

CAD

陈定方 倪笃明 编著

机械的CAD与 专家系统

北 京 科 学 技 术 出 版 社

CAD

22

机械的 CAD 与专家系统

陈定方 倪笃明 编著

北京科学技术出版社

机械的 CAD 与专家系统

陈定方 倪笃明 编著

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路 19 号)

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售

北京通县马驹桥印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16开本 10 印张 242,000 字

1986 年 12 月第一版 1987 年 4 月第二次印刷

印数 5,001—6,000 册

统一书号 15274·046 定价 2.00 元

内 容 简 介

本书分九章讲述了计算机辅助机械设计 (CAD) 的主要内容和程序设计技巧; 内容充实、语言简洁, 实例丰富、图文并茂, 有益于读者深入地掌握CAD并在机械设计中应用。本书还介绍了计算机应用的前沿——人工智能与机械设计专家系统。

本书适合于在工厂和研究所从事机械设计工作的工程技术人员阅读, 亦适合于高等院校有关专业的教师、本科生和研究生参考。

序 言

CAD(Computer Aided Design)是一门年轻、发展极其迅速的技术,它正在使传统的机械设计发生根本性的变化。人们越来越深刻地认识到:机械设计是机械工程的灵魂,CAD是机械设计的根本出路,而智能化是CAD的必然趋势。

编者所在的“机械CAD研究室”经过五年的努力,研制了计算机辅助机械设计WT.M-CAD系统,本系统通过了湖北省级鉴定,在国家软件中心获准登记,并已用于生产实际。例如,运用“人机对话生成齿形”程序,与工厂合作,研究日本进口齿轮箱的齿形,对齿根圆角半径进行分析,提出了特殊滚刀的参数,解决了断齿问题;利用该软件系统为新型的传动——螺环减速机提供了最佳参数,并与工厂协作研制出样机,该样机在全国机械发明会上参加了展出。在本软件基础上,编者所在研究室正与武汉重型机床厂共同研制“重型机床零部件的CAD与专家系统”。

为了迎接新技术革命的挑战,推动计算机在机械设计中的应用,我们在总结近年来学习、研究和讲授CAD体会的基础上,编写了这本书。

本书概述了CAD的内涵和发展(第一章);以实例的形式介绍了程序设计的技巧(第二、三、四章);讲述了微机的绘图功能(第五章);介绍了典型零件的设计程序(第六章);最后,对刚刚起步、尚待发展的机械设计的专家系统也进行了介绍(第七、八、九章)。

本书所列举的三十六个BASIC源程序均在APPLE-Ⅱ上通过,个别语句经改动后,亦可以在IBM-PC等微型机上运行。读者可以运用这些程序验证自己的学习效果,并且在实际设计中灵活应用,以期获得较佳的设计效果。

本书在编写过程中,曾经得到余俊、曾宪章、周延佑,郭可谦、王荣航、李苏田、余长庚、刘孝乾、向光、周济等老师的指导、鼓励和支持。日本友人塚本正胜和武汉水运工程学院“机械CAD研究室”的其他老师等亦给予了多方面的支持。在此,对所有为本书的编写、审阅和出版给予支持和帮助的同志一并致谢。

由于编者的水平和实践所限,加之编写时间短促,书中的不当之处,恳请读者指正。

编 者

一九八五年十一月

目 录

第一章 机械 CAD 的三种水平及其未来	1
§ 1—1 机械 CAD 的内涵	1
一、机械 CAD 系统的构成	1
二、机械 CAD 的内容和特点	1
§ 1—2 CAD 系统的三种水平	3
一、水平 I 的 CAD 系统	4
二、水平 II 的 CAD 系统	4
三、水平 III 的 CAD 系统	5
§ 1—3 CAD 的未来	5
一、CAD 在企业中的发展及引入时要注意的问题	5
二、未来的 CAD	5
第二章 CAD 程序设计技巧 (I)	7
【问题 1】 求悬臂梁的支承反力	7
【问题 2】 求曲柄—滑块机构的运动参数	9
【问题 3】 根据直径检索平键	13
【问题 4】 线性插值	15
【问题 5】 根据许用应力选择工字钢	18
【问题 6】 V 型胶带选型	21
第三章 CAD 程序设计技巧 (II)	26
【问题 7】 H 型钢截面系数排序	26
【问题 8】 二分法解方程求梁的挠度	29
【问题 9】 最小二乘法拟合多项式	31
【问题 10】 求多项式的值	38
【问题 11】 计算矩阵的乘积	40
第四章 CAD 程序设计技巧 (III)	43
【问题 12】 高斯消元法解线性方程组	43
【问题 13】 辛卜生法数值积分求面积	46
【问题 14】 数据处理	48
【问题 15】 用数据文件存贮六角螺栓参数	49
【问题 16】 牛顿迭代法解方程	53
【问题 17】 有限元分析中的自动划分网格	55
第五章 APPLE—II 型微机的绘图功能	61
§ 5—1 在低分辨率状态下绘图	61
§ 5—2 在高分辨率状态下绘图	62
§ 5—3 用造型法绘图	64

