

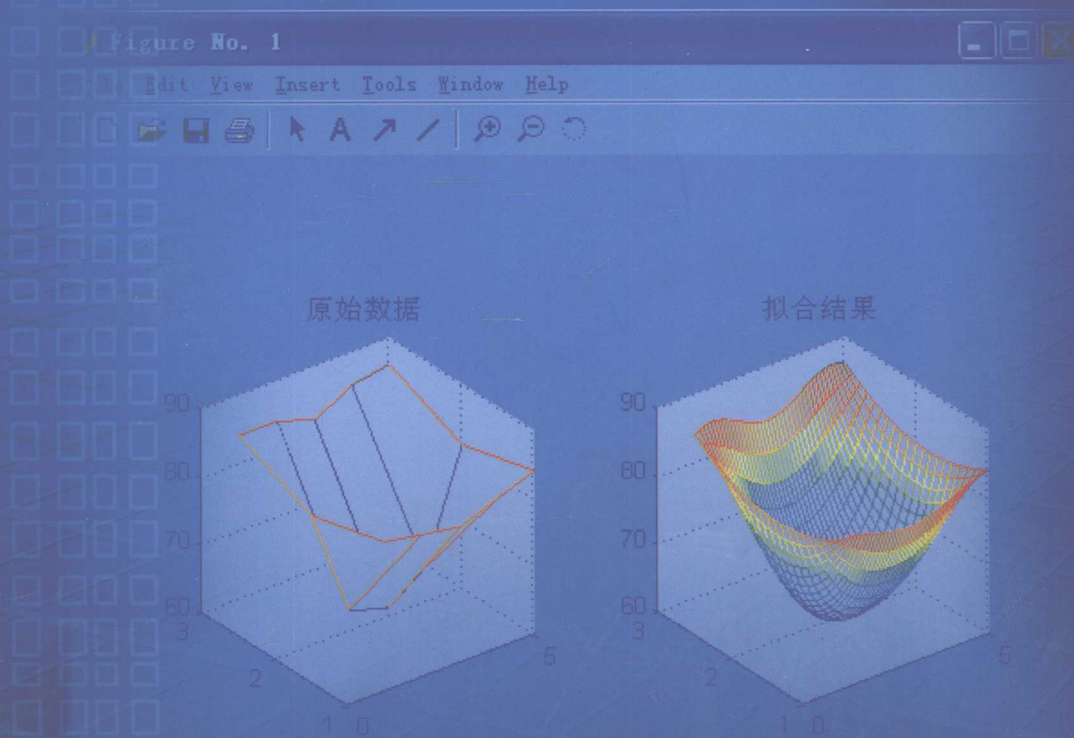


高等院校精品教材

SHUZHUA DAXUE WULI

数字化大学物理

马涛 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字化大学物理 / 马涛著. —杭州: 浙江大学出版社,
2008.7
ISBN 978-7-308-06096-7

I. 数… II. 马… III. 计算机辅助计算-软件包, Mat-
lab-应用-物理学-高等学校-教材 IV.
IP391.75 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 097187 号

内 容 简 介

本书介绍了数学软件 MATLAB 在大学物理中的应用, 全书分语言篇和应用篇两个部分。语言篇简明地介绍了 MATLAB 的基本用法, 示例多以大学物理内容为线索; 应用篇按运动学、动力学、机械振动、机械波、热学、电磁学、波动光学、量子物理等内容分类成章, 精选了 30 个典型问题, 进行了解题分析和程序实现, 并将数值计算的结果图示或做成模拟动画。将 MATLAB 与大学物理如此紧密结合在一起的专著尚不多见, 本书具有一定的创新性。读者只要具备基本的大学物理基础就可边学边用, 参考本书提供的大量程序实例, 逐步掌握 MATLAB 语言, 进而通过实例练习提高编程技巧。

数字化大学物理

马 涛 著

责任编辑 杜希武

封面设计 宋纪浔

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

电话: 0571—88925592, 88273066 (传真)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.25

字 数 334 千字

版 次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06096-7

定 价 26.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

序

在科学技术迅速发展的今天，学科之间相互交叉，对人才的培养提出了更高的要求。大学生不仅要掌握本学科的知识，还要有广博的知识视野和完成自己创想的工具载体，其中计算机技术在理论课学习中的应用，在大学的素质教育中起到了举足轻重的作用。

