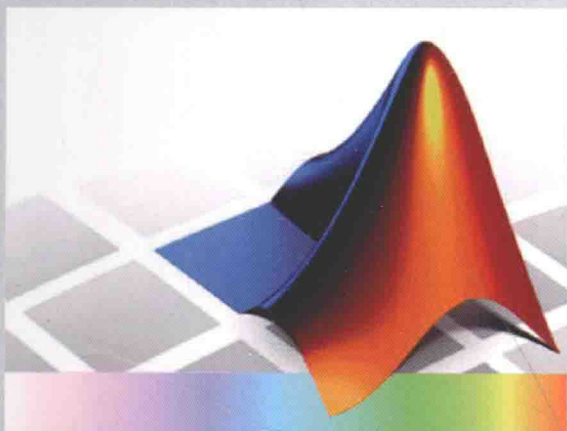




MATLAB

在大学物理实验中的应用

● 主 编 杨俊义 张晓俊

● 副主编 周 皓 杨 勇 王健翔 沙金巧



苏州大学出版社
Soochow University Press

MATLAB 在大学物理实验中的应用

主 编 杨俊义 张晓俊

副主编 周 皓 杨 勇 王健翔 沙金巧

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 在大学物理实验中的应用 / 杨俊义, 张晓俊

主编. — 苏州: 苏州大学出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5672-1625-9

I. ①M… II. ①杨… ②张… III. ①Matlab 软件—应用—物理学—实验 IV. ①04—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 319075 号

MATLAB 在大学物理实验中的应用

杨俊义 张晓俊 主编

责任编辑 苏 秦

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市十梓街 1 号 邮编: 215006)

苏州恒久印务有限公司印装

(地址: 苏州市友新路 28 号东侧 邮编: 215128)

开本 700 mm×1 000 mm 1/16 印张 11 字数 210 千

2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-1625-9 定价: 28.00 元

苏州大学版图书若有印装错误, 本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-65225020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

前言 QIANYAN

大学物理实验作为一门传统的高等院校理工科必修基础实验课程,主要用于训练和培养学生基本的系统实验思维方法和实验技能。随着时代的进步,科学计算和信息技术在物理学发展中所起的作用越来越明显,通过计算机方法来解决科学方面的问题日益成为理工类学生在今后的工作或科研中所必须拥有的能力。将科学计算与大学物理实验教学相整合,体现了大学物理实验教学的现代化,是大学物理实验教学改革方向之一。另外,大学物理实验的教学过程本身也需要加入科学计算的内容来配合其不断扩展的教学内容,并激发学生学习物理知识的兴趣。而且,科学计算成本低、上手快、操作性强,可以广泛应用于大学物理探究性教学的过程中。培养学生科学观念、科学思维、探索精神、创新精神等方面的能力,对于现代大学物理实验课程的创新与发展有着重要的意义。

MATLAB 因具有很好的数据处理功能及强大的绘图功能而在各个专业都得到了广泛应用,然而,目前针对 MATLAB 用于大学物理实验教学的专著尚不多见。本书对于 MATLAB 语言如何应用到大学物理实验教学中进行了初步的尝试,旨在将 MATLAB 科学计算方面的内容逐渐融入大学物理实验的教学过程中,从基础课阶段开始就培养学生这方面的能力,以使其在后续课程的学习中能得到进一步的锻炼和提高。另外,在大学物理实验中,实验数据的处理也至关重要,而传统的数据处理手段制约着处理方法的深入应用。在手工处理数据的条件下,通常只能使用列表法、作图法、逐差法等,不仅效率低、容易引入习惯误差,且主要只对线性关系有效。MATLAB 提供了大量的科学计算函数,用来处理曲线拟合、数据插值等问题非常便捷。本书根据学生的认知规律和一般教学规律,按光学实验、力学实验、热学实验及信号与系统处理实验的顺序来进行内容编排。选取光学、力学、热学及信号与系统处理中一些典型的实验作为实验内容。

