



全国高等教育自学考试指定教材

机械制造与自动化专业  
机电一体化工程专业  
(独立本科段)

# 现代设计方法

附：现代设计方法自学考试大纲

课程代码  
2200  
[2000年版]

组编 / 全国高等教育自学考试指导委员会  
主编 / 应锦春

机械工业出版社

全国高等教育自学考试指定教材  
机电一体化工程 (独立本科段)  
机械制造与自动化

# 现代设计方法

(附:现代设计方法自学考试大纲)

全国高等教育自学考试指导委员会 组编  
应锦春 主编  
李德信 陈锡璞 只辉 参编



机械工业出版社

本书主要介绍在实践中获得广泛应用的设计计算方法,如计算机辅助设计、优化设计、有限元法和可靠性设计等。附录中复习了有关矩阵代数的基础知识。

本书由浅入深地介绍了这些方法的基本概念和原理,并通过大量实例帮助读者掌握求解实际问题的步骤,还介绍了一些计算机程序。

本书可作为工科大专院校的教材,并可供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法/应锦春主编. —北京:机械工业出版社, 2000.3

全国高等教育自学考试指定教材

ISBN 978-7-111-07876-0

I. 现… II. 应… III. 设计学-高等教育-自学考试-教材 IV. TB21

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第03259号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:赵爱宁 王世刚 版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟

北京友谊印刷有限公司印刷

2000年4月第1版·2008年1月第8次印刷

787mm×1092mm 1/16·17.5印张·427千字

36001-41000册

定价:24.00元

本书如有质量问题,请与当地教材供应部门联系。

## 组编前言

当您开始阅读本书时，人类已经迈入了21世纪。这是一个变幻莫测的世纪，是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展，知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战，随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇、寻求发展、迎接挑战、适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习，终生地学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试，其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问，这种教材应当适合自学，应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息，有利于学习者增强创新意识，培养实践能力、自学能力，也有利于学习者学以致用，解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书，我们虽然沿用了“教材”这个概念，但它与那种仅供教师讲、学生听，教师不讲、学生不懂，以“教”为中心的教科书相比，已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解，以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念，不断探索适合自己的学习方法，充分利用已有的知识基础和实际工作经验，最大限度地发挥自己的潜能，达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议。

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999年

## 编者的话

与生产实践紧密结合的工程设计的历史源远流长。近几十年来,社会急剧的进步和人类对物质和精神生活不断增长的需求,促进了现代设计方法的发展。同时,科学技术的发展,特别是微电子技术的飞速发展,为现代设计方法的广泛应用提供了可能性。它是现代设计理论与现代科学技术成果相结合的产物。

广泛采用和推广成熟的现代设计方法以加快我国机电产品更新换代、赶超世界先进水平是当务之急。

本教材主要介绍理论上成熟并已获得广泛应用的一些设计计算方法。它们是计算机辅助设计、优化设计、有限元法及可靠性设计等。

计算机辅助设计使设计人员从图板中解放出来,绘图速度快、质量高、便于修改。它与有限元法和优化方法相结合,可预测和优化产品的性能,同时又是计算机辅助制造和计算机集成制造系统的前提和基础。近年计算机辅助设计系统的硬件和软件都有飞速的发展。在软件方面,参数化绘图、三维实体造型和特征造型等技术尤其引人注目。

优化设计跳出了传统的安全设计的思想。它用于解决两类问题:一类是从大量方案中选出可行的最优者,另一类是为已确定的设计方案选定可行的最优参数。因此,在工程设计中按照给定的目标,借助于计算机的运算,经过有限次的探索,寻求最优设计方案和设计参数,从而可获得最优的技术经济效果。

应用有限元法可以预测复杂结构的强度和刚度。其步骤是:首先将复杂结构分割成若干个通过节点相连的单元;然后将求出的单元矩阵集成为总体刚度矩阵;通过对非节点载荷和约束条件的处理,写出该结构的总体平衡方程;最后求出各节点的位移和各单元内的应力和应变。同时,这种方法也可以扩展到电学、流体力学和热力学等中去。

机电产品的可靠性是指在规定的时间内,在规定的条件下完成规定功能的能力。它通过可靠度,即在此时间内,在此条件下完成功能的概率来度量。在常规设计中,将影响产品性能指标的因素都视为常量;在可靠性设计中,则将这些因素作为随机函数来处理。为保证产品达到可靠性的要求,首先要计算出各种元件、零部件的可靠度,在此基础上预测出产品的可靠度,然后采取各种措施改进原设计,做到经济合理。

本课程着重介绍这些方法的基本概念、基础理论以及求解实际问题的主要步骤,为在今后的设计实践中应用这些现代设计方法打下坚实的基础。

本书由应锦春教授任主编,他承担组织编写小组,制定大纲,修改初稿以及最后定稿工作,并编写了除第一、二、四章以外的全部内容。李德信讲师编写第一章,陈锡璞教授编写第二章,只辉教授编写第四章。此外,陈汝强参加第二章的部分编写工作,贡敏硕士编写附录中计算机程序并绘制第一章的部分插图,吕江涛硕士也绘制了第一章的部分插图。

