

浙江省高等教育重点教材

CAD/CAM 技术

欧长劲 主编

浙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统地讲述了 CAD/CAM 技术的基本概念、应用方法和关键技术。主要包括 CAD/CAM 技术的概念和 CAD/CAM 系统环境, CAD/CAM 几何建模技术, CAD/CAM 装配建模技术, 计算机辅助工程分析, 数字化制造基础, 计算机辅助数控编程技术, 计算机辅助工艺过程设计, 反求工程与数字化测量, CAD/CAM 集成技术等, 最后介绍了计算机集成制造与 CAD/CAM 技术的发展。

本书可用作高等学校本科机械工程、机电工程类专业的教材, 也可用作普通高等院校或高等职业技术学院相关专业的教材。还可作为工程技术人员 CAD/CAM 培训教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

CAD/CAM 技术/欧长劲主编. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2003.6
ISBN 7-5341-2109-4

I. C... II. 欧... III. ①机械设计: 计算机辅助设计②机械制造: 计算机辅助制造 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 041190 号

书 名	CAD/CAM 技术
主 编	欧长劲
出版发行	浙江科学技术出版社
联系电话	(0571) 85152486
印 刷	淳安千岛湖环球印务有限公司
开 本	787×1092 1/16
印 张	18.25
字 数	448 000
版 次	2003 年 6 月第 1 版
印 次	2006 年 7 月第 2 次印刷
书 号	ISBN 7-5341-2109-4/TH·42
定 价	30.00 元
责任编辑	余春亚
封面设计	金 晖

前 言

CAD/CAM 技术是随着计算机和数字信息化技术发展而形成的一项高新技术,是 20 世纪最杰出的工程成就之一,也是数字化、信息化制造的基础。该项技术的迅速发展和广泛应用,给制造业从产品设计到加工制造整个生产过程带来了深刻的和根本性的变革,也带来了巨大的经济效益。它的应用水平的高低已成为衡量一个国家、一个企业技术水平的重要标志。

随着信息化进程加快和全球化市场的形成,如何提高企业对市场的快速反应能力,如何以最短的时间、最低的成本,向市场推出质量最好的产品,已成为企业之间竞争的焦点。CAD/CAM 技术是企业技术创新、开拓市场强有力的技术手段,如何深入了解和掌握 CAD/CAM 技术已成为摆在工程技术人员面前的重要任务,同样也就成为工程类专业学生的一门必修课程。同时学习和了解 CAD/CAM 的基本内容对非工程类专业学生的知识结构的完善与综合素质的培养也是十分有益的。

长期的教学实践使我们切身地体会到 CAD/CAM 技术所涉及的内容十分广泛,学科跨度很大,除了设计、制造领域中的技术外,正不断地向管理科学、信息处理技术等学科渗透;其次,CAD/CAM 技术的发展非常迅速,新的概念和技术不断涌现,内容的深度和内涵处在不断变化中;更为重要的是 CAD/CAM 是一门理论和实际应用结合得非常紧密的技术,学习该门技术如果离开了 CAD/CAM 软件应用实践的支撑,很难取得较好的效果。基于上述 3 个方面的原因,本书编写过程中着重考虑如何在有限的篇幅内,突出 CAD/CAM 最基本、最核心的技术内容,同时也应尽可能反映 CAD/CAM 技术当前研究发展的最新成果。考虑到在 CAD/CAM 课程教学中对学生应用大型 CAD/CAM 工程软件能力的培养显得极为重要,为此本教材给出的应用实例都是基于该类工程应用软件背景,目的是培养学生联系实际和实践动手的意识,以适应高等教育改革的潮流和市场经济对应用型高级人才需求的强烈要求。

本书由浙江工业大学欧长幼主编。参加本书编写的有谢列卫(第 11 章)、李兴旺(第 5 章部分章节),其余章节由欧长幼编写并统稿。

本书得到浙江省高等教育重点建设教材项目经费的资助,在此对浙江省教育厅表示衷心的感谢。同时也衷心地感谢浙江工业大学教务处、机电学院有关领导和同事们在该书出版过程中给予的关心和支持。

本书编写中参考引用了大量的文献资料,包括 Internet 网上的有关资料。在此向上述知识的拥有者一并表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中必有疏漏与欠妥之处,恳请同行与读者批评指正。

