及教学方法上突出实际应用能力的培养,体现应用型人才培养的特色。

本书选用 SolidWorks 软件作为 CAD/CAM 应用软件。SolidWorks 是近年来迅速发展起来的高品质、易学易用的三维 CAD/CAM 系统软件,功能强大、易学易用和技术创新是 SolidWorks 的三大特点。

本书在编写过程中力求突出以下特点。

(1) 重点突出,内容丰富。基础知识以基本操作为主,深入浅出,以“必需、够用”为度,重点介绍 SolidWorks 的建模、装配、工程图及运动仿真等操作,使学生易于接受和理解。

(2) 注重简洁高效。通过实例的介绍,将基本概念、常用方法和相关技巧展示给读者,不仅提高学生的学习兴趣,还有助于学生在最短的时间内熟练使用该软件。

(3) 注重实用性。本书精选了机械领域中最典型的产品作为实例进行设计分析。每章最后都附有适量的习题,强化实际操作技能。

本书主要内容如下。

第 1 章介绍了机械 CAD 技术的基本概念、发展历程及相关技术等。

第 2 章介绍了 SolidWorks 软件的特点、界面、系统属性设置及 SolidWorks 建模的一般过程。

第 3 章介绍了 SolidWorks 草图绘制的基本工具及基本图形的绘制等内容。

第 4 章介绍了 SolidWorks 三维实体建模方法,包括拉伸凸台,扫描、放样凸台及拉伸切除、扫描切除等。

第 5 章介绍了 SolidWorks 的装配设计,包括装配的基本方法及基本操作、在装配体环境中设计、干涉检查及爆炸视图等方面的知识,还进一步介绍了设计库和智能扣件方面的知识。

第 6 章介绍了二维工程图的基本知识,对图纸格式、各种常见视图的生成、添加尺寸和注解等内容进行了讲解。

第 7 章介绍了 SolidWorks 曲线及曲面造型的相关方法。



第8章介绍了利用 SolidWorks 软件中的 SolidWorks Motion 插件对机构进行动画演示及运动仿真。

第9章介绍了利用 SolidWorks 软件中的 SolidWorks Simulation 插件对零件进行强度分析。

本书选择典型实例,分析透彻,内容实用,并在随书光盘中提供了详细的模型。模型由各章编写老师完成。本书适合于用 SolidWorks 进行机械设计的技术人员使用,也可以供大专院校机械专业及其相关专业的师生参考。

全书由王伟担任第一主编,张融担任第二主编。具体编写分工如下:第1、6、9章由张融编写,第2、4、8章由王伟编写,第3章由章小红编写,第5章由朱凤霞编写,第7章由张秀梅编写。王伟对各章进行了修改,并对全书进行了统编工作。黄华、张文峰协助主编做了校对工作。

本书在编写过程中,吸收了很多优秀教材的思想、经验和优点,引用了一些文献,编者谨向各位作者表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中,得到了武汉高顿科技发展有限公司的各位工程师的大力帮助;本书由 SolidWorks 认证专家、SolidWorks 认证讲师周晓星工程师主审,在此一并表示感谢。

本书得到了华中科技大学出版社的大力支持,出版社的编辑为此付出了辛勤的劳动,特此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正,编者在此深表感谢。

编 者

2012年6月



第 1 章 概述	(1)
1.1 机械 CAD 的概念	(1)
1.2 机械 CAD 技术及相关软件介绍	(2)
1.3 机械 CAD 技术应用及发展趋势	(4)
习题.....	(5)
第 2 章 SolidWorks 软件介绍	(6)
2.1 SolidWorks 主要功能模块简介	(6)
2.2 SolidWorks 操作界面	(7)
2.3 设置 SolidWorks 工作环境	(10)
2.4 SolidWorks 建模特点	(15)
习题	(22)
第 3 章 草图绘制	(23)
3.1 草图绘制的基本步骤.....	(23)
3.2 草图绘制实体.....	(24)
3.3 草图绘制工具.....	(36)
3.4 草图尺寸标注.....	(53)
3.5 几何关系.....	(56)
3.6 草图的合理性.....	(58)
3.7 绘制草图综合实例.....	(59)
习题	(63)
第 4 章 零件建模	(67)
4.1 基础特征建模.....	(67)
4.2 基本实体编辑.....	(92)
4.3 零件建模的其他功能	(115)
4.4 课堂范例	(128)



