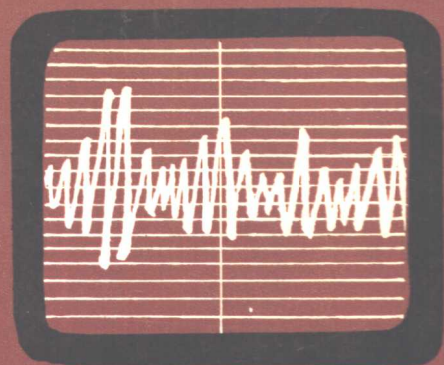




物理学和计算机

[美] R. 埃利希 著

科学出版社

物理学和计算机

〔美〕 R. 埃利希 著

《物理学和计算机》翻译组译

内 容 简 介

本书结合电学、波动学和近代物理学中的十三个典型问题,介绍了 FORTRAN IV 语言在物理学中的应用。第一章扼要地介绍了 FORTRAN 语言的主要内容,第二章至第五章介绍了数值积分、微分方程数值解、计算机模拟实验、求一维薛定谔方程的本征值、蒙得卡罗法及最小二乘法曲线拟合等方法。对每一个物理问题都给出了程序流程图和相应的程序清单及实例结果。每章后都附有大量的习题。

本书可作为高等院校物理系学生学习计算机在物理学中的应用的教材,也可供其它科技人员及其它专业的人员参考。

Robert Ehrlich
PHYSICS AND COMPUTERS
Houghton Mifflin Company 1973

物 理 学 和 计 算 机

[美] R. 埃利希 著

《物理学和计算机》翻译组译

责任编辑 王昌泰

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1986 年 10 月第一次印刷 印张: 13 3/4
印数: 0001—6,300 字数: 314,000

统一书号: 13031·3319

本社书号: 4957·13—3

定价: 3.25 元

译者前言

目前,国内计算机方面的出版物很多,但专供学习用计算机解决物理学问题的书籍,尚属少见。美国 Robert Ehrlich 所写《Physics and Computers——Problems, Simulations and Data Analysis》一书自 1973 年出版后,到 1981 年,年年重印,可见是一本颇受欢迎的书。现在,我们将此书译成中文,是希望在当前大力普及计算机知识的形势下,向国内读者提供一本这方面的参考书。

本书的选材紧密结合物理学中的一些典型问题,介绍了诸如数值积分、微分方程的数值解、计算机绘图、计算机模拟实验、蒙特卡罗方法、最小二乘法曲线拟合等典型方法,并在第一章中扼要地介绍了 FORTRAN IV 语言的主要内容,使本书自成一完整的体系,为尚不具备 FORTRAN 语言基础的读者提供了方便。

全书内容的安排,由浅入深、由简及繁、循序渐进。所举实例,有经典物理问题,也有近代物理问题,生动有趣,一般理工科大学生都能看懂,便于自学。对于具体的物理问题,既给出了程序流程图,也给出了附有详细注释的程序单和运行结果,使读者便于对照理解。特别是对某些物理问题,作者将不同的解法综合在一个程序中,更便于比较不同方法的优缺点。从这些地方都可以看出,这本著作综述了作者丰富的教学经验。

我们在翻译过程中,考虑到目前国内大专院校中 Apple II 型微机较多,因此将书中的程序在 Apple II 型机上,利用 CP/M FORTRAN 80 语言进行了验证,并对原书中个别的错误作了改正。

原书是美国西伊利诺斯大学物理系鲁因 (Y. N. Lwin) 教授来华讲学时赠送的,谨此向鲁因教授致谢。

参加翻译的同志有庞淳(前言)、李建国、陈泽扶(第一章)、哈骥骏(第二章)、王佩芸、林辛未(第三章)、邓昭镜(第四章)、盛拱北(第五章)和阎其昌(附录)。最后由阎其昌负责统稿和校订全书,并在 Apple II 型微机上验证了全部程序。

由于水平有限,译文中定有不少错误和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

《物理学和计算机》翻译组

1985 年 4 月于重庆西南师范大学

前 言

这本教材按大学二、三年级的学生水平,阐述了计算机在物理学中的若干应用。其中许多材料已在一学期三个学分的“物理学和计算机”课程中使用过。学习此课程的必备条件是学过一学期的微积分和一学期的普通物理学。作者认为,此类新型课程,既是急需的,也是应该要求的,因此应该在物理专业课中讲授这一课程。

本书也可用作现行物理课程的补充。本书中包含的课题,由一套选自电学、波动学和近代物理学领域的,既有联系又相对独立的十三个题目组成(参看表 1.1)。作为参考指南,在附录 I 中给出了表 1.1 所列出的十三个题目与二十四种通用的基础物理教材间的相互参照表。我们选取这套特殊课题的原因,在于它们阐述了各种各样的数值计算方法和计算机技术:数值积分、微分方程的数值解、计算机绘图、随机数生成、最小二乘拟合。此外,上述的方法和技术中还包括模拟物理实验室中常做的一些物理实验,诸如等电势图的绘制、RC 和 RLC 电路、由两个波源产生的波的干涉、汽泡室照片分析等。这些计算机方法使学生能够处理其它方法所不能处理的,十分复杂的问题。模拟实验室实验,有助于向学生表明,实验结果如何依赖于若干可控参量。因此,本书的内容能起到代替部分实验课的作用。

