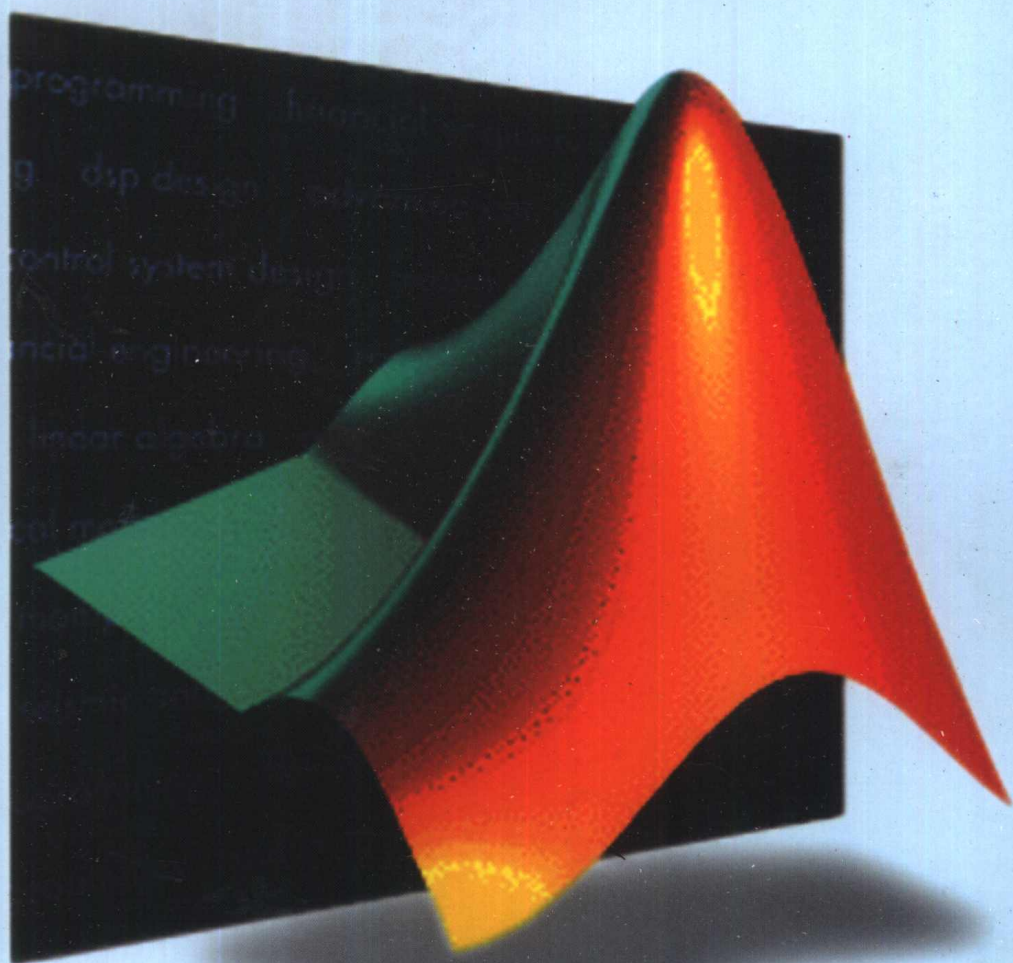


MATLAB 5.x

工具箱使用技巧与实例

郑宏兴 姚纪欢 张 成 编著



2MA

华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

MATLAB 5.x 工具箱 使用技巧与实例

郑宏兴 姚纪欢 张 成 编著

华中科技大学出版社

前 言

MATLAB 是一种用于科学和工程计算的高级语言，与其它高级语言相比，有其独特的优点，正在被越来越多的科学家、工程技术人员和大专院校的师生所接受，并且使用者与日俱增。

MATLAB 工具箱为不同领域的用户提供了一条捷径，迄今为止，已经有 30 多种专业工具箱面世，内容涉及数学、化学和经济等多学科领域，解决的问题包括信号处理、自动控制、图像处理、符号运算等，在工程实际应用中，MATLAB 工具箱使用户感到方便而快捷。目前，国内 MATLAB 的用户越来越多，关于 MATLAB 的书籍也逐渐增多，但缺乏关于工具箱的详细资料。我们结合教学和实际应用经验，选择了 5 个常用工具箱编成本书，希望读者能更好地掌握 MATLAB。