本书充分吸收了苏州大学物理科学与技术学院物理实验中心在物理实



验方面多年的教学实践经验,并充分反映了其教学特色,对不同理工类专业的学生,根据人才培养目标不同,选择不同层次的实验,以达到因材施教和开阔学生眼界、拓宽学生思维的目的。

参加本教材编写的有:苏州大学物理科学与技术学院物理实验中心杨俊义、张晓俊、周皓、杨勇、王健翔及苏州科技学院物理实验中心沙金巧老师。

本书凝聚了苏州大学物理科学与技术学院教师的集体智慧,融入了物理实验中心教职员多年来教学改革的实践经验,充分参考了兄弟院校的相关教材,吸收了广大实验教学工作者教学改革的经验 and 做法,在此向对本书编写出版工作做出贡献的老师们一并表示感谢!

由于编者水平有限,实践经验不足,书中难免存在疏漏,恳请读者批评指正,提出宝贵的意见和建议。

编 者

2015 年 12 月

第 1 章 MATLAB 在大学实验中的应用基础知识 1

- 1.1 基础准备及入门 / 1
- 1.2 MATLAB 数值计算 / 7
- 1.3 MATLAB 绘图 / 39
- 1.4 MATLAB 程序设计 / 50

第 2 章 MATLAB 在光学实验中的应用 60

- 2.1 牛顿环的 MATLAB 模拟实验 / 60
- 2.2 偏振现象的 MATLAB 模拟实验 / 63
- 2.3 单缝衍射相对光强分布的 MATLAB 模拟实验 / 66
- 2.4 迈克耳孙干涉仪的 MATLAB 模拟实验 / 69
- 2.5 全息照相的 MATLAB 模拟实验 / 72

第 3 章 MATLAB 在力学实验中的应用 78

- 3.1 弹簧振子振动的 MATLAB 模拟实验 / 78
- 3.2 弦振动的 MATLAB 模拟实验 / 80
- 3.3 拍现象的 MATLAB 模拟实验 / 82
- 3.4 多普勒效应的 MATLAB 模拟实验 / 85
- 3.5 三线摆测量圆环转动惯量的 MATLAB 模拟实验 / 88





第 4 章 MATLAB 在热学实验中的应用

92

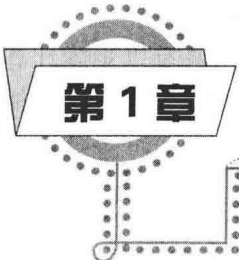
- 4.1 薄板的稳态热传导实验 / 92
- 4.2 薄板的非稳态热传导实验 / 96
- 4.3 使用 PDE 工具箱 GUI 界面进行计算设置 / 99

第 5 章 MATLAB 在信号处理中的应用

104

- 5.1 连续时间信号和离散时间信号在 MATLAB 中的表示 / 104
- 5.2 连续时间信号和离散时间信号在 MATLAB 中的运算 / 114
- 5.3 连续时间信号和离散时间信号在 MATLAB 中的变换 / 124
- 5.4 连续时间系统和离散时间系统在 MATLAB 中的时域分析 / 134
- 5.5 连续时间系统和离散时间系统在 MATLAB 中的变换域分析 / 141
- 5.6 连续时间系统和离散时间系统在 MATLAB 中的零极点分析 / 151

参考文献 / 167



第1章

MATLAB在大学实验中的应用 基础知识

1.1 基础准备及入门

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件,它是用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境,主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。MATLAB 是 matrix&laboratory 两个词的组合,意为矩阵工厂(矩阵实验室),它是由美国 MathWorks 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中,为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案,并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言(如 C、FORTRAN)的编辑模式,代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

MATLAB 和 Mathematica、Maple 并称为三大数学软件。在数学类科技应用软件中,MATLAB 在数值计算方面首屈一指。MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等,主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通信、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。

