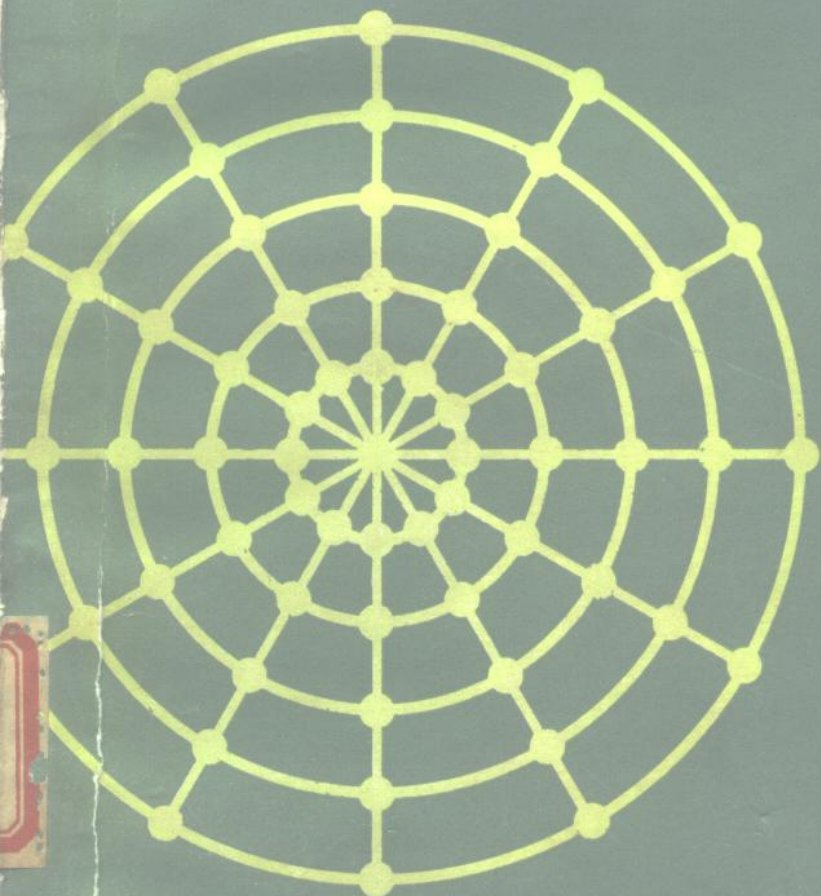


计算机方法实用指南

〔美〕T. E. 肖普



煤炭工业出版社

73-87

290

计算机方法实用指南

〔美〕 T.E.肖普

杨泮池 沈宗玲 译 沈季良 校



煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书译自T.E.SHOUP著《A PRACTICAL GUIDE TO COMPUTER METHODS FOR ENGINEERS》(1979年)一书。本书结合计算机程序和实际问题介绍了“计算机方法”的基本原理,解决问题的方法步骤,最优化算法的选择和应注意的问题。每章末都附有习题和参考文献。

本书对广大的工程技术人员是一本实用的参考书,也可供工科大学生和研究生参考。

责任编辑: 向 军

TERRY E.SHOUP
A PRACTICAL GUIDE TO COMPUTER
METHODS FOR ENGINEERS

1979 by Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, N.J.

计算机方法实用指南

〔美〕T.E.肖普

杨泮池 沈宗玲 译 沈季良 校

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路46号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本850×1168 1/32 印张7 1/2

字数185千字 印数1—65,600

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

书号15035·2690 定价1.45元

代 序

电子计算机的出现给科学技术的发展带来了奇迹般的变化，它不但使许多需要大量人力、物力的实际问题迅速地求出完满的结果，而且也使一些长期难以解决的理论问题获得了重大的突破。电子计算机在我国国民经济的发展中，在四个现代化的建设中，正发挥着越来越大的作用。但是目前我国计算机的应用尚不普遍，原因之一是“计算机方法”还未为广大的工程技术人员所掌握。现在国内出版的有关计算机方法的书籍虽然不少，但多是专讲某一方面的内容，有的只讲计算方法，而且篇幅较大，内容较深，不易为工程师们迅速掌握；有的只讲计算机程序，没有结合实际的工程问题。这本书的显著特点正是把计算方法、计算机程序和实际的工程技术问题三者有机地结合在一起。对广大的工程技术人员来说是本好书。我向读者推荐此书，相信对那些渴望在较短时间内运用计算机方法解决实际问题的工程师们是大有裨益的。

