

S H U X U E S H I Y A N



普通高等教育“十二五”规划教材

数学实验 (MATLAB版)

韩明 王家宝 李林 编著

第3版



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

数 学 实 验

(MATLAB 版)

第 3 版

韩 明 王家宝 李 林 编著



同 濟 大 學 出 版 社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是在贯彻落实教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的要求精神及第 1 版、第 2 版的基础上,按照工科及经济管理类“本科数学基础课程教学基本要求”并结合当前大多数本专科院校的学生基础、教学特点和教材改革精神进行编写的。全书以通俗易懂的语言,全面而系统地讲解数学实验的内容。全书共分 7 章,第 1 章是绪论;第 2—5 章是基础实验部分,内容包括一元微积分实验、多元微积分实验、线性代数实验和概率论与数理统计实验;第 6 章是综合实验;第 7 章是数学建模初步。每章都以实验的形式将有关内容与 MATLAB 相结合,达到理论与实践的统一,便于读者学习和上机实验。每节后面有“练习题”,每小节(或节)的例题(或实验)前有简要的“实验目的”,并在附录中有 MATLAB 的基本操作。

本书理论系统,举例丰富、新颖,讲解透彻,难度适宜,可作为高等院校各专业“数学实验”课程的教材或参考书,也可以穿插在“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”课程中同步使用,还可作为“数学建模竞赛”的培训教材或参考书,并可供广大自学者学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学实验:MATLAB 版/韩明,王家宝,李林编著. -- 3
版. -- 上海:同济大学出版社,2015.2
ISBN 978-7-5608-5766-4

I. ①数… II. ①韩…②王…③李… III. ①高等数学—实验—计算机辅助计算—软件包—高等学校—教材
IV. ①O13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 024705 号

普通高等教育“十二五”规划教材

数学实验(MATLAB 版)第 3 版

韩 明 王家宝 李 林 编著

责任编辑 陈佳蔚 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 大丰科星印刷有限责任公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 18

印 数 1—4 100

字 数 360 000

版 次 2015 年 2 月第 3 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5766-4

定 价 36.00 元

前 言

本书的第1版、第2版出版后,得到了广大师生的关心和厚爱,在此表示衷心感谢,同时也深感“责任重”。

大学数学教育本质上是一种素质教育.通过数学的训练,可以使学生树立正确的数量观念,提高逻辑思维能力,有助于培养认真细致、一丝不苟的作风,形成精益求精的风格,提高运用数学知识处理现实世界中各种复杂问题的意识、信念和能力,调动学生的探索精神和创造力.

要体现素质教育的要求,大学数学的教学不能完全与外部世界隔离开来,关起门来在数学的概念、方法和理论中打圈子,处于自我封闭状态,以致学生在学了许多据说是非常重要、十分有用的数学知识以后,却不会应用或无法应用.实践已证明:开设数学建模和数学实验课程,举办数学建模竞赛,为数学与外部世界的联系打开了一个通道,提高了学生学习数学的积极性和主动性,是对数学教学体系和内容改革的一个成功的尝试.

二十多年来,在数学建模竞赛的推动下,许多高等院校相继开设了数学建模课程以及与此密切相关的数学实验课程.一些教师正在进行将数学建模、数学实验的思想和方法融入大学数学主干课程的研究和探索.从已出版的“数学实验”教材中,我们已经看到了不同的教材,在模式、定位、内容选取等方面有着各种不同的理解和多样的选择,可以说是各有特色.

本书的第2版在2012年1月出版后,已重印三次,经过三年来的教学实践,我们又积累了一些经验,并吸取了广大师生的意见和建议,本次修订就是在这些基础上进行的.本次修订中保留了本书第2版的以下主要特色:

- (1) 起点低,便于自学;
- (2) 通过以“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”三门课程知识为背景的实验——**基础实验**,引导学生借助数学软件理解抽象的数学理论;
- (3) 通过解决一些综合性问题的实验——**综合实验**,培养学生的探索精神、综合应用数学知识解决问题的意识及能力;
- (4) 通过数学建模的几个问题——**数学建模初步**,初步体验数学建模的过程,进一步培养和提高学生的创新能力和素质.

