

CAD

杨洪琴 张继安 编著

CAD / CAM 技术及应用

天津科学技术出版社

CAM

CAD/ CAM 技术及应用

杨洪琴 张继安 编著

天津科学技术出版社

津新登字(90)003号

CAD/CAM技术及应用

杨洪琴 张继安 编

*

天津科学技术出版社出版

天津市张自忠路189号 邮编300020

河北省永清第一胶印厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本850×1168毫米 1/32 印张9 字数221 000

1993年3月第1版

1993年3月第1次印刷

印数: 1-2 000

ISBN 7-5308-1212-2/TN·16 定价: 6.50元

内 容 简 介

本书着重介绍 CAD/CAM 应用技术。全书分三部分共十章，主要内容有：CAD/CAM 基本知识，CAD/CAM 系统的硬件配置、特点、选购和性能评估，外部设备种类、性能、指标等。本书还把 LPKF 系统作为在 CAD/CAM 技术中的应用实例介绍给读者，该系统在对印制电路板进行计算机辅助设计后可立即制造出样品电路板。

本书可供大、中专院校师生、从事工程设计的技术人员、技术管理人员阅读、参考。

序

近三十年来, CAD / CAM 技术的发展极为迅速, 其应用遍及各个领域的各行各业。事实证明, 采用 CAD / CAM 技术可以提高效率, 缩短设计周期, 大大提高产品质量, 降低成本, 提高产品的竞争能力。

电子行业在 CAD / CAM 技术的应用中一直是最活跃的领域之一, 作为高新技术, 印制电路板 CAD / CAM 又很早受到人们关注。国家“八五”计划把用电子技术改造传统产业作为技改专项, 重点发展 CAD / CAM 技术, 这将加速印制电路板 CAD / CAM 的发展和推广应用。

工欲善其事必先利其器, 设计工具、方法和生产设备的先进性是生产高技术产品的重要保证, 谁先掌握了先进的设计工具和方法, 谁就可能较早地推出新产品, 从而保持竞争优势。有了成套设备和技术资料不等于有了技术能力, 对于引进的 CAD / CAM 系统, 应用、开发的过程就是消化引进技术形成技术能力和生产能力的过程。培养一支稳定的技术队伍是保证 CAD / CAM 技术蓬勃发展的关键所在。

本书旨在向读者介绍 CAD / CAM 技术及其应用, 主要内容有 CAD / CAM 的基本知识, CAD / CAM 系统的硬件、软件, 外部设备的种类及性能指标等。此外, 作者用了大量篇幅把引进的 LPKF 101P 系统作了详细的介绍。LPKF 101P 系统的 CAM 功能独具特色, 该系统对印制电路板进行辅助设计后几小时就可以制出样品板, 而该样品板几乎可以不加任何处理就能使用。

本书作者经过一定的实践, 在工作之余把体会和实践加以总结和提炼奉献给读者, 相信定能对从事 CAD / CAM 工作的同

行们有所裨益。

王治宝
1992 年 3 月

王治宝：南开大学计算机与系统科学系教授；中国系统仿真学会理事；天津计算机学会副理事长；天津自动化学会理事；《微小型计算机开发与应用》副主编。

小传被收入 Who's Who in Australasia and the Far East, International Biographical Centre, Cambridge, England, 1989.

前 言

CAD/CAM (计算机辅助设计/计算机辅助制造) 技术经过近 30 年的发展, 今天已成为计算机的重要应用领域, 它的出现使很多行业的设计和制造方法由人工变为自动或半自动, 增强了设计和制造工作的科学性和创造性, 大大提高了工作效率和经济效益。

CAD/CAM 技术实用性强、应用面广, 是一门多科性的交叉学科, 技术难度和实现的工作量都很大。因此, 从事 CAD/CAM 工作的同行们经常切磋、交流技术是必要的。

遵照上述宗旨, 在工作之余, 我们把体会和实践加以总结和提炼, 编著成书奉献给读者。

全书分三个部分共十章。第一部分是 CAD/CAM 硬件、软件 (第一章~第四章)。主要内容有: CAD/CAM 技术的基本知识、发展概况; 用工作站构成 CAD/CAM 系统 (工作站的配置、特点、选购和性能评估、典型工作站及其性能); 外部设备 (种类、性能、技术指标等); CAD/CAM 图形软件标准化; 目前流行的优秀 CAD/CAM 软件 (EE System, TANGO, Auto CAD, CADKEY, VISULA, I-DEAS) 等。