习题	(174)
第 5 章 装配体	(178)
5.1 概述	(178)
5.2 装配基础	(179)
5.3 装配体环境中的设计	(192)
5.4 部件(组件)装配和总装	(202)
5.5 装配体统计与检查	(213)
5.6 模型的测量	(216)
5.7 设计库和智能扣件	(217)
习题	(220)
第 6 章 工程图	(223)
6.1 概述	(223)
6.2 新建工程图图纸	(225)
6.3 设置国标的工程图选项	(227)
6.4 工程图视图的创建	(229)
6.5 尺寸及尺寸公差标注	(238)
6.6 尺寸编辑	(241)
6.7 注释文本	(241)
6.8 工程图实例	(242)
习题	(248)
第 7 章 曲面设计	(250)
7.1 曲面设计概念	(250)
7.2 创建曲线	(250)
7.3 曲面	(263)
7.4 曲面的圆角	(270)
7.5 曲面的剪裁	(273)
7.6 曲面的延伸	(275)
7.7 曲面的缝合	(277)
7.8 删除面	(277)
7.9 曲面的延展	(278)
7.10 将曲面转化为实体	(279)
7.11 课堂范例及课后习题	(281)
习题	(295)



第 8 章 动画演示及运动仿真初步	(296)
8.1 SolidWorks Motion 插件的特点及基本操作	(296)
8.2 动画演示综合实例	(302)
8.3 基本运动初步	(307)
8.4 Motion 分析初步	(313)
8.5 Motion 分析综合实例	(319)
习题.....	(326)
第 9 章 结构分析初步	(328)
9.1 启动 SolidWorks Simulation 插件	(328)
9.2 启动 SolidWorks Simulation 界面	(329)
9.3 SolidWorks Simulation 操作步骤及案例分析	(329)
9.4 SolidWorks Simulation 基本知识	(335)
9.5 SolidWorks Simulation 选项设置	(337)
习题.....	(339)
参考文献	(340)

第 1 章 概 述

随着人们生活水平的提高,消费者的价值观正在发生结构性的变化,呈现出多样化与个性化的特点,用户对各类产品的质量、产品更新换代的速度,以及产品从设计制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求,为了适应这种变化,工厂的产品也向着多品种、中小批量方向发展。在这种市场需求下,CAD 技术应运而生。CAD 技术的出现和发展将人类从烦琐的脑力劳动中解放出来。随着企业对 CAD 技术的重视,越来越多的企业开始利用该技术进行产品设计开发、分析及制造。

1.1 机械 CAD 的概念

机械产品的整个生命周期包含产品设计、制造、装配、销售和使用,如图 1.1 所示。CAD、CAE、CAM、PDM 简称 C3P,C3P 技术是 1993 年由福特汽车公司正式提出,目前已被广大制造业用户所认同。在图 1.1 中,CAD 用于“几何造型及产品建模”,CAE 用于“工程分析”,CAM 用于“数控编程”,PDM 则用于产品生命周期的全过程。

CAD(computer aided design)计算机辅助设计,有广义和狭义之分,狭义的 CAD 是指利用计算机及其图形设备帮助设计人员完成整个产品的设计过程。广义的 CAD 包括设计和分析两个方面,即包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析(FEA)及优化设计、数控加工编程(NCP)、仿真模拟及产品数据管理等内容。

CAE(computer aided engineering)计算机辅助工程,是利用计算机辅助求解分析复杂工程和产品的结构力学性能,以及优化结构性能等的一种近似数值方法。CAE 软件可作静态结构分析和动态结构分析;研究线性、非线性问题;分析结构(固体)、流体、电磁等。可运用 CAE 技术中的动力学或静力学分析结果来指导零件的强度设计。

