

普通高等教育机械类专业规划教材

MATLAB/Simulink

机电一体化应用

- ★ 以MATLAB/Simulink软件在机电一体化方面的应用为重心，由浅入深介绍了MATLAB/Simulink包含的通用模型库、模块封装技术、S-函数编写与应用等。
- ★ 书中大量的工程实例，能够让读者快速掌握MATLAB语言进行控制系统仿真和辅助设计的基本技能。

MATLAB/Simulink

郑利霞 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书首先介绍了 MATLAB 语言的基本内容,在此基础上系统地介绍了控制系统仿真的方法,并以 Simulink 为主要工具介绍了系统仿真方法,包括连续系统、离散系统的仿真,由浅入深地介绍了通用模型库、模块封装技术、S-函数编写与应用,最后还列举了 MATLAB 的一些实际工程应用案例。

本书可作为高校理工科各类专业的本科生和研究生学习 MATLAB/Simulink 的教材和参考书,也可作为一般读者学习和掌握 MATLAB/Simulink 语言的教材,还可供科技工作者、教师作为学习和应用系统仿真分析技术解决实际问题的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 机电一体化应用/郑利霞主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 8

普通高等教育机械类专业规划教材

ISBN 978-7-111-39286-6

I. ①M… II. ①郑… III. ①Matlab 软件—应用—机电一体化—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 172253 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:赵海青 何士娟

版式设计:纪敬 责任校对:张薇

封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·320 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39286-6

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

编写本书的目的是让读者熟练掌握 MATLAB 的知识并可用来求解实际工程问题。MATLAB 本身是一个藏量极为丰富的资源库,希望读者充分利用好 MATLAB 的这种特点,更好地掌握解决问题的方法。本书以 MATLAB 软件应用为基础进行编写,读者对象是在校理工类大学生、研究生、教师、科技人员和设计工程师。全书内容由 4 章组成,其中包括 MATLAB 基础、控制系统分析、Simulink 基础和机电系统典型实例。

“MATLAB 基础”一章简述了 MATLAB 的发展历史和影响,重点叙述了 MATLAB 的基本组成和特点,以及指令操作、数值数组及其运算,集中叙述了数值数组的生成和操作、矩阵的运算和常用函数的使用、计算和结果图形可视化、数学函数的图形化等,并配合使用各种语法语句,对 MATLAB 的 M 文件程序设计、运行、调试进行了阐述,对 M 语言设计的控制语句作了详细的介绍。

“控制系统分析”一章介绍了使用 MATLAB 对控制系统的分析方法,重点对时域分析、频域分析方法提供了一些实例的剖析,并分别对连续系统的响应和离散系统的响应情况进行了分类枚举。另外,本章对控制系统的研究作了初步介绍,为后面章节的学习提供一些准备知识。学习过程中希望读者能够对“自动控制理论”课程加以复习。

“Simulink 基础”一章通过基本介绍和实例演示,可使读者对 Simulink 的使用和功能有一个初步的了解,为第 4 章的学习打下良好的基础。主要内容包括 Simulink 概述、Simulink 模块介绍、Simulink 基本建模方法、系统和模块封装技术、S-函数的编写及应用。

“机电系统典型实例”一章综合前几章的内容,提供了三个实际工程中经常遇到的问题,对它们的系统分析、建模、仿真进行了详细的阐述,有利于读者把前面所学的内容融合到真正的工程案例中,掌握使用 MATLAB/Simulink 软件解决工程问题的方法。

本书由郑利霞编写第 1 章,并负责全书的统稿;许同乐编写第 2 章;段宗银编写第 3 章的 3.1、3.2、3.3 节;魏伟编写 3.4、3.5 节;余洋编写第 4 章。本书由北京科技大学的周志鸿教授担任主审。本书在编写过程中得到了博世力士乐公司的电液工程师钟海胜的支持,在此表示感谢。由于水平有限,书稿虽几经修改,但仍难免有疏漏或错误之处,恳请广大读者批评指正。

希望大家能够在培养自己良好的工程观点和科研方法的基础上,通过掌握 MATLAB/Simulink 这一先进的手段来更加有效地解决工程实际问题。希望本书能为大家成为一位优秀设计或科研人员打开一扇窗户!

编 者

目 录

前言

第1章 MATLAB 基础	1
1.1 MATLAB 简介	1
1.1.1 MATLAB 发展综述	1
1.1.2 MATLAB 工具箱	2
1.2 MATLAB 运行界面	4
1.2.1 MATLAB 基本窗口	5
1.2.2 MATLAB M 文件窗口	7
1.2.3 MATLAB 图形处理窗口	7
1.3 数组操作	9
1.3.1 数组的创建	9
1.3.2 数组操作函数	10
1.3.3 数组的运算	11
1.3.4 MATLAB 控制流	12
1.4 矩阵运算与函数	15
1.4.1 矩阵的生成	15
1.4.2 线性方程组	16
1.4.3 矩阵函数	19
1.5 图形处理	22
1.5.1 plot 函数	22
1.5.2 fplot 函数	26
1.5.3 ezplot 函数	27
1.5.4 图形修饰与控制	29
1.6 MATLAB M 语言	35
1.6.1 M 命令文件	35
1.6.2 函数文件	37
1.6.3 程序结构与控制语句	40
1.6.4 程序的调试	57
第2章 控制系统分析	71
2.1 时域分析	71
2.1.1 阶跃响应分析	72
2.1.2 脉冲响应分析	76
2.2 频域分析	83
2.2.1 频率响应法	84