全书共 6 章，第一章介绍工具箱 TOOLBOX 的概况和 MATLAB 的入门知识。以后各章即结合大量实例分别介绍了信号处理工具箱、控制系统工具箱、小波分析工具箱、神经网络工具箱和优化工具箱。

为了尊重 MATLAB 语言的特色，程序源代码、注释、输出结果以及输出图形均保持其语言的原貌，书中出现的格式除特别说明外，均与 MATLAB 语言中定义的格式和内容相对应。

本书从策划到出版都得到了华中科技大学出版社的大力支持，作者对此深表谢意！

限于作者水平，书中出现的不妥之处，请读者不吝指正。

作 者

2000 年 8 月于西安

目 录

第一章 MATLAB 及其工具箱概述.....	(1)
1.1 MATLAB 的发展历史.....	(2)
1.2 与 MATLAB 适配的操作系统.....	(2)
1.3 MATLAB 5.x 工具箱简介.....	(3)
1.4 MATLAB 入门.....	(7)
1.4.1 菜单选项.....	(7)
1.4.2 通用操作指令.....	(8)
1.4.3 数、变量、表达式和语句.....	(9)
1.4.4 图形.....	(10)
1.4.5 产生数据.....	(12)
1.5 如何获取关于 MATLAB 的最新信息.....	(13)
第二章 信号处理工具箱.....	(14)
2.1 信号处理的基本知识.....	(14)
2.1.1 信号的表示方法.....	(14)
2.1.2 波形的产生.....	(15)
2.1.3 产生周期信号.....	(16)
2.1.4 基本函数 sinc 和 diric.....	(16)
2.2 滤波器分析与设计.....	(18)
2.2.1 卷积与滤波.....	(18)
2.2.2 滤波器与传递函数.....	(19)
2.2.3 脉冲响应.....	(19)
2.2.4 用函数滤波.....	(20)
2.2.5 滤波器的频率响应和零极点分析.....	(22)
2.3 线性系统变换.....	(26)
2.3.1 离散系统模型.....	(26)
2.3.2 连续系统模型.....	(31)
2.4 滤波器设计.....	(31)
2.4.1 IIR 滤波器设计.....	(32)
2.4.2 IIR 滤波器阶的选择.....	(38)
2.4.3 FIR 滤波器设计.....	(40)
2.5 信号变换.....	(45)
2.6 统计信号处理.....	(48)

2.6.1 相关函数和相关系数	(49)
2.6.2 协方差	(50)
2.6.3 谱密度	(51)
2.7 窗函数	(53)
2.7.1 基本窗函数	(53)
2.7.2 升余弦窗函数	(54)
2.7.3 切比雪夫窗函数	(55)
2.7.4 凯瑟窗函数	(55)
2.8 参数化建模	(55)
2.8.1 时域模型	(55)
2.8.2 频域模型	(57)
第三章 控制系统工具箱	(58)
3.1 控制系统的数学描述	(58)
3.1.1 连续系统	(58)
3.1.2 离散系统	(60)
3.2 模型的建立、连接与转换	(60)
3.2.1 模型的建立	(60)
3.2.2 系统模型的连接	(62)
3.2.3 系统模型的转换	(65)
3.3 模型的简化与实现	(69)
3.4 模型属性函数	(70)
3.5 控制系统分析	(74)
3.5.1 时域响应	(74)
3.5.2 频域响应	(79)
3.6 系统设计工具	(82)
3.7 数值计算和方程求解	(86)
3.8 控制系统设计实例	(87)
第四章 小波分析工具箱	(99)
4.1 小波分析的基本理论	(100)
4.1.1 从傅里叶变换到小波变换	(100)
4.1.2 连续小波变换	(103)
4.1.3 离散小波变换	(105)
4.2 小波分析工具箱中的通用函数	(106)
4.3 小波函数	(120)
4.3.1 常用小波函数(系)介绍	(120)
4.3.2 工具箱中的小波函数	(122)
4.4 一维小波变换	(126)