编者借此机会对主审束鹏程教授、华振南教授及牛锡传教授表示感谢,他们不仅参加大纲的审定,还对全书进行了仔细审阅,提出了许多宝贵的意见和建议。

由于编者水平有限,本书一定尚有许多不足,欢迎读者批评指正。

编者

# 目 录

绪论 .....	1	第三节 弹性力学平面问题的有限元法 .....	169
第一章 计算机辅助设计 (CAD) .....	7	小结 .....	188
第一节 CAD 系统概述 .....	7	习题 .....	188
第二节 CAD 系统的硬件和软件 .....	10	第四章 可靠性设计 .....	191
第三节 CAD 系统的图形处理 .....	20	第一节 可靠性基本概念和数学 基础 .....	191
第四节 工程数据的计算机处理 .....	57	第二节 可靠性设计的原理与方法 .....	206
小结 .....	69	第三节 可靠性设计方法的简 单应用 .....	213
习题 .....	69	第四节 系统的可靠性预测和可靠 度分配 .....	221
第二章 优化设计 .....	72	小结 .....	233
第一节 优化设计概论 .....	72	习题 .....	234
第二节 优化设计的基本概念 .....	87	附录 .....	235
第三节 一维搜索方法 .....	102	附录 A 矩阵代数 .....	235
第四节 无约束设计的最优化方法 .....	108	附录 B 高斯消元法 .....	240
第五节 有约束优化设计的方法 .....	121	附录 C 乔列斯基分解法 .....	246
第六节 优化设计的若干问题 .....	134	参考文献 .....	252
小结 .....	141	现代设计方法自学考试大纲 .....	253
习题 .....	142	后记 .....	274
第三章 有限元法 .....	144		
第一节 有限元法概述 .....	144		
第二节 平面刚架的有限元法 .....	152		

## 绪 论

### 一、现代设计方法产生的背景和发展

工程设计是一种人类有目的的智力劳动。它是为生产实践服务的，既要求设计出的产品能达到生产实践提出的性能指标，实现技术、经济和艺术的统一；同时还要考虑生产条件，使之在现实条件下有实现的可能；此外，还要充分利用现有的条件，以便可以多、快、好、省地将设计变成现实。正确的设计思想来自于生产实践。为此，设计前要广泛地收集资料、调查研究并进行必要的试验和测试；设计时要根据现实的生产条件反复地进行方案比较，利用工程语言（如图样、模型和计算机软件等）将设计方案表达出来，以便征求用户、制造者、管理人员等各方面的意见，最后将设计方案确定下来；当设计实现后，要对制造出来的产品进行检验、测试和分析，多方面地听取意见，即要经受生产实践的检验，从中汲取经验、教训和改进意见。设计人员通过生产实践不断地取得丰富的知识。

工程设计的历史几乎与人类历史同龄。我国东汉时张衡发明的地动仪、三国时期曾使用过的木牛流马、隋朝时李春营造的赵州桥等，都堪称科学技术与艺术高度统一的设计杰作。

工程设计的发展经历了直觉设计、经验设计、中间试验辅助设计和现代设计四个阶段。在前三个阶段中，设计者凭直觉和经验，借助于一些推导出的简单公式和经验公式进行计算，做小规模且粗糙的试验，对相似的产品和设计进行类比。因此，它们是一种半理论半经验的设计方法，主观随意性大，很难获得客观存在的最优方案。

随着时代的发展，对设计的要求越来越高。例如，为了加速资金的周转，创造更高的生产率，要求大大地缩短产品研制的周期，实现设计过程的自动化是重要的一环。再例如，为了改善现代交通状况，要研制出高速、大容量、低成本的现代化交通工具——巨型空中公共汽车和磁悬浮列车等。它们从技术、经济、外观、舒适性及对环境的污染等各方面提出了一系列苛刻的要求，必须仔细研究各种因素进行权衡，从中选出最优的设计方案。

科学技术的发展，特别是微电子技术的发展，为进行这些分析和计算提供了日臻完善的手段。现代测试技术的发展，使人们获得了许多单凭五官得不到的信息。现代化的电子仪器不仅捕捉到了它们，通过处理，还以极清晰的方式将它们展现在面前。计算机以每秒数亿次的高速度进行计算，并可存储大量的数据、资料和信息，其计算能力和记忆力都是人类所望尘莫及的。近年来，人工智能技术的发展，使计算机步入了人类所独具的创造性劳动领域，正在获得令人瞩目的成果。

伴随着现代科学技术发展而产生的现代设计方法，与传统的设计方法相比，实现了如下几方面的转变：从定性分析向定量分析、从静态分析向动态分析、从零部件计算向整机计算、从手工设计计算向自动化设计计算及由安全设计向优化设计等。

对复杂的结构件，例如机床床身和箱体等，过去是利用材料力学或弹性力学的简单公式，估算改动某一部分的尺寸对整个结构刚度带来的影响。这种预测只能说明是改善了或恶化了，却难以确定该尺寸的增量与结构刚度间的精确关系，因而这种分析是粗糙的、只能是定性的。当采用有限元法进行计算，或使用现代化测试设备进行模型试验时，就可以较好地完成这个

