

〔美〕T.E. 肖普 著

微型计算机 的实用数值方法

刘捷 郭超美 张士顺 译
林定基 校

北京出版社



微型计算机应用技术知识

微型计算机的实用 数值方法

【美】T. D. 肖普 著

刘捷 郭超美 张士顺 译

林定基 校

北 京 出 版 社

微型计算机的实用数值方法

Weixing Jisuanji de Shiyong

Shuzhi Fangfa

[美] T.E. 肖普 著

刘捷 郭超美 张士顺 译

林定基 校

北京出版社出版

(北京北三环中路6号)

华书店北京发行所发行

马池口印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.25印张 156,000字

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数: 1—3,700

ISBN 7-200-00227-5/TP·4

书号: 15071·89 定价: 1.70元

《微型计算机应用技术知识》

丛书编委会

主 编 柳维长
副主编 林定基 朱家维
编 委 (按姓氏笔划为序)
王亚民 刘兆隆 朱锡纯 周明德 房景蕤
费声华 钱圣已 唐 芒 董洪皋 葛迺康
潘孝梅
秘 书 郭超美

出 版 说 明

随着科学技术的不断发展，微型计算机的应用已逐步深入到国民经济的各个领域。为了使广大工程技术人员和有关管理干部能较快地了解并掌握微型计算机的基本知识和应用技术，我们编辑出版了这套《微型计算机应用技术知识》丛书。这套丛书主要包括：微型计算机系统、接口技术、操作系统、汇编程序设计、几种常用的高级语言程序设计、实用数值方法、数据库、汉字系统、计算机图形学及其应用、局部网络以及计算机辅助设计等。在内容选材方面，努力体现科学性、实用性、普及性和先进性等特点；在编写上，力求深入浅出，通俗易懂。这套丛书具有较完整的系统性，其中的每一单册又具有相对独立性。它不仅适合具有中专或大专文化水平的广大工程技术人员和管理干部自学参考，而且可作为中专或大专院校一般专业以及各种微型计算机培训班的教材。

译 者 的 话

近年来，微型计算机在国内许多领域中得到广泛应用，它非凡的能力已经愈来愈被人们所重视。科学和工程中的数值计算，是微型计算机应用中的一个极其重要的分支。无论是计算机专业还是非计算机专业的技术人员，都迫切需要掌握数值计算的基本概念和方法，并能把它应用到微型计算机上，这也正是本书所要达到的目的。

本书作者T. E. 肖普现任美国佛罗里达州Atlantic大学工程系主任，以前曾任美国得克萨斯州A & M 大学工程系副主任，具有较丰富的教学经验。他强调“要把近代数值计算方法的能力和小计算机的通用性结合起来”。作者在本书中所提到的小计算机，就是指规模较小的微型计算机。书中选用了目前流行的 Apple II 微型计算机作为实例。为了便于推广，作者还选用最容易掌握的BASIC语言，这也是目前我国用得最为普遍的一种程序设计语言。同时，本书还具有深入浅出、算法的解释简明扼要以及程序结构清晰等特点。所有这些，对于初学者都是十分有利的。此外，书中还提供大量与科学和工程计算中有紧密联系的典型例题和习题，以便读者从中得到启示。原著中的附录、索引及每章的参考文献等均未编译。

科海培训中心对本丛书的编辑、出版给予很大的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

译 者

一九八五年二月五日

原 作 者 序

小计算机 (Small computer) 是用于数字处理的一种极不平常的工具。最近, 微型计算机技术领域的发展趋势, 预示它在今后十年内将会在人们生活的许多方面得到广泛应用。尽管小计算机在公用事业领域中已被普遍接受, 但在科学和工程的数值应用领域中却相对用得较少。其主要原因, 是大多数数值方法的文本和软件程序包是为较大的主计算机编写的。但就价格、实用性和使用方便而言, 将小计算机用作解决某些类型数值问题的工具, 其效果正在日益优于较大的计算机。

在小计算机上实现数值方法可用的资料 and 软件是有限的, 对近代数值计算方法的能力和小计算机的通用性的综合评述研究也很少。而本书的目的则在于利用这些综合领域中的最佳特性, 不仅要提供有关数值方法领域的资料源, 而且还要提供软件库, 其中包括用在小计算机上的一些高质量的特定算法。

