

21 世纪工程应用计算机技术丛书

CAD 基础理论及应用

曹 岩 杨艳丽 主编

CAD 基础理论及应用



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

21 世纪工程应用计算机技术丛书

CAD 基础理论及应用

曹 岩 杨艳丽 主编

CAD 基础理论及应用

西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西安 ·

内 容 提 要

本书从 CAD 理论概述、CAD 对产品生命周期的支持及其关键技术、以及典型 CAD 系统——Solid Edge 功能与应用三个方面,讲述 CAD 的基本概念、发展历史、原理、技术、方法、系统和应用。注重理论讲解与实际应用的紧密结合,在系统讲解 CAD 基本理论的基础上,通过典型 CAD 系统——Solid Edge 功能与应用的讲解,提高对基本理论的理解,加强应用技能的培养。

本书可作为机械工程和自动化专业的本科生教材使用,也可作为广大从事机械工程、自动化、CAD/CAM 等研究与应用人员的培训教材和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

CAD 基础理论及应用/曹岩,杨艳丽主编. —西安:
西安交通大学出版社, 2011. 7
ISBN 978-7-5605-3879-2

I. ①C… II. ①曹…②杨… III. ①计算机辅助
设计-应用软件, AutoCAD IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 047703 号

书 名 CAD 基础理论及应用
主 编 曹 岩 杨艳丽
责任编辑 屈晓燕 毛 帆

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 西安明瑞印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 11.5 字数 270 千字
版次印次 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3879-2/TP·548
定 价 20.00 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前言

CAD(Computer Aided Design)计算机辅助设计是一种用计算机硬、软件系统辅助人们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。它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。CAD 技术在各个领域得到了广泛的应用,成为当代最杰出的工程技术成就之一。通过对本书的学习,使学生能够掌握 CAD 的基本概念、发展历史、原理、技术、方法、系统和应用,从而为学生以后走上工作岗位从事 CAD/CAM 研究打下坚实的基础,为国家培养技术发展和市场竞争所需的人才。

本书共计 14 章,分为三个部分:

第一部分 CAD 理论概述(包括第 1、2 章)

第 1 章 CAD 概述:讲述 CAD 的基本概念和原理,CAD 的发展历史、应用及功能,CAD 研究的基础内容和国内外研究现状,以及 CAD 关键技术(包括产品数据管理、曲面造型、装配技术、特征技术、实体造型、有限元网格剖分、参数化、变量化方法、工程制图)。

第 2 章 支持整个产品生命周期的 CAD 系统:讲述产品生命周期的概念、DFX(Design for X),产品生命周期中表现形式的变化,支持整个产品生命周期的 CAD 系统的体系结构,支持产品生命周期的实施方案以及 CAD 与 CIMS、虚拟制造等的关系等内容。

第二部分 CAD 对产品生命周期的支持及其关键技术(包括第 3、4、5、6、7、8 章)

第 3 章 计算机辅助工业设计:讲述工业设计与计算机辅助工业设计(CAID)的基本概念,CAID 分类、应用与技术,CAID 的设计程序,CAID 系统的组成,CAID 关键技术(包括计算机辅助造型技术、设计表达技术、智能技术研究、人机交互技术、新技术的应用与融合等),CAID 系统与应用等内容。

第 4 章 计算机图形系统原理:讲述图形显示器、基本图元的生成方法、图形变换、图形投影变换、图形的裁剪变换、几何建模等内容。

第 5 章 计算机辅助概念设计:讲述计算机辅助概念设计的基本概念、工程设计领域的计算机辅助概念设计,工业设计领域的计算机辅助概念设计,人工智能领域的计算机辅助概念设计,应用领域的计算机辅助概念设计,计算机辅助概念设计的发展趋势等内容。

第 6 章 计算机辅助工程分析系统及应用:讲述计算机辅助工程(CAE)的应用、大型有限元分析软件的结构和功能、主要 CAE 软件、国外几种大型微机有限元分析系统、计算机辅助工程发展趋势,以及计算机辅助工程分析实例。

第 7 章 模具 CAD 系统:讲述模具 CAD 的关键技术,模具 CAD 系统的类型,模具 CAD 系统开发方法,以及模具型腔类零件的建模实例。

第 8 章 CAD 软件系统设计及开发方法:讲述 CAD 系统基本特点,CAD 系统开发遵循的原则,CAD 系统开发软件工程,CAD 系统开发流程,CAD 系统开发方式,CAD 平台等内容。

本书由曹岩教授、杨艳丽副教授主编,其中第 1、2 章由袁清珂教授编写,第 3、5 章由李晓玲副教授编写,第 4 章由李建华教授编写,第 6 章由曹岩教授、杨艳丽副教授、万宏强博士编写,第 7 章由曹岩教授、杨艳丽副教授、任宗宽高工编写,第 8 章由杨艳丽副教授、曹岩教授编写。