2.2.2 伯德图分析	85
第3章 Simulink 基础	90
3.1 Simulink 概述	90
3.2 Simulink 模块介绍	91
3.2.1 模块库	91
3.2.2 自定义模块	103
3.2.3 其他应用模块集和辅助工具	104
3.3 Simulink 基本建模方法	110
3.3.1 模型窗口的建立	110
3.3.2 模块的操作	110
3.3.3 信号线的操作	113
3.3.4 模型注释	118
3.3.5 模型的运行仿真	119
3.3.6 模型的保存	130
3.3.7 模型的打印	131
3.4 系统与模块封装技术	132
3.4.1 Simulink 系统	132
3.4.2 封装模块	140
3.4.3 创建模块库	146
3.5 S-函数的编写及应用	148
3.5.1 S-函数介绍	148
3.5.2 用 M 文件编写 S-函数	150
3.5.3 S-函数设计举例	154
第4章 机电系统典型实例	171
4.1 四连杆机构的运动学仿真	171
4.2 二连杆机器手臂的动力学仿真	181
4.3 电液伺服位置控制系统分析	190
4.3.1 液压缸位置伺服控制系统建模	190
4.3.2 液压缸位置伺服控制系统仿真	199
参考文献	203

第 1 章 MATLAB 基础

本章介绍了 MATLAB 软件的发展过程、基本特点及基本知识，并结合例题对一些基本命令进行了详细的介绍。通过本章的学习，能够对 MATLAB 软件有初步的了解和掌握。

本章的学习目标：

- 熟悉 MATLAB 的运行环境
- 掌握数组的概念
- 掌握矩阵运算与函数
- 掌握图形处理的方法
- 掌握 M 语言设计规范

1.1 MATLAB 简介

1.1.1 MATLAB 发展综述

MATLAB 取自矩阵 (Matrix) 和实验室 (Laboratory) 两个英文单词的前三个字母，意即“矩阵实验室”。它经历了 20 多年的发展历程，是一种以矩阵作为基本数据单元的程序设计语言，提供了数据分析、算法实现与应用开发的交付式开发环境。

20 世纪 80 年代初期，MathWorks 公司发布了基于 DOS 版本的 MATLAB 3.0；1989 年发布了基于 Windows 版本的 MATLAB 3.1；1993 年发布了 MATLAB 4.0 版本，这一版本是一个飞跃，实现了真正的视窗环境；1997 年，MathWorks 公司推出了 MATLAB 5.0。MATLAB 5.0 版本与以前的版本相比，在界面和功能方面都有极大的改进；对于图形图像的处理，实现了所见即所得的功能，而不必像 4.0 版本那样要求用户自己调用很多的函数和命令并编写很长的程序；帮助信息采用超文本和 PDF 格式，方便用户查阅；提供了更多的工具箱。MathWorks 公司于 2001 年推出了 MATLAB 6.X 版本，该版本继承和发展其原有的数值计算和图形可视功能。2004 年 MathWorks 公司又推出了 MATLAB 7.X。在 7.1 版之前，MATLAB 的释放编号均以数字来命名，如 R7、R12.1、R14 SP1 等；从 7.2 版开始，释放编号以年份来命名，每年 3 月份推出的用 A 表示，9 月份推出的则以 B 表示。目前，最新版本为 2012 年 3 月份推出 MATLAB 7.14 版，即 R2012A。

MATLAB 分为总包和若干个工具箱，随着版本的不断升级，它具有越来越强大的数值计算能力、更为卓越的数据可视化能力和良好的符号计算能力，逐步发展成为各种学科、多种工作平台下功能强大的大型软件，获得了广大科技工作者的普遍认可。一方面，MATLAB 可以方便地实现数值分析、优化分析、数据处理、自动控制和信号处理等领域的数学计算；另一方面，也可以快捷实现计算可视化、图形绘制、场景创制和渲染、图像处理、虚拟现实和地图制作等分析处理工作。在欧美等地的高校，MATLAB 已经成为线性代数、自动控制理论、概率论及数理统计、数字信号处理、时间序列分析、动态系统仿真等课程的基本教学

工具,是攻读学位的大学生、硕士生、博士生必须掌握的基本技能。在国内,这一语言也逐步成为大学理工科专业学生的重要必修课。

1.1.2 MATLAB 工具箱

MATLAB 有一个专门的工具箱系列产品,用来解决不同领域和专业的问题。MATLAB 工具箱集成了 MATLAB 函数并扩展了 MATLAB 工作环境。这些工具箱表现为 M 文件和高级 MATLAB 语言的集合形式,所以 MATLAB 允许用户修改函数的源代码,或者增加新的函数来适应自己的应用。用户能够很方便地结合使用不同的工具箱中的技术来设计针对某个问题的解决方案,也能方便快捷地使用复杂的理论公式,免除了自己编写复杂而庞大的算法程序的困扰。尤其是在进行数学推导和理论验证时,有了这些功能丰富的工具箱,问题就变得十分简单。

