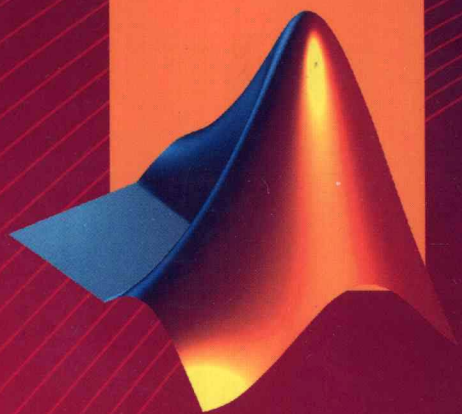




MATLAB

机电控制系统 技术与应用

张秀峰 主编
王娟 陈晓云 李拥军 副主编
栗思科 审校

- 覆盖面广，针对性强。本书内容覆盖了机电控制领域各个环节，而且仅针对MATLAB在机电控制领域的应用编写。
- 内容完整，结构清晰。本书以机电控制系统建模、仿真与实践为主线，配合详尽的实例，深入浅出，循序渐进。
- 覆盖面广，针文并茂。每个实例的建模及仿真过程都用通俗易懂的语言阐述，并穿插图片和表格。领域的应用编写，释简洁。本书实例的仿真模型和程序代码都是作者多年工作的积累，准确无误，个别
- 内容完整，各环节都给出简要、清晰的注释。



清华大学出版社

MATLAB

机电控制系统

技术与应用

张秀峰 主编
王娟 陈晓云 李拥军 副主编
栗思科 审校

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为 MATLAB 基础部分、MATLAB 在自动控制领域中的应用、MATLAB 在电力电子技术及电机控制中的应用和高级应用等四部分。MATLAB 基础部分介绍工作环境、基本指令和仿真工具；自动控制领域中的应用从基础 PID 控制开始，介绍广义预测控制、 H_∞ 控制、滑模变结构控制等；在电机控制中的应用讲解电机控制基础、电力电子技术，介绍直流电机和交流电机的控制；高级应用部分通过具体的工程实例介绍如何通过系统模型建立仿真，完成基于 DSP 的机电控制系统。每一部分举出相应的实例，都是编者学习和研究中的经历，通过这些实例，让读者了解整个控制工程的方案分析、系统仿真，并通过实例让读者可以形成从控制理论到工程物理现象的映射，以及调试方法和过程。

本书可作为自动控制、智能仪表、机电一体化、测控技术与仪器、电路系统等专业高年级本科生或研究生的教材，也可作为从事机电产品开发、工业控制领域研究工作的工程技术人员参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 机电控制系统技术与应用 / 张秀峰主编. — 北京：清华大学出版社，2011.10
ISBN 978-7-302-25947-3

I. ①M… II. ①张… III. ①机电系统：自动控制系统—计算机辅助计算—软件包，MATLAB—程序设计 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 122811 号

责任编辑：夏兆彦

责任校对：徐俊伟

责任印制：何 芊

出版发行：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机：010-62770175

投稿与读者服务：010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮 购：010-62786544

印 刷 者：北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者：三河市兴旺装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：20.5 字 数：512 千字

版 次：2011 年 10 月第 1 版 印 次：2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：49.00 元



机电控制技术在现代化生产和实践中发挥着巨大的作用。随着自动控制理论、电子技术和计算机技术的快速发展,各种新的控制理论和方法不断产生。新的理论与方法要经过分析和验证才能能够在实践中应用,目前,MATLAB 是广泛采用的计算机仿真软件之一。虽然目前市场上关于 MATLAB 仿真应用的书籍很多,但是大多是重点针对自动控制理论、电力电子技术或电机控制中某一方面的介绍,鲜有对三方面综合阐述的书籍,而将仿真过程和结果应用于实际的控制系统或工程项目中更是少之又少,本书正是基于这个现状编写的。

1. 本书特点

本书的内容编排和目录组织十分讲究,使得读者可快速掌握机电控制从仿真到工程实践的整个过程。本书简要介绍相关的理论知识,重点介绍实际应用,并给出大量的相关实例。书中的实例是作者多年学习和工作的积累,通过这些实例,让读者了解整个控制工程从方案分析、系统建模与仿真到工程实践的过程,并通过实例让读者可以形成从控制理论到工程物理现象的映射,以及调试方法。