任务。这样，产品制造出以前，就可以较准确地预测出其性能指标，基本上做到定量化。

早期的机电产品是在低速、轻载、常温、常压下运行的，工作过程平稳，不随时间而变化。因此，对它们的分析可近似地看成是静态过程。由于高速、重载、高压、高温、超低压、超低温等工况的出现，分析这些过程时就不能再将它们看成是平稳的，有些过程甚至随时间而急剧变化。例如：火箭在飞行中会产生挠曲振动，机床在一定的切削条件下会产生自激振动，在电视机中有许多由电阻、电容、电感元件组成的回路会产生振荡等。对一些振动，如振荡回路产生的振荡信号是需要利用的；而另外一些振动，如火箭的挠曲振动则是要避免的。因此，除了进行静态分析外，还必须进行动态分析。进行动态分析的目的是要改善其动态性能。这里所指的动态性能包括：①固有特性，即各阶固有频率、模态振型和阻尼特性等；②系统在外部激振力作用下的响应，即动态应力和动态位移等；③系统在工作状态下产生自激振动的可能性等。虽然振动理论日臻成熟，但由于计算量过大，过去只能对简单的结构进行动态分析。由于测试设备水平的限制，对超高频和小振幅都无法测出，更谈不上对瞬态响应的测定。现在进行振动分析时，由于测试设备的改进，不仅可根据理论建造数学模型，而且可以利用理论和测试数据相结合的方法来建造数学模型，然后使用计算机更精确地预测产品的动态性能和改进效果。由于学时的限制，本教材难于更多地涉及这方面的内容。

在材料力学和弹塑性力学的基础上，过去只可以对简单的零部件进行分析计算。对整机机器的分析计算工作由于两个原因迟迟未能进行：一方面是整机结构复杂，需要完成巨大的计算工作量；另一方面对零部件的连接部分（称为结合部）的特性缺乏研究。按零部件间结合部的连接方式来分，可分为固定连接和滑动连接。无论哪种连接方式，结合部都可以看成是由许多弹性元件和阻尼元件组成。由于材料、加工质量、连接方式、结合部内的压力、润滑等条件的不同，其弹性和阻尼特性也不同。无论是为结合部建造数学模型，还是要完成整机分析的计算任务，都离不开现代化的测试手段和计算机。

计算机辅助设计（CAD）技术的发展，将设计人员从繁重的计算和绘图工作中解放出来。现代化的CAD工作站所完成的任务包括：利用计算机中的专家系统协助确定技术参数和总体方案；绘制总图和零件图；使用有限元法对其动、静态性能等进行分析计算；通过优化设计不断地进行修改，以获得最优设计方案；在屏幕上显示设计结果，还可以图样和数据的形式输出。计算机辅助制造（CAM）的应用，使制造过程处于计算机的监视与控制之下，并给予技术支持，如进行工艺规程设计、为数控机床编程、编制物料需求计划等。计算机网络控制下的柔性制造系统（FMS）具有柔性加工能力，可实现工件及其它物料在加工过程中的柔性运输和存储。计算机集成制造系统（CIMS）可实现从产品设计、制造，到经营管理过程的全部自动化。

“傻、大、黑、粗”较形象地表现出过去机电产品对安全性的重视程度。在计算和测试手段匮乏的过去，设计只能如此。优化和可靠性设计技术的发展，使产品的“减肥”成为可能。但是，由于客观实际的要求是多方面的，有些要求如技术性能和经济指标可以通过数学式表达，而另外一些要求如外观等，由美学、心理学等多方面因素确定，无法用数学式表达，再加上有许多不确定的因素（如材料性能的变异等）的影响，使优化设计成为一门综合利用各学科的成果，且自身内容很丰富的学科。同时也应看到，一个产品设计要真正达到最优是不可能的。另一方面，机电产品造型设计这门学科也正在为改变机电产品的不良形象做出积极的贡献。



总而言之，一方面时代的前进、科技的发展、人类对物质生活和精神生活日益增长的需求，不断地向现代设计方法提出更新、更高的要求；另一方面科学技术的进步，特别是微电子技术的发展，不断地为完善现代设计方法提供新的手段。它是一门发展中的新兴学科，需要综合利用各学科的研究成果。更重要的是要应用它，让它结出丰硕的果实。

综上所述，目前现代设计方法是由于高速、大容量、多媒体计算机的普及，才得以在工程中广泛应用的先进设计计算方法。

## 二、几种常用的现代设计方法简介

由于发展中的现代设计方法尚无一个确切的、统一的定义，因而对其涉及的范围也有不同的看法。在前面分析现代设计方法产生的背景和发展时，提及了其中最主要的几种方法所起的作用。它们是计算机辅助设计、优化方法、可靠性设计、有限元法及造型设计等。本教材主要介绍前四种方法。下面简单地介绍本教材内容以外其余一些常用的方法，以扩大学生的知识面。

### (一) 建立结构和系统数学模型的方法

在研究结构和系统时，首先必须对其实际结构进行简化，去掉一些次要的部分；然后利用数学表达式将其内部各变量间的关系描述出来。这些数学表达式称为数学模型。常用建立数学模型的方法，除有限元法外，还有键图法、边界元法和控制工程等。控制工程另设课程介绍，这里只简单地介绍键图法和边界元法。

#### 1. 键图法

键图法是一种为系统建造数学模型的方法。它利用机、电、液等间的相似原理，为各种系统（如机械、电气、液压和气动等系统）及其混合系统提供一种通用的建模方法。它还适用于求解非线性系统的问题。

系统中的任何元件都有两类变量：一类叫原因（又叫输入），另一类是结果（又称输出），通过“势”（如力、电压、压力等）和“流”（如速度、电流、流量等）将元件连成一个整体。基于这种想法，1968年由美国麻省理工学院的卡诺皮和诺森伯格两位教授首先将这种方法引入到工程实践中。

下面介绍一个简单的例子。图1是一个齿轮—齿条机构简化的动力学模型。图中， $M_1(t)$ 为大齿轮上的输入转矩； $J_1$ 、 $J_2$ 分别为大、小齿轮的转动惯量； $k_t$ 是传动轴的扭转刚度系数； $r$ 是小齿轮的半径； $m$ 是齿条的质量； $k$ 和 $b$ 分别是齿条所受阻力的刚度系数和阻尼系数。

