

BASIC 解 大学物理题

[美] H·D·佩卡姆 著

虞宝珠 王兰萍 译



電子工業出版社

2399:04

PKM₁

前 言

本书是关于数字计算机在大学物理学中应用的参考书。主要目的是向教师和学生介绍计算机在物理学中的效用，并为极有效地充实课堂内容打下坚实的基础。考虑到有些学生可能是第一次使用计算机，因此本书力求简洁，而不是详尽地叙述多种课题。但对学生来说，有一点是十分重要的，即应从一开始时就使用计算机，而不应陷入语言编码或数字分析的细节中去。本书如过于深奥，初学者会感到难于掌握；反之，如过于简单，则成为效用甚微的琐事堆积。因此，困难在于既不要走极端，又要使编写的内容对大学本科的物理课程有重大的作用。这就是本书所致力目标。

书中的材料曾在数学系及其它理工科系的一、二年级学生中使用，并具有成功的经验。本书假设读者具有微分和定积分方面的知识，因为书中绝大部分的数值方法都是直接从泰勒级数得出的，所以，起码要学过一学期的微积分，这是必备条件。值得注意的是，我们应尽可能(并且符合意愿)在学生第一次上机时就引进一些题目，使学生对一个题目产生“惑性”认识，进而较充分地理解解析方法。

本书的使用方法有两种。一种是作为物理学中的计算机方法课程，对于三学期式的体制^①来说，这些材料是足够一门课的内容了。如果再补充一些参考书，则可开设一门一年顺序的课(即跨三学期制中的两学期的课程)。另一种方法是作为现有大学物理课程的补充教材。为了有助于此，本书备有附录，以便将本书与最通行的普通物理教科书密切地结合起来。

^① 美国的许多大学都采用春、夏、秋三学期式的体制。——译者

本书的计算机语言采用 BASIC 语言，虽然它的功能不是最强，但对于本书已是足够有余了。BASIC 语言的主要优点是学生易获得工作知识。重要的是，要使学生有机会接触计算机设备并运行程序。书中所有程序都是在—独立的小型机（Hewlett Packard 2114A）上运行的，大型机固然好，但并不必要。

本书的材料可分为范围很广的两部分。第一部分叙述算法入门，介绍用 BASIC 语言编制程序的要点，讲述数值分析的基本原则。所有的例题和习题都选自物理课题。第二部分论述计算机在实验室中的特定应用。

在此，我衷心感谢给予可贵的忠告和帮助的同事们。还要特别提到加利福尼亚大学伯克利分校和明尼苏达大学的“协作科学改进计划”（Cooperative Science Improvement Projects）的鼎力相助。这些计划中的“学院团”（Community College）的物理教师们在1970年夏使用了本书的稿本。他们的中肯评价是极其宝贵的。我们还要愉快地感谢 M·阿内特夫人为复制材料打字。

我将愉快地接受为改进本书的各方面的反应、评论、修正和建议。

目 录

第一篇 课堂里的计算机

第一章 计算机介绍	1
§ 1-1 计算机的作用	1
§ 1-2 数学模型的公式化	3
§ 1-3 学生与计算机	4
第二章 算法	4
§ 2-1 计算机和算法	6
§ 2-2 框 图	7
§ 2-3 算法举例	12
§ 2-4 算法和框图的复习	14
§ 2-5 习 题	16
第三章 BASIC 语言	18
§ 3-1 BASIC初步	18
§ 3-2 BASIC的扩充	26
§ 3-3 BASIC语句和操作一览	31
§ 3-4 BASIC程序设计举例	34
§ 3-5 习 题	43
第四章 差分	44
§ 4-1 差分基本原理	44
§ 4-2 泰勒级数展开和导数	45
§ 4-3 插值多项式	50
§ 4-4 误差分析	52
§ 4-5 应 用	54
§ 4-6 习 题	59
第五章 积分	62

