

高等数学实验

编著·赵振华 杜燕 郑小洋
主审·苏翊

Gaodeng Shuxue Shiyan



y x



z



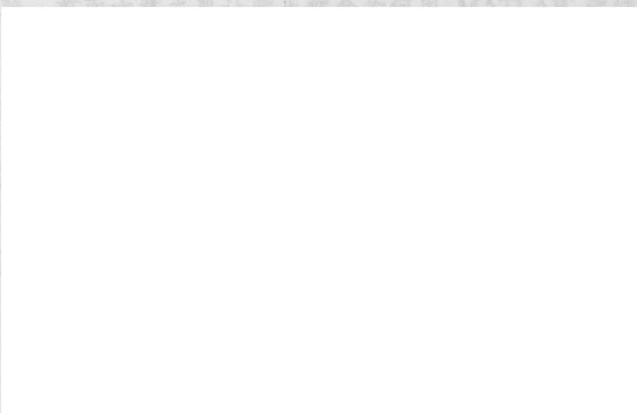
西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内容简介

高等数学实验

编著 赵振华 杜燕 郑小洋

主审 苏翊



西南交通大学出版社
(成都) 北一路111号 邮编: 610031 发行部电话: 028-87600262
<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷 2009年5月

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 8.375
字数: 152千字 印数: 1—3000册
2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷
ISBN 978-7-264-0437-0
定价: 12.00元

西南交通大学出版社

成都 · 成都 · 成都

内 容 简 介

本教材是配合高等数学教学并适应国内普通高等院校开设“高等数学实验”课程的需要而编写的。实验采用的软件是 MATLAB，内容分为 7 章：第一章 MATLAB 简介；第二章基本图形的绘制；第三章微积分实验；第四章无穷级数实验；第五章常微分方程实验；第六章线性代数实验；第七章综合实验。

本书可作为大学一、二年级开设的“数学实验”课程的教材，也可作为大学数学教师、工程技术人员、数学建模参赛人员的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

高等数学实验 / 赵振华等编著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.9

ISBN 978-7-5643-0427-0

I. 高… II. 赵… III. 高等数学—高等学校—教材
IV. 013

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 158889 号

高等数学实验

编著 赵振华 杜燕 郑小洋

责任编辑 张宝华

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 8.375

字数: 155 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0427-0

定价: 15.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

数学实验是高等院校十多年来的数学教学改革成果。它将经典数学知识、数学建模与计算机应用三者融为一体,便于学生深入理解数学基本概念、基本理论,熟悉常用数学软件。这样既培养了学生进行数值计算和数据处理的能力,又培养了学生应用数学知识建立数学模型,解决实际问题的能力,同时还可以激发学生学习数学的兴趣。

本书内容分成7章:第一章 MATLAB 简介;第二章基本图形的绘制;第三章微积分实验;第四章无穷级数实验;第五章常微分方程实验;第六章线性代数实验;第七章综合实验。前面六章主要让学生学会如何用 MATLAB 软件解决经典数学中的一些问题,而综合实验这一章主要让学生体会怎样用该部分的数学知识去建立数学模型,解决问题。在每节后面都附上机实验,可供学生自己动手完成。

本书层次安排分明,紧密结合高等数学知识,易教易学。本书的主要读者为大学一、二年级的学生。本书由郑小洋编写第一章、第二章、第五章,杜燕编写第三章、第四章,赵振华编写第六章、第七章的第一节和第二节,苏翎编写第七章的第三节和第四节,全书由苏翎、赵振华统稿、定稿。限于作者的水平,难免有不当之处,敬请批评指正。

编者

2009年5月

第一章 MATLAB 简介	70
第一节 初识 MATLAB	70
第二节 图形窗口	70
第三节 图形窗口	70
第四节 积分学实验	70
上机实验	75
第二章 无穷级数实验	76
第一节 幂级数的收敛性	76
上机实验	78
第二节 幂级数的运算	78
上机实验	81
第三节 初等函数的幂级数展开	81
上机实验	85
第三章 常微分方程实验	87
上机实验	97