一、绘制造型的语句	64
二、图形定义及造型表的建立	65
三、将造型表输入计算机	66
四、造型表的保存	67
§ 5—4 偏心圆尖顶从动件凸轮的动态显示	67
一、建立数学模型	67
二、动态显示要解决的问题	67
三、程序分析	68
§ 5—5 液压传动帕斯卡原理的再现	70
第六章 机械传动系统的 CAD	73
§ 6—1 机械传动系统设计的特点	73
§ 6—2 电动机的选择及传动比分配	74
一、设计内容	75
二、计算步骤	75
三、计算机程序	76
§ 6—3 齿轮传动的程序设计	83
一、设计内容	83
二、计算步骤	83
三、主程序框图及主程序	85
四、子程序	90
五、程序运行结果	93
六、齿轮工作图显示	96
§ 6—4 轴的强度设计程序	100
一、设计内容与计算步骤	100
二、主程序框图及主程序	106
三、子程序	112
四、程序运行结果	121
五、轴工作图显示	124
第七章 人工智能与专家系统	129
§ 7—1 关于人工智能	129
§ 7—2 人工智能发展的三个时期	129
一、孕育形成时期	129
二、成长发展时期	130
三、应用开发时期	130
§ 7—3 专家系统迅速发展的原因	131
一、什么是专家系统	131
二、专家系统的应用领域	131
三、专家系统迅速发展的原因	132
§ 7—4 机械设计的专家系统	132
一、机械设计的特点	132
二、专家系统在机械设计中的应用	133
三、机械 CAD 与专家系统	133
§ 7—5 应注意的几个问题	133

第八章 专家系统的组成和特点	134
§ 8—1 专家系统的基本结构	134
§ 8—2 一个专家系统的示例	134
§ 8—3 知识表示	136
一、知识表示的主要考虑	136
二、知识表示的方法	137
§ 8—4 知识的获取	139
一、专家系统的构造	139
二、领域间的相互渗透	139
三、系统的实现、修改与扩充	140
四、系统自动收集、获取知识	140
§ 8—5 专家系统的特点	140
第九章 工程设计中的人工智能	142
§ 9—1 设计过程的模拟	142
一、信息流	142
二、反馈	142
三、设计者的作用	143
四、人工智能的作用	144
§ 9—2 单参数设计的实例	145
一、问题	145
二、数据库	145
三、经验的采集	145
四、经验的应用	145
五、结果	145
§ 9—3 三角胶带设计的专家系统	146
一、语义网络中“与”和“或”的关系	146
二、语义网络转化为规则	149
参考文献	150

第一章 机械CAD的三种水平及其未来

以计算机为中心的新技术革命浪潮正在世界范围内引起深刻的变化。计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)技术的应用,是工业革命以来机械工程领域中发生的最重大的变化。

中国有这样一句古语:“工欲善其事,必先利其器”。当今的社会,这“器”不仅是刀、斧、铲、锉,而是已经包括CAD/CAM所需的硬件和软件。

§ 1-1 机械CAD的内涵

一九六三年春天,美国麻省理工学院(MIT)发表了计算机辅助设计(*Computer Aided Design*)项目的五篇论文。这组论文作了以下的设想:设计者坐在CRT的控制台前,用光笔操作,从概念设计到生产设计以至制造,都可以实现人机对话;设计者可以随心所欲地对计算机所显现的图形进行修改、追加和删除。这是一种带有人工智能奇迹的设想,是图形库最初的尝试,它给当时的工程界以极大的震动。

二十多年来,随着计算技术和微电子学的发展,价格低廉、性能优良的CAD软硬件系统得到了相当广泛的应用。三元处理系统、彩色高分辨度显示、软件固化都达到了实用阶段,给设计和制造工作带来了巨大的变化。

