

高等学校教材

电路与系统分析

——使用 MATLAB

赵录怀 杨育霞 张 震

高等教育出版社

内容简介

本书介绍使用 MATLAB 进行电路、信号与系统的分析,主要内容有三篇:学用 MATLAB 电路分析、信号与系统分析。第一篇为 MATLAB 语言的基础知识,介绍 MATLAB 数值计算、程序设计、符号运算及图形绘制方面的功能和指令。第二篇为 MATLAB 在电路分析中的应用,按电路分析的三大基本内容分章:电阻电路、动态电路的时域分析、频域分析。本篇除介绍使用 MATLAB 进行电路分析的基本方法外,还给出了作者自编的通用符号电路分析程序 sana.m,它使线性电路的分析问题变得十分简单。第三篇主要配合高等教育出版社出版、赵录怀等编的《信号与系统分析》教材编写,共七章:信号的可视化、LTI 系统的时域数值分析、拉普拉斯变换、z 变换、连续时间信号与系统的傅里叶分析、离散时间信号与系统的傅里叶分析、模拟与数字滤波器。书后还给出了一个例题索引。

本书紧扣“电路”、“信号与系统”课程的内容,逐一介绍有关函数,其内容易懂、易学、易掌握。

本书可作为“电路”、“信号与系统”课程的辅助教材使用,也可供有关教师在教学、制作电子教案时参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与系统分析——使用 MATLAB 赵录怀,杨育霞,张震. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7 - 04 - 014537 - 5

.电... . 赵... 杨... 张... . 电路
分析 - 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB 信号系统 -
系统分析 - 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB
. TM133 - 33 TN911.6 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004)第 047474 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	787 × 960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	20.25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	360 000	定 价	23.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

策划编辑 刘激扬
责任编辑 曲文利
封面设计 李卫青
责任绘图 郝 林
版式设计 范晓红
责任校对 杨凤玲
责任印制

前言

MATLAB 是英文 MATrix LABoratory 的缩写,意为矩阵实验室,其产生的最初目的是为了使得计算机上的矩阵运算更加便利。MATLAB 采用的计算表达式几乎与其数学表达式相同,它把看起来相当繁琐复杂的矩阵运算和复数运算变得简单得令人难以置信,而且还能十分容易地绘制各种精美的图形。当今, MATLAB 软件在工业中的应用越来越广泛,已成为必不可少的科研和教学工具。

目前,国内已出版了不少有关 MATLAB 的书籍,而结合某一课程学习的并不多见。“电路”和“信号与系统”是电类本科生重要的专业基础课,而电路、信号与系统的分析问题最终可归结为有关数学模型的求解,其内容涉及代数方程、微分方程、复数运算、矩阵运算、傅里叶变换、拉普拉斯变换、z 变换等的数值计算和符号计算问题,而且需要大量的时域和频域的绘图工作。学生在学习这两门课程时曾抱怨把相当多的精力用在了数学计算上。在国外新近出版的一些“电路”和“信号与系统”教材中,将 MATLAB 作为一种解题的辅助工具,这无疑对学生学习这两门课程是非常有益的。

编写本书的指导思想是把本书作为“电路”和“信号与系统”这两门课程的辅助教材,学生可以结合本书提供的 MATLAB 方法求解习题,绘制曲线,把繁琐的数学计算变成轻松愉快的事情。不仅如此,学生如果能够恰当地运用 MATLAB 对一些疑点和难点问题进行分析,则有助于理清解题的思路和方法,巩固基本概念。此外,学生通过 MATLAB 的入门学习,还可掌握一种实用的工程分析工具,为今后在毕业设计和科学研究中用 MATLAB 编写自己的计算机程序打下一个良好的基础。

本书分为三篇：

第一篇学用 MATLAB 简明扼要地介绍了 MATLAB 的基本功能,共有五章: MATLAB 简介、MATLAB 的数值计算、MATLAB 程序设计、MATLAB 的符号运算、MATLAB 的可视化功能。为了配合“电路”和“信号与系统”课程,本篇对与课程有关的常用函数、程序设计和可视化图形等内容作了比较详细地说明和举例。