由于作者水平及使用经验有限,疏漏之处在所难免,望各位读者不吝赐教,作者在此深表感谢。

作者

2011 年 7 月

目 录

第 1 章 CAD 概述	(1)
1.1 CAD 的基本概念和原理	(1)
1.2 CAD 的发展历史、应用及功能	(2)
1.2.1 二维 CAD 技术的发展	(2)
1.2.2 曲面造型技术与三维 CAD 系统的发展	(2)
1.2.3 实体造型技术与三维 CAD 系统的发展	(3)
1.2.4 参数化技术与三维 CAD 系统的发展	(3)
1.2.5 变量化技术与三维 CAD 系统的发展	(3)
1.3 CAD 研究的基础内容和国内外研究现状	(4)
1.3.1 研究现代设计理论与方法学	(4)
1.3.2 研究与设计环境相关的技术	(4)
1.3.3 研究与设计工具相关的技术	(4)
1.3.4 国内外研究现状	(5)
1.4 CAD 关键技术	(5)
1.4.1 产品数据管理	(5)
1.4.2 曲面造型	(6)
1.4.3 装配技术	(6)
1.4.4 特征技术	(6)
1.4.5 实体造型	(7)
1.4.6 有限元网格剖分	(7)
1.4.7 参数化、变量化方法	(8)
1.4.8 工程制图	(9)
思考题	(9)
第 2 章 支持整个产品生命周期的 CAD 系统	(10)
2.1 产品生命周期	(10)
2.2 面向 X 的设计	(10)
2.3 产品生命周期中表现形式的变化	(11)
2.4 支持整个产品生命周期的 CAD 系统的体系结构	(11)
2.5 支持产品生命周期的实施方案	(13)
2.5.1 支持产品生命周期的 CAD 系统的关键技术	(13)
2.5.2 支持产品生命周期的实施方案	(14)
2.6 CAD 与 CIMS、虚拟制造的关系	(15)

2.6.1	CAD 与 CIMS	(15)
2.6.2	CAD 与虚拟制造	(16)
	思考题	(16)
第 3 章	计算机辅助工业设计 CAID	(17)
3.1	工业设计与 CAID	(17)
3.1.1	工业设计概述	(17)
3.1.2	计算机技术辅助工业设计(CAID)	(18)
3.2	CAID 的分类、应用与技术	(21)
3.2.1	CAID 的分类	(21)
3.2.2	CAID 的应用	(22)
3.2.3	CAID 的技术基础	(24)
3.3	CAID 的设计程序	(32)
3.3.1	传统的工业设计流程	(32)
3.3.2	CAID 设计流程	(33)
3.4	CAID 系统的组成	(34)
3.4.1	CAID 的硬件系统	(34)
3.4.2	CAID 的软件组成	(36)
3.5	CAID 关键技术	(41)
3.5.1	计算机辅助造型技术	(41)
3.5.2	设计表达技术	(42)
3.5.3	智能技术研究	(44)
3.5.4	人机交互技术	(45)
3.5.5	新技术的应用与融合	(46)
3.6	CAID 系统与应用	(47)
3.6.1	平面设计软件进行制作	(47)
3.6.2	三维软件进行制作	(51)
3.6.3	综合使用平面软件和三维软件	(54)
	思考题	(56)
第 4 章	计算机图形系统原理	(57)
4.1	图形显示器	(57)
4.1.1	CRT 显示器	(57)
4.1.2	LCD 显示器	(57)
4.2	基本图元的生成方法	(57)
4.2.1	直线的插补	(58)
4.2.2	圆弧的插补	(58)
4.3	图形变换	(60)
4.3.1	图形变换的原理	(60)
4.3.2	二维图形变换	(62)
4.3.3	三维图形变换	(65)

4.4	图形投影变换	(66)
4.4.1	三视图的生成	(66)
4.4.2	轴测图的生成	(67)
4.5	图形的裁剪变换	(67)
4.5.1	线段剪裁	(68)
4.5.2	多边形裁剪	(70)
4.6	几何建模	(71)
4.6.1	常用的几何模型	(71)
4.6.2	几何模型的表示形式	(72)
4.6.3	特征建模	(72)
	思考题	(80)
第5章	计算机辅助概念设计 CACD	(81)
5.1	基本概念	(81)
5.1.1	产品概念设计与计算机辅助概念设计	(81)
5.1.2	概念设计的研究和发展	(82)
5.2	工程设计领域的计算机辅助概念设计	(85)
5.2.1	原理方案设计技术	(85)
5.2.2	概念设计建模技术	(87)
5.2.3	草图构建技术	(89)
5.3	工业设计领域的计算机辅助概念设计	(96)
5.3.1	设计思维过程的研究	(96)
5.3.2	基于产品语义学的概念设计	(100)
5.3.3	面向概念设计的人机工程设计技术	(103)
5.4	人工智能领域的计算机辅助概念设计	(106)
5.4.1	基于智能代理(Agent)的设计技术	(106)
5.4.2	基于 TRIZ 的创新设计	(107)
5.5	应用领域的计算机辅助概念设计	(109)
5.5.1	面向并行和协同的概念设计	(109)
5.5.2	基于虚拟现实的概念设计	(112)
5.5.3	基于人工神经网络、遗传算法的布局设计	(113)
5.6	计算机辅助概念设计的发展趋势	(113)
	思考题	(115)
第6章	计算机辅助工程分析系统及应用	(116)
6.1	有限元分析与计算机辅助工程分析	(116)
6.1.1	有限元分析(FEA)	(116)
6.1.2	计算机辅助工程	(117)
6.1.3	计算机辅助工程的应用	(118)
6.1.4	大型有限元分析软件的结构和功能	(119)
6.1.5	主要 CAE 软件	(121)

