



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



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



全国高等农林院校“十一五”规划教材

数学实验

第二版

SHUXUE SHIYAN

宋世德 郭满才 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材

数 学 实 验

第 二 版

宋世德 郭满才 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

数学实验/宋世德, 郭满才主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2007. 8

普通高等教育“十一五”国家版规划教材. 面向 21 世纪课程教材. 全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11721-1

I. 数… II. ①宋…②郭… 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 (2007) 第 101717 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 许 坚

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版 2007 年 8 月第 2 版

2007 年 8 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 25.75

字数: 614 千字

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材第一版是教育部“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,为面向 21 世纪课程教材。本次修订是作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材编写的。全书分为七大实验,通过对预备实验和实验的介绍,使读者通过直观的演示、模拟和数据分析等方法了解微积分、线性代数、概率统计和试验设计分析等数学课程的基本原理。书中联系实际,提供了若干典型问题,使读者能结合相应数学软件,用适当的数学方法来完成数学建模、模拟求解及分析的过程,并提出了一些更深层次的思考,有利于读者利用数学工具和计算机技术提高分析问题和解决问题的能力。

本教材可以作为高等院校特别是农林医类院校各专业教材,亦可作为相关专业科研人员或教师的数据分析方法参考书。

第二版编写人员

主 编	宋世德	郭满才		
副主编	连 坡	欧阳安	郑立飞	解小莉
参 编	杜俊莉	冯爱芳	邓业胜	位 刚
	王 洁	陈小蕾	魏 宁	柳建军
	李 祯	赵 斌	高国荣	罗虎明
主 审	孟 杰	王迺信		

第二版前言

数学实验课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.本书是面向农、林、医等高等院校等有关专业本科生,配合所开设的《微积分(高等数学)》、《线性代数》、《概率论与数理统计》和《试验设计与分析》等课程而编写的一本实验教材,也可作为其他相关专业的数学实验参考书,或者研究生用参考书.

数学实验作为一种基本的数学思想方法由来已久,我国古代的割圆术就已经有了数学实验的雏形,近代“四色定理”的计算机证明就是数学实验应用的一个完美印证.但数学实验作为系统的理论课程走进课堂,才是近几年的事情,对于数学实验应包含的内容以及实验的形式,也是百家争鸣.近年来,随着教育部对数学系列课程教学改革的要求,很多高等院校都编写了自己的数学实验教材.这些教材各有其特点,总结起来大概有两种类型:一种是以数学建模问题为主线,将数学理论的应用揉进模型中,然后展开实验过程;另一种则是以数学课程内容为主线,配合所开设的数学课程,按课程内容逐步展开实验过程.早期的实验教材大多以前者为主,现在的教材则后者居多,也有些教材将两者结合起来,上篇为后者,下篇为前者.

数学实验作为一项教育任务,将数学教学模式从传统的理论教学模式扩展到了从理论到实践,从思考到观察,从猜想到检验和验证的认知模式,因此,它不仅是一种理论上的科研方法,也是一种在实践中具有可操作性的技术.数学实验应类似于物理、化学、生物实验,可以引导学生通过实践、操作和对结果的观察与理论分析,来印证所学数学理论或者猜想,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,目的是培养学生的数学运用能力和动手能力.

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做了概要的介绍.选用的数学软件为 MathWorks 公司的 MATLAB 7.0.1 及大型统计分析软件 SPSS 12.0.前者主要用于基础数学实验,因为该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;后者则主要用于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,实验的主体内容是按前

述4本书的体系编写的,使用时可根据开设课程和所学内容的不同作适当取舍;同时为了突出农林特色,实验内容尽量靠近农林科学.因此实验的主体内容也分为4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对独立的,在教学中可有选择的取舍.同一部分的实验内容也可有选择地取舍,并不会影响到其他实验的进行.

本书的主编为宋世德、郭满才,副主编为连坡、欧阳安、郑立飞、解小莉,参编的有杜俊莉、冯爱芳(河南科技大学理学院)、邓业胜、位刚、王洁、陈小蕾、魏宁、柳建军、李祯、赵斌、高国荣、罗虎明.

