

高职高专规划教材
(数控技术应用专业)

计算机辅助设计

主编 苏 春
参编 李 芳 张金标 徐 伟
主审 王志平



机械工业出版社

本书为教育部高职高专规划教材，是针对高职高专数控技术、模具制造等专业计算机辅助设计（~~悦~~）课程的教学要求而编写的。本书主要介绍计算机辅助设计的基本概念、方法及应用，主要内容有~~悦~~与产品设计的关系、~~悦~~技术的现状及发展趋势、~~悦~~系统软硬件的组成、计算机绘图、机械产品建模方法、产品数据交换标准、计算机仿真及虚拟样机设计技术等。重点介绍了计算机绘图软件 ~~粤~~ ~~粤~~ 三维机械产品设计软件 ~~粤~~ ~~粤~~ 的基本功能及操作。

本书内容新颖、简明、实用，反映 ~~悦~~ 技术及软件的最新进展，既具有一定的理论性，又具有很强的可操作性。本书可以作为高职高专院校数控技术、模具制造、机电一体化、机械制造等相关专业的教学用书，也可供有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目（~~悦~~）数据

计算机辅助设计 ~~粤~~ 主编 援—北京：机械工业出版社，~~粤~~
高职高专规划教材 援数控技术应用专业
~~粤~~

I 援计 ~~粤~~ II 援苏 ~~粤~~ III 援计算机辅助设计—高等学校：技术学校—教材 IV 援裁 ~~粤~~

中国版本图书馆 ~~悦~~数据核字（~~粤~~）第 ~~粤~~号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 ~~粤~~号 邮政编码 ~~粤~~）
责任编辑：汪光灿 版式设计：张世琴 责任校对：樊钟英
封面设计： 责任印制：闫 焱
北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
~~粤~~年 源月第 员版第 员次印刷
~~粤~~年 粤月第 粤版第 粤次印刷 印张· 千字
— 册
定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（~~粤~~）~~粤~~ ~~粤~~
封面无防伪标均为盗版

前 言

目前,经济全球化的进程正在稳步推进,信息时代又悄然来临,使得知识和信息成为体现一个企业乃至一个国家综合竞争力的核心标志。与此相适应,信息化已成为制造业发展的必然趋势,也成为制造企业市场竞争力的重要体现。

以计算机辅助设计(CAD)技术为基础的产品数字化模型,构成了制造企业信息化的信息之源。同时,CAD技术本身也正经历着深刻变革,主要表现在:由以二维绘图特征的计算机绘图向全三维、数字化产品开发转变;由单一的CAD功能向由建模、装配、干涉检查等功能模块构成的集成化软硬件系统转变,以支持产品的全生命周期,全面提升企业的产品开发能力。实际上,CAD已经成为制造企业的一种通用性技术平台和手段。2004年10月,国家科技部启动了我国制造业信息化工程重大项目。其中,以三维CAD系统为代表的数字化设计技术被列为七项关键技术之首。

CAD技术、数控技术、机电控制以及信息技术等课程是高职数控技术、模具制造、机电一体化等专业学生必须掌握的基本理论及技能。编写本书之目的在于:及时反映机械计算机辅助设计技术的发展现状;合理选择教学内容,通过理论~源学时的教学及上机实践,使相关专业的学生既掌握CAD领域的基本知识及理论,又具有一定的软件操作及应用能力,以适应专业岗位及职业技能的基本要求。

全书共分10章。其中,第一章介绍了CAD技术的基本概念及应用领域等;第二章阐述了CAD系统的软硬件组成及建立、主流CAD软件及其特点;第三章结合二维绘图软件AutoCAD,介绍了计算机绘图的基本功能及其操作;第四章介绍了产品三维建模技术、产品数据交换标准;第五章介绍了当今CAD软件的关键技术及研究热点,三维机械设计软件SolidWorks的基本功能及其操作;第六章介绍了计算机辅助设计技术新的发展方向,包括计算机仿真、虚拟样机技术等。

本书第一、五、六章由东南大学苏春编写,第二章由常州轻工职业技术学院徐伟、东南大学苏春编写,第三章由南京工程学院李芳编写,第四章由常州机电职业技术学院张金标编写。全书由苏春主编,由常州轻工职业技术学院王志平主审。

在编写过程中,编者参考了大量文献,并得到东南大学职业技术教育学院和机械工程系的大力支持,在此深表感谢!

