

绪 论

1.1 计算机辅助制造工程基本概念

1.1.1 制造业、制造工程与制造系统

20 世纪是以大规模生产为特征的制造业的兴起而开始的。战后半个世纪全球社会经济发展的历史经验证明,一个国家的实力及其繁荣,最终将取决于其制造业所提供的产品和劳务的竞争力。30 多年来,日本和德国经济的重新崛起,主要是由制造业支持的。据统计,工业化国家的经济总产值大约 50% (日本)~68% (德国)是由制造业创造的,一个制造业就业岗位平均可以创造 4~5 个其他就业岗位。建国以来,我国已经建成了较为完整的制造业体系。据国外统计,1992 年中国企业总数为 860.8 万家,职工总数 9 000 万人,其中大型企业约有 5 000 余家,上述企业中多数是制造业。因此,制造业对国民经济的发展有决定性的影响,已成为国民经济的重要基础,其先进与否是一个国家经济发展的重要标志。

制造业涉及机械产品制造、电气电子产品制造、仪器仪表业、轻工纺织与服装业、化工产品制造、医药行业等诸多行业,其中机械制造业是制造业的基础,它承担着为国民经济各部门提供各种装备的任务。据我国有关部门统计,在整个工业生产总值中,机械制造业约占 25%。

一个制造企业是通过产品的制造过程,即通过生产对象在几何形状和材料性能上的变化来为社会提供所需的产品与服务。制造技术为工业界生产一系列创新的、成本上有竞争力的高质量的产品与服务打下基础,是支撑制造业的关键。今日的制造技术是融合集成机械与结构技术、设计与工艺技术、计算机控制与辅助技术、自动化技术、信息技术、微电子技术、材料技术、财会金融与工商管理为一体,综合应用于市场开拓、产品供销、设计、加工、检测、生产管理与售后服务全过程,以提高企业和行业竞争力为目标,把科技与经济紧密结合起来的复杂实用技术。按制造过程划分,制造技术包括设计技术、制造工程技术、经营管理技术、加工与制造过程控制技术等;按技术领域划分,制造技术包括设计技术、精密成形与加工技术、快速成型(RP, Rapid Prototyping)技术、制造自动化与计算机辅助制造技术、系统管

理技术等。

制造工程技术是将工程科学与分析方法应用于产品设计与制造、制造过程与系统的控制等所形成的专业化知识、技术与技能。制造工程是从产品设计到制造过程实现的中间环节和支撑体系，是制造技术的重要组成部分。它所涉及的基本活动包括：产品设计与规范的可制造性审查，制造工艺过程的选择与设计，产品制造、装配与测试的方法和顺序的确定，生产设备的选择与设计，工装与测试设备的选择与设计，工厂建筑、机器、设备、材料与储存设施的布置，工时定额的确定，制造成本估计、分析与转换研究，生产管理、协调与控制等。

随着制造技术的发展，人们以系统论、信息论和控制论等所形成的系统科学和方法论为工具，从系统各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析和研究制造过程，形成了制造系统 (Manufacturing System) 的概念。制造系统是由物质流、能量流、信息流三个基本要素组成的，而信息流的引入是形成制造系统最关键的因素。

制造系统可以划分为两种主要类型：离散型零件制造和连续处理型制造。连续处理型制造指的是连续性产品的生产，其整个处理过程是通过阀门、泵、加热器等进行控制的，例如，化工行业中的一种化学反应将原材料转变成最终产品，这类生产也称为流程型生产。而在离散型零件制造中，产品要通过有限次数的生产或装配操作，制造过程的各个环节之间可以彼此关联或不关联。机械制造过程是一种离散的生产过程。本书主要讨论离散型制造，特别是机械加工零件的加工制造。

一个完整的制造系统通常由经营管理、产品设计、制造工程、制造过程等构成，如图 1.1 所示。

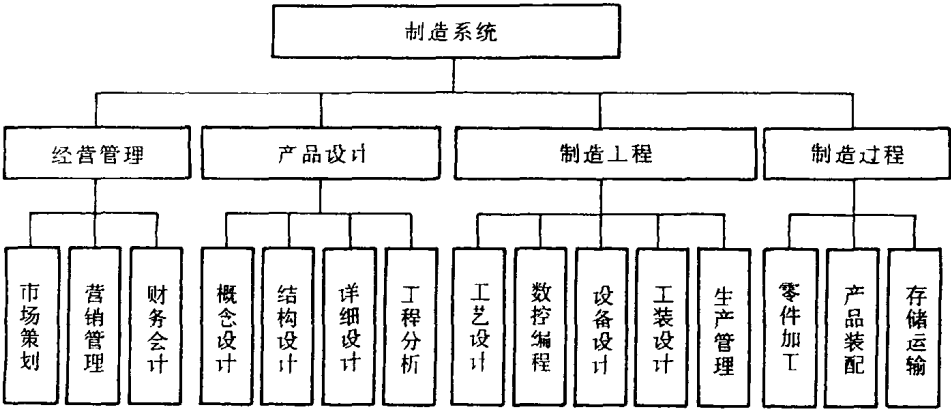


图 1.1 制造系统构成

1.1.2 计算机技术在制造工程中的应用及发展历史

随着计算机技术的迅速发展，企业的制造工程环境发生了一系列的革命性变化，计算机技术在工艺过程设计、工装设计与制造、数控编程与仿真、生产管理等方面得到了广泛的应用。计算机辅助制造工程是计算机技术在制造工程中的应用技术的总称。

1. 计算机技术在制造工程中的应用

计算机在制造工程中的辅助作用主要体现在数值计算、数据存储与管理、图形处理、逻辑

决策等方面。

计算机作为计算工具来使用的优越性显而易见。人工计算容易发生的错误总是在这里得到了完全的克服。许多需要多次迭代的复杂运算，只有计算机才能完成。在制造工程中，一些设计分析方法，例如优化方法、有限元分析，离开计算机便难以实现。计算机作为计算工具提高了计算精度，保证了结果的正确性。通常有限元分析、机构分析、模态分析等分析计算工作，当用计算机完成时通常称作计算机辅助工程（CAE）。

计算机可靠的记忆能力，使其能够在数据存储与管理方面发挥重要作用。例如，常规设计时，设计人员必须从有关的技术文件或设计手册中查找数据，不但费时，而且容易出错。使用 CAD/CAM 系统时，标准的数据存放在统一的数据库中，检索存储方便迅速。有了数据库，设计人员便不再需要记忆具体的数据，也不必关心数据的存储位置，可以全神贯注于创造性的工作。