第二篇电路分析,按“电路”课程的三大基本内容分为三章:电阻电路、动态电路的时域分析、频域分析。本篇内容除介绍使用 MATLAB 进行电路分析的基本方法外,还简要介绍了电路的一些计算方法,并提供了一个作者自编的符号线性电路分析程序 `sana.m`,该程序具有极其简单的输入数据格式,几乎可以求解本科“电路”课程教材中线性电路部分的所有题目。使用该程序,学生不会困惑于数值和方程的求解,从而有更多的精力关注基本概念和分析方法。对在“电路”课程中学习拉普拉斯变换内容的读者,可参看第三篇第十一章。本篇内容可配合任一“电路”课程教材使用。

第三篇信号与系统分析,按高等教育出版社出版、赵录怀等编的《信号与系统分析》教材分章。第九章介绍用 MATLAB 实现信号的可视化,第十章介绍 LTI 系统的时域数值分析,第十一章为拉普拉斯变换,第十二章为 z 变换,第十三章为连续时间信号与系统的傅里叶分析,第十四章为离散时间信号与系统的傅里叶分析,第十五章介绍模拟与数字滤波器的设计。本篇用 MATLAB 作为信号分析的工具,紧扣相关内容,逐一列出函数和举例。

本书由赵录怀负责修改和定稿,并编写第二篇及第三篇的十、十一、十二章,杨育霞编写第一篇及第三篇的第九章,张震编写第三篇的十三、十四、十五章。

清华大学应启珩教授审阅了书稿,提出了非常宝贵的修改意见,作者对他在信号与系统及其仿真方面的造诣深表佩服,在此表示由衷的感谢。

限于作者水平,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

赵录怀 杨育霞 张震
2004年元旦

目录

第一篇 学用 MATLAB

第一章	MATLAB 简介	3
1.1	MATLAB特点.....	3
1.2	MATLAB 6.x的集成环境	4
1.3	MATLAB管理指令	9
1.4	MATLAB帮助系统	10
第二章	MATLAB 的数值计算	13
2.1	MATLAB的变量与表达式	13
2.2	矩阵的创建与保存	19
2.3	MATLAB常用的矩阵运算函数	24
2.4	关系运算与逻辑运算	29
2.5	多项式及其运算	32
第三章	MATLAB 程序设计	36
3.1	M 文件	36
3.2	程序流程控制	39
第四章	MATLAB 的符号运算	47
4.1	符号表达式和符号矩阵的创建	47
4.2	符号表达式和符号矩阵的运算	50

4.3 符号表达式的化简和展开	55
4.4 方程求解	57
第五章 MATLAB的可视化功能	60
5.1 二维图形的绘制	60
5.2 二维图形的修饰	67
5.3 三维图形的绘制	77

第二篇 电路分析

第六章 电阻电路	85
6.1 电阻电路的方程及求解	85
6.2 建立结点方程的计算机方法	90
6.3 符号电路分析程序 sana	97
6.4 电阻电路分析举例	102
第七章 动态电路的时域分析	110
7.1 一阶电路	111
7.2 时域符号分析的一般方法	116
7.3 初值常微分方程问题的数值求解	119
7.4 微分方程计算函数的属性设置	126
7.5 离散时间电路模型	130
第八章 频域分析	139
8.1 相量方程及其求解	139
8.2 电路的正弦分析	146
8.3 频率响应	151
8.4 频域符号分析	157

第三篇 信号与系统分析

第九章 信号的可视化	167
9.1 连续时间信号的可视化	167
9.2 离散时间信号的可视化	175
9.3 连续时间信号的自变量变换及运算	177
9.4 离散时间信号的自变量变换及运算	181
第十章 LTI系统的时域数值分析	186
10.1 连续时间系统的时域分析	186

