

普通高等教育机电类规划教材

模具CAD/CAM

华中理工大学 李志刚 主编

机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

模具 CAD/CAM

主编 李志刚

参编 李德群 张福润 李建军

李 志 王耕耘 刘全坤

主审 王 鹭

ND27/22



机械工业出版社

本书阐述了模具 CAD/CAM 的基本理论与方法,并具体介绍了模具 CAD/CAM 系统。全书分两大部分,第一部分论述了模具 CAD/CAM 系统的组成、数据处理方法、图形变换、几何造型、自动绘图和数控加工等内容;第二部分介绍了冲模、冷挤压模、锻模和注塑模的 CAD/CAM 系统。

本书可作为高等院校塑性加工专业的教材,也可供从事模具 CAD/CAM 的工程技术人员参考。

模具 CAD/CAM

(重排本)

华中理工大学 李志刚 主编

*

责任编辑:常燕宾 杨 燕 责任校对:张 媛

封面设计:姚 毅 版式设计:霍永明

责任印制:路 琳

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街 22 号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787mm $\times$ 1092mm^{1/16}·印张 14·字数 335 千字

1999 年 10 月第 1 版第 4 次印刷

印数 12 001—16 000·定价:19.00 元

*

ISBN 7-111-04155-0/TG·902 (课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

随着计算机技术的迅速发展, CAD/CAM 的应用领域不断扩大。在过去的 20 多年中, CAD/CAM 技术给塑性加工带来了许多深刻的变革。计算机的应用, 从开始完成一些计算和绘图工作, 以及数控加工模具, 发展到辅助设计模具、模拟塑性成形过程和 CAD/CAM/CAE 一体化。

我国模具 CAD/CAM 的研究与应用开始于 70 年代末, 经过 10 多年的发展, 在这方面已取得了长足的进步, 涌现出许多可喜的成果。除成功地引进和应用国外的 CAD/CAM 系统外, 一些国内自行开发的模具 CAD/CAM 系统也在生产中逐步推广应用。

为满足生产和科研单位对模具 CAD/CAM 应用与开发人才的迫切需求, 各院校的塑性加工专业已相继开设了模具 CAD/CAM 课程。因此, 由高等工业学校锻压专业教学指导委员会推荐, 并经机械工业部教育司批准, 将本书作为塑性加工专业的必修课教材, 列入“八五”教材建设规划。

为使学生通过本课程的学习能掌握模具 CAD/CAM 的基本知识, 在一定程度上能了解模具 CAD/CAM 的理论与方法, 本书论述了模具 CAD/CAM 中的一些基本问题, 并具体介绍了各类模具的 CAD/CAM 系统。全书分两大部分, 第一部分阐述了模具 CAD/CAM 系统的组成、数据处理方法、图形变换、几何造型、自动绘图和数控加工等方面的内容, 第二部分介绍了冲模、冷挤压模、锻模和注塑[⊖]模的 CAD/CAM 系统。全书循序渐进地讲解了模具 CAD/CAM 的重要概念和基本知识, 力求从理论与实践的结合上阐述模具 CAD/CAM 的系统与方法。

为了便于理解和掌握有关内容, 书中给出了一些基本的程序。但是, 由于模具 CAD/CAM 系统一般都比较复杂, 程序相当庞大, 在书中很难附上更多的程序。为增强学生上机实践的能力, 加深对模具 CAD/CAM 系统的了解, 作者编制了一套配合本书使用的模具 CAD/CAM 教学系列软件。该软件可用于教学演示, 也可用于操作练习, 有利于取得更好的教学效果。

本书由华中理工大学和合肥工业大学的七位教师分工编写。华中理工大学李志刚教授编写第一、二、三、四章以及第八章的一至四节和附录, 李德群教授编写第十章, 张福润副教授编写第七章, 李建军博士编写第五章, 李志博士编写第九章, 王耕耘编写第六章; 合肥工业大学刘全坤教授编写第八章的五、六、七节。全书由李志刚教授主编。

本书由上海交通大学王鹭副教授主审。参加本书审稿会的有清华大学叶庆荣教授、西安交通大学张子公教授、山东工业大学孙胜教授、西北工业大学杨合教授和上海交通大学陈焕文博士, 在此深表谢意。

模具 CAD/CAM 发展十分迅速, 国内外很少有这方面的教科书, 可供参考的成熟经验亦不多, 加之作者水平有限, 书中定会存在许多不足之处, 恳请读者批评指正。

编 者

1994 年 1 月

⊖ 本书暂不改为“注射模”, 仍按“注塑模”处理, 全书同。

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 CAD/CAM 的基本概念	1
第二节 模具 CAD/CAM 技术的应用	3
第三节 建立 CAD/CAM 系统的过程和方法	6
第四节 CAD/CAM 的发展趋势	10
习题	11
第二章 模具 CAD/CAM 系统的组成	12
第一节 模具 CAD/CAM 系统的硬件	12
第二节 模具 CAD/CAM 系统的软件	18
习题	21
第三章 数据的处理方法	22
第一节 数表和线图的处理方法	22
第二节 用文件系统管理数据的方法	27
第三节 数据库及其应用	30
习题	38
第四章 图形变换	39
第一节 二维图形变换	39
第二节 三维图形变换	42
习题	46
第五章 几何造型	48
第一节 几何造型的一般概念	48
第二节 几何造型中的形体表示模式与数据结构	54
第三节 一个用于冲压件的几何造型系统	59
习题	69
第六章 自动绘图	70
第一节 绘图系统	70
第二节 自动绘图机	71
第三节 绘图软件	74

