

UMSS

大学数学科学丛书 — 14

Maple教程

何 青 王丽芬 编著



科学出版社

www.sciencep.com

大学数学科学丛书 14

Maple 教程

何 青 王丽芬 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

Maple 是目前应用非常广泛的符号计算软件之一,它拥有非常强大的符号计算和数值计算功能. 本书详细地介绍了 Maple 的基本功能, 包括: 数值计算、解方程、微积分计算、向量及矩阵计算、解常微分方程和偏微分方程等, 本书深入讲解了 Maple 编程的基本原理.

本书的主要对象为理工科高等院校学生、教师以及科学研究与工程技术人员.

图书在版编目(CIP)数据

Maple 教程/何青, 王丽芬 编著. —北京: 科学出版社, 2006

(大学数学科学丛书; 14/李大潜主编)

ISBN 7-03-017744-4

I. M… II. ①何… ②王… III. 数值计算-应用软件, Maple-高等学校-教材 IV. O245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006) 第 086196 号

责任编辑: 吕 虹 赵彦超/责任校对: 赵燕珍

责任印制: 安春生/封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天利彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 8 月第一次印刷 印张: 23 1/2

印数: 1—3 000 字数: 437 000

定价: 46.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《大学数学科学丛书》编委会

(以姓氏笔画为序)

顾 问: 王 元 谷超豪 姜伯驹

主 编: 李大潜

副主编: 龙以明 冯克勤 张继平 袁亚湘

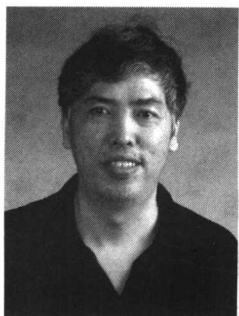
编 委: 王维克 尹景学 叶向东 叶其孝

李安民 李克正 吴宗敏 吴喜之

张平文 范更华 郑学安 姜礼尚

徐宗本 彭实戈

作者简介



1962 年出生于北京，1984 年毕业于北京师范大学数学系，1990 年获得博士学位。1995 年任副教授。

主要研究方向是计算机代数，编写的著作包括：《计算代数》（北京师范大学出版社 1997 年出版）、《数学实验》（与姜启源、高立合著，高等教育出版社 1999 年出版）。参与翻译的译著包括：《用 Maple 和 Matlab 解决科学计算问题》（高等教育出版社 1999 年出版）、《Maple 经典—科学程序员入门》（高等教育出版社 2002 年出版）。

《大学数学科学丛书》序

按照恩格斯的说法，数学是研究现实世界中数量关系和空间形式的科学。从恩格斯那时到现在，尽管数学的内涵已经大大拓展了，人们对现实世界中的数量关系和空间形式的认识和理解已今非昔比，数学科学已构成包括纯粹数学及应用数学内含的众多分支学科和许多新兴交叉学科的庞大的科学体系，但恩格斯的这一说法仍然是对数学的一个中肯而又相对来说易于为公众了解和接受的概括，科学地反映了数学这一学科的内涵。正由于忽略了物质的具体形态和属性、纯粹从数量关系和空间形式的角度来研究现实世界，数学表现出高度抽象性和应用广泛性的特点，具有特殊的公共基础地位，其重要性得到普遍的认同。

整个数学的发展史是和人类物质文明和精神文明的发展史交融在一起的。作为一种先进的文化，数学不仅在人类文明的进程中一直起着积极的推动作用，而且是人类文明的一个重要的支柱。数学教育对于启迪心智、增进素质、提高全人类文明程度的必要性和重要性已得到空前普遍的重视。数学教育本质是一种素质教育；学习数学，不仅要学到许多重要的数学概念、方法和结论，更要着重领会到数学的精神实质和思想方法。在大学学习高等数学的阶段，更应该自觉地去意识并努力体现这一点。

作为面向大学本科生和研究生以及有关教师的教材，教学参考书或课外读物的系列，本丛书将努力贯彻加强基础、面向前沿、突出思想、关注应用和方便阅读的原则，力求为各专业的大学本科生或研究生（包括硕士生及博士生）走近数学科学、理解数学科学以及应用数学科学提供必要的指引和有力的帮助，并欢迎其中相当一些能被广大学校选用为教材，相信并希望在各方面的支持及帮助下，本丛书将会愈出愈好。

李大潜

2003年12月27日

前 言

Maple 是由加拿大 Waterloo 大学的符号计算研究组开发的计算机代数系统, 它是目前世界上最流行的符号计算软件之一. 它具有强大的交互式数学计算功能, 其丰富的程序包可以满足用户各方面的需求.