目 录

10.2	离散时间系统的时域分析	190
10.3	卷积求和	194
10.4	数值卷积	197
10.5	系统的状态空间分析	198
第十一章	拉普拉斯变换	204
11.1	拉普拉斯变换	204
11.2	系统模型	211
11.3	系统函数的极零点图	215
11.4	频率响应	218
11.5	系统的互联	222
11.6	复频域电路分析	224
第十二章	z 变换	231
12.1	z 变换.....	231
12.2	差分方程的 z 变换求解	240
12.3	系统模型	242
12.4	频率响应	247
第十三章	连续时间信号与系统的傅里叶分析	250
13.1	傅里叶级数	250
13.2	傅里叶变换	255
13.3	傅里叶变换的性质	257
13.4	连续时间系统的频域分析	263
13.5	傅里叶变换与拉普拉斯变换的关系	267
第十四章	离散时间信号与系统的傅里叶分析	270
14.1	离散傅里叶变换	270
14.2	离散傅里叶变换的快速算法	272
14.3	离散傅里叶变换在信号频谱分析中的应用	273
14.4	DFT在卷积计算中的应用	280
第十五章	模拟与数字滤波器	284
15.1	模拟低通滤波器的设计	285
15.2	模拟滤波器的频率变换	290
15.3	滤波器的最小阶次估计	294
15.4	IIR滤波器的设计.....	296
15.5	MATLAB标准滤波器的设计	299
15.6	FIR滤波器的设计	301
附录	例题索引	309
参考书目	314

第一篇

学用 M A T L A B

第一章 MATLAB 简介

MATLAB 语言是一种广泛应用于工程计算及数值分析领域的新型高级语言,其顶尖的数值计算功能、强大的图形可视化功能、简洁易学的便笺式的编程语言、可交互的集成环境,深受工程技术人员的欢迎。本章介绍 MATLAB 6.x 的集成环境、管理指令和帮助系统。

1.1 MATLAB 特点

1. 数值计算功能

在当前的科学计算中,几乎无处不用矩阵运算,而 MATLAB 具有丰富的矩阵运算函数和简单的指令格式。

在 MATLAB 中,每个数值元素都视为复数,而且只有双精度(64位)一种数据格式,省去多种数据格式的设置,虽然在运行速度和内存消耗方面付出了代价,却使 MATLAB 的编程大大简化,这正是 MATLAB 的主要目标。虽然数据格式只有一种,但为了人机交互的方便,输出显示格式有 10 种。

MATLAB 的数值计算基本功能包括:矩阵运算、多项式和有理分式计算、数据统计分析以及数值积分等。

2. 符号计算功能

在实际应用中,除了数值计算外,还需要得到方程的解析解、简化和展开多项式和函数表达式、求解函数值等,所有这些均属于符号计算的领域。利用符号计算功能,可以直接进行公式的推导,求出方程的解析表达式。

3. 便笺式的编程语言

与 Fortran 和 C 等高级语言相比,MATLAB 的语法规则更简单,更贴近人的思维方式和表达习惯,使得编写程序就像在便笺上列公式和演算一样。

MATLAB 的表达式与数学、工程计算中常用的形式十分相似。在 MATLAB 中,若 A 为二维矩阵, b 和 x 是向量,矩阵 A 与 x 相乘被写成 $A * x$;如果给出方程 $A * x = b$,需要求解 x ,只需键入 $x = A \setminus b$ 或 $x = b / A$ 即可。由此可见,MATLAB