西北大学孟杰教授和西北农林科技大学王通信教授审阅了全书,并对内容和体系提出了许多中肯的意见和建议,作者在此表示衷心的感谢.袁志发教授为本书作序,并从本书的第一版开始就一直给予了大力的支持和关心,在此一并致谢.

本书的第一版是微育部面向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)研究的产物,这次作为普通高等教育“十一五”国家级规划的数学实验教材,是在第一版的基础上修改而成的.主要修改部分有:去掉了第一版中数学软件MathCAD的介绍及其应用,加强了MATLAB数学软件的介绍,增加了图形应用与GUI设计;数学建模方法中增加了利用MATLAB进行计算机仿真的内容;去掉了第一版中SAS软件的介绍和相关实验过程,增强了SPSS软件的介绍和应用;试验设计与分析实验增加了回归设计与分析;增加了一些方便学生对理论理解的思考问题,旨在增强学生对内容的深入了解和学习兴趣;对书中的程序做了必要的注释,以帮助和引导学生对程序的理解,期望能引导学生灵活编写相关过程的程序.数学实验在我国还并未普及,课程的开设大多也没有专门的学时,我们在十几年的教学实践中为配合数学课程教学改革的需要,建立了数学实验室,并在一些院系的个别专业做了一些有益的尝试,本教材就是在这种尝试下诞生的,但限于作者的水平,不足和疏漏之处在所难免,对数学实验的内容和体系及一些见解均为一家之言,敬请各位同行专家斧正.

编 者

2007年5月

第一版编写人员名单

主 编	宋世德	郭满才		
副主编	郭运瑞	李书琴	马 永	
参 编	解小莉	郑立飞	刘亚相	边宽江
	刘瀛州	刘建军	吴养会	王 杰
	王经民	张远迎	徐 钊	连 坡
	任争争	吴月宁	梁晓茹	虞文莉
	李登峰			
主 审	王迺信	周静芋		

第一版前言

数学实验课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、植保、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。

数学实验课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，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，实验的主体内容是按前述四本书的体系编写的，在进行实验时可以分别取舍；同时为了突出农林特色，所选取的实验内容尽量靠近农林科学。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，不会影响其他实验的进行。

本教材的主编为宋世德、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、刘瀛州、刘建军、吴养会、王杰、王经民、张远迎、徐钊、连坡、任争争、吴月宁、梁晓茹、虞文莉、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

序

数学的巨大发展，确立了它在整个科学技术中的基础地位。计算机和数学软件的不断更新和发展，为数学思想的挖掘、实现方式以及数学理论的发展拓广了空间，更为用数学解决实际问题增添了能力。在 20 世纪 70 年代，吴文俊先生以其世界前沿数学家对数学理解的深刻和睿智，提出了机械化数学的概念，他认为“在数学发展的历史过程中，公理化的演绎倾向与机械化的算法倾向往往互为消长交替成为当时数学的主流。由于计算机的出现，为后一种倾向带来了新的生命力，”并认为“公理化思想源于古希腊，机械化的思想则贯穿于整个中国古代数学，近代数学之所以能够发展到今天，主要是靠中国的数学，而非希腊的数学”，机械化的方法，正好符合计算机、信息时代的要求和状况。

质量是教育的生命，我国要在 21 世纪顺利地实现科学技术雄厚、可持续发展的和谐的社会主义强国，关键在于培养造就一支数量宏大、质量优良、结构合理、有能力参与国际竞争与合作的科技大军，这是我国高等教育所面临的一项十分繁重和光荣的战略任务。从教育质量来反思我国高校的数学教学，是重视了公理化数学而轻视了机械化教学，因而导致了“学的不用，用的不学”现象的长期存在。为改变这种情况，我们在教育部《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》（04—6 项目）课题的研究中，首先提出并由宋世德和郭满才等同志为农林院校主编并出版了《数学实验》（高等教育出版社，2002 年）教材。经过几年的教学实践和国家推行数学建模活动的促进，各校数学实验室的建立和对数学实验课的重机有了可喜的改观，并为进一步修改《数学实验》教材提供了进一步的思考。这次，作为十一五规划的《数学实验》教材，进行了必要的修改，并增加了图形应用与 GUI 设计等内容，更切合了农林院校教学教学、数学建模和解决农林科学问题及数据分析的需要。

