

●本科“工业与民用建筑专业”系列教材

结构分析的 计算机方法 (二版)

■ 沈蒲生编著



湖南科学技术出版社

本科“工业与民用建筑专业”系列教材

结构分析的 计算机方法

(二版)

●沈蒲生编著

湖南科学技术出版社

编审委员会

主任：沈蒲生

顾问：成文山

委员：（以姓氏笔画为序）

王济川 王贻荪 刘健行 乐荷卿

李家宝 李存权 吴慧敏 林则政

罗国强 邹银生 施楚贤 崔起鸾

湘新登字004号

结构分析的计算机方法（二版）

沈蒲生 编著

责任编辑：杨 林 何信媛

*

湖南科学技术出版社出版发行

（长沙市展览馆路3号）

湖南省新华书店经销

湖南省新华印刷一厂印刷

（印装质量问题请直接与本厂联系）

*

1994年7月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：18 字数：400,000

印数：1—5,100

ISBN7—5357—1451—X

TP·58 定价：14.00 元

本科“建筑工程专业”

系列教材出版说明

“建筑工程专业”(即原“工业与民用建筑专业”)是我国全日制高等院校土建类的一个主要专业。全国已有一百多所高等院校设有本专业,学生人数在各专业中所占比重也较大。但是,目前尚缺少一套与此专业相配套、系统完整的本科“建筑工程专业”的系列教材,给教学及教学组织工作造成了一定的困难。为满足许多高等院校本科建筑工程专业教学的要求,湖南科学技术出版社组织湖南大学等院校有丰富教学经验的教师组成编审委员会,编写本系列教材。

本系列教材初选14门课程,现根据课程设置情况扩至16门课程。这16门课程是:《画法几何与工程制图》、《测量学》、《建筑材料》、《混凝土结构》、《砌体结构》、《钢结构》、《土力学、地基及基础》、《建筑施工》、《建筑经济与工程管理》、《结构分析的计算机方法》、《高层房屋结构设计》、《结构抗震设计》、《房屋常见事故分析与处理》、《建筑·结构·施工组织毕业设计指导》、《弹性力学》、《钢筋混凝土特种结构》等。

在编写过程中,将力图贯彻全国建筑工程专业指导委员会近年来关于该专业培养目标和基本规格的要求,贯彻“少而精”的原则,注重加强基本理论、基本技能和基本知识的培养与训练,并力图做到理论联系实际,学以致用,体系完整,方便教学。

教材建设是一项长期而又艰巨的任务,编写本科“建筑工程专业”系列教材尚属初次尝试,缺点和不当之处欢迎读者批评指正,以便不断修订完善。

本科“建筑工程专业”系列教材编审委员会

1993年8月

再版前言

本书第一版是1985年3月问世的,迄今已八年多时间。如果说八年多以前我国还只有少数土建设计部门使用计算机进行结构分析与设计的话,今天则已经达到相当普及的程度了。不仅中央及省、市一级的设计院有自己的电算室,有一支力量雄厚的电算队伍,而且大多数地、县一级的设计单位也已经使用计算机进行结构计算与设计。微型计算机已经进入到许多家庭之中。面对这样的形势,作为高等院校的学生,学一点结构分析的计算机方法是十分必要的。

本书除了对第一版的章节编排与内容取舍上作了修订以外,还将原书23个计算机程序中的输入语句由有格式输入改为自由格式输入,例题的单位改用新的计量单位。修订后的版本共六章和一个附录。其中,第一章绪论介绍了结构分析电算方法的优点和利用计算机进行结构分析的步骤。第二章介绍了矩阵代数及其计算机程序,它是学习本书的基础知识。第三章介绍杆系结构分析的普通刚度法,它是结构计算机分析的一种基本方法,在今后许多问题的讨论中都需要用到这种方法。第四章介绍杆系结构分析的直接刚度法,它是一种非常简便实用的计算方法。第五章介绍杆系结构分析的子结构法,它是用小容量计算机解算大型复杂结构的最有效方法。杆系结构分析的这三种方法也适用于分析平面问题和空间结构。第六章介绍平面问题的有限单元法,在这一章里,我们不是用变分原理而是用虚功原理推导有关特征值计算公式,具有一定力学基础的读者学习起来不会感到困难。在附录中,我们对FORTRAN语言作了简要介绍,以帮助读者复习FORTRAN语言,同时也可以使未学过FORTRAN语言的读者对它有一个初步了解,以便更好地理解本书的各计算机程序。

作者从1985年开始利用本书第一版对我校每届结构工程专业硕士研究生讲授结构分析的计算机方法课程。对于本科和专科土建类学生,根据学时的安排,可讲授本书的全部或部分内容。在进行本课程的教学时,除了课堂讲授之外,安排一定的时间让学生上机操作是十分必要的。只有通过上机操作,才能使学生真正地掌握本书的内容。

