

# 机 械

# 第 1 章 概 述

电子计算机是现代科学技术发展的重大成就之一，现已普及应用到各个领域。以电子计算机为主要技术手段，将大大减轻科技人员的脑力劳动和体力劳动，甚至能够完成人力所不及的工作，从而促进科学技术和生产的发展。在机械制造领域中，随着市场经济的发展，用户对各类产品的质量，产品更新换代的速度以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求。在当今高效益、高效率、高技术竞争的时代，要适应瞬息万变的市场要求，提高产品质量，缩短生产周期，就必须采用先进的制造技术。计算机技术与机械制造技术相互结合与渗透，产生了计算机辅助设计与辅助制造（Computer Aided Design and Manufacturing）这样一门综合性的应用技术，简称 CAD/CAM。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前沿课题。CAD/CAM 技术的发展，不仅改变了人们设计、制造各种产品的常规的方式，有利于发挥设计人员的创造性，还将提高企业的管理水平和市场竞争能力。

## 1.1 CAD/CAM 的基本概念

### 1.1.1 CAD/CAM 的含义

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的高效化、高精度化的目的，实现自动化设计、生产的方法称为 CAD（Computer Aided Design，计算机辅助设计）和 CAM（Computer Aided Manufacturing，计算机辅助制造）。CAD/CAM 系统以计算机硬件、软件为支持环境，通过各个功能模块（分系统）实现对产品的描述、计算、分析、优化、绘图、工艺规程设计、仿真以及 NC 加工。而广义的 CAD/CAM 集成系统还包括生产规划、管理、质量控制等方面。

将 CAD, CAM 合起来写成 CAD/CAM，这并不是将二者简单组合在一起，而是表示它们的有机结合，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 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。

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，首先要利用计算机检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。

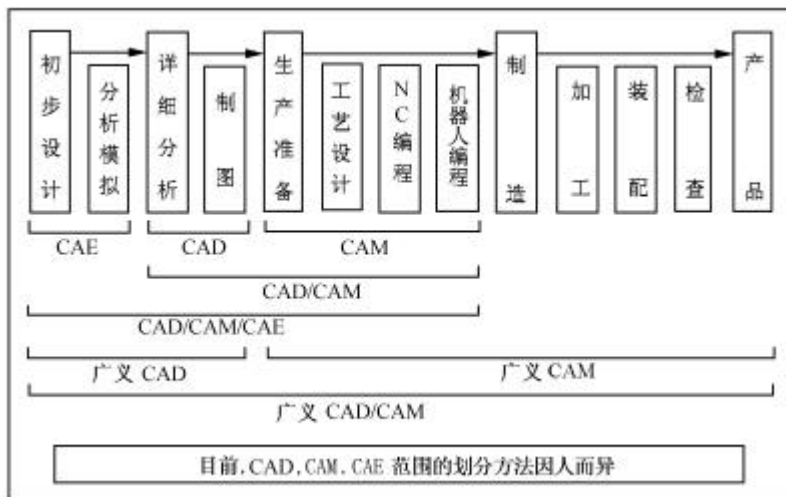


图 1.1 生产成型产品的过程与 CAD, CAM, CAE 的范围

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数学模型的“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，将设计结果可以存储在数据库中。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。

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造型技术。

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，辅助经验很少的操作者进行工艺设计。

生产准备的第二项是零件加工的准备工作的。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的加工工作中，加工准备主要是指 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的。近来，很多装配工作由机器人来完成。在此情况下，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 的范围划分方法也是发展的。在本书中 CAM 指的是工艺设计、NC 编程、机器人编程等生产准备过程。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，人类将从重复、烦琐的作业中解放出来，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，在工厂里制造出最满意的产品的梦想就会实现了。

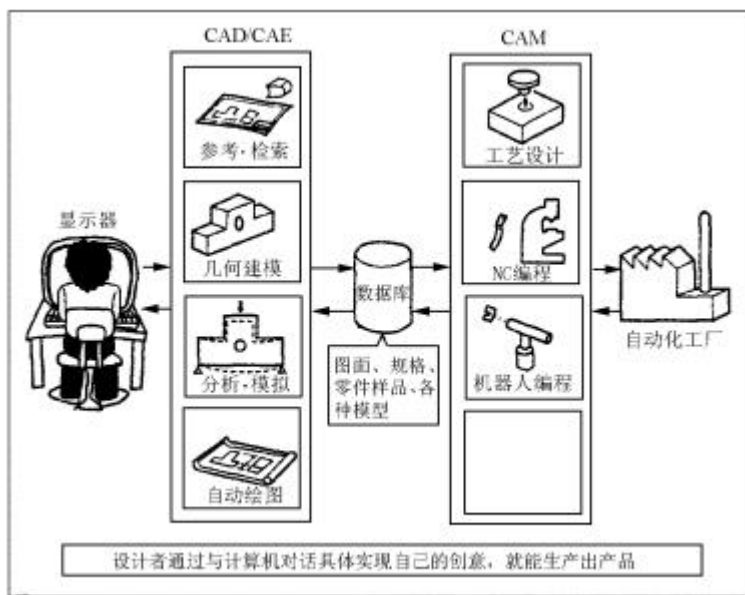


图 1.2 CAD/CAM/CAE

## 1.2 CAD/CAM 系统的功能与任务

由于 CAD/CAM 系统所处理的对象不同，对硬件的配置、选型不同，所选择的支撑软件不同，因此，对系统功能的要求也会有所不同，系统总体与外界进行信息传递与交换的基本功能是靠硬件提供的，而系统所能解决的具体问题是由软件保证的。

