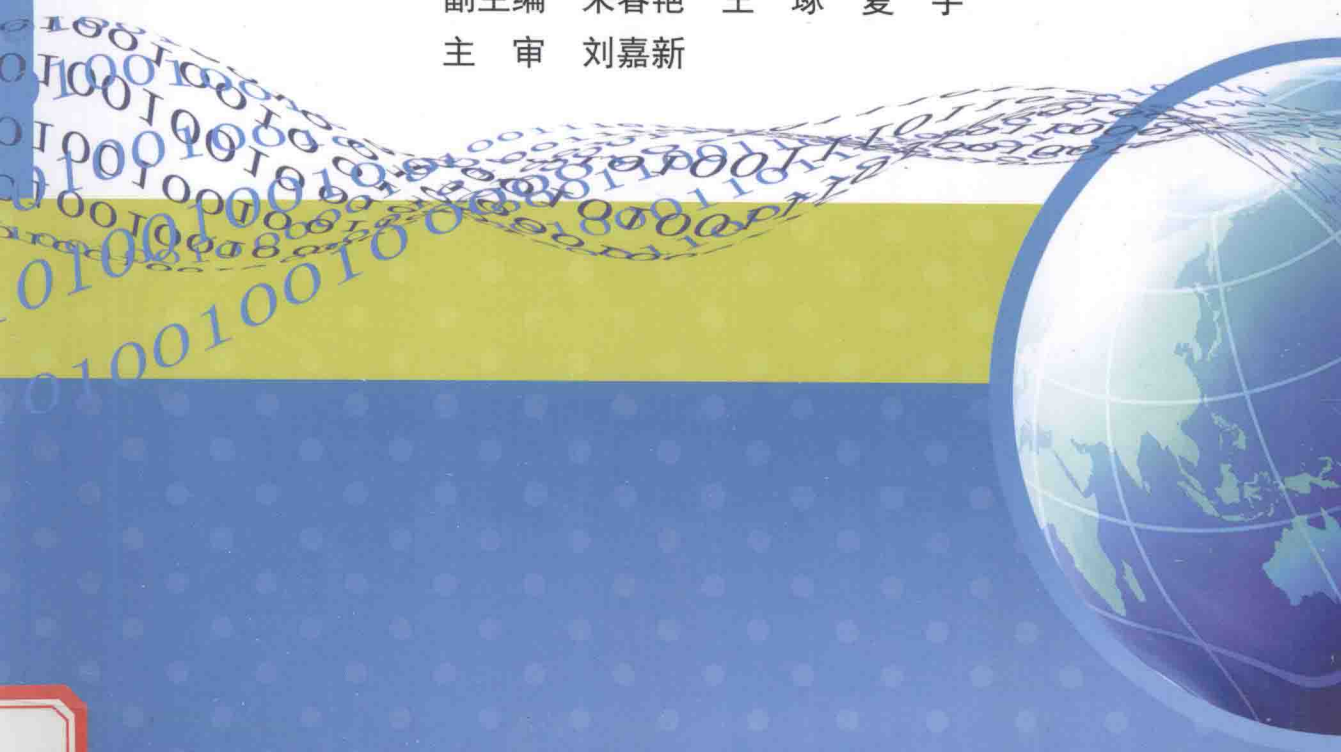


Matlab在通信课程中的 仿真应用

主 编 乔世坤

副主编 宋春艳 王 琢 夏 宇

主 审 刘嘉新



东北林业大学出版社
Northeast Forestry University Press

Matlab 在通信课程中的仿真应用

主 编 乔世坤

副主编 宋春艳 王 琢 夏 宇

主 审 刘嘉新

东北林业大学出版社
Northeast Forestry University Press

• 哈尔滨 •

版权专有 侵权必究

举报电话: 0451-82113295

图书在版编目 (CIP) 数据

Matlab在通信课程中的仿真应用 / 乔世坤主编. — 哈尔滨:
东北林业大学出版社, 2017.2

ISBN 978-7-5674-1036-7

I. ①M… II. ①乔… III. ①通信系统—系统仿真—
Matlab软件 IV. ①TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第045634号

责任编辑: 潘 琦

封面设计: 乔鑫鑫

出版发行: 东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街6号 邮编: 150040)

印 装: 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 21

字 数: 485千字

版 次: 2017年2月第1版

印 次: 2017年2月第1版印刷

定 价: 35.00元

如发现印装质量问题, 请与出版社联系调换。(电话: 0451-82113296 82191620)