图样是工程中的语言，是人们交流思想的工具。虽然 CAM 将使图样在制造中的作用逐渐消失，但图样在审查设计方案、检验产品等方面的作用仍将存在。图样的绘制工作约占整个设计工作量的 60% 以上，因此，计算机绘图是对设计工作的有力辅助。这就是为什么计算机绘图被广泛使用的原因。另外，实际设计中很大一部分工作只是在现有设计的基础上加以局部修改。一旦图形数据存储于图库之中，它们可以重复使用，可以进行修改与编辑，以产生新的图形。

随着人工智能技术的发展，人们将人工智能融进产品设计、工艺过程设计、生产计划调度、工艺过程控制等制造系统环节，使计算机能够帮助人们完成一定的逻辑决策功能，从而提高制造系统各个环节的智能水平。

2. 计算机辅助制造工程的发展历史

计算机辅助制造工程技术的发展是以各种计算机辅助单元技术在制造工程某些环节上的应用为起点，它以相关的基础技术的发展为基础，包括了计算机辅助工艺设计（CAPP）、计算机辅助数控加工与测量、计算机辅助工装设计、计算机辅助企业生产管理等一系列计算机辅助单元技术的发展，而这些计算机辅助单元技术随着计算机技术及相关基础技术的发展而不断完善，形成各种类型的计算机应用系统，从而充实和丰富了计算机辅助制造工程的内容，并向 CIMS 等先进制造系统模式发展，如图 1.2 所示。

20 世纪 40 年代中期第一台计算机的问世及其发展，推动着许多学科的发展和新学科的建立。到 50 年代中期，计算机主要用来进行科学计算。尽管当时已在计算机中配置了显示器，但只是作为字符的显示，不具备人机交互的功能。1952 年，美国麻省理工学院 MIT 研制了世界上第一台数控机床——加工三维轮廓面的 NC 机床，并着手研制数控自动编程系统。当时在美国学习的奥地利人 H. Josph Gerber 根据数控加工的原理和方法为波音飞机公司研制出世界上第一台平板绘图仪。1959 年美国的 Calcomp 公司根据打印机的原理研制出世界上第一台滚筒式绘图仪，这就开始了由计算机绘图代替手工绘图的历史。50 年代中期，前苏联的米特洛凡诺夫（С. П. Митроф Анов）系统地提出成组技术（GT, Group Technology）的概念和方法。此后不久，由于德国的奥匹兹（H. Opitz）和英国的布利希（E. G. Brisch）等在零件分类编码系统等方面的贡献，使成组技术迅速推广到东西欧及日本，随后进入我国以及美国（美国直到 70 年代末 80 年代初才给予足够的重视），GT 在世界范围内成为一种组织多品种中小批量生产的有效手段。

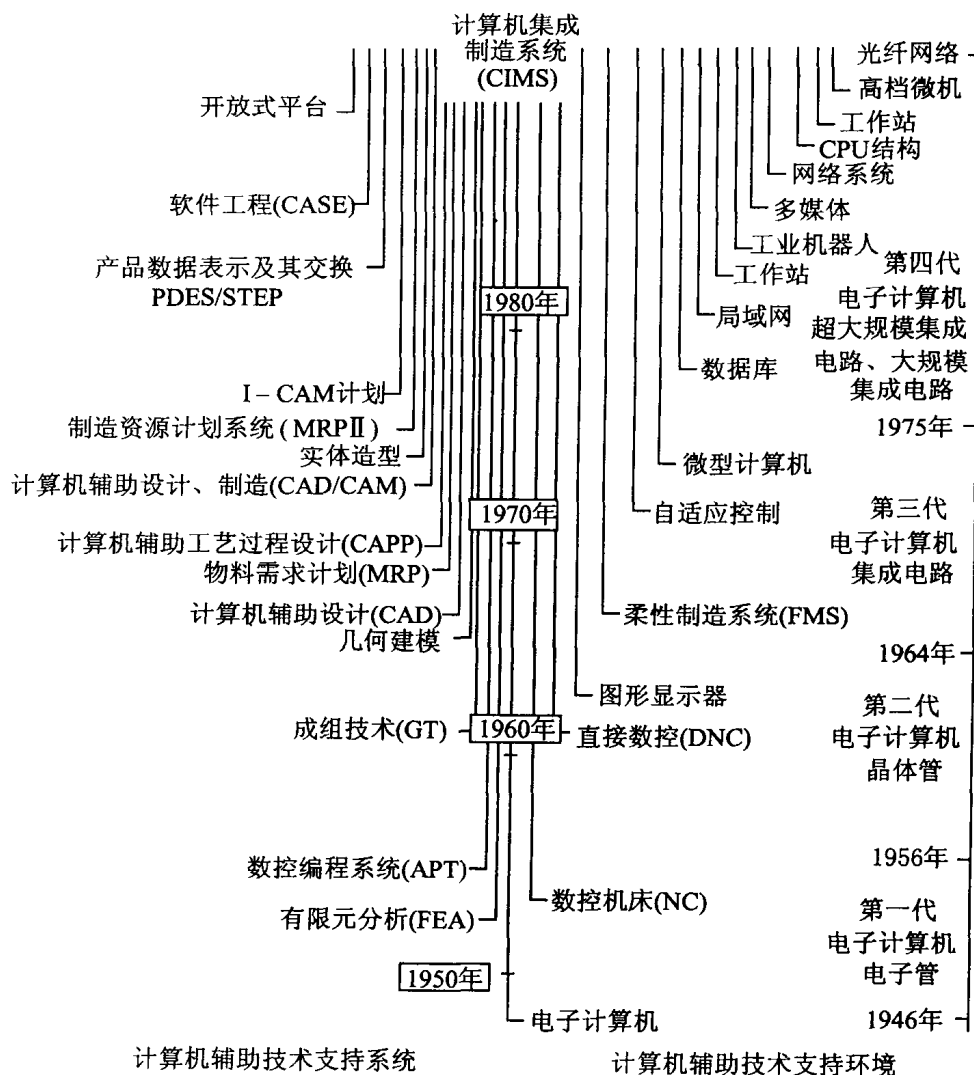


图 1.2 计算机辅助制造工程技术的发展

1963 年 美国 MIT 的 Ivan Sutherland 在他的博士论文中提出了交互式图形生成与显示的基本理论和技术，为 CAD/CAM 技术的发展打下了理论基础。之后，商品化的 CAD 设备开始出现，并得以应用。70 年代后，由于微小型计算机的发展以及数据库技术的发展，计算机辅助设计与制造技术进入高速发展阶段。此时，出现了大量成熟的商品化 CAD/CAM 系统 并在机械产品设计与制造领域获得了广泛的应用。

