




高等院校精品课程系列教材 ● 省级

JINGPIN
KECHENG

信号与系统实验教程

(MATLAB版)



配有精品课程网站 



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校精品课程系列教材

信号与系统实验教程

(MATLAB 版)

程耕国 陈华丽 编著



机械工业出版社

本书是“信号与系统”课程理论教材的延伸,着重培养学生综合运用信号与系统的理论和技术以解决实际问题的能力。本书按照“MATLAB的基本知识、信号分析与处理、系统分析与设计、综合应用”4个层次展开,共有15个实验。每个实验包括实验目的、实验原理及方法、实验内容及步骤、思考题和实验报告要求等内容。

本书可作为通信工程、电子信息工程、计算机科学与技术等专业在校本科生学习“信号与系统”课程的实验教材;也可作为研究生学习“信号与系统”等相关课程的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验教程: MATLAB版/程耕国,陈华丽编
著. —北京:机械工业出版社,2010.1
(高等院校精品课程系列教材)
ISBN 978-7-111-29604-1

I. 信… II. ①程…②陈… III. 信号系统—实验—高等学校—教材 IV. TN911.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第012641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:时静 责任编辑:郝建伟 版式设计:张世琴
责任校对:姚培新 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2010年3月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·11.25印张·275千字
0 001—3 500册
标准书号:ISBN 978-7-111-29604-1
定价:22.00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

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面防伪标均为盗版

前 言

“信号与系统”是电子与通信类专业的主要技术基础课之一，该课程的任务是研究信号与系统理论的基本概念和基本分析方法，使学生初步认识如何建立信号与系统的数学模型，如何用适当的数学分析方法求解，并对所得的结果给予物理解释，赋予物理意义。由于本学科内容的迅速更新与发展，它所涉及的概念和方法十分广泛，而且还在不断扩充。通过本课程的学习，可以激发起学生对信号与系统学科的学习兴趣和热情，逐步适应这一领域日新月异发展的需要。

近 20 年来，随着 MATLAB 的推出和日益完善，在欧美大学里，诸如“应用代数”、“数理统计”、“自动控制”、“信号与系统”、“数字信号处理”、“模拟与数字通信”、“时间序列分析”、“动态系统仿真”等课程的教科书中都引入了 MATLAB，这几乎成了 20 世纪 90 年代的教科书与传统教材的区别性标志。MATLAB 强大的计算和绘图功能，使信号与系统中许多复杂的运算变得简单。把学生从繁杂的计算中解脱出来，可以使他们把重点放在对结果的解析上，进一步搞清数学公式与物理概念的内在联系，从而加深了对信号与系统的理解。

本书是程耕国主编的《信号与系统》一书的姐妹篇，书中所有的实验都是按照《信号与系统》教材的顺序组织的，都是基于 MATLAB 编写的，相当于把教材中的所有理论都用 MATLAB 进行了实现。全书分四部分，第一部分介绍 MATLAB 的基本知识；第二部分是信号分析与处理的实验，包括连续信号的时域描述与运算、离散信号的时域描述与运算、连续信号的频域分析、离散信号的频域分析四个实验；第三部分是系统分析与设计的实验，包括连续线性时不变系统分析、离散线性时不变系统分析、IIR 数字滤波器的设计、FIR 数字滤波器的设计四个实验；第四部分是综合应用，该部分可以作为学期末的课程设计，包括信号的自然采样与恢复、语音信号的采样和频谱分析、超外差接收机的设计、FDMA 通信系统的设计、信号混响效果的设计、语音加密器的设计、自适应数字陷波器的设计七个实验。

全书的实验按照先基础性、验证性实验，再设计性实验，最后综合性实验的顺序安排，注重设计性、综合性实验，对提高学生的综合能力和培养学生的科学探索精神有着十分重要的意义。

本书由程耕国统稿，程耕国、陈华丽编写。本书的编写得到了武汉科技大学电子信息工程学院同仁们的大力支持和帮助，在此表示感谢。实验教学是一项综合性的集体活动，因此，编者期望在今后的教学实践中，能得到使用本书的师生们的宝贵意见和指导，使“信号与系统”实验教学的改革不断深入，使本书日臻完善。

