



普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪大学数学创新教材



数学软件与 数学实验 (第三版)

汪晓银 周保平 侯志敏 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

21 世纪大学数学创新教材

丛书主编 陈 化

数学软件与数学实验

(第三版)

汪晓银 周保平 侯志敏



科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

本书深入浅出地介绍了数学建模应用中常见的三个数学软件MATLAB、LINGO、R的基础用法以及如何应用这些软件解决微积分、线性代数、线性规划、概率统计中相关计算问题。本书实例丰富、通俗易懂。软件的使用涉及数值计算、优化运筹、概率统计等多个领域,是一本数学软件应用的基础入门书籍。

本书可作为高等学校大学数学系列课程的实验教材,也可作为本科生、研究生数学建模培训教材或参考书,也是一本从事数学应用以及科学研究人员有价值的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

数学软件与数学实验/汪晓银,周保平,侯志敏主编. —3版. —北京:科学出版社, 2015.5

21世纪大学数学创新教材

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-044238-3

I. 数… II. ①汪… ②周… ③侯… III. ①数值计算—应用软件—高等学校—教材②高等数学—实验—高等学校—教材 IV. ①O245 ②O13-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第090618号

责任编辑:吉正霞/责任校对:董艳辉

责任印制:高 嵘/封面设计:苏 波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年8月第 一 版

2010年12月第 二 版 开本:B5(720×1000)

2015年5月第 三 版 印张:14 1/2

2015年5月第一次印刷 字数:271 000

定价:29.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《21 世纪大学数学创新教材》 丛书编委会

主 编 陈 化
常务副主编 樊启斌
副 主 编 吴传生 何 穗 刘安平
编 委 (按姓氏笔画为序)
王卫华 王展青 刘安平 严国政
李 星 杨瑞琰 肖海军 吴传生
何 穗 汪晓银 陈 化 罗文强
赵东方 黄樟灿 梅全雄 彭 放
彭斯俊 曾祥金 谢民育 樊启斌

《数学软件与数学实验》(第三版) 编委会名单

主 编 汪晓银 周保平 侯志敏
副 主 编 朱 强 任兴龙 李 治
编 委 (按首字拼音排序)
安徽农业大学 张成堂
湖北经济学院 严培胜
湖北汽车工业学院 雷国梁 杜 佩
河南科技学院 张万琴
湖南农业大学 刘跃武
华中农业大学 汪晓银 侯志敏 任兴龙 朱 强
李 治 方 红 谭劲英 潘志斌
吉林农业大学 万保成
江西财经职业学院 徐 思
江西农业大学 胡建根
南京农业大学 温阳俊 唐中良
天津农学院 马志宏
塔里木大学 周保平 齐立美 王 伟 晁增福
郭丽峰

《21 世纪大学数学创新教材》丛书序

《21 世纪大学数学创新教材》为大学本科数学系列教材,大致划分为公共数学类、专业数学类两大块,创新是其主要特色和要求.经组编委员会审定,列选科学出版社普通高等教育“十一五”规划教材.

一、组编机构

《21 世纪大学数学创新教材》丛书由多所 985 和 211 大学联合组编:

丛书主编 陈化

常务副主编 樊启斌

副主编 吴传生 何穗 刘安平

丛书编委 (按姓氏笔画为序)

王卫华 王展青 刘安平 严国政 李星

杨瑞琰 肖海军 吴传生 何穗 汪晓银

陈化 罗文强 赵东方 黄樟灿 梅全雄

彭放 彭斯俊 曾祥金 谢民育 樊启斌

二、教材特色

创新是本套教材的主要特色和要求,创造双重品牌:

先进.把握教改、课改动态和学科发展前沿,学科、课程的先进理念、知识和方法原则上都要写进教材或体现在教材结构及内容中.

知识与方法创新.重点教材、高层次教材,应体现知识、方法、结构、内容等方面的创新,有所建树,有所创造,有所贡献.

教学实践创新.教材适用,教师好教,学生好学,是教材的基本标准.应紧跟和引领教学实践,在教学方法、教材结构、知识组织、详略把握、内容安排上有独到之处.