4.5	二维小波变换	(138)
4.6	多分辨分析和小波包变换	(148)
4.6.1	多分辨分析	(148)
4.6.2	小波包分析	(149)
4.6.3	小波包算法函数	(150)
4.7	信号和图像的消噪与压缩	(159)
4.8	树操作应用函数	(169)
第五章	神经网络工具箱	(181)
5.1	神经网络工具箱函数	(181)
5.2	感知器	(185)
5.2.1	感知器神经网络函数	(186)
5.2.2	感知器神经元模型详解	(186)
5.2.3	感知器设计实例	(188)
5.3	线性神经网络	(200)
5.3.1	线性神经网络函数	(200)
5.3.2	线性神经元模型详解	(201)
5.3.3	线性神经网络的设计实例	(203)
5.4	BP 网络	(208)
5.4.1	BP 网络函数	(209)
5.4.2	BP 神经元模型	(209)
5.4.3	BP 网络设计实例	(211)
5.4.4	BP 算法的改进及其设计实例	(215)
5.5	径向基函数网络	(223)
5.5.1	径向基函数网络的仿真函数	(223)
5.5.2	径向基函数神经元模型解说	(224)
5.5.3	径向基函数网络的设计实例	(225)
5.6	联想学习算法	(227)
5.7	自组织网络	(233)
5.7.1	竞争学习网络设计实例	(234)
5.7.2	自组织特征映射及其设计实例	(236)
5.8	学习矢量量化	(238)
5.8.1	LVQ 模型	(239)
5.8.2	LVQ 网络设计实例	(239)
5.9	反馈网络	(240)
5.9.1	Elman 网络的结构及函数用法	(241)
5.9.2	Elman 网络设计实例	(242)
5.9.3	Hopfield 网络	(243)
5.10	神经网络的应用实例	(246)

第六章 优化工具箱	(262)
6.1 工具箱函数及语法解说	(263)
6.1.1 求极小值的函数	(263)
6.1.2 求解矩阵问题的函数	(266)
6.1.3 关于参数 OPTIONS	(266)
6.2 常用的优化算法	(267)
6.2.1 无约束条件优化	(268)
6.2.2 拟牛顿法优化	(269)
6.2.3 最小二乘法优化	(270)
6.2.4 非线性最小二乘法的实现	(271)
6.2.5 约束条件下的优化	(271)
6.2.6 序列二次规划(SQP)的实现	(272)
6.2.7 常见问题及推荐的解决办法	(273)
6.3 基本应用说明	(274)
6.3.1 表达式优化	(274)
6.3.2 优化的数值解过程	(274)
6.4 应用示例	(279)
参考文献	(295)

第一章

工具箱概述

MATLAB 是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套用于数值计算的高性能可视化软件, 它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体, 构成了一个方便的、界面友好的用户环境。在这个环境下, 对所要求解的问题, 用户只需要简单地列出数学表达式, 其结果便会以数值或图形方式显示出来。

MATLAB 的含义是矩阵实验室(Matrix Laboratory), 其主要优点是矩阵的存取方便, 其基本元素是无需定义的矩阵。经过几十年的完善和扩充, MATLAB 现已发展成为线性代数课程的标准工具, 同时也成为许多领域的实用工具。在科学研究和工程设计工作中, MATLAB 可用来解决实际的工程和数学问题, 其典型应用有: 通用的数值计算、算法设计以及各种学科, 如自动控制、数字信号处理等领域的专门问题求解。

MATLAB 还包括了被称作 Toolbox(工具箱)的各类应用问题的求解工具。工具箱实际上是对 MATLAB 进行扩展应用的一系列 MATLAB 函数(M 文件), 可以用它求解各个特定学科的问题, 包括信号处理、控制系统辨识、神经网络等。

MATLAB 最重要的特点是易于扩展, 它允许用户自行建立完成特定功能的 M 文件, 从而构成适合于其它领域的工具箱。对于一个从事特定领域工作的工程师, 不仅可以利用 MATLAB 所提供的函数及基本工具箱函数, 而且可以方便地构造出专用的函数, 从而大大扩展了 MATLAB 的应用范围。

MATLAB 既是一种编程环境, 又是一种程序设计语言, 它易学易用, 不要求用户有高深的数学和程序语言知识, 不要求用户深刻了解算法及编程技巧。它同 C、FORTRAN 等语言一样, 有其内定的规则, 但 MATLAB 的语句功能更强, 一条语句可完成较为复杂的任务, 如 `fft` 语句可完成对指定数据的快速傅立叶变换, 这相当于几十条 FORTRAN 语句的功能。MATLAB 还提供了友好的用户界面, 许多函数会自动绘制出图形, 还会自动选取坐标刻度。这就大大节省了用户的时间。

