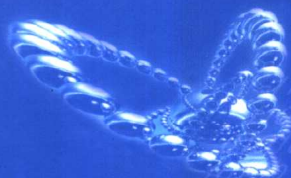
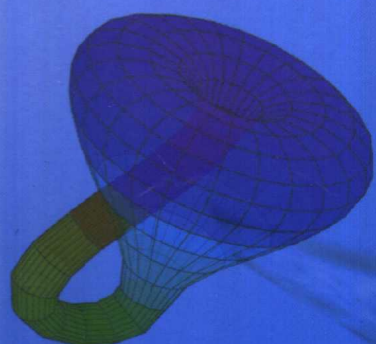


MATLAB基础 及数学软件

阳明盛 熊西文 林建华◎编著



大连理工大学出版社

MATLAB 基础 及数学软件

阳明盛 熊西文 林建华 编著

大连理工大学出版社

© 阳明盛等 2003

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 基础及数学软件 / 阳明盛等编著. —大连: 大连理工大学出版社, 2003.8

ISBN 7-5611-2370-1

I. M… II. 阳… III. 数学—应用软件, Matlab
IV. O245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 027116 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-4708842 传真:0411-4701466 邮购:0411-4707955

E-mail: dulp@mail.dlptt.ln.cn URL: http://www.dulp.com.cn

大连业发印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 14.75 字数: 352 千字

印数: 1 ~ 3 000

2003 年 8 月第 1 版

2003 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 文 青

封面设计: 宋 蕾

责任校对: 孙玉泉

定 价: 24.00 元

前 言

MATLAB 是 Matrix Laboratory 的缩写,意思是矩阵实验室。因为它的编程基本数据单元是不必指定维数的矩阵,从而使矩阵(包括向量等)运算的操作变得十分简单容易。

MATLAB 是 20 世纪 60 年代由美国 Math Works 公司开发研制的软件系统,自 1982 年推出第一个版本以来,经过不断的改进、扩充、完善,到 1994 年提供出比较成熟的 4.2 版本,1997 年以后又相继推出了 5.0~6.0 版本,使得系统的功能更加丰富、完善。

MATLAB 是一个异常庞大的软件系统,它除了包含内容十分丰富的数学软件外,还包括信息工程(例如信息处理、图像处理、小波分析、通信工具等)与控制工程(例如系统识别、系统控制、鲁棒控制、模糊逻辑等)等方面的内容。一般的教材和资料很难对它作全面的系统的介绍,本书的内容也只限制在数学软件方面。

MATLAB 数学软件具有十分突出的优点,因此使它能够成为当今世界上最为优秀的数学软件之一。它的主要优点有:①书写简捷。全部数学内容的 MATLAB 书写与通常的数学书写格式基本一致,尽可能地照顾到人们的书写习惯,很容易为使用者所接受。②内容丰富。包含了应用数学各主要分支的内容,不论是高等院校师生,还是工程技术人员所遇到的一般数学求解问题,在系统中都能找到比较满意的答

案。③功能强大。系统不但能求解常见的一般应用数学问题,对于某些具有一定难度与一定复杂程度的数学问题,例如刚性常微分方程的求解问题、某些偏微分方程的定解问题、某些矩阵的特征值问题,以及某些约束非线性规划的求解问题等,在系统中也能找到相应的答案。④直观生动。由于 MATLAB 具有较强的绘图功能,而且界面友好,使用简单方便,可以充分利用它对低维度($n \leq 2$, n 为问题中自变量的个数)的任何数学问题,以及问题的答案给出几何直观的描述,让使用者对问题做到生动直观的理解。⑤对外开放,易于扩充。用户可以根据自己的需要修改系统中的源文件,或者在系统中添加自编的文件,它们都可像系统中的库函数一样被方便地调用。