图2是描述该系统的键图。图中 $S_c$ 表示产生“流”的“源”，这里是转矩 $M_1(t)$ ； $I$ 是惯性元件，这里包括元件的质量 $m$ 和转动惯量 $J$ ； $C$ 是容性元件，这里是元件的柔度（刚度的倒数） $1/k$ ； $R$ 是阻尼元件，这里是结构阻尼 $b$ ；TF是变压器，这里是齿轮齿条的速比 $r$ ；0和1是两种不同的键接口。

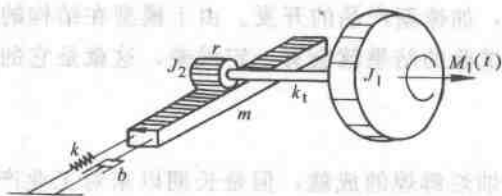


图1 齿轮—齿条机构的动力学模型

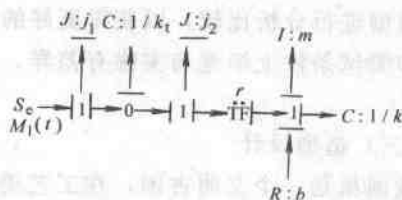


图2 齿轮—齿条机构的键图

根据键图，依照一定的法则，可以很便利地写出该系统具有一阶常微分方程组形式的状态方程。

将状态方程和有关数据输入计算机，调用编好的程序，可以很快地获得计算结果。

## 2. 边界元法

边界元法是将被研究对象的边界分割成若干个子边界（称为边界单元）进行求解（图3）。应用边界元法进行求解的步骤为：

1) 应用积分定理将原微分方程变换成边界上的积分方程。

2) 为求解变换成的边界积分方程式，将边界离散化，成为若干个边界单元，建立关于其代表点（节点）未知函数的一次联立方程组；最后对其求解。

这里第一步采用数理解析法，第二步应用数值分析法。因此，它是一种数理解析法和数值分析法相结合的折衷解法。

由于边界元法只在对象的边界上进行处理，因此若为一维领域边界值的问题，其边界就是点，可按零维处理；对二维问题，就变成只在边界线上处理的一维问题；对三维问题，只对其包容面进行单元分割，因而成为二维问题。总而言之，它使所考虑的维数比实际对象的维数少一维，减少了所需计算机的容量和计算时间。它特别适用于解决有龟裂弹性体的“奇异应力”的问题。

## (二) 试验设计法

对特别复杂的结构，设计时常需要知道在承受动、静态载荷时其危险点的最大应力、变形量及结构本身的自振频率和振型。即便使用有限元法或边界元法，有时也受条件的限制而无法精确地求出。对三维复杂结构，这个问题更为突出。

实物造出时，可利用现代化测试手段进行测试，分析现有结构的薄弱环节，并可利用测试结果建立数学模型，进一步预测结构修改对其性能的影响。

由于种种原因，有时也难于在实物上进行测试。例如：实物尚未造出；无模拟巨大实物工况的条件；实物造价过高，做破坏性试验不经济等。在这种情况下，模型试验设计就成为重要的设计手段。

模型试验设计的过程包括：根据相似理论，设计制造出实物的相似模型；根据设计的要求对其加载进行测试，以判断其结构和尺寸的合理性；根据测试结果，对原设计进行修改，使其更加完善。

模型试验设计的主要优点是：可以在时间、材料和仪器等花费都相对不大的情况下，对多种模型进行分析比较，以获得更好的设计方案，加速新产品的开发。由于模型在结构的相似性和测试条件上毕竟与实物有差异，所以模型试验的结果就会有一定误差，这就是它的局限性。

## (三) 造型设计

我国虽是一个文明古国，在工艺美术方面有灿烂辉煌的成就，但是长期以来对工业产品的造型设计工作重视不够，产品设计人员缺乏艺术造型的基本知识，因而许多产品外观粗糙、色调沉闷。

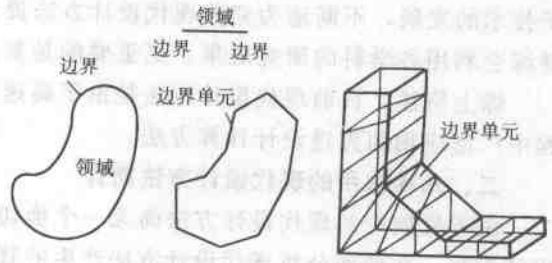


图3 边界值问题

随着人们物质生活和文化水平的提高，对工业产品的造型美及宜人性提出越来越高的要求。从现代家用工业品到交通工具和生产设备等，都追求好的造型设计。它们可以使人们生活和工作在高雅舒适的环境中，受到美的熏陶。

一种好的机电产品必须具备好用、好造及美观这三个基本条件。为使产品好用，除了满足技术性能和可靠性的要求外，在造型设计方面着重研究使用和操作时的舒适性、安全性及高效性，即宜人性。为此，要综合考虑人的生理条件和心理因素，使人与产品构成一个高度协调的整体。为使产品好造，就要合理地选择材料和工艺方法，经济地将较理想的结构制造出来。这是与科学技术的发展密切相关的。众所周知，没有高性能的工程塑料和先进的模具制造技术及塑料成型机，就不可能经济地制造出那么多绚丽多彩的家用工业产品。美观主要涉及产品形体的塑造、色彩和面饰等问题。这也是造型设计研究的另一个重点。它是依据造型设计的美学原则，使设计的产品赏心悦目。人们的审美观因其爱好、性格、性别、年龄、职业、收入、文化水平、传统和习俗等不同而各异；同时社会上主流的审美观也不是一成不变的，也有“时代风格”、“时髦式样”的问题。因此，造型设计有其多样性和不断创新性的要求。