编 者
2003 年 2 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 CAD/CAM 技术的基本概念	1
1.1.1 CAD/CAM 技术的定义	1
1.1.2 CAD/CAM 集成技术	2
1.2 现代产品 CAD/CAM 过程与 CAD/CAM 的功能	3
1.2.1 现代产品的 CAD/CAM 过程	3
1.2.2 CAD/CAM 的主要功能	5
1.3 CAD/CAM 技术的发展和应	7
1.3.1 CAD/CAM 技术的产生与发展	7
1.3.2 CAD/CAM 技术的应用	8
1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势	9
习题与思考题	12
第2章 CAD/CAM 系统环境	13
2.1 CAD/CAM 硬件系统	13
2.1.1 CAD/CAM 硬件系统的组成	13
2.1.2 硬件系统配置	14
2.2 CAD/CAM 系统典型硬件设备	16
2.2.1 输入设备	16
2.2.2 输出设备	17
2.2.3 外存储设备	18
2.2.4 CAD/CAM 系统的硬件选择	19
2.3 CAD/CAM 的软件系统	19
2.3.1 CAD/CAM 软件系统分类和组成	19
2.3.2 系统软件	20
2.3.3 支撑软件	21
2.3.4 应用软件	23
2.3.5 常见主流 CAD/CAM 软件简介	23
2.3.6 CAD/CAM 软件系统选择	25
2.4 计算机网络	25
2.4.1 网络概述	25
2.4.2 网络的拓扑结构与网络协议	26
2.4.3 网络互联设备	31
2.5 Internet/Intranet 简介	32
2.5.1 Internet	33
2.5.2 Intranet	35
习题与思考题	36

第3章 CAD/CAM 几何建模技术	38
3.1 三维几何建模	38
3.1.1 三维几何建模的基本概念	38
3.1.2 线框建模	41
3.1.3 表面建模	43
3.1.4 实体建模	44
3.1.5 三维实体建模中的计算机内部表示	46
3.2 曲面造型技术	50
3.2.1 参数曲面	51
3.2.2 曲面造型方法	54
3.2.3 曲面处理	57
3.3 参数化设计技术	59
3.3.1 参数化设计的概念	60
3.3.2 参数化设计的约束	63
3.4.3 参数化设计的动态导航技术	66
3.3.4 参数化的表驱动技术	66
3.4 特征造型技术	68
3.4.1 形状特征概念	68
3.4.2 形状特征的定义及分类	69
3.4.3 特征造型的实现模式	72
3.4.4 特征造型的应用	75
3.4.5 特征管理	76
习题与思考题	78
第4章 CAD/CAM 装配建模技术	79
4.1 装配建模概述	79
4.2 装配模型	80
4.2.1 装配模型的特点与结构	80
4.2.2 装配模型的信息组成	82
4.2.3 装配树	84
4.3 装配约束技术	85
4.3.1 装配约束分析	85
4.3.2 装配约束规划	89
4.4 装配模型的管理与分析应用	90
4.4.1 装配模型的管理	90
4.4.2 装配模型的分析应用	91
4.5 装配设计的两种方法	93
4.5.1 自底向上装配设计	93
4.5.2 自顶向下的装配设计	93
4.5.3 两种装配设计方法的比较	94
4.6 装配建模技术的应用	95
4.6.1 UG-II 软件装配功能简介	95
4.6.2 基于 UG-II 的自底向上装配设计	97
4.6.3 基于 UG-II 的自顶向下装配设计	100

习题与思考题	103
第5章 数字化制造基础	104
5.1 数控技术与数控机床	104
5.1.1 数控技术的基本概念	104
5.1.2 数控机床的组成及分类	104
5.1.3 数控机床的特点	107
5.2 数控加工技术	108
5.2.1 数控加工的基本概念	108
5.2.2 数控加工工艺	113
5.2.3 数控程序指令代码	116
5.3 数控加工编程	121
5.3.1 数控加工编程概念与步骤	121
5.3.2 手工程序编制	123
5.4 CAD/CAM 集成环境下的数控加工技术	128
5.4.1 DNC 加工技术	128
5.4.2 柔性制造单元	129
5.4.3 柔性制造系统	130
5.5 快速成形制造技术	132
5.5.1 快速成形制造的概念	132
5.5.2 快速成形技术原理	133
5.5.3 快速成形的方法	133
5.5.4 快速成形中的切片方法与 STL 数据格式	135
5.5.5 快速成形制造过程	137
5.5.6 快速成形技术的特点	138
5.5.7 快速成形制造技术的应用	138
习题与思考题	139
第6章 计算机辅助数控程序编制	140
6.1 概 述	140
6.2 语言编程系统	141
6.3 CAD/CAM 集成数控编程系统	146
6.4 数控加工刀具轨迹生成	148
6.4.1 概 述	148
6.4.2 多坐标数控加工刀具轨迹的生成方法	150
6.5 刀具轨迹编辑	153
6.6 加工仿真	155
6.6.1 加工仿真的概念	155
6.6.2 刀具轨迹验证	155
6.6.3 机床仿真系统	157
6.7 后置处理	158
6.7.1 后置处理的概念	158
6.7.2 通用后置处理系统	159
6.8 数控程序的传输	160
6.8.1 串行通信	161