当然这不是说有了这些工具箱,就不需要用户编写程序了。这些工具箱只是简化了编写程序的过程,整个系统开发的结构还是需要用户自己去构建和测试。

MATLAB 对于不同的专业应用一般都有相应的工具箱支持,但支持的重点不同。例如,大部分工具箱都是和控制系统相关的,如控制系统设计、系统辨识、鲁棒控制、频域系统辨识、模糊逻辑、神经网络、非线性控制器设计、模型预测控制等工具箱,基本涵盖了当前的控制系统建模、分析、设计的各个方面,所以 MATLAB 在控制界应用十分广泛。除此以外还有其他一些工具箱,如:可以推导数学公式及进行基于符号四则运算、解方程、微积分等的符号工具箱;可以把 MATLAB 脚本转换为 C 程序和 C 编译的工具箱;专门适用于通信、财政金融、统计、图像处理、电力系统仿真等专业的专业工具箱。

虽然工具箱种类良多,而且 MathWorks 公司每年都会开发出一些新的工具箱,但在一般情况下,工具箱的列表是固定不变的。对用户而言,不仅可以随 MATLAB 系统所附带的大量工具箱(图 1-1),还可以使用其他上千种由第三方公司或机构开发的工具箱。第三方公司或机构开发的很多工具箱是免费的,而且这些工具箱覆盖的专业更加广泛。如果要了解这方面的内容,可以到 MathWorks 公司的相关网站上去查找。

工具箱的使用方法非常庞杂,这里不一一叙述。下面只简单地介绍一些主要工具箱的用途。如果读者在工作中需要用到某个工具箱,可查阅有关资料或随软件附带的说明书。

1. 通信工具箱 (Communications Toolbox)

该工具箱提供 100 多个函数和 150 多个 Simulink 模块用于通信系统的仿真和分析的功能。

2. 控制系统工具箱 (Control System Toolbox)

该工具箱是 MATLAB 最早的工具箱之一,它实现普通的控制系统设计、分析和建模技术。控制系统可作为传输函数式状态空间形式来建模,允许使用经典和现代的技术,可以轻松快速地完成连续系统设计和离散系统设计,进行状态空间和传递函数、模型转换、频域响应、时域响应、根轨迹等方面的计算。

3. 金融工具箱 (Financial Toolbox)

该工具箱是早期的 MATLAB 为了解决工程问题而开发的,但现在它的使用范围逐步扩大,甚至加入了能进行金融分析的工具箱,可以完成诸如成本及利润分析、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、财务报表等方面的工作。

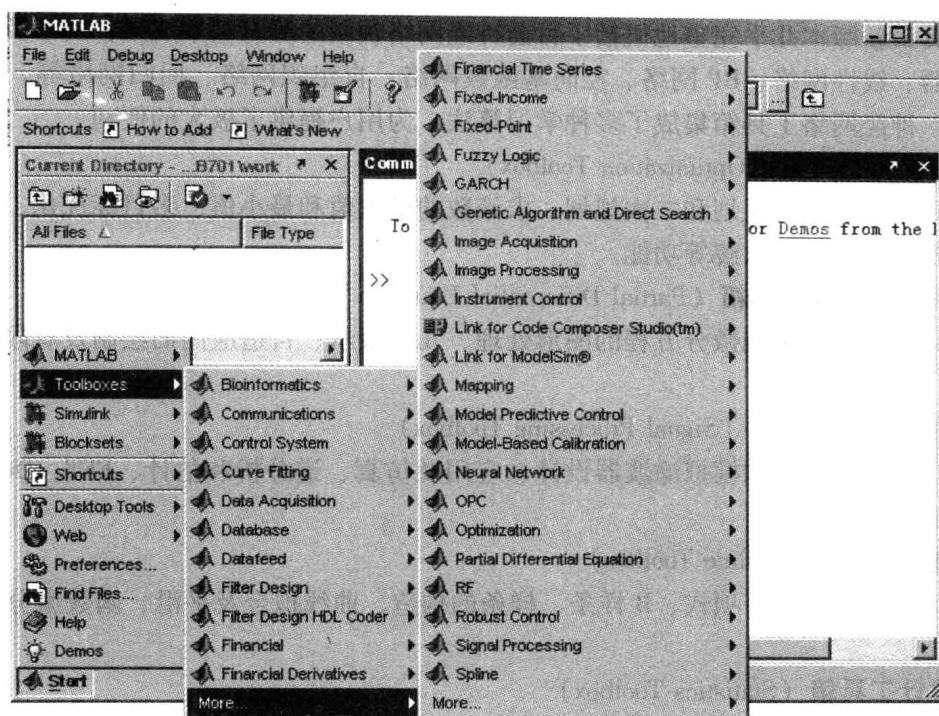


图 1-1 工具箱列表

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

该工具箱提供了辨识具有未知延迟的连续和离散系统、计算相值/相位、零点/极点的置信区间、设计周期激励信号、最小峰值等功能。

5. 模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox)