### 1.2.1 CAD/CAM 系统的基本功能

#### (1) 图形显示功能

CAD/CAM 是一个人机交互的过程，从产品的造型、构思、方案的确定，结构分析到加工过程的仿真，系统随时保证用户能够观察、修改中间结果，实时编辑处理。用户的每一次操作，都能从显示器上及时得到反馈，直到取得最佳的设计结果。图形显示功能不仅能够对二维平面图形进行显示控制，还应当包含三维实体的处理。

#### (2) 输入输出功能

在 CAD/CAM 系统运行中，用户需不断地将有关设计的要求、各步骤的具体数据等输入计算机内，通过计算机的处理，能够输出系统处理的结果，且输入输出的信息既可以是数值的，也可以是非数值的（例如图形数据、文本、字符等）。

#### (3) 存储功能

由于 CAD/CAM 系统运行时，数据量很大，往往有很多算法生成大量的中间数据，尤其是对图形的操作以及交互式的设计、结构分析中网格划分等。另外，工程数据库系统的运行也必须有存储空间的保障。为了保证系统能够正常的运行，CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备，支持数据在各模块运行时的正确流通。

#### (4) 交互功能（即人机接口）

在 CAD/CAM 系统中，人机接口是用户与系统连接的桥梁。友好的用户界面，是保证用户直接而有效地完成复杂设计任务的必要条件，除软件中界面设计外，还必须有完善的交互设备实现人与计算机之间的不断通信。

### 1.2.2 CAD/CAM 系统的主要任务

CAD/CAM 系统需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理，包括设计、制造中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库的管理、工艺设计、加工仿真等各个方面。

#### (1) 几何造型

在产品构思阶段，系统能够描述基本几何实体及实体间的关系；能够提供基本体素，以便为用户提供所设计产品的几何形状和大小，进行零件的结构设计以及零部件的装配；系统还应能够动态地显示三维图形，解决三维几何建模中复杂的空间布局问题；同时，还能进行消隐、彩色浓淡处理等。利用几何建模的功能，用户不仅能构造各种产品的几何模型，还能够随时观察、修改模型或检验零部件装配的结果。几何建模技术是 CAD/CAM 系统的核心，它为产品的设计、制造提供基本数据，同时，也为其他模块提供原始的信息，例如，几何建模所定义的几何模型的信息可供有限元分析、绘图、仿真、加工等模块调用。在几何建模模块内，不仅能构造规则形状的产品模型，对于复杂表面的造型，系统可采用曲面造型或雕塑

曲面造型的方法，根据给定的离散数据或有关具体工程问题的边界条件来定义、生成、控制和处理过渡曲面或用扫描的方法得到扫视体、建立曲面的模型。例如：汽车车身、飞机机翼、船舶等设计制造，均采用此种方法。

### (2) 计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后，能够根据产品几何形状，计算出相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性和物理特性，为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。另一方面，CAD/CAM 中的结构分析需进行应力、温度、位移等计算；图形处理中变换矩阵的运算；体素之间的交、并、差计算等；在工艺规程设计中有工艺参数的计算。因此，要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法正确、全面，数据计算量大，有较高的计算精度。

### (3) 工程绘图

产品设计的结果目前往往是以机械图纸的形式来表达和交流的，CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能；另一方面，还需有处理二维图形的能力，包括基本图元的生成、标注尺寸、图形的编辑（比例变换、平移、图形拷贝、图形删除等）以及显示控制、附加技术条件等功能，保证生成符合生产实际要求，也符合国家标准的机械图纸。

### (4) 结构分析

CAD/CAM 系统中结构分析常用的方法是有限元法，这是一种数值近似解方法，用来解决结构形状比较复杂零件的静态、动态特性；强度、振动、热变形、磁场、温度场强度、应力分布状态等计算分析。在进行静、动态特性分析计算之前，系统根据产品结构特点，划分网格，标出单元号、节点号，并将划分的结果显示在屏幕上；进行分析计算之后，将计算结果以图形、文件的形式输出，例如应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等，使用户能够更方便、直观地看到分析的结果。

### (5) 优化设计

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能，也就是在某些条件的限制下，使产品或工程设计中的预定指标达到最优。优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要的组成部分。

### (6) 计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)

设计的目的是为了加工制造，而工艺设计是为产品的加工制造提供指导性的文件。因此，CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应当根据建模后生成的产品信息及制造要求，自动决策出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际所用，生成工艺卡片文件，另一方面能直接输出一些信息，为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别，直接转换为刀位文件。

### (7) NC 自动编程

在分析零件图和制订出零件的数控加工方案之后，采用专门的数控加工语言（例如 APT 语言），制成加工控带输入计算机。其基本步骤通常包括：

- ① 手工编程或计算机辅助编程，生成源程序。
- ② 前处理将源程序翻译成可执行的计算机指令，经计算，求出刀位文件。
- ③ 后处理将刀位文件转换成零件的数控加工程序，最后输出数控加工纸带、磁带或磁盘数据。