继承与创新.创新须与继承相结合,是继承基础上的创新;创新需转变为参编者、授课者的思想和行为,避免文化冲突.

三、指导思想

遵循国家教育部高等学校数学与统计学教学指导委员会关于课程教学的基本要求,力求教材体系完整,结构严谨,层次分明,深入浅出,循序渐进,阐述精炼,富有启发性,让学生打下坚实的理论基础.除上述一般性要求外,还应具备下列特点:

(1) 恰当融入现代数学的新思想、新观点、新结果,使学生有较新的学术视野.

(2) 体现现代数学创新思维,着力培养学生运用现代数学软件的能力,使教材真正成为基于现代数学软件的、将数学软件融合到具体教学内容中的现代精品教材。

(3) 在内容取舍、材料组织、叙述方式等方面具有较高水准和自身特色。

(4) 数学专业教材要求同步给出重要概念的英文词汇,章末列出中文小结,布置若干道(少量)英文习题,并要求学生用英文解答。章末列出习题和思考题,并列出了可进一步深入阅读的文献。书末给出中英文对照名词索引。

(5) 公共数学教材具有概括性和简易性,注重强化学生的实验训练和实际动手能力,加强内容的实用性,注重案例分析,提高学生应用数学知识和数学方法解决实际问题的能力。

四、主编职责

丛书组编委员会和出版社确定全套丛书的编写原则、指导思想和编写规范,在这一框架下,每本教材的主编对本书具有明确的责权利:

1. 拟定指导思想

按照丛书的指导思想和特色要求,拟出编写本书的指导思想和编写说明。

2. 明确创新点

教改、课改动态,学科发展前沿,先进理念、知识和方法,如何引入教材;知识和内容创新闪光点及其编写方法;教学实践创新的具体操作;创新与继承的关系把握及其主客体融合。

3. 把握教材质量

质量是图书的生命,保持和发扬科学出版社“三高”、“三严”的传统特色,创出品牌;适用性是教材的生命力所在,应明确读者对象,篇幅要结合大部分学校对课程学时数的要求。

4. 掌握教材编写环节

(1) 把握教材编写人员水平,原则上要求博士、副教授以上,有多年课程教学经历,熟悉课程和学科领域的发展状况,有教材编写经验,有扎实的文字功底。

(2) 充分注意著作权问题,不侵犯他人著作权。

(3) 讨论、拟定教材提纲,并负责编写组的编写分工、协调与组织。

(4) 拟就内容简介、前言、目录、样章,统稿、定稿,确定交稿时间。

(5) 负责出版事宜,敦促编写组成员使用本教材,并优先选用本系列教材。

《21世纪大学数学创新教材》组编委员会

2009年6月

第三版前言

要实现“中国梦”，我国必须提高国民创造力。创造力的核心就是创新思维的培养。大学数学实验课正是培养学生的这种创新性。因此，各高校进行大学数学实验教学内容、教学方式的改革以及课程的推广和普及就显得极其重要。然而，在推进大学实验教学改革进程中，长期存在实验室容量和学时的限制、师资的缺乏、实验课与专业课之间的知识脱节、实验技能培养与创新能力提升的失调、教与学之间的失衡等制约因素，导致学生知识结构呈现“量子化、离散化”状态，不利于学生创新意识和创新思维的形成。

本教材正是为满足提升学生创造性能力的需要而编写的。依托省教育厅省级教研项目“农林高校数理化基础课实践教学体系的创新与实践”（编号：2009134）、“数学建模创新人才培养模式的研究与实践”（编号：2011150），利用公共数学承担全校基础实验教学的便利条件，开展了基于大基础观的大学数学实验课综合改革研究与实践，构建了“大融合”的实验教学内容、方法、手段和资源平台，建立了“大开放”的实验教学管理系统和运行机制，促进学生向自主性学习、研究性学习、创新性学习转变，实现学生数学实验技能培养与创新思维、创新意识、创新能力提升的协调发展。

