

控制系统仿真

实验指导书

李宁 杨霞 编

长安大学电控学院

自动化与交通控制工程实验教学中心

2009年6月

目录

实验内容.....	3
实验一 Matlab 语言的基础.....	3
实验二 控制系统的数学模型.....	6
实验三 控制系统仿真分析.....	8
实验四 SIMULINK 仿真.....	11
实验五 离散系统仿真.....	13
附录： MATLAB 基础知识.....	14
1. MATLAB 的基本知识.....	14
1-1、基本运算与函数.....	14
1-2、重复命令.....	20
1-3、逻辑命令.....	22
1-4、集合多个命令于一个 M 文件.....	22
1-5、搜寻路径.....	25
1-6、资料的储存与载入.....	27
1-7、结束 MATLAB.....	28
2. 数值分析.....	29
2-1、微分.....	29
2-2、积分.....	30
2-3、求解常微分方程式.....	30
2-4、非线性方程式的实根.....	31
2-5、线性代数方程（组）求解.....	33
3. 基本 xy 平面绘图命令.....	34
4. 三维网图的高级处理.....	42
4-1. 消隐处理.....	42
4-2. 裁剪处理.....	43
4-3. 三维旋转体的绘制.....	44

实验内容

实验一 Matlab 语言的基础

一、实验目的和要求

- 1、掌握 Matlab 语言的基础知识，包括 Matlab 窗口环境的使用；
- 2、矩阵运算及多项式处理；
- 3、基本的绘图命令；
- 4、程序设计入门。

二、实验内容：

1、帮助命令

使用 `help` 命令，查找 `sqrt`（开方）函数的使用方法；

2、矩阵运算

（1）矩阵的乘法

已知 $A=[1\ 2;3\ 4]$; $B=[5\ 5;7\ 8]$;

求 A^2*B

（2）矩阵除法

已知： $A=[1\ 2\ 3;4\ 5\ 6;7\ 8\ 9]$; $B=[1\ 0\ 0;0\ 2\ 0;0\ 0\ 3]$;

求 $A\B, A/B$

（3）矩阵的转置及共轭转置

已知： $A=[5+i,2-i,1;6*i,4,9-i]$;

求 $A.', A'$

（4）使用冒号选出指定元素

已知： $A=[1\ 2\ 3;4\ 5\ 6;7\ 8\ 9]$;

求 A 中第 3 列前 2 个元素；A 中所有列第 2, 3 行的元素；

3、多项式

(1) 求多项式 $p(x)=x^3-2x-4$ 的根

(2) 已知 $A=[1.2\ 3\ 5\ 0.9;5\ 1.7\ 5\ 6;3\ 9\ 0\ 1;1\ 2\ 3\ 4]$ ，求矩阵 A 的特征多项式；

4、基本绘图命令

(1) 绘制余弦曲线 $y=\cos(t)$, $t \in [0, 2\pi]$ 。

(2) 在同一坐标系中绘制余弦曲线 $y=\cos(t-0.25)$ 和正弦曲线 $y=\sin(t-0.5)$, $t \in [0, 2\pi]$ 。

(3) 方程 $y = \sin(\tan x) - \tan(\sin x)$, $x \in [-\pi, \pi]$ 试比较 $x=[-\pi : 0.05 : \pi]$ 和

$x=[-\pi : 0.05 : -1.8, -1.801 : .001: -1.2, -1.2 : 0.05: 1.2, 1.201 : .001 : 1.8, 1.81:0.05 : \pi]$ 的曲线有何不同。

(4) Butterworth 低通滤波器的数学模型为 $H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v) / D_0]^{2n}}$ ，其中

$D(u, v) = \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2}$, D_0 为给定的区域半径, n 为阶次, u_0 和 v_0 为区域的中心。假设

$D_0=200$, $n=2$, 绘制滤波器的三维曲面网格图。

(5) 分段函数为

$$p(x_1, x_2) = \begin{cases} 0.5457 \exp(-0.75x_2^2 - 3.75x_1^2 - 1.5x_1), & x_1 + x_2 > 1 \\ 0.7575 \exp(-x_2^2 - 6x_1^2), & -1 < x_1 + x_2 \leq 1 \\ 0.5457 \exp(-0.75x_2^2 - 3.75x_1^2 + 1.5x_1), & x_1 + x_2 \leq -1 \end{cases}$$

试用三维曲面表示这一函数。

5、基本绘图控制

绘制 $[0, 4\pi]$ 区间上的 $x_1=10\sin t$ 曲线，并要求：

(1) 线形为点划线、颜色为红色、数据点标记为加号；

(2) 坐标轴控制：显示范围、刻度线、网络线

(3) 标注控制：坐标轴名称、标题、相应文本；

6、基本程序设计

(1) 编写命令文件：计算 $1+2+\dots+n < 2000$ 时的最大 n 值；

(2) 编写函数文件：分别用 `for` 和 `while` 循环结构编写程序，求 2 的 0 到 n 次幂的和。

(3) 如果想对一个变量 x 自动赋值。当从键盘输入 y 或 Y 时（表示是）， x 自动赋为 1；当从键盘输入 n 或 N 时（表示否）， x 自动赋为 0；输入其他字符时终止程序。

(4) 编写一个函数生成 $n \times m$ 阶的 Hilbert 矩阵，它的第 i 行第 j 列的元素值为 $h_{i,j} = 1/(i+j-1)$ 。

(5) Lorenz 方程的数学形式为

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = -\beta x_1(t) + x_2(t)x_3(t) \\ \dot{x}_2(t) = -\sigma x_2(t) + \sigma x_3(t) \\ \dot{x}_3(t) = -x_1(t)x_2(t) + \gamma x_2(t) - x_3(t) \end{cases}$$

其中， $\beta = 8/3, \sigma = 10, \gamma = 28$ ，且其初值 $x_1(0) = x_2(0) = 0, x_3(0) = 10^{-3}$ ，求解该方程的数值解。

三、预习要求：

利用所学知识，编写实验内容中的相应程序。

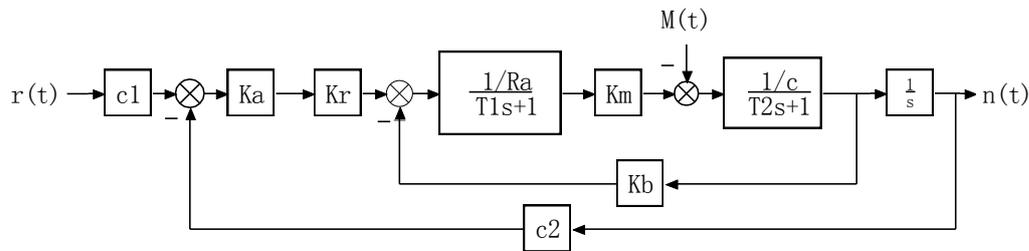
实验二 控制系统的数学模型

一、实验目的和要求

- 1、掌握控制系统的描述：微分方程、传递函数、零极点增益模式、部分分式展开、状态空间模型等在 MATLAB 的表示；
- 2、掌握各种模型之间相互转换的命令。

二、实验内容

- 1、考虑电机拖动系统模型，该系统有双输入，给定输入 $r(t)$ 和负载输入 $M(t)$ ，利用 MATLAB 符号运算工具箱推导出系统的传递函数矩阵。



- 2、多变量系统状态方程为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + u_1 \\ \dot{x}_2 = x_3 + 2u_1 - u_2 \\ \dot{x}_3 = -6x_1 - 11x_2 - 6x_3 + 2u_2 \\ y_1 = x_1 - x_2 \\ y_2 = 2x_1 + x_2 - x_3 \end{cases}$$

假设采样周期 $T=0.1s$ ，试求其离散系统状态方程，并对离散系统状态方程进行反变换，得其连续状态方程。

- 3、考虑下面给出的连续传递函数模型

$$G(s) = \frac{2.2s^4 + 23s^3 + 84s^2 + 134s + 76.8}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24} e^{-1.5s}$$

求系统可观测性标准型模型。

- 4、系统的传递函数模型为 $G(s) = \frac{s^3 + 7s^2 + 24s + 24}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24}$

假设系统的采用周期 $T=0.1s$ ，用正弦信号激励该系统模型，求其系统的输出信号。

5、假设两个子系统的状态方程模型为

$$\dot{x}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_1, \quad y_1 = [1, 3] x_1 + u_1,$$

$$\dot{x}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -3 \end{bmatrix} x_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_2, \quad y_2 = [1, 4] x_2 + 3u_2$$

分别用 `series`、`parallel` 和 `feedback` 函数求其串联、并联和正反馈方式下，系统的整体状态方程。

三、预习要求：

利用所学知识，编写实验内容中的相应程序。

实验三 控制系统仿真分析

一、 实验目的和要求：

- 1、通过 Matlab 求取系统的零极点增益模型直接获得系统的零极点，对控制系统的稳定性及是否为最小相位系统作出判断；
- 2、控制系统的典型分析方法（时域、频域分析）是目前控制系统界进行科学研究的主要方法，是进行控制系统设计的基础，要求熟练掌握 Matlab 单位阶跃响应、波特图等常用命令的使用；
- 3、根轨迹分析是求解闭环特征方程根的简单的图解方法，要求熟练掌握 Matlab 根轨迹的绘制。