一、机械CAD系统的构成

机械CAD的硬件系统主要包括主机、软磁盘机、硬磁盘机、打印机、XY绘图仪、数字化仪等。

一个完备的机械CAD软件系统是由科学计算、计算机绘图与图形显示、数据库三个方面的功能搭配而成的。

科学计算包括通用数学库、统计数学库,包括在机械设计中占有很大比例的常规设计,包括优化设计、有限元分析、可靠性分析、动态分析等手段。

绘图与图形显示包括绘制机械零件图、部件图及装配图,绘制机械性能、物理性能和动态曲线,绘制数据表格。还包括人机对话,在图形显示装置上进行图形的几何变换,对图形进行平移、旋转、对称、删除、修改以及拼合。也包括计算机分析与模拟。

数据库是一个通用的、综合性的、减少冗余程度——即数据重复存贮程度的数据集合。它按照信息的自然联系组合数据,即把数据本身和实体间的描述都存入数据库,用不同的存取方法对数据进行各种组合,以满足多种使用要求,使设计所需要的数据便于提取,新的数据易于补充。

总之,机械CAD系统不仅要有效地利用计算机所具有的信息处理能力、信息传输能力和信息存贮能力,高效地进行复杂的设计;而且,还要利用人们丰富的创造力和柔性判断力。

图1—1所示为利用CAD设计的决定过程。

二、机械CAD的内容和特点

据国外统计,在设计过程中,约有50~60%的工作是属于制图方面的,此外还有大量查寻表格、曲线和设计、计算的工作。使用CAD可以使设计人员从这些繁琐、重复且易于出

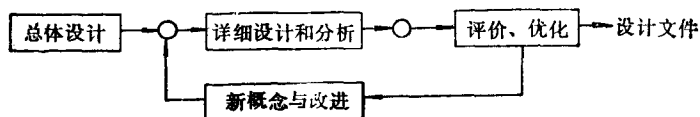


图 1-1 CAD 设计的决定过程

错的工作中解放出来，集中精力从事带有创造性的工作。

用 CAD 设计时，图形显示装置可以根据设计者的想象，产生有关的结构、机构，同时伴随产生各部分的几何形状、尺寸和属性。人机对话以后，标准化数据的设计模型可在计算机内部完成，并可以储存在相应的数据库里，随时准备调用。产生的设计模型可以通过图形显示器从不同角度加以显示。设计者可根据三视图、透视图、剖面图等各种图形进行确认。为检验设计结果、比较设计优劣，设计者还可以利用计算机对所设计对象的各种特性进行分析，从不同的角度进行模拟。如各种图形的分析，有无干涉的几何特征分析，应力的幅值及位置、应变分布、变形情况的分析，体积、重量、重心、惯性矩、截面二次矩、截面系数的自动给出，流线、压力分布、流速分布、流量等流体特性分析，温度分布、热应力、热膨胀、热量等热特性分析，FMS 柔性加工系统分析以及动作模拟等等。这一系列过程运用计算机完成，将会显著缩短设计及制造周期，提高质量，降低成本。据统计，CAD 可以使机械产品的设计周期缩短 $2/3 \sim 4/5$ ，工艺周期缩短 $4/5 \sim 9/10$ ；降低基建费用 $10 \sim 30\%$ ；改善经济技术指标 $10 \sim 25\%$ 。目前，有的国家首次设计一次成熟的可靠性已达 95% 以上。日本某金属模具制造厂商引用 CAD 以后取得了表 1-1 所示的实际效果。

表 1-1

	引用 CAD 前 (h)	引用 CAD 后 (h)	为原来的
资料调查	34	17	1/2
设计	27	9.7	1/3
绘图	129	5.3	1/20
作数控纸带	42	3	1/14
合计	232	35	1/7

如果把 CAD/CAM 系统的销售额加以整理，则如图 1-2 所示。由图可见进入八十年代以来，迎来了 CAD 高速发展的时期，预计到八十年代后期销售额将达到 $50 \sim 70$ 亿美元。

使用 CAD 系统可以在计算机内形成某一零部件的几何模型，设计者可以规定载荷，运用有限元等方法，通过数据的输出或图形的滞后来表示结果。还可以运用数学规划对产品最高效率、最小消耗、最低成本等进行优化选择。