由于编者水平有限，书中难免有错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

本书配有精品课程网站，网址为 <http://jwc.wust.edu.cn/ec/C3/Course/Tindex.htm>。

编 者

目 录

前言

第一部分	MATLAB 的基本知识	1
第二部分	信号分析与处理	31
实验一	连续信号的时域描述与运算	31
实验二	离散信号的时域描述与运算	43
实验三	连续信号的频域分析	52
实验四	离散信号的频域分析	60
第三部分	系统分析与设计	67
实验五	连续线性时不变系统分析	67
实验六	离散线性时不变系统分析	86
实验七	IIR 数字滤波器的设计	98
实验八	FIR 数字滤波器的设计	118
第四部分	综合应用	137
实验九	信号的自然采样与恢复	137
实验十	语音信号的采样和频谱分析	143
实验十一	超外差接收机的设计	147
实验十二	FDMA 通信系统的设计	150
实验十三	信号混响效果的设计	154
实验十四	语音加密器的设计	157
实验十五	自适应数字陷波器的设计	160
附录	163
附录 A	武汉科技大学 2009 年 7 月“信号与系统”课程设计	163
附录 B	常用的操作、字符和函数	166
参考文献	174

第一部分 MATLAB 的基本知识

MATLAB 俗称“矩阵实验室”，是 Matrix Laboratory 的缩写，1984 年由美国 MathWorks 公司研制开发，是以矩阵计算为基础的交互式的功能强大的科学及工程计算软件。MATLAB 的首创者是在数值线性代数领域颇有影响的 Cleve Moler 博士，他也是生产经营 MATLAB 产品的 MathWorks 公司的创始人之一。MATLAB 将高性能的数值计算和可视化集成在一块，并提供了大量的内置函数，从而使其广泛应用于数学计算和分析、自动控制、系统仿真、数字信号处理、图形图像分析、数理统计、人工智能、虚拟现实技术、通信工程、金融系统等领域。

MATLAB 给用户带来的是最直观、最简洁的程序开发环境。其主要特点如下：

- 1) 语言简洁紧凑，使用方便灵活，库函数极其丰富。
- 2) 运算符丰富。
- 3) 既具有结构化的控制语句（如 for 循环、while 循环、break 语句和 if 语句），又有面向对象编程的特性。
- 4) 程序限制不严格，程序设计自由度大。
- 5) 图形功能强大。
- 6) MATLAB 缺点是：它和其他高级程序相比，程序的执行速度较慢。这是由于 MATLAB 的程序不用编译等预处理，也不生成可执行文件，程序为解释执行，所以速度较慢。
- 7) 功能强大的工具箱是 MATLAB 的另一特色。MATLAB 包含两个部分：核心部分和各种可选的工具箱。核心部分中有数百个核心内部函数。其工具箱又分为两类：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、图示建模仿真功能、文字处理功能以及与硬件实时交互功能，可用于多种学科；学科性工具箱是专业性比较强的，如 control toolbox、signal processing toolbox、communication toolbox 等，这些工具箱都是由该领域内学术水平很高的专家编写的，所以用户无需编写自己学科范围内的基础程序，就能直接进行高、精、尖的研究。

1. MATLAB 启动界面

启动 MATLAB 后，进入 MATLAB 的默认界面，如图 1-1 所示。第 1 行为菜单栏，第 2 行为工具栏，下面是 3 个最常用的窗口：右边最大的是命令窗口（Command Window），左上方前台为工作空间窗口（Workspace），后台为当前目录窗口（Current Directory），左下方为命令历史窗口（Command History）。左下角还有一个开始（Start）按钮，用于快速启动各类交互界面、桌面工具和帮助等。

(1) 命令窗口（Command Window）

命令窗口是进行 MATLAB 操作最主要的窗口，用于输入运算命令和数据、运行 MATLAB 函数和脚本并显示结果。调出命令窗口：Desktop 菜单→Command Window。下面列举常见的命令：

- “>>”为输入函数的提示符（Prompt），在提示符后面输入数据或运行函数；

- “%” 其后面是用于解释的文字，不参与运算；
- 在语句末尾添加分号“;”，可以防止输出结果显示到屏幕上，在创建大矩阵时非常有用；
- ans 为 answer 的缩写，它是 MATLAB 默认的系统变量；
- clear 为清除工作空间中的变量命令；
- clc 为清屏命令。

