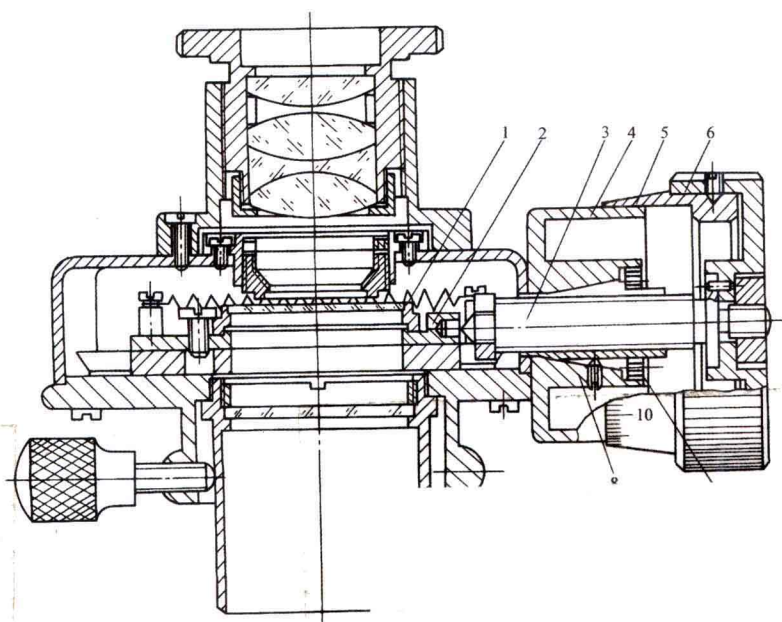


普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

计算机辅助 机械设计

■ 主编 原思聪



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

计算机辅助机械设计

主 编 原思聪
参 编 张晓钟 同志学 张锦华
罗 丹 阮晓光

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统介绍了计算机辅助设计的基本原理、基本方法及其在机械工程中的应用。全书共分3篇10章,第1篇重点讲述计算机辅助机械设计基础知识,内容包括计算机辅助机械设计概论、CAD系统及其软硬件、图形的计算机处理基础;第2篇重点讲述基于AutoCAD的二维设计技术,内容包括AutoCAD基本技术及高级技术;第3篇重点讲述基于SolidWorks的三维设计技术,内容包括SolidWorks基础、虚拟装配技术、工程图绘制、基于SolidWorks的高级分析技术、计算机辅助机械设计的应用。

本书凝聚了作者多年的教学实践与科研成果,取材新颖、内容丰富。在编写内容上,力求由浅入深、循序渐进;在编写形式上,力求简单明了、图文并茂;在语言上,力求叙述准确、通俗易懂;在讲述方法上,力求明晰思路,把握关键;在应用技术上,则力求理论联系实际,学以致用。

本书在系统讲述计算机辅助设计的基础上,重点讲述基于AutoCAD的二维设计技术及基于SolidWorks的三维设计技术和二次开发技术及其在机械工程领域的应用,既可作为工科高年级学生和研究生学习计算机辅助机械设计的教材,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助机械设计/原思聪主编. —北京:国防工业出版社,2011.8
普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-07539-7

I. ①计... II. ①原... III. ①机械设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第144033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)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26 字数 650 千字
2011年8月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是指在产品和工程设计过程中借助于计算机软、硬件系统辅助人们完成诸如建模、计算、分析、仿真、绘图等设计任务。CAD 技术推动了几乎一切领域的革命,是人类最杰出的工程技术成就之一。

计算机辅助机械设计是计算机辅助设计技术在机械设计领域中的重要应用,也是广大机械领域科技人员进行机械设计的重要方法和手段。

本书共分 3 篇 10 章。第 1 篇,计算机辅助机械设计基础知识,包括:第 1 章,计算机辅助机械设计概论;第 2 章, CAD 系统及其软硬件;第 3 章,图形的计算机处理基础。第 2 篇,基于 AutoCAD 的二维设计技术,包括:第 4 章, AutoCAD 2010 基本技术;第 5 章, AutoCAD 2010 高级技术。第 3 篇,基于 SolidWorks 的三维设计技术,包括:第 6 章, SolidWorks 基础;第 7 章,虚拟装配技术;第 8 章,工程图绘制;第 9 章,基于 SolidWorks 的高级分析技术;第 10 章,计算机辅助机械设计的应用。