MATLAB 的基本数据单位是矩阵,它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似,故用 MATLAB 来处理数学计算等问题要比用 C、FORTRAN 等语言简捷得多,并且 MATLAB 吸收了像 Maple 等软件的优点,使 MATLAB 成为一个强大的数学软件。在新的版本中加入了对 C、FORTRAN、C++、Java 的支持。MATLAB 的应用领域极为广泛,除了数学

计算和分析外,还被广泛应用于自动控制、系统仿真、数字信号处理、图形图像分析、数理统计、人工智能、虚拟现实技术、通信工程、金融系统等领域,因此,MATLAB 是面向 21 世纪的计算机程序设计及科学计算语言。

MATLAB 是功能强大的科学及工程计算软件,它不但具有以矩阵计算为基础的强大数学计算和分析功能,而且还具有丰富的可视化图形表现功能和方便的程序设计能力。

MATLAB 系统包括以下 5 个主要部分。

(1) 开发环境

MATLAB 开发环境由一组工具和组件组成,这些工具是图形化的用户界面,包括 MATLAB 桌面和命令窗口、命令历史窗口、帮助信息浏览器、工作空间浏览器、文件和搜索路径浏览器。

(2) MATLAB 数学函数库

MATLAB 集成了丰富的数学函数库,其强大的计算能力覆盖了从基本函数(如求和、指数运算、复数运算)到高级函数(如矩阵求逆、特征值、快速傅里叶变换等)的范围。

(3) MATLAB 语言

MATLAB 语言是一种以矩阵运算为基础的高级语言,包括控制流的描述、函数、数据结构、输入输出及面向对象的编程环境,既可以编制快速使用的小程序,也可以编制大型复杂的应用程序。

(4) 图形功能

MATLAB 提供了功能强大的图形系统,既可以用高级命令完成二维和三维数据的可视化、图像处理、动画和图形表达等功能,也可以通过使用图形句柄完成复杂的图形功能,实现对所有图形对象的操作。

(5) 应用程序接口

MATLAB 提供了应用程序接口库函数,容许用户使用 C 语言编写程序与 MATLAB 连接,功能包括与 MATLAB 的动态连接、调用 MATLAB 作为运算引擎、读写 Mat 文件等。

