

经典畅销书全新升级：

- 本书适用于Mathematica 8.0
- 原版《Mathematica 5在大学数学课程中的应用》
已被软件开发者沃尔夫勒姆研究公司图书馆永久收藏

内容超值，一本抵三本：

- 随书光盘中有作者开发的《用Mathematica解线性代数程序包（升级版）》和《用Mathematica解常微分方程程序包》的程序文件和详细使用说明
- 且赠送长达180分钟的Mathematica基本操作讲解视频

Mathematica 基础与应用

丁大正◎编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

免费赠送180分钟视频

1971589

0245/53

Mathematica 基础与应用

丁大正◎编著

江苏师大图书馆

徐州师范大学图书馆



23994837

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

0021501

内 容 简 介

Mathematica 是世界著名的数学软件,本教程依据最新的 8.0 简体中文版,通过大量精选的实例,讲解 Mathematica 的符号运算、图形、高精度计算、程序设计等基本功能,介绍它在高等数学、线性代数、微分方程、概率统计、计算方法、运筹学与数学建模等课程中的应用。本书还通过作者的开发实例,详细介绍了用户如何编写、调用自己的程序包。书中还配有习题和习题解答,这些习题大多来自当今被广泛使用的数学教材,展示了软件的实用性。在本书附带的光盘中,还有作者开发的线性代数和常微分方程解题程序包及详细使用说明,其特点是能够逐步显示解题过程,而且力求与教科书上的题型与解法全面配套。光盘中还有一些基本操作的视频。

本书作者具有多年的 Mathematica 教学和开发经验,对初学者经常遇到的问题书中几乎都有解答,能快速引领读者熟练使用这个软件,特别适合自学者使用,既可以全面深入地学习,又可以即查即用。

本书的读者对象是大学生、研究生、大学教师、科研和工程技术人员,以及其他数学爱好者。本书可以作为数学软件课程的教材,也是学习大学数学的一本通用的辅助教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

Mathematica 基础与应用 / 丁大正编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.1
ISBN 978-7-121-18781-0

I. ①M… II. ①丁… III. ①Mathematica 软件 IV. ①TP317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 250425 号

责任编辑: 白 涛

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编 100036

开 本: 787×980 1/16

印张: 25.75 字数: 574 千字

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元(含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

本书的前世是笔者编著的《科学计算强档 Mathematica 4 教程》和《Mathematica 5 在大学数学课程中的应用》，这两本书都得到了读者较好的评价，并被各高校的教学大纲和各个行业的科技论文引用。

然而近几年 Mathematica 版本的升级速度较快，已经问世的最高版本是 8.0 版，在基础功能上有三项改进很实用：函数 Solve 能够得到方程带条件的解，直接用不等式给出积分区域的多重积分计算趋于成熟，新增了一些概率论方面的函数。由此也点燃了笔者改写的欲望，本书是在《Mathematica 5 在大学数学课程中的应用》的基础上，使用 8.0 简体中文版改写而成的，全部例子和习题都是在新版中运行的结果。除新增内容外，保留了原有的精选例子和习题，以便老读者对照了解 8.0 版与 5.x 版以及 6.0、7.0 版的差异。笔者在网上经常看到初学者重复询问一些常见问题，其实那些问题在本书中都能找到解答，为此劝诫他们去认真读书练好基本功。

本书适合于各种层次的读者，既可以全面深入地学习，又可以即查即用。一个优点是，其中的例子都是一些典型的应用示范。例如解方程，只要将例子中的方程改成用户要解的方程就行了。如果使用时出了问题，可以查看书中的讲解，本书对使用中的常见问题都有说明。事实上，一些知识即使已经学会了，如果较长时间不用还会忘记，笔者自己就经常查阅本书。光盘上还有本书的电子版函数索引，这样就能通过粘贴来输入长函数名。如果认真学习了本书的第 5、6 两章，就能编写实用的程序包，比使用 C 语言更方便、高效地编写数学程序。

目前在高等数学、线性代数、微分方程、概率统计、计算方法、运筹学与数学建模等课程中，都已经开始使用数学软件作为辅助教学的工具。近十年来，笔者一直在从事利用数学软件辅助教学的研究与开发。本书的内容与我国数学教材紧密结合，全面介绍了 Mathematica 在上述课程中的应用，是大学数学的一本通用的辅助教材。在本书的光盘中还将笔者研制的线性代数和常微分方程解题程序包奉献给读者，与我国教材配套，能逐步显示解题过程。本书第 6 章中有该程序包的简介，在光盘中还有详细使用说明及范例。出于多方面的考虑，这次发表的程序包是使用第 6 章介绍的方法进行加密的，但是不影响使用。在光盘中还有笔者亲自录制的视频，对一些基本操作做了示范。