应用 PAINT SHOP、3DS 等商用软件，可将产品的造型美通过平面、三维立体或动画的形式展现出来。

#### （四）设计方法学

设计方法学是一门新兴的科学。关于其研究的对象和范围等，目前尚无确切的、大家公认的定义。一般认为设计方法学是在深入研究设计过程规律和本质的基础上，以系统工程和控制论的观点研究设计的一般进程（即战略问题）和解决具体设计问题（即战术问题）的科学。

设计方法学与设计人员的哲学观点及逻辑思维方法关系极大，因而它也是现代哲学和思维科学发展的一个重要的组成部分。

设计方法学以近代发展起来的理论为基础，研究先进科学技术成果在设计领域中的应用。设计方法学的研究将在提高设计人员素质、减少设计失误、提高设计质量、加速设计人员的成长及加快设计速度等方面发挥重大的作用。

#### （五）技术经济分析

技术经济分析是一门新兴的综合性很强的学科，是技术科学与经济学综合发展的产物。它应用的一个重要方面是在新产品开发时进行技术的选择和技术经济的评价，以便从多个技术方案中选出经济效果最佳的方案。在进行技术评价时，首先确定评价的目标、指标及评价标准，然后建立评价指标体系（包括开发的迫切性和重要性，技术的先进性、适用性、可靠性及危害性，成功的概率、效益和代价及与国家政策、法规的一致性），利用模糊（Fuzzy）技术最后进行评价。

价值工程是一种重要的静态技术经济分析方法。按照定义，机电产品的功能就是其所具有的作用和性能；功能费用即指使产品实现该功能所需的开发、制造和流通的费用；价值是所研究产品的功能与功能费用之比。价值工程是在对其功能与功能费用关系的状态做出评价的基础上，经过创新活动，使功能与功能费用的关系发生变化，从而实现由低价值状态向高价值状态变化，达到提高产品价值的目的。

#### （六）人工智能

所谓人工智能是研究如何使计算机具有能听、会说，能读、会写，能思维、会学习，能适应环境的变化，能解决各种实际问题等能力的一门科学。

它有两种实现的途径：一种是以符号处理为核心的方法，另一种是以网络联接为主的方法。前者模拟人的逻辑思维过程，利用符号表示知识，按设定的基本规则进行推理；后者探索人脑的神经网络结构，以人工神经元作为基本处理单元，用不同的结构形式将它们联接起来，形成各种人工神经网络。为利用两者的优点，也可将它们有机地结合起来，构成一个混合系统。

它所研究的应用领域有：专家系统、自然语言理解、模式识别、自学习功能、自动程序设计、自动定理证明、机器人学和智能决策系统等。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人工智能模拟人类的智能。

# 第一章 计算机辅助设计 (CAD)

## 第一节 CAD 系统概述

### 一、CAD 的概念、特点及其发展概况

CAD 是计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 的英文缩写, 已经成为一个世界性的通用的专业词汇。它是指人们在计算机软、硬件的辅助下对产品或工程进行设计、绘图、分析计算、修改和编写技术文件以及显示、输出的一种设计方法。一般把应用于 CAD 作业的计算机 (中、小型或微型计算机等)、软件 (计算机的操作系统、图形支撑软件和专用应用软件等) 及外围设备 (打印机和绘图仪等), 总称为 CAD 系统。

CAD 技术的发展是与计算机技术的发展密切相关的。随着计算机的出现, 不久 CAD 技术就进入了技术人员的视野, 成为研究人员的一个重要研究领域。由于早期受计算机硬件水平的限制, 在这方面的研究主要集中在理论方面, 这也为以后 CAD 技术的发展奠定了理论基础。CAD 技术的大规模研究是从 50 年代末 60 年代初开始的。60 年代初期, 美国学者 I. Sutherland 提出了用光笔在显示器上选取、定位图形要素的著名的 Sketch-pad 系统。他还提出了用分层法分别表示一工程图的轮廓、剖面线和尺寸等部分。当这些子层重叠在一起时, 就可以表示一幅完整的工程图。这个系统为交互式图形学和 CAD 技术奠定了基础。从此掀起了大规模研究计算机图形学的热潮, 并开始出现 CAD 这一术语。这一时期的 CAD 系统主要是在大型机上实现的。70 年代, 出现了将 CAD 硬件与软件配套交付用户使用的“交钥匙系统” (Turn-key System), 此时它们大多数还是在 16 位机上实现的三维线框系统及二维绘图系统, 还只能解决一些简单的产品设计问题。进入 80 年代, 工业界认识到了 CAD/CAM 新技术对生产的巨大促进作用, 于是在设计与制造方面做到了将设计与制造的各种各样的要求结合起来, 导致了新理论、新算法的大量涌现。工程工作站和网络系统对 CAD 技术的发展产生了很大影响, 它取代了“交钥匙系统”, 成为 CAD 系统的主流。在软件方面做到了将设计与制造的各种单个软件集成起来, 使之不仅能绘制工程图形, 而且能进行三维造型、自由曲面设计、有限元分析、机构及机器人分析与仿真、注塑模设计等。其中, 尤为重要是实体造型 (Solid Modeling) 理论与系统的发展和运用, 此时出现了许多实体造型系统。与此同时, 计算机硬件及输入、输出设备也有很大发展, 32 位字长的工程工作站及微机达到了过去小型机、甚至中型机的性能; 价格低廉的彩色光栅图形显示器占据了统治地位; 计算机网络获得了广泛的应用。所有这些形成了工作站和网络环境下的高性能的 CAD/CAM 集成系统。进入 90 年代, 计算机硬件的种类、性能、存储容量、运行速度等方面已不再是制约 CAD 技术发展的难点, 这一时期的实体造型、特征造型、曲面造型、真实感图形显示等技术飞速发展, 各种功能强大的造型软件相继出现, 为 CAD 技术的应用和普及提供了强有力的支持。随着计算机, 特别是微型计算机和计算机绘图技术的发展, CAD 技术在机械、电子、建筑行业中的应用越来越普遍。据统计, 目前在整个 CAD 系统中, 机械 CAD 系统占 60%, 电子行业 CAD 系统

