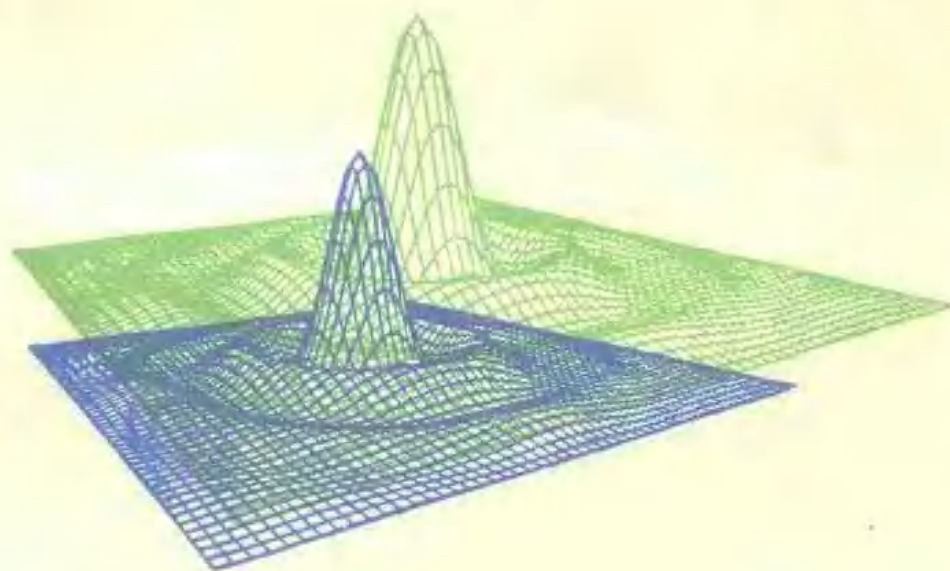


**FORTRAN PROGRAMMING FOR
PHYSICISTS AND ENGINEERS**

FORTRAN

程序设计 (理工科用)

秦克诚 编著

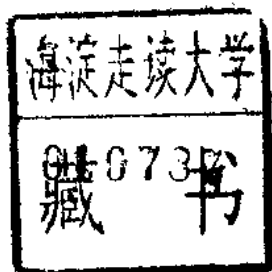


电子工业出版社

P
100/1

FORTRAN 程序设计

秦克诚 编著



电子工业出版社

内 容 提 要

本书根据北京大学物理系近几年所用的FORTRAN程序设计课程的讲义编写而成。全书包括预备知识、FORTRAN的基本概念、基本语句、程序设计的基本功能单元、辅程序、输入输出补充知识、常用的几种数值算法等八章。本书的特点为：重点阐述程序设计方法，较详细地介绍了结构化程序的设计方法和常用的功能单元；以比较的方式同时介绍FORTRANⅡ和FORTRAN77两种标准，术语均按国家标准规定，使本书适用于使用任何一种FORTRAN的用户；结合专业的需要，描述了理工科专业用得较多的算法和高分辨绘图程序的编写方法；例题选择注意了典型性、实用性和趣味性。

读者对象：高等学校理工科专业的学生、教师，也可供广大科技工作者和工程技术人员参考。

35257/67

FORTRAN程序设计

秦克诚 编著

责任编辑 林波

电子工业出版社 出版(北京海淀区万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：22 字数：549千字

1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷

印数：1—10100册 定价：4.95元

ISBN 7-5053-0045-8/TN25

统一书号：15290·578

序

在现代物理学飞速发展和学科间不断相互渗透和交叉的形势下,物理专业的学生应该接受哪些计算机应用的训练,是当前物理教育和课程改革的一个重要问题。现代数字计算机发展到今天,特别是超级微机的出现,计算机已经不是象算盘、计算尺那样的单纯的计算工具。它已成为一种特殊的实验仪器。对于物理学工作者来说,计算机可用来作理论计算、逻辑推理、模拟一个物理现象的微观过程、进行实时测量的控制以及实验数据的获取和处理等。所以物理专业的计算机教学,应使学生得到必要的基础训练,获得运用计算机去处理他们将碰到的各种物理或其他有关问题的能力。这当然不是一门课程所能完成的,需要分层次、按需要使学生一步一步获得这种能力,而掌握一门计算机语言和程序设计方法则是这一切的基础。我个人的意见是,应该尽早让学生受到计算机程序设计方法的训练,继而数值计算方法,进而计算物理等更高的内容的教育。所以,在计算机语言及程序设计技巧方面应尽早打好坚实基础,关键是给学生充分自由思考和上机实习的机会,培养他们的兴趣和使用计算机的能力,发挥他们的创造性。一本入门的计算机语言和程序设计的教材,要达到这个目的是很不容易的。

