

第 1 章 序 言

1.1 CAM 概述

近年来 CAD(Computer Aided Design—计算机辅助设计)成为 CAD/CAM(Computer Aided Manufacturing—计算机辅助制造)集成系统技术创新的主角。相比之下, CAM 领域却显示出不应有的沉寂。即使是在技术更新较迅速的船舶制造业, CAM 的应用仍然跟不上 CAD 的步伐。尽管如此, 计算机辅助制造仍是船舶制造业发展的大趋势, 现代船舶的制造对效率与质量的要求不断提高, 必然需要计算机辅助制造在船舶制造中的广泛应用。随着信息化需求的不断增加, 企业同样热切企盼 CAM, 希望技术创新之风能吹进 CAM 领域, 涌现出能够与 CAD 系统相匹配、功能强大、更符合加工工程化概念、易于普及的新一代 CAM 产品。

CAM 作为整个集成系统的重要一级, 向上与 CAD、CAPP(Computer Aided Process Planning—计算机辅助工艺规程设计)实现无缝集成, 向下方便、快捷、智能、高效地为数控生产服务, 这是 CAM 技术发展永远不变的主题。面向对象、面向工艺特征的新概念, 已经与 CAD 技术中面向对象的设计、特征建模等相呼应, 在一些专业化的 CAM 系统中得到了成功的应用, 为新一代 CAM 的诞生进行了必要的经验积累、技术储备与思想准备。

当今 CAM 技术在学习、掌握与应用上的困难, 与生产快速发展对 CAM 人才迫切要求之间的矛盾日益突出, 为新一代 CAM 的成熟与发展提供了市场基础。制造业不断涌现的新技术、新工艺, 诸如高速加工技术等也对 CAM 技术提出了更高的要求。网络技术的发展使 CAD/CAPP/CAM/CAE(Computer Aided Engineering—计算机辅助工程)/PDM(Product Data Management—产品数据管理)集成化体系摆脱空间的约束, 能够更好地适应现代企业的生产布局及生产管理的要求。为适应集成化体系的要求, CAM 的结构体系与功能构成也必然会发生相应的变化。因此我们有理由认为新一代的 CAM 技术正处在孕育、发展与成熟之中, 新一代 CAM 会在不久的将来兴起。

1.1.1 CAM 的应用与发展趋势

纵观 CAM 技术的发展历程, 我们可以得出如下结论。

①CAM 的发展历程是一个不断吸收和利用 CAD 及周边相关技术的应用成果的过程; 是自动化、智能化水平不断提高的过程, 是 CAM 系统结构及基本处理方式不断向适应工程化概念的方向发展的过程。

系统的基本处理方式, 即编程的目标对象对系统的结构、智能化水平等起着决定性作用。CAM 系统在 APT(Automatically Programmed Tools—自动编程工具)时代, 编程的目标对象为直接计算刀路轨迹。第二代 CAM 系统以 CAD 模型为编程的目标对象, 自动生成刀路轨迹。因而系统的自动化、智能化水平得到了大幅度提高, 系统的操作也更符合工程化概念。

第二代 CAM 系统以 CAD 模型的局部几何特征为目标对象的基本处理形式已经成为

智能、自动化水平进一步提高的制约因素。只有突破当今的固有模式，发展新一代的 CAM 系统 即面向模型、面向工艺特征的 CAM 系统 才能够将 CAM 的自动化、智能化水平提高到一个新的高度。

可以预见 正在孕育、成熟、发展的新一代 CAM 系统 将采用面向对象、面向工艺特征的基本处理方式，使系统的自动化水平、智能化程度大大提高。系统结构将独立于 CAD、CAPP 系统而存在 为 CAPP 的发展留下空间，更符合网络集成化的要求。

CAD/CAM 技术从兴起到现在已经发展成为一门新兴产业，在一些先进国家已形成从研究开发、生产制造、推广应用到销售服务的完整高科技产业。据统计，美国的 CAD/CAM 市场总额在最近十几年的年平均增长率在 15% 以上，明显地高于其他产业的增长率。1989 年 美国国家工程科学院对人类 25 年间 1965 年 ~ 1989 年 10 项最杰出工程技术成就进行评比结果显示 CAD/CAM 技术的开发和应用排在第四位。在我国，发展 CAD/CAM 已成为政府、企业、研究机构的普遍共识 国家已专门制定了有关 CAD/CAM 发展的远景纲要。

这些都说明计算机辅助制造 (CAM) 技术的普及应用的必然性 同样 我国的船舶行业也要努力研究、应用计算机辅助船舶制造技术，以实现我国的船舶制造自动化的目标。

1.1.2 CAM 的创新方向

CAM 作为应用性、实践性极强的专业技术，直接面向数控生产实际。生产实际的需求是所有技术发展与创新的原动力。分析总结当今 CAM 的应用现状及其与生产实际要求的差距和原因 新工艺、新技术对 CAM 的特殊需要以及相关外围技术的发展与要求等，有助于更好地了解今后 CAM 的发展趋势。

1. CAM 的应用现状及与实际需求间的差距

因为应用的实践性更强，专业化分工更明确，所以就总体而言，CAM 的专业化水平高于 CAD。通过分析主流的 CAM 系统可以看出，现今的多数 CAM 系统都存在着共同的缺陷。

(1) CAD/CAM 混合化的系统结构体系

现今的 CAM 系统交叉使用 CAD 与 CAM 功能 这不是面向整体模型的编程形式 而且工艺特征需由人工提取 或需进一步由 CAD 处理产生。该结构体系的形成是历史的产物，由于当时集成系统特别是网络化集成的观念还没有成为系统开发的主体思想，模型的建立与编程在同一地点由同一个操作者完成，因此会造成很多的问题。

不适当今集成化的要求。系统的模块分布、功能侧重，必须与企业的组织形式、生产布局相匹配。系统混合化不等于集成化，更不利于网络集成化的实现。

②不适合现代企业专业化分工的要求。混合化系统，无法实现设计与加工在管理上的分工 增加了生产管理与分工的难度 也极大地阻碍了智能化、自动化水平的提高。另外 混合化系统要求操作者在 CAD 与 CAM 两个方面都要有深厚的理论基础与实践经验才能很好地完成工作，增加了学习掌握与使用系统的难度。一般需 1 ~ 3 年的实践才能成为称职的 CAM 操作人员，对企业人才的管理造成了极大的负面影响。