本书根据笔者的实践经验来选择所介绍的内容，注重实用性，避开了某些还不够成熟或很深邃的内容。读者在有了基础之后，可以通过查阅联机帮助继续钻研自己感兴趣的内容。

由于本书涉及的内容广泛而笔者的时间和水平有限,因而书中难免存在错误和各种问题,诚恳期待读者予以批评指正,可发电子邮件至 ddz_1@163.com。笔者还在网上开设了QQ群(号码 215706485),为读者解答使用本书时遇到的各种问题。

感谢您选择并阅读本书!

丁大正
2012年6月于北京

第 1 章 Mathematica 基础	1
1.1 Mathematica 8 界面简介	1
1.2 数、变量、函数、算式和表	4
1.2.1 数的表示和计算	4
1.2.2 变量	9
1.2.3 函数	12
1.2.4 算式	20
1.2.5 表	22
1.2.6 字符串	27
1.3 表达式的查阅、保存和文件调入	29
1.3.1 表达式的查阅	29
1.3.2 表达式的保存	30
1.3.3 文件的调入	32
习题 1	33
第 2 章 基本的符号运算	35
2.1 基本代数运算	35
2.1.1 化简计算结果	35
2.1.2 常用的因式分解函数	40
2.1.3 多项式的运算	45
2.1.4 解方程	48
2.1.5 解不等式	54
2.1.6 解递归方程	56
2.2 微积分	57
2.2.1 求极限	57
2.2.2 求导数	59
2.2.3 求不定积分	62

2.2.4	求定积分	65
2.2.5	无穷级数与无穷乘积	69
2.2.6	解常微分方程(组)	76
2.2.7	求函数的最大值和最小值	82
2.3	线性代数	83
2.3.1	矩阵的输入与输出	84
2.3.2	矩阵运算	90
2.3.3	解线性方程组	100
2.3.4	向量组的正交化	102
2.3.5	向量和矩阵的范数	104
2.4	符号运算在数学建模中的应用	106
2.4.1	求解极值问题——价格竞争模型	106
2.4.2	求分段函数的积分——除雪机除雪模型	108
2.4.3	常微分方程的应用——人口模型	110
	习题 2	111
第 3 章	图形	116
3.1	二维图形	116
3.1.1	一元函数的图形	116
3.1.2	可选参数	117
3.1.3	二维参数图	124
3.1.4	绘制点列	125
3.1.5	等高线图、隐函数图形和密度图	126
3.1.6	由不等式确定的平面区域	128
3.1.7	统计图	129
3.1.8	平面上的向量场	131
3.2	三维图形	131
3.2.1	二元函数图形	132
3.2.2	三维参数图形	135
3.3	图形表达式的结构	144
3.3.1	图形表达式的分类	145
3.3.2	图形表达式的操作	145

3.3.3	二维图形元素	149
3.3.4	三维图形元素	151
3.4	图形的编辑和动态交互式功能	152
3.4.1	绘图工具与图形编辑	152
3.4.2	动态交互式绘图	153
3.5	动画和声音	155
3.5.1	动画图形的生成与播放	155
3.5.2	制作和播放声音	157
	习题 3	160
第 4 章	数值计算	161
4.1	数据拟合与插值	161
4.1.1	数据拟合	161
4.1.2	插值法构造近似函数	165
4.2	数值积分与方程的近似解	168
4.2.1	数值积分	169
4.2.2	方程(组)的近似解	172
4.2.3	常微分方程(组)的近似解	174
4.2.4	偏微分方程(组)的近似解	178
4.3	极值问题	180
4.3.1	极小值和极大值	180
4.3.2	线性规划	181
4.3.3	非线性规划	183
4.4	概率与统计	184
4.4.1	随机变量的分布与数字特征	184
4.4.2	样本的数字特征	194
4.4.3	参数估计	198
4.4.4	假设检验	203
4.4.5	回归分析	211
4.4.6	方差分析	214
4.5	矩阵分解	218
4.5.1	LU 分解和 Cholesky 分解	218

