

计算结构力学 微机程序设计

钟 万 颢

水利电力出版社

计算结构力学 微机程序设计

钟 万 颢

水利电力出版社

内 容 提 要

解决在微型机上进行复杂结构分析,既适合我国国情,也有其特殊性。本书围绕已在PDP-11, CROMEMCO, ALTOS, IBM-PC, 长城0520A, STM-PC等微型机上运行的多单元组合结构分析程序DDJ-W,讲述了结构化程序设计方法以及多单元复杂结构体系的力学原理和程序实现。

本书,还提供了在PDP-11上运行的DDJ-W源程序全文。该程序已在只有64K内存的计算机上运行,可以方便地改写为PASCAL或FORTRAN-77的程序,为此,获1984年全国微机应用成果一等奖。

本书在程序设计方面详细分析了数据与内存管理系统JINEGS、自由格式读入器以及结构化FORTRAN语言DITSF等;在计算力学方面讲述了节点位移规格数,部分服从多重主-从关系,节点位移在不同坐标系内的描述,各类单元的统一装配方法、结构描述数据库,浮动分块结构总刚度阵三角化求解,荷载模式及工况,元内荷载的处理等。

全书在讲述上选材集中,并已多次用作研究生课程教材,反映了作者多年来在计算力学方面工作的体会,提供了进一步掌握多层次结构分析JIGFEX所必须的材料。

本书可供计算结构力学的读者、结构工程技术人员以及大专院校有关专业师生参考;也可供工程技术人员用以发展各行业适用的集成设计系统;书中所述程序设计方法及软件工具(如结构化FORTRAN语言DITSF,自由格式数据输入器,以及文件系统JINEGS等,对于其它行业的程序研制与开发也可供借鉴。

计算结构力学微机程序设计

钟 万 颀

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 28.75印张 654千字

1986年10月第一版 1986年10月北京第一次印刷

印数 0001—2890册 精装定价7.80元

书号 15143·6005

序

电子计算机的出现为结构力学提供了强大的工具，有限元方法也随之出现，这使得传统的结构力学越出了杆系的范围，成为统一处理各类工程结构的一门学科。计算结构力学除结构力学本身的基本理论之外，还包含有结构分析程序体系、计算机程序设计方法等问题。用计算机处理各类结构的分析和设计课题时所面对的问题都在计算结构力学范畴之内。

计算结构力学又是一门实用的学科，一方面应当按结构力学的基本理论计算出结构变形与内力分布，另一方面也不能局限在本门学科的范围，而忽视工程设计的其它方面。例如计算机作图，环境分析，应力校核，钢筋混凝土配筋设计，预算造价分析，工程优化与计算机辅助设计等。因此计算结构力学的程序设计一定要考虑到发展为工程结构设计集成系统的需要。

中国有自己的国情、文字与设计规范，发展一个工程实用的集成程序系统不能无视中国的实际。再说，程序系统也应当不断维护、修改与发展。这样的程序系统应当立足在自己力量的基点上，即中国式的。由中国人自己来开发对于维护、修改与发展有极大的优越性，而且投资省，比从国外进口要便宜得多。

近几年来，微机发展迅速，价廉物美，它在我国各单位分布极广，而大、中型计算机则限于财力的不足，不易普及。然而在微机上研制计算结构力学分析系统却要比大、中型机困难得多，主要是机器资源方面的限制。因此在对于程序的系统结构，数据管理以及机器资源的使用就必须予以精心考虑。

国内在这方面的的工作，已经被高等学校、研究单位和设计部门所重视，并正在努力开展工作。本书讲述的DDJ-W程序是我院工程力学研究所钟万勰教授领导的研究组开发的一个可以在微型计算机上运行的版本，它已经在内存为64 K字节的PDP11-23及CROMEMCO-II型机上成功地运行了。值得指出的是，利用这本书中所提供的一套程序设计的思想、方法及软件工具，可以有助于在微机上发展各个工程领域中的中国式集成化的程序系统。

书中提供的程序DDJ-W是可用于实际计算的。DDJ结构分析系统在国产TQ-16机上已有多年运行的历史。它是多层子结构分析系统JIGFEX的一个子集，DDJ的开发本来是为面向教学的目的而从JIGFEX中提取出来的。TQ-16机的DDJ系统已经由研究组的同志们写成教材，并且已讲授过多次，也办过若干个推广班了。本书讲的是适用于微机的DDJ-W，是在上述教材的基础上作了全面的整理和修改而写成的。考虑到微机的广泛适用性，所以推荐这本书出版。

