



普通高等教育“十二五”规划教材

机械

范红征 主编

JIXIE

CHANPIN DONGHA

产品动画



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

013025679

TH122-43
347

普通高等教育“十二五”规划教材

机械产品动画

主 编 范红征

参 编 於 星 李琳琳



机械工业出版社



北航

C1633704

TH122-43

347

013052878

本书共5章,内容包括机械产品动画概述、专业动画软件IPA(Interactive Product Animator)的使用方法和相关命令、以Web 3D技术发布产品以及输出产品为其他文件格式的方法。

本书内容新颖、实用,案例经典,配套光盘中包含所有案例的原始素材及动画完成效果,方便学生课后自学、实践。

本书适合作为高职高专机械类专业的产品设计课程教材,也可供本科工业设计专业的学生使用,还可作为在企业从事产品推销、设备维护等工作的员工的培训与自学用书。

为方便教学,本书配备电子课件等教学资源。凡选用本书作为教材的教师均可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费下载。如有问题请致信 cmpgaozhi@sina.com,或致电 010-88379375 联系营销人员。

图书在版编目(CIP)数据

机械产品动画/范红征主编. —北京:机械工业出版社,2013.3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-41217-5

I. ①机… II. ①范… III. ①机械设计-计算机辅助设计-应用软件-高等教育-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第012385号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘子峰 责任编辑:刘子峰

版式设计:霍永明 责任校对:姜婷 常天培

封面设计:马精明 责任印制:张楠

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·270千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41217-5

ISBN 978-7-89433-830-3(光盘)

定价:26.00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

机械产品的设计方法有很多,其中计算机辅助产品设计(CAD)的方法使用最为广泛。机械产品动画是在三维软件建模的基础上,编辑零部件的动画路径,表现产品和机构的运动。随着我国机械制造业在“十二五”期间逐步实现产业的升级转型,企业对新产品、设备进行宣传、展示等工作也逐渐从将信息的文字、图像形式保存在纸介质上,转为以视频、动画等多媒体形式发布在网络上,从而与客户进行更加直观的交互。本书针对高职学生在企业从事的产品文员、设备文员、培训文员岗位,讲述动画制作方法、动画脚本设计、PDF产品文档制作以及产品的网络发布等相关知识。编写本书也是为了配合高职院校项目式教学改革的需要,把学生测绘改进的机械产品制作为动画。动画展示既是项目汇报的要求,也是为了研讨、评判产品并改进设计,为实物制作做准备。

本书采用美国 Immersive Design 公司的 IPA 软件,其操作简单、易学易用,符合高职学生学习特点。本书在讲解动画制作时,先介绍菜单命令的使用,然后举实例说明。实例包括电子消费产品、艺术造型类产品、运动机构和复杂机械产品,按照动画脚本、运动分析和制作过程的顺序来讲解每个实例。网络是人们交流的最便捷方式,本书安排专门章节介绍如何将产品发布成 Web 3D 网页格式和 PDF 文件格式。产品在 IPA 中还可以输出成其他文件格式供渲染软件或其他软件继续使用,或保存为照片真实感效果的图像,本书中也将对此部分内容进行介绍。

机械产品动画是面向高职院校课程,延伸 CAD 软件的应用。产品的建模在主流 CAD 软件如 UG、Pro/E、SolidWorks 中完成,通过中间文件格式转换后在 SolidWorks 中打开再引入到 IPA 中。完成本书,产品的建模工作量很大,於星老师和李琳琳老师为此做了大量的工作,在此表示诚挚的谢意。同时,本书中部分实例的制作参考了相关书籍,在参考文献中已逐一列出,对作者一并表示感谢。本书的附带光盘中,包括了书中实例转换成的 ParaSolid 文件格式以及 IPA 装配文档格式,方便读者在完成动画制作时,更多地构思动画脚本,而不是绘制实体零件。

本书实例涉及的专业领域较多,书中难免出现不足之处,请各位读者批评指正。

编者

目 录

前言	1	2.3 IPA 8.1 命令的简单应用	80
第1章 机械产品的设计	1	2.3.1 发动机活塞	80
1.1 机械产品的设计过程	1	2.3.2 模型汽车	84
1.1.1 机械产品概述	1	2.3.3 机械手臂	89
1.1.2 机械产品设计的基本要求	2	实例与练习	94
1.1.3 机械产品设计的一般过程	2	第3章 产品动画制作实例	96
1.1.4 机械产品的现代设计方法	3	3.1 电子消费类产品动画实例	96
1.2 计算机辅助产品设计	4	3.1.1 手机动画实例	96
1.2.1 CAD 几何造型	4	3.1.2 打印机动画	103
1.2.2 CAD 系统的组成与分类	6	3.1.3 笔记本电脑展示动画	111
1.2.3 主流 CAD 软件介绍	8	3.2 艺术造型类产品动画实例	116
1.2.4 常用 CAD 软件的中间文件格式	11	3.2.1 物品陈设动画	116
1.3 CAD 设计实例——电动曲线锯	14	3.2.2 人像变换动画	120
1.3.1 自上而下的产品设计	15	3.3 产品机构动画实例	122
1.3.2 装配产品	22	3.3.1 曲轴连杆机构动画	123
1.3.3 产品爆炸视图和总装图	28	3.3.2 飞机发动机机构动画	125
第2章 机械产品动画的制作	31	3.4 复杂机械产品动画实例	129
2.1 机械产品动画制作方式	31	3.4.1 汽车变速器动画实例	130
2.1.1 机械产品动画的用途	31	3.4.2 电动曲线锯动画实例	142
2.1.2 爆炸视图动画的制作	32	实例与练习	149
2.1.3 运动模拟动画的制作	33	第4章 产品动画的网络发布	151
2.1.4 专业动画软件	35	4.1 产品动画的网络发布命令	151
2.2 IPA 8.1 的菜单与命令	37	4.2 产品动画的网络发布实例	157
2.2.1 “文件”菜单	38	4.2.1 产品动画的创建	158
2.2.2 “编辑”菜单	42	4.2.2 产品动画的网络发布过程	160
2.2.3 “视图”菜单	54	实例与练习	165
2.2.4 “插入”菜单	59	第5章 文件格式的输出	166
2.2.5 “路径”菜单	64	5.1 POV 文件格式	166
2.2.6 “进度”菜单	67	5.2 MTX 文件格式	167
2.2.7 “动画”菜单	71	5.3 U3D 文件格式	169
2.2.8 “工具”菜单	72	参考文献	171