这本《FORTRAN程序设计》是根据几年来秦克诚同志在北京大学物理专业教学实践和指导学有余力计算机小组活动所取得的经验编写的。采用FORTRAN语言是因为它是物理学工作者通用的语言。本书的特点在作者的前言中已详细说明。我很赞同他写这本书的指导思想和其中的一般同类书籍所不具备的新内容。第四章“程序设计的基本功能单元”涉及面较广,使学生接触较多的典型方法,看到用FORTRAN可以做哪些工作,怎样做,结合第八章“常用的几种数值算法”,培养学生灵活进行较小程序的设计,为将来设计较大程序打下基础。例如,解超越方程的根有几种典型方法,各有优点和缺点,学生知道这些可能的方法后,可以根据自己所碰到的物理问题和要求(所求根的精度和计算速度等)去进行自己的设计,养成不盲目选用较复杂的通用软件的习惯。本书着重介绍了计算机绘图,这也是应用计算机解决物理问题的重要方面。

我认为,本书的写法是一种新尝试。秦克诚同志作了一次很好的尝试。同时希望使用本书的教师和学生来丰富本书的内容,这种反馈是产生一本好教材的重要途径。

虞福春

1987年7月

前 言

本书根据近年来作者在北京大学物理系的教学经验编写而成。编写本书时考虑的主要对象,是理科物理类专业和相近性质专业学习FORTRAN语言的学生,理工科其他需要用FORTRAN语言的专业也可以采用。

国内已经出版了多种介绍FORTRAN语言的书籍。因在这类书籍中再增添一种,就应当具有自己的一些特色。在编写过程中,作者在以下这些方面作了比较大的努力。

一、以程序设计方法为重点

FORTRAN程序设计,顾名思义,是用FORTRAN语言进行程序设计。FORTRAN语言只是工具,学习FORTRAN的目的,是为了用它编写程序,在计算机上解算实际问题。因此,这门课程应当包括FORTRAN语法规则和程序设计方法两方面,而且重点应当放在程序设计上,因为语法规则是死的,而程序设计方法则是灵活的。即使对语法规则也不要死记,而应在理解的基础上,通过在程序中的应用来熟悉。从这一指导思想出发,编者试图在本书中比别的FORTRAN教材更多地介绍程序设计方法。

为了实现这个目的,我们从以下两方面着手。一方面,介绍结构化程序设计的概念和方法:在第三章,开始介绍结构化程序设计中三种基本控制结构和在FORTRAN中实现它们的方法,第五章介绍辅程序结构和程序模块化的原则,§7.3再全面介绍结构化程序设计和由顶和底设计的概念和方法,也提出了FORTRAN语言在实现结构化程序上的不足。以上是从分析程序的结构来着手的。另一方面,再根据程序的功能,用第四章整章介绍实现一些常用功能的程序单元。这一章是本书的特色。掌握了这些功能单元,就等于建房子时会制造不同功能的标准预制件(如门、窗、墙)。这样,学生既学会了设计不同结构和功能的程序单元,又能按照结构化程序设计的原则把这些单元组成大型程序。

一篇文章有写得好不好之分,有它的质量评价标准和风格。一个程序同样也有它的质量标准和风格。我们学习程序设计方法,正是为了使编写出的程序运行正确可靠、效率高、结构简练、表述清晰,风格优雅。因此,书中随处都讨论了程序的风格、效率、通用性等问题,并在§7.2总结了评价程序质量的标准和提高质量的办法。

选择恰当的语句和使用正确的库函数对写出一个好程序有重要的作用。因此,本书在介绍各种语句和库函数时都要介绍它们的用途。对某些功能相似的项目,例如ATAN和ATAN2函数、READ语句和DATA语句两种输入数据的方法、虚实结合和公用块两种在不同的程序单位之间传送数据的方法、BLOCK DATA和磁盘文件两种贮存大量数据的手段等,都进行了比较,使读者能根据实际问题选择最佳的一种。

流程图是程序设计的一个有用工具。编者认为,重点之点在于掌握流程图的方法,这并不要求每个程序都画一个流程图。而且流程图只是对设计较复杂的程序才有明显的帮助,对于简单程序,画一个流程图并不起什么作用,徒然占去不少篇幅。因此,本书

在第三章引入框形流程图(框图)之后,只在有限几个地方画了框图,最后在 § 7.4 举了一个用流程图帮助设计逻辑复杂的程序的例子,而不是每个程序都附一个框图,以省篇幅。授课教师如果认为有必要,上课时可在黑板上画出所讲的例题程序的流程。框图由于不符合结构化程序设计的原则,在结构化程序设计中又提出了结构流程图,我们也在 § 7.4 介绍。