具体来讲，完成了以下改革：

(1) 进行了大学数学实验教学内容体系的构建。经过 6 年 10 轮左右的实践，基本确立了 MATLAB、LINGO、R 软件的教学内容。大约用 8 学时主讲 MATLAB 编程以及微积分、线性代数的 MATLAB 计算。用 6 学时主讲 LINGO 编程以及线性规划的 LINGO 计算。用 6 学时主讲 R 编程以及概率统计的 R 计算。同时还适当配备了课堂训练和上机考试，整个课程大约需要 20~30 学时。

(2) 进行了选课方式和授课方式的改革。为了实现真正的“内容开放、时间开放、空间开放”，我们开发了大学数学实验选课系统、实验管理系统、考试系统等。打破行政班级，实行教学班级授课的模式，即学生可根据内容兴趣以及自己的空余时间自由选择学习内容和学习时间以及考试时间。我们努力将学习的自主权完全交给学生。这样做，使得小机房能开大课程。最近几年，我们用 160 台电脑的机房让 2000 多名学生都选上了数学实验课，真正做到了资源的充分利用。

(3) 建立开放式的基础课实验教学长效运行机制。建章立制，规范管理，形成长效机制。平台实行校院两级管理，实行主任负责制。教学计划的制订、执行在院级层面落实，学院统一制定管理制度，所有岗位实行聘任制，各实验课程实行课程负

责人制,形成了“制度保障、经费保障、质量保障”的运行机制.在这种运行机制下,我们已经有了完善教学档案,包括电子课件、教学视频、教学大纲、教案、试题库、案例库、实验指导手册、教学日历等.

本改革成果在华中农业大学全面实施后,人才培养质量显著提升.2009~2014年期间,受益学生达1万多人次.学生参与大学实验课的兴趣日益高涨,如大学数学实验选修人数由改革前的每年100人次增加到现在的每年2000人次.学生在数学建模学科竞赛中,共获得本科生建模竞赛国家奖49项,省奖71项,综合竞赛成绩位居全国前列;本科生发表论文数量和水平大幅提高,近三年来发表论文32篇,其中SCI收录论文12篇、EI收录论文6篇.

我们的工作得到了教育主管部门充分肯定,兄弟院校广泛关注.2012年,教育部委托华中农业大学举办“高等农林院校基础课实验教学改革青年骨干教师高级研修班”;相关成果先后在全国数学建模研讨会(2011.08吉林长春;2014.08湖北武汉)等会议上进行了交流;塔里木大学、湖南农业大学、南京农业大学、山东农业大学、江西农业大学、武汉大学、华中科技大学、华中师范大学、湖北经济学院、湖北汽车工业学院等400多所院校前来观摩交流学习.

在本教材的改版过程中,除了继承第二版案例丰富、应用面广、通俗易懂、可靠性高的特点,结合近三年来的教学尝试,在以下几个方面作了改动:①为适应统计计算发展趋势的要求,将SAS软件改成了R软件;②为系列教材整体布局的需要,本教材去掉了第二版教材中多因素方差分析、多元回归、响应面回归、非参数统计的介绍;③为配合实验课教学的需要,将介绍软件的章节提前;④对书中的案例和文字的表述作了修改,所有程序全部再次进行了调试.

本教材所有的代码均放到数学实验课程网站(<http://sy.shumo.cn>),供读者下载.如发现书中有错误之处,恳请来信至电子信箱 wxywxq@126.com 进行指正.