第四节 Auto CAD 绘图软件包及其应用	75
习题	83
第七章 数控加工原理与程序编制	84
第一节 概述	84
第二节 数控编程中的工艺处理	97
第三节 数控加工程序的编制	104
第四节 数控自动编程技术	113
第五节 数控电火花线切割加工的程序编制	124
习题	129
第八章 冲模与挤压模 CAD/CAM	131
第一节 冲裁模 CAD/CAM 系统的结构与功能	131
第二节 毛坯排样的优化设计	134
第三节 冲裁工艺方案的设计	139
第四节 冲裁模结构设计	143
第五节 挤压模 CAD/CAM 系统的结构	149
第六节 组合挤压凹模的优化设计	151
第七节 挤压模具的结构设计	155
习题	160
第九章 锻模 CAD/CAM	161
第一节 利用成组技术建立锻模 CAD/CAM 系统的方法	161
第二节 轴对称锻件锻模的 CAD/CAM 系统	164
第三节 长轴类锻模的 CAD/CAM 系统	168
第四节 形状复杂性和飞边槽的有关算法	176
第五节 预锻型槽的设计	179
习题	182
第十章 注塑模具 CAD/CAM	183
第一节 注塑模 CAD/CAE/CAM 概	

	述	183
第二节	注塑模结构 CAD	186
第三节	注塑成型流动模拟	192
第四节	注塑模冷却系统模拟	198
习题		203

附录 A	dBASE Ⅲ 的常用命令	204
附录 B	Auto CAD 绘图软件的一些 命令	209
参考文献		213

第一章 概 论

第一节 CAD/CAM 的基本概念

一、概念

CAD (计算机辅助设计) 和 CAM (计算机辅助制造) 是 60 年代以来迅速发展起来的一门新兴的综合性计算机应用技术。计算机辅助设计和制造, 简称 CAD/CAM, 指的是以计算机作为主要技术手段, 处理各种数字信息与图形信息, 辅助完成产品设计和制造中的各项活动。

计算机辅助设计是人和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。从思维的角度看, 设计过程包含分析和综合两个方面的内容。人可以进行创造性的思维活动, 将设计方法经过综合、分析, 转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中, 人可以评价设计结果, 控制设计过程; 计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力, 完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。人和计算机相结合, 在设计过程中两者发挥各自的优势, 有利于获得最优设计结果, 缩短设计周期。

计算机辅助制造是利用计算机对制造过程进行设计、管理和控制。一般说来, 计算机辅助制造包括工艺设计、数控编程和机器人编程等内容。工艺设计主要是确定零件的加工方法、加工顺序和所用设备。近年来, 计算机辅助工艺设计 (CAPP) 已逐渐形成了一门独立的技术分支。当采用 NC (Numerical Control 数控) 机床加工零件时, 需要编制 NC 机床的控制程序。计算机辅助编制 NC 程序, 不但效率高, 而且错误率很低。在自动化的生产线上, 采用机器人完成装配和传送等项任务。利用计算机也可以实现机器人编程。在本书的 CAM 部分, 主要阐述 NC 加工原理与程序编制, 而不涉及机器人编程问题。

计算机辅助设计和计算机辅助制造关系十分密切。开始, 计算机辅助几何设计和数控加工自动编程是两个独立发展的分支。但是随着它们的推广应用, 二者之间的相互依存关系变得越来越明显了。设计系统只有配合数控加工, 才能充分显示其巨大的优越性。另一方面, 数控技术只有依靠设计系统产生的模型才能发挥其效率。所以, 在实际应用中二者很自然地紧密结合起来, 形成了计算机辅助设计与制造集成系统。通常, CAD/CAM 系统指的就是这种集成系统。在 CAD/CAM 系统中, 设计和制造的各个阶段可利用公共数据库中的数据。公共数据库将设计与制造过程紧密联系为一个整体。数控自动编程系统利用设计的结果和产生的模型, 形成数控加工机床所需的信息。CAD/CAM 可大大缩短产品的制造周期, 显著提高产品质量, 从而产生巨大的经济效益。

CAD/CAM 系统可以从不同的角度加以分类。

按系统的功能范围, CAD/CAM 系统可分为通用系统和专用系统两类。通用的 CAD/CAM 系统功能全面, 适用范围较广。例如, CATIA、I-DEAS、CADD5、Pro/Engineer 和 EUCLID 等系统均属此类。这类 CAD/CAM 系统通常包括线框、实体和曲面造型模块、绘图

模块、装配与零件设计模块、有限元分析模块、数据交换与传输模块和 NC 加工模块。专用的 CAD/CAM 系统指的是那些为特定的应用而开发的系统。这类系统通常只能适用于一定的专业，或用于解决某一类问题。例如，冲模 CAD/CAM 系统和注塑模 CAD/CAM 系统皆属此类。