秦元勋

1983. 9. 26于北京中国科学院
应用数学研究所



原 序

当今，由于现代化计算设备在规模、费用和容量方面的巨大变化，计算机方法已经应用到了技术的各个领域。随着计算机在解决工程问题中的作用不断增长，计算机已经成为许多工程师不可离开的有力工具。在大多数实际情况中，程序设计者都是运用通用的程序块来编制程序的。这种编制程序的方法是在合理判断的基础上进行的，因为判断的合理性既可节约计算机时间，又能充分发挥从事计算机科学和数学同事们的计算才能。虽然大部分工程师和工科大学生都具有一些程序编制的基础知识，然而他们并不熟悉计算机方法在解决他们的具体问题时的特点和条件。本书阐述了遇到这种情况时如何做出具体的判断、选择最好的可行算法去完成计算。本书不同于其它数值方法的教科书，这是一本由工程师编写的给工程师使用的书。编写本书的思路是从基本算法的描述开始，把讲述、图形、计算框图和应用实例结合在一起。在了解了各种算法的基础上，转到分析和比较这些算法应用于具体工程问题时各自的优点和限制条件。在将计算方法应用于具体问题时，我们尽可能的把所应用的软件按实施过程排列，书末附有用于实际工程中的计算机软件简明附录。

本书是以作者在Rutgers大学和Houston大学的教研成果为基础而逐步形成的，这些材料曾成功地提供给工科大学生和工程师们。因此本书适用于大学、研究生和从事实际工作的工程师。本书所讨论的一系列专题都是用来解决工程中最常见的问题。在材料的安排上，前边章节后面的章节提供了必要的基础，并且每章末都为读者进一步提供了参考文献。

T.E.肖普

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 计算机辅助问题概述	1
§ 1.2 计算机——设计环境的工具	1
§ 1.3 制定工程规划时应考虑的事项	3
§ 1.4 求解工程问题的计算设备	3
§ 1.5 计算机辅助工程中问题的类型	5
第二章 代数方程的计算机解法	6
§ 2.1 引言	6
§ 2.2 一元非线性方程的根	6
§ 2.3 多项式方程的解法	15
§ 2.4 线性方程组的解法	21
§ 2.5 非线性代数方程组的解法	26
§ 2.6 选择代数问题解法时的注意事项	33
习题	34
第三章 特征值问题的计算机解法	39
§ 3.1 引言	39
§ 3.2 特征值问题的基本原理	39
§ 3.3 求特征值的迭代法	42
§ 3.4 求特征值的变换法	47
§ 3.5 求对称三对角线矩阵的特征值	53
§ 3.6 特征值计算的其它方法	54
§ 3.7 选择特征值算法的注意事项	58
习题	59
第四章 常微分方程的计算机解法	63
§ 4.1 引言	63
§ 4.2 常微分方程的分类	63
§ 4.3 初值问题的单步法	65
§ 4.4 预估-校正算法	77

§ 4.5	步长的选取	82
§ 4.6	刚性问题	83
§ 4.7	边值问题的解法	84
§ 4.8	选择常微分方程算法时的注意事项	87
§ 4.9	模拟工程系统的通用程序包	88
	习题	89
第五章	偏微分方程的计算机解法	96
§ 5.1	引言	96
§ 5.2	偏微分方程的分类	96
§ 5.3	偏微分方程的数值解——有限差分法	97
§ 5.4	用于逼近偏微分方程的网格模型	98
§ 5.5	偏导数的有限差分表示	100
§ 5.6	迭代解法	104
§ 5.7	抛物型偏微分方程	111
§ 5.8	双曲型偏微分方程	114
§ 5.9	偏微分方程的数值解——有限元法	115
§ 5.10	求解偏微分方程时通常应考虑的问题	118
	习题	119
第六章	最优化——第一部分	125
§ 6.1	引言	125
§ 6.2	最优化基础	125
§ 6.3	一维搜索法	131
§ 6.4	一维搜索法的比较	140
§ 6.5	适于—维最优化的FORTRAN代码	141
§ 6.6	总结	149
	习题	149
第七章	最优化——第二部分	153
§ 7.1	多维搜索技术	153
§ 7.2	分割搜索法(截线法)	153
§ 7.3	面积消去法	155
§ 7.4	随机搜索	157
§ 7.5	梯度法	159
§ 7.6	弗莱切(Fletcher)-瑞夫斯(Reeves)方法	161