命令窗口中显示数值计算的结果有一定的格式，默认为短格式（Format Short），即保留小数点后 4 位有效数字，对于大于 1000 的数值，使用科学计数法表示。

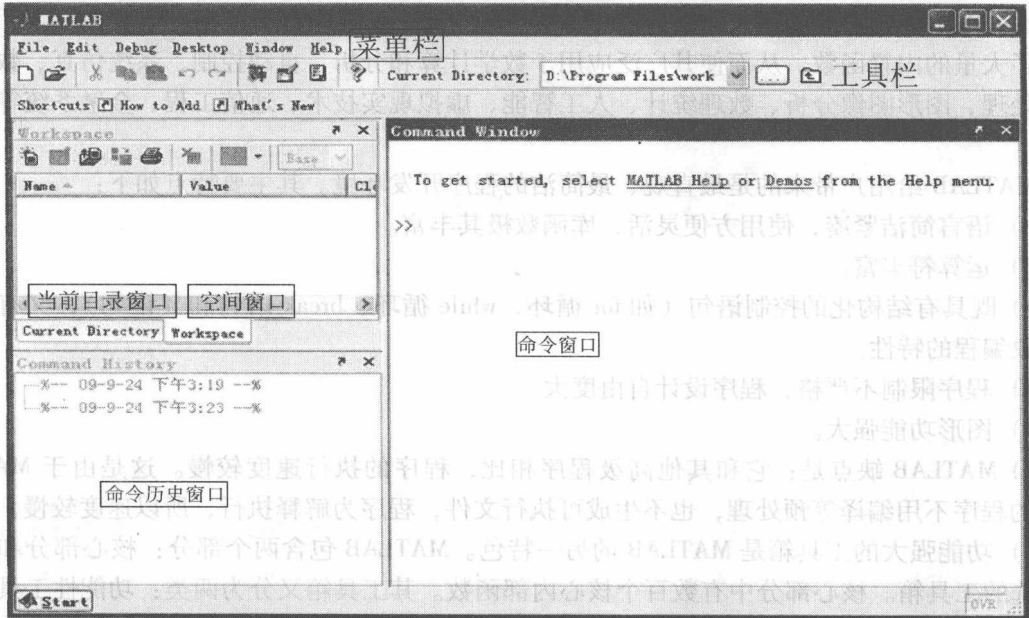


图 1-1 MATLAB7.1 的默认界面

例 1-1 在命令窗口中，输入 1.2 显示为 1.2000，输入 1200.2 显示为 1.2002e + 003，输入 $x = 1.2$ ； $y = 1200.2$ ； $x + y$ 按 <Enter> 键，显示为 $\text{ans} = 1.2014\text{e} + 003$ ，如图 1-2 所示。

注：在命令窗口中如果不执行命令且换行，要同时按下 <Shift + Enter> 键。

(2) 命令历史窗口 (Command History)

用于显示记录 MATLAB 启动时间和命令窗口中最近输入的所有 MATLAB 命令，可再次执行。

调出命令历史窗口：Desktop 菜单→Command History 或命令窗口中输入 commandhistory 命令。

(3) 工作空间窗口 (workspace)

工作空间窗口由一系列变量组成，可通过使用函数、运行 M 文件或载入已存在的工作空间来添加变量。用工作空间窗口可以显示每个变量的名称 (Name)、值 (Value)、数组大小 (Size)、字节大小 (Bytes) 和类型 (Class)。调出工作空间窗口：Desktop 菜单→Workspace。下面列举常见的命令：

