

彭芳麟 管 靖 胡 静 卢圣治 著

理论力学计算机模拟



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



理论力学计算机模拟

彭芳麟 管 靖 胡 静 卢圣治 著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书介绍数学软件 MATLAB 在理论力学教学中的应用。全书分为两章,第 1 章简明地介绍 MATLAB 的基础知识,第 2 章将理论力学教材中精选的 24 个典型的线性与非线性问题进行数值求解,给出了求解过程与程序,并将结果做成模拟实物运动的动画。本书用 MATLAB 对理论力学教材中的微分方程进行数值求解,有一定的独创性。书中大量的程序实例不仅实用,也有许多使用 MATLAB 的独特技巧,值得借鉴。全书将数值计算、学习 MATLAB 与学习理论力学融为一体,颇有新意,叙述从入门起步,循序渐进,读者只要具备大学理工科二年级的知识就可以看懂本书。本书既可作为大学选修课的教材,也可作为学习理论力学的参考书,还可作为学习 MATLAB 编程技巧的参考书。本书附送光盘一张,其上有书中的全部程序和一个多媒体课件,可供教师在课堂上作教学演示之用。此外,光盘上还有两段录像,分别介绍和演示 MATLAB 的基本用法及多媒体课件的使用。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 理论力学计算机模拟

作 者: 彭芳麟 管靖 胡静 卢圣治 著

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京国防工业出版社印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.25 字数: 288 千字

版 次: 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05162-3/TP·3096

印 数: 0001~5000

定 价: 31.00 元(配 VCD 盘)

前言

计算机是信息时代最重要的标志之一。计算机及计算方法的高速发展使得计算机模拟成为物理研究中除实验、理论分析之外的第三种研究手段。这种变化势必会反映到大学物理课程的教学中来。又由于日新月异的计算软件的优秀性能,使得学习计算技术也成为一项轻松愉快的工作。原来在大学理论物理的教学中,对不能求解析解的常微分方程和偏微分方程是不要求学生掌握其解法的,今天借助先进的数学软件,我们已经可以很方便地教会学生如何去求解这些方程。学生在掌握这些解法之后,不仅提高了能力,也能更深刻地理解其中的物理规律。换言之,在教学中已经有可能把理论物理的学习与培养学生用计算机通过数值计算来研究物理问题的能力结合起来。

《理论力学计算机模拟》就是上述变化的产物,它是我们为北京师范大学物理系二年级本科生新开设的一门课程,该课程与理论力学课并行开设,教学安排是:先用8学时为学生介绍MATLAB的基本知识,然后安排学生每周2学时的上机,让学生完成一定数量的实验题目。期末再布置一些题目或由学生自己选题作为考察成绩之用。本书就是这门课程的教材,书中的程序,多数来自于学生的工作,再经过教师的加工整理而成。

开设这门课程的指导思想是:

1. 理论力学教材现代化呼唤新的教学内容和新的教学手段

长期以来,理论力学教材的内容基本上是停留在牛顿理论和拉格朗日、哈密顿理论的框架内,数学上仅限于解析求解线性方程,这种状况已经不能适应当前的科技发展的形势。20世纪60年代取得突破并蓬勃发展起来的非线性科学,对当前和未来的科学发展起着重要的作用。新世纪的大学生急需更新观念,把目光引向科学的前沿——非线性科学。为此,作为教材现代化的一个重要内容,我们将非线性振动的基础知识作为介绍非线性科学的一个窗口,作为新的基础理论引入了新编的理论力学教材。

非线性科学的许多内容都是计算物理的重要成果,在非线性科学中遇到的大量的非线性微分方程都是用计算机数值求解的。在教材中介绍非线性振动,最好让学生直接学习用计算机的数值计算功能和可视化功能来揭示和探索非线性现象,这样做同时也解决了教材中原有的其他非线性问题。

2. 教学手段和方法的现代化带来了新的教学目标

在当今的信息时代,计算机无孔不入,无处不在。计算机作为现代化的教学手段,已经广泛地应用于教学之中,但更多的是用作多媒体演示,是教师的教学辅助工具。如前所述,计算机模拟已经成了物理研究中的第三种手段,如

