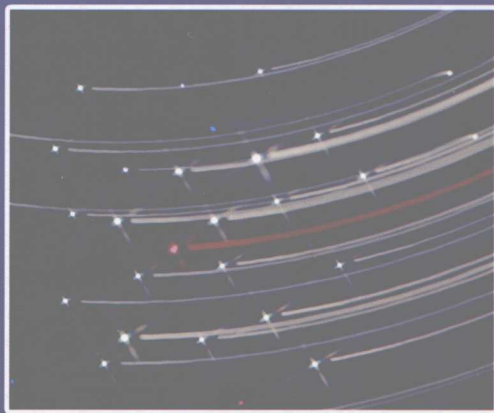


光学实验与仿真

孙绪保 等 主编



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

光学实验与仿真

孙绪保 等 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书由 Matlab 语言基础部分和光学实验的计算机仿真两部分组成。在语言部分中,介绍了常用的基本函数和使用方法,仿真部分主要包含杨氏双缝干涉、光栅、三角孔、矩形孔衍射以及空间滤波系统。通过使用大量的 Matlab 中多方面的语句,并给出了相关列举实例,有助于读者尽快理解掌握编程的基本方法。

本书适用于物理系的本、专科生,既可作为大学生的 Matlab 语言的入门教材,又可作为物理学科的仿真辅助参考书,同时也希望本书能对大学物理教师的讲课、演示和解题有所帮助。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

光学实验与仿真/孙绪保等主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.5
ISBN 978-7-5640-2276-1

I. 光… II. 孙… III. ①光学-实验②光学-系统仿真 IV. O43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 083249 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 6

字 数 / 115 千字

版 次 / 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题,本社负责调换

编者名单

主 编：孙绪保 张会云 李 鹏 姜 琳

副主编：王守海 张玉萍 詹 仪 周明东

王雪琴 刘 静 陈 兵 张玉梅

刘维慧

前 言

本书介绍如何用科学计算软件 Matlab 的数值计算方法,模拟光学实验及结果可视化,主要侧重于波动光学,充分利用了 Matlab 图形描述和动态显示超强功能。介绍 Matlab 语言基础和基本使用方法的目的是为了让初学者尽快掌握并激发学习兴趣,我们力图做到言简意赅、图文并茂。Matlab 中内容部分有些来自于文中提到的参考书,仿真部分主要包括光学中的干涉和衍射,除了我们的一些应用编程实例和经验外,还有些程序来自于文中提到的文献中,并将程序逐个列出,便于读者模仿、消化、吸收、创新。作者在物理系教学过程中体会到:学生对于理论课的学习,较多的时间进行公式推导和计算,久之,少部分学生的学习积极性有所下降。为提高学生的动手能力、应用编程能力以及活跃课堂气氛,物理教研室老师们一致认为,应以光学实验仿真为突破口,让学生尽快掌握其方法。通过一段时间的学习和训练,此仿真手段用于物理学中的其他学科将变得相对容易些。本书主要参编人员是工作在教学一线的山东科技大学应用物理系老师,还有曲阜师范大学印刷学院的詹仪老师。有些 Matlab 仿真素材来自于老师们常用的教学课件中。

由于作者水平有限,时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

最后,感谢北京理工大学出版社的热情支持和帮助,感谢山东科技大学“群星计划”的微薄资助,感谢老师们的合作。

作 者

目 录

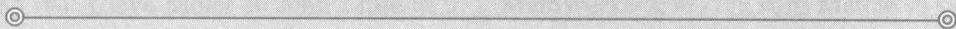
第一部分 Matlab 部分	1
第 1 章 Matlab 简介	3
1.1 Matlab 的产生背景	3
1.2 Matlab 语言的特点	3
1.3 Matlab 的工作环境	4
第 2 章 基础知识	6
2.1 变量名	6
2.2 数据与算符	6
2.3 表达式与特殊函数查询	7
2.4 符号变量和符号表达式	7
2.5 函数库	8
2.6 随机数	13
第 3 章 数据的可视化	15
3.1 plot 的基本调用格式	15
3.2 多条曲线绘制	16
3.3 三维曲线和曲面	17
3.4 动画	20
第 4 章 数值计算	23
4.1 多项式	23
4.2 解微分方程	28
4.3 差分、微分	31
4.4 相关分析和傅里叶分析的函数	32
第 5 章 矩阵	38
5.1 矩阵的运算	39
5.2 矩阵的分解	41
5.3 矩阵的特征值分析	43
第 6 章 逻辑判断及流程控制	45
6.1 关系运算	45

