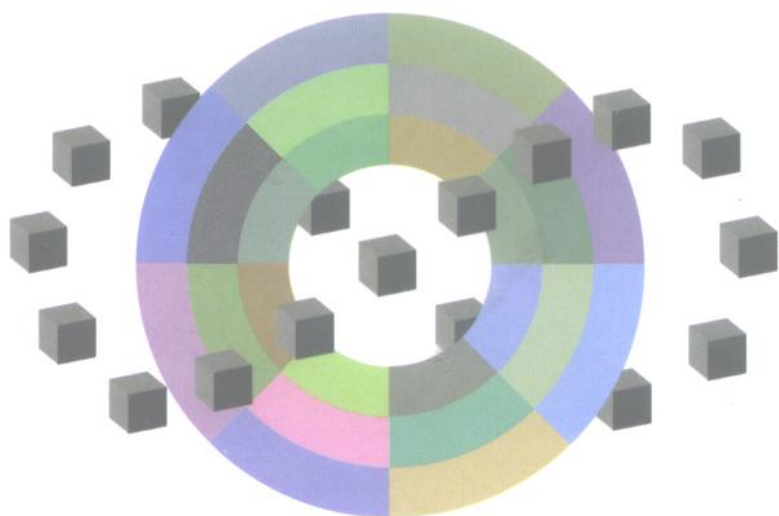


CAD/CAM/CAE 入门

(日) 雨宫好文 主编 安田仁彦 著

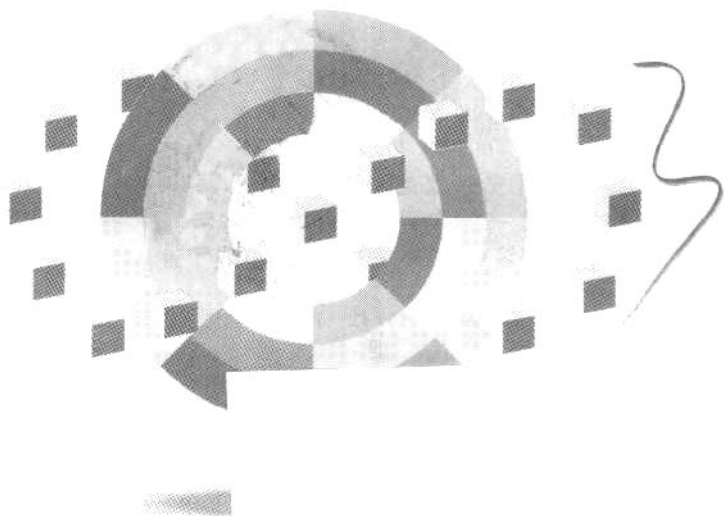


科学出版社 OHM社

图解 机电一体化入门系列

CAD/CAM/CAE 入门

[日] 雨宫好文 主编 安田仁彦 著
赵文珍 译 张幼军 校



科学出版社 OHM 社

2000. 北京

图字: 01 - 1999 - 2499 号

Original Japanese edition

Zukai Mekatoronikusu Nyuumon Shirizu: CAD/CAM/CAE Nyuumon (Kaitei 2-han)

Supervised by Yoshifumi Amemiya

Written by Kimihiko Yasuda

Copyright © 1999 by Kimihiko Yasuda

published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 1999

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 Ohm 社所共有

製作者: 田中浩二 (Ohmsha)

CAD/CAM/CAE 入門 (第2版)

科学出版社 (Science Press)

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM/CAE 入门: 第2版/(日)安田仁彦著; 赵文珍译.

- 北京: 科学出版社, 2000

ISBN 7-03-007997-3

I. C… II. ①安… ②赵… III. ①计算机辅助设计 - 基本知识②计算机辅助制造 - 基本知识③计算机辅助分析 - 基本知识IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65156 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

2000 年 1 月第 一 版 开本: 889 × 1194 1/32

2000 年 1 月第一次印刷 印张: 5 5/8

印数: 1 - 5 000 字数: 145 000

定 价: 17.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

译 者 序

《CAD/CAM/CAE 入门》一书的原著自从出版以来深受读者欢迎。

本书以简短的篇幅、明确的图解,全面地介绍了 CAD、CAM、CAE 的基本原理、实现方法和发展概况。作者在内容的取舍上重点突出,着重满足机电一体化工程应用的需要;对基本概念和基本理论的阐述简明扼要、清晰透彻、深入浅出;文中图表公式编排新颖、醒目易查,便于读者掌握应用;各章附有要点和练习题,并有解答,对于自学的读者十分方便。