在本次修订中,我们修订了第2版中的不妥或错误,努力提高教材的质量.本次修订中,我们保留了第2版的内容体系和大部分内容,增加、删除和改写了少部分内容.本次修订计划由作者们讨论并确定,具体分工如下:第1章、第5

章、第7章(部分)由韩明教授执笔;第2章、第3章、第4章由李林副教授执笔;第6章、第7章(部分)、附录由王家宝教授执笔;徐新亚教授承担了其他相关工作;全书由韩明教授统稿、定稿.

本书的第1版,已被李大潜院士主编的《中国大学生数学建模竞赛》收入“数学建模及相关教材目录”(1982年以来国内正式出版的数学建模教材、译著、竞赛辅导教材及与数学建模相关的数学实验教材).

2014年5月,浙江省教育厅关于浙江省“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材推荐名单的公示(<http://www.zjedu.gov.cn/gb/articles/2014-05-09/news20140509171438.html>)中,也列有本书的第2版.

虽然我们努力使本书写成一部既有特色又便于教学(自学)的教材,但由于作者水平所限,书中难免还有一些疏漏甚至错误,恳请专家和读者批评和指正.希望本书能够继续得到广大师生的关心和厚爱,让我们共同努力,把这部教材建设好.

韩 明

2015年1月

第 2 版前言

据《科学时报》2011年9月23日报道,全国大学生数学建模竞赛组委会主任、中国科学院院士、复旦大学教授李大潜在“2011高教社杯全国大学生数学建模竞赛”新闻发布会上指出:“开设数学建模和数学实验课程,举办数学建模竞赛,为数学与外部世界的联系打开了一个通道,提高了学生学习数学的积极性和主动性,是对数学教学体系和内容改革的一个成功的尝试。”

2011年的全国大学生数学建模竞赛共吸引来自国内外的1251所高校19490个队的58000多名大学生参赛,为历年来人数最多的一次。竞赛虽然发展得如此迅速,但是参加者毕竟还是在校大学生中的很少一部分学生,要使它具有较强的生命力,必须与日常的教学活动和教育改革相结合。十几年来在竞赛的推动下,许多高校相继开设了“数学建模”课程以及与此密切相关的“数学实验”课程。

实践证明,数学实验(mathematical experiment)是连接“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”这三门课程与数学建模(mathematical modelling)的一个桥梁,对于提高大学生学习数学的兴趣、促进数学理论和应用的结合等起到了积极的作用,为数学建模奠定了良好的基础。

目前,对“数学实验”课程的模式、定位、内容选取和教学方式等方面可能有着各种不同的理解和多样的选择。在数学建模竞赛的推动下,开设“数学实验”课程的高等院校越来越多,相关的教材也越来越多。另外,怎样“在大学的主干数学课程中融入数学实验的思想和方法”,也是十分有意义的工作。

本书第1版在2009年1月出版后,深受广大师生的欢迎,并已重印3次,错误和疏漏也已修订了3次。经过3年来的教学实践,我们积累了一些经验,并听取了广大师生的意见和建议,本次修订就是在这些基础上进行的。“怎样突出本书的特色呢?”这是我们一直在努力探索的问题。本次修订保留了本书第1版的主要特点:

(1) 起点低,便于自学;

(2) 通过以“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”三门课程知识为背景的实验——**基础实验**,引导学生借助数学软件理解抽象的数学理论;

(3) 通过解决一些综合性问题的实验——**综合实验**,培养学生的探索精神、综合应用数学知识解决问题的意识及能力;

(4) 通过数学建模的几个问题——**数学建模初步**,初步体验数学建模的过

程,进一步培养和提高学生的创新能力和素质.