4.5.2	QR 分解	221
4.5.3	Schur 分解	223
4.5.4	奇异值分解	225
4.5.5	Hessenberg 分解	227
4.5.6	矩阵的广义逆	228
4.5.7	稀疏数组	229
	习题 4	232
第 5 章 函数与变换规则		236
5.1	自定义函数	236
5.1.1	简单函数的定义	236
5.1.2	参数个数不确定的函数	241
5.1.3	纯函数	243
5.1.4	函数的属性	245
5.1.5	分段函数及其运算	248
5.2	变换规则	251
5.2.1	变换规则与表达式的求值	251
5.2.2	非自动使用的变换规则	254
5.2.3	带有条件的规则	262
5.3	表达式	263
5.3.1	表达式的完全形式	263
5.3.2	表达式的元素操作	267
5.3.3	前缀和后缀表示形式	268
5.3.4	与表达式结构有关的函数	268
	习题 5	273
第 6 章 程序与编程		276
6.1	程序控制结构	276
6.1.1	顺序结构	276
6.1.2	条件结构	277
6.1.3	循环结构	286
6.1.4	程序跳转控制	291
6.1.5	输入/输出函数	293

6.1.6 数学表达式的显示	302
6.2 模块和块	306
6.2.1 模块	306
6.2.2 块	310
6.3 程序包	311
6.3.1 上下文	311
6.3.2 程序包的结构	314
6.3.3 几个实用的程序包	319
6.3.4 自动装入程序包	328
6.3.5 警告信息的设置与输出	330
6.3.6 程序包的加密	332
6.4 笔者自编程序包简介	333
6.4.1 《线性代数解题程序包》简介	333
6.4.2 《常微分方程解题程序包》简介	337
习题 6	342
第 7 章 关于 Mathematica 系统的一些知识	343
7.1 再识 Notebook	343
7.1.1 Mathematica 的结构	343
7.1.2 单元组	344
7.1.3 数学表达式的输入与输出格式	346
7.2 Mathematica 的某些专用函数	348
7.2.1 查看与限制运行时间	348
7.2.2 使用编译提高运行速度	349
7.2.3 查看与设置工作目录	350
7.3 Mathematica 的系统变量	351
7.3.1 查看系统变量的方法	351
7.3.2 通过系统变量了解系统的性能	351
7.3.3 修改系统变量的默认值	352
7.3.4 某些能被灵活设置的系统变量	355
附录 A 部分习题解答	357
参考文献	399

Mathematica 基础

本章概要

- Mathematica 起步
- 数、变量、函数、算式和表
- 表达式的查阅、保存和文件调入

本章首先介绍 Mathematica 8 的界面，着重介绍面板的功能。本章的中心内容是介绍怎样输入各种数学表达式进行计算。表是 Mathematica 中最为重要的一种表达式，本章将进行全面介绍。最后介绍表达式的查阅、保存和文件调入的方法。

1.1 Mathematica 8 界面简介

本书使用 Windows XP 操作系统，Mathematica 8 简体中文版安装在目录 D:\Mathematica\8 下，界面如图 1.1 所示。从 6.0 版起 Mathematica 使用了新的界面，与 5.x 版相比有较大的变化，而且推出了简体中文版。