一些 CAD 系统具有研究活动构件运动学特征的功能。设计者运用人机对话对运动提出要求，计算机就自动生成能实现给定运动的一

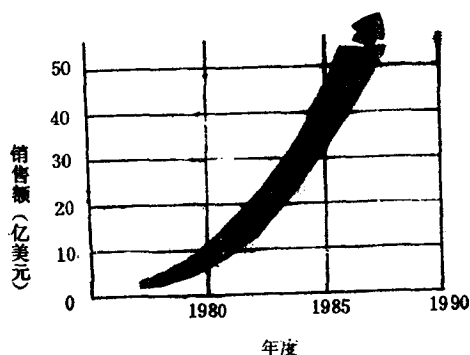


图 1-2 CAD/CAM 系统的世界市场规模预测

族机构。用户可按照屏幕上的动画、各杆端的闪烁和声音所反映的运动稳定性来选择最佳机构。图 1—3 是在 APPLE-Ⅱ 微机的显示屏上模拟机构运动的一个实例。

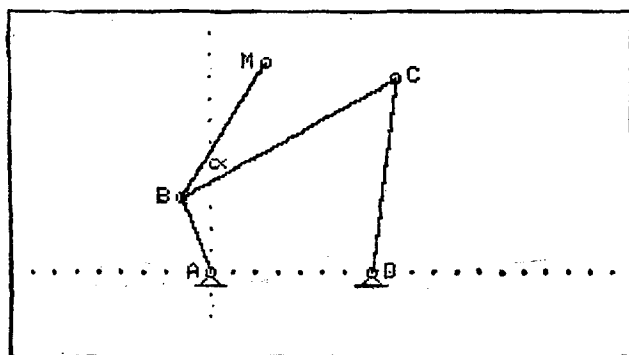


图 1-3 机构运动模拟

有些专用软件可以在设计的初期模拟产品的性能。系统模型综合有各个零件及其装配的有关数据，这些数据来自有限元分析、试验或者数据库。这种模拟比传统的边试制、边试验直到产品设计的后期才能了解原型机的缺点要经济，而且这种设计一般亦接近于优化。

目前，CAD/CAM 技术在一些技术先进国家的飞机、汽车、船舶、模具、集成电路、管道布置、容器的设计及建筑设计中得到了广泛的应用。有的国家已经或正准备引进机器人、数控、CAD/CAM、自动仓库等，向建立自动化工厂迈进。比如日本日产公司的 CAD 就包括 (1) 车身结构样条图；(2) 车身零件图；(3) 车门玻璃升降性分析；(4) 发动机室的预测；(5) 视野分析和雨刷擦拭范围模拟；(6) 车床上可关闭物体的干涉；(7) 数控加工。

为了适应 CAD/CAM 技术的发展，国外对在校大学生及在职人员有关方面的教育及培训工作都十分重视。英国工业部门从 1982 年起三年进行一次对 CAD/CAM 提高认识的运动，包括举办为期一天的厂长学习班和为期一周的设计和生科科长学习班。国内近年来在 CAD 研究、应用和人员培训方面亦做了许多工作。