本书第一章由计算机概论,流程图和 FORTRAN IV 语言组成,这对于已初步具备使用计算机和 FORTRAN IV 语言的读者来说,并不是必要的(虽然是有用的)。在其余四章中,我们将讨论表 1.1 中列出的每个题目,并用经过证实的计算机程序加以说明。书中所有的计算机程序均按 FORTRAN IV 写出,而且全都在 IBM 1130 机上运行过。足够多的资料和流程图,使程序相对地不依赖于所用的计算机和语言的种类。那些极少数与所用机型有关的程序特点则放在附录 II 中讨论。

每章末尾都有一大批待解答的习题,其中大多数都是非常重要的。有一些习题是采用若干不同的输入参数值去运行该章中所给出的固定程序;另一些习题,要涉及到对固定程序作某些修改;还有一些习题,则需要写成全新的程序。按照每个课题相对独立的考虑,希望在学完一个课题后,就完成相应的习题,所以对每章之后所附的习题又按该章中的小标题进行了分类。

我谨向 New Paltz 大学物理系系主任 Joseph T. Ratau 博士和物理系其他成员,特别是 Allan Harkavy 博士表示感谢,感谢他们的建议和鼓励,并批准我开出“物理学和计算机”这门课程。我也向学习这门课程的学生们表示感谢,感谢他们对本课程的评论与建议。我应特别感谢 William F. Rall 先生的批评和指正,他对原稿中的两个程序的完成付出了辛勤的劳动。我还特别感谢 Ronald Blum 博士,他通读了原稿,并作了许多有益的评论和指正。

我对已故的 Ronald A. Fisher 先生的版权执行人 F. R. S. 和 Oliver & Boyd, Edinburgh 先生,允许重印他们的著作“Statistical Methods for Research Workers”一书中的表 III 表示感谢。

R. 艾利希

• iii •

目 录

第一章 计算机、物理学和 FORTRAN	1
1.1 计算机在物理学中的应用	1
计算机用于科学研究 (1) 在物理教学中正确使用和滥用计算机 (2)	
1.2 计算机和计算机程序设计	3
计算机的组成 (3) 计算机程序 (4) 流程图 (5)	
1.3 示例问题	8
第一种算法 (9) 第二种算法——择一算法 (12) 两种算法的比较 (13) 爬山算法 (15)	
1.4 FORTRAN IV 简介	16
FORTRAN IV 程序实例 (16) FORTRAN 的算术运算 (17) FORTRAN 语句中等号的使用 (17) 语句标号 (19) IF 语句 (19) GO TO 语句 (20) CALL EXIT, END 和 CONTINUE 语句 (20) READ, WRITE 和 FORMAT 语句 (20)	
1.5 计算机运行程序	22
会话方式与批处理方式 (22) 控制卡片 (22) 卡片组穿孔 (23) FORTRAN 程序的编译和错误信息 (24) 修改示例程序的建议 (25)	
1.6 FORTRAN IV 的补充特性	26
COMMENT 语句 (26) 实型变量、整型变量及常数 (26) 数组和 DIMENSION 语句 (28) DO 语句 (28) 数学函数 (32) FORMAT 语句 (32) DATA 语句与 A 格式说明 (34) 计算精度 (35) 调试 FORTRAN 程序 (35)	
第二章 静电学和电路	39
2.1 两个点电荷的等势图	39
等势线的图形显示程序(版本 1) (39) 关于数据卡及范例结果的注释(版本 1) (40) 强度定标法 (42) 等势线图形显示程序(版本 2) (47)	
2.2 带电细导线的电势	48
计算定积分的数值法 (49) 计算带电细导线电势的程序 (53)	
2.3 RC 电路中电容器的放电	57
欧拉算法 (58) 改进的欧拉方法 (59) RC 电路程序 (62)	
2.4 RLC 串联电路	66
用改进的欧拉法的算法 (67) 自由振荡 (68) 强迫振荡 (70) RLC 电路程序 (71) 范例结果的讨论 (75) 第二章习题 (75)	
第三章 经典物理学及量子物理学中的波	81
3.1 波的叠加及傅里叶定理	81
三角波、方波和窄脉冲波形的傅里叶合成 (82) 关于窄脉冲波的进一步讨论 (83) 任意波形的傅里叶合成 (85) 近似值的优度 (86) 傅里叶合成的计算机程序 (86) 对范例结果的讨论 (93)	
3.2 二维波	97
运动波源的波: 多普勒效应和冲击波 (98) 二维波的叠加 (101) 二维傅里叶分析 (103)	

波图案的计算机程序 (104) 对数据卡和范例结果的注释 (109)	
3.3 薛定谔方程的解.....	114
方势阱 (114) 多重方势阱 (117) 确定本征值和本征函数的计算机程序 (118) 对数 据卡和范例结果的注释 (120) 第三章习题 (132)	
第四章 蒙特卡罗算法	139
4.1 伪随机数的生成.....	139
幂次余数法 (139) 随机性统计检验 (140) 具有非均匀分布的伪随机数的生成 (143) 生成伪随机数的程序 (144)	
4.2 定积分的蒙特卡罗数值计算.....	147
物体的质量和质心坐标的计算 (147) 计算物体质量和质心坐标的程序 (149) 关于数 据卡和范例结果的注释 (150)	
4.3 链式反应的模拟.....	156
临界质量的计算 (157) 计算残余因数 f 的程序 (158) 数据卡和范例结果的注释 (159)	
4.4 趋向平衡.....	163
用 N 个硬币模拟趋向平衡 (164) 模拟趋向平衡的程序 (166) 数据卡和范例结果的 注释 (167) 第四章习题 (169)	
第五章 实验数据分析	174
5.1 实验数据的最小二乘拟合.....	174
χ^2 平方和几率 (175) 单参量最小二乘拟合 (177) 两个参量的最小二乘拟合 (179) 具有未知测量误差的最小二乘拟合 (181) 最小二乘直线拟合程序 (182) 数据卡和 范例结果的注释 (183)	
5.2 汽泡室照片的测量分析.....	190
基本粒子反应的识别 (190) 汽泡室照片的测量 (193) X^0 粒子质量的计算 (197) 计 算 X^0 质量的程序 (200) 第五章习题 (202)	
附录	205
I 关于表 1.1 中所列论题的参考资料	205
II 决定于计算机的程序特点	205
III 傅里叶系数 a_k 和 b_k 的确定	206
IV 方波、三角波和窄脉冲波的傅里叶系数	208
V 运动波源位置的确定	210
文献目录	211