果把培养学生用计算机数值计算研究物理问题的能力作为新的教学目标,则计算机不仅仅是教师辅助教学的工具,也是学生学习的必备工具。与多媒体课件相比,让学生进行计算机模拟实验,使学生由观看变成参与,由被动接受变成主动研究,将更能激发学生的学习兴趣,调动学生的创造力,发挥学生的想象力,帮助学生更好地完成学习任务。但是如何去实现这一目标,则是见仁见智。我们在这门课程的做法是:将理论物理的学习与数值计算能力的培养结合起来,让学生用计算机来解决学习理论力学中遇到的计算问题,强调通过学用结合的实践来培养能力。

3. 科学与工程计算语言 MATLAB 是数值计算的优秀工具

《理论力学计算机模拟》能够顺利开设的重要原因是因为采用了 MATLAB 作为计算工具。MATLAB 易学易用,对学生而言,它是一个真正的计算工具,而不是一门新的计算机课程。学生只要经过十多个小时的练习,就能用它完成所需要的计算,学生的精力是在研究物理问题上,而不是在编程计算上。所以在教学上是以学生探索式自学与上机实践为主,教师讲授为辅。在基本上没有增加学生负担的前提下,用很少的学时完成教学内容。学生学习的内容包括用 MATLAB 数值求解常微分方程并作时间历程图与相图;作快速傅里叶变换并画功率谱图;作符号运算如用拉普拉斯变换法解常微分方程组;作动画模拟与作用用户界面等。书中的程序为 MATLAB 的编程应用提供了许多实际的技巧和方法。由此联想到,数学软件在物理中的应用日趋广泛,如何在物理课程的教学上反映出来,也是值得人们思考的问题。

本书的部分内容在 2001 年 7 月由理论力学教学研究会与北京师范大学物理系联合举办的全国高校理论力学教师讲习班上曾作过介绍,受到 30 余所高校教师的一致好评。在中国物理学会举办的全国多媒体与网络物理教学成果评比大会上本书的程序获得一等奖。在 2001 年第 8、10、11 期《大学物理》杂志上都有文章介绍这项工作。在中国物理学会教学委员会七届二次扩大会议上,这项工作的报告也引起了专家们的广泛兴趣和重视。我们希望通过本书的出版,能与更多的教师和学生进行交流,也能得到更多的专家和同行们的批评指导。由于这项工作还在探索之中,作者的学识水平有限。加之时间仓促,书中疏漏之处乃至错误难以完全避免,欢迎读者提出意见,我们的电子邮件地址是 ppffl@263.net。

如果使用本书作为选修课教材,作者建议,教师只须讲解第 1 章的基本内容和第 2 章中几个简单的例子,如粒子散射、水星近日点的进动和落体偏东等,然后由学生自己完成 4~5 个例子,如阻尼斜抛运动、带电粒子在电磁场中的运动、小环在转动大环上的运动、傅科摆、滑动摆和倒摆的强迫振动等,就可以认为本课程的教学要求已经达到。其余的例子则作为选题,供教师考察学生能

力之用。学生可以根据兴趣从中选择一个例子加以研究,对程序进行修改甚至重新编程。当然学生也可以利用学到的知识去解决教科书中其它的习题。书中的程序仅供参考,它不是唯一的解法甚至不一定是最好的解法。读者完全可以独立地去解决书中的题目。我们的工作只是抛砖引玉,希望读者能编出更优秀的程序。

本书附有光盘,光盘中的 readme 是使用说明。光盘的 dyz 目录下是书中第 1 章中各个例题的程序,每个程序文件的命名与书中相同。光盘的 lxsy 目录下是书中的 24 个实验题目的程序,每个程序文件的命名也与书中相同。在 lxsyjm 目录下是作成了用户界面的 24 个实验题目的程序,这样即使不了解程序和编程过程,也能方便地使用这些程序作为多媒体演示的课件。光盘中还有两段教学录像,分别介绍 MATLAB 的基本用法及多媒体课件的用法。使用本书时,不妨先看看光盘上的录像,再实际演示一下多媒体课件中的各个程序,这样就会对本书内容有一个大致的印象。然后去阅读书上的内容,就很容易达到事半功倍之效。

北京师范大学物理系九九届学生在学习本门课程时所表现出来的巨大热情是本书成功的重要因素,其中吴海诚、江进武、刘志强、刘微、李光蕊、欧阳敏、胡进良、王平、闫静、龚雪飞、李昱、刘艳丽、尤文龙等同学表现十分突出,尤其是陈锡辉和贾砚宾两位同学直接参与了本书程序的整理与录入。还有九八届的沈福根、汤仙明、孙永新、吴国先、曹周健等同学曾参与本书的初期准备工作。