“桃李不言，下自成蹊”，不断深化的教育改革使我相信，决定教学发展的公理化思想和机械化思想将在农林院校的数学教材中得到更好的贯彻，以满足农林科学发展的需要，这样的思想将似润物春雨，滋养着莘莘学子的心田，把他们引向科学的殿堂，为国家的发展做出重要的贡献。

袁志发

2007 年 5 月

目 录

第二版前言

第一版前言

序

实验一 MATLAB 初步	1
第一节 MATLAB 基本操作	1
第二节 MATLAB 基本数学运算	8
第三节 MATLAB 程序设计基础	22
第四节 MATLAB 的符号运算	30
第五节 MATLAB 的图形功能	37
第六节 MATLAB 句柄与 GUI 设计	42
实验二 数学模型初步	53
第一节 数学问题与数学建模	53
第二节 数学建模方法概述	57
第三节 数学模型的计算机模拟	61
第四节 MATLAB 的 Simulink 基础	71
第五节 模型实验范例	76
实验三 微积分学实验	83
第一节 函数、极限、导数与微分	83
第二节 不定积分、定积分与反常积分	93
第三节 微分方程	98
第四节 多元函数微积分	102
第五节 级数	110
第六节 数值微积分	117
第七节 微积分应用模型	128
实验四 线性代数实验	134
第一节 矩阵、向量及其运算	134

第二节	解线性方程组	145
第三节	矩阵特征值与特征向量	151
第四节	线性代数数值方法	160
第五节	线性代数应用举例	167
实验五	概率统计实验	174
第一节	随机事件及其概率	174
第二节	随机变量的分布及其数字特征	182
第三节	样本的数字特征与参数估计	201
第四节	假设检验	217
第五节	方差分析与回归分析	230
第六节	概率统计模型举例	242
实验六	SPSS 统计软件初步	250
第一节	SPSS 软件简介	250
第二节	数据文件的建立与操作	256
第三节	数据预处理	265
第四节	统计分析处理概述	275
实验七	试验设计与分析实验	297
第一节	参数估计与假设检验实验	297
第二节	单因素方差分析与协方差分析实验	307
第三节	析因试验的方差分析实验	335
第四节	回归分析与相关分析实验	364
第五节	回归设计与分析实验	382
参考文献		395

实验一 MATLAB 初步

本章简要介绍著名数学软件 MATLAB 的基本功能与初步使用，主要介绍 MATLAB 数学软件的基本操作、数值运算、符号运算、程序设计和图形处理等基本知识，其目的是使用户学会 MATLAB 软件的操作和使用，并能用其解决一些简单的数学问题，为后续的几个实验打好基础。

第一节 MATLAB 基本操作

一、MATLAB 的特点

MATLAB 语言是由美国的 Clever Moler 博士于 1980 年开发的，设计者的初衷是为解决线性代数课程的矩阵运算问题。MATLAB 自 1984 年由美国 MathWorks 公司推向市场以来，历经 20 多年的发展与竞争，现已成为国际公认的最优秀的高性能数值分析和计算的可视化软件，它集数值分析、矩阵运算、信号处理、图形显示和编程技术于一体，构成一个使用方便、界面友好的用户环境。同时，它又以功能强大、简单易学、编程效率高而深受广大科技工作者的欢迎，特别是它能为广大工程技术人员提供一个强有力的对科学及工程问题进行分析计算和程序设计的工具，并在国际上形成了一些特别专业的 MATLAB 网站供大家交流参考。因此，MATLAB 语言已经成为一种广泛应用于工程计算及数值分析领域的新型高级语言，被誉为第四代高级语言。

MATLAB 的含义是矩阵实验室 (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，如今已不仅成为线性代数课程的标准工具，也成为其他许多应用领域（包括一些最新科技前沿）的实用工具。目前使用最多的版本是 6.5 版和 7.0.1 版，本书即基于这两个版本进行介绍，各版本之间会有一些差异，这些差异大体为：增加了一些实用的新功能，增加了一些实用的专业工具箱，修正和完善了一些原有函数的功能，用一些具有最新算法和功能更全面的新函数代替原有的函数等。综合起来，MATLAB 具有如下特点：

