

高等学校教材

MATLAB

数学实验

胡良剑 孙晓君 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

MATLAB

数学实验



高等学校教材

MATLAB

数 学 实 验

胡良剑 孙晓君 编著

高等教育出版社

内容提要

“数学实验”将计算机软件技术作为学习、研究和应用数学的一种工具。主要范畴包括：数学软件的使用，实际问题的建模和计算，运用计算机手段加强学生对于数学理论的理解等。

本书基于 MATLAB 软件比较系统地介绍了大学“数学实验”教学内容。全书共分为三个部分：第一、二章介绍 MATLAB 的基础知识和操作；第三—七章介绍大学“数学实验”的基础内容，涉及线性代数、微积分和常微分方程等课程的软件实验，其中第七章介绍 MATLAB 的符号数学工具箱；第八—十四章介绍大学“数学建模”的实验技术，主要涉及概率统计、数值分析和运筹学等课程的软件实验，其中第十四章介绍遗传算法和人工神经网络等一些常见的智能计算技术。

本书主要作为大学“数学实验”和“数学建模”课程的教材。对从事使用 MATLAB 软件解决实际工程问题的学生、教师和工程技术人员也很有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 数学实验 / 胡良剑, 孙晓君编著. —北京: 高等教育出版社, 2006. 6
ISBN 7 - 04 - 019369 - 8

I. M... II. ①胡... ②孙... III. 高等数学 - 实验
- 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB - 高等学校 - 教材
IV. ①013 - 33 ②0245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 036997 号

策划编辑 李艳馥 责任编辑 蒋青 封面设计 刘晓翔
责任绘图 朱静 版式设计 王艳红 责任校对 金辉
责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landracom.com
经销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landracom.com.cn
印刷	北京鑫海金澳胶印有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787 × 960 1/16	版次	2006 年 6 月第 1 版
印张	18.5	印次	2006 年 6 月第 1 次印刷
字数	340 000	定价	19.60 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

物料号 19369 - 00

前 言

20世纪90年代以来的大学数学课程教学改革的主要背景是计算机技术的迅猛发展,而数学建模和数学实验成为推动这项改革的火车头。随着数学运算软件(如 MATLAB, Mathematica, Maple, SAS, SPSS 等)的广泛使用,计算机已经成为工程师应用数学解决工程问题的主要运算工具。同时,工程专业的学生对数学教育的需求重点正在从手工演绎和运算能力的培养转变到结合计算机软件进行建模、求解和论证能力的培养。然而,我国1950年以来形成的大学数学教学体系未能及时适应这一转变,以致一些经过四年系统数学教育的学生不知道如何运用数学解决实践中的问题。

1996年,中国工业与应用数学学会和全国高等学校数学与力学教学指导委员会相继将“数学实验”列为面向21世纪教学内容和课程体系改革新的突破口,并定位于理工科大学生数学的基础教育层。北京大学姜伯驹院士指出:“数学实验课程,其实是一类新课程的统称,共同的宗旨是由学生亲自动手,在先进的数学软件的帮助下学习数学。目前大体上有三种思路。一种是着眼于事半功倍地学习数学知识和技能,把数值计算方法、统计、优化等模块与实用软件、典型案例结合起来学习课程。另一种着眼于培养科学精神、动手能力与创新意识,增进对数学的兴趣,强调体验与探索,题材选取开放性的数学课题。还有一种则强调具体的数学方法,实验课题的选取要与数学课程相配合,旨在增强使用能力。新生事物,百花齐放,百家争鸣,各校根据自己的情况进行探索和实验。”

本书基本上属于以上所述的第一种类型的数学实验课教材。本书采用 MATLAB 作为软件平台,比较系统地介绍了大学“数学实验”教学内容。主要内容共十四章分为三部分:第一、二章介绍 MATLAB 的基础知识和操作;第三—七章介绍大学“数学实验”的基础内容,涉及线性代数、微积分和常微分方程等课程的软件实验,其中第七章介绍 MATLAB 的符号数学工具箱;第八—十四章介绍大学“数学建模”的实验技术,主要涉及概率统计、数值分析和运筹学等课程的软件实验,其中第十四章介绍了遗传算法和人工神经网络等一些常见的智能计算技术。书后附有习题参考答案。