本书的分工是:彭芳麟编写第 1 章与第 2 章的程序并负责全书的组织、校对及将全书用 CCT 系统排版,管靖、胡静和卢圣治负责第 2 章中力学实验题目的编写。

作者十分感谢清华大学出版社对本书出版的支持,尤其感谢责任编辑宋成斌和韩燕丽为本书所付出的辛勤劳动。

著 者

2001 年 12 月

作
者
简
介

□
彭芳麟

1947年生，1970年毕业于北京师范大学天文系，1980年获北京师范大学物理系硕士学位，现为北京师范大学物理系教授。

长期从事教学及信息光学与量子光学方面的科研，在国内外学术刊物上发表论文20余篇，参与编写《量子力学》、《原子物理学》及翻译《用MAPLE和MATLAB解决科学计算问题》，曾获中国科学院重大科技成果三等奖、北京市科技发明三等奖和北京市教育教学成果二等奖。

责任编辑：宋成斌
封面设计：常雪影

目 录

第 1 章 MATLAB 简介	1
1.1 预备知识	1
1.1.1 操作界面	2
1.1.2 在线帮助	4
1.2 矩阵与表达式	6
1.2.1 数据、变量名、算符与表达式	6
1.2.2 矩阵	10
1.2.3 符号变量	18
1.2.4 其它数据结构	21
1.3 编程	29
1.3.1 程序文件的编辑与调试	29
1.3.2 指令类文件和函数类文件	34
1.3.3 流程控制	36
1.3.4 数据输入与输出	43
1.4 常用的计算指令	44
1.4.1 插值与曲线拟合	44
1.4.2 快速傅里叶变换	47
1.4.3 求极大值、极小值和零点	50
1.4.4 解方程与方程组	55
1.4.5 指令中的选项	59
1.4.6 差分、微分、梯度和拉普拉斯算符	61
1.4.7 积分	66
1.4.8 解常微分方程组	69
1.5 作图和动画	85
1.5.1 二维图形	86
1.5.2 三维图形	91
1.5.3 句柄图形	98
1.5.4 动画	99
1.6 工具箱	101
1.6.1 符号运算工具箱	101
1.6.2 偏微分方程工具箱	105

第 2 章 模拟实验题目	108
2.1 阻尼斜抛运动	108
2.2 行星轨道	113
2.3 粒子散射	117
2.4 水星近日点的进动	120
2.5 霍曼轨道	122
2.6 行星引力加速	128
2.7 带电粒子在电磁场中的运动	133
2.8 落体偏东	136
2.9 小环在转动大环上的运动	140
2.10 小球在弹簧顶端木块上的弹性跳动	143
2.11 大摆角单摆	147
2.12 弹簧摆	152
2.13 滑动摆	155
2.14 傅科摆	159
2.15 铰链连接的双摆	161
2.16 弹簧连接的耦合摆	166
2.17 三自由度系统的微振动	173
2.18 苯环模型	183
2.19 自激振动	192
2.20 倒摆的强迫振动	198
2.21 圆环的滚动	204
2.22 惯量椭球	208
2.23 欧拉角	214
2.24 圆锥陀螺运动	217
附录A MATLAB 主要指令	221
附录B 符号工具箱指令	234
参考文献	236

第 1 章 MATLAB 简介

本章介绍一些 MATLAB 的基本知识，内容侧重在物理计算中会用到的知识，如数据结构、有关计算的指令、编程以及图形与动画的制作。

1.1 预备知识

MATLAB 是矩阵工作室 (Matrix Laboratory) 的缩写，它是一个在欧美十分流行的通用性很强的优秀数学软件，占据了数学计算软件市场的主导地位。科技人员和工程人员即使不掌握 C 语言或 FORTRAN 语言，只要经过很短时间的学习，也能利用它轻松地去完成专业的科学计算和作图的任务。它不仅是科研的工具，也是高校里的本科生、硕士和博士们学习的好帮手。