§ 7.7 达维敦(Davidon)-弗莱切-鲍威尔(Powell)法	167
§ 7.8 胡克(Hooke)-基夫斯(Jeeves)模矢搜索法	169
§ 7.9 罗森勃洛克(Rosenbrock)模矢搜索法	172
§ 7.10 单纯形方法	174
§ 7.11 惩罚函数法	176
§ 7.12 间接最优化	183
§ 7.13 选择多维优化算法时应考虑的事项	185
§ 7.14 多维最优化的FORTRAN代码	187
习题	188
第八章 各种计算机方法	195
§ 8.1 引言	195
§ 8.2 插值法	195
§ 8.3 曲线拟合法	202
§ 8.4 数值微分	207
§ 8.5 数值积分	212
习题	216
附录 编制工程问题计算机程序指南	220

第一章 绪 论

§ 1.1 计算机辅助问题概述

在工程技术问题中，人们最感兴趣的莫过于工程技术问题的解法。工程设计是一种创造性劳动，但其中往往有不少重复性工作。这些年来，工程师们曾想方设法节约重复性工作的时间，以便把精力更多地集中到问题的创造性方面。由于数字计算机能高速度高精度地完成繁复性计算，使它便成为工程师的有力工具。如同任何新的工具或新的工艺过程开始应用时那样，计算机也带来一些新的问题。伴随着计算机的高速度，也存在着计算机的失效和计算机的误用等问题。在工程中由于使用计算机而带来的许多困难并不是来自计算机本身，而取决能否恰当地选择和应用一种解决具体问题的正确算法。一个设计人员，在解决问题之前若能花几分钟时间在算法的选择上多下点功夫，以后常能节省不少时间的无效劳动。本书的目的正是要给读者提供这种算法选择上的判断能力，以便能恰当地应用计算机去解决具体设计问题，收到事半功倍之效。不同于传统的数值方法教科书，本书集中阐述解决具体问题的各种方法，并着重陈述一些具体算法的优缺点。

§ 1.2 计算机——设计环境的工具

为了弄清楚在工程过程中，什么时候能使用计算机，什么时候不能使用计算机，粗略地考察一下设计的整个过程是必要的。

工程学是一种运用科学和技术去创造对人类有益的工艺流程或产品的学科。不同于其它领域，它应用理论于实践，而不仅仅是考察自然或技术中的某些现象。工程过程总是根据某种需求开始的，工程师的职责就是去寻求一种满足这种需求的可行解法，

这种办法要具体到能进行某种生产活动或生产出某种产品。图1-1表明了设计过程的先后次序，从中可以看到为探求各种可行解法，首先必须进行一番周密而系统的探索，设计人员必须收集足够的资料去建立一个可以检验评估的实验的模型。这样作完全是着眼于经济观点，因为在实际中，对一种解法的检验要耗费很多资金、时间、材料和能源。理想的模型通常是一个解析模型，或是一个附有解析意义的标准模型。模型建立后，设计人员就要检验和评估它的功能是否能满足需要。尽管最初试验的设计很不完善，却提供了进一步改进的信息，凭借这些信息设计人员可反复地改进和检评模型，直到使它成为可行解法中最好的模型为止。这时，才可将这个设计用到工程实施中去。

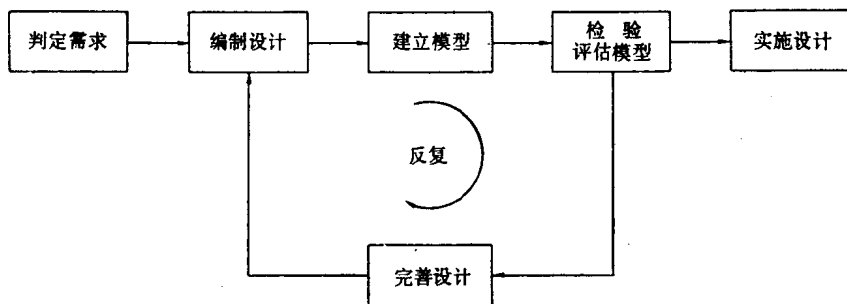


图 1-1 设计过程

设计过程各个部分所花费的时间是不尽相同的，要严格地区分各个部分往往难以作到，因为经常是两个或更多个部分混合在一起。由于全过程有相当的重迭性和各部分都要进行大量的计算，所以计算机是一个非常有用的工具。使用好计算机的关键是要把它应用到那些要对数据的处理进行多次的重复性计算问题中，而不是用在抽象的富有创造性的工作中。这样，在设计过程的前期，计算机难以发挥其辅助作用。随着设计过程的进行，计算机的威力逐步显现出来。图 1-2 表明了计算机应用的广泛性，因此不应当再把计算机看作是设计的一个辅助工具，而应当认为它是