该工具箱提供了自动控制、信号处理、自适应神经模糊学习等功能，具有良好的交互设计界面，能支持 Simulink 动态仿真。

6. 高级频谱分析工具箱 (Higher-Order Spectral Analysis Toolbox)

该工具箱提供了高级频谱估计、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、谐波重构等方面的功能。

7. 图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox)

该工具箱提供了显示和处理图像数据的功能，具有二维滤波器设计和滤波、图像恢复增强、色彩/集会及形态操作、二维变换、图像分析和统计的功能。

8. 线性矩阵不等式控制工具箱 (LMI Control Toolbox)

该工具箱具有求解 LMI 的基本工具、基于 GUI 的 LMI 编辑器、LMI 问题的有效解法、LMI 问题解决方案等。

9. 模糊预测控制工具箱 (Model Predictive Control Toolbox)

该工具箱具有建模、辨识及验证、支持 MISO 建模和 MIMO 建模、进行阶跃响应和创建状态空间模型的功能。

10. 神经网络工具箱 (Neural Network Toolbox)

该工具箱具有集体运算能力和自适应能力，具有很强的容错性和鲁棒性，善于联想、综合和推广，广泛应用于工程、金融和人工智能等领域。神经网络工具箱以人工神经网络理论

为基础,其最新版本几乎完整地概括了目前神经网络领域的所有基本成果,所涉及的网络模型有感知器、线性网络、BP 网络、径向基函数网络、自组织网络、回归网络等。对于各种网络模型,神经网络工具箱集成了多种学习算法,为用户提供了极大的便利。

11. 最优化工具箱 (Optimization Toolbox)

该工具箱具有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、约束条件下的优化及非线性方程求解等功能。

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

该工具箱提供二阶偏微分方程的图形处理、几何表示、自适应曲面绘制及有限元方法等功能。

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

该工具箱提供数字和模拟滤波器设计、应用及仿真、谱分析和估计、FFT、DCT 等变换及参数化模型。

14. 样条工具箱 (Spline Toolbox)

该工具箱提供分段多项式、B 样条、样条的构造、曲线拟合及平滑、函数微分及积分等功能。

15. 统计工具箱 (Statistics Toolbox)

该工具箱提供描述、推理和图形统计的功能,还包括概率分布和随机数生成、多变量分析、回归分析、主元分析、假设检验等功能。

16. 符号数学工具箱 (Symbolic Math Toolbox)

该工具箱集成了符号的多种精密计算,可完成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,图形化函数计算器等方面的工作。

17. 小波工具箱 (Wavelet Toolbox)

该工具箱将这些理论进行集成,可完成基于小波的分析 and 综合、图形界面和命令行接口、小波变换及小波包、一维/二维小波、自适应去噪和压缩方面的工作。

18. 其他工具箱

除了以上工具箱以外, MATLAB 针对不同的应用,还有其他的一些工具箱,如地图工具箱 (Mapping Toolbox)、鲁棒控制工具箱 (Robust Control Toolbox) 等,这些工具箱共同提供了一个完整的解决方案,基本囊括了科研计算的方方面面。更为方便的是,除了 MATLAB 本身所提供的工具箱以外,许多其他的公司和个人也发布了各种各样的工具箱程序,甚至用户本身也可以根据需要开发自己的工具箱。

1.2 MATLAB 运行界面

启动 MATLAB 时,首先就能看到 MATLAB 的运行界面,它由管理文件、变量和有关应用程序的几个工具组成。第一次启动 MATLAB 时,运行界面如图 1-2 所示。用户可以根据需要改变运行界面的外观,包括移动、缩放和关闭工具窗口等。

