



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

Simulation and CAD of
Control System

控制系统 仿真与 CAD

© 王燕平 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材

控制系统仿真与 CAD

主 编 王燕平
参 编 臧 义 孙红鸽 李攀峰 马 利
主 审 张晓华



机械工业出版社

本书以 MATLAB 7.5 为仿真平台,以自动控制系统分析与设计为主线,系统地介绍了控制系统的建模、分析、设计的基本原理和仿真方法。本书共分 5 章,分别为控制系统仿真及工具软件概述、控制系统的数学描述、控制系统分析、控制系统设计与仿真和控制系统 CAD——Simulink 基础。

本书结构清晰,语言简练,图文并茂,并用大量的例题来配合所述内容,由浅入深,生动易学,具有很强的实用性和可操作性,可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电子工程、通信等本科专业“控制系统仿真”课程的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制系统仿真与 CAD/王燕平主编. —北京:机械工业出版社, 2011.8
普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-34596-1

I. ①控… II. ①王… III. ①自动控制系统—系统仿真—高等学校—教材②自动控制系统—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 115761 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于苏华 责任编辑:于苏华 常建丽

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·317 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-34596-1

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来, MATLAB 作为当前国际最流行的面向工程与科学计算的高级语言, 得到了各领域专家学者的一致认可, 在控制系统的分析、仿真与设计方面也得到了广泛的应用, 国内外很多高校在教学与研究中都将 MATLAB 语言作为首选的仿真工具。MATLAB 以其强大的计算功能、丰富方便的图形功能以及动态系统仿真工具 Simulink, 能够容易地解决在自动控制系统仿真及计算机辅助设计过程中遇到的问题, 将工程技术人员从繁琐的底层编程中解放出来, 更多地把宝贵的时间与精力用在解决科学问题上。

本书围绕培养“具有创新精神和实践能力的高素质应用型人才”的目标定位, 针对工科教育的特点, 注重基本概念, 强调工程背景, 充分考虑自动化等电气信息类本科专业“控制系统仿真”课程的设置目标, 从应用的角度出发组织素材, 力求使读者学以致用。本书主要有以下特点:

1. 针对性强。本书以控制系统为主线, 以 MATLAB 语言为平台, 结合自动控制理论和现代控制理论课程的内容, 全面介绍控制系统建模、分析与设计方法。

2. 可读性强。本书主要面向希望学习和使用 MATLAB 仿真软件进行控制系统设计的学生和工程技术人员, 在内容的安排上以读者为本, 通过大量的有代表性的例题来配合相应内容的讲解, 使读者感觉生动有趣, 不枯燥, 便于掌握, 也方便读者自主学习。

3. 实用性强。本书不仅在各部分内容的讲述中配有大量的例题和程序, 而且增加了实际工程综合实例, 读者根据自己面临的工程设计问题, 对实例程序稍作修改即可使用。

本书的内容是按照 36 学时进行安排的, 在使用中应结合教学内容加强上机实验, 以深化学生对理论知识和仿真方法的理解, 提高其分析问题和解决问题的能力。书中除简单介绍 MATLAB 的基础知识外, 其余内容均围绕其在控制系统中的应用展开介绍。本书共分 5 章, 主要内容如下:

第 1 章控制系统仿真及工具软件概述, 主要有控制系统及仿真软件, MATLAB 的操作与使用, 数值计算与矩阵运算, 程序、文件和函数等内容。

第 2 章控制系统的数学描述, 主要有控制系统数学模型与控制工具箱函数、控制系统模型的转换及连接和控制系统建模工程实例等内容。

第 3 章控制系统常用的分析方法, 主要有时域分析、根轨迹分析、频域分析、稳定性分析、可观性与可控性分析等内容。

第 4 章控制系统设计与仿真, 主要有基于根轨迹的控制系统设计、基于伯德图的控制系统设计、PID 控制器设计、极点配置与观测器设计等内容。

第 5 章控制系统 CAD——Simulink 基础, 主要有 Simulink 的使用、采用 MATLAB 命令进行仿真与分析、S 函数的设计与应用和控制系统仿真综合实例等内容。

本书结构清晰, 语言简洁, 图文并茂, 例子详尽, 由浅入深, 具有很强的实用性和可操作性, 可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电子工程、通信等本科专业“控制系统仿真”课程的教材, 也可作为工程技术人员的参考用书。

本书由河南工业大学王燕平担任主编。第1章由臧义编写，第2章由马利编写，第3章的3.1~3.3节由孙红鸽编写，第3章的3.4、3.5节和第4章由王燕平编写，第5章由李攀峰编写，全书由王燕平统稿。

哈尔滨工业大学张晓华教授担任本书的主审，提出了许多宝贵的指导意见。编者在编写过程中，参阅了许多专家、同行的教材与著作。在此，谨致诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在缺点甚至错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 控制系统仿真及工具软件概述 ... 1

1.1 控制系统及仿真软件	1
1.1.1 控制系统模型	1
1.1.2 控制系统仿真	2
1.1.3 MATLAB 的语言特点	3
1.1.4 MATLAB 的控制产品	4
1.2 MATLAB 的操作与使用	5
1.2.1 MATLAB 的工作空间	6
1.2.2 MATLAB 的命令窗口	6
1.2.3 MATLAB 的程序编辑器	6
1.2.4 MATLAB 的帮助文件	7
1.3 数值计算与矩阵运算	10
1.3.1 MATLAB 的数值类型	10
1.3.2 矩阵运算	12
1.3.3 符号运算	15
1.4 程序、文件和函数	23
1.4.1 M 文件编程	23
1.4.2 常用的编程语句	26
1.4.3 程序调试与诊断	30
本章小结	33
习题	33