§ 5-1	定积分	62
§ 5-2	矩形近似	63
§ 5-3	梯形近似	64
§ 5-4	抛物线近似	66
§ 5-5	应用	67
§ 5-6	习 题	71
第六章	常微分方程	74
§ 6-1	欧拉方法	75
§ 6-2	改进的欧拉方法	76
§ 6-3	尤格-库塔方法	79
§ 6-4	预报校正法	81
§ 6-5	应 用	82
§ 6-6	习 题	107
第七章	偏微分方程	115
§ 7-1	偏导数和差分	116
§ 7-2	偏微分方程的分类	116
§ 7-3	抛物型偏微分方程	118
§ 7-4	椭圆型偏微分方程	119
§ 7-5	双曲型偏微分方程	121
§ 7-6	应 用	123
§ 7-7	习 题	134
第八章	矩阵	139
§ 8-1	矩阵的基本原理	139
§ 8-2	BASIC和矩阵	142
§ 8-3	线性代数方程组	143
§ 8-4	变 换	147
§ 8-5	本征值和本征向量	154
§ 8-6	应 用	158
§ 8-7	习 题	164
第九章	蒙特卡洛方法与随机数	169
§ 9-1	蒙特卡洛方法	169

§ 9-2 随机数和BASIC	169
§ 9-3 随机游动问题	170
§ 9-4 统计模拟	172
§ 9-5 积 分	172
§ 9-6 偏微分方程	173
§ 9-7 应 用	175
§ 9-8 习 题	183

第二篇 实验室里的计算机

第十章 计算方式	185
§ 10-1 常规计算	185
§ 10-2 统计分析	185
§ 10-3 回归分析	187
§ 10-4 应 用	188
§ 10-5 习 题	192
第十一章 模拟方式	193
§ 11-1 数学模型	193
§ 11-2 对模型的检验	194
§ 11-3 观测结果和模型的合理化	195
§ 11-4 供调研的课题	197
第十二章 直接作用方式	201
§ 12-1 传感器	201
§ 12-2 测试设备与计算机的连接	202
§ 12-3 从测试设备调入数据	204
附录A	206
附录B 习题解答	221

第一篇 课堂里的计算机

第一章 计算机介绍

§ 1-1 计算机的作用

过去十年计算机技术的蓬勃发展已使人们看到几乎现代生活的每个方面都要采用计算机。由于对计算机有了这种依赖关系，我们每天都要同它多次地打交道。计算机已经卷进到人们的生活。如果某一瞬间卡嗒一声关闭计算机，那么社会就有可能停顿。要是没有计算机控制和操作的高速数据处理系统，合作企业就不能竞争。现代科学家和工程师们每天的日常工作都要依靠计算机，正象前辈们依靠计算尺一样。无论何处，计算机都正在改变着人们的工作和技术。当我们估量计算机技术的巨大潜力时，必须重新估量一下我们采用的各种方法和目标。

在教育领域内，做些估量很有必要，而且早该进行了。以下是鲜明的对比。在大学或学院里有许多计算机，但把它作为课堂教学的固有内容的却很少。然而计算机能够取得良好效果的地方恰恰是在课堂。

按照美国过去的惯例，学生只有完成了课程B才能选修课程C，而要选择课程B又要完成课程A等等。这种固定的、垂直向的课程设置影响了进度，其结果是影响了内容。计算机为教育提供了缩短进程的可能性，也展示出进行全面教育构思的可能性。

物理学同其他学科相比更具有这些可能性。例如，对于没有受过微积分训练的文科学生来说，借助于计算机有可能经过几天

的指导就掌握了强迫阻尼振子的特性；对于理工科的学生来说，许多不得不放到高年级或研究院去学习的专题，借助于计算机就可随时进行学习。这样做对于教学是很有意义的。

1965年在欧文（Irvine）会议^①上，更为明确地确定了计算机在物理教学中的作用。从这次会议起，出现了应用计算机的三种可明显区分开的方式。这就是计算方式、模拟方式和个别指导方式。

为了取得最大的即时效益，计算方式确实是很成熟的一种方式。借助于计算机，学生能解大量的和复杂的题目，有效地增加了他们的经验和对物理现象的感性认识。在计算方式上，用简单的数值技术就能研究物理学中一些数学内容，也许是很复杂的专题。第一篇主要叙述这种计算方式。

在模拟方式里，我们要建立一个描述某个物理过程的数学模型，当我们编程序去解这个数学模型时，计算机就可模拟物理过程。在物理实验室里，实现这种方式的可能性是令人满意的。如果计算机模拟与经验结果一致，我们就对物理过程取得了有价值的见解。在第二篇中，我们将对模拟方式给予特别的说明。

个别指导方式是带领学生与计算机进行生动的对话。计算机把情况展示给学生，评价他的反应，还可能提供辅导，并引导他进入下一个情况。这种类型的教学就是大家所熟知的计算机辅助教学（Computer Assisted Instruction，简称CAI）。它的特点是，必须为准备程序投入极多的工作量。

我们的着重点是放在计算方式和模拟方式上，但这并不意味着贬低个别指导方式。其原因是，在计算方式和模拟方式里我们能成功地采用小的和较便宜的计算机，而个别指导活动却需要大的和贵得多的设备。本书的所有程序都是在一个独立的小型计算

① “The Computer in Physics Instruction”，Commission on College Physics, University of Maryland, College Park, Md.