第一章 计算机、物理学和 FORTRAN

近年来,由于采用了高速数字计算机,物理学和技术科学取得了很大的进展。本书中的各专题阐明了在大学程度的物理学中计算机是非常有用的某些方法。在表 1.1 所列出的专题中,由初级到高级在程度上跨距很大。虽然本书的重点在于说明计算机是如何促进物理学的研究的,但也尽可能利用这些物理专题说明各种数学算法和(或)计算机算法。因此,表 1.1 中的专题又按计算机算法进行了分类。

这些专题将在 2—5 章中讨论,本章只论述计算机在物理学中的作用,计算机的基本原理,程序编制和一个例题。在 1.4—1.6 节中,介绍一种与计算机进行对话所用的语言。

1.1 计算机在物理学中的应用

人们早就认识到计算机是物理学研究中的一种重要工具。近来,又进一步发现它也是物理教学中的一种辅助手段。随着计算机价格的降低,给大多数高等学校提供了更为强有力的计算工具,同时也随着物理学家不断地将他们的研究专长用于教学,在教学中使用计算机的趋势肯定会不断地增加。虽然计算机在科学研究中和在教学中的应用之间不可能划分明显的界限,但一般地说,科研中要求更先进的硬件(即计算机和其附属设备)和软件(即计算机程序和文件)。

计算机用于科学研究

在实验物理学领域里,计算机的使用范围极广。进行一个实验,要受到物理定律、所用仪器的精度、财力或其它资源等方面的制约。因此,有时从一个实验的最初计划阶段开始,就需要利用计算机来确定这个实验的可行性。为此,可以利用一种计算机模式来模拟此实验。为了获得最佳实验设计,需要确定一些实验参量值(例如在散射实验中,必须选定粒子探测器的数目、大小、型号以及它们的布局)。在计算机模拟过程中,每次改变一个参量,以确定它对实验结果的影响。运用这种技术常常能在实验实际进行之前就确定出最好的实验安排和实验的精确度。

表 1.1

物理专题	有关的数学和(或)计算机方法
1. 两个点电荷的等势线	计算机绘图和强度定标
2. 带电细导线的电势	用梯形法、辛普森法及插值多项式法作数值积分
3. RC 电路中的电容器放电	用欧拉法求微分方程的数值解
4. RLC 串联电路	用改进欧拉法求微分方程的数值解
5. 波的叠加	傅里叶分析和波形合成
6. 二维波: 多普勒效应、激波和干涉	计算机绘图和波的叠加
7. 薛定谔方程的解	利用边界条件选择合适的解: 本征函数和本征值
8. 随机过程	用计算机产生随机数: 累次余数法
9. 质心坐标	用蒙特卡罗 (Monte Carlo) 法作数值积分

10. 裂变链式反应: 临界质量

用蒙特卡罗法模拟随机过程

11. 趋向平衡: 热力学第二定律

用蒙特卡罗法模拟随机过程

12. 实验数据拟合

最小二乘法拟合

13. 汽泡室照片测定

“迷失质量 (Missing Mass) 计算

对于许多实验,特别是核物理实验和高能物理实验来说,可以用计算机采集数据:由仪器产生的讯号直接输入计算机。在以高速率输入大量数据的实验中,可以利用计算机对输入的数据进行某种检验,或者剔除那些与某种判据不符的数据,或者在数据中找出特定的模式。这种利用计算机进行“模式识别”的课题,由于其广泛的适用性,许多科学领域的研究人员对此都有极大的兴趣。

如果在数据被记录下来之前,就由计算机对来自实验的数据进行检查,这样就能利用计算机对仪器的状态进行持续地监视,例如当检测到异常状况时,计算机就打印出一条信息警告实验人员。在复杂的系统中,这一检测过程扩展为计算机能将检测到的异常状况自动地进行校正。

在物理实验中,计算机还有许多其它的功用,其中包括簿记功能——存储来自一个实验的全部数据或者编辑多次实验的结果;拟合及假设测试——确定数据可否明确分类;利用数据产生图形或其它显示;建立模型——确定数据与何种理论模型一致。

在理论物理学中,计算机的应用范围不象实验物理学中那样广泛。虽然计算机可用以进行各种类型的计算,但是大多数理论物理学家还是将其理论公式化,并对方程式作必要的代数运算而不借助于计算机。不过现已证实,在利用事先导出的理论模型求出数值结果方面,计算机是最有用的。