前 言

Matlab 是由美国 MathWorks 公司推出的一款科学计算和工程仿真软件。Matlab 语言具有语法简单、数据处理能力强大、含有丰富的专业函数库、可扩展性强等优点,逐步成为科学研究、数值计算、建模仿真以及学术交流的事实标准,其在教学、科研、生产等各个领域发挥着巨大的作用。随着 Matlab 的通信、信号处理专业函数库和专业工具箱的成熟,Matlab 在通信理论研究、算法设计、系统设计、建模仿真以及性能分析验证等方面的应用也日趋广泛。

本书的编者多年从事通信工程专业 Matlab/Simulink 及仿真技术的教学工作,通过多年教学经验,在一般 Matlab/Simulink 基础应用之上,通过应用实例讲解循序渐进引导读者快速入门并深入学习。本书以 Matlab/Simulink 为基础仿真环境,介绍了 Matlab/Simulink 基础知识与应用方法,并从数值计算和系统建模入手,分别结合了电路、信号与系统、数字信号处理、通信原理、电磁场与电磁波、天线等通信工程专业主干课程的应用,列举了大量的仿真实例。通过仿真实例的学习,利用 Matlab 的图形绘制、动画演示等功能,读者可以更深入地理解相关专业知识,直观地了解抽象的定理、公式及通信系统性能,并进行验证与分析,对专业知识的学习起到很好的辅助作用。

本书在内容安排上分两篇,第一篇基础篇;第二篇应用篇。本书共 11 章。第 1 章 Matlab 基础与入门,主要介绍 Matlab 软件及其工作环境、基本操作。第 2 章 Matlab 程序设计,介绍 Matlab 程序流控制以及 M 脚本文件与 M 函数文件的编写。第 3 章 Matlab 绘图,讲解常用的图形绘制命令。第 4 章 Matlab 数值计算与符号运算,介绍了多项式运算、数据分析与统计、常微分方程的数值求值、符号运算等内容。第 5 章 Simulink 仿真基础,主要介绍如何搭建 Simulink 仿真模型。第 6 章 Matlab 在电路分析中的应用。第 7 章 Matlab 在信号与系统中的应用,主要介绍连续、离散线性时不变系统的时域、频域的分析方法。第 8 章 Matlab 在数字信号处理中的应用,主要介绍信号序列的基本运算,频域变换、IIR 与 FIR 滤波器的设计。第 9 章 Matlab 在通信原理中的应用,主要介绍信道、模拟调制、基带信号传输、数字信号载波传输、扩频通信系统等方面内容。第 10 章 Matlab 在电磁场与电磁波中的应用。第 11 章 Matlab 在天线中的应用。

本书第1, 2, 3, 4, 6, 8章由乔世坤编写, 第9章由宋春艳编写, 第5章由乔世坤、宋春艳共同编写, 第7章由夏宇编写, 第10, 11章由王琢编写。在本书编写过程中我们得到了张黎、董光辉等老师的支持与帮助, 在此表示感谢!

全书由刘嘉新老师审校。

本书可作为通信专业、电子信息专业及相近专业本科生教材或参考书。本书中例题、实验题、思考题全部经过验证, 并提供全部例题、实验题、思考题源程序代码, 读者可直接联系作者(644297907@qq.com)索要。

由于编写时间仓促, 作者水平有限, 书中难免有不足疏漏之处, 希望广大读者批评指正。

编 者

2016年12月

目 录

第一篇 基础篇

1	Matlab 基础与入门	3
1.1	Matlab 简介	3
1.2	变量与数值	6
1.3	矩阵运算	7
1.4	数组运算	16
1.5	常用数学函数	17
1.6	Matlab 帮助系统	21
1.7	思考与实验	23
2	Matlab 程序设计	25
2.1	M 文件	25
2.2	Matlab 程序流控制	28
2.3	思考与实验	38
3	Matlab 绘图	39
3.1	二维曲线的绘制	39
3.2	三维图形的绘制	46
3.3	思考与实验	49
4	Matlab 数值计算与符号运算	51
4.1	Matlab 在线性代数中的应用	51
4.2	多项式运算	58
4.3	数据分析与统计	65
4.4	功能函数	68
4.5	常微分方程的数值求值	73
4.6	符号运算	78
4.7	思考与实验	90



