



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

数 学 实 验

宋世德 郭满才 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

数 学 实 验

宋世德 郭满才 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。本书共分 7 章,通过对实验及预备实验的介绍,使读者初步了解微积分、线性代数、概率论与应用数理统计的基本原理。书中联系农林院校实际,提供了若干典型的实际问题,使读者通过相应的数学方法及合适的数学软件,完成数学建模、求解及分析的过程,有利于读者利用数学工具和计算机技术提高分析解决实际问题的能力。

本书可作为高等农林院校各专业教材,也可供其他院校非数学类专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

数学实验/宋世德主编. —北京:高等教育出版社,
2002.1

ISBN 7-04-010226-9

I. 数... II. 宋... III. 高等数学—实验—高等学校—教材 IV. 013-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 066211 号

责任编辑 王 强

封面设计 张 楠

责任绘图 尹 莉

版式设计 马静如

责任校对 杨雪莲

责任印制 宋克学

数学实验

宋世德 郭满才 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2002 年 1 月第 1 版

印 张 28.25

印 次 2002 年 5 月第 2 次印刷

字 数 520 000

定 价 23.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

教育部“面向 21 世纪高等农林院校本科数学(含生物统计)系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”课题(04-6 项目),自 1996 年启动,经过近四年的深入研究,由原西北农业大学、原西北林学院、宁夏农学院、塔里木农垦大学、河北农业大学和东北农业大学携手联袂,完成了《微积分》、《线性代数》、《概率论与应用数理统计》、《试验设计与分析》和《数学实验》等五本系列教材的编写工作。

20 世纪数学的巨大发展,确立了它在整个科学技术中的基础地位.由于数学与物理学、化学、生态学、经济学等的融合,涌现出一系列的交叉学科,表明数学已向人类的一切知识领域渗透.面向 21 世纪,高等农林院校本科数学的教学内容和课程体系如何符合今日“数学应用”的时代要求呢?中国科学院院士吴文俊教授认为“应该训练学生的逻辑推理能力,但也应适而可止.只会推理,缺乏数学直觉,是不会有创造性的.”因此,在我们编写本系列教材的过程中,遵循了三条原则:首先,审慎考虑和保留传统数学中最必要的内容,适度增添一些最必要的新内容;其次,推理适可而止,对于学生望而生畏的较为复杂的证明,尽量给以思想性的说明,使学生在应用中“知其然”,并在一定程度上“知其所以然”;第三,力求通过数学在农林科学中应用的范例,启迪学生把数学创造性地用于农林科学.

本系列教材是多所农林院校的数学工作者和农林科学工作者长期合作研究的结果,总主编由课题主持人袁志发教授担任,编委有袁志发教授、王迺信教授、周静芊教授、孟德顺教授、刘光祖教授、卢恩双副教授和宋世德副教授.

限于编者们的水平,疏漏和错误在所难免,望同行专家和读者不吝赐教.

袁志发

2000 年 3 月

前 言

数学实验这门课程是数学教育改革伴随计算机技术发展的必然产物,它与传统数学理论课程相辅相成,前者注重理论体系的完整性,后者则强调数学的应用能力.本书是面向高等农林院校农学、林学、园艺、植物保护、畜牧、畜牧兽医等有关专业本科生而编写的一本教材,也可作为其他相关专业的数学实验参考书.

数学实验是通过选择适当的数学软件,运用已学过的数学知识和已有的计算技术,分析和解决一些用手工难以解决甚至不可能解决的实际问题,或简化一些不直观的数学理论,或通过图形、动画演示一些难以用语言或数学式子表达的数学问题的课程,其目的是培养学生的数学运用能力和动手能力.