按运行方式，CAD/CAM 系统可分为交互式系统和自动化系统。虽然人们正在研究以人工智能方法为基础的 CAD/CAM 系统，但在目前的技术发展水平方面计算机尚难以自动地完成设计和制造中的全部工作。因此，绝大多数 CAD/CAM 系统都属于交互式系统。这种系统以交互方式运行，由计算机检索数据，分析计算，并将运算结果以图形或数据的形式显示在屏幕上，用户可利用键盘和图形板等交互设备输入参数，选择方案，修改设计，控制运行的进程。

另外，CAD/CAM 系统从硬件角度可分为主机系统、工作站系统和微机系统；按软件的开放性可分为交钥匙系统（Turn-Key System）和可编程系统（Programmable System）。

CAD/CAM 技术随着计算机硬件和软件技术的迅速发展日趋完善，在机械、电子、宇航和建筑等部门得到广泛应用。CAD/CAM 技术使产品的设计制造和组织生产的传统模式产生了深刻的变革，成为产品更新换代的关键技术，被人们称为产业革命的发动机。在工业发达国家，CAD/CAM 已经形成了一个推动各行业技术进步的、具有相当规模的新兴产业部门。

模具的设计、制造水平和产品的质量、成本及生产周期息息相关。随着制造业的发展，产品对模具的要求越来越高。传统的模具设计与制造方式已无法适应工业发展的需要，CAD/CAM 技术成为解决模具设计与制造中的薄弱环节的有效途径。随着模具 CAD/CAM 技术的广泛应用，必将给模具行业的技术改造和发展带来深刻影响，从而大大促进制造业的发展。

二、计算机在设计和制造中的辅助作用

计算机辅助设计与制造这一术语本身包含了这样的意思，即在人能有效发挥作用的地方不用计算机，反之在计算机可被有效利用的场合不用人。计算机在设计和制造过程中起重要的辅助作用，但不是取代人的作用。为了弄清二者的作用，使人和计算机更好地结合，共同完成产品的设计与制造，有必要比较一下人和计算机的特点。表 1-1 为人机特点的比较，由表中可以看出人和计算机的能力在绝大多数方面是互补的。在某些地方人胜过计算机，在另一些地方计算机则优于人。

表 1-1 人机特点的比较

项 目	人	计 算 机	项 目	人	计 算 机
推理与逻辑判断	通过经验、想象进行直觉的逻辑推理	模拟的、系统的逻辑推理	提取重要信息的能力	强	差
信息的组织	非格式的、直觉的	格式化的、详细的	出错机会	多	少
信息存储能力	差、且与时间有关	强、与时间无关	分析能力	直觉分析能力强，数值分析能力差	无直觉分析能力，数值分析能力极强
对重复工作的耐力	差	强			

计算机在设计和制造中的辅助作用主要体现在数值计算、数据存储与管理、图样绘制三个方面。

计算机作为计算工具使用的优越性显而易见。人工计算容易发生错误的问题在这里得到了完全的克服。许多需要多次迭代的复杂运算,只有用计算机才能完成。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。

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图样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。

人和计算机相结合,恰当地发挥二者的作用对CAD/CAM十分重要。在建立一个CAD/CAM系统时,应在以下几个方面考虑人机特点。

经验与判断相结合在产品和工艺过程设计中是不可缺少的,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,而不一定要遵循计算机的设计逻辑。计算机的学习能力很差,学习的任务应由人来完成。人可以从过去的设计中学习,总结经验。

对于费时费力的数值分析工作,计算机可以高速精确地完成。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分析能力完成决策性的工作。

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。像绘制图样之类繁琐的、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、修改设计的任务应由人来完成。

总之,在设计和制造中计算机可以起到重要的辅助作用,正确地处理人机关系,发挥二者各自的优势,是CAD/CAM中的一个重要问题。

第二节 模具CAD/CAM技术的应用

一、CAD/CAM技术在模具行业的应用状况

随着工业技术的发展,产品对模具的要求愈来愈高。传统的模具设计与制造方法不能适应工业产品及时更新换代和提高质量的要求。因此,国外先进工业国家对模具CAD/CAM技

术的开发非常重视。早在 60 年代初期,国外一些飞机和汽车制造公司就开始了 CAD/CAM 的研究工作,投入了大量人力和物力。各大公司都先后建立了自己的 CAD/CAM 系统,并将其应用于模具的设计与制造。

这些公司采用模具 CAD/CAM 技术的主要理由是:

- 1) 利用几何造型技术获得的几何模型,可供后续的设计分析和数控编程等方面使用。
- 2) 可以缩短新产品的试制周期,例如在汽车工业中,可缩短模具的设计制造周期。
- 3) 提高产品质量的需要,如汽车车身表面等形状,需要利用计算机准备数据和完成随后的制造工作。
- 4) 模具制造厂和用户对 CAD/CAM 的需要增加。例如,利用磁盘进行数据传送,用户要求模具制造单位能够交换信息和处理这些数据。
- 5) 模具加工设备的效率不断提高,需要计算机辅助处理数据,以提高设备利用率。
- 6) 在企业中建立联系各个部门的信息处理系统。