1994 年, 我从一个同事手中得到了 Maple V Release 2 版本, 立即被 Maple 强大的功能所吸引. 从 1996 年开始, 我为北京师范大学的本科生多次讲授了 Maple 的课程, 本书就是在多年讲稿的基础上整理完成的. 随着科学技术的发展, Maple 的版本发生了很大的变化. 由于本书的写作跨越的时间比较长, 因此书中涉及了 Maple 的多个版本, 对于与 Maple 的版本有关的部分, 在书中给出了说明, 如有遗漏, 请读者谅解.

全书共十三章, 第一章对 Maple 系统进行了概括性的介绍. 第二章讨论了 Maple 的数值计算功能. 第三章介绍了 Maple 的变量管理. 第四章讨论表达式的处理和化简. 第五章到第十章分别介绍了解方程、二维与三维图形、微积分、微分方程、矩阵计算、数据处理等内容. 第十一章到第十三章介绍了 Maple 编程的基本方法以及高级课题.

本书是由北京师范大学何青与北京电子科技职业学院王丽芬合作编写的. 由于水平有限, 本书难免存在疏忽与错误之处, 敬请读者批评指正.

何 青

2006 年 3 月

目 录

第一章 Maple 系统简介	1
1.1 计算机代数系统的发展历史.....	1
1.2 计算机代数系统的网络资源.....	3
1.3 Maple 的基本功能.....	4
1.3.1 数值计算.....	4
1.3.2 多项式.....	5
1.3.3 解方程.....	5
1.3.4 矩阵计算.....	6
1.3.5 极限, 求和与乘积.....	6
1.3.6 微分与积分.....	7
1.3.7 微分方程.....	7
1.3.8 级数展开.....	8
1.3.9 Laplace 和 Fourier 变换.....	8
1.3.10 插值与函数拟合.....	9
1.3.11 图形.....	10
1.3.12 Maple 编程.....	10
1.4 Maple 系统的交互使用.....	10
1.4.1 Maple 工作区界面.....	11
1.4.2 添加标题.....	12
1.4.3 添加小标题.....	12
1.4.4 行内数学表达式.....	13
1.4.5 添加超连接.....	13
1.4.6 建立书签.....	13
1.4.7 帮助系统.....	13
1.5 Maple 的组织结构.....	14
1.5.1 程序包清单.....	16
1.6 输入与输出.....	19
1.6.1 读入文件.....	19

1.6.2	把数据写入文件	22
1.6.3	转换成 L ^A T _E X 格式	23
1.6.4	打印图像	23
1.7	Maple 版本的变迁	24
第二章	数值计算	25
2.1	整数和有理数	25
2.2	无理数和浮点数	29
2.3	代数数	32
2.4	复数	34
第三章	变量管理	37
3.1	变量的赋值	37
3.1.1	变量的内部管理	39
3.2	数据类型与结构	41
3.2.1	表达式序列	41
3.2.2	列表	42
3.2.3	集合	43
3.2.4	集合和列表上的运算	44
3.2.5	阵列	45
3.2.6	表	47
3.3	求值	47
3.3.1	求值的层次	48
3.3.2	最后名字的求值	48
3.3.3	具有特殊求值规则的命令	50
3.3.4	延迟求值和求值消去	51
3.3.5	使用单引号变量作为函数参数	53
3.3.6	名字的并置	54
3.4	系统变量	55
3.5	变量的假设特征	57
3.6	宏与别名	60
第四章	表达式的处理和化简	62
4.1	多项式	62