§ 1—2 CAD 系统的三种水平

CAD/CAM 实用的范围，通常如图 1—4 所示。

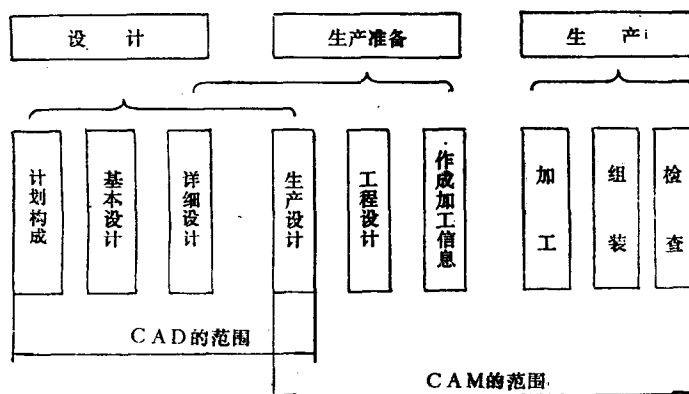


图 1-4 CAD/CAM 的实用范围

表 1-2 CAD 系统的三种水平

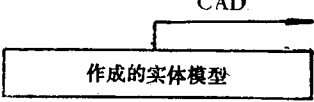
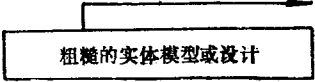
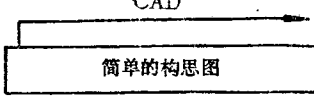
水平	设计过程			处理的	使用的	系统建立技	保证实用化体	可获取
	基本设计	详细设计	制作生产指令	进行方式	图形显示器	术的难易程度	制的难易程度	的效益
(I)				非交互式 或交互式	• 机械式绘图机 • 存储管式显示	较容易	较容易	较小
(II)				交互式	• 清晰形的随机扫描 • 高级的帧缓冲存储器	中	中	中
(III)				高级交互式	• 高级清晰形随机扫描 • NC模型加工机 • 高级的帧缓冲存储器	难	难	大

表1—2将设计过程按照基本设计、详细设计、制作生产指令信息三方面对 CAD 系统进行了三种水平的考察。

一、水平 I 的 CAD 系统

所谓水平 I 的 CAD 系统，是使用计算机控制，加工成设计最终阶段的生产指令信息的系统。在这个阶段，形状设计的基本工作已经结束。包括誊清整理好生产所必需的加工图和曲线图，作成数控机床的 NC 纸带。

这种水平的 CAD，因为不一定需要与计算机进行频繁的会话处理，所以，可以有效地使用价格便宜的机械式绘图机及存储管式 CRT 显示装置。

在设计汽车和船舶时，为了表现实际大小以及实现高精度表达，多使用大型自动绘图机。形状设计部分是用传统的手工方式进行的，而最后的结果是计算机化的结果，所以，保证实用化的体制比较容易。因此，CAD 化首先从水平 I 开始实施是合乎常理的。

这种水平的 CAD 系统，需要将设计所得到的大量数据输入到计算机，这是十分繁琐而又易于出错的工作。如果从建立 CAD 系统的观点来看，这种水平的系统比较容易建立，因为它将形状、数据看作是固定不变的，但是所得到的计算机化的价值却比较小。

二、水平 II 的 CAD 系统

为了提高 CAD 化的价值，要尽可能在设计的初期阶段，在计算机内建立数学模型，然后通过计算机进行各种与设计相关的工作。

水平 II 的 CAD 系统，可以利用计算机做详细设计以后的工作。这种水平的 CAD 系统，以粗糙的形状模型或设计简图为基础，从输入比水平 I 少的形状数据开始工作。

因为造型工作的最终部分是由人与计算机协同完成的，所以期望图形输出装置是会话性能良好的、能清晰显示的装置。为了使计算机内部表示的模型，能在二维的画面上获得立体感，通常画面上的物体是以动画(慢动作)形式回转，或是按对比度变化的图形。

目前，这种用硬件实现的显示系统在国外已有出售。最近，画面缓存系统的价格已经十分低廉。这种显示可以用与以往存贮管同样的价格购得，可以表现出与实际物体相近的彩色

图形。当然，应用数字模型加工机，对产品进行研究是十分理想的。

这种模型加工机，不是用于生产的，而是用于设计系统的，它将对设计过程中使用的材料和形状进行详细地证实和研究。模型加工机加工的材料以木头、聚胺脂、发泡聚乙烯等易切削材料为好。还有，在形状设计即将完成的阶段，它可以对石膏以微量的进给进行精密加工，在某些情况下，可对模型进行涂漆，了解光反射的情况。

对模型加工机床的要求是，加工速度高，可以控制四轴以上的切削过渡部分。

获取形状设计的系统，其形状的数学模型必须能够频繁地进行形状的变更、修改，柔性地处理。这种 CAD 系统与水平 I 的情况相比是较高级的。

三、水平 II 的 CAD 系统

更为理想的 CAD 水平 II 系统，是从构思设计开始的，并直接在图形显示装置上进行工作。在这种情况下，假定在设计者的头脑中有着某个形状的构思，或者简单的构思图，这以后的工作全部都通过人与计算机的对话在显示器上进行。

如以自由曲面形状的设计为例：为实现这个系统，只要输入非常少的信息，形状设计系统就能产生与设计者构思相近的形状模型，并且十分理想。这种形状模型的数据结构非常一般，但却具有相应的柔性。

对这种水平系统的开发，需要更高级的 CAD 技术，如得以实现，从设计的最初阶段开始的所有工作都可以用计算机控制来进行，其价值是不可估计的。可以设想，在某些领域里，这种理想的 CAD 系统在不久的将来是可以达到实用化程度的。