6.1.6 国外几种大型微机有限元分析系统	(123)
6.1.7 计算机辅助工程发展趋势	(124)
6.2 计算机辅助工程分析实例	(124)
6.2.1 支架零件的模态分析	(125)
6.2.2 支架零件的应力分析	(128)
思考题	(135)
第7章 模具 CAD 系统	(136)
7.1 模具 CAD 系统	(136)
7.1.1 模具 CAD 的关键技术	(137)
7.1.2 模具 CAD 系统的类型	(138)
7.1.3 模具 CAD 系统开发方法	(139)
7.2 模具型腔类零件的建模	(139)
7.2.1 手持机上盖模具建模	(139)
7.2.2 汽车前盖模具建模	(144)
7.2.3 插线板模具建模	(151)
思考题	(161)
第8章 CAD 软件系统设计与开发方法	(162)
8.1 CAD 系统基本特点	(162)
8.2 CAD 系统开发遵循的原则	(162)
8.3 CAD 系统开发软件工程	(163)
8.3.1 CMM 认证	(163)
8.3.2 软件工程	(164)
8.3.3 软件工程规范国家标准	(164)
8.3.4 CAD 系统应用与开发标准	(165)
8.4 CAD 系统开发流程	(165)
8.4.1 CAD 系统需求分析	(165)
8.4.2 CAD 系统的初步设计	(166)
8.4.3 CAD 系统的详细设计	(167)
8.4.4 CAD 系统的程序实现	(168)
8.4.5 CAD 系统测试	(168)
8.5 CAD 系统开发方式	(169)
8.6 CAD 平台	(170)
8.6.1 ACIS 平台	(170)
8.6.2 CAS、CADE 平台	(170)
8.6.3 PARASOLID 平台	(171)
思考题	(171)
参考文献	(172)

第 1 章 CAD 概述

机械制图 机械制图 机械制图 机械制图

1.1 CAD 的基本概念和原理

CAD(Computer Aided Design, 计算机辅助设计)是一种用计算机硬、软件系统辅助人们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,它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。

任何设计都表现为一种过程,每个过程都由一系列设计活动组成。这些活动既有串行的设计活动,也由并行的设计活动。目前,设计中的大多数活动都可以用 CAD 技术来实现,但也有些活动尚难用 CAD 技术来实现,如设计的需求分析、设计的可行性研究等。将设计过程中能用 CAD 技术实现的活动集合在一起就构成了 CAD 过程,图 1-1 就说明了设计过程与 CAD 过程的关系。随着现代 CAD 技术的发展,设计过程中越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此 CAD 技术的覆盖面将越来越宽,以至整个设计过程就是 CAD 过程。

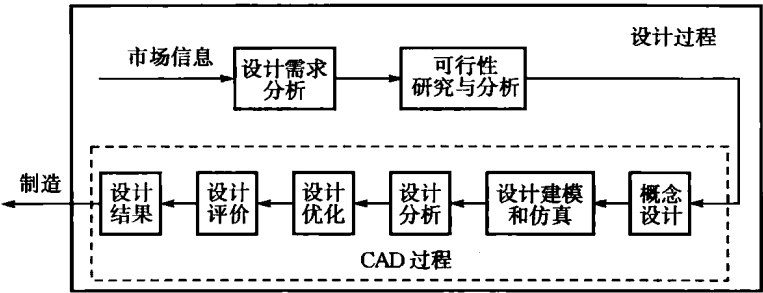


图 1-1 设计过程与 CAD 过程的关系

值得指出的是,不应该将 CAD 与计算机绘图、计算机图形学混淆起来。

计算机绘图的内涵:计算机绘图是使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种方法和技术,以摆脱繁重的手工绘图为其主要目标。

计算机图形学(Computer Graphics, CG)的内涵:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的科学。

从以上对 CAD、计算机绘图及 CG 的叙述可以看出它们三者之间是有区别的,但也有联系,可以简单地表述如下。

计算机绘图是 CG 中涉及工程图形绘制的一个分支,可将它看成一门工程技术,它为人们以软件操作方式绘制图样提供服务;计算机绘图不是 CAD 的全部内涵,但它是 CAD 技术的基础之一;CG 是一门独立的学科,有自己丰富的技术内涵,它与 CAD 有明显区别,但它的有关图形处理的理论与方法构成了 CAD 技术的重要基础。

传统的 CAD 涉及以下一些基础技术:

①图形处理技术:如自动绘图、几何建模、图形仿真及其它图形输入、输出技术。

②工程分析技术:如有限元分析、优化设计及面向各种专业的工程分析等。

③数据管理与数据交换技术:如数据库管理、产品数据管理、产品数据交换规范及接口技术。

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:如窗口界面设计、软件工具、软件工程规范等。

近十多年来,由于先进制造技术的快速发展,带动了先进设计技术的同步发展,使传统 CAD 技术有了很大的扩展,这些扩展的 CAD 技术总称为“现代 CAD 技术”。现代 CAD 技术是指在复杂的大系统环境下,支持产品自动化设计的设计理论和方法、设计环境、设计工具各相关技术的总称,它们能使设计工作实现集成化、网络化和智能化,达到提高产品设计质量、降低产品成本和缩短设计周期的目的。

1.2 CAD 的发展历史、应用及功能

1.2.1 二维 CAD 技术的发展

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期。进入 60 年代后,CAD 技术随着在计算机屏幕上绘图成为可能而开始迅速发展。人们希望借助此项技术来摆脱繁琐、费时和低精度的传统手工绘图。当时,CAD 技术的出发点是用传统的三视图方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流,这就是二维计算机绘图技术,CAD 的含义仅仅是图板的替代品,即 Computer Aided Drawing 的缩写。以二维绘图为主要目标的算法一直持续到 70 年代末期。随着技术的发展,CAD 系统介入产品设计过程的程度越来越深,系统功能越来越强,逐步发展成为真正的计算机辅助设计(Computer Aided Design)。

1.2.2 曲面造型技术与三维 CAD 系统的发展

20 世纪 60 年代出现的三维 CAD 系统只是极为简单的线框式系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息,不能有效表达几何数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息,CAM(Computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)及 CAE(Computer Aided Engineering,计算机辅助工程)均无法实现。

70 年代飞机和汽车工业的蓬勃发展给三维 CAD 带来了良好的机遇。为了解决飞机和汽车设计制造中遇到的大量自由曲面问题,法国人提出了贝赛尔算法,使得人们用计算机处理曲线及曲面问题变得可以操作,同时也使得法国的达索飞机制造公司的开发者们能在二维绘图系统 CADAM 的基础上,提出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。CATIA 的出现标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来,首次实现了在计算机内较完整地描述产品零件的主要信息,同时也为 CAM 技术的开发打下了基础。曲面造型系统带来了第一次 CAD 技术革命,它改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式。

曲面造型系统带来的技术革新,使汽车的开发手段有了质的飞跃,新车型的开发速度也大

幅度提高,开发周期由原来的6年缩短到约3年。汽车工业对CAD系统的热情和积极采用,反过来也大大促进了CAD技术本身的发展。

1.2.3 实体造型技术与三维CAD系统的发展

20世纪80年代初,CAD系统价格依然令一般企业望而却步,这使得CAD技术无法拥有更广阔的市场。为使自己的产品更具特色,在有限的市场中获得更大的份额,以CV、SDRC和UG为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。70年代末到80年代初,CAE和CAM技术也有了较大发展,表面模型使CAM问题基本得到解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其它特性,如质量、重心和惯性矩等,对CAE十分不利。在当时星球大战计划的背景下,为降低巨大的太空实验费用,许多专用分析模块得到开发。基于对CAD/CAE一体化技术发展的探索,SDRC公司于1979年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型CAD/CAE软件——I-DEAS。实体造型技术能够精确地表达零件的全部属性,有助于统一CAD、CAE和CAM的模型表达,给设计带来了方便,代表着未来CAD技术的发展方向。但实体造型技术在带来了算法的改进和未来发展希望的同时,也带来了数据计算量的极度膨胀。在当时的计算机硬件条件下,实体造型的计算及显示速度很慢,离实际应用还有较大的差距。另外,面对算法和系统效率的矛盾,许多赞成采用实体造型技术的公司并没有下大力气进行开发,而是转向攻克相对容易实现的表面模型技术。在以后的十年里,随着硬件性能的提高,实体造型技术又逐渐为众多CAD系统所采用。

1.2.4 参数化技术与三维CAD系统的发展

进入80年代中期,CV公司提出了一种比无约束自由造型更加新颖的算法——“参数化实体造型方法”。这种方法的特点是,基于特征、全尺寸约束、全数据相关和尺寸驱动设计修改。由于在参数化技术发展初期,很多技术难点有待于攻克,又因为参数化技术的核心算法与以往的系统有本质差别,必须将全部软件重新改写,因而需要大量的开发工作量和投资。同时,由于当时CAD技术应用的重点是自由曲面需求量非常大的航空和汽车工业,参数化技术还不能提供解决自由曲面问题的有效工具,所以这项技术当时被CV公司否决。