MATLAB 运行界面包括的运行界面工具见表 1-1,在默认情况下,它们中有一些不显示。如果喜欢命令运行方式,可以用等价的函数完成运行界面工具可以完成的任务。

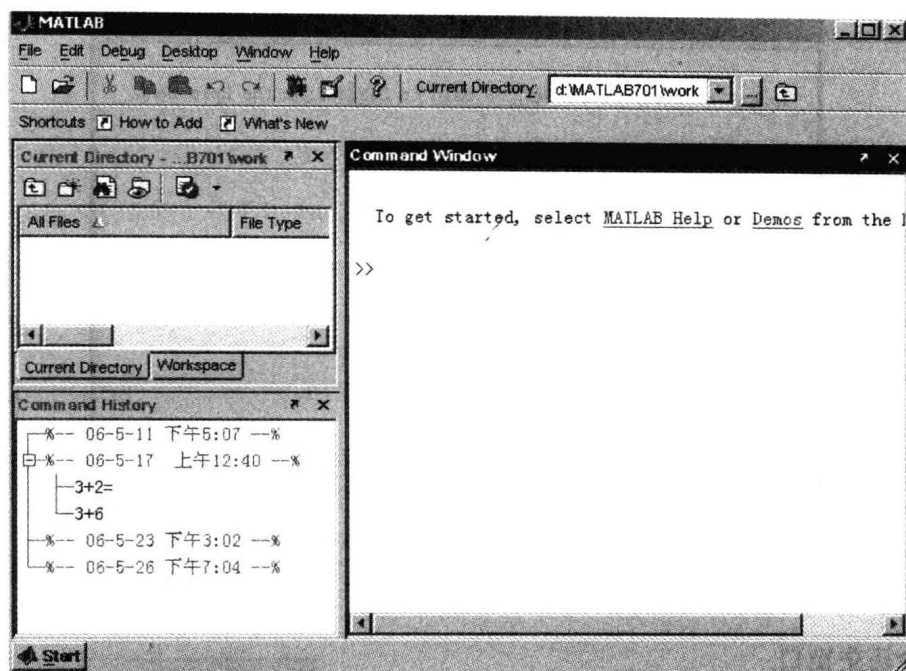


图 1-2 运行界面

表 1-1 MATLAB 的运行界面工具

运行界面工具	描 述
数组编辑器	查看表格形式的数组内容并编辑数组的值
命令窗口	运行 MATLAB 函数
命令历史窗口	显示命令窗口中输入的命令，可以从该窗口中复制和运行命令
当前路径浏览器	查看文件，进行打开、查找和管理等操作
编辑器/调试器	创建、编辑和调试 M 文件（包含 MATLAB 函数的文件）
图形窗口	创建、修改、查看和打印 MATLAB 图形
帮助浏览器	查看和搜索所有 MathWorks 产品的文档
Profiler 窗口	用图形界面改进 M 文件的运行
启动按钮	运行工具和获取所有 MathWorks 产品的文档，并创建和使用 MATLAB 快捷方式
Web 浏览器	查看 HTML 和 MATLAB 相关的信息
工作空间浏览器	查看和改变工作空间中的内容

1.2.1 MATLAB 基本窗口

1. 命令窗口

在默认设置下，命令窗口（图 1-3）自动显示在 MATLAB 界面中，用户也可以选择 Desktop/Command Window 命令调出或隐藏该命令窗口。如果只想调出命令窗口，也可以选择 Desktop/Desktop Layout / Command Window Only 命令。MATLAB 用户界面的右侧窗口即为命令窗口。

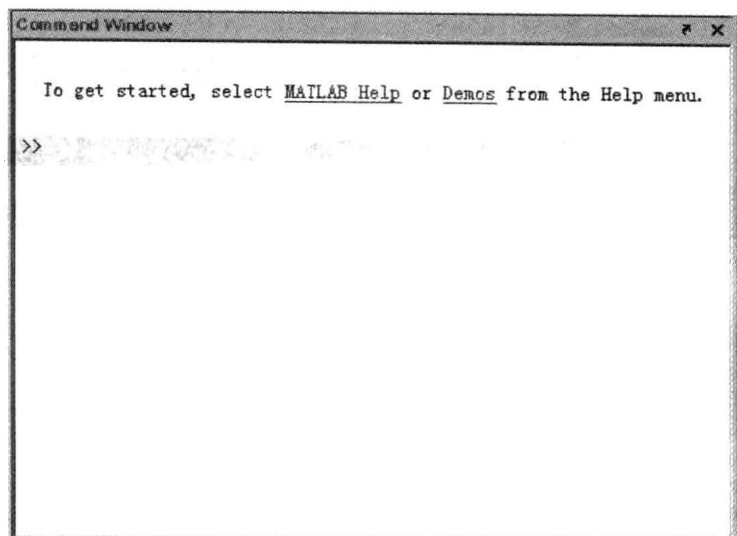


图 1-3 命令窗口

2. 命令历史窗口

在默认状态下，命令历史窗口（图 1-4）自动显示在 MATLAB 界面中，用户也可以选择 Desktop/Command History 命令调出或隐藏该窗口。该窗口显示了在命令窗口中所输入的每一条命令的历史记录，并标明其使用时间，以方便用户查找。如果用户需要再次执行已执行过的命令，只需在命令历史窗口中双击该命令。如果需从命令历史窗口中删除某条记录，只需选中该命令，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Delete Selection 命令。

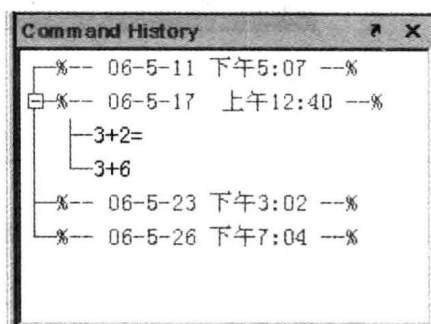


图 1-4 命令历史窗口

3. 工作间管理窗口

在默认状态下，工作间管理窗口（图 1-5）自动显示在 MATLAB 界面中，用户也可以选择 Desktop/Workspace 命令调出或隐藏该窗口。工作间管理窗口是 MATLAB 的重要组成部分，用来显示当前计算机内存中 MATLAB 变量的名称、数学结构、字节数及类型。在 MATLAB 中，不同的变量类型对应不同的变量名图标。