4.1.1	多项式的序	62
4.1.2	数学运算	63
4.1.3	次数与系数	66
4.1.4	因式分解	67
4.2	有理分式	69
4.3	表达式化简	72
4.3.1	带有假设的化简	73
4.3.2	带有附加关系的化简	73
4.3.3	展开与组合	74
4.3.4	等价形式之间的转换	75
4.4	表达式的结构	76
4.4.1	表达式的内部表示	76
4.4.2	结构运算	79
4.5	代换命令	84
第五章	解方程	89
5.1	符号解	89
5.1.1	解的检验	91
5.1.2	解三角方程	93
5.1.3	解的探讨	93
5.2	数值解	95
5.3	解方程的其他命令	98
5.3.1	解不等式	98
5.3.2	求整数解	98
5.3.3	求模 m 的解	99
5.3.4	求解递推关系	99
5.3.5	求解函数方程	100
5.3.6	方程系数的匹配	100
5.4	Gröbner 基原理	101
第六章	二维与三维图形	105
6.1	二维图形	105
6.1.1	参数方程图像	107

6.1.2	极坐标	109
6.1.3	隐函数图形	111
6.1.4	不连续函数的图像	112
6.1.5	离散数据绘图	115
6.1.6	多重图像	116
6.2	三维图形	119
6.2.1	参数方程	120
6.2.2	球面坐标	122
6.2.3	柱面坐标	123
6.2.4	三维空间的离散数据图形	124
6.2.5	曲面的着色	128
6.3	动画	131
6.3.1	二维动画	131
6.3.2	三维动画	132
6.4	图形的注解	133
6.5	特殊图形	135
6.5.1	对数尺度的图形	135
6.5.2	三维图形的二维表示	136
6.5.3	复函数图像	139
6.5.4	其他特殊图形	143
第七章	微分与积分	146
7.1	极限	146
7.2	微分	149
7.3	积分	155
7.3.1	符号积分	155
7.3.2	数值积分	157
7.3.3	重积分	157
7.3.4	复函数的积分	158
7.3.5	观察 Maple 的积分过程	161
7.3.6	用 Maple 演示定积分的定义	162
7.4	级数展示	165

7.4.1	多变量 Taylor 展示	167
7.4.2	形式幂级数	168
7.5	积分变换	171
7.5.1	Laplace 变换	171
7.5.2	Fourier 变换	173
7.5.3	快速 Fourier 变换	173
7.5.4	Mellin 变换	176
7.5.5	Z 变换	176
第八章	微分方程	178
8.1	微分方程的符号解	178
8.2	用 Laplace 变换解微分方程	183
8.3	微分方程的级数解	186
8.4	微分方程的数值解	192
8.5	微分方程的图形表示	195
8.6	偏微分方程	200
8.6.1	在 PDE 中变换因变量	201
8.6.2	图解偏微分方程	203
第九章	向量与矩阵计算	205
9.1	建立向量和矩阵	205
9.2	矩阵计算	212
9.3	LinearAlgebra 程序包	223
9.4	在 Maple 中调用 Matlab	229
第十章	数据处理	234
10.1	统计程序包	234
10.2	插值与回归	242
10.3	极大与极小	247
10.4	线性优化	248
第十一章	Maple 编程	250
11.1	程序的基本结构	251
11.1.1	无名过程	252

11.1.2	过程简化	252
11.1.3	条件语句	252
11.2	循环语句	254
11.2.1	for 循环	254
11.2.2	while 循环	257
11.2.3	for-in 循环	257
11.2.4	break 和 next	258
11.2.5	其他循环结构	259
11.2.6	map, select 和 remove 命令	259
11.2.7	zip 命令	260
11.2.8	seq, add 及 mul 命令	261
11.3	变量	262
11.3.1	变量的作用域	263
11.3.2	局部变量的求值	264
11.3.3	过程参数	266
11.3.4	参数的声明	267
11.3.5	参数的序列	267
11.4	过程选项和描述域	268
11.4.1	过程选项	268
11.4.2	描述域	269
11.5	递归过程	270
11.6	过程的返回值	272
11.6.1	参数赋值	272
11.6.2	直接返回	274
11.6.3	错误返回	275
11.6.4	陷阱错误	275
11.6.5	未求值返回	276
11.7	过程对象	278
11.7.1	最后名求值	278
11.7.2	过程的类型和运算域	279
11.7.3	保存和恢复过程	281