由于本人水平所限,不足之处在所难免,欢迎批评指正。

沈蒲生

1994年2月于岳麓山

目 录

第一章 绪 论

第一节 结构分析手算方法的问题	1
第二节 结构分析电算方法的优点	5
第三节 利用计算机进行结构分析的步骤	8

第二章 矩阵代数及其计算机程序

第一节 矩阵的定义及其表示方法	11
第二节 几个特殊形式的矩阵	12
第三节 矩阵的基本运算方法及其计算机程序	15
第四节 线性联立方程组解法	37
习 题	62

第三章 杆系结构分析的计算机方法之一——普通刚度法

第一节 概 述	64
第二节 普通刚度法的基本公式及解题步骤	65
第三节 用普通刚度法分析铰接桁架的位移和内力	67
第四节 用普通刚度法分析连续梁和框架的位移和内力	80
习 题	96

第四章 杆系结构分析的计算机方法之二——直接刚度法

第一节 概 述	98
第二节 用直接刚度法计算桁架结构的内力和位移	99
第三节 用直接刚度法计算框架结构的内力和位移	110
第四节 节点自由度的编号方法	121
第五节 结构对称性在电算中的应用	122
习 题	143

第五章 杆系结构分析的计算机方法之三——子结构法

第一节 概 述	146
第二节 一次同时放松所有约束节点的子结构法	147
第三节 依次放松约束节点的子结构法	176
第四节 结构划分注意事项	193
习 题	193

第六章 弹性力学平面问题的有限单元法

第一节 概 述	194
第二节 有限单元法的概念	197
第三节 用三角形单元分析平面应力问题	204

第四节 用四边形单元分析平面应力问题·····	215
第五节 单元形式及数量对计算结果准确性的影响·····	226
习 题·····	229
附录: FORTRAN 语言简介·····	230
主要参考书目·····	250

计算机程序目录

程序 1	矩阵相等的计算机程序 MATEQU ·····	16
程序 2	两个矩阵相加的计算机程序 MATADD ·····	20
程序 3	两个矩阵相减的计算机程序 MATSUB ·····	22
程序 4	实数与矩阵相乘的计算机程序 MATSCM ·····	24
程序 5	两个矩阵相乘的计算机程序 MATML1 ·····	27
程序 6	两个矩阵相乘将计算结果存于第一个矩阵中的计算机程序 MATML2 ·····	29
程序 7	两个矩阵相乘将计算结果存于第二个矩阵中的计算机程序 MATML3 ·····	30
程序 8	矩阵求逆的计算机程序 MATIVT ·····	35
程序 9	用矩阵求逆法解算线性方程组的计算机程序 SSEMIM ·····	38
程序 10	用高斯消去法解算线性方程组的计算机程序 SSEGM1 ·····	44
程序 11	用高斯消去法解算对称带状线性方程组的计算机程序 SSEGM2 ·····	47
程序 12	用查列斯基法解算对称带状线性方程组的计算机程序 SSSECM ·····	55
程序 13	用迭代法解算线性方程组的计算机程序 SSEGSM ·····	59
程序 14	用普通刚度法分析桁架位移和内力的计算机程序 MDMTRA ·····	76
程序 15	用普通刚度法分析连续梁和框架位移与内力的计算机程序 MDMFRA ·····	92
程序 16	用直接刚度法分析桁架位移和内力的计算机程序 DSMTRA ·····	104
程序 17	用直接刚度法分析框架位移和内力的计算机程序 DSMFRA ·····	114
程序 18	对称铰接桁架位移和内力计算的计算机程序 DSMSTA ·····	124
程序 19	对称框架位移和内力计算的计算机程序 DSMSFA ·····	134
程序 20	用一次同时放松所有约束节点的子结构法分析框架的计算机程序 SBMFRA ·····	165
程序 21	用依次放松所有约束节点的子结构法计算框架的计算机程序 APRFUS ·····	182
程序 22	用三角形单元的有限单元法分析平面应力问题的计算机程序 PSATRE ·····	208
程序 23	用矩形单元的有限单元法分析平面应力问题的计算机程序 PSARCE ·····	220

第一章 绪 论

第一节 结构分析手算方法的问题

“结构”是房屋、桥梁、飞机、船舶、水工、港工等工程中承受荷载以及其它作用（如温度、支座沉降、地震、冲击波等）的骨架的总称。结构按其形式和受力特点通常分为如下四种基本类型：

一、杆件结构

杆件结构是由杆件所组成的结构。这是实际工程中数量最大、使用面最广的一类结构。

组成杆件结构的杆件，称为结构的构件。它们可以是直杆，也可以是曲杆。杆件的数量可以是一根，也可以是多根。图 1-1a 中搁支在两个砖柱上的梁，图 1-1b 中支承在两个石墩上的拱，图 1-1c 中放置在多个柱上的钢筋混凝土梁，图 1-1d 中支承在两个柱上的木屋架，图 1-1e 中的多层框架以及图 1-1f 中的单层工业厂房排架等，都是实际工程中最常采用的杆件结构。