由于编者水平所限,书中不足及错误之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编者 苏春

目 录

前言

第一章 悦尊阅技术概述	员
第一节 悦尊阅技术的基本概念	员
第二节 悦尊阅技术的历史、现状及发展趋势	缘
第三节 悦尊阅技术的应用领域及其特点	苑
习题	苑
第二章 悦尊阅系统的组成与建立	源
第一节 悦尊阅系统组成概述	源
第二节 悦尊阅系统的硬件构成	源
第三节 悦尊阅系统的软件构成	愿
第四节 悦尊阅系统的建立过程和方法	愿
第五节 主流悦尊阅软件介绍	愿
习题	愿
第三章 计算机绘图软件 粤国版悦尊阅	猿
第一节 粤国版悦尊阅软件的基础知识	猿
第二节 常用的绘图命令	源
第三节 对象的捕捉与选择	缘
第四节 常用的图形编辑命令	缘
第五节 图形实体属性	缘
第六节 尺寸标注	苑
第七节 定制样板图	愿
第八节 计算机绘图应用示例	愿
习题	愿
第四章 产品建模技术	愿
第一节 产品建模技术概述	愿
第二节 形体在计算机内部的表示	愿



第三节	基于线框、曲面及实体的产品建模	页
第四节	产品的特征及参数化建模技术	页
第五节	产品结构模型	页
第六节	产品数据与产品数据交换标准	页
习题	页
第五章	三维机械设计软件 杂字/集/释	页
第一节	三维软件的关键技术及研究热点	页
第二节	杂字/集/释 软件的工作流程分析	页
第三节	杂字/集/释 软件的产品建模	页
第四节	杂字/集/释 产品建模应用示例	页
习题	页
第六章	计算机仿真及虚拟样机技术	页
第一节	计算机仿真的基本概念	页
第二节	虚拟样机设计技术	页
习题	页
参考文献	页



第一章 悦阅读技术概述

第一节 悦阅读技术的基本概念

一、产品设计与悦阅读技术之间的关系

设计是人类改造自然的一种基本活动，它是复杂的思维过程，也是具有创造性的活动。设计技术就是设计过程中解决具体设计问题的方法、手段。

总体上，机械设计技术经历了三个发展阶段：19世纪以前的“直觉设计阶段”；19世纪后的“经验设计阶段”以及“传统设计阶段”；目前广泛应用的“现代设计阶段”。

传统设计技术以“静态、经验、被动、手工”为基本特征。19世纪中期以来，科学技术的发展对传统的产品开发提出挑战，各种新材料、新工艺、新技术的出现，使传统设计技术难以满足产品设计需求。主要体现在：市场竞争日益激烈，要求企业提供质优、价廉、具有创新性的产品；新技术快速、广泛地应用到产品开发中，使产品的功能及结构趋于复杂。同时，相关科学及技术的发展，尤其是计算机科学及技术，促进了设计方法及手段的现代化，逐步形成了现代设计技术。

现代设计技术试图主动地设计产品的参数，具有“系统、动态、优化、科学、创造、主动、计算机化”等特点，具体表现为：

(员) 系统性 现代设计技术强调用系统的观点处理设计问题，从整体上把握设计对象，考虑对象与外界（人、环境）的联系。

(圆) 动态性 不仅要考虑产品的静态特性，还要考虑产品在实际工作状态下的动态特征，考虑产品与周围环境的物质、能量及信息的交互。

(猿) 优化性 通过优化理论与技术，对产品进行方案优选、结构优选和参数优选，力争实现系统整体性能的最优，以获得功能全、性能好、成本低、价值高的产品。

(源) 科学性 现代设计技术建立在科学的数学、物理、力学等理论及方法之上，不断摒弃传统设计中主要依赖直觉、类比以及经验的设计，使设计结果更为科学、合理。

(缘) 创造性 现代设计技术建立在先进的设计理论及设计工具基础上，能充



分发挥设计者的创造性思维能力和集体智慧，运用各种创造方法，有利于开发出具有创新性的产品。

(远) 主动性 科学技术的发展使得在产品设计的早期，就可对产品全生命周期的各种性能作出准确预测，有利于及早发现产品的潜在缺陷，将各种修改、可能发生的故障减少到最低程度，体现了主动性的特征；也有利于缩短开发周期、降低生产成本、提高产品质量。

(苑) 计算机化 计算机技术的产生和发展给人类社会带来了深远而广泛地影响。目前，计算机已经广泛渗透到机械产品的开发各个环节中，甚至到了离开计算机就难以实现产品开步的地步。

计算机辅助设计(悦)是20世纪60年代以后发展起来的、基于计算机的现代设计技术。它是指以计算机为工具，处理产品设计过程中的数字与图形信息，辅助完成产品设计的技术。

广义的悦技术涵盖以下内容：① 利用计算机进行产品的概念化设计、造型、装配、二维工程图及相关文档设计；② 利用计算机进行产品渲染、动画显示；③ 利用计算机对产品进行有限元分析、优化设计、可靠性设计、运动学及动力学仿真等。狭义的悦则是指其中第①条内容。