6.2	逻辑运算	45
6.3	流程控制语句	46
第二部分 光学仿真		53
第7章 仿真		55
7.1	国内外现状	55
7.2	仿真研究的意义	55
第8章 光的干涉实验		57
8.1	波的叠加原理	57
8.2	杨氏实验	59
8.3	牛顿环	64
8.4	迈克尔逊干涉仪	66
第9章 光的衍射		69
9.1	光的衍射现象	69
9.2	衍射现象分类	70
9.3	光栅衍射	75
9.4	傅里叶变换	76
9.5	空间频率滤波	78
参考文献		88

第 1 章 Matlab 简介

1.1 Matlab 的产生背景

第一部分 Matlab 部分



Matlab 诞生于 20 世纪 70 年代，它的前身是 Cleve Moler 博士在斯坦福大学工作时，为了解决在 IBM 和 PDP-10 上的 FORTRAN 和 BASIC 的移植问题，而开发的一个程序。Matlab 这个名字是由 Matrix 和 Laboratory 两个词组合而成的，意思是“矩阵实验室”。

Matlab 的创始人是 Cleve Moler，他在 1973 年开发了 Matlab 1.0。1984 年，MathWorks 公司成立，并开始销售 Matlab。1993 年，MathWorks 公司推出了 Matlab 4.0 版 (For Win32)；1997 年推出 Matlab 5.0；2000 年，MathWorks 公司推出 Matlab 6.0；2003 年，MathWorks 公司推出 Matlab 6.5；2006 年推出 Matlab 7.0；2009 年推出 Matlab 7.10。Matlab 7.0 版本，第一次将本软件集成到 Windows 操作系统中，并增加了许多新功能，内容更加丰富，功能越来越强大。

Matlab 的长处在于易学易用，对工程人员的友好，而且能集成到各种开发环境中，可以在图形化界面下进行编程，文字输入，可以完成各种复杂的计算，增加了 Matlab 的易用性，使 Matlab 成为工程技术人员的首选计算软件。

Matlab 产品族具有概念设计、算法开发、模型仿真、实时实现等功能。其在工程应用、数据分析、数值和符号计算、工程与科学绘图、控制系统设计、数字图像处理、网络工程、控制、仿真、数据开发、应用开发、图形用户界面。

Matlab 产品族广泛应用于包括信号处理、控制系统设计、通信、非线性系统建模、Matlab 的工具箱和库函数，提供了完整的函数库用来解决各种工程问题，如信号处理、图像处理、神经网络、神经网络、神经网络、神经网络。

1.2 Matlab 语言的特点

Matlab 语言是一种面向矩阵的编程语言，它集成了数值计算、图形用户界面、数据库、工具箱等。它具有以下特点：1. 简单易学；2. 强大的数学计算能力；3. 丰富的图形用户界面；4. 强大的数据库支持；5. 强大的工具箱支持；6. 强大的网络支持；7. 强大的并行计算支持；8. 强大的实时支持；9. 强大的嵌入式支持；10. 强大的跨平台支持。

第 1 章 Matlab 简介

1.1 Matlab 的产生背景

Matlab 诞生于 20 世纪 70 年代, 它的编写者是 Cleve Moler 博士和他的同事。当时, Cleve Moler 博士和他的同事开发了 EISPACK 和 LINPACK 的 fortran 子程序库。这两个程序库主要是求解线性方程的程序库。但是, Cleve Moler 发现学生使用这两个程序库时有困难, 主要是接口程序不好写, 很费时间。于是他自己动手, 在业余时间里编写了 Eispack 和 Linpack 的接口程序。