没有给 CAPP 的发展留下空间与可能。众所周知，CAPP 是 CAD/CAM 一体化集成的桥梁，CAD/CAPP/CAM 混合化体系决定了永远不可能实现 CAM 的智能化与自动化。因为生产工艺的标准化程度低 同时受到生产设备、刀具、管理等因素的影响 所以至今没有一个成熟的、以创成法或派生法为推理机制的商品化的 CAPP 系统。但随着 CAD、CAM 等技术的成功应用 以及工艺库、知识库的完善 将来 CAPP 也会有相应的发展 逐步实现 CAD/CAPP/

CAM按科学意义上的一体化集成，而混合化的系统将得以从结构上一体化集成。

(2) 面向曲面、以局部加工为基本处理方式

当今 CAM 系统一般都是曲面 CAM 系统，是面向局部加工的处理方式，而数控加工是以模型为结果，以工艺为核心的工程过程。先进的 CAM 系统应该采取面向整体模型、面向工艺特征的处理方式。当前这种非工程化概念的处理方式肯定会造成一系列的问题。

不能有效地利用 CAD 模型的几何信息，无法自动提取模型的工艺特征，只能靠人工提取，甚至靠重新模拟计算来取得必要的控制信息，无疑增大了操作的繁琐性，影响了编程质量与效率，致使系统的自动化程度与智能化程度很低。

局部加工计算方式靠人工或半自动进行防过切处理，由于不是面向整体模型为编程对象，系统没有从根本上杜绝过切现象产生的可能，因而不能满足高速加工等新工艺在高速条件下对安全的要求。

2. 当今 CAM 应用在生产组织与管理上的问题

现今的 CAM 系统及操作人员远离生产现场，致使因不了解现场情况而造成不应有的工作反复，浪费了时间，降低了效率，甚至造成废品。CAD/CAPP/CAM 需要在信息流上集成一体、无缝连接，但往往忽略了企业在生产组织与管理上要求 CAD、CAPP、CAM 应对照应用场合、操作人员、系统功能、生产布局合理安排。

3. 制造业新技术对 CAM 的特殊要求

毋庸置疑，近年来制造业新技术的最大热点是高速加工技术。最新的工艺研究表明，高速加工技术在简化生产工艺与工序、减少后续处理工作量、提高加工效率、提高表面质量等几个方面，能够极大地提高产品质量、降低生产成本、缩短生产周期。高速加工技术对 CAM 也提出了新的特殊要求。

(1) 安全性要求

高速加工采用小切削深度、小切削量、高进给速度，特征加工的一般切削速度为传统加工的 10 倍以上（可达到 $2000 \sim 8000 \text{ mm/min}$ ），在高速进给条件下，一旦发生过切、几何干涉等，后果将是灾难性的，故安全性要求是第一位的。传统的 CAM 系统靠人工或半自动防过切处理方式，没有从根本上杜绝过切现象的发生。靠操作者的细心、责任心等人为因素是没有安全保障的，无法满足高速加工安全性的基本要求。

(2) 工艺性要求

高速加工要求刀路的平稳性，避免刀路轨迹的尖角（刀路突然转向），尽量避免空刀切削、减少切入/切出等，故要求 CAM 系统具有基于残余模型的智能化分析处理功能、刀路光顺化处理功能、符合高速加工工艺的优化处理功能及进给量优化处理功能（切削优化处理）等。为适应高速加工设备的高档数控系统，CAM 应支持最新的 NURBS(Nonuniform Rational B-Splines)——非均匀有理 B 样条编程技术。

(3) 高效率要求

高效率体现在两个方面。

编程的高效率。高速加工的工艺性要求比传统数控加工高了很多，刀路长度是传统加工的上百倍，一般编程时间远大于加工时间，故编程效率已成为影响总体效率的关键因素之一。传统的 CAM 系统采用面向局部曲面的编程方式，系统无法自动提供工艺特征，编程复杂程度高，对编程人员除工艺水平之外（基本要求）还要求有很高的使用技巧。因此，迫切需要具有高速加工知识库的、智能化程度高的、面向整体模型的新一代 CAM 系统。

优化的刀路确保高效率的数控加工，如基于残余模型的智能化编程可有效地避免空刀进给量优化处理可提高切削效率 30%等。

综上所述 当今的 CAM 系统虽然为现代制造业的发展立下了汗马功劳，但在生产管理、操作使用上仍存在着与实际要求的巨大矛盾；在结构上、功能专业化等方面与网络系统集成的要求存在严重的不协调；基本处理方式严重阻碍智能化、自动化水平的提高。这一切都使新一代 CAM 的诞生与发展成为必需。CAD 技术中面向对象、面向特征的建模方式的巨大成功 为新一代 CAM 的发展提供了参考模式 网络技术为 CAM 的专业化分离与系统集成提供了可能。通过以上的分析，新一代 CAM 系统的大致轮廓已经显现。

1.2 CAM 的基础知识

1.2.1 CAM 的基本概念

CAD/CAM 是计算机辅助设计 (CAD) 与计算机辅助制造 (CAM) 相结合而组成的计算机应用系统。计算机辅助设计就是由计算机来完成产品中的计算、分析模拟、制图、编制技术文件等工作，它是利用计算机帮助设计人员进行设计的一种专门技术。

计算机辅助制造，就是用计算机对生产产品的设备进行管理、控制和操纵，最后完成产品的加工制造。具体说就是计算机根据设计出的图纸及技术文件，帮助人制定生产计划、确定零部件加工顺序、选择加工设备和刀具，并确定加工数据。然后再将有关指令输送到各自动加工设备中进行自动加工 计算机根据各种传感设备测出的数据 监视、修改其加工过程。最后再由计算机控制搬运机械进行运送，并控制检验机器进行必要的检验……总之，CAM 就是用计算机控制整个 (或局部) 加工过程 直到产品制造出来为止。

CAD/CAM 技术是一项综合性的、复杂的、正在迅速发展之中的高新技术。把计算机辅助设计和计算机辅助制造集成在一起 称为 CAD/CAM 系统。因为机械设计、制造和分析的密切相关性 很多 CAD 系统逐渐添加 CAM 和 CAE 的功能，所以工程界习惯上把 CAD/CAM 系统或者 CAD/CAM/CAE 仍然叫做 CAD 系统 这样就扩大了 CAD 系统的内涵。企业资源计划 ERP (Enterprise Resource Planning) 制定生产计划、销售和采购计划时 需要从 CAD 系统获得产品结构 从计算机辅助工艺规划 CAPP 系统获得制造每个零件的工时和材料定额等基础数据；同时，需要将产品数据管理 PDM 系统作为集成的桥梁，因此出现了 CAD/CAM/CAPP/ERP/PDM 的集成。这些技术不同程度地集成 可以满足从“甩图板”构建中小规模 CAD/CAM 系统 到建立企业级 CIMS、实施并行工程等各个层次的需求。

