

工程常用数学的 计算机处理

湖南大学 朱志仁 雷嗣官 陈在康 译
湖南科学技术出版社

工程常用数学的 计算机处理

湖南大学

朱志仁 雷嗣官 陈在康译

湖南科学技术出版社

工程常用数学的计算机处理

湖南大学

朱志仁 雷嗣官 陈再康译

责任编辑：周翰宗

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1984年10月第1版第1次印刷

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7.125 字数：183,000

印数：1—9,800

统一书号：15204·127 定价：1.35元

前 言

现代计算设备在体型、成本和性能上的革命性发展使计算机方法的应用深入到各个工程技术领域。随着计算机在解决工程问题中的应用日益被重视，越来越多的工程技术人员依赖计算机作为辅助其工作的工具。在大多数的实际情况下，工程应用程序的编制人员可利用现成的算法程序块组成其应用程序。这种程序设计方法是基于一种合理的决策，因为这将节省时间并使工程技术人员能够利用计算机科学及数学专业的同事们在计算方法上的才智。虽然大多数从事实际工作的工程技术人员和工科学生具有计算机程序设计方面的知识，但多数不太熟悉能用以解决其问题的计算机方法的特点和限制条件。本书的目的主要是为了满足这种需要——也就是从实用的角度看，对解决一个给定的计算任务，如何选择最好的可供利用的算法。和大多数其他类型的数值方法的书籍不同，本书是由工程师专门为工程师们的应用而编写的。本书的叙述方式首先是通过叙述、图示、框图和应用举例来阐明基本的算法。涉及几种不同算法时，则对其进行比较，讨论各自的优点或在某种特定情况下的局限性。只要有可能，可供利用的软件及实际应用准则一并列了出来。书末附上了工程应用计算机软件的简短附录。

本书根据鲁特吉斯 (Rutgers) 大学及休斯顿 (Houston) 大学积累的教学经验与科研成果进行了充实和修改，使其更能适用于具有不同文化程度和经历的工程技术人员及工科学生的需要。本书内容编排的次序是：前面部分的内容为后面章节提供必要的基础。内容的深度适合于大学高年级学生和研究生以及从事实际工作的工程师们的水平。本书讨论的范围是在求解工程问题中最常遇到的那些问题。每章后面都附有参考书目，供希望将该章课题作更深入了解的读者参考。

作者感谢所有为本书的编写提供创造性建议和鼓励帮助的人。特别要感谢R.H. Page博士、L.C. Witte博士的鼓励和支持。还要特别感谢提出宝贵意见和情报的同事R. Bannerot博士和M. Milleur博士。作者还要感谢校阅手稿的S. Bass, L. Bilowich, J. Herrera, L. Sanchez, R. Strong, T. Wu和P. Young 以及编写每章后面所附习题的 R. Sodhi, K. Somkearti和T. Zimmerman。最后还要感谢我的家属在我完成手稿的长时间中的耐心和鼓励。

Terry E. Shoup

译者的话

电子计算机的发明是二十世纪科学技术领域的卓越成就之一。电子计算机的应用正在深入到科学技术和社会生活的每一个角落。如果说蒸汽机的发明及其应用打破了生产力发展所受到的人的体力的限制，而出现了第一次产业革命，那么，电子计算机的发明及其应用，正在使人们摆脱大量重复的、烦琐的脑力劳动，从而能够运用自己的智慧于更富有创造性的活动中去。当前，我们正面临着一场新的“技术革命”，电子计算机应用的广泛程度已经成为“现代化”的重要标志。

人民日报社论《振兴计算机和集成电路事业》（1983年5月20日）中指出：“电子科学技术，特别是计算机和集成电路的高度发展和广泛应用，给人类开辟了创造高速度、高效率、高价值的新天地，引起了当代生产技术和生活划时代的革命变化。……计算机和集成电路事业的发展，是关系四化建设进程的重大战略问题。”要振兴计算机事业，除了发展计算机工业提供大量计算机，培养大量计算机专业人员以外，还必须在各行各业，各种工程技术人员中间普及计算机的知识。否则电子计算机的广泛应用是不可能的。