第1章 机械产品的设计

1.1 机械产品的设计过程

1.1.1 机械产品概述

机械是机器和机构的总称。机器可分为动力机和工作机两大类，内燃机、电动机等机器能提供或转换机械能，称为动力机；机床、电动工具等机器利用机械能实现工作能，称为工作机。日常生活中的照相机、电视机能够进行信息传递和变换，这种机器称为仪器。

机械零件具有一定的形状、尺寸和实体材料，可以分为通用零件和专用零件两大类。广泛应用于各种不同类型的机器中的零件称为通用零件；仅在某种类型的机器中使用的零件称为专用零件。零件是机器的组成要素和制造单元，零件刚性连接在一起形成构件，构件通过活动连接组成具有确定的相对运动的系统，称为机构。为了便于制造、安装、维修和运输，机械零件可先组合成部件，部件再装配成为机械产品。

机械产品运动传递和能量转换由原动机、传动机构、执行机构和控制系统来完成，如图 1-1 所示。现代自动化程度高的机械产品，除了控制系统、还有监测系统及辅助系统。

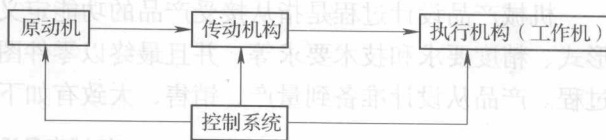


图 1-1 机构组成示意图

原动机转换能量，为机器运转提供动力。传动机构和执行机构统称为机械的运动系统。控制系统所采用的实现方法和原理很多，在现代机械产品中，将具有液、气、声、光、电、磁等工作原理的控制系统应用到机器中，称为广义机构。按其工作原理的不同可分为液、气动机构，电磁机构，振动及惯性机构，光电机构等；而按机构型式及功用又可分为微位移机构、微型机构、信息机构、智能机构。液、气动机构是以具有压力的液体、气体为工作介质，来实现能量传递与运动变换的机构。电磁机构是通过电与磁的相互作用来完成所需动作，如变频调速器、电磁振动料斗、电磁抓取机构等。光电机构是利用光的特性进行工作的机构，通常是由各类光学传感器加上各种机械式或机电式机构而形成的，如光电动机、光化学回转活塞式行星马达等。微位移机构指工作时机构产生的工作位移小于毫米级的机构，具有极高的灵敏度和精度。根据产生位移的原理可将微位移机构分为机械式和机电式两种。机械式微位移机构有精密滚珠丝杠、差动螺旋机构、小模数齿轮机构。机电式微位移机构的核心部件——微位移器按其工作原理又可分为电热式，电磁式，压电、电致伸缩式。从以上可以看出，机械产品的结构日趋复杂，机构的动作越来越精密，这就使得机械产品在设计、制造、装配、销售、维修等方面都需要更详细的资料——设计方案，更全面的信息——三维图形，以及更直观的形式——产品动画来全方位地表现产品。

1.1.2 机械产品设计的基本要求

根据设计的机器的使用要求，创建新颖的功能和机械结构、选择适当的材料、确定尺寸及精度、制定先进的工艺，从而实现一种新机器的创新构思，这个过程就是机械设计。通常机械设计应满足以下基本要求：

1) 使用方面的要求。新设计的机器应达到实现功能的要求，包括在规定的寿命使用期内实现功率、速度、精度以及某些特殊使用要求。

2) 经济性要求。从机械设计、制造、使用到维修都应始终考虑到经济性要求。设计时采用先进的设计理论、设计方法，如 CAD 技术、虚拟设计，一次成功。机构和结构的设计要力求简单、紧凑、轻便、稳定。要合理地规定结构尺寸、精度、表面质量，多用标准化、通用化、系列化的零部件。

3) 社会性要求。新设计的机器应符合新时代的社会要求。例如，要操作方便、省力、舒适、安全；造型大方、精巧、流畅；色彩明快、雅致，令人赏心悦目；符合绿色环保的要求。

另外，现代机械设计重视市场的要求，尤其是在预测市场的趋势和未来的基础上，遵循“从过去、现在的实践中来，经过现代机械设计的创新构思，又回到现在和未来的实践中去”的路线。

1.1.3 机械产品设计的一般过程

机械产品设计过程是指从接受产品的功能定义开始，到设计完成产品的材料信息、结构形式、精度要求和技术要求等，并且最终以零件图、装配图的形式作为可见媒体表现出来的过程。产品从设计准备到量产、销售，大致有如下 4 个步骤，详细过程见表 1-1。