第2章 控制系统的数学描述 34

2.1 控制系统数学模型与控制工具箱函数	34
2.1.1 传递函数模型	34
2.1.2 状态空间模型	42
2.2 控制系统模型的转换及连接	47
2.2.1 模型转换函数	47
2.2.2 模型连接与化简	51
2.3 控制系统建模工程实例	55
本章小结	62
习题	62

第3章 控制系统分析 63

3.1 控制系统的时域分析	63
3.1.1 时域分析基础	63
3.1.2 系统的稳态性能分析	64

3.1.3 阶跃响应分析	65
3.1.4 脉冲响应分析	70
3.1.5 任意输入的时域响应分析	73
3.1.6 控制系统时域分析综合实例	74
3.2 控制系统的根轨迹分析	75
3.2.1 函数指令方式	75
3.2.2 单输入单输出设计工具	82
3.3 控制系统的频域分析	91
3.3.1 频率响应与 Nyquist 图	92
3.3.2 伯德图分析	94
3.3.3 控制系统频域分析综合实例	97
3.3.4 基于单输入单输出设计工具的控制 系统频域分析	99
3.4 控制系统的稳定性分析	100
3.4.1 控制系统稳定性分析方法简述 ...	100
3.4.2 控制系统稳定性分析的 MATLAB 实现	102
3.5 控制系统的可观性与可控性分析	104
3.5.1 系统的可观性分析	105
3.5.2 系统的可控性分析	107
本章小结	110
习题	110

第4章 控制系统设计与仿真 111

4.1 基于根轨迹的控制系统设计	111
4.1.1 基于根轨迹的相位超前校正	111
4.1.2 基于根轨迹的相位滞后校正	121
4.2 基于伯德图的控制系统设计	124
4.2.1 基于伯德图的相位超前校正	124
4.2.2 基于伯德图的相位滞后校正	128
4.2.3 基于伯德图的滞后-超前校正	131
4.3 控制系统的 PID 控制器设计	134
4.3.1 PID 控制规律	135
4.3.2 PID 控制器设计方法	138
4.3.3 PID 控制器设计实例	144
4.4 极点配置与观测器设计	148
4.4.1 极点配置	148
4.4.2 全维状态观测器设计	151

4.4.3 降维状态观测器设计	153	5.2.1 仿真系统的打开和关闭操作 命令	177
4.4.4 基于观测器的状态反馈系统 设计综合实例	155	5.2.2 设置仿真系统功能模块参数的 操作命令	178
本章小结	157	5.2.3 设置仿真系统解算器参数的 操作命令	180
习题	157	5.2.4 仿真系统运行结果的分析 操作命令	181
第 5 章 控制系统 CAD——Simulink		5.2.5 仿真系统运行的操作命令	184
基础	159	5.3 S 函数的设计与应用	185
5.1 Simulink 的使用	159	5.3.1 S 函数的设计	185
5.1.1 Simulink 的基本操作	159	5.3.2 S 函数的设计实例	191
5.1.2 Simulink 仿真参数的设定	166	5.4 控制系统仿真综合实例	193
5.1.3 子系统的创建	169	本章小结	197
5.1.4 子系统的封装	171	习题	198
5.1.5 Simulink 与 MATLAB 的接口 设计	174	参考文献	199
5.2 采用 MATLAB 命令进行仿真与 分析	177		

第 1 章 控制系统仿真及工具软件概述

1.1 控制系统及仿真软件

系统仿真是伴随着计算机技术的发展而逐步形成的一门学科。仿真就是通过建立实际系统模型并利用所建模型对实际系统进行实验研究,从而达到认识和改造实际系统的目的。现代系统仿真技术和综合性仿真系统已经成为任何复杂系统,特别是高技术产业不可缺少的分析、研究、设计、评价、决策和训练的重要手段。系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算机初等理论基础之上的,以计算机和其他专用物理效应设备为工具,利用系统模型对真实或假设的系统进行试验,并借助于专家的经验知识、统计数据和信息资料对实验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合的实验性学科。控制系统仿真的主要研究内容是通过系统的数学模型和计算方法,编写程序运算语句,使之能自动求解各环节变量的动态变化情况,从而得到关于系统输出和所需要的中间各变量的有关数据和曲线等,以实现了对控制系统性能指标的分析与设计。本章主要说明控制系统模型和控制系统仿真等基本概念,并详细介绍控制系统仿真工具软件 MATLAB。

1.1.1 控制系统模型

控制系统模型是对控制系统的特征与变化规律的一种定量抽象,是人们用来认识事物的一种手段,一般有以下几种模型。

实际系统的物理模型:根据相似原理,把真实系统按比例放大或缩小制成的模型,其状态变量与原系统完全相同。在物理模型上所做的仿真实验研究真实直观,具有效果逼真、精度高等优点,但其投资大、周期长,试验受限制,通常只在一些特殊场合下使用,如飞机风洞实验等。

数学模型:用数学方程(微分方程、传递函数、状态方程)或信号流图、结构图来描述系统性能的模型。按照系统的实际结构与系统各变量之间所遵循的物理、化学基本定律(如牛顿运动定律和基尔霍夫定律等),来列写变量间的数学表达式,从而构造出系统的数学模型,可以手工求解或在计算机上进行实验研究。采用数学模型在计算机上进行仿真实验研究具有经济、方便、灵活等优点,其真实性要依赖模型的准确性,手工求解的话,很繁琐。因此,通过适当的手段与方法建立高精度的数学模型是其前提条件。