5	Simulink 仿真基础	94
5.1	Simulink 概述	94
5.2	Simulink 建模与仿真	96
5.3	子系统及其封装技术	104
5.4	M 文件 S- 函数	110
5.5	Simulink 模块库简介	115
5.6	思考与实验	121

第二篇 应用篇

6	Matlab 在电路分析中的应用	131
6.1	Matlab 在电路中的仿真应用	131
6.2	数字逻辑电路仿真	139
6.3	思考与实验	146
7	Matlab 在信号与系统中的应用	150
7.1	连续时间信号及其表示	150
7.2	线性时不变系统	153
7.3	线性时不变系统的时域分析	157
7.4	线性时不变系统的频域分析	161
7.5	思考与实验	164
8	Matlab 在数字信号处理中的应用	172
8.1	信号表示与信号的基本运算	172
8.2	离散信号的频域变换	181
8.3	数字滤波器设计	186
8.4	思考与实验	204
9	Matlab 在通信原理中的应用	215
9.1	信道仿真	215
9.2	模拟调制仿真	220
9.3	脉冲编码调制仿真	228
9.4	二进制基带信号传输仿真	232
9.5	基带 PAM 信号传输仿真	237

9.6	带限信道的信号传输仿真	239
9.7	数字信号载波传输仿真	244
9.8	直接序列扩频通信系统仿真	254
9.9	思考与实验	259
10	Matlab 在电磁场与电磁波中的应用	306
10.1	点电荷电场分布分析	306
10.2	同轴电缆的磁场分布	308
10.3	理想介质中均匀平面电磁波的传播	311
10.4	均匀平面波的极化仿真	313
11	Matlab 在天线中的应用	316
11.1	线天线电参数仿真	316
11.2	面天线电参数仿真	324
11.3	思考题	327
	参考文献	328

第一篇 基础篇

1 Matlab 基础与入门

1.1 Matlab 简介

Matlab 是矩阵实验室 (Matrix Laboratory) 的简称, 是美国 MathWorks 公司于 1984 年推出的一款科学计算和工程仿真软件, 用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言。Matlab 提供了一种交互式计算环境, 可以用于高效率地解决数学问题和工程计算问题。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中, 为科学研究、工程设计以及进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案, 并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言的编辑模式, 代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

随着在高等院校的推广和应用, Matlab 已经成为线性代数、数理统计、数学建模、电路基础、信号与系统、自动控制、数字信号处理、通信原理等课程的基本教学工具。

1.1.1 Matlab 的特点

Matlab 的功能和特点主要体现在以下几个方面:

- (1) Matlab 具有便于操作的用户界面和开发环境;
- (2) Matlab 是一种超高级语言, 主要是由 C 语言编写而成的, 汇集了当前最新的数学算法库, 编程效率及程序的可读性、可靠性、可移植性远远高于常规的高级语言;
- (3) Matlab 语法简单, 接近数学语言描述, 是数学算法开发和验证的最佳工具;
- (4) Matlab 具有强大的数据处理能力, 计算精度高;
- (5) Matlab 具有强大的绘图功能, 使数据可视化, 可直观地表现抽象的数值结果;
- (6) Matlab 功能丰富, 可扩展性强。

1.1.2 Matlab 组成

Matlab 由基本部分和功能各异的工具箱组成, 基本部分是 Matlab 的核心, 工具箱是扩展部分。工具箱实际上是由 Matlab 的基本语句编成的各种子程序集, 用于解决某一方面的专门问题实现某一类的新算法。不同的工具箱为不同领域的用户提供了丰富、强大的使用功能。其中的信号处理与通信领域的常用工具箱包括以下内容:

- (1) Signal Processing Toolbox: 信号处理工具箱;
- (2) DSP System Toolbox: DSP 系统工具箱;
- (3) Communications System Toolbox: 通信系统工具箱;

- (4) Wavelet Toolbox: 小波工具箱;
- (5) RF Toolbox: 射频工具箱;
- (6) Antenna Toolbox: 天线工具箱;
- (7) Phased Array System Toolbox: 相控阵系统工具箱;
- (8) LTE System Toolbox: LTE 系统工具箱;
- (9) WLAN System Toolbox: WLAN 系统工具箱。

1.1.3 Matlab 的工作环境

当 Matlab 启动后, 首先会弹出工作界面, 较新版本中, 工具条取代了菜单栏和工具栏, 工具条包括四部分。即“主页”“绘图”“应用程序”“快捷方式”。单击“主页”选项卡显示如图 1-1 的工作界面, 包括命令窗口(命令行窗口)、工作空间窗口(工作区窗口)、当前文件夹窗口。其中最主要的交互窗口是命令窗口。点击“布局”, 可以调整窗口布局。