国内外关于 CAD、CAM、CAE 的著作为数不少,但具有本书内容特点的著作却不多。本书是面向初学者编写的,特别适合大学在校学生阅读。可以作为机械设计制造及其自动化专业学生的教学参考书或教材。对于从事机电一体化方面的科技人员也不失为了一本实用的参考书。

在本书的翻译过程中,译者力图保持原著的写作风格,对在原文中发现的个别不妥之处和解释不够充分的地方作了适当更正和补充,译文中的插图直接采用原图制版。

由于译者水平有限,时间仓促,文中还会有翻译错误和遗漏之处,谨请广大读者不吝指教。

译 者

主 编 的 话

图解机电一体化入门系列是从 1983 年开始出版的。

当时,机电一体化一词刚刚被社会认可。机械工程技术人员都有一种“不学习电子技术,就会落后于时代……”的危机感。每次举办讲座都是座无虚席。

“对于初学者来说,学习哪些内容能最有效?”,针对这一问题,我们进行了研究。在确定了以此为本套丛书的编写方针后,我们进行了相应的选题。事实证明,我们的预见是正确的。从那时起至今十几年,这套丛书还继续受到读者的喜爱,读者至今已超过 10 万。

这次,我们根据读者提出的各种建议,对本套丛书进行了修订,改版后奉献给大家。这次改版,除了对上版中的内容进行了详细的修订外,为方便读者的学习,还在各章结尾处添加了本章要点和练习题等内容。

在这次改版的过程中,我们还讨论了在本套丛书中应融入多少机电一体化领域最新进展的问题。其结果,我们认为本套丛书还应继续保持“面向初学者”这一有特色的编写方针,将那些属于机电一体化“后续课程”的内容,让位于市面上正在推出的其它参考书。

本次改版的有以下 8 本书,希望能满足您的学习要求。

- | | |
|--------------------|-------------|
| (1) 传感器入门 | (2) 控制用微机入门 |
| (3) 控制用电机入门 | (4) 机器人控制入门 |
| (5) 数字控制入门 | (6) 信号处理入门 |
| (7) CAD/CAM/CAE 入门 | (8) 接口电路入门 |

雨宫好文

前 言

《CAD/CAM/CAE 入门》作为 CAD/CAM/CAE 领域的入门书籍,自第一版出版以来已经过了 10 余年。很荣幸地赢得了广大读者的好评。作者写作本书的愿望是为了让读者理解 CAD/CAM/CAE 的基础知识,因而不想写成知识的罗列,书中尽可能选择具有较长生命力的内容,并对其进行系统的阐述。不知是否实现了这个愿望,所幸,作为这一领域的书籍,没有想到它会在这么长的时间里一直得到广大读者的厚爱。

但是,10 年的岁月毕竟漫长,尽管本书以阐述基础知识为主,作者还是感到有修订的必要。此次,应出版社的请求,出版了这部修订版。因为第一版已经博得了广大读者的好评,所以对于没有失去价值的部分仍尽量保持原版的内容。主要修订的内容有:将 CAE 一章分为两章加以充实;在一些章节增加了新的内容;将个别章节的内容和顺序进行了调整;各章都附加了要点和练习题。希望能够比原版有所改善,更适合时代的发展。

与第一版一样,如果本书能够在读者理解 CAD/CAM/CAE 的第一步起到作用,那就是作者最大的快乐。

最后,对审阅了本书的原稿、并提出了许多有益建议的名古屋大学名誉教授雨宫好文先生深表感谢。同时也对在出版过程中做了大量工作的欧姆社(OHMSHA)各位编辑以及为各章开头作了有趣插图的筒井佳子表示谢意。

作 者

目 录

第 1 章 什么是 CAD/CAM/CAE

1.1 什么是 CAD/CAM/CAE	11
1.2 CAD/CAM/CAE 的历史	15
本章要点	19
练习题	20

第 2 章 CAD/CAM/CAE 系统的硬件

2.1 计算机	21
2.2 CAD/CAM/CAE 系统的构成方式	26
2.3 显示器	28
2.4 输入装置	31
2.5 输出装置	34
本章要点	36
练习题	36