MATLAB 环境的另一个重要的特点是可以自行编制 M 文件, 并可在工具箱中方便地添加工具函数。信号处理工具箱还利用了其它的标准 MATLAB 函数, 包括多项式求根、复数运算、矩阵求逆及图形工具等。

更为重要的一点是, 用户可以通过编制 M 文件来任意地添加工具箱中原来没有的工具函数。

鉴于 MATLAB 这些强大功能, 我们在教学和科研工作中采用了它, 并取得了良好的

效果。

1.1 MATLAB 的发展历史

20 世纪 70 年代中期, Cleve Moler 和同事们在美国国家科学基金的资助下开发了调用 LINPACK 和 EISPACK 的 FORTRAN 子程序库。LINPACK 是解线性方程的 FORTRAN 程序库, EISPACK 则是解特征值问题的程序库。这两个程序库代表着当时矩阵计算软件的最高水平。20 世纪 70 年代后期, Cleve Moler 编写了能方便使用 LINPACK 和 EISPACK 的接口程序, 并把这个接口程序取名为 MATLAB。

1983 年春, Cleve Moler 访问斯坦福大学, John Little 受到了 MATLAB 的影响。作为工程师的 Little 觉察到 MATLAB 在工程领域中潜在的应用。同年, 他与 Moler, Steve Bangert 一起合作开发第二代专业版 MATLAB。从这一代开始, MATLAB 的核心就采用 C 语言编写。也是从这一代开始, MATLAB 不仅具有数值计算能力, 而且具有了绘图功能。

1984 年, MathWorks 公司成立, 并把 MATLAB 推向市场。

1992 年, MathWorks 公司推出了划时代意义的 MATLAB 4.0 版本, 并于 1993 年推出了其微机版, 此微机版可以配合 Microsoft Windows 一起使用, 使之应用范围越来越广。

1994 年, MathWorks 公司推出了 MATLAB 4.2 版本, 扩充了 4.0 版本的功能, 尤其是在图形设计方面提供了新的方法。1995 年 5 月, 又推出了 MATLAB 4.2 C 版本, 该版本目前应用最广。

1997 年夏, MathWorks 公司推出了 Windows 95 下的 MATLAB 5.0 和 SIMULINK 2.0, 该版本在继承 MATLAB 4.2 C 和 SIMULINK 1.3 版本功能的基础上, 实现了真正的 32 位运行, 数值计算更快, 图形表现更丰富有效, 编程更简捷直观, 用户界面更友好。

1.2 与 MATLAB 适配的操作系统

MATLAB 5.x 现适配于以下平台:

IBM-PC	Windows 3.x, Windows NT 3.5/4.0, Windows 95/98, OS/2
MACINTOSH	68K 和 PowerMac
SUN	Sun OS 4.1.3 和 Solaris2.4
HP9000/700/300	HP-UX 9.05/9.03
SGI R4000/8000	Irix 5.2 和 6.0
IBM RS/6000	AIX 3.2.5
DEC R3000	Ultrix 4.4
DEC Alpha APX	Digital UNIX 3.0 和 VMS 6.1
DEC VAX	VMS 6.1
PC	Linux 1.2

1.3 MATLAB 5.x 工具箱简介

现在, MATLAB 已经成为一个系列产品(见表 1-1), 具有 MATLAB 主包和各种工具箱 (Toolbox)。功能丰富的工具箱将不同领域、不同方向的研究者吸引到 MATLAB 的编程环境中来, 并成为 MATLAB 的忠实用户。迄今所有的 30 多个工具箱大致可分为两类: 功能型工具箱和领域型工具箱。功能型工具箱主要用来扩充 MATLAB 的符号计算功能、图形建模仿真功能、文字处理功能以及和硬件实时交互功能, 能用于多种学科。而领域型工具箱是专业性很强的, 如控制工具箱(Control Toolbox)、信号处理工具箱(Signal Processing Toolbox)等。下面将 MATLAB 工具箱内所包含的主要内容做简要介绍。