表 1-1 机械产品设计过程表

阶 段	程 序	要 求
产品规划	1. 提出设计任务	提出可行性报告和设计任务书
	2. 进行可行性研究	
	3. 编制设计任务书	
方案 设计	4. 机器功能分析和综合	提出最佳的原理性设计方案——原理图和机构运动图（即传动系统图）
	5. 提出各种原理性设计方案	
	6. 进行技术经济分析	
	7. 决策	
技术 设计	8. 设计并绘制总体结构草图	提出总装配图，部件装配图和电路、润滑系统图
	9. 进行技术经济分析	
	10. 绘制总装配图和部件装配图，绘制电路系统图、润滑系统图	
施工 设计	11. 设计并绘制零件图（工艺）	提出零件工作图、计算说明书、使用说明书、零件明细表、工艺文件
	12. 编制技术文件	
试制、 量产	13. 样机试制及试验	提出样机试制和试验报告，提出申报投产报告、经济评价报告
	14. 报批投产	
售后 服务	15. 收集市场及用户反馈信息	提出产品性能的新要求，产品时尚造型改进报告、操作简便改进报告以及防污染改进报告，为推出新一代产品做好准备
	16. 提出完善设计建议和新一代产品的设计方案	

1) 产品规划。按照客户需要和市场需求,确定机械产品的功能范围和性能参数,研究可行性,编制设计任务书。

2) 方案设计。按设计任务书的要求,尽量构思多种可行的设计方案,对比、筛选出能满足要求、工作原理可靠、结构设计合理、经济可行的方案。

3) 技术和施工设计。对已选定的方案进行分析计算,确定机构和零件的工作参数和产品的主要结构尺寸,考虑各个零件的结构工艺性,完成每个零件的结构设计,绘制产品总装图和零件工艺图,编写技术文件。

4) 试制、量产。经过加工、安装和调试,制造出样机,评价样机的功能性、适用性和经济性,进行必要改进,评价完成后准备量产销售。

1.1.4 机械产品的现代设计方法

机械产品日益向高速、高效、精密、自动化方向发展,产品结构日趋复杂,对产品工作性能的要求也越来越高。传统的依靠实践经验、运用经验公式、查阅图表手册的设计方法很难满足产品的性能要求。现代设计方法把计算机技术广泛应用在产品设计中,把设计方法学和创造方法学运用在产品的开发上,最终获得高质、廉价、有创新性的产品。机械产品的现代设计方法有:计算机辅助设计、创新设计、绿色设计、优化设计、可靠性设计、摩擦学设计等。

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是一种用计算机硬件、软件系统辅助对产品或工程进行设计的方法与技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动。CAD采用计算机工具完成设计的全过程,包括概念设计、初步设计(或称总体设计)和详细设计。准备好的设计方案,在制造阶段运用CAM(Computer Aided Manufacture,计算机辅助制造)产生后处理加工程序,产品的设计信息转化为制造信息,运用CAPP(Computer Aided Process Planning,计算机辅助工艺过程设计)编制合理的零件加工工艺。

2. 创新设计

创新设计是指设计人员在设计中采用新的技术手段和技术原理,发挥创造性,提出新方案,探索新的设计思路,提供具有社会价值的、相应的而且成果独特的设计。其特点是运用创造性思维,强调产品的创新性和新颖性。创新设计要求工程技术人员善于捕捉和发现市场需求,富于想象力和洞察力;掌握创造性方法,科学地发挥创造力;善于运用自己的知识和经验,在实践中不断提高创造力。

3. 绿色设计

绿色设计(Green Design, GD),通常也称为生态设计、环境设计、生命周期设计或环境意识设计。绿色设计是指在整个生命周期内,考虑产品的环境属性(可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标要求的同时,保证产品的应有概念、使用寿命、质量等。

4. 优化设计

常规的设计是基于安全概念的“合格设计”,通过各种设计参数(材料的机械性能、几何尺寸等)保证零件安全有效。机械优化设计方法是综合考虑多方面的复杂因素,在各种约束条件的限制下,寻求满足预定目标的最优化方案和最佳参数。优化设计在缩短设计周期

的同时,大大提高设计质量,有效地确保所要求的技术经济指标。

5. 可靠性设计

传统的设计是把设计变量(载荷、材料性能和零件尺寸等)当做常量,但是实际上它们都是随机变量,所以不能简单地说某个零件是“安全的”或者“不安全的”,应该说“安全的概率有多大”,即“可靠度多少”,或者“寿命超过若干时限的概率有多大”。基于这个思想发展起来了机械产品可靠性设计。可靠性设计是以提高产品可靠性为目的,以概率论与数理统计为基础,综合运用数学、物理、工程力学、机械工程学、人机工程学、系统工程学、运筹学等多方面的知识来研究机械工程的最佳设计问题。可靠性设计应用在汽车、航空、航天器等领域,对零件和整个产品的寿命进行预测,做出可靠性及安全评估。

6. 摩擦学设计

机械产品的运转依赖零部件的相对运动来实现,也必然产生摩擦和磨损。机械零部件的失效,除了整体强度不够以外,很多情况是由于各种形式的磨损造成的。润滑是改善表面摩擦状态、减缓磨损最有效的方法。在机械产品设计中,尤其是运动零部件的设计中,运用摩擦学知识,解决零件的摩擦、磨损和润滑问题,达到降低能耗、提高效率、增加运动精度、延长零件寿命的目的。

现代机械设计方法从根本上改变了设计手段,一系列的设计方法在工程中得到了广泛应用和巨大成功。除了上述已经介绍的设计方法外,还有反求设计、并行设计、虚拟设计、智能设计、稳健设计等。现代设计方法处于不断发展中,它的变化趋势是:以动态的取代静态的,以定量的取代定性的,以变量取代常量,以优化设计取代可行性设计,以并行设计取代串行设计,以微观取代宏观,以系统工程取代分步处理,以自动化设计取代人工设计。

1.2 计算机辅助产品设计

计算机辅助产品设计(本书中也简称为CAD)是指以计算机为辅助手段来完成整个产品的设计过程。CAD既包括产品的几何造型设计,也含有几何模型分析计算的内容。本节介绍CAD几何造型、CAD系统的组成、主流CAD软件及中间交换文件格式。