二、 实验内容：

1、控制系统稳定性分析

- (1) 代数法稳定性判据：（用求分母多项式的根和 routh 函数两种方法）

已知系统的开环传递函数为：

$$G(s) = 100 \frac{(s+2)}{s(s+1)(s+20)}$$

试对系统闭环判别其稳定性

- (2) 根轨迹法判断系统稳定性：

已知一个单位负反馈系统开环传递函数为：

$$G(s) = k \frac{(s+3)}{s(s+5)(s+6)(s^2+2s+2)}$$

试在系统的闭环根轨迹图上选择一点，求出该点的增益及其系统的闭环极点位置，并判断在该点系统闭环的稳定性。

- (3) Bode 图法判断系统稳定性：

已知两个单位负反馈系统的开环传递函数分别为：

$$G_1(s) = \frac{2.7}{s^3 + 5s^2 + 4s} ; G_2(s) = \frac{2.7}{s^3 + 5s^2 - 4s}$$

用 Bode 图法判断系统闭环的稳定性。

2、系统分析方法

(1) 时域分析

①根据下面传递函数模型：绘制其单位阶跃响应曲线并从图上读取最大超调量，绘制系统的单位脉冲响应、零输入响应曲线。

$$G(s) = \frac{5(s^2 + 5s + 6)}{s^3 + 6s^2 + 10s + 8}$$

②典型二阶系统传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

当 $\zeta = 0.7, \omega_n$ 取 2、4、6、8、10、12 的单位阶跃响应。

③典型二阶系统传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

当 $\omega_n = 6, \zeta$ 取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.5、2.0 的单位阶跃响应。

(2) 频域分析

①典型二阶系统传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

当 $\zeta = 0.7, \omega_n$ 取 2、4、6、8、10、12 的伯德图

②典型二阶系统传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

当 $\omega_n = 6, \zeta$ 取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.5、2.0 的伯德图。

3、古典控制系统设计——根轨迹法分析

(1) 根据下面负反馈系统的开环传递函数，绘制系统根轨迹，并分析系统稳定的 K 值范围。

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

(2) 设单位负反馈系统的开环传递函数为：

$$G_0(s) = \frac{256}{s(s+8)(s+16)}$$

试确定带惯的 PD 控制器的串联超前校正参数，使之满足：

- (1) 阶跃响应的超调量： $\sigma \leq 30\%$ ；
- (2) 阶跃响应的超调时间： $t_s \leq 0.8s (\Delta=0.2)$ 。

三、预习要求：

利用所学知识，编写实验内容中的相应程序。

实验四 SIMULINK 仿真

一、实验目的和要求

- 1、型化图型输入使得用户可以把更多的精力投入到模型的构建上来，要求熟悉各功能模块库中各子模块的功能，熟练掌握 SIMULINK 环境下模块的操作及线的处理，掌握自定义功能模块。
- 2、掌握 SIMULINK 解法器的设置。S-FUNCTION 是扩展 MATLAB 函数库的一个实用方法，要求熟练掌握它的编写及用法。使用 SIMULINK 进行仿真分析的关键是熟练地运用各功能子模块构建出需要的正确的系统模型并合理地设置解法器以使仿真得以正常运行。

二、实验内容：

1、Simulink 的基本操作

- (1) 运行 Simulink
- (2) 常用的标准模块
- (3) 模块的操作

2、系统仿真及参数设置

- (1) 算法设置 (Solver)
- (2) 工作空间设置 (Workspace I/O)

3、已知系统结构图如下：

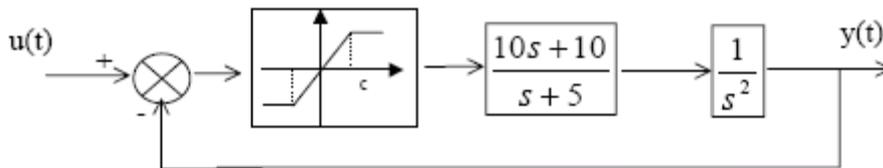


图. 含饱和和非线性环节系统方框图

已知输入为信号电平从 1~6，非线性环节的上下限为 ± 1 ，取步长 $h=0.1$ ，仿真时间为 10 秒，试绘制系统的响应曲线。

4、PID 控制系统的结构如图所示，试设计串联补偿器，使系统速度稳态误差小于 10%，相角裕量 $PM=45^\circ$ ，并对系统进行仿真。

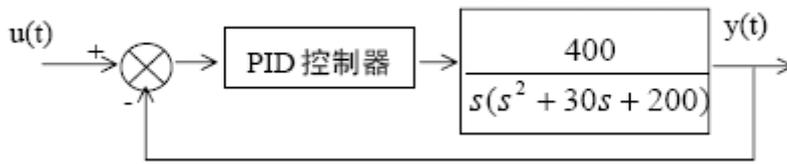


图. 典型 PID 控制系统结构图

5、经典的计算机控制系统模型如下图所示，其中，控制器模型是离散模型，采用周期为 T_s ，ZOH 为零阶保持器，而受控对象模型为连续模型，假设受控对象和控制器都给定

$$G(s) = \frac{a}{s(s+1)}, D(z) = \frac{1-e^{-T}}{1-e^{-0.1T}} \frac{z-e^{-0.1T}}{z-e^{-T}}, \text{ 其中 } a=0.1。 \text{ 试用 Simulink 分析该系统。}$$

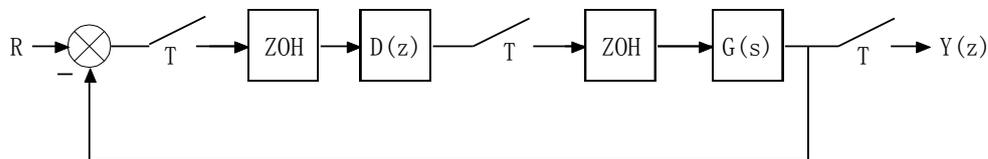


图 计算机控制系统框图

6、控制系统模型如下图所示，其中控制器参数为 $K_p=200$ ， $K_i=10$ ，饱和和非线性的宽度 $\delta = 2$ ，受控对象为时变模型，其微分方程为

$$\ddot{y}(t) + e^{-0.2t} \dot{y}(t) + e^{-5t} \sin(2t + 6)y(t) = u(t), \text{ 试分析系统的阶跃响应曲线。}$$

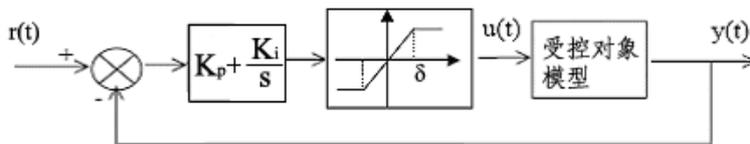


图 时变控制系统框图

7、对上题给出的时变系统模型，假设系统的输入信号为单位脉冲信号，试用 Simulink 环境求取系统的脉冲响应。

8、考虑一个生成多阶梯信号的信号发生器，假设想在 t_1, t_2, \dots, t_N 时刻分别开始生成幅值为 r_1, r_2, \dots, r_N 的阶跃信号, 试用 S-函数来搭建信号发生模块。

三、预习要求：

利用所学知识，熟悉实验内容中 1 到 2 的相应内容，编写实验内容中 3-8 的相应程序。

实验五 离散系统仿真

一、实验目的和要求

熟练掌握 Matlab 中离散命令的使用。

二、实验内容

已知离散系统传递函数

$$H(z) = \frac{2 + 3z^{-1} + 4z^{-2}}{1 + 3z^{-1} + 3z^{-2} + 2z^{-3}}$$

自动选择频率范围，绘制出系统的频率响应曲线，包括 Bode 图和 Nyquist 图，并求出幅值裕度和相角裕度。

三、预习要求：

利用所学知识，熟悉实验内容并编写实验的相应程序。

附录： matlab 基础知识

1. MATLAB 的基本知识

1-1、基本运算与函数

在 MATLAB 下进行基本数学运算，只需将运算式直接打入提示号 (>>) 之后，并按入 **Enter** 键即可。

例如：

```
>> (5*2+1.3-0.8)*10/25
```

```
ans =4.2000
```

MATLAB 会将运算结果直接存入一变量 ans，代表 MATLAB 运算后的答案 (Answer) 并显示其数值于萤幕上。

小提示：“>>”是 MATLAB 的提示符号，但在 PC 中文视窗系统下，由于编码方式不同，此提示符号常会消失不见，但这并不会影响到 MATLAB 的运算结果。

我们也可将上述运算式的结果设定给另一个变量 x：

```
x = (5*2+1.3-0.8)*10^2/25
```

```
x = 42
```

此时 MATLAB 会直接显示 x 的值。由上例可知，MATLAB 认识所有一般常用到的加 (+)、减 (-)、乘 (*)、除 (/) 的数学运算符号，以及幂次运算 (^)。

小提示： MATLAB 将所有变量均存成 double 的形式，所以不需经过变量声明。MATLAB 同时也会自动进行记忆体的使用和回收，而不必像 C 语言，必须由使用者一一指定。这些功能使的 MATLAB 易学易用，使用者可专心致力于撰写程式，而不必被软体枝节问题所干扰。

若不想让 MATLAB 每次都显示运算结果，只需在运算式最后加上分号 (;) 即可，如下例：

```
y = sin(10)*exp(-0.3*4^2);
```

若要显示变量 y 的值，直接键入 y 即可：

```
>>y
```

```
y =-0.0045
```

`y = 3 7 2 0 10`

在上例中，MATLAB 会忽略所有在**百分比符号 (%)** 之后的文字，因此百分比之后的文字均可视为程式的注解。MATLAB 亦可取出向量的一个元素或一部份来做运算：

```
x(2)*3+y(4)      % 取出 x 的第二个元素和 y 的第四个元素来做运算
```

```
ans = 9
```

```
y(2:4)-1         % 取出 y 的第二至第四个元素来做运算
```

```
ans = 6 1 -1
```