要使用电子计算机来解决各种工程技术问题，总是先把要解决的问题用数学语言加以描述，也就是建立它们的数学模型，将其转化为一个数学问题。然而，这些数学问题并不是电子计算机都能直接求解的，因为电子计算机只能进行有限次数的四则运算和逻辑运算，所以我们通常还需要寻求一套计算机可以接受的近似计算方法来代替我们所建立的数学模型，然后再用算法语言编写计算程序上机计算。

应当指出，工程技术人员了解计算机的功能和计算机应用的一般过程和方法的重要性，不只是为了帮助工程技术人员在运用

传统的工程方法中解决某些计算问题，更重要的是在于充分发挥计算机的记忆和快速运算的功能，去改革传统的工程方法。例如，在传统的工程设计或工程系统的运行控制中，常常只能在少数可行的方案中进行比较，而利用计算机则有可能在所有可行方案中寻求最佳方案；又如某些工程系统的运行过程可利用计算机模拟和预测，而在传统的方法中，由于计算工作量太大而无法实现。至于计算机辅助设计及生产过程的全盘自动化以及各色各样的数据处理，都是基于计算机的应用而发展起来的工程方法。所有这些问题，不是仅仅依靠计算机的专业人员可以解决的。

本书从实用的角度出发，深入浅出，阐述工程技术中常用的计算方法及其计算程序，避免涉及过多的数学推导和论证。这样，有利于一般工程技术人员能迅速掌握常用计算方法，以及如何调用现成的子程序，以便应用到实际中去，至于更深入的数学理论和计算机科学理论则可参考有关专著。这正是符合我国广大工程技术人员当前的实际情况和需要的。

本书译自〔美〕University of Houston（休斯顿大学）TERRY E. SHOUP著的 A PRACTICAL GUIDE TO COMPUTER METHODS FOR ENGINEERS 全书共分八章，其中第一、二、三章及附录I、II由朱志仁翻译，第四、五、八章由雷嗣官翻译，第六、七章由陈在康翻译，全书译稿由陈在康负责总校。本书可供工程技术人员使用，也可以作高等院校理工科各专业的教学参考书。由于我们水平所限，译文中可能还存在有不妥之处，尚需读者批评指正。

译者

一九八四年元月

目 录

第一章 导论	(1)
1.1 计算机辅助解题引言	(1)
1.2 设计界作工具用的计算机	(1)
1.3 工程程序准备中需要考虑的问题	(3)
1.4 用于工程技术问题解题的计算设备	(4)
1.5 计算机辅助解决工程问题的类型	(5)
第二章 代数方程组的计算机解法	(7)
2.1 引言	(7)
2.2 单个非线性方程的根	(8)
2.3 多项式方程解法	(15)
2.4 线性联立方程组的求解	(22)
2.5 非线性联立代数方程组的解法	(27)
2.6 解代数方程组方法选择应考虑的事项	(34)
习题	(35)
第三章 计算机求解特征值问题	(39)
3.1 引言	(39)
3.2 特征值问题的基本原理	(39)
3.3 迭代法求解	(41)
3.4 关于特征值计算的变换法	(47)
3.5 求对称三对角矩阵的特征值	(52)
3.6 特征值计算的其他方法	(54)
3.7 特征值算法的选择	(57)
习题	(58)
第四章 计算机解常微分方程	(62)
4.1 引言	(62)
4.2 常微分方程的种类	(62)
4.3 解初值问题的单步法	(64)
4.4 预测校正法	(74)
4.5 如何选择步长	(79)
4.6 病态问题	(80)