每章的基本结构一般是这样的:首先,概括性地介绍相关的数学基本概念和结论。尽管这样的介绍是很精简的,我们还是力求保证这些内容的完整性,使得

没有系统学习过相应数学理论的读者也可以大致理解本书的内容。当然,熟悉这些数学知识的读者可以跳过这部分。接着,介绍一些相关的 MATLAB 函数和指令的使用方法,读者在学习这部分内容时,应该一步一步跟着书上的内容用 MATLAB 操作,这部分的例题是解释性的,比较简单。然后,在计算实验中,介绍一些最基本的数值计算方法和 MATLAB 函数指令的综合运用。而在建模实验中,介绍实际应用一些典型问题的数学模型和求解过程的 MATLAB 实现。计算实验和建模实验的一些例题大多是综合性的。每章的开头给出了本章 MATLAB 函数和指令的列表,最后是习题。一些比较难的内容用 Δ 号标出,供选择。

本书实验涉及 MATLAB 以下组件,书中所有程序在 MATLAB 7.0 调试通过。

MATLAB (Version 7.0 以上版本)

Symbolic Math Toolbox

Extended Symbolic Math Toolbox

Statistics Toolbox

Spline Toolbox

Optimization Toolbox

Genetic Algorithm Direct Search Toolbox

Neural Network Toolbox

本书主要作为大学“数学实验”和“数学建模”课程的教材以及数学建模竞赛的培训资料。本书的第一章和第二章为基础,其他各章联系不多,使用者可根据教学需要灵活安排。可以单独开课,也可作为教学插件融合于相关课程中。作者推荐两种安排方式:

1. 少学时(28~32学时左右)方式:可完成第一—七章。每章4学时,其中包括教师讲授2学时,学生上机2学时(或者教师讲授1学时,学生上机3学时)。这样的实验适合于在大学二年级开设。
2. 多学时(56~64学时)方式:可完成全部实验。每个单元3~4学时,其中包括教师讲授1~2学时,学生上机2~3学时。这样的实验适合在大学三年级开设。

本书已经在东华大学教学实践中试用三年。我们在东华大学的“数学实验”课程中是采用少学时方式讲授第一—七章,而在“数学建模”课程中讲授了其余部分。我们还制作了数学实验工具箱(包括常用 MATLAB 命令的在线中文帮助和本书所有 M 文件)和配套多媒体教学课件。感兴趣的读者请与作者联系。

通信地址:201620 东华大学应用数学系

电 话:(021)67792086

电子邮箱:Ljhu@dhu.edu.cn, xjsun@dhu.edu.cn

作 者

2006年1月于东华大学

目 录

第一章 MATLAB 入门	1
1.1 MATLAB 桌面	2
1.2 数据和变量	4
1.3 数组及其运算	8
1.4 字符串、元胞和结构	16
习题	20
第二章 MATLAB 编程与作图	22
2.1 程序设计	22
2.2 作图	30
2.3 在线帮助和文件管理	38
习题	40
第三章 矩阵代数	42
3.1 预备知识:线性代数	42
3.2 矩阵代数的 MATLAB 指令	44
3.3 计算实验:线性方程组求解	50
3.4 建模实验:投入产出分析和基因遗传	55
习题	59
第四章 函数和方程	61
4.1 预备知识:零点、极值和最小二乘法	61
4.2 函数零点、极值和最小二乘拟合的 MATLAB 指令	63
4.3 计算实验:迭代法	71
4.4 建模实验:购房贷款的利率和最佳订货量	73
习题	77
第五章 应用微积分	80
5.1 预备知识:微积分的基本概念	80
5.2 数值微积分 MATLAB 指令	84
5.3 计算实验:数值微积分	87
5.4 建模实验:奶油蛋糕	91
习题	94
第六章 常微分方程	97
6.1 预备知识:常微分方程	97

6.2	解常微分方程的 MATLAB 指令	99
6.3	计算实验: Euler 法和刚性方程组	105
6.4	建模实验: 导弹系统的改进	107
	习题	113
第七章	MATLAB 符号计算	116
7.1	符号对象	117
7.2	符号矩阵和符号函数	120
7.3	符号微积分	122
7.4	符号方程和符号微分方程	126
7.5	便捷函数作图	128
7.6	符号计算局限性和 Maple 调用	132
	习题	134
第八章	随机模拟和统计分析	136
8.1	预备知识: 概率和统计	137
8.2	概率和统计的 MATLAB 指令	141
8.3	计算实验: 随机模拟 (Monte Carlo 算法)	149
8.4	建模实验: 零件参数设计	154
	习题	158
第九章	数据建模	163
9.1	预备知识: 插值、拟合和回归分析	163
9.2	插值、拟合和回归分析的 MATLAB 指令	166
9.3	计算试验: 异常数据的处理和线性化	175
9.4	建模实验: 凸轮设计和人口预测	177
	习题	183
第十章	线性规划与非线性规划	187
10.1	预备知识: 线性规划与非线性规划基本知识	187
10.2	线性规划与非线性规划的 MATLAB 指令	190
10.3	建模与计算实验	192
10.4	补充知识: 线性规划单纯形算法	198
	习题	205
第十一章	整数线性规划	209
11.1	预备知识: 整数线性规划基本理论	209
11.2	整数线性规划 MATLAB 参考程序	212
11.3	0-1 型整数线性规划	214
11.4	0-1 型整数线性规划 MATLAB 指令及参考程序	215
11.5	建模与计算实验	219
	习题	224