CAD/CAM 软件技术涉及到系统框架设计、数据模式定义及其交换规范、各种算法设计、工程数据库设计、动态仿真等很多领域。CAD/CAM 技术还涉及到许多科学领域，如计算机科学与工程、计算机图形学、机械设计、人机工程、电子技术及其他很多工程技术 体现了现代高新技术之间的相关性。

船舶计算机辅助设计制造技术属于 CAD/CAM 技术的一个主要分支，与广义的 CAD/CAM 系统结构 and 应用基本相同。船舶 CAD/CAM 在一定程度上代表了当今计算机辅助设计制造的最流行技术，并有着自己的应用发展特色。

1.2.2 CAM 的历史

CAM 技术发展至今 无论在软件和硬件平台、系统结构、功能特点上都发生了翻天覆地的变化。当今流行的 CAM 系统与过去的系统相比在功能上存在着巨大的差异。就其具有决定意义的基本处理方式与目标对象上看，主要可分为两个主要发展阶段，可认为是两代产品。

第一代 CAM APT

20 世纪 60 年代在专业系统上开发的编程机及部分编程软件，如 FANUC、Siemens 编程机，其系统结构为专机形式，基本处理方式是人工或辅助式直接计算数控刀路，编程目标与对象也都是直接数控刀路。缺点是功能差，操作困难，只能专机专用。

第二代 CAM 曲面 CAM 系统

系统结构一般是 CAD/CAM 混合系统 较好地利用了 CAD 模型 以几何信息作为最终的结果，自动生成加工刀路。该系统自动化、智能化程度得到了大幅度提高，具有代表性的是 UG、DUCT、Cimatron、MarsterCAM 等。基本特点是面向局部曲面的加工方式，表现为编程的难易程度与零件的复杂程度直接相关，而与产品的工艺特征、工艺复杂程度等没有直接相关关系。尽管该时期的时间跨度达 20 年 系统档次差异很大 智能化水平高低亦不同 但在结构体系上没有质的变化。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing) 技术的发展及其与相关系统的关系，可用图 1-1 来说明。

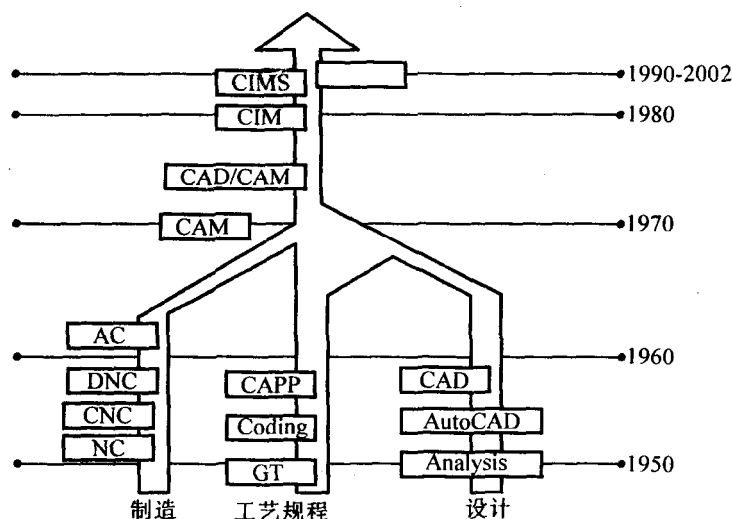


图 1-1 CAD/CAM 技术的发展过程

图 1-1 中涉及的系统包括：

CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)——计算机集成制造系统

CIM(Computer Integrated Manufacturing)——计算机集成制造

CAD(Computer Aided Design)——计算机辅助设计

CAM(Computer Aided Manufacturing)—— 计算机辅助制造
AC(Adaptive Control)—— 自适应控制
DNC(Direct Numerical Control)—— 直接数字控制
NC(Numerical Control)—— 数字控制
CAPP(Computer Aided Process Planning)—— 计算机辅助工艺规程设计
Coding—— 编码程度
GT(Group Technology)—— 成组技术
AutoCAD—— 自动计算机辅助设计
Analysis—— 解析计算

1.2.3 CAM 的应用及功能

计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)技术是产品设计人员和组织产品制造的工艺技术人员在计算机系统的辅助之下,根据产品的设计和制造程序进行设计和制造的一项新技术,是传统技术与计算机技术的结合。设计人员通过人机交互操作方式进行产品设计构思和论证、产品总体设计、技术设计、零部件设计、有关零件的强度、刚度、热、电、磁的分析计算和零件加工信息(工程图纸或数控加工信息等)的输出,以及技术文档和有关技术报告的编制。而工艺设计人员则可以根据CAD过程提供的信息和CAM系统的功能,进行零部件加工工艺路线的编制和加工状况的预显,以及生成控制零件加工过程的信息。由于计算机技术的引进,大大地促进了设计和制造能力的提高,这种能力的提高,不但体现在工作效率和工作质量方面,更体现在先进的计算机技术对传统的工作方式的促进和变革方面。

制造业发达是一个国家经济强盛的标志。随着科学与技术的进步,电子、信息及自动化技术的广泛应用,使生产得到了巨大发展,市场竞争亦变得愈来愈激烈,竞争推动着整个社会飞速前进,同时也给企业造成了严酷的生存环境。

因此,世界各国的企业都面临着严重挑战。如何缩短日趋复杂的产品开发周期以抢占市场、降低成本、适应快速变化的市场需求,是各企业面临的严重课题。不断以高质量、低成本、快速开发新产品等手段,在竞争中求生存和发展,已成为企业共同追求的目标。为了达到上述目标,企业应该不断强化计算机辅助技术在产品设计生产过程中的作用。

我国的船舶计算机辅助制造技术(CAM)尚处于起步阶段,但是在国家的大力支持下,船舶行业的计算机辅助设计和制造技术发展迅猛,已经引进应用了国外最先进的CAD/CAM软件系统,同时自主研发了一系列的自有版权的船舶CAD/CAM软件系统。计算机辅助制造技术应用的快速普及,必将改变我国现今船舶制造自动化水平不高的落后状态。

1.3 CAM 系统环境

1.3.1 引言

一个CAM系统包括硬件平台、网络环境和软件系统,这三个方面决定了CAM系统在制造业中所能发挥的作用。科学合理地配置CAM系统是成功的关键。

1.3.2 CAM 硬件系统组成

一般讲,一个 CAD/CAM 系统基本上只适用于某一类产品的设计和制造,如电子产品 CAD/CAM 只适用于设计制造印制板或集成电路,而机床的 CAD/CAM 只适用机床的设计和制造,这两个系统不仅基础和专业软件不一样,而且硬件配置上也有差异。但从系统的逻辑功能和系统结构角度来看还是基本相同的。不管是用于何种产品,包括船舶这一大型产品,其设计和制造的 CAD/CAM 系统,从逻辑功能角度来看,基本上是由计算机和一些外部设备(计算机和外部设备通常为硬件及相应的软件,其中包括系统软件、支撑软件及应用软件)组成的如图 1-2 所示。但对于一个具体的 CAD/CAM 系统来讲,其硬件、软件相互的配置是需要进行周密考虑的,同时对硬软件的型号、性能以及厂家都需要进行全方位的考虑。