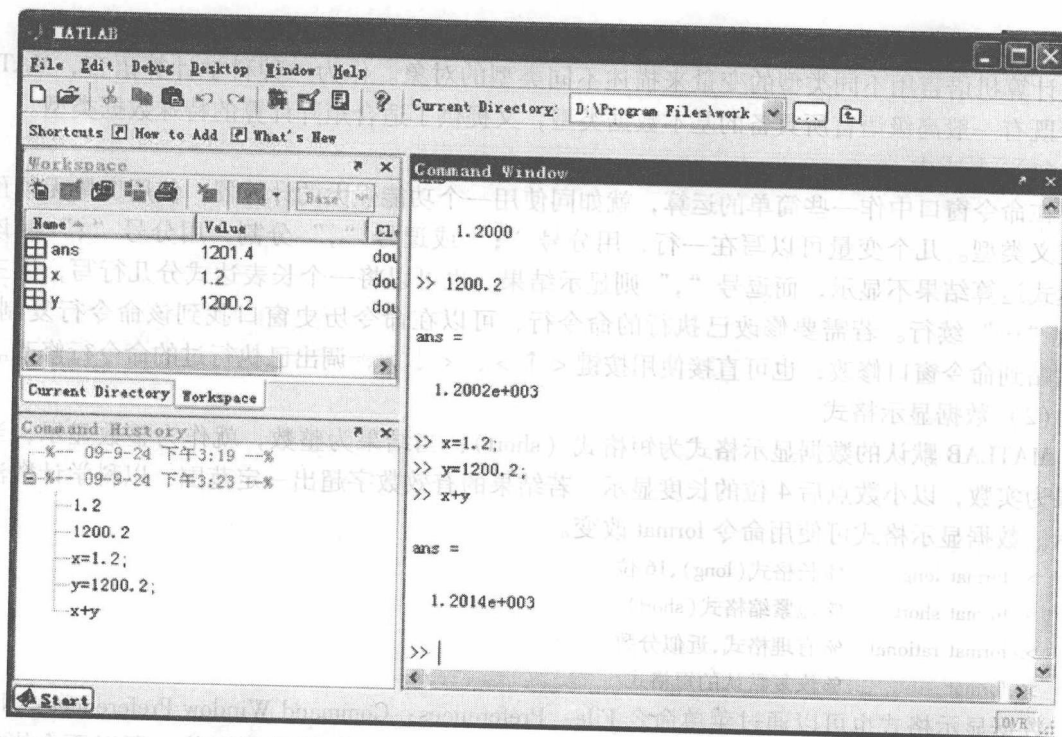


图 1-2 命令窗口中数据的输入和显示

- who 列出当前工作空间中的所有变量;
- whos 列出变量和它们的大小、类型;
- save 将工作空间中的部分或全部变量保存到一个二进制文件 (.mat);
- load 将二进制文件 (.mat) 中的变量装入工作空间。

(4) 当前目录窗口 (Current Directory)

当前目录窗口用于搜索、查看、打开、查找和改变 MATLAB 路径和文件。调出当前目录窗口: Desktop 菜单→Current Directory 或 filebrowser 命令。

(5) 菜单栏和工具栏

菜单栏和工具栏类似于 Word 等其他常用软件, 表 1-1 列出部分常用菜单栏和工具栏。

表 1-1 部分常用菜单栏/工具栏和使用说明

菜单栏 \ 工具栏	使用说明
File: New: M-file	用于新建 M 文件
File: Import Data	导入数据 Mat 文件
File: Save Workspace as	将工作空间所有变量和数据保存为数据 Mat 文件
File: Set Path	设置 MATLAB 文件搜索路径
File: Preferences	设置 MATLAB 选项, 如数据显示格式、字体等
Desktop: Desktop Layout	窗口布局选项, 一般都使用默认 (Default)
Desktop: Dock \ Undock	在组合窗口 \ 分离窗口之间切换
Desktop: Current Directory	设置当前工作目录
Help: Demos	MATLAB 功能演示

2. 数据类型

计算机语言用不同类型的变量来描述不同类型的对象。作为一种科学计算语言，MATLAB 既有一般高级语言所具备的基本数据类型，又提供了适合矩阵计算的特殊数据类型。

(1) 表达式

在命令窗口中作一些简单的运算，就如同使用一个功能强大的计算器，使用变量无须预先定义类型。几个变量可以写在一行，用分号“;”或逗号“,”分割，用分号“;”使该表达式运算结果不显示，而逗号“,”则显示结果。也可以将一个长表达式分几行写，用三连点“...”续行。若需要修改已执行的命令行，可以在命令历史窗口找到该命令行复制，再粘贴到命令窗口修改；也可直接使用按键<↑>、<↓>，调出已执行过的命令行修改。

(2) 数据显示格式

MATLAB 默认的数据显示格式为短格式 (short)：当结果为整数，就作为整数显示；当结果为实数，以小数点后 4 位的长度显示。若结果的有效数字超出一定范围，以科学计数法显示。数据显示格式可使用命令 format 改变。

```
>> format long      %长格式(long),16位
>> format short     %短紧缩格式(short)
>> format rational  %有理格式,近似分数
>> format           %恢复默认的短格式
```