在物理教学中正确使用和滥用计算机

在教学中,计算机的应用情况是各不相同的,区分的方法之一是看学生了解计算机操作的详细程度如何。可以用两种极端情况说明之。一种是问题求解型 (problem-solving mode),在此类型中,学生自己编写解决物理问题的计算机程序;另一种是模拟型 (simulation mode),在此类型中,学生对所用程序并不了解,只是输入参量值并得出结果。本书中列举的应用打算使其适用于比较广泛的对象,对两种类型的学生都适用,他们可以是对计算机程序设计懂得很少或完全不懂的学生,也可以是有经验的程序设计者。初学者可以把书中的程序简单地当做“固定”程序使用,对于有编写程序经验(或想获得经验)的学生,建议他们对每一个程序作一些修改。

计算机在物理教学中的许多应用与在科研中的应用类似,计算机能对实验数据进行计算、分析,能进行模拟,能产生图形和其它直观资料(甚至活动图象)。大多数物理学者都会同意,在物理教学中,计算机的某些应用比较有效,而有些应用则应避免。在物理教学中使用计算机,要么起到加深课题内容和激发兴趣的作用,要么适得其反,这取决于如何使用计算机。例如,对实验中得到的数据全都用计算机进行分析是不恰当的。如果一个学生仅仅是看着计算机采集和分析数据,然后打印出结果,那么他就不会明白所学习的任何物理内容。更坏的情况是,如果他总是让计算机进行数据分析的话,就会产生对数据分析没有什么需要了解的印象。不应因用计算机而取消了对问题的思考。当然,在需要对大量数据进行冗长的分析的实验中,当学生了解了每一个步骤后(即亲手进行一些分析

后)用计算机分析这些数据是非常合适的。

1.2 计算机和计算机程序设计

尽管计算机有各种不同的以至复杂的应用,但就某种意义来说,它却是一种受到很多限制的设备。计算机所能执行的基本运算,只略多于简单的算术运算(加、减、乘、除)和逻辑运算。复杂的运算之所以可能,仅在于经过仔细分析之后,复杂的问题可以简化为大量的这种简单运算。

计算机的组成

图 1.1 所示是计算机组成的简化方框图。中央处理机 (CPU) 是控制基本代数运算和逻辑运算的部件。CPU 也是计算机中所有其它部件的控制装置, CPU 以下述四种方式与这些部件进行通讯:

1. 命令各种输入设备将信息送入 CPU (输入设备包括卡片阅读机、打字机、磁带机等);
2. 将信息送至各种输出设备(例如穿孔机、打字机、打印机、磁带机以及示波器和绘图用的绘图仪);
3. 将信息送入内存储器;
4. 从内存储器中取出以前存入的信息。

由计算机处理的信息单位称为一个“字”(word)。一个字可以是一个数,一个字母序列或者某些特殊的符号,如象 \$! ? * 等。计算机的存储器就是一种可将已编码的信息储存在其中的内部媒体(信息也可存储在外媒体中,如穿孔卡片、磁带或打印纸上)。大部分计算机靠磁性存储信息,如用小磁芯或“磁性薄膜”。与将信息外存储在磁带上的情况相同,信息也可以存储在内存储器中,并且可以从内存储器中提取或抹去信息。每一个字(信息单位)被存储在由内存地址所指定的一个内存单元中。计算机的内存容量随机器不

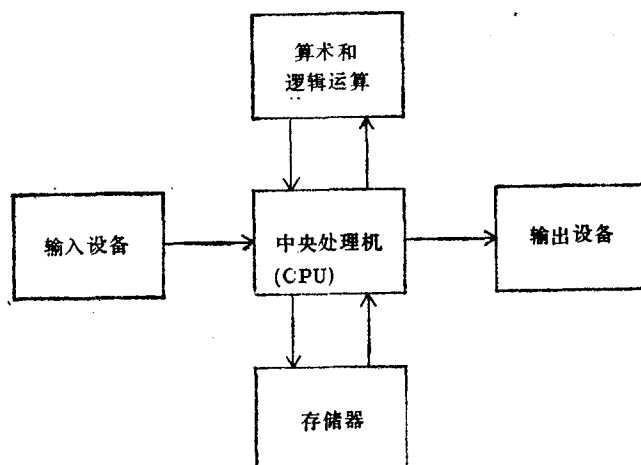


图 1.1 计算机的组成

同而异。每个字中能存储的位数和符号的个数也有一定的限制,这种限制同样取决于机器本身。在许多计算机中,字是由二进制(基数为2)的数表示的,每个二进制数(bit)的值由磁芯的两种可能的取向状态之一表示。

计算机程序

计算机执行的所有操作都是由计算机程序规定的。一个程序就是一组指令的编码表,该编码表是通过穿孔卡片或其它某种媒体送入计算机的。通常,当一条指令进入计算机时,并不单独执行,而是由 CPU 将所有的指令暂时存储在内存存储器中。然后,再从内存存储器中一次取出一条指令并执行之。编制一个程序,应当遵循下述步骤:

1. 定义问题。尽可能用最明确的术语表达要解决的问题,对一个二义性的或模糊不清的问题是可能编出计算机程序的。

2. 设计算法。算法就是解决问题的步骤,每一步必须是能够执行的简单操作。表示算法的通用方式是流程图,在流程图中用相互联系的框形表示各个步骤,并用箭头表示各步骤的先后次序。