本书及其介绍的软件, 将为高等院校讲授数值方法课程, 以及想扩充其计算设备的科学和工程人员等, 提供合适的程序包。

本书的论题范围, 包括求解科学和工程中最常见的问题。采用的基本方法, 是把数值方法的基本问题与研究有用算法所必需的主要数学关系结合在一起来介绍, 然后提供专

用软件，并在小计算机上实现该算法。为了便于读者理解，书中还介绍了一些应用例题。每章结尾均有小结，可以帮助读者选择求解给定问题的最佳算法，并提醒读者在小计算机上应用这些算法时需要注意的某些潜在问题。每章最后提供的参考文献，是为了帮助读者了解各种特定算法的有关更详细的资料。在书后的附录中，还列出了许多练习题，并可从中发现本书所用的BASIC程序都是有用的，软件程序包将随时可供使用。

对本书的写作做出贡献的人们，尤其是R. H. 佩奇博士的鼓励，为修改本书提出有益建议的我校的同事们，以及D. 莱利博士，F. 米斯特里博士，D. 格林博士和K. 沃尔德罗姆博士，还有B. 格雷沙姆非凡的才能和爽快的性格，使手稿的准备工作十分出色，作者对此一并表示感谢。

T. E. 肖普

内/容/提/要

本书通俗地介绍在科学和工程中最常遇到的有关数值计算方法及其在微型计算机上的具体应用。全书分七章，扼要地介绍微型计算机的基本概念，并针对数值方法的几个重要领域进行讲解。其中包括代数与超越方程求根，线性与非线性联立方程求解，特征值计算，常微分方程及其初值与边值问题，数值插值与曲线拟合，数值微分与数值积分等。此外，书中还提供大量的例题和习题，以及许多用BASIC语言编写的实用程序。

本书可供具有中专以上水平的广大工程技术人员和管理人员自学参考，亦可作为微型计算机培训班或中专及大专院校一般专业的教材。

目 录

第一章 引言	(1)
1.1 数字计算机	(2)
1.2 微型计算机的结构	(9)
1.3 应用微型计算机解决数值计算问题	(13)
第二章 代数与超越方程的根	(14)
2.1 单个非线性方程式的根	(15)
2.2 对分查找法	(15)
2.3 试位法	(17)
2.4 牛顿法	(18)
2.5 割线法	(20)
2.6 直接替换法	(21)
2.7 多项方程式的解	(24)
2.8 求复根的林氏法	(25)
2.9 求多项式根的贝尔斯托法	(26)
2.10 小计算机算法的选择	(32)
第三章 联立方程的根	(35)
3.1 高斯消去法	(35)
3.2 高斯-约当消去法	(38)
3.3 用高斯-约当消去法求矩阵的逆	(42)
3.4 解联立线性方程的乔莱斯基法	(47)
3.5 解联立线性方程的迭代法	(53)

3.6	雅可比法	(54)
3.7	高斯-赛伊得尔法	(54)
3.8	逐次超松弛法	(54)
3.9	非线性联立代数方程的解	(59)
3.10	直接迭代法	(59)
3.11	牛顿迭代法	(61)
3.12	参数摄动过程	(65)
3.13	小计算机算法的选择	(66)
第四章	特征值问题	(69)
4.1	特征值问题的基础	(70)
4.2	迭代解法	(72)
4.3	特征值计算的变换法	(77)
4.4	求对称三对角线矩阵的特征值	(88)
4.5	矩阵直接约简为赫森伯格形式	(90)
4.6	计算特征值的其它方法	(92)
4.7	特征值算法的选择	(100)
第五章	常微分方程	(103)
5.1	常微分方程的类型	(103)
5.2	解初值问题的单步法	(106)
5.3	预测校正法	(121)
5.4	预测校正法特性小结	(126)
5.5	步长	(127)
5.6	刚性问题	(129)
5.7	求解边值问题的方法	(130)
5.8	求解常微分方程算法的选择	(133)
第六章	数值插值与曲线拟合	(134)
6.1	线性插值法	(134)