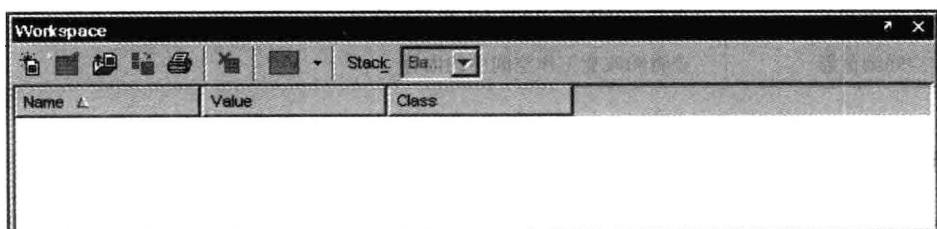


图 1-5 工作间管理窗口

4. 当前路径窗口

在默认设置下，当前路径窗口（图 1-6）自动显示在 MATLAB 界面中，用户也可以选择 Desktop \ Current Directory 命令调出或隐藏该窗口。

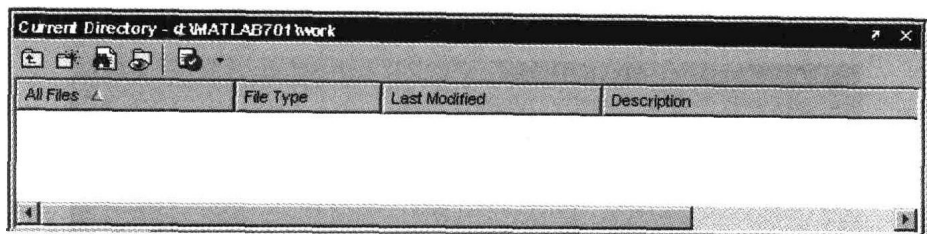


图 1-6 当前路径窗口

1.2.2 MATLAB M 文件窗口

M 文件是 MATLAB 中功能语句的集合。使用 M 文件，可以以程序的形式重复处理数据，从而提高工作效率。在 MATLAB 主界面的工具栏中单击按钮, 即可打开 M 文件窗口 (图 1-7)。

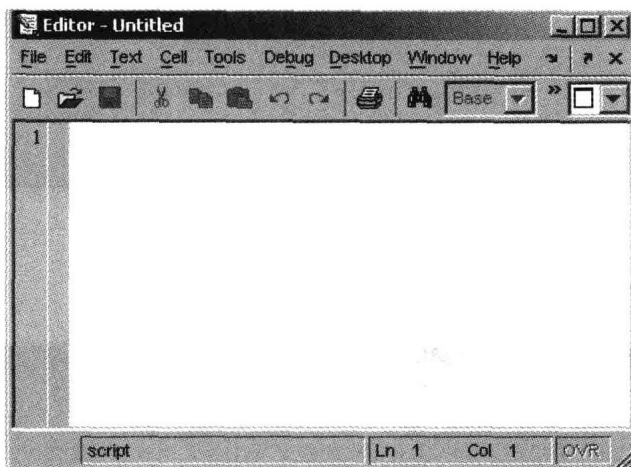


图 1-7 M 文件窗口

1.2.3 MATLAB 图形处理窗口

图形处理窗口用来显示 MATLAB 所绘制的图形，这些图形既可以是二维图形，也可以是三维图形。用户可以选择 File|New|Figure 命令进入图形处理窗口 (图 1-8)。

下面用 MATLAB 绘制一个简单的二维图形。在命令窗口中输入如下命令语句：

```
>>x=0:0.1:10;
>>y=sin(x)
>>plot(x,y)
>>
```

最后按 Enter 键确认输入，此时系统会自动弹出图形窗口。如图 1-9 所示，MATLAB 的 Figure1 窗口中显示了一条正弦曲线，其自变量设定为 0~10。