3. 编程序。把流程图中的步骤转换成给计算机的一系列指令,就是计算机程序。有很多种用来编制计算机程序的语言(编制程序即用某种语言自身的语法,词汇和特性把程序写出来),在科学应用中使用最广泛的一种语言是 FORTRAN (formula translation), 本章以后再讨论它。其它语言,象 BASIC, APL 和 PL/1 等也同样在许多计算机系统中使用。

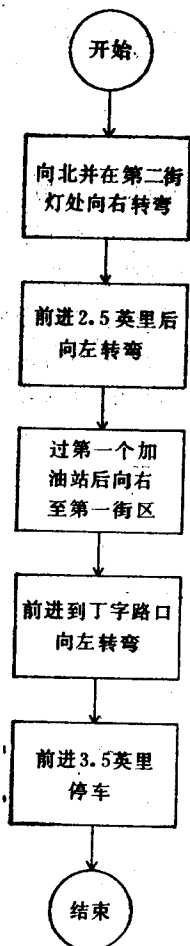


图 1.2 直线式流程图一例

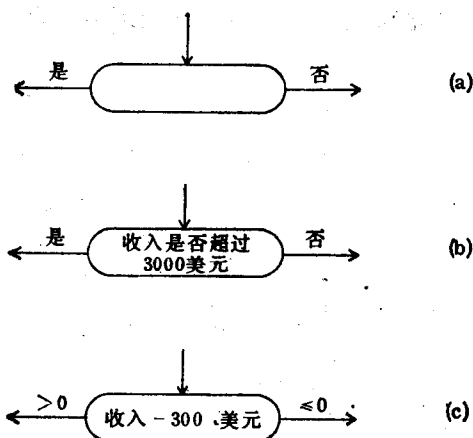


图 1.3 分支示例

4. 调试程序。大多数程序,不论长短如何,在第一次运行时往往不能正常进行。因此必须进行调试。在调试过程中,常常可暴露出原始语句中存在的错误或含糊的地方,而需要对解题算法作根本性的修改。在讨论了 FORTRAN 语言之后,我们再回过头来详细讨论调试问题。

根据前面所讨论的编制计算机程序必须遵循的步骤,我们应当明了,要想写出程序就必须确实地知道不用计算机如何求解此问题!这就是说,我们一旦设计了一个算法,原则上就能按顺序完成每一步运算,直到解出问题。但是,实际上许多算法包含如此之多的步骤,以至只有计算机——它在一秒钟内可以进行上百万次的运算——方能在适量的时间内无误地完成全部运算。

流程图

能够证明,流程图对解决各种各样的问题是有用的,甚至在我们不想编制计算程序时,对解决问题也是有用的。例如,为了达到一特定的目的地,我们可以用流程图的方式

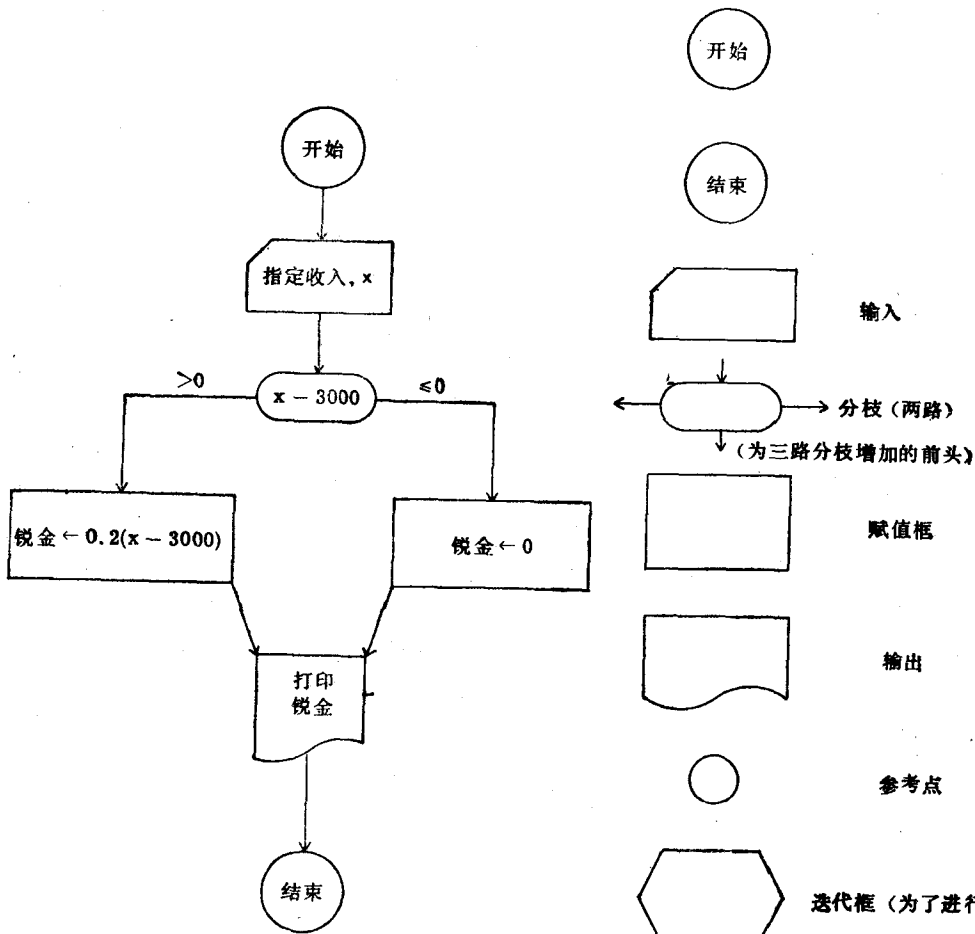


图 1.4 分支用法示例

图 1.5 流程图中使用的框形

编制一组驾驶指令,如图 1.2 所示。由此例可以看到,流程图中每一个方框所规定的步骤都必须按照指定的顺序进行,如果改变了其中的任何一步,很可能就达不到预期的目的。