本书在系统讲述计算机辅助设计的基础上,重点讲述基于 AutoCAD 的二维设计技术及基于 SolidWorks 的三维设计技术和二次开发技术及其在机械工程领域的应用,既可作为工科高年级学生和研究生学习计算机辅助机械设计的教材,也可供广大工程技术人员参考。本书在编写内容上,力求由浅入深、循序渐进;在编写形式上,力求简单明了、图文并茂;在语言上,力求叙述准确,通俗易懂;在讲述方法上,力求明晰思路,把握关键;在应用技术上,则力求理论联系实际,学以致用。书中列举了大量生动翔实的示例,部分取自于作者及研究生科研及工程应用实例。

本书由原思聪主编,全书编写分工如下:原思聪编写第 1、2、9、10 章,张晓钟编写第 3 章,阮晓光编写第 4 章,罗丹编写第 5 章,同志学编写第 6 章,张锦华编写第 7、8 章。此外,原思聪还对全书进行了修改、整理。研究生尚敬强、卫东东对书中文字进行了校核,对实例进行了上机验证。

本书成稿之际,特别感谢国防工业出版社丁福志编辑所做的大量工作,感谢关心和支持本书编写及提出宝贵修改意见的同仁。

限于水平及经验,书中难免有缺点和不足之处,殷切希望专家和读者批评指正。

编者
2011 年 4 月

目 录

第 1 篇 计算机辅助机械设计基础知识

第 1 章 计算机辅助机械设计概论	1
1.1 机械产品设计的过程及特点	1
1.2 CAD 技术的兴起与发展	3
1.2.1 CAD/CAE/CAPP/CAM 的涵义	3
1.2.2 CAD 技术的兴起与发展	5
1.2.3 应用 CAD 技术的意义	7
1.3 机械 CAD 的工作范围与基本内容	8
1.3.1 机械 CAD 的工作范围	8
1.3.2 计算机辅助机械设计的主要内容	9
1.4 CAD 技术的应用	11
1.4.1 从技术特征看 CAD 技术的应用	11
1.4.2 从应用领域看 CAD 技术的应用	11
1.5 CAD 技术的发展趋势	12
1.5.1 CAD 的集成化	12
1.5.2 CAD 系统的智能化	13
1.5.3 CAD 系统的网络化	16
1.5.4 CAD 技术的研究主题及未来发展趋势	17
第 2 章 CAD 系统及其软硬件	18
2.1 CAD 系统	18
2.1.1 CAD 系统的组成	18
2.1.2 CAD 系统的分类	18
2.2 CAD 系统硬件	22
2.2.1 概述	22
2.2.2 主机	22
2.2.3 存储系统	23
2.2.4 图形输入/输出设备	25
2.3 CAD 系统软件	29
2.3.1 概述	29

2.3.2	系统软件	30
2.3.3	支撑软件	32
2.3.4	应用软件	34
2.3.5	常用 CAD 软件简介	35
第 3 章	图形的计算机处理基础	38
3.1	图形处理的数学基础	39
3.2	图形生成的基本方法	41
3.2.1	图形输出的基本原理	41
3.2.2	图形生成基础	41
3.3	图形变换	45
3.3.1	概述	45
3.3.2	二维图形变换	48
3.3.3	三维图形变换	52
3.3.4	投影变换	56
3.4	几何造型基础	59
3.4.1	形体的表示及数据结构	59
3.4.2	几何造型的常用模型	59
3.4.3	形体的定义及表达	60
3.5	参数曲线与参数曲面	64
3.6	从计算机软件应用中理解图形处理	74

第 2 篇 基于 AutoCAD 的二维设计技术

第 4 章	AutoCAD 2010 基本技术	76
4.1	AutoCAD 2010 简介	76
4.1.1	AutoCAD 的发展简史及主要特点	76
4.1.2	AutoCAD 2010 简介	76
4.1.3	AutoCAD 的命令输入方式及绘图基本过程	78
4.2	基本绘图命令	80
4.2.1	画线命令	80
4.2.2	画弧命令	85
4.2.3	其他命令	89
4.3	图形的编辑与改造	92
4.3.1	基本编辑技术	92
4.3.2	图形的复制	92
4.3.3	图形的变换	95
4.3.4	图形的修改	98