概括来讲,本书具有如下特点。

- **覆盖面广,针对性强** 本书内容覆盖了机电控制领域的各个环节,而且仅针对 MATLAB 在机电控制领域的应用编写。
- **内容完整,结构清晰** 本书以机电控制系统建模、仿真与实践为主线,配合详尽的实例,深入浅出、循序渐进。
- **讲解通俗,图文并茂** 每个实例的建模及仿真过程都用通俗易懂的语言阐述,并穿插图片和表格。
- **实例准确,注释简洁** 本书实例的仿真模型和程序代码都是作者多年工作的积累,准确无误,个别生僻、难懂的环节都给出了简要、清晰的注释。

2. 组织结构

本书从 MATLAB 的基础知识和仿真应用开始,逐步介绍机电控制领域中涉及的各项知识点的仿真方法及工程实践。

全书分为 MATLAB 基础部分, MATLAB 在自动控制领域中的应用, MATLAB 在电力电子技术及电机控制中的应用和高级应用部分。其中, MATLAB 基础部分主要介绍工作环境、基本指令和仿真工具;自动控制领域中的应用从基础 PID 控制开始,包括模型预测、鲁棒控制、神经网络和模糊控制等;在电机控制的应用中讲解电机控制基础、电力电子技术,重点介绍直流电机和交流电机的调速控制系统;高级应用部分通过具体的工程实例介绍如何通过系统模型建立仿真,完成基于 DSP 的机电控制系统。

3. 读者对象

- ☐ 自动控制、智能仪表、机电一体化、测控技术与仪器等专业的高年级本科生。
- ☐ 相关专业的研究生。
- ☐ 从事机电产品开发、工业控制领域研究的工程技术人员。

4. 编者与致谢

本书由张秀峰担任主编，王娟、陈晓云、李拥军担任副主编，粟思科审校。书稿经过刘福才教授仔细审阅，提出了很多宝贵意见。感谢徐国凯教授、孙进生教授、刘岩川副教授在本书的编写过程中给予的大力支持和宝贵意见。

参与本书编写工作的人员还有王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬和程瑶等，在此一并表示感谢。

5. 配套服务

由于控制理论及电子技术的飞速发展，以及控制系统所涉及的范围十分广泛，作者水平所限，必然存在一些不足或纰漏，恳请读者批评指正，提出宝贵意见！如果读者愿参加“MATLAB 机电控制系统技术与应用”的学习培训，或是在学习过程中发现问题，或有更好的建议，欢迎致函。我们的联络方式为：china_54@tom.com。

编 者

2011 年 4 月

第 1 章 MATLAB 编程基础.....1	
1.1 MATLAB 的工作环境.....1	
1.1.1 MATLAB 程序主界面.....1	
1.1.2 文本编辑窗口.....3	
1.2 MATLAB 的数值计算.....3	
1.2.1 数据与变量.....4	
1.2.2 矩阵与数组.....6	
1.2.3 矩阵与数组运算.....10	
1.2.4 多项式运算.....13	
1.2.5 字符运算.....16	
1.3 MATLAB 的符号运算.....17	
1.3.1 符号对象的创建.....17	
1.3.2 数值变量、符号变量及 字符变量间的相互转换.....19	
1.3.3 符号表达式的操作和转换.....20	
1.3.4 常用符号运算功能的实现.....23	
1.3.5 符号方程的求解.....26	
1.4 MATLAB 的程序设计.....28	
1.4.1 M 文件的编写.....28	
1.4.2 MATLAB 程序流程控制.....29	
1.4.3 程序举例.....35	
1.5 MATLAB 的可视功能.....38	
1.5.1 二维图形的绘制.....38	
1.5.2 三维图形的绘制.....51	
1.5.3 符号图形的绘制.....52	
1.5.4 图形用户界面.....54	
本章小结.....59	
习题.....59	
第 2 章 Simulink 应用基础.....61	
2.1 Simulink 仿真环境.....61	
2.1.1 Simulink 模块库浏览器.....62	
2.1.2 Simulink 仿真平台.....63	
2.2 Simulink 的基本操作.....63	
2.2.1 模块及信号线的基本操作.....63	
2.2.2 系统模型的基本操作.....68	
2.2.3 子系统的建立与封装.....69	
2.3 Simulink 建模.....75	
2.4 Simulink 运行仿真.....75	
2.4.1 仿真参数设置.....76	
2.4.2 运行仿真过程.....78	
2.4.3 示波器的使用.....78	
2.5 Simulink 仿真应用.....80	
2.5.1 一般控制系统中的仿真 应用.....80	
2.5.2 简单电路系统中的仿真 应用.....82	
2.6 S 函数.....87	
2.6.1 S 函数基本工作原理.....88	
2.6.2 用 M 语言编写 S 函数.....89	
本章小结.....95	
习题.....95	
第 3 章 PID 控制系统分析.....96	
3.1 连续系统.....96	
3.1.1 连续系统的数学模型.....96	
3.1.2 PID 控制器仿真实例.....98	
3.1.3 连续系统的 PID 仿真.....100	
3.2 离散系统.....103	
3.2.1 离散系统的数学模型.....104	
3.2.2 PID 控制器设计仿真 实例.....104	
3.3 自抗扰控制技术的 MATLAB 仿真.....106	
3.3.1 自抗扰控制技术概述.....106	
3.3.2 自抗扰控制技术的关键 部分.....107	