由于 MATLAB 的这些优点,因而在世界范围内特别是在发达国家中已广泛流行,目前我国的一些地区和院校也正在使用,但是由于种种原因,在我国的应用尚未普及,有的地方尚不为人所知。其中重要原因之一是缺乏比较理想的入门教材。有鉴于此,本书编著者在认真学习前人经验的基础上,经过一段时间的努力,终于编写出了这本书,并尽早地呈现在读者面前,希望它能既起到“入门教材”的作用,又能起到“计算工具”的作用,希望要达到的最终目的有二:一是帮助读者正确地、充分地使用好系统中各种数学软件,二是帮助读者掌握必要的 MATLAB 编程知识,初步学会编制一些简单的程序。但重点还是放在前者,首先是正确地使用好系统中的软件。

本书的主要任务是介绍 MATLAB 中的数学软件,在内容的组织与编排上非常重视数学内容必要的系统性与连贯性,注意它们之间的逻辑关系,并注意各章之间的相对独立性,以便于用户的阅读和使用。

利用 MATLAB 软件求解数学问题的使用方法十分简单、方便。用户只须按照书中规定的格式,调用相应的求解函数,便可简捷地求出该问题的结果。其中所涉及到的计算方法的选取,源程序的编写,输入参数与输出参数的格式等已全部由系统考虑并处理好,用户不必过问。然而为了能够正确地使用好这些软件,用户需要知道一些相关的数学原理,这还是十分必要的。比如求解你的数学问题的方法大致有哪些?系统中可能采用了什么方法?你所选用的方法的适用范围、限制条件如何等。只有这样才能做到心中有数,减少盲目性。而这也正是一般读者常常感到困难的地方,因此本书有针对性地在一些地方补充了这方面的内容,但由于篇幅的限制,这种补充也只能是十分简要的。

读者在使用本书时不必循序渐进,不必按照书中的章节进行。在读完第一章的预备知识后,即可根据自己的需要,用到什么内容选读什么内容。如果你对那儿介绍的道理一时弄不明白,可以多看例子,把重点放在对例子的模仿与套用。书中配置的例子较多,由浅入深,从易到难,而且都是有针对性而编写的。首先模仿例子求出你的问题的正确结果,等有时间了再作进一步的消化与

理解。

书中第3章矩阵与线性代数计算由熊西文教授编写,第8章概率与数理统计计算由林建华教授编写,其他各章由阳明盛教授编写,书首的前言,书末的附录等也由阳明盛执笔,最后由阳明盛统稿。由于编者水平所限,书中不当之处难免存在,敬请有关专家与广大读者随时批评指正。

联系地址可发电子邮件至 dgfsxx@dlut.edu.cn。

本书在编写过程中曾得到我校钱令希教授(中科院院士)、程耿东校长(中科院院士)多方面的关心和指教。大连市科技局曲晓飞、姜运政同志也给予了热情的支持。我校研究生院的有关领导和同志提供了必要的帮助。在此编者对他们表示衷心的感谢。

编著者

2003年4月于大连

目 录

第1章 MATLAB 基础知识	1
1.1 MATLAB 系统的简单操作	1
1.1.1 进入系统	1
1.1.2 退出系统	2
1.1.3 初识 M 文件与窗口	2
1.2 MATLAB 的图形窗口	5
1.3 MATLAB 的帮助系统	7
1.4 MATLAB 的路径查找	7
1.5 运算符与操作符	7
1.5.1 算术运算符	7
1.5.2 关系运算符	8
1.5.3 逻辑运算符	8
1.5.4 标点及操作符	8
1.6 常量与变量	8
1.6.1 常 量	8
1.6.2 变 量	9
1.7 数值与数组	9
1.7.1 数 值	10
1.7.2 数 组	10
1.8 字符数组(即字符串)	12
1.8.1 字符串的连接	12
1.8.2 字符串的替换	13
1.8.3 字符串的求值	13
1.8.4 数值与字符串之间的转换	13
1.9 函数与表达式	14
1.9.1 数学函数	14
1.9.2 系统运算与操作函数	15
1.9.3 表达式	16
1.10 函数文件与文本文件	16