众所周知，实验研究、理论演算和计算机模拟是目前科学研究的三种主要方法。我们注意到国内外许多理工科教材均将计算机科学计算技术引入到了专业课程的教学之中。因此，计算机数值模拟技术在大学物理课程中的引入势在必行。将计算机模拟研究方法以某种计算机语言作为依托，以一种适当的方式引入大学物理教学，必将对大学物理课程改革产生积极而深远的影响。

大学物理是建立在实验和微积分基础上的一门基础课。如何让理工科大学生在学习大学物理的同时，能得到包括计算机技术在内的诸多研究方法的训练；如何在经典、传统的大学物理课程中培养学生的探索精神和创新意识；如何在传授知识的同时培养学生采用计算机技术解决问题的能力等，均值得深入探讨。由马涛教授所著的《数字化大学物理》一书将 MATLAB 与大学物理紧密结合，为大学物理教学提供了一种全新的视角和具有创新性的实践方案。该书具有以下特点：一是结合大学物理内容对 MATLAB 语言进行了介绍，使初学者容易掌握；二是精心挑选了力、热、光、电等 30 个专题，利用 MATLAB 语言对这些物理问题进行了数值计算和可视化处理。作者在树立创新性教学理念，建立基于解决实际问题的研究型教学思维模式方面，做出了有益的探索。理工科大学生如果能够通过此类有创意的学习，掌握 MATLAB 这一科学计算语言，对提高学习效率，探寻科学研究方法，以及今后的工作都将大有裨益。因此，我期望本书的出版能推动大学物理教学的改革，促进计算机技术在物理教学中的应用，在理工科大学生素质培养方面取得更多的成果。

叶高翔

2008 年 6 月于浙江大学

(叶高翔：浙江大学党委副书记、博士生导师、浙江省大学物理教学指导委员会主任。)

前言

由教育部高等学校非物理类专业基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》中，对大学物理课程有如下非常精确的描述：物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用的自然科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域，应用于生产技术的许多部门，是其他科学和工程技术的基础。物理学展现了一系列科学的世界观和方法论，深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活，是人类文明发展的基石，在人才的科学素质培养中具有重要的地位。基于上述共识，所有的理工科专业，甚至某些文科专业都开设大学物理课，人们都公认物理课是最具备素质教育的学科。

但是在大众化教育普及之后，大学物理课在教与学上矛盾毕现：教师受到课时削减的压力；学生则抱怨课程的内容过于陈旧。怎么解决这个问题呢？如何避免一个教与学双输的局面呢？作为沉浸于大学物理教学中多年的一个教师，的确感受到诸多的责任与压力，但是翻一翻每一年度各个出版社有关大学物理类别的书目，基本是大同小异的教材，以及一成不变的习题指导书。教者有一个思维定式，就是：物理学一定要是一个严谨、逻辑严密、需要扎实数理基础的学科，由于是经典，因此不管多少课时，不论面对哪一个学科的学生均要包括力、热、光、电等经典内容，大学物理总是跳不出这种教师在课堂上灌输，学生在课下做习题的窠臼。在这样的教学思路引导下，使得学生贫于思考，穷于研究方法。我们如何才能找到一个解决问题的出路，如何将学生从中学应试压力下形成的惯性思维中解放出来，能否在严谨的逻辑及数理训练模式下使大学物理有一个新的变化，在学习一种思维方式的同时，能否让学生掌握一种技能，在学习大学物理课程时，能否同时给学生一个新的知识支点，真正的实现授人以“渔”，这些问题是摆在我们教师面前一个个全新的课题。

大众化教育、计算机技术、学生实践能力、创新性思维等关键词不时提醒我们，现行的教育模式下，培养的学生缺乏创新能力，由于计算机的普及，学生对数字化的东西很感兴趣，但是却又不知如何有效的利用计算机技术。经过探索，我们找到一个结合点，利用MATLAB把大学物理数字化。MATLAB是大学中甚为流行的一款科学计算软件，有数字化的演算草稿纸的美称，其特点是语言简单，函数库丰富，图形化功能强，不需要更多的计算机基础，经过简单的培训或自学就可以非常容易的上手。如果能把经典的物理学课程融入现代因素，则可以使之变成实践性很强的一门课程。如果说学习的最高境界是发现问题和提出问题的话，教学的最高境界应该是培养学生分析问题和解决问题的创新性思维方式，