大连工学院 钱 令 希

一九八四年四月

作者序言

计算机的应用及有限元法的随之发展,使结构力学的面貌为之一新。结构分析的矩阵位移法及有限元法已经出了若干种教材,但计算结构力学的一个重要关键是其计算机程序,在这一方面的教材则还很不够,微型机上复杂结构分析的程序设计教材则尚付阙如。本书的目的就是补此不足。

一个通用的计算机结构分析程序应当能适应多方面的要求。为了面向各种工程结构计算方面的需要,当然应当装上多种类型的单元。但是随着认识与需要的发展,还会有配备新类型单元的要求,因此程序应当有灵活的单元连接接口。由于要面向多种类型的结构计算模型,程序的系统设计应当依照力学理论配备各种各样结构模型化的手段,如主-从关系,节点相对坐标,位移规格数等。为了考虑结构所受到的多种荷载作用,程序中应当配备多种荷载组合的功能,区分出荷载模式与工况的概念。为了扩展到动力计算、稳定性计算及计算机绘图与辅助设计等功能,在程序的系统设计中应当准备好明确、简单的接口,将来还可以进一步发展到各个工程领域中的集成系统。

虽然,实际工作中提出的多方面合理要求应当在程序系统中予以解决,但研制开发一个程序系统还应当考虑现实的设备问题。在我国当前的条件下,最适宜的是微型机。微型机数量多,分布广,推广应用效果大,但机器本身资源有限,普通有64K字节内存的限制。我们的任务是要在有限资源的条件下开发一套程序,解决上述多方面的功能要求。其基本部分便是本书中所述的微机结构分析程序DDJ-W,这些字符为“多单元结构分析-微机”之意。书中的内容选择着重于程序的结构分析模型化,程序的构造,模块式结构及其各种接口,程序设计方法及其软件工具等。为了使读者注意力集中选材不讲面面俱到,只要是与DDJ-W无关的,就舍弃不讲。为了能具体地理解,书中附了一个DDJ-W的源程序,这是一个可以运行的版本,适用于LSI-11/23机。但DDJ-W并非仅仅能在这机上运行,即使在8位机CROMEMCO-II型上,DDJ-W也已成功运行多时了。

虽然书中所讲述的只是静力分析部分,但扩展到其它方面的接口已经准备好。例如现在已经接上了计算机绘图及配筋等功能。在软件工具的支持下,通过设计中预留的接口,扩展多方面的功能是没有问题的。

本书的内容:第一章是概论。第二章概述了程序设计方法论,这方面的内容往往容易被忽视,殊不知程序设计方法论对于有一定规模的程序开发来说是至关重要的。DDJ-W所用的计算机语言,结构化FORTRAN语言的DITSF便在这一章阐述,这是我们自己研制开发并在DDJ-W中使用的第一个软件工具。第三章讲述程序所面向的结构计算模型及其力学理论,第四章讲DDJ-W的使用。程序研制的第一步便是需要性分析与选定目标,在这个阶段发生偏差会造成很大损失,所以这两章的内容是很重要的。DDJ-W对于原始数据输入是一种自由格式,使用很方便,这是我们自己开发研制的第二个软件工具。其编

目 录

序

作者序言

第一章 概论	1
1.1 有限元的发展简述	1
1.2 单元的类型	1
1.3 计算结构力学	3
1.4 DDJ-W 程序	5
第二章 结构化程序设计	6
2.1 程序设计方法论一瞥	7
2.2 结构化FORTRAN 语言 DITSF	11
2.3 模块化程序设计	26
2.4 几点说明	28
第三章 有限元结构分析模型化	30
3.1 有限单元法	30
3.2 弹性理论的基本公式	34
3.3 假定位移场的有限元公式推导	38
3.4 结构模型化及程序模块划分	43
3.5 程序的单元分析模型	45
3.6 在约束与运动分析方面的模型化	49
3.7 结构总刚度阵	61
3.8 荷载模式与荷载工况	66
3.9 数据管理与工程集成系统	68
第四章 程序的使用、数据的自由格式输入	70
4.1 自由格式数据输入	70
4.2 DDJ-W 的使用说明	75
4.3 静力荷载的输入	91
4.4 输出结果	98
第五章 JINEGS 文件系统	109
5.1 JINEGS 所用资源	109
5.2 内存文件的构造及使用	113
5.3 JINEGS 的操作	118
5.4 JINEGS 的实现	124
5.5 JINEGS 的扩展	125
5.6 JINEGS 的程序段及其覆盖	128