1.2.1 CAD几何造型

机械产品从几何上说是一个占有三维空间的立体。几何造型或构型是把单一几何形体组合为新的几何体。单一形体分为平面立体和曲面立体,平面立体有棱柱(三棱柱、四棱柱)和棱锥(三棱锥、四棱锥和棱台),曲面立体有圆柱、椭圆柱、圆锥、球、环以及其他旋转体。几何构形的基本方法有:组合、挖切和变换。把基本几何形体按一定规律进行拼合构成整体形状即为组合,按组合方式可分为连续组合、渐变组合、贴合组合及贯穿组合。挖切是通过某些形体的挖切产生空间从而形成整体形象,这样构成的形体是封闭形体和非封闭形体的组合。该整体是由形体与空间一起构成立体状态。变换是通过改变构形参数的变化来满足原定要求。一般的变换有尺寸变换、形状变换、数量变换、位置变换、顺序变换、排列变换、连接变换。单一形体组合在一起构成几何形状各异的机械产品。可以看出,几何形体的种类多,几何形体组合的方式多,构形出的产品形状复杂多变,需要处理多个形体的组合过程。计算机在图形处理上有很强的运算能力。因此,在几何造型过程中,利用计算机处理、

表示几何形体和图形，计算、显示图形的造型过程，这就是计算机图形学。

计算机辅助零件、部件乃至整个产品的设计与计算机图形学密不可分，所设计的图形是通过编制程序或交互式输入图形来绘制的。在产品设计构思阶段，使用计算机图形学描述、表示基本几何形体及形体间的关系，提供基本体素，以便为用户提供所设计产品的几何形状、大小，进行零件的结构设计，动态显示三维图形，解决三维几何形体建模中复杂的空间布局问题。用户利用几何形体建模功能，不仅能构造各种产品的几何模型，还能够随时观察、修改模型。几何建模技术是 CAD 的核心，它为产品的设计、制造提供基本数据，同时也为其他模块提供原始信息。CAD 构造了产品的形状模型之后，根据产品几何形状，计算出相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性和物理特性，为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。计算机图形学除应用在 CAD 外，还应用在机械产品动画上，在零部件三维建模的基础上，装配零部件成为整个产品并设置路径、场景、灯光等，将装配的产品制作为反映真实物体或模拟物体随时间变化的动画来展示机械产品内部结构、运动过程和工作原理。

CAD 系统在计算机上建立的几何模型是产品设计、展示、生产的基础，用于产品的开发过程中。CAD 系统在产品开发过程中的作用如图 1-2 所示，在整个过程中，CAD 系统利用计算机完成各阶段任务。CAD 系统把产品的物理模型转化为可存储在计算机中的几何模型，从而为后续的工艺、制造、管理等环节提供共享信息源。利用 CAD 对零件进行三维建模，涉及如下一些基础技术：

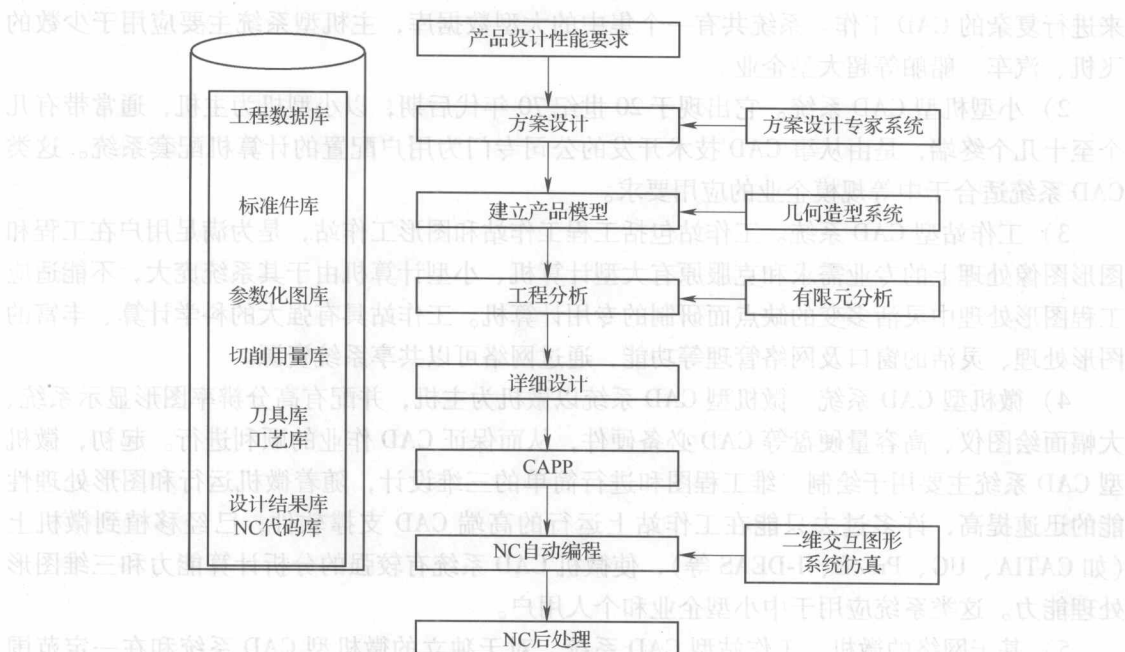


图 1-2 产品 CAD 设计过程

- 1) 图形处理技术，如二维交互图形技术、三维几何造型技术和图形输入/输出技术。
- 2) 工程分析技术，如有限元分析、优化设计方法、物理特性计算（面积、体积、惯性矩）、模拟仿真和各行各业中的工程分析。