计算机辅助工艺过程设计 (CAPP, Computer Aided Process Planning) 技术的研究与开发工作开始于 60 年代末 在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是设在美国的国际性组织 CAM-I 于 1976 年开发的 CAPP(CAM-I Automated Process Planning) 系统。由于工艺设计问题的复杂性及在发展方向上存在的问题，CAPP 技术同 CAD, CAM 等相关的计算机辅助技术相比，仍是一个薄弱环节。近几年来，CAPP 呈现出了新的发展生机。

随着计算机的广泛应用，人们将微机应用于数控机床的控制系统，出现了计算机数字控制

(Computer Numerical Control)、直接数控 DNC(Direct Numerical Control) 和自适应控制等技术。1968 年左右,DNC 首先采用计算机控制系统,在计算机和机床之间建立了一种直接控制链,省掉了纸带输入。1964 年产生了 CNC 系统,通过在计算机内存中的程序编制使其具有适应某一特定机床的控制功能。CNC 机床是计算机技术与机床设计制造技术相结合的产物,是计算机控制在机械中的具体应用,也是制造自动化的飞跃。

在生产管理方面,1961 年,物料需求计划 MRP(Material Requirements Planning)技术在美国出现,它是计算机支持下的库存和生产进度计划的管理系统。70 年代开始,一些计算机软件商开发了闭式 MRP 软件。在 MRP 系统基础上,形成一个全面生产管理的集成优化模式,这就是制造资源计划 Manufacturing Resources Planning)并称作广义 MRP 或 MRP II。80 年代推出了 MRP II 软件。90 年代,涌现出数百家专门从事 MRP II 开发与销售的公司,MRP II 获得了广泛应用。今天,MRP II 正在向 ERP(Enterprise Resource Planning)发展。

80 年代以来,柔性化、集成化、智能化成为制造工程技术的发展方向,并向计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)等为基础的先进制造系统模式发展。1973 年,美国的 Harnington 博士在他的《Computer Integrated Manufacturing》一书中首次预言性地提出了计算机集成制造的概念,但当时并未受到人们的重视。到了 80 年代初美国、日本、欧共体成员国等都把 CIMS 的研究开发作为科技发展的一个战略目标。之后,人们从各种不同的角度提出了各种不同的计算机辅助制造系统的新模式和新哲理,包括并行工程(CE,Concurrent Engineering)、敏捷制造 AM(Agile Manufacturing)、虚拟制造 VM(Virtual Manufacturing)、智能制造 IMT(Intelligent Manufacturing Technology)等。计算机辅助制造工程技术是实现 CIMS 等先进制造系统与模式的重要技术基础与支撑体系。

1.2 计算机辅助制造工程技术体系与内容

1. 计算机辅助制造工程技术体系

计算机辅助制造工程的技术体系可从 3 个层次来考察。第 1 个层次是以计算机辅助制造工程应用软件及其他相关的计算机辅助软件有机结合与集成所构成的基于 CIMS 等先进制造系统模式的计算机辅助制造系统;第 2 个层次由计算机辅助产品设计、计算机辅助制造工程、计算机辅助企业经营管理等专业化技术与软件以及相应的基础技术与集成技术所构成;第 3 个层次由数控机床、存储运输装置等制造硬件环境和计算机硬件、支撑软件环境、计算机网络等计算机环境构成。如图 1.3 所示。

2. 计算机辅助制造工程基础技术

(1)成组技术(GT)

成组技术(GT,Group Technology)是提高多品种、中小批量机械制造业生产效率和水平,增加生产效益的一种基础技术。近几年来,成组技术的概念不仅从开始的机械加工工艺扩充到产品设计与制造的全过程,而且与计算机技术、数控技术结合起来,在 CAD,CAPP,CAM,计算机辅助生产管理乃至柔性制造系统(FMS,Flexible Manufacturing System),CIMS 等现代制造技术领域起到重要作用。

(2)数据管理与数据库技术

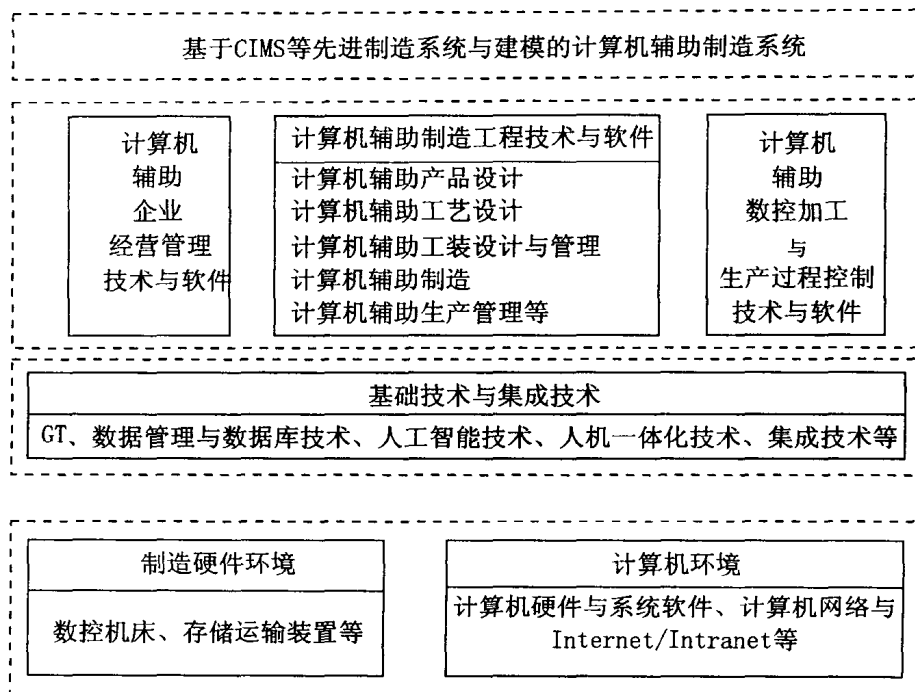


图 1.3 计算机辅助制造工程技术体系

产品的开发制造过程实质上是一个数据采集、传递和加工处理的过程，其制造形成的产品可以看作是数据的物质表现。因此，如何实现产品数据的收集、存储、处理和共享是计算机辅助制造工程的共性技术和基础技术，数据库技术与数据交换技术的发展为计算机辅助制造工程的发展提供了良好的基础。

(3)人工智能与专家系统技术

在制造智能化发展中，人们将人工智能融进产品设计、工艺过程设计、生产计划调度、工艺过程控制等制造系统环节，使计算机能够帮助人们完成一定的逻辑决策功能，从而提高制造系统各个环节的智能水平。其中以专家系统为代表的符号化人工智能技术在计算机辅助制造工程中得到广泛应用，成为实现计算机辅助制造工程智能化的重要基础技术。