在上例中，2:4 代表一个由 2、3、4 组成的向量

若对 MATLAB 函数用法有疑问，可随时使用线上支援。

小整理：MATLAB 的查询命令

help	用来查询已知命令的用法。例如已知 <code>inv</code> 是用来计算反矩阵，键入 <code>help inv</code> 即可得知有关 <code>inv</code> 命令的用法。（键入 <code>help help</code> 则显示 <code>help</code> 的用法，请试看看！）
lookfor	用来寻找未知的命令。例如要寻找计算反矩阵的命令，可键入 <code>lookfor inverse</code> ，MATLAB 即会列出所有和关键字 <code>inverse</code> 相关的指令。找到所需的命令后，即可用 <code>help</code> 进一步找出其用法。（ <code>lookfor</code> 事实上是对所有在搜寻路径下的 M 文件进行关键字对第一注解行的比对，详见后叙。）

将列向量转置（Transpose）后，即可得到行向量（Column vector）：

```
z = x'
```

```
z = 4.0000
```

```
    5.2000
```

```
    6.4000
```

```
    7.6000
```

```
    8.8000
```

```
   10.0000
```

不论是行向量或列向量，我们均可用相同的函数找出其元素个数、最大值、最小值等：

```
length(z)        % z 的元素个数
```

ans = 6

max(z) % z 的最大值

ans = 10

min(z) % z 的最小值

ans = 4

小整理：适用于向量的常用函数有：

min(x)	向量 x 的元素的最小值
max(x)	向量 x 的元素的最大值
mean(x)	向量 x 的元素的平均值
median(x)	向量 x 的元素的中位数
std(x)	向量 x 的元素的标准差
diff(x)	向量 x 的相邻元素的差
sort(x)	对向量 x 的元素进行排序 (Sorting)
length(x)	向量 x 的元素个数
norm(x)	向量 x 的欧氏 (Euclidean) 长度
sum(x)	向量 x 的元素总和
prod(x)	向量 x 的元素总乘积
cumsum(x)	向量 x 的累计元素总和
cumprod(x)	向量 x 的累计元素总乘积
dot(x, y)	向量 x 和 y 的内积
cross(x, y)	向量 x 和 y 的外积

(大部份的向量函数也可适用于矩阵，详见下述。)

若要输入矩阵，则必须在每一列结尾加上分号 (;)，如下例：

```
A = [1 2 3 4; 5 6 7 8; 9 10 11 12];
```

```
A =
```

```
1  2  3  4
```

```
5  6  7  8
```

```
9 10 11 12
```

同样地，我们可以对矩阵进行各种处理：

```
A(2,3) = 5            % 改变位于第二列，第三行的元素值
```

```
A =
```

```
1  2  3  4
```

```
5  6  5  8
```

```
9 10 11 12
```

```

B = A(2,1:3)      % 取出部份矩阵 B

B = 5 6 5

A = [A B]        % 将 B 转置后以行向量并入 A

A =

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

A(:, 2) = []     % 删除第二行 (: 代表所有列)

A =

1  3  4  5
5  5  8  6
9 11 12  5

A = [A; 4 3 2 1] % 加入第四列

A =

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

A([1 4], :) = [] % 删除第一和第四列 (: 代表所有行)

A =

5  5  8  6
9 11 12  5

```

这几种矩阵处理的方式可以相互叠代运用，产生各种意想不到的效果，就看各位的巧思和创意。

小提示：在 MATLAB 的内部资料结构中，每一个矩阵都是一个以行为主（Column-oriented）的阵列（Array）因此对于矩阵元素的存取，我们可用一维或二维的索引（Index）来定址。举例来说，在上述矩阵 A 中，位于第二列、第三行的元素可写为 A(2,3)（二维索引）或 A(6)（一维索引，即将所有直行进行堆叠后的第六个元素）。

此外，若要重新安排矩阵的形状，可用 **reshape** 命令：

```
B = reshape(A, 4, 2) % 4 是新矩阵的列数，2 是新矩阵的行数
```

B =

5 8

9 12

5 6

11 5

小提示： A(:)就是将矩阵 A 每一列堆叠起来，成为一个行向量，而这也是 MATLAB 变量的内部储存方式。以前例而言，`reshape(A, 8, 1)`和 `A(:)`同样都会产生一个 8x1 的矩阵。

MATLAB 可在同时执行数个命令，只要以逗号或分号将命令隔开：

```
x = sin(pi/3); y = x^2; z = y*10,
```

```
z =
```

```
7.5000
```

若一个数学运算是太长，可用三个句点将其延伸到下一行：

```
z = 10*sin(pi/3)* ...
```

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

若要检视现存于工作空间 (Workspace) 的变量，可键入 `who`：

```
who
```

```
Your variables are:
```

```
testfile x
```

这些是由使用者定义的变量。若要知道这些变量的详细资料，可键入：

```
whos
```

```
Name Size Bytes Class
```

```
A 2x4 64 double array
```

```
B 4x2 64 double array
```

```
ans 1x1 8 double array
```

```
x 1x1 8 double array
```

```
y 1x1 8 double array
```

```
z 1x1 8 double array
```

```
Grand total is 20 elements using 160 bytes
```

使用 `clear` 可以删除工作空间的变量：

```
clear A
```

```
A
```

```
??? Undefined function or variable 'A'.
```

另外 MATLAB 有些永久常数 (Permanent constants)，虽然在工作空间中看不到，但使用者可直接取用，例如：

```
pi
```

```
ans = 3.1416
```

下表即为 MATLAB 常用到的永久常数。

小整理：MATLAB 的永久常数

i 或 j	基本虚数单位
eps	系统的浮点 (Floating-point) 精确度
inf	无限大，例如 1/0 nan 或 NaN: 非数值 (Not a number)，例如 0/0
pi	圆周率 π (= 3.1415926...)
realmax	系统所能表示的最大数值
realmin	系统所能表示的最小数值
nargin	函数的输入引数个数
nargout	函数的输出引数个数

1-2、重复命令

最简单的重复命令是 for 圈 (for-loop)，其基本形式为：

```
for 变量 = 矩阵;
```

```
运算式;
```

```
end
```

其中变量的值会被依次设定为矩阵的每一行，来执行介于 for 和 end 之间的运算式。因此，若无意外情况，运算式执行的次数会等于矩阵的行数。

举例来说，下列命令会产生一个长度为 6 的调和数列 (Harmonic sequence)：

```
x = zeros(1,6);          % x 是一个 1X6 的零矩阵
```

```
for i = 1:6,
```

```
x(i) = 1/i;
```

```
end
```

在上例中，矩阵 x 最初是一个 1x6 的零矩阵，在 for 圈中，变量 i 的值依次是 1 到 6，因此矩阵 x 的第 i 个元素的值依次被设为 1/i。我们可用分数来显示此数列：

```
format rat              % 使用分数来表示数值
```

```
disp(x)
```

```
1 1/2 1/3 1/4 1/5 1/6
```

for 圈可以是多层的，下例产生一个 16 的 Hilbert 矩阵 h，其中为第 i 列、第 j 行的元素为

```
h = zeros(6);
```

```
for i = 1:6,
```

```
for j = 1:6,
```

```
h(i,j) = 1/(i+j-1);
```

```
end
```

```
end
```

```
disp(h)
```

```
1 1/2 1/3 1/4 1/5 1/6
```

```
1/2 1/3 1/4 1/5 1/6 1/7
```

```
1/3 1/4 1/5 1/6 1/7 1/8
```

```
1/4 1/5 1/6 1/7 1/8 1/9
```

```
1/5 1/6 1/7 1/8 1/9 1/10
```

```
1/6 1/7 1/8 1/9 1/10 1/11
```

小提示：预先配置矩阵 在上面的例子，我们使用 zeros 来预先配置（Allocate）了一个适当大小的矩阵。若不预先配置矩阵，程式仍可执行，但此时 MATLAB 需要动态地增加（或减小）矩阵的大小，因而降低程式的执行效率。所以在使用一个矩阵时，若能在事前知道其大小，则最好先使用 zeros 或 ones 等命令来预先配置所需的记忆体（即矩阵）大小。

在下例中，for 圈列出先前产生的 Hilbert 矩阵的每一行的平方和：

```
for i = h,
```

```
disp(norm(i)^2);          % 印出每一行的平方和
```

```
end
```

```
1299/871
```

```
282/551
```

```
650/2343
```

```
524/2933
```

```
559/4431
```

在上例中，每一次 i 的值就是矩阵 h 的一行，所以写出来的命令特别简洁。

另一个常用到的重复命令是 `while` 圈，其基本形式为：

`while` 条件式；

运算式；

`end`

也就是说，只要条件成立，运算式就会一再被执行。例如先前产生调和数列的例子，我们可用 `while` 圈改写如下：

```
x = zeros(1,6); % x 是一个 16 的零矩阵
```

```
i = 1;
```

```
while i <= 6,
```

```
x(i) = 1/i;
```

```
i = i+1;
```

```
end
```

```
format short
```

1-3、逻辑命令

最简单的逻辑命令是 `if, ..., end`，其基本形式为：

`if` 条件式；

运算式；

`end`

```
if rand(1,1) > 0.5,
```

```
disp('Given random number is greater than 0.5.');
```

```
end
```

```
Given random number is greater than 0.5.
```