第 3 章 CAD/CAM/CAE 系统的软件

3.1 自动绘图系统	37
3.2 二维 CAD 系统	41
3.3 三维 CAD 系统	43
3.4 CAE 系统	44
3.5 CAM 系统	46
本章要点	46

练习题	47
第 4 章 计算机图形学	
4.1 计算机图形学	49
4.2 图形的生成	51
4.3 图形的变换	52
4.4 三维计算机图形学	60
4.5 投影变换	64
4.6 隐面和隐线的消除	67
本章要点	70
练习题	71
第 5 章 几何建模	
5.1 几何建模	73
5.2 采用边界表示法的实体模型	73
5.3 体素构造法表达的实体模型	77
5.4 边界表示法与体素构造法的比较	79
5.5 自由曲线与自由曲面的几何建模	81
本章要点	87
练习题	88
第 6 章 基于几何模型的 CAE	
6.1 基于几何模型的 CAE	89
6.2 质量参数的计算	90
6.3 机构分析	96
6.4 机器人的运动分析	99
本章要点	103
练习题	104

第 7 章 基于数理模型的 CAE 技术

7.1 CAE	105
7.2 有限元法	106
7.3 有限元法的基本思想	107
7.4 有限元法的单元自动分割	113
7.5 边界元法	118
7.6 边界元法的基本思想	119
7.7 模态分析	124
7.8 模态分析的应用方法	129
本章要点	133
练习题	134

第 8 章 工艺设计

8.1 工艺设计	135
8.2 派生式的工艺设计	137
8.3 创成式与准创成式的工艺设计	139
本章要点	140
练习题	141

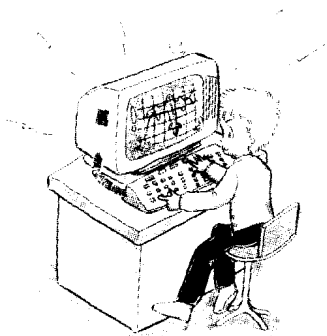
第 9 章 NC 技术与机器人技术

9.1 NC 机床与加工中心	143
9.2 NC 机床的编程	147
9.3 自由曲面的加工	151
9.4 机器人	153
9.5 机器人编程	156
本章要点	158
练习题	159

第 10 章 CAD/CAM/CAE 中的数据库及知
识工程学在 CAD/CAM/CAE 方
面的应用

10.1 数据库	161
10.2 CAD/CAM/CAE 系统的集成	165
10.3 知识工程学在 CAD/CAM/CAE 中的 应用	167
本章要点	171
练习题	171
练习题答案	173
参考文献	177

什么是 CAD/CAM/CAE



1.1 什么是 CAD/CAM/CAE

1.1.1 CAD/CAM/CAE 的定义

随着计算机的迅速发展,设计和生产的方法都在发生着显著的变化。以前一直只能靠手工完成的许多简单作业,逐渐通过计算机实现了高效化和高精度化。这种利用计算机来达到高效化、高精度化目的,实现自动化设计、生产以及解析计算的方法分别称为 **CAD**(Computer Aided Design, 计算机辅助设计), **CAM**(Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助生产) 和 **CAE**(Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程)。

在许多情况下将 CAD、CAM、CAE 合起来写成 **CAD/CAM/CAE**,这并不是将 CAD、CAM、CAE 简单组合在一起,而是表示三者的有机结合,意味着进一步提高设计和生产效率的综合技术。