6.8.2 RS-232C 通信电缆连接	161
6.8.3 传输通讯软件	162
6.9 CAD/CAM 集成自动编程系统的应用	163
6.9.1 概 述	163
6.9.2 UG II/Manufacturing 系统的应用	163
习题与思考题	168
第 7 章 计算机辅助工艺过程设计	169
7.1 概 述	169
7.1.1 CAPP 技术及其发展	169
7.1.2 CAPP 系统的基本结构	170
7.2 CAPP 系统零件信息的描述及输入	172
7.2.1 零件信息的描述的内容及要求	172
7.2.2 零件信息的描述的基本方法	172
7.3 变异式 CAPP 系统	174
7.3.1 成组技术的概念	174
7.3.2 变异式 CAPP 系统的原理	179
7.4 创成式 CAPP 系统	181
7.4.1 创成式 CAPP 系统原理	181
7.4.2 创成式 CAPP 系统的工艺决策	182
7.4.3 创成式 CAPP 系统中的工序设计	185
7.5 CAPP 专家系统	188
7.5.1 CAPP 专家系统概述	188
7.5.2 CAPP 专家系统的主要技术	189
7.6 其他类型 CAPP 系统	193
7.6.1 工具型 CAPP 系统	193
7.6.2 CAPP 系统发展简介	194
习题与思考题	195
第 8 章 计算机辅助工程分析	196
8.1 概 述	196
8.2 有限元法分析原理与方法	196
8.2.1 弹性力学的基础知识	197
8.2.2 有限元的简单引例	199
8.2.3 有限元法的基本解法与步骤	204
8.2.4 有限元网格的剖分与生成方法	205
8.2.5 有限元分析的前置处理和后置处理	208
8.3 有限元分析程序的应用	211
8.3.1 UG II 有限元分析简介	211
8.3.2 UG II 有限元分析实例	214
习题与思考题	217
第 9 章 逆向工程技术	218
9.1 逆向工程概述	218
9.2 逆向工程的流程	219
9.3 三维数字化测量	221

9.3.1 三坐标测量机	221
9.3.2 三维数字化测量方法	223
9.3.3 逆向工程的数字化测量	226
9.4 CAD 模型重建技术	229
9.5 逆向工程的应用	231
习题与思考题	231
第 10 章 CAD/CAM 集成技术	233
10.1 概 述	233
10.1.1 CAD/CAM 集成的概念	233
10.1.2 CAD/CAM 集成系统	234
10.1.3 CAD/CAM 的集成方法	234
10.1.4 CAD/CAM 集成的关键技术	237
10.2 产品数据交换技术	238
10.2.1 产品数据交换技术的发展	238
10.2.2 IGES 标准	238
10.2.3 其他的图形信息交换标准	240
10.2.4 STEP 标准	241
10.3 产品数据建模	246
10.3.1 产品定义数据模型	246
10.3.2 基于特征的集成化产品数据模型	247
10.4 基于产品数据管理的 CAD/CAM 系统集成	249
10.4.1 产品数据管理的概念	249
10.4.2 产品数据管理系统的主要功能	250
10.4.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成	254
习题与思考题	255
第 11 章 计算机集成制造与 CAD/CAM 技术的发展	256
11.1 计算机集成制造	256
11.1.1 CIMS 的概念	256
11.1.2 管理信息系统	258
11.1.3 制造自动化系统	264
11.1.4 质量保证系统	267
11.2 并行工程	270
11.2.1 并行工程的概念	270
11.2.2 并行工程的特点	272
11.2.3 并行工程的关键技术	273
11.3 敏捷制造	273
11.3.1 敏捷制造的概念	273
11.3.2 动态联盟	274
11.3.3 动态联盟的远程协同设计系统	275
习题与思考题	278
主要参考文献	279