机上进行的。在市场上的许多计算机中，它是具有典型性的。如果有大的、复杂的设备当然很好，但并不必要。几乎任何小计算机都将满足我们的要求。

§ 1-2 数学模型的公式化

无论以计算方式或模拟方式使用计算机，它总是在所输入的数学信息的基础上起作用。该数学信息构成了正被调研的物理系统的模型。这个模型的意图是把“真实现象”描述为题目中变量的函数。一般说来，这个模型只在一定的范围内才能有效。如果我们允许变量超出这个范围，模型就可能失效。例如，用经典物理模型描述行星的运动是很成功的，但用它描述原子的粒子运动却完全失败。在低速条件下完全行得通的模型，在高速条件下也许就行不通。因此，每次使用计算机时你最好记住：在这个题目的某些部分会用到一个模型，为保证该模型有效，可能要对该题目里的变量加以限制。

问题在于如何导出输入计算机的合适的数学模型呢？对这个问题没有现成的回答。在某些情况下，对题目的表述实际上就是对模型的表述。而在另一些情况，题目里最需要做的也许就是识别和构成模型。这类例子在计算机的实验室应用方面是大量存在的。遇到这种情况，我们关心的是“现实世界”，它并不象有时我们在课堂里所想象的那样简单。与通常的“实验室世界”相反，“现实世界”具有很难识别的复杂性，因此困难就在于如何构成模型。例如，大多数弹簧的作用力不是真的与位移成正比。又如，一个实际的摆的周期一般是与振幅有关的。再如，阻尼力不是真与速度成正比等等。

为了弄清模型，使它尽可能地符合实际，我们要付出极大的努力。只要模型正确，计算机就可提供一个几乎没有任何数学困难的解决方法。大部分“现实系统”的数学复杂性常常把初学的

学生拒之于门外。说实在的，要找出不存在严格解的系统确实是很平常的事。但是采用计算机后，即使最复杂的数学模型用数值技术一般也易于解决。因此，我们发现自己是处在乐观的环境中，只要一个题目是能够以构成适当的数学模型的方式来表示的，计算机就可以提供得到解答的方法。本书就是关于提供这样的一些方法的，即怎样把数学模型编成计算机用的程序和怎样得到问题的解答。

§ 1-3 学生与计算机

在深入讨论前，首先作些概括的说明。这些说明涉及到学生和计算机。

学习计算机最有效的办法就是用计算机工作。那种从缝口插入一组程序卡片并要等一段时间后才希望得到结果的办法，并不是学习计算机的最好办法。最好的办法是在计算机终端上工作，一出现成功或错误信息就可看到，以便立即获得巩固。几年前大部分计算机都很贵，机房要求严格，需要有空调和隔离间，不允许也不愿让学生闯入。有时，学生可分批地运行程序。这种分批的组织形式也许效率很高，但是否促进了学生的学习却是值得探讨的。高兴的是这种插卡片型的操作已不再使用了。分时计算机的引入和新的独立微计算机的出现，使个人通过终端来直接接触计算机的方式变得切实可行。这个经验是极宝贵的，在任何地方只要有可能都应以此为目标。

毫不夸张地说，计算机是电子的奇迹。但是，它从不是用来宽恕或鼓励用户方面的任何粗心或糊涂想法。计算机处理的任何题目都要求有大量精确的和合乎逻辑的构思，以产生预期结果。计算机工业界有一种非常适合这个概念的说法，这就是 GIGO，它代表“垃圾进去—垃圾出来 (Garbage In—Garaged Out)”。记住，即使最高级的电子计算机也不能解除用户对正确使用其大