第六章	DDJ-W 的总体构造	129
6.1	结构本体的分析	130
6.2	结构本体的数据描述	134
6.3	静力分析	142
第七章	结构本体描述的数据处理	146
7.1	性质文件的构造及生成	146
7.2	结构本体描述数据文件 IBDB 的实际存储及生成	149
7.3	节点编序——一级模块 SORTDP	162
第八章	主-从控制原理和执行	166
8.1	控制位移与控制阵	167
8.2	结构总刚度阵与总外力阵	169
8.3	正则方程	173
8.4	讨论	174
8.5	节点主-从控制阵的形成原理	174
8.6	节点主-从控制阵的形成	180
8.7	节点控制阵的管理及算法实现	187
8.8	单元主-从转换和对号信息的形成	196
第九章	单元刚度阵分析及单元接口	212
9.1	单元出口刚度阵	212
9.2	计算单元刚度阵的主控模块 ELSTIF	213
9.3	坐标转换阵的计算	218
9.4	单元连接的接口说明	225
9.5	单元出口刚度阵的计算	226
9.6	具体新装一个单元——桩元举例	232
第十章	结构总刚度阵组装	236
10.1	单元的接口刚度阵及组装	236
10.2	总刚度阵的组织	243
10.3	总刚度阵组装的策略	246
10.4	总刚度阵组装的主控一级模块 ESSEMB	249
10.5	总刚度阵组装的执行	251
10.6	单元出口刚度阵的组装	252
第十一章	结构正则方程的求解	258
11.1	对称阵三角化的计算公式	259
11.2	总刚度阵三角化的计算机执行	262
11.3	回代求解的算法	270
第十二章	静力分析的连接及荷载处理	277
12.1	接力开工程序模块	277

12.2 外力文件LOADF [*] 的构造	278
12.3 外力文件LOADF [*] 的生成	287
12.4 荷载模式总外力向量的生成	291
第十三章 总位移向量的求解	299
13.1 位移的调取	299
13.2 总位移向量的生成	300
第十四章 单元内力计算	303
14.1 单元内力的管理	303
14.2 内力文件的生成	306
14.3 梁元的问题(一)内力的计算与迭加	309
14.4 梁元的右端反力的计算程序	311
附录一 若干工作子例程的调用规则及功能说明	316
附录二 DDJ-W运行出错信息表	318
附录三 DDJ-W的源程序	320
参考文献	447

第一章 概 论

1.1 有限元的发展简述

弹性理论的成熟出现可以追溯到上世纪的纳维埃与圣维南,而杆系结构分析则由马克斯威尔(Maxwell)、卡斯提也努(Castigliano)及莫尔(Mohr)而奠基。然而有关矩阵结构分析方法论的概念则在此之后80年左右才形成,而这意味着有限元法的前奏。这一段时间的发展在今天看来可以说是特别慢,其原因在很大程度上可以说是由于在实际计算上,人们只能求解很有限的若干个未知数的代数联立方程。因此工程师们的注意力花费在平面桁架与框架的计算上,而且一般都是用力法进行的。直到1932年哈德克劳斯(Hardy Cross)发展了刚架分析的力矩分配法,结构分析的数值方法才有了一个飞跃,能计算较为复杂的一些结构。力矩分配法统治了20多年,在我国也有很大的发展^[1]。

电子计算机虽说在四十年代后期已经出现。但其在理论上与实际上的重要性,并不是立即就为大家所接受的。电子计算机有限元分析方面有二件关键性的发展,在五十年代中期,以阿加利思(Argyris)等^[2]在西欧为一方,以克劳夫(Clough)等^[3]在美国为另一方,对结构力学与有限元的计算机分析,作出了巨大的推动。这是有限元法确立并且开始大发展的主要标志。因此人们往往就认为有限元法由此开始。但如果认为有限元法的主要概念都从这时开始也不是很妥当的。一些关键性的要点在1943年已由柯朗(Courant)^[4]表达了。文献[4]中所述的方法并不只限于结构分析,因而它也是特别重要的。

五十年代中叶之后,有限元分析大发展中有几个重要的阶段,可以从辛克维支(Zienkiewicz)^[5]的总结性文章中看到。人们首先在杆件及平面应力(应变)问题中有了发展,接着很快建立了块元、板弯曲元、薄壳元、厚壳元以及其它结构形式的单元。而当这些单元在线性静弹性问题中确立之后,又发展到了动力反应、稳定性、材料或几何非线性问题的各方面。显然,光有有限元理论及其公式表示是不行的,而且还需要具体将课题计算出来,为工程师或其它方面所用。因此,随着有限元分析的发展,也出现了一段计算机有限元通用程序的大发展阶段,以便将理论方面的成果交到实际工作者的手中。我们绝不能低估发展有限元程序工作的重要性,当我们一方面看着有限元的发展时,另一方面就注重着程序的实现。发达国家通常花费并一再投入数以百万计的资金,用于有限元通用程序的开发。虽然耗资巨大,但它对于实际工作产生巨大的效益,因此是完全值得的。