1. MATLAB 语言具有易学易用性

MATLAB 构造了一个全新的开发环境，新版本改变了早期版本的只有一个命令窗口的历史，将一个常用的交互式工作界面高度地集成于桌面上，使工作环境发生了质的变化。还在命令窗口增加了错误跟踪功能，当 M 文件运行出现错误时，点击命令窗口中带有下划线的错误信息，就可以打开出现错误的 M 文件，并找到相应出错的程序行。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，就能得到相应的运算结果。MATLAB 既是一种编程环境，同时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。和其他编程语言比较，MATLAB 的语句功能更强，一条语句（函数）就可完成一项复杂的任务，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 具有实用方便性

MATLAB 具有丰富的数值计算和符号计算功能。其数值计算功能主要包括：矩阵运算、多项式和有理分式运算、数据统计分析、数值积分、优化处理等。符号计算可得到问题的解析解。同时，MATLAB 语言还引入了类与对象及函数句柄功能，类与对象及函数句柄功能使用户可以创建自定义的类函数和函数句柄，极大地增强了 MATLAB 的编程能力，包括 Windows 图形用户界面的设计。在图形功能方面，MATLAB 提供了两个层次的图形命令：一种是对图形句柄进行的底层图形命令，另一种是建立在底层图形命令之上的高级图形命令。利用 MATLAB 的高级图形命令可以轻而易举地绘制常见的二维、三维乃至四维图形，并可进行图形和坐标的标识、视角和光照设计、色彩精细控制等等。新的版本还增加了函数计算器、曲线拟合、数据处理等交互工具。

3. MATLAB 语言具有易扩展性

易扩展性是 MATLAB 语言最重要的特点之一。它允许用户建立完成指定功能的 M 文件，将这些应用于特殊领域中的一些函数组合在一起，形成具有特定功能的工具箱。用户不仅可使用 MATLAB 提供的函数及基本工具箱函数，而且还可以方便地编写出自己的专用函数，并能将这些函数上传到有关网站，供其他相关专业人士下载使用。另一方面，用户可以对已有的大部分函数（除内部函数外）进行编辑修改，形成符合自己要求的函数，从而大大地扩展了 MATLAB 的应用范围，也为用户的一些特殊需要提供了方便。MATLAB 的工具箱分为基本工具箱、通用工具箱、专业工具箱。基本工具箱中有数百个内部函数，是最核心的部分。没有它就没有 MATLAB 环境。通用工具箱主要用来扩充其符号计算功能、可视建模仿真功能及文字处理功能等。专业工具箱专业性比较强，如控制系统工具箱、信号处理工具箱、神经网络工具箱、最优化工具箱、金融工具箱等，用户可以直接利用这些工具箱进行相关领域的科学研究。

二、MATLAB 的基本操作

1. MATLAB 初始化与桌面布局

在 Windows XP/Windows 2000 环境下，用 MATLAB 安装盘，根据需要选择并按提示进行安装后，在桌面双击 MATLAB 图标，或在程序菜单中单击 MATLAB 程序即可运行。运行后，出现如图 1-1 所示窗口。

一般在初次运行时，如果要安装实时 Windows 对象核心，先在命令窗口中运行 `rtwintgt -setup` 指令。MATLAB 还可以和 Word 无缝连接，具体做法是初次运行时运行 `notebook -setup` 指令。安装好 Notebook 后，Word 中会增加文件模板 `m-book`。使用该模板就可以在 Word 文档中嵌入可执行的 MATLAB 命令行。MATLAB 编译器使得 MATLAB 的运行速度加快，并且可以和 C/C++ 程序兼容。安装时需要 C/C++ 编译器的支持。安装命令有 `mex -setup` 和 `mbuild -setup`，并且需要考虑一些库函数的连接问题。做好以上准备工作后就可以进行其他工作了。

