



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

MATLAB 数学实验

第二版

胡良剑 孙晓君 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

013-33
25-2

014035189



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

MATLAB

数学实验

MATLAB Shuxue Shiyan

第二版

藏书

图书馆

胡良剑 孙晓君 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1715386

013-33

25-2

014032182



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用的智能计算技术。

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. --2 版.
--北京:高等教育出版社, 2014.2
ISBN 978-7-04-039317-0

I. ①M… II. ①胡… ②孙… III. ①高等数学-实验
-Matlab 软件 IV. ①O13-33②O245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 012992 号

策划编辑 胡颖 责任编辑 徐可 封面设计 李小璐 版式设计 童丹
责任校对 孟玲 责任印制 刘思涵

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	唐山市润丰印务有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm × 960mm 1/16	版 次	2006 年 6 月第 1 版
印 张	20.75		2014 年 2 月第 2 版
字 数	380 千字	印 次	2014 年 2 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	30.40 元
咨询电话	400-810-0598		

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 39317-00

第二版前言

本书第一版出版 7 年来,我们欣喜地看到“数学实验”在大学数学课程教学体系中的重要性得到了广泛认同,国内同行对“数学实验”的教学内容和教学方法也达成了更多共识。许多读者发来 E-mail 交流看法,提出了不少有益的建议,这使得我们深受鼓舞。

在过去的 7 年里, MATLAB 软件多次更新,从 7.0 版升级至 8.1 版。本次修订力图体现有关更新,主要包括:

1. MATLAB 界面使用更方便。例如, Command Window 的 \boxed{fx} 函数浏览按钮, doc 超文本帮助, Home 工具条等。这些变化主要在前两章介绍。
2. 新版 MATLAB 中, Inline 函数基本不再使用,由匿名函数或函数句柄代替。函数求值指令 feval 也不再使用,直接使用函数名加括号来求值。对此,本版做了全面更新。
3. 新版 MATLAB 的数值积分计算使用 integral 类函数,能求解反常积分和任意区域上的重积分。本书第五章做了相应更新并删除了自编函数 dblquad2。
4. MATLAB 符号计算引擎由 Maple 变更为 Mupad。因此,第七章全面做了改写。
5. 一些函数用法细节上的变化也得到体现,如 lsqcurvefit, taylor, dsolve, rng, ttest, interp1, interp2, regress, nlinfit, optimset, ga, newff 等。

据我们了解,本书第一版的相当一部分读者是学习数学建模或者参加数学建模竞赛的大学生。第二版着重在这方面有了加强,主要包括:

1. 第二章末尾增加了“读写外部数据文件”这一小节,介绍 MATLAB 读写文本文件、Excel 文件和图像文件的方法。
2. 补充了数学建模中的一些常用算法,包括统计分析中的非参数检验、正态性检验和分布拟合度检验(第八章),数据建模中的多维插值、线性约束拟合和逐步回归(第九章),最优化计算集成工具 Optimtool 和二次规划(第十章、十四章)等。
3. 第十一章改写了自编的分支定界法程序 IntLp,该程序可求得整数规划的

多个解(见例 11.4)。我们还增加了图论最小路径问题的 Floyd 算法,丰富了本书在离散优化问题上的自编程序库。这部分恰是 MATLAB 软件有所欠缺的。

本次修订总体框架未做改动,继续保持了第一版简明实用的特色。我们改写了部分例子,使其更加通俗易懂,如例 3.5、例 5.6、例 6.5 和例 6.7。第十四章中的粒子群算法增加了习题部分。第一版中一些冗余和谬误之处得到了更正。全书习题答案补充完整,并增加了 MATLAB 指令和函数的索引,力求使本书更趋完善。

使用本版须安装的 MATLAB8.1 (® 2013a) 组件包括:

MATLAB

Curve Fitting Toolbox

Global Optimization Toolbox

Neural Network Toolbox

Optimization Toolbox

Statistics Toolbox

Symbolic Math Toolbox

关于本书的使用说明和教学安排请参看第一版前言,有关程序和教学课件可通过 Ljhu@dhu.edu.cn 或 Xjsun@dhu.edu.cn 联系我们。

作者

2013 年 10 月于东华大学

第一版前言

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,以至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△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