### (8) 模拟仿真

在 CAD/CAM 系统内部，建立一个工程设计的系统模型，例如机构、机械手、机器人等。通过运行仿真软件，代替、模拟真实系统的运行，用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性。如数控加工仿真系统，可以从软件上实现零件试切的加工模拟，避免了现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险，减少了制造费用，缩短了产品设计周期。通常有加工轨迹仿真，机构运动学模拟，机器人仿真，工件、刀具、机床的碰撞和干涉检验等。

### (9) 工程数据管理

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多，既有几何图形数据，又有属性语义数据；既有产品定义数据，又有生产控制数据；既有静态标准数据，又有动态过程数据，结构还相当复杂，因此，CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段，支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。通常，CAD/CAM 系统采用工程数据库系统作为统一的数据环境，实现各种工程数据的管理。

## 1.3 CAD/CAM/CAE 的历史及其发展

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。

### 1.3.1 计算机的历史

归纳计算机的发展史可以用图 1.3 表示。

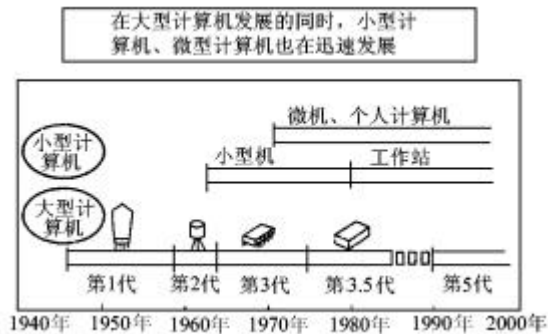


图 1.3 计算机的发展

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 0.3s，计算 23 位的乘法需要 0.6s。

1946 年美国陆军开发的 ENIAC 型计算机用电子管代替了机械部分，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 1/40s。到 20 世纪 50 年代中期进行的计算仅需要 1/2000s。

20 世纪 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 1/100000s。

20 世纪 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的计算。现在，采用大规模的集成电路（VLSI）的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（或称主机）的发展历史。与此同时，以小型机为目标的计算机的发展也令人瞩目。

20世纪60年代中期称为Minicomputer的小型机开发成功。以往的大型计算机需占一个房间，与此相比，这种紧凑型计算机只需占用房间的一角。这种计算机可以由少数人使用，操作方便。到了20世纪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，现已得到普及应用。

进入20世纪80年代，计算机工作站诞生了。这种计算机通常与其他计算机联成网络，使其有机地结合起来，发挥更大的作用。

### 1.3.2 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。

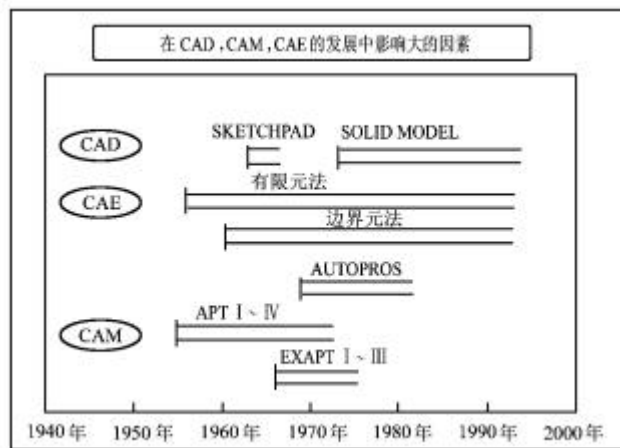


图 1.4 CAD/CAM/CAE 的发展史

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NC机床能够自动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难以避免出现错误。因此，在MIT还进行了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。

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后逐步发展并在此基础上开发出EXAPT-I、EXAPT-II和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年挪威成功地开发出最早真正意义上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/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。

### 1.3.3 CAD 的历史

20 世纪 50 年代末期 APT 技术得到了发展。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命名为素描板 (SKETCHPAD)，并予以发表。在这种系统中用光笔指向显示屏上指定点，并给出简单的指令就能方便地画出直线、圆、圆弧等图形。将这些计算机的图形信息存储起来，可作为绘图数据用于其他场合。从以对话方式在计算机上进行图形处理这一点来看，此项研究结果实现了 CAD 概念的第一步。CAD 最初在电气工业中得到了成功的应用。60 年代末期，电气电路变得十分复杂，利用计算机的图形处理功能使电路设计效率大大提高。CAD 在电气工业中应用成功后，又以相同的方法在许多工业领域中得到应用。例如，工业化农场的管路设计，土木建筑业的桥梁、高速公路等的配置设计，城市规划中的水管、电线、电话线、煤气管的配置设计等等都是应用 CAD 的实例。

继 CAD 开发成功之后，在机械、建筑、土木等许多领域内自然地提出了向三维 CAD 发展的设想。如果能够将三维立体图形像实物一样真实地存储在计算机中，那么在计算机内就能够进行设计了。1973 年，在布达佩斯召开的国际会议上，两个研究小组分别提出了三维立体图形存入计算机的方法。在计算机中，表示三维物体的数据的集合称为实体模型。布达佩斯会议之后，关于实体模型的研究不断发展，目前，三维 CAD 已经达到了实用化程度。