第二部分是 CAD/CAM 技术应用实例 (第五章~第九章)。这一部分旨在向读者介绍 LPKF CAD/CAM 系统, 内容有: 预备知识、电原理图设计、电路板设计、电路板制造。LPKF 系统主要用于印制电路板计算机辅助设计、辅助制造, 系统的 CAM 功能独具特色, 即在对电路板进行 CAD 后几小时就能制造出样品电路板, 该样品板几乎可以不加处理就能使用。

第三部分介绍与印制电路板 CAD/CAM 关系密切的印制电路方面的知识。

05569/174 10

在编著本书的过程中，南开大学计算机与系统科学系王治宝教授提出了宝贵意见、审阅了部分书稿并为本书作了序：胡洪宇、张源、陈颖、张步扬、张瑞祥等同志也做了不少工作，在此表示衷心的感谢！

由于水平所限，谬误之处在所难免，切盼读者和同行们提出宝贵意见。

编者

1992.4.9

目 录

第一部分 CAD/CAM 硬件软件

第一章 CAD/CAM 概述..... (1)

- 第一节 CAD/CAM 的诞生与发展 (1)
- 第二节 什么是 CAD/CAM (3)
- 第三节 CAD/CAM 技术在各工业部门中的应用
..... (9)

第二章 CAD 硬件..... (17)

- 第一节 用工作站构成 CAD 系统 (17)
- 第二节 用微型机构成 CAD 系统 (45)
- 第三节 输入输出设备 (47)

第三章 CAD/CAM 软件 (71)

- 第一节 操作系统 (71)
- 第二节 CAD/CAM 应用软件 (73)

第四章 实用 CAD/CAM 应用软件 (90)

- 第一节 EE 软件包 (90)
- 第二节 高级电子工程 CAD 软件包 TANGO
..... (97)

第三节 其它 CAD 软件	(104)
第二部分 CAD / CAM 技术应用实例	
——LPKF 印制电路板辅助设计 / 辅助制造系统	
第五章 系统概述	(122)
第一节 配置	(123)
第二节 硬件简介	(130)
第三节 工作流程图	(138)
第四节 基本概念	(140)
第六章 预备知识	(143)
第一节 启动系统	(143)
第二节 GRCUP-SHOW 库管理程序	(144)
第三节 图形编辑	(167)
第四节 分辨率、单位、网格	(172)
第五节 功能键和程序功能键	(175)
第七章 电原理图设计	(178)
第一节 图形符号库与元件符号库的连接	(178)
第二节 电原理图设计	(178)
第三节 后处理	(184)
第八章 电路板设计	(186)
第一节 布局	(186)
第二节 半自动布线	(188)
第九章 电路板制造 (CAM)	(198)

第一节	后处理	(198)
第二节	绘图和制造	(212)

第三部分 印制电路技术

第十章	印制电路技术概述	(223)
-----	----------	-------

第一节	引言	(223)
第二节	电路板的分类、等级和选材	(224)
第三节	印制电路板制造工艺	(228)
第四节	设计和布线	(233)
第五节	照相底版	(240)
第六节	图象转移	(241)
第七节	蚀刻与电镀	(243)
第八节	机械加工	(244)

附录I	LPKF 101P CAD/CAM系统元件 符号库(5.0版)	(251)
附录II	LPKF 101P CAD/CAM系统文件 扩展名	(263)
附录III	几种印制电路板CAD软件一览表	(265)
附录IV	英汉CAD/CAM技术常用缩略语	(269)
附录V	英制计量单位换算表	(274)

第一部分 CAD/ CAM 硬件软件

第一章 CAD/ CAM 概述

第一节 CAD/ CAM 的诞生与发展

计算机辅助设计与绘图早在 50 年代已经在美国诞生。自从 50 年代第一台平板式绘图机在美国由奥地利人 H. Joseph Gerber 研制成功后, 人工绘图开始了一个崭新的革命, 然而由于当时的软件都是静态的, 绘图过程必须通过高级语言编程实现, 绘图过程又不能人工干预, 因而发展缓慢。

60 年代, 美国麻省理工学院 (MIT) Ivan E. Sutherland 发表了论文“Sketchpad: 一个人机通讯的图形系统”首先开创了交互式计算机绘图系统。

70 年代, 小型机和微型机问世, 之后美国各大公司开始竞相研制交互式计算机辅助设计及绘图软件包, CAD 开始真正进入实用性阶段。随着数控机床的发展, CAM 技术得到广泛应用, CAM 用来代替手工编程, 实现从设计到加工的数据一体化, 在航空、航天、汽车、船舶等领域, CAM 技术已成为精密、大型零件加工中所不可缺少的了。从某种意义上看, CAM 比 CAD 更能直接地产生经济效益, 因而倍受用户欢迎。在此期间, 以 CV、Intergraph、Applicon、Calma 等 17 家公司为代表形成了 CAD/ CAM 产业。