与本书一同出版的面向高等农林院校的数学系列教材还有《微积分》、《线性代数》、《概率论与应用数理统计》和《试验设计与分析》,本书就是为密切配合以上四本教材而编写的.由于数学实验课与数学软件、数学建模是密不可分的,因而本书首先对数学软件和数学建模作了大致的介绍.选用的数学软件主要有 Mathsoft 公司的 MathCAD 7.0、MathWorks 公司的 MATLAB 5.1 及大型统计分析软件 SPSS 8.0 和 SAS 6.12.前两者主要用于基础数学实验,因为这两个软件不仅具有强大的数值计算和图形功能,而且还可以作符号运算并具有动画功能;后两者则主要用于概率统计和试验设计分析.这些软件在国外早已成为一些专业的必修课.除了数学软件和数学建模外,实验的主体内容则是按前述四本书的体系编写的,在实验时可以分别进行取舍.同时,为了突出农林特色,所选取的实验内容也尽量靠近农林科学,因此实验的主体内容也分为四大部分:第一部分是微积分,主要是用数学软件进行一些极限、微分、积分等的计算,函数图形的描绘,微分方程的应用及一些简单的数值计算如数值微积分、方程求根、迭代法等;第二部分是线性代数,主要是矩阵与行列式的计算,方程组求解及其应用,线性变换,特征值与特征向量的计算及其数值方法等;第三部分是概率论与应用数理统计,主要是模拟随机过程,分布及分布曲线,简单的统计分析如方差分析、线性回归等;第四部分是试验设计与分析,包括析因设计与分析,回归设计与分析,协方差分析与相关分析等.其中每一部分的实验是相互独立的,教学中可有选择的取舍.同一部分的实验也可有所选择,不会影响其它实验的进行.

本书的主编为宋世德、郭满才,副主编为郭运瑞(河南职业技术学院)、李书琴、马永,参编的有解小莉、郑立飞、刘亚相、边宽江、刘瀛洲、刘建军、吴养

会、王洁、王经民、张远迎、徐钊、连坡、任争争、吴月宁、梁晓茹、虞文利、李登峰(郑州大学)。

西北农林科技大学王迺信教授、周静芋教授审阅了全书,并对内容和体系提出了中肯的建议,作者表示衷心的感谢。

数学实验在我国高等农林院校是一门崭新的课程,我们在近几年的教学实践中为配合“面向 21 世纪”教改课题需要,建立了数学实验室,并在一些院系的个别专业作了一些有益的尝试,本教材就是在这种尝试下诞生的,但由于缺乏必要的参考资料和条件,不足之处敬请各位同行专家斧正。

编 者

2001 年 3 月

目 录

实验一	MATLAB 与 MathCAD 基础实验	1
第一节	MATLAB 简介	1
第二节	MATLAB 的符号运算	11
第三节	MATLAB 程序设计	16
第四节	MathCAD 简介	23
第五节	MathCAD 的符号运算	28
第六节	MathCAD 编程语言(M++)	39
实验二	数学问题与数学模型实验	45
第一节	数学问题及其举例	45
第二节	数学模型及其建立	48
第三节	数学模型的计算机模拟	51
第四节	模型实验范例	65
实验三	微积分实验	73
第一节	函数、极限、导数与微分	73
第二节	不定积分、定积分与反常积分	81
第三节	微分方程	87
第四节	多元函数微积分	91
第五节	级数	99
第六节	数值微积分	107
第七节	微积分应用模型	122
实验四	线性代数实验	130
第一节	矩阵、向量及其运算	130
第二节	解线性方程组	140
第三节	矩阵特征值与特征向量	147
第四节	线性代数数值方法	157
第五节	线性代数应用举例	164
实验五	概率论与应用数理统计实验	173
第一节	随机事件及其概率	173
第二节	随机变量的分布及其数字特征	181
第三节	参数估计与假设检验	201

第四节	方差分析与回归分析	235
第五节	概率统计模型举例	244
实验六	SAS 与 SPSS 统计软件初步	254
第一节	SAS 软件简介	254
第二节	SAS 程序设计	260
第三节	SPSS 软件简介	283
第四节	SPSS 使用初步	288
实验七	试验设计与分析实验	312
第一节	参数估计与假设检验实验	312
第二节	单因素方差分析与协方差分析实验	329
第三节	回归分析与相关分析实验	364
第四节	析因试验的方差分析实验	400
参考文献		444

实验一 MATLAB 与 MathCAD

基础实验

本章简要介绍两大数学软件 MATLAB 与 MathCAD 的基本功能与操作. 前三节介绍 MATLAB 数学软件使用初步, 后三节介绍 MathCAD 数学软件使用初步. 目的是学会操作和使用这两大数学软件, 并能用其解决一些简单的数学问题.