表 1-1 MathWorks 的 MATLAB 系列产品

产 品 名 称	信号 处理	控制 系统	通信 系统	金融 系统	数据 分析	工程 数学	图形 可视
MATLAB	P	P	P	P	P	P	P
Notebook for Word	P	P	P	P	P	P	P
MATLAB Compiler	P	P	P	S	S	P	
MATLAB C Math Library	P	P	P	S	S	P	
Simulink	P	P	P	P	P		P
Symbolic Math	S	S	S	S	P	P	P
Chemometrics					P		P
Communication	S	S	P				
Control System		P		S			
Financial				P	S		S
Frequency Domain System Identification	P	P			P		P
Fuzzy Logic	P	P		S	P		P
Higher-Order Spectral Analysis	P				P		
Image Processing	P				P		P
LMI Control		P			S	S	
Model Predictive Control		P					
MMLE3 Identification		P					
μ -Analysis and Synthesis		P					
NAG Foundation				P	P	P	
Neural Network	P	P	P	P	P		P
Optimization	P	P	P	P	P	P	P
Partial Differential Equation					P	P	P
QFT Control Design		P					

续表

产 品 名 称	信号 处理	控制 系统	通信 系统	金融 系统	数据 分析	工程 数学	图形 可视
Robust Control		P					
Signal Processing	P	P	S	S	P		P
Spline	S	S		P	P	S	P
Statistics	S	S	S	P	P	P	P
System Identification	S	P	S	S	P	S	P
Wavelet	P	S	S		P	S	P
DSP Blockset	P	P					
Fixed-Point Blockset		P					
Nonlinear Control Design Blockset		P					
Real-time Workshop	P	P		S			
RTW Ada Extention	P	P		S			
Simulink Accelerator	P	P		S			

注：表中 P 表示主用学科；S 表示辅用学科。

1. 符号数学工具箱(Symbolic Math Toolbox)

符号表达式和符号矩阵的创建；

符号微积分、线性代数、方程求解；

因式分解、展开和简化；

符号函数的二维图形；

图形化函数计算器。

2. 通信工具箱(Communication Toolbox)

提供 100 多个函数和 150 多个 SIMULINK 模块，用于通信系统的仿真和分析，包括：信号编码、调制解调、滤波器和均衡器设计、通道模型、同步等。可由结构图直接生成可应用的 C 语言源代码。

3. 控制系统工具箱(Control System Toolbox)

连续系统设计和离散系统设计；

状态空间和传递函数；

模型转换；

频域响应：Bode 图、Nyquist 图、Nichols 图；

时域响应：冲击响应、阶跃响应、斜坡响应等；

根轨迹、极点配置、LQG。

4. 财政金融工具箱(Financial Toolbox)

成本、利润分析，市场灵敏度分析；

业务量分析及优化；

偏差分析；

资金流量估算；

财务报表。

5. 频率域系统辨识工具箱(Frequency Domain System Identification Toolbox)

辨识具有未知延迟的连续和离散系统；

计算幅值 / 相位、零点 / 极点的置信区间；

设计周期激励信号、最小峰值、最优能量谱等。

6. 模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic Toolbox)

友好的交互设计界面；

自适应神经——模糊学习、聚类以及 Sugeno 推理；

支持 SIMULINK 动态仿真；

可生成 C 语言源代码用于实时应用。

7. 高阶谱分析工具箱(Higher-Order Spectral Analysis Toolbox)

高阶谱估计；

信号中非线性特征的检测和刻画；

延时估计；

幅值和相位重构；

阵列信号处理；

谐波重构。

8. 图像处理工具箱(Image Processing Toolbox)

二维滤波器设计和滤波；

图像恢复增强；

色彩、集合及形态操作；

二维变换；

图像分析和统计。

9. 线性矩阵不等式控制工具箱(LMI Control Toolbox)

LMI 的基本用途；

基于 GUI 的 LMI 编辑器；

LMI 问题的有效解法；

LMI 问题解决方案。

10. 模型预测控制工具箱(Model Predictive Control Toolbox)

建模、辨识及验证；

支持 MISO 模型和 MIMO 模型；

阶跃响应和状态空间模型。

11. μ 分析与综合工具箱(μ -Analysis and Synthesis Toolbox)

μ 分析与综合；

H_2 和 H_∞ 最优综合；

模型降阶；

连续和离散系统；

μ 分析与综合理论。

12. 神经网络工具箱(Neural Network Toolbox)

BP、Hopfield、Kohonen、自组织、径向基函数等网络；
竞争、线性、Sigmoidal 等传递函数；
前馈、递归等网络结构；
性能分析及应用。

13. 优化工具箱(Optimization Toolbox)

线性规划和二次规划；
求函数的最大值和最小值；
多目标优化；
约束条件下的优化；
非线性方程求解。

14. 偏微分方程工具箱(Partial Differential Equation Toolbox)