4.3.5	其他编辑功能	100
4.4	辅助绘图功能	101
4.4.1	辅助绘图工具	101
4.4.2	绘图单位与图限	105
4.4.3	其他辅助功能	106
4.5	AutoCAD 设计中心	108
4.5.1	浏览资源功能	108
4.5.2	打开文件功能	109
4.5.3	插入对象功能	109
第5章	AutoCAD 2010 高级技术	111
5.1	文字处理与尺寸标注	111
5.1.1	文字处理	111
5.1.2	尺寸标注	119
5.2	图层的设置	140
5.2.1	图层的基本设置技术	140
5.2.2	线型及线型比例	144
5.2.3	实体特性工具条	146
5.3	图块及其使用	146
5.3.1	块定义	147
5.3.2	块存盘	148
5.3.3	块基点	148
5.3.4	块插入	149
5.3.5	块分解	151
5.3.6	块阵列	151
5.3.7	块等分	152
5.3.8	块间距	152
5.3.9	块清除	152
5.4	块的属性	153
5.4.1	属性的概念、定义及调入	153
5.4.2	属性的显示控制	157
5.4.3	属性的编辑	157
5.4.4	属性的再定义及使用	159
5.4.5	块属性管理器	159
5.5	外部参照	160
5.5.1	外部参照的概念及特点	160
5.5.2	附着外部参照	160

5.5.3	外部参照管理	162
5.5.4	外部参照剪裁	163
5.5.5	外部参照绑定	164
5.6	图形输出	165
5.6.1	创建布局	165
5.6.2	页面设置	166
5.6.3	图形输出	168
5.7	数据交换	170
5.7.1	剪贴功能	170
5.7.2	OLE 技术	171
5.7.3	应用软件间的数据交换	174

第 3 篇 基于 SolidWorks 的三维设计技术

第 6 章	SolidWorks 基础	178
6.1	SolidWorks 快速入门	178
6.1.1	文件建立与保存	178
6.1.2	SolidWorks 2010 用户界面	179
6.2	SolidWorks 基础	184
6.2.1	零件建模的基本概念	184
6.2.2	零件建模过程示例	185
6.2.3	草图绘制基础知识	188
6.3	草图实体绘制工具	197
6.3.1	绘制点	197
6.3.2	绘制中心线和直线	198
6.3.3	绘制圆	199
6.3.4	绘制圆弧	200
6.3.5	绘制矩形	201
6.3.6	绘制多边形	202
6.3.7	绘制椭圆和部分椭圆	204
6.3.8	绘制抛物线	204
6.3.9	绘制样条曲线	205
6.3.10	方程式驱动的曲线	206
6.3.11	绘制槽口	207
6.3.12	绘制草图文字	208
6.4	草图编辑工具	209
6.4.1	绘制圆角	209

6.4.2	绘制倒角	209
6.4.3	等距实体	210
6.4.4	转换实体引用	211
6.4.5	剪裁实体	211
6.4.6	延伸实体	212
6.4.7	分割实体	212
6.4.8	镜向	212
6.4.9	线性草图阵列	213
6.4.10	圆周草图阵列	214
6.4.11	移动实体	214
6.4.12	复制实体	215
6.4.13	旋转实体	215
6.4.14	按比例缩放实体	215
6.4.15	修改草图	216
6.5	特征工具	217
6.5.1	参考几何体	217
6.5.2	基础特征建模	221
6.5.3	附加特征建模	237
6.5.4	辅助工具	252
6.6	零件参数化设计	259
6.6.1	系列零件设计	259
6.6.2	API 二次开发零件设计简介	263
6.6.3	TooLBOX 使用简介	267
6.7	轴类零件设计	268
6.7.1	轴基体创建	269
6.7.2	切制键槽	269
6.7.3	创建压盖螺纹孔	270
6.7.4	倒角和倒圆	271
6.8	盘类零件设计	271
6.8.1	带轮	271
6.8.2	轴承闷盖	273
6.8.3	轴承透盖	275
6.9	齿轮类零件设计	276
6.9.1	圆柱斜齿轮	276
6.9.2	圆锥齿轮	278
6.9.3	蜗轮	280