图 1-1 给出了产品设计过程与悦技术之间的关系。随着相关技术的成熟，悦技术越来越广泛和深入地渗透到产品开发过程中，成为产品开发的基本工具。

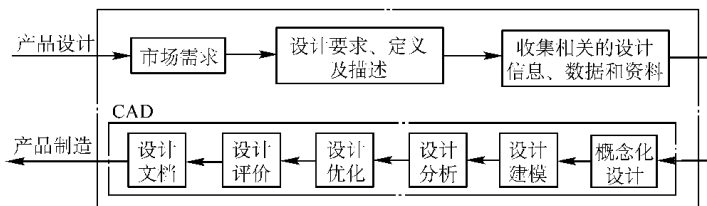


图 1-1 产品设计与悦技术之间的关系

由图 1-1 可以看出，产品开发源于用户及市场需求。从总体上讲，从市场需求到最终产品要经历设计(悦)和制造(配)两大过程。其中，设计过程可以分为综合(悦)和分析(悦)两个子过程。

综合子过程用于确定产品的工作原理、功能和内在特点，在很大程度上决定了产品开发的成本和所需费用，对于分析乃至整个设计过程都至关重要。综合子过程所涉及的信息多是定性的，较难被计算机系统所描述、接受和利用。近年来，专家系统(悦)和知识基系统(悦)等在解决上述问题上取得一定进展。综合子过程的结果是形成产品的概念化设计模型。

概念化设计往往是设计人员对各种可能方案进行讨论和评价的结果，可以勾勒出产品的初步布局和草图，定义出产品各部件之间的内在联系及约束关系。为



预测和评价产品概念设计的性能，需要以定量方法对概念化设计模型进行描述，这就是产品建模。产品建模为进行产品分析创造了条件。

分析过程是产品设计过程的重要组成部分。设计人员对产品模型进行分析、优化和评价后，并综合各方面因素，决定最终的产品设计方案。在计算机环境下，可以利用各种算法、软件对设计方案进行设计、分析和优化，有利于在更短的时间内作出更好的决策。分析过程的结果是生成设计文档，包括图样、材料明细表（月）、费用分析及其他文件，为产品的制造过程作出准备。

从图 1-1 可知，愉悦是产品设计过程的一个子集。将设计者的思维形成产品的概念化设计模型后，愉悦软件就可以作为几何建模工具用于定义产品的几何模型，从而将设计者的思想表达出来。以产品的几何模型为基础，可以采用各种算法如优化算法、有限元法等对产品性能进行分析、评价和优化，并根据测试和评价结果对几何模型进行修改和定型。当得到最终的设计结果时，可以利用愉悦系统生成产品的详细模型及文档。

愉悦的核心是几何建模技术。颜色、网格、修正符等造型辅助功能可以使建模过程更简洁；图形变换功能有利于从不同视角更好地观察模型；渲染和动画等可视化操作有利于设计者的概念表达、交流和进行干涉检验；各种分析及优化软件，如有限元法（云）软件等，具有形状和结构优化功能，为进行产品优化提供了有力的分析工具；运动学及动力学软件则可以预测产品性能；而工程图绘制、尺寸及公差标注、物料单等功能是各种愉悦软件的基本功能。表 1-1 给出了愉悦工具与设计过程各阶段之间的关系。

表 1-1 支持设计过程所需的愉悦工具

设计阶段	所需的愉悦工具
概念化设计	几何建模技术，造型辅助功能，可视化操作，图形变换
设计建模	同上，装配，爆炸图，模具设计，特定的造型软件
设计分析、优化及评价	有限元分析软件，形状、结构优化程序，运动学及动力学仿真软件，定制的程序及软件
设计文档	工程图，装配图，尺寸、公差标注，物料单（ <small>月</small> ），渲染图，数控编程，其他设计文档

从发展历史看，愉悦技术是受技术和应用驱动而形成。其中，航空、汽车及造船工业在很大程度上决定了愉悦技术的发展。一般地，工业环境下愉悦技术的应用过程及内容如图 1-2 所示。

二、计算机在愉悦技术中的作用

愉悦技术是有机结合人和计算机的优点而形成的新型设计方法。由愉悦的定义，可以得出以下结论：



员对计算机技术强调产品设计过程中计算机的支持和参与

与传统设计方法相比,计算机技术充分利用了计算机的特点,如强大的信息存储能力、逻辑推理能力、重复工作能力、快速精确的计算能力以及方便快捷的修改编辑功能等,从而极大地提高了设计效率和质量。正因为计算机具有上述优点,才使得计算机技术得到广泛研究和应用。