二、同时介绍FORTRAN IV和FORTRAN 77

1978年美国国家标准化协会(ANSI)公布了FORTRAN的新标准FORTRAN 77(ANSI-X3.9-1978),它扩充并增强了原来的标准FORTRAN IV的功能。随后国际标准化组织也采用了这一文本。我国也于1983年采用并实施了这一标准(GB3057-82)。近年来,已有越来越多的计算机型(包括微型机)配备了FORTRAN 77编译程序,这是一个必然趋势。但是,FORTRAN IV仍有广大的用户,已有的许多8位机上只能运行FORTRAN IV,许多已存在的计算软件是用FORTRAN IV写的,ANSI也没有宣布废除FORTRAN IV标准^①。另一方面,不论是哪一种FORTRAN的用户,对另一种FORTRAN标准有所了解也是必要的。因为既然有两种FORTRAN标准并行不停地使用,就有必要了解它们之间的差别,以免混淆,并在必要时能够把用一种FORTRAN写的程序改写为另一种。而且FORTRAN 77是从对FORTRAN IV的各种扩充进行规范定型而来,各种FORTRAN IV编译程序往往都允许一些FORTRAN 77的语句,而FORTRAN 77的子集语言,在许多方面毋宁说更接近FORTRAN IV一些。因此,本书将同时对这两种FORTRAN以比较的方式进行介绍,以使本书对两种FORTRAN的用户都适用,并且对两种FORTRAN的异同有一了解,不论对哪种FORTRAN都能得到系统的而不是零碎的知识。

为了更好地以比较方式介绍两种FORTRAN,几经考虑,决定选用本书现用的这种叙述方式,即在正文中介绍FORTRAN IV,然后在每一节后面用楷体字排印介绍FORTRAN 77在有关内容上的扩充和差异。对于差异较大、三言两语说不清楚的,则专门用一节介绍FORTRAN 77的相应内容,如 § 2.7A, § 3.1A, § 3.5A, § 3.8, § 5.7 和 § 6.5。最后在 § 7.1 总结、比较了FORTRAN IV、FORTRAN 77 全集和子集三种标准的差异。由于FORTRAN 77是由FORTRAN IV扩充而来,对FORTRAN IV基本上是向上兼容的,这种叙述方法是可行的,便于进行对照,也比较节省篇幅。

由于采用这种叙述方法,本书正文中例题的程序,大多以标准FORTRAN IV写成。如果用户使用的是FORTRAN 77,那么需要进行改写,这种改写非常容易,只要遵照 § 7.1 的几条规则就行了。差异比较大的,则同时给出两种FORTRAN的程序。此外,我们也备有用FORTRAN 77书写的全部例题和习题程序的软盘,需要者可来信联系。

三、叙述的标准化

有些介绍FORTRAN的书籍是以某一种机型为依据的,介绍的是那种机型上所用的

^①例如,国际上权威的计算机物理专业杂志Computer Physics Communication编辑部规定,它的程序库中所收的程序必须以标准FORTRAN IV、FORTRAN 77、ALGOL 68等标准化的语言书写。

FORTRAN方言。这样,它的某些内容就令不使用这种机型的读者感到困惑。本书完全根据两种FORTRAN的标准^①来介绍,对于一些非标准的语句和规定,即使是很通用的,也一定特别加以声明。对FORTRAN 77全集和子集语言的差别也清楚指出,这些差别是微型机的用户需要特别注意的。计算机和FORTRAN语言中的一些术语,现在还没有统一的标准译名,我们尽可能遵循国家标准GB3057-82中的用法。

四、同专业需要相结合

本书是为物理类专业和要求相近的专业如数学、力学和工科的电类和控制类专业而写的。这些专业的特点是:(i)要用到较多的数值计算,这正是它们选择FORTRAN为主要的计算机语言的原因。(ii)这些专业都是非计算机专业,是计算机的用户,对计算机系统本身的知识了解很少。(iii)能够用来学习计算机的学时很少,程序设计语言一般是这些专业学习的第一门、也许是唯一的一门与计算机有关的课程。本书的编写和选材注意到配合这些专业的特点和满足它们的需要。例如,第一章简单介绍了关于计算机硬件和软件的基本知识。虽然使用高级语言并不要求了解计算机的结构,但是懂一点计算机常识无疑将有助于更有效地使用计算机。在例题中选用了比较多的数值计算和物理题目。第八章更系统地介绍了一些常用的计算方法,它们已足以解决通常遇到的数值计算和实验数据的处理。特别是,第八章还介绍了伪随机数的产生和Monte Carlo方法初步,这是为物理专业学生学习计算物理课程作准备的。对于各种计算方法的效率、稳定性和计算中的误差,也作了简单的介绍。另外一些用得也很多的计算方法如本征值计算和快速Fourier变换,由于用到的数学知识较多,只能在各种后继课程如计算方法或计算物理中讲授。对于理工科的学生,作图是非常重要的,一条曲线要比一堆数据更生动、更直观地说明问题,因此本书§6.3介绍了如何用FORTRAN编写程序进行高分辨率绘图。

五、例题和习题的选择

例题是FORTRAN教材的重要组成部分。一道好的例题,可以典型地说明如果没有它就要费许多口舌才能讲清楚的问题;例题中程序的风格,对读者编写自己的程序也起着示范的作用。我们力求使本书选用的例题更“有意思”一些,这包括例题的典型性、实用性和趣味性。大部分例题除了说明一种语法现象之外,同时也说明一种算法或一种编程技巧,或者有一定的实用价值。我们选用了一些物理例子,以配合普通物理课的教学(普通物理是上述这些专业共同的基础课)。我们还选了一些测试计算机本身性能的程序作例题,它们在实际工作中是有用的。所有例题中的程序都用标准的FORTRAN IV或FORTRAN 77写成,并在计算机上运行过。