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

作者

2006年1月于东华大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120



北航

C1715386

第六章 常微分方程	104
6.1 预备知识:常微分方程	104
6.2 解常微分方程的 MATLAB 指令	106
6.3 计算实验:Euler 法和刚性方程组	113
6.4 建模实验:导弹系统的改进	115
习题	121
第七章 MATLAB 符号计算	124
7.1 符号对象	125
7.2 符号矩阵和符号函数	127
7.3 符号微积分	130
7.4 符号方程和符号微分方程	135
7.5 便捷函数作图	138
7.6 符号计算局限性和 Mupad 调用	141
习题	143
第八章 随机模拟和统计分析	145
8.1 预备知识:概率和统计	146
8.2 概率和统计的 MATLAB 指令	150
8.3 计算实验:随机模拟(Monte Carlo 算法)	160
8.4 建模实验:零件参数设计	165
习题	169
第九章 数据建模	174
9.1 预备知识:插值、拟合和回归分析	174
9.2 插值、拟合和回归分析的 MATLAB 指令	177
9.3 计算实验:异常数据的处理和非线性回归	189
9.4 建模实验:凸轮设计和人口预测	194
习题	200
第十章 线性规划与非线性规划	205
10.1 预备知识:线性规划与非线性规划基本知识	205
10.2 线性规划与非线性规划的 MATLAB 指令	209
10.3 建模与计算实验	213
10.4 补充知识:线性规划单纯形算法	219
习题	226
第十一章 整数线性规划	230
11.1 预备知识:整数线性规划基本理论	230
11.2 整数线性规划 MATLAB 参考程序	233
11.3 0-1 型整数线性规划	235

11.4	0-1 型整数线性规划 MATLAB 指令及参考程序	237
11.5	建模与计算实验	241
	习题	246
第十二章	图与网络优化	249
12.1	预备知识:图与网络的基本知识	249
12.2	最小生成树和最短路径的 MATLAB 参考程序	252
12.3	建模与计算实验	256
	习题	261
第十三章	动态规划	263
13.1	预备知识:动态规划的基本知识	263
13.2	逆序算法和 MATLAB 参考程序	266
13.3	建模与计算实验	268
	习题	279
第十四章	智能优化算法简介	281
14.1	遗传算法	281
14.2	人工神经网络	288
14.3	粒子群算法	300
	习题	305
	习题参考答案	307
	MATLAB 指令和函数索引	313
	参考文献	318

MATLAB 桌面

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 Mat 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 为第一章主要 MATLAB 指令。

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
sum	求和	eval	执行表达式
prod	求积	struct2cell	结构转化为元胞
abs	求绝对值	cell2struct	元胞转化为结构
log	自然对数	factorial	阶乘
exp	指数函数	nchoosek	组合数

1.1 MATLAB 桌面

启动 MATLAB 后,就进入 MATLAB 的桌面(Desktop), MATLAB 8.1(MATLAB R2013a)的默认(Default)桌面如图 1.1 所示(不同操作状态下桌面布局略有不同).第一行从左至右依次为:HOME、PLOTS、APPS 三个通用工具条、快捷工具栏、搜索输入框等.第二行是工具条内容(可通过第一行右端带箭头的图标关闭或打开).第三行用于文件夹操作,并显示当前文件夹的位置.下面有四个常用的操作窗口.中间最大的是指令窗口(Command Window),左侧为当前文件夹窗口(Current Folder),右侧上方为工作空间窗口(Workspace),右侧下方为指令历史窗口(Command History).