第一节 MATLAB 简介

一、MATLAB 功能简介

MATLAB 是 Math works 公司于 1982 年推出的一套高性能数值计算的可视化软件, 它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体, 构成一个使用方便、界面友好的用户环境. 在这个环境下, 用户只需简单地列出数学表达式, 结果便可以数值或图形方式显示在计算机屏幕上.

MATLAB 含义是矩阵实验室 (Matrix Laboratory). 最初由 LINPACK 和 EISPACK 计划研制, 主要用于矩阵的存取, 其基本元素是无需定义维数的矩阵. MATLAB 软件经过不断完善和扩充, 形成了不同版本, 如今已成为线性代数课程的标准工具, 也成为其它许多领域的实用工具. 它具有如下特点:

1. MATLAB 语言易学易用性

MATLAB 语言不要求用户有高深的数学和程序语言知识, 不需要用户深刻了解算法及编程技巧, 用户只需输入求解问题的数学表达式, 就能得到运算结果. MATLAB 既是一种编程环境, 又是一种程序设计语言. 这种语言与高级程序设计语言 (如 C、Fortran) 一样, 有其特定的语法规则, 但它的规则更接近于数学表示, 因此使用起来更为简便. MATLAB 的语句功能更强, 一条语句就可完成较为复杂的任务, 如 fft 语句可完成对指定数据的快速傅里叶变换, 这相当于几十条甚至几百条 C 语言语句的功能.

2. MATLAB 的实用方便性

MATLAB 包含了被称作 Toolbox (工具箱) 的各类应用问题的求解工具, 实际上是对 MATLAB 进行扩展应用的一系列 MATLAB 函数 (称作 M 文件).

利用求解工具,可求解特定学科的问题,如信号处理、图像处理、控制系统辨识、神经网络等。

3. MATLAB 语言易扩展性

易扩展性又是 MATLAB 语言重要的特点之一.它允许用户建立完成指定功能的 M 文件,从而产生特定功能的工具箱.用户不仅可使用 MATLAB 提供的函数及基本工具箱函数,而且可方便地编写出专用函数,从而大大扩展了 MATLAB 的应用范围。

二、MATLAB 的基本知识

1. 命令窗口

在 WINDOWS95/98 环境下,运行 MATLAB 后,出现图 1-1 所示命令窗口

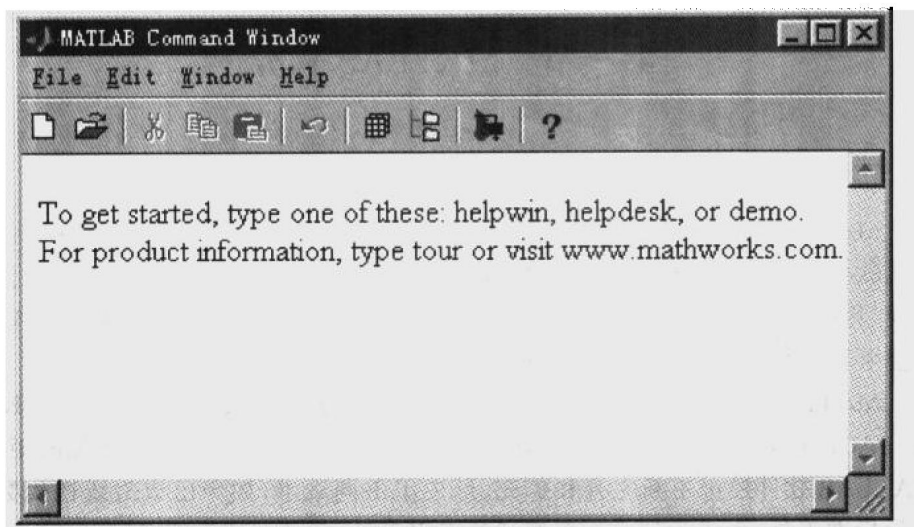


图 1-1 MATLAB 的命令窗口

命令窗口是用户与 MATLAB 进行交互作业的主要场所,用户输入的 MATLAB 交互式命令均在命令窗口下执行.例如在 MATLAB 命令窗口下键入

```
a = [3 2 3; 4 7 6; 7 5 9]
```