本书也收集了较多的习题,以配合教学和上机实习使用。习题选用的标准一是配合正文内容,二是“有意思”,能够激起学生的兴趣。习题备有题解,但是为了督促学生独立作题,题解不公开发行,任课教师可以来信索取(收工本费)。

以上五点是编写书时想达到的主要目标。但是限于作者水平,它们能实现到什么程

^①编写本书所根据的FORTRAN标准文本是: FORTRAN IV 根据国际标准化组织推荐文本“程序设计语言 FORTRAN”(韩淑娟等译,科学出版社,1984); FORTRAN 77 根据我国国家标准 GB3057-82 “程序设计语言 FORTRAN”(1982-05-01实施,中国标准出版社)。

度,效果如何,只有请读者评价了。作者热切地欢迎读者对本书提出的任何批评和改进意见。

本书的内容比课堂讲授的内容多,许多例题可以留给学生自学。有些内容(目录中标有*号的章节)是留给读者在实际工作中参考或供课余计算机小组活动用的。讲授时只应讲授两种FORTRAN中的一种。本书是按标准FORTRAN写的,但是讲授时可以而且应该结合所用的FORTRAN编译程序的规定。当然,应当讲清楚哪些规定是非标准的。

本书的基本内容,包括计算方法在内,可以用大约60个学时讲完。上课时应当讲清楚基本的语法规则和算法的基本概念以及少数例题,许多具体细节和更多的例题则让学生课下阅读。根据编者的经验,学生对这门课是非常感兴趣的,总是想多学一点东西,多做一点题目。应当发挥学生的这种积极性,让他们课下有丰富的材料可以看。本书的写法比较细,也是为了便于学生自学。学时不够时,可以把课程内容进一步精简,例如第四章和第八章不单独讲,部分内容分别作为第三章和第五章的例题,部分内容自学,第七章也可以不讲,这样可以把学时数减到45学时左右。非物理专业可以不讲Monte Carlo方法,一些物理方面的例题也可以换成本专业的例题。课堂教学不是唯一的环节,还必须通过编程练习熟悉编程的基本方法,通过上机实习培养上机操作的基本技能。上机时间希望能有20~30小时。

本书全部例题和习题的程序以及用打印机打印高分辨率曲线的实用程序,都可以用软盘形式提供。软盘分FORTRAN IV和FORTRAN 77两种版本,FORTRAN IV版本可用于IMS-8000、NEC PC-8001和Apple II等机型(以上机型都使用Microsoft公司的FORTRAN80编译程序),也有IBM磁盘格式。FORTRAN 77版本为IBM格式,可用于IBM-PC系列机(PC/XT, PC/AT, 5550)及其兼容机,建议使用IBM-PC FORTRAN Compiler V.2.0或Microsoft FORTRAN 77 Compiler V3.30作编译程序。IBM-PC系列机用的盘上还附有用FORTRAN程序调用的在屏幕上画高分辨率曲线的子程序库。提供Honeywell机格式的磁盘也是可能的。我们希望这样能为教师备课提供方便。需要软盘者可来信联系。

本书的完成首先要感谢北大物理系82级、85级和86级的学生,他们对这门课的强烈兴趣是编者最大的安慰,他们在教学过程中的反馈对本书的取材和写法有很大的影响。作者衷心感谢虞福春教授和数学系周芝英副教授,虞先生以七十高龄,还在孜孜不倦地倡导推广计算机在物理学教学和科研中的应用,为在我国发展计算物理学这一前沿学科而积极鼓吹奔走,他的榜样鼓励着编者写完这本书。周芝英副教授仔细地审读了全书的初稿,提了中肯的意见,书中并有几个程序是她在教学中用过的。作者还感谢徐纪扬同志同作者关于本书内容和编写计划的讨论,感谢林绪论同志、王胜同志、刘至文同志、温凡平同志、陈长风同志、张莘同志、丹扬同志、程秋丽同志和教研室其他同志在教学和工作中的协助。

读者对本书的意见和建议,请寄北京大学物理系交作者收。

秦克诚 1987年春节

目 录

引 言

第一章 预备知识

§ 1.1 计算机简介	8
§ 1.2 程序设计语言	9
§ 1.3 计算机中数的表示——定点数和浮点数	11
§ 1.4 计算机中字符的表示——ASCII码	17
§ 1.5 用计算机算题的步骤	19
§ 1.6 误差简介	21
习题	23

第二章 FORTRAN的基本概念

§ 2.1 FORTRAN的历史、版本和优缺点	24
§ 2.2 FORTRAN程序的分块结构和书写格式	25
§ 2.3 FORTRAN的字符集	30
§ 2.4 常数	30
§ 2.5 变量	33
§ 2.6 数组	37
§ 2.7 库函数	41
§ 2.7A FORTRAN 77的库函数	45
§ 2.8 表达式	50
习题	57