二维偏微分方程的图形处理；
几何表示；
自适应曲面绘制；
有限元方法。

15. 鲁棒控制工具箱(Robust Control Toolbox)

LQG/LTR 最优综合；
 H_2 和 H_∞ 最优综合；
奇异值模型降阶；
谱分解和建模。

16. 信号处理工具箱(Signal Processing Toolbox)

数字和模拟滤波器设计、应用及仿真；
频谱分析和估计；
FFT, DCT 等变换；
参数化模型。

17. 样条工具箱(Spline Toolbox)

分段多项式和 B 样条；
样条的构造；
曲线拟合及平滑；
函数微分、积分。

18. 统计工具箱(Statistic Toolbox)

概率分布和随机数生成；
多变量分析；
回归分析；
主元分析；
假设检验。

19. 系统辨识工具箱(System Identification Toolbox)

状态空间和传递函数模型；

模型验证;

MA, AR, ARMA 等;

基于模型的信号处理;

谱分析。

20. 小波工具箱(Wavelet Toolbox)

基于小波的分析和综合;

图形界面和命令行接口;

连续和离散小波变换及小波包;

一维、二维小波;

自适应去噪和压缩。

1.4 MATLAB 入门

为了引导初学者进入 MATLAB 工作环境,帮助他们初步了解 MATLAB 最基本的操作方法,让他们具备使用 MATLAB 的基本能力,可遵循下面所给算例实际操作一遍,就会发现使用 MATLAB 并不难。

这里主要介绍在 Windows 95/98 操作系统环境下进入 MATLAB 工作窗口和指令行的操作。

从 [开始] 菜单的 [程序] 选项中可进入 MATLAB 工作窗口,如图 1-1 所示,用户此时就可以进行各种操作。下面简要介绍该工作窗口的基本环境和指令行的基本操作。

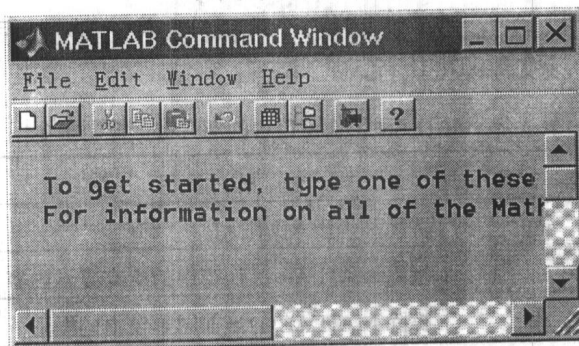


图 1-1 MATLAB 的工作窗

1.4.1 菜单选项

MATLAB 工作窗口是标准的 Windows 界面,使用方法也是标准的,因此可以利用菜单中的各种选项来实现对工作窗中内容的操作。在 MATLAB 5.x 版本中有 4 个选项:

- 基本文件操作选项 [File];
- 编辑操作选项 [Edit];
- 工作窗口管理选项 [Windows];
- 帮助选项 [Help]。

1.4.2 通用操作指令

除了通过菜单选项对工作窗口进行控制外, MATLAB 还提供了通过键盘输入的控制指令, 如表 1-2 所示。指令行操作使用键盘上的 10 个编辑控制键“Insert, Delete, Home, End, Page Up, Page Down, ←, ↑, →, ↓”进行控制。

例 1 求表达式 $\frac{2\sin(0.3\pi)}{1+\sqrt{5}}$ 的值。

解 输入

```
2*sin(0.3*pi)/(1+sqrt(5))
```

然后按 [Enter] 键, 该命令行便被执行, 给出下面结果

```
ans=0.5000
```

如果想把上面的 sin 函数修改为 cos 函数, 只需要按一下“↑”键, 又重新出现刚才的输入行

```
2*sin(0.3*pi)/(1+sqrt(5))
```

再使用“←”键, 将光标移到输入过的命令行 2*sin(0.3*pi)/(1+sqrt(5)) 上把 sin 改为 cos, 然后将光标移到该行的末尾, 按 [Enter] 键即可。

这里需要注意的是, 每一个命令行输入完, 只有按 [Enter] 键以后, 该行命令才得以执行, 后面的叙述中将不再重复叙述“按 [Enter] 键”。

如果编辑比较长的程序(M 文件), 可打开 [file] 菜单, 执行 [new] 命令, 系统会弹出一个新的窗口, 它是一个 M 文件编辑器, 可实现全屏幕编辑。将编辑完的文件拷贝到 MATLAB 的工作窗口, 按 [Enter] 键即可执行该文件。