1984 年, Cleve Moler 和 John Little 成立了 MathWorks 公司, 正式把 Matlab 推向市场, 并继续进行 Matlab 的开发。1993 年, MathWorks 公司推出 Matlab 4.0; 1995 年, MathWorks 公司推出 Matlab 4.2C 版 (For Win3.X); 1997 年推出 Matlab 5.0; 2000 年, MathWorks 公司推出 Matlab 6.0; 2002 年, MathWorks 公司推出 Matlab 6.5; 以后又陆续推出了 Matlab 7.0 系列; 2008 年又推出最新的 Matlab 7.7 版本。每一次版本的推出都使 Matlab 有长足的进步, 界面越来越友好, 内容越来越丰富, 功能越来越强大。

Matlab 的长处在于数值计算, 能处理大量的数据, 而且效率比较高。MathWorths 公司在此基础上开拓了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力, 增强了 Matlab 的市场竞争力, 使 Matlab 成为市场主流的数值计算软件。

Matlab 产品族支持概念设计、算法开发、建模仿真、实时实现的理想的集成环境。其主要功能有: 数据分析、数值和符号计算、工程与科学绘图、控制系统设计、数字图像信号处理, 财务工程, 建模、仿真、原型开发, 应用开发, 图形用户界面。

Matlab 产品族被广泛应用于包括信号处理、控制系统设计、通信、系统仿真等诸多领域。Matlab 的工具箱和仿真块, 包含了完整的函数集用来对信号图像处理、控制系统设计、神经网络等特殊应用进行分析和设计。

1.2 Matlab 语言的特点

Matlab 被称为第四代计算机语言, 又称为“草稿纸式”的语言, 它具有不同于其他语言如 Fortran, C 语言等的特点, 是边解释边执行的计算机语言。Matlab 是一款具有强大的矩阵运算、数据处理和图形显示功能的软件, 其输出结果可视化, 编程效率极高, 用极少的代码

即可实现复杂的运行,因此它使工程技术人员摆脱了繁琐的程序代码,以便快速地验证自己的模型和算法。

概括起来,Matlab 具有如下主要特点。

(1) 以矩阵和数组为基础的运算

Matlab 是以矩阵为基础的,不需要预先定义变量和矩阵(包括数组)的维数,可以方便地进行矩阵的算术运算、关系运算和逻辑运算等。

(2) 简单易学,使用方便

编写 Matlab 程序犹如在草稿纸上排列公式与求解问题,因此可以快速地验证工程技术人员的算法。此外 Matlab 还是一种解释性语言,不需要专门的编译器。具体地说,Matlab 运行时,可直接在命令行输入 Matlab 语句,系统立即进行处理,完成编译、链接和运行的全过程。

(3) 强大的图形技术

Matlab 具有非常强大的以图形化显示矩阵和数组的能力,同时它能给这些图形增加注释并且打印这些图形。Matlab 的图形技术既包括一些可以方便产生二维、三维科技专业图形的高级绘图函数,又包括一些可以让用户灵活控制图形特点的低级绘图命令。另外,用户还可以利用 Matlab 的句柄图形技术创建图形用户界面。

(4) 编程效率极高

Matlab 是一种面向科学和工程计算的高级语言。它以矩阵运算为基础,极少的代码即可实现复杂的功能。

(5) 可扩充性强,具有方便的应用程序接口

Matlab 不仅有着丰富的库函数,在进行复杂的数学运算时可以直接调用。而且用户还可以根据需要方便地编写和扩充新的函数库。通过混合编程用户可以方便地在 Matlab 环境中调用其他用 Fortran 或者 C 语言编写的代码,也可以在 C 语言或者 Fortran 语言程序中调用 Matlab 计算引擎来执行 Matlab 代码。

1.3 Matlab 的工作环境

Matlab 的工作环境主要由命令窗口、若干个图形窗口、文本编辑窗口和文件管理窗口组成。Matlab 6.0 以后的版本还增设了几个视窗。各视窗之间的切换可用快捷键 Alt+Tab。也可用鼠标在 Windows 界面的底部图标上单击实现。