员对计算机技术强调计算机的辅助作用

尽管计算机具有上述优点,但它也只是人们从事产品设计的工具而已。人具有创造性思维,能够对设计过程进行分析和综合,转换成适合于计算机处理的数学模型,编制解算上述模型的程序。人还可以控制程序的运行,并对设计结果进行分析、评价和修改,得出优化的设计方案。人的直觉、经验和判断是产品设计中不可缺少的,也是计算机无法代替的。总之,人在产品设计的各个阶段始终具有最终的控制权、决策权,计算机只是起重要的辅助作用,而不是取代人。

员对计算机技术不可能、也没有必要涉及产品设计的所有环节

因此,在产品设计过程中,如何正确地处理人机之间的关系、充分发挥各自优势,是计算机技术应用中的重要问题。表 5-1 对人和计算机的特点作出了比较。

表 5-1 人和计算机的特点比较

比较项目	人	计算机
数值计算能力	弱	强
推理及逻辑判断能力	以经验、想像和直觉进行推理	模拟的、系统的逻辑推理
信息存储能力	差,与时间有关	强,与时间无关
重复工作能力	差	强
分析能力	直觉分析强,数值分析差	无直觉分析能力,数值分析强
出错率	高	低

从表 5-1 可以看出,人和计算机的能力大多数方面都是互补的,即在某些方面人的能力强于计算机,而在某些方面计算机的能力又强于人。

就计算能力而言,计算机的优势是显而易见的。它具有计算速度快、错误率低、精度高等优点,可以完成数值计算、信息管理、建模、绘图、有限元分析、

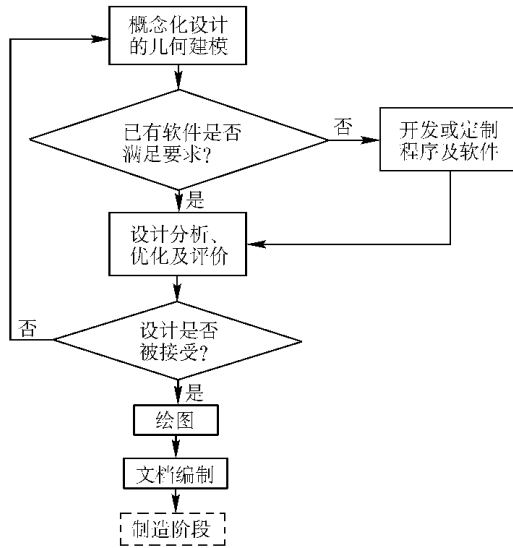


图 5-1 工业环境下计算机技术的应用过程及内容



优化、运动仿真等任务，成为产品设计的重要辅助工具。某些设计及分析过程，如优化计算、有限元分析、迭代运算等，离开计算机的参与就难以完成。

计算机还具有强大的数据存储能力，能够在数据存储、管理及检索中发挥重要作用。在计算机出现之前，设计人员需要从技术文件或设计手册中查找相关数据，效率低下，容易出错。利用计算机和数据库技术，可以实现数据的有序存储、检索和使用，从而使设计人员全身心地投身于创造性的设计工作中。

总之，只有恰当地处理好人与计算机之间的关系，最大限度地发挥各自的优势，才能获得最大的经济效益。

另外，计算机技术只是计算机在产品开发中的应用环节之一。在产品制造过程中，计算机同样能发挥重要作用，一般称之为计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）。利用计算机可以辅助完成制造过程中的工艺计划编制、数控程序编制、数控加工控制及作业管理等环节。狭义的计算机技术是在制造的某个环节应用计算机，而广义的计算机技术则是指利用计算机完成从原材料到产品的全部制造过程。

计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）和计算机辅助制造（CAM）之间具有密切关系，两者之间存在双向联系。设计人员在利用 CAD 进行设计时，应考虑 CAM 的制造要求，如公差和加工特征等。CAD 的设计结果也直接影响工艺规划的制定和其他制造环节。人们发现，只有将两者有机地结合起来，才能获得更大的经济效益。主要原因如下：

① 只有与 CAM 技术结合，产品的 CAD 模型信息才能被充分利用。

② 只有基于产品的 CAD 模型，才能充分体现数控加工的高效特征。

因此，在实际应用中，CAD 和 CAM 技术自然地结合起来，进而形成 CAD/CAM 技术。以 CAD/CAM 技术为基础，考虑对产品开发、制造及售后等环节的信息集成，就形成了计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）。

CAD/CAM 技术正在深刻地改变传统的产品设计、制造和生产组织模式，成为加快产品更新换代、提高企业竞争力、推进企业技术进步的关键技术，被人们称为“产业革命的发动机”。CAD/CAM 技术的发展和水平已经成为衡量国家工业化水平和综合实力的重要标志之一。

第二节 计算机技术的历史、现状及发展趋势

一、计算机技术的历史与现状

1946年，世界上第一台计算机 ENIAC（Electronic Numerical Integrator and Calculator）在美国宾夕法尼亚大学研制成功。ENIAC 的快速计算能力和大的信息存