第十二章 Maple 编程的高级课题	282
12.1 Maple 程序的调试	282
12.1.1 显示过程的语句	289
12.1.2 断点	290
12.1.3 视点	292
12.1.4 错误视点	293
12.2 检查和改变系统状态	296
12.3 控制执行	301
12.4 文件的操作	305
12.4.1 文件的类型和模式	305
12.4.2 打开和关闭文件	306
12.4.3 位置的确定与调整	307
12.4.4 文件状态的确定	308
12.4.5 移除文件	308
12.5 输入	309
12.5.1 按行输入	309
12.5.2 输入 Maple 语句	309
12.5.3 输入表格数据	310
12.5.4 按照字节输入	311
12.5.5 格式化输入数据	311
12.6 输出	313
12.6.1 一维输出命令	314
12.6.2 二维输出命令	314
12.6.3 格式化输出命令	315
12.7 Maple 的实用程序	316
12.7.1 March	316
12.7.2 Mint	317
第十三章 图形编程	319
13.1 Maple 的图形数据结构	319
13.1.1 PLOT 数据结构	320
13.1.2 PLOT3D 数据结构	325

13.2 图形数据结构编程	328
13.2.1 画齿轮	329
13.2.2 Möbius 带	332
13.3 用 plottools 程序包编程	334
13.3.1 圆饼图	335
13.3.2 画瓷砖	336
13.3.3 多面体图形的切割	338
13.4 动画	342
13.5 颜色编程	348
13.5.1 生成色彩表	349
13.5.2 给图形添加色彩信息	353
13.5.3 创造棋盘图形	355

* * *

《大学数学科学丛书》已出版书目	357
-----------------	-----

第一章 Maple 系统简介

本章首先对计算机代数系统进行简要的介绍, 主要内容包括计算机代数系统的发展历史、计算机代数系统的基本功能及特征以及网络资源. 然后介绍 Maple 的基本功能, 窗口环境以及组织结构.

1.1 计算机代数系统的发展历史

什么是计算机代数系统? 从历史的角度来看, “COMPUTE”的涵义是“数值的计算”. 数值计算的涵义不仅仅是数的算术计算, 还包括其他复杂的计算, 例如: 数学函数的计算、求多项式的根、矩阵的计算、矩阵特征值的计算等等. 数值计算的一个本质的特征是它不能保证绝对的准确, 原因在于, 在数值计算的过程中我们是用浮点数进行计算的, 对于简单的问题, 我们可以用纸和笔手工计算, 对于复杂的问题, 就需要用计算器或计算机进行计算. 然而, 对计算机来说, 要想绝对精确的表达一个浮点数几乎是不可能的, 在计算的过程中必然会产生误差.

数学的计算除了数值计算以外还有另一个重要的分枝, 我们称之为符号计算或代数计算. 简单地讲, 就是对代表数学对象的符号进行计算. 这些符号可以代表整数、有理数、实数、复数或代数数, 也可以代表其他的数学对象, 如多项式、有理函数、矩阵、方程组, 或者其他抽象的数学对象, 如群、环、域等等. 对于这些抽象的数学符号, 我们通常是手工计算的, 这也是数学家传统的工作方式. 然而随着计算机技术的发展, 以及对符号算法的深入研究, 用计算机代替人工进行符号计算已经成为可能.

从 20 世纪 60 年代以来, 符号计算这个研究领域获得了极大的发展. 一系列符号计算算法的提出为现代计算机代数系统奠定了理论基础. 比较著名的算法包括: 计算多项式理想的 Gröbner 基算法、多项式分解的 Berlekamp 算法、计算有理函数积分的 Risch 算法.