第十二章 图与网络优化	227
12.1 预备知识:图与网络的基本知识	227
12.2 Kruskal 算法与 Dijkstra 算法的 MATLAB 程序	230
12.3 建模与计算实验	232
习题	236
第十三章 动态规划	239
13.1 预备知识:动态规划的基本知识	239
13.2 逆序算法和 MATLAB 程序	242
13.3 建模与计算实验	244
习题	254
第十四章 部分智能优化算法介绍	257
14.1 遗传算法	257
14.2 人工神经网络	263
14.3 粒子群算法简介	273
部分习题参考答案	277
参考文献	282

第一章

MATLAB 入门

本章学习 MATLAB 一些入门知识,包括 MATLAB 桌面和窗口;MATLAB 指令格式、数据格式、数据文件和变量管理;MATLAB 的数值数组及其运算;MATLAB 的字符串、元胞和结构等数据类型等。

表 1.1 第一章主要 MATLAB 指令

主题词	意义	主题词	意义
format	设置数据显示格式	min	最小值
who	显示变量名	max	最大值
whos	显示变量信息	all	检验是否全为“真”
clear	清除变量	any	检验是否存在“真”
save	保存变量	find	求取“真”的编址
load	装载变量	double	按 ASCII 码转化为数值
linspace	区间等分	char	按 ASCII 码转化为字符
length	数组长度	str2num	字符串转化为数值
size	数组尺寸	num2str	数值转化为字符串
reshape	重排数组	eval	执行表达式
sum	求和	struct2cell	结构转化为元胞
prod	求积	cell2struct	元胞转化为结构
abs	求绝对值		

1.1 MATLAB 桌面

启动 MATLAB 后,就进入 MATLAB 的桌面(Desktop),图 1.1 为 MATLAB 7.0 的默认(Default)桌面.第一行为菜单栏,第二行为工具栏,下面是三个最常用的窗口.右边最大的是指令窗口(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,用于快速起动演示(Demos)、帮助(Help)、设置(Preferences)和桌面工具(Desktop Tools)等.

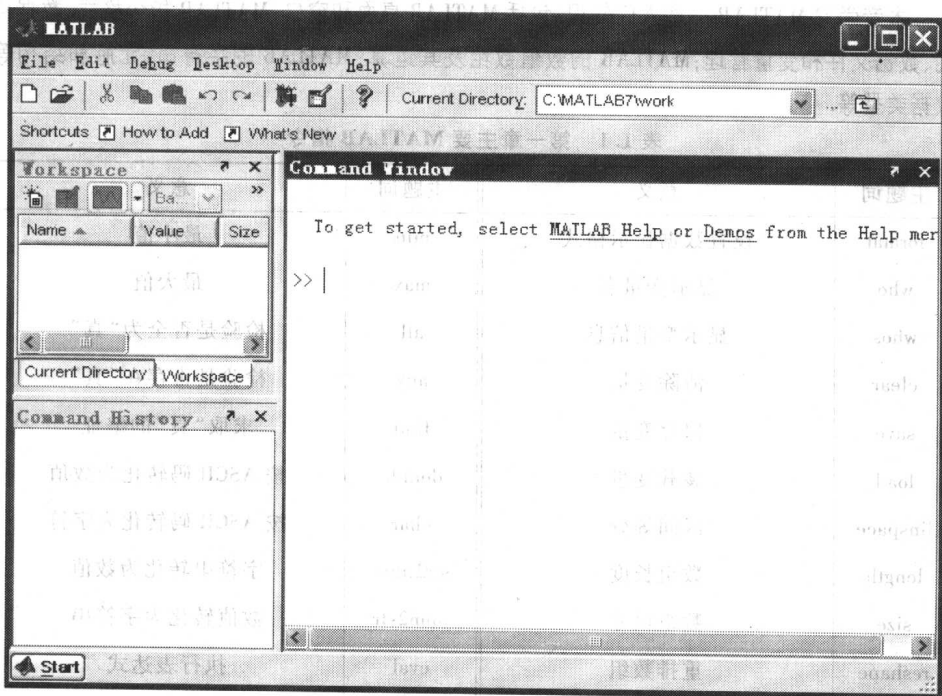


图 1.1 MATLAB 7.0 的默认桌面(Desktop)