(4)人机一体化技术

在计算机辅助制造工程技术的应用开发中，注意人和计算机的有机结合，恰当地发挥二者的作用十分重要。当建立一个计算机应用系统时，应从以下几个方面考虑人机的特点。

经验与判断相结合在工艺过程设计、工装设计、生产管理中是不可缺少的，所以设计过程必须由人控制。设计人员应能在设计的各个阶段行使控制权，应能利用其直觉进行设计，可让计算机完成一些工作量大的选择性逻辑决策任务，而不必片面追求决策的自动化。此外，人可以从过去的设计中不断学习，总结经验，而计算机的学习能力差，学习的任务应由人来完成。

对于费时费力的数值分析工作，计算机可高速精确地完成。在设计中应尽可能多地让计算机完成数值分析工作，使人有更多的时间利用数值分析的结果和他本身的直觉和分析能力来完成决策性的工作。

计算机具有永久存储信息的能力，对重复性工作有极强的耐力，所以，在设计和制造过程中，信息的存储管理应在人的指导下由计算机完成。像绘图图样之类繁琐的、令人疲倦的工作，适合于计算机去完成，将人从重复劳动中解放出来。

计算机具有系统检错的能力，人则可用直觉方式检错。一般说来，让计算机自动改正错误是困难的。因此，改正错误、修改设计的任务应通过人的控制来完成。

由上述可知，人和计算机在计算机辅助制造工程中起着不同的作用，人的主要作用是控制整个设计过程，利用自身的经验、直觉思维和想像力进行创造性的工作；计算机的作用则是扩展人脑的记忆功能，加强设计者的分析能力，将设计者从繁琐的重复性的工作中解放出来。在计算机辅助技术中，人与计算机相结合，共同进行设计，这种工作方式所产生的结果比人或计算机单独工作的结果要好得多。

3. 计算机辅助制造工程单元技术

(1) 计算机辅助设计 (CAD)

计算机辅助设计 (CAD, Computer Aided Design) 技术具有两层含义：一层含义是指产品 / 零件与工程的计算机辅助设计，另一层含义是指计算机图形学、几何造型、图形数据存储与管理、标准件库等基础技术。本书讨论 CAD 技术，主要是在第二层含义上将 CAD 技术作为计算机辅助制造工程的基础技术，而将 CAD 软件系统作为建立计算机辅助制造工程应用系统的支撑系统。

(2) 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)

工艺设计确定制造过程及制造所需的制造资源、制造时间等，是完成产品设计信息向制造信息转换的关键性环节。CAPP 技术的应用对于缩短产品制造周期，提高产品质量，降低产品成本具有重要意义。传统上，人们按照工艺决策方式将 CAPP 系统划分为修订式 CAPP 系统与创成式 CAPP 系统两大类。长期以来，CAPP 的研究与开发基本以零件为主体对象，且主要集中在机械加工工艺设计领域。近些年来，CAPP 技术在产品制造周期的各类工艺设计中都得到了应用。

(3) 计算机辅助工装设计

工艺装备设计的过程中，要把大量的人力、时间花费在繁琐的资料检索、分析计算、绘图、编制文件等工作上，采用计算机辅助设计技术，可显著地提高设计效率和质量，从而缩短产品开发周期。目前，人们已开发出刀具、夹具、模具、辅具、计量器具等各种计算机辅助设计系统，并得到了广泛的应用。

(4) 计算机辅助制造 (CAM)

计算机辅助制造 (CAM) 有广义和狭义两种不同解释。从广义角度，CAM 是指利用计算机来完成从原材料到产品的全部制造过程，其中包括制造过程监控与控制等直接或“在线” (On Line) 制造过程和 CAPP, NC 编程、生产管理等间接制造过程或“离线” (Off Line) 支援辅助功能。在此意义上，CAM 包含了本书所论述的计算机辅助制造工程概念；从狭义角度，CAM 通常是指一些主要的离线支援功能，甚至被看作 NC 编程的同义词。在本书中，主要是指 NC 编程等离线支援辅助功能。

(5) 计算机辅助生产管理

计算机辅助生产管理系统或生产管理信息系统是企业管理信息系统的重要组成部分。它根据市场预测、客户订单、指令性计划等，制定产品交付、零部件配套的主生产计划，并编制包

括生产作业计划和采购供应计划的物料需求计划。在制造过程中，以车间为单元，以能力需求和平衡为依据，对车间内部进行动态调度和控制。目前，基于 MRP II 的先进管理思想、管理方法，成为进行计算机辅助生产管理的重要理论和方法基础，MRP II 软件成为建立企业计算机辅助生产管理系统的重要支撑软件。

4. 计算机辅助制造工程集成技术

(1) 面向装配的设计 (DFA) 与面向制造的设计 (DFM) 技术

在制造企业中，产品设计与工艺设计相对独立，甚至分属于不同部门，造成了工艺从属与设计、工艺与设计相脱离等现象，严重影响了制造技术的发展。但在实际上，产品设计往往受到工艺条件的制约，即受到制造可行性的制约，出现了工艺手段主宰产品的局面。因此，需要在产品设计的早期阶段能够及早考虑产品装配、零件加工和产品质量等方面的一系列因素，进行面向装配的设计 (DFA, Design For Assembly) 与面向制造的设计 (DFM, Design For Manufacture)。实现 DFA/DFM 的关键是 CAPP 及工装 CAD 等系统，能与产品设计动态集成，随时向产品设计系统提供产品可制造性的评价信息。

(2) 特征基 CAD/CAPP/CAM 集成技术

以特征技术为基础的 CAD/CAPP/CAM 集成技术，可实现 NC 编程的高度自动化，大大提高数控编程的效率和数控加工程序的质量。

(3) CAPP 与生产计划调度的过程集成技术

CAPP 与生产计划调度的过程集成要求 CAPP 在制订零件工艺规程时应充分考虑机床、刀具等制造资源对工艺过程的动态约束，实现工艺过程的动态优化，保证制造资源的平衡，使整个生产过程处于整体最优，并且能够在机床过载、机床故障、刀具损坏等动态偶发事件发生时，及时消除生产阻塞，保证生产过程的畅通。

(4) CIMS 等先进制造系统 / 模式下的系统集成技术

CIMS 等先进制造系统 / 模式下的系统集成，不是制造系统各个环节计算机辅助系统的简单叠加，而是在计算机网络和分布式数据库支持下的有机集成，它包括信息集成、功能集成、过程集成等多方面的集成。近年来，在系统集成实施中有两个很重要的变化：①由强调技术支撑变为强调技术、人和经营组织的集成，通过管理把技术、组织（包括人）和经营（包括策略）集成起来；②由“技术推动”变为“需求牵引”，强调用户的需求是成功实施的关键，用户是核心。