参数技术公司(Parametric Technology Corp,PTC)就在这样的环境下应运而生。PTC推出的Pro/ENGINEER(Pro/E)是世界上第一个采用参数化技术的CAD软件,它第一次实现了尺寸驱动的零件设计。20世纪80年代末,计算机技术迅猛发展,硬件成本大幅度下降,很多中小型企业也开始有能力使用CAD技术。处于中低档的Pro/E软件获得了发展机遇,它符合众多中小型企业CAD的需求,从而获得了巨大的成功。进入90年代后,参数化技术变得越来越成熟,充分体现出其在许多通用件、零部件设计时的简便易行等方面的优势。

1.2.5 变量化技术与三维CAD系统的发展

参数化技术在1990年前后几乎成为CAD业界的标准,许多软件厂商纷纷起步追赶。由于CATIA、CV、UG、EUCLID等都已经原来的非参数化模型基础上开发或集成了很多其它应用,开发了许多应用模块,所以重新开发一套完全参数化的造型系统困难很大,因为这样做意味着必须将软件全部重新改写。使得这些公司采用的参数化系统基本上都是在原有模型技术的基础上进行局部的、小规模修补。这样,CV、CATIA和UG在推出自己的参数化技术

时,均宣传其采用了复合建模技术。

复合建模技术把线框模型、曲面模型及实体模型叠加在一起,难以全面应用参数化技术。由于参数化技术和非参数化技术内核本质不同,用参数化技术造型后进入非参数化系统,还要进行内部转换才能被系统接受,而大量的转换极易导致数据丢失或产生其它的不利情况。

20 世纪 90 年代初,SDRC 公司的开发人员以参数化技术为蓝本,提出了“变量化技术”。1990 至 1993 年,SDRC 投资一亿多美元,将软件全部重新改写,推出了全新体系结构的 I-DEAS Master Series。

CAD 技术基础理论的每一次重大进展,无一不带动了 CAD/CAM/CAE 整体技术的提高以及制造手段的更新。技术发展,永无止境。没有一种技术是常青树,CAD 技术也一直处于不断的发展与探索之中。

1.3 CAD 研究的基础内容和国内外研究现状

1.3.1 研究现代设计理论与方法学

设计是一项复杂的创造性工作,也正处于它的复杂性,迄今为止,人们对设计尚缺乏规律性的认识,还没有形成严格的理论体系。过去和现在,人们一直在探索各种各样的设计理论,希望利用它们来有效地指导实际的设计工作。由于计算机技术、信息技术的发展,基于计算机的设计理论与方法学,显得异常活跃。例如,近年来提出的并行设计、协同设计、虚拟设计、大规模定制设计(Mass Customization Design)、分形设计(Fractal Design)等,我们应该加以深入的研究,以便指导现在 CAD 系统的实现。我们也必须认识到,没有先进的设计理论与方法,就没有现代 CAD 技术的发展。

1.3.2 研究与设计环境相关的技术

良好的设计环境意味着动态联盟中异地分布的产品开发队伍能通过广域网,充分利用各地设计资源和信息进行协同设计。为此要研究解决以下技术:

①协同设计环境的支持技术,例如广域网上的浏览器/服务器(B/S)环境、客户机/服务器(C/S)结构的计算机系统,以及基于 B/S 和 C/S 的协同设计的平台体系结构等。

②协同设计的管理技术,例如产品共享信息的交换、异构 PDM(Product Data Management,产品数据管理)系统间的数据交换、设计过程建模及冲突消解等问题。

1.3.3 研究与设计工具相关的技术

这方面研究的核心问题有:

①产品数字化定义及建模技术,包括产品模型的表达、STEP 标准实施技术、建模技术等;

②基于 PDM 的产品数据管理与共作流(过程)管理技术;

③发展集成的 CAX(Computer Aided Technologies,计算机辅助技术)和 DFX(Design for X,面向 X 的设计)工具,使现代 CAD 系统从功能上支持产品设计的全过程,包括需求分析、概念设计、结构设计、详细设计、工程分析和工艺设计等,而且能利用 DFX 工具实现对设计下游的支持,及早发现问题,避免大的返工。

在以上技术研究中,必然会广泛采用智能技术,因此智能技术作为一项基础技术也必须进行研究。

1.3.4 国内外研究现状

国内外现阶段对 CAD 技术的研究主要集中在三维 CAD 系统中。国外对几何造型的研究起步较早,商品化程度高,ACIS、ParaSolid 就是其典型的代表。国内虽然起步稍晚,但是在曲面造型等系列研究中也取得了喜人的成绩。清华大学、浙江大学等已经在三维 CAD 核心系统方面作了大量的研究和开发工作,奠定了我国自主知识产权三维 CAD 系统核心的基础。“十五”期间,国家高度重视这项关键共性技术的研发,已经在国家 863 计划中对三维 CAD 系统核心的研发工作进行支持。

ACIS 是美国 Spatial 公式推出的几何造型器,具有实体拓扑运算管理、数据管理和基本造型功能的几何造型引擎。以其为底层的商品化三维软件包括 Autodesk Inventor、IronCAD、Cimtron 和 MDT 等。ParaSolid 是美国 UG 公司推出的几何造型器,与 ACIS 同样最初出自英国剑桥大学,以其为底层的商品化三维软件有 Solid Edge 和 Solidworks 等。D-Cubed 是英国剑桥大学推出的几何约束求解器,具有二维、三维约束求解模块,三维高级消影模块,以及碰撞干涉检查模块等。采用 D-Cubed 为底层的商品化软件有 UG 和 Pro/E 等。