编者

2015年03月25日

目 录

第 1 章 计算软件 MATLAB 使用入门	1
1.1 MATLAB 窗口环境	1
1.1.1 MATLAB 窗口环境	1
1.2 程序文件(M 文件)	5
1.2.1 M 文件概述	5
1.2.2 M 文件操作	5
1.2.3 函数文件	6
1.3 MATLAB 编程	8
1.3.1 变量与数据操作	8
1.3.2 MATLAB 矩阵	12
1.3.3 MATLAB 运算	15
1.3.4 矩阵分析	17
1.3.5 字符串	18
1.3.6 MATLAB 程序控制结构	19
1.3.7 符号工具箱简介	27
1.4 MATLAB 帮助	29
1.4.1 帮助窗口	29
1.4.2 指令获取帮助信息	30
1.4.3 如何使用帮助	31
习题 1	31
第 2 章 优化软件 LINGO 使用入门	34
2.1 优化软件 LINGO 简介	34
2.1.1 LINDO 公司的主要软件产品及功能简介	34
2.1.2 LINGO 软件的主要特点	35
2.2 LINGO 窗口环境、运算符及基本用法	36
2.2.1 LINGO 的安装	36
2.2.2 LINGO 的窗口环境	37
2.2.3 LINGO 的基本运算符	37
2.2.4 LINGO 的基本用法	38

2.3 LINGO 模型的构成和参数设置	46
2.3.1 LINGO 模型的构成	46
2.3.2 LINGO 中的集	46
2.3.3 模型的集合段	47
2.3.4 模型的数据段、初始段、计算段和子模型	50
2.4 LINGO 中的常用函数	57
2.4.1 数学函数	57
2.4.2 集合操作函数	58
2.4.3 集合循环函数	59
2.4.4 变量界定函数	60
2.4.5 程序控制函数	61
2.4.6 数据输入输出函数和报告函数	65
2.4.7 金融函数	69
2.4.8 概率函数	70
2.4.9 辅助函数	72
习题 2	72
第 3 章 统计软件 R 使用入门	79
3.1 R 软件简介	79
3.1.1 R 的特点	79
3.1.2 R 的下载和安装	80
3.2 R 软件语法结构	81
3.2.1 R 的语法与数据结构	81
3.2.2 R 向量	82
3.2.3 矩阵	85
3.3 数据的输入与读写	87
3.3.1 列表(list)	87
3.3.2 数据框(data.frame)	88
3.3.3 数据的输入输出	90
3.4 R 语言程序设计	91
3.4.1 程序控制结构	91
3.4.2 R 程序设计	93
3.5 R 画图	93
3.5.1 快速画图	93
3.5.2 高水平作图函数	96

3.5.3 低水平图形函数	98
3.5.4 一页多图	99
习题 3	100
第 4 章 微积分问题的 MATLAB 求解	102
4.1 极限计算	102
4.1.1 函数计算	102
4.1.2 一元函数极限	102
4.1.3 多元函数的极限	105
4.2 代数方程的计算	106
4.3 导数的计算	107
4.3.1 符号导数	107
4.3.2 偏导数	109
4.4 极值计算	110
4.5 积分的计算	113
4.5.1 定积分与不定积分	113
4.5.2 多重积分	115
4.6 曲线积分与曲面积分	117
4.6.1 曲线积分	117
4.6.2 曲面积分	119
4.7 函数作图	121
4.7.1 二维曲线的绘制	121
4.7.2 三维曲线的绘制	124
4.7.3 隐函数绘制	125
4.7.4 极坐标图形的绘制	126
4.7.5 三维网线图和曲面图的绘制	127
4.8 微分方程(组)的求解	130
4.8.1 常微分方程的求解	130
4.8.2 微分方程组的求解	131
4.9 无穷级数	132
4.9.1 级数符号求和	132
4.9.2 函数的泰勒级数	133
习题 4	133
第 5 章 线性代数问题的 MATLAB 求解	137
5.1 矩阵及其运算	137

5.1.1	矩阵的算术运算	137
5.1.2	方阵的行列式	140
5.1.3	矩阵的逆矩阵	141
5.1.4	应用实例——投入产出模型	141
5.2	矩阵的初等变换与线性方程组	144
5.2.1	行最简形	144
5.2.2	矩阵的秩与迹	145
5.2.3	线性方程组的解	145
5.2.4	求矩阵行(列)向量组的极大无关组	148
5.3	矩阵的对角化	149
5.3.1	求矩阵的特征值与特征向量	149
5.3.2	实对称阵的对角化	150
5.3.3	二次型及其标准形	151
	习题 5	153
第 6 章	线性规划问题的 LINGO 求解	155
6.1	一般线性规划模型的建立与求解	155
6.1.1	基本理论	155
6.1.2	应用举例	156
6.2	灵敏性分析与对偶问题	171
6.2.1	灵敏性分析	171
6.2.2	对偶问题	174
6.3	整数规划问题	180
6.3.1	整数规划问题	180
6.3.2	0-1 整数规划问题	182
	习题 6	184
第 7 章	概率统计问题的 R 求解	189
7.1	概率论中的问题	189
7.2	假设检验	192
7.2.1	R 中常用的统计函数	192
7.2.2	两个总体均值相等的假设检验	192
7.3	方差分析	194
7.3.1	单因素方差分析	194
7.3.2	不考虑交互作用的双因素方差分析	196
7.3.3	考虑交互作用的双因素方差分析	198