4.7	解边值问题的方法	(81)
4.8	选择常微分方程解法应考虑的事项	(83)
4.9	模拟工程系统适用程序包	(84)
	习题	(86)
第五章	计算机解偏微分方程	(92)
5.1	引言	(92)
5.2	偏微分方程的种类	(92)
5.3	利用有限差分法求偏微分方程的数值解	(94)
5.4	用于近似求解偏微分方程中的网格型式	(94)
5.5	偏导数的有限差分表达式	(95)
5.6	迭代解法	(99)
5.7	抛物线型偏微分方程式	(104)
5.8	双曲线型偏微分方程式	(107)
5.9	用有限元法求偏微分方程的数值解	(108)
5.10	求解偏微分方程中一般应考虑的事项	(113)
	习题	(115)
第六章	最优化方法(一)	(120)
6.1	概述	(120)
6.2	最优化的基本概念	(120)
6.3	一维搜索方法	(125)
6.4	一维搜索方法的比较	(132)
6.5	一维最优化问题通用FORTRAN程序代号	(133)
6.6	小结	(139)
	习题	(139)
第七章	最优化方法(二)	(143)
7.1	多维搜索方法	(143)
7.2	断面法	(143)
7.3	区域排除法	(145)
7.4	随机搜索	(146)
7.5	梯度法	(147)
7.6	Fletcher-Reeves 方法	(149)
7.7	Davidon-Fletcher-Powell 法	(155)
7.8	Hooke 和 Jeeves 模式搜索法	(157)
7.9	Rosenbrock 模式搜索	(160)
7.10	单纯形法	(161)

7.11 惩罚函数法	(163)
7.12 间接最优化	(170)
7.13 关于多维最优化方法的选择应考虑的问题	(172)
7.14 多维最优化的FORTRAN程序代号	(174)
习题	(175)
第八章 其他计算机解题方法	(180)
8.1 引言	(180)
8.2 插值法	(180)
8.3 曲线拟合法	(187)
8.4 数值微分法	(191)
8.5 数值积分法	(196)
习题	(201)
附录:	(205)
I. 工程应用计算机软件	(207)
II. 准备解工程题程序的准则	(219)

第一章 导 论

1.1 计算机辅助解题引言

在工业技术发展的领域内，也许没有任何活动比工程问题求解更令人神往。的确，工程设计是创造性的劳动，其中有很多地方是要通过计算的，而这些计算有不少是重复性的。近几年来，工程师们已经找到了加快处理其工作中的烦琐的部分途径，以便腾出时间向更富有创造性的领域进军。由于数字计算机具有快速而准确地完成数学运算的功能，因此它理所当然地成为工程技术人员使用的一种工具。但任何新技术的工具和工艺过程的应用，总是意味着带来新的责任，每当存在高速度的可能性时，也就同时存在效率低和滥用的可能性。在工程中使用计算机的许多困难，不是来自计算机本身，而是要求选择和应用适当的计算方法，以解决具体的工程问题。在解题之前花几分钟选择适当的算法，设计人员往往可以少浪费数小时的精力。使读者对正确使用计算机完成某种设计任务能有深入的理解就是本书的目的。这样，工程技术人员能少走弯路而得到最大的成功。与数值法传统教程不同，本书的重点在于提供解决具体的问题的各种算法，并着重阐述了具体算法特有的优缺点。

1.2 设计界作工具用的计算机

为了了解工程进程中什么时候能用，什么时候不能用计算机，我们最好来简单地回顾一下设计工作的结构。

工程技术是利用科学和技术为人类利益制定工艺或制造产品的一种专业，它与任何其他领域不同，因为它设法使理论付诸实践，而不是仅仅观察现象的科学或艺术。工程进程通常始于认识

客观存在的需要，工程师的工作就是创造可行的解决方法，以满足这种需要，并将那种解决方法非常详细地表达出来，从而能产生工艺或产品。图1-1表示设计步骤的次序，我们可以在图中看到设计人员在开始承担任务之前，为了得到合理的解决方法，先要进行有准备、有计划的调查，其次，他或她要收集足够的资料，建立一个适合于评价和检验解决方法的实用性的模型。这种做法是经济而方便的，因为用它本身去检验解决方法几乎总是过于昂贵、费时、耗费材料与能源。通常采用的理想化模型，往往是一种分析式或简单实型和分析表达式相结合的类型，模型一旦准备就绪，设计人员便可检验和鉴定其性能，并获知其能够满足需要的程度。虽然对设计问题提出解决办法的最初尝试通常会产生不完善的设计，但这种最初的努力，往往能进一步了解在哪些方面能够进行改进，利用最初发现的情况，设计人员可重复进行建立模型和鉴定，直到他或她取得符合实际的、最合理的解决办法。在这种情况下，设计人员就可将设计提供给工程过程中的建造阶段了。