脑的责任。

不应把计算机和正规的课程设置分开考虑。经常是，学生所选修的计算机程序课，就是为他们利用计算机的唯一场所。为了更有效，计算机应成为每门课程的常规部分。难以想象有哪一门课程是不能用计算机延续和扩充它的内容的。确切地说，应该象对待计算尺那样来对待计算机。尽管计算机的功能很强，但它毕竟是一种工具，应该在合适的地方使用。

最后，这是一种乐趣。我们不必哄劝和逼迫学生使用计算机。只要提供设备，学生将出于自己的意志来充实他们自己。其道理是不容置疑地简单，因为使用计算机是一种乐趣。趁这个有利条件让我们好好地利用各种良机来欣赏和学习计算机吧！

第二章 算 法

§ 2-1 计算机和算法

作为计算机的题目必须以合乎逻辑和精确的方式表示。一旦计算机接受了这个题目，操作人员凭他的直觉或常识都帮不了忙。因此，必须把题目写出来，以便计算机正确地处理出预期的结果。题目的结构包含算法的概念。因为算法是本书的主要概念之一，所以详细地讨论一下。

那么，什么是算法呢？简要地说，它就是一组一步接一步的解题指令。这组指令必须是明确的，并且必须在有限步数内就能产生预期结果。如果设计了一组指令，虽然它是合乎逻辑的，但却需要无限多的时间去完成，那也是无用的。所研究的题目并不需要任何特别的类型，无论是烤蛋糕还是作出合作管理的决议，我们都能构成算法给出指令。但在本书中我们将要学习的算法是与物理学和数学有关的解题方法。因此，算法将包括对物理定律和物理原理的数学处理。

为了说明什么是算法，让我们先看一看计算某数的平方根的过程。按下列一组指令，我们将得到具有相应精度的预期的平方根值。

(1) 在一张纸上写下两个数。第一个是待求平方根的数，称为 Z 。第二个数控制待计算的平方根的精度，称为 E 。进到步骤(2)。

(2) 考察 Z 是否大于或等于零。如果成立，进到步骤(3)；如果不是，则跳到步骤(7)。

(3) 在纸上写下数1，称它为 X 。进到步骤(4)。

(4) 用出现在纸上变量的值计算 $(X + Z/X)/2$ 这个量, 并称这个新的量为 S 。进到步骤(5)。

(5) 计算 $|Z - S^2|$ 。如果这个数大于 E , 进到步骤(6); 如果不是, 则跳到步骤(8)。

(6) 将称为 X 的数擦去, 并在该处抄下 S 的数值。然后将称为 S 的这个数擦掉, 回到步骤(4)。

(7) 在纸上写下“ Z 的平方根不存在”, 然后进到步骤(9)。

(8) 在纸上写下“ Z 的平方根是”。然后写下这时出现在纸上的 S 值, 进到步骤(9)。

(9) 结束工作, 完成算法。

从(1)到(9)的这一组指令构成了一个完整的算法, 这就是计算平方根的牛顿法。我们可以采用现在这种形式的算法, 但是, 正象它所表明, 这种算法是非常繁琐的。它需要写很多话, 这有引起误解的可能。我们需要一个更为简明扼要的办法来写出这些指令。解决的办法是利用符号和数学语言的快速方法来写算法, 这称为框图(或流程图)。

§ 2-2 框 图

要研究算法框图的表示, 最简单的办法就是考察一个典型情况。图 2-1 的框图给出了我们已经看到的牛顿平方根算法。这里有几个要点。首先, 这个图解是由含有数学表达式的各种形状的框所组成的。这些框由一些指向线连结, 它们指出从一个框到下一个框的运动。其次, 如果我们从算法中不能得到恰当的结果, 那么这个算法是毫无意义的。最后, 每一个框都要标号。在第三章里, 我们考察 BASIC 语言程序设计时, 就会明白标号的原因。

算法的框图形式比 § 2-1 给出的词句式的描述要容易。从 START (开始) 这个符号起, 我们随着箭头到 110 框, 它指出要

输入被称为 Z 和 E 的两个数。下一步，120框给出关于 Z 的判断，即 Z 是大于或等于零的。如果这个判断是假的 (false, 记为 F)，就进到 170 框，它要求把“ Z 的平方根不存在”这个实际情况打印出来。如果这个判断是真的 (true, 记为 T)，继续进行到 130 框。这个框里的朝左的箭头意味着把数 1 赋给变量 X 。然后，140框调用变量 X 和 Z 的当前值代入公式计算，把总的结果表示赋给变量 S 。在 150 框里，对 Z 和 S^2 的差的绝对值作出判断。