第三章 基本语句

§ 3.1 概述	58
§ 3.1A FORTRAN 77语句综述	60
§ 3.2 赋值语句	62
§ 3.3 有格式写语句	64
§ 3.4 STOP语句、PAUSE语句及END语句	73
§ 3.5 有格式读语句	75
§ 3.5A FORTRAN 77的格式读写语句	80
§ 3.6 DATA语句及PARAMETER语句	85
§ 3.7 转向语句和条件语句	87
§ 3.8 构成块IF的各种语句	101
§ 3.9 DO语句、CONTINUE语句和隐循环表	108
§ 3.10 语句函数定义语句	120
§ 3.11 EQUIVALENCE语句	123
§ 3.12 复型变量与逻辑运算应用举例	126
§ 3.13 字符处理	130
习题	135

第四章 程序设计的基本功能单元

§ 4.1 累加	141
§ 4.2 累乘	149
§ 4.3 分类统计	150
§ 4.4 求最大值和最小值	153
§ 4.5 枚举	153
§ 4.6 递推	157
§ 4.7 迭代	163
§ 4.8 排序	170
§ 4.9 检索	176
• § 4.10 用数组表示多位有效数字	180
§ 4.11 打印表格	182
§ 4.12 作图	183
习题	190

第五章 辅程序

§ 5.1 引言	19 6
§ 5.2 函数辅程序	198
§ 5.3 子程序辅程序	204
§ 5.4 不同程序单位之间数据联系的方式(一)——虚实结合	207
§ 5.5 不同程序单位之间数据联系的方式(二)——公用块	218
§ 5.6 数据块辅程序	224
• § 5.7 SAVE语句、ENTRY语句和交错RETURN语句	225
§ 5.8 几个服务性子程序	231
习题	240

第六章 输入输出补充知识

§ 6.1 读写语句的补充说明	242
§ 6.2 数组格式	244
• § 6.3 高分辨率绘图	246
§ 6.4 磁盘文件	254
§ 6.5 INQUIRE语句	266
习题	268

第七章 总结

§ 7.1 FORTRAN Ⅱ、FORTRAN 77全集和子集语言的比较	269
§ 7.2 评价程序质量的标准和提高质量的方法	273
§ 7.3 程序的三种基本控制结构和结构化程序设计	278
§ 7.4 框形流程图和结构流程图	282
习题	289

第八章 常用的几种数值算法	
§ 8.1 线性代数方程组的求解	290
§ 8.2 高次代数方程和超越方程的求根	296
§ 8.3 数值积分	299
§ 8.4 常微分方程组的积分	301
§ 8.5 插值与拟合	309
§ 8.6 随机数发生器和Monte Carlo方法简介	315
习题	328
附录 打印机用高分辨率绘图程序	334
参考书目	339

引 言

电子计算机是现代科学技术最重大的成就之一。它对科学技术的进步起了极大的推进作用，反过来，科学技术的进步也使计算机技术得到飞跃的发展。从1946年美国制造出第一台电子计算机到今天，仅40年的时间，计算机已经换了四代：

第一代(1946年至五十年代末)：电子管计算机。

第二代(五十年代末至六十年代后期)：晶体管计算机。

第三代(六十年代后期至七十年代初)：中小规模集成电路计算机。

第四代(七十年代初至今)：大规模集成电路计算机。

特别是，随着微电子技术的发展，电路芯片集成度越来越高，从而使计算机的功能越来越强，成本越来越低，使用越来越普及，已经应用到国民经济的一切部门，对社会生活各方面都产生了广泛、深刻的影响。

在物理学研究和教学中，计算机同样是一个重要工具。计算机在物理学中的应用包括以下几方面：

一、数值计算

许多物理问题，虽然我们了解它们遵循的物理规律，可以为它们建立一组方程，但是由于数学上的困难，只有在作了极大的简化之后，才能求出这组方程的解析解，对于比较一般的情况，只有进行工作量极大的数值计算来求近似解。在计算机出现之前，有些问题的求解简直是不可能的。而利用计算机高速度、高精度的计算能力，就能够从比较接近实际的理论模型得到数值结果，并且把物理学家从繁重的计算中解放出来，使他能够更多地注意问题的物理机制。

二、模拟实验

有些物理过程，根本无法做实验(例如天体的演化)；另外一种情况是实验设备很昂贵，耗用时间很多。在这两种情况下，都可以从一定的假设条件出发，在计算机上模拟这个物理过程，从而预测实验的结果，分析某一参数对实验结果的影响。对于那些无法进行的实验，就可以用这种模拟的结果作为代用品；对于那些耗时费钱的实验，则可以通过这种模拟分析实验的可行性，事先找出最佳实验参数，以达到省时省钱的目的。