1. 窗口

(1) 指令窗口(Command Window)

该窗口是进行 MATLAB 操作最主要的窗口.窗口中 >> 为指令输入提示符,其后输入运算指令,按回车(Enter)键就可执行运算,并显示运算结果(图形

除外)。

书写约定 >>表示本行字符为指令窗口输入的指令,>>本身不是输入字符。

%后面书写的是用于解释的文字,不参与运算,所以也不必输入。

例如,

```
>> a = 1; b = 2; c = a + b % 键入后,按回车(Enter)键
```

```
c =
```

```
3
```

(2) 工作空间(Workspace)

在默认(Default)桌面,位于左上方窗口前台,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)。经过上述运算,我们可以在工作空间看到变量 a , b , c 的信息。用鼠标选中变量,击右键可以进行打开(Open Selection)、保存(Save as)、清除(Delete)、修改(Edit Value)等操作。

(3) 当前目录(Current Directory)

在默认(Default)桌面,位于左上方窗口后台,用鼠标点击可以切换到前台。该窗口列出当前目录的程序文件(.m)和数据文件(.mat)等。用鼠标选中文件(如果有的话),击右键可以进行打开(Open)、运行(Run)、删除(Delete)等操作。

(4) 指令历史(Command History)

该窗口列出在指令窗口执行过的 MATLAB 指令行的历史记录。用鼠标选中指令行,击右键可以进行复制(Copy)、执行(Evaluate selection)、删除(Delete selection)等操作。

除上述窗口外, MATLAB 常用窗口还有编程器窗口、图形窗口等。我们将在第二章介绍。


2. 菜单和工具栏

菜单和工具栏类同于 Word 等其他常用软件。不同窗口的菜单和工具栏略有不同。表 1.2 列出部分常用菜单和工具栏。

表 1.2 MATLAB 7.0 部分菜单和工具栏

菜单\工具	使用说明
File: New: M-file	用于新建 M 文件等
File: Import data	导入数据 Mat 文件等

续表

菜单\工具	使用说明
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: Preference	设置 MATLAB 选项,如数据显示格式,字体等
Desktop: Dock\Undock	在组合窗口\分离窗口之间切换
Desktop: Desktop Layout	窗口布局选择,一般都使用默认(Default)
Current Directory	按钮  设置 MATLAB 当前工作目录

1.2 数据和变量

1. 表达式

在指令窗口(Command Window)作一些简单的计算,就如同使用一个功能强大的计算器,使用变量无需预先定义类型.

例 1.1 设球半径为 $r=2$, 求球的体积 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

解 在指令窗口执行

```
>> r = 2                % 表达式将 2 赋予变量 r
r =                    % 系统返回 r 的值
    2
>> V = 4/3 * pi * r^3  % pi 为内置常量 π, 乘方用^表示
V =
    33.5103
    几个表达式可以写在一行,用分号“;”或逗号“,”分割,用分号“;”使该表达式运算结果不显示,用逗号“,”则显示结果.也可以将一个长表达式分在几行写,用三点“...”续行.
>> r = 2; V = 4/3 * pi * r^3
V =                    % 用分号时 r 的结果不显示
    33.5103
>> r = 2, V = 4/3 * pi ... % 用三点“...”续行
* r^3                 % 因为是接续上一行,前面没有提示符 >>
```

```
r =                                % 用逗号时 r 的结果显示出来
    2
V =
    33.5103
```

若需要修改已执行过的指令行,可以在指令历史(Command History)找到该指令行复制,再粘贴至指令窗口修改.也可直接使用键 \uparrow \downarrow 调出已执行过的指令行修改.例如,现将半径改为8,那么使用上述方法得

```
>> r = 8;                          %更新 r
>> V = 4/3 * pi * r^3              %用键 $\uparrow$ 直接调出.因为 V 的值依赖于 r, 所以 V 的表
                                   %达式要重新运行
V =
    2.1447e + 003
```