7.4 回归分析	199
7.4.1 一元线性回归	199
7.4.2 一元非线性回归	203
7.5 协方差分析	207
7.5.1 单因素试验的协方差分析	207
习题 7	209
习题答案	213
参考文献	215

第 1 章 计算软件 MATLAB 使用入门

MATLAB 是由 MathWorks 公司推出的一套数学软件,是一种用于科学计算的、高效率的高级计算机编程语言. MATLAB 最初作为矩阵实验室(matrix laboratory),主要向用户提供一套非常完善的矩阵运算命令. 随着数值运算的演变, MATLAB 的版本不断提高,它逐渐发展成为各种系统仿真、数字信号处理、科学可视化的通用标准语言.

本章主要介绍 MATLAB R2009a(MATLAB 7.8)的初步知识,包括 MATLAB 窗口环境、程序文件(M 文件)、MATLAB 编程和 MATLAB 帮助等内容,重点介绍 M 文件的使用和运行方法、MATLAB 编程语言和流程结构,并通过实例来帮助读者更好地理解这些内容.

软件的掌握更多地需要自学. 自学 MATLAB 的有效方法是通过它的演示(demos)和求助(help)命令,可十分方便地在线学习 MATLAB 的各种函数的内涵及其用法,但这需要顽强的毅力和良好的学习习惯.

在数学应用中, MATLAB 在数值计算、灰色系统、神经网络、计算机仿真、算法编程中作用明显.

1.1 MATLAB 窗口环境

1.1.1 MATLAB 窗口环境

当 MATLAB R2009a 安装完毕并首次启动时,展现在屏幕上的界面为 MATLAB 的默认界面,如图 1.1.1 所示.

启动 MATLAB 后,将进入 MATLAB R2009a 集成环境. MATLAB R2009a 集成环境包括 MATLAB 主窗口、当前目录(current directory)窗口、工作空间(workspace)窗口、命令历史(command history)窗口、命令窗口(command window).

MATLAB 主窗口是 MATLAB 的主要工作界面. 主窗口除了嵌入一些子窗口外,还主要包括菜单栏和工具栏. 用它们可直接进行文件管理和编辑,或选择 Help 检索帮助信息等. MATLAB 的菜单及选择方式与 Windows 下各种软件环境中的文件管理方式相同,可以创建新文件或打开一个已经存在的 M 文件,利用文件编辑器对文件进行编辑和修改.