进入 80 年代, 32 位工程工作站的兴起、高档微机的实用化及网络技术的发展, 形成了分布式 CAD 工作站系统, 如 Apollo、Sun、HP 等。它打破了过去主机—终端式 CAD 系统的统治地位, 从根本上改变了 CAD 市场的格局。随着 RISC, UNIX、ETHERNET 为支柱的计算机工业的进一步发展, 应用计算机先进技术最多、最快、更新最频繁的 CAD 工作站, 其性能越来越好, 价格越来越低。它们强化的图形功能及软件的进一步集成, 使 CAD/CAM 的技术和应用都在向广度、深度和综合化方面迅速推进, 并取得了重大进展。在制造业中, CAD 日益与 CAM 密切结合, 为生产带来显著的经济效益, 正在成为 CIMS (计算机集成制造系统) 的一个重要组成部分。可以毫不夸张地说, CAD/CAM 技术已经在工业生产和设计中引起了一场革命性变革。

现在电路板和系统厂商又纷纷转向崭露头角的多媒介* 市场, 从而使工作站的软硬件环境在今后的岁月里将发生另一场重大的变革。那时, CAD/CAM 技术的应用也必将推向更高的、新的境界。

CAD/CAM 技术自诞生至今近 30 年来, 其发展方兴未艾。目前发达国家已形成了研究、开发、制造、销售及咨询的新产业。发达国家的经验表明, 采用 CAD/CAM 技术可以明显地缩短产品和工程设计的周期, 提高质量、降低成本、提高劳动生产率, 因而是加速产品更新换代的有效手段, 改造传统生产过程的必由之路。

* 所谓多媒介功能就是把文本、图形、图象、视频、语音等五种传播信息的媒介加以综合运用, 由多媒介系统对这些媒介的信号 (数据类型) 进行综合, 处理和传输。例如, 通过多媒介视频窗口系统允许用户在正常的使用计算机的同时收听广播或收看闭路电视。

第二节 什么是 CAD/ CAM

CAD 及其发展

一、什么是 CAD

CAD (计算机辅助设计) 就是操作人员通过“人—机界面”与计算机进行“人—机对话”, 充分发挥人和计算机各自的特长并将其融为一个功能整体, 用以解决工程或设计问题, 或是某一物理过程的计算机模拟。

对于不同的工程领域 CAD 的具体内容有很大的不同。例如, 电子电路主要用结点网络表示其拓扑结构, 微波电路较多的研究其数学模型及矩阵方程; 机械和建筑设计的关键在于图形技术; 控制系统则主要用计算机进行动态系统的建模、分析、设计和仿真等。因此 CAD 是计算机专业理论、计算方法、计算机软件及图形学等多方面结合的综合性技术。不能简单地将 CAD 理解为计算机绘图。CAD 技术在解决设计问题过程中的三大特征是: 问题的模型化、设计分析、设计结果的图形表示。

工程或产品设计的最佳结果的获得要经过“人—机对话”反复修改的动态过程, 该过程的核心是“数据交换”和“算法选择”。*

二、CAD 软件的发展历史

CAD 是一门实用性很强的高技术, 这门技术是在 CAD 系统中体现出来, 又是在应用中发展起来的。从 CAD 应用软件角度出发, CAD 系统按其结构已经历过三个历程, 分别对应于三

* 所谓算法是指通过对数据的处理, 以解决一定问题的方法和过程, 是对一定的数据结构 (即按一定的组织形式组织起来的一批数据) 进行操作的方法。算法包括数值运算方法, 如进行四则运算、求函数值、数值内插、矩阵运算、数值积分等操作的方法和过程, 也包括非数值运算方法, 如对一批数据进行操作、分类操作、排序操作、替换操作、合并操作、递归操作、同步操作、通讯操作的方法和过程。

代的 CAD 系统,即:单功能 CAD 系统,基于文件管理的多功能 CAD 系统和基于工程数据库技术的集成化 CAD 系统。

1.单功能 CAD 系统

工程或产品的设计往往分成若干设计阶段。如设计一台数字化的电子产品大致可分为总体设计、逻辑设计和工程设计。人们为了利用计算机作为工具,帮助设计人员进行设计工作,当然希望在不同阶段都利用计算机进行辅助设计,于是按设计的各个阶段分别提出有关 CAD 课题。以计算机的设计为例,可提出系统模拟、逻辑综合、逻辑模拟、逻辑划分、布局、布线、故障诊断与测试等课题。解决这些问题的关键是建立精确的模型和寻求有效的算法。早期,这些课题的研究工作都是独立开展的、各自建立起来能实际应用的系统,这就形成了各种独立的单功能系统。