仿真模型:原始控制系统的数学模型,如微分方程和差分方程等,不能直接对系统进行仿真,应该将其转换为能在计算机中对系统进行仿真的模型。对于连续系统而言,将微分方程这样的原始数学模型通过拉普拉斯变换,求得控制系统的传递函数,以传递函数模型为基础,将其等效变换为状态空间模型,或者将其图形化为动态结构图模型,这些模型都是系统的仿真模型。对于离散系统而言,将差分方程经 z 变换转换为计算机可以处理的数字控制器模型即可。

1.1.2 控制系统仿真

控制系统仿真研究的对象是控制系统，而系统特性的表征主要采用与之相应的系统数学模型，将其放到计算机上进行相应的处理，就构成完整的系统仿真过程。对动态系统的计算机仿真而言，仿真包括系统、数学模型和计算机 3 个要素。相应的仿真过程可划分为 3 个基本活动：建模、模型实现和模型实验。

将实际系统抽象为数学模型，称之为一次模型化，它还涉及到系统辨识技术问题，统称为建模问题；将数学模型转换为可在计算机上运行的仿真模型，称之为二次模型化，这涉及到仿真技术问题，称为模型实现。控制系统的计算机仿真就是以控制系统的模型为基础，采用数学模型代替实际的系统，以计算机为主要工具，对控制系统进行实验和研究的一种方法。

通常，采用计算机来实现控制系统仿真的过程有以下几个步骤：

(1) 根据仿真目的确定仿真方案

根据仿真目的确定相应的仿真结构和方法，规定仿真的边界条件与约束条件等。

(2) 建立控制系统的数学模型

建立控制系统的数学模型，是将数学模型按算法要求通过分解、综合和等效变换等方法转换成适于在计算机上运行的公式和方程。系统的数学模型是描述系统输入、输出变量以及内部各变量之间关系的数学表达式。描述控制系统各变量间的静态关系采用静态模型；描述控制系统各变量间的动态关系采用动态模型。最常用的基本数学模型是微分方程与差分方程。

控制系统的数学模型是系统仿真的主要依据。一般地，可根据系统的实际结构与系统各变量之间所遵循的物理、化学基本定律，如牛顿运动定律、基尔霍夫定律、动力学定律和焦耳-楞次定律等来列写变量间的数学表达式以建立系统的数学模型，这就是所谓的用解析法来建立数学模型。

对于大多数复杂的控制系统，必须通过实验的方法，利用系统辨识技术，考虑计算所要求的精度，略去一些次要因素，使模型既能准确地反映系统的动态本质，又能简化分析计算的工作，这就是所谓的用实验法建立数学模型。

(3) 建立控制系统的仿真模型

原始控制系统的数学模型，如微分方程和差分方程等，不能用来直接对系统进行仿真，应该将其转换为能够在计算机中对系统进行仿真的模型。对于连续系统而言，将微分方程这样的原始数学模型，在零初始条件下进行拉普拉斯变换（Laplace 变换），求得控制系统的传递函数，以传递函数模型为基础，将其等效变换为状态空间模型，或者将其图形化为动态结构图模型，这些模型都是系统的仿真模型。对于离散系统而言，将差分方程经 z 变换转换为计算机可以处理的数字控制器模型即可。

(4) 用合适的开发语言编制控制系统的仿真程序

对于非实时系统的仿真，可以用一般的高级语言，如 Basic、Fortran 或 C 语言等编制系统的仿真程序；对于快速、实时系统的仿真，往往采用汇编语言编制仿真程序。当然，也可以直接利用专门的仿真语言和仿真软件包。目前，采用 MATLAB 仿真比较普遍。利用 MATLAB 的 Toolbox 工具箱及其 Simulink 集成仿真环境来研究和分析控制系统是非常方便的。

(5) 在计算机上进行仿真实验并输出仿真结果

首先，将编制好的仿真程序输入到计算机中，并给定仿真的初始参数；然后，通过上机

运行调试进行仿真实验,并对仿真模型与仿真程序做相应的检验和修改,不断加以改进,使之正确反映系统的各项动态性能指标,并得到理想的仿真结果;再按照系统仿真的要求将最终得到的系统仿真结果通过相应的设备以数据、曲线、图形等方式输出;最后,进行仿真总结,提交系统仿真的报告。

围绕以上步骤,控制系统仿真近年来不断发展,不断更新,基于 MATLAB 语言开发的专门应用于控制系统分析与设计的工具箱,对控制系统仿真技术的发展及应用起到巨大的推动作用。由于 MATLAB 本身卓越的功能,已经使得它成为自动控制、航空航天、汽车设计等诸多领域仿真的首选语言。本书将通过大量的工程实际案例,对 MATLAB 的功能、操作及其在控制系统仿真中的应用进行了深入的阐述和讲解。

1.1.3 MATLAB 的语言特点

MATLAB 是“MATrix LABoratory”(矩阵实验室)的缩写,它是由美国 MathWorks 公司于 1984 年正式推出的一种科学计算软件。MATLAB 的 DOS 版本于 1988 年推出,1992 年推出了 Windows 版本,现在一般每年发布两个版本,上半年 a 版本,下半年 b 版本。随着新版本的推出, MATLAB 的扩展函数越来越多,功能越来越强大。从 20 世纪 90 年代开始, MATLAB 已成为国际控制界的标准计算软件。