MATLAB 的基本特点有：

①极强的数值计算功能和作图功能（可以作动画和用户界面），也有很强的符号计算功能。

②图形窗口式的操作界面，一看就懂，一用就会。使用常用的数学符号和表达式，贴近人们的思维习惯。默认使用复数与矩阵，计算速度快。

③用简单的指令就可以完成大量的计算与作图功能。编程语法简单，程序设计方便。绝大部分指令的程序是开放的，用户可以模仿和修改。

④有大量的不同领域的专用工具箱，用户还可以开发自己的专用工具箱。

本书选用 MATLAB 作为计算工具，就是因为用数学软件编程，简单明了，一目了然，初学者很快可以掌握编程的思路和方法。本书的全部程序都是用 MATLAB 编写的，从中可以看到，FORTRAN 要用数千行的语句编写的程序在 MATLAB 的程序中只是寥寥数行像公式一样简单明了的语句。学习和使用 MATLAB，省时省力，可以把科技工作者从繁重的编程劳动中解放出来，使他们有更多的时间和精力去研究物理规律本身。

本章的内容按教学顺序安排。对某些较简单的内容，本书只是略加介绍，有兴趣的读者可以参看本书参考文献中介绍的参考书。而对一些重要的又容易令初学者感到困惑的 MATLAB 的用法，如正确区分数据的类型，解非线性方程的指令 `fsolve` 中优化选项 (options) 的用法，解常微分方程中函数文件 (odefile) 的编写，指令的选用等，则尽量详细解释。其中有的是笔者自己应用 MATLAB 的心得体会。所选的例子大多数是物理问题，每题都带有参考程序。笔者认为，

实际程序中的技巧，往往难以用文字解释。根据笔者的教学经验，读者在学完这些内容之后，已经能应用 MATLAB 来解决本书中的物理问题了。

在掌握 MATLAB 的基本操作以后，可以顺序阅读后面的内容，也可以从中选择一个自己感兴趣的课题去尝试编程解决它。在独立编程遇到困难以后再参考书中的程序，这比只是将书中程序在计算机上演示一遍所能得到的收获要大。编程能力的高低反映了掌握 MATLAB 的实际水平。只有经过独立编程的练习才能真正驾驭 MATLAB，所以读者一定要学会独立编辑一些程序。

本书内容是以 MATLAB 6.0 版本为准，与以前的版本相比，该版本增加了许多人机交互工作界面，使用起来更加方便快捷。但是 MATLAB 6.0 与 MATLAB 5.3 的指令变化不是太大，所以书中的程序在 MATLAB 5.3 的版本中也能运行。

1.1.1 操作界面

1. 操作桌面窗口与指令窗口

在 WINDOWS 操作系统的窗口中用鼠标双击 MATLAB 的图标即可进入如图 1.1 所示的 MATLAB 的操作桌面窗口 (Desktop)。如果没有图标，可利用 matlab \bin\win32 目录下的 matlab.exe 文件建立一个。

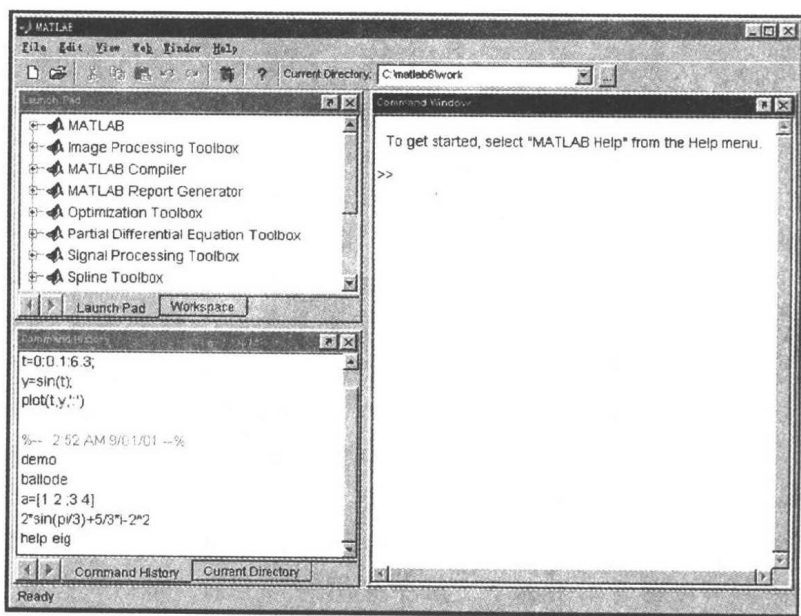


图 1.1 MATLAB 操作桌面窗口

这个窗口中包含有五个窗口，默认的设置有三个显示出来，另外两个是隐藏的。显示出来的是指令窗 (Command Window)、工作目录窗口 (Launch Pad) 和