的语言规则与科技人员的书写习惯相近,易写易读易交流,不需强记编程规则。此外,矩阵的行列数也无需事先定义。

4. 强大而简易的作图功能

能根据输入数据自动确定坐标绘图。可绘制连续曲线、离散曲线、直方图、阶梯图和枝干图等。

可使用多种坐标系,例如直角坐标系、极坐标系、对数及半对数坐标系等。

能绘制三维坐标系的曲线、曲面和等高线,还可绘制四维图形。而且通常只需一条指令。例如,如果 a 是一个矩阵,则只需键入 `pbt(a)` 即可。

可在一个坐标系下绘制多条曲线,也可在一个图形窗口内绘制若干个独立的坐标系图形。

可分别用编程方式和交互方式对图形进行修饰,例如设置颜色、线型、加文字标注、三维图形的视角等。

5. 高智能化

绘图时自动选择最佳坐标,大大方便了用户。

作数值积分时按精度要求自动选择积分步长。

自动检测和显示程序错误,减轻编程和调试的工作量。

6. 丰富实用的工具箱

MATLAB 软件包括基本部分和专业扩展部分。

基本部分包括矩阵的运算和各种变换、方程求解、数据处理等,可以满足大学理工科类学生的需要。MATLAB 的核心内容在于它的基本部分,所有的工具箱子程序都是用基本部分的语句编写的,电路、信号与系统的分析也如此。

扩展部分称为工具箱。工具箱分为两类:功能性工具箱和学科性工具箱。功能性工具箱主要用来扩充其符号计算功能、可视建模仿真功能及文字处理功能等。学科性工具箱专业性比较强,如控制系统工具箱、信号处理工具箱、神经网络工具箱、最优化工具箱、金融工具箱、小波工具箱等。

1.2 MATLAB 6.x的集成环境

在 Windows 桌面,双击 MATLAB 图标,系统就会进入如图 1-1 所示的 MATLAB 6.x 的工作环境。

MATLAB 6.x 的集成环境由桌面平台以及组件组成。它包含 8 个组成部分:指令窗口、历史指令窗口、工作台及工具箱窗口、当前工作目录窗口、工作空间窗口、矩阵编辑器、程序编辑器和帮助浏览器。

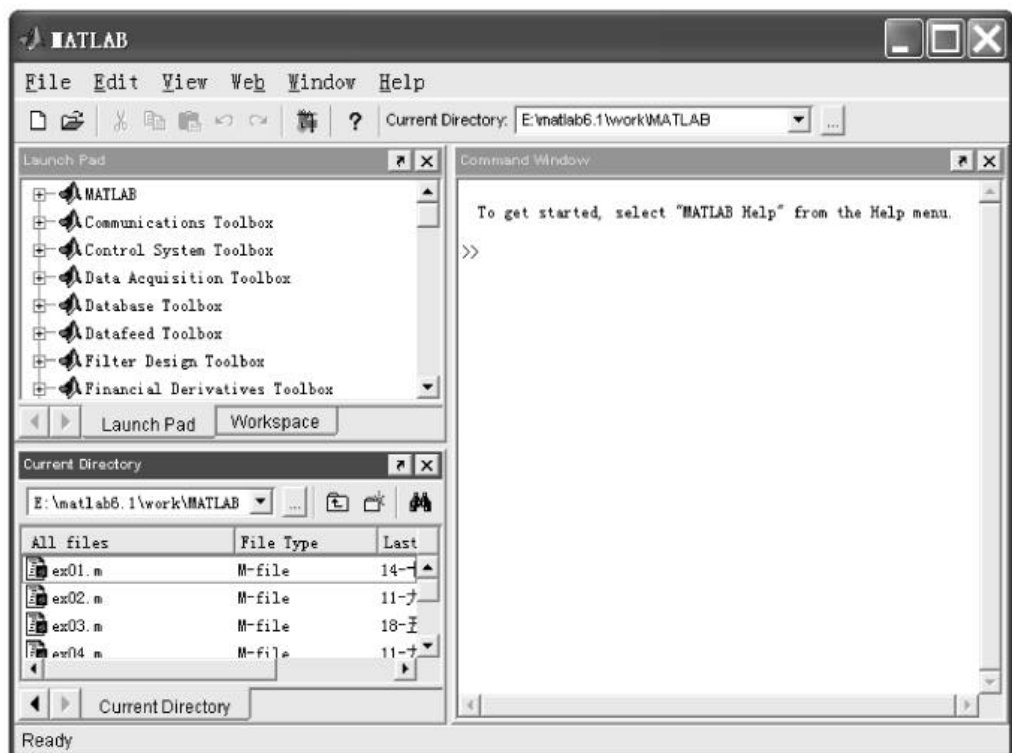


图 1 - 1 MATLAB 6.x的工作环境

1. 指令窗口 (Command Window)