1.2 单元的类型

在图1-1中表示了一些实际中通常运用的及在本书范围内考虑的单元,其中相当大部分在程序DDJ-W中已装上了。

一维单元中最主要就是梁。在工程中应用极为广泛的框架、桁架结构就可以全部都用

梁单元来描述。当将梁元与其它单元混用,尤其是与板元混用时,就可以描述加劲式结构。在DDJ-W中装入的梁元是偏心梁,这方面的材料已在文献[6]中给出。

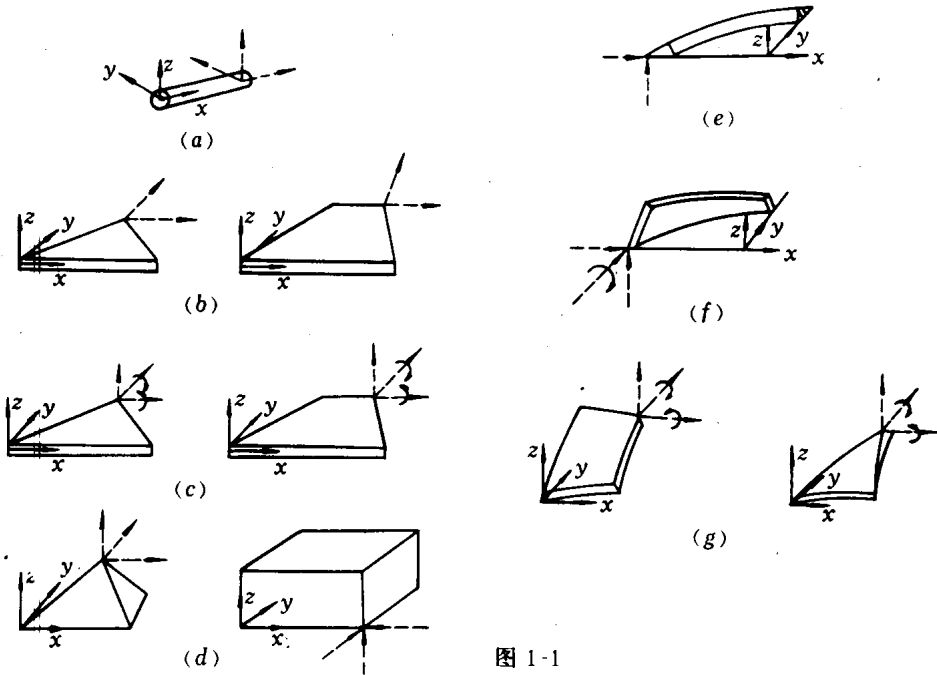


图 1-1

一维单元中拉、压杆是梁元的一个特殊情况。当考虑结构稳定计算或梁-柱效应的作用时,就应当加上绳单元。

作为梁单元的推广,尤其是在金属结构中经常出现的单元,是薄壁杆件单元。薄壁杆件单元与结构中其它部分的联接需要作特殊的处理。在有限元通用程序中具有这种功能是不多的。

管单元是梁的特殊情况,但对于管道系统说起来,往往有许多弯管,此时就需要作出弯管单元的推导。

二维单元中最广泛应用的是平面应力元。图 1-1 b 中表示了三角形与四边形平面元,这些元的内力都在本身平面内。在有限元发展中研究得最早、最深透的便是平面元。

板弯曲元不仅仅是用来描述薄板的弯曲,它还可用来与平面应力元联合描写平壳元。板弯曲元的重点也是放在三角形与四边形元上(图 1-1 c)。由于位移与转角同时有连续性条件的要求,它比平面应力元要复杂得多,直到现在还有人在研究。文献[7]比较了许多常用的三角形元的公式,指出以离散基尔霍夫(Kirchhoff)元及卞学镛提出的杂交元效果较好。唐立民等^[8]提出的拟协调元也达到同样的效果,而计算却较简单。

块元(图 1-1d)是三维单元。最常用的是四面体与八面体元。对于在土壤力学、岩体力学,某些复杂金属结构中实际的三维应力分析,可以说没有其它的途径可循,在计算模型中只能采用块元。

在工程中最常见的问题之一是对轴对称体的应力分析。例如混凝土或钢的容器、核

反应堆壳体、转子、活塞、轴、喷嘴等。因此轴对称元也是很重要的一类。图 1.1c 中表示的是三角形回转体元，当然四边形等回转体元也是常用的。

回转薄壳元与回转块体元，具有相类似的应用范畴，它是从薄壳理论的基本假定推导过来的。但它所代表的壳体面是曲的，这比用薄板的弯曲与拉伸联合作用来代表壳体元进了一步，见图 1.1f。