占 21%，建筑行业 CAD 系统占 16%。从早期开发的机械 CAD 系统到现在，机械 CAD 一直是 CAD 的重要部分，开发的软件也最多。CAD 技术是一项成熟的高科技技术，它已成为科技人员强有力的工具，也是我国近几年大力推广的技术。对于一个技术人员，只要他能很好掌握 CAD 技术，就会形成一种新的生产力，取得显著的效益。

CAD 技术在机械工业中的主要应用有以下几方面：

- (1) 二维绘图 这是最普遍、最广泛的一种应用，用来代替传统的手工绘图。
- (2) 图形及符号库 将复杂图形分解成许多简单图形及符号，先存入库中，需要时调出，经编辑修改后插入另一图形中去，从而使图形设计工作更加方便、快速。
- (3) 参数化设计 标准化或系列化的零部件具有相似结构，但尺寸需经常改变。采用参数化设计的方法建立图形程序库，调出后赋予一组新的参数就能形成一个新的图形。
- (4) 三维造型 采用实体造型设计零部件结构，经消隐及着色等处理后显示物体的真实形状，还可作装配及运动仿真，以便观察有无干涉等。
- (5) 工程分析 常见的有有限元分析、优化设计、运动学及动力学分析等，此外针对某个具体设计对象还有它们自己的工程分析问题，如注塑模设计中要进行塑流分析、冷却分析、变形分析等。
- (6) 设计文档和生成报表 许多设计属性需要制成文档说明或输出报表，有些设计参数需要用直方图、饼图或曲线图等来表达。上述这些工作常由一些专门软件来完成，如文档制作软件及数据库软件等。

从多年来的实践经验来看，与传统的设计方法相比较，采用 CAD 技术具有许多优点。CAD 技术的主要特点有以下几个方面：

- 1) 制图速度快，减少手工绘图时间，提高了工作效率。如果一个工程技术人员熟练地掌握了 CAD 技术并且采用 CAD 技术绘图，可提高工作效率 3~5 倍，加快了设计过程，缩短了新产品的开发周期。
- 2) 图样格式统一，质量高，促进设计工作规范化、系列化和标准化。这样就避免了由于个人绘图习惯不同而造成图样的不统一。
- 3) 提高分析计算速度，能解决复杂的设计计算问题。
- 4) 易于技术资料的保存及查找，修改设计快，缩短了产品的设计周期。
- 5) 设计时可预估产品性能。

总之，采用 CAD 技术确实能够提高设计质量、缩短设计周期、降低设计成本，从而加快了产品更新换代的速度，使企业保持良好的竞争能力。但也要看到，采用 CAD 技术会给企业带来一定的风险和问题，如投资大，需要投入一大笔资金购买软、硬件及支付培训和开发费用；一般不能在很短时间内产生效益，因此有些企业往往望而却步；还有需要一批掌握 CAD 技术的、具有良好素质的工程技术人员队伍，对原有的技术人员需要培训，这也是影响企业能否有效使用 CAD 技术的一个重要因素。

## 二、CAD 的工作过程

之所以叫计算机辅助设计，是因为在 CAD 作业过程中人与计算机必须密切合作，在决定设计策略、信息处理、修改设计及分析计算等方面充分发挥各自的特长。例如，计算机在信息存储与检索、分析与计算、图形作图与文字处理以及代替人作大量重复枯燥无味的工作方面有特殊优势；但在设计策略、逻辑控制、信息组织及发挥经验和创造性方面，人将起主导

作用。必须指出, CAD 不是完全的设计自动化。实践经验证明, 完全的设计自动化是非常困难的。CAD 是将人的主导性与创造性放在首位的, 同时充分发挥计算机的长处, 使二者有机地结合起来, 从而提高设计质量、缩短设计周期、降低设计费用。因此, 人一机信息交流以及交互工作方式是 CAD 系统最显著的特点。图 1-1 表示了 CAD 系统的工作过程。

该图表示了整个设计过程中的一个子过程。此时假定概念设计已经完成, 于是首先定义产品的几何模型, 进行零件的形体设计, 一般用实体造型的方法建立零件的立体图形, 从各个方向观察它的外观造型、大小比例和色彩等是否符合要求, 感到满意以后, 将其转换成具体的数据; 然后根据后续工作抽取模型中的数据进行处理, 例如变成有限元网格数据, 接着进行工程分析及计算, 根据计算结果决定是否要对设计进行修改, 修改满意后进行详细设计, 接着编制全部设计文档, 输出工程图。