数据显示格式也可以通过菜单命令 File: Preferences: Command Window Preferences: Numeric format 改变。需要指出的是，显示格式的改变不会影响数据的实际值，所以不会影响计数精度。其计数精度约为 16 位有效数字。

(3) 预定义变量

MATLAB 提供了一些预定义变量，定义了 MATLAB 应用和编程中经常用到的数据。如计算精度、圆周率等（如表 1-2 所示）。

表 1-2 预定义变量和返回值

变 量	返 回 值	变 量	返 回 值
ans	默认变量名，保留最近运算的结果 (answer)	nargin	函数的输入参数个数
computer	计算机类型	nargout	函数的输出参数个数
eps	系统的浮点 (floating-point) 相对精度，无穷小量	pi	圆周率 (= 3.1415926...)
i 或 j	基本虚数单位	realmax	系统所能表示的最大数值
inf	无限大 (∞)	realmin	系统所能表示的最小数值
nan 或 NaN	非数值 (不合法的数值)，例如 0/0， ∞/∞	version	MATLAB 版本字符串

注：表中的常数可以不必声明，直接应用于 MATLAB 编程。

例 1-2 >> a = abs(6 + 8j)

```
a =
    10
```

例 1-3 编辑函数 testarg1 ()

```
function c = testarg1(a,b); %检测函数的输入参数个数
```

```

if ( nargin == 1 )
    c = a + a;
elseif ( nargin == 2 )
    c = a + b;
end

```

设置当前工作目录为函数 `testarg1()` 所在目录，在命令窗口输入 `c = testarg1(5)`，显示 `c = 10`；输入 `c = testarg1(1, 2)`，显示 `c = 3`。

(4) 用户变量

MATLAB 变量名的第一个字符必须是字母，后面可以跟字母、数字和下划线的任何组合，但不能含中文。变量名区分大小写。

创建变量时不必声明变量的数据类型，可直接创建。但要防止它与系统的预定义变量名、函数名、保留字 (`for`, `if`, `while`, `end` 等) 冲突。

MATLAB 支持的基本变量数据类型包括：基本数值类型，字符（串）型 (`char`)，元胞数组（单元数组）(`cell`)，结构数组 (`struct`)，函数句柄 (`function handle`)，Java 对象，逻辑类型 (`logical`)。其中基本数值类型又包括双精度类型 `double float` (64 位)，单精度类型 `single float` (32 位)，整数类型 `integer`。整数类型 `integer` 又包括 `int8` ($-2^7 \sim 2^7 - 1$) 和 `uint8` ($0 \sim 2^8 - 1$)，`int16` ($-2^{15} \sim 2^{15} - 1$) 和 `uint16` ($0 \sim 2^{16} - 1$)，`int32` ($-2^{31} \sim 2^{31} - 1$) 和 `uint32` ($0 \sim 2^{32} - 1$)，`int64` ($-2^{63} \sim 2^{63} - 1$) 和 `uint64` ($0 \sim 2^{64} - 1$) 共 4 类。

例 1-4

```

x = int16(8); % 将 x 的值设置为 8, 数据类型为 int16 型
class(x)     % 用 class 函数显示变量的数据类型

```

3. 数组与矩阵

MATLAB 运算的基本数据对象是矩阵，数组（这里指向量）是矩阵的特殊类型，但创建与运算又有区别。数组与矩阵属于数据结构的范畴，MATLAB 中所有的数据都是用数组或矩阵形式保存的。

(1) 数组

1) 数组的构造。

① 直接法。

用空格或逗号间隔数组元素，然后用中括号 “[]” 括起来。

例 1-5 `x = [0 1 2 3]` 或 `x = [0, 1, 2, 3]`

句尾直接按下 <Enter> 键，显示数组；句尾加分号后按 <Enter> 键，不显示数组。

② 增量法（冒号法）。

利用 MATLAB 提供的冒号运算符 “:” 可生成 $1 \times n$ 的矩阵。

格式：`x = first:step:last`； % 初值：增量：终值，若增量默认，默认为 1

例 1-6 `x = 0:1:3` 或 `x = 0:3` % 定义的数组同例 1-5

```
x = 1:5:100;
```

```
x = 10:-1:1; % 不能表示为 x = 10:1
```