6.10 箱体类零件设计	281
第7章 虚拟装配技术	288
7.1 虚拟装配技术概述	288
7.1.1 装配及关键技术	288
7.1.2 虚拟装配过程	289
7.2 基于 SolidWorks 的虚拟装配技术	292
7.2.1 装配体	292
7.2.2 装配过程	295
7.3 产品表达技术	298
7.3.1 产品表达方法及零件表达设计	298
7.3.2 装配设计的表达方法	302
7.3.3 动画表达方法	307
7.4 打桩锤装配示例	316
第8章 工程图绘制	321
8.1 基于 SolidWorks 的工程图基础	321
8.1.1 工程图基本概念	321
8.1.2 SolidWorks 工程图快速入门	322
8.1.3 工程图一般规范	326
8.2 零件图创建	329
8.2.1 零件图基本知识	329
8.2.2 零件图操作基础	332
8.3 装配图创建	338
8.3.1 装配图基本知识	338
8.3.2 装配图基本操作过程	342
第9章 基于 SolidWorks 的高级分析技术	345
9.1 虚拟样机技术概述	345
9.1.1 虚拟样机技术的概念及特点	345
9.1.2 虚拟样机技术基础	346
9.2 基于 SolidWorks Motion 的机构运动学与动力学分析	347
9.2.1 SolidWorks Motion 简介	347
9.2.2 SolidWorks Motion 基础	348
9.3 运动仿真实例分析——液压挖掘机工作机构的运动仿真	348
9.4 计算机辅助工程分析	351
9.4.1 有限元方法简介	351
9.4.2 结构有限元分析	352
9.5 基于 SolidWorks Simulation 的有限元分析	352

9.5.1 SolidWorks Simulation 的基本操作方法	352
9.5.2 基于 SolidWorks Simulation 的有限元分析	353
第 10 章 计算机辅助机械设计的应用	358
10.1 数表的计算机处理	358
10.1.1 数表的程序化	358
10.1.2 数表的文件化	360
10.1.3 数表的公式化	362
10.1.4 数表的插值	365
10.2 图表的计算机处理	370
10.2.1 线图的数表化	370
10.2.2 线图的公式化	371
10.2.3 线图的拟合	373
10.3 产品快速设计原理与方法	373
10.3.1 特征建模技术	374
10.3.2 参数化设计技术	377
10.3.3 变量化设计技术	381
10.3.4 模块化设计技术	382
10.4 基于 AutoCAD 的二次开发技术	384
10.4.1 AutoCAD 二次开发技术概述	385
10.4.2 AutoCAD 二次开发技术基础	385
10.4.3 AutoCAD 的开发环境	387
10.5 基于 SolidWorks 的二次开发技术	389
10.5.1 SolidWorks 的二次开技术概述	389
10.5.2 SolidWorks API 函数简介	390
10.5.3 用 Visual C + + 开发 SolidWorks	393
10.6 计算机辅助机械设计的应用	396
10.6.1 机械 CAD 建模基础	396
10.6.2 计算机辅助机械设计的一般方法	397
10.6.3 计算机辅助机械设计示例	398

第1篇 计算机辅助机械设计基础知识

第1章 计算机辅助机械设计概论

1.1 机械产品设计的过程及特点

机械产品正在向大型(或微型)化、高速化、高效化、集成化、综合化、精密化、智能化、绿色化方向发展,人们对产品质量的要求也越来越高。高质量的产品离不开精心的设计、精密的制造、严格的管理,但高质量的产品的核心是高水平的设计,据统计,设计对产品质量的贡献率达到70%以上,设计阶段决定了产品成本的75%~80%。

设计有广义和狭义两种概念。从广义上说,设计就是把人类的理想变为现实的实践活动,是人类征服自然、改造世界的基本活动。广义的设计是指在有限的时空范围内,在特定的物质技术条件下,为满足一定的需求而进行的一种创造性思维活动的实践过程。狭义的设计是指根据客观需求完成技术系统的图纸及技术文档的活动,机械产品的设计即属于狭义的设计。产品设计是人们在改造自然的生活过程中所用到的一种复杂的思维形式,是产品开发过程中极其重要的一个环节,决定了产品的可靠性、维修性以及经济性。

1. 产品的设计过程

一个产品的设计一般要经历如下过程:

(1) 需求分析和可行性研究 首先对市场需求进行调研分析,进行产品研发可行性研究与分析。

(2) 进行概念设计 确定拟研发产品的功能,进行方案构思、分析、比较与论证,确定一个合理可行的原理性方案。概念设计主要包括功能设计、原理设计、形状设计、布局设计、人机工程设计等。