模具 CAD/CAM 技术发展很快,应用范围日益扩大。在冲模、锻模、挤压模、注塑模和压铸模等方面都有比较成功的 CAD/CAM 系统。采用 CAD/CAM 技术是模具生产革命化的措施,是模具技术发展的一个显著特点。

工业国家较大的模具生产厂家在 CAD/CAM 上进行了较大的投资,正大力开发这一技术。如法国 FOS 模具公司已购买了大型 CAD/CAM 系统,日本黑田精工株式会社已大力投资开发 CAD/CAM 系统,瑞士法因图尔公司采用大型 CAD/CAM 系统设计加工模具已占 30%。目前,应用 CAD/CAM 技术较普遍的为美、日、德等国。

例如,日本丰田汽车公司于 1965 年将数控用于模具加工。80 年代初期开始采用覆盖件冲模 CAD/CAM 系统。该系统包括设计覆盖件的 NTDFB 和 CADETT 软件和加工凸、凹模的 TINCA 软件。利用三坐标测量仪测量粘土模型,并将数据送入计算机。将所得图形经平滑处理后,再把这些数据用于覆盖件设计、冲模的设计与制造。该系统有较强的三维图形功能,可在屏幕上反复修改曲面形状,使工件在冲压成形时不致产生工艺缺陷,从而保证了模具和工件的质量。模具型面的模型保存在数据库中,TINCA 软件可利用这些数据,进行模具型面的数控加工。

模具 CAM 在国外应用较广,计算机控制的数控机床加工模具约 20%~30%。此外,加工中心(MC)、柔性制造系统(FMS)已开始用于模具制造。一般说来,CAM 比 CAD 的应用更为广泛。在欧洲,用传统的机加工方法生产的模具和用 NC 加工方法生产的模具之比为 70:30。在日本,这一比值为 40:60。

我国模具 CAD/CAM 的开发开始于 70 年代末,发展也很迅速。到目前为止,先后通过国家有关部门鉴定的有精冲模、普通冲裁模、辊锻模、锤模和注塑模等 CAD/CAM 系统。但是,直到现在这些系统仍处于试用阶段,尚未在生产中推广应用。为迅速改变我国模具生产的落后面貌,今后应继续加速模具 CAD/CAM 的研究开发和推广应用工作。

二、模具 CAD/CAM 的优越性

模具 CAD/CAM 的优越性赋予了它无限的生命力,使其得以迅速发展和广泛应用。无论在提高生产率、改善质量方面,还是在降低成本、减轻劳动强度方面,CAD/CAM 技术的优越性是传统的模具设计制造方法所不能比拟的。

第一,CAD/CAM 可以提高模具的质量。在计算机系统内存储了各有关专业的综合性的

技术知识,为模具的设计和工艺的制定提供了科学的依据。计算机与设计人员交互作用,有利于发挥人机各自的特长,使模具设计和制造工艺更加合理化。系统采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和模具结构的优化。

第二,CAD/CAM 可以节省时间,提高生产率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD 与 CAM 的一体化可显著缩短从设计到制造的周期。例如,采用冲裁模 CAD/CAM 系统设计制造模具,比传统方法提高效率 5 倍以上。由于模具质量提高,可靠性增加,装修时间明显减少,模具的交货时间大大缩短。

第三,CAD/CAM 可以较大幅度地降低成本。计算机的高速运算和自动绘图大大节省了劳动力。优化设计带来了原材料的节省,例如,冲压件的毛坯优化排样可使材料利用率提高 5%~7%。采用 CAM 可加工传统方法难以加工的复杂模具型面,可减少模具的加工和调试工时,使制造成本降低。CAD/CAM 的经济效益有些可以估算,有些则难以估算。由于采用 CAD/CAM 技术,生产准备时间缩短,产品更新换代加快,大大增强了产品的市场竞争能力。

第四,CAD/CAM 技术将技术人员从繁冗的计算、绘图和 NC 编程工作中解放出来,使其可以从事更多的创造性劳动。

模具 CAD/CAM 的优越性还可以列举不少。所有这些,将使 CAD/CAM 逐步取代传统的模具设计制造方法,最终将在模具设计制造中居统治地位。

三、模具 CAD/CAM 的特点

1. 模具 CAD/CAM 系统必须具备描述物体几何形状的能力

有些设计过程最初提出的要求是一些参数或性能指标。例如,设计锻压设备提出的要求是吨位、行程、封闭高度或其他使用性能,并不规定设备的形状如何。但是,模具设计则不同,因为模具的工作部分(如拉深模、锻模和注塑模的型腔)是根据产品零件的形状设计的,所以无论设计什么类型的模具,开始阶段必须提供产品零件的几何形状。这就要求模具 CAD 系统具备描述物体几何形状的能力,即几何造型的功能。否则,就无法输入关于产品零件的几何信息,设计程序便无法运行。另外,为了编制 NC 加工程序,计算刀具轨迹,也需要建立模具零件的几何模型。因此,几何造型是模具 CAD/CAM 中的一个重要问题。

2. 标准化是实现模具 CAD 的必要条件

模具设计一般不具有唯一性。对于同一产品零件,不同设计人员设计的模具不尽相同。为了便于实现模具 CAD,减少数据的存储量,在建立模具 CAD 系统时首先要解决的问题便是标准化问题,包括设计准则的标准化、模具零件和模具结构的标准化。有了标准化的模具结构,在设计模具时可以选用典型的模具组合,调用标准模具零件,需要设计的只是少数工作零件。标准化工作涉及的问题较多,有技术问题,也有管理问题。目前我国已颁布“标准化法”,对于已公布的模具标准,模具 CAD 中应予贯彻使用。