### 1.3.4 CAD/CAM 的发展及相关概念和新技术的发展

随着计算机技术的飞速发展以及各种现代加工理论和方法的应用，带动了各种 CAD/CAM 软件的研制和开发，CAD/CAM 现在已有了很大的发展。

#### 1. CAE 的发展

在设计中，利用计算机进行必要的分析几乎从计算机一诞生就开始了。

此后，作为 CAD/CAM/CAE 的组成部分并发挥重要作用的有限元法于 20 世纪 50 年代后期诞生了。20 世纪 50 年代，飞机逐渐由螺旋桨式向喷气式转变。为了确定高速飞行的喷气式飞机的机翼结构，必须对其动态特性进行高精度分析计算，而以往的计算手段满足不了要求。1956 年，美国波音飞机公司的科技工作者开发了划时代的计算方法，即有限元法。后来，有限元法不断发展，现在不仅用于结构分析计算，而且还用于传热、流体、电磁场等许多方面的分析计算中。

作为利用计算机进行分析计算的方法，后来又开发了边界元法、模态分析法等新的计算方法。

所有这些新的计算方法都离不开对计算机的广泛应用，但是到目前为止，这些计算方法大多数还是单独使用，与 CAD、CAM 相结合的研究还很少。不过，人们认识到了 CAD 过于侧重于计算机辅助图形处理，因而提出了 CAD/CAM/CAE 的概念。随着计算方法的发展，CAE 的实用化也在不断进步，现在 CAD/CAM/CAE 已有长足进步。

## 2. CAD, CAM, CAE 集成

最初 CAD, CAM 和 CAE 几乎是独立发展, 在实际生产现场中 CAD, CAM 和 CAE 也是互不相关的。因此, 即使 CAD 设计的产品集合形状数据存储于计算机中, 为了进行 CAM 也要对相同的工件进行数据计算, 因而造成了浪费。由于这种浪费, 使人们认识到了将 CAD, CAM, CAE 进行集成的重要性。但是, 当时还缺乏实现这种集成化的关键技术。实体模型技术出现后, 作为这种集成化的关键技术得到了普遍重视。因为一旦建立起实体模型, 就能够一次为基础统一地进行模拟分析计算和生产准备等一系列工作。现在, 以实体模型为核心的 CAD, CAM, CAE 的集成化不断进步, 极大地促进了设计和生产向自动化和高效化方向的发展。

## 3. 并行工程

并行工程 (Concurrent Engineering) 又称同步工程或并行设计, 是一种系统工程的方法与哲理。并行工程是一种系统的集成方法, 它采用并行的方法处理产品设计及其相关的过程, 包括制造过程和支持工程。这种方法可以使产品开发人员从一开始就能考虑到产品从概念设计到消亡的整个生命期里的所有因素, 包括质量、成本、作业调度及用户需求。并行工程是对产品设计及相关过程并行的一体化设计。

它以 CIMS 的信息为基础, 打破仅从产品功能出发, 由少数工程设计人员设计产品的旧格局, 形成以人际关系为基础、协同工作、合作开发产品的新格局。并利用各种 DFX (面向某一领域的设计, 如 DFM: 可制造性设计; DFA: 可装配性设计; DFR: 可靠性设计; DFE: 可继承性设计等) 工具为手段, 使产品开发的早期阶段能及早考虑下游的各种因素, 达到缩短产品开发周期、提高产品质量、降低产品成本的目标。

## 4. 敏捷制造

敏捷制造 (Agile Manufacturing) 是美国为恢复其世界制造业的领导地位, 于 1991 年提出的一种生产方法。它利用人工智能和信息技术, 通过多方面的协作, 改变企业沿用复杂的多层递阶结构以及传统的大批量生产。其实质是在先进的柔性制造技术的基础上, 通过企业内部的多功能项目组和企业外部的多功能项目组, 组建虚拟公司。这是一种多变的动态组织结构, 可把全球范围内各种资源, 包括人的资源集成在一起, 实现技术、管理和人的集成, 从而能在整个产品生命周期内满足用户需求, 提高企业的竞争能力。

## 思考与练习

1. CAD/CAM 的含义是什么?
2. 简要概括 CAD, CAM 的范围。
3. CAD/CAM 系统有哪些主要功能?
4. CAD/CAM 系统的主要任务是什么?
5. 简述 CAD/CAM 的发展历史。
6. 当今 CAD/CAM 技术有哪些新的发展?
7. 简述采用 CAD/CAM 技术的优越性。

# 第 2 章 CAD/CAM 的系统结构、工作环境和作业流程

## 2.1 CAD/CAM 系统结构方案

### 2.1.1 概述

各种级别的 CAD 系统，它们的组合形式有：

- 基础系统；
- 一般的和特殊的应用软件；
- 开放式系统；
- 分布式系统。

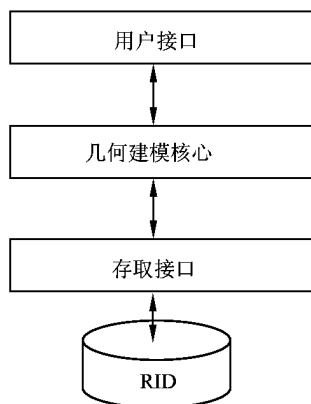


图 2.1 CAD 基础系统

一个 CAD 基础系统由一个产品模型的计算机内部描述（Rechner Interne Darstellung，简称 RID），一个具有管理和加工这种计算机内部描述功能的建模核心以及一个用于 RID 直观化和与用户集成的用户接口组成，如图 2.1 所示。