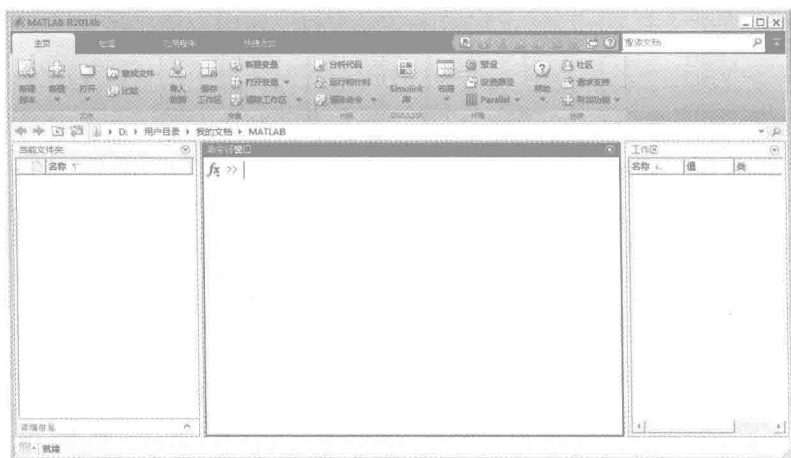


图 1-1 Matlab 工作界面

1.1.3.1 命令窗口

在命令窗口中的“>>”, 称为运算提示符。在提示符后, 可以输入 Matlab 命令或表达式, 按回车键将会立即执行, 并显示除图形以外的所有执行结果, 这就是交互式操作。例如图 1-2 命令窗口显示了执行“a=magic(3)”命令的结果。

在命令窗口中应注意以下方面:

- (1) 命令行允许在同一物理行输入多条命令, 命令之间用逗号或分号分隔。
- (2) 命令或表达式后加“;”, 执行后结果将保存于工作空间中, 不在窗口中显示。
- (3) 命令或表达式除字符串与注释, 其余内容全部在“半角”“英文”状态下输入。
- (4) 最常用窗口命令有 clc: 清除命令窗口中的所显示内容。
- (5) 最常用的快捷键包括“←”“↑”“→”“↓”“home”“end”“del”等, 方便对输入内容进行编辑, 如“↑”用于复制上一行已执行过的命令或表达式。

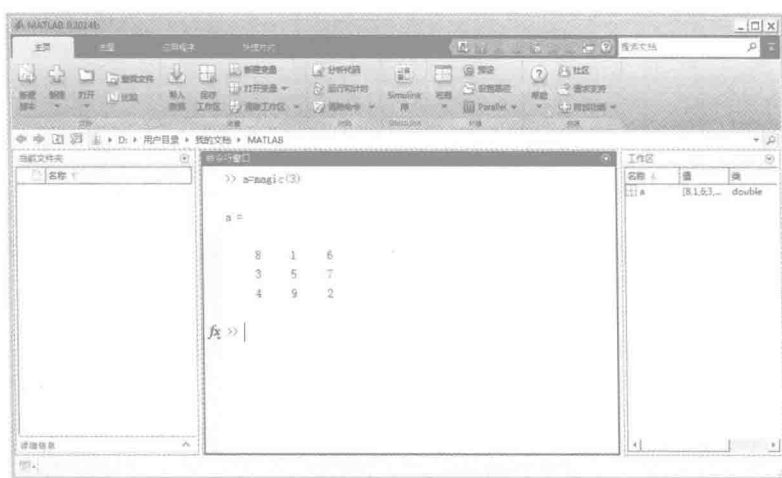


图 1-2 在 Matlab 命令窗口执行命令

1.1.3.2 工作空间窗口

工作空间窗口，用于显示当前内存中所有变量的变量名、值、数据结构、字节数、类型等信息。例如，图 1-2 右侧工作空间窗口显示了当前内存中所有变量的信息，在此窗口选中变量后，双击鼠标或点击鼠标右键可以修改变量的内容。最常用的工作空间命令为 `clear`，用于清除内存变量。

1.1.3.3 当前文件夹窗口

当前文件夹窗口指当前 Matlab 运行的工作文件夹，只有在当前工作文件夹或搜索路径下的文件、函数才可以运行或调用。一般情况下，Matlab 系统函数（包括工具箱函数）都在系统默认的搜索路径之中，但用户自己编写的函数有可能不在搜索路径下，应用菜单条中的“设置路径”可以更改或扩展 Matlab 用于查找文件的搜索路径，如图 1-3 所示。