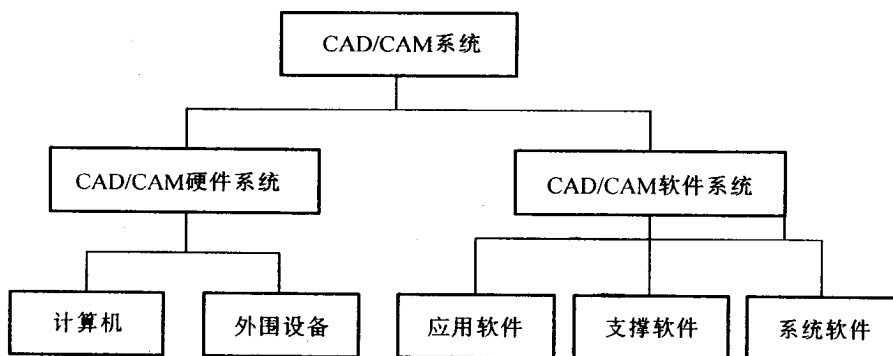


图 1-2 CAD/CAM 系统的基本结构

在船舶企业 CAD/CAM 系统中 系统软件配置如图 1-3 所示。

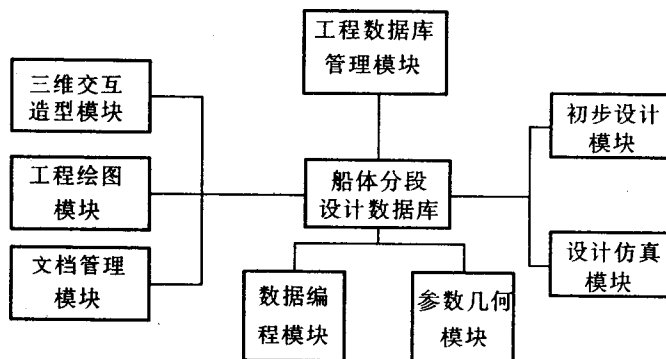


图 1-3 CAD/CAM 系统软件配置

1.3.3 新一代 CAM 的基本结构与主要特征预测

新一代 CAM 的软硬件平台

WinTel 结构体系因优异的价格性能比、方便的维护、优异的表现、丰富的外围软件支持，已经取代 UNIX 操作系统成为 CAD/CAM集成系统的支持平台。OLE 技术及 D&M 技术的应用将会使系统集成更方便。今后 CAM 的软件平台无疑将是 Windows NT 或 Windows 2000 硬件平台将是高档 PC 或 NT 工作站系列。随着高档 NC 控制系统的 PC 化、网络化及 CAM 的专业化与智能化的发展，工业产品的制造将更趋向于便捷、高效和优质。

2. 新一代 CAM 系统的界面形式

今后将摒弃多层菜单式的界面形式，取而代之的是 Windows 界面，其操作简便，并附有项目管理、工艺管理树结构，可以为 PDM 的集成打下基础。

3. 新一代 CAM 系统的基本特点

(1) 面向对象、面向工艺特征的 CAM 系统

以传统 CAM 面向曲面为目标的体系结构将被改变成面向整体模型（实体）面向工艺特征的结构体系。系统将能够按照工艺要求（CAPP 要求）自动识别并提取所有的工艺特征及具有特定工艺特征的区域，使 CAD/CAPP/CAM 的集成化、一体化、自动化、智能化成为可能。

(2) 基于知识的智能化 CAM 系统

新一代的 CAM 系统不仅可智能化判断工艺特征，而且具有模型对比、残余模型分析与判断功能，使刀具路径更优化，效率更高。同时面向整体模型的形式也具有对工件包括夹具的防过切、防碰撞功能，提高操作的安全性，更符合高速加工的工艺要求，并开放与工艺相关联的工艺库、知识库、材料库和刀具库，使工艺知识积累、学习、运用成为可能。

(3) 能够独立运行的 CAM 系统

要实现与 CAD 系统在功能上分离，并实现在网络环境下集成，CAM 系统就必须具备相当智能化水平。CAM 系统不需要借助 CAD 功能，它可以根据工艺规程文件自动进行编程，大大降低了对操作人员的要求，也使编程过程更符合数控加工的工程化要求。

(4) 使相关性编程成为可能

尺寸相关、参数式设计、修改的灵活性等 CAD 领域的特征，自然希望被引伸到 CAM 系统之中。在已开发的系统中，以 Delcam 公司的 PowerMILL 及 WorkNC 为代表，采用面向工艺特征的处理方式，系统以工艺特征提取的自动化来实现 CAM 编程的自动化。当模型发生变化后，只要按原来的工艺路线重新计算，即可实现 CAM 的自动修改。由计算机自动进行工艺特征与工艺区域的重新判断并全自动处理，可使相关性编程成为可能。目前已有成熟的产品上市，并为北美、欧洲等发达国家的工模具界所接受。据报道，已有公司试图直接将参数化的概念引入 CAM 中，据称是以同一数据库的方式来解决参数化编程问题。从技术角度上，笔者认为，实体的参数化设计是有限参数下的特殊概念，而 CAM 是按照工艺要求对模型进行离散化处理，具有无限化或不确定参数的特性。因而与参数化 CAD 有着完全不同的特点。就像参数化的概念一直无法成功地引伸到曲面 CAD 中一样，CAM 的参数化也将面临着巨大的困难。按加工的工程化概念，CAM 不是以几何特征，而应是以工艺特征为目标进行处理。几何特征与工艺特征之间没有必然的、惟一的相关关系，而当几何参数发生变化时，工艺特征的变化没有相关性，并存在着某些工艺特征消失或新的工艺特征产生的可能性。所以要真正实现参数式 CAM，需要对几何参数与工艺特征间的相关性进行深入研究，并得出确切的、而且是惟一的相关关系。因此，就系统的实用性、成功的可能性而言，笔者在技术上更倾向于前者。或许两者会殊途同归。我们将时刻关注并热切希望后者能在技术上有所突破，使 CAM 技术在参数化道路上实现质的飞跃。