计算机内部描述的类型对由此构造的 CAD 系统的功效性有很大的影响。

在参数化建模时每一个对象都是相对于一个已经确定的对象定义的，同时一个产品外形设计由几何元素以及由元素之间的几何关系组成。此外可以用参数定义几何元素并同样建立相互关系，系统也可以在结构改变时在考虑基本条件（平行性、垂直性或中心性）下重新计算和描述元素的位置和尺寸，因此例如可以生成尺寸和模型之间的关联，由尺寸的改变可以引起构件几何形状自动改变，通过构件和图样之间的双向连接可以实现设计的更改。

把几何基本元素归并成设计元素称为形状特征，通过管理形状特征给模型处理带来优点，因为构件和部件变成了可直接操作的物体，由此可缩短实现输入的时间。此外通过管理设计元素可以达到模型的高度一致性并因此达到高质量的设计。

CAD/CAM 的目的是缩短设计和生产周期并因此提高生产率，这只能通过有效的 CAD/CAM 信息管理才可以达到，这里最重要的是一个建模系统大量数据的收集和要达到所需的数据存取速度。

这种观点以及对于一个现代建模系统所需工作信息和相互关系的多种情况需要采用一个用于数据保持的数据库系统。数据库系统通常用来存储用于办公室通信、企业管理和行政

这种观点以及对于一个现代建模系统所需工作信息和相互关系的多种情况需要采用一个用于数据保持的数据库系统。数据库系统通常用来存储用于办公室通信、企业管理和行政

管理方面的数据，同时带来加工与产品造型有关的数据和数据类型以及存储它们的问题，例如作出矩阵、矢量或双重精确的数量以及掌握技术产物的模型数据结构的多样性、复杂性和大量数据等经常是困难的，然而与流行的文件编目存储系统相比，数据库系统具有五个重要的优点。

- (1) 简化应用开发；
- (2) 良好的保持和扩展应用可能性；
- (3) 数据的完整性；
- (4) 数据可靠和再转换的可能性；
- (5) 存取的控制和安全性。

在设计建模系统时人们趋向于用分布式数据库替代集中式数据库。在建模系统数据保持时一方面要努力做到在一个模型中存入所有与几何有关的数据，另一方面由于设计系统中工艺的和管理的数据的增加需要在分离的数据库中存入这些数据。然而为了取得相关联数据间的关系并在变化时维持一个产品模型的数据的一致性，其前提条件是要有一个较高的数据和模型管理费用。如果把与产品有关的或与几何有关的数据和与对象无关的数据分隔开，这种一致性问题则可以降至最低限度。许多工艺和管理的数据是与对象无关的并可以在分离的数据库中管理。这里主要涉及的是设计过程所需的信息，而不是几何或产品模型所需的部分。

用户在模型上的存取经由一个动态的数据库实现。用于处理的模型由静态数据库调入，这样一方面允许快速地存取和处理模型数据，另一方面对于每一个用户来说，仅在一个动态的数据库上工作，从而避免了不希望在一个模型上的同时操作。

### 2.1.2 应用模块与建模核心的集成

许多企业不仅需要用于几何元素的建模器，而且也需要把应用模块集成进他们的产品开发过程和需要计算机内部描绘其过程，计算模块和仿真软件也归于此类，于是这样一类的应用模块必须与建模器集成为一个功能单元，如图 2.2 所示。

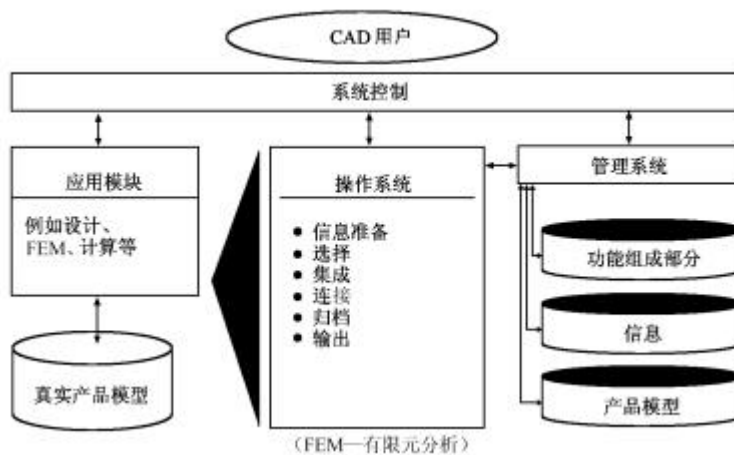


图 2.2 具有应用模块的建模器

这些应用模块按其使用领域可以区分成一般模块和特殊模块。用于宽广问题范围的一般应用模块，如 FEM 模块或接口相对于确定宽广的程序系统由涉及的 CAD 系统供应商或由补充系统供应商提供。适应特殊的扩展则大多数情况下由使用者本身或以委托任务方式制定。