三、数据处理

现代物理实验给出大量的数据，要从这些数据中提取我们需要的信息，必须对它们进行处理。这又包括下述内容：一是进行统计处理以及内插、拟合等，以减小误差、噪声的影响，便于分析实验结果；二是自动收集和挑选数据，例如高能物理实验积累了成千上万事例的照片，如何从这些照片中剔除没有兴趣的事例，找出我们感兴趣的事例；三是某些实验中，观测到的数据并不是我们直接感兴趣的物理量，要经过工作量很大的

数据处理后才能得到所要的结果,例如在Fourier变换光谱仪中,测量的是光束的自相干函数,如果没有计算机进行快速Fourier变换配合,就不能得到所需的光谱数据。

四、实验的实时控制

现代的物理实验是很复杂的。用计算机可以监控一个实验的进行,自动收集所需要的数据,排除实验设备的不正常状态,使庞大的复杂的实验设备协调一致地同步工作。

五、计算机辅助教学

计算机可以实现辅导、模拟、演示等工作。例如,计算机可以制作动画电影,以用于数学目的。

计算机在物理学中广泛和深入应用的结果,使得在物理学中除了传统的理论物理学和实验物理学之外,还产生了第三个分支——计算物理学^①。它是以电子计算机为工具,应用各种数学方法以解决物理问题的一门应用科学,是物理、数学、计算机三者结合的产物。它同理论物理学和实验物理学的关系如图1所示。人们形象地把计算物理学说成是“用现代计算机武装的理论物理学”和“纸上的实验物理学”。今日,计算物理学在天体力学、天体物理、流体力学、核物理、固体物理、等离子体物理和统计物理等领域已取得了重大成就。

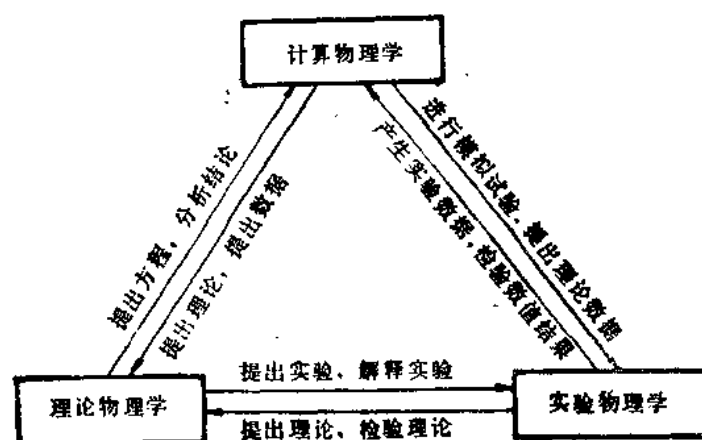


图1

要计算机做任何一项工作(例如算一道题),必须将运算步骤编成程序,输入计算机执行。每个运算步骤叫一条指令,一个程序就是一组有次序的指令。编写程序的过程叫做程序设计。写程序必须遵照一定的规则,计算机才能理解和执行,这种规则称为程序设计语言。本书内容就是介绍一种在科技计算中广泛使用的程序设计语言—FORTRAN,以及如何用它进行程序设计。

^① 蔡元勋:“发展计算物理学为加速四化建设服务”,《计算物理》第一卷第一期,第2~7页(1984年5月)。

第一章 预备知识

在进入本书正题之前，我们先介绍使用计算机解题必须具有的一些预备知识，这主要是关于计算机、计算机语言和二进制数的知识。

§1.1 计 算 机

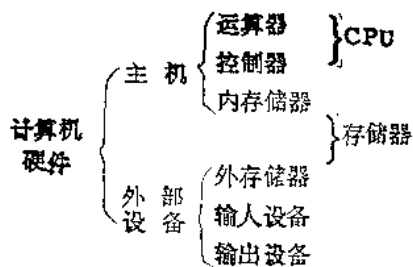
计算机同人类以往创造的劳动工具不同，它不是用来代替体力劳动，而是能够代替人的部分脑力劳动。其所以如此，是由于计算机具有很大的记忆能力、很高的运算速度和进行逻辑判断的能力，能够自动连续地进行高速运算。

现有的计算机全都是Von Neumann型计算机。这种计算机有两个主要特点。一是采用了“存储程序”的工作原理，即在计算机计算之前，预先将程序输入计算机的存储器。这样，计算机工作时，就会按照程序中规定的顺序，自动执行各项指令。这是计算机之所以能够实现自动连续计算的基础。要计算不同的题目，只要编好不同的程序输入计算机就行了，不必用改变线路连接的方式来实现。二是采用了二进制编码，指令和数据都以二进制数的形式存贮，这种编码方案能够简化计算机的结构，提高运算速度。不过，Von Neumann型计算机的执行过程实质上是串行的执行过程，指令是一条接一条执行的，这又限制了速度的进一步提高。近年来，为了追求超高速的计算能力，人们还进行了种种提高并行运算能力的尝试。

计算机的巨大能力来自它的硬件和软件资源。下面分别简单介绍。

一、硬件

所谓计算机硬件指的是它的机械部分和电子部分。Von Neumann型计算机的硬件由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大功能部分组成，其中存储器又分为内存储器和外存储器。运算器与控制器合称中央处理机(Central Processing Unit, 简称CPU)，它同内存储器一起构成计算机的主机。外存储器、输入和输出设备合称外部设备。计算机硬件的整个组成如下所示，