(5 提供更方便的工艺管理手段

CAM 的工艺管理是数控生产中至关重要的一环,也是 PDM 的重要组成部分。新一代 CAM 系统的工艺管理树结构,为工艺管理及实时修改提供了条件。较领先的 CAM 系统已经具有 CAPP 开发环境或可编辑式工艺模板,可供有经验的工艺人员对产品进行工艺设计,CAM 系统可按工艺规程进行全自动批处理。另外,新一代的 CAM 系统应能自动生成图文并茂的工艺指导文件,并可以以超文本格式进行网络浏览。

4.新一代 CAM 技术对生产与管理方式产生积极的影响

新一代的 CAM 系统将 CAM 的智能化、自动化、专业化推到一个新的高度,能更好地满足现有生产与管理的特定要求,同时,新手段的引入也会使管理方式发生相应的变化,使生产过程更规范、更合理。新一代的 CAM 系统在网络下与 CAD 系统的集成充分利用了 CAD 几何信息,并能按专业化分工,合理地安排系统在空间的分布。因此降低了对人员的综合素质要求,但却提高了专业化要求,从而使操作人员的构成发生相应的变化。同时,由于 CAM 系统专业化、智能化、自动化水平的提高,将导致机侧编程(Shop Programming)方式的兴起,改变了 CAM 编程与加工人员及现场分离的状况。

经过多年的技术积累,CAM 在市场需求、理论基础及外围技术等方面的准备已经成熟,我们有理由相信今后的几年将是 CAM 技术创新的火热年代。作为应用性终端技术,CAM 市场将出现群雄并起,多种系统并存的局面。可以肯定,CAM 将朝着网络化、专业集成化的方向发展,朝着方便、快捷、智能、自动化的方向发展。

1.4 CAD/CAM 软件系统的基本结构

计算机硬件常常是判断一个系统性能的基础,而软件则是决定由这种基础所执行的一整套策略,这两者是评价一个系统所能完成的各种功能的依据。一般来说,软件应该满足用户为解决某种工程问题所需要的环境,而且系统越大,软件在总价值中所占的份额也就越大。

另外,在实际应用中,目前往往按照 CAD 系统的大小分类:网络环境下的 CAD/CAM 系统和单机环境下的 CAD/CAM 系统。在过去几年里,基于微机的单机 CAD/CAM 系统给小型企业、个人以及教学使用带来了方便,并且这也是 CAD/CAM 技术普及的必由之路。但是,随着企业集成化管理和生产能力进一步提高的需要,网络化是必然的趋势,现代企业在 CAD/CAM 的建设过程中,必须要考虑到和 CAPP、PDM、MIS(Management Information System)等系统的集成问题。应根据企业的发展来确定 CAD/CAM 系统的建设。

1.4.1 CAM 系统的典型体系结构

常见 CAM 系统的体系结构基本上有下列三种模式。

① CAM 子系统与 CAD 和 CAE 等子系统在系统底层一级集成式开发,CAD 子系统提供强大的复杂产品造型与设计功能,生成的产品数字化定义模型为 CAM 子系统提供完备的数据服务。CAM 子系统直接在产品数字化模型上进行 NC 轨迹计算,利用强大的后置处理模块生成 NC 指令。这种系统很多,像 UGS 公司的 Unigraphics,PTC 公司的 Pro/Engineer,IBM 公司的 CATIA 等,其基本特点是功能完备,系统庞大,模块组合发售,价格昂贵。

以现有侧重产品造型的系统为平台的插件式 CAM 系统 其软件大多基于 Windows 环境 利用 Windows 体系提供的各种软件技术,以第三方的形式为产品造型系统提供插件模块或子系统 (plug-in)。如 Autodesk MDT 内嵌 HyperMILL 和 EdgeCAM; SolidWorks 内嵌 CAMWorks 负责 SDRC 系统 CAM 模块开发的伙伴公司 CAMAX 提供的 Camand Modeler(支持 3D 曲面造型 并配以 SmartCAM 支持多曲面加工)此类插件系统在文件一级操作插件平台的 CAD 产品模型上,利用特征识别(Feature Recognition)技术 直接在产品模型上获取一定复杂程度的切削区域几何表示及其加工工艺规范 当然 也支持用户的交互指令操作)进而生成 NC 加工刀位轨迹。此类 CAM 系统大多捆绑平台软件 规模紧凑 集成度高 价格便宜。

支持简单曲面造型的专用 NC 计算系统 如 CAMAX 的 Camand 和 SmartCAM, NREC 的 5 坐标叶轮加工系统 MAX-AB(着重点位加工)和 MAX-5(着重端铣和侧铣加工), CNC 的 MasterCAM 以及 Cimatron 等。这类系统提供主要面向复杂曲面形体的曲面(或曲面实体)造型及编辑的功能和更为强大的 NC 刀位轨迹计算、编辑、验证和后置处理功能。专用 NC 系统对数控机床的适应能力较强,提供更多的加工工艺定制方法。适用于中小企业或专用设备制造企业。

对于上述三类 CAM 系统而言,第一类系统基本都建立在实体模型表示上,采用交互式指点、定制形成切削方案和工艺规划;第二类则在第一类系统的基础上增添了加工特征自动识别技术;第三类系统依靠较为完备的曲面建模,仍采用交互方式在曲面模型上快速生成多种加工形式的刀位轨迹,但相对薄弱的造型功能制约了 CAM 系统的应用。

1.4.2 CAD/CAM 系统的功能界定

我们以制造业为例来说明一个 CAD/CAM 系统的功能界定。一个完整的制造企业 CAD/CAM 系统应包括如下几个由底层到高层的模块:

① CNC(Computerized Numerical Control—计算机数字控制)系统及各种自动化加工设备,包括数控加工中心等各种数控机床、三坐标数控测量机、PLC(Programmable Logic Controller—可编程逻辑控制器)监测设备等;

物料存储及运送系统 包括自动化仓库;

分布式直接数控及设备控制系统,包括直接数控群控(DDNC)系统及其与自动仓库的互联系统、工业控制系统等;

物流控制与管理系统,其功能是对物料存储及运送系统进行监测和控制,以服务于车间生产计划控制系统;

工艺规程设计与管理系统,其功能包括计算机辅助工艺规程设计、工艺数据库管理、工艺规程管理等;

⑥ 数控加工自动编程系统,包括复杂曲面模具加工自动编程系统、数控线切割/车/铣/磨等加工的自动编程系统;

⑦ 全面质量保证系统(Total Quality Insurance System);

⑧ 车间生产计划控制系统(SFCS, Shop-FLOOR Control System);

⑨ 计算机辅助工程制图(CAED—Computer Aided Engineering Drafting)系统 其功能包括辅助制图、图纸扫描及光栅-矢量混合编辑、图纸管理等;