1.3 计算机辅助制造工程系统的计算机环境

1.3.1 计算机硬件与系统软件

1. 计算机硬件

计算机硬件环境主要包括主机、外存储器、显示设备、输入设备、输出设备等。

(1) 主机

它是指挥和控制整个计算机工作的最主要部分，包括中央处理器和内存等。目前，用于计算机辅助制造工程的主机主要是工程工作站系统和微机系统。

(2) 显示器

显示器是人与计算机通信的重要部件，为用户提供了一个可视窗口，用于显示图形和字

符。显示器的主要部件是阴极射线管（CRT），有光栅扫描显示器、向量刷新显示器、直视型存储管等。

（3）输入设备

在制造工程中，计算机辅助系统通常都是基于交互式的，用户必须在 CPU 和显示器之间产生交互动作，输入设备起到辅助这一过程的作用。常用的输入设备有键盘、鼠标器、光笔、数字化仪、图形输入板、图形扫描输入仪等。

1) 键盘：它是最基本的输入设备，在键盘上设有字符键和功能键两类按键。键盘和其他输入设备配合使用，可实现人机对话或字符和图形的编辑、修改、删除等操作。

2) 鼠标器：它是向计算机发送电信号的小型装置，上面有两个或三个按钮。鼠标器结构简单，使用方便，价格低廉，是功能较强的图形支撑软件必不可少的输入设备之一。

3) 图形扫描输入仪：它是通过扫描笔扫描整幅图样的图形及非图形信息，并以点排列的灰度和颜色等属性快速输入计算机，转换成相应的数据结构，再经专门器件处理将图形显示在屏幕上。

4) 光笔：它是笔状的光敏探测器，用于从显示屏幕上拾取部分图形，或对图形进行操作，完成对图形增加、删除或修改。使用者常要悬臂操作，长时间使用容易疲劳，现已少用。

5) 数字化仪和图形输入板：数字化仪是指使用电子跟踪设备，把现有硬拷贝图样复制到图形库的过程。

（4）输出设备

计算机辅助制造工程的输出设备除显示器外，还有产生硬拷贝输出的设备，如绘图机和打印机。

1) 绘图机：它是高速、高精度的图形输出设备，按工作方式分卷筒式和平板式两种。卷筒式绘图机因卷筒带动图纸沿 x 方向运动而得名。画笔沿 y 方向移动，两者合成运动就可绘制出图形。平板式绘图机则由画笔沿 x, y 两方向移动，在平板上绘出图形，其精度和质量都比卷筒式绘图机高。

2) 打印机：它是以点阵方式输出图形的设备，常用的有：针式打印机、喷墨打印机和激光打印机等。

2. 系统软件

计算机系统软件包括操作系统、汇编系统、编译系统和诊断系统等。目前，系统软件已趋于开放和标准化，如 Unix 操作系统、X - Windows 和 Windows 95/98/NT 窗口系统等，都已成为当前计算机辅助制造工程等应用系统的通用开发平台。在这类环境下开发的软件容易移植，可以运行于各种流行的机型上；用户界面统一，便于使用人员掌握和适应；开放性好，容易与其他软件衔接和进行二次开发。当然，人们要达成这样的统一认识并不容易，是经过艰苦的探索和实践才趋于一致的。

1.3.2 计算机网络

计算机网络是用通信线路将分散在不同地点、并具有独立功能的多台计算机系统互相连接，并按照网络协议进行数据通信，实现共享资源（如网络中的硬件、软件、数据等）的计算机以及线路与设备的集合。通讯网络与各种功能的网络软件相结合，实现不同条件下的通信以支持系统集成。计算机网络属于多机系统的范畴，是计算机和数据通信这两大现代技术相结合

的产物,也是近 20 年来迅速发展的新技术。

计算机辅助制造工程的功能需求是多方面的,任何一种计算机或工作站都难以适应各种不同的需求;同时,所使用的软件、数据库以及外部设备也常常是多种多样的。因此,集成系统必然采用由多台不同档次的异种机构成的计算机网络系统,以实现各计算机辅助系统之间的通信和数据、软件的共享。

计算机网络按连网计算机分布的地理范围及通信要求的不同,有广域网(WAN)、市域网(MAN)和局域网(LAN)3 种类型,其中局域网应用最普遍,技术发展最快。在一个企业范围内的 CAD/CAM 系统通常都采用局域网。局域网(Local Area Network)指的是较小的地理区域内(0.1~25 km 范围,通常是 1~2 km 距离以内)高数据传输率的通信网络。局域网以各节点相互连接的拓扑结构分,有星型、总线型、环型、树型等不同结构,以及集星型、环型两种型式优点于一身的星型环拓扑结构。各种结构在安装费用、结构灵活性、安全可靠等方面有所不同,选择时通常要综合考虑。CAD/CAM 系统中,通常多采用总线型和环型拓扑结构。各种拓扑结构型式的示意如图 1.4 所示。