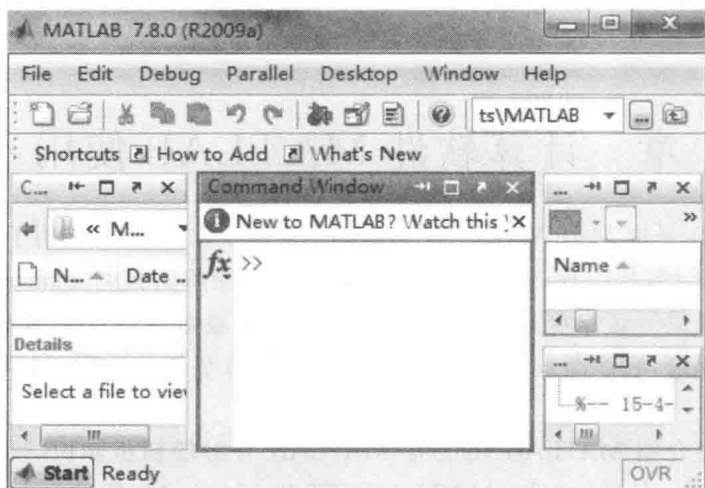


图 1.1.1 MATLAB 默认界面

MATLAB 提供了文件管理命令,可以列文件名、显示和删除 M 文件、显示和改变当前目录或文件夹。另外,还可以显示和修改 MATLAB 的搜索路径。

当 MATLAB 启动后,会直接进入 D:\My Documents\MATLAB 子目录(安装 MATLAB 时会设置这个目录,安装位置不同时此默认工作目录也不同),如图 1.1.2 所示。

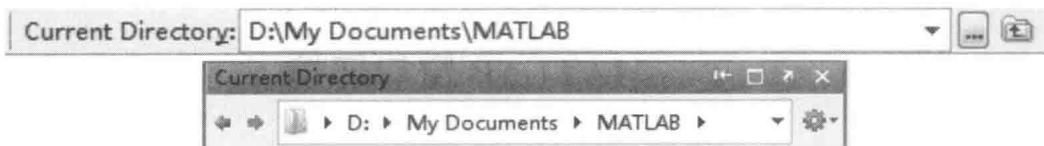


图 1.1.2 默认工作目录

为了避免与工作程序混淆,最好先建立自己的子目录,例如在 MATLAB 目录下建立子目录 mydir,再直接完成对当前工作目录的选择,如图 1.1.3 所示。

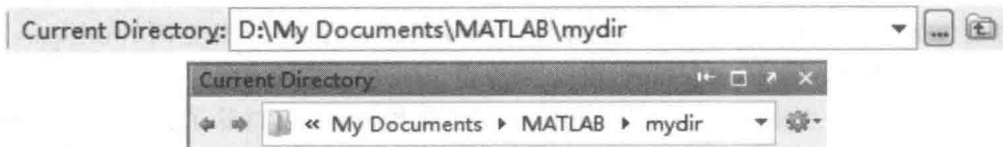



图 1.1.3 指定路径选择工作目录

在 MATLAB 中还可以直接在当前目录窗口中通过鼠标操作浏览按钮来完成对当前工作目录的选择。

当用户在 MATLAB 命令窗口输入一条命令后,MATLAB 按照一定次序寻

找相关的文件. 基本的搜索过程为:①检查该命令是不是一个变量;②检查该命令是不是一个内部函数;③检查该命令是不是当前目录下的 M 文件;④检查该命令是不是 MATLAB 搜索路径中其他目录下的 M 文件.

依次搜寻规定的搜索路径,检查文件是否存在于搜索路径中. 如果找不到该文件,表明该文件既不在当前目录下,又不存在于搜索路径中,此时可以采取下面的解决方法:①在当前目录窗口直接操作进入该文件存在的目录;②将该文件存在的目录增加到搜索路径中去;③打开该文件,点击运行并改变当前路径.

在第二种方法中可以使用 path 命令完成,如假设 xxx.m 文件存在于 D:\My Documents\MATLAB\mydir 的目录中,利用 path(path,'D:\My Documents\MATLAB\mydir')可将 e:\My Documents\MATLAB\mydir 添加到上面的搜索路径中. 另外,还可以利用对话框设置搜索路径. 在 MATLAB 的 File 菜单中选择 Set Path 命令或在命令窗口执行 pathtool 命令,将出现搜索路径设置窗口,如图 1.1.4 所示,通过 Add Folder 或 Add with Subfolders 命令按钮将指定路径添加到搜索路径列表中. 在修改完搜索路径后,需要选择 Save 命令按钮保存搜索路径.

