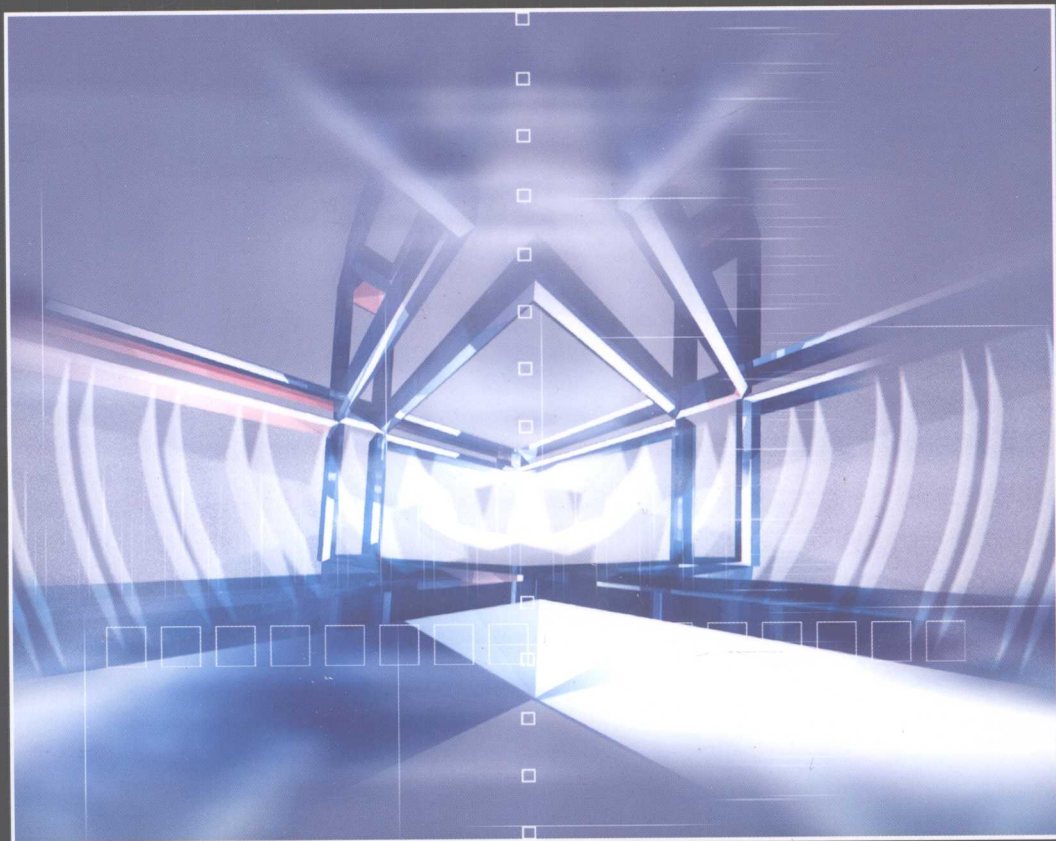


普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

# 自动控制原理实验教程

## (硬件模拟与MATLAB仿真)

熊晓君 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

# 自动控制原理实验教程

## (硬件模拟与 MATLAB 仿真)

熊晓君 主编



机械工业出版社

本书作为自动控制原理系列课程实践性教学的教程,较全面地涵盖了经典控制理论知识的重点和难点,精心设计了近30个实验项目。本书共分8章,每章均有自动控制系统硬件实验和MATLAB/Simulink仿真实验。第1章为MATLAB 7.1与Simulink 6.1入门基础,主要从应用角度介绍MATLAB 7.1的语言基础和控制系统工具箱函数,以及使用Simulink 6.1建模仿真的方法;第2~7章按照自动控制原理知识体系,依次安排了近30个实验项目,内容覆盖控制系统数学模型的建立、线性系统的时域分析法、根轨迹法、频域分析法和校正设计以及非线性控制系统分析;第8章为控制系统综合设计,主要以工业实际工程中较常用的控制系统(如电动机调速系统、温度控制系统、步进电动机控制系统等)进行综合设计实验。

本书实验内容不仅在教学上具有典型性和代表性,而且在实验技术上具有很大的实用性,尤其是一些综合设计类型的实验方法可以直接应用在工程设计中。本书既可作为工科院校自动控制原理系列课程的实验教程,也可作为设计开发自动控制系统的相关工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理实验教程(硬件模拟与MATLAB仿真)/熊晓君主编.  
—北京:机械工业出版社,2009.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

ISBN 978-7-111-25566-6

I. 自… II. 熊… III. ①自动控制理论-高等学校-教材②自动控制系统-计算机仿真-软件包, MATLAB 7.1、SIMULINK 6.1 IV. TP13  
TP391.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第177043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:王保家 责任编辑:王保家 常建丽

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:邓博

北京四季青印刷厂印刷(三河市魏各庄装订二厂装订)

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.5印张·284千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25566-6

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面防伪标均为盗版

## 前 言

自动控制原理系列课程是自动化、电气工程、仪器与仪表、测控技术、电子信息、机电一体化等专业的重点课程，其理论性和实用性很强。在学习自动控制理论的同时，加强实践能力教学是非常必要的。