指令记录窗口 (Command History); 隐藏的是当前工作的内存空间浏览器窗口 (Workspace) 和当前工作目录窗口 (Current Directory)。要使五个窗口都显现, 可以依次逐层点击操作桌面窗口中的菜单 View\Desktop\Five Panel; 恢复默认设置则依次逐层点击 View\Desktop\Default; 由于大多数操作都是在指令窗进行, 可以只显现指令窗, 方法是依次逐层点击 View\Desktop\Command Window only。对于 MATLAB 6.0 以前的版本, 操作界面就是指令窗。

要退出 MATLAB 的方法有三种: 点击操作桌面窗口的右上角的 $\times$ 号, 用菜单 File 下的 Exit MATLAB 或者直接在指令窗中键入 quit 后回车。

操作桌面窗口是 MATLAB 提供给用户的操作界面, MATLAB 所有的功能都是通过在操作桌面上各个窗口的操作来实现的。所以, 操作桌面窗口是 MATLAB 的“大门”, 初学者应该熟悉操作桌面内各个窗口的各种操作。

2. 指令窗的使用

在指令窗内可以进行数值计算、关系运算和逻辑运算或者调用 MATLAB 的各种函数指令和程序。

例如指令 demo 是演示 MATLAB 的基本功能, 在指令窗中的命令行提示符“>>”后键入

```
>> demo
```

再按下 enter 键, 就会显示 MATLAB Demos 窗口, 再选择其中的各个条目并随时阅读窗口内的说明, 就可以浏览 MATLAB 基本功能。这种浏览往往是初学者的入门捷径。注意命令行提示符“>>”是在 MATLAB 6.0 的版本中才有的, 是自动显现在窗口中的, 以前的版本则没有, 绝不可以自己输入一个命令行提示符“>>”。

又如指令 ballode 是自由下落的小球和地面发生非弹性碰撞时的运动轨迹, 键入

```
>> ballode
```

再按下 enter 键, 就会显示一个图形窗口, 窗口内图形画出了小球的运动轨迹。

要计算表达式 $2 \sin \pi/3 + 5i - 2^2 \div 3$ 的值, 可键入

```
>> 2 * sin(pi/3) + 5*i - 2^2/3
```

按下 enter 键以后得到

```
ans =  
0.3987 + 5.0000i
```

这里 ans 是 answer 的略写, 是 MATLAB 默认的输出变量名。

要输入矩阵 $A = \begin{bmatrix} 5 & 8 \\ 2 & 6 \end{bmatrix}$ 可键入

```
>> A = [ 5, 8; 2, 6 ]
```

得到

```
A =  
    5    8  
    2    6
```

3. 指令窗操作注意事项

MATLAB 使用的是双精度的计算, 能自动识别复数, 指令窗默认的显示格式是 5 位数字的定点表示, 可以改变成其它表示格式。比如说, 如果要改成 15 位数字的定点表示, 可用鼠标双击菜单 File\Preferences, 然后在对话窗口中选择 Command Window, 再选 Numeric format 条目中的 long 即可。这时在指令窗输入

```
>> pi
```

按下 enter 键以后得到的是

```
ans =  
    3.14159265358979
```

如果在对话窗口中选择 General\Font & Colors, 就可以改变字体种类、大小和颜色, 等等。

对初学者, 在指令窗操作时还应特别注意以下几点:

- ① 所有输入的指令、公式或数值必须按下回车键以后才能执行。
- ② 所有的指令、变量名称都要区分字母的大小写。
- ③ 应该指定输出变量名称, 否则 MATLAB 将以 ans 作为默认的输出变量名。
- ④ 如果不需要在屏幕上显示结果, 可以在命令后面加上分号, 如 $A = 5 + 8$ 。
- ⑤ 如果要执行多个指令, 可以将它们编辑为一个程序(方法见后面介绍)。

在程序中, 如果命令太长, 在一行写不下, 可以用三个圆点 ... 分行, 表示命令延续到下一行。如

```
s = 1 - 1/2 + 1/3 - 1/4 + 1/5 - 1/6 + 1/7 ...  
    - 1/8 + 1/9 - 1/10 + 1/11 - 1/12
```