3) 数据管理和数据交换技术,如数据库管理、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。

5) 人机界面技术,如图形用户界面、网络用户界面、多媒体智能用户界面。

1.2.2 CAD 系统的组成与分类

CAD 系统包括硬件系统和软件系统,其中软件系统运行在硬件设备上。以前 CAD 软件只能运行在工作站和服务器的计算机上,随着计算机硬件的快速发展,现在主流的 CAD 软件都可以在个人计算机或微机上运行。

CAD 硬件系统一般由计算机主机、外存储器、图形输入设备、图形输出设备和通信设备组成。CAD 系统的配置形式有 4 种:主机终端(20 世纪 70 年代)、分布式台式机(20 世纪 80 年代)、客户—服务器(20 世纪 90 年代)、浏览器—服务器(现在)。CAD 技术是随着计算机技术的发展而迅速发展的,CAD 系统按其硬件组成并结合计算机技术的发展历程一般可分为 5 类:主机型系统、小型机系统、工作站系统、微型机系统和基于网络的微机—工作站系统。

1) 主机型系统。主机型系统又称为大型机系统,该系统以一台大中型计算机为中心,采用分时操作系统集中支持几十个甚至上百个 CAD 终端运行,通常具有高速、大容量的内存和外存,可配置高精度、高速度、大幅面的图形输入/输出设备,用于运行规模较大的支撑软件或自行开发的大型应用软件,可以将设计、分析、计算、图形处理等工作结合起来进行复杂的 CAD 工作。系统共有—个集中的大型数据库,主机型系统主要应用于少数的飞机、汽车、船舶等超大型企业。

2) 小型机 CAD 系统。它出现于 20 世纪 70 年代后期,以小型机为主机,通常带有几个至十几个终端,是由从事 CAD 技术开发的公司专门为用户配置的计算机配套系统。这类 CAD 系统适合于中等规模企业的应用要求。

3) 工作站型 CAD 系统。工作站包括工程工作站和图形工作站,是为满足用户在工程和图形图像处理上的专业需求和克服原有大型计算机、小型计算机由于其系统庞大,不能适应工程图形处理中灵活多变的缺点而研制的专用计算机。工作站具有强大的科学计算、丰富的图形处理、灵活的窗口及网络管理等功能,通过网络可以共享系统资源。

4) 微型机 CAD 系统。微型机 CAD 系统以微机为主机,并配有高分辨率图形显示系统、大幅面绘图仪、大容量硬盘等 CAD 必备硬件,从而保证 CAD 作业的顺利进行。起初,微型机 CAD 系统主要用于绘制二维工程图和进行简单的三维设计,随着微机运行和图形处理性能的迅速提高,许多过去只能在工作站上运行的高端 CAD 支撑软件,已经移植到微机上(如 CATIA、UG、Pro/E、I-DEAS 等),使微机 CAD 系统有较强的分析计算能力和三维图形处理能力。这类系统应用于中小型企业和个人用户。

5) 基于网络的微机—工作站型 CAD 系统。对于独立的微型机 CAD 系统和在一定范围内联网的工作站型 CAD 系统,其作业的分散性和各自独立的工作方式,使得设计信息无法充分交流,也无法使各种作业协调一致地进行。由于并行工程的要求和现代网络技术的迅速发展,使基于网络的微机—工作站系统得以实现并迅速发展。这类系统可以使分散于同一单位的不同部门、不同地点的微机及工作站共享软件、硬件资源,充分和准确地交流设计信息,协调各种作业,完成并行工程。

CAD 软件系统包括系统软件和应用软件。系统软件指操作系统及语言,负责管理计算机资源、分配用户任务。

1) 操作系统 (Operating System, OS)。OS 的管理功能:内存分配管理、文件管理、外部设备管理、作业管理和中端管理。常用的操作系统有 UNIX 和 Windows 系列。

2) 计算机语言。汇编语言是一种与计算机硬件相关的符号指令,属于系统低级语言,执行速度快,能充分发挥硬件功能,常用来编制最底层的绘图功能,如画点、画线。高级编程语言与自然语言比较接近,经编译及与有关库连接后即可执行,如 VC++、VB 和 Java 等。

3) 视窗系统。视窗(视口)系统是由窗口、菜单、按钮等图形对象组成的一个图形用户界面,用户的操纵就是对这些图形对象的操作。其特点有:①采用位图形成图标、窗口、菜单、按钮等界面组成部分;②鼠标操作,直接单击或双击图形对象完成各种操纵;③用户可以根据个人喜爱对界面进行定制;④学习指示功能——help;⑤提供二次开发工具,使用户的应用程序纳入它的运行环境。

4) 网络通信及管理软件。CAD 系统处于局域网中,用户能共享局域网中的软硬件资源,可以使工作小组共同设计产品。为了使网络中信息交换能正常有效进行,一般都分层次规定了双方通信的约定,称为协议。国际标准的网络协议方案为“开放系统网络标准模式”(OSI),分为 7 层:应用层、表达层、会话层、传输层、网络层、链路层和物理层。

5) 数据库及数据库管理软件。数据库和数据库管理软件组成数据库系统。在计算机网络环境下,为了支持 CAD/CAM、生产管理、制造系统集成的需要,需要采用分布式数据库管理系统 (DDBMS)。

CAD 支撑软件从功能上可分成 3 类:第一类解决图形设计问题;第二类解决工程分析与计算问题;第三类解决文档写作与生成问题。

1) 基本图形资源软件。包括一些根据各种图形标准或规范实现的软件包,大多是供应用程序调用的图形子程序包或函数库。由于是根据标准研制而成的,利用它们编写的应用程序可移植性好,图形资源可在任何计算机上运行,二、三维交互图形系统底层的图形功能就依靠这些资源。比较流行的图形资源有:面向设备驱动的 CGI (Computer Graphics Interface),面向应用的图形程序包 GKS (Graphics Kernel System) 及 PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System), OpenGL。