6.2	拉格朗日插值法	(135)
6.3	均差法	(139)
6.4	迭代插值法	(145)
6.5	反插值法	(148)
6.6	最小二乘法的曲线拟合	(148)
6.7	样条函数的平滑曲线	(156)
6.8	插值、曲线拟合或平滑方法的选择	(163)
第七章	数值微分与数值积分	(166)
7.1	数值微分	(166)
7.2	数值积分	(178)
7.3	梯形积分法	(179)
7.4	辛普森积分法	(182)
7.5	高次牛顿-科特斯积分公式	(183)
7.6	罗姆伯格积分	(188)
7.7	高斯求积法	(192)
7.8	数值微分或积分方法的选择	(198)

附：练习题

第一章 引言

我们正处在科学和工程技术空前发展的时代。回顾过去几十年科学技术的发展，对我们当前生活和工作所产生的影响，出现了两个特别明显的趋势：一是随着时间的推移，重大成就的出现越来越频繁；二是人们接受这些成就并把它们用到生活中去的速度加快了。例如，贝尔(Alexander Graham Bell)在1876年发明的电话，很晚才得到完善而被商业界所接受，并且直到1954年才在这个国家的大多数家庭设有电话。而1939年发明的第一台现代家用电视机，这一重大发明不到十年就被广泛采用。据1974年美国人口调查局(Census Bureau)报导，在美国至少有一台电视机的家庭占全国家庭数量的97%，至少有两台或多台的家庭占45%。这个差别的道理看来相当清楚。早期的通信和产品输送系统中的技术进展实际上形成了这样的局面，即对最新发明的采纳正在加快，而新技术又在进一步的发明中起着积极的推动作用。这个现象在当前更加明显，微型计算机的革命也许就是一个最好的例子。第一只微处理器芯片是1971年研制成功的，第一台微型计算机则在1975年出现。此后不到十年，已有近五十万台微型计算机用于文化娱乐、商业和科学等各方面。根据最近的工业预测，预计美国在1990年末以前，几乎每个家庭都会有一台微型计算机。微型计算机将会象过去的电话和电视的发展那样，影响人们将来的生活方式。许多现代的作者已经

预言，微型计算机在跟随工业革命之后的下一个社会革命中将起着重要的作用。

随着微型计算机设备的计算能力和硬件通用性的扩展，它的应用领域正在不断扩大。一度被认为只适合用大型计算机的那些任务，现在采用微型计算机不仅同样可以实现，而且在经济上更为可取。这种新的应用领域之一，就是求解科学和工程中的数值问题（图1-1）。



图1-1 微型计算机正在迅速成为科学和工程中求解数值问题的重要工具

本书是为利用微型计算机的计算能力去求解科学和工程问题的读者提供数值方法的资料。书中将侧重于以下三个主要方面：

1. 鉴别目前和将来的微型计算机的特性，以便建议是否使用这些重要的计算设备；
2. 在求解常见的工程和科学问题中鉴别数值计算任务；
3. 介绍一些实际计算方法，这些方法有效的综合了微型计算机能力所及的数值方法。

1.1 数字计算机

第一台电子数字计算机ENIAC（从它的英文名称 Elec-

tronic Numerical Integrator and Computer 的缩写得出)，是在1943年和1949年之间由美国宾夕法尼亚大学研制的。象这样早期的计算机，其体积是很庞大的，几乎可以装满一个大房间。虽然它的体积很大，但它的计算能力用现在的标准来衡量，却是很弱的。ENIAC计算机有18000多只电子管。由于电子管的失效率很高，因而该设备总的可靠性相当低。同时，寻找和替换失效的电子管耗费许多时间。这些电子管还产生大量的热，消耗大量的电力。虽然有这些缺点，但ENIAC的完成，足以阐明数字计算机实用性，促进了后来的计算机的发展。