MATLAB 集成度高,输入简捷,运算高效,内容丰富,并且很容易由用户自行扩展,它的丰富的函数使开发者无需重复编程,只要简单地调用和使用即可。MATLAB 语言的主要特点有:

1. 语言简单,使用方便

MATLAB 是一种面向科学与工程计算的高级语言,允许用数学形式的语言编写程序,且比 Basic、Fortran 和 C 等语言更加接近我们书写计算公式的思维方式。用 MATLAB 编写程序犹如在演算纸上排列公式与求解问题。因此,也可通俗地称 MATLAB 语言为演算纸式科学算法语言。由于它编写简单,所以编程效率高,易学易懂。

MATLAB 语言是一种解释执行的语言(在没被专门的工具编译之前),它灵活、方便,其调试程序手段丰富,调试速度快,需要学习时间少。MATLAB 语言与其他语言相比,把编辑、编译、链接和执行融为一体。它能在同一画面上进行灵活操作,快速排除输入程序中的书写错误、语法错误甚至语意错误,从而加快了用户编写、修改和调试程序的速度,这些都大大减轻了编程和调试的工作量。

具体地说, MATLAB 运行时,如直接在命令行输入 MATLAB 语句(命令),包括调用 VI 文件的语句,每输入一条语句,就立即对其进行处理,完成编译、链接和运行的全过程。又如,将 MATLAB 源程序编辑为 M 文件,由于 MATLAB 磁盘文件也是 M 文件,所以编辑后的源文件就可直接运行,而不需进行编译和链接。在运行 M 文件时,如果有错,计算机屏幕上会给出详细的出错信息,用户经修改后再执行,直到正确为止。所以, MATLAB 语言不仅是一种语言,更是一种语言开发系统,即语言调试系统。

2. 功能强大,适用范围广

在数值计算方面, MATLAB 的内容几乎涵盖了所有的数学知识门类:初等数学、高等数学、线性代数、向量代数、复变函数、积分变换、概率统计、模糊数学、计算方法等。凡是要进行数学运算的人,都可以使用 MATLAB。

在数学、物理及力学等各种科研和工程应用中,经常会遇到符号运算的问题。MATLAB

语言开发了强大的符号运算功能，几乎可以解决工程技术人员在学习与科研中的所有符号运算问题。利用 MATLAB 的符号运算工具箱可以轻松地实现符号变量与符号表达式的微积分运算、化简和代换、解方程等功能。

MATLAB 的绘图功能是十分方便的，它有一系列绘图函数（命令），如线性坐标、对数坐标、半对数坐标及极坐标。在数据齐全的情况下，通常只需调用一个绘图函数（命令），即可绘制出各种二维、三维图形，并在图上标出主题和 X-Y-Z 轴标注等，简单易行。另外，在调用绘图函数时调整自变量可绘出不变颜色的点、线、复线或多重线。

3. 扩充能力强，可开发性强

MATLAB 软件包括基本部分和专业扩展部分。基本部分包括矩阵的运算和各种变换、代数和超越方程的求解、数据处理和傅里叶变换，以及数值积分等。扩展部分称为工具箱（Toolbox）。为方便用户使用，MATLAB 将解决同一领域问题的函数和文件组成工具箱，用于解决某一个方面的专门问题。一般来说，它们都是由特定领域的专家开发的，用户可以直接使用工具箱学习、应用和评估不同的方法而不需要自己编写代码。除内部函数外，所有的 MATLAB 主包文件和各种工具箱都是可读可修改的文件，用户通过对源程序的修改或加入自己编写的程序可构造新的专用工具箱。目前，MATLAB 已经把工具箱延伸到了科学研究和工程应用的诸多领域，如数据采集、信号处理、概率统计、偏微分方程求解、神经网络、系统辨识、控制系统设计、模型预测、金融分析、嵌入式系统开发和电力系统仿真等，都在工具箱家族中有了自己的一席之地，并且还在继续发展中。

MATLAB 有丰富的库函数，在进行复杂的数学运算时可以直接调用，而且 MATLAB 的库函数同用户文件在形式上一样，所以用户文件也可作为 MATLAB 的库函数来调用。因而，用户可以根据自己的需要方便地建立和扩充新的库函数，提高 MATLAB 的使用效率和扩充它的功能。另外，为了充分利用 Fortran、C 等语言的资源，包括用户已编好的 Fortran、C 语言程序，通过建立 M 文件的形式，混合编程，方便地调用有关的 Fortran、C 语言的子程序，还可以在 C 语言和 Fortran 语言中方便地使用 MATLAB 的数值计算功能。良好的交互性使程序员可以使用以前编写过的程序，减少重复性工作，也使现在编写的程序具有重复利用的价值。

1.1.4 MATLAB 的控制产品

MATLAB 中与控制系统设计与分析相关的有 6 个基础工具箱：控制系统工具箱（Control System Toolbox）、系统辨识工具箱（System Identification Toolbox）、模糊逻辑工具箱（Fuzzy Logic Toolbox）、鲁棒控制工具箱（Robust Control Toolbox）、模型预测控制工具箱（Model Predictive Control Toolbox）和航空航天工具箱（Aerospace Toolbox）。