1-4、集合多个命令于一个M文件

若要一次执行大量的 MATLAB 命令，可将这些命令存放于一个副档名为 m 的文件，并在 MATLAB 提示号下键入此文件的主档名即可。此种包含 MATLAB 命令的文件都以 m 为副档名，因此通称 M 文件 (M-files)。例如一个名为 test.m 的 M 文件，包含一连串的 MATLAB 命令，那麽只要直接键入 test，即可执行其所包含的命令：

```
pwd          % 显示现在的目录

ans =

D:\MATLAB5\bin

cd c:\data\mlbook          % 进入 test.m 所在的目录

type test.m                % 显示 test.m 的内容

% This is my first test M-file.

% Roger Jang, March 3, 1997

fprintf('Start of test.m!\n');

for i = 1:3,

fprintf('i = %d ---> i^3 = %d\n', i, i^3);

end

fprintf('End of test.m!\n');

test                    % 执行 test.m

Start of test.m!

i = 1 ---> i^3 = 1

i = 2 ---> i^3 = 8

i = 3 ---> i^3 = 27

End of test.m!
```

小提示：第一注解行 (H1 help line) test.m 的前两行是注解，可以使程式易于了解与管理。特别要说明的是，第一注解行通常用来简短说明此 M 文件的功能，以便 lookfor 能以关键字比对的方式来找出此 M 文件。举例来说，test.m 的第一注解行包含 test 这个字，因此如果键入 lookfor test，MATLAB 即可列出所有在第一注解行包含 test 的 M 文件，因而 test.m 也会被列名在内。

严格来说，M 文件可再细分为命令集 (Scripts) 及函数 (Functions)。前述的 test.m 即为命令集，其效用和将命令逐一输入完全一样，因此若在命令集可以直接使用工作空间的变量，而且在命令集中设定的变量，也都在工作空间中看得到。函数则需要用到输入引数 (Input arguments) 和输出引数 (Output arguments) 来传递资讯，这就像是 C 语言的函数，或是 FORTRAN 语言的副程序

(Subroutines)。举例来说，若要计算一个正整数的阶乘 (Factorial)，我们可以写一个如下的 MATLAB 函数并将之存档于 fact.m:

```
function output = fact(n)

% FACT Calculate factorial of a given positive integer.

output = 1;

for i = 1:n,

output = output*i;

end
```

其中 fact 是函数名，n 是输入引数，output 是输出引数，而 i 则是此函数用到的暂时变量。要使用此函数，直接键入函数名及适当输入引数值即可：

```
y = fact(5)

y = 120
```

(当然，在执行 fact 之前，你必须先进入 fact.m 所在的目录。) 在执行 fact(5) 时，MATLAB 会跳入一个下层的暂时工作空间 (Temporary workspace)，将变量 n 的值设定为 5，然后进行各项函数的内部运算，所有内部运算所产生的变量 (包含输入引数 n、暂时变量 i，以及输出引数 output) 都存在此暂时工作空间中。运算完毕后，MATLAB 会将最后输出引数 output 的值设定给上层的变量 y，并将清除此暂时工作空间及其所含的所有变量。换句话说，在呼叫函数时，你只能经由输入引数来控制函数的输入，经由输出引数来得到函数的输出，但所有的暂时变量都会随着函数的结束而消失，你并无法得到它们的值。

小提示：有关阶乘函数 前面 (及后面) 用到的阶乘函数只是纯粹用来说明 MATLAB 的函数观念。若实际要计算一个正整数 n 的阶乘 (即 n!) 时，可直接写成 prod(1:n)，或是直接呼叫 gamma 函数：gamma(n-1)。

MATLAB 的函数也可以是递式的 (Recursive)，也就是说，一个函数可以呼叫它本身。

举例来说， $n! = n * (n-1)!$ ，因此前面的阶乘函数可以改成递式的写法：

```
function output = fact(n)

% FACT Calculate factorial of a given positive integer recursively.

if n == 1, % Terminating condition

output = 1;

return;

end
```

```
output = n*fact(n-1);
```

在写一个递归函数时，一定要包含结束条件（Terminating condition），否则此函数将会一再呼叫自己，永远不会停止，直到电脑的记忆体被耗尽为止。以上例而言， $n=1$ 即满足结束条件，此时我们直接将 output 设为 1，而不再呼叫此函数本身。

1-5、搜寻路径

在前一节中，test.m 所在的目录是 d:\mlbook。如果不先进入这个目录，MATLAB 就找不到你要执行的 M 文件。如果希望 MATLAB 不论在何处都能执行 test.m，那么就必須将 d:\mlbook 加入 MATLAB 的搜寻路径（Search path）上。要检视 MATLAB 的搜寻路径，键入 path 即可：

```
path
```

```
MATLABPATH
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\general
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\ops
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\lang
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\elmat
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\elfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\specfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\matfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\datafun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\polyfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\funfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\sparfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\graph2d
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\graph3d
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\specgraph
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\graphics
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\uitools
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\strfun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\iofun
```

```
d:\matlab5\toolbox\matlab\timefun
d:\matlab5\toolbox\matlab\datatypes
d:\matlab5\toolbox\matlab\dde
d:\matlab5\toolbox\matlab\demos
d:\matlab5\toolbox\tour
d:\matlab5\toolbox\simulink\simulink
d:\matlab5\toolbox\simulink\blocks
d:\matlab5\toolbox\simulink\simdemos
d:\matlab5\toolbox\simulink\dee
d:\matlab5\toolbox\local
```

此搜寻路径会依已安装的工具箱 (Toolboxes) 不同而有所不同。要查询某一命令是在搜寻路径的何处, 可用 `which` 命令:

```
which expo
d:\matlab5\toolbox\matlab\demos\expo.m
```

很显然 `c:\data\mlbook` 并不在 MATLAB 的搜寻路径中, 因此 MATLAB 找不到 `test.m` 这个 M 文件:

```
which test
c:\data\mlbook\test.m
```

要将 `d:\mlbook` 加入 MATLAB 的搜寻路径, 还是使用 `path` 命令:

```
path(path, 'c:\data\mlbook');
```

此时 `d:\mlbook` 已加入 MATLAB 搜寻路径 (键入 `path` 试看看), 因此 MATLAB 已经"看"得到

```
test.m:
which test
c:\data\mlbook\test.m
```

现在我们可以直接键入 `test`, 而不必先进入 `test.m` 所在的目录。

小提示: 如何在其启动 MATLAB 时, 自动设定所需的搜寻路径? 如果在每一次启动 MATLAB 后都要设定所需的搜寻路径, 将是一件很麻烦的事。有两种方法, 可以使 MATLAB 启动后, 即可载入使用者定义的搜寻路径:

1. MATLAB 的预设搜寻路径是定义在 `matlabrc.m` (在 `c:\matlab` 之下, 或是其他安装 MATLAB 的主目录下), MATLAB 每次启动后, 即自动执行此文件。因此你可以直接修改 `matlabrc.m`, 以加入新的目录于搜寻路径之中。

2. MATLAB 在执行 `matlabrc.m` 时, 同时也会在预设搜寻路径中寻找 `startup.m`, 若此文件存在, 则执行其所含的命令。因此我们可将所有在 MATLAB 启动时必须执行的命令 (包含更改搜寻路径的命令), 放在此文件中。

每次 MATLAB 遇到一个命令 (例如 `test`) 时, 其处置程序为:

1. 将 `test` 视为使用者定义的变量。
2. 若 `test` 不是使用者定义的变量, 将其视为永久常数。
3. 若 `test` 不是永久常数, 检查其是否为目前工作目录下的 M 文件。
4. 若不是, 则由搜寻路径寻找是否有 `test.m` 的文件。
5. 若在搜寻路径中找不到, 则 MATLAB 会发出哔哔声并印出错误讯息。

以下介绍与 MATLAB 搜寻路径相关的各项命令。

1-6、资料的储存与载入

有些计算旷日废时, 那我们通常希望能将计算所得的储存在文件中, 以便将来可进行其他处理。MATLAB 储存变量的基本命令是 `save`, 在不加任何选项(Options)时, `save` 会将变量以二进制(Binary)的方式储存至副档名为 `mat` 的文件, 如下述:

`save`: 将工作空间的所有变量储存到名为 `matlab.mat` 的二进制文件。

`save filename`: 将工作空间的所有变量储存到名为 `filename.mat` 的二进制文件。 `save filename x y z` : 将变量 `x`、`y`、`z` 储存到名为 `filename.mat` 的二进制文件。

以下为使用 `save` 命令的一个简例:

```
who % 列出工作空间的变量
```

```
Your variables are:
```

```
B h j y
```

```
ans i x z
```

```
save test B y % 将变量 B 与 y 储存至 test.mat
```

```
dir % 列出现在目录中的文件
```

```
. 2plotxy.doc fact.m simulink.doc test.m ~$1basic.doc
```

```
.. 3plotxyz.doc first.doc temp.doc test.mat
```

```
1basic.doc book.dot go.m template.doc testfile.dat
```

```
delete test.mat % 删除 test.mat
```

以二进制的方式储存变量，通常文件会比较小，而且在载入时速度较快，但是就无法用普通的文书软体（例如 pe2 或记事本）看到文件内容。若想看到文件内容，则必须加上 `-ascii` 选项，详见下述：

`save filename x -ascii`: 将变量 `x` 以八位数存到名为 `filename` 的 ASCII 文件。

`Save filename x -ascii -double`: 将变量 `x` 以十六位数存到名为 `filename` 的 ASCII 文件。

另一个选项是 `-tab`，可将同一列相邻的数目以定位键（Tab）隔开。

小提示：二进制和 ASCII 文件的比较 在 `save` 命令使用 `-ascii` 选项后，会有下列现象：`save` 命令就不会在文件名称后加上 `mat` 的副档名。

因此以副档名 `mat` 结尾的文件通常是 MATLAB 的二进位资料档。

若非有特殊需要，我们应该尽量以二进制方式储存资料。

`load` 命令可将文件载入以取得储存之变量：

`load filename`: `load` 会寻找名称为 `filename.mat` 的文件，并以二进制格式载入。若找不到 `filename.mat`，则寻找名称为 `filename` 的文件，并以 ASCII 格式载入。`load filename -ascii`: `load` 会寻找名称为 `filename` 的文件，并以 ASCII 格式载入。