第1章 绪 论

随着市场经济的发展,用户对各类产品的质量、产品的更新换代的速度和产品从设计、制造到投放市场的周期等要求越来越高,竞争空前激烈。为适应这样一种高效率、高技术竞争的时代,各类企业均在采用一系列先进的技术来提高企业市场中的竞争力,其中应用计算机技术是最引人注目的趋势之一。计算机技术与设计、制造技术相互结合与渗透,产生了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)这样一门综合性的应用技术,它具有高智力、知识密集、综合性强、效益高等特点,是当前世界上科技领域的发展前沿之一。

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

1.1.1 CAD/CAM 技术的定义

产品从市场需求分析开始,需经过设计过程和制造过程,使之从抽象的概念变成具体的最终产品,如图 1.1 所示。这一过程具体包括产品设计、工艺设计、数控编程、加工、检测、装配等阶段。

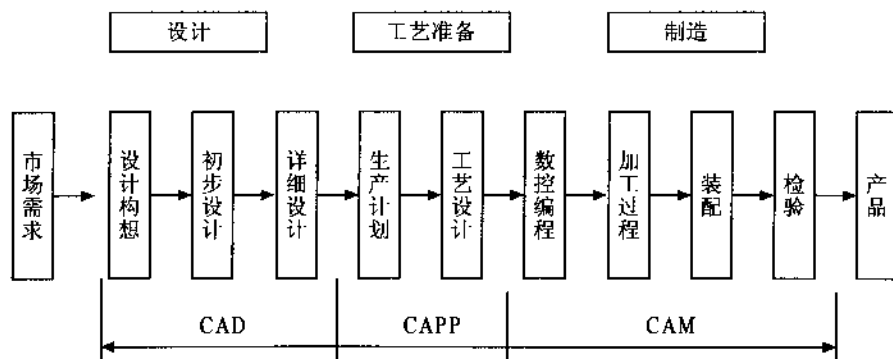


图 1.1 CAD/CAM 定义范畴

计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design & Computer Aided Manufacturing)简称 CAD/CAM,是指以计算机作为主要技术手段,帮助人们处理各种信息,进行产品的设计与制造。它能够将传统的设计与制造彼此相对独立的工作作为一个整体来考虑,实现信息处理的高度一体化。CAD/CAM 的定义范畴见图 1.1。

由图 1.1 可知,CAD 概念涉及设计构思、初步设计、详细设计;CAPP 的概念涉及生产计划、工艺设计;CAM 概念涉及加工数据生成、加工过程、装配和检验等。

CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 是指工程技术人员以计算机为工具, 用各自的专业知识, 对产品进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。一般认为 CAD 的功能包括草图设计、零件设计、装配设计、工程分析、自动绘图、真实感显示及渲染等。

CAPP (计算机辅助工艺设计, Computer Aided Process Planning) 是指工程技术人员以计算机为工具, 根据产品设计所给出的信息进行产品的加工方法和制造过程的设计。一般认为, CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工艺路线制定、工序设计和工时定额计算等。其中, 工序设计又可包含装夹设备选择或设计、加工余量分配、切削用量选择以及机床、刀具和夹具的选择、必要的工序图生成等。

CAM (计算机辅助制造, Computer Aided Manufacturing) 目前尚无统一的定义, 一般而言, 是指计算机在产品制造过程有关应用的总称。CAM 有广义和狭义之分。

狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制, 包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成等。

广义 CAM 一般是指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的活动, 可分为 CAM 直接应用和间接应用 (也称为在线和离线应用)。CAM 的直接应用主要包括计算机对制造过程的计算机监视与计算机控制。CAM 的间接应用包括计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、计算机辅助物料需求计划编制、工时定额和材料定额编制、计算机辅助质量控制等。