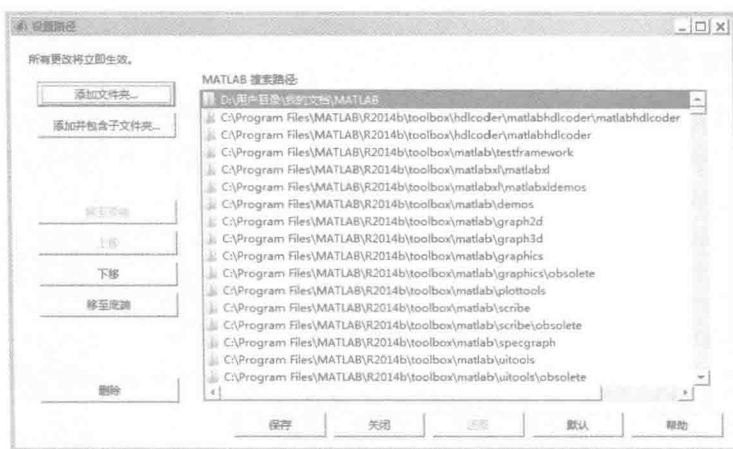


图 1-3 设置路径对话框

1.1.3.4 历史命令窗口

历史命令窗口主要记录所有执行过的命令，可为生成 M 文件、新命令与表达式提供编辑内容。

图 1-4 是将工作界面改成两列形式，并调出了历史命令窗口，在该窗口中显示已执行过的命令或表达式。

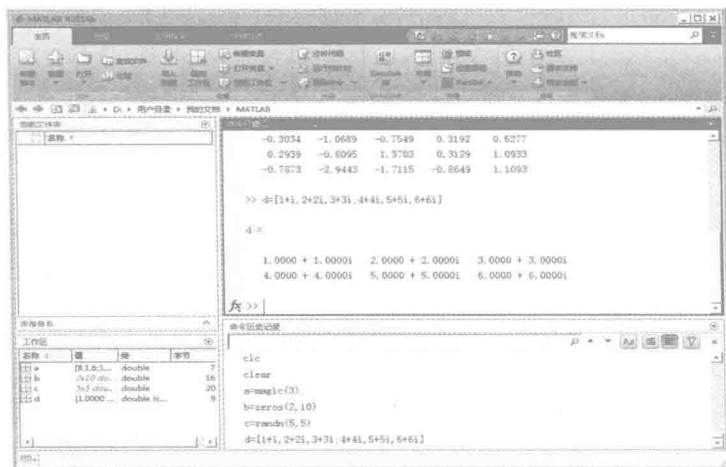


图 1-4 Matlab 历史命令窗口

1.2 变量与数值

变量是程序设计语言的基本元素之一。Matlab 中，实数的表达方式与其他程序设计语言一致，所不同的是 Matlab 中所有的运算都是定义在复数域上的，而其他程序设计语言是定义在实数域上的。

1.2.1 数据类型与表示

Matlab 提供的数据类型主要有数值型、字符串型、元胞型、结构型等，其中数值型有双精度型、单精度型和整数型，整数型又分为无符号类和符号类整数。但在 Matlab 中，无论数值以何种方式输入，都默认数据类型是双精度浮点型。

元胞数组是 Matlab 中比较特殊的数据类型，它是由一系列的元胞（cell）构成的数组，每一个元胞可以存放不同类型的数据，每个元胞的数据可以是数字、字符或字符串、数字数组或字符串数组，也可以是元胞数组或结构数组，等等。

结构数组是 Matlab 中一种重要的数据类型，同元胞数组类似，结构数组也可以存放不同类型的数据，但结构数组的内容更加丰富，应用更加广泛。

对于数值计算，要有统一的数值表达形式，Matlab 中数值的表示都采用习惯的十进制数表示。复数由实部和虚部表示。

1.2.2 变量

在 Matlab 中，变量的命名规定：变量的名字必须以字母开头，之后可以是任意字母、数字或下划线；变量名称中字母区分大小写；变量中不能包含标点符号；变量名不能超过最大长度限制；预定义变量不能作为变量名。Matlab 中默认的预定义变量如表 1-1 所示。