对于较大的 M 文件, 如果文件本身是一个可执行文件, 则存盘后, 在 MATLAB 的工作窗口直接敲文件名, 该文件即可执行。

表 1-2 MATLAB 工作窗口中的部分键盘控制指令

指 令	作 用
quit	关闭和退出 MATLAB
clc	擦除 MATLAB 工作窗中的所有显示内容
clf	擦除 MATLAB 的当前图形窗中的图形
clear	清除内存中的变量和函数
pack	整理内存碎片以扩大内存空间
dir	列出指定目录下的文件和子目录清单
cd	改变当前工作子目录
disp	(在运行中) 显示变量或文字内容
type	显示指定文件的全部内容
echo	控制运行文件指令是否显示的开关
hold	控制当前图形窗对象是否被刷新

1.4.3 数、变量、表达式和语句

MATLAB 中的数采用十进制表示，合法的表示方法为

3 -99 0.001 9.456 1.3e-3 4.5e33 1.1-2.8i

在采用 IEEE 浮点运算的计算机上，大约有 16 位有效数字，数的范围为 $10^{-308} \sim 10^{308}$ 。用预定义变量 i 和 j 作为虚数单位。矩阵的元素允许是实数或复数。

变量名以一个字母开头，后面可以接 19 个字母或数字，同一字母的大写和小写代表不同的变量。系统启动时自动定义的变量如表 1-3 所示。

表 1-3 系统启动时自动定义的变量

变量名	含 义
eps	容差变量，定义为 1.0 到最近浮点数的距离。在 PC 机上 $\text{eps}=2^{-52}$
pi	圆周率 π 的近似值 3.14159265358979
inf 或 Inf	正无穷大，定义为 1/0
NaN	非数，它产生于 $0/0$ ， ∞/∞ ， $0*\infty$ 等运算
i, j	虚数单位，定义为 $i=\sqrt{-1}$ ， $j=\sqrt{-1}$

表达式由下列运算符号构成，按习惯的优先次序进行运算。

+ 加 - 减 * 乘 / 除 ^ 乘方

MATLAB 的除法运算还定义了一种左除运算“\”，是针对数组或矩阵进行的运算，具体用法，用户可查阅关于 MATLAB 的参考书。

MATLAB 的语句有两种常见形式：

- 表达式；
- 变量=表达式。

例 2 表达式的计算结果。

解 12/7

ans =

1.7143

例 3 把表达式的计算结果赋值给变量。

解 $s=1+1/2+1/3+1/4+1/5+1/6$

s =

2.4500

例 4 矩阵的输入。

解 $a=[1, 2, 3; 4, 5, 6]$

a =

1 2 3
4 5 6

例 5 用 who 检查内存变量。

解 who

Your variables are:

a ans s

例 6 用 whos 获得内部变量的详细情况。

解 whos

Name	Size	Bytes	Class
a	2×3	48	double array
ans	1×1	8	double array
s	1×1	8	double array

Grand total is 8 elements using 64 bytes

注意：能够显示出例 5 和例 6 中所显示内容的前提是启动 MATLAB 后，用户须一直按本章所给出的例子进行操作。随着例子的增加，显示的内容还将继续增加。

例 7 复数运算。

解 $z1=1+i$, $z2=2*\exp(i*pi/3)$, $z=z1*z2$

z1 =

1.0000 + 1.0000i

z2 =

1.0000 + 1.7321i

z =

-0.7321 + 2.7321i

例 8 复数矩阵的生成及运算。

解 $A = [1, 2; 3, 4] - i * [5, 6; 7, 8]$, $B = [1+2*i, 2+3*i; 3+5*i, 4+6*i]$, $C=A*B$

A =

1.0000 - 5.0000i	2.0000 - 6.0000i
3.0000 - 7.0000i	4.0000 - 8.0000i

B =

1.0000 + 2.0000i	2.0000 + 3.0000i
3.0000 + 5.0000i	4.0000 + 6.0000i

C =

47.0000 - 11.0000i	61.0000 - 19.0000i
69.0000 - 5.0000i	91.0000 - 13.0000i

例 9 允许 0 做除数，这一点与其它语言的规定有所不同。

解 1/0

Warning: Divide by zero.

ans =

Inf

1.4.4 图形

MATLAB 提供的作图函数如表 1-4 所示。