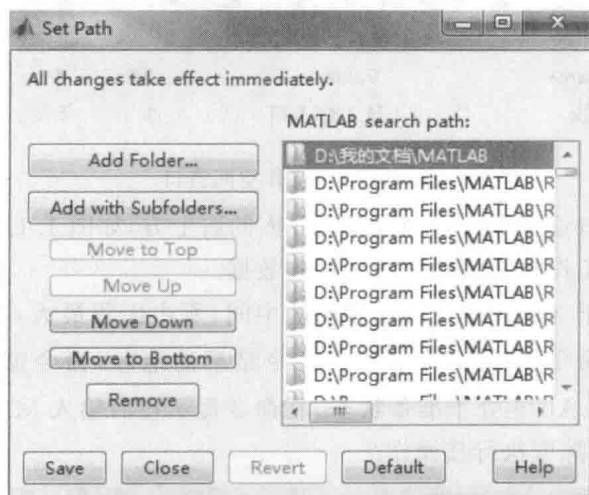


图 1.1.4 搜索路径设置窗口

当该 M 文件已打开,且不在当前目录的搜索路径中时,可以使用第三种方法快速改变当前目录的搜索路径. 在该 M 文件窗口中点击运行命令(绿色箭头),出现图 1.1.5 所示的窗口,点击 Change Directory 即可将当前目录改变到该 M 文件所在的路径下.

命令历史窗口位于 MATLAB 默认界面的右下方,如图 1.1.6 所示. 命令历史窗口记录了命令窗口(Command Window)中运行过的历史命令以及 MATLAB 软件启动的时刻.

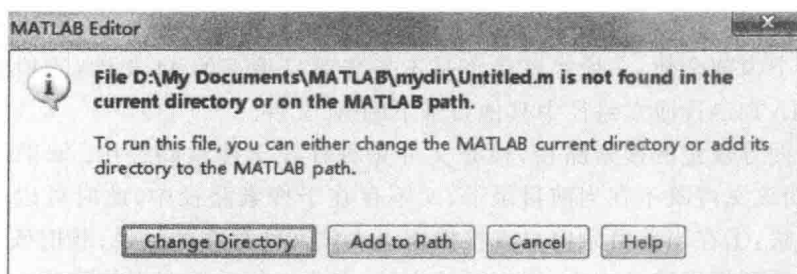


图 1.1.5 改变当前目录窗口

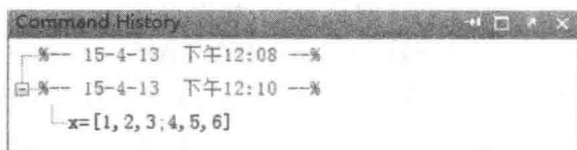


图 1.1.6 命令历史窗口

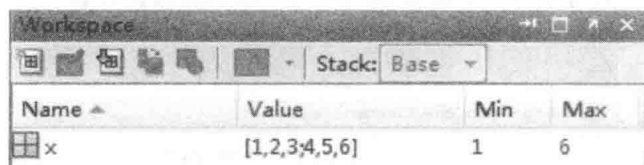


图 1.1.7 工作空间窗口

工作空间窗口位于 MATLAB 默认界面的右上方,如图 1.1.7 所示,工作空间窗口显示了当前工作空间中的所有变量和数据。

命令窗口位于 MATLAB 默认界面的中间,所占面积最大,如图 1.1.8 所示。命令窗口是输入命令、执行命令和显示命令结果的地方。命令窗口中 `>>` 为命令提示符,表示 MATLAB 正处于准备状态。在命令提示符后输入 MATLAB 认可的任何命令,按回车键都可执行其操作。

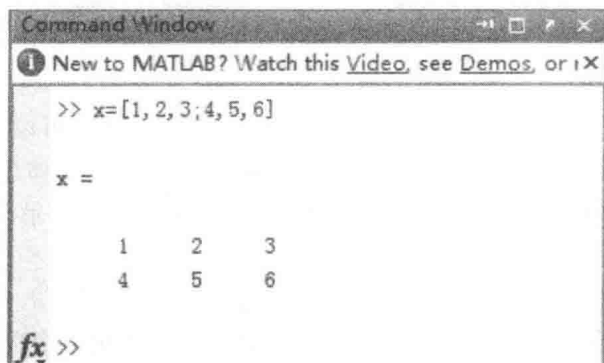


图 1.1.8 命令窗口