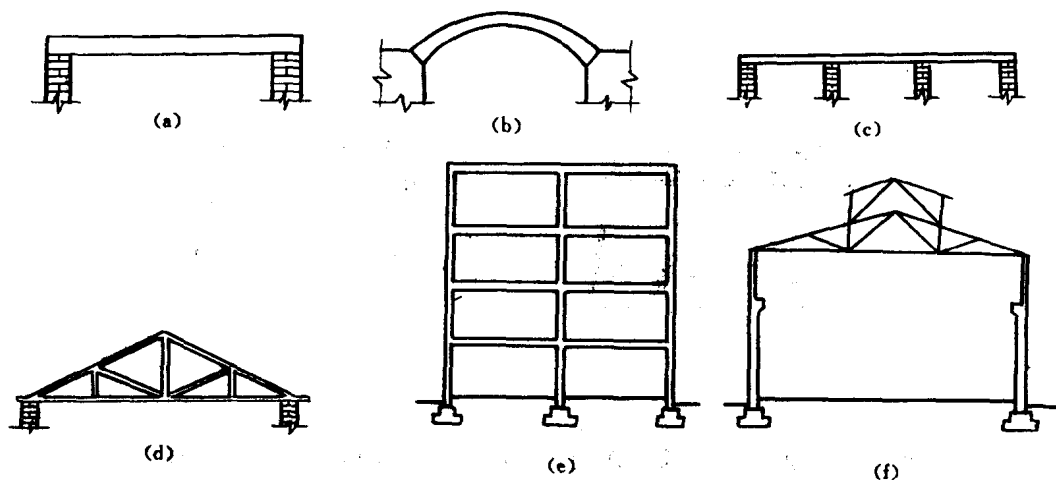
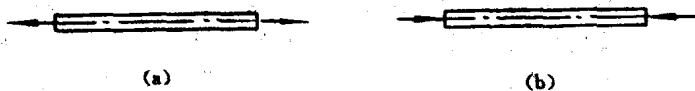


图 1-1 常见的杆件结构

在荷载的作用下，杆件结构中的构件可能发生拉伸、压缩、弯曲、剪切或扭转等变形（图 1-2）。杆件结构上的荷载借助于构件的拉力、压力、弯矩、剪力或扭矩传递给支座。



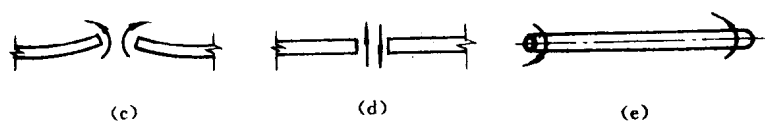


图 1-2 杆件的几种基本受力情况

二、板壳结构

板是二维的平面结构。图 1-3a 中的雨篷板、图 1-3b 中的走道板、图 1-3c 中的肋形楼盖板以及图 1-3d 中的无梁楼盖板等，都是房屋建筑中常用的板结构。

板的受力以弯曲为主。板上的荷载主要是通过弯矩和剪力传递给边梁或墙体。在无梁楼盖中，板上的荷载直接由柱子承担。

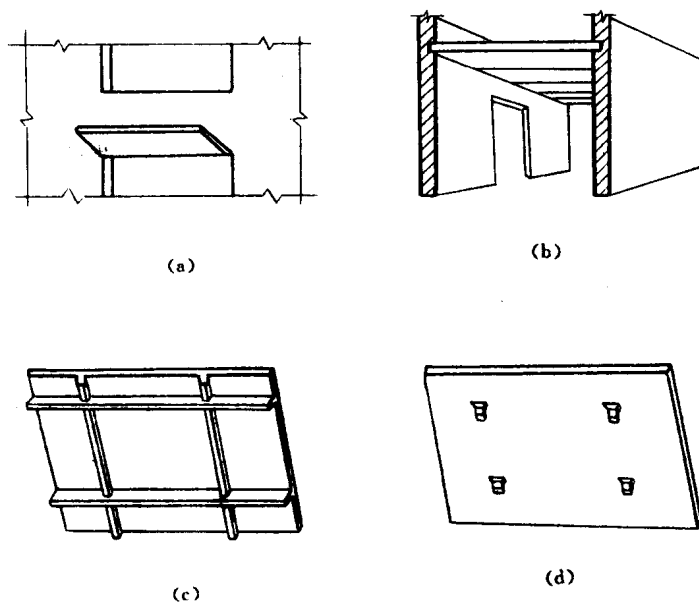


图 1-3

周边支承的板，根据长边边长与短边边长的比值，可以分为单向板和双向板。单向板是指长边边长与短边边长的比值较大的板（按照弹性理论分析时，这个比值应大于 2；按照塑性理论分析时，这个比值应大于 3）。在单向板中，板上的荷载主要是沿着短边方向传递给长边的支座的，而沿着长边方向传递给短边支座的荷载很小，可以忽略不计。双向板是指长边边长与短边边长的比值小于上述数值的板。双向板上的荷载沿着长边与短边两个方向同时传递给周边各支座。

壳体是弯曲的空间薄壁结构。壳体结构由于外型合理，壳中内力以压力为主。因此，它可以有效地利用混凝土等抗压强度高、抗拉和抗剪强度低的建筑材料，可以节约钢材、跨越较大的空间和有较大的刚度。壳体结构常用于工业与民用建筑的屋盖（图 1-4a 和 1-4b）、水池的池壁和顶盖（图 1-4c）以及贮存物料的筒仓（图 1-4d）等结构之中。