对于这样一门经典的课程,如果能够在基础技能训练的基础上,融入动手与创新能力训练,使学生能尝试用新的方法、新的解决方案,通过反复尝试直至得到数字化的、直观的正确结果,这样一定能激发学生的创新意识,在纷繁的信息中产生逻辑结论,能够举一反三,触类旁通,而教师也可以树立一种创新性的教学理念,建立一种基于解决问题的探索研究型的创新教学思维模式,显然大学物理应该而且也可以承担起这个职责。

通过反复实践,我们仍然按《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》,将本书的内容按运动学、动力学、机械振动、机械波、热学、电磁学、波动光学、量子物理等内容分类成章,但每一章只给出数个典型题目,通过分析解决问题的思路,最后给出MATLAB程序的实现。通过MATLAB程序,不仅可以求出解析解,对于不存在解析解的物理问题,可以借助MATLAB相应的函数,求出数值解,而计算结果可以非常方便的通过图形、动画展示出来,非常直观、生动。如果相应的物理概念不明确,学生就可以此为脉络,通过相应的教材理清概念,其中关于MATLAB语言方面的问题,我们在应用篇前给出了一个语言篇以便读者参考,语言篇中的示例尽量用物理方面的内容表述。学生一旦参与其中,独立解决一些问题后,就会激发出其积极性和创造性,就会产生一种成就感。通过物理课如果基本掌握了MATLAB的使用方法,则在课余科技活动、建模比赛、毕业设计 & 毕业后的科研工作中受益。我们通过实践体会到:只要能激发起学生的学习积极性,你就会发现学生的潜能是无限的。如果我们能够脚踏实地,从基础课入手,通过教学上的改革,从应试型的教学模式中解脱出来,改变目前高等教育中上课时间多,自学时间少;被动接受时间多,主动实践时间少的弊端,使教育境界得到一种提升,定能培养出高质量的创新性人才。

到目前为止,将MATLAB与大学物理如此紧密结合在一起的专著尚不多见,我们的工作具有一定的创新性,在教学、科研的压力下,本书从构思到完成,断断续续历经了近三年时间,其中甘苦自知。书中的程序仅供参考,对于每一个问题的求解,本书给出的不是唯一的解法,甚至不一定是最佳的解法,由于这项工作还在探索之中,希望能得到专家和同行们的批评和指导,也希望参与其中的教师和同学能编出更优秀的程序,书中如有疏漏或错误也敬请读者提出意见,作者的电子邮件地址是 mat521@sina.com。我们的工作如果能够传统的经典课程注入一些新鲜血液,如果能够引起同仁们的一些响应,将不胜欣慰。

作者十分感谢浙江省大学物理教学指导委员会主任、浙江大学党委副书记叶高翔教授对本书的热情支持。

作者感谢浙江工商大学将大学物理课程作为校精品课程所给予的支持,感谢信电学院领导对大学物理教学工作的充分肯定,也感谢教研室全体同事在课程建设上的共同努力和相关课题上的有益讨论。

最后,作者还要感谢浙江大学出版社对本书出版的支持,尤其感谢责任编辑杜希武为本书所付出的辛勤劳动。

作者

2008年6月

目 录

第一篇 语言篇

第1章 MATLAB 简介	3
1.1 概述	3
1.2 MATLAB 操作界面	4
1.3 基本演算功能	7
1.4 在线帮助(help)功能	9
第2章 矩阵	11
2.1 矩阵的构造	11
2.2 矩阵元素的操作	14
2.3 矩阵的基本计算	16
2.4 矩阵的指令函数计算	20
第3章 元素群	23
3.1 元素群的构造	23
3.2 元素群的基本计算	24
3.3 元素群的函数计算	27
第4章 绘图指令函数	29
4.1 二维图形	29
4.2 三维图形	41
4.3 特殊图形	47
第5章 编程	60
5.1 指令文件(Script File)	60
5.2 函数文件(Function File)	62
5.3 流程控制	64
第6章 常用指令函数	72