在图 1 - 1 所示的右边空白部分,是 MATLAB 的指令窗口。指令窗口是 MATLAB 极为重要的部分,也是用户使用最频繁的部分。用户的数据输入和运算结果显示,一般都在此窗口中进行。

2. 工作台和工具箱窗口 (Launch Pad)

在图 1 - 1 所示主窗口的左上部是 MATLAB 的工作台及工具箱窗口。在 MATLAB 6.x 的工作台及工具箱窗口中,可以看到已经安装的各种工具箱,双击选中的工具箱或单击前面的“+”号,就能看到工具箱中的各项功能。例如,单击 Symbolic Math Toolbox 前面的“+”号,可以看到这个工具箱中包含 Help Demos 和 Product Page (Web) 三个部分,如图 1 - 2 所示。它们的作用分别如下:

Help:提供在线帮助。

Demos 提供系统演示功能。

Product Page (Web) 提供 Internet 在线支持。

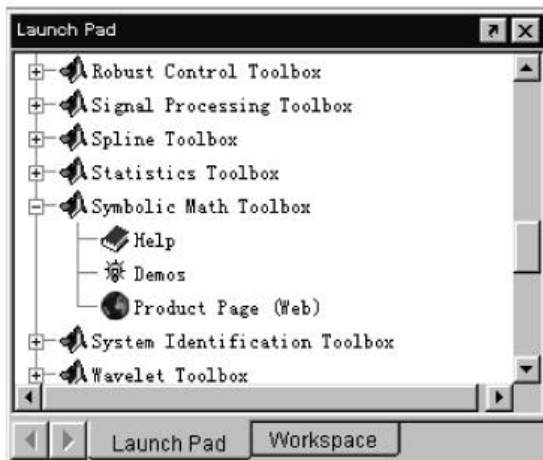


图 1 - 2 工作台和工具箱窗口

3. 工作空间窗口 (Workspace)



MATLAB 主窗口的左上部分可以切换为工作空间窗口 ,如图 1 - 3 所示。



图 1 - 3 工作空间窗口

在工作空间窗口中 ,可以看到 MATLAB 的各个工作变量。其中 a b和 c是用户在指令窗口 (或在程序编辑器窗口)输入并运行的变量 ,ans是一个由系统提供的默认输出变量。

在这里利用上方的一排工具栏提供的按钮 ,可以导入以前曾存入磁盘中的变量 ,也可以对选中的变量进行存盘、修改和删除操作。

需要注意的是,工作空间里的变量只是驻留在内存中,若想将矩阵的数据长期保留下来以备以后使用,就必须使用 MAT文件对矩阵数据进行保存,在需要时再装载到工作空间中。例如,选中矩阵 a后,单击上方的图标 (Save),把它以 MAT后缀文件保存在磁盘中。使用时,单击上方的图标 (Open),再把它装载进来,也可以把它调入当前工作目录窗口中后进行双击操作。

4. 矩阵 (数组)编辑器 (Array Editor)