近年来，全国许多高校都独立开设自动控制原理系列实验课程，学时为16~36不等，并且都根据各自的具体办学条件开设相应的实验课程，编写实验指导书。本书参考了相关学校的实验指导书，以及国家级和省市级自动控制原理精品课程网站的相关内容，根据编者多年从事控制理论与控制工程方面实践教学的经验编写而成。编者考虑了教材的通用性，精心编写了近30个实验项目，较全面地涵盖了经典控制理论知识的重点和难点。实验内容不仅在教学上具有典型性和代表性，而且在实验技术上具有实践性和应用性。这些实验内容与理论知识的重点、难点紧密结合，运用实验的手段有效地将枯燥难记的知识转变成实际实验现象加以分析、研究，在实践中验证理论，又在实践中发展理论，从而培养读者理论与实践相结合、开拓创新思维的能力。

本书以实验项目为主线，以方法论为编写宗旨，精心编写每个实验项目，不仅有实验目的、实验内容、实验数据记录等，而且将实验内容分成范例和自我实践两部分，另外还增加了实验能力要求和拓展与思考环节。在范例中，精心挑选了一些很有代表性的例子，从设计实验方法入手，到程序设计及实验结果分析，详细地说明论证的过程。通过范例的实际训练，能够开拓读者设计实验的思维。范例中的所有程序均已由编者测试通过，所有的波形曲线均由范例中的程序运行而得，读者可以直接使用。另外还有许多“Tips”温馨提示，提供了实验小技巧。自我实践的内容不仅能再次熟练范例的实验方法，而且很有挑战性地提出新的问题，尤其是与前面章节相联系的综合性问题，在温故的基础上又不断融入新的知识，循序渐进，有层次地巩固所学知识并拓展新知识。在实验能力要求环节中，每个实验都提出了具体的要求，从数据记录的缜密性到数据处理分析作出结论以及实验方法的实现（含设计实验过程）。在拓展与思考环节中，主要是在完成实验的基础上，开展新的实验手段的创新设计，进一步提高综合运用能力。

书中每章内容均有自动控制系统硬件实验和MATLAB/Simulink仿真实验两类。对于硬件实验，尽管各个实验仪器设备厂商生产的自动控制原理模拟实验装置各有千秋，但它们都有共同的核心部件，且实验原理和实验方法基本一致，只是实验步骤有一些差别。本书所涉及的模拟电路装置实验主要以实验内容为主导，注重实验现象、结果分析和实验的实际应用，尽量降低实验步骤的局限性，使实验项目可以适用于大多数生产厂家的自动控制原理模拟实验装置，避开传统工科实验对专用实验设备和实验场所的依赖，具有较强的开放性和实用性。

MATLAB/Simulink软件是自动控制领域用于控制系统建模、分析计算、仿真与设计的主要工具，因此本书中基于MATLAB/Simulink编写了大量的实验项目，通过范例编程上机实践，进一步理解控制系统的基本理论及提高运用计算机辅助工具进行系统分析和设计的

能力。本书中的所有软件实验不要求读者具备很专业的 MATLAB 语言基础，只需要有一些计算机高级语言基础。通过本书第 1 章的入门学习，就可以轻松读懂范例中的程序。范例中的程序尽量使用简洁的语句编写，没有插入自编函数，简单易懂，可读性较好。另外，大量的 Simulink 仿真实验既直观又轻松地解决了控制系统中高阶、时滞、非线性等方面的分析难题，而不需要用 MATLAB 复杂编程实现。

为方便教学，书中所有范例的源程序和程序运行后相应的图形文件已挂在 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)，供读者免费下载。

本书由上海理工大学熊晓君主编，并编写 1~7 章和附录，郝润科编写第 8 章。在编写过程中得到了盛建中、杨文焕、王朝立、简献忠、张凤登的支持和关心，以及陈玮、杨伟祥等的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有错误和不足之处，望广大读者批评指正。并希望采用此教材的老师，通过 E-mail 联系编者，进行交流。编者 E-mail: [kailinie@yeah.net](mailto:kailinie@yeah.net)。对于不在本书编写的过程中，花费了大量本应陪伴女儿的时间，谨以此书献给爱女肖涵！

编者

# 目 录

前言	1
<b>第 1 章 MATLAB 7.1 与 Simulink 6.1 入门基础</b>	<b>1</b>
1.1 自动控制原理与系统仿真简述	1
1.1.1 自动控制原理模拟实验系统	1
1.1.2 控制系统仿真	2
1.2 控制系统 MATLAB 7.1 环境简述	3
1.2.1 MATLAB 7.1 的安装与启动	4
1.2.2 MATLAB 7.1 的环境	7
1.2.3 MATLAB 基本运算	9
1.2.4 MATLAB 常用图形编辑	12
1.2.5 MATLAB 程序设计	14
1.3 控制系统动态仿真集成环境 Simulink 6.1 简述	14
1.3.1 Simulink 仿真工具	14
1.3.2 Simulink 的启动	15
1.3.3 Simulink 界面介绍	15
1.3.4 控制系统常用 Simulink 模块功能介绍	15
1.3.5 使用 Simulink 建立系统模型	24
1.3.6 常用模块内部参数的设置	28
1.3.7 Simulink 仿真参数设置	35
1.3.8 用 Simulink 建立系统模型并仿真范例	37
1.3.9 子系统创建与封装	37
<b>第 2 章 控制系统的数学模型</b>	<b>41</b>
2.1 基于 MATLAB/Simulink 建立控制系统的数学模型	41
2.2 典型环节模拟电路及其数学模型	48
<b>第 3 章 线性系统的时域分析法</b>	<b>53</b>
3.1 典型二阶系统模拟电路及其动态性能分析	53
3.2 基于 MATLAB 控制系统的单位阶跃响应分析	59
3.3 基于 MATLAB 控制系统的单位脉冲响应	64
3.4 三阶控制系统的稳定性分析	66
3.5 基于 MATLAB 高阶控制系统的时域响应动态性能分析	70
3.6 基于 Simulink 控制系统的稳态误差分析	75
<b>第 4 章 线性系统的根轨迹法</b>	<b>82</b>
4.1 基于 MATLAB 控制系统的根轨迹及其性能分析	82
4.2 基于 SISO 设计工具的系统根轨迹设计	87