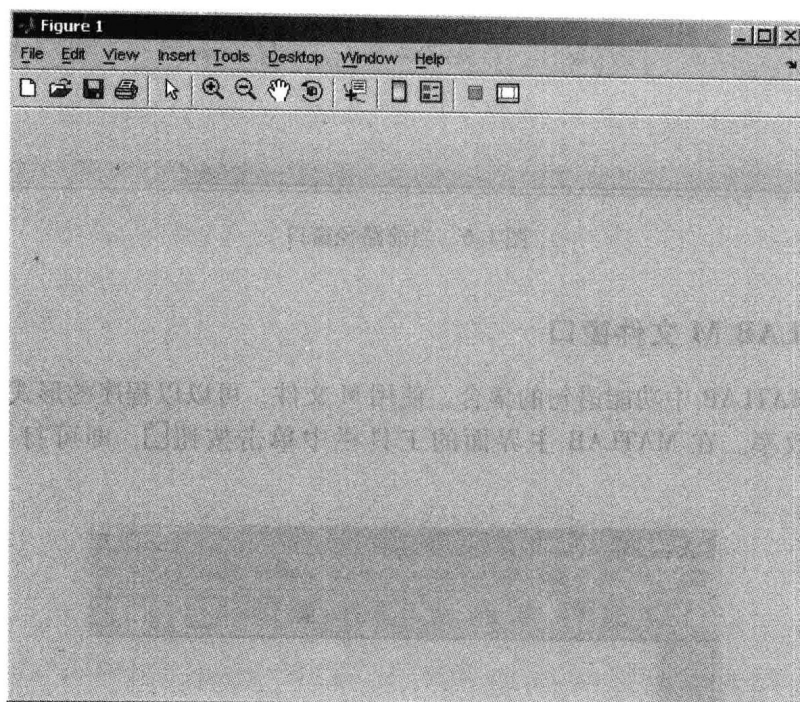


图 1-8 图形处理窗口

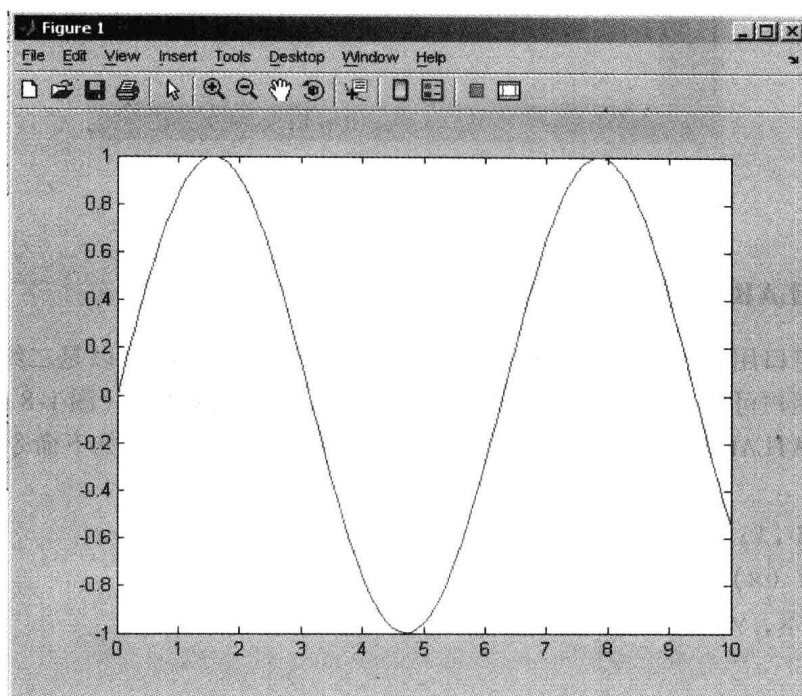


图 1-9 正弦曲线

1.3 数组操作

数值数组和数组运算是 MATLAB 的基础和核心内容。数组是指由一组实数或复数排成的长方阵列。它可以是一维的“行”或“列”，可以是二维的“矩阵”，也可以是三维的“若干同维矩形的堆叠”，甚至可以是更高的任意维数组（本书只涉及一维和二维数组）。

1.3.1 数组的创建

在 MATLAB 中创建一维和二维数组，常用逐个元素输入法、冒号法、调用函数法、利用 M 文件法等。

1. 逐个元素输入法

【例 1-1】生成二维数组 a ， $a = [1\ 2\ 3; 4\ 5\ 6; 7\ 8\ 9]$ 。

【程序代码】

```
a = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]
```

【运行结果】

```
a =
     1     2     3
     4     5     6
     7     8     9
```

2. 冒号法

【调用格式】

$x = \text{初始量} : \text{步长} : \text{终止量}$

【例 1-2】生成一维数组 x ， $x = [1, 2, 3, 4, 5, 6]$ 。

【程序代码】

```
x = 1 : 1 : 6
```

【运行结果】

```
x =
     1     2     3     4     5     6
```

3. 调用函数法

```
y = linspace (a, b)
```

```
y = linspace (a, b, n)
```

其中， a 为初始量； b 为终止量； n 为数组元素个数。它与冒号法类似，但是可以直接控制数组元素个数。类似函数还有：

```
y = logspace (a, b)
```

```
y = logspace (a, b, n)
```

```
y = logspace (a, pi)
```

其中， $\text{logspace}(a, b, n)$ 表示在 10^a 和 10^b 之间插入 $n-2$ 个元素，生成一个含有 n 个元素的数组； $\text{logspace}(a, \pi)$ 表示在 10^a 和 π 之间插入 $n-2$ 个元素。在信号处理过程中，当频率在这一区间间隔取值时，这个函数非常有用。

4. 利用 M 文件创建数组

对于经常需要调用的数组，尤其比较大而复杂的数组，可以专门建立一个 M 文件，它以“.m”为扩展名存储。在 MATLAB 的指令窗口就可以直接打开和运行该文件。M 文件的编辑和使用在后面的章节中有详细介绍。

1.3.2 数组操作函数

1. 一维数组的调用

【调用格式】

$$x(n); x(n1:n2)$$

$x(n)$ 表示调用数组中的第 n 个元素； $x(n1:n2)$ 表示调用数组中的第 n_1 至第 n_2 个元素。

2. 二维数组的调用

【调用格式】

$$x(m,:); x(:,n); x(m,n1:n2)$$

$x(m,:)$ 表示调用二维数组中的第 m 行元素； $x(:,n)$ 表示调用二维数组中的第 n 列元素。

3. 常用数学函数

MATLAB 有相当完整的数学函数，支持复数运算。有些函数通用于数组或矩阵，计算一维数组（向量）的常用数学函数见表 1-2。若输入的是二维数组（矩阵），这些函数将它看做是列向量的集合。一些计算二维数组（矩阵）的常用函数将在 1.3.3 节中介绍。