CAM(computer aided manufacturing)计算机辅助制造,是利用计算机来进行设备管理控制和操作的过程。它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序。CAM 是工程师大量使用产品生命周期管理计算机软件的产品元件制造过程。计算机辅助设计中生成的元件三维模型用于生成驱动数字控制机床的计算机数控代码。这包括工程师选择工具的类型、加工过程及加工路径。

CAPP(computer aided process planning)计算机辅助工艺过程设计,是一种将企业产品设计数据转换为产品制造数据的技术。设计人员通过这种计算机技术辅助工艺完成产品从毛坯到成品的设计。CAPP 系统的应用将为企业数据信息的集成打下坚实的基础。

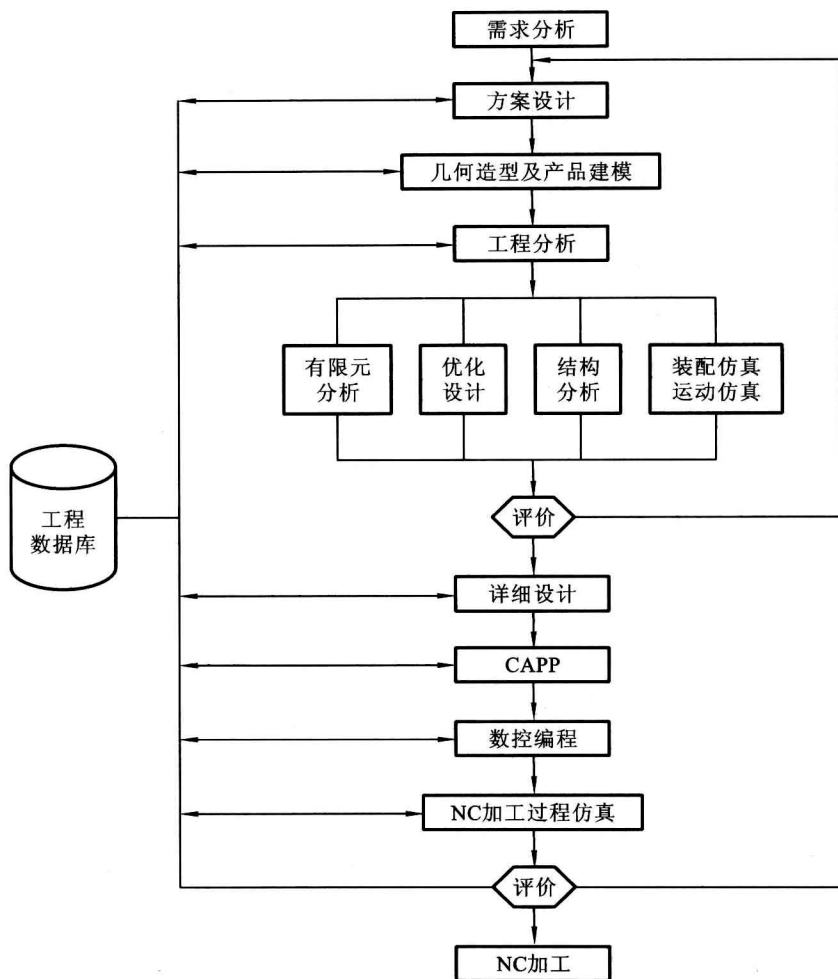


图 1.1 机械产品设计和制造的流程图

PDM(product data management)产品数据管理,是一门用来管理所有与产品相关信息(包括零件信息、配置、文档、CAD 文件、结构、权限信息等)和所有与产品相关过程(包括过程定义和管理)的技术。

1.2 机械 CAD 技术及相关软件介绍

1.2.1 机械 CAD 技术

实际上,当前 CAD 已经成为一门综合性应用新技术,其基础技术涉及以下几个方面。

- (1) 图形处理技术。如二维交互图形技术、三维几何造型及其他图形输入输出技术。
- (2) 工程分析。如有限元分析、优化设计、物理特性计算(如面积、体积、惯性矩等)、模拟仿真及各行各业中的工程分析等。