(3) 初步设计 从原理性方案中选择优化方案,进行初步的总体设计,确定各部件的基本结构、形状及参数,建立相应的数学模型,进行设计参数的分析计算与优化。

(4) 技术设计 确定设计对象的细节结构,进行详细的总体设计、零部件设计计算,绘制技术图纸,形成技术文档。

(5) 试制、定型与改进 完成产品样机试制,并进行测试、分析、修改;再进行工业化试验,优化后完成产品设计定型的各种技术文件,进行批量生产;再根据投入市场后的反馈意见,对产品不断完善和改进。

可以看出,产品的设计过程是非常复杂的,是一个迭代式的反复循环、不断提高的过程,设计贯穿于整个产品生命周期。

2. 产品设计的特点

尽管设计对象不同、复杂程度不同，但产品设计的基本特点是相似的：

(1) 需要进行创造性的思维劳动 为满足产品的性能要求，设计者在方案设计阶段往往需要苦思冥想，力图构思出结构新颖合理，经济性能及实用性能高的方案，因而要进行创造性的思维劳动。

(2) 需要进行综合性的分析评价 为了评判产品的性能好坏及方案优劣，往往需要进行综合性的分析评价，为最终决策提供依据。

(3) 需要进行大量的数值计算 为确保产品的使用性能，需要进行强度、刚度、稳定性及可靠性等方面的设计与校核计算。

(4) 需要进行大量的数据处理 设计所涉及的范围很广，因而信息量大，并且数据的类型各不相同，有的还比较复杂。如涉及结构、设备、材料、标准件、非标件、工艺等多方面的信息。此外各设计阶段及其之间还存在信息的反馈与交互作用。

(5) 需要进行大量的图形处理 由于图形是工程技术人员共同语言，因而最终的设计结果需要用工程制图表达出来。不管是概念设计阶段，还是技术设计阶段，都需要绘制大量的工程图形。绘图的工作量占设计总工作量的 30%~50%。

3. 传统设计与现代设计的比较

传统设计是以经验总结为基础，运用长期设计实践和理论计算而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据，通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断完善和提高，是符合当代技术水平有效设计方法。从传统的设计过程可以看出，传统设计的各个环节主要依靠设计者用手工方式来完成。首先凭借设计者直接或间接的经验，通过类比分析或经验公式确定方案，由于方案的拟定很大程度上取决于设计人员的个人经验，即使同时拟定几个方案，也难于获得最优方案。其次，由于分析计算受人工计算条件的限制，传统设计主要依赖工程问题的解析求解方法，使实际问题不得不尽量简化，有时只能用静态的、近似的方法，参考数据偏重于经验的概括和总结，往往忽略了一些难解或非主要的因素，因而造成设计结果的近似性较大，有时甚至不符合客观实际情况。再者，信息处理、经验或知识的存储和重复使用方面还没有一个理想、有效的方法，解算和绘图也多用手工完成，设计思想在设计者大脑中表现为三维模型，但却将设计思想表达为二维工程图，因而设计的效率不高，效果不佳。此外，在传统的设计中，大量的、繁重的、有些是重复性的工作都是由设计人员手工或借助于简单的工具完成的，这不仅影响设计速度和设计质量的提高，也难以做到精确和优化的效果，导致设计周期长，效率低下，产品的更新换代缓慢，缺乏竞争力。对大型、复杂的工程问题，传统设计更难对技术与经济、技术与美学做到和谐统一，因而设计往往带有一定的局限性。

由此看来，要摆脱产品设计品种少、质量差、效益低、周期长的不良局面，必须采用以计算机辅助设计技术(CAD)为主体的现代设计技术，它是实现产品设计现代化的必由之路。

现代设计是过去长期的传统设计活动的延伸和发展，是传统设计的深入、丰富和完善，同时也是多学科融合的产物。随着设计实践经验的积累，设计理论的发展以及科学技术的进步，特别是计算机技术的高速发展，设计工作包括机械产品的设计过程产生了质的飞跃。现代设计不仅指设计方法的更新，也包含了新技术的引入和产品的创新。“现代设计技术”就是以满足市场产品的质量、性能、时间、成本、价格综合效益最优为目的，以计算机辅助设计技术为主体，以知识为依托，以多种科学方法及技术为手段，研究、改进、创造产品活动过

程所用到的技术群体的总称。

现代设计与传统设计的差异主要在于：传统设计方法是静态的、经验的、手工的方法；而现代设计方法是动态的、科学的、计算机化的方法。传统设计方法是被动地重复分析产品的性能，而现代设计方法则可能做到主动地设计产品参数。现代设计是过去长期的传统设计活动的延伸和发展，它继承了传统设计的精华，克服了传统设计的一些不足，也融合了多学科的优势。传统设计与现代设计两种方法在一定时间内还会共存，但随着科学技术的进步必将会有新的突破。