1.1.2 CAD/CAM 集成技术

在实际生产中设计和制造是密切相关的, 制造阶段中所需的信息和数据许多来自设计阶段, 因此对制造和设计来说这些数据和信息应该是共享的。但是, CAD 和 CAM 两项技术虽然差不多是同时诞生的, 但在相当长的时间里却是按照各自轨迹独立地发展起来的。在它们的形成和发展过程中, 针对不同的应用领域、用户需求和技术环境, 表现出不同的发展水平和构造模式。在数据结构、软件组织结构、数据标准方面存在很大差异, 各系统之间很难自动完成数据交换, 往往由 CAD 生成的设计信息需要手工转录到 CAPP, CAM 系统中, 不但效率低下, 而且难免发生错误, 严重阻碍了 CAD, CAPP, CAM 效益的发挥。

为此, 自 20 世纪 70 年代后期, 业界就开始研究 CAD, CAPP 和 CAM 之间的信息和数据的传递、转换与共享技术, 将 CAD, CAPP, CAM 集成起来, 形成一体化的 CAD/CAM 集成系统, 这就是 CAD/CAM 集成技术。目前, 这一技术, 在国内外均已取得了很大的进展, 达到了实用的水平。20 世纪 80 年代起, 出现了一大批工程化的 CAD/CAM 集成软件系统, 其中较著名的有 CATIA, UG-II, I-DEAS, Pro/E 等, 它们在机械、航空航天、造船等领域得到广泛的应用。进入 20 世纪 90 年代以来, CAD/CAM 系统的集成度不断增加, 特征造型技术的成熟应用, 为从根本上解决由 CAD 到 CAM 的数据流无缝传递奠定了基础, 使 CAD/CAM 达到了真正意义上的集成, 使得 CAD/CAM 系统能够发挥出最高的效益。

CAD/CAM 集成化系统的总体结构如图 1.2 所示, 所有的 CAD/CAM 功能都与一个公共数据库相连, 应用程序使用储存在公共数据库里的信息, 实现产品设计、工艺规程编制、生产过程控制、质量控制、生产管理等产品生产全过程的信息集成。

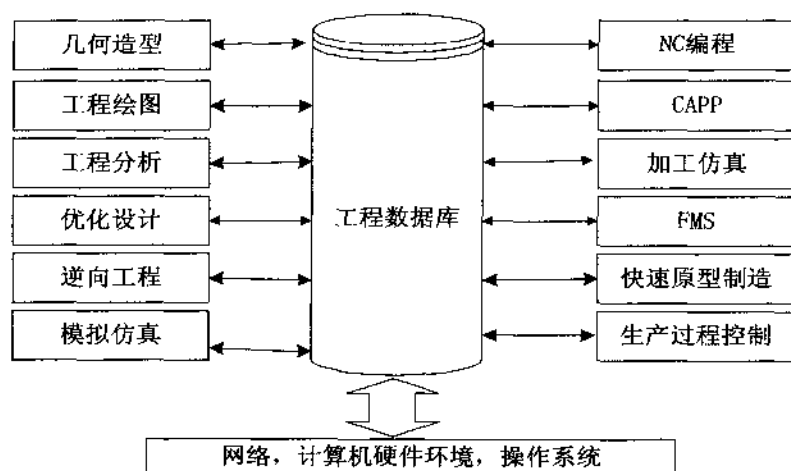


图 1.2 CAD/CAM 集成系统的总体结构

1.2 现代产品 CAD/CAM 过程与 CAD/CAM 的功能

1.2.1 现代产品的 CAD/CAM 过程

从计算机科学的视角而言，设计与制造的过程是一个关于产品信息的产生、处理、交换和管理的过程。人们利用计算机作为主要技术手段，对产品从构思到投放市场的整个过程中的信息进行分析处理，生成和运用各种数字信息和图形信息，进行产品的设计和制造。CAD/CAM 技术不仅是传统设计、制造流程和方法的简单映像，CAD/CAM 技术的应用，使得产品的设计制造模式发生了变化，形成了现代产品 CAD/CAM 模式，该模式如图 1.3 所示。

1. 创意。

需求分析，并进行概念、功能设计。

2. 构思、草绘。

进行总体方案设计、原理设计和工业设计。方案设计和原理设计在条件具备时可以由方案设计专家系统辅助完成，工业设计在 2D 和 3D 工业设计软件的辅助下，结合人工的创造性工作完成产品外观造型。

3. 数字化测量与逆向工程。

用三维数字化测量的方法对产品样件或创作的实物原型进行测量，获得计算机数据，以便进行后续各种分析、设计和计算。三维数字化测量目前主要在坐标测量设备上完成，典型的坐标测量设备有接触式三坐标测量仪、接触式多自由度测量臂、激光测量仪等，这些测量设备上同时配备功能强大的测量软件系统，可完成各类测量任务。