若以 ASCII 格式载入，则变量名称即为文件名称（但不包含副档名）。若以二进制载入，则可保留原有的变量名称，如下例：

```
clear all; % 清除工作空间中的变量
```

```
x = 1:10;
```

```
save testfile.dat x -ascii % 将 x 以 ASCII 格式存至名为 testfile.dat 的文件
```

```
load testfile.dat % 载入 testfile.dat
```

```
who % 列出工作空间中的变量
```

```
Your variables are:
```

```
testfile x
```

注意在上述过程中，由于是以 ASCII 格式储存与载入，所以产生了一个与文件名称相同的变量 `testfile`，此变量的值和原变量 `x` 完全相同。

1-7、结束MATLAB

有三种方法可以结束 MATLAB:

1. 键入 exit
2. 键入 quit
3. 直接关闭 MATLAB 的命令视窗 (Command window)

2. 数值分析

2-1、微分

diff 函数用以演算一函数的微分项, 相关的函数语法有下列 4 个:

diff(f)	传回 f 对预设独立变量的一次微分值
diff(f,t)	传回 f 对独立变量 t 的一次微分值
diff(f,n)	传回 f 对预设独立变量的 n 次微分值
diff(f,t,n)	传回 f 对独立变量 t 的 n 次微分值

数值微分函数也是用 diff, 因此这个函数是靠输入的引数决定是以数值或是符号微分, 如果引数为向量则执行数值微分, 如果引数为符号表示式则执行符号微分。

先定义下列三个方程式, 接著再演算其微分项:

```
>>S1 = '6*x^3-4*x^2+b*x-5';
```

```
>>S2 = 'sin(a)';
```

```
>>S3 = '(1 - t^3)/(1 + t^4)';
```

```
>>diff(S1)
```

```
ans=18*x^2-8*x+b
```

```
>>diff(S1,2)
```

```
ans= 36*x-8
```

```
>>diff(S1,'b')
```

```
ans= x
```

```
>>diff(S2)
```

```
ans=
```

```
cos(a)
```

```
>>diff(S3)
```

```
ans=-3*t^2/(1+t^4)-4*(1-t^3)/(1+t^4)^2*t^3
```

```
>>simplify(diff(S3))
```

```
ans= t^2*(-3+t^4-4*t)/(1+t^4)^2
```

2-2、积分

int 函数用以演算一函数的积分项，这个函数要找出一符号式 F 使得 $\text{diff}(F)=f$ 。如果积分式的解析式 (analytical form, closed form) 不存在的话或是 MATLAB 无法找到，则 int 传回原输入的符号式。相关的函数语法有下列 5 个：

int(f)	传回 f 对预设独立变量的积分值
int(f,'t')	传回 f 对独立变量 t 的积分值
int(f,a,b)	传回 f 对预设独立变量的积分值，积分区间为 [a, b]，a 和 b 为数值式
int(f,'t',a,b)	传回 f 对独立变量 t 的积分值，积分区间为 [a,b]，a 和 b 为数值式
int(f,'m','n')	传回 f 对预设变量的积分值，积分区间为 [m,n]，m 和 n 为符号式

我们示范几个例子：

```
>>S1 = '6*x^3-4*x^2+b*x-5';
```

```
>>S2 = 'sin(a)';
```

```
>>S3 = 'sqrt(x)';
```

```
>>int(S1)
```

```
ans= 3/2*x^4-4/3*x^3+1/2*b*x^2-5*x
```

```
>>int(S2)
```

```
ans= -cos(a)
```

```
>>int(S3)
```

```
ans= 2/3*x^(3/2)
```

```
>>int(S3,'a','b')
```

```
ans= 2/3*b^(3/2)- 2/3*a^(3/2)
```

```
>>int(S3,0.5,0.6)
```

```
ans= 2/25*15^(1/2)-1/6*2^(1/2)
```

```
>>numeric(int(S3,0.5,0.6)) % 使用 numeric 函数可以计算积分的数值
```

```
ans= 0.0741
```

2-3、求解常微分方程式

MATLAB 解常微分方程的语法是 `dsolve('equation','condition')`，其中 `equation` 代表常微分方程式即 $y'=g(x,y)$ ，且须以 `Dy` 代表一阶微分项 y' `D2y` 代表二阶微分项 y'' ，`condition` 则为初始条件。

假设有以下三个一阶常微分方程式和其初始条件

$$y'=3x^2, y(2)=0.5$$

$$y'=2.x.\cos(y)^2, y(0)=0.25$$

$$y'=3y+\exp(2x), y(0)=3$$

对应上述常微分方程式的符号运算式为：

```
>>soln_1 = dsolve('Dy = 3*x^2','y(2)=0.5')
```

```
ans= x^3-7.500000000000000
```

```
>>ezplot(soln_1,[2,4]) % 看看这个函数的长相
```

```
>>soln_2 = dsolve('Dy = 2*x*cos(y)^2','y(0) = pi/4')
```

```
ans= atan(x^2+1)
```

```
>>soln_3 = dsolve('Dy = 3*y + exp(2*x)',' y(0) = 3')
```

```
ans= -exp(2*x)+4*exp(3*x)
```

2-4、非线性方程式的实根

要求任一方程式的根有三步骤：

先定义方程式。要注意必须将方程式安排成 $f(x)=0$ 的形态，例如一方程式为 $\sin(x)=3$ ，则该方程式应表示为 $f(x)=\sin(x)-3$ 。可以 `m-file` 定义方程式。代入适当范围的 x ， $y(x)$ 值，将该函数的分布图画出，藉以了解该方程式的“长相”。

由图中决定 $y(x)$ 在何处附近 (x_0) 与 x 轴相交，以 `fzero` 的语法 `fzero('function',x0)` 即可求出在 x_0 附近的根，其中 `function` 是先前已定义的函数名称。如果从函数分布图看出根不只一个，则须再代入另一个在根附近的 x_0 ，再求出下一个根。

以下分别介绍几个方程式，来说明如何求解它们的根。

例一、方程式为

$$\sin(x)=0$$

我们知道上式的根有 $x=0$ ，求根方式如下：

>> r=fzero('sin',3) % 因为 sin(x)是内建函数，其名称为 sin，因此无须定义它,选择 x=3 附近求根

r=3.1416

>> r=fzero('sin',6) % 选择 x=6 附近求根

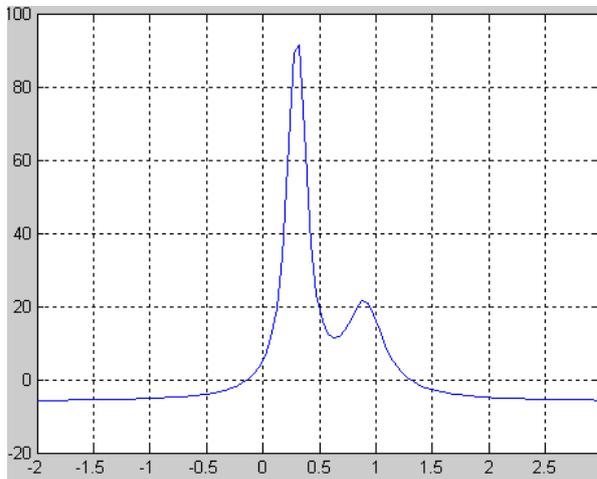
r = 6.2832

例二、方程式为 MATLAB 内建函数 humps，我们不须要知道这个方程式的形态为何，不过我们可以将它划出来，再找出根的位置。求根方式如下：

>> x=linspace(-2,3);

>> y=humps(x);

>> plot(x,y), grid % 由图中可看出在 0 和 1 附近有二个根



>> r=fzero('humps',1.2)

r = 1.2995

例三、方程式为 $y=x.^3-2*x-5$

这个方程式其实是个多项式，我们说明除了用 roots 函数找出它的根外，也可以用这节介绍的方法求根，注意二者的解法及结果有所不同。求根方式如下：

% m-function, f_1.m

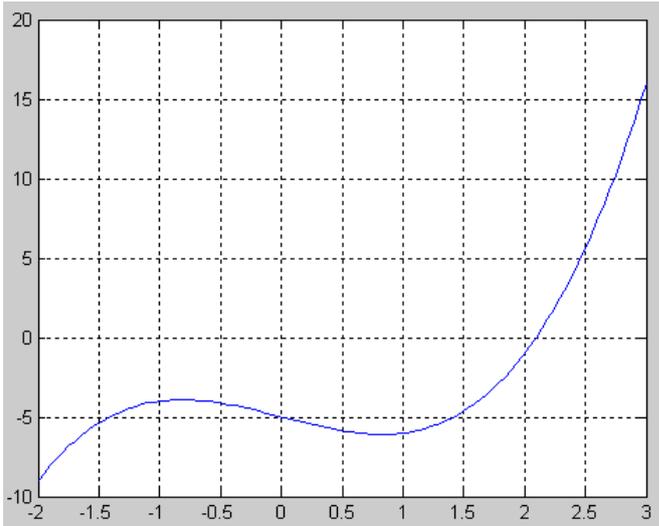
function y=f_1(x) % 定义 f_1.m 函数

y=x.^3-2*x-5;

>> x=linspace(-2,3);

>> y=f_1(x);

>> plot(x,y), grid % 由图中可看出在 2 和-1 附近有二个根



```
>> r=fzero('f_1',2); % 决定在 2 附近的根
r = 2.0946
>> p=[1 0 -2 -5]
>> r=roots(p) % 以求解多项式根方式验证
r =
2.0946
-1.0473 + 1.1359i
-1.0473 - 1.1359i
```