另外,本书在“数学建模初步”部分与大部分“数学建模”方面的教材不同,在每个问题中都附有比较详细的 MATLAB 程序(这些程序都已通过调试运行).这部分内容体现了数学实验在数学建模中的作用,便于读者学习.考虑到数学实验与数学建模、数学建模竞赛的关系,本次修订我们适当增加了“数学建模初步”的篇幅.

本次修订我们修改了第 1 版中的不当之处,并努力致力于教材质量的提高.我们保留了第 1 版的内容体系和大部分内容,增加、删除和改写了一小部分内容.本次修订计划由作者们讨论并确定,具体分工如下:第 1 章、第 5 章、第 7 章(部分)由韩明教授执笔;第 2 章、第 3 章、第 4 章由李林副教授执笔;第 6 章、第 7 章(部分)、附录由王家宝教授执笔;全书由韩明教授统稿、定稿.

希望本书能够继续得到广大师生的关心和厚爱,让我们共同努力,把这部教材建设好.我们深知要想建设好一部教材,绝非一朝一夕能够实现,要经过若干年的努力探索才有可能,在这方面国内外已有成功的经验可以借鉴.虽然我们努力使本书写成一部既有特色又便于教学的教材,但由于作者水平所限,书中难免还有一些疏漏甚至错误之处,恳请专家和读者批评、指正.

韩 明

2012 年 1 月

第 1 版前言

传统的数学课程教学方法是教师在课堂上讲、学生(用纸和笔)练. 这种模式注重培养学生进行精密的计算、严密的逻辑推理能力, 而忽视了对学生主动思考、自主创新能力的培养. 在这种教学模式下, 学生对数学的认识也仅是停留在记公式、做计算题和证明题上. 这与当前社会对科技人才的培养中数学素质和能力的要求相差甚远. 从 20 世纪 90 年代中期开始, 数学实验 (mathematical experiment) 作为大学数学教学改革的产物在国内高等院校诞生, 它以与传统数学教学不同的方式在大学数学教育中引起了广大师生的广泛的兴趣.

1989 年, 著名的科学家钱学森教授在“中国数学会教育与科研座谈会”上提出: “电子计算机的出现对数学科学的发展产生了深刻的影响, 大学理工科的数学课程是不是需要改革一番?”

1992 年, 美国工业与应用数学学会的一篇文章就指出: “一切科学与工程技术人员的教育必须包括愈来愈多的数学和计算机科学的内容. 数学建模和相伴的计算正在成为工程设计中的关键工具.” 美国科学、工程和公共事业政策委员会在一份报告中曾指出: “今天, 在科学技术中最为有用的领域就是数值分析与数学建模.” 所有这些思想, 都与数学实验课程所包含的内容密切相关.

周远清(前教育部副部长)、姜启源发表在 2006 年 1 月 11 日《光明日报》上的文章《数学建模竞赛实现了什么?》中指出: 十几年来在我国开展的“全国大学生数学建模竞赛”的实践已经证实了“数学建模竞赛”至少实现了以下两点: (1) 提高了学生的综合素质; (2) 推动了高校教育改革.

实践证明, 数学建模 (mathematical modelling) 是连接“学”和“用”的一个桥梁. 李大潜院士提出, “把**数学建模**的思想和方法融入到大学的主干数学课程中去.” 目前, 多数专业的主干数学课程主要有“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”, 而数学实验是连接这三门课程与数学建模的一个桥梁. 因此, 仿照以上李大潜院士的说法, 我们可以提出: “把**数学实验**的思想和方法融入到大学的主干数学课程中去.”