4.3	基于 MATLAB 控制系统的根轨迹主导极点法校正设计	91
<b>第 5 章</b>	<b>线性系统的频域分析法</b>	<b>99</b>
5.1	典型环节频率特性测试	99
5.2	控制系统频率特性测试	103
5.3	基于 MATLAB 控制系统的 Nyquist 图及其稳定性分析	107
5.4	基于 MATLAB 控制系统的博德图及其频域分析	110
<b>第 6 章</b>	<b>线性系统的校正与设计</b>	<b>117</b>
6.1	连续系统串联校正装置模拟电路实现	117
6.2	基于 MATLAB 控制系统的频率法串联超前校正设计	121
6.3	基于 MATLAB 控制系统的频率法串联滞后校正设计	128
6.4	基于 MATLAB 控制系统的频率法串联超前-滞后校正设计	133
6.5	控制系统的速度反馈校正设计	137
6.6	连续系统 PID 控制器设计及其参数整定	141
<b>第 7 章</b>	<b>非线性控制系统分析</b>	<b>148</b>
7.1	典型非线性环节的静态特性测试	148
7.2	基于 MATLAB 二阶控制系统的相平面分析	150
7.3	基于 Simulink 非线性控制系统的相平面分析	154
7.4	非线性系统的描述函数法分析	157
<b>第 8 章</b>	<b>控制系统综合设计</b>	<b>161</b>
8.1	控制系统综合设计综述	161
8.2	直流电动机转速单闭环自动调速系统设计	163
8.3	步进电动机的速度调节和方向控制	166
8.4	直流电动机的调速控制	168
8.5	温控炉的恒温控制	170
<b>附录</b>		<b>172</b>
附录 A	MATLAB 常用命令函数	172
附录 B	MATLAB 常用函数意义速查表 (按英文字母顺序排列)	173
附录 C	MATLAB 控制系统工具箱常用函数功能描述	175
<b>参考文献</b>		<b>178</b>

# 第 1 章 MATLAB 7.1 与 Simulink 6.1 入门基础

## 本章导读

本章简述自动控制原理与系统仿真的实验方法,介绍自动控制原理模拟实验系统和控制系统仿真软件 MATLAB 7.1 与 Simulink 6.1 入门基础,并重点对自动控制原理仿真分析与设计中常用的 MATLAB 命令、函数、工具箱及 Simulink 模块集的应用作了详细介绍。希望读者在学习本章后能够掌握 MATLAB 语言的基本规范,灵活地运用 Simulink 建立系统仿真模型。

## 1.1 自动控制原理与系统仿真简述

### 1.1.1 自动控制原理模拟实验系统

自动控制原理是一门理论性和实用性很强的课程,自动控制原理实践课程越来越受到重视,许多专业都将自动控制原理系列实验课程独立开设,目的旨在加强实践教学,提高学生独立分析、应用和创新设计的能力,不断提高教学效果。鉴于此,众多高校教学实验仪器设备生产厂商都研制开发了多种自动控制原理模拟实验装置及相应的集测试、分析和设计于一体的软件实验平台,这使得自动控制原理课程的学习不再是纯粹的理论学习,把大量的时间花费在理论计算和复杂公式的推导方面,而是更加注重理论联系实际,将理论中的控制系统转化到实际中的工程系统上,并能够合理运用实际可行的方法去测试、校正系统,真正意义上掌握控制技术,设计改进方案,去解决实际工程中的控制难题。

自动控制原理模拟实验系统通常由输入信号源、实验系统模拟电路模块(含直流稳压电源)和输出响应信号测量仪器组成,如图 1-1 所示。

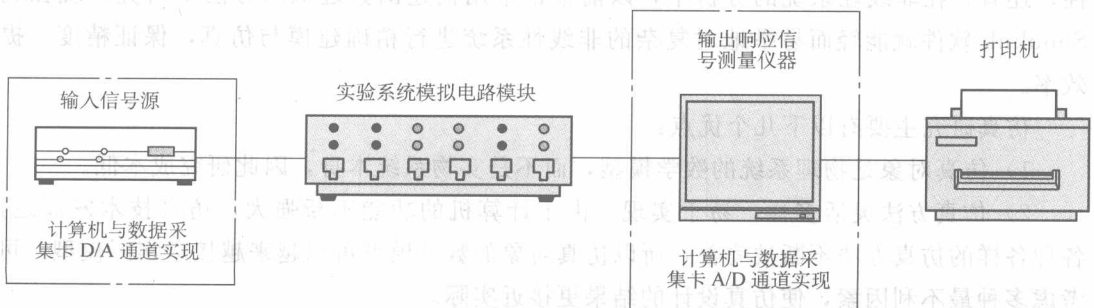


图 1-1 自动控制原理模拟实验系统组成



### 1. 输入信号源

输入信号源包括常用的几种典型信号源,如阶跃信号、斜坡信号、加速度信号、正弦波信号及脉冲信号等。输入信号源既可以由硬件电路实现,也可以利用计算机进行软件编程后,经数据采集卡的 D/A 通道输出模拟的信号源。