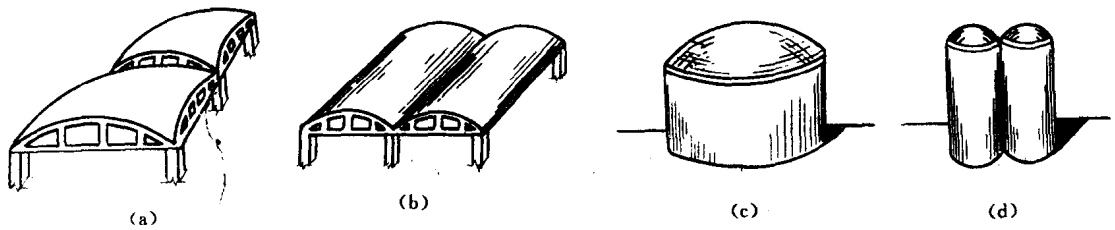


图 1-4

三、块体结构

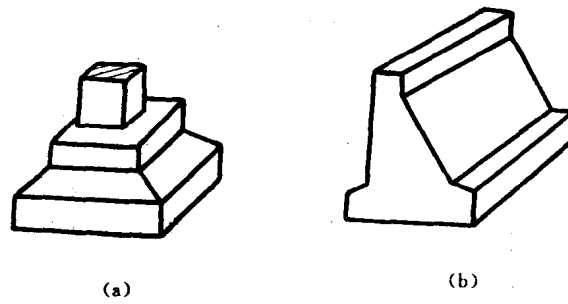


图 1-5

三个方向的尺寸为同量级的结构，称为块体结构。

属于块体结构的有水利工程中的堤坝，房屋建筑中的柱下基础和设备基础，以及挡土墙等结构。图 1-5a 和 1-5b 所示分别为柱下基础及挡土墙的示意图。

四、悬索结构

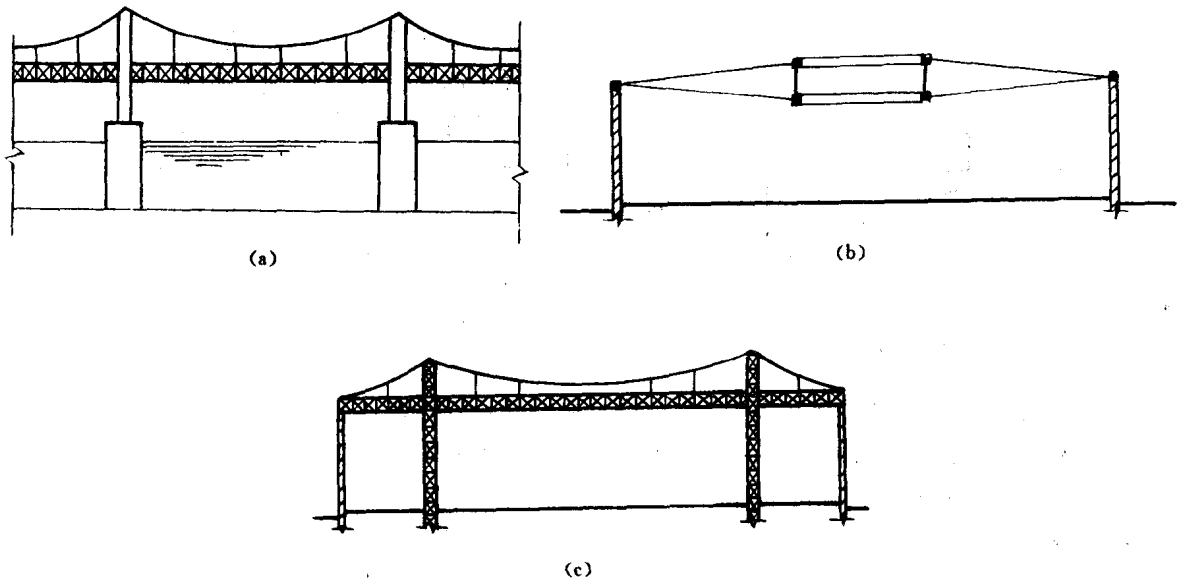


图 1-6

悬索结构中，主要的受力构件为柔性的缆索及其支承构件。缆索所受的力为拉力。因此，缆索一般采用高强钢丝、钢丝束或者其它抗拉强度高的材料做成。悬索结构可以充分利用钢材，可以跨越很大的空间而不需要设置中间支座。因此，它能较好地满足生产及使用上的要求。悬索结构主要用于大跨度的桥梁（图 1-6a）、体育馆（图 1-6b）以及飞机库（图 1-6c）等工程中。

进行结构设计，一是要保证结构在整个使用期限内满足安全、适用、耐久的要求，即满足可靠性要求；二是要使所设计的结构符合经济节约的原则。所谓可靠性，就是不允许结构在使用期限内发生倒塌，出现过大的变形或过宽的裂缝。所谓经济节约，就是不允许任意增大截面尺寸或配筋，造成人力、物力和财力上的浪费现象。