1.10.1 函数文件(简称函数)	16
1.10.2 文本文件(又称脚本文件或命令式文件)	17
1.10.3 子函数	18
习题一	19
第2章 符号运算	20
2.1 符号对象的生成	20
2.1.1 符号变量的生成	20
2.1.2 符号表达式的生成	21
2.2 符号形式与数值形式之间的转换	21
2.2.1 将符号形式转换为数值形式	22
2.2.2 将数值形式转换为符号形式	22
2.3 符号表达式的变换与化简	22
2.4 复合函数与反函数的运算	24
2.4.1 复合函数	24
2.4.2 反函数	25
2.5 函数的极限、导数与积分	25
2.5.1 函数的极限	25
2.5.2 符号求导	26
2.5.3 不定积分	28
2.5.4 定积分	29
2.6 符号求和与 Taylor 展开	30
2.6.1 符号求和	30
2.6.2 Taylor 展开	31
2.7 方程求根(精确根)	32
2.8 常微分方程的符号解	33
习题二	35
第3章 矩阵与线性代数计算	37
3.1 矩阵的定义	37
3.2 矩阵的生成	37
3.2.1 生成的规则	37
3.2.2 生成的方式	37
3.3 矩阵的取块	41
3.4 矩阵的运算	42
3.4.1 矩阵的行列式与转置阵	42
3.4.2 矩阵的加、减、乘与乘方运算	43
3.4.3 矩阵的求逆与除法运算	45
3.4.4 矩阵的秩与奇异值	46
3.4.5 矩阵的范数与条件数	48

3.5 矩阵的特征值与特征向量	49
3.6 矩阵的分解与广义逆阵	51
3.6.1 广义逆阵	51
3.6.2 LU 分解	53
3.6.3 Cholesky 分解	54
3.6.4 QR 分解	55
3.6.5 奇异值分解	55
3.6.6 Schur 分解	57
3.7 线性方程组求解	58
习题三	61
第4章 图形绘制	63
4.1 曲线与曲面的表示法	63
4.1.1 平面曲线表示法	63
4.1.2 空间曲线表示法	64
4.1.3 曲面表示法	64
4.2 曲线绘制法	64
4.2.1 plot 函数	64
4.2.2 ezplot 函数	68
4.2.3 polar 函数	69
4.2.4 plot3 函数	70
4.3 对曲线的进一步处理	71
4.3.1 平面曲线的标注	71
4.3.2 坐标轴与边框的控制	72
4.3.3 窗口的分割	74
4.4 曲面绘制法	76
4.4.1 曲面绘制函数	76
4.4.2 曲面的放大、缩小、旋转与打印	79
4.4.3 等高线的绘制法	80
4.4.4 等高线及其标注	82
4.4.5 曲面的颜色与光照	86
习题四	90
第5章 函数、导数与定积分等的数值计算	93
5.1 函数值的计算	93
5.2 多项式的计算	94
5.3 导数的数值计算	97
5.4 定积分的数值计算	99
5.5 二重积分的数值计算	100
5.6 非线性方程(组)的数值解	102

5.7 级数的数值和	104
习题五	105
第6章 常微分方程的数值解	107
6.1 将高阶方程转化为一阶方程组	107
6.2 建立相应的函数文件	108
6.3 调用求解函数	108
6.4 应用举例	109
习题六	113
第7章 插值与拟合	115
7.1 一元插值	115
7.2 一元拟合	117
7.3 二元有序点上的插值	119
7.4 二元散乱点上的插值	121
习题七	122
第8章 概率和数理统计	123
8.1 概率分布函数及其密度函数	123
8.1.1 随机变量的概率密度函数	123
8.1.2 应用举例	125
8.1.3 随机变量的分布函数及分位数函数	129
8.1.4 应用举例	130
8.1.5 随机数发生函数	134
8.2 随机变量的数字特征及其样本数字特征	136
8.2.1 随机变量的数学期望、方差、协方差及相关系数	136
8.2.2 样本的数字特征(表 8-4)	139
8.3 参数估计	140
8.4 假设检验	143
8.4.1 参数假设检验	143
8.4.2 非参数假设检验	148
8.4.3 分布拟合检验	154
8.5 线性模型	158
8.5.1 方差分析	158
8.5.2 线性回归分析	161
8.5.3 非线性回归	168
习题八	171
第9章 数学规划求解	174
9.1 数学规划概念简介	174
9.2 线性规划	174
9.2.1 线性规划的基本模型	175