大多数流程图比图 1.2 中的“直线”式流程图复杂。通常,流程图中含有一个或多个分支,在分支点上,由某些条件决定下一步走哪一条途径。对于最普通的两路分支形式(见图 1.3a),如果对提问(在长圆形框中)的回答是肯定的,则走“是”那条途径;如果回答是否定的,则走“否”那条途径。例如,若希望计算某人应付的所得税,其简化后的计算条件是:在超过 3000 美元的收入部分中抽取 20% 的税金,那么

$$\text{TAX (税金)} = 0.2 (\text{INCOME (收入)} - 3000).$$

但这只适用于收入不低于 3000 美元的情况,不然就会得出税金为负值。因此,我们需要一个两路分支步骤以检验此人的收入是否超过 3000 美元。有两种指明这种分支的方法,如图 1.3b 和 1.3c 所示。图 1.3c 所示的分支称为“算术分支”,走哪一条途径取决于长圆形框中的表达式是正值 (>0) 或非正值 (≤ 0)。注意,如果有必要的话,算术分支能简捷地扩大为三路分支 ($>0, =0, <0$)。计算某人应付的所得税的完整流程图如 1.4 所示。图 1.4 中有几处用了反向箭头($\leftarrow$),表示赋予量 (TAX) 一个特定的值。虽然在用

反向箭头的地方采用等号似乎更为自然一些,但在后面我们将会看到,在这种情况下为什么用反向箭头这种符号更为恰当。

在流程图中用图 1.4 所示的各种框形表示特定的操作是一种很方便的办法。在图 1.5 中给出了各种框形的含义。用圆圈圈起来的 Begin (开始) 和 End (结束) 含义很明显。形状象穿孔卡片(截去一个角)的框子表示包含在卡片中的某个指定量的数值需要输入计算机。这是一种给各变量赋值的简便方法,在流程图中不必明确地给出这些值。卡片形框也可作为输入的通用符号,即使对于某些不用卡片阅读机的设备也适用。

如前所述,长圆形框表示分支,由长圆形框引出的路径,要么标以是/否,要么标以 $>0 / <0 / =0$,这取决于使用

哪种分支。矩形“赋值框”用来表示把一个数值赋给某个量。如果这个量需要由一个代数式算出,则必须在计算之前,先给公式中所有各量赋值。

输出框画成一张匆忙地从打印机上撕下的打印纸的形状,但也可以将其看作是输出的通用符号。小圆圈在流程图中不表示任何操作,而是用来标明一个参考点,通常在其中写上一个数字,例如,一张非常复杂的流程图,如果要占用几页纸,则用编了号的参考圆表示该流程图上下两页在何处衔接。此外,编了号的参考圆还用于循环中。当欲重复一个