目 录

89	第一章 MATLAB 简介	1
89	第一节 MATLAB 的基本使用方法及特点	1
701	上机实验	13
701	第二节 MATLAB 程序编写	13
901	上机实验	23
	第二章 基本函数图形的绘制	24
	上机实验	46
	第三章 微积分实验	47
19	第一节 函数表达式在 MATLAB 中的表示及运算	47
81	上机实验	57
81	第二节 极限与连续实验	58
81	上机实验	62
81	第三节 微分学实验	63
81	上机实验	70
81	第四节 积分学实验	70
81	上机实验	75
	第四章 无穷级数实验	76
	第一节 数项级数的审敛法	76
	上机实验	78
	第二节 级数求和	78
	上机实验	81
	第三节 将函数展开成幂级数	81
	上机实验	85
	第五章 常微分方程实验	87
	上机实验	97

第六章 线性代数实验	98
第一节 矩阵的运算	98
上机实验	107
第二节 向量组的线性相关性	107
上机实验	109
第三节 线性方程组	109
上机实验	114
第四节 矩阵的特征值与特征向量	114
上机实验	117
第七章 综合实验	118
第一节 卫星轨道的长度	118
上机实验	119
第二节 生产计划的安排问题	119
上机实验	121
第三节 世界人口预测问题	121
上机实验	123
第四节 常染色体遗传问题	123
上机实验	127
参考文献	128



第一章 MATLAB 简介

第一节 MATLAB 的基本使用方法及特点

MATLAB 源于 Matrix Laboratory 一词,原意为矩阵实验室.它以向量和矩阵运算为基础,用它能轻松地各种数学计算和符号演算,并绘制多种可视化图形. MATLAB 的指令与数学表达极为相似.在 20 世纪 70 年代中期, Cleve Moler 及其同事在美国国家科学基金的资助下研究开发了调用 UNPACK 和 EISPACK 的 FORTRAN 子程序库.这两个程序库代表着当时矩阵计算的最高水平.到 20 世纪 70 年代后期,身为新墨西哥大学计算机科学系系主任的 Cleve Moler 在给 学生讲授线性代数课程的同时,用业余时间为学生编写了使用方便的 UNPACK 和 EISPACK 的接口程序. Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB,意思是“矩阵实验室”.不久, MATLAB 受到了学生的普遍欢迎,并且成为应用数学界的一个术语.

一. MATLAB 的基本使用方法

1. MATLAB 的进入

如果你是初学者,可以利用菜单、快捷键或文件夹三种方式进入 MATLAB 工作窗口.但最基本、最容易的方法是通过菜单,双击 MATLAB 级联菜单上的图标.

MATLAB 启动后,自动运行 `x:\matlab\toolbox\local\matlabrc.m` 文件,首先按 `pathdef.m` 文件的要求设置系统路径,然后在工作窗最上方显示初始提示信息,设置系统环境,运行 `start.m` 文件.如果 MATLAB 是在英文 Win9x 平台上运行,那么 MATLAB 工作窗中的第三行将出现 MATLAB 环境提示符号“>>”和光标,如图 1-1 所示.

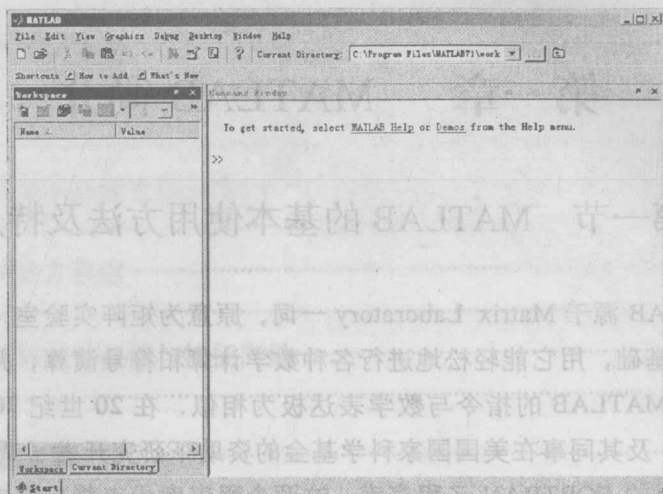


图 1-1 MATLAB 的默认桌面

当 MATLAB 工作窗打开以后,你就可以在工作窗里进行各种运算操作.第一行为菜单行,第二行为工具栏,下面为三个最常用窗口:右边最大的为指令窗口 (Command Window),左上方前台为工作空间 (Workspace),后台为当前目录 (Current Directory),左下方为指令历史 (Command History),左下角还有一个开始 (Start) 按钮,用于快速启动演示 (Demo)、帮助 (Help) 和桌面工具.

(1) 指令窗口 (Command Window): MATLAB 进行操作的窗口,窗口的 `>>` 为指令输入的提示符,其后输入指令,按回车键 (Enter) 就执行运算,并输出运算结果.