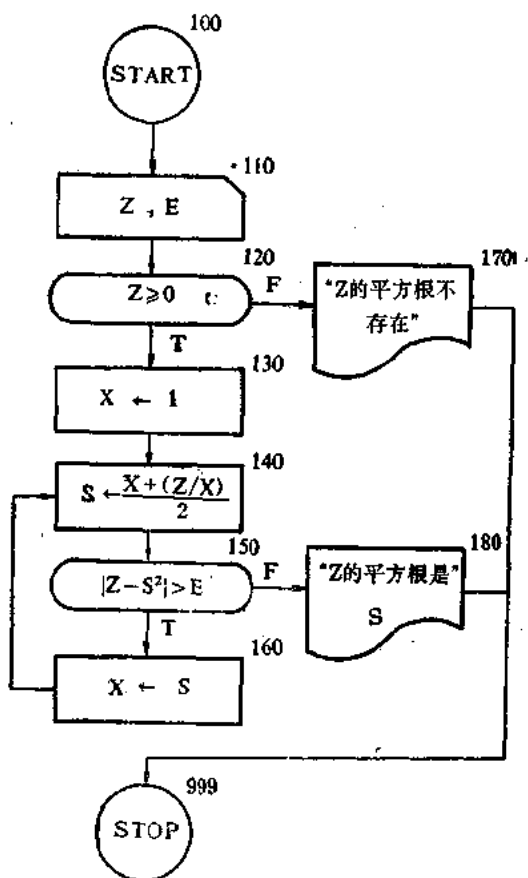


图 2-1 平方根算法

如果这个判断是真的，我们到160框，用 S 的当前值代替 X ，然后回到140框。这个过程一直继续到150框的判断是假的为止，于是退出循环到180框，打印出平方根值。最后到999框，算法结束。

应该认真研究图 2-1 所示的平方根算法的框图形式，直至把它的意思完全弄清楚为止。平方根算法本身虽是相当简单的，但是同样类型的结构和组织可用来描述一些有价值的算法。

在框图中采用的符号规定有很多种。本书将采用的规定在教科书“Computer Science-A First Course”^① 中有详细的说明。在“Calculus, A Computer Oriented Presentation”^②一书中也采用同样的规定。然而，重要的问题是算法本身，而不是用来表示它的那些规定。

框图规定中所需符号如图 2-2 所示。每个框图的起点和终点都是用 START 和 STOP (停止)符号。有办法可帮助记忆这些

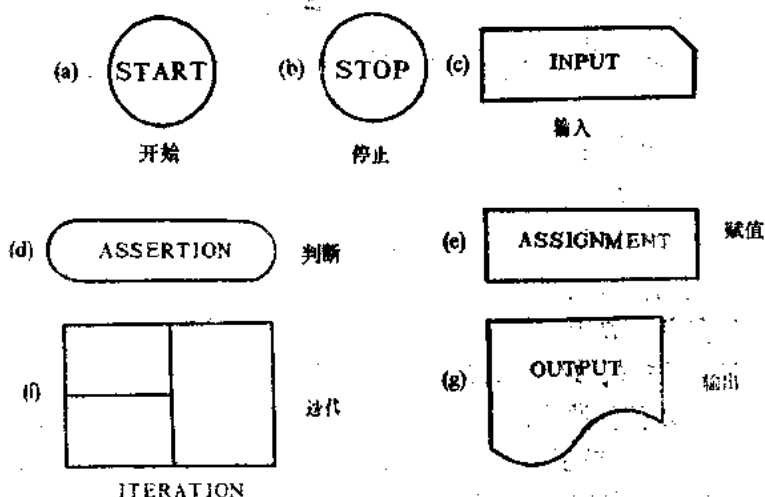


图 2-2 框图符号

① Forsythe, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1969

② CRISAM, Florida State University, Tallahassee.