3.3.3	跟踪微分器	108
3.3.4	自抗扰控制器设计实例	115
3.4	PID 控制器的设计与仿真实例	118
3.4.1	车辆主动悬架的动力学模型	119
3.4.2	路面干扰输入的仿真模型	120
3.4.3	主动悬架 PID 控制器的设计	124
3.4.4	系统的计算机仿真建模分析	124
3.4.5	主动悬架系统仿真和结果分析	125
	本章小结	128
	习题	128
第 4 章	控制系统与 MATLAB 仿真	129
4.1	广义预测控制与 MATLAB 仿真	129
4.1.1	广义预测控制的基本形式	129
4.1.2	具有死区非线性补偿的广义预测控制方法	135
4.1.3	控制器设计仿真实例	137
4.2	H_{∞} 控制与 MATLAB 仿真	138
4.2.1	H_{∞} 性能分析	138
4.2.2	控制器设计仿真实例	139
4.3	滑模变结构控制与 MATLAB 仿真	145
4.3.1	滑模变结构控制方法	145
4.3.2	控制器设计仿真实例	147
4.3.3	混沌 Hénon 的滑模控制与同步	147
4.3.4	带有随机噪声的控制结果	152
4.3.5	Hénon 混沌系统的同步研究	154
4.3.6	基于 Logistic 方程的仿真研究	155
	本章小结	157
	习题	157

第 5 章	电力电子电路仿真分析	158
5.1	电力电子器件仿真模型	158
5.1.1	电力电子开关模块	159
5.1.2	桥式电路模块	165
5.1.3	驱动模块	167
5.2	交流-直流变换电路分析	169
5.2.1	单相桥式全控整流电路仿真	169
5.2.2	三相半波可控整流电路仿真	173
5.2.3	三相桥式全控整流电路仿真	175
5.3	直流-直流变换电路分析	178
5.3.1	降压式变换器的建模与仿真	178
5.3.2	升压式变换器的建模与仿真	180
5.3.3	升降压式变换器的建模与仿真	182
5.3.4	全桥 DC-DC 变换电路仿真	184
5.4	交流-交流变换电路分析	187
5.4.1	单相交流调压器仿真	187
5.4.2	三相交流调压器仿真	189
5.5	直流-交流变换电路分析	190
	本章小结	191
	习题	191
第 6 章	MATLAB 与直流调速系统仿真	192
6.1	直流电动机的人为机械特性仿真	192
6.2	直流电动机的启动和制动仿真	192
6.2.1	直流电动机直接启动仿真	193
6.2.2	直流电动机能耗制动仿真	197
6.2.3	直流电动机反接制动仿真	199