2-5、线性代数方程（组）求解

我们习惯将上组方程式以矩阵方式表示如下

$$AX=B$$

其中 A 为等式左边各方程式的系数项，X 为欲求解的未知项，B 代表等式右边之已知项

要解上述的联立方程式，我们可以利用矩阵左除 \ 做运算，即是 $X=A\backslash B$ 。

如果将原方程式改写成 $XA=B$

其中 A 为等式左边各方程式的系数项，X 为欲求解的未知项，B 代表等式右边之已知项

注意上式的 X, B 已改写成列向量，A 其实是前一个方程式中 A 的转置矩阵。上式的 X 可以矩阵右除 / 求解，即是 $X=B/A$ 。

若以反矩阵运算求解 $AX=B, X=B$ ，即是 $X=\text{inv}(A)*B$ ，或是改写成 $XA=B, X=B$ ，即是 $X=B*\text{inv}(A)$ 。

我们直接以下的例子来说明这三个运算的用法：

```
>> A=[3 2 -1; -1 3 2; 1 -1 -1]; % 将等式的左边系数键入
>> B=[10 5 -1]; % 将等式右边之已知项键入, B 要做转置
>> X=A\B % 先以左除运算求解
X = % 注意 X 为行向量
-2
5
6
>> C=A*X % 验算解是否正确
C = % C=B
```

```
10
5
-1
>> A=A'; % 将 A 先做转置
>> B=[10 5 -1];
>> X=B/A % 以右除运算求解的结果亦同
X = % 注意 X 为列向量
10 5 -1
>> X=B*inv(A); % 也可以反矩阵运算求解
```

3. 基本 xy 平面绘图命令

MATLAB 不但擅长于矩阵相关的数值运算, 也适合用在各种科学目视表示 (Scientific visualization)。

本节将介绍 MATLAB 基本 xy 平面及 xyz 空间的各项绘图命令, 包含一维曲线及二维曲面的绘制、列印及存档。

plot 是绘制一维曲线的基本函数, 但在使用此函数之前, 我们需先定义曲线上每一点的 x 及 y 座标。

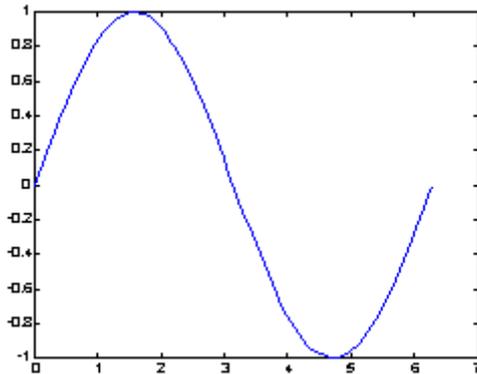
下例可画出一条正弦曲线:

```
close all;
```

```
x=linspace(0, 2*pi, 100); % 100 个点的 x 坐标
```

```
y=sin(x); % 对应的 y 坐标
```

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

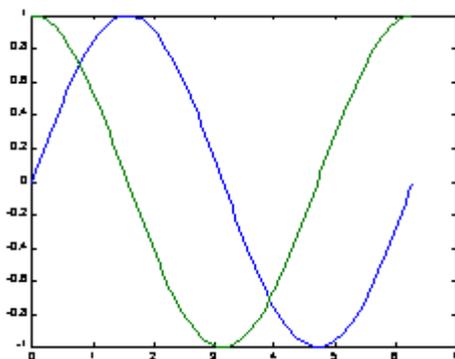


小整理：MATLAB 基本绘图函数

plot	x 轴和 y 轴均为线性刻度 (Linear scale)
loglog	x 轴和 y 轴均为对数刻度 (Logarithmic scale)
semilogx	x 轴为对数刻度, y 轴为线性刻度
semilogy	x 轴为线性刻度, y 轴为对数刻度

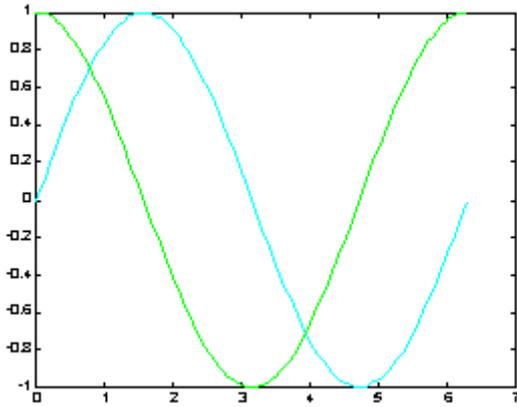
若要画出多条曲线, 只需将坐标对依次放入 plot 函数即可:

```
plot(x, sin(x), x, cos(x));
```



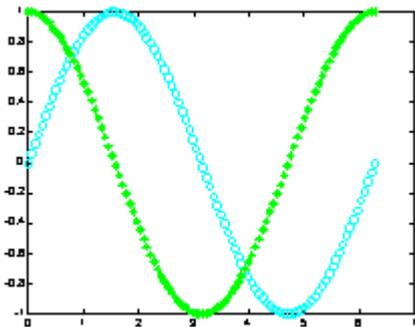
若要改变颜色, 在坐标对后面加上相关字符串即可:

```
plot(x, sin(x), 'c', x, cos(x), 'g');
```



若要同时改变颜色及图线型态 (Line style) , 也是在坐标对后面加上相关字串即可:

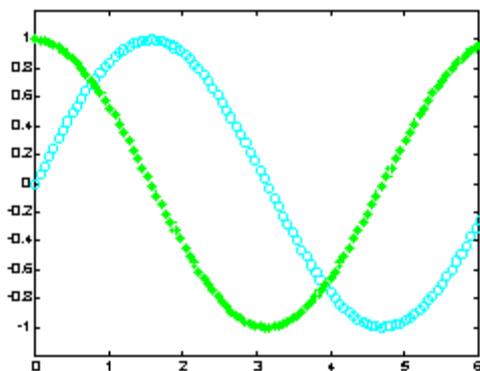
```
plot(x, sin(x), 'co', x, cos(x), 'g*');
```



小整理: plot 绘图函数的参数 字元 颜色字元 图线型态 y 黄色. 点 k 黑色 o 圆 w 白色 x xb 蓝色+ +g 绿色* *r 红色- 实线 c 亮青色: 点线 m 锰紫色-. 点虚线-- 虚线

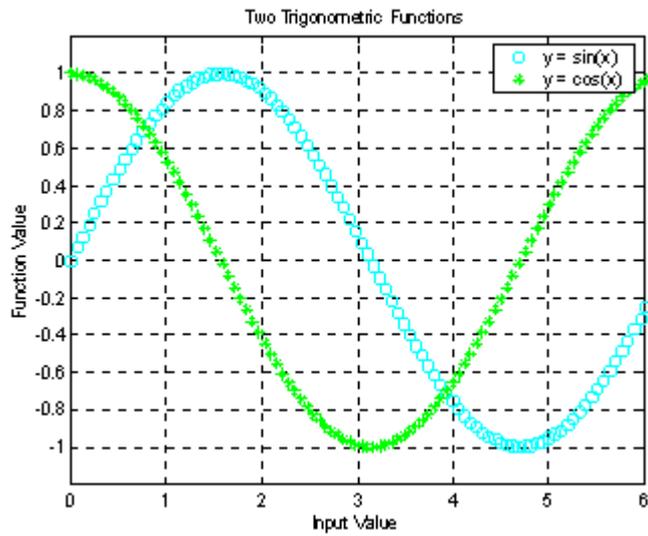
图形完成后, 我们可用 axis([xmin,xmax,ymin,ymax])函数来调整图轴的范围:

```
axis([0, 6, -1.2, 1.2]);
```



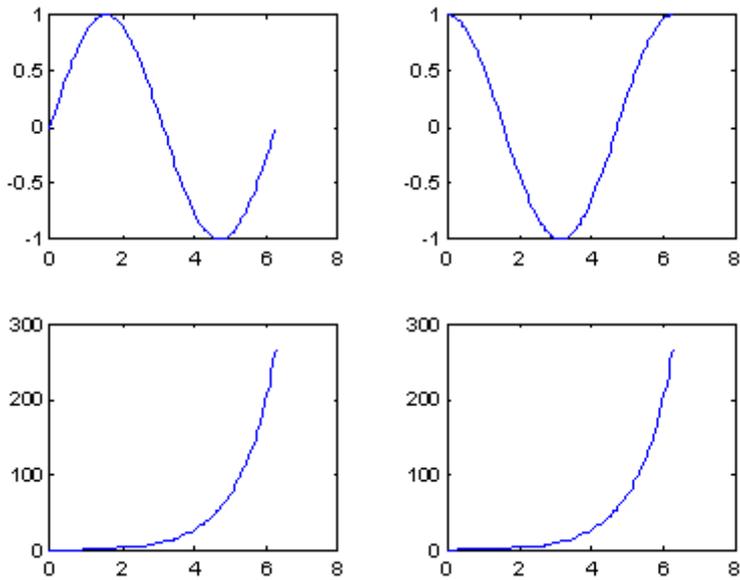
此外, MATLAB 也可对图形加上各种注解与处理:

```
xlabel('Input Value'); % x 轴注解  
ylabel('Function Value'); % y 轴注解  
title('Two Trigonometric Functions'); % 图形标题  
legend('y = sin(x)', 'y = cos(x)'); % 图形注解  
grid on; % 显示格线
```



我们可用 subplot 来同时画出数个小图形于同一个视窗之中:

```
subplot(2,2,1); plot(x, sin(x));  
subplot(2,2,2); plot(x, cos(x));  
subplot(2,2,3); plot(x, sinh(x));  
subplot(2,2,4); plot(x, cosh(x));
```