本章有两个主要内容:一是讲述 MATLAB 正常运行所必须具备的基础条件;二是简明系统地介绍高度集成的 Desktop 操作桌面的功能和使用方法。

MATLAB 每年有两个版本的更新,安装不同版本对计算机硬件有不同的要求。MATLAB 工具箱涉及各个领域,可以按照自己的需要选择安装,如图 1.1 所示。

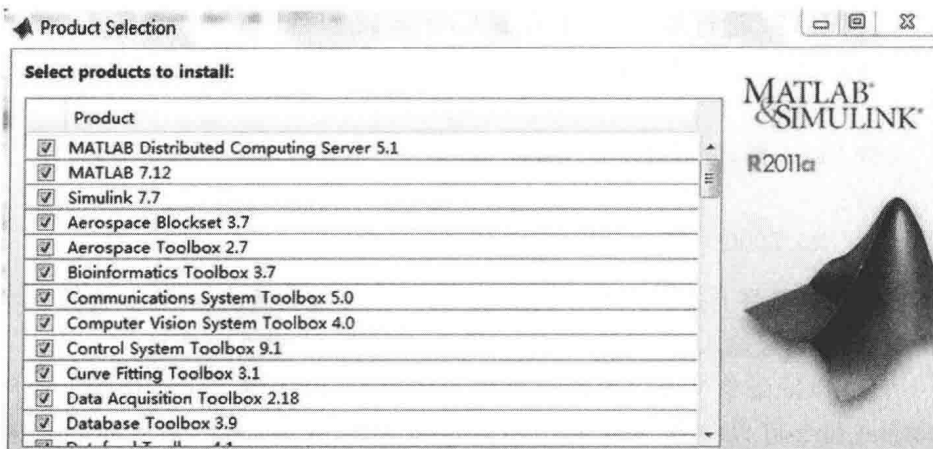


图 1.1 MATLAB 工具箱选择

安装完成后,启动 MATLAB,将显示包括命令窗口、启动平台窗口、工作空间窗口、历史命令窗口和当前路径窗口等,如图 1.2 所示。其中命令窗口是进行 MATLAB 操作的最主要的窗口。在该窗口内,可以键入各种送给 MATLAB 运作的指令、函数、表达式;显示除图形外的所有运算结果;运行错误时,给出相关的出错提示。命令窗口保留了 MATLAB 传统的交互式操作功能,在命令窗口中,“>>”为提示符。



图 1.2 MATLAB 启动界面

【例 1.1】 通过命令窗口直接输入, 计算 $18+5\sin(\pi/6)$ 。

在命令窗口中, 只需输入

```
18+5 * sin(pi/6)
```

按 Enter 键, 就可以得到计算结果

```
ans=
```

```
20.5000
```

如果想要将上式改为 $18+3\sin(\pi/6)$ 。不必逐一重新输入, 只需按一次 $\uparrow$ 键, 调回已经输入的 $18+5\sin(\pi/6)$, 将其中的 5 修改为 3 即可。

使用 `clc` 命令可以清除窗口中显示的内容, 但不清除工作空间。使用 `format` 命令可以控制命令窗口中数值的显示格式(显示格式也可以在 Preferences 中设置)。

在当前目录浏览器中, 展示了子目录、M 文件、MAT 文件和 MDL 文件等。对该界面上的 M 文件, 可直接进行复制、编辑和运行; 界面上的 MAT 数据文件, 可直接送入 MATLAB 工作内存。对该界面上的子目录, 可进行 Windows 平台的各种标准操作。此外, 在当前目录浏览器正下方, 还有一个文件概况窗, 该窗显示所选文件概况信息。

工作空间窗口默认位于当前目录浏览器后台。该窗口罗列出 MATLAB 工作空间所有的变量名、大小、字节数; 在该窗口中, 可对变量进行观察、图示、编辑、提取和保存等操作。

历史命令窗口记录已经运行过的命令、函数、表达式及它们运行的日期、时间。该窗口中的所有命令、文字都允许复制、重运行及用于产生 M 文件。在命令窗口中使用 `who` 和 `whos` 命令, 可列出每一变量信息。

在命令窗口中输入 `who`, 输出为

```
>> who
```

```
Your variables are:
```

```
X          a          b          caption  map
```

在命令窗口中输入 `whos`, 输出为

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class	Attributes
X	480x640	2457600	double	
a	9x9	648	double	
b	1x1	8	double	
caption	2x63	252	char	
map	64x3	1536	double	

当前路径窗口如图 1.3 所示,它提供了当前路径下文件的操作。在该窗口的某一文件上单击鼠标右键会弹出相应菜单,如图 1.4 所示。

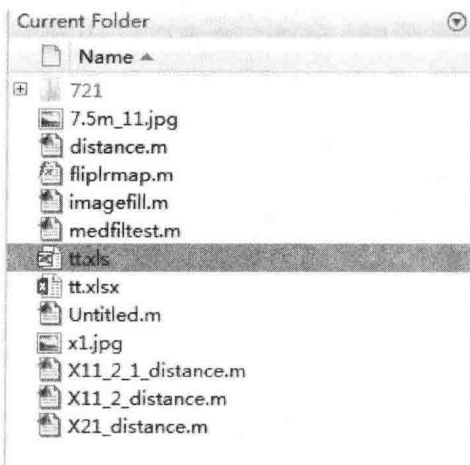


图 1.3 当前路径窗口



图 1.4 当前路径窗口弹出菜单

搜索路径是 MATLAB 定义的一系列文件路径组合,缺省状态下包括当前路径和已经安装的全部工具箱路径,当程序或命令执行时, MATLAB 在搜索路径中查找命令或程序运行所需的 M 文件和各种数据文件。搜索路径设置窗口如图 1.5 所示。