储能力极大地减少了弹道的计算时间。

计算机的诞生具有划时代的意义，它极大地解放了生产力。此后，各种数值计算方法在计算机上实现，计算机开始成为工程和产品设计的分析工具。20世纪50年代以后，以美国为代表的工业发达国家出于航空和汽车等工业的生产需求，开始将计算机技术应用于机械产品的设计过程中，从而形成计算机图形技术。计算机图形技术的发展大致经历了以下几个阶段：

1. 准备和酝酿阶段（20世纪50年代初）

1951年，美国麻省理工学院研制出旋风（旋风计算机）图形设备，可以显示简单图形；20世纪50年代后期，出现了图形输入装置——光笔；1955年，美国通用电气公司研制出滚筒式绘图仪，IBM公司研制出平板绘图仪。

总之，20世纪50年代，计算机图形处于构思交互式计算机图形（交互式图形）阶段，主要解决计算机中图形的输入、显示和输出问题。

2. 初步应用阶段（20世纪50年代）

1956年，美国麻省理工学院林肯实验室（林肯实验室）的伊凡·萨瑟兰发表了“一个人机通信的图形系统”的博士论文，首次提出了计算机图形学、功能键操作、分层存储符号、交互设计技术等新思想，为计算机图形的发展和应用准备了必要的理论基础和技术。交互式图形系统的出现是计算机图形发展史上的里程碑，它表明通过阴极射线管（CRT）显示器交互创建图形和修改对象的可能性。到了20世纪50年代中期，计算机图形的概念开始为人们接受，计算机图形超越了计算机绘图的范畴而强调了利用计算机进行设计的思想。

1957年，美国IBM公司推出了商品化计算机绘图设备，美国通用汽车公司研制成功多路分时图形控制台，可实现各阶段的汽车设计。1958年，美国洛克希德飞机公司（洛克希德公司）推出第一套基于大型机的商用交互式图形软件系统——交互式图形软件系统。1959年，贝尔电话实验室（贝尔实验室）开发了价格低廉的实用交互式图形显示系统，促进了计算机图形学和计算机图形技术的迅速发展。

20世纪50年代，交互式计算机图形处理得到深入研究，相关软硬件系统也走出实验室而趋于实用。20世纪50年代末，美国安装的计算机工作站已达100多台。

3. 广泛使用时期（20世纪60年代）

进入20世纪60年代后，20世纪50年代有关计算机图形学的研究和努力得到回报，其潜在的高效率引起工业界、政界以及学术界的广泛重视。存储器、光笔、光栅扫描显示器、图形输入板等形式的图形输入设备开始进入商品化，出现了面向中小企业的交互式图形商品化软件“交钥匙系统（交钥匙系统）”，它包括图形输入输出设备以及相应的交互式图形软件。这种系统的性能价格比较高，提供基于线框模型（线框模型）的三维建模及绘图工具。曲面模型（曲面



表精而选得到初步应用。

1982年，国际计算机图形学标准委员会(ISO)标准发表，为悦智阅的标准化和通用性创造了条件。与此同时，与悦智阅相关的技术，如质量特征计算、有限元建模、叠纸带生成、检验以及集成电路等得到十分广泛的研究和应用。

20世纪90年代是悦智阅技术研究的黄金时代，悦智阅的功能模块已基本形成，各种建模方法及理论得到了深入研究。悦智阅的单元技术及功能，如计算机辅助绘图、有限元分析和数控编程等得到应用。但是，各功能模块的数据结构尚不统一，集成性差。

飞跃突飞猛进时期(20世纪90年代)

悦智阅的概念已超越了传统的计算机绘图的范畴，基于微机(个人计算机)和工作站的悦智阅系统得到广泛使用；悦智阅的新算法、新理论不断出现并迅速商品化，如基于样条曲线以及自由曲面等曲线的复杂曲面描述方法。实体建模(自由曲面建模)技术趋于成熟，提供了统一的和确定性的几何形体描述方法，并成为悦智阅软件系统的核心功能模块；采用统一的数据结构和工程数据库成为悦智阅软件开发的趋势和现实。

以美国为例，1985年悦智阅系统安装为100万套，1990年超过200万套，1995年达到300万套。

20世纪90年代，悦智阅技术的研究重点是超越三维几何设计，将各种单元技术进行有效集成，提供更完整的工程设计、分析和开发环境。

缘微机化、标准化、集成化发展时期(20世纪90年代)

微机(个人计算机)加微软的Windows操作系统、工作站加UNIX操作系统以及以太网(局域网)为主的网络环境构成了悦智阅系统的主流平台。

悦智阅系统图形功能日益增强、图形接口趋于标准化，ISO、ANSI、IEEE等标准及规范得广泛到应用，实现了悦智阅系统之间以及与悦智阅间的信息兼容和数据共享，有力地推动了悦智阅技术的普及和推广。