6.3 直流电动机调速系统仿真分析····· 200	7.5 晶闸管串级调速系统的建模 与仿真····· 237
6.3.1 直流电动机串电阻调速 仿真分析····· 201	本章小结····· 240
6.3.2 开环直流调速控制系统 仿真····· 203	习题····· 241
6.3.3 直流调速双闭环控制系统 仿真····· 209	第8章 控制相关工具箱····· 242
6.4 双闭环控制的直流脉宽调速系统 分析····· 214	8.1 SISO 工具箱的使用····· 243
本章小结····· 218	8.2 滤波器设计工具箱····· 248
习题····· 218	8.2.1 FIDAtool 的使用····· 248
第7章 MATLAB 与交流调速系统仿真····· 219	8.2.2 滤波器的设计····· 250
7.1 异步电动机人为机械特性仿真····· 219	本章小结····· 259
7.2 三相异步电动机启动、制动及正反 转的仿真····· 221	习题····· 260
7.2.1 异步电动机直接启动 仿真····· 221	第9章 基于 DSP 的机电控制系统设计····· 261
7.2.2 异步电动机定子串电阻 启动仿真····· 226	9.1 TMS320LF2407 芯片介绍····· 261
7.2.3 异步电动机能耗制动 仿真····· 226	9.2 直流电机位置伺服系统设计····· 266
7.2.4 异步电动机正反转控制 仿真····· 228	9.2.1 直流力矩电机····· 267
7.3 异步电动机调压调速系统 仿真分析····· 229	9.2.2 功率驱动单元····· 269
7.3.1 异步电动机调压调速 原理····· 230	9.2.3 电流采样电路设计····· 276
7.3.2 异步电动机调压调速的 闭环控制系统····· 230	9.2.4 光电编码器在数字伺服 控制系统中的应用····· 278
7.3.3 基于转速负反馈控制异步 电动机调压调速系统的仿真 实现····· 231	9.2.5 方案需求论证····· 282
7.4 三相正弦脉宽变频调速系统 分析····· 234	9.2.6 控制算法 MATLAB 设计 实现····· 284
	9.3 控制算法的 DSP 实现····· 296
	9.3.1 连续信号和数字信号之间 的转换····· 296
	9.3.2 控制算法的离散化····· 305
	9.3.3 控制算法的 DSP 具体 实现····· 310
	9.3.4 经典滤波算法····· 310
	9.3.5 优化自己的程序····· 314
	本章小结····· 315
	习题····· 316
	参考文献····· 317

第1章 MATLAB 编程基础

本章导读

MATLAB (Matrix Laboratory) 被称为“科学便笺式”的工程计算语言, 是美国 MathWorks 公司于 1984 年正式推出的一种数学计算和系统仿真的强大工具软件。它具有语法简单、使用方便、运算高效、内容丰富的特点, 但 MATLAB 的程序执行效率比较低。目前, MATLAB 在国内外的教学、科研和工程领域中得到了广泛的应用。

1.1 MATLAB 的工作环境

MATLAB 为用户提供了方便、实用的工作环境, 了解并熟悉语言的工作环境是灵活运用该软件解决实际问题的基础, 以下将介绍 MATLAB 的启动、退出、主要的菜单栏、工具条和命令窗口等。

1.1.1 MATLAB 程序主界面

1. MATLAB 的启动

MATLAB 的启动有如下两种方式。

(1) 在 Windows 桌面上, 双击 MATLAB 的图标, 其图标如图 1-1 所示, 就可启动并进入 MATLAB 的工作环境。

(2) 单击 Windows 的【开始】菜单, 依次选择【程序】→MATLAB 7.0.4→MATLAB 7.0.4 命令, 就可启动并进入 MATLAB 的工作环境。