晶体管是在1948年发明的，1959年开始用在数字计算机中，从而使得计算机的体积大大减少，能源消耗和价格显著降低，而可靠性和计算能力都相应地增加。在体积和能力上的下一个突变，发生在六十年代初期。当时有几家晶体管公司发明了**在硅表面上安置完整的电子线路的方法**。这些集成电路构成了新一代计算机的基础，它和早期的多用途的大型计算机有很多质的区别。首先，计算机可以做得足够小，价格足够低，以致可用于专门的计算或数据管理，由于这些小型计算机的体积小而称为小型计算机，它们大致上象一个小的文件柜。第一台小型计算机是PDP-8，它是由数字设备公司在1965年制造的。在同一时期，集成电路对电子计算装置的另一领域——电子计算器也有重大的影响。在六十年代后期，这些设备的计算能力有了惊人的增加，而销售价格却又下降了一个数量级以上。这个经济上的奇迹主要是由于改进了制造工艺。在计算设备中的下一次突破来自计算器和数字计算机之间的相互影响，这并不是意外的。像许多重大发明一样，这种改革从企图解决某一领域的问题开始，导致另

一个领域中出现突破。

1971年, INTEL 公司开始试制单片集成电路, 并将一个完整的计算器做在一个集成电路芯片上, 结果得到一个更通用的器件, 就是我们现在所说的微处理器或“片上计算机”。支持这一重大突破的技术, 就是现在所说的大规模集成, 它可以在一个硅片上放置几千只晶体管。微处理器是在小于一平方厘米硅片上的一个完整的中央处理器 (图1-2)。

微处理器能够作各种各样专门的应用, 包括计时和控制工业过程、控制交通管理的指示灯、运载工具的导航与控制以及许多其它用途。对于较重要的应用则需要在带输入和输出设备的微处理器上再添加存储器。这样的组合, 就被称为微型计算机。值得注意的是, 虽然微型计



图1-2 微处理器——“集成在一个芯片上的计算机”

算机的尺寸小, 价格低, 但它的能力则很容易超过体积大而价格昂贵的电子管和晶体管计算机。对于大型计算机、小型计算机和微型计算机分类的界限, 目前还没有明确的定义。这是由于技术不断的变更, 引起计算机不断发展的缘故。为了方便起见, 目前使用的各种类型的计算机, 可以按其规模、速度、价格和总的实用性来分类。表 1-1 提供了在迅速发展的计算机领域中典型设备的特性比较, 对于这些特性在解决科学和工程问题的意义, 将在下面的章节中讨论。

规模 有一段时期, 一台计算机的总的计算能力可以用

其实际大小来度量。然而，由于计算机技术的迅速变化，这种度量不再是正确的。同时，由于计算机的发展，要把计算机分成大型、中型和小型更为困难。某些小型计算机可以比某些较小的大型主计算机更大；同样地，一台带有全部外部设备的微型计算机，也可能显得比一些小型计算机大。因此，规模这两个字的含义，系指在给定计算中可能包含多少有效位。一台典型的八位微型计算机，能够提供九位有效数字精度的计算。通常，在一个计算机字中，可用的二进制位数较多，反映精度的有效数字位数也较多。较大的计算机通常利用双精度计算能力来提高精度，但这需要消耗较多的存储空间，在微型机中不经常采用。根据工作存储器的容量来做比较，可能会使人误解。这个数应看作字长有多长，以及在给定时刻单用户可用的存储容量有多大。随着外围存储设备存取时间的加快，64K字节的有源存储容量所带来的限制并不十分严重。一般，只有少数工程和科学计算需要使用大型机的全部存储容量，这时应该用大型主计算机来完成这类任务。微型计算机最适合于应用在需要中等存储容量和中等精度的计算中。

速度 微型计算机虽然规模小，但运行速度很快。根据CPU的周期时间，微型机的工作速度大约是较大的计算机速度的十分之一。比如说，许多工程和科学问题在大型主计算机上执行时所需的CPU时间不到6秒钟，那么，同等复杂程度的程序在微型计算机上执行时，如果小于1分钟，就被认为是合理的。当然，在应用这个粗略的估计时要仔细，因为大多数工程和科学问题所需要的输入/输出操作时间比实际的CPU时间更多。在这种情况下，由于外围设备的速度比CPU速度慢，所以使处理速度受到限制。因为大多数微型计算机