### 2. 实验系统模拟电路模块

实验系统模拟电路模块包括直流稳压电源、基于分立元件的模拟电路模块和实际被控对象。直流稳压电源的作用是给模拟实验系统装置提供工作电源;模拟电路模块利用运算放大器、电容、电阻、二极管等组件表现出不同的电气特性,如幅值增益、相位滞后、相位超前等特性,通过串联或并联等不同的组合连接,模拟控制系统中的比例、积分、微分或其他组合的环节,构造控制系统中各种复杂的被控对象;实际被控对象是可选的,主要是工程控制系统中几个典型的被控对象,如温控炉、调速电动机和步进电动机等,每个被控对象中还包含信号检测电路。

### 3. 输出响应信号测量仪器

时域信号测量仪器常用超低频慢扫描示波器、X-Y 记录仪等;频域信号测量仪器常用超低频频率特性仪<sup>[1]</sup>。而现在使用更多的信号测量方式是利用计算机设计虚拟示波器,通过数据采集卡的 A/D 通道将实验系统输出响应信号采样后转换成数字信号,进行数据处理后在虚拟示波器上显示。这样就可以利用计算机程序设计的强大功能更好地进行数据获取、分析、处理及打印输出。输出波形可以保存为电子文档,有利于后续的编辑、分析或作为与其他软件链接的数据源,比如作为 MATLAB 系统辨识的数据源,可以建立系统的数学模型。

## 1.1.2 控制系统仿真

随着计算机仿真技术的发展,系统仿真技术已经在科学与工程领域发挥着越来越重要的作用。计算机语言 MATLAB/Simulink 是国际上公认的自动控制领域作为解决控制系统仿真与设计的主要语言<sup>[2]</sup>。控制系统仿真就是基于 MATLAB/Simulink 软件研究控制系统性能,它依赖于“自动控制原理”课程,侧重于控制理论问题的计算机求解,可以解决以往控制原理不能解决的问题。例如,在高阶控制系统稳定性分析中,以前由于没有办法直接求解高阶方程的特征值,故出现了多种间接求解方法,有劳斯判据、近似降阶处理等,而现在利用 MATLAB 软件,只需输入一些指令就可以轻松解出全部的特征根,从而判断系统的稳定性;还有,在非线性系统的分析中,以前常常采用描述函数近似的方法来研究,现在利用 Simulink 软件就能轻而易举地对复杂的非线性系统进行精确建模与仿真,保证精度、提高效率。

仿真研究主要有以下几个优点:

- 1) 仿真对象是物理系统的数学模型,而不是实物系统本身,因此研究成本低。
- 2) 仿真方法灵活多样,易于实现。由于计算机的功能不断强大,仿真技术发展迅速,各种各样的仿真方法不断被完善,所以仿真对象的数学模型可以越来越接近实际模型,可以考虑多种最不利因素,使仿真设计的结果更接近实际。
- 3) 仿真结果充分。通过仿真研究可以得到大量的、充分的数据和曲线,便于分析。

4) 虚拟现实技术可以做到(半)实物仿真。研究对象是直接的实际对象,仿真用来开发控制器,这样可以不断优化控制器的算法,缩短开发周期。

因此,控制系统仿真研究成为了控制理论与控制工程领域发展研究的一个重要分支。本书中的控制系统仿真实验主要内容包括控制系统的建模与模型间的相互转换、控制系统稳定性分析、线性系统时域分析、根轨迹分析、频域分析及非线性系统分析等,从各个角度对控制系统进行全面分析,并对系统进行校正及设计控制器,改善闭环系统的性能。这些内容不是“自动控制原理”课程的简单重复,而是利用 MATLAB/Simulink 软件更好地掌握控制理论与仿真设计技术,进一步拓展思路,为控制理论的研究与实践搭建一座开放的、创新的、有益的桥梁。

本章对自动控制原理仿真分析与设计中常用的 MATLAB 命令、函数、工具箱及 Simulink 模块集的应用作了详细介绍。本章内容作为 MATLAB 语言最基础的入门知识,让一些没学过 MATLAB 语言与程序设计的读者能够快速入门。希望在学习本章后读者能够掌握 MATLAB 语言的基本规范,灵活地运用 Simulink 建立系统仿真模型。若需要更深入研究 MATLAB 语言,请参考其他相关的书籍或网站,如参考文献 [11, 13~16] 等或网站 <http://www.mathworks.com>, <http://www.mathtools.net>, <http://mathworks.netsh.net>, <http://www.math-world.com>, 还可以浏览国内各大高校的关于 MATLAB 方面的 BBS 网站。

## 1.2 控制系统 MATLAB 7.1 环境简述

MATLAB (Matrix Laboratory) 又名矩阵实验室,是一种以矩阵为基本数据单位的、特别适合于科学和工程计算的数学软件系统。它是 MathWorks 软件公司 (<http://www.mathworks.com>) 推出的一套高性能的可视化软件,具有强大的矩阵计算功能和良好的图形可视化功能,为用户提供了非常直观和简洁的程序开发环境,被誉为“巨人肩上的工具”及“第四代计算机语言”,在信号处理、图像处理、控制系统辨识、模糊控制以及神经网络等学科领域都得到了广泛的应用。