9.2.2 调用格式	175
9.2.3 应用举例	176
9.3 二次规划	178
9.3.1 基本模型	178
9.3.2 调用格式	179
9.3.3 应用举例	179
9.4 无约束非线性规划	180
9.4.1 基本模型	180
9.4.2 调用格式	181
9.4.3 应用举例	182
9.5 有约束非线性规划	184
9.5.1 基本模型	184
9.5.2 调用格式	185
9.5.3 应用举例	185
9.6 极小极大化问题	187
9.6.1 基本模型	187
9.6.2 调用格式	188
9.7 多目标规划	189
9.7.1 基本模型	189
9.7.2 主要方法	190
习题九	192
第 10 章 程序与编程	195
10.1 指定次数重复循环语句	195
10.2 不定次数重复循环语句	196
10.3 条件转移语句	197
10.4 开关切换语句	198
10.5 其他语句	199
10.6 综合举例	200
习题十	204
附录	205
附录 1 常用符号与常数	205
附录 2 常用数学函数	206
附录 3 常用系统操作与运算函数	207
参考文献	224

第 1 章 MATLAB 基础知识

1.1 MATLAB 系统的简单操作

MATLAB 4.0 以上版本都是在 Windows 9x 以上环境支持下操作与运行的,因此,这里必须假定读者对 Windows 有一定的了解和掌握。本书以 Windows 98 环境, MATLAB 5.3 版本为例介绍。

1.1.1 进入系统

要想进入 MATLAB 系统,方法有二:

(1)在 Windows 98 的桌面上双击 MATLAB 快捷图标。

(2)单击 Windows 98 的“开始”按钮,再依次单击:程序/MATLAB/MATLAB 5.3;

以上方法均可进入 MATLAB 的命令窗口,屏幕显示 MATLAB Command Windows(如图 1-1),这个窗口又称工作空间。它是 MATLAB 命令执行的主要场所,也是输入命令和输出结果的地方。在这儿输入的命令将会立即得到执行,并及时将结果在这里输出。因此特别适合一些短小程序的编写与运行,对于比较复杂的程序,则应采用建立 M 文件的编写方法。