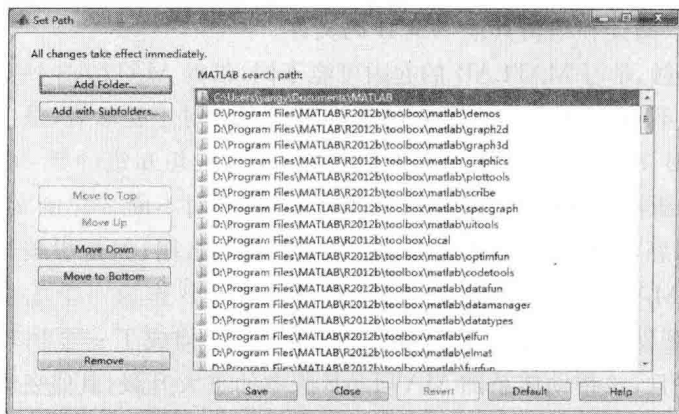


图 1.5 搜索路径设置窗口

MATLAB 的命令文件和函数文件都是扩展名为“.m”的文件,通常称为 M 文件。M 文件是纯文本文件,可以用任何文本编辑器编辑。MATLAB 的开发环境中包含的 M 文件编辑器不但提供 M 文件编辑功能,同时还可实现 MATLAB 命令和函数文件的运行和调试。对于比较简单的问题及一次性问

题,通过在命令窗口中直接输入一组指令去求解,是比较简便、快捷的。但当待解决问题所需的命令较多、所用命令结构较复杂时,或当一组命令通过改变少量参数就可以被反复使用去解决不同的问题时,直接在命令窗口中输入命令的方法就显得烦琐和笨拙。M 文件就是设计用来解决这个问题的。图 1.6 为 M 文件编辑器示意图。

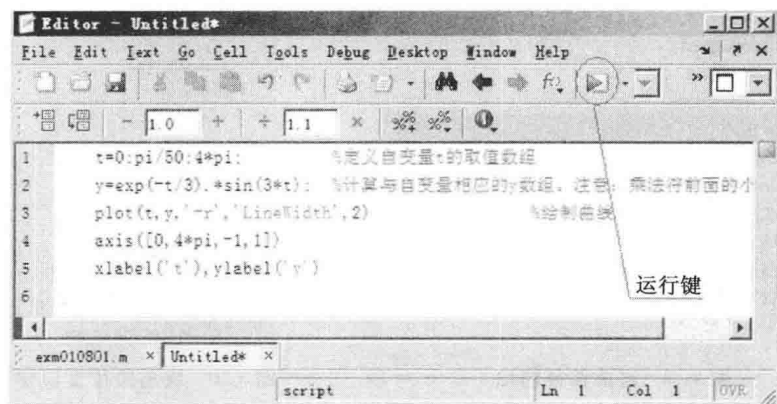


图 1.6 M 文件编辑器示意图

默认情况下,M 文件编辑器(Editor/Debugger)不随 MATLAB 的启动而开启,只有当编写 M 文件时才启动。M 编辑器不仅可以编辑 M 文件,而且可以对 M 文件进行交互式调试;M 文件编辑器不仅可处理带“.m”扩展名的文件,而且可以阅读和编辑其他 ASCII 码文件。