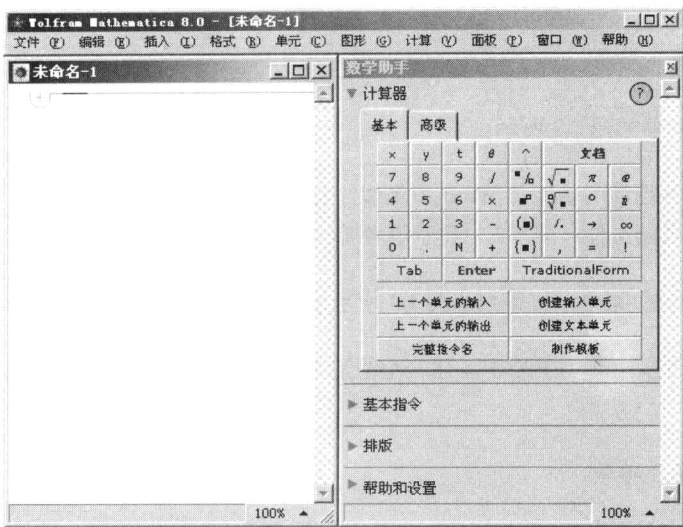


图 1.1 Mathematica 8 简体中文版界面

图 1.1 所示界面由用户窗口、数学助手面板和主菜单组成。

1. 用户窗口

在图 1.1 中，左边的大窗口是显示一切输入、输出的窗口。无论是直接输入各种算式或命令，还是运行已经编好的程序，所有操作都在这个窗口中进行，可以同时打开多个窗口。在这样的窗口中，不仅可以显示文字与数学表达式，还可以显示图形、按钮等对象。这些窗口中主要使用 Notebook(笔记本)型文件(.nb)，从 6.0 版开始还可以建立文本(.txt)、程序包(.m)、幻灯片等其他类型文件。在 Mathematica 8 中，这个窗口顶端新增了一个“+”号，单击可弹出选择输入方式的菜单，不过经常使用的是 Mathematica 输入方式，这是默认输入方式。

2. 数学助手面板

位于用户窗口右边的是数学助手面板，这是从 7.0 版起新增的面板，由一系列分组集成的按钮组成。用鼠标单击一个按钮，就可以将它表示的符号输入到当前的用户窗口中。Mathematica 提供了多个这样的面板，用于简化数学表达式、特殊字符、Mathematica 函数的输入，此外也可以根据需要自制特殊的面板。面板的引入大大加快了输入速度，减轻了记忆负担，这也是人们乐于使用 Mathematica 的原因之一。

3. 主菜单

位于图 1.1 上方的是主菜单。Mathematica 的菜单项很多，初学时不必一次搞清楚。以下只介绍一些最实用的菜单项。

(1) “文件”菜单

“文件”菜单如图 1.2 所示。

图 1.2 中各选项的功能与 Word 中类似，此处不再赘述。其中“退出”选项上方列出的是用户使用过的文件，图 1.2 中显示笔者曾经使用过文件 fanli.nb。

打开“新建”菜单项可得到如图 1.3 所示子菜单。

其中常用的是第一项，用于新建一个笔记本型文件的窗口，选择该项就会弹出一个新的用户窗口。

(2) “面板”菜单

单击主菜单中的“面板”菜单项，弹出如图 1.4 所示菜单。

单击图 1.4 中第一项会将数学助手面板打开在屏幕上，如图 1.1 所示，关于这个面板

的用途将在今后逐步进行介绍。单击“其它”项弹出如图 1.5 所示子菜单，再单击其中第二项就可打开基本数学输入面板，这是 6.x 版以前用户熟悉的面板，现在仍然可以使用。

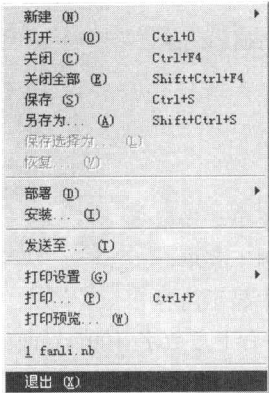


图 1.2 “文件”菜单

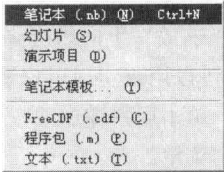


图 1.3 “新建”子菜单

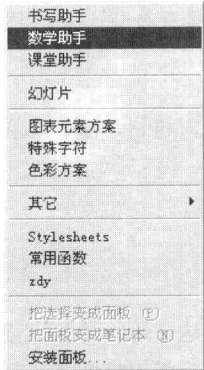


图 1.4 “面板”菜单

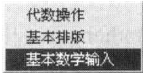


图 1.5 “其它”子菜单

图 1.4 中的“常用函数”和“zdy”是笔者自制的面板，也能像 Mathematica 的面板一样使用。使用图 1.4 中最后一项“安装面板”能将自制的面板加入到“面板”菜单中，“zdy”就是使用这种标准方法装入的，但是不能装入有中文名的面板（例如以“常用函数”为名的面板）。不过可以将面板文件“常用函数.nb”直接粘贴到 Mathematica 存放自制面板文件的目录下，再启动 Mathematica 后具有中文名的面板就被成功装入。存放面板文件的位置可以通过 Windows 的文件搜索功能进行查找，例如笔者搜索文件 zdy.nb 找到在 Windows XP 中的存放目录是 C:\Documents and Settings\d\Application Data\Mathematica\SystemFiles\FrontEnd\Palettes，这个目录与使用的操作系统和用户名有关。也可以将面板文件存放到 Mathematica 存放自身面板的目录下，搜索文件“BasicMathAssistant.nb”就能找到该目录，通常是 Mathematica8 所在目录下的“\SystemFiles\FrontEnd\Palettes”。