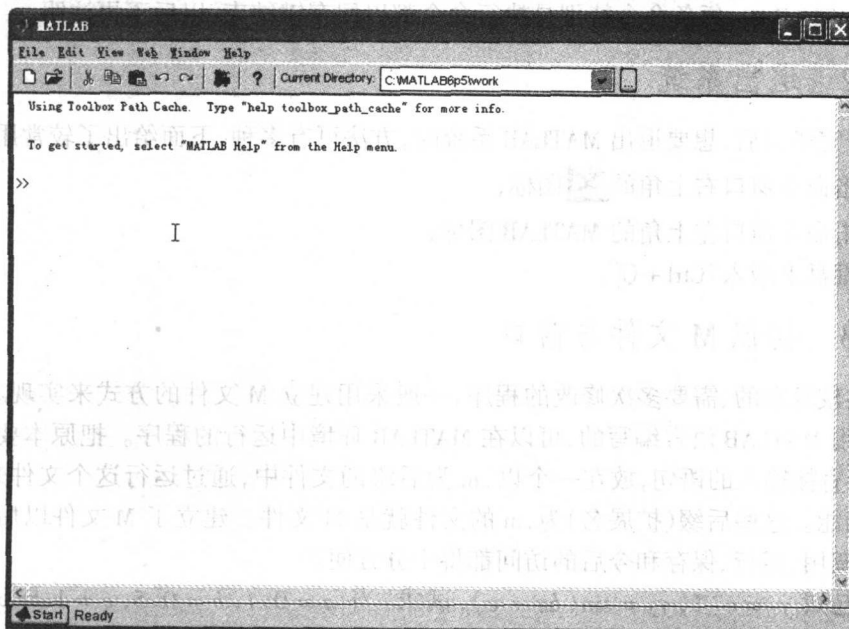


图 1-1

命令窗口中第三行开头不断闪烁的光标“|”是中文 Windows 平台等候输入命令的提示

符(英文 Windows 平台为“>>”),用户可以在光标的右侧开始输入各种命令。

```
例如: a = 5; ↵      % 右端的 ↵ 为回车键 Enter 的代号
      b = 3; ↵      % 敲回车键 ↵ 后,表示已执行 b = 3 语句
      c = a - b ↵    % 敲 ↵ 键后,表示已执行 a - b 并送入 c
      c =            % 在屏幕上显示结果 c = 2
      2
```

式中,“;”为分号,一般用于分隔行,如果用于句末,则表示等待后面的输入,不显示中间结果。

% 为注释或说明符号,可以用在 MATLAB 的任何地方。

又如 $x = [1, 3, 5]; y = [2, 4, 6];$ ↵

```
z = x + y ↵
```

屏幕显示 $z =$ % 二向量 x 与 y 相加后得向量 $z = [3, 7, 11]$

3 7 11

倘若用户对计算结果表达式 $x + y$ 没有设定变量 z ,那么系统将自动把结果赋值给变量 ans ,即有

```
x = [1, 3, 5]; y = [2, 4, 6] ↵
```

```
x + y ↵
```

屏幕显示 $ans =$

3 7 11

这里的变量 ans 是指当前的计算结果。

注 MATLAB 中,每条命令特别是执行命令都以回车键结束,以后不再注明。

1.1.2 退出系统

当工作完毕以后,想要退出 MATLAB 系统时,方法可有多种,下面给出了较常用的三种:

- (1)单击命令窗口右上角的  图标;
- (2)双击命令窗口左上角的 MATLAB 图标;
- (3)从键盘上敲入“Ctrl + Q”。

1.1.3 初识 M 文件与窗口

对于比较复杂的、需要多次修改的程序,一般采用建立 M 文件的方式来实现。所谓 M 文件,就是用 MATLAB 语言编写的,可以在 MATLAB 环境中运行的程序。把原本要在 MATLAB 环境下直接输入的语句,放在一个以 .m 为后缀的文件中,通过运行这个文件来完成原先拟定的功能。这些后缀(扩展名)为 .m 的文件就是 M 文件。建立了 M 文件以后,对于程序的修改、调用、运行、保存和今后的访问都将十分方便。

例如,已知 $y_1 = e^{-ax}$, $y_2 = \sin(bx + c)$,试求:当 $a = 0.1$, $b = 0.5$, $c = 1$ 与 $x = 3$ 时, $y = y_1 \times y_2$ 的函数值。

上述问题自然可以在 M 命令窗口(工作空间、工作窗口)中直接键入

```
a = 0.1; b = 0.5; c = 1; x = 3;
```

```
y1 = exp(-a.*x);
```

```
y2 = sin(b.*x+c);
```

```
y = y1.*y2;
```

```
x,y
```

执行后屏幕显示

```
x = 3
```

```
y = 0.4434
```

如果函数 y_1 与 y_2 中的参数 a, b, c 需要多次改动,同时自变量 x 的值也要不断变动,这时倘若再采用命令窗口输入并直接运行的方式,势必要多次地输入,反复地改动,而且当函数表达式很长、很复杂时,不仅输入十分麻烦,同时还易出错。因此很有必要采用建立 M 文件的方式来处理它。