模具 CAD 由于其自身的特点,要求采用系统的、定量的设计方法。因此,种类繁多的成形零件和成形工艺,以及缺乏系统的、定量的设计方法,是建立模具 CAD 系统时遇到的一个突出矛盾,解决这一矛盾的有效途径便是成组技术(Group Technology,简称 GT)。

成组技术用于塑性加工,就是按照成形零件的形状、尺寸和材料的不同,将其加以分类,根据各类成形零件的不同特点,采用不同的生产工艺和模具设计方法。成组技术有助于以定量的方式表述现有的设计经验,建立系统的设计方法。这样,就使得在现有技术发展水平上

较容易建立模具 CAD 系统。

本书第九章将较具体地讲述成组技术的应用实例。

3. 设计准则的处理是模具 CAD 中的一个重要问题

人工设计模具所依据的设计准则大部分是以数表和线图形式给出的。在编制设计程序时,必须对这些数表和线图进行恰当的处理,将其变为计算机能够处理的表达形式。程序化和公式化是处理数表或线图形式设计准则的基本方法。对于某些定性的设计准则,计算机程序无法采用,需要深入研究,总结出便于使用的定量的设计准则。有些经验准则难以程序化或公式化,这时就需要通过人机交互方式发挥经验的作用。

4. 模具 CAD/CAM 系统应具有充分的柔性

模具的结构随产品的不同而变化,模具型面的几何形状复杂。现阶段,模具的设计方式基本上属于经验设计,设计质量在很大程度上取决于设计者的技巧。模具的生产方式为单件的或小批量的,大量生产模具的情况极为少见。所有这些,要求模具 CAD/CAM 系统具有充分的柔性,即可以根据不同产品的特点和生产条件,灵活地作出抉择,方便地修改设计,因此,在开发模具 CAD/CAM 系统时,不仅要考虑全面的功能、较高的效率,还应提供充分的柔性。这是实用化的模具 CAD/CAM 系统所应具备的基本条件之一。

第三节 建立 CAD/CAM 系统的过程和方法

随着 CAD/CAM 技术的发展,软件系统的规模越来越大,复杂程度也越来越高。如果在建立 CAD/CAM 系统的过程中不遵循科学的方法,便难以保证所开发软件的质量。70 年代以来,软件开发已经由个体作业方式发展成为工程化,逐渐形成了一门新的技术学科——软件工程学。

根据软件工程学的方法,CAD/CAM 系统的生命期可分为系统分析、系统设计、程序设计、系统调试和系统维护等五个阶段。前四个阶段称为开发期,最后一个阶段称为维护期。

CAD/CAM 系统的生命期划分为上述五个阶段,这就为工程化研制 CAD/CAM 系统提供了一个框架。但是必须指出,实际的系统研制工作不可能是直线进行的,常常存在着反复。研制人员往往需要从后面的阶段回复到前面阶段,进行再分析或再设计。

下面对系统研制中各阶段的任务和方法作些扼要说明。

一、系统分析

系统分析阶段的主要任务是对现行的工作流程进行调查,收集并分析有关资料,了解用户的需求。在此基础上,确定系统的总目标、功能、性能和接口,建立系统的总体逻辑模型。

数据流程图(Data Flow Diagram,简称 DFD)是系统分析常用的主要工具。它不但可以表达数据在系统内部的逻辑流向,而且还可以表达系统的逻辑功能和数据的逻辑转换。数据流程图既能表达现行的设计制造系统的数据流程和逻辑处理功能,也能表达 CAD/CAM 系统的数据流程和逻辑处理功能。

数据流程图的基本形式如图 1-1 所示。数据流程图中有四种基本符号,即外部项、数据流、处理逻辑和数据存储。

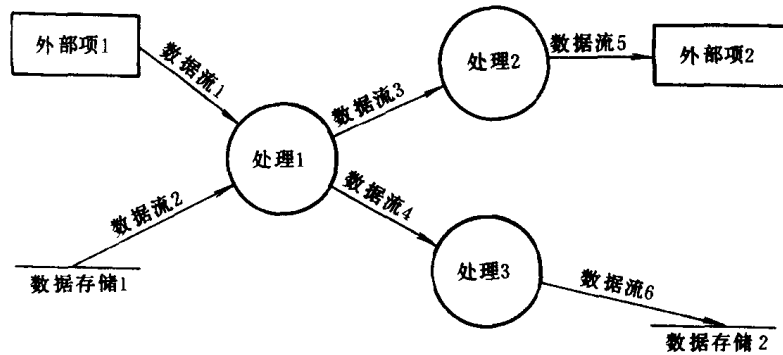


图 1-1 数据流程图的基本符号

外部项是不受系统控制的、在系统以外的事物或人，它表达了系统数据的外部来源或去处。外部项也可以是其他的 CAD/CAM 系统或信息处理系统，它向系统提供数据或接收系统输出的数据。在数据流程图中外部项用方框表示。