现代工业社会中设计方法学的一个极其重要的部分。

阶 段 计算机的作用	
↑ 愈来愈大的 创造性 计算 愈来愈强的 计算机辅助作用	确定问题
	希望能使用—但实际用的很少
	确定解决问题的方法
	有一点作用—计算机助增创造力
	建立模型
	有一些作用—使用特殊的算法语言和程序包
	检验评估模型
	有作用—通过数值方法
	完善设计
	有作用—最优化
	实施设计
	有作用—计算机绘图, 数控加工

图 1-2 设计各阶段中计算机的辅助作用

§ 1.3 制定工程规划时应考虑的事项

在设计过程中, 计算的类型是各种各样的, 方程的个数和性质也都在不断地变化。其中有些计算是相当简单的, 根本不需要计算机, 而另一些计算相当的繁复, 离开了计算机就很难进行。计算机辅助设计的任务大致可以归纳为以下几类:

1. 要反复多次的计算。
2. 从精度和时间上考虑, 用手算有困难的计算。
3. 数据的处理。

§ 1.4 求解工程问题的计算设备

图 1-3 列出了解决各种工程问题所需用的计算设备。现代计算机的发展在规模、成本、功能和用途上正发生着迅速的变革。

新型的数字计算机系统由于在存储容量和存取速度上有新的进展, 已经能够处理极其复杂的和大规模的工程问题。大型计算机系统的软件也正在趋于通用化, 这样, 对一种机器编制的程序能够普遍地适用于别的类似规模的系统。通过电传联系的分时终端, 解算人员只须坐在各自的办公桌前, 就可方便地利用大型计算机的通用性来解算各种工程问题。

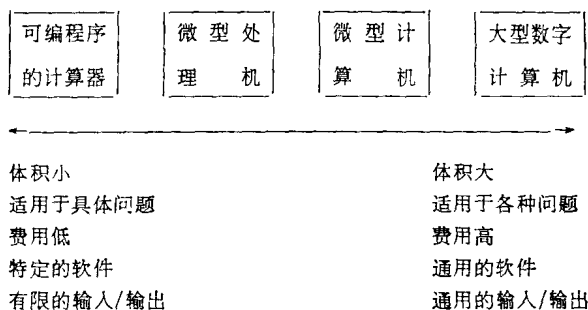


图 1-3 解算工程问题的计算设备

如果要解决的问题不是非要大型计算机不可，而且这位工程师又不情愿和别人共用一台计算机，那就可以使用微型计算机。这种微型机的操作和相应的大型数字计算机完全类似，只是微型机的内存容量较小而且要进行较多的“手动”操作。这就是说，程序员在工程问题的数据处理上应当实施较多的人工控制。

当一种工作或一项工程自始至终需要一台计算机，也就是这台计算机已经成为这项工程系统不可分割的部分时，就应当采用微处理机，它是适于这种用途的最有效的设备。这种设备输入的是所涉及的物理过程的量的数字化形式，而输出的则是用以控制系统其它部分运转的特定信号或脉冲。由于这种设备费用低廉而且适用性强，现在已经广泛地应用在日常工作的许多方面。

可编程序的袖珍计算器的新近发展，使这种神奇的袖珍装置的计算功能超过了几年前的大型计算机系统。与大多数大型计算机不同，这类个体化的计算机所使用的程序语言没有通用性，一个机器一个样。对输入和输出的数据不太多的问题使用可编程序的计算器是很理想的，尽管在大多数情况下它一次只能输出一个数，但是价廉和方便这两大优点使其为工程师们所欢迎。因此，这种计算器正在继续发展。

计算设备的选用要根据工程技术人员的具体要求和工程计算的复杂程度确定。由于能够适用的设备是多种多样的，往往一项特定的计算任务可挑选好几种适用的设备，所以在挑选时应基于

费用、适用性和个人的爱好。

§ 1.5 计算机辅助工程中问题的类型

工程中常常用到的数学问题的类型大致是:

1. 代数方程的求解。
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. 数据处理。

本书将逐个讨论这些解法, 并阐述有关的基本概念和术语。多数情况下, 这些计算机方法都能在各种不同的计算设备上实现。本书将尽量介绍最优的常用程序来解决具体问题。

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: Mc Graw-Hill Book Co., 1966.