- ⑥ 等号 =、加号 + 和减号 - 前后的空格数不影响算符的作用。

1.1.2 在线帮助

MATLAB 有数千条指令, 初学者不可能也没有必要等到学完并记住这些指令以后才开始使用 MATLAB。一般只须对 MATLAB 略有了解便可以使用它, 然后边用边学, 由浅入深, 直到精通。这时最容易遇到的问题是, 不了解 MATLAB 有哪些指令, 也找不到自己想要的指令, 当然更不会使用这些指令。另外, 随着

MATLAB 的推广应用，MATLAB 的版本更新也在不断加快，功能不断增加，但各个版本的指令可能会有不同，随时掌握新版本的指令，也是用户要解决的问题。解决这些问题都可以借助 MATLAB 的在线帮助系统。MATLAB 的在线帮助系统很全面，能使用户很方便地查阅到自己想要的信息，但不同版本的帮助系统用法有所不同。学会使用在线帮助系统，常常是学习一种新的软件的速度方法。

由于本章只介绍了一部分指令的用法，为使读者了解更多的指令，在附录 A 分类列出了 MATLAB 的一些主要的但不是全部的指令。排列的顺序是，在第一个条目“主要函数指令分类”中，列出了所有指令的分类目录，在每类下面都包含若干指令，其后的条目再将这些指令具体列出。浏览一下，对 MATLAB 会有一个粗略的了解，随时查阅，也很方便。

在指令窗使用帮助系统的最简单方法是键入

```
>> help + 指令名称
```

它能将一个指令的语法和功能的最基本信息直接显示在指令窗中，是最快捷的取得帮助的途径。本书中对许多指令只介绍名称而不介绍用法，所以使用它们之前可用这个指令查一下它们的用法。比如想查询指令 `flipud` 的用法，操作是

```
>> help flipud
```

得到

```
FLIPUD Flip matrix in up/down direction.
```

```
FLIPUD(X) returns X with columns preserved and rows flipped  
in the up/down direction. For example,
```

```
X = 1 4      becomes  3 6  
    2 5              2 5  
    3 6              1 4
```

```
See also FLIPLR, ROT90, FLIPDIM.
```

帮助系统告诉我们，这个指令的用法是将矩阵的各列上下翻转，并且举了一个例子来说明它的用法。此外，与这个指令有关的指令还有 `fliplr`, `rot90`, `flipdim`。

注意，MATLAB 的在线帮助总是用大写字母来表示指令和变量名的（如上面的例子中指令是用 `FLIPUD` 表示），使其能与文字内容区分开来。然而使用指令名时必须使用小写（如在用 `help` 查找指令用法时用的是 `flipud`），因为 MATLAB 是区分大小写的，而实际使用的是小写。

除了上述帮助系统的用法之外，依次点击菜单 `Help\MATLAB help` 将会打开一个 `Help` 窗口，你可以从中查找自己所需要的内容，此外 MATLAB 带有一份较完整的 PDF 格式的说明书，在 `matlab\help\pdf-doc` 文件夹中，用鼠标双击相应的文件名即可打开。

在指令窗中还有一些常用指令：

who 列出内存中变量名	type 显示指定文件的内容
whos 列出内存中变量名及其性质	which 列出文件所在的目录
clear 清除内存	dbtype 显示文件中带行号的内容
clc 清除工作窗中的显示内容	disp 显示文字或变量内容
clf 清除图形窗中的显示内容	edit 编辑指定的文件
what 查看指定目录下的文件名	cd 改变当前工作子目录
exist 查找变量或文件	dir 列出指定目录下的文件

此外，在指令窗中键入 !，就能打开一个 DOS 窗口，在其中可以进行 DOS 环境下的各种操作，如直接调用外部程序等。

1.2 矩阵与表达式

本节介绍数据、变量名、算符和表达式的写法。

1.2.1 数据、变量名、算符与表达式

1. 数据格式

MATLAB 使用常规的十进制表示法，小数位数不限，可以用加号和减号表示正负数。10 的幂次表示为 e (或 E) 加上正负数字表示。MATLAB 默认的虚数单位是 i 和 j，数字后面可以直接加上 i 或 j 表示虚数，中间不要有空格或乘号；但表达式中或与矩阵连用时要在 i 或 j 之前加上 * 号。以下都是合法的数值表示法：