按回车键(ENTER)后,显示结果

```
a =
```

```
3     2     3
4     7     6
7     5     9
```

这样就产生了一个 3×3 矩阵.这里输出的变量 a 及其值是分行显示的,以后为

了节省篇幅,输出的结果在不影响理解和美观的前提下,都是经过编辑了的.如要求 a^{-1} ,可输入

```
b=inv(a)
```

按回车后,显示

```
b = 1.3750    -0.1250    -0.3750
      0.2500     0.2500    -0.2500
     -1.2083    -0.0417     0.5417
```

在数学中,用手工求解 a^{-1} ,需要做大量的运算,借助于高级程序设计语言,也需要许多条语句才能实现,而 MATLAB 仅需一条语句,可见用 MATLAB 做数学运算是很简便的.

MATLAB 系统还具有保存历史记录的功能,它将本次启动 MATLAB 系统之后,用户输入的命令和创建的所有变量的值保存起来,用户通过 $\uparrow$ 、 $\downarrow$ 、 $\leftarrow$ 、 $\rightarrow$ 、PgDn、PgUp 键可查找所需的命令,这为同类(相同)命令的反复执行提供了方便,用户无须重新输入命令,只需在历史记录档案中,找到同类(相同)命令,稍加修改,按回车键直接运行.还可在任何需要的时候查找调用指定字母开头的前面已输过的命令行.如在命令行中键入 a,然后按 $\uparrow$ 键,则会调出最近一个以 a 开头的命令行.

MATLAB 提供了表 1-1 所示的命令,专门管理和控制命令窗口.

表 1-1 命令窗口控制命令

Clc	清除命令窗口
Diary	将命令窗口文本保存到文件
Home	光标移动到左上角
More	命令窗分页输出

2. MATLAB 中的常量

MATLAB 提供了整数、实数、复数和字符四种类型数据,对应的常量类型也有上述四种.实数在屏幕显示时默认的小数位数为 4 位,若要改变实数的显示格式,应在系统菜单“Option”中,选择“Numerical format”菜单项,或通过执行命令

Format “格式”

来实现(见表 1-2).

表 1-2 format 命令格式

命令	说明	举例
Format long	16 位	35.8333 333 333 333 4
Format short e	5 位加指数	35.833e+01

续表

命令	说明	举例
Format long e	16 位加指数	35.833 333 333 333 4e+01
Format hex	十六进制	404 1ea aaa aaa aaa b
Format bank	2 个十进制位	35.83
Format +	正、负或零	+
Format rat	有理数近似	215/6
Format short	缺省显示	35.833 3

字符型常数也叫字符串,是一组用单引号括起来的简单文本.字符串主要用来对标号、标题作提示.如在命令窗口执行命令

```
t = 'How about this character string? '
```

屏幕显示

```
t = How about this character string?
```

但若字符串内有单引号,则需用两个连续的单引号表示,如

```
v = 'I can''t find the litter'
```

在 MATLAB 中,复数不需特殊处理,并有多种表示形式

$$a \pm bi \quad a \pm b\text{SQRT}(-1)$$

$$a \pm b * i \quad a \pm b * j$$

其中 a , b 分别为复数的实部和虚部.如执行命令

```
C = 1 + 2i; C = 1 + 2 * i; C = 1 + 2SQRT(-1); C = 1 + 2 * j;
```

其作用是一样的,都是定义复数 $1 + 2i$.