2) 二维、三维绘图软件。绘图软件主要解决零部件的详细设计问题,输出符合工程要求的零件图或装配图。又分为交互式绘图与程序调用两种方式,目前主要采用交互式图形系统。

3) 几何造型软件。造型软件主要解决零部件的结构设计问题,存储它们的三维几何数据及相关信息。目前大多采用实体造型系统 (Solid Modeling System) 解决一般零部件的造型;采用曲面造型系统解决复杂曲面的造型;采用参数化特征造型系统满足变形产品设计及 CAD/CAPP/CAM 集成的要求。

4) 工程分析及计算软件。针对机械领域的需要,分析计算软件又可分为以下几类:

① 计算方法库,解决各种数学计算问题。

② 优化方法库及常用零部件优化模型库。

③ 通用或专用的有限元分析及其前后置处理程序,如 SAP/5、SAP/6、ADINA、AN-

SYS、NASTRAN 等。

④ 机构分析及机构综合软件。机构分析是要确定机构的位置、轨迹、速度、加速度、计算节点力及弹簧力,校验干涉,显示机构静态、动态及各种分析结果的曲线等。机构综合是根据产品要求自动设计出一种机构。

⑤ 机械系统动态分析软件,广泛采用模态分析法,分析系统的噪声、振动等问题。

⑥ 注塑模分析软件,用于模流分析、冷却分析、翘曲分析、收缩分析及结构应力分析。

5) 文档制作软件。用于快速生成设计结果的各种报告、表格、文件、说明书。以实体模型为基础的 CAD/CAM 集成系统将三维线框造型、曲面造型、实体造型、三维装配、二维绘图、工程分析、机构分析、数控编程等模块集成在一起,提供强大的解决问题能力。以特征建模、变量化设计为特点,支持自顶向下装配设计,具有内部统一数据模型。遵照 STEP 标准,以统一产品数据模型为核心,以产品数据管理为平台,以互联网和 Web 技术为集成环境。

CAD 系统按工作方法及功能大致分为 4 类:检索型 CAD 系统、自动型 CAD 系统、交互型 CAD 系统和智能型 CAD 系统。

1) 检索型 CAD 系统。检索型 CAD 系统主要用于已经实现标准化、系列化、模块化的工程或产品结构。这些产品或工程的图样、有关程序都已存储在计算机内部。在设计工程中,用户只需按照要求给出不同的参数与设计数据,自动运行程序即可生成符合要求的电子样图;或在原有相似图形的基础上,按用户的技术要求及规范检索出所需要的零部件图,再在 CAD 软件系统中完成产品或工程的修改,组成装配图,并对产品性能进行校核;在满足设计者要求的前提下,输出所需要的各种技术文件和图样。

2) 自动型 CAD 系统。对于自动型 CAD 系统,用户根据产品或工程的性能、规格、要求输入基本参数后,不需要人工干预,系统即可按照既定程序自动完成设计工作,并输出产品或工程设计的全部图样和技术文件。这类系统可用于设计理论成熟、计算公式确定、设计步骤和判别标准清楚、设计资料完备的产品或工程设计中。

3) 交互型 CAD 系统。交互型 CAD 系统最大限度地发挥计算机系统的高速运算能力、严格的逻辑推理能力以及大容量的信息存储能力,将设计人员在长期设计过程中积累的经验、智慧同 CAD 系统的优势结合起来,实现在交互方便、界面友好的环境下完成产品或工程的设计,使人机得到最佳的配合。交互型 CAD 系统也是软件开发中最容易实现的系统。

4) 智能型 CAD 系统。现有的 CAD 技术在产品或工程设计中的大多数情况下只能做数值型工作,如计算、分析、绘图。实际上,在设计过程中还存在着方案构思、最佳方案选择、结构设计优化、设计评价、决策等内容。这类工作往往需要根据一定的知识模型,采用推理的方法才能获得比较圆满的答案。将人工智能技术,特别是专家系统技术应用于产品和工程设计中,形成专业领域的设计型专家,即智能型 CAD 系统。智能型 CAD 系统主要由知识库、推理机、实时系统、知识获取系统和人机接口组成,还包括各种先进技术的综合运用。当使用这样的系统时,用户只需输入设计对象的概念、用途、性能等信息,利用系统提供的推理、决策、计算和电子数据处理等各种机制,即可完成产品或工程的详细设计。

1.2.3 主流 CAD 软件介绍

CAD 软件是运行在操作系统的上的应用软件,是集成了 CAD/CAM/CAE 的软件系统。主

流的 CAD 软件有 SolidWorks、Pro/Engineer、UG、Solid Edge、AutoCAD/MDT、I-DEAS 等。

1. SolidWorks

1993 年 SolidWorks 公司成立, 1995 年推出 SolidWorks 软件, 是第一个基于 Windows 平台开发的三维造型软件。1997 年, SolidWorks 被法国达索公司 (Dassault Systemes) 收购, 成为其子公司, 专门负责研发和销售机械设计软件的视窗产品。次年开始, 原来运行在 UNIX 操作系统的工作站大型 CAD 软件逐渐移植到 Windows 操作系统中。SolidWorks 可以动态模拟装配过程, 采用基于特征的实体建模, 具有很强的参数化设计和编辑功能, 采用特征树管理几何特征, 具有高级曲面造型、大型装配能力。其内置产品数据管理, 基于 Internet 的设计交流工具, 动态干涉检查、实时间隙检测, 适合机械设计、装配设计、钣金设计, 可以和有限元分析、运动分析、数控 (NC) 加工集成成为机械产品设计系统。