二维、三维约束求解在新产品的研制过程中,约占 70%~80% 的成本。如何开发和研究先进的设计方法与工具,以提高产品设计的效率就显得至关重要。参数化设计的关键是几何约束关系的提取和表达、几何约束的求解以及参数化几何模型的构造。20 世纪 70 年代末及 80 年代初,英国剑桥大学的 R. C. Hillyard 和美国 MIT 的 D. C. Gossard 等率先将参数化设计用于 CAD 中。1985 年,美国 PTC 公司首先推出参数化 CAD 系统 Pro/E。目前,二维参数化设计技术已发展得较为成熟,在参数化绘图方面已得到了广泛应用。三维参数化造型能处理的问题还比较简单,能处理的约束类型也还比较有限。

在参数化设计中,几何约束关系的表示形式主要有:由算术运算符、逻辑比较运算符和标准数学函数组成的等式或不等式关系、曲线关系、关系文件以及面向人工智能的知识表达方式等。在几何平台的基础之上,实现二维、三维约束求解算法,能够为草图设计、零件设计、装配设计和标准件库等应用提供算法支持,从而整体实现参数化设计。

1.4 CAD 关键技术

1.4.1 产品数据管理

产品数据管理(Product Data Management, PDM)是指企业内分布于各种系统和介质中关于产品及产品数据的信息和应用的集成与管理。产品数据管理集成了所有与产品相关的信息。企业的产品开发效益取决于有序和高效地设计、制造和发送产品。产品数据管理有助于达到这些目的。产品数据管理是帮助企业、工程师和其它有关人员管理数据并支持产品开发过程的有力工具。产品数据管理系统保存和提供产品设计、制造所需要的数据信息,并提供对产品维护的支持,即进行产品的全生命周期的管理。

1.4.2 曲面造型

曲面造型(Surface Modeling)是计算机辅助几何设计(Computer Aided Geometric Design, CAGD)和计算机图形学(Computer Graphics)的一项重要内容,主要研究在计算机图像系统的环境下对曲面的表示、设计、显示和分析。它起源于汽车、飞机、船舶、叶轮等的外形放样工艺,由 Coons、Bezier 等大师于 20 世纪 60 年代奠定其理论基础。如今经过四十多年的发展,曲面造型现在已形成了以有理 B 样条曲面(Rational B-spline Surface)参数化特征设计和隐式代数曲面(Implicit Algebraic Surface)表示这两类方法为主体,以插值(Interpolation)、拟合(Fitting)、逼近(Approximation)这三种手段为骨架的几何理论体系。

1.4.3 装配技术

装配模型的研究早在 20 世纪 70 年代就开始了,发展到今天已有四十多年,主要的发展趋势是由图表达的拓扑结构向树表达的层次结构发展。装配信息建模的核心问题是如何在计算机中表达和存储装配体组成部件之间的相互关系。这种相互关系包括相互位置关系,配合与连接关系等。目前,表示装配体信息的数据结构归纳起来可分为两类:一类是直接存储各装配部件之间的相互位置信息;另一类是存储各装配部件之间的配合、连接等装配信息,确定装配部件相互位置的齐次变换矩阵是根据这些信息计算出来的。Lieberman 和 Wesley 开发了一个几何建模系统 AUTOPASS,零件和装配体被表达成为图结构中的结点,图中的分支代表部件间的装配关系如“装配”、“约束”、“附属”等。同时在每个分支上存有一个空间变换矩阵,用来确定部件间的相对位置,以及其它非几何信息。De Fazio 和 Whitney 提出一种称为优先联系图(Precedence Relation Graph)的方法。他们认为任何一个装配动作都必须与其它的装配动作有优先关系,因此可以定义一组优先规则,通过将图排序得到装配序列。Homem de Mello 和 Sanderson 提出与或图(AND/OR Graph)来描述装配体。图中每个叶子结点表示装配体最底层部件:零件,根结点表示最终的产品,它是通过拆分作为原始输入的装配体几何模型得到的,有些类似于 CSG(Constructive Solid Geometry,构造实体几何)结构。Lee 和 Gossard 在与或图的基础上提出了真正意义上的层次建模方法。它将装配体层层分解成由部件组成的树状结构,部件既可以是零件也可以是子装配。树的顶端是成品的装配体,末端是不可拆分的零件,其余的部分是由概念设计确定的子装配体。Lee 引入了虚连接(Virtual link)的概念,整个装配树是由虚连接连接起来的,每个虚连接是一系列相关信息的集合,这样装配体的信息就能够层次化存储。

1.4.4 特征技术

特征技术研究的萌芽产生于 20 世纪 80 年代初,并于 80 年代的中后期蓬勃发展起来。STEP 标准中将形状和公差特征等列为产品定义的基本要素,使特征获得了国际标准的法定地位。