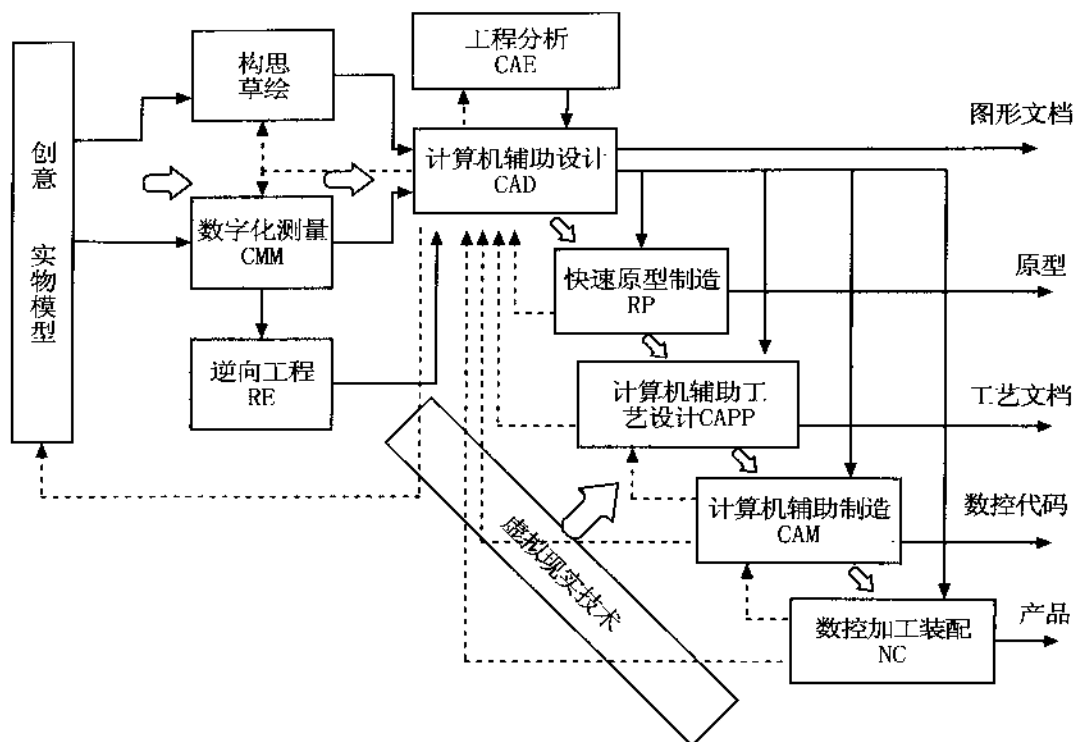


图 1.3 现代产品的 CAD/CAM 模式

逆向工程也称为反求工程，是指设计和制造者面对的只有实物样件，而没有图纸或 CAD 模型数据的情况下，通过对已有实物的数字化测量和工程分析，得到重新制造产品所需的几何模型、物理和材料特性数据，从而复制出已有产品的过程。这种从实物样件获取产品数字模型技术，已发展成为 CAD/CAM 技术中相对独立的重要技术。

4. 计算机辅助设计与工程分析。

应用 CAD 技术开展详细设计、分析与计算，包括装配设计、零件造型设计、工程计算与有限元分析等，这是现代产品开发模式中最有代表性的活动。

5. 快速成形制造。

在传统的产品设计制造中，产品只能在接近完成时才能成为看得见摸得着的产品，而快速成形制造（也称快速原型制造）应用数字化制造原理提供了一种廉价和快速产生接近于真实的产品的方法。在快速成形原型制造中，人们利用快速成型设备，以非切削加工的办法，直接根据计算机设计的产品数据，快速而廉价地生成和实际设计的产品形状、尺寸一致的产品模型，供人们分析和评价，借此发现设计问题和进行多个设计方案比较。

6. 计算机辅助工艺设计。

应用计算机取代工艺人员设计并编写产品的加工和装配工艺，这样，编制的工艺更合理，工艺文件更规范，提高了质量和效率。

7. 计算机辅助制造。

产品的制造手段和传统加工方法的重要区别，是大量采用数控机床进行零件的加工。数控