数据流在图中用箭头表示，指出了数据的流动方向。数据流可以由某一个外部项产生，也可以由某一个处理逻辑产生，或者来自某一数据存储。一般来说，对每一个数据流都要加以简单地描述，并将这种描述写在数据流箭头旁。

数据流程图中的处理逻辑表达了对数据的逻辑处理功能，即对数据的变换功能。处理逻辑对数据的变换方式有两种：它可以变换数据的结构，例如将输入数据的格式重新排列；也可以在原有数据内容的基础上，产生新的数据内容，例如，在刀位文件的基础上编制数控程序。在图中，处理逻辑用圆圈表示，处理逻辑的功能描述一般由一个动词和名词组成，例如计算压力中心、设计凹模等。通常，在数据流程图定稿后，需对每一个处理逻辑加以编号。

在数据流程图中，数据存储用直线段表示，它指出了数据保存的地方。这里所说的地方，不是指数据的物理地点，也不是文件、磁盘或磁带，而是对数据存储的逻辑描述，例如工艺方案、排样参数等。一个处理逻辑可以从数据存储中读取某些数据，也可以将一些数据存入某个数据存储中，甚至可以修改数据存储中的某些数据内容。

系统分析阶段的文档包括以下内容：

- 1) 系统的目标：说明系统的目标，所需硬件、软件以及其他方面的限制。
- 2) 信息描述：描述系统的输入和输出信息、系统与其他部分（硬件、其他软件、用户）之间的接口。
- 3) 功能描述：描述系统的功能细节、功能之间以及功能与数据之间的关系。
- 4) 质量评审要求：规定软件功能和性能的正式确认需求和测试限值。

需要强调的是，在需求分析中应建立和保持与用户的联系，因为开发是为用户服务的，自始至终要得到用户的支持与合作。

二、系统设计

过去，系统设计时利用系统流程图作为工具。系统流程图表达了系统的执行过程、输入/输出操作和有关的处理，也表达了数据在系统中的流向。但是，系统流程图无法表示系统的结构和每一模块的功能，因而无法评价系统是否符合用户的逻辑要求，也不可能知道系统的大小，以及是否易于维护和修改。

70 年代中期，结构化系统设计思想得到发展。所谓结构化系统设计，指的是用一组标准

的工具和准则进行系统设计。其中，结构图是一个主要工具，用于表达系统内各部分的组织结构和相互关系，解决了传统方法所不能解决的问题。

用结构化的方法设计较复杂的 CAD/CAM 系统时，设计过程可分为概要设计和详细设计两个阶段。概要设计是在系统分析的基础上，确定软件系统的总体结构和模块间的关系，定义各模块间的接口，设计全局数据结构，确定系统与其他软件及用户之间界面的详细内容。详细设计主要是描述概要设计产生的功能模块，设计功能模块的内部细节，包括算法和数据结构。

结构化的系统设计强调“自顶向下”的分解，即将系统逐级向下分解成模块和子模块。在划分模块时，应尽可能地降低模块之间的耦合程度，增加每一模块的内聚性。模块间的耦合程度低，说明相互间的依赖程度低，模块的独立性好。模块间耦合程度越低，相互影响就越小，在修改一个模块时，可使修改范围控制在最小限度内；在对一个模块进行维护时，不必担心其他模块是否会受到影响。模块的内聚性指的是其内部各个部分的组合强度。一个模块的内聚性往往决定了它和其他模块之间的耦合程度。降低模块之间的耦合程度和提高模块的内聚性是两个相辅相成的设计原则。

图 1-2 所示为一结构图，结构图指出了系统由哪些模块组成，以及模块间的调用关系。模块用一个方框表示，模块的名称写在方框内。连接模块间的箭头，表示了模块间的调用关系。

系统设计完成以后形成的文档资料是系统设计说明书。

三、程序设计

程序设计阶段的主要任务是把系统设计方案加以具体实施，根据系统设计说明书进行程序设计，将功能模块用某种语言实现。系统结构图中的各个模块都有模块说明，内容包括模块名称、输入数据、输出数据和转换过程等，程序员根据模块说明的要求进行程序设计。

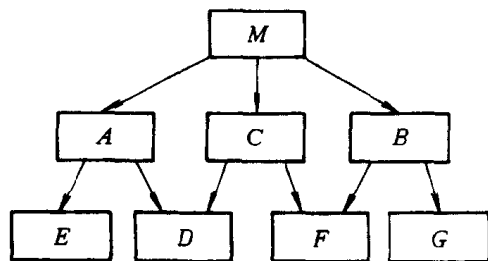


图 1-2 结构图

在系统开发的全过程始终贯穿着结构化技术。结构化程序设计是程序设计阶段的基本技术，其目的在于编写出结构清晰、易于理解、也易于测试的程序。

结构化程序设计指的是“用一组标准的准则和工具从事程序设计”。这些准则和工具包括一组基本控制结构、自顶向下的扩展原则、模块化和逐步求精的方法。

结构化程序设计理论认为，任何一个程序都可以用三种基本逻辑结构来编制。这三种结构是顺序处理结构、判断结构和循环结构（图 1-3）。这三种基本结构又促使人们采用模块化思想编制程序。一个系统（程序）可分成若干个功能模块，用作业控制语句或程序内部的过程调用语句将这些模块联结起来。