6.1 数据分析	72
6.2 多项式	80
6.3 函数功能及数值分析	85
6.4 数据类型	94
6.5 符号数学	97

第二篇 应用篇

第1章 运动学	105
1.1 小船过河	105
1.2 导弹追击问题	108
1.3 导弹制导问题	110
第2章 动力学	113
2.1 抛体运动的研究	113
2.2 足球场上的香蕉球	116
2.3 进入地球轨道的彗星	119
2.4 地球同步卫星	123
第3章 机械振动	128
3.1 单摆的研究	128
3.2 傅科摆	132
3.3 耦合摆	137
3.4 三球振动	142
3.5 复摆的强迫振动	148
3.6 拍现象研究	152
3.7 李萨如图形	154
3.8 阻尼振动研究	157
第4章 机械波	162
4.1 驻波	162
4.2 多普勒效应	165
第5章 热学	170
5.1 麦克斯韦速率分布率	170
5.2 热力学过程研究	173

第6章 电磁学	179
6.1 点电荷电场	179
6.2 带电细棒的电场	181
6.3 带电圆环的电场	184
6.4 载流圆环的磁场	186
6.5 带电粒子在电磁场中的运动	190
第7章 波动光学	194
7.1 杨氏双缝干涉	194
7.2 牛顿环干涉	198
7.3 单缝衍射	200
7.4 光栅衍射	203
第8章 量子物理	208
8.1 α 粒子散射	208
8.2 薛定谔方程与氢原子能级	211
参考文献	215



第一篇



语言篇

第 1 章 MATLAB 简介

1.1 概 述

在科学研究和工程应用中,往往要进行大量的数学计算,这些计算一般来说是很少能用手工来求出解析解的,通常是要借助计算机编制相应的程序来求数值解。若用流行的 C 语言或 FORTRAN 语言编制计算机程序,不仅要求对算法有深刻理解,同时还要熟练掌握所用语言的语法和编程技巧。而计算机程序的编制是繁杂的,并不是所有人都能胜任。针对这些实际问题,美国 Mathwork 公司于 1984 年推出了“矩阵实验室”(Matrix Laboratory 缩写为 MATLAB)软件包,此后便不断更新扩充,到 1988 年推出基于 DOS 操作系统的 3.1 版,1992 年推出了基于 Windows 的 4.1 版,2001 年推出了 6.1 (R12) 版,2004 年又推出了 7.0 (R14) 版,当前的最新版本为 7.2 版。读者可以登录 Mathwork 公司的网站 www.mathwork.com 了解其最新版本及特点。

MATLAB 是一种功能强、效率高,便于进行科学和工程计算的交互式软件包。它以矩阵运算为基础,将科学和工程计算与图形绘制集成为一体。在这个集成环境中,交互式的 MATLAB 语言具有简洁和智能化的特点,符合人们进行科学计算时的思维方式和书写习惯,不像其他高级语言那样难以掌握。它用解释方式工作,键入程序指令,立即就能得出结果。实践证明,一个工科的本科生,在几十分钟内就可学会 MATLAB 的基本指令,在短短几小时的使用中就能初步掌握其用法。通过 MATLAB 的应用,可以高效率、富有创造性地进行科学计算。MATLAB 大大降低了对使用者的数学基础和计算机语言知识的要求,编程和计算效率极高。在这个集成环境中,计算结果可同时以精美的图形输出,将枯燥的结果直观地展现出来。MATLAB 自推出后即风行欧美,近些年在国内工科院校也渐渐流行。如果读者能以工科必修的大学物理课程为切入点,运用 MATLAB 这个工具,通过求解一些典型物理过程的规律,熟悉 MATLAB 的一些基本指令及编程技巧,随着专业知识的进一步学习,如果能够融会贯通地用 MATLAB 解决相应的一些专业问题,将会对大学阶段的课程设计、毕业设计、建模竞赛和科研活动起到极其重要的作用,也将为今后的工作打下良好的基础。

MATLAB 随着版本的不断升级,其内容不断扩充,功能也更加强大。但是对于初学者而言,其基本语法各个版本差距不大,本书基本定位在大学一、二年级具有高等数学和大学物理基础的入门者,不涉及一些专用工具箱的使用,因为基本的语法基础是一样的,故本书全部程序都是在较为流行的 MATLAB6.x 版本上通过的,根据向下兼容的原则,本书