由控制领域专家推出的控制系统工具箱是提供系统化分析、设计和调整线性控制系统参数的工具，在控制系计算机辅助分析与设计方面获得了广泛的应用。对于线性系统模型，通过绘制其时间和频率响应曲线可以观察系统的动作情况，可以使用自动、交互式技术调整控制器参数，以验证系统的性能，如上升时间和幅值/相角裕度等。基于工作流程的图形用户界面（GUI）工具会指导用户完成每一步分析和设计流程。

另外，作为 MATLAB 的重要组件之一，模型输入与仿真环境 Simulink 使 MATLAB 为控制系统的仿真提供了一种可视化的编程方式，使用户可以把精力从编程转向模型的构造。Simulink 是一种基于 MATLAB 的框图设计环境，是实现动态系统建模、仿真和分析的一个软

件包,被广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制及数字信号处理的建模和仿真中。Simulink 可以用连续采样时间、离散采样时间或两种混合的采样时间进行建模。为了创建动态系统模型, Simulink 提供了一个建立模型方块图的图形用户接口, 这个创建过程只需单击和拖动鼠标操作就能完成, 而且用户可以立即看到系统的仿真结果。Simulink 具有适应面广、结构流程清晰、仿真贴近实际和效率高等优点, 目前已被广泛应用于控制理论和数字信号处理的复杂仿真和设计中。

MATLAB 的控制产品可以完成的主要功能有: 使用不同的经典和状态空间方法设计出单回路和多回路控制系统, 使用 GUI 或命令行函数分析系统响应和性能, 在 Simulink 模型中手动或自动调整 SISO 回路 (具有单独提供的 Simulink 控制设计), 优化控制系统性能以满足时间和频率要求 (具有单独提供的 Simulink 响应优化), 将线性模型表示或转换为传递函数、状态空间、零极点增益和频率响应数据对象, 在模型表示间转换, 使连续时间模型离散化, 以及计算高阶系统的低阶近似值等。

1.2 MATLAB 的操作与使用

启动 MATLAB, 在显示完欢迎界面后将打开 MATLAB 的桌面平台 (Desktop)。默认情况下的桌面平台包含的主要窗口分别是 MATLAB 主窗口、命令窗口 (Command Window)、当前目录 (Current Directory) 窗口、工作空间管理 (Workspace) 窗口和命令历史 (Command History) 窗口等; 另外, 程序编辑器 (M 文件编辑器, Editor)、图形编辑器 (Figures) 等窗口在默认情况下并没有出现, 可以在使用时将其打开。所有窗口均可以通过拖拽的方式调整其布局及大小。若要回到预设的桌面配置, 可选中 Desktop/Desktop Layout/Default, 使 MATLAB 工作界面窗口恢复默认状态。

各部分的主要功能如图 1-1 所示, 下面分别对各窗口作简单介绍。

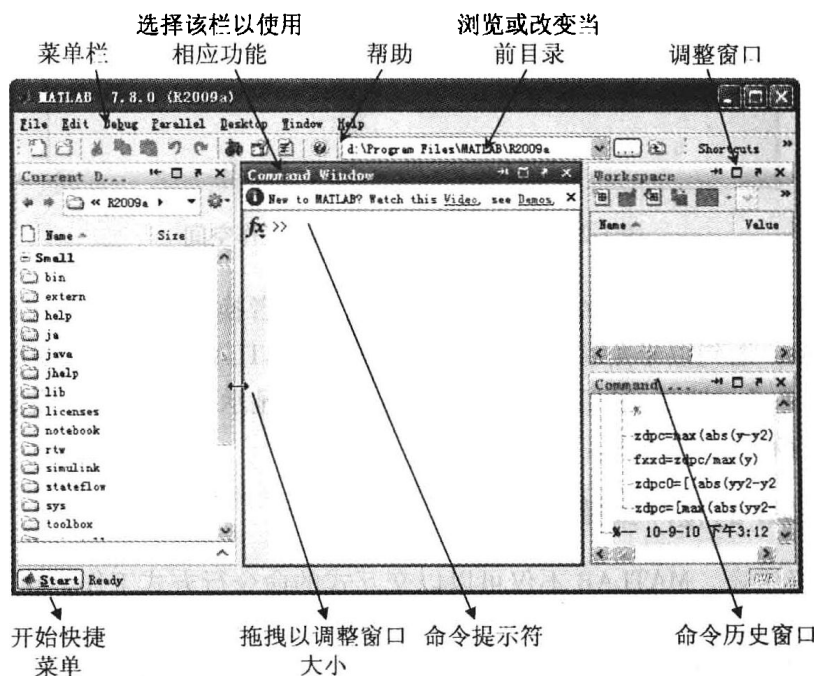


图 1-1 MATLAB 的桌面系统

1.2.1 MATLAB 的工作空间

工作空间 (Workspace) 窗口中显示了目前内存中所有 MATLAB 变量的变量名、数学结构、字节数以及类型。不同的变量类型分别对应不同的变量名图标。

1.2.2 MATLAB 的命令窗口

在命令窗口 (Command Window) 的提示符号 “>” 后输入命令，并按 <Enter> 键，则 MATLAB 立即执行命令，完成相应的运算，显示结果或绘制图形。同时，命令中要求取的变量将出现在 MATLAB 的工作空间。

MATLAB 语句的一般格式为

变量名 = 表达式;