1.2 CAD 技术的兴起与发展

1.2.1 CAD/CAE/CAPP/CAM 的涵义

1. CAD 的涵义

CAD(Computer Aided Design)是计算机辅助设计的简称，通常指在产品和工程设计过程中借助于计算机软、硬件系统辅助人们完成诸如建模、计算、分析、仿真、绘图等设计任务。而其更广泛的涵义则是指人机结合的设计系统，通过利用计算机软、硬件来辅助完成工程设计的建立、修改、分析、优化的全过程。CAD 是一项综合性的、技术复杂性很高的系统工程，它涉及到的科技领域是非常广泛的，如计算机科学、计算机图形学、计算数学、数据库技术、人工智能技术等。

2. CAE 的涵义

CAE(Computer Aided Engineering)是计算机辅助工程的简称，指用计算机辅助求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。CAE 从 20 世纪 60 年代初开始在工程上应用到今天，经过几十年的发展，其理论和算法都经历了从蓬勃发展到日趋成熟的过程，现已成为工程和产品结构分析中(如航空、航天、机械、土木结构等领域)必不可少的数值计算工具，同时也是分析连续力学各类问题的一种重要手段。CAE 系统的核心思想是结构的离散化，即将实际结构离散为有限数目的规则单元组合体，实际结构的物理性能可以通过对离散体进行分析，得出满足工程精度的近似结果来替代对实际结构的分析，这样可以解决很多实际工程需要解决而理论分析又无法解决的复杂问题。其基本过程是将一个形状复杂的连续体的求解区域分解为有限的形状简单的子区域，即将一个连续体简化为由有限个单元组合的等效组合体；通过将连续体离散化，把求解连续体的场变量(应力、位移、压力和温度等)问题简化为求解有限的单元节点上的场变量值。此时得到的基本方程是一个代数方程组，而不是原来描述真实连续体场变量的微分方程组。求解后得到近似的数值解，其近似程度取决于所采用的单元类型、数量以及对单元的插值函数。根据经验，CAE 各阶段所用的时间为：40%~45%用于模型的建立和数据输入，50%~55%用于分析结果的判读和评定，而真正的分析计算时间只占 5%左右。针对这种情况，采用 CAD 技术来建立 CAE 的几何模型和物理模型，完成分析数据的输入，通常称此过程为 CAE 的前处理。同样，CAE 的结果也需要用 CAD 技术生成图形输出，如生成位移图、应力、温度、压力分布的等值线图，表示应力、温度、压力分布的彩色明暗图，以及随机机械载荷和温度载荷变化生成位移、应力、温度、压力等分布的动态显示图等。这一过程称为 CAE 的后处理。针对不同的应用，也可用 CAE

仿真模拟零件、部件、装置(整机)乃至生产线、工厂的运动和运行状态。

衡量 CAE 技术水平的重要标志之一是分析软件的开发和应用。目前,一些发达国家在这方面已达到了较高的水平,仅以有限元分析软件为例,国际上不少先进的大型通用有限元计算分析软件的开发已达到较成熟的阶段并已商品化,如 ABAQUS、ANSYS、NASTRAN 等。这些软件具有良好的前后处理界面,静态和动态过程分析以及线性和非线性分析等多种强大的功能,都通过了各种不同行业的大量实际算例的反复验证,其解决复杂问题的能力和效率,已得到学术界和工程界的公认。在北美、欧洲和亚洲一些国家的机械、化工、土木、水利、材料、航空、船舶、冶金、汽车、电气工业设计等许多领域中得到了广泛的应用。

3. CAPP 的涵义

CAPP(Computer Aided Process Planning)是计算机辅助工艺的简称,指借助于计算机软硬件技术和支撑环境,利用计算机进行数值计算、逻辑判断和推理等的功能来制定零件机械加工工艺过程。借助于 CAPP 系统,可以解决手工工艺设计效率低、一致性差、质量不稳定、不易达到优化等问题。CAPP 利用计算机来进行零件加工工艺过程的制订,把毛坯加工成工程图纸上所要求的零件,通过向计算机输入被加工零件的几何信息(形状、尺寸等)和工艺信息(材料、热处理、批量等),即可由计算机自动输出零件的工艺路线和工序内容等工艺文件。