中的程序在更高的版本下当然能够运行。更高级、更专业的应用与读者后续的专业方向有关,有了上述这样一些基础,届时读者就可以较快地掌握一些专用的工具了。

值得指出的是,本书的原则是授人以渔。在掌握 MATLAB 的基本操作指令后,参考本书一些实际例子,读者应该尝试独立去解决一些实际问题,只有独立编辑解决一些实际问题才算真正驾驭了 MATLAB。在学习 MATLAB 时,由于指令函数较多,读者应该学会随时利用帮助命令 (help), 在线学习各种函数的用法和内涵。

1.2 MATLAB 操作界面

一、命令窗口

在 Windows 操作系统的桌面上,用鼠标双击 MATLAB 图标,即可进入 MATLAB 的工作环境,如图 1.2.1 所示

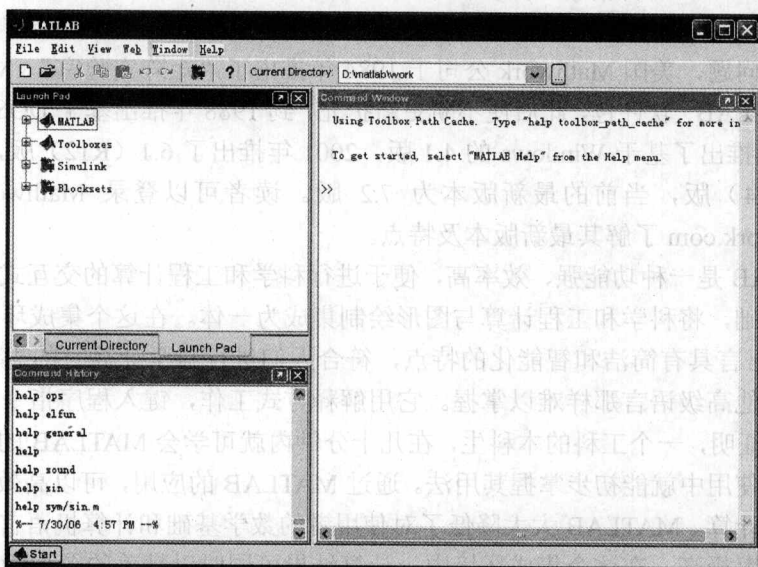


图 1.2.1

MATLAB 默认的设置是显示三个窗口,如图所示,左侧分割为上下两个子窗口,左上为资源目录窗口 (Launch Pad), 左下为历史命令窗口 (Command History)。右侧为命令窗口 (Command Window), 命令窗口是人机对话的主要环境,在提示符 “>>” 后键入有关的命令即可得出相应的结果。窗口的布局可以通过点击菜单: View\Desktop Layout 来改变,读者可按照各自的使用习惯做出相应的选择。

为了使用方便, MATLAB 内部只有一种数据格式,即双精度格式 (64 位二进制,对应十进制 16 位有效数字和 ± 308 次幂)。MATLAB 采用这种唯一的双精度数据格式进行存储和运算,但数字显示格式却可以根据使用习惯来设定,不同的数字显示格式并不影响内部的计算。数字显示格式有 8 种,缺省的是 5 位数字的定点表示 (Numeric format short), 在

此缺省的显示下，如圆周率 π 显示为：

```
>> pi  
ans =  
3.1416
```

若选择了 Numeric format long 的数字显示方式，则圆周率 π 显示为：

```
>> pi  
ans =  
3.14159265358979
```

另外在不同数字显示格式下，屏幕的数字显示形式还有两种选择，默认显示形式是稀疏形式 (Numeric display loose)，屏幕上显示的每行之间是有空行的，若以紧凑显示形式 (Numeric display compact)，则屏幕上显示的每行之间便没有空行了。

若想改变这些显示格式，可通过点击菜单：File\Preferences，然后在对话框 Command Window Preferences 中，通过 Text display 的选项做出相应选择。

在命令窗口中，对初学者应注意以下几点：

所有的输入需按下回车键才能执行。

用 ESC 键可以清除当前的输入，↑键可调出上一行命令，↓键可调出下一行命令。

命令、变量区分大小写。

若不需要在屏幕上显示计算结果，可在命令后加上分号“;”。

在命令窗口有一些常用命令：

clc 清除工作窗口中的显示内容。

clf 清除图形窗口中的显示内容。

clear 清除内存。

cd 改变当前工作目录。

dir 列出指定目录下的文件。

who 列出内存中的变量名等。

退出命令窗口可通过点击菜单 File\Exit MATLAB，或在命令窗口键入 quit 来实现。

二、图形窗口

若想建立一个图形窗口，可在命令窗口键入：figure，每次键入该命令 MATLAB 会产生一个空白的图形窗口并自动编号，键入绘图指令便可在该图形窗口上绘制计算结果了。若要人为规定或调用第 i 个新图形窗口，则可键入 figure(i)。图形窗口上相应的菜单和按钮可对图形进行相应的处理。如图 1.2.2，是键入 logo 命令后显示的图形。