在这里特别需要一个结构上细致的、功能上齐全的应用编程接口 API (Application Programming Interface)。

只有在应用模块利用一个由多个基础系统提供的接口时才可以达到一种对于所用基础系统的进一步的不依赖性。如果不能给出这个接口, 那么转换到一个另外的基础系统上是很耗费用的, 甚至有时重新实现应用模块是对成本有利的。

特殊的应用模块经常是需要的, 它们可以有效地被集成进 CAD 系统, 如许多汽车制造商, 如 Ford, General Motors, Nissan, VW, Audi 和 Skoda, 除去它们的标准 CAD 系统之外, 还投入使用了一个特殊的表面模型建模器, 以使用它可以进行自由成型表面的简单设计。

CAD 系统的特色在于它对得到应用的过程链的影响, 这也包括同另外软件包的连接, 因为可支配的 CAD 系统具有不同的特征。因此在选择一个 CAD 系统之前应当要具备现有过程链精确的知识, 以便保证 CAD 系统优化并适应给定的过程链。

CAD 基准模型为计算机辅助产品开发工作提供了一个应用中性的组织和技术方案, 这个方案被移植成一种基准结构, 它可以用于作为发展面向未来的新一代开放式的、模块化的、柔性的和可适配的 CAD 系统的基础。

### 2.1.3 分布式系统结构

大多数设计的规模和时间的边界条件要求多个设计人员的合作, 分布式 CAD 系统的引入显著简化了这种合作。这里多名设计人员可以在一个计算机网络上处理相同的计算机内部描述 (RID), 不需要在不同的计算机上人工地复制 RID, 不需要在那里处理, 也不需要随后人工地集成更改。这些管理都由 CAD 系统承担, 对用户来说这些任务被省略了。在开始这样一类工作之前必须要确定每位设计人员的空间大小, 以避免交叉。

这样的分布式 CAD 系统采用一个公共的数据库。通过一种客户机服务器体系结构把各个 CAD 场所开放式地连接在一起, 如图 2.3 所示, 大多数情况下使用一种与 CAD 系统组合的工程数据管理系统 (EDMS)。

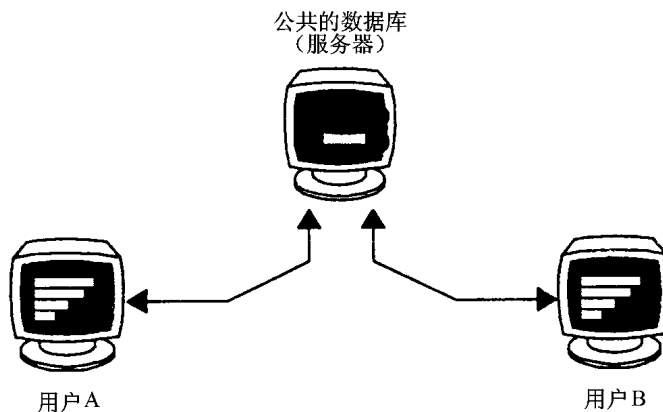


图 2.3 用带有客户机/服务器体系结构公用数据库的分布式 CAD 系统

这项技术在局域网 LAN (Local Area Networks) 中得到广泛应用, 但在更换成广域网 WAN (Wide Area Networks) 时会出现新的问题:

1. 在 WAN 中可供使用的带宽显著地小于在 LAN 中的带宽, 而这对于现有的分布式系统来说显得太小了。

2. 必须无条件地保证数据的可靠性，这里应当注意六种观点：

- (1) 存取控制 (access control)：只有授权的人才能调用加密的数据。
- (2) 加密性 (confidentiality)：避免窃取传输的数据。
- (3) 完整性 (integrity)：数据可以在传输期间不被改变。
- (4) 鉴别 (authentication)：传输数据的来源可以可靠地被鉴别。
- (5) 不否认 (no repudiation)：数据的发送可以不被否认。
- (6) 可供使用性 (availability)：授权的用户必须可以随时使用数据。

全新地实现分布式系统强烈地求助于用于交换对象的软件结构。这里不仅要交换数据，而且要交换按对象简图处理这些数据的方法，特别值得提及的是下面列举的三种结构。

- (1) 公共对象请求代理结构 (CORBA)。
- (2) 分布式公共对象模型 (DCOM/COM)。
- (3) Java 远程调用和对象串联。

#### 2.1.4 开放式系统结构

开放式 CAD 系统通过一个范围广泛的应用接口 (API) 提供了扩展应用方面基本功能的可能性。它的特点在于可以简单地利用模型数据和 CAD 系统在外程序方面的功能。