21 世纪对各类专业技术人才的培养中数学素质和能力的要求越来越高, 我们培养的人才应具有对专业背景的实际问题建立数学模型的能力, 这样才能在实际工作中发挥更大的创造性. 开设“数学实验”课程的目的, 正是为了培

养学生运用计算机研究、学习数学的能力,锻炼学生动手能力,进而提高学生的创造能力。

我们对“数学实验”课程教学的认识主要包括两个方面:一是对“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”课程中一些抽象的、难以理解的概念和理论结果,通过数学软件(本书的数学软件选用 MATLAB,所有例题中的程序都已通过 MATLAB 7.0 的运行)在视觉上进行形象化再现,以加深理解;二是把它理解为数学建模的基础和数学理论知识的一些应用,也就是使学生从实际问题出发,经过分析和研究,建立数学模型,并借助数学软件,上机操作,得到解决问题的一种或多种方案,在实验的过程中体验数学的奥妙。

基于以上对“数学实验”课程教学的这种认识,本书主要内容分为三个部分:

第一部分是**基础实验**(第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章),主要围绕“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”课程中的一些基本概念、数学理论,应用数学软件进行一些计算,并把一些基本概念、数学理论通过图形的可视化等方式,使学生更容易理解其内涵。

第二部分是**综合实验**(第 6 章),主要介绍一些计算方法,并应用这些方法解决一些综合性的问题。考虑到不同专业的需要、学时等方面因素,这部分介绍的 15 个综合实验相对独立,读者可以根据具体需要进行选择。

第三部分是**数学建模初步**(第 7 章),主要介绍三个数学建模问题。这部分介绍的三个问题相对独立,可以根据实际需要进行选择。

基于本书以上的主要内容,本书有以下几种用途:

(1) 可以作为一门课程——“数学实验”课程的教材或参考书;

(2) 可以穿插在“高等数学”、“线性代数”和“概率论与数理统计”课程中同步使用;

(3) 可作为“数学建模竞赛”的培训教材或参考书;

(4) 可供广大自学者学习和参考。

本书是作者结合多年来在“高等数学”、“线性代数”、“概率论与数理统计”、“数学实验”、“数学建模”、“数学建模竞赛”等课程的教学或培训以及指导学生参加“全国大学生数学建模竞赛”的实践经验编写而成的。在写作本书的过程中,作者们经常在一起讨论,并把各自平时在教学实践中的一些积累无私地奉献出来,可以说,本书是作者们集体合作的一个成果。编写大纲由韩明提出,并经作者们集体讨论并确定。本书的分工如下:第 1 章、第 5 章由韩明编写;第 2 章、第 3 章、第 4 章由李林编写;第 6 章、第 7 章、附录由王家宝编写。全书由韩明统稿、定稿。

除了作者写作的内容外,本书的部分内容(一些例题和练习题等)参考了书

后所列参考文献.作者在这里对这些参考文献的作者表示感谢.

虽然我们努力使本书成为一本既有新意又便于教学的教材,但由于水平所限,书中肯定还有一些不尽如人意之处,恳请专家和读者提出宝贵意见,以便再版时修改.

韩 明

2009年1月

目 录

前 言

第 2 版前言

第 1 版前言

1 绪 论	1
1.1 数学实验概述	1
1.1.1 什么是数学实验	1
1.1.2 关于“数学实验”课程	2
1.2 数学软件及其应用	3
1.2.1 数学软件	3
1.2.2 应用 MATLAB 的几个例子	4
1.3 本书的基本框架和内容安排	10
本章附录	11
2 一元微积分实验	13
2.1 曲线绘图	13
2.1.1 曲线的几种表现形式	13
2.1.2 绘制曲线的 MATLAB 命令	13
2.2 极限与导数	19
2.2.1 极 限	19
2.2.2 导 数	21
2.2.3 极值和最值	22
2.3 方程(组)求根	25
2.3.1 方程(组)符号解	26
2.3.2 方程(组)数值解	27
2.4 积 分	31
2.4.1 不定积分	31
2.4.2 定积分	32