MATLAB 软件提供了许多专用的工具箱,如控制系统工具箱 (Control System Toolbox)、模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox)、系统辨识工具箱 (System Identification Toolbox)、鲁棒控制工具箱 (Robust Control Toolbox) 等。控制系统工具箱主要是运用经典控制理论处理线性时不变 (Linear Time-Invariant, LTI) 系统的函数集合,为 LTI 定常系统的建模、分析和设计提供了一个完整的解决方案。另一个框图式操作界面工具——单输入单输出 (Single-Input/Single-Output, SISO) 系统设计工具,可用于单输入单输出反馈控制系统的补偿器校正设计。

MATLAB 还有一个重要的软件包是动态仿真集成环境 Simulink。Simulink 与用户的交互接口基于 Windows 模型化图形输入,使得用户可以把更多的精力投入到系统模型的构建,而非语言的编程上。所谓模型化图形输入是指 Simulink 提供了一些按功能分类的基本的系统模块,用户只需要知道这些模块的输入输出及模块的功能,而不必研究模块内部是如何实现的。通过对这些基本模块的调用,再将它们连接起来就可以构成所需要的系统模型 (以 .mdl 文件进行存取),然后进行仿真分析与设计。

### 1.2.1 MATLAB 7.1 的安装与启动

#### 1. MATLAB 7.1 对 PC 的资源要求

- 1) Microsoft Windows 2000 或 Microsoft Windows XP 的操作系统。
- 2) 16 倍速以上的光盘驱动器。
- 3) 至少能显示 256 色的彩色显示器。
- 4) 推荐使用 256MB 以上的内存。
- 5) 至少 2GB 以上的硬盘。

#### 2. MATLAB 7.1 的安装过程

1) 插入 MATLAB 7.1 的第一张光盘，双击安装文件“Setup”，显示欢迎安装界面，如图 1-2 所示。选择“Install”选项，单击“Next”按钮继续安装。

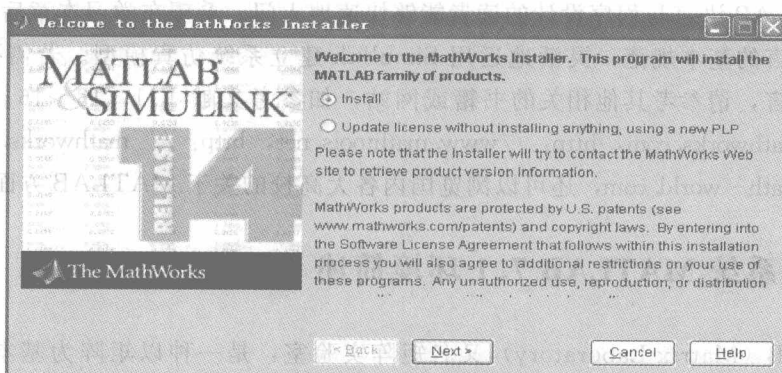


图 1-2 欢迎 MATLAB/Simulink Release14 安装界面

2) 进入注册对话框，如图 1-3 所示，输入产品的注册码，单击“Next”按钮继续。

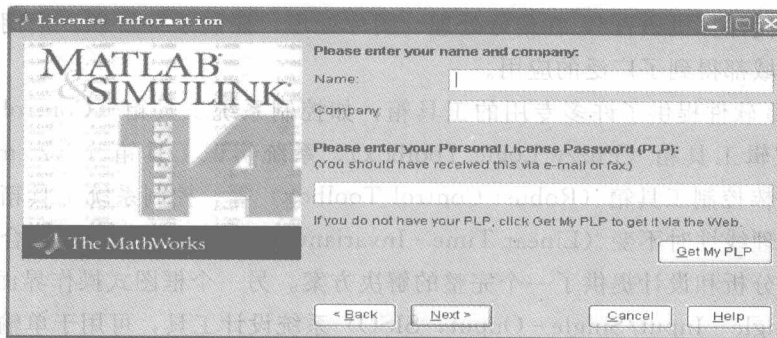


图 1-3 “注册”对话框

3) 显示接受软件特许协议条款窗口，选择“Yes”选项接受软件特许协议条款，如图 1-4 所示，然后单击“Next”按钮。

4) 进入安装类型选择框，选择典型安装“Typical”选项，如图 1-5 所示，然后单击“Next”按钮。

5) 进入安装路径选择对话框，如图 1-6 所示，注意当前磁盘空间等信息，可以使用默认安装路径，也可以单击“Browse”按钮更改安装路径。然后单击“Next”按钮继续。