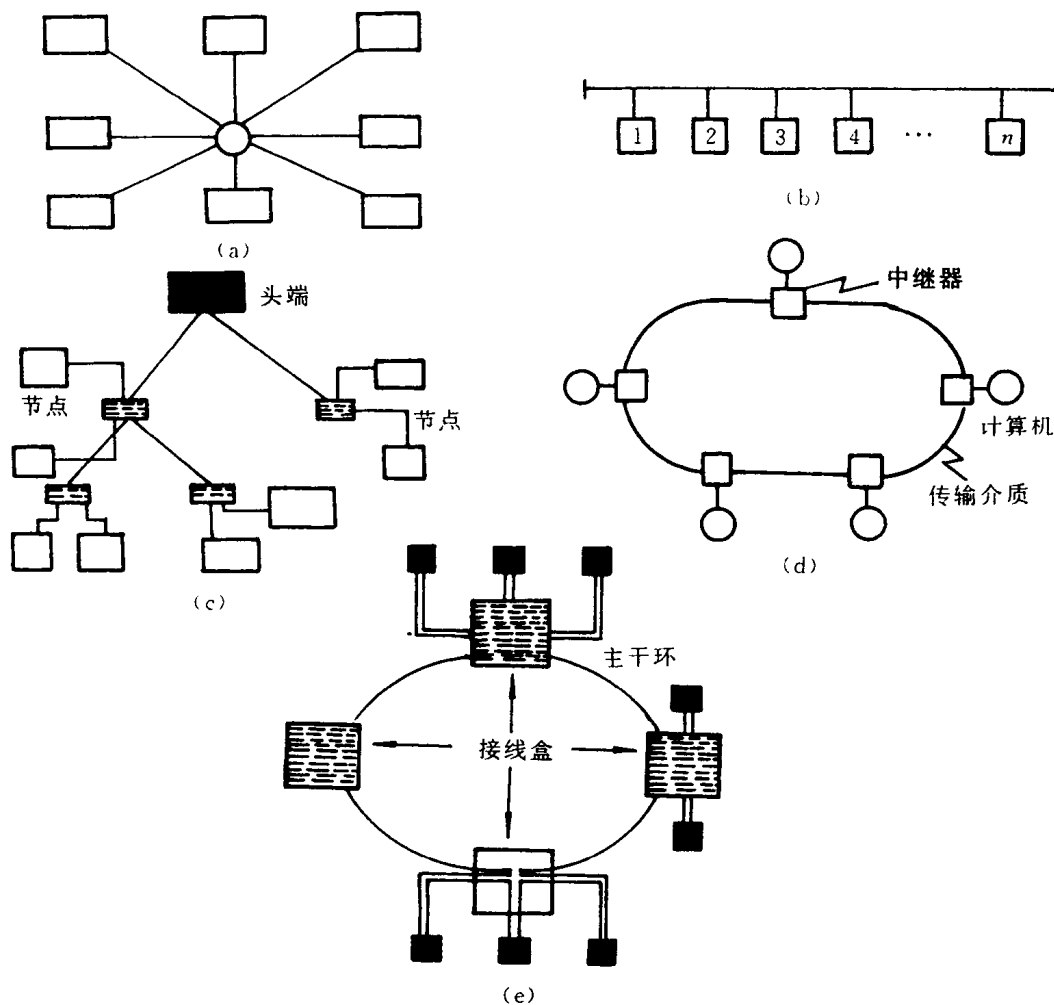


图 1.4 计算机网络的拓扑结构示意

(a)星型 (b)总线型 (c)树型 (d)环型 (e)星型环

网络通信是在网络协议的支持下进行的,协议是信息交流规则的集合。为了实现通信协议的标准化,方便不同国家不同厂商间异种计算机间实现通信,国际标准化组织 ISO 的专门委员会曾制订了一个开放系统互连模型 OSI(Open System Interconnection)它为通信协议的标准化,以及分布式处理的开放系统的互连通信提供了基础。OSI 由物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层、应用层等 7 个层次构成。其中,下面四层为底层协议,主要解决各种情况下数据传输的可靠性和完整性问题,上面三层为高层协议,主要是应用所需的专门服务。

目前,较著名的通信协议标准有 TCP/IP(Transmission Control Protocol / Internet Protocol),即传输控制协议/网络互连协议,是由美国国防部定义的网络协议,相当于 ISO-OSI 层模型中的传输层和网络层。大多数的 UNIX 产品都能运行 TCP/IP 网络协议,美国国防部的标准是以 TCP 和 IP 为主体并包括其他协议集族的网络体系结构,通常简称 TCP/IP 网。虽然 TCP/IP 网只实现了 ISO/OSI 模型的有限层次,但由于它的应用服务很丰富,国外许多硬、软件厂商都有产品支持,UNIX 操作系统又把它纳入核心内部,已成为工程工作站级计算机网络的广泛认可的事实上的工作标准,后来又推广到大、中、小、微各种计算机机械,所以实际应用范围相当普遍。

随着计算机辅助制造工程技术的发展,计算机网络不仅成为各类计算机辅助系统的重要支撑环境,并已成为企业实现计算机集成制造的两大重要支撑技术之一。国内当前开发的 CIMS 系统,国外从旧系统发展起来的 CIMS,常把 TCP/IP 网作为实用的网络,或作为向 MPA/TOP 发展的过渡手段。MAP/TOP 也是两个协议集的总称。MAP(Manufacturing Automation Protocol)是美国通用汽车公司(General Motor)提出的专门用于生产自动化的局域网协议,主要涉及生产部门和自动装配线。TOP(Technical and Office Protocol)是由美国波音公司(Boeing Company)开发的一种用于办公室自动化的局域网协议。两者开发的背景(总数达数千台的不同厂商提供的各种档次的计算机和终端)相似,也都采纳了 ISO/OSI 的七层协议模型,并在许多层次上的定义相同。而且,MAP 用户协会和 TOP 用户协会又于 1986 年合并成 MAP/TOP 用户协会从事研究和推广,所以常常统称 MAP/TOP 协议或 MAP/TOP 网。与 TCP/IP 相比,MAP/TOP 增加了会话层并实现了表示层协议,还包括了应用层的多种服务,因而可以说是 CIMS 网络的发展趋势,有广泛应用的前景。但由于 ISO/OSI 协议模型及 MAP/TOP 网仍处于发展完善之中,目前国内外大多数硬、软件厂商的产品还不支持它,所以应用还不普遍。目前,已出现为降低成本和系统开销的简化了的 MAP 协议即 limMAP 和 EPA(增强型)结构局域网。

总线网是 CAD/CAM 集成系统中常用的网络形式。它的主要优点是:传输速率高,用户节点的重新配置较容易实现,网络可靠性高,通信距离较大等。如果用户较分散,而且信息流量不是太大时,采用总线网结构可以获得较为理想的信息吞吐量。这种网络结构常采用“以太网(Ethernet)”为物理连接介质,已列入国际标准 ISO 8802/3。两个节点的总长度最大可达 2.5 km。当前世界上的局域网大约 50%都采用“以太网”。而且,现在生产工程工作站的主要厂商都提供“以太网”。

1.3.3 Internet / Intranet

Internet 是一种基于 TCP/IP 协议发展起来的国际互联网络。步入 90 年代随着 Web 技

术的出现,进入 Internet 的用户和地区迅速增加, Internet 也从教育和科研部门扩展到商业性机构,它给企业带来了新的商机。 Web 模式本身是一个开放的体系,通过 URL(Universal Resource Location)可以访问网络上的各种资源,企业信息系统通过一定安全机制下集成各种网络共享资源,可以大大丰富系统的信息量和功能。同时, Web 模式充分支持系统的动态变化,系统的内容和功能可以不断更新和增加,修改或增加的内容可以很容易的和原系统融为一体。近几年来,Web技术更是得到了迅速发展,多媒体信息及数据库信息都可以出现在网页中,网页不再是静态的,而是以各种动态和实时的形式出现在用户面前。此外, Internet 应用的跨平台运行特点更是得到广泛的推广。因此,以 Internet 为代表的信息通讯技术将成为 21 世纪对制造业影响最大的技术,并将导致“基于网络的制造”的新概念和新模式,从而实现敏捷制造和制造“全球化”。