(2) 工作空间 (Workspace): 列出内存中 MATLAB 工作空间的所有变量的变量名 (Name)、值 (Value)、尺寸 (Size)、字节数 (Bytes) 和类型 (Class).

(3) 当前目录 (Current Directory): 用鼠标单击可以切换到前台,这里可以看到该窗口列出当前目录的程序文件 (.m) 和数据文件 (.mat).

(4) 指令历史 (Command History): 窗口列出在指令窗口执行过的 MATLAB 指令行的记录.

2. MATLAB 的菜单和工具栏

菜单和工具栏的操作类似于 Word 文件操作 File 选项的内容.

New

打开编辑/调试器、新图形窗、Simulink 用的 MDL 文件



Open	通过已有的 M 文件打开编辑/调试器
Open Selection	打开指令窗指定的 M 文件
Import	导入数据文件 (MAT 文件)
Run Script	运行已有的 M 文件
Load Workspace	向 MATLAB 工作空间装载 MAT 文件的变量数据
Save Workspace As	将 MATLAB 工作空间的所有变量存为 MAT 文件
Show Workspace	调用工作空间浏览器
Show Graphics Property Editor	调用图形对象属性编辑器
Show GUI Layout Tool	调用图形用户界面制作工具
Set Path	调用路径浏览器
Preference	调用 MATLAB 指令窗环境设置
Print Setup	打印设置
Print	打印工作窗的内容
Print Selection	打印指令窗所选定的内容
Exit MATLAB	退出 MATLAB
编辑操作 Edit 选项的内容	
Cut	剪切
Copy	复制
Paste	粘贴
Clear Session	清除指令窗里的显示内容, 但它不清除工作内存中的变量
帮助 Help 选项的内容	
Help Windows	打开分类帮助窗
Help Tips	打开函数文件指令名帮助窗
Help Desk	打开以 html 超文本形式存储的帮助文件主页
Examples and Demos	打开 MATLAB 演示窗主页
About MATLAB	MATLAB 注册图标、版本、制造商和用户信息
Subscribe	打开 MATLAB 制造商、销售商的用户联络登记表

例如, 在命令窗口输入:



```
a=9; b=9; c=a+b*pi
```

输出为:

```
c =
```

```
37.2743
```

可以看到,在工作空间和指令历史窗口,对变量 a , b , c 和运算指令都有相应的记录。

3. MATLAB 文件的编辑、存储、执行和个性化路径添加

(1) 文件编辑.

在启动 MATLAB 软件后,点击 MATLAB 指令窗的 File 菜单,点击选项中的 new,选择 M-file,将会出现一个可与 MATLAB 软件交互使用的文件编辑器,如图 1-2 所示。

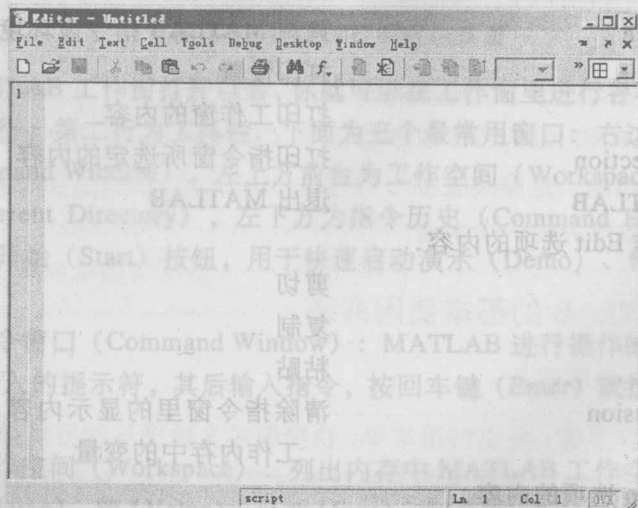


图 1-2 M 文件编辑器

在这里可将自己要做的事情写成 MATLAB 程序. 该文件编辑器也可以在 MATLAB 工作空间执行 edit 命令并打开。

(2) 文件存储.

选择文件编辑器菜单行的 File 菜单项的 save 选项,或者点击上面工具行的存盘标记,可将自己编写的程序存在一个后缀为 m 的文件中。

(3) 程序执行.