对于上面例子,可以建立一个 M 文件,文件的名称比如取 ABC1.m,并将它保存到磁盘上,只须每次将 ABC1.m 调出,改动其中的参数 a, b, c 与自变量 x 的值,然后运行就可以了,方法和步骤如下。

1. M 文件的建立与保存

(1) 双击 Windows 桌面 MATLAB 5.3 图标,屏幕显示 MATLAB 工作窗口(如图 1-1)。

(2) 单击工作窗口中 File/New/M-file,屏幕显示一个新的窗口 MATLAB Editor/Debugger - [Untitled1],叫做 MATLAB 的编辑窗口(如图 1-2),它是输入、编辑、调试 M 文件的地方,在这里键入

```
a = 0.09; b = 2; c = -3; x = 1;
```

```
y1 = exp(-a.*x); y2 = sin(b.*x+c);
```

```
y = y1.*y2;
```

```
x,y
```

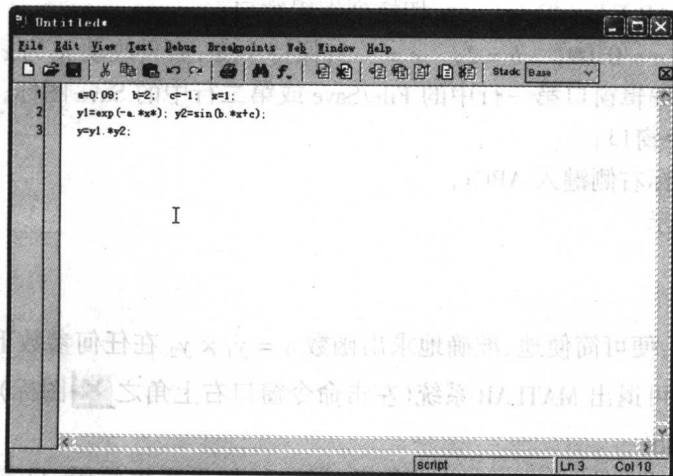


图 1-2

(3) 单击编辑窗口第一行中之 File 菜单,再单击菜单中之 Save As..., 屏幕显示一个“Save file as”对话框(如图 1-3),在对话框中文件名(N)右侧的光标处,键入你所选定的文件名 ABC1.m,需要时还可加上路径。

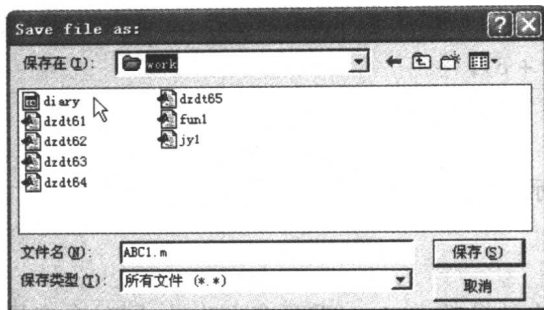


图 1-3

(4)单击右边的“保存(S)”,对话框消失,回到编辑窗口,这样你所希望的名字为 ABC1.m 的 M 文件便已建立好,并保存在磁盘上。

2. M 文件的运行

对于已经建立并保存好的 M 文件 ABC1.m,如果要求出问题的结果,还必须对它运行(或执行),这里需要强调指出的是,M 文件的执行必须在 M 工作(或命令)窗口中进行。而 M 文件的修改、调试与编辑只能在 M 编辑窗口中进行。这两个窗口的图标直接显示在屏幕的最末一行:MATLAB Command Windows 与 MATLAB Editor/Debug...,只须用鼠标左击其中之一,便可快捷地进入到相应的窗口(颜色由暗变亮)。

(1)单击 MATLAB Command Windows 图标,进入命令窗口;