其中，等号右边的表达式可由操作符或其他字符、函数和变量组成，它可以是 MATLAB 允许的数学或矩阵运算，也可以包含 MATLAB 下的函数调用；等号左边的变量名是给右边表达式返回结果所赋予的名字，该变量将出现在工作空间中。如果左边的变量名为默认，则返回值自动赋给系统的默认变量 ans。例如，在图 1-2 中，变量 *a* 被一个表达式赋值，运行后出现 “*a* = 2” 的结果，但最后一个式子 “*A* + 2” 没有赋给某个变量，系统运行后将其值赋给了默认变量 ans。当打开 “Workspace” 时，则显示当前工作空间中的变量名及值，如图 1-2 右边所示。

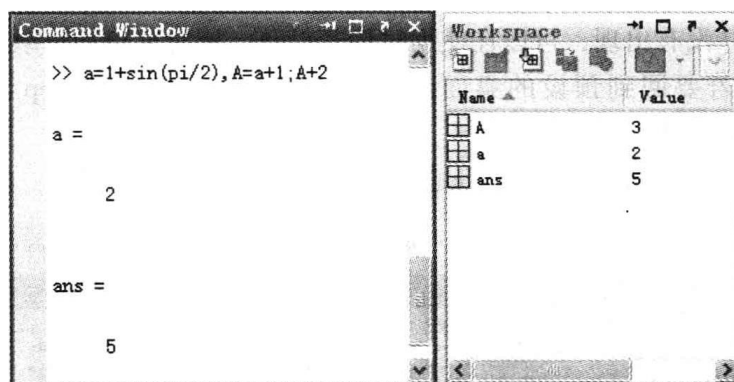


图 1-2 MATLAB 的命令窗口及工作空间

MATLAB 语句既可以由分号结束，也可以由逗号或者换行结束，但它们的含义各不相同。如图 1-2 所示，语句以半角状态逗号 “,” 结束，MATLAB 执行该命令后显示执行结果；以半角状态分号 “;” 结束，MATLAB 执行该命令后不显示执行结果。在这两种工作情况下，结果均会保存在工作空间中。

1.2.3 MATLAB 的程序编辑器

作为一种高级语言，MATLAB 不仅可以以交互式的命令行方式工作，也可以像其他高级语言一样进行控制流的程序设计。MATLAB 的程序文件以 .m 为扩展名，简称 M 文件。MATLAB 提供了程序编辑器 (M 文件编辑器)，可以通过 MATLAB 命令窗口 File 菜单下的

New 命令建立新的 M - File, 打开 M 文件编辑器。

MATLAB 的 M 文件通常有两种形式: 命令式文本文件和函数 (Function) 文件。

命令式文本文件的编制相当于在命令窗口中逐行输入命令, 因此用户在编制此类文件时只需把所要执行的命令按行编辑到指定的文件中即可, 所用变量不需要预先定义, 也可以通过文本编辑对其进行查看或修改; M 文件的运行类似于 DOS 下的批处理文件, 在 MATLAB 的提示符下直接输入文本文件名, 便可顺序执行文件中的一系列命令; 文本文件在工作空间中运算的变量是全局变量。

函数文件的功能是建立一个函数, 且这个文件能够与 MATLAB 的库函数一样被调用。与文本文件的不同之处在于函数文件的标志是第一行必为 function, 且有函数名和输入形式参数与输出形式参数。一般情况下不能直接输入函数文件的文件名来运行一个函数文件, 必须由其他语句来调用。函数文件允许有多个输入参数和多个输出参数数值, 可以有返回值, 也可以无返回值。函数文件在 MATLAB 中引用十分广泛, MATLAB 提供的绝大多数功能函数都是由函数式文件实现的。函数文件中定义的变量为局部变量, 只在函数内部起作用, 并随调用的结束而在临时工作空间中被清除。如果希望使用全局变量, 则应当使用命令 global 定义, 而且在任何使用该全局变量的函数中都应加以定义, 在命令窗口中也不例外。

1.2.4 MATLAB 的帮助文件

MATLAB 的功能强大, 涉及多个应用领域, 包含了很多命令和函数。对用户来说, 完全掌握所有命令和函数的具体使用功能不太现实, 可行的方法是先掌握一些基本的内容, 然后在实践中不断总结和积累, 掌握其他相关内容。这些可以通过 MATLAB 本身提供的帮助系统来实现。

MATLAB 的一个突出优点就是帮助系统非常完善。它的帮助系统大致可以分为 3 大类: 联机帮助系统、命令窗口查询帮助系统和联机演示系统。

1. 联机帮助系统

MATLAB 的联机帮助系统十分全面, 可称得上是一本 MATLAB 的英文百科全书。进入帮助系统的方法有很多, 常用的有:

- 1) 单击 MATLAB 主窗口工具栏中的  按钮。
- 2) 选择下拉菜单 Help/Product Help。
- 3) 在命令窗口执行 helpwin、helpdesk 或 doc。

以上 3 种方法都可以进入联机帮助窗口, 如图 1-3 所示。此外, 通过快捷键 <F1>, 也能够进入 MATLAB 提供的简洁版帮助界面。

联机帮助窗口包括左侧的帮助导航面板和右侧的帮助显示面板两部分。帮助导航面板可以根据需要分别显示帮助主题 (Contents)、帮助索引 (Index)、帮助查询 (Search) 以及帮助演示集 (Demos)。

仔细阅读、观看 MATLAB 帮助中的 Getting Started 以及演示集中的 Getting Started with Demos 是初学者最好的入门教程。

此外, 在学习过程中可以随时通过选择某条命令后, 单击鼠标右键, 选择 Help On Selection 来打开简洁版帮助窗口界面, 查询该命令的功能及使用方法。快捷键 <F1> 具有同样