MATLAB 程序的执行一般有三种方法:一是点击文件编辑器上面的菜单 Tools (6.0 以上的版本可能有所不同),点击选项 run,此时在 MATLAB 工作



空间将会出现该程序执行的结果。如果程序有问题,则会出现错误提示信息。二是选择 MATLAB 工作空间的 File 菜单项,点击选项 RunScript,点击 Browse 按钮,选择自己将执行的程序文件名即可。三是在 MATLAB 工作空间输入执行的文件名后回车即可。

此三种执行方法,方法二较为一般,对文件存放的路径没有特殊的规定,而方法一和方法三对文件的存放路径就有特殊的规定。如果文件不是存放在 MATLAB 软件默认路径的地方,此时可用方法二来执行,或将你存放文件的路径添加到 MATLAB 软件默认路径序列里。关于 MATLAB 软件默认的路径序列,在 MATLAB 工作空间执行命令 path 后将会列出。

4. 控制指令窗的指令操作

指令	含义
cd	设置当前工作目录
clf	清除图形窗
clc	清除指令窗的显示内容
clear	清除 MATLAB 工作空间保存的变量
dir	列出指定目录下的文件和子目录清单
who	列出 MATLAB 工作空间驻留的变量名清单
whos	列出 MATLAB 工作空间驻留的变量名清单以及维数和属性
help(helpwin)	帮助获得指令的使用说明
Page(Down)	向前(后)查看指令窗的内容
Home(End)	使光标移到当前行的首(尾)端
lookfor	根据用户提供的完整或不完整的关键词,找出与之相关的指令
type	显示指定 M 文件的内容
path	扩展搜索路径
edit	打开 M 文件编辑器
save	有选择地保存变量
load	有选择地将变量调入内存
Delete(Backspace)	删去光标右(左)边的子符
more	使其后的显示内容分页进行
exit 或 quit	关闭/退出 MATLAB 程序



二、MATLAB 的特点

1. 功能强大

MATLAB 4.0 以上 (不包括 4.0 版本) 的各版本, 不仅在数值计算上继续保持着相对其他同类软件来说其特有的绝对优势, 而且还开发了自己的符号运算功能, 特别是 MATLAB 6.r 版本在符号运算功能上丝毫不逊于其他各类软件. 如 MathCAD, Mathematica 等. 这样, 用户就不必像以前的计算人员那样在掌握 MATLAB 的同时还要学习另一种符号运算软件, 用户只要学会了 MATLAB 6.x, 就可以方便地处理诸如矩阵变换及运算、多项式运算、微积分运算、线性与非线性方程求解、常微分方程求解、偏微分方程求解、插值与拟合、统计及优化等问题.

2. 语言简单

MATLAB 还专门为初学者 (包括其中某一个工具箱的初学者) 提供了功能演示窗口, 用户可以从中得到感兴趣的例子及演示.

3. 扩充能力强、可开发性强

MATLAB 能发展到今天这种程度, 它的可扩充性和可开发性起着不可估量的作用. MATLAB 本身就像一个解释系统, 对其中的函数程序的执行以一种解释执行的方式进行. 这样的好处使 MATLAB 完全成了一个开放的系统, 用户可以方便地看到函数的源程序, 也可以方便地开发自己的程序, 甚至创建自己的“库”. 另外, MATLAB 并不“排他”, MATLAB 可以方便地与 FORTRAN 语言, C 语言等接口, 以充分利用各种资源. 用户只需将已有的 EXE 文件转换成 MEX 文件, 就可以方便地调用有关程序和子程序. MATLAB 还和 Maple 有很好的接口, 这也大大扩充了 MATLAB 的符号运算功能.

4. 编程易、效率高

从形式上看, MATLAB 程序文件是一个纯文本文件, 扩展名为 m. 用任何文字处理软件都可以对它进行编写和修改, 因此程序易调试、人机交互性强. 另外, MATLAB 6.x 还具有比较健全的调试系统, 调试方便、简单.

三、MATLAB 工具箱

MATLAB 工具箱主要包括:

(1) 控制系统工具箱 (Control Systems Toolbox);