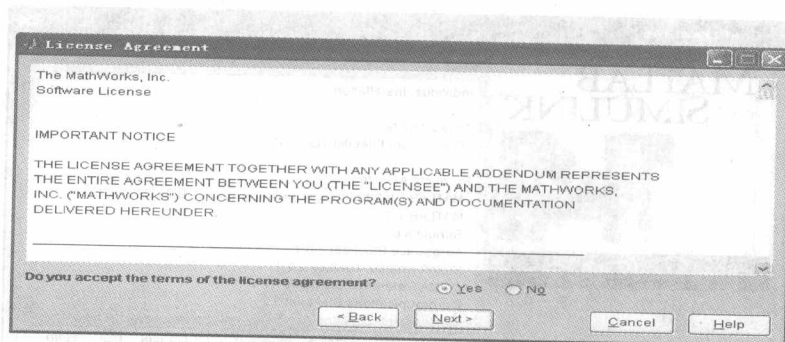


图 1-4 软件特许协议条款

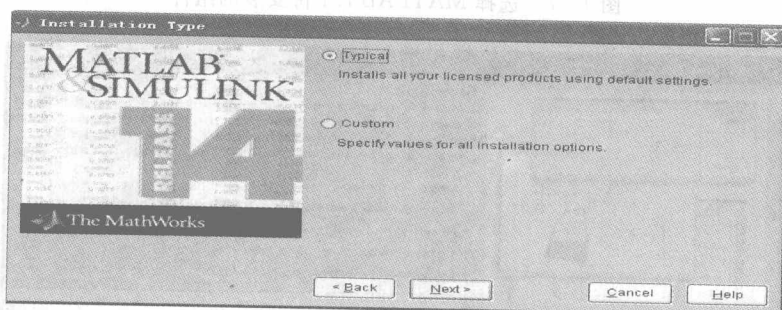


图 1-5 安装类型选择

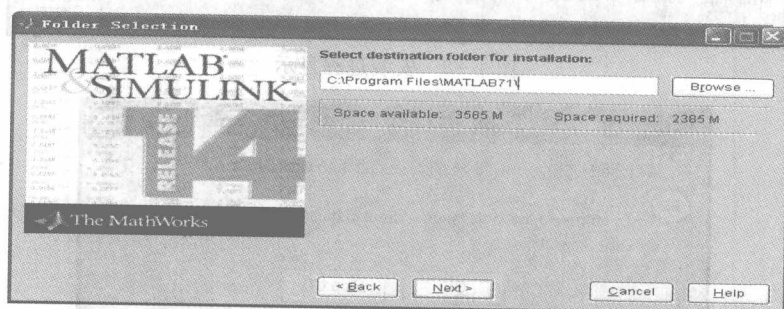


图 1-6 选择 MATLAB 7.1 安装路径

6) 选择 MATLAB 7.1 待安装的组件, 如图 1-7 所示, 可默认当前选择, 单击“Install”按钮。

7) 等待安装进程完成, 如图 1-8 所示, 大约需 30min 左右 (不同计算机 CPU 配置所需时间不等, 若 CPU 速度较低, 大约需要 1h 左右, 请耐心等待)。

8) 第一张光盘安装完毕后, 系统提示放入第二张光盘, 如图 1-9 所示。

9) 安装完成后, 显示 MATLAB Release 14 安装完成的提示界面, 如图 1-10 所示。单击“Finish”按钮结束安装。同时在 Windows 桌面上生成 MATLAB 快捷图标。