可靠性与经济性是一对矛盾。要妥善地处理好这对矛盾，要求在进行结构设计时，对结构在各种荷载作用下的受力情况进行科学地分析。结构分析的目的，就是为结构设计提供结构在各种荷载以及其它作用影响下的内力和位移值。

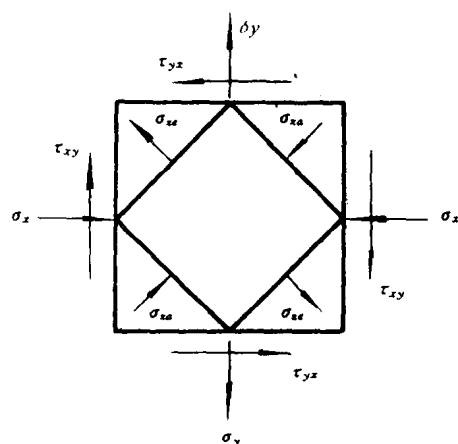


图 1-7

结构的内力可以分为图 1-2 所示的轴向拉力、轴向压力、弯矩、剪力和扭矩等五种基本形式。设计时，有时不仅需要知道截面上内力的大小，还需要了解截面上某一单位面积上内力的大小。单位面积上的内力称为应力。截面上的应力可以分为正应力、剪应力和主应力等。正应力是指与截面垂直的应力，如图 1-7 中的 σ_x 和 σ_y 。剪应力是指作用在截面内的应力，如图 1-7 中的 τ_{xy} 和 τ_{yx} 。主应力是指剪应力为零截面上的正应力，如图 1-7 中的主拉应力 σ_{μ} 和主压应力 σ_{ν} 。

结构的位移包括线位移与角位移。线位移又可以分为水平线位移与垂直线位移两种。角位移是指截面受力后的转动角度。某截面的角位移，可以用变形前后杆轴曲线上过该截面重心的切线间夹角来度量。图 1-8 所示的悬臂梁在荷载 P 的作用下，B 点的角位移为 θ_B ，水平线位移为 Δ_x ，垂直线位移为 Δ_y 。

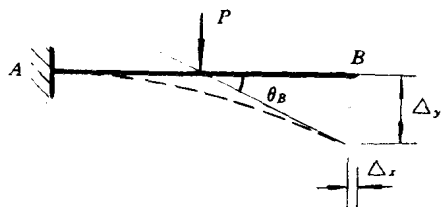


图 1-8

《结构力学》学科以杆件结构为主要对象，研究结构在荷载等因素影响下支座反力以及杆件内力和位移的计算方法。对于静定结构，只需要列出数量足够的静力平衡方程式便可以求解，例如，对于静定的平面杆件结构，只需要列出三个静力平衡方程式便可以求解。对于静不定结构，用力法或位移法或是在这两种基本方法的基础上发展起来的其它方法便可以求解。

《弹性力学》学科以板壳结构为主要对象，研究结构在荷载等因素影响下任意一点的应力和应变大小。由板壳上任意一点的平衡关系，可以得到它的基本方程式是一个高阶的微分方程式。可以对微分方程式直接求解，也可以用近似方法求解。例如，可以用一组差分方程代替基本微分方程，即是用有限差分法求解；或者用有限自由度体系代替无限自由度体系，即是用有限单元法求解。

长期以来，由于受到条件的限制，人们只能运用理论力学、材料力学、结构力学、弹性

力学等知识和借助简单的计算工具,手算结构的内力与变形。这种传统的结构分析方法不但速度慢、精度低、易出错,而且只限于计算一些小型和简单的结构。对于大型和复杂的结构,以及材料的应力应变关系不成比例的结构和大变形结构等,手算其内力和变形将是十分困难甚至是不可能的事情。

第二节 结构分析电算方法的优点

一、电子计算机的组成及特点

电子计算机是1946年问世的一种现代化的、能进行自动计算与信息加工的电子机器。四十多年来,它的发展非常迅速,可以分为下面四个阶段:

(1) 1958年以前,电子计算机是用真空管制造的。计算机的体积十分庞大。它以磁带作为储存媒介,资料储存数量十分有限,计算的速度也较慢。这就是第一代电子计算机。

(2) 从1958年至1964年,随着晶体管的出现,使计算机的体积缩小很多,计算速度加快。它以磁带和磁盘做储存媒介,资料储存数量也大量增加。这就是第二代电子计算机。

(3) 1964年以后,集成电路问世。它使计算机的体积进一步缩小,约为第一代计算机体积的四十分之一,计算速度也进一步提高。这就是第三代电子计算机。

(4) 1970年以后,大规模集成电路研制成功。它使计算机的体积更加缩小,计算速度达到每秒钟百亿次以上。这便是第四代电子计算机。

据统计,电子计算机每五至八年运算速度便提高十倍。与此同时,体积缩小十倍,成本也相应地降低十倍。

我国在1958年试制成第一台电子数字计算机。1964年生产第一台大型晶体管计算机并投入运行。1971年研制成集成电路计算机。最近又研制成每秒运算速度百亿次的“银河”Ⅱ型电子计算机。它标志着我国在电子计算机的研制工作方面已经走向世界先进的行列。