为了说明 CAD、CAM、CAE 所涉及的范围,下面来分析一下从产品设计到生产出成品的各个环节中是如何应用计算机的。

1.1.2 CAD、CAE 的范围

不同产品的生产过程各不相同。对于一般的产品,生产过程

如图 1.1 所示,可分为初步设计、详细设计、生产准备和制造四个阶段。

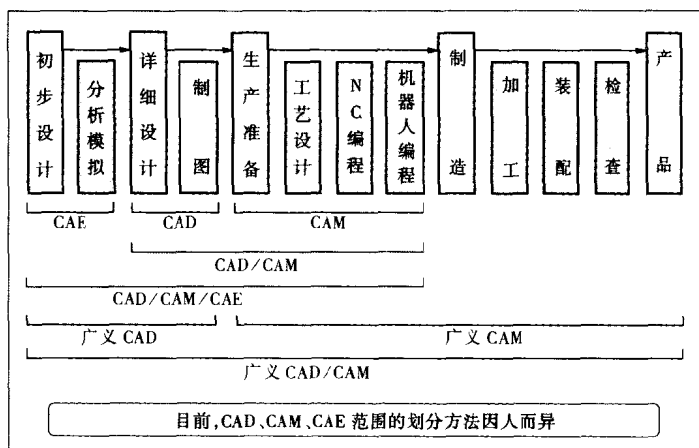


图 1.1 生产成型产品的过程与 CAD、CAM、CAE 的范围

最初的**初步设计**阶段,就是要研究满足功能要求的总体几何形状和结构,并进行大致的性能预测、强度分析、机构分析等模拟分析工作。在此过程中,首先要利用计算机查阅以往的设计实例和文献。因为计算机具有非常强的检索能力,所以可事先将设计实例和文献数据集中存储在计算机中(称为**数据库**),使用时用计算机来进行检索。其次,要利用计算机来进行必要的性能预测、强度分析、机构分析等模拟分析计算,在这方面计算机具有惊人的威力。

接着是**详细设计**阶段。要在初步设计阶段确定方案的基础上,进一步确定产品各部分的详细几何形状、尺寸和材料。在此过程中,要利用计算机对存储在计算机数据库中的设计标准、规范等数据进行检索,还要利用计算机进行细致的几何形状修改和确定。设计者在称为**显示器**的计算机屏幕前,就像实物摆在面前一样,利用实时图像来完成几何形状的修改和确定工作。设计者使用这种称为**几何模型**的“电子模型”,取代以往的粘土模型。而且,这种电子模型还可以用于详细设计的模拟分析中。在详细设计过

程中它是不可缺少的工具,要在计算机上利用它对产品的性能和功能进行仔细研究。这样,就大大减少了为最终验证设计效果而制造样件的次数。

初步设计和详细设计完成后,将设计结果先存储在数据库中,再利用图纸表达出来。这种利用计算机将设计结果表达为图纸的系统称为**自动绘图系统**,这在很早以前就已经实现了。现在,制图板、三角板等已经从制图室消失了踪影。

从上述的计算机在设计、分析计算中的应用情况看,CAD、CAE 分别指的是其中哪些范围呢?很遗憾,因为 CAD 及 CAE 正处于迅速发展之中,所以,确切的意义和范围划分还没有统一,其说法因人而异。这里将 CAD、CAE 的范围作如下界定。

CAD 指的是利用计算机进行几何设计、修改和绘图。为了画图简单,在图 1.1 中 CAD 只表示出制图功能,但其中还包含了与制图有关的几何模型技术。

CAE 指的是利用计算机进行模拟分析计算。在图 1.1 中也作了简化。实际上 CAE 指的是初步设计和详细设计两个阶段中的模拟分析计算。

在有些情况下,CAD 比上述定义具有更广泛的含义。广义 CAD 的含义如图 1.1 所示,包含了上述意义中的 CAD 和 CAE 两部分。

1.1.3 CAM 的范围

让我们再回到图 1.1,从图中所示的生产准备过程可以看出,在此过程中有许多工作要做。

其中第一项是**工艺设计**,即研究和确定产品的零件加工应采用的加工方法、加工顺序和加工设备等。工艺设计是经验性较强的工作,以往必须由经验丰富的人员来完成。而现在可将加工的经验数据存储在计算机数据库中,通过与计算机对话,即使经验很少的操作者也能进行工艺设计。

生产准备的第二项是零件加工的准备工作的。目前,大多数加工是在称为**数字控制** (Numerical Control,简称 NC 或数控)机床的设备上自动进行。因此,加工准备就是指 NC 机床的 NC 程序编

制(NC 编程)。现在,计算机在 NC 程序编制中的应用也在不断发展,使编程工作比以前要简单得多。

生产准备的第三项是做零件装配的准备工作。近来,很多装配工作由机器人来完成。所以,装配准备工作指的是**机器人程序编制(机器人编程)**。机器人程序编制也要利用计算机,从而使编程工作大大简化。