当一个薄壳是弯曲的时候，采用曲面的薄壳元于计算模型中就更为实际些。它可以更确切地描写结构的几何形状，而且对于拉伸与弯曲的共同作用也可在单元内计及。典型的双曲薄壳元可以见图 1.1g。有很多不同的元发表在各类杂志上。但这类元的研究尚还需要发展。

1.3 计算结构力学

由于计算机应用在各个方面的深入，结构分析也发生了全面的变化。过去的大量、繁重的手工计算现在已可以用计算机来执行。人们从发展许多特殊的计算技巧转而寻求计算机适用的系统算法，从过去的力法转到主要应用变位法。从分析法转到数值计算，将连续体离散化。过去由于计算上的困难，主要只是作平面结构的计算，而现在则大量进行结构的空分析。过去主要是作出静力分析而现在则进行许多动力问题的计算。过去对于结构分析一般只是进行杆件系统的计算分析，而现在则通过有限元法可以进行一般结构的分析，打破了过去的结构力学与弹性力学的界线。现在结构力学所处理的问题，可以说包含了过去应用弹性力学的绝大部分问题。过去处理的问题一般是比较单纯的，是单一的一种元件，而现在则已发展到考虑多种不同类元件组装而成的复杂结构了。

由于计算能力的巨大飞跃，人们所能处理的结构越来越复杂、精巧。过去手工计算时所常用的结构计算模型已远远不能适应需要。因此探讨新的结构计算模型，已成为工程应用上迫切的课题。过去的困难是由于计算工作量大而令人裹足，而现在则要花费很多精力投入结构的计算模型的研究，这就对于工程师提出了更高的力学定性分析方面的要求。如果不能对于具体的结构抽象出适合于计算机分析要求的模型，那么即使有了计算机以及结构分析的通用程序，仍旧不能算出合理的结果。

工程中还有大量非线性问题。过去人们对于非线性问题能加以解决的更是极少数。由于计算力学的发展，在线性问题大量解决的基础上，非线性问题也得到了很大的发展。弹塑性问题计算机分析已成为一个重要的方向。在机械工程中大量遇到接触问题。几何非线性问题的计算也成为必不可少的一个部分。土壤力学在计算力学的冲击下也得到了极大发展。这些领域构成了当前计算力学发展前沿的重要部分。

认识世界是基础，更重要的是去改造世界，其实分析的目的主要也是供设计之用。人们在设计中总是追求优选的方案：或者寻求最轻重量的解、或者寻求最低造价、或者寻求合理的几何形状，以降低应力集中系数，或者规定某个频率禁区、或者寻求最大的极限荷载、或者设计预应力张拉以求最大的安全度等等。这就是结构优化设计。它向计算力学工作者与工程师展示出一个新的丰富多采的领域^{9,10}。

在结构分析方面取得极大进展之后，人们自然要考虑使之在实际工作中广泛地予以应用。在工程应用方面，对于计算力学与应用软件工作者提出了更广泛的课题领域。在考虑结构安全设计方面，应考虑结构在最不利外荷载作用下的内力或位移的校核，问题往往在于，什么是最不利荷载？环境对于结构的作用有很多随机因素，这是一种很复杂的问题。现在对于这个问题的处理一般分成二类：一种是直接用概率与统计的办法；另一种是在各种工程规范规定的范围内，考虑最不利的荷载的验算。但是这些规定也是根据统计与经验而来的。应当说，对于荷载的研究工作还是亟待进展的。

影响函数对于处理结构最不利荷载有很大用处。桥梁规范中最不利荷载的寻求，往往是利用影响函数作出的。怎样给桥梁加上最不利荷载，可以用动态规划的方法解决^[11]。数学规划法在其它情况下也是强有力的手段^[12]。因此影响函数的计算也是重要的课题。

图形是工程师的语言，它是一种形象的表现。计算机进行大量的数值运算，并且往往打印出厚厚一本计算结果，还需要消费大量时间去处理，而且出一点差错也不能立即发觉。因此，图形输出（入）是一件非常重要的工作。