计算机是由硬件和软件两部分所组成。

1. 计算机的硬件

计算机的硬件是指它的各种设备部分,主要包括:

(1) 输入设备

输入设备是向计算机送入各种信息(如程序或数据)的设备,是人—机联系的主要设备之一。常用的输入设备有光电输入机、卡片输入机、电传打字机、磁带机、磁盘机等。

(2) 存贮器

存贮器是指计算机主机内的内存贮器。它是存放数据和程序的装置。它决定计算机的速度、容量和精度。

存贮器内分成许多小的单元,以便贮存各种代码。每一个小单元称之为一个存贮单元。每一个存贮单元有一个编号,或有一个地址。每个存贮单元通常存放一个数字,字所包括的位数,称之为字长。存贮器所具有存贮单元的总数,称为存贮器的容量或计算机的容量。容量愈大,表示计算机的功能愈强。计算机的容量通常是用K做单位。1K等于1024个存贮单元。例如,一台16K的家用计算机,表示它具有 $16 \times 1024 = 16384$ 个存贮单元。

存贮器的一个重要特点是,从它的每个单元中取出信息后,该单元中原有信息不破坏,即是取之不尽。但是,当将一个新的信息送入这个单元以后,原有的信息便被新的信息所取代

了。

(3) 控制器

控制器是计算机的指挥系统。它根据人们事先编写好的程序，指挥计算机各部分协调地工作。

(4) 运算器

运算器是直接进行加、减、乘、除等算术运算和逻辑运算的装置。计算器还能进行数码的传递、移位以及给出转移特征等。

(5) 输出设备

输出设备是把计算机的中间工作结果或最后工作结果表示出来的装置。

输出设备有行式打印机、电传打字机、控制打字机、纸带穿孔输出机、自动绘图机等。

运算器和控制器合称为中央处理系统(CPU)。计算机的主机包括中央处理系统和内部存储器。输入和输出设备称为计算机的外部设备。计算机的外部设备还有计算机的外部存储器。它的特点是，容量可以很大，但存取速度较慢。算题时是直接使用内存，而不是外存。

用计算机计算结构问题时，先将程序、数据等由输入器送入内部存储器贮存起来，然后，控制器从内部存储器中取出控制指令(所谓指令是人要求计算机进行某项操作的命令)，根据指令要求发出信号控制存储器和运算器。运算器则从存储器中取出资料，按控制器的指示进行运算，并将运算结果送回存储器内贮存起来，直到控制器从存储器中得到输出的指示时，控制器便向输出器发出信号，命令其将计算结果输送出去。在这一系列的操作中，存储器和中央处理系统的动作都很快，而输入、输出的速度因是机械动作，所以较慢。

计算机各部分的相互关系可以用图 1-9 来表示。

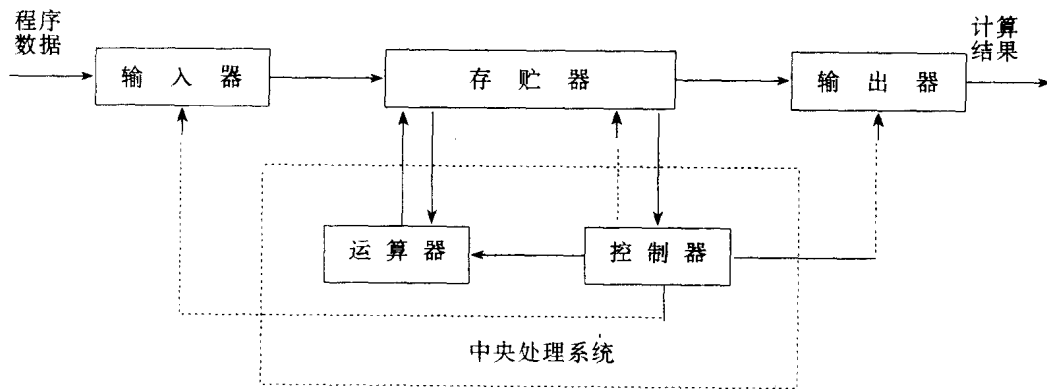


图 1-9 计算机各组成部分的相互关系

2. 计算机的软件

要使计算机正常工作和发挥效率，除了需要计算机的各种硬件以外，还需要有各种功能完善的程序系统。这些程序系统称之为计算机的软件。

计算机的软件可分为系统软件和应用软件。系统软件是指计算机的操作系统及语言编译系统方面的软件。应用软件是指专门用于某些特殊问题的程序。

目前正在发展一种固件，它是一种介乎软件与硬件之间的东西，可以把软件的工作用硬件来完成。它的弹性大，准确度高。

计算机程序是为了解决某个问题采用计算机语言编写的一些语句的集合。一条语句相当

于一项指令，告诉计算机完成一个操作内容。

计算机语言可以分为机器语言、汇编语言和算法语言等多种。

机器语言是用一些二进制的代码所组成。用机器语言编写程序，可以为计算机直接接受并执行。但是，这些二进制的代码很难记忆和掌握。此外，编写这种程序的工作十分琐碎和繁重，需要耗费很大的人力和时间，编写出的程序不直观，容易出错，错了又难于发现和改正等。因此，现在已很少用它来直接编写解题的计算机程序了。