(1) 命令窗口

单击 Matlab 图标或运行开始菜单里的 Matlab,即可打开 Matlab 的命令窗口,如图 1-1 所示。命令窗口是人们与 Matlab 做人—机对话的主要环境。可以输入 Matlab 的各种命令并读出相应的结果。例如输入

```
x1=sqrt(10), x2=2.58, y=1/(x1+x2)
```

答案为

$$x_1=3.1623 \quad x_2=2.5800 \quad y=0.1741$$

说明：实际屏幕上的显示会占用 10 余行、为节省教材篇幅，省去了许多空行和空格，下同。

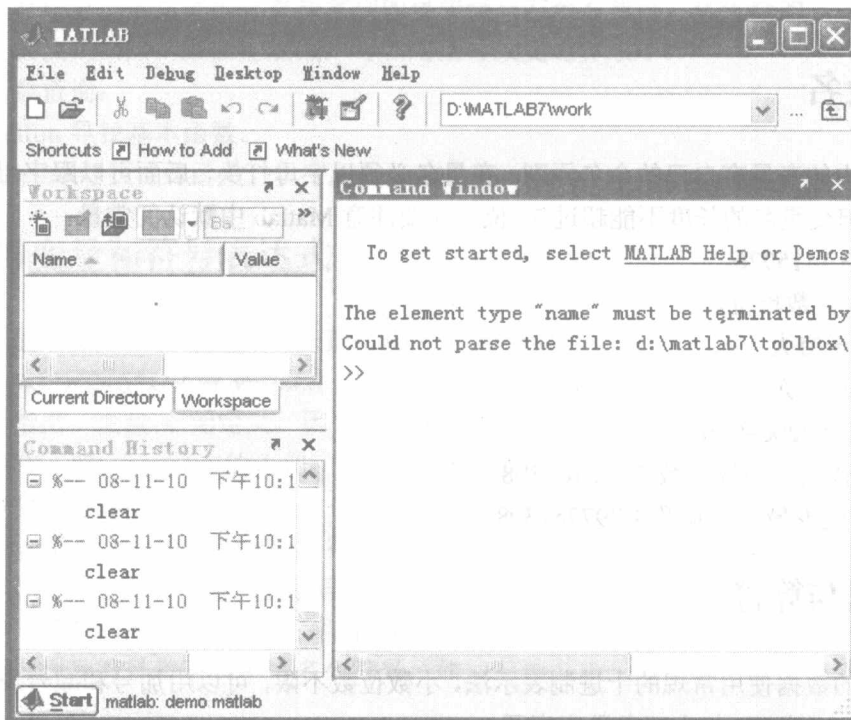


图 1-1 matlab 界面

(2) 命令窗口的常用基本操作命令

- ① 入门演示命令 `demo`
- ② 输入 `pde tool` 命令，显示 PDE 有限元图形用户界面 (GUI)
- ③ 在线帮助 `help` 如：`help sin`

第 2 章 基础知识

2.1 变量名

Matlab 中的变量有自己的命名原则，变量名必须以字母打头，后面可以跟字母、下划线、数目不限。但变量名的长度不能超过 31 位。还要注意 Matlab 中默认的常量：

Pi 代表 3.1415926。

i, j 代表虚数单位。

inf 代表无穷大。

NaN 代表非负。

exp 代表 $2.220e-016$ 。

realmin 代表最小浮点数 $2.2251e-308$ 。

realmax 代表最大浮点数 $1.7977e+308$ 。

2.2 数据与算符

Matlab 的数据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 的幂次以 e (或 E) 加上正负数字表示。

Matlab 使用人们所熟悉的算符，见表 2-1、表 2-2。

表 2-1 算术运算算符

加法	减法	乘法	除法	乘方	括号
+	-	*	/	^	()

表 2-2 逻辑运算算符

与	或	非
&		~

2.3 表达式与特殊函数查询

表达式：把数字、函数和变量用算符组合在一起，就建立了一个表达式。Matlab 可以对整个矩阵进行运算。表达式的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。