§ 1—3 CAD 的未来

一、CAD 在企业中的发展及引入时要注意的问题

CAD 在国外有关企业中的发展，大致有以下六个阶段：

- (1) 以自动绘图机为工具的自动绘图系统化；
- (2) 以数控机床为工具的 NC 系统化；
- (3) 以会话型自动绘图系统为工具的会话型系统化；
- (4) 技术信息数据的一体化；
- (5) 以大型计算机为中心的分散处理化；
- (6) 生产过程中信息处理的网络化。

在开始建立 CAD 系统时要注意以下七个方面的问题

- (1) 要能够利用三维系统；
- (2) 要能够使用丰富的图形种类；
- (3) 要建立能够大量存贮图纸的数据库；
- (4) 要易于与其它系统联接和脱离；
- (5) 要有效地利用 CRT；
- (6) 要具有快速响应的功能；
- (7) 要易于操作。

二、未来的 CAD

对于未来的 CAD，国外较为一致的看法有以下几方面：

- (1) 先进的工作站。计算机的磁盘装置极有可能为光盘所取代。前不久，Storage Technology 公司推出的 7600 光盘存贮系统，其存贮量是 4 千兆，工作寿命 10 年，数据传输速度

高达每秒 3 兆字节，可以确保在 10 亿位数据（相当于 312 个光盘）中只有一位出错。预计带有立体声系统、振动传感器及三维全息显示的手携式 CAD 组件将会出现。

(2) 新型的接口方式。目前是使用键盘、按钮、光笔、数字转换器、电子盘、感触板来输入指令。这些方法速度慢，操作者易于疲劳。预计，声控送入器 (*Voice Data-Entry*) 将相当广泛。利用低能激光柱的眼视追踪技术将得到发展，而利用脑电波信号使人脑与计算机更直接联接的接口正在研究之中。

(3) 实体模型 (*Solid modeling*) 具有建立“工程实体”的能力，是一种表示零件而具有极大灵活性的三维数据库。它将有助于多座标 NC 机床迹线的自动生成，以及自动检查装配零件的间隙。

(4) 柔性生产系统 (FMS) 和集成生产系统 (IMS) 将随着计算机辅助检测 (CAT)、计算机辅助装配 (CAA)、信息管理系统 (MIS) 的发展逐步完善，使设计和制造过程成为一个完整的物质流和信息流过程。这样，计算机辅助工厂 (CAF) 就可望真正建立，并可进而实现包括技术信息数据库、生产管理数据库在内的，利用计算机进行综合设计生产的工程 (*CAE—Computer Aided Engineering*)。

(5) 成组工艺 GT (*Group Technology*) 将通过多种途径缩短产品的发展周期。

(6) CAD/CAM 互联成网，用户共享公用的数据库。

(7) 第五代计算机将把先进的结构与人工智能相结合，将具有逻辑推理、自然语言理解、图象识别、联想与学习等功能，形成具有计算机网络功能的知识库。机械设计的专家系统将组合大量的知识和能力，就象那些具有丰富专业知识和工作经验的专家那样，结合规范知识和实践经验，对机械领域里的工程设计问题，向用户提供宝贵的咨询。

第二章 CAD 程序设计技巧 (I)

随着微型计算机应用的普及,从事机械设计的人们在学习计算机语言的基础上,在对计算机的操作有了一些实践以后,十分关心如何在机械设计中使用微型计算机。

使用微机,编制程序,有许多技巧。掌握了这些技巧,并且运用自如,就会改变遇到实际问题不知所措的境况。

在第二、三、四章里,我们将用一些简明的程序,从不同的侧面讲述资料检索、数据处理、曲线拟合、求解方程或方程组、数值积分、建立数据文件、提高计算速度等方面的一些技巧。这些程序使用 BASIC 语言,已在 APPLE—II 上通过。当然,把这些程序往 IBM—PC 及其它微机上移植,也是十分方便的。

编制程序一般应该注意的问题可归纳为以下几点:

- (1) 编程时,有关专业的知识占七成、程序方面的知识占三成。
- (2) 要获得良好的功能,必须使一个程序具有多方面的功能。
- (3) 不要使程序流程太复杂,内容应尽可能地单一。
- (4) 加上确切的注释语句。
- (5) 要按照一定的规则书写,并形成习惯。
- (6) 内容不易明瞭的程序,一定要使用方便。
- (7) 程序使用说明书是否好,决定其程序的价值。