3. 变量

同高级程序语言一样, MATLAB 通过变量来保存运算中的初始值、临时结果和最终结果.变量的命名要遵守如下规则:

(1) 变量名必须以字母开头,之后可以是任意字母、数字或下划线,若有下划线,下划线必须位于两字符之间。

(2) 变量名长度不得超过 19 个字符,从第 19 个之后的字符将被忽略。

(3) 变量名要区分大小写,如变量 t 和 T 表示不同的变量。

(4) 不能用固有变量(MATLAB 中有特殊含义的内部常数),如

π : 变量 π 即是 π ; inf : 表示正无穷大;

i 和 j : 复数单位, $i = j = \sqrt{-1}$; flops : 浮点运算数;

nargin : 函数输入变量数目; nargout : 函数输出变量数目;

realmin:最小可用正实数; realmax:最大可用正实数;

NaN:变量 NaN 表示不定值,它由 inf/inf 或 0/0 运算产生;

ans: 在没有定义变量名时,系统默认变量名为 ans;

eps: 在决定诸如奇异性和秩时,eps 可作为一个容许误差。

MATLAB 中的变量同高级程序设计语言类似,可通过赋值语句和键盘提供数据,其赋值语句格式为

[变量名 =] 表达式[;]

表示将等号右边的表达式值赋给等号左边的变量。若省略变量名和“=”号,则将表达式的值赋给默认变量 ans;若变量名为固有变量,系统约定的特殊含义及其取值将丢失,直到清除所有变量或重新启动 MATLAB,因此应尽量避免重新定义特殊变量;若语句以分号(;)结束,语句执行结果不在屏幕显示。如

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

完成矩阵 a 的定义,但赋值结果不在屏幕上显示。

无论是用户自定义的变量,还是特殊变量,一旦为它赋值,就可可在任何需要的时候调用,并能以文件的形式保存起来,供以后使用。保存变量有两种方法:一是在“File”菜单下选择“Save Workspace As...”功能项来保存;二是在命令窗口下用命令

```
Save [<文件名>] [<变量名表>] [- AscII]
```

来保存。若“文件名”省略,系统默认的文件名为 MATLAB.MAT;变量名之间用空格隔开,“变量名表”省略表示保存当前工作空间中存在的所有变量;“- AscII”省略表示以二进制形式存贮,否则以 AscII 码形式存贮。保存在文件中的变量,可通过下述两种方法打开后使用:一是在“File”菜单下选择“Load Workspace As...”打开文件中存在的变量;二是在命令窗口下用命令

```
Load [<文件名>] [变量]
```

从指定文件中将指定变量装入 MATLAB 的工作空间中,文件名省略时默认为 MATLAB.MAT,变量省略表示打开文件中的所有变量。

用户在操作过程中,如果忘记了变量名或变量的属性值时,MATLAB 中的 who 和 whos 命令可以帮助查找。who 命令用于显示工作空间中保存的所有变量名;whos 命令用于显示工作空间中各变量的属性,包括大小、元素个数、占用的字节数、元素精度等。例如在命令窗口下键入 who 显示

```
Your variables are:
```

```
a b
```

显示结果表明工作空间中共保存有两个变量,分别是 a 和 b 。若在命令窗口下键入 whos 显示

Name	Size	Bytes	Class
a	3 * 3	72	double array
b	3 * 3	72	double array

Grand total is 18 elements using 144 bytes

对于不再使用的变量,用户可以删除,删除变量的格式为

`clear [变量名表]`

表示删除由变量名表指定的变量.当省略变量名表,表示删除当前工作空间中的所有变量.

4. 函数

MATLAB 具有丰富的函数,共有三类: MATLAB 的内部函数; MATLAB 系统附带的各种工具箱中提供的大量实用函数;用户自定义函数.

MATLAB 中提供的通用数理类函数包括:基本数学函数、特殊函数、基本矩阵函数、特殊矩阵函数、矩阵分解和分析函数、数据分析函数、微分方程求解函数、多项式函数、解线性方程组及优化函数、数值积分函数、信号处理函数等,各种函数及其功能可参阅有关资料,这里不再赘述.