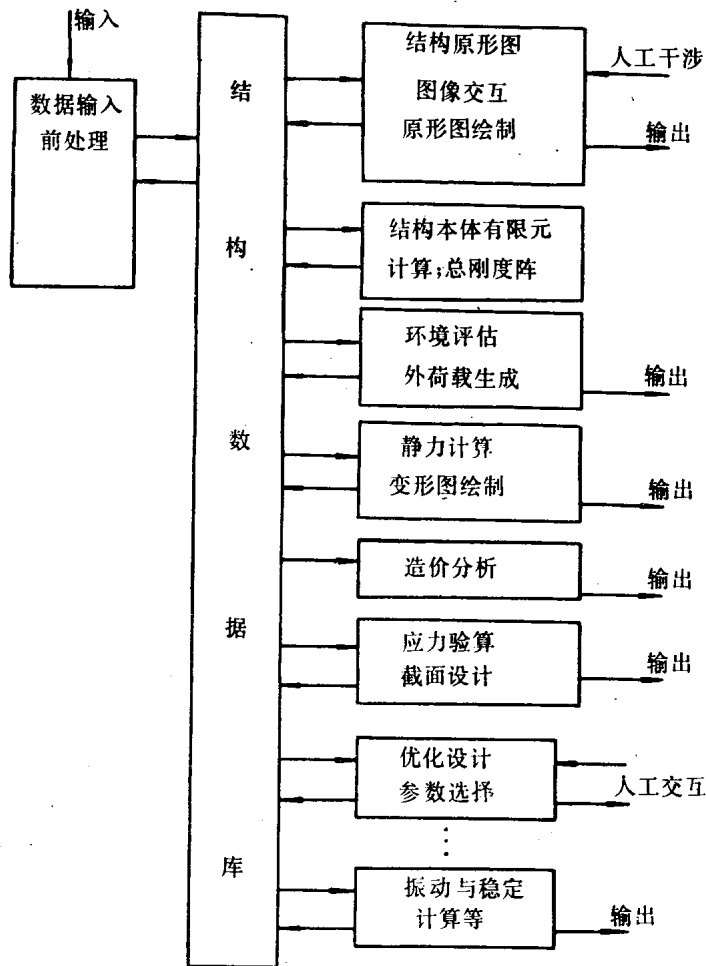


图 1-2

结构的建造进程对于结构的内力分布有很重要的影响。例如机械中常用的过盈配合；焊接应力；结构的初始不协调，预应力；铸造凝固进程；以及高层建筑中的逐层建造的影响等。这些课题都应当也可以由有限元分析来予以解决。

结构的有限元分析可以帮助工程师求出结构的变形与内力分布等。但结构设计中还有更多方面的工作，例如：结构所受到的外力、与环境的相互作用、按规范的校验、造价分析、画图等等，都是针对同一个结构而执行的。可以说，只有当这些所有的工作都可以连在一起由计算机来执行，也就是组成一个集成系统，方可更大地提高计算机辅助设计的水平，而计算机应用也就更加切合实际的需要。将结构的各种数据集中放在一个数据库内(图1-2)，有限元分析程序及其它各个程序都从这个数据库中读取其原始数据，并且将计算所得到的重要结果，其它程序以后所需要的数据也存放在这个数据库之内，使得这个描述本结构的数据库逐步完善起来，这些程序都可以由用户通过作业控制语言交互地控制计算机执行或输出结果。这样组织起来的集成系统是现在的工程实用上的一个重要发展方向。

1.4 DDJ-W程序

这是一个在微型机上适用的结构分析通用程序。DDJ原是在国产TQ-16机上运行的程序，经过相当大的改动与发展，现在DDJ-W已可以在64k字节内存的微型机上运行了。DDJ-W的W其意思是“微”，而DDJ则是中文拼音的多单元结构分析之意。微型机的种类很多，在本书中所给的程序当然也只能针对某一个微型机，DDJ-W是一个在PDP-11-23计算机上运行的程序。在RT-11操作系统控制下，利用对于FORTRAN IV的分区覆盖而运行的。本书中提供的DDJ-W是一个基本版本的全文，是可以运行的。当然，这个程序的设计是准备将来作各种扩展的。动力分析、稳定性分析以及结构画图等都可以在这个基本版本上加以扩充而成。在这个基本版本中，单元库中也只有基本常用的部分，但对于新单元的装配也留下了通用的接口。当由于课题的需要而扩充单元库时，读者也可以方便地将单元“挂”进去。所以这是一个比较灵活的程序。本书所述就是围绕这个微机上适用的DDJ-W的，也即因为微机比较方便，并适合我国国情。而适宜于在微机上运行的程序当然也可以在中、小型机上运行。这就是我们选择DDJ-W的理由。

本书的讲述重点集中在有限元结构分析的程序设计上。其他材料即便很重要，只要能在其它书中找到，也就割舍。例如本书中单元分析的篇幅就很少，另一个原因是我们将单元与结构分析系统的接口作为重要内容讲述了，装配单元则可以由用户自行选择合适的接进去。多层子结构、振动、稳定性分析等问题也只能一律割舍。