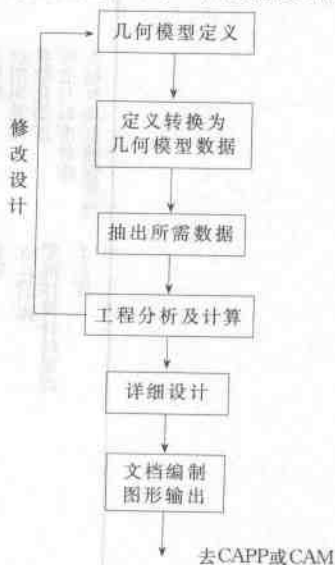


图 1-1 CAD 系统的工作过程

从技术角度看, 60 年代出现的 CAD 主要解决自动绘图问题, 随着计算机软、硬件技术及其它相关技术的发展, 现在的 CAD 已成为一门综合性应用新技术。它涉及到以下基础技术:

- ① 图形处理技术 如二维交互绘图技术、三维几何造型技术及其它图形输入、输出技术。
- ② 工程分析技术 如有限元分析、优化设计方法、物理特性计算 (如面积、体积、惯性矩等)、模拟仿真以及各行各业中的工程分析等。
- ③ 数据管理与数据交换技术 如数据库管理、不同 CAD 系统间的数据交换和接口等。
- ④ 文档处理技术 如文档制作、编辑及文字处理等。
- ⑤ 软件设计技术 如窗口界面、软件工程规范及其工具系统的使用等。

现在的 CAD 过程往往与计算机辅助工艺规程设计 (CAPP—Computer Aided Process Planning) 与数控 (NC—Numerical Control) 自动编程连在一起, 形成自动的 CAD/CAM 系统。图 1-2 给出了这种系统的工作流程图。图中一开始先根据市场需求确定产品的性能要求, 然后用专家系统进行产品方案设计, 由此再进行几何建模、工程分析, 直到绘出产品的详细工程图。CAPP 的功能是进行零件加工工艺路线及工序的编制, 它的作用除为生产调度及控制提供信息外, 也为 NC 自动编程提供所需信息。NC 自动编程部分生成刀具加工轨迹并在屏幕上进行加工仿真, 检查无误后, 经后置处理生成加工代码, 控制机床进行加工。该图左边是工程数据库, 构成了信息交换与集成的基础, 右边列出了所需软件的种类。

### 三、CAD 系统的分类

CAD 系统可根据其用途来分类, 如机械 CAD 系统、电气 CAD 系统等; 也可以根据 CAD 系统中配置的计算机硬件进行分类, 这是目前最常用的分类方法。

- (1) 集中式主机系统 该系统由一台集中的大型机 (或中型、小型机) 与若干图形终端连接而成。这种系统的优点是有一个集中的数据库统一管理所有数据, 缺点是由于所有软件都存在主机里, 一旦主机失误, 将影响用户的工作。另一方面, 当计算量过大时, 系统响应变慢, 甚至于会出现个别终端等待现象。早期的 CAD 系统大多属于这种类型。

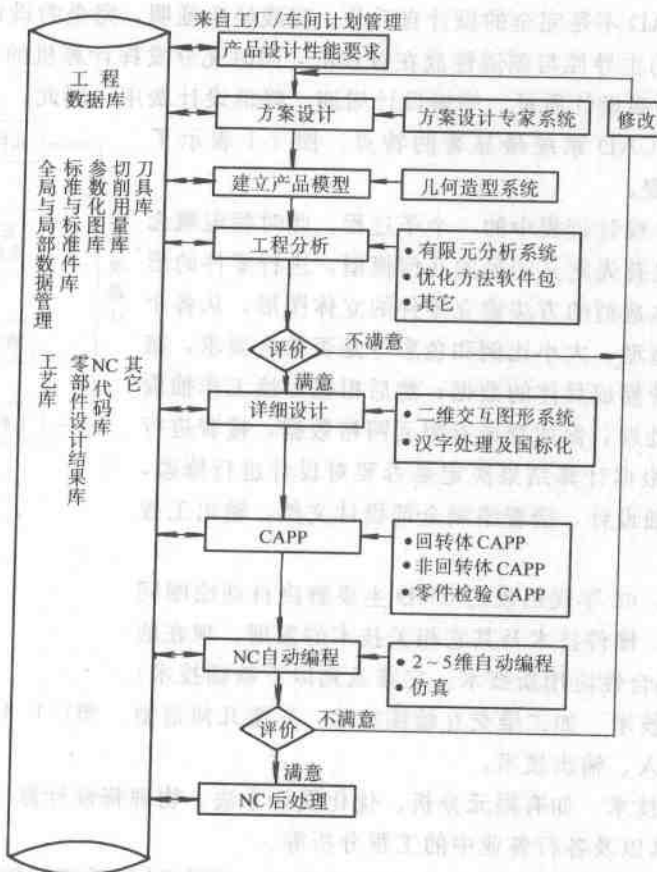


图 1-2 CAD/CAM 系统工程流程

(2) 分布式工程工作站系统 工程工作站系统本身就是一个独立的单用户 CAD 系统，也可以以一台主服务器为中心将若干台工程工作站或微机联成网络。这种 CAD 系统的图形功能强，速度快，内存、外存容量大，是从事 CAD 课题的首选设备。