(2)在光标右侧键入 ABC1

执行后屏幕显示

$x = 1$

$y = -0.7690$

3. M 文件的修改与再运行

(1)单击 MATLAB Editor/Debug...,切换到编辑窗口;

(2)修改:例如 $a = 0.09$; $b = 2$; $c = -3$;保持不变,而只改动 x 为 $x = 2$;

(3)存入:单击编辑窗口第一行中的 File/Save 或第二行中的 Save 图标;

(4)切换到命令窗口;

(5)运行:在光标右侧键入 ABC1,

执行后屏幕显示

$x = 2$

$y = 0.7029$

重复以上操作,便可简便地、准确地求出函数 $y = y_1 \times y_2$ 在任何参数下的函数值。当函数值全部求好后便可退出 MATLAB 系统(左击命令窗口右上角之  图标)。

4. M 文件的调出

对于已经存好的文件 ABC1.m,经过若干时间后,如果还想使用,只需从磁盘目录中重新调出即可,操作步骤如下:

(1)进入 MATLAB 命令窗口(双击 Windows 桌面之 MATLAB 5.3 图标);

(2)单击第二行第二个(open file)图标,在命令窗口中屏幕显示一个小的“打开”对话框(如图 1-4);

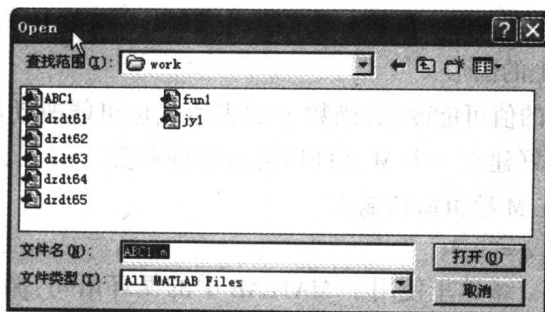


图 1-4

- (3)在“打开”对话框的文件目录中找到 ABC1.m,并左击之(颜色变蓝);
- (4)在“文件名(N)”栏中显示 ABC1.m 后,左击右端的“打开(O)”栏;
- (5)ABC1.m 文件的内容便在编辑窗口里重新显示出来。

1.2 MATLAB 的图形窗口

MATLAB 中的窗口,除上面提到的 M 命令窗口与 M 编辑窗口外,还有 M 图形窗口、当前目录窗口、命令历史窗口、GUI 制作窗口、起始面板等,而最常用的还是 M 命令窗口、编辑窗口与图形窗口。下面需要对图形窗口作一初步介绍。

在 M 命令窗口中单击 File/New/Figure;或在命令窗口中键入 figure;或者执行其他的绘图命令,均可打开一个图形窗口如图 1-5 所示。

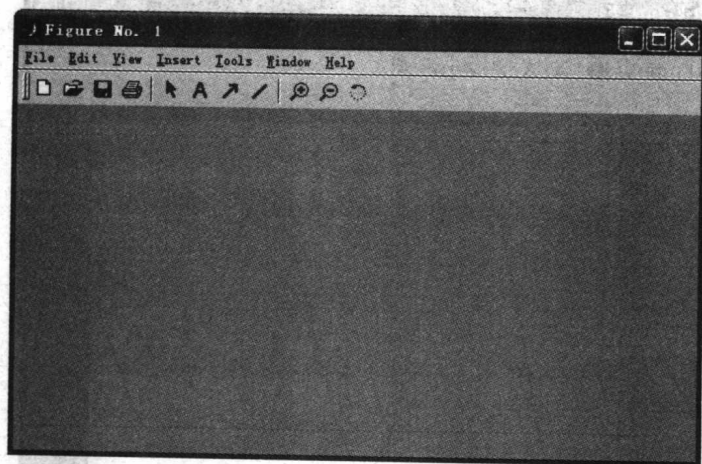


图 1-5

每执行一次 figure 命令都能产生一个新的图形窗口,如果需要可以同时产生多个图形窗口,系统会自动地在这些窗口的名字上添加上序号(No.1, No.2, ...)作为区别。