CAPP 的开发、研制是从 20 世纪 60 年代末开始的,在制造自动化领域,CAPP 的发展是最迟的部分。世界上最早研究 CAPP 的国家是挪威,始于 1969 年,并于 1969 年正式推出世界上第一个 CAPP 系统 AUTOPROS;1973 年正式推出商品化的 AUTOPROS 系统。

在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是 CAM-I 于 1976 年推出的 CAM-I'S Automated Process Planning 系统。取其字首的第一个字母,称为 CAPP 系统。目前对 CAPP 这个缩写法虽然还有不同的解释,但把 CAPP 称为计算机辅助工艺过程设计已经成为公认的释义。

CAPP 系统的构成,视其工作原理、产品对象、规模大小不同而有较大的差异。CAPP 系统基本的构成模块包括:

(1) 控制模块。控制模块的主要任务是协调各模块的运行,是人机交互的窗口,实现人机之间的信息交流,控制零件信息的获取方式。

(2) 零件信息输入模块。当零件信息不能从 CAD 系统直接获取时,用此模块实现零件信息的输入。

(3) 工艺过程设计模块。工艺过程设计模块进行加工工艺流程的决策,产生工艺过程卡,供加工及生产管理部门使用。

(4) 工序决策模块。工序决策模块的主要任务是生成工序卡,对工序间尺寸进行计算,生成工序图。

(5) 工步决策模块。工步决策模块对工步内容进行设计,确定切削用量,提供形成 NC 加工控制指令所需的刀位文件。

(6) NC 加工指令生成模块。NC 加工指令生成模块依据工步决策模块所提供的刀位文件,调用 NC 指令代码系统,产生 NC 加工控制指令。

(7) 输出模块。输出模块可输出工艺流程卡、工序卡、工步卡、工序图及其他文档,输出亦可从现有工艺文件库中调出各类工艺文件,利用编辑工具对现有工艺文件进行修改至所需的工艺文件。

(8) 加工过程动态仿真。加工过程动态仿真对所产生的加工过程进行模拟,检查工艺的正确性。

4. CAM 的涵义

CAM (Computer Aided Manufacturing)指计算机辅助制造,即利用计算机进行生产设备管

理控制和操作的过程。输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息则是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序。其核心是计算机数值控制(简称数控),是将计算机应用于制造生产过程的过程或系统。1952年,美国麻省理工学院首先研制成数控铣床。数控的特征是由编码在穿孔纸带上的程序指令来控制机床。此后发展了一系列的数控机床,包括被称为“加工中心”的多功能机床,能从刀库中自动换刀和自动转换工作位置,能连续完成铣、钻、铰、攻丝等多道工序,这些都是通过程序指令控制运作的,只要改变程序指令就可改变加工过程,数控的这种加工灵活性称为“柔性”。

计算机辅助制造系统的组成可以分为硬件和软件两方面:硬件方面,有数控机床、加工中心、输送装置、装卸装置、存储装置、检测装置、计算机等;软件方面,有数据库、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控程序编制、计算机辅助工装设计、计算机辅助作业计划编制与调度、计算机辅助质量控制等。

计算机辅助制造有狭义和广义两个概念。CAM的狭义概念指的是从产品设计到加工制造之间的一切生产准备活动,包括CAPP、NC编程、工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订等,这是最初CAM系统的狭义概念。今天,CAM的狭义概念甚至更进一步缩小为NC编程的同义词。CAPP已被作为一个专门的子系统,而工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订则划分给MRP II/ERP系统来完成。CAM的广义概念包括的内容则多得多,除了上述CAM狭义定义所包含的所有内容外,还包括制造活动中与物流有关的所有过程(加工、装配、检验、贮存、输送)的监视、控制和管理。

目前,CAD/CAE/CAPP/CAM被称为计算机辅助4C系统。随着科学技术的高速发展,计算机辅助技术在机械工程领域将会发挥越来越重要的作用。

1.2.2 CAD技术的兴起与发展

CAD技术的兴起是以计算机的出现与发展为基础的。20世纪40年代中期,世界上第一台计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer)在美国问世,它的出现极大地推动了许多学科的飞速发展,也带动了一批新兴学科的建立。

CAD技术开始于20世纪50年代后期,伴随着CAD技术的诞生,CAD产业也开始萌芽发展。从20世纪60年代至今,国际CAD技术和产业经历了4个不同的时期:

- (1) 50年代~70年代:开创时期。
- (2) 70年代末~80年代中:第一次发展时期。
- (3) 80年代末~90年代初:第二次发展时期。
- (4) 90年代中至今:第三次发展时期。

1. CAD技术及产业的开创时期

从CAD技术的发展上看,20世纪50年代至70年代是CAD技术的开始时期,CAD技术的研究最初起步于计算机图形显示硬件和交互式计算机图形学。

20世纪50年代初期,美国麻省理工学院研制成功了世界上第一台平板绘图机,随后又开始实施APT(刀具控制自动编程系统)开发计划。1953年—1954年,美国通用电气公司开始使用计算机设计变压器等产品。稍后美国Calcomp公司研制成功世界上第一台滚筒式绘图机。1959年12月,在美国麻省理工学院召开的一次会议上,明确提出了CAD的概念,由此开始了由计算机辅助绘图代替人工绘图的新时代。

20世纪50年代末期,美国麻省理工学院研制出空中防御系统(SAGE System),该系统

中采用了绘图机及交互式图形显示技术,为CAD的发展做出了突出贡献。

20世纪60年代初期,计算机技术有了较大发展,出现了一些优秀的程序设计语言、文件系统和图形显示系统,以及高性能的外部存储器(如磁鼓、磁盘)和阴极射线管(Cathode Ray Tube),客观上为计算机图形处理奠定了基础。

1962年,美国麻省理工学院年仅24岁的研究生I. E. Sutherland在他的博士论文中提出了SKETCHPAD人机交互系统。文中对CAD作出了大胆、诱人的设想,极大地震动了工程界。他的论文为交互式图形生成与显示技术的发展奠定了基础,被认为开创了交互式计算机图形学研究先河。

同年,美国通用汽车公司(GM)和IBM公司成功地开发了用于汽车前窗玻璃线型设计的DAC-1系统。随后美国各大公司开始投入大量资金对CAD技术进行研究开发,如IBM公司的SMS、SLT/MST设计自动化系统、美国洛克希德飞机公司的二维绘图系统CADAM、美国CDC公司开发的Digigraphic CAD系统等。这些系统的出现,标志着CAD技术已开始步入实用阶段。实际上这一时期,CAD技术已经开始应用于大型电站、核反应堆、汽车、机械、化工等行业。

这一阶段的特点是CAD系统规模庞大,价格昂贵,主要应用于大型企业及研究单位。

在CAD技术发展初期,CAD的含义仅仅是图板的替代品,即计算机绘图(Computer Aided Drawing or Drafting),而不是计算机辅助设计(Computer Aided Design)。

2. CAD技术与产业的第一次发展时期

20世纪70年代末~80年代中期,由于工业界强烈的应用需求,曲面造型和实体造型技术获得了快速的发展,出现了一批在工业应用的CAD/CAM软件系统,CAD技术与产业开始了第一次发展时期。

美国麻省理工学院的Coons和法国雷诺公司的Bezier先后提出了新的曲面算法,使得人们可以用计算机处理曲线及曲面问题。

在此基础上,1977年,法国达索飞机公司(Dassault Aviation)成立了一个开发部门,开发出了三维曲面造型系统(Computer Aided Three-dimension Interactive Application, CATIA)。CATIA的出现标志着CAD技术从二维走向三维,同时也使得CAM技术的开发有了实现的基础。可以说,CATIA的出现带来了一次CAD技术的革命。

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,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也奠定了CAM技术的基础。CATIA为人类带来了第一次CAD技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似准确表达曲面的落后的工作方式。CATIA带来的技术革新,使汽车等工业的开发手段和模式有了质的飞跃,新车型开发速度也大幅度提高,开发周期缩短50%以上。

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表达零件的全部属性,在理论上有助于统一CAD、CAE、CAM的模型表达,在应用上,给设计者带来了惊人的方便性,代表了未来CAD技术的发展方向。

实体造型技术的应用标志着CAD发展史上的第二次技术革命。

蓬勃发展的CAD技术则给使用者带来了巨大的收益。

3. 国际CAD产业的第二次发展时期

20世纪80年代末~90年代初,单用户计算机系统的普及、参数化技术和特征造型技术的发展,使得CAD产业格局又面临新一轮的变革。

1982年4月,John Walker创立Autodesk公司,Autodesk公司是CAD发展史上的一个成