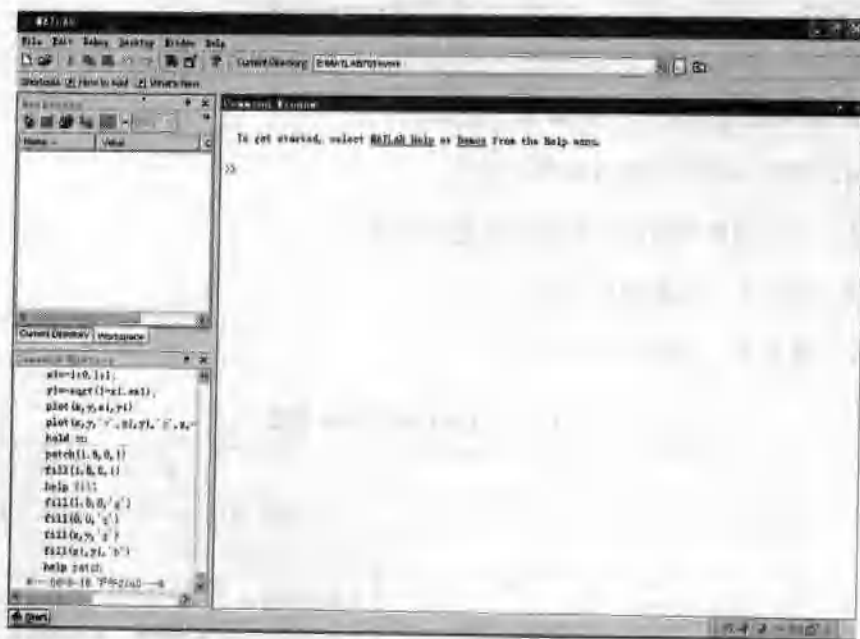


图 1-1 MATLAB 的命令窗口

图 1-1 所示窗口即为 MATLAB 的操作桌面，它包括 4 个窗口：

- 命令窗口 (Command Window)；
- 工作空间窗口 (Workspace Browser)；
- 当前目录浏览器 (Current Directory)；
- 命令历史窗口 (Command History)。

默认的操作状态下显示三个窗口，命令窗口处于右侧固定位置，一般也是所有窗口中最大的窗口，工作空间浏览器和当前目录浏览器位于左上方的同一位置，可通过单击标签来切换，命令历史窗口则位于左下侧。每一个窗口的右上角都有两个按钮，选择按钮  可以使该窗口脱离系统成为 Windows 下独立的窗口，选择按钮  则关闭该窗口。MATLAB 内置有 6 种不同的窗口布局方式，可以通过“View”菜单下的“Desktop Layout”菜单项选择自己喜爱的布局方式。除了以上 4 个窗口外，MATLAB 还有 5 个窗口不随 MATLAB 的启动而打开，只有在需要的时候才会打开，它们是：

- 启动平台 (Launch Pad)；
- M 文件编辑/调试器 (Editor/Debugger)；
- M 文件改良器 (Profiler)；
- 内存数组编辑器 (Array Editor)；
- 帮助浏览器 (Help Browser)。

2. 菜单与快捷按钮工具栏

在 MATLAB 的操作桌面上有 6 个菜单 (表 1-1) 和带有 10 个快捷按钮的工具栏：

- ：建立新的 M 文件、图形、Simulink 模型或 GUI 对象。
- ：打开文件，弹出打开文件对话框，选择或输入要打开的文件名。
- ：剪切，剪切选中的内容，并放入剪切板中。
- ：复制，将选中的内容复制到剪切板中。
- ：粘贴，将剪切板中的内容粘贴到指定的位置。
- ：撤销，撤销上一步的编辑工作。
- ：恢复，恢复上一步撤销掉的工作。

表 1-1 MATLAB 的菜单选项

菜 单 项	选 项	菜 单 功 能
File (基本文件操作)	New	建立新文件 (M 文件, 图形, 模型, GUI)
	Open...	打开已存在文件
	Close Command Window	关闭命令窗口
	Import Data...	用导入向导导入外部数据 (各种类型)
	Save Workspace As...	将工作空间变量存入指定文件
	Set Path...	路径设置
	Preferences...	各种参数设置
	Print...	打印命令窗口内容
	Page Setup...	页面设置
	Print Selection...	打印选定的内容
	Exit MATLAB	退出 MATLAB
Edit (编辑操作)	Undo	撤销
	Redo	恢复
	Cut	剪切
	Copy	复制
	Paste	粘贴
	Paste Special	粘贴到指定地方
	Select All	选择所有的内容
	Delete	删除
	Find...	查找指定内容
	Find Files...	查找指定文件
	Clear Command Window	清除命令窗口
	Clear Command History	清除历史命令
	Clear Workspace	清除工作空间