第二章 代数方程的计算机解法

§ 2.1 引言

在工程设计和分析中常常需要求解代数问题,这类问题有时是一些复杂问题的组成部分,有时其自身就是完整的问题。不管是什么代数问题,求解的速度和效率将大大影响计算过程的工程效果。一个代数系统的合适算法的选择是基于所涉及到的问题的类型。代数问题类型的区分首先是根据方程的个数,其次是根据解的个数。图2-1就是代数问题的分类图。从图中可以看出,仅有一个方程的是一大类,它包含了有一个解的线性方程,有 n 个解的多项式方程和有无穷多个解的超越方程。对于多个方程式,它有线性方程和非线性方程之分;这是依据方程的数学特性加以区分的。

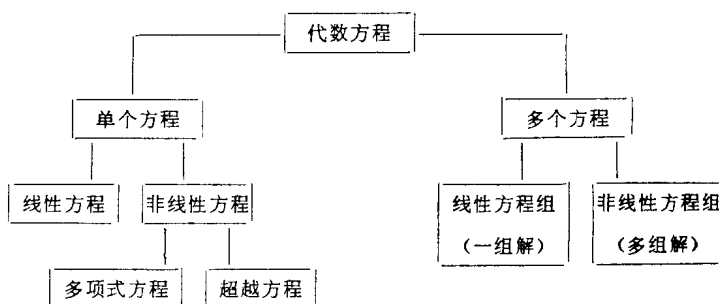


图 2-1 代数问题的分类图

§ 2.2 一元非线性方程的根

超越方程和多项式方程同属于非线性代数方程,虽然它们的解法是相同的,但是在本章里我们还是把它们分开研究,这是由于多项式方程的解有其特殊的性质。本章讨论非多项式方程,下节

讨论多项式方程。

含有 $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$ 这些三角函数或者含有诸如 $\log(x)$, e^x 等特殊函数的非线性方程都称为超越方程。它们的解法分为直接解法与间接解法。所谓直接解法就是不重复地使用一组公式去求得一个解, 这个解一定是精确解。大家都熟悉的用二次求根公式解二次多项式方程就是直接解法的一个例子。所谓间接解法, 是重复地使用某种算法而求得一个解的方法, 这个解总是近似的, 尽管其精确度通常可以达到任意要求的程度。迭代方法就是最适用于计算机的间接解法, 本章将详细讨论。我们所论的方法都是求方程 $f(x) = 0$ 的实根的方法, 虽然非多项式方程有复根存在的可能, 但是一般来说, 复根的确定还是仅就多项式方程而言。

二元搜索法

图2-2是二元搜索法的计算框图, 其搜索过程如下: 首先, 按 x 的等距间隔求它的函数值 $f(x)$, 直到相邻的两个函数值 $f(x_n)$ 和 $f(x_{n+1})$ 具有相反的符号为止。(如果函数是连续的, 这种函数值符号的不同就指明了根的存在性)。用下式求出 x_n 和 x_{n+1} 的中点 x_{mid} :

$$x_{mid} = \frac{x_{n+1} + x_n}{2}$$

算出中点的函数值 $f(x_{mid})$ 。若 $f(x_{mid})$ 与 $f(x_n)$ 同号, 就以 $f(x_{mid})$ 代替 $f(x_n)$, 否则就以 $f(x_{mid})$ 代替 $f(x_{n+1})$ 。于是含根区间就缩简为 (x_{mid}, x_{n+1}) 或 (x_n, x_{mid}) 。当 $f(x_{mid})$ 足够小时就终止这个过程, 不然, 就重复以上步骤。

图2-3是这个迭代过程的图示。这种方法虽不是一种有效的计算方法, 但它用增加计算函数值个数的办法, 的确可以逐步逼近真实解。一旦最初的未知区间被确定下来, 经过 N 次迭代以后, 区间长缩为原来的 2^{-N} 。