图 1-1 MATLAB 图标

2. MATLAB 的工作环境

MATLAB 的工作环境如图 1-2 所示, 这是桌面系统的默认画面。

MATLAB 主界面由如下几个主要部分组成。

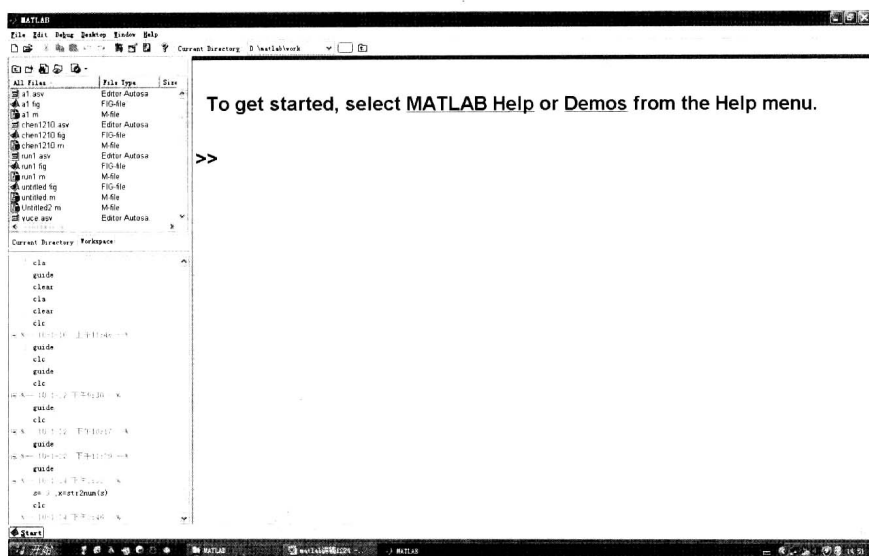


图 1-2 MATLAB 的工作环境

- ❑ **菜单栏** 在菜单栏中的几个图标依次为 File、Edit、View、Debug、Desktop、Window 和 Help。
- ❑ **工具条** 工具条内容比较丰富，前几个图标与其他应用软件相关图标功能一致，分别为新建、打开、保存、剪切、复制、粘贴、撤销、返回、打印、查找和函数，接下来是仿真（Simulink）、图形用户界面（GUI）和帮助，最后是当前路径和返回上一级目录。
- ❑ **当前目录** 界面的左上视窗为当前目录（Current Directory），可切换为工作空间（Workspace）。
- ❑ **历史命令** 当前目录下视窗为历史命令（Command History）。
- ❑ **命令窗口** 右半个视窗为命令窗（Command Window），是用户使用 MATLAB 的重要工作空间。MATLAB 在这里为用户提供了交互式的工作环境，即用户可以随时输入命令，计算机即时给出运算结果。在 MATLAB 命令窗口中符号“>>”为提示符，用户可以在提示符后输入各种命令。如果想在窗口内显示相应的结果，只需在每一条命令或命令行键入后按回车（Enter）键，命令就会被执行，并在窗口中显示执行结果。

例如，在命令窗口的工作区直接输入如下字符：

```
(12+3*(8-4))/2^3
ans = 3
```

命令窗一般用于单条命令的运行，MATLAB 还为用户提供了 M 文件编辑窗(Editor)，用于程序的运行和调试，以及图形显示窗（Figure）等。

3. MATLAB 的退出

退出 MATLAB 非常简单，只需单击图 1-2 所示窗口右上角的【关闭】按钮，即可退

出 MATLAB 环境。另外，也可在 MATLAB 命令窗口内输入命令 quit 或 exit 并按 Enter 键，或通过下拉菜单 File→Exit MATLAB 退出 MATLAB 环境。

1.1.2 文本编辑窗口

如果用户要编辑文件或运行、调试程序，需要进入 M 文件编辑窗口，可以通过下列方法进入。

(1) 利用 MATLAB 视窗的菜单栏，即 File→New，打开 M 文件编辑窗口。

(2) 利用工具栏，单击新建图标  打开 M 文件编辑窗口。

M 文件编辑窗口如图 1-3 所示，由下列几个主要部分组成。

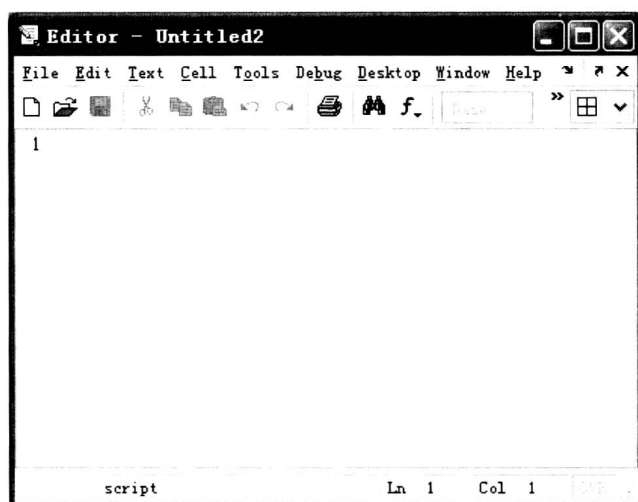


图 1-3 M 文件编辑窗口

- ❑ **菜单栏** 在菜单栏中几个图标依次为 File、Edit、Text、Cell、Tools、Desktop、Window 和 Help。
- ❑ **工具条** 工具条内容比较丰富，前几个图标与其他应用软件相关图标功能一致，分别为新建、打开、保存、剪切、复制、粘贴、撤销、返回、打印、查找和函数，接下来是设置和取消程序中的断点图标、取消所有文件中断点图标，后面 3 个图标是程序调试单步控制选项，最后两个图标是运行程序和退出调试模式。
- ❑ **文本编辑窗口** 工具栏下面的空白处为文件文本编辑窗口，用户可以在此编辑文件并进行运行调试。

1.2 MATLAB 的数值计算

MATLAB 具有强大的计算功能，数学计算就是很好的体现。在 MATLAB 中，数学计算分为数值运算和符号计算两种，其中数值运算使用已经定义的标量，而符号计算是指使用未定义的符号变量进行运算，本章主要介绍数值运算。

1.2.1 数据与变量

1. 数据

(1) 数据的表达方式

在 MATLAB 中, 数据采用十进制表示, 既可以用小数点的形式直接表示, 也可以使用科学计数法, 数值表示的范围是 $10^{-309} \sim 10^{309}$ 。