汇编语言是由一些简单而又形象的符号组成。这些符号的集合称为符号语言或汇编语言。用汇编语言编写的程序称为符号程序或源程序。用汇编语言编写的程序，比用机器语言编写的程序直观得多，也便于记忆。但是，计算机并不认识这些符号，因此，在计算机内需要安装一套程序，它能将汇编语言“翻译”成机器语言，将符号程序“翻译”成机器语言程序。这种将用汇编语言编写的符号程序“翻译”成用机器语言编写的机器指令程序的程序，称之为汇编程序。符号程序与数学公式之间还有很大的差别，它的自动化程度也很低。与机器语言一样，它是为特定的机器服务的，所以称为面向机器的语言。

程序设计自动化的发展，创造出自动化程度更高的语言——算法语言，也称为高级语言。它既与数学公式非常接近，又能为计算机所接受。

用算法语言编写的程序也称为源程序。与用汇编语言编写的程序一样，计算机并不认识用算法语言编写的程序，因此，也需要“翻译”将它译成用机器语言编写的程序后，机器便可以进行运算。

将算法语言程序翻译成机器语言程序的程序有两种：一种是编译程序及其辅助程序，合称编译系统；另一种是解释程序及其辅助程序，合称解释系统。编译程序能将源程序整个地翻译成机器语言程序，解释程序可对源程序边解释边执行。一般地说，解释程序的处理方法比编译程序的处理方法要多花费计算机时间，但却能少用存贮单元。

一般的计算机中都配有能对多种算法语言进行“翻译”的编译系统或解释系统。因此，一般的计算机都可以执行用多种语言编写的计算机程序。有了编译系统或解释系统之后，使用计算机的人只需要了解某种算法语言的符号、语句和语法规则，而不必学习机器指令，也不需要懂得计算机的工作原理和内部结构。正如有人要写一篇中文文章，并且要求将它翻译成英文，如果有一个英文翻译帮助翻译，他就可以不必先去学习英文再写中文文章了。但是要注意，编译系统或解释系统都不是人，它们只能机械地编译或解释。如果源程序本身编写有错误，它们可以指出源程序的错误所在之处，并不会改正这些错误。因此，当用某种算法语言编写程序时，一定要认真检查所使用的符号、语句和语法规则等是否符合这种算法语言的规定。

近二十年来，计算机语言得到迅速发展。已经在实际中应用的不下 100 种。这表明计算机研究与应用工作的繁荣景象，同时也给使用者增加了一定的难度。应该说，每一种计算机语言都有它自己的特点，同时也有其适用的范围。目前，国内外比较通用的算法语言有 FORTRAN、BASIC、ALGOL60、PASCAL、COBOL 等十多种。作为适用于科技计算的语言有 FORTRAN、BASIC、ALGOL60 等。FORTRAN 是一种功能强、标准化程度高、便于程序互换、较易优化和计算速度快的算法语言。因此，它在国际上得到最为广泛地应用。本书以后各章中的计算程序，都将采用 FORTRAN 语言编写。

电子计算机具有以下的主要特点：

(1) 计算速度快。一个人采用计算尺、计算器等普通计算工具进行计算时，一天内所能

完成的运算次数是有限的。然而，一般的中小型电子计算机每秒钟内可以完成几万次至几十万次运算。大型电子计算机每秒钟内可以完成几百万次至几千万次运算。巨型电子计算机每秒钟内可以完成百亿次运算。即是说，一个人用普通计算工具在一天内所做的工作，计算机有可能在瞬间内便可以完成。

(2) 计算精度高。计算机的精度取决于字长。字长愈长，计算的精度愈高。从原则上说，计算机本身的计算精度可以不受限制。但是，字长愈长，设备愈要增多，运算速度则可能降低。因此，一般的计算机都只有十几位的有效数字。这种精度用手算是较难做到的。

(3) 自动化程度高。计算机具有“记忆”和逻辑判断的能力。它能够贮存计算机程序和各種数据，并且按照程序的要求，进行加、减、乘、除等算术运算和逻辑加工。它可以将整个工作在程序的控制下自动进行，不需要人去帮助它完成。

二、结构分析电算方法的优点

电子计算机由于有上述特点，因此被广泛用于数值计算、数据处理、自动控制、辅助设计、逻辑关系加工以及人工智能等各个方面。

电子计算机也非常适合用于结构的分析与设计。结构设计包括结构选型、结构布置、结构分析、绘施工图等多项工作。一般地说，结构的选型与布置是十分重要的。它的合理与否将对结构的使用与经济性带来重大的影响。然而，从工作量上看，结构分析与施工图所占的比重则远远超过前者。利用电子计算机进行结构设计时，不但可以将繁重的分析与绘图工作交给计算机去完成，而且可以对不同结构选型和结构布置的经济合理性进行比较，从中选出最为经济合理的方案。