③ linspace 函数法。

格式：`x = linspace(first:last:num)`； % 初值：终值：元素个数，需指定首尾值和元素个数，步长 `step = (last-first)/(num-1)`；

例 1-7 $x = \text{linspace}(0:3:4)$; % 定义的数组同例 1-5

2) 数组的运算

常用数组运算符如表 1-3 所示。

表 1-3 常用数组运算符

运 算	符 号	说 明
数组加与减	$a + b$ 与 $a - b$	对应元素之间加减
数乘数组	$k * a$ 或 $a * k$	k 乘 a 的每个元素
数与数组加减	$k + a(k - a)$ 或 $a + k(a - k)$	k 加(减) a 的每个元素
数组乘数组	$a * b$	a 中的元素乘以 b 中对应的元素 $a(i) * b(i)$
数组乘方	$a.^k$	a 中各元素的 k 次幂
	$k.^a$	以 k 为底, a 中各元素为幂
数除以数组	$k ./ a$	以 k 为分子, a 中各元素为分母
数组除法	$a ./ b$ 左除	b 中的元素除以 a 中对应的元素 $b(i)/a(i)$
	$a ./ b$ 右除	a 中的元素除以 b 中对应的元素 $a(i)/b(i)$

注: 点运算只有点乘、点乘方、点除三个, 表示对应元素之间的运算; “.” 是一个整体, 点 “.” 不能漏掉, “.” 和 “*” 之间也不能有空格。

例 1-8 已知 $a = [1 \ 2 \ 3]$, $b = [2 \ 4 \ 6]$, $c = 3$; 分析下列执行结果:

```

a + b = [3 6 9]
a - b = [-1 -2 -3]
a + c = [4 5 6]
a * c = [3 6 9]
a * b = [2 8 16]
a ./ b = [2 2 2]
a ./ b = [0.5 0.5 0.5]
a.^b = [1^2 2^4 3^6]
a.^c = [1^3 2^3 3^3]
c.^a = [3^1 3^2 3^3]

```

(2) 矩阵

1) 矩阵的创建

①在命令窗口中创建。

例 1-9 $\gg x = [1 \ 2 \ 3; 4 \ 5 \ 6; 7 \ 8 \ 9]$

```

x =
1 2 3
4 5 6
7 8 9

```

②通过函数创建。

例 1-10 $\gg x = 0:\text{pi}/4:\text{pi}$;

$\gg y = \sin(x)$

```

y =
0 0.7071 1.0000 0.7071 0.0000

```

③通过数据文件创建, 在命令窗口或程序中调入。例如使用已有数据, 保存为 $c:\backslash \text{bdat.xls}$, 在 MATLAB 的 Files 菜单选 Import Data, 找到文件 $c:\backslash \text{bdat.xls}$ 打开, 就将表格

中数据作为二维数组赋予变量 bdat。

④通过 M 文件创建，在命令窗口或程序中执行。

⑤特殊矩阵的生成。

```
zeros(m,n); %生成m行n列全零阵
ones(m,n); %生成m行n列全1阵
eye(n); %生成n行n列单位阵
diag(a,n); %生成n+1行n+1列对角矩阵
magic(n); %生成n行n列魔方矩阵
```

⑥获取矩阵的元素 A(row,column)。

例 1-11 >> A = magic(5)

```
A =
    17    24     1     8    15
    23     5     7    14    16
     4     6    13    20    22
    10    12    19    21     3
    11    18    25     2     9

>> A(3,2)
ans =
     6

>> A(:,3:5) %表示取A的第3到第5列组成的矩阵
ans =
     1     8    15
     7    14    16
    13    20    22
    19    21     3
    25     2     9

>> B = [1 3 5];
>> C = A(B,4) %表示取A的第4列的第1,3,5行元素组成的矩阵
C =
     8
    20
     2

>> D = A(B,:) %表示取A的第1,3,5行组成的矩阵
D =
    17    24     1     8    15
     4     6    13    20    22
    11    18    25     2     9
```

⑦获取矩阵的信息。

```
length(X); %返回矩阵X的行数与列数中的最大值;如果X是向量,返回分量的个数
size(X); %返回矩阵X的行数和列数
ndims(X); %返回矩阵X的维数
numel(X); %返回矩阵X的元素个数
```