例如, 以下都是合法的数据表示。

-8、6.36、 $5.26e^{-16}$ (表示 5.26×10^{-16})

(2) 矩阵和数组的概念

在 MATLAB 的运算中, 经常要使用标量、向量、矩阵和数组, 这几个名称的定义如下。

- **标量** 是矩阵的一种特殊形式, 只含 1 个数据, 即 1×1 的矩阵。
- **向量** 是指只含 1 行或 1 列的矩阵, 即为 $1 \times n$ 或 $n \times 1$ 的矩阵。
- **矩阵** 是一个二维数组, 即矩形的数组, 前面所说的向量和标量都是矩阵的特殊形式, 如果矩阵中没有数据则为空阵 ($[]$), 即 0×0 矩阵。
- **数组** 是矩阵的延伸, 可以有多维, 其中矩阵和向量都是数组的特例。

(3) 复数

复数由实部和虚部组成, MATLAB 用特殊变量 “i” 和 “j” 表示虚数的单位 ($\sqrt{-1}$)。复数运算不需要特殊处理, 可直接进行。

复数有以下几种表示方法。

- **代数形式** $z = a + b*i$ 或 $z = a + b*j$ (当 b 为常量时)。
- **三角形式** $z = r[\cos(\theta) + \sin(\theta)*i]$ 。
- **指数形式** $z = r*\exp(i*\theta)$ 。

在数学中, 复数的代数形式和三角形式可以用如下方式换算。

实部: $a = r*\cos(\theta)$; 虚部: $b = r*\sin(\theta)$; 幅值 $r = \sqrt{a^2 + b^2}$; 相角 $\theta = \arctan(b/a)$, 以 rad (弧度) 为单位。

在 MATLAB 中, 复数的实部、虚部、幅值和相角可以分别用下列方法求得。

- **实部 (real)** $a = \text{real}(z)$ 。
- **虚部 (imag)** $b = \text{imag}(z)$ 。
- **幅值 (abs)** $r = \text{abs}(z)$ 。
- **相角 (angle)** $\theta = \text{angle}(z)$ 。

2. 变量

和其他高级计算机语言一样, MATLAB 也是使用变量来保存信息的。变量由变量名表示, 变量的命名应遵循如下规则。

- 变量名可以由字母、数字和下划线混合组成, 但是变量名必须以字母开头。
- 变量名不允许使用标点符号和空格。

- 变量名区分字母大小写。
- 变量名的长度不应超过 63 个字符。
- 关键字（如 for、while 等）不能作为变量名。

在 MATLAB 语言中还有着一些系统默认固定变量或特殊变量，每一个变量有着自己的含义，见表 1-1。

表 1-1 MATLAB 固定变量表

固定变量	取值
ans	用于结果的默认变量名
pi	圆周率
eps	计算机的最小数，和 1 相加就产生一个比 1 大的数
flops	浮点运算数
Inf	无穷大，如 1/0
NaN	不定量，如 0/0
i 和 j	虚数单位， $i=j=\sqrt{-1}$
nargin	所用函数的输入变量数目
nargout	所用函数的输出变量数目
realmin	最小可用正实数
realmax	最大可用正实数

表 1-1 中的系统固定变量在启动 MATLAB 之后，系统自动赋予默认值。如果在编写应用程序时重新定义了变量，变量的名字与固定变量相同，系统将按重新定义的变量值执行，变量初始的默认取值将会丢失，直至清除所有变量或重新启动 MATLAB。一般在编程时，应当尽量避免重新定义固定变量。

3. 常用数学函数

MATLAB 语言为用户提供了丰富的函数资源，几乎包括了所有的初等函数，例如三角函数、指数函数、对数函数和复数运算函数等。在编程时，用户可以直接使用这些函数。函数的调用格式为：

函数名（变量）

在 MATLAB 中，函数所包含的变量即前面所讲的矩阵变量。函数的运算就是将函数运算分别作用于函数矩阵变量的每一个元素。MATLAB 包含多种常用的数学函数，每一种函数的函数名和功能见表 1-2。

表 1-2 MATLAB 的常用数学函数

函数	功能	函数	功能
abs(x)	绝对值或复数的幅值	floor(x)	对 $-\infty$ 方向取整数
acos(x)	反余弦	gcd(x,y)	整数 x 和 y 的最大公约数
acosh(x)	反双曲余弦	imag(x)	复数虚部
angle(x)	4 象限内取复数相角	lcm(x,y)	整数 x 和 y 的最小公倍数