由于 Internet 的飞速发展,企业开始关注如何利用 Internet 技术建立企业信息公路,即 Intranet,并将企业计算机环境中的资源与 Internet 集成在一起以 Internet / Intranet 技术为核心进行应用系统集成。随着 Internet 的发展,Web(WWW)应用迅速成为最广泛支持的应用模式。Web 模式以浏览器作为客户端软件,以 HTML 页面作为用户交互界面的描述,统一、直观的操作界面和操作风格方便了用户的使用,减少了系统培训和服务的工作量,同时, Web 模式的易用、开放和支持动态变化等特性决定了它将成为未来网络信息系统发展的主导方向。以 Internet / Web 技术和现实环境为支撑,通过 Internet / Intranet 网来实现异地协同设计与制造及企业制造信息管理,为计算机辅助制造工程技术提出了新的应用与发展需求。

1.4 计算机辅助制造工程的应用与发展

计算机辅助制造工程技术的价值在于应用,通过应用形成新的生产力,转化为实际的经济效益。美国制造工程师协会(SME)1993 年发表的新的制造企业轮图以一个轮状结构形象地描述了制造企业计算机辅助制造工程技术的应用目标,如图 1.5 所示。轮图中的“系统”包括各种计算机应用系统,这些系统和相应的知识库由企业各级组织中的人员在协调、共享的环境中使用,在企业的产品设计、工艺设计、产品制造和用户服务等 15 个生产经营主要环节中创造出新的价值。轮子的中心是用户,强调企业的一切生产经营活动都必须以满足用户不断增长的需求,即 TQCS 为中心而运行。T 代表产品上市快(Time to Market);Q 代表质量好(Quality);C 代表成本低(Cost);S 代表服务好(Service)。计算机辅助制造工程的应用目标就是不断适应用户需求,解决好企业的 TQCS 问题,以赢得市场竞争。

计算机辅助制造工程技术在制造业中具有难以估量的应用价值和潜力,计算机辅助技术资源在现代化企业拥有的资源中占有越来越大的比重,起着无可替代的作用,并将成为面向 21 世纪的现代制造技术的重要组成部分。在西方发达国家中,新型飞机或发动机研制费的 5%~10%是用于购买计算机的软硬件,据估算,全世界航空航天工业每年购买 CAD/CAM 和 CASE(计算机辅助软件工程)软硬件的费用超过 40 亿美元,并将继续以每年 10%的速度增长。因此,能否充分利用这种战略资源,将高技术转化为高效益,越来越成为企业谋求生存发展的重大战略问题。

当今,世界已进入了信息时代,制造业正面临着新的挑战。计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计、计算机辅助制造、计算机辅助企业生产管理以及将它们有机集成起来的先进制造系

统与模式已经成为现代企业科技进步和实现现代化的重要标志。目前,先进制造技术(AMT,Advanced Manufacturing Technology)的发展引起国内外的极大关注,未来的制造是基于集成和智能的敏捷制造和“全球化制造”,未来的产品是基于信息和知识的产品,集成化、智能化、系统化、实用化、工程化成为计算机辅助制造工程技术的发展方向。根据国民经济与社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要及市场需求,我国正在大力推广电子信息技术在传统产业技术改造中的应用,促进CAD,CAM,CAPP,MIS,CIMS技术的应用,并向综合化、集成化方向发展,从而促进企业科技进步,促进企业由粗放型向集约型转变。计算机辅助制造工程技术应在符合技术发展趋势的前提下,加强推广应用,在振兴制造业和发展国民经济中起到应有的作用。

图 1.5 新的制造企业轮图

造型与应用等方面的基础技术内容。

第四章：计算机辅助制造技术，介绍了数控机床与数控加工、数控加工程序编制、加工过程仿真、数控测量等相关的技术内容。

第五章：计算机辅助工艺设计技术，介绍了 CAPP 的发展意义、CAPP 系统的组成与类型、CAPP 的基本原理及集成化与智能化、CAPP 的实施评价及 CAPP 平台软件的开发与应用等内容，其中一些内容为最新的研究和应用成果。

第六章：计算机辅助工装设计与管理，简要介绍了夹具 CAD、刀具 CAD、模具 CAD 及刀具管理等有关工艺装备的计算机辅助设计、制造与管理方面的内容。

第七章：计算机辅助企业生产管理，以制造资源计划（MRP II）为中心，阐述了信息技术在企业生产管理中的地位和作用；并介绍了企业资源计划（ERP）等先进的生产管理技术。

第八章：先进制造技术，简要介绍了 CIMS、并行工程、产品数据管理、敏捷制造等先进制造技术与模式的主要技术内容。

思考题与习题

1. 谈谈制造业对国民经济发展的重要性。
2. 制造工程所涉及的基本活动有哪些？
3. 制造系统的类型有哪些？通常由哪些部分组成？
4. 谈谈计算机辅助制造工程技术的发展。

计算机辅助制造 工程基础技术

从信息工程的角度来看，产品的开发制造过程实质上是一个数据采集、传递和加工处理的过程，其制造形成的产品可以看作是数据的物质表现。因此，如何实现产品数据的收集、存储、处理和共享是计算机辅助制造工程的共性技术和基础技术。

从产品数据共享与交换的角度来看，现有的计算机辅助制造工程单元技术应用系统都是相对独立开发的，各系统的数据在逻辑结构和物理结构上存在很大差异，给数据的共享与交换带来困难，因此，产品数据共享与交换就成为计算机辅助制造工程技术发展中亟待解决的基础技术问题。

从系统化的角度来看，成组技术（GT, Group Technology）是提高多品种、中小批量机械制造业生产效率和水平，增加生产效益的一种基础技术。近几年来，成组技术的概念不仅从开始的机械加工工艺扩充到产品设计与制造的全过程，而且与计算机技术、数控技术结合起来，在 CAD, CAPP, CAM, 计算机辅助生产管理乃至柔性制造系统（FMS, Flexible Manufacturing System）, CIMS 等现代制造技术领域起到重要作用。

在逻辑决策方面，以专家系统为代表的符号化人工智能技术在计算机辅助制造工程中得到广泛应用，从而成为实现计算机辅助制造工程软件智能化的重要基础技术。

在本章中，将对数据库、产品数据交换、成组技术、知识处理及专家系统等基础技术进行简要介绍。

2.1 数据库技术

2.1.1 数据库系统概述

1. 数据库系统

工程设计制造中包含了各种数据处理的过程。一项产品设计的开始，通常需要处理用户对产品性能的需求数据、相关零部件的设计数据、设计标

准和规范数据等等。产品设计过程中要产生对产品结构、形状、材料、工艺和测试条件等描述的信息。产品设计数据将用于指导产品制造的备料、加工、测试、维护以及更新换代等一系列活动。同样，工艺设计、工装设计、数控程序编制等产生产品工艺、工装、数控程序等制造信息。