相对于主机，外存储器也可看作输入输出设备中的一种。五种功能部件之间的关系如图

1-1所示，图中实线表示信息流动方向，虚线表示控制关系。

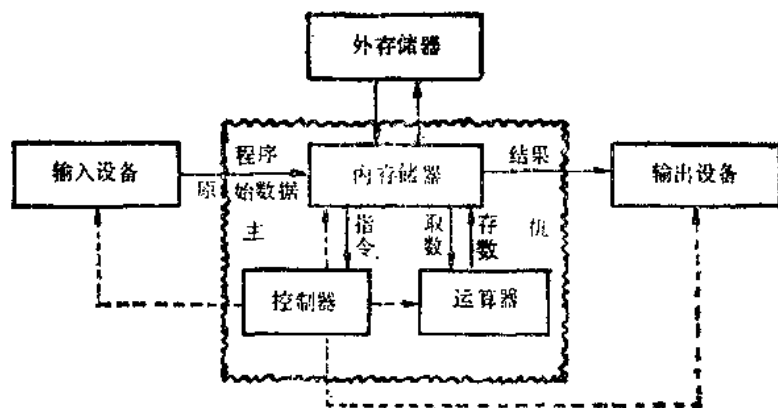


图1-1 计算机硬件的基本结构

现将各功能部件说明如下：

1. 运算器 进行算术运算和逻辑运算的电子电路。
2. 控制器 根据存储在存储器内的程序统一控制各个部件的工作。例如，命令运算器按照程序执行各种运算，控制存储器与运算器之间的数据传送，以及输入输出操作等。

运算器和控制器是两个不同的功能部件，但是总是把它们做在同一芯片上。这个芯片就是CPU，它是计算机的核心部件。CPU的一个重要指标是它的字长。在运算器和控制器中，总是把若干位数码作为一个整体来运算、处理和传送，它称为一个计算机字，简称字。一个字的位数称为字长。

3. 存储器 存放各种信息，例如从输入设备送入的指令程序和原始数据，从运算器送来的运算中间结果等，以供CPU使用。它构成计算机的记忆。它必须能够存储(写入)和取出(读出)所需要的信息。

计算机中的信息，不论是程序还是数据，都以二进制码的形式存储。信息的单位是位(bit)，即二进制的一位所代表的信息。1字节(Byte)=8位。常用的存储容量单位有千字节(kB)和兆字节(MB)。计算机中规定 $1k=2^{10}=1024$, $1M=1024k$ 。例如， $64k=65536$ 。

存储器的最基本的元件称为记忆单元，它有两个物理状态，能够代表0和1两个代码。一个记忆单元的存储容量是1位。有多种物理机制可以构成记忆单元，不同的记忆单元构成不同的存储器。

存储器的主要指标是存储容量要大、存取速度要快和价格要低。在计算机发展过程中，存储器是变化最大的部件之一，已淘汰了多种形式的存储器。目前普遍采用的是半导体存储器(作内存)和磁表面存储器(磁盘或磁带，作外存)。

内存和外存有不同的功能。

- (i) 内存：在主机内部，是CPU可以直接访问的存储器，也称为计算机的主存储器。

计算机能算多大的题目主要由内存的大小决定。因为计算机工作过程中要经常而频繁地对它进行存取,因此要求它的存取速度快,这对计算机的计算速度有直接的影响。

根据CPU的字长,在内存中把若干个记忆单元组成一个存储单元,每个存储单元存放一个字。字是计算机中信息存放和传送的基本单元,一个字总是作为一个整体一次存入或取出。内存容量也有用多少字来表示的。为了区别内存中的各个存储单元,需要对它们编址,即每个存储单元有一个地址码,就如同旅馆中每个房间有一个房号一样。

内存的主体是随机存取存储器(RAM)。这种存储器可以读出(取出)所存信息的内容而不破坏原有的信息,也可写入(存入)新的内容而将原来的内容刷新。所谓随机,是指可以对任意地址的存储单元直接进行存取,而不必按一定的顺序。

有些计算机中还有容量不大的只读存储器(ROM),它在计算机工作过程中只能读出信息而不能写入。它所装的信息是预先存好的,而且断电后保持不丢失。它一般用来存放一些固定不变的程序或数据,例如计算机的引导程序或字符发生器中不同字符的点阵图案。

第四代计算机都使用半导体存储器作内存。半导体存储器又有MOS型(金属氧化物半导体)和双极型两种。MOS型存储器集成度很高,价格低廉,已经制出了单片容量为1M位的MOS存储器芯片投入实用。它是最常见的主存储器,存取时间在200纳秒左右。双极型存储器的存取速度更高,存取时间为几十纳秒,但是容量较小,价格较贵。有的计算机上,除了主存之外,还有一个小容量的双极型存储器,预先把和现行指令有关的一批指令和数据调入这个存储器,使CPU访问内存的操作绝大部分是同这个快速的存储器打交道,就能显著提高计算速度。这样使用的双极型存储器叫做高速缓冲存储器(Cache)。