通过图形窗口上的菜单和工具条,可以对图形进行十分方便的处理,比如修改与显示图形,放大、缩小与旋转图形,给图形添加坐标等。

关闭图形窗口由 close 命令来完成,每执行一次 close 命令即关闭一个当前的图形窗口,若要关闭所有的窗口,可使用 close all 命令。

例如,已知 $y_1 = e^{-ax}$, $y_2 = \sin(bx + c)$, 试绘制当参数 $a = 0.09$, $b = 2$, $c = -3$ 时, 函数 $y = y_1 \times y_2$ 在区间 $[0, 8]$ 上的图形。

考虑到参数 a 、 b 、 c 的值可能改动, 函数 y 的表达式也可能改动(比如将 $y = y_1 \times y_2$ 改为 $y = y_2/y_1$ 等), 因此最好建立一个 M 文件以适应这种需要。

(1) 建立 M 文件。在 M 编辑窗口输入

```
a=0.09; b=2; c=-3;
```

```
x=0:0.1:8;
```

% 这里使用了 MATLAB 中的循环语句: 循环初值为 0, 终值为 8, 步长为 0.1, 这样就将区间 $[0, 8]$ 作了等间隔的划分。循环语句后面再作介绍

```
y1=exp(-a.*x);
```

```
y2=sin(b.*x+c);
```

```
y=y1.*y2;
```

```
plot(x,y);
```

% 这里调用了 MATLAB 中的平面曲线绘制函数 plot, 关于 plot 的详细信息, 后面将作介绍, 当执行 plot 命令时, 系统将自动打开一个图形窗口

(2) 取文件名(比如取为 abc2.m)。存入磁盘(操作同前)。

(3) 执行(必须在 M 命令窗口中执行)。单击任务栏上 MATLAB command Windows 图标, 进入命令窗口, 键入 abc2, 或在 M 窗口中直接按 F5 键。屏幕显示图形如图 1-6 所示。

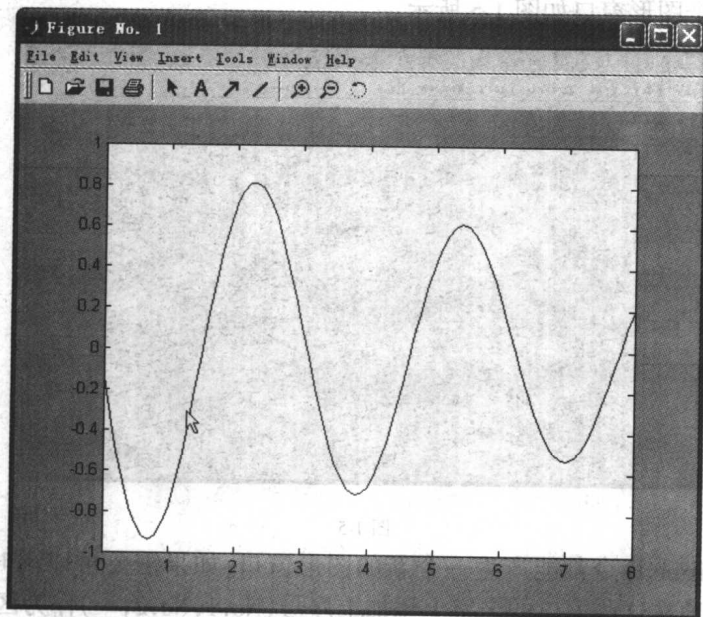


图 1-6

如果将函数改为 $y = y_2/y_1$ (或者 $y = y_1 + y_2$, 或者 $y = y_1 - y_2$ 等) 参数改为 $a = 0.2$, $b = 3$, $c = 1$, 区间仍为 $[0, 8]$, 试绘制它们的图形, 作为练习, 读者不妨动手试试。