第二章 结构化程序设计

在有限元方面已出了若干种教材了，这些教材往往把着重点放在各种各样单元的公式推导上。本书则把着重点放在计算结构力学程序设计上。

有限元结构分析是应用性很强的一门学科，在实用上是一定要用数值方法算出结果来的。因此相伴随着必须讲计算机上适用的数值方法以及计算机程序。计算机程序的编制是一件耗资巨大的高度智力劳动，它与有限元公式推导同样重要，决不能低估。

一个小程序的研制也许可以方便地实现，但是随着程序规模的增大，其困难程度决不仅仅是成比例地增长的。一般来说，研制一个程序所需要的时间与该程序的复杂程度密切相关，与这个程序的大小只是间接地有关。如果说写一个 100 行的程序是不太困难的，那么写一个 5000 行的程序就不会仅仅是加上 50 倍的难度。这是因为如果你把这 5000 行能划分成 50 块 100 行的程序的话，这 50 块相互之间是有关的，这就使得复杂度大为增加。如果不能设法控制这种相互有关性，使之尽量逻辑化，显式化，而且减少其相关性，那么将会使其复杂程度爆炸性地增加，使得本来能在若干个星期中解决的课题在几年里也做不出来。

这种对复杂度的控制成为软件工程中的一个中心问题。应当说，人们对于复杂度太高的问题至少在目前还是能力有限的。软件工程师采取的各种方法、技术与工具都是用来控制软件复杂性的。

在近代的科学体系中，现实世界的复杂度是用一系列的模型来理解的。某些总体的模型忽略掉许多细节，作为下一层的模型则只分析其局部，但更细致些，这是一套分层次的构造。如果不将事物分割成有层次的一系列问题，则人们就不能控制周围世界的复杂性。

对于程序设计来说，模型和抽象也处于一个中心位置，但情况有所不同。对于物理、化学、力学等学科，建立一个模型是为了预测客观事物，这个模型抽象是否适当则应当通过实测式实验，与模型的预测相比较。但程序员是建立一个人自己设定的目标，虽然也利用抽象的手段控制其复杂性，但程序员能使程序完成模型所预先规定的功能，至少在原则上是可以的。实际上，程序的抽象描述也总在一定程度上是不完全的，例如我们很难对程序的执行时间作出确切的规定。

有如力学、化学等学科一样，程序设计也采用一系列分层的模型。一个整体的程序通常也很难一下子就说清楚，因此也用一个总体的模型加以描述，并用一些子程序来阐明下一层较细致的模型，逐步精细化。于是在一个大程序中，就会碰到许多层的抽象。只有这个方法才能控制住复杂度的指数式扩展。

既已明确模型抽象的关键作用，那么怎样选择模型抽象才妥当呢？在物理科学中采取的准则往往是在能恰当地描写实际问题的模型中选择一个最简单的模型。简单性也是一个重要的原则，因为模型抽象本来也是为了适应人们处理复杂性的局限。对于好的程序设计来说，其准则也是简单性。我们应当使模型抽象既可充分描述所企求的性能，而又简单且易

理解。

建立研制一个好的程序没有一种绝对的规则，就像对于工程设计来说，也没有一种绝对的规则一样。它必须使程序妥当地完成其预期的功能，同时也应当不太昂贵。我们只能说，应当遵循一套一般的原则，在这些原则的控制下，就可得出一个好的实用程序。这些原则便是：程序设计方法论；结构化程序设计；软件工程规则，软件工具等。

2.1 程序设计方法论一瞥

随着电子工业的迅速发展，硬件发展很快。资料表明，自1945年以来，硬件的成本平均每隔2~3年下降一半。例如直接存储器（磁盘等）的国际市场价格在1972~1979年间下降了10倍。但另一方面，由于软件是一种逻辑的产品而不是物质产品，软件主要靠人工研制，衡量软件的价格普通以人-月或人-年为单位；再加上软件的平均复杂性程度逐年增加，因此软件的发展速度远远赶不上硬件的发展速度。这样，导致了软、硬件之间的比例失调，出现了所谓“软件瓶颈”，即人们的能力不足以编制出各种各样的软件，以充分利用计算机资源的现象。

如所熟知，计算机之所以能做各种各样的复杂工作，主要是通过软件来实现的。为了改变“软件瓶颈”的现象，可以通过：

1) 增加对软件的投资；2) 加强对程序设计方法论，以及加速其它软件研制的各种软件工具的研究。

图2-1所示软硬件投资比重曲线，说明了近25年以来美国对于软硬件的投资比重已发生根本的改变。从绝对数字来看，对软件的投资数字也是很大的，例如美国1972年对软件的投资已达100多亿美元，占全国总产值的1%以上。我国在这方面亟需急起直追。