三、文本编辑窗口

MATLAB 有两种操作方式，一种是在命令窗口中一行一行的输入命令，计算机对每一行命令作出反应，这种方式只能解决较简单的问题。当要利用 MATLAB 处理较为复杂的问题时，如既要进行数值计算，同时又要绘制计算结果这类包含很多命令的综合问题时，就要

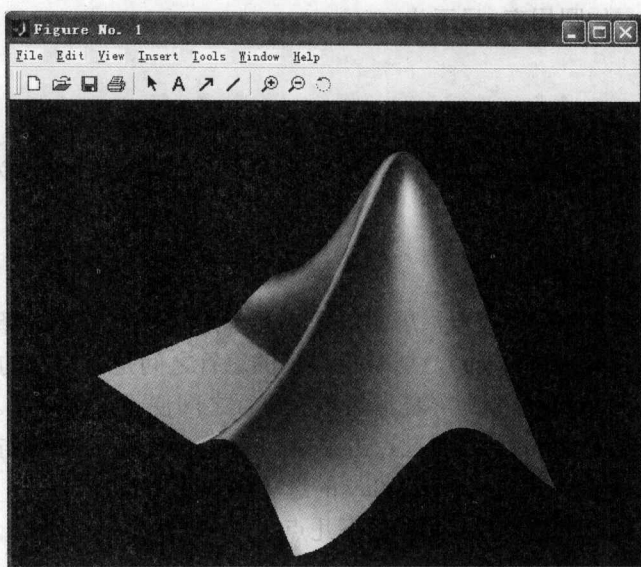


图 1.2.2

通过文本编辑器编制扩展名为.m 的文本文件来解决。启动 MATLAB 后, 文本编辑窗口可以通过点击 MATLAB 命令窗口工具栏上相应按钮来打开, 命令窗口工具栏第一个按钮是用 MATLAB 建立一个空白的文本文件, 第二个按钮是用来打开原有的程序文件。编辑有关 m 文件时, 也可以不启动 MATLAB, 这时可以在 Windows 桌面上, 通过点击: 开始\程序\MATLAB6.x\M-file editor 来启动文本编辑窗口, M-file editor 是 MATLAB 自带的文本编辑工具, 是一个独立的可执行文件。

打开了一个 M 文件的文本编辑窗口见图 1.2.3:

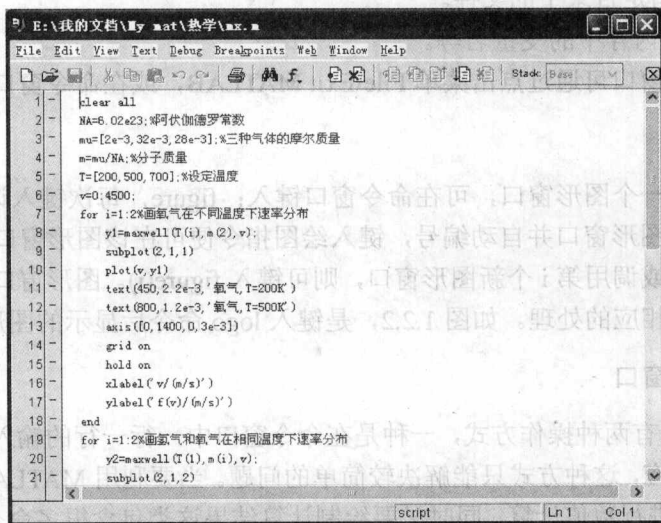


图 1.2.3

1.3 基本演算功能

每个人在开始使用一款较为复杂的软件时，多多少少都会有一种无从下手的感觉，MATLAB 是一个标准的 Windows 下的软件，与其他 Windows 下的软件有相仿的使用方法，在做较为复杂的应用之前，其实可以先把它当成一个万能的计算器。使用 MATLAB 进行数学计算，就像在草稿纸上演算数学题一样方便，一样可以随心所欲，MATLAB 故而有科学计算演算草稿纸的美称。