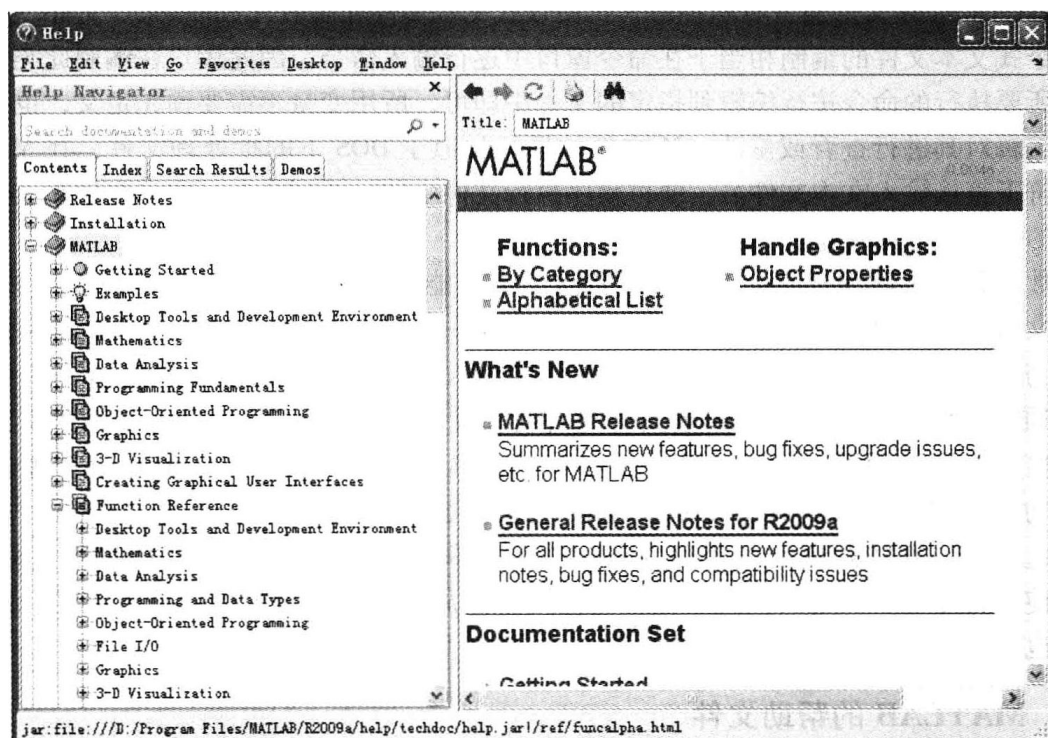


图 1-3 MATLAB 的帮助窗口

的功能，<Esc>键可关闭窗口。MATLAB 帮助的使用方法如图 1-4 所示。

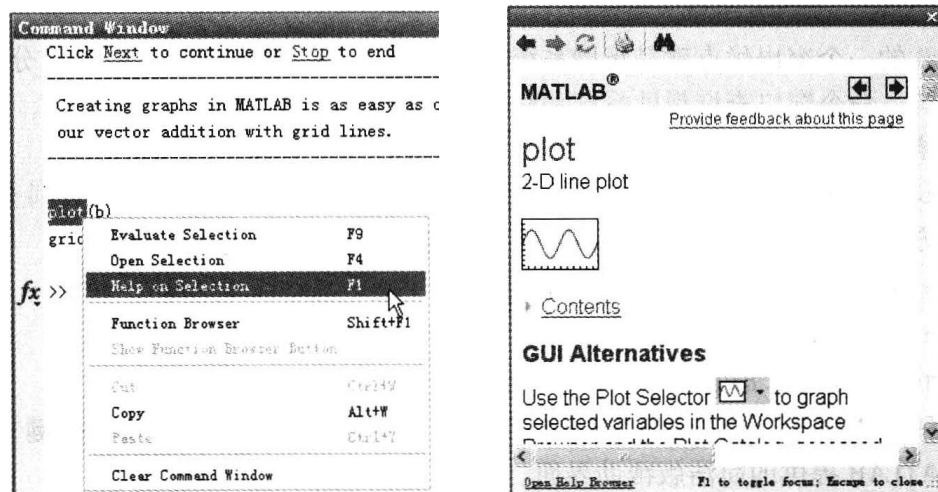


图 1-4 MATLAB 帮助的使用方法

2. 命令窗口查询帮助系统

对于熟练的 MATLAB 用户，最简洁、快速的方式是在命令窗口通过帮助命令对特定的内容，如某个函数的功能和使用方法进行快速查询。这些函数指令包括 help 系列、lookfor 系列和其他常用帮助命令。

help 系列的帮助命令有 help、help + 函数（类）名、helpwin 及 helpdesk，其中后两个命

令是用来调用联机帮助窗口的。help 命令是最常用的命令，在命令窗口中直接输入 help 命令将会显示当前帮助系统中所包含的所有项目，以及搜索路径中所有的目录名称；help + 函数（类）名可以罗列一类函数或某一指定函数，是最有用的一个帮助命令。例如，在命令窗口中直接输入“help elfun”，执行后会列出基本数学函数清单，结果如下：

Elementary math functions.