试位法

试位法是一种对不同符号的两个函数值的线性内插法, 这种

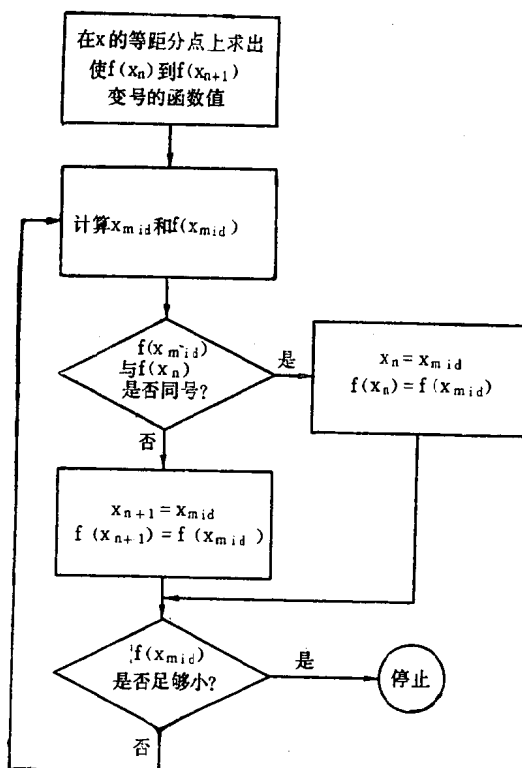


图 2-2 二元搜索计算框图

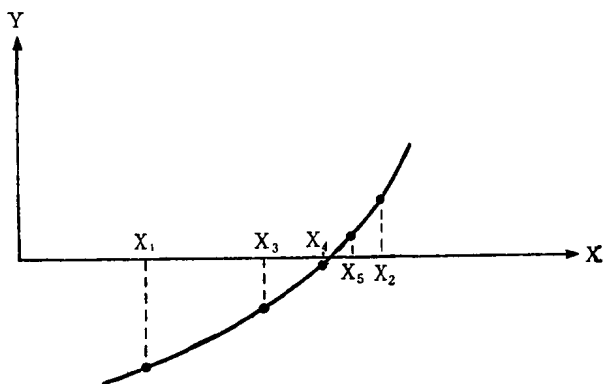


图 2-3 二元搜索法

方法较二元搜索法能更快地收敛到方程的根。其计算框图如图 2-4 所示。

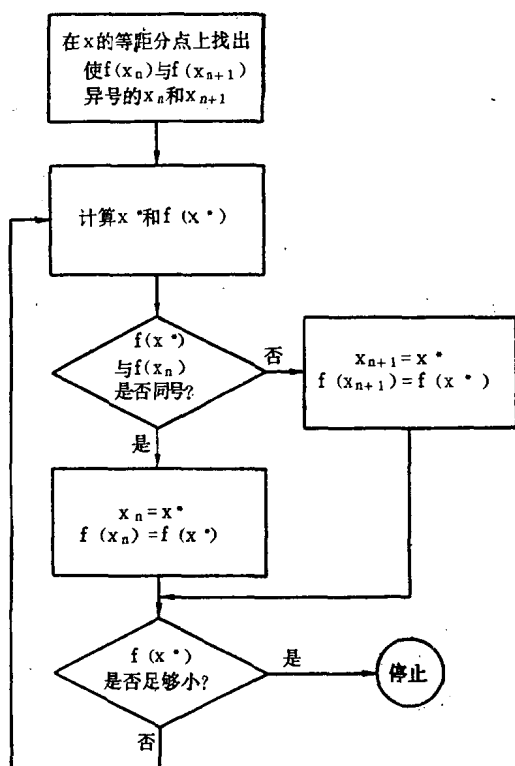


图 2-4 试位法计算框图*

具体步骤如下：首先按 x 的等距间隔依次去求函数的值，直至相邻的函数值 $f(x_n)$ 与 $f(x_{n+1})$ 出现异号。过这两点 $(x_n, f(x_n))$ 和 $(x_{n+1}, f(x_{n+1}))$ 引一条直线，这直线在点：

$$x^* = x_n - f(x_n) \left(\frac{x_{n+1} - x_n}{f(x_{n+1}) - f(x_n)} \right)$$

有一个根。求出 $f(x^*)$ 后与 $f(x_n)$ 和 $f(x_{n+1})$ 比较，照例以 $f(x^*)$ 代替 $f(x_n)$ 和 $f(x_{n+1})$ 中的同号者。如果 $f(x^*)$ 不十分接近零，就再重复

* 原书图内文字将“是”“否”颠倒。——译者