上述生产准备工作完成后,接着要进行实际加工、装配和检验。在实际加工中,NC 机床本身就是利用计算机来提高性能的。同时,要使多台机床能够协调地、高效地工作也必须利用计算机来控制。近年来,随着计算机技术的发展,装配用机器人的应用范围越来越广,在许多制造现场都有机器人在工作。在最终检验过程中,利用计算机的**自动检测装置(CAT)**也在不断向实用化发展。

以上是计算机在生产中的应用情况。CAM 的范围划分方法也因人而异。在本书中 CAM 指的是工艺设计、NC 编程、机器人编

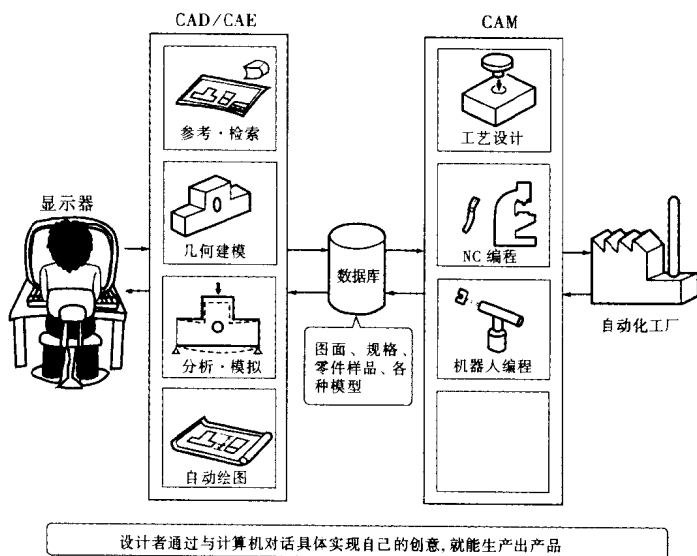


图 1.2 CAD/CAM/CAE

程等生产准备过程。有时 CAM 具有更广的含义。广义 CAM 不仅包括生产准备,而且包括利用计算机进行实际制造。在本书中重点论述前一种含义的 CAM,但必要时也接触到广义 CAM。

在设计与制造现场,CAD、CAM、CAE 的发展程度各不相同。当各项技术充分发展并且全部集成起来的时候,真正的 CAD/CAM/CAE 就诞生了(图 1.2)。到那时,人类就将从简单作业中解放出来,专心地从事只有人类才能完成的创造性工作。坐在显示器前与计算机对话,将自己的创意具体表达出来,在工厂里制造出想要的产品的梦想就会实现了。

1.2 CAD/CAM/CAE 的历史

为了进一步加深对 CAD/CAM/CAE 的含义和现状的理解,本节将回顾一下 CAD/CAM/CAE 的历史。为此,必须先回顾一下计算机的历史。

1.2.1 计算机的历史

归纳计算机的发展史可以用图 1.3 表示。

20 世纪 40 年代诞生了数字计算机。当时的计算机为电气机械式,因此最大的计算机 MARK I 型计算 23 位的加法或减法需要 0.3 秒,计算 23 位的乘法需要 0.6 秒。

1946 年为美国陆军开发的 ENIAC 型计算机用电子管代替了

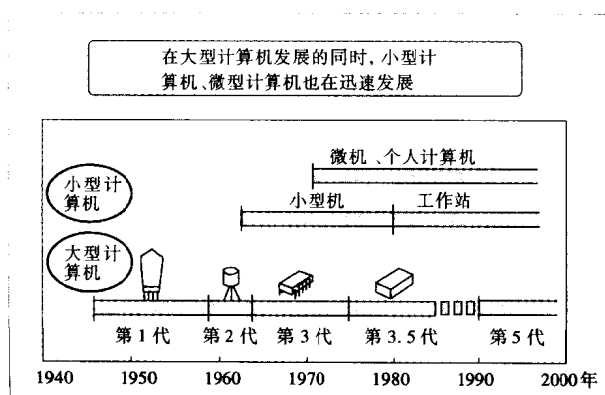


图 1.3 计算机的发展

机械部分,此时的计算机才称得上“电子”计算机,或者说诞生了**第1代计算机**。这种计算机计算两个10位数乘法需要1/40秒。到50年代中期进行同样的计算仅需要1/2000秒。