3 -99 0.00001
 9.639728 1.062010e-20 6.02252e23
 5 + 3i -3.14159i 3e5i

2. 算符

MATLAB 使用人们所熟悉的算符，表 1.1 是算术运算算符，表 1.2 是关系运算算符，表 1.3 是逻辑运算算符。

表 1.1 算术运算算符

加	减	乘	除	幂	括号
+	-	*	/	^	()

表 1.2 关系运算符

小 于	小于等于	等 于	大 于	大于等于	不等于
<	<=	==	>	>=	~=

表 1.3 逻辑运算符

与	或	非
&		~

3. 表达式

用算符把数字、变量和函数组合在一起，就建立了一个表达式。MATLAB 的数学表达式可以对整个矩阵进行运算。表达式中运算按常规的优先级自左至右执行，优先级的顺序是指数运算最优先，其次是乘除，最后是加减，可以用括号改变运算顺序。

4. 变量

可以用字母(即变量名)来代表具体的数据(如矩阵)，这称之为对一个变量赋值。使用变量名不必说明其是否是复数，是多少维，精度是多少，MATLAB 总是将它们默认为双精度的复数。

变量名用字母打头，后面可以跟字母、数字、下划线，数目不限。但只有变量名的前面 31 个符号有效。要查看一个变量的内容，只需键入其名称。

在指令窗的所有变量都会保存在工作内存空间，只要不关闭指令窗就可以调用它们。用指令 whos 可以查看它们的名称。清除某个变量用指令 clear + 变量名，清除所有变量用指令 clear all。

在 MATLAB 6.0 的操作桌面窗口中有一个工作内存空间窗口 (Workspace)，变量的名称、维数、所占空间大小及类型都列在其中。点击变量的名称，就会再打开一个矩阵编辑器窗口 (Array Editor)，变量的元素以表格形式排列其中，可以非常方便地查看和修改，也可以用它来输入大型矩阵。MATLAB 6.0 以前版本没有操作桌面窗口，要用菜单 File\Show Workspace 来打开工作空间浏览器窗口 (Workspace Browser)。

在 MATLAB 中某些变量名被默认为代表某些常用的常量：

pi	3.1415926	eps	2.2204e-016
i, j	虚数单位	realmin	最小浮点数 2.2251e-308
Inf	无穷大	realmax	最大浮点数 1.7977e+308
NaN	非数		

无穷大 Inf 产生于不为零的数被零除,或被值溢出的数学表达式所除。比如,超过最大实数的数作除数。非数 NaN 产生于求表达式 $(0/0)$ 或 $(\text{Inf}-\text{Inf})$ 的值,它们的数值没有定义。这些函数名并不是 MATLAB 保留的,它们可以重新定义为新的变量,例如可定义

```
>> eps = 1.0e-6
```

然后将其用于以后的运算。要恢复原来的内部函数值,可以键入

```
>> clear eps
```

5. 函数

MATLAB 中有全部初等函数的指令,如绝对值、平方根、指数、三角函数和双曲函数(见附录 A5.1)。取负数的平方根和对数会自动地得出相应的复数。MATLAB 也提供了许多更高级的函数,如贝塞尔函数和伽马函数(见附录 A5.2)。大多数这些函数都能接受复数。要看基本函数列表,只需键入

```
>> help elfun
```

要列出特殊函数可以键入

```
>> help specfun
```

某些函数,比如方根、正弦函数,是内建的,是 MATLAB 的内核的一部分,所以非常有效,但计算的细节则不容易得到。另一些函数,如双曲正弦函数、伽马函数,是用 M 文件(即扩展名为 .m 的文件)来建立的。你可以查看文件的核心内容甚至修改它。

用这些基本函数可以建造自己专用的单变量或多变量函数,方法有三种:用指令 inline,用符号变量和用 M 文件建造函数。这里先介绍用指令 inline 建造函数的方法(用符号变量建造函数的方法见 1.2.3 节,用 M 文件建造函数的方法见 1.3.2 节)。

要建立一个带参数 θ 的 x 的函数

$$ff = \cos^2 x^2 + \theta$$

并想得到当 $x = 3$, $\theta = 2.1$ 时函数的值。使用指令 inline 的操作如下:

```
>> FF = inline('cos(x^2)^2 + theta','x','theta')
```

```
FF =
```

```
Inline function:
```

```
FF(x,theta) = cos(x^2)^2+theta
```

```
>> FF( 3, 2.1 )
```

```
ans =
```

```
2.9302
```