MATLAB 还有其他各种二维绘图函数，以适合不同的应用，详见下表。

小整理：其他各种二维绘图函数

bar	长条图	stairs	阶梯图
errorbar	图形加上误差范围	stem	针状图
fplot	较精确的函数图形	fill	实心图
polar	极坐标图	feather	羽毛图
hist	累计图	compass	罗盘图
rose	极坐标累计图	quiver	向量场图

以下我们针对每个函数举例。

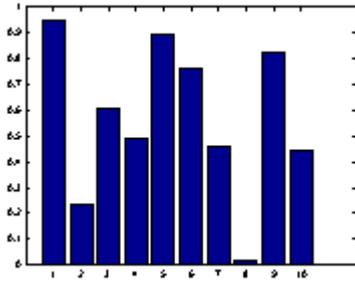
当资料点数量不多时，长条图是很适合的表示方式：

```
close all; % 关闭所有的图形视窗
```

```
x=1:10;
```

```
y=rand(size(x));
```

```
bar(x,y);
```



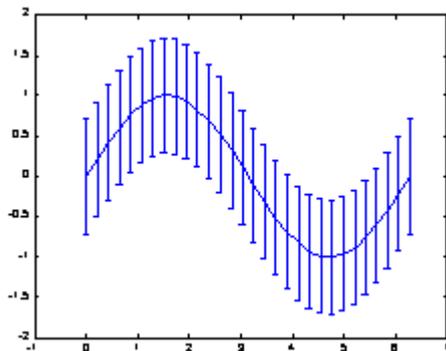
如果已知资料的误差量，就可用 errorbar 来表示。下例以单位标准差来做资料的误差量：

```
x = linspace(0,2*pi,30);
```

```
y = sin(x);
```

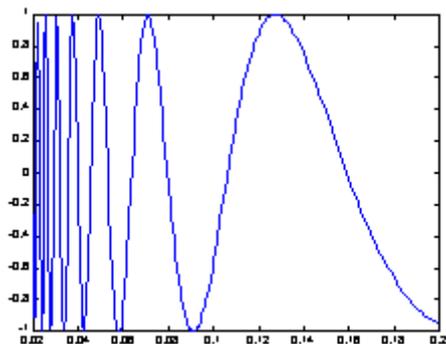
```
e = std(y)*ones(size(x));
```

```
errorbar(x,y,e)
```



对于变化剧烈的函数，可用 fplot 来进行较精确的绘图，会对剧烈变化处进行较密集的取样，如下例：

```
fplot('sin(1/x)', [0.02 0.2]); % [0.02 0.2]是绘图范围
```

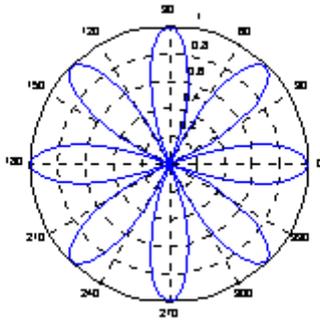


若要产生极坐标图形，可用 polar：

```
theta=linspace(0, 2*pi);
```

```
r=cos(4*theta);
```

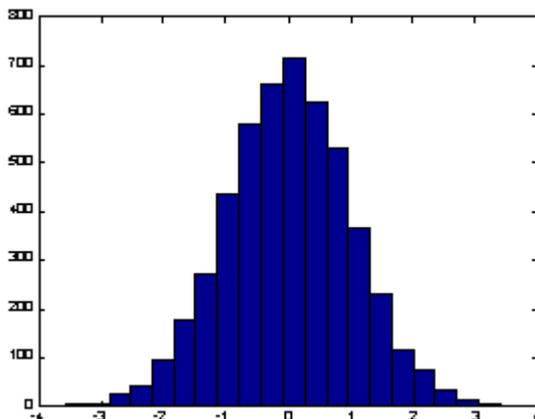
```
polar(theta, r);
```



对于大量的资料,我们可用 hist 来显示资料的分布情况和统计特性。下面几个命令可用来验证 randn 产生的高斯乱数分布：

```
x=randn(5000, 1); % 产生 5000 个 m=0, s=1 的高斯乱数
```

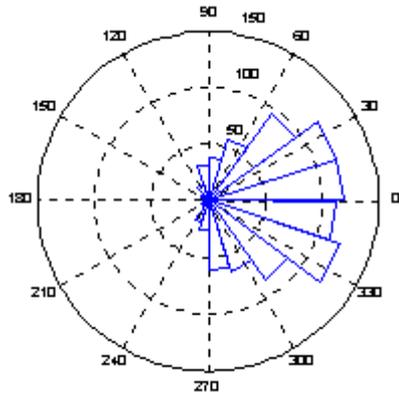
```
hist(x,20); % 20 代表长条的个数
```



rose 和 hist 很接近，只不过是资料大小视为角度，资料个数视为距离，并用极坐标绘制表示：

```
x=randn(1000, 1);
```

```
rose(x);
```

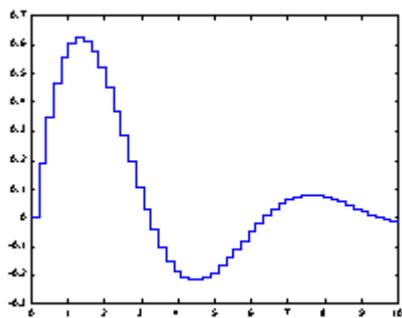


stairs 可画出阶梯图:

```
x=linspace(0,10,50);
```

```
y=sin(x).*exp(-x/3);
```

```
stairs(x,y);
```

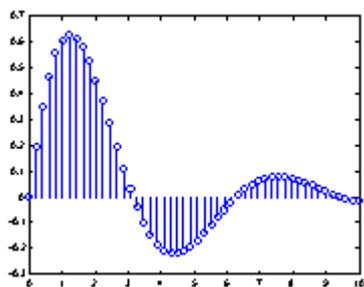


stems 可产生针状图, 常被用来绘制数位讯号:

```
x=linspace(0,10,50);
```

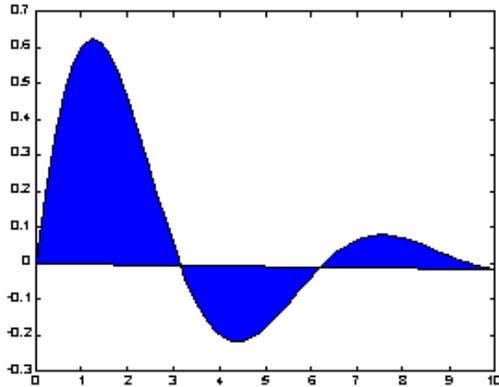
```
y=sin(x).*exp(-x/3);
```

```
stem(x,y);
```



stairs 将资料点视为多边行顶点, 并将此多边行涂上颜色:

```
x=linspace(0,10,50);
y=sin(x).*exp(-x/3);
fill(x,y,'b'); % 'b'为蓝色
```

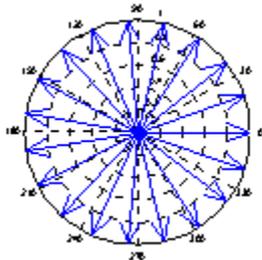


feather 将每一个资料点视复数，并以箭号画出：

```
theta=linspace(0, 2*pi, 20);
z = cos(theta)+i*sin(theta);
feather(z);
```

compass 和 feather 很接近，只是每个箭号的起点都在圆点：

```
theta=linspace(0, 2*pi, 20);
z = cos(theta)+i*sin(theta);
compass(z);
```

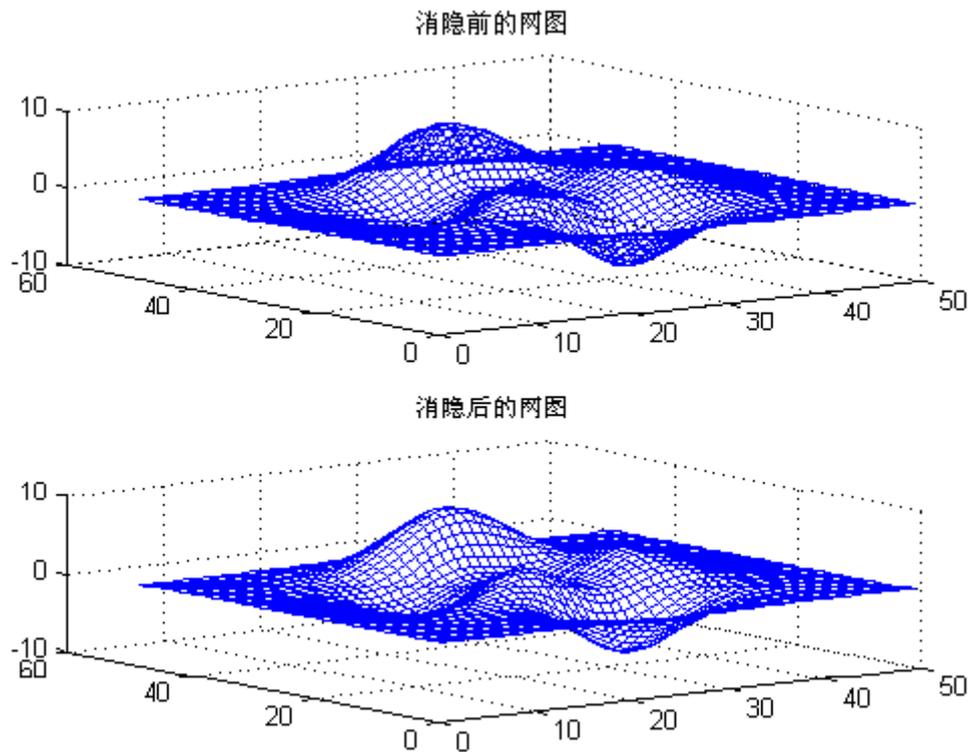


4. 三维网图的高级处理

4-1. 消隐处理

例.比较网图消隐前后的图形

```
z=peaks(50);  
subplot(2,1,1);  
mesh(z);  
title('消隐前的网图')  
hidden off  
subplot(2,1,2)  
mesh(z);  
title('消隐后的网图')  
hidden on  
colormap([0 0 1])
```