- (3) 数据管理与数据交换技术。如数据管理、不同 CAD 系统间的数据交换和接口等。
- (4) 文档处理技术。如文档制作、编辑及文字处理等。
- (5) 软件设计技术。如窗口界面、软件工程规范及其工具系统的使用等。

1.2.2 国内外流行的 CAD 软件特点及应用情况

1. UG

UG(Unigraphics NX)是 Siemens PLM Software 公司出品的一个产品工程解决方案,它为用户的产品设计及加工过程提供了数字化造型和验证手段。Unigraphics NX 针对用户的虚拟产品设计和工艺设计的需求,提供了经过实践验证的解决方案。

2. Inventor

Inventor 美国 Autodesk 公司推出的一款三维可视化实体模拟软件 Autodesk Inventor Professional(AIP)。Autodesk Inventor Professional 包括 Autodesk Inventor®;三维设计软件;基于 AutoCAD 平台开发的二维机械制图和详图软件 AutoCAD Mechanical;还加入了用于缆线和束线设计、管道设计及 PCB IDF 文件输入的专业功能模块,并加入了由业界领先的 ANSYS 技术支持的 FEA 功能,可以直接在 Autodesk Inventor Professional 软件中进行应力分析。在此基础上,集成的数据管理软件 Autodesk Vault 用于安全地管理进展中的设计数据。由于 Autodesk Inventor Professional 集所有这些产品于一体,因此提供了一个无风险的二维到三维转换路径。现在,用户能以自己的进度将二维图形转换到三维,保护现在的二维图形和知识投资,并且清楚地知道自己在使用目前市场上 DWG 兼容性最强的平台。

3. Pro/ENGINEER

Pro/Engineer 操作软件是美国参数技术公司(PTC)旗下的 CAD/CAM/CAE 一体化的三维软件。Pro/Engineer 软件以参数化著称,是参数化技术的最早应用者,在目前的三维造型软件领域中占有重要地位,Pro/Engineer 作为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准而得到业界的认可和推广,是现今主流的 CAD/CAM/CAE 软件之一,特别是在国内产品设计领域占据着重要位置。

4. SolidWorks

SolidWorks 为达索系统(Dassault Systemes S. A)下的子公司,专门负责研发与销售机械设计软件的视窗产品。达索公司是负责系统性的软件供应,并为制造厂商提供具有 Internet 整合能力的支援服务。该集团提供涵盖整个产品生命周期的系统,包括设计、工程、制造和产品数据管理等各个领域中的最佳软件系统,著名的 CATIAV5 就出自该公司之手,目前达索的 CAD 产品市场占有率居世界前列。

5. SolidEdge

SolidEdge 是 Siemens PLM Software 公司旗下的三维 CAD 软件,采用 Siemens PLM Software 公司自己拥有专利的 Parasolid 作为软件核心,将普及型 CAD 系统与世界上最具领先地位的实体造型引擎结合在一起,是基于 Windows 平台、功能强大且易用的三维 CAD 软件。

6. EDSI-DEAS

EDSI-DEAS 是美国 UGS 子公司 SDRC 公司开发的 CAD/CAM 软件。该公司是国际



上著名的机械 CAD/CAE/CAM 公司,在全球范围享有盛誉,国外许多著名公司,如波音、索尼、三星、现代、福特等公司均是 SDRC 公司的大客户和合作伙伴。

7. CAXA

CAXA 国内是一套高效、方便、智能化的通用中文设计绘图软件,可帮助设计人员进行零件图、装配图、工艺图表、平面包装的设计,适合所有需要二维设计的场合,使设计人员可以把精力集中在设计构思上,彻底甩掉图板,满足行业相关设计要求。

1.3 机械 CAD 技术应用及发展趋势

1.3.1 机械 CAD 技术应用的几个方面

CAD/CAE 技术的应用领域很广泛,它涉及机械、电子、电力、航空等几乎所有的工业部门。图 1.2 所示为 1992 年美国 CAD/CAE 的销售额在各经济领域中所占的比例。