⑩ 计算机辅助设计/辅助工程(CAD/CAE)系统 其功能包括产品的二维设计或三维设计、装配设计、工程分析及优化、工业设计、产品信息管理等;

①产品综合信息管理系统 PIIMS—Product Intergrated Information Management System) 其功能是基于一个统一的数据库、一个统一的框架对产品的各项信息,例如设计文档、设计辅助数据、产品模型(二维或三维)版本信息、工程图纸、工艺规程、工艺数据、数控加工程序等实行管理。前 8 个模块主要完成制造企业生产管理中的控制和执行功能,属于计算机辅助制造(CAM)范畴。其中,车间生产计划控制系统是对 CAM 各个功能模块的大集成。我们将这种集成系统称为车间级计算机集成制作系统。

后 3 个系统主要完成企业的产品设计功能,属于计算机辅助设计(CAD)范畴。其中,产品综合信息管理系统实现了 CAD 与 CAM 之间的集成,并为 CAD/CAM 系统与未来 CIMS 系统与其他子系统之间交换/共享信息提供良好的支持。该模块也是 CAD/CAM 系统与 CIMS 系统中其他子系统发生交互作用的界面。但最后一项功能很少出现在目前的 CAD 系统中,而是被某些软件厂商单独做成一个产品,比如图档管理系统。针对产品全生命周期的各种数据和信息的管理,可用专门的大型系统——产品数据管理系统 PDM 来实现。

设计的最终目标是生产。CAD 技术的发展及普及为设计工程师提供了先进的设计手段。然而,传统的加工技术及工具已不能适应设计技术的发展。计算机辅助制造技术(CAM)越来越成为加工需求的热点,CAM 软件的选择和应用,也正成为企业在计算机辅助技术应用方面的一个焦点。

1.4.3 数据管理软件

在 CAD/CAM 系统中,几乎所有的应用软件都离不开数据库,提高 CAD/CAM 系统的集成化程度要取决于数据库的水平。以前许多实用的 CAD/CAM 系统,尤其是规模不大的系统,其图形及几何数据的管理都采用文件系统。CAD/CAM 系统随着规格日趋扩大,信息量逐渐增加,信息内容日益复杂,正在逐步采用数据库来管理数据,并进一步提出了数据库管理系统(DBMS—Data Base Management System)。市场上流行的商用数据库管理系统,还不能满足建立工程数据库的要求,这是由于工程数据除了常用的字符、数值信息外,还有文字、图形等这些数据量很大的信息。

另外,CAD/CAM 软件系统也包含了操作系统。操作系统直接与下层的硬件打交道,应用程序则利用操作系统提供的平台完成相应的工作。操作系统界面的优劣、开放性、应用软件的多寡以及市场覆盖面的大小都影响着 CAD 系统的使用效率。

1.5 CAM 的生产过程

1.5.1 概述

到目前为止,计算机辅助制造有狭义和广义的两个概念。CAM 的狭义概念指的是从产品设计到加工制造之间的一切生产准备活动,包括 CAPP、NC 编程、工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订等。这是最初 CAM 系统的狭义概念。到今天,CAM 的狭义概念甚至更进一步缩小为 NC 编程的同义词。CAPP 已被作为一个专门的子系统,而工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订则划分给 MRP II/ERP 系统来完成。CAM 的广义概念包括的内容则更多,除了上述 CAM 狭义定义所包含的所有内容外,它还包括制

造活动中与物流有关的所有过程 加工、装配、检验、存储、输送 的监视、控制和管理。这种广义 CAM 系统中与物流有关部分的示意图如图 1-4 所示。

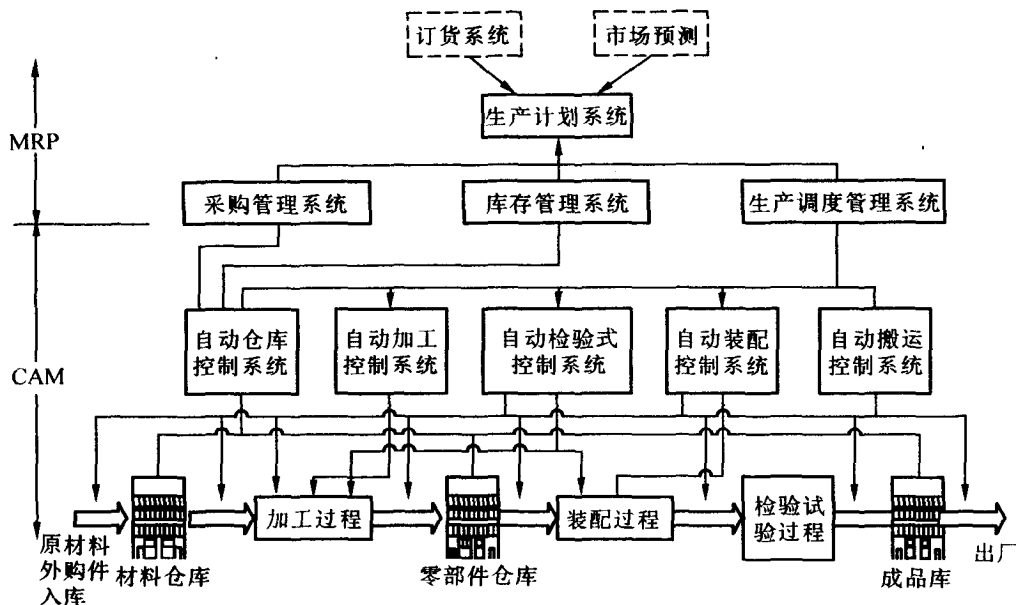


图 1-4 CAM 系统及包括的内容

1.5.2 数控系统及数控原理

1. 数控系统

数控系统是机床的控制部分，它根据输入的零件图纸信息、工艺规程和工艺参数，按照人机交互的方式生成数控加工程序，然后程序控制信号发生器发出电脉冲信号，再经伺服驱动系统带动机床部件作相应的运动。图 1-5 为数控系统的功能示意图。

传统的数控 NC) 机床上，零件的加工信息是存储在数控纸带上的，通过光电阅读机读取数控纸带上的信息，实现机床的加工控制。后来发展到计算机数控 CNC) 功能得到很大的提高，可以将一次加工的所有信息一次性读入计算机内存，从而避免了频繁地启动阅读机。更先进的 CNC 机床甚至可以去掉光电阅读机，直接在计算机上编程，或者直接接收来自 CAPP 的信息实现自动编程。后一种 CNC 机床是计算机集成制造系统的基础设备。现代 CNC 系统常具有以下功能：