读者接触、学习 MATLAB 的起因可能不同,借助 MATLAB 所想要解决的问题也可能不同,从而会产生不同的求助需求。如对于初学者,最急于知道的是 MATLAB 的基本用法;而 MATLAB 的老用户很想知道的是:MATLAB 新版本有什么新特点、新功能;对科研工作者来说,面对不断变化的实际问题,常产生两类困惑,一是知道具体命令,但不知道该怎么用;二是想解某个具体问题,不知道 MATLAB 有哪些命令可用。MATLAB 作为一个优秀的科学计算软件,其帮助系统考虑了不同用户的不同需求,构成了一个比较完备的帮助体系。并且,该帮助体系随 MATLAB 版本的重大升级,其完备性和友善性都会有较大的进步。作者建议不管以前是否使用过 MATLAB,任何用户都应尽快了解 MATLAB 的帮助系统,掌握各种获取帮助信息的方法。只有这样,用户才可能较好地运用 MATLAB 资源,快捷、可靠、有效地独立解决自己面临的各种问题。MATLAB 帮助系统包括以下几类。

(1) help 函数搜索命令

在“知道具体函数命令名称,但不知道该函数如何使用”的情况下,就可

以运用 help 函数搜索命令获得该具体函数的帮助信息。help 函数搜索命令的调用方法如下：

help	列出所有函数分组名(TopicName)
help TopicName	列出指定名称函数组中的所有函数
help FunName	列出指定名称函数的使用方法

(2) helpbrowser 或 doc 命令引出帮助浏览器

helpbrowser 或 doc 命令可以引出帮助浏览器,在帮助浏览器中输入函数就可以搜索该函数的帮助信息。

(3) doc 命令搜索函数

函数搜索命令的调用方法如下：

doc TopicName	列出指定名称函数组中的所有函数
doc FunName	列出指定名称函数的使用方法

需要注意的是,doc 搜索函数的用法与 help 的基本一致,不同点是 doc 的帮助信息是在帮助浏览器中显示的,而 help 直接在命令窗口中显示。

(4) lookfor 词条搜索命令

lookfor 词条搜索命令的调用方法如下：

lookfor Keyword 对 m 文件 H1 行进行单词检索

(5) docsearch 词条搜索命令

docsearch 词条搜索命令与 lookfor 的区别是,它是对 HTML 子系统进行多次条检索。

(6) helpdesk 引出帮助界面

(7) helpwin 命令

helpwin 命令的功能是在帮助浏览器中显示帮助信息。

1.2 MATLAB 数值计算

作为优秀的数学计算和分析软件,以矩阵运算为代表的基本运算功能一直是 MATLAB 引以为豪的核心和基础。在 MATLAB 中,标量可以是 1×1 的矩阵, n 维矢量可以看成 $n \times 1$ 的矩阵。在 MATLAB 中,矩阵和数组的输入形式和书写方法是相同的,不需要加以说明,都是一些数的集合,其区别仅仅在于,进行运算时数组的运算是数组中对应元素的运算,而矩阵运算则应符合矩阵运算的规则。本节将详细介绍 MATLAB 的基本运算功能,包括矩阵和数组的创建及其运算方法。

1.2.1 变量和数据

1.2.1.1 数据类型

数据类型包括数值型、字符串型、元胞型、结构型等。数值型包括双精度型、单精度型和整数类。整数类包括无符号类(uint8、uint16、uint32、uint64)和符号类整数(int8、int16、int32、int64)。

1.2.1.2 数据

(1) 数据的表达方式

可以用带小数点的形式直接表示,也可以用科学计数法表示,用科学计数法表示的数值范围是 $10^{-309} \sim 10^{309}$ 。

以下都是合法的数据表示:

-2.567 、 $2.56e-56$ (表示 2.56×10^{-56})、 $4.68e204$ (表示 4.68×10^{204})

(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:是指 1×1 的矩阵,即为只含一个数的矩阵。

向量:是指 $1 \times n$ 或 $n \times 1$ 的矩阵,即只有一行或者一列的矩阵。

矩阵:是一个矩形的数组,即二维数组,其中向量和标量都是矩阵的特例, 0×0 矩阵为空矩阵($[]$)。

数组:是指 n 维的数组,为矩阵的延伸,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。复数运算不需要特殊处理,可以直接进行。