- (2) 系统辨识工具箱 (System Identification Toolbox);
- (3) 鲁棒控制工具箱 (Robust Control Toolbox);
- (4) 多变量频率设计工具箱 (Multivariable Frequency Design Toolbox);
- (5) μ -分析与综合工具箱 (μ -analysis And Synthesis Toolbox);
- (6) 神经网络工具箱 (Neural Network Toolbox);
- (7) 最优化工具箱 (Optimization Toolbox);
- (8) 小波分析工具箱 (Wavelet Toolbox);
- (9) 通讯工具箱 (Communication Toolbox);
- (10) 财政金融工具箱 (Financial Toolbox);
- (11) 频率域系统辨识工具箱 (Frequency Domain System Identification Toolbox);
- (12) 模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox);
- (13) 高阶谱分析工具箱 (Higher Order Spectral Analysis Toolbox);
- (14) 图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox);
- (15) 线性矩阵不等式控制工具箱 (LMI Control Toolbox);
- (16) 模型预测控制工具箱 (Model Predictive Control Toolbox);
- (17) 偏微分方程工具箱 (Partial Differential Equation Toolbox);
- (18) 信号处理工具箱 (Signal Processing Toolbox);
- (19) 样条工具箱 (Spline Toolbox);
- (20) 统计工具箱 (Statistics Toolbox);
- (21) 符号数学工具箱 (Symbolic Math Toolbox);
- (22) 电厂系统 (Power System).

四、MATLAB 的基本元素及使用方法

1. 常量和变量

(1) 常量和变量的定义.

常量是 MATLAB 语言预定义的一些变量, 在默认的情况下这些变量的值为常数. 例如, 常用的纯虚数用 i 或 j 来表示, 就是数学上的 $\sqrt{-1}$. 如果在程序中没有专门给这两个变量定义, 那么系统将默认它们为单位虚数, 用户可以直接使用; 如果用户在程序中对它们有了新的定义, 则这两个变量将保留新值.

变量是 MATLAB 的基本元素之一. 与其他常规程序设计语言不同的是 MATLAB 语言不要求对所使用的变量进行事先说明, 而且它也不需要指定变量的类型, 系统会根据该变量被赋予的值或是对该变量所进行的操作来自动确定



变量的类型。

在 MATLAB 语言中, 变量的命名有如下规则: 变量名长度不超过 31 位, 超过 31 位的字符系统将忽略不计; 变量名区分大小写; 变量名必须以字母开头, 变量名中可以包含字母、数字或下划线。

值得注意的是, 用户如果在对某个变量赋值时, 如果该变量已经存在, 系统则会自动使用新值来替代该变量的旧值。

(2) 常量和变量的运算。

MATLAB 关于常量和变量的运算与 C 语言基本相同, 下面简单介绍一下这方面的运算。

在命令窗口中输入如下表达式:

```
a=sin(pi/3);
```

```
b=cos(pi/3);
```

```
c=tan(pi/3);
```

```
a+b-c
```

按 Enter 键确认, 得到如下结果。

```
ans =  
-0.3660
```

读者可以从中学会基本的常量和变量的运算方法。

另外, 在 MATLAB 工作空间执行 format 命令, 可以定义输出格式。MATLAB 提供的输出格式为:

format	默认值, 相当于 format short
format short	保证小数点后有 4 位有效数字
format long	用 15 位数字表示
format short e	用 5 位科学计数法表示
format long e	用 15 位科学计数法表示
format short g	从 format short 和 format short e 里选择最佳输出方式
format hex	用十六进制表示
format rat	用近似的有理数表示
format compact	显示变量之间不加空行

有些变量每当 MATLAB 启动时, 它们就产生, 即驻留在工作内存, MATLAB 称它们为预定义变量。

ans 计算结果的缺省变量名

eps 机器零阈值

flops 浮点运算次数



Inf 或 inf	无穷大
NaN 或 nan	不是一个数
nargin(nargout)	函数输入宗量数目 (函数输出宗量数目)
realmax(realmin)	最大正实数 (最小正实数)

2. 字符串

字符和字符串也是 MATLAB 的重要组成部分, MATLAB 具有强大的字符串处理功能, 特别是在 MATLAB 6.5 中有专门的符号运算工具箱 (Symbolic Toolbox), 这样可使其进行符号运算的功能更为强大.

(1) 设定字符串.

MATLAB 对字符串的设定非常简单, 只需用单引号'', 就可将需设定的字符串引注.

(2) 字符串的操作.

由于 MATLAB 语言是采用 C 语言开发的, 因此它的字符串操作与 C 语言的相应操作基本相同. 在 MATLAB 中用 oval 函数来执行字符串的功能.