5. 算术表达式

MATLAB 中提供的常用算术运算符见表 1-3

表 1-3 MATLAB 中的算术运算符

+	加号	/	左除号
-	减号	\	右除号
*	乘号	^	幂指数

应该注意,/、\这两种符号对数值操作时,作用相同,如 $1/4$ 和 $4 \setminus 1$,结果均为 0.25;但对矩阵操作时,它们却表达了两种完全不同的操作,详见第三目的“矩阵除法”.

用算术运算符连接起来的由 MATLAB 算术常量、变量、函数构成的式子叫 MATLAB 算术表达式,其运算按照从左到右的顺序进行.幂运算具有最高优先级,乘、除法具有相同的次优先级,加、减有相同的最低优先级,括号可用来改变优先次序.

6. 书写 MATLAB 命令的注意事项

掌握正确的书写格式是执行 MATLAB 命令的基础.书写 MATLAB 命令要注意以下几个问题:(1) MATLAB 命令可以用分号结束,也可以不用分号结束.当以分号结尾时,不显示命令行的执行结果;(2) 多条命令可以放在同一行书写,命令之间用逗号或分号隔开;(3) 若一条命令太长时,可以换行书写,换行之前需用连续的 3 个点“...”结束;(4) 为提高命令的可读性,可用放置在命令后的以 % 开始的

字符串,对命令作注释;(5)用 `Ctrl+C` 可中断 MATLAB 命令的运行。

MATLAB 命令可以用脚本文件(后缀为 M)保存起来,方法是在“File”菜单中选择“M-file”功能项,打开一个文本编辑窗口,输入所有命令后,从“File”菜单中选择“Save”功能项,保存所输入的脚本文件。脚本文件在命令窗口下通过键入脚本文件名来运行,这与 DOS 下的批处理文件类似。

三、MATLAB 中的矩阵及其运算

MATLAB 的操作对象为矩阵。整数、实数、复数(统称标量)可看作是 1×1 的矩阵,向量(行向量、列向量)可看作为 $n \times 1$ 或 $1 \times n$ 的矩阵。

MATLAB 语言对矩阵的维数及类型没有限制,即用户无需定义变量的类型和维数,系统会自动获取所需的存储空间。在 MATLAB 中,输入矩阵的方法有:利用内部语句、函数或 M 文件;利用外部文件装入指定矩阵;直接输入矩阵的元素等。本节着重介绍直接输入矩阵法。

1. 向量输入

如果数据元素之间均用空格(或逗号)隔开,该向量称为行向量;如果数据元素之间均用分号隔开,该向量称为列向量。向量输入可采用以下几种方法:(1)用方括号括住向量的所有元素,各元素之间用空格、逗号或分号隔开。例如: `[0.1,0.2,0.3]` 产生一个具有三个元素的行向量; `[0.1 0.2 0.3]` 也产生一个具有三个元素的行向量; `[0.1;0.2;0.3]` 产生一个具有三个元素的列向量。这种方式适宜于元素个数有限的向量。(2) `n:s:m` 产生从 n 到 m ,步长为 s 的一系列值的行向量,其中 n, m, s 均为实数, s 缺省时为 1。如输入 `x=1:5` 表示 $x=[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5]$;输入 `z=-pi:pi/2:pi` 表示 $z=[-3.1416 \ -1.5708 \ 0 \ 1.5708 \ 3.1416]$ 。(3)利用内部函数。如用函数 `linspace(n, m, k)` 产生一个从 n 到 m 等间隔的向量,共有 k 个点。输入 `x=linspace(1,100,3)` 表示 $x=[1.0000 \ 50.0000 \ 100.0000]$;输入 `y=logspace(1,100,2)` 表示 $y=1.0e+100 * [0.0000 \ 1.0000]$ 。

2. 矩阵输入

行向量、列向量均为特殊矩阵,一般矩阵具有多个行和多个列。矩阵的创建遵循创建行向量和列向量的方法,逗号或空格用来分隔同一行的元素,分号用来区分不同行的元素。如输入 `g=[1 2 3 4;5 6 7 8]` 表示

```
g= 1  2  3  4
    5  6  7  8
```

产生一个 2 行 4 列的矩阵。输入矩阵时用空格隔开同一行的不同元素,分号告诉 MATLAB 在 4 和 5 之间换行;除了分号,回车键也会告诉 MATLAB 换行。如输入

```
h=[ -1 -2 -3
    -4 -5 -6]
```

则显示

```
h =   -1  -2  -3
      -4  -5  -6
```

3. 矩阵运算

矩阵运算是 MATLAB 最基本的运算,它主要包括矩阵与标量,矩阵与矩阵之间,矩阵元素之间的运算等.