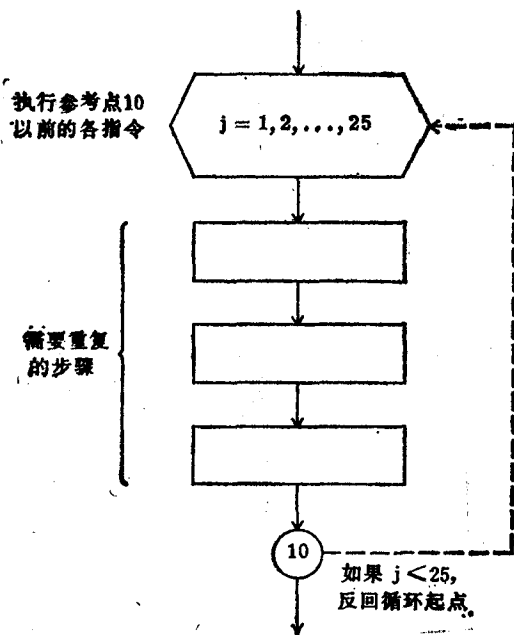


图 1.6 用迭代框定义循环

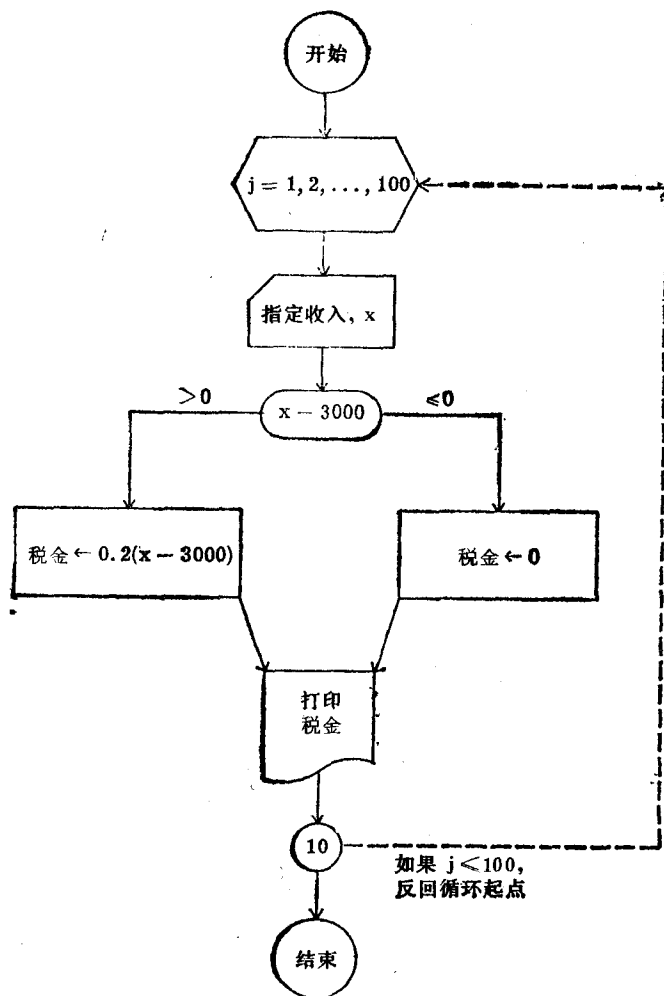


图 1.7 循环和分支的用法示例

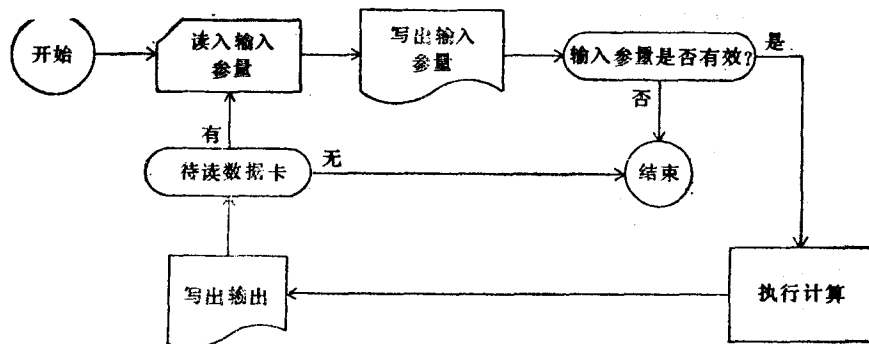


图 1.8 流程图的范例

步骤系列时,就要用到循环。通常,循环是用六角形的“迭代框”表示*。

让我们从图 1.6 看一看怎样用迭代框指示循环: 迭代框中的内容规定,直到参考点

* 六角形框也用来表示子程序或子算法,这个子算法包括在另一个算法之内,即作为另一算法的一部分。

⑩为止的所有步骤都要重复执行 25 次。虚线表示构成闭合循环的返回路径,除了闭合循环的返回路径(虚线)之外,只能有一条从圆形参考点出发的路径。从圆形参考点向下引出的箭头,指示在满足循环条件之后(在此共循环 25 次)所采取的路径。

作为在流程图中怎样使用循环的一个例子,设想我们希望为一百个纳税人计算应交的所得税。如图 1.7 所示,我们可以将流程图 1.4 中的所有各步包括到循环之中来办到这一点。

作为最后的一个例子,在图 1.8 中我们给出了用于完成计算的许多流程图的一个范例。对表 1.1 中所列出的所有问题,其流程图都是以此范例为基础的。

1. 读入包含若干输入参量数值的数据卡,
2. 打印出输入参量(作为检查),
3. 检查输入参量值是否在允许的范围之内,如果不在此范围内,则停止执行,
4. 用这组输入参量做一些计算,
5. 写出结果,
6. 如果还有需要读入的卡片,则读入下一张卡片,否则,转结束。

上述步骤能重复计算多组输入参数。当一张含有无效参数的卡片(可能是一张空白的卡片)被读入时,或直到数据卡已读完时,即告结束。

下节我们将考虑另外一些特定的物理问题的流程图的例子。

1.3 示 例 问 题

为了说明计算机解物理问题的能力(和局限性),让我们考虑下面的一个静电学问题:试求在相距一米远的两个点电荷的连线上,合电场为零的一点的位置。

假定两个点电荷同号,则电场为零的点必定在相距一米远的两个点电荷之间。从图 1.9 可以看出, P 点处合电场的大小可以写为

$$E = E_1 - E_2 = \frac{q_1}{r_1^2} - \frac{q_2}{r_2^2} \quad (1.1)$$

(上式中省略了有理化 MKS 单位制中应该出现的库仑力常数 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, 因为它不影响我们的结果)。

为了找出合电场为零的点,让我们将合电场表为只有一个变量的函数。令 $r_1 = x$, 则 $r_2 = 1 - x$ 。于是合电场可写为

$$E(x) = \frac{q_1}{x^2} - \frac{q_2}{(1-x)^2} \quad (1.2)$$

这样,原来的问题就被转变为一个纯粹的数学问题,即找出满足方程式

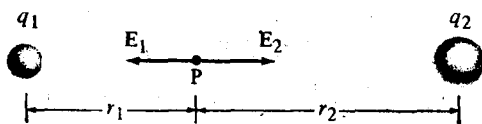


图 1.9 两个正电荷产生的电场

$$E(x) = 0 \quad (1.3)$$

的 x 值。

我们有

$$\frac{q_1}{x^2} - \frac{q_2}{(1-x)^2} = 0,$$

因此,

$$1-x = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{\frac{1}{2}} x,$$

解出 x 得

$$x = \frac{1}{1 + \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (1.4)$$

上面我们叙述了用手工方式求解的步骤, 现在让我们来考虑怎样设计一个适于计算机求解的算法。写出一个类似于式 (1.3) 所需要的代数处理程序, 虽然相当困难, 但仍是可能的。通常我们是用计算机求一个方程式的数值解, 而不是求用符号表示的解。