【例 1-3】 二维数组 $x = [1, 2, 3; 4, 5, 6; 7, 8, 9]$ ，求数组各列向量的乘积。

【程序代码】

```
x = [1,2,3;4,5,6;7,8,9]
```

```
y = prod(x)
```

【运行结果】

```
y =
    28    80   162
```

表 1-2 计算一维数组（向量）的常用数学函数

函 数	功 能
min (x)	向量 x 的元素的最小值
max (x)	向量 x 的元素的最大值
mean (x)	向量 x 的元素的平均值
median (x)	向量 x 的元素的中位数
std (x)	向量 x 的元素的标准差
sort (x)	对向量 x 的元素进行排序
length (x)	向量 x 的元素个数
prod (x)	向量 x 的元素总乘积
dot (x, y)	向量 x 和 y 的内积
cross (x, y)	向量 x 和 y 的外积

1.3.3 数组的运算

1. 算术运算

MATLAB 语言中的算术运算符见表 1-3。

表 1-3 MATLAB 语言中的算术运算符

运算符	意 义
+	算术加
-	算术减
*	算术乘
.*	点乘
^	算术乘方
.^	点乘方
\	算术左除
.\	点左除
/	算术右除
./	点右除

其中，数组加、减、乘、乘方与传统意义的用法基本相同，而点乘、点乘方等点运算是针对对应元素进行数值运算，点运算要求参与运算的变量在结构上必须是相似的。除法运算较为复杂，算术左除与算术右除也不同，算术右除与传统除法相同，即 $a/b = a \div b$ ；而算术左除恰好与之相反，为 $a/b = b \div a$ 。

2. 关系运算

MATLAB 语言中的关系运算符见表 1-4。

表 1-4 MATLAB 语言中的关系运算符

运算符	意 义
==	等于
~=	不等于
>	大于
>=	大于等于
<	小于
<=	小于等于

关系运算符主要对数组与数、数组与数组进行比较，返回二者的关系值 0 和 1，分别表示不满足和满足指定关系。

【例 1-4】二维数组 $x = [1, 2, 3; 2, 4, 6; 3, 6, 9]$ ，求数组中等于 2 的元素个数。

【程序代码】

```
x = [1,2,3;2,4,6;3,6,9]
y = x == 2
n = sum(sum(y))
```

【运行结果】

```
x =
     1     2     3
     2     4     6
     3     6     9

Y =
     0     1     0
     1     0     0
     0     0     0

n = 2
```

3. 逻辑运算

MATLAB 语言中的逻辑运算符见表 1-5。

表 1-5 MATLAB 语言中的逻辑运算符

运算符	意 义
&	逻辑与
	逻辑或
~	逻辑非
xor	逻辑异或

在 MATLAB 语言中进行逻辑判断时，所有非零数值均被认为是真，零为假。在算术、关系、逻辑三种运算中，算术运算符优先级最高，关系运算符其次，逻辑运算符最低。逻辑运算符中“与”和“或”有相同的优先级，都低于“非”的优先级。对两个逻辑数组 a 和 b 进行逻辑运算时，其规则见表 1-6。

表 1-6 MATLAB 语言中的逻辑运算规则

输入		与	或	异或	非
a	b	a&b	a b	xor (a, b)	~a
0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0

1.3.4 MATLAB 控制流

在 MATLAB 语言中，程序员可以选择程序控制流的结构来控制执行次序。该语言提供了 for 循环结构、while 循环结构、if 分支结构和 switch 开关结构等。

1. for 循环结构

【调用格式】

```
for (循环控制变量 = 初始量: 步长: 终止量)
    循环体
end
```

命令中 for 和 end 必须小写，循环控制变量可以是数组，循环次数为数组的列数。

【例 1-5】举例说明 for 循环语句的使用方法。

【程序代码】

```
for (i = 1:3)
    for(j = 1:5)
        A(i,j) = 25
    end
end
```

【运行结果】

```
A =
    25    25    25    25    25
    25    25    25    25    25
    25    25    25    25    25
```

2. while 循环结构

【调用格式】

```
while (循环判断语句)
    循环体
end
```

循环判断语句是逻辑判断表达式。while 循环语句与 for 循环语句的使用方法类似，但一般适用于已知循环运算目标而循环次数未知的问题。

3. if 分支结构

【调用格式】

```
if (逻辑判断语句)
    逻辑判断语句为“真”时执行的语句
else
    逻辑判断语句为“假”时执行的语句
end
```

【简化格式】

```
if (逻辑判断语句)
    逻辑判断语句为“真”时执行的语句
end
```

【嵌套格式】

```
if (逻辑判断语句 1)
    逻辑判断语句 1 为“真”时执行的语句
else if (逻辑判断语句 2)
    逻辑判断语句 2 为“真”时执行的语句
else if (逻辑判断语句 3)
    逻辑判断语句 3 为“真”时执行的语句
.....
```