2. 数据显示格式

MATLAB 默认的数据显示格式为短格式(Short):当结果为整数时,就作为整数显示;当结果是实数时,则以小数点后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(如 $3.2000e-006$ 表示 3.2×10^{-6}).数据显示格式可使用指令 format 改变.例如

```
>> format long; V                  %长格式(long),16位
V =
    2.144660584850632e + 003
>> format short g; V              %短紧缩格式(short g),习惯书写格式
V =
    2144.7
>> format rational; V            %有理格式,近似分数
V =
    120101/56
>> format ;V                      %恢复默认的短格式(Short),本例等价于 short e
V =
    2.1447e + 003
```

数据显示格式也可通过菜单 File: Preference: Command: 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. MATLAB 计数精度约为16位有效数字.

3. 复数

MATLAB 中复数可以如同实数一样,直接输入和计算.例如

```
>> a = 1 + 2 * i; b = 5 - 4 * i; c = a/b
c =
    -0.0732 + 0.3415i
```

4. 预定义变量

MATLAB 有一些预定义变量(见表 1.3,大小写均可);MATLAB 启动时就已赋值,可以直接使用,如前面我们使用过的圆周率 pi 和虚数单位 i.

表 1.3 预定义变量

变量名	说明
i 或 j	虚数单位 $\sqrt{-1}$
pi	圆周率 $\pi = 3.1415\dots$
eps	浮点数识别精度 $2^{-(52)} = 2.2204 \times 10^{-16}$, 计算机认为 $1 + 0.5 * \text{eps}$ 与 1 相等
realmin	最小正实数 $2^{-(2-2^{10})} = 2.2251 \times 10^{-308}$, 小于该值当作 0
realmax	最大正实数 $2^{(2^{10})} = 1.7977 \times 10^{308}$, 大于等于该值当作无穷大
Inf	无穷大
NaN	没有意义的数

预定义变量在工作空间(Workspace)观察不到.如果预定义变量被用户重新赋值,则原来的功能暂不能使用.当这些用户变量被清除(clear)或 MATLAB 重新启动后,这些功能又得以恢复.

5. 用户变量

MATLAB 变量名总以字母开头,以字母、数字或下画线组成,区分大小写,有效字符长度为 63 个.如 A, a, a1, a_b 都是合法的,且 a 与 A 表示不同变量,但 1a, a-b 都是不合法的变量名.在 Command Window 中使用的变量一旦被赋值,就会携带这个值存在于工作空间(Workspace),直到被清除(clear)或被赋予新的值.ans 是系统一个特别的变量名.若一个表达式运算结果没有赋予任何变量,系统自动用 ans 存放答案(answer).例如

```
>> A = 5 + 4 * i; b = 5 - 4 * i; B_1 = 1; A * b    %没有定义 A * b 的输出变量
```



```
ans =
    41                % ans 来接受计算结果.
```

尽管我们可以在工作空间(Workspace)来查询和清除变量,但使用下列指令方式更快捷.

```
>> whos                % 查询 Workspace 中的变量列表
```

Name	Size	Bytes	Class
A	1x1	16	double array (complex)
B_1	1x1	8	double array
V	1x1	8	double array
a	1x1	16	double array (complex)
ans	1x1	8	double array
b	1x1	16	double array (complex)
c	1x1	16	double array (complex)
r	1x1	8	double array

```
>> A                % 查询变量 A 的值
```

```
A =
5.0000 + 4.0000i
```

注 定义变量总以字母开头,以字母、数字或下画线组成,要防止它与系统的预定义变量名(如 i,j,pi,eps 等),函数名(如 who,length 等),保留字(for,if,while,end 等)冲突.

```
>> clear A                % 清除变量 A
```

```
>> A
```

```
??? Undefined function or variable 'A'. % 再查询变量 A 的值,已经不存在了
```

```
>> clear                % 清除 Workspace 中所有变量
```

```
>> whos                % Workspace 中已没有任何变量
```

变量的新建(New)、清除>Delete)、修改(Edit Value)、保存(Save as)也可在工作空间(Workspace)中直接用工具栏或鼠标右键来实现.

清除 Workspace 中所有变量也可使用菜单 Edit:Clear Workspace 实现. 注意菜单 Edit:Clear Workspace 与菜单 Edit:Clear Command Window 的区别. 后者虽然擦干净了指令窗口显示,但并不清除变量,变量连同它的值仍然存在,可继续使用.