例 1-12 >> X = [1 2 3; 4 5 6]

>> length(X)

ans =

3

>> size(a)

ans =

2 3

>> ndims(a)

ans =

2

>> numel(a)

ans =

6

2) 矩阵的运算

矩阵常用的运算符如表 1-4 所示。

表 1-4 常用矩阵运算符

运 算	符 号	说 明
矩阵转置	A'	复矩阵共轭转置,实转置用 A'
矩阵加与减	$A + B$ 与 $A - B$	对应元素之间加减
数乘矩阵	$k * A$ 或 $A * k$	k 乘 A 的每个元素
数与矩阵加减	$k + A(k - A)$ 或 $A + k(A - k)$	k 加(减) A 的每个元素
矩阵乘法	$A * B$	A 中的元素乘以 B 中对应的元素 $A(i,j) * B(i,j)$
	$A * B$	$A * B$
矩阵乘方	$A.^k$	A 中各元素的 k 次幂
	$k.^A$	以 k 为底, A 中各元素为幂
	A^k	k 个 A 相乘
数除以矩阵	$k ./ A$	以 k 为底, A 中各元素为分母
矩阵除法	$A ./ B$ 左除	B 中的元素除以 A 中对应的元素 $B(i,j)/A(i,j)$
	$A ./ B$ 右除	A 中的元素除以 B 中对应的元素
	$A \setminus B$ 左除	$AX = B$ 的解
	A / B 右除	$XB = A$ 的解

例 1-13 已知 $A = [1\ 2; 3\ 4]$, $B = [4\ 3; 2\ 1]$; 分析下列执行结果:

>> 100 + A

ans =

101 102

103 104

>> A * B

ans =

8 5

20 13

>> A. * B

ans =

```

4    6
6    4
>> A\B
ans =
-6.0000  -5.0000
5.0000   4.0000
>> B/A
ans =
-3.5000   2.5000
-2.5000   1.5000
>> A.\B
ans =
4.0000   1.5000
0.6667   0.2500
>> B./A
ans =
4.0000   1.5000
0.6667   0.2500

```

下面介绍一些矩阵的特殊运算函数，如表 1-5 所示。

表 1-5 矩阵的特殊运算函数

函 数	函数说明	函 数	函数说明
det	求方阵的行列式	triu	提取矩阵 A 的上三角部分
inv	求方阵的逆	compan	求矩阵的伴随矩阵
rank	求矩阵的秩	eig	返回方阵的特征值和特征向量。[V,D] = eig(A) 其中 D 为特征值构成的对角阵，每个特征值对应 V 的列为属于该特征值的一个特征向量，如果只有一个返回值，则得到特征值构成的列向量
norm	求矩阵和向量的范数 norm(A,p), p 可取 1,2,inf		
norm(x,1)	1 范数		
norm(x,2)	2 范数(欧几里德范数)		
norm(x,inf)	无穷范数	cond	求矩阵的的条件数, cond(A,p), p 的含义同 norm
tril	提取矩阵 A 的下三角部分		

注：访问数组或矩阵的元素用小括号 a(i), A(i,j)。

3) 聚合矩阵

通过连接一个或多个矩阵来形成新的矩阵。[] 既是矩阵构造符，又是矩阵运算符。

①直接构造法。

C = [A B] 水平(相同行数);

C = [A;B] 垂直(相同列数)。

②函数构造法。

- cat 沿指定的维聚合;
- horzcat 水平聚合;
- vertcat 垂直聚合;
- repmat 通过复制和叠置矩阵来创建新的矩阵;

- blkdiag 用已有的矩阵创建新的对角矩阵。

例 1-14 >> A = [1 2 3;4 5 6];

>> B = [7 8 9;10 11 12];

>> C = eye(2) * 6;

>> D = [A B] % 等同于 horzcat(A,B)

D =

```

1   2   3   7   8   9
4   5   6  10  11  12

```

>> E = [A;B] % 等同于 vertcat(A,B)

E =

```

1   2   3
4   5   6
7   8   9
10  11  12

```

>> F = cat(1,A,B) % 沿 1 维(列)聚合,等同于 horzcat(A,B);cat(2,A,B) 等同于 vertcat(A,B)