复数可以有以下几种表示:

$$z = a + b * i \text{ 或 } z = a + b * j$$

$$z = a + bi \text{ 或 } z = a + bj \text{ (当 } b \text{ 为标量时, } b \text{ 和虚数单位之间没有运算符)}$$

$$z = r * \exp(i * \theta)$$

以下运算可得出一个复数的实部、虚部、幅值和相角:

$$a = \text{real}(z) \quad \% \text{计算实部}$$

$$b = \text{imag}(z) \quad \% \text{计算虚部}$$

$$r = \text{abs}(z) \quad \% \text{计算幅值}$$

$$\theta = \text{angle}(z) \quad \% \text{计算相角}$$

说明:

$$\text{复数 } z \text{ 的实部 } a = r * \cos(\theta)$$

$$\text{复数 } z \text{ 的虚部 } b = r * \sin(\theta)$$

复数 z 的幅值 $r = \sqrt{a^2 + b^2}$

复数 z 的相角 $\theta = \arctg(b/a)$ (以弧度为单位)

1.2.1.3 变量

(1) 变量的命名规则

变量名区分字母的大小写,例如,“a”和“A”是不同的变量。

变量名不能超过 63 个字符,第 63 个字符后的字符被忽略,对于 MATLAB 6.5 版本以前的版本,变量名不能超过 31 个字符。

变量名必须以字母开头,变量名的组成可以是任意字母、数字或者下划线,但不能含有空格和标点符号(如, . % 等)。例如,“6A BC”“AB%C”都是不合法的变量名。

关键字(如 if、while 等)不能作为变量名。

(2) 特殊变量

MATLAB 有一些自己的特殊变量,如表 1.1 所示,当 MATLAB 启动时驻留在内存中。

表 1.1 特殊变量表

特殊变量	取 值
ans	运算结果的默认变量名
pi	圆周率 π
eps	计算机的最小数
flops	浮点运算数
inf	无穷大,如 $1/0$
NaN 或 nan	非数,如 $0/0$ 、 ∞/∞ 、 $0 \times \infty$
i 或 j	$i=j=\sqrt{-1}$
nargin	函数的输入变量数目
nargout	函数的输出变量数目
realmin	最小的可用正实数
realmax	最大的可用正实数

在 MATLAB 中系统将计算的结果自动赋给名为“ans”的变量。

1.2.2 矩阵和数组

MATLAB 最基本也是最重要的功能就是进行实数或复数矩阵的运算。

1.2.2.1 矩阵输入

- 矩阵元素应用方括号([])括住。
- 每行内的元素间用逗号或空格隔开。

● 行与行之间用分号或回车键隔开。

● 元素可以是数值或表达式。

(1) 通过显式元素列表输入矩阵

$c=[1\ 2;3\ 4;5\ 6]$ % $[]$ 表示构成矩阵,分号分隔行,空格分隔元素

$c=$

1 2

3 4

5 6

也可以用回车键代替分号分隔行,结果相同。

(2) 通过语句生成矩阵

① 使用 $from:step:to$ 方式生成向量。

$from:to$

$from:step:to$

说明:

● $from$ 、 $step$ 和 to 分别表示开始值、步长和结束值。

● 当 $step$ 省略时默认为 $step=1$ 。

● 当 $step$ 省略或 $step>0$ 而 $from>to$ 时为空矩阵,当 $step<0$ 而 $from<to$ 时也为空矩阵。

【例 1.2】 使用“ $from:step:to$ ”方式生成以下矩阵。

$x1=2:5$

$x1=$

2 3 4 5

$x2=2:0.5:4$

$x2=$

2.0000 2.5000 3.0000 3.5000 4.0000

$x3=5:-1:2$

$x3=$

5 4 3 2

$x4=2:-1:3$

%空矩阵

$x4=$

Empty matrix: 1-by-0

$x5=2:-1:0.5$

$x5=$

2 1

$x6=[1:2:5;1:3:7]$

%两行向量构成矩阵