悦智阅软件系统由过去的单一功能向集成功能转变，软结构和软总线技术得到普遍应用，并出现了由计算机辅助设计(悦智阅)、计算机辅助分析(悦智阅)、计算机辅助工艺规划(悦智阅)、计算机辅助制造(悦智阅)、产品数据管理(悦智阅)等功能模块构成的计算机集成制造系统(悦智阅)。

并行处理、多微处理器技术得到应用，工作速度成倍提高；网络技术得到应用，实现了远、近程的资源共享以及异地、协同、虚拟设计和制造。

二、悦智阅技术的发展趋势

悦智阅是以计算机为基础的应用技术。它源于计算机而产生，也必然随着计



计算机技术的发展而发展。现代信息技术,尤其是网络技术的发展,给 CAD 的发展带来挑战,也提供了新的机遇。总的来说,在网络信息时代,CAD 技术呈现出以下发展趋势:

① 利用基于网络的 CAD 集成技术以实现全数字化设计与制造。在 CAD 应用过程中,利用产品数据管理 (PDM) 技术实现并行工程,可以极大地提高产品开发的效率和质量。例如,过去波音公司的波音 737 型飞机的设计制造周期为 36 个月,在采用 CAD 及 PDM 技术后,波音 737 型飞机的设计制造周期缩短为 18 个月,使企业获得了巨大的利润,也提高了企业的竞争力。

随着相关技术的发展,越来越多的企业将通过 PDM 进行产品功能配置,利用系列件、标准件、借用件、外购件以减少重复设计,在 PDM 环境下进行产品设计和制造,通过 CAD 的集成,实现完全无图样的设计和全数字化制造。

② CAD 技术与企业资源计划、供应链管理、客户关系管理结合,形成企业信息化的总体构架。CAD 主要用以实现企业设计、工艺和制造过程的管理;企业资源计划 (ERP) 以实现企业产、供、销、人、财、物的管理为目标;供应链管理 (SCM) 以实现企业内部与上游企业之间的物流管理;客户关系管理 (CRM) 则可以帮助企业建立、挖掘和改善与客户之间的关系。

上述技术的集成,可以由内而外地整合企业的管理,建立从企业的供应决策到企业内部技术、工艺、制造和管理部门,再到用户之间的信息集成,从而实现企业与外界的信息流、物流和资金流的顺畅传递。

③ 通过 PDM 将企业的业务流程紧密地连接起来,对设计和制造的所有环节如订单、采购、库存、计划、制造、质量控制、运输、销售、服务、维护、财务、成本和人力资源等进行有效管理。

④ 虚拟工厂、虚拟制造、动态企业联盟将成为 CAD 技术发展的重要方向。

传统的产品开发过程,经历了从设计、绘图、制造、样机试验的串行过程。若样机试验达不到设计要求,还需经过修改设计、重新制造样机、再进行试验的过程。因此,新品开发的周期长、成本高、效率低。

采用 CAD 技术,可以为新产品的开发提供一个虚拟环境,借助三维产品 CAD 模型,可以使设计者更逼真地看到正在设计的产品及其开发过程,认知产品的形状、尺寸和色彩基本特征,用以验证设计的正确性和可行性。通过 CAD 分析,可以对虚拟产品的各种性能和动态特征进行计算仿真,如质量特征、变形过程、力学特征和运动特征等,模拟零部件的装配过程,检查所用零部件是否合



适和正确；通过 愉悦软件定义加工过程，进行 虚拟加工模拟，可以预测零件和产品的加工性能和加工效果，并根据仿真结果及时修改相关设计。借助于产品的虚拟模型，可以使设计人员直接与所设计的产品进行交互操作，为相关人员的交流提供了统一的可视化信息模型，能有效地缩短产品的开发周期，提高产品质量。

在虚拟制造方式中， 愉悦数据模型和 愉悦电子文档以及相关信息可以通过 虚拟网络在联盟企业之间传递；通过及时生产（ 虚拟）以实现合作厂商之间物流的零库存，以降低库存成本；合作厂商之间的结算则采用电子商务形式来完成；企业的销售也将通过 虚拟或 虚拟的电子商务模式；而对用户使用产品的服务和技术支持，也可以通过电子化服务来完成。