2.5	级数	37
2.5.1	数项级数部分和与级数和	37
2.5.2	泰勒级数展开	41
2.5.3	泰勒级数逼近分析界面	43
2.5.4	傅里叶级数	44
3	多元微积分实验	47
3.1	曲面绘图	47
3.1.1	曲面绘制	47
3.1.2	等高线的绘制	49
3.2	多元函数微分	53
3.2.1	多元函数极限	53
3.2.2	多元函数偏导数及全微分	53
3.2.3	微分法在几何上的应用	54
3.2.4	多元函数的极值	59
3.3	多元函数积分	60
3.3.1	二重积分	60
3.3.2	三重积分	62
3.4	常微分方程求解	64
3.4.1	常微分方程(组)符号求解	64
3.4.2	常微分方程的数值求解	66
4	线性代数实验	71
4.1	多项式	71
4.1.1	多项式表达式与根	71
4.1.2	多项式四则运算	72
4.1.3	多项式的分解与合并	74
4.1.4	有理分式的分解与合并	75
4.2	行列式	78
4.3	矩阵	80
4.3.1	矩阵的生成	80
4.3.2	矩阵的取块和变换	83
4.3.3	矩阵的基本运算	86
4.4	求解线性方程组	90
4.5	特征值和特征多项式	96

5 概率论与数理统计实验	101
5.1 MATLAB中常用分布的有关函数	101
5.1.1 概率密度函数(分布律)及调用格式	101
5.1.2 分布函数的调用格式	105
5.1.3 分位数的调用格式	107
5.1.4 随机数生成函数的调用格式	109
5.2 大数定律与中心极限定理中的问题	110
5.2.1 大数定律的理解与应用	110
5.2.2 中心极限定理与高尔顿钉板实验	113
5.3 数据的描述与直方图	118
5.3.1 数据描述的常用命令	118
5.3.2 直方图	120
5.4 参数估计中的计算	121
5.4.1 点估计和区间估计的调用格式	121
5.4.2 点估计和区间估计的例子	121
5.5 假设检验中的计算	122
5.5.1 单个正态总体假设检验中的计算	122
5.5.2 两个正态总体假设检验中的计算	124
5.5.3 总体分布的检验	125
5.6 回归分析中的计算	135
5.6.1 一元线性回归中的计算	135
5.6.2 可线性化的一元非线性回归中的计算	142
5.6.3 多元线性回归中的计算	143
5.7 随机模拟	148
5.7.1 π 的模拟计算	148
5.7.2 生日问题的模拟计算	150
5.7.3 蒙特卡洛(Monte Carlo)方法计算定积分的例子	151
6 综合实验	155
6.1 二分法	155
6.1.1 二分法求根	155
6.1.2 条件语句与循环语句	156
6.1.3 脚本文件与函数文件	156
6.1.4 实验目的	157
6.2 兔子数问题	161

6.2.1	关于斐波那契数	161
6.2.2	实验目的	162
6.3	数独游戏	164
6.3.1	数独游戏简介	164
6.3.2	实验目的	165
6.4	Hill 密码	168
6.4.1	密码简介	168
6.4.2	实验目的	170
6.5	最短路径问题	172
6.5.1	图论简介	172
6.5.2	求最短路的迪克斯特拉(Dijkstra)算法	174
6.5.3	实验目的	175
6.6	油管铺设	177
6.6.1	求最小生成树的 Prim 算法	177
6.6.2	实验目的	177
6.7	工作安排	178
6.7.1	匹配问题简介	178
6.7.2	实验目的	179
6.8	最优生产方案	180
6.8.1	线性规划和二次规划	180
6.8.2	MATLAB 中线性规划和二次规划的有关命令	181
6.8.3	实验目的	182
6.9	选址问题	184
6.9.1	非线性规划	184
6.9.2	MATLAB 中求多元函数最小值的命令	184
6.9.3	实验目的	186
6.10	面试顺序	187
6.10.1	关于穷尽搜索	187
6.10.2	实验目的	187
6.11	凸轮设计	190
6.11.1	插值问题简介	190
6.11.2	MATLAB 中有关插值的命令	191
6.11.3	实验目的	192
6.12	人口预测	193
6.12.1	拟合问题简介	193