若要修改工作空间中的变量,只需双击此变量,即可打开图 1 - 4所示的矩阵编辑器窗口。在这里可以改变矩阵的规模和元素的大小及表达式。

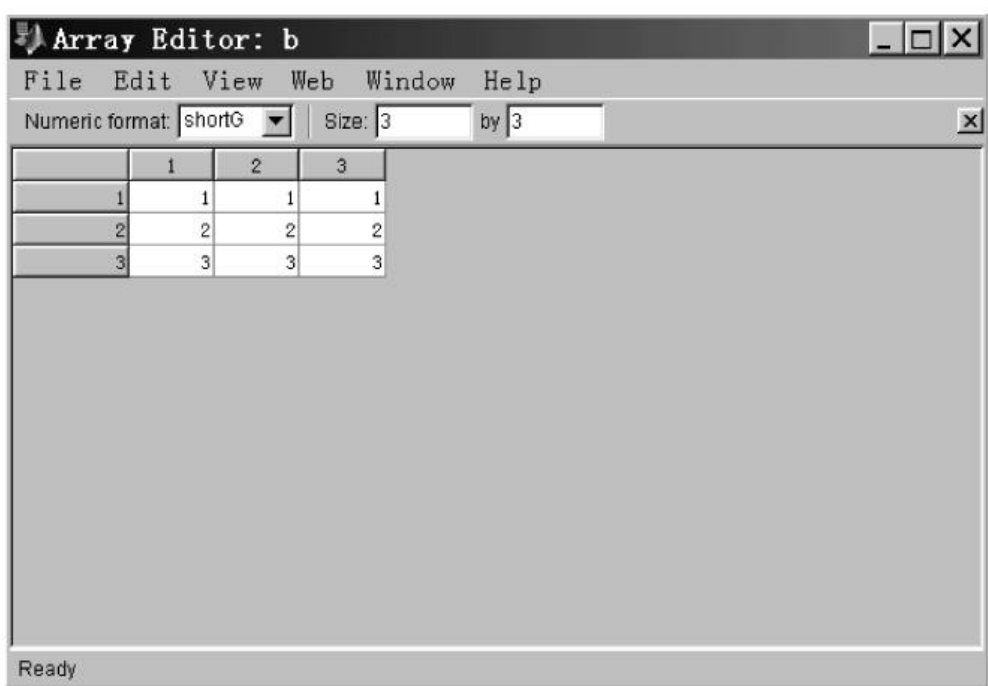


图 1 - 4 矩阵编辑器窗口

5. 当前工作路径下的目录窗口

在图 1 - 1所示的窗口的左下部分是当前工作目录窗口 (Current Directory) 和历史指令窗口 (Command History)。

当前工作目录窗口主要是保存在当前工作路径下的图形文件和指令文件,从图 1 - 1中可以看到,当前的工作路径是 E:\matlab6.1\work\MATLAB。用户可以直接从这里选择要打开和要运行的文件。