Trigonometric.

sin - Sine.
sind - Sine of argument in degrees.
sinh - Hyperbolic sine.
⋮

Exponential.

exp - Exponential.
expm1 - Compute $\exp(x)-1$ accurately.
log - Natural logarithm.
⋮

Complex.

abs - Absolute value.
angle - Phase angle.
complex - Construct complex data from real and imaginary parts.
⋮

Rounding and remainder.

fix - Round towards zero.
floor - Round towards minus infinity.
ceil - Round towards plus infinity.
⋮

若在命令窗口中直接输入“help abs”，执行后则会列出函数 abs() 的说明，结果如下：

ABS Absolute value.

ABS (X) is the absolute value of the elements of X.

When X is complex, ABS (X) is the complex modulus (magnitude) of the elements of X.

See also sign, angle, unwrap, hypot.

3. 联机演示系统

对于 MATLAB 或者其中某个工具箱的初学者，最好的学习方法之一就是查看 MATLAB 的联机演示系统。选择 MATLAB 主窗口菜单栏中的 Help/Demos 选项，或者在命令窗口输入 demos 命令，或者直接在帮助页面上选中 Demos 选项，将进入 MATLAB 帮助系统的主演示页面，如图 1-5 所示。

演示系统提供有多种演示类型，如演示视频（Video）、模型（Model）、M 文件（M-file）以及交互式图形用户界面（M-GUI），其中后三者均可在 MATLAB 中运行，通过研究它们来学习 MATLAB 是一种十分有效的方式。

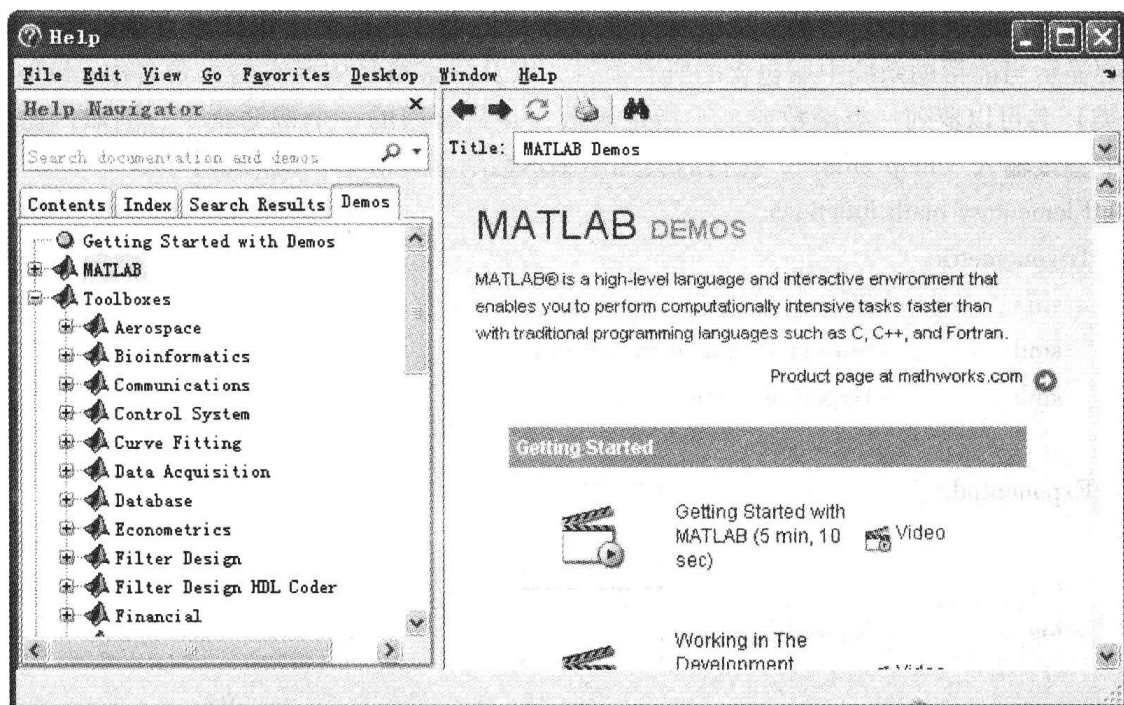


图 1-5 MATLAB 帮助的联机演示系统

1.3 数值计算与矩阵运算

数值计算功能是 MATLAB 的基础, 本节将简要介绍 MATLAB 的数值类型、符号及矩阵运算基础。

1.3.1 MATLAB 的数值类型

MATLAB 中的基本数据类型主要有数字、字符、矩阵、逻辑型、单元型数据及结构型数据等, 这里只介绍几个常用类型。

1. 变量与常量

变量是程序设计语言的基本要素之一。与常规的程序设计语言不同, MATLAB 不要求事先对要使用的变量进行定义或声明, 也不需要指定变量的类型, MATLAB 会自动根据所赋予变量的值或对变量所进行的操作来识别变量的类型。需要注意的是, 在赋值过程中如果赋值变量已经存在, 则 MATLAB 将使用新值代替旧值, 并以新值类型代替旧值类型。

如同其他计算机高级语言一样, MATLAB 语言也有变量命名规则。MATLAB 变量名区分字母大小写。变量名不超过 31 个字符, 第 31 个以后的字符将被忽略, 且字符之间不能有空格。变量名必须以字母打头, 之后可以是任意字母、数字或下画线。许多标点符号在 MATLAB 语言中有特殊的含义, 所以变量名不允许使用标点符号。

在命令窗口中执行的命令和运行 M 文件所产生的变量信息全部存放在当前的工作空间 (Workspace) 中, 在命令窗口输入 Who 命令可以对 MATLAB 的变量名进行查询; 输入 Whos 命令可以对 MATLAB 的变量及其属性进行查询。