6.12.2	MATLAB 中有关拟合的命令	194
6.12.3	实验目的	195
6.13	货物装箱	198
6.13.1	装箱问题简介	198
6.13.2	实验目的	199
6.14	追兔问题	200
6.14.1	计算机仿真简介	200
6.14.2	实验目的	202
6.15	排队理发	205
6.15.1	排队问题简介	205
6.15.2	实验目的	205
6.16	追兔问题的进一步探索	207
6.17	多项式函数的性态研究	210
6.17.1	实验内容	210
6.17.2	分析	210
6.17.3	研究多项式性态的 MATLAB 程序	212
6.17.4	程序的测试与改进	217
7	数学建模初步	222
7.1	商人过河	222
7.1.1	问题	222
7.1.2	分析与建模	222
7.1.3	模型求解	223
7.2	穿越荒漠	224
7.2.1	问题	224
7.2.2	模型假设	224
7.2.3	问题(1)分析与建模	224
7.2.4	问题(1)求解	225
7.2.5	问题(2)分析与建模	226
7.2.6	问题(2)求解	227
7.3	蚊虫分类	228
7.3.1	问题	228
7.3.2	问题的分析与模型的建立	228
7.3.3	模型的误差分析	229
7.3.4	MATLAB 程序	231

7.3.5	MATLAB 中的判别分析命令	232
7.4	分形中的 Koch 雪花问题	233
7.4.1	问题	233
7.4.2	问题的分析	233
7.4.3	模型的建立	234
7.4.4	模型求解	235
7.4.5	有关 MATLAB 程序	236
7.5	饮酒驾车	237
7.5.1	问题	237
7.5.2	问题的分析	238
7.5.3	符号说明	238
7.5.4	模型假设	239
7.5.5	模型的建立与求解	239
7.5.6	数据拟合与拟合误差	240
7.5.7	模型的应用	242
7.5.8	模型的评价与推广	244
附 录	245
附录 A	MATLAB 的基本操作	245
附录 B	第 6 章中的几个 MATLAB 程序	257
参考文献	271

1 绪 论

本章主要介绍数学实验概述、数学软件及其应用以及本书的基本框架和内容安排.

1.1 数学实验概述

1.1.1 什么是数学实验

大家都知道物理实验和化学实验,那么,什么是数学实验呢?长期以来,人们对数学教学的认识就是概念、定理、公式和解题.在传统的数学教学过程中,教师在黑板上讲数学,而学生则在课堂上听数学和在纸上做题目.这样,对多数学生而言,数学的发现探索活动没有能够真正开展起来,学习数学的积极性也没有真正地被调动出来.

随着计算机的普及和发展,改变了数学只用纸和笔进行研究的传统方式,特别是利用计算机成功地解决了“四色问题”对数学领域产生了巨大的影响,尽管有些数学家不承认这是一个证明(即严格地按数学逻辑推理得到的证明),但是问题的最终解决还是被数学界接受了.20世纪70年代末,我国数学家吴文俊从中国传统的数学机械化思想出发,创立了几何定理机器(计算机)证明的“吴方法”,实现了利用计算机进行推理证明的突破,获得了国内外学术界的高度称赞与广泛重视,他因此获得我国首届国家最高科学技术奖.

随着科学技术的进步,尤其是计算机技术的快速发展,数学对当代科学乃至整个社会的影响和作用日益显著.数学成为科学研究的主要支柱,其方法及计算已经与理论研究和科学实验成为科学研究中不可缺少的手段.同时,现代数学几乎渗透到包括自然科学、经济管理以至人文社会科学在内的所有学科和应用领域中,通过建立数学模型(mathematical model)、应用数学理论和方法并结合计算机来解决实际问题已成为极其普遍的模式.因此,社会对科技人才培养中的数学素质和能力已经提出了更高的要求.然而传统的数学课程对此反映不足,不能体现数学在科技和现实生活中的重要作用.因此出现了像李大潜院士指出的那种“长期存在的矛盾现象:一方面,数学很有用,另一方面,学生学了数学以后却不会用”.

关于什么是数学实验,目前还没有一个统一的定义.所谓**数学实验**(mathe-