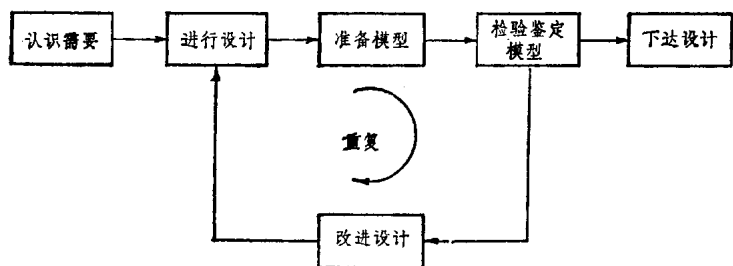


图1-1 设计步骤

在设计过程中的各个步骤，花费的时间往往是不相同的，两个步骤间的界限常难以区分出来，往往是两个步骤或更多的步骤结合进行。整个设计过程中，重复的地方是很多的，有些部分包含大量的计算任务，因此，如果能有效地利用计算机，那么它便能成为特别有效的助手。应用计算机的关键在于用它完成既定的重复任务，其中包括设计过程中的数据处理，而不是用它来完成

要求创造性处理抽象概念的任务。因此，在设计过程初期的那些任务是不宜使用计算机协助解决的，反之，那些最终任务却非常适于使用计算机。图1-2提供了这种情况的具体说明：

计算机辅助的可能性 ↑ 创造性 ↓	情 况	使用计算机的可能性
	认识需要	希望用——但应用可能性几乎不存在
	提出解决办法	有限——计算机扩大创造性
	准备模型	有某种可能——专用语言和应用子程序包
	检验和鉴定模型	有——通过数值方法
	改进设计	有——优化方法
	下达设计方案	有——计算机制图及数控制造

图1-2 在设计中计算机辅助的可能性

由于图中所示的使用范围很广，因此计算机不再被人们认为是设计中的附带的工具，相反，它已迅速成为现代工业界所使用的设计方法的极其重要的角色。

1.3 工程程序准备中需要考虑的问题

设计过程需要计算的种类是各种各样的，而这些计算的性质和数量是不断变化的，某些非常简单的计算方法没有必要使用计算机，而另外一些计算方法则是如此烦琐，以致不使用计算机就无法进行工作。

适合于用计算机辅助的设计任务可分类如下：

1. 要进行多次的与手算相同的运算。
2. 手算扩充的运算，但过于复杂，由于精度和时间而不能用手工计算的运算。
3. 为了目视观察生产或文件编制进行数据处理。

1.4 用于工程技术问题解题的计算设备

图1-3提供了当前适用于工程界解题的几种计算机设备。目前

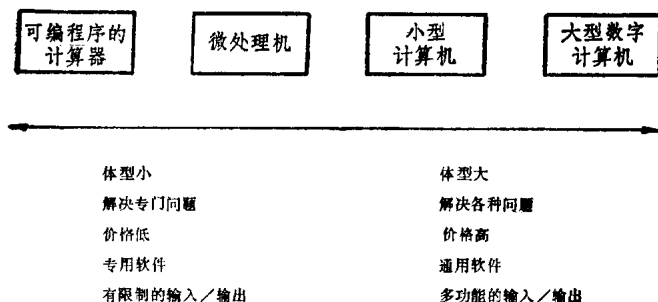


图1-3 各种用于工程技术问题解题的计算设备

计算机硬件正经历尺寸、成本、效率和实用性的巨大变革。

由于存储容量和存取速度的最新进展，因此，现代数字计算机系统能处理非常复杂的和大规模的工程问题。当前大型计算机系统的软件趋向于通用，因此给某种计算机所编的程序一般适用于同样大小的其它类似的计算机系统。通过电话线路连接的分时终端设备，每一个解决工程技术问题的人都可以在自己的办公桌上利用大型数字计算机的多功能设备。

如果不需要用大型计算机，而且工程师也不想与他人共用一台计算机，他们可使用专用小型计算机来解决特殊的工程问题。这种装置除了内存容量较小和允许大量的手动操作之外，其操作方式与类似的大型计算机的操作方式十分相似。这意味着工程程序编制者对课题的数据处理可以进行更多的人工控制。