自顶向下的程序设计，就是先把一个程序高度抽象，看作是一个功能结构。为了完成这个功能，需要进一步分解成若干较低一层的模块，实现一些较小的功能。如此逐步扩展，直到最低一层的每一个模块都非常简单，功能最小，能够很容易地用程序语句实现为止。

逐步求精指的是把一个模块的功能一步一步地分解成一组子功能，而这一组子功能可以通过执行若干个程序步来完成。自顶向下的程序设计过程只表达了各个功能之间的关系，却不能表达模块的内部逻辑。采用逐步求精的方法所分解出来的内部逻辑，即程序的执行步骤，

能够完成预期的程序功能。

结构化程序设计方法可大大改进程序的质量,提高编程的效率,而且增强了程序的可读性和可修改性。结构化程序设计方法便于发现错误和纠正错误,在修改程序的某一部分时,对其他部分影响不大。

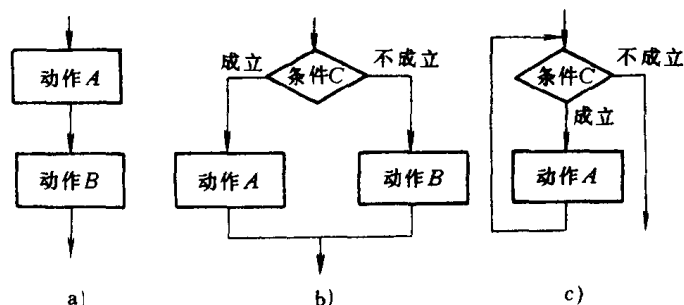


图 1-3 结构化程序设计的基本结构

a) 顺序结构 b) 判断结构 c) 循环结构

四、系统测试

在开发 CAD/CAM 系统时,总是不可避免地会出现错误。系统测试是对系统分析、系统设计和程序设计的最后审查,是保证软件质量的关键。为了保证系统的可靠性,必须对系统进行尽可能完全的测试。因此,在有的系统开发中,测试的工作量占到整个开发工作量的 40%。软件测试和纠错是密切相关的两个问题,通常所说的调试,实际上包括测试和纠错两方面的工作内容。

在对系统进行测试时,通常按照以下原则进行:

- 1) 设计测试例题时,要给出测试的预期结果,以便做到有的放矢。
- 2) 为保证测试的质量,开发和测试小组分立。
- 3) 要设计非法输入的测试用题,保证程序能够拒绝接受非法输入,并给出提示信息。
- 4) 在对程序修改之后,要进行回归测试,以免由于修改程序而引入新的错误。
- 5) 在进行深入的测试时,要集中测试容易出错的部分。

测试所用的方法有两种,一种是黑盒法,另一种为白盒法。

黑盒法着眼于程序的外部特性,而不考虑程序的内部逻辑结构。测试人员将程序视为一个黑盒子,不关心其内部结构与特点,只检查程序是否符合它的功能说明。

与黑盒法不同,测试人员采用白盒法测试时需了解程序的内部结构,对程序的所有逻辑进行测试,在不同点检查程序的状态。

按照软件工程的方法,测试过程可分为单元测试、整体测试和有效性测试。单元测试即模块测试,就是对模块逐个进行测试,对模块的接口、数据结构、执行路径等方面进行考察。整体测试是将模块逐个装配在一起进行测试,其目的在于考察经过单元测试的模块,是否能组装成一个符合设计要求的系统。有效性测试的目的是证实软件的功能与用户要求是否一致,有效性测试一般采用黑盒法进行。

五、系统维护

CAD/CAM 系统生命期的最后一个阶段是维护阶段。系统的维护往往要消耗大量的精力和费用。系统维护的内容很广泛,但最主要的是改正性维护、适应性维护和完善性维护。

软件测试往往不可能找出一个大型系统中所有潜伏的错误。所以,在系统使用期间仍有可能发现错误,诊断和改正这类错误的过程称为改正性维护。

由于计算机技术日新月异的发展,新的计算机硬件和操作系统新版本会经常出现。为了适应环境的变化,要对 CAD/CAM 系统进行修改,这类维护称为适应性维护。

当系统投入使用后,用户有时会提出增加新功能、修改已有功能或其他改进要求。为了满足或部分满足这类要求,要进行完善性维护,这类维护占系统维护工作的大部分。

如果仅有源程序,而缺乏文档资料,会因为软件结构、数据结构、系统接口和性能要求等方面不清楚,使维护工作十分困难。为了减少维护工作量,提高维护质量,必须在系统开发过程中遵循软件工程方法,保证文档齐全,格式规范。

第四节 CAD/CAM 的发展趋势

一、集成化

80 年代以来,计算机集成制造 (CIM: Computer Integrated Manufacture) 技术已成为制造业应用计算机技术的主要发展方向。利用 CIM 技术建立的计算机集成制造系统 (CIMS),将制造工厂的产品设计、加工制造和经营管理等活动集成起来,其目的是在计算机辅助下,利用最小的制造和管理资源,最优地实现企业的发展目标,获得最大的总体效益。