符号，即它们与机器上的 START 和 STOP 按钮的样子相象。输入 (INPUT) 框是易于辨认的，因为把它设计成象一张穿孔的数据卡。判断 (ASSERTION) 框描述一个被检验的判断。输出 (OUTPUT) 符号设计为表示一张从电传打字机上撕下的纸。

赋值 (ASSIGNMENT) 框是极重要的，也是常常容易被理解错的。因此，我们要较详细地考察这个概念。赋值的过程总是如图 2-3 所示的形式。表达式可以包括在算法中出现的变量、常数，或两者皆有。在任何情况下，作赋值时，我们都要采用所需变量的当前值来估算表达式的值，再把结果赋给朝左的箭头左边的那个变量名。应仔细地注意到，我们宁可用朝左的箭头而不用等号，以更清楚地表示这是赋值而不是建立等式。

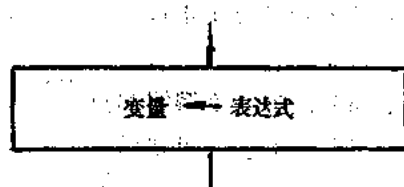


图 2-3 赋值框

迭代 (ITERATION) 框有着特殊的意义，我们将用一个新的算法内容来考察它。这个题目是计算变量 X 的 N 个值的平均值。图 2-4 给出了实现它的算法。我们

先简要地考察一下图 2-4 所给出的这种形式的算法，然后再用迭代框的办法进行修改，使算法简化。

图 2-4 的算法结构是清楚的，也是容易领会的。用变量 i 对读入的 X 值计数。若 140 框为假出口，这时所有的 X 值都已被读入并累加在变量 S 上。接着就在 180 框中计算 X 的平均值。我们最感兴趣的是 130、140 和 170 框。这些框控制了一个循环，它保证了所有的 X 值都被输入和累加。在 130 框中变量 i 被预置为 1。140 框的判断检验了是否所有的 X 值都被读入。在 160 框中求得总和。最后，在 170 框，每循环一次变量 i 就增加 1。

我们现在有条件把图 2-4 中的 130、140、170 这些控制框结合为一个框，即迭代框。用这个新框能使算法简化。但是，在这之前，我们先要考察一下图 2-5 所示的迭代框的普遍形式。当第一

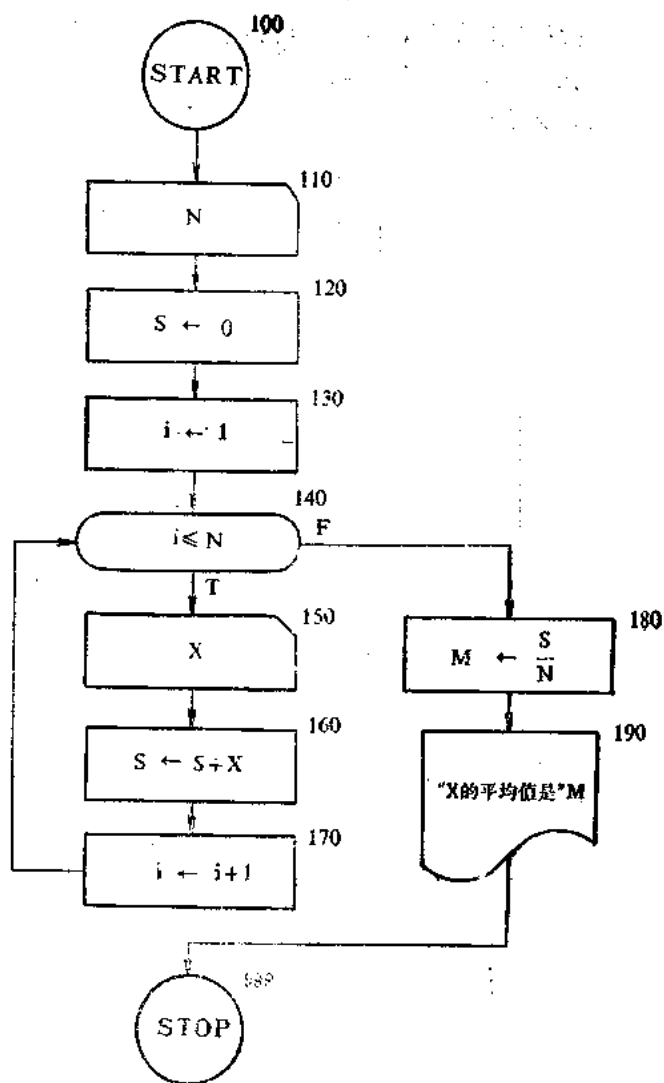


图 2-4 平均值的计算