SolidWorks 以三维实体建模为基础, 实现零件的建模、装配和工程图的绘制, 其产品设计和实体建模方法有自下而上 (Down-Top) 方法和自上而下 (Top-Down) 方法。自下而上的设计中, 用户首先设计好产品的各个零部件, 再运用装配关系把各个零部件组成产品。SolidWorks 实现自下而上的设计时, 装配体是通过加入已有零件并调整其方向来创建的, 零部件在装配体中关联面或边来配合、调整它们在装配体中的方向和位置。自上而下的设计是指在装配环境下完成相关子部件的设计。相对于传统的自下而上的设计方法, 自上而下的设计和建模方法利用原有的装配体中的零件位置和几何关系设计出新的零件, 新零件与已有零件之间的关系将自动建立。

2. Pro/Engineer

Pro/Engineer 是美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, PTC) 开发的参数化设计和基于特征设计地实体造型的常用三维机械设计软件。该软件建立在统一的数据库上, 有完整和统一的模型, 能将设计与制造过程集成在一起。

3. UG

UG (Unigraphics) 是由 Siemens PLM Software 开发的三维建模软件。该软件适用于航空航天器、汽车、通用机械和模具的设计、分析和制造, 运行的软件环境是 Windows NT/UNIX 操作系统, 运行的硬件设备可以是 HP、SUN、SGI 等工作站。其主要特点是以 Parasolid 为平台, 有 IMAN 数据管理软件, 可与多种设计、造型、分析、制造软件集成, 并且可以和新一代低成本的 Solid Edge 软件集成, 拥有完善的维护支持系统。

4. Solid Edge

Solid Edge 是 Siemens PLM Software 为微机开发的软件产品, 采用 Stream 技术, 基于特征的参数化造型, 具有装配设计与管理功能, 有模型和钣金模块, 可以利用二维图形作为实体造型的特征草图, 使得通过二维图形快速产生三维模型。

5. AutoCAD/MDT

AutoCAD/MDT 软件具有较强的二维绘图及图形编辑能力, 体系结构便于二次开发。同时, 可以通过标准的或专用的数据格式与其他 CAD/CAM 系统进行数据交换。MDT 软件是 2D/3D 一体化设计系统, 具有实体造型和曲面造型功能、工程分析及装配功能、三维建模与二维视图自动关联能力, 适合 AutoCAD 软件的升级, 普及性好, 国内的支持能力较强。

6. I-DEAS

I-DEAS 是一款三维实体机械设计自动化软件, 它具有功能强大、直观可靠和高度一体

化的特点。

7. Cimtron

Cimtron 软件运行于 Windows NT/UNIX 操作系统，是一款集成了 CAD/CAM/PDM 的软件系统，可为用户提供从数据到产品的解决方案，使用户完成从数据接口到面向制造的设计，再到 NC 加工的整个过程。其曲面和实体造型设计工具满足任何复杂而详细的处理要求，实现零件生产的精确加工。

8. GRADE/CUBE-NC

GRADE/CUBE-NC 软件是一款以加工为目的 CAD/CAM 系统，具有卓越的三维造型技术，充分考虑加工工艺的高速性、高效率、高精度加工能力，在日本被广泛应用于家电、汽车、机械制造、模具等行业。

9. CAXA

CAXA 是一款我国自主研发的具有国内领先水平的 CAD 软件，引入先进的参数化特征造型技术，可以生成 3D 复杂曲面及 NURBS 造型，支持模具设计 2~3 轴、4~5 轴数控加工，可以完成刀具路径仿真、测量数据造型、多种 NC 加工的后置处理，提供二维图样自动创建工具，一次生成各向视图。

除了上述软件外，还有其他一些较常见的有特色的 CAD 软件。各种常见 CAD 软件的功能及运行平台见表 1-2。

表 1-2 常用 CAD/CAM/CAE 软件

产品名称	模块及功能	软硬件平台
SolidWorks	参数化实体建模，工程制图，装配设计，集成有限元软件 Cosmos	微机 Windows 系列
CATIA	机械设计（特征建模、变量设计、工程绘图、装配设计），曲面设计，有限元分析	微机工作站 UNIX Windows 系列
Pro/ENGINEER CADD5	Pro/ENGINEER：特种参数化建模，大型部件装配，基于 Web 零件库 Pro/MECHANICA：结构、热力学、运动、疲劳、塑流等分析，动画仿真 Pro/DESKTOP：概念设计 Pro/Moldesign：模具设计	微机工作站 UNIX Windows 系列
UG (Unigraphics)	三维建模（特征自由曲面） 工程绘图，装配 有限元分析，注塑模分析机构分析	微机工作站 UNIX Windows 系列
Solid Edge	三维造型，二维绘图，装配设计	微机 Windows 系列
AutoCAD MDT Inventor	二维设计绘图 参数化特征实体造型，曲面造型，装配造型，关联的绘图 以装配为中心的三维设计与基于特征的实体建模系统，采用自适应造型技术，实现通过 Web 合作的大型装配	微机 Windows 系列
I-DEAS Master Series	核心主模块（三维特征建模、变量化草绘设计），曲面造型，装配工程绘图，钣金设计 有限元建模与分析（线性、非线性、相应），优化 各种库（标准件、模架、符号、材料）	微机工作站 UNIX Windows 系列

(续)

产品名称	模块及功能	软硬件平台
Working Model	Working Model 2D/Motion: 二维/三维的机构运动学、动力学分析 Working Model FEA (即 Incheck 有限元分析) Working Model Concept 尺寸优化及结构设计 Working Model View/Studio: 模型的浏览与批注、渲染与动画	微机 Windows 系列
Object D	二维图形参数化功能 (反映设计关系与设计约束) 图形生成、编辑、显示、标注 AQL 语言的开发手段	多种网络环境
Incheck NASTRAN PATRAN	微机上的有限元分析 (应力、应变、热传导、振动、屈曲等) 大型通用结构有限元分析 几何访问, 有限元建模、分析及数据可视化	微机 工作站
ANSYS	有限元分析	微机 工作站