在 20 世纪 60 年代, 比较流行的计算机程序语言是 FORTRAN 和 ALGOL. 这两种语言主要是用来作数值计算的, 至今 FORTRAN 依然是数值计算领域的标准语言之一. 然而 FORTRAN 语言和 ALGOL 语言并不适合于编写符号计算软件. 20 世纪 60 年代初出现的 LISP 语言为符号计算软件提供了合适的语言环境, 因此早期的符号计算软件都是用 LISP 语言编写的. 其中最著名的符号计算系统是 REDUCE, REDUCE 系统是由 Stanford 大学的 Tony Hearn 开发的、基于 LISP 语言的交互式符号计算系统, 最初的目的是用来进行物理计算. 到了 20 世纪 70 年代初, 由麻省

理工学院的 Joel Moses, Willian Martin 等人开发的 MACSYMA 系统诞生了,它是那个时代功能最强大的符号计算系统. 它的功能除了标准的代数计算以外, 还包括极限的计算、符号积分、解方程等. 事实上, 许多符号计算的标准算法都是由麻省理工学院的研究小组提出的.

由 G. Collins 和 R. Loos 开发的 SAC/ALDES 系统是另外一种类型的符号计算系统, 它的前身是 G. Collins 在 IBM 编写的 PM 系统 (它是一个处理多项式的符号计算系统). SAC 是一个非交互的系统, 它是由 ALDES(ALgebraic DEscription) 语言编写的模块组成, 并且带有一个转换程序, 可以把结果转换成 FORTRAN 语言. 到了 1990 年, H. Hong 用 C 语言重写了 SAC 系统, 形成了新的 SACLIB 系统. 这个系统提供了完整的 C 语言源代码, 可以自由地从国际互联网上下载.

在 20 世纪 70 年代的第四个通用的符号计算系统是 muMATH. 它是由 Hawaii 大学的 David Stoutemyer 和 Albert Rich 开发的第一个可以在 IBM 的 PC 机上运行的计算机代数系统. 它所使用的开发语言是 LISP 语言的一个子集称为 muSIMP.

进入 20 世纪 80 年代, 随着个人 PC 机的普及, 计算机代数系统也获得了飞速的发展. 在这个时代推出的计算机代数系统大部分是用 C 语言编写的, 比较著名的系统包括 Maple, Mathematica, DERIVE 等. 有关 Maple 的特点我们将在后面介绍, 这里, 我们简单介绍一下 DERIVE 和 Mathematica.

DERIVE 是 muMATH 的后继版本, 它是第一个在 PC 机上运行的符号计算系统. DERIVE 具有友好的菜单驱动界面和图形接口, 可以很方便地显示二维和三维图形. 它唯一的缺陷是没有编程功能, 直到 1994 年 DERIVE 的第三版问世时, 才提供了有限的编程功能. 现在 DERIVE 的大部分功能都被移植到由 HP 公司和 Texas 公司生产的图形计算器上.

Mathematica 是由 Stephen Wolfram 开发的符号计算软件, Mathematica 系统的计算能力非常强, 它的函数很多, 而且用户自己可以编程. 它的最大优点是, 在带有图形用户接口的计算机上 Mathematica 支持一个专用的 Notebook 接口. 通过 Notebook 接口, 我们可以向 Mathematica 核心输入命令, 可以显示 Mathematica 的输出结果, 显示图形、动画、播放声音. 通过 Notebook, 我们可以书写报告、论文, 甚至整本书. 事实上, 有关 Mathematica 的论文, 软件, 杂志大部分都是用 Notebook 写的, 并且在 Internet 网络上广泛传播. Mathematica 的另一个重要特点是它具有 Mathlink 协议, 通过 Mathlink, 我们可以把 Mathematica 的核心与其他高级语言连接, 我们可以用其他语言调用 Mathematica, 也可以在 Mathematica 中调用其他语言编写的程序. 到现在为止, 能够与 Mathlink 连接的语言包括 C 语言, Excel, Word 等. 事实上 Notebook 就是通过 Mathlink 与 Mathematica 核心相连接的.

上面我们介绍的软件都是通用的符号计算系统, 其他通用的符号计算系统还有 IBM 公司的 Thomas J. Watson 研究中心开发的 AXIOM, 它的前身称为 SCRATCH-