国外许多研究单位和学者对特征技术的发展和应用做出了贡献。例如,英国 Cranfield 理工学院的 Pratt 和 Wilson 为 CAM-I 提出了一个按形状和构造特点对形状特征分类的模式;美国 Arizona 州立大学的 Shah 探讨了特征表达和解释问题,开发出 ASU 特征试验台;芬兰赫尔辛基技术大学的 Mantyla 教授研制了特征造型系统 EXTDesign;意大利热亚那应用数学

研究所的 Falcidieno 等人提出了边界模型表示特征对象的描述方法,特征识别方法,并开发了相应的系统;德国柏林技术大学的 Beitz 开发了基于特征的造型系统 GEKO; Douglas 等人研究了用凸多面体分解法进行加工特征几何推理技术;Turner 等人研究了公差特征模型建立的问题;Roy 等人研究了尺寸及公差表示处理的问题;Jaroslaw 等人研究了特征编辑与查询技术;美国 Purdue 大学的 Anderson 等人研究了基于特征设计工艺规程的几何推理问题。

在国内,北京航空航天大学、清华大学、华中理工大学、浙江大学、上海交通大学、西北工业大学等,以及其它一些单位也发表了一些关于特征技术研究的论著,并开发了一些特征造型系统。

近年来,商业 CAD 软件及工具基本都融入了特征的思想和方法。例如,PTC 公司的产品 Pro/E,SDRC 的产品 I-DEAS Master Series、UGS 公司的产品 Unigraphics、IBM 公司的产品 CATIA/CADAM、Autodesk 公司的产品 MDT,中国广州红地技术有限公司的产品“金银花(LONICERA)”系统,等等。

1.4.5 实体造型

随着 CAD/CAM 技术的发展,几何模型已从最早的线框模型,发展到曲面几何模型,又到现在的实体几何模型。线框模型结构简单、易于理解、数据存储量少、操作灵活、响应速度快,是进一步构造曲面模型和实体模型的基础,但线框模型建立起来的不是实体,不能对图形进行剖切、消隐、明暗处理、上色、物性分析、干涉检测等操作。

曲面模型的产生应归功于航空和汽车制造业的需求,可以较方便地构造形状比较复杂的几何模型,一直是 CAD 研究的主要内容。这种模型的建立满足了自由型曲面的设计与制造、曲面相交、消隐、明暗处理、上色等应用问题的需要,但这种模型对形体究竟存在于表面的哪一侧没有明确定义,对于物性计算、工程有限元分析等应用以及曲面造型在形体的表示上缺少完备性。

实体模型在计算机内提供了对物体完整的几何和拓扑定义,可以直接进行三维设计,在一个完整的几何模型上实现零件的质量计算、有限元分析、数控加工编程和消隐立体图的生成等。随着实体模型领域内诸如特征、约束等新概念的提出,实体几何模型的设计方法已征服了设计人员。

实体造型的表示方法主要有:边界表示法(B-rep)、体素构造法(CSG 即 Constructive Solid Geometry)、八叉树表示法、半空间法、欧拉操作法和射线表示法等。

1.4.6 有限元网格划分

有限元法是求解复杂工程问题的一种近似数值解法,现已广泛应用到力学、热学、电磁学等各个学科,主要分析工作环境下物体的线性和非线性静态特性等性能。

有限元法求解问题的基本过程主要包括分析对象的离散化、有限元求解和计算结果的处理三部分。曾经有人做过统计:三个阶段所用的时间分别占总时间的 40%~50%、50%及 50%~55%。也就是说,当利用有限元分析对象时,主要时间是用于对象的离散及结果的处理。如果采用人工方法离散对象和处理计算结果,势必费力、费时且极易出错,尤其当分析模型复杂时,采用人工方法甚至很难进行,这将严重影响高级有限元分析程序的推广和使用。因此,开展自动离散对象及结果的计算机可视化显示的研究是一项重要而紧迫的任务。

可喜的是,随着计算机及计算技术的飞速发展,出现了开发对象的自动离散及有限元分析结果的计算机可视化显示的热潮,使有限元分析的“瓶颈”现象得以逐步解决,对象的离散从手工到半自动到全自动,从简单对象的单维单一网格到复杂对象的多维多种网格单元,从单材料到多种材料,从单纯的离散到自适应离散,从对象的性能校核到自动自适应动态设计/分析,这些重大发展使有限元分析摆脱了仅为性能校核工具的原始阶段,计算结果的计算机可视化显示从简单的应力、位移和温度等场的静动态显示、彩色调色显示一跃成为对受载对象可能出现缺陷(裂纹等)的位置、形状、大小及其可能波及区域的显示等,这种从抽象数据到计算机形象化显示的飞跃是现在甚至将来计算机集成设计/分析的重要组成部分。