模型的计算机内部描述和核心建模器之间存在着直接的关系，产品的描绘在计算机内部通过数据和算法描述，它可以用数据实现信息技术方面的工作。这意味着，产品信息总是由数据和对于这些数据的执行规则组成，当在一个模型中有相同信息内容时，在极端情况下会导致在简单造型和快速的处理算法时一个模型有大量和复杂的数据组，或者在小数据组时导致很复杂的算法。因此对于一个均衡的系统结构来说，多数情况下必须寻求一个符合目的算法强度和数据组数量间的比例关系。同时计算机内部描述类型的选择也确定一个建模器的功能性，因为尚不存在这样的计算机内部描述，在其上可以实现所有的建模功能，例如，在一个线框模型中就不能够确定，一个点是在物体内部还是在物体外部。

通过基于一种标准格式的执行，可以避免在更换模型格式时出现转换错误和避免为消除引起转换错误所联系的时间消耗以及避免不同程序的计算机内部模型间的冗余。计算机内部描述的数据格式不仅应当允许集成的应用共同使用存储的信息，并且也允许打包应用专用的数据，例如关于可能的供应商，供应时间以及成本方面的数据。

应用接口可以划分成四个范围：

- (1) 建模接口；
- (2) 数据管理接口；
- (3) 数据格式接口；
- (4) 直观可视化接口。

建模接口用于处理模型组件，特别是用于处理几何元素。建模接口分成具有下列任务的子范围：

- (1) 建模器的核心功能含有有限量子程序，这些子程序表达了大多数实体建模系统的部分特性；
- (2) 属性和相邻关系，主要从事生成、操作和查询这些数据的子程序；
- (3) 部件功能和 CSG，这里含有用于生成和查询部件的程序；
- (4) 含有一系列一般通用的几何程序的几何功能，它们是不与特殊几何形式相联系的；

(5) 几何功能，包含一系列一般几何程序，与专用几何形状无关；

(6) 扩展的几何程序，包括大量子程序，主要用来定义不同类型的几何对象及其借助于数学函数的连接；

(7) 控制和检验；

(8) 欧拉运算，它们允许生成用于表达可变形体的拓扑结构；此外几何与拓扑的连接也是可能的；

(9) 线条和边界，这里包括用于轮廓生成和查询的程序。

数据管理接口用于在 CAD 系统的基本数据库上存取应用模型，这里快速数据存取。数据安全性和数据保证等功能具有根本的意义，为了使数据库也能很容易地承担另外的应用，可以设想不同的方案：

(1) 经由工程数据管理系统 (EDM) 的数据保持，大多数在数据存储层上实现；

(2) 基于标准数据存取接口 (SDA1) 的独特的数据保持，仅适用于 STEP 保持的数据；

(3) 基于 CORBA 的独特的数据保持；

(4) 基于对象连接和嵌入 (OLE) 的独特的数据保持。

数据格式接口一般基于标准数据格式，如 SET、IGES、VDAFS 或 STEP 的格式，它们通过双向转换实现由系统 A 的初始格式经由一个标准格式再到系统 B 的初始格式的模型转换。

通过标准格式数据转换的主要优点在于连接新的初始格式的简化性。如果形成了一个具有新的初始格式的新 CAD 系统，那最重要的 CAD 接口必须被编程，即这种初始格式和最重要的 CAD 标准格式之间的转换器必须被实现。

直观可视化接口用于把应用模块集成到 CAD 系统的用户界面上，这里必须提供诸如对话单元和菜单的编程功能，也提供用于控制模型图形描绘的功能，属于这类参数的有诸如视点、视向、投影和阴影等。

### 2.1.5 CAD 系统的基准模型

CAD 用户对完全统一的辅助产品开发过程中的日常工作方面的持续要求推动了新一代 CAD 系统的工作。陈旧的系统方案被看做是多方面不满意性的主要原因，其不利的影响即使通过逐一改善市售 CAD 系统的性能，也只能部分地得到补偿。例如在目前所使用的 CAD 系统中作为最流行的利用形式占压倒优势的是图形信息的采集，处理和利用，就好像它们是专门用于图纸生成任务似的。占压倒优势的大多数这种系统在处理几何方面的片面取向可以被看做是这种趋势的根据。此外，一些工作步骤，比如与设计关系重大信息的产生及其向具体设计结果中的转换，它们的评价和评估以及典型的设计迭代进行方式等都不能或几乎不能得到辅助。

当前使用的 CAD 系统由于其通用的设计思想在操作上是很复杂的，它们普遍具有太少与应用有关的功能，因此在设计和制造中为了在计算、仿真、加工计划和加工控制中充分地利用 CAD 数据，对使用者来说需要顾及多方面的制约，这些附加条件增加了设计人员的负担，不得不花费大量的设计时间，从而限制了创新工作的活动空间。

这样，就提出了 CAD 模型的总体目标，是未来的计算机辅助工作设计工作格式化，它能够促使工作结果有一个量和质的改善，并且也能够满足一个人机工程的工作形式的要求。

确定采用这样的目标，CAD 系统的基准模型含有对于发展未来 CAD 系统的指导原则的特征。CAD 基准模型对 CAD 技术领域不同范围问题的一系列进一步的影响，以此联系在一起，由它们提出一些重要的东西，因而一个 CAD 基准模型可以对下述方面起积极的影响：

- (1) 用于安排、评价和对比不同 CAD 系统的可能性；
- (2) 未来 CAD 系统的开发、选择、使用和更换；
- (3) 面向需求地准备提供 CAD 系统的应用功能和服务工作功能；
- (4) 通过开放式、模块化系统结构或使用内部和外部接口的集成能力；
- (5) 国家的和国际化方面的努力。