### 3. MATLAB 7.1 的启动

方法一: 单击“开始”按钮, 选择“程序”菜单, 再选择“MATLAB 7.1”。

方法二: 在桌面上双击 MATLAB 的快捷图标。

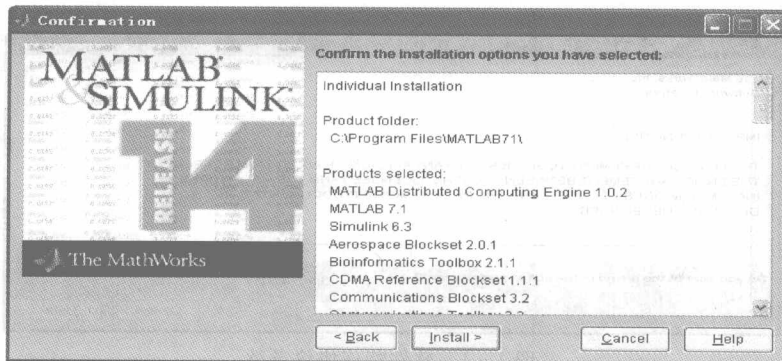


图 1-7 选择 MATLAB 7.1 待安装的组件

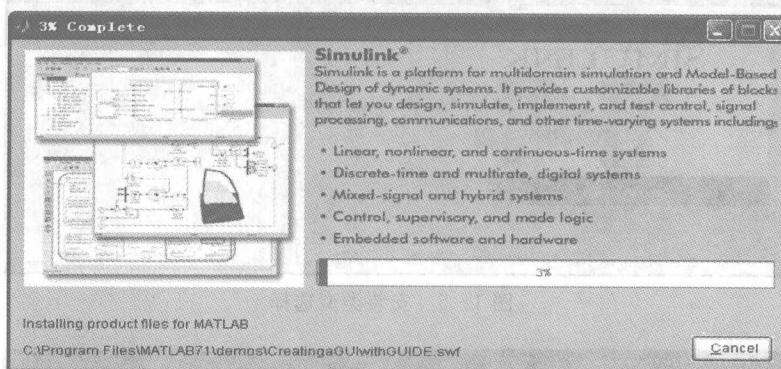


图 1-8 安装进程显示

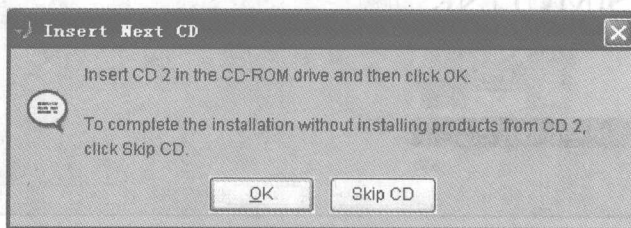


图 1-9 系统提示放入第二张光盘

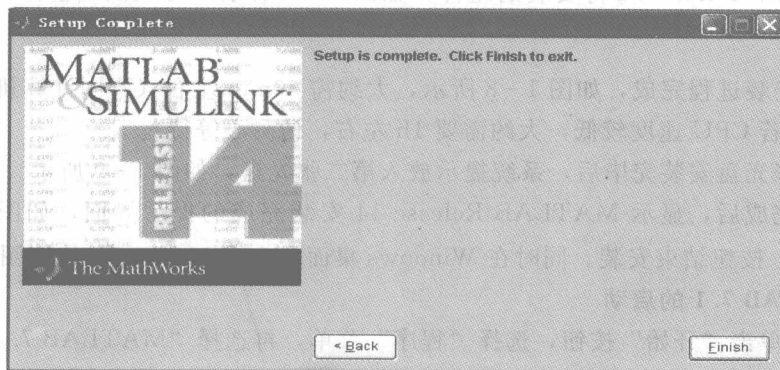


图 1-10 MATLAB Release 14 安装完成的提示界面

## 1.2.2 MATLAB 7.1 的环境

### 1. 认识 MATLAB 7.1 的界面

启动 MATLAB 7.1 软件后出现如图 1-11 所示的界面。

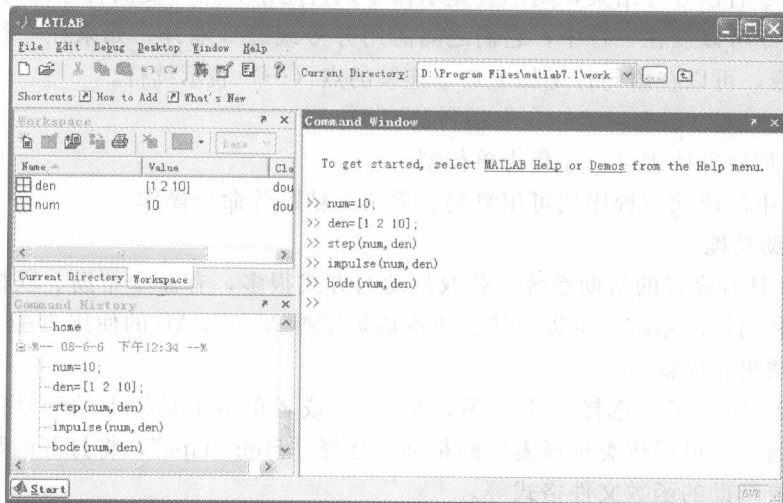


图 1-11 MATLAB 7.1 的系统界面

整个界面可分为以下四个部分，它们可重叠在一起，也可独立分离，窗口可根据用户需求调节大小。鼠标在 MATLAB 7.1 工具栏按钮上停留 3s 后，会显示该按钮功能。

1) Command Windows (命令窗口)：用于输入命令或程序，运行函数或 M 文件。可以进行直接交互的命令操作，输入命令后，按回车键，MATLAB 就立即执行命令，并显示出运行结果。

2) Workspace (工作空间窗口)：临时保存命令运行后产生的参数的相关信息，包含参数的值、变量类型及占用空间大小等，这些参数可以在命令窗口中复用。

3) Current Directory (当前目录窗口)：显示当前运行程序所在的路径。

4) Command History (命令历史窗口)：用于记录命令窗口中已经运行的命令，可以使用选定、复制、粘贴等操作重新执行这些命令。

### 2. 使用 MATLAB 7.1 命令窗口

Command Windows 是 MATLAB 的重要组成部分，在该窗口用户可在半角状态输入、编辑并运行命令，计算生成的结果也显示在命令窗口。常用快捷键可帮助编辑命令，提高工作效率，MATLAB 命令窗口的快捷键及其功能见表 1-1。

表 1-1 命令窗口的快捷键及其功能

快捷键	按键	功能	快捷键	对应按键	功能
Ctrl+P	↑	光标上移一行	Ctrl+H	Backspace	删除光标前一个字符
Ctrl+N	↓	光标下移一行	Ctrl+D	Del	删除光标后一个字符
Ctrl+B	←	光标左移一个字符	Ctrl+E	End	光标移到行尾
Ctrl+F	→	光标右移一个字符	Ctrl+U	Esc	删除一行
Ctrl+R	Ctrl+→	光标右移一个单词	Ctrl+A	Home	光标移到行首
Ctrl+L	Ctrl+←	光标左移一个单词	Ctrl+K		从光标处删除到行尾

**Tips:** 使用 Command Windows 小技巧:

- 1) MATLAB 的命令都为小写, 并且区分大小写。运算符“=”、“+”、“-”前后的空格不影响计算结果。
- 2) 输入命令后以分号结束, 则不会显示命令执行结果, 但可提高程序运行速度。
- 3) 多条命令可以放在一行中, 它们之间需用分号或逗号隔开。如果在一行中无法写下一条完整的命令, 可以在语句行尾加上三个连续的点 (...) 表示续行。
- 4) 按 <Ctrl+C> 组合键终止正在运行的程序。
- 5) 为程序加注释使用 %, 注释为单行型。
- 6) 对于选中的语句或程序块可用复制、剪切或粘贴等命令操作。

### 3. 使用帮助功能

MATLAB 具有完善的帮助系统, 获取帮助的方式很多, 有命令帮助、联机帮助和演示帮助等。充分利用帮助系统, 可以更快、更准确地掌握 MATLAB 的使用方法。

#### (1) 使用联机帮助窗口

打开主菜单“Help”, 选择“Help Windows”, 或者单击工具栏上的问号按钮, 则打开分类帮助导航窗口, 可以按类选择需要的帮助; 选择“Help Tips”, 将打开函数指令名帮助窗口, 查找需要帮助的函数文件格式等。

#### (2) 使用帮助命令 help

如果已知命令, 需要查找它的使用方法, 可使用“help”命令格式。如查找关于 step 函数的使用方法, 可以如下操作:

```
>>help step
```