(3) “帮助” 菜单

“帮助” 菜单如图 1.6 所示。

记不清或不了解某些操作，以及想深入学习某些内容时，可以查询有关帮助。

(4) “窗口” 菜单

单击主菜单中的“窗口”项，弹出“窗口”菜单。当鼠标停在第一项“缩放”上时就会弹出选择缩放比例子菜单，最大为 300%，可以用来实现用户窗口、帮助窗口中显示内容的缩放。此外，单击用户窗口或数学助手面板窗口右下角数字 100%后面的三角形按钮也能弹出缩放比例菜单。

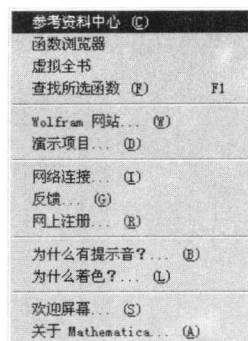


图 1.6 “帮助” 菜单

“编辑”菜单中的最后一项“偏好设置”值得注意，如果安装简体中文版后不能打开中文帮助，只要将“偏好设置”选项中的“菜单和对话框语言设置”改为“ChineseSimplified”即可解决。

其余的菜单项初学时大多不需要，有用的后面用时再讲，各个菜单的详细解释可以使用“帮助”菜单的前三项用项名作为关键字进行搜索。

1.2 数、变量、函数、算式和表

本节介绍在 Mathematica 中怎样输入各种数学表达式进行计算，读者需要认真阅读，牢记某些基本规定，并熟练掌握其中一些基本操作，为学习后面各章打好基础。

1.2.1 数的表示和计算

1. 准确数与近似数

Mathematica 以符号运算为主，与 C、BASIC、Fortran 不同，例如： π ， e ， $\frac{2}{3}$ ， $\sqrt{2}$ 等，如果不声明则为准确数。近似数用带有小数点的数表示，例如：1.2， 2.3×10^5 等。在 Mathematica 中将实的近似数称为实数 (Real)，而将准确数称为整数、有理数、幂、符号数等。无论准确数还是近似数，都没有位数的限制（当然实际上受到计算机内存的限制），可以求出 2^{100000} 的准确值，也可以求出 π 的任意位数的近似值。

2. 数的输入、输出方法和格式

【例 1.1】 实际运行时的输入与输出。

$$\text{In}[1]:= 2/3 + \frac{3}{2}$$

$$\text{Out}[1]= \frac{13}{6}$$

$$\text{In}[2]:= 2^3 + 3^2$$

$$\text{Out}[2]= 17$$

$$\text{In}[3]:= \sqrt[4]{4}$$

$$\text{Out}[3]= \sqrt{2}$$

说明 上例中以不同的方式输入了分式和幂式，并得到了计算结果。

以下通过例 1.1 讲解数的输入、输出方法和格式，以下的输入以使用键盘为主。

(1) 分式的输入

在例 1.1 中，第 1 行以两种形式分别输入了两个分数。分数线的输入可用“/”或“Ctrl+/”：前者的分式表示法与 C、BASIC 等程序语言相同；后者产生常规的分数线和一个表示分母位置的小方块，光标停在小方块内，键入分母后可按键盘上的“→”键退出分母，也可按“End”键或单击分数后面的位置退出分母，使光标处于分数后面的位置，从而可以继续输入后面的表达式。输入分式也可用数学助手面板中的分式按钮（位于第 2 排第 5 个）输入分式形式，可以通过按“Tab”键或单击数学助手面板中的“Tab”按钮（位于第 6 排第 1 个），或者直接单击分母位置，使光标从分子位置跳到分母位置。对分数进行四则运算的结果是准确数，分子、分母的公因数将被自动约去。

(2) 指数的输入

在例 1.1 中，第 3 行以两种形式分别输入了两个幂式。指数的输入可用“^”或“Ctrl+6”：前者的指数表示法与 C、BASIC 等程序语言相同；后者按常规的数学方式产生一个表示指数位置的小方块。也可用数学助手面板中的幂式按钮（位于第 3 排第 5 个）输入幂式形式。