总之， 愉悦技术在企业中应用的目标是增强企业的竞争力，这种竞争力主要表现为提高生产效率和降低成本等方面。

就 愉悦技术而言，它还面对网络计算环境以及如何用来提高企业创新设计能力等问题。围绕上述目标， 愉悦软件及技术应具备以下几个基本特征：

1. 愉悦标准化

由于 愉悦软件产品众多，为实现信息共享，相关软件必须支持异构跨平台环境。上述问题的解决主要依靠 愉悦的标准化技术。从 20 世纪 80 年代开始，国际标准化组织（ISO）着手制订 愉悦标准“产品数据模型交换标准”（PDM 标准），该标准采用统一的数字化定义方法，几乎涵盖了所有人工设计的产品。

目前，主流 愉悦支撑软件已逐步实现了 ISO 的标准及其他工业标准，而面向应用的标准构件及零部件库的标准化也开始成为 愉悦系统的必备内容，从而为实现信息共享创造了条件。

2. 愉悦开放性

目前， 愉悦系统普遍建立在开放式操作系统（如 Windows 和 Linux）的平台基础上，也有的 愉悦产品是基于 专用平台。多数的 愉悦系统还为最终用户提供二次开发环境，有的甚至公开其内部源代码。这些都体现了 愉悦软件的开放性。

3. 愉悦集成化

20 世纪 80 年代以后，计算机集成制造（CIMS）的技术成为制造业应用计算机技术的重要方向。它的目标是将产品设计、加工、经营及管理等活动集成起来，实现企业资源的最优配置，被认为是 21 世纪制造工业的生产模式。 愉悦技术提供了共享的产品数据模型，成为 CIMS 的基础和关键。

愉悦技术的集成化体现在以下三个方面：① 愉悦与 愉悦、 愉悦、 愉悦、 愉悦、 愉悦、 愉悦等软件模块集成，为企业提供了一体化解决方案，推动了企业信息化进程。目前，基于 愉悦的创新设计能力已成为企业信息化的重点；② 将 愉悦技术



的算法、功能模块及系统，以专用芯片的形式加以固化，以提高 悦智阅系统的效率；③ 悦智阅在基于网络计算环境实现异地、异构系统企业间的集成，虚拟设计、虚拟制造及虚拟企业就是该集成层次的具体体现。

悦智阅软件开发的另一个趋势是在全球范围内优选最成功的功能构件进行集成。目前，成熟的几何造型平台有 孕期邦透和 粤流飞，几何约束求解构件主要产品是 圆和 猿洞阅流。国产机械 悦智阅系统已经部分采用了 粤流飞和 孕期邦透平台。

源媛智能化

产品的设计过程是具有高度智能的人类创造性活动，智能 悦智阅是 悦智阅发展的必然方向。从人类的认识和思维模型来看，现有的人工智能技术还难以模拟人类的思维活动，如形象思维、抽象思维和创造性思维等。因此，智能 悦智阅不是简单地将现有的智能技术与 悦智阅技术相结合，而是要深入研究人类设计的思维模型，并用信息技术来表达和模拟它，从而产生高效的 悦智阅系统，并为人工智能领域提供新的理论和方法。

第三节 悦智阅技术的应用领域及其特点

一、悦智阅技术的应用领域

悦智阅及 悦智阅技术的产生和应用对人类的发展和进步带来了广泛而深远的影响。员愿年，美国国家工程科学院评选出当代（员愿源-员愿愿年）十项最杰出的工程技术成就，悦智阅和 悦智阅技术列第四项。员愿年，美国政府发表跨世纪的国家关键技术发展战略，选出六大技术领域中的 圆项与国家安全和经济繁荣密切相关的重点项目。其中，员个项目与 悦智阅和 悦智阅技术相关，涉及制造、信息和通信等领域。

几十年来，悦智阅技术得到迅速应用和普及，主要表现在：由军事工业向民用工业扩展，由大型企业向中小企业推广，由高技术领域向家电、轻工等普通产品中普及，由发达国家扩展到发展中国家。

我国政府也十分重视 悦智阅技术的发展。科技部曾提出“到 圆园园年，机械制造业应用 悦智阅技术的普及率和覆盖率达 苑园豫以上，悦智阅和 悦智阅的应用水平达到国外工业发达国家 圆世纪 愿年代末、怨年代初的水平，工程设计行业的 悦智阅普及率达 员园豫，实现勘察设计手段从传统的手工方式向现代化方式的转变，悦智阅的应用水平达国际 圆世纪 怨年代中期的先进水平。”

广义的 悦智阅技术涉及的范围从二维工程图绘制开始，深入到图样文档的电子化管理、三维造型、装潢渲染、有限元分析（猿流）、优化设计、仿真模拟、产品数据管理（孕流）、制造资源计划（酝流）以及虚拟设计等内容。悦智阅的