人工设计过程的数据处理主要靠手工完成，数据以纸面方式保存和使用，数据的管理也靠手工来做。在计算机辅助制造工程中，数据处理和数据管理主要由计算机辅助完成，数据以电子编码方式在计算机内保存，以工程人员能够理解的方式使用。计算机应用系统的价值不仅体现在处理功能方面，存储在计算机系统内已有的应用数据资源也是重要的指标。可见，数据管理对计算机应用具有举足轻重的地位。

传统的基于文件形式的数据管理侧重于数据在外存的存储安排方面，数据通常是描述应用对象的，文件中数据的结构由应用程序定义和处理，文件和应用程序相互关联，数据共享性较差。

要使数据能够共享，需要在建立语义层次数据模型的基础上对数据进行整理和规范。应用问题的语义层次数据模型不仅反映对象的属性，也反映对象之间的关联。把描述对象及对象间关联的数据集中在一起管理，就能够使数据和数据存储以及数据和数据的应用之间具有较高的独立性。按照语义层次数据模型设计的数据逻辑结构可以比较全面反映处理应用问题时对数据的需求。不同用户可使用相同的结构框架存取和处理各自需要的数据，从而提高了数据共享能力。这就是数据库管理的基本宗旨。

数据库系统是计算机化的信息系统，由称作数据库管理系统（DBMS）的通用软件包管理数据。数据库系统是由 4 个主要部分组成，它们是数据库、数据库管理系统（软件）、计算机硬件和数据库管理员。下面简要介绍每一部分。

（1）数据库

数据库可粗略理解为“数据的仓库”，数据库是存储在一起并相互关联的数据的集合。数据库以最小的冗余为多种应用服务；数据的存储独立于应用程序，应用程序能共享数据资源；有一个专门的软件（数据库管理系统）统一管理和维护这些数据。

数据库的逻辑结构是理解、设计和操作数据库的基础，通常采用三级库结构模型来表达与数据库有关的三类人员对库结构的理解的描述。对应系统程序员视角的是物理级数据库，对它的描述称为内模式或存储模式。物理级数据库指库内使用的各种数据文件；物理级数据库是实际存在的数据仓库，是对数据进行操作的基础。对应数据库管理员视角的是概念级数据库，对它的描述称为概念模式或模式。概念级数据库是对数据库整体逻辑结构的理解，模式是对数据库整体逻辑结构的描述。在概念层人们关注对应用问题的数据模拟，包括描述应用对象及对象间关联的数据的结构框架。概念级数据库设计是数据库应用开发的基础。对应用户视角的用户级数据库，对它的描述称为模式或子模式。用户数据库是用户对其感兴趣的数据库局部逻辑结构的理解。同时，外模式也是对数据库局部逻辑结构的描述，它是用户看到并操作的数据库的结构描述，也称为用户视图。

在概念模式和内模式之间以及概念模式和外模式之间存在着映象机制，这种机制通过三级库结构之间的映象协调实现了应用程序和库内数据之间的相互独立，提高了数据共享能力。

（2）数据库管理系统

数据库管理系统（DBMS, Database Management System）是统一管理整个数据库的应用支撑软件，它一般自成体系，在操作系统软件的支持下运行。对任何一个数据库系统，实际存

在的只是物理级数据库。概念级数据库是面向应用问题的抽象描述，这种描述是为了方便人们对数据库逻辑结构的理解。用户级数据库是面向用户的接口，用户按照各自的外模式对数据库进行操作。DBMS的中心任务是实现这三级库结构之间的转换，把对数据库的各种操作转换到物理级去执行。DBMS的主要功能有数据库定义、数据库操作控制、数据库维护等几个方面。

数据库语言是数据库应用开发人员请求 DBMS 提供服务的通信工具。通信方式有两种：一种是命令方式，在交互环境下由用户输入命令，DBMS 按照用户要求提供服务；另一种是编程方式，在应用程序中调用 DBMS 功能。数据库编辑语言有两种：一种是所谓自含型语言，它们作为独立的语言单独使用，比如 xBASE 系列数据库开发环境提供的语言等；另一种是所谓宿主型语言，它们仅作为某个主语言的功能扩充，嵌入在主语言中使用，执行数据库操作功能，比如嵌入式 SQL 语言等。

SQL 语言是关系数据库的标准语言。SQL 语言精致、简洁，命令数量不多，但具备对数据库操作的基本功能。SQL 语言还具有非过程化语言的特征，即只须用 SQL 语句说明“做什么”，而无须指明“怎么做”，这一特性深受用户欢迎。目前 SQL 语言已成为操作关系数据库的标准接口。

(3)数据库系统硬件

运行数据库系统的计算机需要有足够大的内存、容量足够大的磁盘等联机直接存取设备和较强的内外存交换能力，以支持对外存的频繁访问。

(4)数据库管理员

在大多数企业组织中，终端用户并不能直接控制数据库中的数据，而是由一个或一个小组的专家来控制与管理数据库，这个人或小组便称作数据库管理员（DBA）。DBA 按企业的需要与全部终端用户打交道，总结他们的需求。DBA 的成员大多是 DBMS、数据库设计、主机操作系统、数据通信、计算机硬件和应用程序设计等方面的专家。

2. 数据模型

从应用的角度来看，应用对象的状态和变化需要用数据表示。用数据描述应用对象涉及语义层次数据模型和结构层次数据模型。语义层次数据模型需要在对应用问题分析和抽象的基础上建立，目前使用的主要有实体-联系模型。结构层次数据模型与数据结构设计和实现相关，目前使用的有层次模型、网状模型和关系模型等三种。

(1)层次模型 (Hierarchical Model)

用树 (Tree) 结构表示实体之间联系的模型叫层次模型。树由节点和连线组成。树的最高位置只有一个节点，称为根，根以外的其他节点都有一个父节点与之相连，同时有一个或多个子节点与之相连。处于树的末端的节点没有子节点。

(2)网状模型 (Network Model)

如果在层次模型中每一个节点可以有多个父节点，那么就变成了网。用网结构来表示实体及其联系的模型称为网状模型。显然，层次模型是网状模型的特殊形式。

(3)关系模型 (Relative Model)

在关系模型中，将数据库数据以关系 (Relation) 或表 (Table) 的形式进行组织。每个数据库的数据可划分成多个关系，每个关系的组成由关系模式定义，数据库的全部关系模式的集合称为数据库模式。关系模型由关系、关系上定义的操作和对关系的完整性的规划组成。