6. 历史指令窗口

历史指令窗口主要是保存在指令窗口输入并运行过的指令、表达式等,如图

1-5所示。这里显示的是以前在指令窗口曾输入的内容。必要时,用户可以直接把这些临时指令提取出来,放在指令窗口中使用。



图 1-5 历史指令窗口

7. 程序编辑器

程序编辑器是一个集编辑与调试两种功能于一体的工具环境,如图 1-6 所示。用户可以在这里编辑各种不同功能的 MATLAB 程序——M 文件。

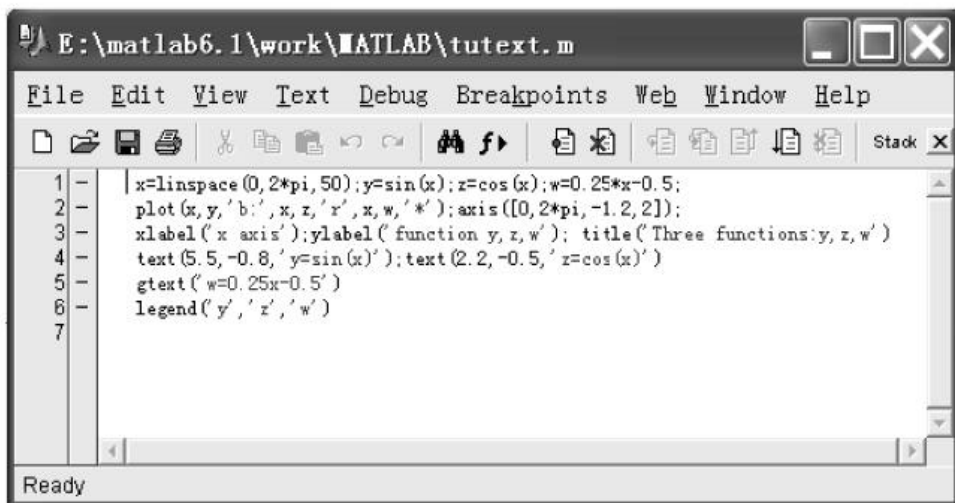


图 1-6 程序编辑器窗口

8. 帮助浏览器

在 View 菜单下选择 Help 项,就会出现帮助浏览器,左边是目录栏,右边是

帮助的内容。所有的帮助信息都可以在该浏览器中显示。而且用户可以对原有的帮助信息编辑取舍或加入自己的注解,形成自己的帮助文件。

MATLAB 6.x把以上 8项组件集成起来,构成桌面系统。而且各组件可以独立地构成视窗,具有自己的菜单和工具条,可以对视窗中的内容进行编辑和存储。

上面各组件视窗根据需要可以放在指令窗口内,也可以脱离指令窗口,还可以不显示,等需要时再打开。让用户使用起来更加方便、灵活。

在默认情形下,MATLAB的工作台、工具箱、工作空间、历史窗口和当前工作目录都排列在指令窗口的左边,以方便用户使用。例如,查看当前的工作变量,显示工作路径等,不需要在指令窗口中输入指令,直接从工作空间和当前目录中就能看到。

在指令窗口中,如果用户要输入与前面相同的一些指令,在没有清除指令窗口变量的情形下,可以通过键盘的上下方向键进行选择,使输入的字数减少。如果已经清除指令窗口变量,用方向键就不行了。但是,现在还可以从历史指令窗口中去选择,找到指令后,拖动鼠标把指令复制到指令窗口,这样操作就很简单了。

此外,如果要打开一个保留在当前工作空间的 M 文件、图形窗口或图形,可以在当前工作目录窗口双击以打开指令窗口。

例如,要对某一个 M 文件进行查看或编辑,可以不在指令窗口中输入指令,也不必从菜单中通过几个选项来打开,只需在当前工作目录窗口直接双击即可。如现在打开一个已经存在的 M 文件 `text.m`,直接双击该文件,就弹出此文件编辑对话框,如图 1-6所示。

1.3 MATLAB管理指令

在指令窗口中,用户可以直接输入和执行指令。常用的窗口通用指令如表 1-1所示。

表 1-1 MATLAB工作窗口中的通用指令

指 令	功 能
<code>clc</code>	擦除指令窗口中显示的所有内容
<code>clf</code>	擦除当前图形窗口的图形
<code>exit</code> 或 <code>quit</code>	关闭并退出 MATLAB

续表

指 令	功 能
pack	整理内存碎片以扩大内存空间
cd	改变当前工作目录
dir	列出当前目录及该目录下的文件及子目录清单
clear	清除内存中的所有变量和函数
disp	在运行中显示变量或文字内容
echo	控制运行文字指令是否显示
hold	控制当前图形窗口对象是否被刷新
type	显示所指定文件的全部内容

在指令窗口中,为了便于对输入的指令和数据内容进行编辑, MATLAB 提供了控制光标位置和进行简单编辑的一些常用操作键和组合键,如表 1-2 所示。

表 1-2 通用操作键

键 名	功 能	键 名	功 能
	前寻式调出已输入过的指令行	Page Up	显示上一页
	后寻式调出已输入过的指令行	Page Down	显示下一页
	光标左移一格	Delete	删除光标右侧字符
	光标右移一格	Backspace	删除光标左侧字符
Home	光标移到当前行首	Esc	清除当前行的所有内容
End	光标移到当前行尾		

1.4 MATLAB 帮助系统

MATLAB 为用户提供了三种帮助功能,用户可以在帮助信息的指导下逐步熟练掌握 MATLAB 的使用方法。

1. 利用帮助菜单获取帮助信息

单击 MATLAB 工作窗口的菜单栏 Help 菜单项,弹出帮助菜单选项。

选择 Help Window 选项,可以打开 MATLAB 的主题窗口。该窗口列出了