2.基于文件管理的多功能 CAD 系统

单功能 CAD 系统虽然满足实际应用,但使用效率低。同一批设计数据需按不同的格式反复抄写,以供各单功能系统使用。因此不但增加了工作量,而且数据的出错率亦大大增加,数据的一致性和设计质量得不到保证,为了解决这一问题,把多个单功能系统连在一起,构成一个统一的 CAD 系统。最初采用的是文件管理方式,把各单功能系统按设计顺序联成一个顺序结构的系统,这实际上就是采用数据转换方式来完成。

3.基于工程数据库技术的集成化 CAD 系统

第二代 CAD 系统,虽然解决了同一批设计数据反复抄写的问题,但由于其结构是串行的,故数据的冗余量大,使用不方便,数据一致性仍难于保证,再加上应用程序的功能不全,整个系统的使用效率仍不高。为此,人们不断地努力、探索,终于找到建立集成化 CAD 系统从而提高 CAD 系统使用效率这个好办法。这是一个以工程数据库为核心,具有层次结构的系统。

三、CAD 应用软件的发展动向

目前 CAD 应用软件的主要发展动向是集成化,图视化,智

能化，并行化和标准化。

1.集成化

集成化应包含二个方面的含义：一是集成度，即要求在整个设计过程中的各个设计阶段，每一设计步骤都能有效地用上 CAD 技术，因而要求系统的功能应该是齐全和强有力的；另一个是信息流的集成，要求设计的各个阶段包括从设计数据的输入，各部分生成的数据结果直到与 CAM 的接口、生产管理等，能构成一个完整的信息流过程，只有这样的系统才能真正达到高效率、高质量、高水平、才可用来进行复杂的设计工作。

2.图视化

由于图形直观，易于为人们接受，因此 CAD 应用软件对图形的要求越来越多，也越来越高。不但要求能产生和绘制生产用的各类设计图纸，而且还要求应用软件的处理过程和结果达到可视性，不但要求图形表达具有真实感，还要求能实时动态地显示图形。

3.智能化

现有 CAD 系统所采用的解题方法，提高的潜力有限，难于有重大突破。须寻找新的方法和途径。为此，人们把人工智能技术引进 CAD 领域中，近些年来已有突破。以电子 CAD 为例，国外在电路分析、逻辑正确性验证、布局、布线、测试、诊断等方面已研制出一些基于人工智能的 CAD 系统。如麻省理工学院、斯坦福大学、东京大学、NEC 公司等单位都发表过有关文章，介绍其研制的系统，尽管这些系统还处于实验阶段，但已获得明显的应用效果。这样不但不需要再有经验的技术人员来操作，节省机时，减轻人的劳动，而且也能避免由于人机交互造成的人为错误。综上所述，把人工智能技术引进 CAD 系统，不但需要而且在不久的将来完全可以达到实用的水平。不过近期基于知识的系统并不能完全代替传统的基于算法的系统，两者各有优缺点。对于纯粹的智能 CAD 来说，一方面在决策、评价上还不

成熟，另一方面，由于过于庞大，影响处理速度。而基于算法的 CAD 比较简单，处理的费用也比较低，但处理能力和局限性较大，因此最好的办法是集两者的优点，建立基于算法和基于知识的混合 CAD 系统。

4. 并行化

并行技术可使处理速度提高几个数量级，近年来这一技术在 CAD 中的应用已有突破，但要达到广泛的应用，其关键是对各具体的应用对象研究出相应的并行算法，这样才能真正发挥并行处理的作用，达到提高几个数量级处理速度的指标。

5. 标准化

随着 CAD 和 CAM 的广泛应用，CAD 系统和 CAM 系统的品种日益增多，为了便于把 CAD 系统产生的结果传送并提供给 CAM 系统使用，或者是组合使用不同的 CAD 系统，以及共享一些资源等，都要求不同系统之间能方便地交换有关数据。为了解决这个问题，不同系统的数据格式必须遵循大家公认的数据交换标准。

CAM

CAM 是指任何在计算机控制下的自动化制造过程。它源于 40 年代末到 50 年代的数控机器的发展。50 年代后期采用了计算机控制之后，出现了计算机数控这个词。计算机数控现在指多种自动制造过程，如磨削、切削、焊接、钻孔和切割等。

计算机控制的机器人和自动化工厂的发展导致完整的制造机的出现，它将受控于中心计算机系统。

目前认为 CAM 技术主要集中在数字化控制、生产计划、机器人和工厂管理四个方面。典型的 CAM 技术包括：

1. 计算机数控制造和编程；
2. 计算机控制的机器人制造、装配；