4-2. 裁剪处理

利用不定数 NaN 的特点,可以对网图进行裁剪处理

例.图形裁剪处理

```
P=peaks(30);  
subplot(2,1,1);
```

```

mesh(P);

title('裁剪前的网图')

subplot(2,1,2);

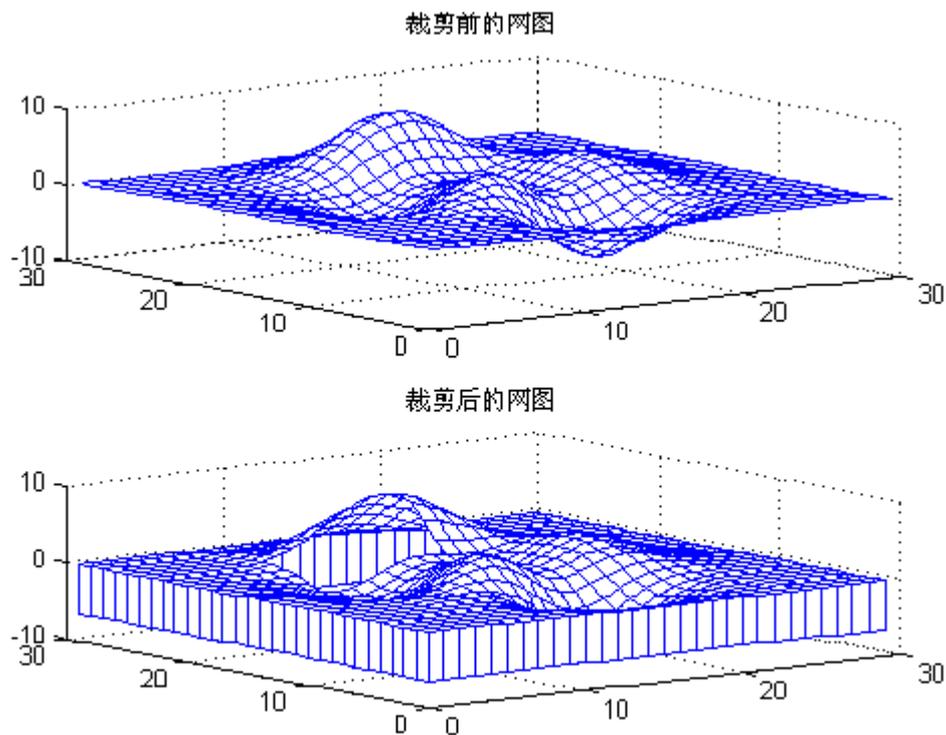
P(20:23,9:15)=NaN*ones(4,7);    %剪孔

meshz(P)                %垂帘网线图

title('裁剪后的网图')

colormap([0 0 1])       %蓝色网线

```



注意裁剪时矩阵的对应关系,即大小一定要相同.

4-3. 三维旋转体的绘制

为了一些专业用户可以更方便地绘制出三维旋转体,MATLAB 专门提供了 2 个函数:柱面函数 `cylinder` 和球面函数 `sphere`

(1) 柱面图

柱面图绘制由函数 `cylinder` 实现.

`[X,Y,Z]=cylinder(R,N)` 此函数以母线向量 `R` 生成单位柱面.母线向量 `R` 是在单位高度里等分刻度上定义的半径向量.`N` 为旋转圆周上的分格线的条数.可以用 `surf(X,Y,Z)`来表示此柱面.

`[X,Y,Z]=cylinder(R)`或`[X,Y,Z]=cylinder` 此形式为默认 $N=20$ 且 $R=[1\ 1]$

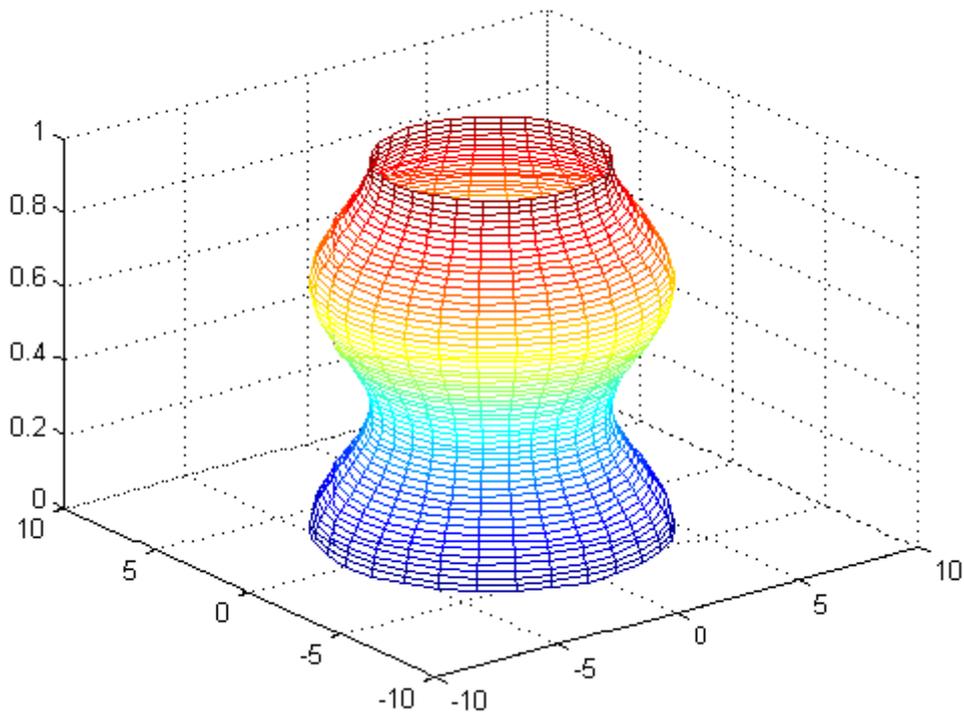
例.柱面函数演示举例

```
x=0:pi/20:pi*3;
```

```
r=5+cos(x);
```

```
[a,b,c]=cylinder(r,30);
```

```
mesh(a,b,c)
```



例.旋转柱面图.

```
r=abs(exp(-0.25*t).*sin(t));
```

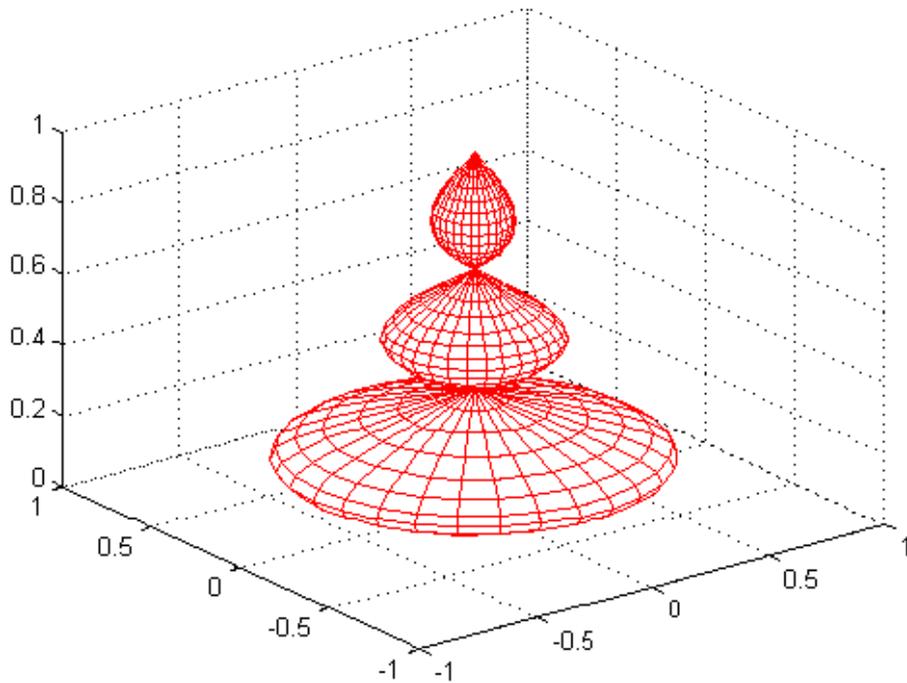
```
t=0:pi/12:3*pi;
```

```
r=abs(exp(-0.25*t).*sin(t));
```

```
[X,Y,Z]=cylinder(r,30);
```

```
mesh(X,Y,Z)
```

```
colormap([1 0 0])
```



(2).球面图

球面图
绘制由
函数

`sphere`
来实现

`[X,Y,Z]`
`=sphere(`
`N)`

此函
数生成 3
个

`(N+1)*`

`(N+1)`的矩阵,利用函数 `surf(X,Y,Z)` 可产生单位球面.

`[X,Y,Z]=sphere` 此形式使用了默认值 `N=20`.

`Sphere(N)` 只是绘制了球面图而不返回任何值.

例.绘制地球表面的气温分布示意图.

```
[a,b,c]=sphere(40);
```

```
t=abs(c);
```

```
surf(a,b,c,t);
```

```
axis('equal') %此两句控制坐标轴的大小相同.
```

```
axis('square')
```

```
colormap('hot')
```