(11) 外存:内存的容量总是受到限制的,我们用一个辅助存储器来协助内存工作,将暂时不用的程序和数据存放在这个存储器上,需要时再调入内存。由于这个存储器不在主机内部,故称外存。如果把内存比作一个人的大脑的记忆能力,那么外存就相当于他的笔记本或备忘录。

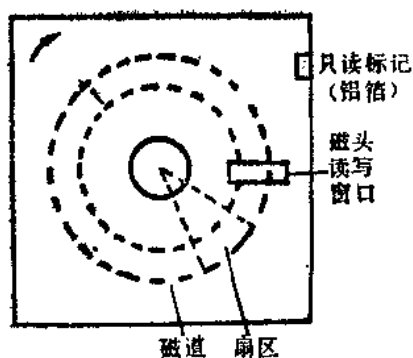


图1-2 软盘的外形

常用的外存储器有磁带和磁盘两种,磁盘又分为硬盘和软盘。它们都是利用磁性材料的磁化来记录信息的。硬盘由铝合金制成盘片,上镀一层磁性金属薄膜或敷磁粉,一般是密封的,固定装在计算机上,平时不能拆卸。软盘的盘片用软塑料做成,大小有8英寸,5 $\frac{1}{4}$ 英寸和3 $\frac{1}{2}$ 英寸等几种,上敷磁性材料,装在具有防尘、防静电功能的盘套内,套上开有一个存取窗口,供磁头读写用(图1-2)。使用时连同盘套一同装入磁盘驱动器。硬盘容量大(100MB数量级),存取速度快,但是价格昂贵。软盘容量为几百kB,价格便宜。

使用前,必须把磁盘进行格式化,把磁盘划分为若干个有地址编号的区域。划分的办法是将磁盘划分为若干个同心圆——磁道,每个磁道又分成许多扇区,构成许多区段。

区段是磁盘的最小存储单位，也是磁盘地址的最小单位。与主机交换信息以区段为单位进行。工作时，磁盘快速旋转，磁头则沿径向运动(参看图1-2)，因此，磁盘的任何区段都能很快找到。这叫信息的随机存取，所谓随机就是非顺序的意思。显然，磁带上的信息只能顺序存取，因为磁带只能作一维运动。

同内存相比，外存的特点是：

- *容量大。

- *信息存储的非易失性，即在断电情况下信息能长期保存。反之，内存中的信息一断电就完全丢失；

- *CPU不能直接访问外存，只能通过内存进行。

4. 输入设备 用来把程序和数据送入计算机。常见的有以下几种：

(i) 键盘：这是最常用的输入设备，用按键将程序和数据敲入计算机。它通常与显示器结合在一起构成计算机的终端，敲入的字符显示在屏幕上，有错误可以立即发现修改。

(ii) 纸带输入机：将数据和程序按照一定的编码规则在纸带上穿孔，每个字符由一排孔表示，不同字符的孔数和孔的位置不同。然后将穿孔后的纸带通过一个光电读入机送入计算机。这种方式比较落后，现在已很少用。

(iii) 卡片输入：数据和程序穿孔在卡片上，每张卡片一个记录(源程序的一个语句)。然后用读卡片机读入。只用在一些大型机上。

(iv) 光笔：是一种方便的图形输入装置，用它可以在显示器的荧光屏上任意画图或修改。

5. 输出设备 输出计算结果用。常见的输出设备有：

(i) 显示屏幕：在阴极射线管(CRT)的屏幕上显示信息，这是用得最多的输出设备。它和键盘组合在一起成为终端，作为人机通信的工具。按照它能显示的内容和屏幕分辨率的高低，终端可以分为字符终端、图形终端和图象终端三种。

(ii) 打印机：打印机把输出信息以字符形式在纸上打印出来，成为可以永久保留的可阅读的文件。最常见的打印机是点阵式打印机，字符由点阵组成。此外还有宽行打印机、激光打印机等。

(iii) 绘图仪：是常用的图形输出设备，可以在纸上画出图形。在驱动程序的控制下，它可以把算得的数据画成光滑曲线。这些曲线实际上是由许多折线段合成的，可是由于折线步长很短，人眼看不出来。

输入输出设备中除电子部件外还有机械部件，因此其速度要比计算机主机慢得多。

二、软件

光有硬件的计算机叫做裸机，什么事情也做不了。要计算能够顺利运行并解决各种问题，还必须配备有各种软件。所谓计算机软件，指的是为了运行、管理、维护计算机及开发计算机功能所编制的各种程序及有关资料的总和。软件同样是计算机不可缺少的组成部分。如果把硬件比做一个人的躯体，软件则是他的灵魂。硬件与软件结合，计算机系统才能发挥它的作用。

计算机软件可分为系统软件和应用软件两大类。系统软件的目的是管理和控制计算