计算机集成制造系统一般由技术信息系统 (TIS)、制造自动化系统 (MAS) 和管理信息系统 (MIS) 组成。CAD/CAM 系统为技术信息系统的主要部分。CIM 的核心技术是集成,包括物理集成、信息集成和功能集成等方面的内容,其中信息集成是实现 CIM 的基础和关键。

共享的产品模型、统一的数据库和网络环境是实现信息集成的必要条件。为解决产品数据的交换和共享问题,国际标准化组织 (ISO) 根据各国有关标准制定了产品模型数据交换标准 STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)。STEP 不仅是产品数据交换标准,而且是信息集成技术,为开发新一代 CAD/CAM 系统提供了基础。

CIM 的产生反映了人们对制造有了更深刻的认识。从广义上讲,制造包括从产品概念形成、设计、开发、生产、销售及售后服务全过程中的一系列活动。过去将制造仅看作是物料的转换过程,即由原材料加工、装配成产品的过程。实际上,制造是一个复杂的信息流动和交换的过程,因此信息集成起着十分关键的作用。

80 年代后期,并行工程的方法受到广泛的重视。并行工程是一种以集成的、并行的方式设计产品及其相关过程的系统方法。这种方法使产品开发人员,从一开始就考虑产品从概念形成,到报废处理的整个生命期中的所有因素,包括质量、成本、进度和用户需求等各个方面。并行工程赋予 CIMS 信息集成新的内容,是 CIMS 的一种有效的优化运行模式。并行工程也将对 CAD/CAM 技术的发展产生重大影响。

CIMS 被认为是 21 世纪制造业的生产模式,工业发达国家把发展和应用 CIM 技术作为制造业的发展战略,投入了大量资金,用以推动 CIMS 的开发应用。我国也十分重视发展 CIM 技术,已把它列入我国高技术发展计划。

二、微型化

CAD/CAM 正转向采用超级微型计算机。32 位超级微型计算机在单机功能上将达到小型机和中型机的水平,多 CPU 并行处理时的功能将达到大型机的水平。以超级微机为基础的

CAD/CAM 系统不断增多,功能也在不断扩大。

三、网络化

微型计算机 CAD/CAM 系统发展的一条主要途径是网络化。由于微型机价格低廉,功能较强,可将多台微机工作站连成分布式 CAD/CAM 系统。在分布式系统中,客户/服务器 (Client/Server) 结构得到普遍采用,这种结构中,一台服务器可为多台工作站提供服务。分布式 CAD/CAM 系统结构灵活,功能强。每台工作站可以单独使用,也可以联合使用。整个网络还可与大型、巨型机相连,以解决更复杂的问题。

四、智能化

设计制造中全盘自动化固然理想,但在今天还只能是一个追求的目标,近期难以实现。人工智能技术是通向设计制造自动化的重要途径。近年来,人工智能的应用主要集中在引入知识工程,发展专家系统。专家系统的发展可扩大 CAD/CAM 的功能,有利于创造更高级的 CAD/CAM 系统。专家系统具有逻辑推理和决策判断能力,它将许多事实和有关专业的经验、准则结合在一起,应用这些事实和启发规则,根据设计目标不断缩小搜索的范围,使问题得到解决,专家系统是当前研究相当活跃的一个课题。

五、最优化

产品设计和工艺过程设计的最优化始终是人们追求的目标,采用传统的方法设计制造模具可靠性较差。目前,大多数模具 CAD/CAM 系统中使用的设计方法和手工设计时的方法基本相同,系统采用交互方式运行,当遇到一些复杂问题时,由设计人员加以选择和判断。因此,模具的可靠性仍然存在问题,难以保证一次成功。

发展塑性成形过程的计算机模拟技术是解决模具可靠性问题的重要途径。利用有限元和边界元等方法分析塑性成形过程及模拟材料的流动,从而可以检验设计的模具是否可以制造出合乎质量要求的产品。用计算机模拟技术检验设计结果,排除不可行方案,有助于获得较佳的设计,提高模具的可靠性。现在已研究出模拟平面应变和轴对称变形的分析软件。发展三维流动的模拟技术仍是一个值得大力研究的课题。只有当完全能够模拟塑性成形过程的时候,模具 CAD 的优越性才能得到完全的发挥。

在 NC 编程时,利用仿真技术模拟加工过程,分析加工情况,判断干涉和碰撞,有利于确定最佳进给路径,保证加工质量,避免发生意外事故,近年来,加工仿真技术已得到很大发展。

六、新型化

用于 CAD/CAM 的新型外部设备将不断问世。作为计算机外部存储器的磁盘将被存储密度为几百倍甚至几千倍的光盘所代替。不久,光栅扫描显示器的分辨率可达 4000×4000 。其他外部设备,如图形输入装置、声音识别装置、视觉追踪装置和激光打印机等,亦将迅速发展,日新月异。

习 题

1. 人和计算机各自具有哪些特点? 在 CAD/CAM 中如何恰当地发挥二者的作用?
2. 在设计和制造中计算机的辅助作用体现在哪些方面?
3. 模具 CAD/CAM 有哪些优越性?
4. 开发一个 CAD/CAM 系统分为哪几个阶段? 各个阶段的主要任务是什么?
5. CAD/CAM 技术有哪些发展方向?