另外, 命令的特殊符号有:

等号	=	赋值
空格		输入量与输入量之间的分隔符; 数组元素分隔符
逗号	,	输入量与输入量之间的分隔符, 数组元素分隔符
句点	.	数值运算中的小数点; 结构的存取
分号	;	不显示计算结果命令的结尾标志; 数组行与行之间的分隔符
冒号	:	生成一维数值数组; 单下标索引时, 表示全部元素构成的长列多于下标索引时, 表示所在维上的全部元素
注释号	%	在它后面的文字、命令等不被执行, 用于注释
单引号对	''	字符串标记符
单撇号	'	矩阵转置
方括号	[]	输入数组标记符
圆括号	()	用于函数名后, 用于运算式中的结合与次序
续行号	...	用于长表达式的续行

3. 数组和矩阵的构造

最常用的数组为双精度数值数组: 一维数组为向量, 二维数组为矩阵. 一维数组可以视为二维数组的特例.



MATLAB 的数据用数组或矩阵形式保存,这里介绍构造数组和矩阵的常用方法。在 MATLAB 语言中,变量的命名遵循一个不变量名长而短的原则,即变量名只能由字母、下划线、句点、数字和美元符号组成,且只能以字母或下划线打头。

(1) 数组

只要用空格或逗号间隔数组元素,并用方括号括起来就可以了。例如
 $x=[0\ 1\ 7\ 5]$

另外,还可以用增量法和 `linspace` 函数法来构造数组。例如,用增量法构造数组:

$$b=10:15$$

$$b=10:0.1:15$$

$$b=10:-1:5$$

用 `linspace` 函数构造数组,需要指定首尾和元素总个数,形式为

$$x=\text{linspace}(\text{first},\text{last},\text{num})$$

例如, $x=\text{linspace}(0,10,5)$

(2) 矩阵

在 MATLAB 里,二维数组称为矩阵,在方括号里输入多个元素可以构造矩阵的一个行,并用逗号或空格将每个元素隔开。例如,

$$b=[0\ 1\ 5;\ 3\ 7\ 9]$$

4. 运算符

与其他程序语言类似, MATLAB 提供了数学表达式功能。但是,与大多数程序语言不同的是,这些表达式主要对矩阵操作。算术运算符实现四则运算以及幂、转置等运算,表达式采用的算术运算符如表 1-1 所示,关系运算与逻辑运算符如表 1-2 所示。

表 1-1 算术运算符

运算符	说明	运算符	说明
+	加	.	幂
-	减	'	转置
.*	乘	'	复数共轭转置
./	右除	*	矩阵相乘
.\	左除	/	矩阵右除
+	一元的加	\	矩阵左除
-	一元的减	^	矩阵的幂
:	冒号操作符		



(2) 将数值表达式转 表 1-2 关系运算与逻辑运算符

运算符	说明	运算符	说明
==	相等	>=	大于等于
~=	不等	&	与
<	小于		或
>	大于	~	非
<=	小于等于		

5. 数组和矩阵的运算

由数学知识可知,数组和矩阵有着不同的概念.在 MATLAB 中,数组和矩阵在形式上有很多一致之处,但是实际上它们却遵循着不同的运算规则.对于初学者,容易将这两者混为一谈,导致语法错误的产生,致使程序无法正常运行.更为严重的是,混淆两者容易产生一些错误,虽然程序能够通过编译,但是程序所表达的意思与编写者的意思已经出现了偏离,从而导致错误结果的出现.包括数组在内的基本数值运算、乘方和关系运算等可参看表 1-3、1-4,其中向量的运算如表 1-3 所示,矩阵的运算如表 1-4 所示.

表 1-3 向量的运算

向量的运算	命令格式	向量的运算	命令格式
向量 a 加向量 b	$a+b$	向量 a 的模	$\text{norm}(a)$
向量 a 减向量 b	$a-b$	向量 a 与 b 的对应元素相乘	$a.*b$
数 λ 乘以向量 a	$\lambda*a$	向量 a 与 b 的对应元素相除	$a./b$
向量 a 与 b 的数量积	$\text{dot}(a,b)$	向量 a 的元素是向量 b 对应元素的方幂	$b.^a$
三维向量 a 与 b 的向量积	$\text{cross}(a,b)$	向量 a 的每个元素的 k 次幂	$a.^k$

表 1-4 矩阵的运算

矩阵的运算	命令格式	矩阵的运算	命令格式
矩阵 A 的转置	A'	$\text{Inv}(A)*B$ (矩阵 A 的逆与矩阵 B 相乘)	A/B
矩阵 A 的行列式	$\text{Det}(A)$	$A*\text{inv}(B)$ (矩阵 A 的与矩阵 B 逆相乘)	A/B