在 MATLAB 的命令窗口中可以执行与科学计算器非常相似的计算。大多数的语法甚至是相同的。

例如要计算 4 的 3 次方，输入命令

```
>> 4^3
```

显示的输出结果是：

```
ans =
```

64

计算 5 的平方根，输入命令

```
>> sqrt(5)
```

显示输出结果是：

```
ans =
```

2.2361

计算 4 的自然对数，输入命令

```
>> log(4)
```

则显示结果：

```
ans =
```

1.3863

MATLAB 中关于对数、指数、三角函数等初等函数，做为内建函数工具箱，放在安装盘的目录 matlab\toolbox\matlab\elfun 下，其主要内容如下表 1.3.1。

MATLAB 的运算次序与标准的代数规则相同，这在进行混合运算时是非常重要的。

初学时，往往会发现，你所能做的是必须正确地输入一条命令，然后执行该命令，然而当你发现输入错误命令不能执行时，却无法“撤消”进行修改。这时，通常可用键盘右侧的“↑”键在已经执行过的命令列表中向上移动，一旦找到合适的命令，则可以对该命令重新编辑，然后敲回车，执行新的正确命令。另外，当退出 MATLAB 或执行了 clc 命令之后，命令窗口将被清空，但是，历史命令子窗口（Command History）会保留所有使用过的命令列表（除非使用一台公用计算机，出于安全的考虑，在菜单 file\preferences 下将 Command History 设置为：Don't save history file）。历史命令窗口非常有用，它可以重现以前在 MATLAB 中执行的命令，并且可将其复制到命令窗口。复制的方法有两种：一种方

法是双击历史窗口某命令，即可直接在命令窗口执行；另一种方法是，单击并拖动相应的代码行到命令窗口，回车执行或重新编辑再执行。当命令窗口中进行的计算越来越复杂时，读者将会发现利用上述历史命令窗口的方法非常有效。

表 1.3.1

函数名	含义	函数名	含义
sin/cos	正弦/余弦函数	exp	指数函数
tan/cot	正切/余切函数	log	自然对数函数
sec/csc	正割/余割函数	log10	常用对数函数
sinh/cosh	双曲正弦/双曲余弦函数	log2	以 2 为底对数函数
tanh/coth	双曲正切/双曲余切函数	sqrt	平方根函数
sech/cschr	双曲正割/双曲余割函数	pow2	2 的幂函数
asin/acos	反正弦/反余弦函数	fix	朝零方向取整
atan/acot	反正切/反余切函数	floor	朝负无穷方向取整
asec/acsc	反正割/反余割函数	ceil	朝正无穷方向取整
asinh/acosh	反双曲正弦/反双曲余弦函数	mod (a,b)	a 整除 b, 求正余数
atanh/acoth	反双曲正切/反双曲余切函数	rem (a,b)	a 整除 b, 求余函数
asech/acschr	反双曲正割/反双曲余割函数	round	四舍五入
abs	绝对值函数	sign	符号函数
angle	相位角函数	perms	排列
conj	共轭复数函数	nchoosek	组合
real	复数实部函数	lcm	最小公倍数
imag	复数虚部函数	gcd	最大公约数

在熟悉了 MATLAB 的演算纸式的功能后，读者可能会不满足这些基本的计算，能不能求一些自定义函数的函数值呢？在后面的章节我们会专门介绍符号变量和编程的方法来构造函数，这里先介绍一个非常实用的内联函数指令 inline 构造函数的方法。

如要建立一函数

$$fy = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

使用 inline 指令的操作方法如下：

```
>> fy=inline('v0*sin(alpha)*t-0.5*g*t^2','v0','alpha','g','t')
```

```
fy =
```

Inline function:

```
fy(v0,alpha,g,t)=v0*sin(alpha)*t-0.5*g*t^2
```

若要求 $v_0 = 5$, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $g = 9.8$, $t = 0.5$ 时的函数值，做如下输入

```
>> y=fy(5,pi/2,9.8,0.5)
```

```
y =
```

```
1.2750
```

读者可以仿照上述方法，随意构造自己所需的函数。