续表

函数	功能	函数	功能
asin(x)	反正弦	log(x)	自然对数
asinh(x)	反双曲正弦	log10(x)	常用对数
atan(x)	反正切	real(x)	复数实部
atan2(x,y)	4 象限内反正切	rem(x,y)	除后余数; rem(x,y)给出 x/y 的余数
atanh(x)	反双曲正切	round(x)	四舍五入到最接近的整数
ceil(x)	对+∞方向取整数	sin(x)	正弦
conj(x)	复数共轭	sinh(x)	双曲正弦
cos(x)	余弦	sqrt(x)	平方根
cosh(x)	双曲余弦	tan(x)	正切
exp(x)	指数函数 e^x	tanh(x)	双曲正切
fix(x)	对零方向取整数	sign(x)	符号函数; 返回自变量的符号, 例如 sign(1.5)=1, sign(-2.4)=-1, sign(0)=0

这里应注意两点: 其一是 MATLAB 只对弧度操作; 其二是 MATLAB 系统提供的所有函数名字母都是小写。

下面给出应用基本函数的几个例子。

```
a=[1,2;3,4]; A=sin(a)
A = 0.8415    0.9093
    0.1411   -0.7568

b=1+2i; real(b), imag(b), abs(b), angle(b)
ans = 1
ans = 2
ans = 2.2361
ans = 1.1071

x=[-2.4,1.2;-5.1,3]; a=ceil(x), b=floor(x), c=fix(x)
a = -2        2
    -5        3
b = -3        1
    -6        3
c = -2        1
    -5        3

y=sin(30), z=sin(30*pi/180)
y = -0.9880
z = 0.5000
```

1.2.2 矩阵与数组

MATLAB 是 Matix Laboratory, 即“矩阵实验”的缩写, 可见 MATLAB 具有强大的矩阵及数组运算功能。MATLAB 进行数据处理的基本单元是矩阵, 几乎所有的 MATLAB 运算都是在矩阵的意义上进行的, 矩阵运算也是 MATLAB 最重要的运算。在 MATLAB

中，每个变量都代表一个矩阵，如上一节所述，如果矩阵仅有一行或一列，则该矩阵被称为向量，如果仅单独的一个数则可看成是标量，即 1×1 阶的矩阵。在 MATLAB 中对矩阵有如下一些基本操作。

1. 矩阵的赋值

赋值就是将数值赋予变量名，即代表变量的标识符。下面介绍两种 MATLAB 中常用的创建矩阵的方法：直接输入法和利用 MATLAB 函数法。

(1) 直接输入法创建矩阵

直接输入法适用于简单且维数较少的矩阵，创建矩阵的方法就是从键盘直接输入矩阵数值，即按矩阵行的顺序输入矩阵各元素。在输入过程中必须遵循以下规则。

- 矩阵的所有元素必须放在方括号“[]”内。
- 矩阵元素之间必须用逗号“,”或空格分开。
- 矩阵元素可以是任何不含未定义变量的表达式。
- 矩阵行与行之间用分号“;”或回车符隔开。

例如输入语句：

```
Mymatrix = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]
Mymatrix = 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Matrix_B = [1 2 3; 2 3 4; 3 4 5]
Matrix_B = 1 2 3
          2 3 4
          3 4 5
```

(2) 利用 MATLAB 函数创建矩阵

对于一些复杂或维数较多的矩阵，直接输入法比较麻烦。MATLAB 定义了一些特殊矩阵函数，不必一一赋值定义。特殊矩阵函数及功能说明见表 1-3。

表 1-3 特殊矩阵函数

命令	说明
<code>A=[]</code>	空矩阵，即没有元素的矩阵
<code>A=eye(n)</code>	n 维单位阵
<code>A=ones(n,m)</code>	全部元素都为 1 的 n 行 m 列的矩阵
<code>A=ones(n)</code>	全部元素都为 1 的 n 阶方阵
<code>A=zeros(n,m)</code>	全部元素都为 0 的 n 行 m 列的矩阵
<code>A=zeros(n)</code>	全部元素都为 0 的 n 阶方阵
<code>A=rand(n,m)</code>	元素服从[0,1]区间均匀分布的 n 行 m 列的随机矩阵
<code>A=rand(n)</code>	元素服从[0,1]区间均匀分布的 n 阶随机方阵
<code>A=randn(n,m)</code>	元素服从标准正态分布的 n 行 m 列的随机矩阵
<code>A=randn(n)</code>	元素服从标准正态分布的 n 阶随机方阵