- ① 多坐标轴联动控制；
- ② 刀具位置补偿；
- ③ 系统故障诊断；
- ④ 在线编程；
- ⑤ 加工、编程并行作业；
- ⑥ 加工仿真；
- ⑦ 刀具管理和监控；

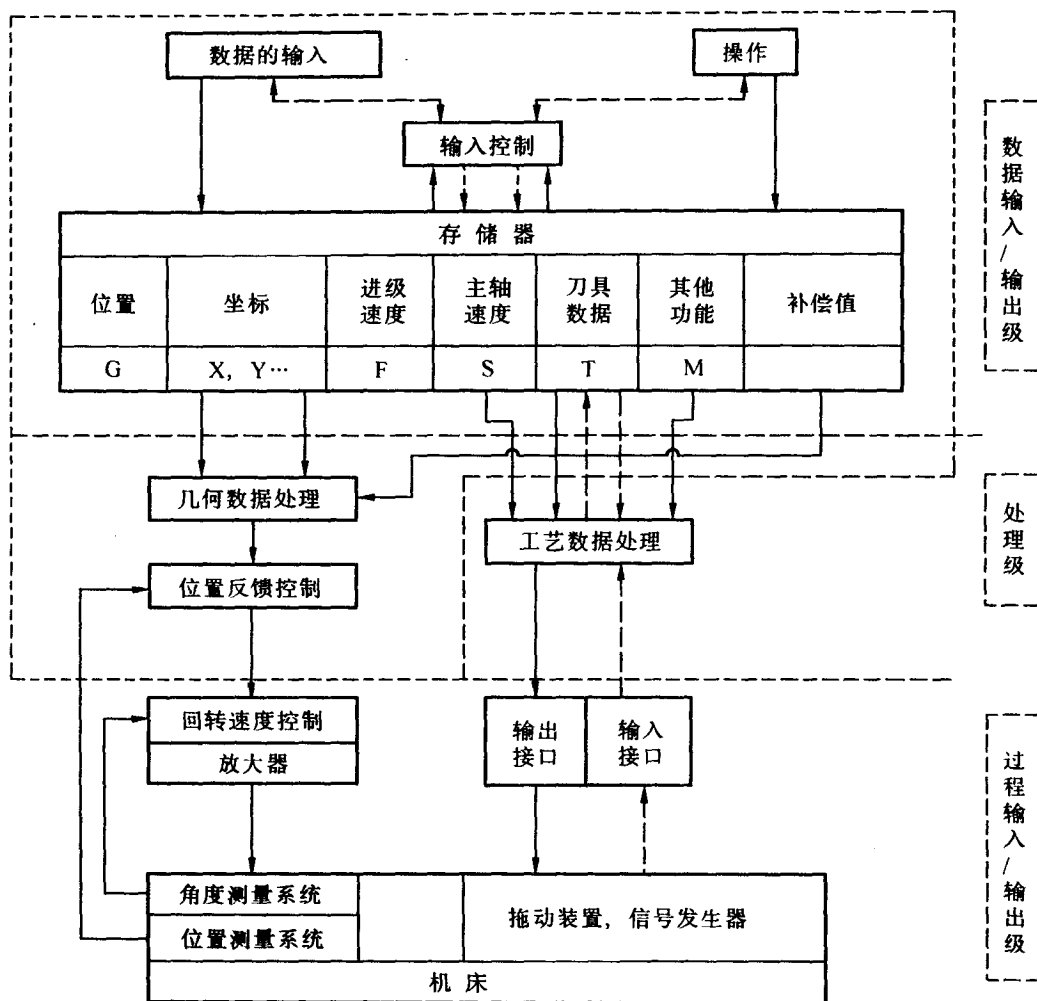


图 1-5 数控系统功能

⑧在线检测。

2. 数控编程原理

所谓数控编程是根据来自 CAD 的零件几何信息和来自 CAPP 的零件工艺信息自动或在人工干预下生成数控代码的过程。常用的数控代码有 ISO 国际标准化组织和 EIA 美国电子工业协会两种系统。其中 ISO 代码是 7 位补偶代码即第 8 位为补偶位而 EIA 代码是 6 位补奇码即第 5 位被列为补奇位。补偶和补奇的目的是为了便于检验纸带阅读机的读错信息。一般的数控程序由程序字组成，而程序字则是由用英文字母代表的地址码和地址码后的数字和符号组成的。每个程序都代表着一个特殊功能，如 G00 表示点位控制，G33 表示等螺距螺纹切削，M05 表示主轴停转等。一般情况下，一条数控加工指令是由若干个程序字组成的如 N012G00G49X070Y055T21 中的 N012 表示第 12 条指令，G00 表示点位控制，G49 表示刀补准备功能，X070 和 Y055 表示 X 和 Y 的坐标值，T21 表示刀具编号指令。整个指令的意义是：快速运动到点 (70,55)，一号刀取 2 号拨盘上刀补值。常用地址码的含义如表

1-1所示。

表 1-1 地址码及其含义

机能	地址码	意义
程序号	O	程序编号
顺序号	N	顺序编号
准备机能	G	机床动作方式指令
坐标指令	X.Y.Z A.B.C.U.V.W R I.J.K	坐标轴移动指令 附加轴移动指令 圆弧半径 圆弧中心坐标
进给机能	F	进给速度指令
主轴机能	S	主轴转速指令
刀具机能	T	刀具编号指令
辅助机能	M B	接通、断开、启动、停止指令 工作台分度指令
补偿 暂停 子程序调用 重复 参数	H.D P.X I P.Q.R	刀具补偿指令 暂停时间指令 子程序号指定 固定循环重复次数 固定循环参数

数控编程的方式一般有 4 种：

手工编程；

数控语言编程；

③CAD/CAM 系统编程；

自动编程。

3. 手工编程

手工编程是编程人员按照数控系统规定的加工程序段和指令格式，手工编写出待加工零件的数控加工程序。手工编程的主要步骤如下：

根据零件图纸对零件进行工艺分析；

②确定加工路线和工艺参数 装夹顺序、表面加工先后顺序、切削参数)；

确定刀具移动轨迹 起点、终点、运动形式)；

计算机床运动所需要数据；

书写零件加工程序单；

⑥纸带穿孔。

可见，手工编程同时也包括了制定工艺规程的内容，手工编程目前已用得很少。

4. 数控语言编程

使用数控语言编程往往被称为“自动编程”，这种叫法来源于 APT (Automatically Programmed Tools) 数控编程语言。事实上，它并不是自动化的编程工具，只是比手工编程更进一步实现了用‘高级编程语言’来编写数控程序。这种编程系统的工作过程如图 1-6 所示。