利用电子计算机进行结构设计时，使我们有可能设计大型、复杂结构，也有可能分析材料非线性、几何非线性等问题。

因此，电子计算机的应用将使结构的分析工作发生重大的变革：

(1) 它使结构分析工作由传统的手算方式，转变为由人指挥电子计算机计算的电算方式。

(2) 它使结构分析的对象由只能局限在小型、简单结构，转变为有可能分析任何大型、复杂结构。

(3) 它使结构的分析工作由速度慢、精度低、易出错，转变为速度快、精度高、不易出错。

(4) 它使广大的设计工作者从繁重的计算工作中解放出来，使他们有更多的时间和精力去探索新的结构形式，研究更合理的计算方法，设计更多、更好、更经济的结构物。

计算机正在我国迅速发展，计算机的应用正在各地区、各部门日益推广和普及，结构设计工作者应该了解计算机的组成和特点，学习一些用计算机进行结构分析的理论基础，掌握用计算机分析结构的基本方法，适应形势发展的要求。

第三节 利用计算机进行结构分析的步骤

电子计算机虽然具备许多优点，但是它并不能完全代替人的工作。事实上，它只能按照人们事先安排好的步骤即计算机程序而工作。

为了利用计算机进行结构分析，需要人完成下列工作：

(1) 确定分析对象。是分析连续梁、铰接桁架、框架还是其它结构的内力与变形。

(2) 选择分析方法并且建立该分析方法的数学模型。并不是所有的数学运算都可以直接由计算机去完成,例如,不能用计算机直接进行积分计算。因此,有时需要对数学模型或数学运算方法进行适当处理,使之适合于计算机计算。

(3) 编写计算机程序。对于比较简单的计算机程序,可以直接采用计算机语言进行编写。对于大型复杂的计算机程序,编写之前,最好将每一步之间的关系画一个图形表示,以避免程序编写过程中发生混乱。这种表明分析过程中每一步关系的图形,称之为程序框图。

将计算机程序输入计算机中,并用一些有代表性的例题让计算机计算,看计算机是否计算,计算结果是否正确,以检验程序是否有错,是否需要修改,直至程序完全正确为止。

(4) 将需要分析结构的单元特征值(尺寸、弹性模量等)和荷载特征值等输入计算机中。

(5) 计算机按照人的指令进行结构的内力与变形分析,并且将计算结果输送出来。

由上所述可知,在上述五项工作中,第一项至第四项要由人去完成,只有第五项才是在人的指挥下由计算机去完成。因此,我们要熟悉结构分析的计算方法,学会编写计算机程序和掌握计算机的使用方法。

上述利用计算机分析结构的步骤可以用图 1-10 表示。

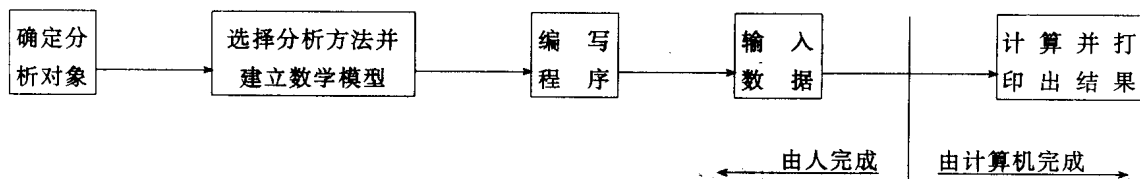


图 1-10 利用计算机分析结构的步骤

编写计算机程序有一点象写文章。一篇文章的题目定下来后交给多个人去写,一般地说都能够表达题目所要求的意思,但是不同的人写出的文章水平上却可能会有很大的差别。同样,一个计算机程序交给多个人去编写,虽然都有可能算得相同的结果,但编写的水平也可能会有较大的差别。一个好的计算机程序应当具备以下几个特点:

- (1) 程序简短,没有多余的语句。
- (2) 需要占用计算机的内存数量较少。
- (3) 计算的时间较短。
- (4) 容易准备原始数据,输出的结果便于阅读。

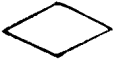
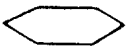
因此,在学习过程中,要注意程序的编写技巧,尽可能地使计算机程序编写得更好一些。

当然,并不是所有的计算机程序都需要自己去编写,有许多好的程序可以直接为我们所利用。这样不但可以避免重复劳动,而且可以减少程序编写中的错误。即使是利用他人的计算机程序计算,也需要学习结构分析的计算机方法。只有学好了结构分析的计算机方法,才能用好他人的计算机程序和不断完善他人的计算机程序。

如上所述,编写大型复杂的计算机程序时,为了避免错误,最好将程序框图事先画出。本书采用的框图符号及其所表示的意思如表 1-1 所示。

表 1-1

本书采用的框图符号及其代表的意思

符 号 形 式	符 号 意 义
	表示各种处理功能
	表示判别。在几个可选择的路径中，判断选取某一条路径。
	表示输入/输出，即提供处理所需的信息（输入）或记录处理后的信息（输出）。
	表示流程的开始、结束或暂停。
	表示循环程序中的循环功能。
	表示流程的路线和方向。
	表示流向流程图之外某个地方的出口点，或表示自流程图之外的某个地方进入的入口点。