K. Ho-Le 对网格生成算法进行了系统分类,该分类方法可沿用至今,分别是拓扑分解法、结点连元法、网格模板法、映射法和几何分解法五种。目前,主要是上述方法的混合使用及现代技术的综合应用。

1.4.7 参数化、变量化方法

参数化设计(Parametric,也叫尺寸驱动 Dimension-Driven)是 CAD 技术在实际应用中提出的课题,它不仅可使 CAD 系统具有交互式绘图功能,还具有自动绘图的功能。目前它是 CAD 技术应用领域内的一个重要的、且待进一步研究的课题。利用参数化设计手段开发的专用产品设计系统,可使设计人员从大量繁重而琐碎的绘图工作中解脱出来,可以大大提高设计速度,并减少信息的存储量。由于上述应用背景,国内外对参数化设计做了大量的研究,目前参数化技术大致可分为三种方法:

- ①基于几何约束的数学方法;
- ②基于几何原理的人工智能方法;
- ③基于特征模型的造型方法。

长期以来,变量化方法只能在二维上实现,三维变量化技术由于技术较复杂,进展缓慢,一直困扰着 CAD 厂商和用户。中国首届 CAD 应用工程博览会上,一种新兴技术引起了与会者的广泛关注。这一被业界称为 21 世纪 CAD 领域具有革命性突破的新技术就是 VGX,它是变量化方法的代表。VGX 的全称为 Variational Geometry Extended,即超变量化几何,它是由 SDRC 公司独家推出的一种 CAD 软件的核心技术。在进行机械设计和工艺设计时,我们总是希望零部件能够随心所欲地构建,可以随意拆卸,能够在平面的显示器上,构造出三维立体的设计作品,而且希望保留每一个中间结果,以备反复设计和优化设计时使用。VGX 实现的就是这样一种思想。VGX 技术扩展了变量化产品结构,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,都可以进行实时直接操作。对于设计人员而言,采用 VGX 就像拿捏一个真实的零部件面团一样,可以随意塑造其形状。而且,随着设计的深化,VGX 可以保留每一个中间设计过程的产品信息。美国一家著名的专业咨询评估公司 D. H. Brown 这样评价 VGX:“自从 10 年前第一次运用参数化基于特征的实体建模技术之后,VGX 可能是最引人注目的一次革命。”VGX 为用户提出了一种交互操作模型的三维环境,设计人员在零部件上定义关系时,不再关心二维设计信息如何变成三维,从而简化了设计建模的过程。采用 VGX 的长处在于,原有的参数化基于特征的实体模型,在可编辑性及易编辑性方面得到极大地改善和提高。当用户准备作预期的模型修改时,不必深入理解和查询设计过程。

1.4.8 工程制图

工程制图技术研究的主题是如何利用计算机技术迅速地绘制工程图,包括参数化和变量化技术及工程图的扫描和识别技术。

1. 参数化和变量化技术

传统的 CAD 绘图软件都用固定的尺寸值定义几何元素,输入的每一条线都有确定的位置。要想修改图面内容,只有删除原有线条后重画。新的 CAD 系统都增加了参数化和变量化模块,使得产品的设计图可以随着某些结构尺寸的修改和使用环境的变化而自动修改图形。

参数化设计一般指设计对象的结构形状比较定型,可以用一组参数来约定尺寸关系。参数化设计的设计对象的控制尺寸与参数有显示的对应,设计结果的修改受到尺寸驱动。如系列化标准件就属这一类型。变量化设计是指设计对象的修改需要更大的自由度,通过求解一组约束方程来确定产品的尺寸和形状。变量化设计的约束方程可以是几何关系,也可以是工程计算条件,设计结果的修改受到约束方程驱动。从设计方法学的角度考虑,变量化设计 CAD 系统的体系结构还有许多问题有待探讨解决。

在二维绘图系统中参数化和变量化设计的求解大体有以下几种方法:

- ①非线性方程组整体求解;
- ②作图规则匹配;
- ③几何作图局部求解;
- ④辅助线作图法;
- ⑤交互生成参数绘图命令。

2. 工程图的扫描和识别技术

当 CAD 技术在一个企业应用到相当规模后,就迫切希望将过去存档的几万张以至几十万张手工绘制的工程图 CAD 系统新生成的绘图文件汇总一起,形成计算机管理的统一数字化图库。这就需要工程图的扫描和识别技术在计算机辅助设计和手工绘图之间架起一座桥梁。

图纸扫描和识别重建的基本处理步骤是:

- ①利用光电元件逐行扫描线画图;
- ②去除噪声,即图纸上的污点、线条上的毛刺和断裂等,对线条进行细化,将多点宽度的线条通过侵蚀算法缩减到一个宽度,获得图形的骨架;
- ③矢量化,即从图像中找出所有线段,然后根据各线段之间的连接关系生成直线、圆弧、虚线和曲线等;
- ④识别箭头、字符和图形符号等;
- ⑤校正图形,修补线条,生成某一 CAD 系统格式的绘图文件。

思 考 题

1. 设计过程与 CAD 过程之间的关系是什么?
2. CAD 研究的基础内容有哪些?
3. CAD 关键技术主要有哪些?