说明 根式也可通过键盘输入，但不如用数学助手面板中的根式按钮（位于第 2 和第 3 排第 6 个）输入方便，且无须记忆键盘命令。

数学助手面板相比以前的基本数学输入面板增加了许多按钮,仅用鼠标单击数学助手面板上的各种按钮就可以完成输入,不必使用键盘。

注意 准确数的运算结果都是准确数,准确数与近似数运算的结果是近似数(保持最大可能的精度)。

(3) 输入与输出提示

从例 1.1 可看到 Mathematica 自动在输入的式子前面加上了 In[1]:=等,在输出的答案前面加上了 Out[1]=等,以便分清输入与输出。用户也可以通过“编辑”菜单的“偏好设置”项的设置对话框找到“显示 In/Out 名称”选项去掉这些提示。

(4) 计算的执行

输入完整个算式后按 Shift+Enter 组合键(或小键盘上的“Enter”键)或者单击数学助手面板上的“Enter”按钮(位于第 6 排第 2 个),Mathematica 将立即开始计算。例 1.1 中共进行了 3 次计算,也可以一次计算 3 个算式,只要在前两次输入完算式后按 Enter 键(只换行不计算),最后一个算式输入完后按 Shift+Enter 组合键即可。这里要提醒读者注意 Enter 键与数学助手面板上的“Enter”按钮的区别。由于键入匆忙,有时会产生输入错误,到执行后才发现,当然得不到正确的结果,这时不必重新输入,只要将原式修改后再次按 Shift+Enter 组合键,就能重新计算,并用新的输出覆盖原来的输出。可以将用户窗口当成一张“无限”长的草稿纸,不断进行输入、输出,所有的内容都会被保留。

(5) 强制中断计算

如果执行计算后,由于各种原因计算长时间不能完成,那么可以通过键盘命令“Alt+,”或“Alt+.”停止计算。使用后者将立即停止计算,而使用前者会弹出一个对话框供选择。

(6) 特殊字符的输入

π 和 e 分别用专用字符 Pi 和 E 表示,也可以由数学助手面板的特殊字符按钮(位于第 2 排第 7、8 个)输入。I 表示虚数单位(注意必须用大写字母),也可以由数学助手面板的特殊字符按钮(位于第 3 排第 8 个)输入,复数用 $a+bi$ 表示。Infinity 表示无穷大,也可以由数学助手面板的特殊字符按钮 ∞ (位于第 4 排第 8 个)输入,注意 ∞ 与 $+\infty$ 相同,没有双侧无穷的概念(而 MATLAB 是有的), $-\text{Infinity}$ 表示 $-\infty$ 。

3. 近似数的精度控制

(1) 求近似值的函数 N

Mathematica 允许用户任意指定数值计算的精度。

- $N[\text{表达式}, \text{数字位数}]$ 计算表达式的具有任意指定数字位数的近似值，结果在末位后是四舍五入的。
- $N[\text{表达式}]$ 计算表达式的近似值，具有机器规定的精度（一般是 16 位有效数字），

但是按默认设置输出只显示前 6 位有效数字（通过“编辑”菜单的“偏好设置”项的设置对话框找到“在输出中显示的数位”可以重新设置），想要全部显示只需使用函数 `InputForm` 或者使用“单元”菜单中的第一项进行转换。还可以使用函数 `NumberForm[Real, n]` 规定实数的显示位数 n 。

注意 在 Mathematica 中， π 和 e 都表示准确数。

【例 1.2】 求 π 和 e 的近似值。

```
In[1]:= N[ $\pi$ ]
Out[1]= 3.14159

In[2]:= N[ $\pi$ ] // InputForm
Out[2]//InputForm=
3.141592653589793

In[3]:= NumberForm[N[ $\pi$ ], 8]
Out[3]//NumberForm=
3.1415927

In[4]:= N[ $\pi$ , 50]
Out[4]= 3.1415926535897932384626433832795028841971693993751

In[5]:= N[e, 50]
Out[5]= 2.7182818284590452353602874713526624977572470937000
```

说明 其中， π 和 e 由数学助手面板中的相应按钮输入。In[2] 示范了显示全部有效数字的简便方法。

由于 Mathematica 对于数的精度没有限制，因而不管输入有多少位数字的数都会被全部保留。

例如：