对于所有的函数，当只有 1 个参数 n 时，则为 $n \times n$ 的方阵。而对于 `eye(m,n)` 函数，如果 m 和 n 参数不等，则单位矩阵会出现全 0 行或列。

对于一维数组（向量）除前面介绍的创建矩阵的所有方法全部适用外，还有利用冒

号“:”运算生成向量和利用函数 `linspace()`、`logspace()` 生成向量的方法, 这里不再详细介绍, 可以参考其他 MATLAB 基础知识的书籍。

2. 矩阵块操作

(1) 矩阵的下标

在 MATLAB 系统中, 矩阵的元素是通过其行、列的标号来标识的, 矩阵元素所处的行号和列号称为该元素的下标。矩阵元素可以通过其下标来引用, 例如 `BAR(i,j)` 即表示矩阵 `BAR` 的第 `i` 行第 `j` 列的元素。

特别要注意: MATLAB 不同于其他计算机语言, 矩阵下标的行、列号都是从 1 开始的。

例如, 先定义矩阵为:

```
A=[4 10 1 6 2;8 2 9 4 7;7 5 7 1 5;0 3 4 5 4;23 13 6 0 3]
A = 4      10      1      6      2
      8      2      9      4      7
      7      5      7      1      5
      0      3      4      5      4
     23     13      6      0      3
```

先输入命令: `A(2,3)`

则: `ans = 9`

然后输入命令: `A(12)`

同样 `ans = 9`

(2) 矩阵维数的扩大与缩小

对于在 MATLAB 中已经定义的矩阵, 矩阵维数可以扩大, 也可以缩小。用户重新输入的同名矩阵, 如果矩阵的维数小于或大于原矩阵维数, MATLAB 认为是原矩阵修改了部分元素或矩阵子块。

在增加矩阵的维数时, 可以只给出非零元素, MATLAB 自动将未定义元素设为 0。减小矩阵维数时, 必须使用“[]”命令来对行或列进行操作, 则相应的行或列即被删除。

例如:

已知矩阵 `AA=[1 1 1;1 1 10]`, 重新输入 `AA(5,5)=2`, 即将矩阵的维数增加到 5 行 5 列, 第 5 行第 5 列的元素为 2。

则:

```
AA= 1      1      1      0      0
      1      1     10      0      0
      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      2
```

欲缩小矩阵 `A` 的维数, 则可以用:

```
A([1,4],:)=[] 即将矩阵的维数缩小为 4 行 4 列, 删除第 1 行和第 4 行
```

```
A= 1    10  0  0
    0    0  0  0
    0    0  0  2
    1    3  4  5
```

(3) 矩阵的翻转

MATLAB 的矩阵操作功能非常强大，可以对已经建好的矩阵实现翻转，翻转通过矩阵翻转函数来实现，翻转函数功能见表 1-4。

表 1-4 常用矩阵翻转函数的功能

函数名	功能	例子	结果
		输入	
triu(X)	产生 X 矩阵的上三角矩阵，其余元素补 0	triu(A)	1 2 0 0 4 0 0 0 9
tril(X)	产生 X 矩阵的下三角矩阵，其余元素补 0	tril(A)	1 0 0 3 4 0 5 6 9
flipud(X)	使矩阵 X 沿水平轴上下翻转	flipud(A)	5 6 9 3 4 0 1 2 0
fliplr(X)	使矩阵 X 沿水平轴左右翻转	fliplr(A)	0 2 1 0 4 3 9 6 5
flipdim(X)	使矩阵 X 沿特定轴翻转。dim=1，按行翻转； dim=2，按列翻转	flipdim(A)	5 6 9 3 4 0 1 2 0
rot90(X)	使矩阵 X 逆时针旋转 90°	rot90(A)	0 0 9 2 4 6 1 3 5

(4) 矩阵大小

MATLAB 为用户提供了矩阵大小的查询功能，查询矩阵的大小可以选用不同的命令，矩阵大小查询命令及功能见表 1-5。

表 1-5 矩阵大小查询命令

命令	说明
whos	显示工作空间中存在的变量及大小
[n,m]=size(A)	返回 A 矩阵的行数和列数
n=length(A)	返回 A 矩阵的最大行、列数
[n,m]=find(A) 或 n=find(A)	给出特殊要求的矩阵元素的行、列标记

一般用 size()函数测试矩阵，而用 length()函数测试数组。如果用 length()函数测试矩阵，就会返回矩阵的最大行或列数。