如果计算机在一个工程中的地位是作为工程系统的一个组成部份，并持久地专用于完成某种任务，那么微处理机可以提供有效的硬件来解决这个问题。使用这种设备，输入常采取受控物理过程的数字化测量的形式，而输出一般采取控制整个系统的其它部分运转的信号或脉冲形式。由于其价格低廉，实际应用范围广，

微处理机已进入我们日常生活的各个领域。

袖珍式可编程序计算器的最新进展，已创造了袖珍计算机的奇迹，它们的功能已超过数年前较大型的计算机系统才能完成的计算任务。它不像大多数大型计算机，这种个人使用的计算机趋于使用程序设计语言——一种用于这种装置上的独特语言。对要求输入和输出数据少的题目来说，可编程袖珍计算器是非常适用的。在大多数情况下，数字的输出都必须以每次一个数字的方式显示出来。即使它具有局限性，但由于这种计算器的价格便宜和使用方便，每一位工程师都乐于采用。而且越来越普遍。

计算设备特定类型的有效选择，取决于工程师的具体需要和特定工程任务计算的复杂性。由于一系列的可利用的计算设备是各种各样的，因此发现几种不同类型的计算装置均能完成某项计算任务并不罕见，在解题中选机的过程当然应以费用、设备的工作效率及个人的喜爱为依据。

1.5 计算机辅助解决工程问题的类型

由于工程项目的特性，会一再出现某些类型的数学分析问题，其中包括：

1. 代数方程组的求解；
2. 特征值问题的求解；
3. 常微分方程的求解；
4. 偏微分方程的求解；
5. 最优化问题的求解；
6. 数值的数据处理。

其中每一部分都将在本书中加以讨论，并提供了上述那些范围的解题的基本原理和有关名词术语以及基本解法的技巧。在许多情况下，用各种不同计算装置均可完成工程解题的算法，故凡在可能之处，惯用的软件均加以讨论，以便为具体工程课题的解决作出切实可行的选择。

参 考 文 献

1. Furman, T. T. The Use of Computers in Engineering Design. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 1970.
2. Gibson, J. E. Introduction to Engineering Design. New York, Holt, Rinehart & Winston, 1968.
3. Klingman, E. E. Microprocessor Systems Design. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., 1977.
4. Mischke, C. R. An Introduction to Computer-Aided Design. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., 1968.
5. Smith, J. M. Scientific Analysis on the Pocket Calculator. New York, John Wiley & Sons, 1975.
6. Woodson, T. T. Introduction to Engineering Design. New York, McGraw-Hill Book Co., 1966.

第二章 代数方程组的计算机解法

2.1 引言

在工程设计和分析中，常需要求解代数问题。这类问题可能以完整的问题独立地出现，或者作为更复杂的过程的组成部分而存在。在任何一种情况下，求解的速度和效率将大大影响计算方法在工程上的应用。为解代数方程选择适当的算法取决于求解题目的种类。代数题首先可根据求解方程的数目分类，然后可根据答案的类型和数目分类。代数问题的分类图如图2-1所示。就只有

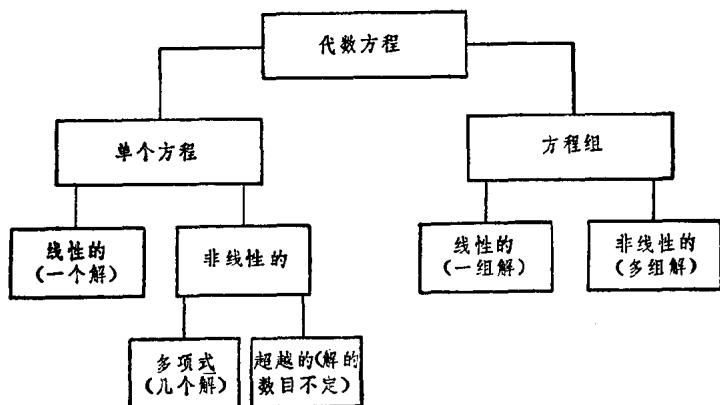


图2-1

一个方程的情况而言，称之为线性、多项式或超越方程，取决是否只有一个解、几个解或解的数目不定。就多个方程而言，根据方程组所具有的数学特性，称之为线性或非线性方程组。

一个未知数的一次线性方程的解法是非常简单的，因此，本