第一种算法

算法中最简单的一种是: 利用上述代数解 [式 (1.4)] 和给定的 q_1 和 q_2 的值决定 x 的数值。这一算法的三个步骤表示在图 1.10 所示的流程图中。

我们常常需要计算一个依赖于几个参量的特定量。这时可以用为每个参量选定取值

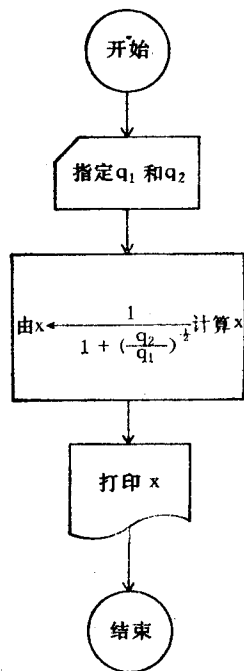


图 1.10 计算 x 的流程图

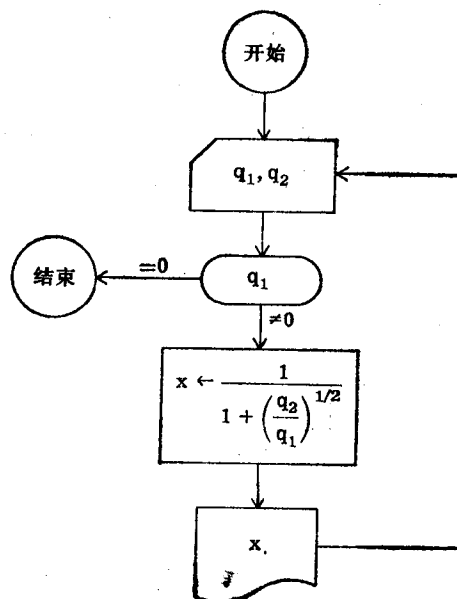


图 1.11 使用多组 q_1 和 q_2 值计算 x 的流程图

($q_1 = 0$ 标志计算不再继续进行)

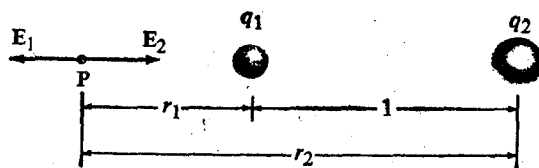


图 1.12 两个反号电荷的电场

范围的方法,看出其结果如何取决于每个参量。例如,在目前的情况中,也许我们希望让计算机计算对于许多组 q_1 和 q_2 的 x 值。这可以通过将算法中的三个步骤置入一个循环中来完成,如图 1.11 所示。循环的出口由一个分支提供,在此分支处,对条件 $q_1 = 0$ 进行检验。具体方法是在最后一张数据卡后面,另外输入一张 $q_1 = 0$ 的数据卡,计算机读入这张数据卡后,就会停止运行。请注意,为了减少书写,我们用图 1.11 中各框形指明每一步操作的性质,这样就可以不用文字叙述了。

在设计一种算法并基于这种算法写出计算机程序时,必须考虑到所有的可能性。否则,在未料及的条件下,可能得出无意义的结果。例如,由图 1.11 中的流程图规定的过程,只有当 q_1 和 q_2 具有相同符号时才能给出正确的结果。如果 q_1 和 q_2 的符号相反,方程式(1.4)将给出一个荒谬的结果。这表明该程序必须修改,以处理这种情况。

如果两个电荷的符号相反,合电场为零的点位于两电荷间一米长的间隔之外,如图 1.12 所示。在这种情况下,合电场可以写为

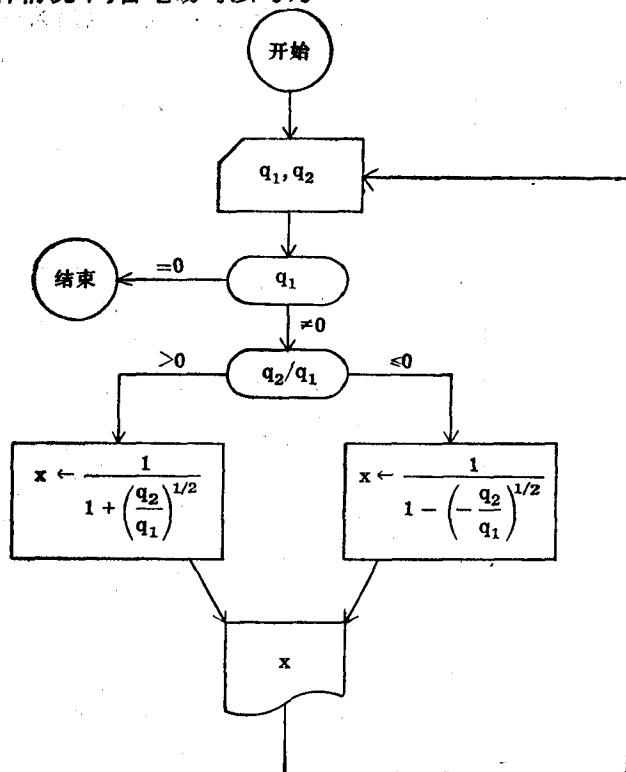


图 1.13 q_1 和 q_2 为任意符号时计算 x 的流程图