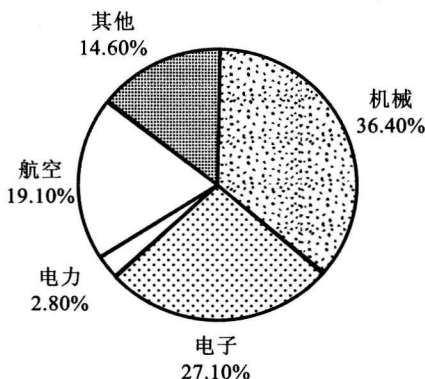


图 1.2 美国 CAD/CAE 技术的市场分配情况

由此可见,机械领域是使用 CAD/CAE 技术的一个主要领域。CAD 技术在机械工业中的主要应用有以下几个方面。

- (1) 二维绘图,用以替代传统的手工绘图。
- (2) 图形及符号库。可将复杂图形分解成许多简单图形及符号,先存入库中,需要时调出,经编辑修改后插入到另一图形中,从而使图形设计工作由繁杂变为简单。
- (3) 参数化设计。标准化或系列化的零部件采用参数化设计的方法建立图形库程序,调用时赋一组新的尺寸参数即可得到新图形。
- (4) 三维建模。产品采用实体造型设计,还可作装配及运动仿真、检查有无干涉等。
- (5) 工程分析。常见的有有限元分析、优化设计、运动学及动力学分析等。
- (6) 设计文档或生成表格。许多产品设计属性需要制成文档说明或输出报表。有些设计还需要直方图、饼图或曲线图等来表达。上述这些工作常由一些专门的软件来完成,如文档制作软件及数据库软件等。

从上述应用情况可知采用 CAD 技术的优势如下。

- (1) 减少绘图时间,提高绘图效率。



(2) 提高分析计算速度,能解决复杂计算问题。

(3) 便于设计更改。

(4) 促进设计工作的规范化、系列化和标准化。

总之,采用 CAD 技术能够提高设计质量、缩短设计周期、降低设计成本,从而加快产品的更新换代速度,确保企业保持良好的竞争能力。汽车工业代表着一个国家的制造业发展水平,该行业一直是 CAD/CAE 技术应用的领跑者。

1.3.2 CAD 技术发展趋势

1. 集成化

集成化是 CAD 技术发展的一个最为显著的趋势,它是指把 CAD/CAE/CAPP/CAM 甚至包括 PPC(生产计划与控制)等各种功能不同的软件有机地结合起来,用统一的执行控制程序来组织各种信息的提取、交换、共享和处理,保证系统内部信息的畅通并协调各个系统有效运行。国内外大量经验表明,CAD 系统的效益往往不是从其本身体现出来,而是通过 CAM 和 PPC 系统体现出来;反过来,CAM 系统如果没有 CAD 系统的支持,花巨资引进的设备则往往很难得到有效利用;PPC 系统如果没有 CAD 和 CAM 系统支持,既得不到完整、及时和准确的数据作为计划的依据,制订的计划比较难以贯彻执行,即生产计划与控制将得不到实际效益。因此人们着手将 CAD、CAE、CAPP、CAM 和 PPC 等系统有机地、统一地集成在一起,从而消除“自动化孤岛”,取得最佳效益。

2. 网络化

21 世纪网络化将全球化,制造业也将全球化,从获取需求信息,到产品分析设计、选购原辅材料和零部件、进行加工制造,直至营销,整个生产过程也将全球化。CAD 系统的网络化能使设计人员对产品方案在费用、流动时间和功能上并行化产品设计应用系统;能提供产品进程和整个企业性能仿真、建模和分析技术的拟实制造系统;能开发自动化系统,产生和优化工作计划和车间级控制,支持敏捷制造的制造计划和控制应用系统;对生产过程中的物流能进行管理的物料管理应用系统等。

3. 智能化

人工智能在 CAD 中的应用主要集中在知识工程的引入,发展专家系统。专家系统具有逻辑推理和决策判断能力。它将许多实例和有关专业范围内的经验、准则结合在一起,给设计者更全面、更可靠的指导。应用这些实例和准则,根据设计目标不断缩小探索范围,使问题得到解决。

习 题

1-1 机械 CAD 包含哪些方面的内容?