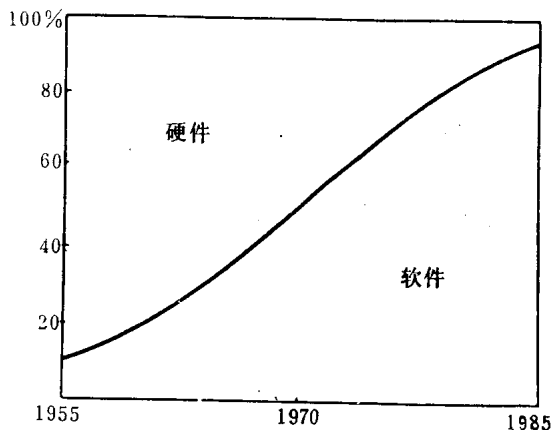


图 2-1

高级程序设计语言，服务周到的计算机操作系统以及完善的程序库（包括程序的说明库）等已被公认为能缩短其它软件研制周期的软件工具。在开发结构分析程序DDJ-W时，软件工具的使用使我们得益非浅。

一个新手常会感到，程序设计的中心问题就是学会一种语言的使用，以编写程序。然而用语言编写程序（编程）只是整个程序活动中的一个步骤，程序活动可以列出以下部分：

- 需要性分析
- 程序功能规定
- 设计
- 说明书的编写
- 编程

- 调试与纠错
- 维护

这里前面六个部分是在程序研制过程之中的。由图2-2可以看到^[13]编程在程序研制阶段中仅占一个小部分的工作(15%)。更令人印象深刻的是在一个大程序整个存在阶段中的工作量分配。如图2-3可以看到,一个大程序投入应用之后,其维护的工作量比起原先的研制的工作量几乎要大一倍。如此高的维护工作量使得我们注意到,在程序研制阶段应当为以后的维护工作提供方便,那怕这还要付出一些额外的工作量。因为维护阶段能减少一个百分数,就大大超过了研制阶段的额外工作量了。

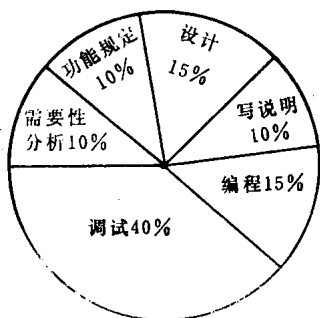


图 2-2

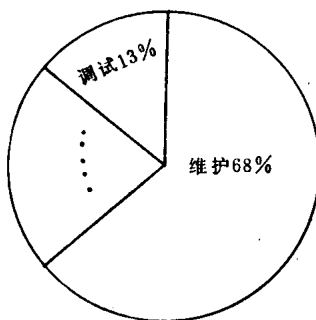


图 2-3

软件的维护直到70年代中期才被认识到是软件研究的一个关键领域。软件维护费之所以如此大,一方面也与程序研制过程中所采用的设计方法不够科学化有关。为努力解决这个问题,人们开展了对于程序设计方法论的研究与实践,其目标是:1)使软件正确可靠;2)降低整个软件活动的费用。总的来说,程序设计已从强调灵活的技巧和局部效率向着强调程序结构化和使用完整的概念与方法的方向发展。自从(Dijkstra, E. W.)提出结构化程序设计(Structured Programming)的概念与方法以来^[14],已为很多人所接受。经过十几年的发展,现在已包括很广泛的内容^[15-20],它实际上就是程序的设计、编写与调试的一套方法论,其要点可归纳为

(1) 编程结构化(Structured Coding)。即程序的编写应层次分明,逻辑清楚,使人易懂。

(2) 分层输入输出处理技术,即HIPO(Hierarchical Input Process Output)技术。其主要内容为将程序划分成各个层次的许多模块,各个模块的功能要预先确定。把每个模块孤立起来,只保留外部接口(Interface)与其他模块连接。对于每个模块,如有必要,又可以再分成几个小模块,而每个小模块的处理又与上面一样。图2-4给出了HIPO技术示意图。对于每一模块的功能设计,则按图2-5所示,即输入输出条件,进行某种处理。对于一个较大的软件系统要由许多人合作,必须将系统分成许多模块,每个人只能做一个或几个模块。HIPO是模块程序设计(Modular Programming)中的一项技术,相当于模块的说明及功能设计。

(3) 自顶向下(Top-down)的设计方法与关键部分优先(Critical Component First)考虑相结合。程序设计自顶而下,逐步精化已是公认的高效率方法。图2-4所示,给