(3) 微型计算机系统 个人计算机 (PC) 是国内使用非常普遍的设备，也可以用于 CAD 系统。虽然它的计算能力和图形功能不如工程工作站，但由于它的价格低、使用方便，各单位也组织了许多 PC 机 CAD 系统。近几年来，随着 PC 机微处理器的升级，运算能力和图形制作能力也有了很大的提高。目前，PC 机 CAD 系统的性能与低档工程工作站相接近，是一支不可忽视的力量。

## 第二节 CAD 系统的硬件和软件

### 一、CAD 系统的硬件

CAD 系统的硬件组成很难有一个统一的标准，图 1-3 是一个典型的 CAD 系统基本硬件组成，一般由主机、输入设备、输出设备和存储设备四部分组成。而一个特定 CAD 系统的硬件组成，可根据产品设计与制造过程的工作性质、技术水平和工作量、计算机市场的动向、性能价格比、经费等方面进行配置。图中的计算机主要是指计算机的中央处理器 CPU (Central



Processing Unit) 和内存存储器两部分。它是控制和指挥整个系统运行并执行实际运算、逻辑分析的装置,是系统的核心。CAD系统的计算机可根据不同需要采用大、中型机,也可采用小型机、微型机及专用的分布式多处理器。

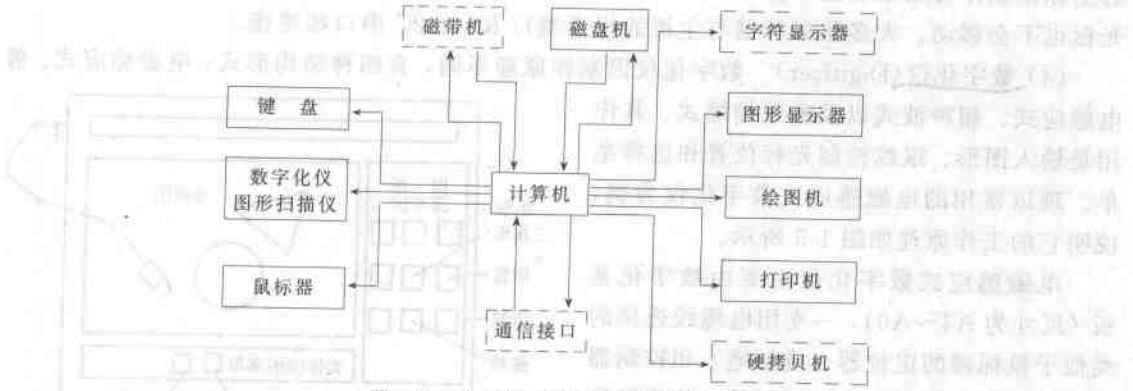


图 1-3 典型的 CAD 系统硬件组成

### 1. 输入设备

常用的数据输入设备有光电式纸带输入机、卡片输入机、键盘等。随着图形学和 CAD 技术的发展,出现了大量性能良好的图形输入设备,如操纵杆、跟踪球、光笔、鼠标器、数字化仪、摸感屏和扫描仪等。

输入设备的主要作用是将字符、平面上或空间中点的坐标输入计算机,其基本功能是“定位”和“拾取”。“定位”是确定和控制光标在屏幕图形上的位置,“拾取”是选取屏幕图形上的某一内容。理想的图形输入设备应兼有上述两种功能。

(1) **键盘(Keyboard)** 键盘是最常用的输入装置,可以输入数据和字符,也能够用于图形输入,如指定设备工作方式、指定图形变换方式、开始菜单作业等。从外观来看,它与英文打字机的键盘很相似。计算机的键盘分字符键、数字键和功能键三种。键盘与主机的键盘端口连接。随着磁盘机的发展,由键盘和磁盘构成的输入装置也已获得广泛应用。其工作过程是:由键盘控制数据存入磁盘,然后再输入计算机。这种方式适合于大批量数据的输入。

(2) **光笔(Light-pen)** 光笔是一种检测装置,它能够将屏幕上的显示状态(明暗变化)转换为电信号,送给计算机。光笔广泛应用于 60 年代末到 70 年代初期,与当时高级的刷新矢量型图形显示器相配合,能够有效地从屏幕上拾取部分图形或对图形进行增添、删除、修改等功能。因此,在人机图形交互中,光笔曾经是一种非常有用的设备。但是,由于光笔的精度低以及更好的图形输入设备的出现,现在光笔已很少使用。光笔的结构和工作原理如图 1-4 所示。

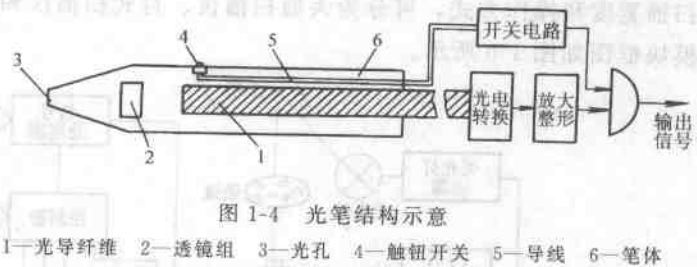


图 1-4 光笔结构示意图

1—光纤 2—透镜组 3—光孔 4—触钮开关 5—导线 6—笔体

(3) **鼠标器(Mouse)** 鼠标器是一种手动输入的屏幕指示装置,一般有 2~3 个功能键,用来控制和移动光标在屏幕上的位置,以便在该位置上输入图形、字符或从屏幕菜单上选择需要的项目。它有机械式和光电式之分。机械式鼠标器的底部装有两个互相垂直的滚轮,有两个电位计分别与滚轮相连,当鼠标在桌板上行走时,电位计记录在  $x$  及  $y$  方向的增量,经转