应用也很广泛，主要包括以下领域：

源援机械制造行业

虚拟现实技术广泛地应用于机械产品的结构设计和产品开发中，如飞机、汽车、船舶等，可以使设计人员“甩掉图板”，改变传统的设计思想，实现设计自动化，降低产品成本，提高企业及其产品在市场上的竞争能力。利用虚拟现实系统提供的功能，可以实现优化设计，并根据设计结果得到零件表、材料单等，还可以使企业由串行作业转变为并行作业，建立一种全新的设计和生产技术管理体制，缩短产品开发周期，提高劳动生产率。

例如，美国波音公司的波音737型飞机从设计到制造的全过程均在以虚拟现实软件为基础的计算机网络环境中完成，包括飞机整体和内部零件的设计、分析和加工等全部环节，实现了全数字无纸化生产，充分展现了虚拟现实在先进制造技术中的重要作用。

世界领先的航空、航天及汽车制造企业，不但广泛采用虚拟现实技术进行产品设计，而且投入了大量的人力、物力及资金进行虚拟现实软件的开发，以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。

源援电子工业

虚拟现实技术广泛地应用于集成电路、印制电路板、电子线路和网络分析等方面。离开虚拟现实技术的支持，手工根本无法完成复杂的大规模和超大规模集成电路板的设计和绘制工作。虚拟现实系统不但可以进行设计，还可以缩短设计周期，并为后续的工艺处理创造条件。

源援建筑、交通等工程结构设计

计算机辅助建筑设计（虚拟现实）是虚拟现实在建筑方面的应用，它为建筑设计带来了一场革命。虚拟现实软件已经从最初的二维通用绘图软件发展到三维建筑模型软件。虚拟现实不但可以提高设计质量，缩短工程周期，还可以节约圆缘~缘缘的建设投资。另外，在公路、铁路、电站等建设过程中，虚拟现实技术也得到广泛应用。

源援科学计算和事务管理

虚拟现实技术可以用来绘制各类数学的、物理的、经济学的二维及三维图表，如直方图、扇形图、折线图等。图表具有简明、形象、直观等优点，有利于人们认识复杂对象，为人们决策提供帮助。

缘援勘探、测量

虚拟现实技术在地理地质勘探及测量、气象等领域广泛应用，如绘制地形图、海洋地理图、气象气流图、矿藏分布图、人口分布图等。

源援轻纺及服装行业

目前，国际市场上对纺织品及服装的要求是批量小、花色多、质量高、交货



要迅速。采用传统的人工方法进行纺织品及服装的花样设计、图案的协调、色彩的变化、图案的分色、描稿及配色等时,效率低,质量差,产品缺乏竞争力。采用 3D 技术,可以优质高效地完成配料、排料、剪裁、设计花色,甚至进行三维人体的服装设计,从而极大地提高产品及企业的国际竞争力。

3. 科学计算的可视化和模拟

传统的科学计算结果往往数据多、复杂,不利于理解和分析。科学计算的可视化是通过对数据流的计算和分析,以二维或三维图形的形式表现计算结果。利用 3D 技术可以模拟各种机构的运动学、静力学和动力学特性,对产品的可装配性进行仿真和干涉检验,对数控加工后的结果进行检验和仿真,从而有效地缩短产品的开发周期、提高产品质量。

4. 医学领域

利用 3D 技术和可视化技术,可以为疾病的诊断和治疗提供形象、准确和直观的手段。

5. 艺术、电影、动画片、广告和娱乐等领域

3D 技术广泛地应用于艺术作品的制作,如图案、花纹、工艺外形设计、绘画及书法等。在电影及电视拍摄、动画片制作、广告宣传中利用 3D 技术也有十多年历史,产生了巨大的经济及社会效益。

随着相关技术的成熟,3D 技术的功能将越来越趋于完善,应用的广度和深度也将不断扩大。

二、3D 技术的优点

随着世界经济一体化的形成,全球范围的市场竞争日趋激烈。同时,技术革命的推动使生产力得到极大提高,传统的卖方市场已不复存在,取而代之的是日益明显的买方市场。因此,新产品开发的时间(周期)、质量(精度)、成本(价格)以及服务(售后)等已成为企业竞争力的主要表现形式和着力追求的目标。

激烈的市场竞争对制造企业提出了诸多新的挑战,主要表现在:① 产品复杂性不断增加;② 激烈竞争导致产品生命周期不断缩短,对产品开发时间提出更高要求;③ 设计风险和各种不确定因素增加;④ 产品设计要更多地考虑环境和社会等因素。因此,如何改善、发展新的产品设计和制造方法引起各国的普遍重视。

从根本上说,企业要适应上述挑战,并在激烈的市场竞争中处于有利位置,就必须依赖于相关技术的发展,3D 技术可以为现代产品的设计提供有力支撑。随着计算机以及 CAD、CAM、CAE 等技术的发展完善,设计过程数字化已成为现代产品设计的基本特征。计算机辅助设计不仅体现在数据处理、强度应力