50年代末期,应用半导体的**第2代计算机**诞生了。这个年代的计算机完成两个10位数乘法运算需要 $1/10^5$ 秒。

70年代,将几千个半导体元件构成的电路压缩到一个小硅片上的**集成电路(IC)**开发成功后,诞生了采用这种集成电路的**第3代计算机**。这种计算机每秒可完成数百万次计算。现在,采用**大规模集成电路(VLSI)**的**第3.5代计算机**的开发应用非常活跃。计算机技术正在向高性能、低价格的方向发展。

以上是**大型计算机**(或称为主机)的发展历史。与此同时,以小型化为目标的计算机的发展也令人瞩目。

60年代中期称为 minicomputer 的**小型计算机**开发成功。以往的大型计算机需占一个房间,与其相比,这种紧凑型计算机只需占房间的一角。这种计算机可以由少数人使用,操作方便。到了70年代计算机进一步小型化,出现了由一个或几个半导体芯片构成的**微型计算机**。以微型计算机为中心,配备输入输出设备的计算机系统称为**个人计算机**,现正在普及应用。

进入80年代,比个人计算机大、比小型计算机小的计算机**工作站**诞生了。这种计算机通常与其它计算机联成网络,使其有机地结合起来,发挥更大的作用。

1.2.2 CAM 的历史

CAD/CAM/CAE 的发展历史从 CAM 开始。CAD/CAM/CAE 的历史转折点如图 1.4 所示。

1952年,MIT(美国麻省理工学院)在世界上首次开发了**NC机床**。利用这种机床能够完成以往只有用手工操作才能完成的加工。但是,控制这种机床的纸带还要由人来制作,而这项工作需要花费很多时间且经常出现错误。因此,在MIT同时开始了NC机床的开发工作和用计算机来制作数控机床纸带的开发工作,并进行了自动编程工具系统**APT**(Automatically Programmed Tools)的开发研究,其目的是根据被加工零件的几何形状来自动生成刀具的

运动路径。这就是 CAM 历史的开端。

最早的 APT 没有能够完成。1957 年和 1961 年分别完成了 APT - II 和 APT - III 系统。1964 年,以美国伊利诺伊理工学院为核心承担了 APT 长期开发计划,于 1969 年完成了 APT - IV 的开发工作。

APT 技术引入到原联邦德国阿亨大学,并在此基础上开发了 EXAPT - I、EXAPT - II、EXAPT - III 等系统。

工艺设计也是在历史上较早尝试自动化的项目之一。1969 年在挪威已经成功地开发出了最早的真意义的工艺设计自动化系统 AUTOPROS。但是,工艺设计中究竟应该进行哪些处理并不明确。因此,工艺设计自动化系统的发展很缓慢,它是 CAD/

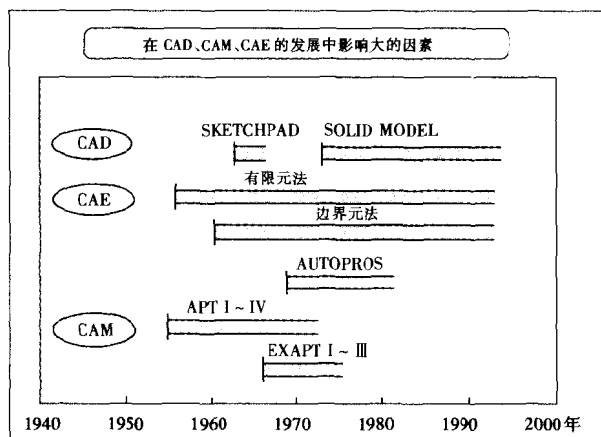


图 1.4 CAD/CAM/CAE 的发展史

CAM/CAE 技术中发展最慢的部分。AUTOPROS 虽然对后来的工艺设计系统有很大的影响,但这种系统本身却没有得到推广。

1.2.3 CAD 的历史

20 世纪 50 年代末期 APT 技术得到了发展。在 MIT 不仅将计算机技术用于加工过程,而且还探索了将计算机技术推广应用到设计过程的可能性。MIT 的学生萨泽兰德(Sutherland)首先取得了这方面的研究成果。他把在计算机上进行图形对话式操作的系统