F =

```

1   2   3   7   8   9
4   5   6  10  11  12

```

>> G = repmat(A,2,3) % 将 A 垂直方向复制 2 次,水平方向复制 3 次

G =

```

1   2   3   1   2   3   1   2   3
4   5   6   4   5   6   4   5   6
1   2   3   1   2   3   1   2   3
4   5   6   4   5   6   4   5   6

```

>> H = blkdiag(A,B,C) % 用 A,B,C 创建对角阵

H =

```

1   2   3   0   0   0   0   0
4   5   6   0   0   0   0   0
0   0   0   7   8   9   0   0
0   0   0  10  11  12   0   0
0   0   0   0   0   0   6   0
0   0   0   0   0   0   0   6

```

(3) 字符串 (char)

1) 字符串的创建

①直接法。

通过把字符放在单引号中来指定字符数据,每个字符占用 2 个字节。使用函数 class 或 ischar 测试数据类型。

```
country = 'china'
```

```
class(country)
```

创建二维字符串时,确定每行具有相同的长度。

```
name = ['liu ying';'hu xu'] % 错误
```

```
name = ['liu ying';'hu xu  '] % 正确
```

根据不同长度的字符串创建字符串时，将短的那些字符串用空格补齐，使所有字符串的长度相同。

②函数法。

用 char 函数创建，自动以最长的输入字符串的长度为标准，进行空格补齐。

```
name = char('liu ying', 'hu xu')
```

2) 字符转换

字符转换常用函数如表 1-6 所示。

表 1-6 字符转换常用函数说明

函 数	函 数 说 明
char	将单元数组转换为标准字符串数组
str2double	将单元数组转换为字符串表示的双精度值
int2str	将整型数据转换为字符串型数据
num2str	将数值型数据转换为字符串型数据
num2str (str, n)	将数值型数据转换为字符串型数据，且设置输出的位数，num2str (pi, 20)
str2num	将字符串型数据转换为数值型数据
mat2str	将二维数组转换为字符串

注：一个数组的元素要么都是数值，要么都是字符串。数值转换后可以与字符串出现在同一数组中。

例 1-15 >> x = 2009;

```
>> size(x) % 返回 x 的行列数
```

```
ans =
```

```
1 1
```

```
>> y = int2str(x) % 将整型数据转换为字符串型数据
```

```
y =
```

```
2009
```

```
>> size(y) % 返回 y 的行列数
```

```
ans =
```

```
1 4
```

```
>> class(x) % 测试 x 的数据类型
```

```
ans =
```

```
double
```

```
>> class(y) % 测试 y 的数据类型
```

```
ans =
```

```
char
```

```
若 x = [1 2 3; 4 5 6];
```

```
>> size(x) % 返回 x 的行列数
```

```
ans =
```

```
2 3
```

```
>> y = mat2str(x) % 将数组转换为字符串
```

```
y =
```



```
[1 2 3;4 5 6]
>> size(y) % 返回 y 的行列数
ans =
     1    13
>> class(x) % 测试 x 的数据类型
ans =
double
>> class(y) % 测试 y 的数据类型
ans =
char
```

MATLAB 命令可以定义成一个字符串，使用 eval 使字符串所表达的 MATLAB 命令得到实现。

例 1-16

```
>> fun = 'x.^2.*sin(x)';
fun =
x.^2.*sin(x);
>> x = 1:3;
eval(fun);
ans =
    0.8415    3.6372    1.2701
```

3) 比较字符串

```
strcmp(str1, str2) % 比较字符串 str1, str2
strncmp(str1, str2, n) % 比较字符串的前 n+1 个字符
关系运算符有: == != > >= < <=
```

4) 聚合字符串

- ① 聚合运算符 ([])。
- ② sprintf 函数。
- ③ strcat 函数。

例 1-17

```
>> num = 28; ['There are ' int2str(num) ' characters here']
ans =
There are 28 characters here
等价于 sprintf('There are %d characters here\n', num)
等价于 strcat('There are ', int2str(num), ' characters here')
```

(4) 单元 (cell) 数组

单元数组是一种特殊的数组，这种数组的元素是单元，能包含其他 MATLAB 数组。

1) 单元数组的建立

建立单元数组和一般数组相似，只是数组元素用大括号括起来。

- ① 通过赋值语句创建 (单元索引和内容索引)。

例 1-18 单元索引

```
>> A(1,1) = {[1 2 3;4 5 6]};
```