回车后显示:

```
STEP Step response of LTI models.
```

```
STEP(SYS) plots the step response of the LTI model SYS (created with either TF, ZPK, or SS). For multi-input models, independent step commands are applied to each input channel. The time range and number of points are chosen automatically.
```

```
STEP(SYS,TFINAL) simulates the step response from t=0 to the final time t=TFINAL. For discrete-time models with unspecified sampling time, TFINAL is interpreted as the number of samples.
```

```
...
```

帮助中显示了 step 函数的功能、调用格式及其相关参数的设置要求等。

**Tips:** help 命令后没有其他命令时, 将获得所有 MATLAB 命令、函数及工具箱的名称和功能。

#### (3) 使用 lookfor 命令

“lookfor”命令提供了通过一般关键词找到命令和帮助标题的方式。命令格式为“lookfor +关键词”。比如希望得到 eigenvalue (特征值) 有关的信息, 可以如下操作:

```
>>lookfor eigenvalue
```

回车后显示:

```
ROSSER Classic symmetric eigenvalue test problem.
```

```
WILKINSON Wilkinson's eigenvalue test matrix.
```

BALANCE Diagonal scaling to improve eigenvalue accuracy.

CONDEIG Condition number with respect to eigenvalues.

EIG Eigenvalues and eigenvectors.

...

显示结果中包含了 eigenvalue 的相关信息。

#### (4) 演示帮助

打开主菜单“Help”，选择“Demos”选项，或者在命令窗口执行 demos 命令，可以打开演示窗口，选择需要演示的内容进行演示。

### 1.2.3 MATLAB 基本运算

MATLAB 的科学运算包含数值运算与符号运算两大类，数值运算的对象是数值，符号运算的对象则是非数值的符号字符串。MATLAB 基本运算中有些常用符号有特殊的含义，说明见表 1-2。

表 1-2 MATLAB 基本运算中的符号特殊含义说明

符号	名称	含义	符号	名称	含义
:	冒号	表示间隔	()	圆括号	在算术表达式中表示先后次序
;	分号	用于分隔行	[]	方括号	用于构成向量和矩阵
,	逗号	用于分隔列	{}	大括号	用于构成单元数组

#### 1. MATLAB 的数学表达式及矩阵建立

MATLAB 的数学表达式输入格式与其他计算机高级语言几乎相同，注意以下几个方面：

- 1) 表达式必须在同一行内书写。
- 2) 数值与变量或变量与变量相乘都不能连写，中间必须用乘号“\*”。
- 3) 分式的书写要求分子、分母最好分别用小括号限定。
- 4) 当 MATLAB 函数嵌套调用时，使用多重小括号限定。
- 5) 求幂运算的指数两侧最好用小括号限定，自然常数 e 的指数运算书写为 exp()。
- 6) MATLAB 的符号运算中，求 e 为底的自然对数，其函数书写形式为 log()。
- 7) MATLAB 中特殊变量的含义：“pi”表示圆周率  $\pi$ ；“i”或“j”表示虚数单位；“inf”或“INF”表示无穷大；NaN 表示 0/0 不定式。

**【范例 1-1】** (1)  $y = \frac{1}{a \cdot \ln(1-x-a) + 2a}$

在 MATLAB 中应书写为

```
>>y=1/(a*log(1-x-a)+2*a)
```

(2)  $f = 2\ln(t) \cdot e^t \cdot \sqrt{\pi}$

在 MATLAB 中应书写为

```
>>f=2*log(t)*exp(t)*sqr(pi)
```

**【范例 1-2】** (1) 建立矩阵  $A = [7 \ 8 \ 9]$ ,  $B = \begin{bmatrix} 7 \\ 8 \\ 9 \end{bmatrix}$ 。



在命令窗口中输入以下命令：

```
>> A = [7,8,9]
```

回车后得到结果：

```
A =
     7     8     9
```

实现矩阵的转置运算，可以在命令窗口中输入以下命令：

```
B = A'
```

回车后得到结果：

```
B = 7
     8
```

(2) 建立矩阵  $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 3 & 5 & 8 \\ 10 & 12 & 15 \end{pmatrix}$

```
>> A = (1 1 2 ; 3 5 8 ; 10 12 15)
```

```
A =
     1     1     2
     3     5     8
    10    12    15
```

**Tips:** 建立矩阵时，矩阵按行展开数据，行中的元素用空格或逗号分隔，每行之间用分号分隔。

(3) 使用冒号生成行向量

```
>> a = 1 : 1 : 10
```

当命令回车后，显示结果：

```
a = 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

此命令与命令  $a = 1 : 10$  生成的结果相同。

```
>> t = 10 : -1 : 1
```

当命令回车后，显示结果：

```
t = 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

**Tips:** 使用  $x : \Delta x : y$  生成向量，其中  $x$  表示初始值， $\Delta x$  表示步长增量， $y$  表示终值，向量个数自动生成。

## 2. MATLAB 的多项式运算

常用的多项式运算函数及功能说明见表 1-3。

表 1-3 常用的多项式运算函数及功能说明

函 数	功 能	函 数	功 能
conv	多项式乘法 (卷积)	poly	由根求多项式
deconv	多项式除法 (解卷)	roots	多项式求根
polyval	多项式求值	polyfit	多项式曲线拟合

(1) 多项式乘法 (卷积) 函数 conv()

**【范例 1-3】** 求多项式  $D(s) = (5s^2 + 3)(s + 1)(s - 2)$  的展开式。