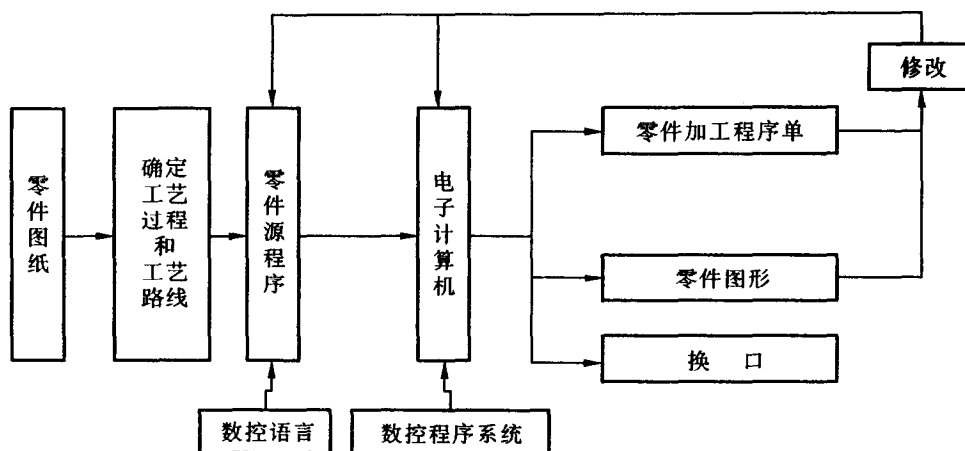


图 1-6 数控语言编程过程

用数控语言编程就是用专用的语言和符号来描述零件的几何形状和刀具相对零件运动的轨迹、顺序和其他工艺参数等。由于采用类似于计算机高级语言的数控语言来描述加工过程，大大简化了编程过程，特别是省去了数值计算过程，提高了编程效率。用数控语言编写的程序称为源程序，计算机接受源程序后，首先进行编译处理，再经过后置处理程序才能生成控制机床的数控程序。目前常用的数控编程语言是美国麻省理工学院开发的 APT 语言。APT 语言词汇丰富，定义的几何类型多，并配有多种后置处理程序，通用性好，获得广泛应用。APT 语言的源程序是由语句组成的，共有 4 种类型的语句。而语句则是由词汇、数值、标识符号等按一定语法规则组成的。

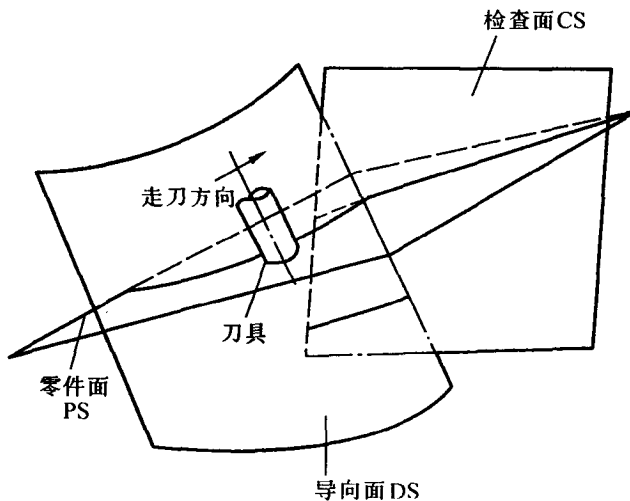


图 1-7 零件面、导向面和检查面

(1) 几何定义语句

几何定义语句的一般形式为：〈标识符〉= 〈几何元素专用词〉/参数。例如，语句 C1 =

CIRCLE/20,80,12,5 中,C1为几何元素定义的名字,CIRCLE为几何元素类型(圆),20,80,12,5分别表示圆心的坐标值和半径值。

(2)刀具运动语句

刀具运动语句用来模拟加工过程中刀具运动的轨迹。在APT中用3个表面来定义刀具的位置和运动轨迹。这3个表面是零件面(PS)、导向面(DS)和检查面(CS)如图1-7所示。其中零件面是刀具运动过程中形成的表面；导向面用来定义刀具和零件面之间的位置关系；检查面用来确定每次走刀运动的刀具终止位置。例如TLONPS和TLOFPS分别表示刀具中心正好位于零件面上和不位于零件面上，TLLFT表示刀具在导向面的左面。

(3)工艺数据语句

工艺数据语句用来描述工艺数据和一些控制功能。例如采用SPINDL/n,CLW表示主轴的转速n和转动方向(CLW)采用CUTTER/d,d表示铣刀直径和刀尖圆角半径等。

(4)初始语句和终止语句

初始语句表示程序的名称，终止语句表示零件程序的结束。初始语句由“PARTNO”和名称组成 终止语句用FINI表示。

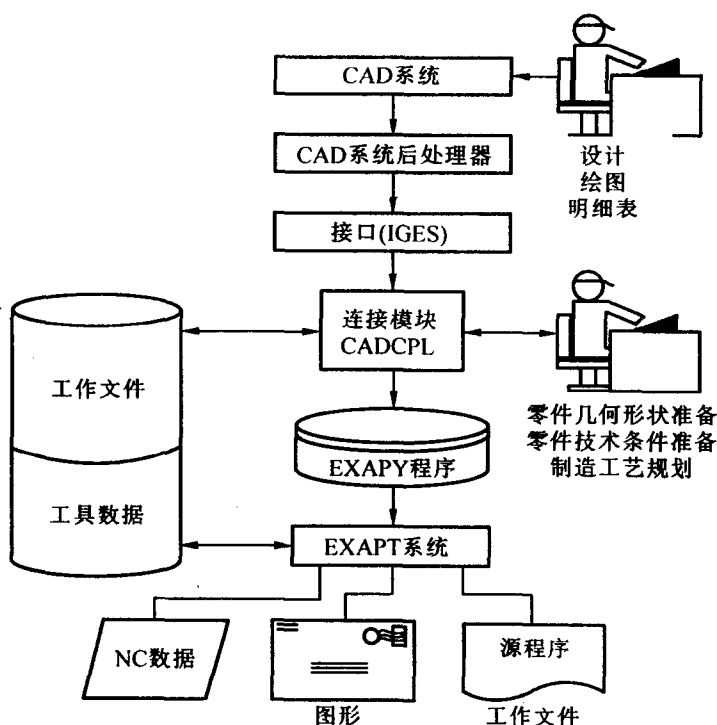


图 1-8 CAD/CAM 系统编程

5. CAD/CAM系统编程

采用数控语言编程虽比手工编程简化许多，但仍需要编程人员编写源程序，仍比较费时。为此后来又发展了CAD/CAM编程技术。到目前几乎所有大型CAD/CAM应用软件都具备数控编程功能。在使用这种系统编程时，编程人员不需要编写数控源程序，只需要从