这三章以【问题×】的形式编写,读者可以把每个问题作为一节。

为了使读者能够参考日本机械 CAD 工作者的处理技巧,有个别例子,比如【问题 6】保留了日本的有关标准。其余的则尽可能符合我国的标准与习惯。

【问题 1】求悬臂梁的支承反力

在图 2—1 所示的悬臂梁上作用了若干集中力,试编制求固定端上支反力 R 的程序。

【解 释】

作用在固定端的反力 R ,是由作用在梁上载荷的总和而形成的,亦即可由下式求得:

$$R = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 \quad (1)$$

程序 1 的 1090 行,是用 BASIC 语句直接将(1)式表达出来,这种方法在变量多的时候不能使用。

程序 2 所示的方法在变量多的情况下亦能运用。并且在变量多以及变量的下标改变的时候特别适用。

该程序的 1120~1140 行是一个循环体,1130 行的 $R = R + W(I)$ 是循环内容,能够自动地将各个反力累加起来。

程序 3 是求取固定端弯矩 M 的例子。这里,弯矩 M 由下式给出

$$M = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot l_i \quad (2)$$

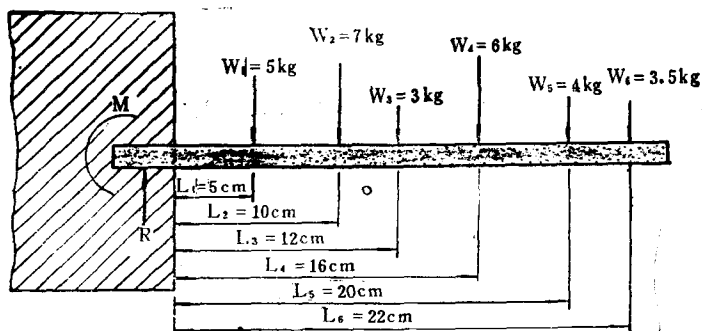


图 2-1 悬臂梁

程 序 1

```

1000 REM *****
1010 REM *              1--1              *
1020 REM *****
1030 PRINT
1040 HOME
1050 REM ----- DATA -----
1060 READ W1, W2, W3, W4, W5, W6
1070 DATA 5, 7, 3, 6, 4, 3.5
1080 REM -----
1090 R = W1 + W2 + W3 + W4 + W5 + W6
1100 REM ----- OUTPUT -----
1110 PRINT "-----"
1120 PRINT "R = ", R, "N"
1130 PRINT "-----"
1140 END
]RUN

```

```

-----
1          R = 28.5N          1
-----

```

程 序 2

```

1000 REM *****
1010 REM *              1--1-2              *
1020 REM *****
1030 DIM W(6)
1040 HOME
1050 REM ----- DATA -----
1060 DATA 5, 7, 3, 6, 4, 3.5
1070 FOR I=1 TO 6
1080 READ W(I)
1090 NEXT I
1100 REM -----
1110 R = 0
1120 FOR I=1 TO 6

```

```

1130 R = R + W(I)
1140 NEXT I
1150 PRINT
1160 REM ----- OUTPUT -----
1170 PRINT "-----"
1180 PRINT "R = ", R, "N"
1190 PRINT "-----"
1200 END
]RUN

```

```

-----
!           R = 28.5N           !
-----

```

程 序 3

```

1000 REM *****
1010 REM *           NI-1-3           *
1020 REM *****
1030 PRINT
1040 HOME
1050 DIM W(6), L(6)
1060 REM ----- INPUT DATA -----
1070 FOR I=1 TO 6
1080 READ W(I), L(I)
1090 NEXT I
1100 DATA 5, 5, 7, 10, 3, 12, 6, 16, 4, 20, 3.5, 22
1110 REM ----- CALCULATION -----
1120 M = 0
1130 FOR I=1 TO 6
1140 M = M + W(I) * L(I)
1150 NEXT I
1160 REM ===== OUTPUT =====
1165 PRINT "-----"
1170 PRINT "M = ", M, "*10-2 N·m"
1175 PRINT "-----"
1180 END
U
URUN

```

```

-----
!           M = 384*10-2 N·m           !
-----

```

【问题 2】求曲柄——滑块机构的运动参数

图2—2所示的是一个曲柄——滑块机构 试编制程序求曲柄按一定的转速 n 回转时, 滑块的位移 S 、速度 V 和加速度 A 。