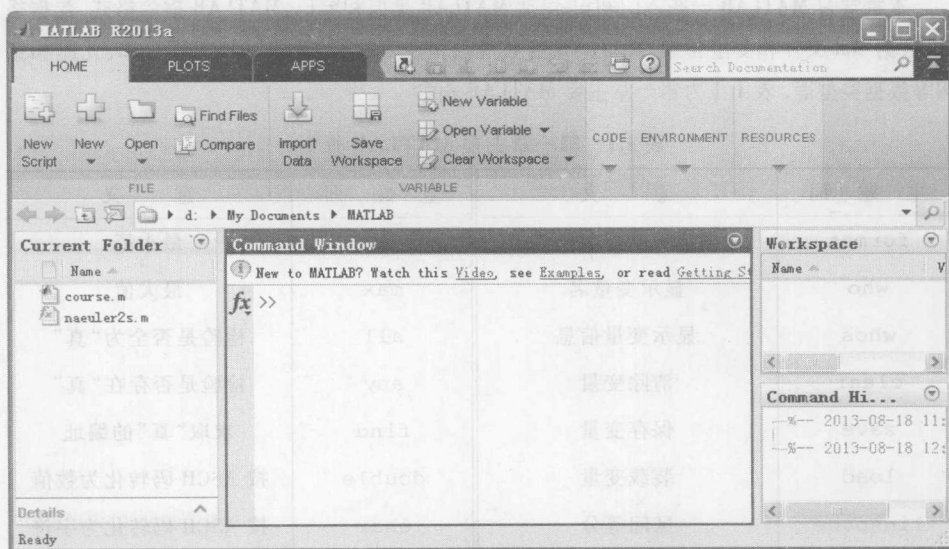


图 1.1 MATLAB 8.1 的默认桌面(Desktop)

1. 工具条

HOME 工具条汇集了一些最常用的工具栏和菜单,PLOTS 工具条包含作图工具,APPS 工具条收纳了应用程序的交互式计算工具,取决于你所安装的专业工具箱,如优化、统计图、曲线拟合、Mupad 等.HOME 工具条分为文件(File)、变量(Variable)、代码(Code)、环境(Environment)、资源(Resources)等区域,用于文

件操作、数据导入、变量处理、程序调试、桌面布局等.表 1.2 列出 HOME 工具条部分常用的工具.

表 1.2 MATLAB 8.1 的 HOME 工具条

菜单\工具	使用说明
File: New Script	新建脚本程序文件
File: New Function	新建函数程序文件
File: Open	打开 MATLAB 程序文件
Variable: Import data	导入数据文件
Variable: Save workspace as	将工作空间所有变量和数据保存为数据 Mat 文件
Code: Clear Command Window	清除指令窗口中的文字
Environment: Layout	桌面布局编排,一般都使用默认(Default)
Environment: Preference	设置 MATLAB 选项,如数据显示格式,字体等
Environment: Set Path	设置 MATLAB 文件路径文件夹
Resources: Help	启动各类帮助文件

读者在操作 MATLAB 时,如果弄乱了桌面,比如找不到某些操作窗口,可以选 HOME 工具条 Environment: Layout: Default 来恢复初始状态.如果中文显示乱码,可通过 HOME 工具条 Environment: Preference: Fonts 将字体设为中文宋体. HOME 工具条 Resources: Help 提供了 MATLAB 的文档、实例、视频和在线课程等学习材料,供读者学习参考.

2. 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,提示输入 MATLAB 运算指令,按回车(Enter)键就可执行运算,并直接在此窗口显示运算结果(图形除外).

书写约定:>>表示本行字符为在 Command Window 输入的命令,>>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) 当前文件夹(Current Directory)

该窗口列出当前文件夹中的程序 M 文件 (.m) 和数据文件 (.mat, .txt) 等。用鼠标选中文件, 击右键可以进行打开 (Open)、运行 (Run)、删除 (Delete) 等操作。

(3) 工作空间 (Workspace)

列出内存中 MATLAB 工作空间的所有变量的变量名 (Name)、值 (Value) 等。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)、作图 (Plot Catlog) 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 (Editor) 窗口, 图形 (Figure) 窗口等。我们将在第二章介绍。

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=
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 =
    33.5103
>> r=2,V=4/3*pi... % 用三点“...”续行(注意 pi 与... 之间有空格)
*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.也可直接使用编辑键盘区箭头键 \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 % 用向上箭头键 $\uparrow$ 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+03 % 表示  $2.1447 \times 10^3$ 
```

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 $3.2000e-06$ 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+03
>> 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 =
```