表 1-1 Matlab 预定义变量

预定义变量	含义	预定义变量	含义
ans	计算结果的缺省变量名	nan 或 NaN	表示非数值，如 0/0
eps	表示浮点相对精度 2^{-52}	nargin	函数输入变量数目
Inf 或 inf	无穷大	nargout	函数输出变量数目
i 或 j	虚数单位	realmax	最大正实数
pi	圆周率	realmin	最小正实数

1.3 矩阵运算

1.3.1 矩阵建立

Matlab 矩阵主要分三类，包括数值矩阵、符号矩阵和特殊矩阵。建立矩阵，采取多种方式。

(1) 逐个元素输入法。

直接逐个将元素从键盘敲入，同一行元素用逗号或空格分隔，不同行用分号分隔，例如，在命令窗口中输入以下命令，回车后，则立刻显示输出结果。

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

```
a=
```

```
1 2 3
```

```
4 5 6
```

```
7 8 9
```

矩阵元素可以是复数，如图 1-4 中所示的命令及其结果。

(2) 冒号生成法。

采用冒号生成法产生一维向量的通用格式：

```
X=a: step(increase):b
```

说明：a 为初值，step(increase)为步长，b 为终值，例如：

```
>> b=1:2:10
```

显示输出：

```
b=
```

```
1 3 5 7 9
```

(3) “全下标”元素赋值法。

例如：输入以下命令，输出结果如下所示。

```
>> c(1,10,2)=10
c(:,1)=
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
c(:,2)=
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    10
```

此语句可以理解为产生的新矩阵共有 2 页，第 1 页 1 行 10 列，第 2 页同样 1 行 10 列，对第 2 页第 1 行第 10 列的元素赋值 10，其余元素值均为 0。

(4) 函数生成法。

常用生成矩阵的函数包括：ones, zeros, rand, randn, linspace 等。rand 函数可产生均匀分布 0~1 之间的随机数；randn 函数用于产生均值为 0、方差为 1 服从正态分布随机数；linspace 生成线性等分向量；logspace 生成按对数等分向量。具体应用举例如下所示。

```
>> a=zeros(3,3);           %产生 3 行 3 列全 0 矩阵
a=
    0    0    0
    0    0    0
    0    0    0

>> b=fix(rand(1,10)*100)   %产生 1 行 10 列 0~100 之间的随机数，并取整
b=
    70    75    27    67    65    16    11    49    95    34

>> c=randn(2,4);          %产生 2 行 4 列正态分布均值为 0，方差为 1 随机数
c=
    0.3714    1.1174    0.0326    1.1006
   -0.2256   -1.0891    0.5525    1.5442

>> d=linspace(0,10,11)    %生成从 0~10，线性等分的含有 11 个元素的向量
d=
    0     1     2     3     4     5     6     7     8     9    10

>> e=logspace(0,2,3)       %生成从 10^0~10^2 按对数等分的 3 个元素的行向量
e=
    1    10   100

>> f=magic(3);             %生成 3 阶魔方矩阵，行、列、对角线上元素的和相等
f=
    8     1     6
    3     5     7
    4     9     2

>> g=eye(3);               %生成 3 阶单位矩阵
g=
```

```
1 0 0
0 1 0
0 0 1
>> h=[1 2 3];h=diag(h)           %生成向量元素为对角线元素的矩阵
h=
1 0 0
0 2 0
0 0 3
```

(5) 矩阵合并与矩阵行列的删除。

矩阵合并是将两个或两个以上的矩阵连接成一个新矩阵，矩阵合并要符合维数的约束。要删除矩阵中的某行或某列，只需将该行或该列赋予“[]”即可。举例如下。

```
a=ones(2,3);b=[4 5 6];c=[a;b]
c=
1 1 1
1 1 1
4 5 6
>> c(2,:)=[]                      %删除第2行
c=
1 1 1
4 5 6
>> c(:,1)=[]                      %删除第1列
c=
5 6
```

1.3.2 矩阵结构的改变与排序

常用改变矩阵结构与矩阵排序函数如表 1-2 所示。

表 1-2 常用改变矩阵结构函数

函数名	功能	函数名	功能
fliplr	矩阵左右翻转	reshape	重塑矩阵
flipud	矩阵上下翻转	transpose	矩阵的转置
flipdim	矩阵沿特定维翻转	ctranspose	矩阵的共轭转置
rot90	逆时针旋转矩阵	sort	元素排序

下面举例说明函数的使用。

```
>> a=[1 2 3;4 5 6]
```