CAD 使用者通过 CAD 系统阐述了辅助工作的主要缺陷，这些缺陷分为八个问题范围，用这种方法在广泛范围内描述改善这种状况是可能的。这八个问题范围是：

- (1) 设计过程的组织；
- (2) 产品模型；
- (3) 涉及应用的系统配置；
- (4) 建模器；
- (5) 分析、计算和仿真；
- (6) 与任务有关的知识 and 文件；
- (7) 用户界面和用户辅助；
- (8) 集成。

## 2.1.6 基准模型的系统结构

CAD 基准模型的结构从开发技术上它被细分成三层：基本结构、粗略规范和精细规范。这些层的区别在于它们的详细化程度和格式化程度，它们可以实现对功能性的广泛描述。

第一层表达基本结构，包括四个主要组成部分：

- (1) 应用部分：在一个 CAD 系统中可供使用的涉及应用的组件的组合，它们用于实现设计专用的功能。
- (2) 系统部分：在一个 CAD 系统中可供使用的与应用无关的组件的组合，它们对于提供、配置、处理和集成应用部分的组件是必需的。
- (3) 产品模型：用于描绘一类产品的整个产品生命周期的产品信息模型和产品数据的单元。
- (4) 应用专用的知识：用于解答设计任务的应用专用的知识的组合。

在基准结构中应用组件和系统组件的分离应当能辅助与应用有关的和与应用无关的组件的可交换性和可扩展性。为了达到尽可能的有效，适应于应用条件的应用组件和系统组件的配置，在基准结构范围内引入了功率级，它们能帮助分类评述各个应用组件和系统组件在涉及其功能、性能以及网络远距离可支配性方面要求的鲜明特征，并因此可使总系统对应用条件的优化适应成为可能。

原则上所有 CAD 基准结构的组件具有四个特征：

- (1) 通信能力（接口）：在所有组件内确定接口与环境通信的可能性；
- (2) 组件结构（静态）：静态包括把组件划分成为组件；
- (3) 过程逻辑（动态）：动态包括组件的行为；
- (4) 组件参数（数据）：数据表达一个组件的实例变量的状态。

在基准结构的第二层上每个组件的组成部分被详细列举说明。

## 1. 应用部分

应用部分包括大量存在于一个 CAD 系统中与应用有关的组件，它们被用于实现设计专用的功能。按照问题规范或普遍适应性把应用部分的组件划分成三个层次：

- (1) 专门的应用：如产品应用，用户应用或企业专用的应用；
- (2) 通用的应用：如用于转换 CAD 子任务所涉及问题的功能；
- (3) 资源：如通用的与应用无关的 CAD 基础功能。

这种定性划分应当辅助在专用 CAD 应用组件中资源和通用应用功能的多方面可使用性，并且在产品模型的逻辑分类中得到类比，把应用部分分成三个与应用有关的层次可以适应于已有的任务和使用范围。问题的特性通过应用部分的不同层次的应用来达到与要实现的任务的适应性。

一个已实现系统的与应用有关的、设计专用的功能通过应用部分的组件实现转换，适应于对贯通辅助所有委托处理阶段的要求，通过基准结构部分提供所有在任务处理过程中必需的应用。

通过应用部分特性和结构化在模块化的功能时可达到的效果：

(1) 保证组件的可交换性：通过组件的结构化和层次化及其接口的配置形成了相互交换类似功能的可能性。在较高层次功能上构建的方法同样可以用于新集成构件的工作，就好像利用替代的模块一样。

(2) 适应专用的问题要求：在利用分层方式和分等结构情况下，以基础工具开发应用，它们以特殊的任务领域和进行方式来处理。这在充分利用普遍适用的资源所有优点的情况下提供了一系列可能性，比如在问题求解时为具有可靠结构逻辑要求的应用领域提出进行方式建议；有目的地限制 CAD 利用功能的存量以及考虑结构典型的术语、对象和从属的操作。

(3) 提高柔性：由于分层次和模块化形成了组合式求解专门任务的多种可能性。

应用部分被置入系统部分的工作中，即所有的应用组件都通过一个通信接口在系统部分的工作上存取，组件相互间以及与系统部分组件间的通信借助于通信系统的工作，即通过发送和接收实现。

通过利用应用中性的系统服务工作可以减少一个设计任务所需求的功能。

## 2. 系统部分

系统部分规定系统特殊的服务，它们对于输出应用部分的组件是必需的。为此在基本功能上增加应用部分，它通过操作系统的服务以及已有的网络服务使之可供使用，由系统部分提供下述功能：

- (1) 对所有应用具有统一的用户引导和用户辅助；
- (2) 整个系统（应用部分和系统部分的组件）面向应用的可配置性；
- (3) 应用、系统组件和用户间的通信与协作；
- (4) 用于处置错误、补偿、帮助、转换的功能；
- (5) 管理和协调（同步）。

把 CAD 基准结构中的各种与应用无关的任务部分分离出来并转换成模块化的可扩展和可交换的子系统可以实现开放式、柔性的 CAD 系统方案，下面七种具有通信管线的不同的