(1) 矩阵与标量的运算

矩阵与标量的运算是指矩阵中所有元素对标量施加某一运算.如对上述 h ,输入 $h-2$,则显示

```
ans = -3  -4  -5
      -6  -7  -8
```

表示把 h 中每个元素减 2,赋给变量 ans .输入 $2 * h + 2$,则显示

```
ans =   0   -2   -4
      -6   -8  -10
```

表示把 h 中的每个元素乘以 2 后再加 2,赋给变量 ans .

(2) 矩阵运算

• 矩阵转置

实数阵用符号“ $'$ ”来表示对矩阵施加转置运算,如输入 $x = [1 \ 0 \ -1]$, $y = x'$,则屏幕显示

```
y =   1
      0
     -1
```

复数矩阵用符号“ $'$ ”进行共轭转置;如要进行非共轭转置,用 $\text{conj}(z')$.如输入 $a = [1+2i \ 2-3i; 4+5i \ 5-6i]$,则

```
a = 1.0000 + 2.0000i  2.0000 - 3.0000i
     4.0000 + 5.0000i  5.0000 - 6.0000i
b = a'
b = 1.0000 - 2.0000i  4.0000 - 5.0000i
     2.0000 + 3.0000i  5.0000 + 6.0000i
```

得到的是矩阵 a 的共轭转置,若输入

```
t = conj(a')
t = 1.0000 + 2.0000i  4.0000 + 5.0000i
     2.0000 - 3.0000i  5.0000 - 6.0000i
```

得到的是矩阵 a 的非共轭转置.

• 矩阵加、减法

对具有相同行、列的两矩阵 A 和 B 施加加、减运算时,表示其对应位置上元素相加、减,即:若 $C = A \pm B$, 则 $c_{ij} = a_{ij} \pm b_{ij}$. 如输入

```
a = [1 2 3; 4 5 6];
b = [-3 -2 -1; -6 -5 -4];
c = a + b
c = -2 0 2
    -2 0 2
```

• 矩阵乘法

符号“ $*$ ”是矩阵乘法的运算符. 当一个矩阵的列数等于另一个矩阵的行数时,这两个矩阵可施加乘法运算. 如 A 为 $m \times p$ 矩阵, B 为 $p \times n$ 矩阵, 经过 $C = A \times B$ 后, C 为 $m \times n$ 矩阵.

```
A = [1 2 3
      4 5 6]; % 定义 A 矩阵
B = [-1 -2
      -3 -4
      -5 -6]; % 定义 B 矩阵
C = A * B
C = -22 -28
    -49 -64
```

• 矩阵除法

MATLAB 中提供了两种除法运算: 左除($\backslash$)和右除($/$). 如果 a 为一非奇异矩阵, 则 $a \backslash b$ 和 b/a 可通过 a 的逆阵与 b 阵得到

```
a \ b = inv(a) * b
b/a = b * inv(a)
```

两矩阵相除, 主要用于方程组求解: $a * x = b$ 的解为 $x = a \backslash b$; $x * a = b$ 的解为 $x = b/a$. 如方程组

$$\begin{cases} x + 2y + 3z = 4, \\ 4x + 2y + 6z = 1, \\ 7x + 4y + 9z = 2, \end{cases}$$

输入系数矩阵 $a = [1 \ 2 \ 3; 4 \ 2 \ 6; 7 \ 4 \ 9]$ 和常数项矩阵 $b = [4; 1; 2]$, 则 $a \backslash b$

```
ans = -1.5000
      2.0000
      0.5000
```

即解得 $x = -1.5, y = 2.0, z = 0.5$.