1.2.4 常用 CAD 软件的中间文件格式

CAD 软件系统的商用产品很多, 而各 CAD 软件公司都有自己的文件格式, 在 CAD/CAM/CAE 之间, 图形文件也需要交换数据。因此, CAD 软件公司都遵守国际标准化组织 (ISO) 制定的计算机图形软件的标准, 支持中立的文件格式来交换不同软件之间的数据, 实现 CAD/CAM/CAE 阶段的图形数据传递。ISO 批准的计算机图形标准有: 计算机基本图形系统 (CORE)、计算机图形核心系统 (GKS)、三维图形核心系统 (GKS-3D)、程序员层次交互式图形系统 (PHIGS)、计算机图形元文件 (CGM)、计算机图形接口 (CGI)、基本图形转换规范 (IGES)、产品数据转换规范 (STEP) 等。图形软件标准的关系如图 1-3 所示。

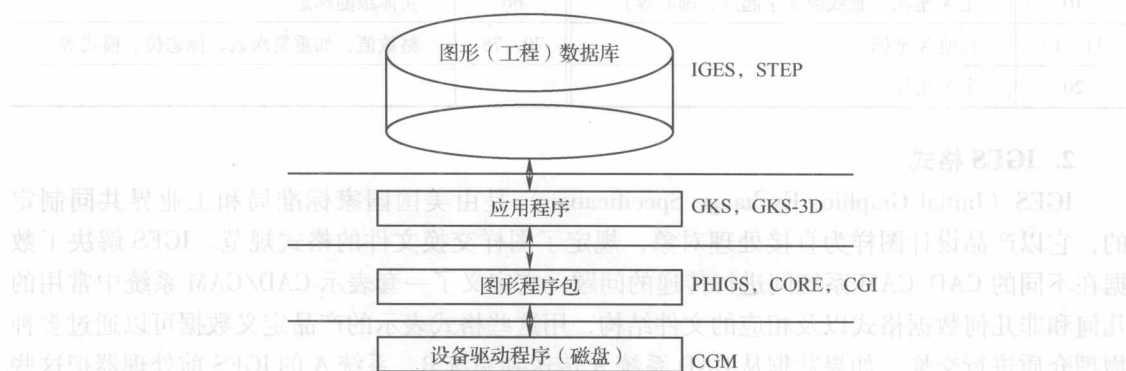


图 1-3 图形软件标准的关系

常用的按照标准制定的图形文件格式有以下几种。

1. DXF 格式

DXF 格式本来只是 AutoCAD 软件用以将内部图样信息传递到外部的数据文件, 不是由标准化机构制定的标准。但是, 由于 AutoCAD 的流行, DXF 文件也就成为图形文件的一种

类型。DXF 格式文件是可读的，比 IGES 文件更简单易懂，但其能定义和表达的内容不如 IGES 丰富。DXF 文件可以是 ASCII 码文件，也可以是二进制格式文件。其总体结构分为如下 5 个段：

- 1) 标题段。有关图形的总体信息，如系统当前设置状态参数等。
- 2) 表段。包括以下各项的定义：线型表、图层表、字体表及视图表。
- 3) 图块段。包括定义图块实体的描述。
- 4) 实体段。图中各实体图表的具体描述，该段是 DXF 文件的核心部分。
- 5) 文件结束标志 EOF。

DXF 文件的基本单位是组，每个组在 DXF 格式文件中占两行，其首行是组码，第二行是组值。组码除用以表明组值数据类型外，还标明了该组的用途，见表 1-3。标准中所有的变量、表项、实体描述都是先由一个组给出名称，然后由若干组说明其内容，再由这些变量、表项、实体组成各个段。

表 1-3 DXF 文件组码表

组 码	组的用途	组 码	组的用途
0	标识图素实体、表项或文件头的开始，后随的文字标明具体对象	21 ~ 28	其他 Y 坐标
		30	主 Z 坐标
1	图素实体的文字说明	31 ~ 36	其他 Z 坐标
2	名称、属性、特征、图块名	38	实体的标高，如果非零的话
3 ~ 5	其他文字或名称	39	实体的厚度，如果非零的话
6	线型名	40 ~ 48	文字字符高，比例因数等浮点数数值
7	实体名	49	重复性的值
8	图层名	50 ~ 58	角度值
9	变量名标识符	62	颜色号
10	主 X 坐标（直线或文字起点、圆心等）	66	实体跟随标志
11 ~ 18	其他 X 坐标	70 ~ 78	整数值，如重复次数、标志位、模式等
20	主 Y 坐标		

2. IGES 格式

IGES（Initial Graphics Exchange Specification）是由美国国家标准局和工业界共同制定的，它以产品设计图样为直接处理对象，规定了图样交换文件的格式规范。IGES 解决了数据在不同的 CAD/CAM 系统间进行传递的问题，它定义了一套表示 CAD/CAM 系统中常用的几何和非几何数据格式以及相应的文件结构，用这些格式表示的产品定义数据可以通过多种物理介质进行交换。如果数据从 CAD 系统 A 传送到系统 B，系统 A 的 IGES 前处理器把这些传送的数据转换成 IGES 格式，而实体数据再由系统 B 的 IGES 后处理器把其从 IGES 格式转换成该系统内部的数据格式。标准的 IGES 文件有固定长的 ASCII 码、压缩的 ASCII 码及二进制 3 种格式。固定长 ASCII 码格式的 IGES 文件每行为 80 字符，整个文件分为 5 段。段标识符位于每行的第 73 列，第 74 ~ 80 列指定为用于每行的段的序号。序号都以 1 开始，且连续不断，其值对应于该段的行数。

- 1) 开始段，代码为 S。该段是为提供一个可读文件的序言，主要记录图形文件的最初