常用函数查询：

help elfun 寻找基本函数。

help specfun 寻找特殊函数。

2.4 符号变量和符号表达式

没有赋值的变量叫符号变量，在 Matlab 中，如果输入

$$f=3*x^2+5*x+2 \text{ 或 } y=\sin(x)$$

系统会指出，变量 x 无定义，因为它要求 x 必须是一个数；Matlab 也可以接受形为 $f=3*x^2+5*x+2$ ，或 $y=\sin(x)$ 的语句，这时 f 和 y 都是一个字符串，但它没有任何含义。因为它对字符串中的内容不作任何分析。

Symbolic 工具箱必须要能分析字符串的含义，为此，首先要对符号变量作出定义，用语句“ $x=\text{sym}('x')$ ”就定义了 x 是一个字符（串）变量，此后输入的算式 $f=3*x^2+5*x+2$ 或 $y=\sin(x)$ 就具有了符号函数的意义，连表明字符串的引号都可省略， f 和 y 也自然成为字符（串）变量。

如果一个数学符号表示式中有多个符号，如

$$z=a*t^2+b*t+c$$

可以用简化的多个符号变量定义语句放在此表示式的前面。

$$\text{syms } a \ b \ c \ t$$

注意：只须对算式的右边符号变量（即自变量）进行定义，系统会自动把因变量定义为符号变量。

使用 `sym` 和 `syms` 函数可以创建符号变量和表达式，如创建一个符号变量 x 的命令是：

$$x=\text{sym}('x')$$

它可以是字符、字符串、表达式或字符串表达式。

创建多个符号变量的命令是：

$$\text{syms } x \ y \ z$$

它等效于：

$$x=\text{sym}('x')$$

$$y=\text{sym}('y')$$

```
z=sym('z')
```

如：建立一个函数 $g=\sin(x)/x$ ，并用指令 `limit` 求函数在 $x=0$ 的极限，以及用指令 `subs` 求 $x=0.5$ 的函数值。

命令窗口输入：

```
g= sym('sin(x)/x');
```

```
limit(g,0)
```

```
ans =1
```

```
subs(g, 0.5)
```

```
ans =0.9589
```

符号变量和符号运算指令示例：

```
y=sym('x')+2*sym('x')
```

```
y =3*x
```

```
y=sym('x+2* x')
```

```
y = x+2* x
```

```
collect(y) %化简
```

```
ans =3*x
```

2.5 函数库

1. 常用函数

表 2-3 基本函数库中的常用函数都可用于元素群运算，也即其自变量都可以是任意阶的矩阵。

表 2-3 基本函数库

三角函数	sin	正弦	cos	余弦
	tan	正切	asin	反正弦
	acos	反余弦	atan	反正切
	atan2(x,y)	4象限反正切	sinh	双曲正弦
	cosh	双曲余弦	tanh	双曲正切
	acosh	反双曲余弦	atanh	反双曲正切
	asinh	反双曲正弦	sec	正割
	csc	余割	cot	余切
	asec	反正割	acsc	反余割
	acot	反余切	sech	双曲正割

续表

三角函数	csch	双曲余割	coth	双曲正切
	asech	反双曲正割	acsch	反双曲余割
	acoth	反双曲正切		
指数函数	exp	以 e 为底的指数	log	自然对数
	log2	以 2 为底的指数	log10	以 10 为底的指数
	pow2	2 的幂	sqrt	方根
	nextpow2	比输入数大而最近的 2 的幂		
复数	abs	绝对值和复数模值	angle	相角
	real	实部	imag	虚部
	conj	共轭复数	isreal	是实数时为真
	unwrap	去掉相角突变	cplxpair	按复数共轭对排序元素群
取整函数	round	四舍五入为正数	fix	向 0 舍入为整数
	floor	向 $-\infty$ 舍入为整数	ceil	向 ∞ 舍入为整数
	sign	符号函数	rem(a,b)	a 整除 b, 求余数
	mod(x,m)	x 整除 m 取正余数		

例如, 要求列出一个三角函数表。这在 Matlab 中只要两个语句:

输入 `x=[0:0.1:pi/4]';[x,sin(x),cos(x),tan(x)]`

第一条语句把数组 x 赋值, 经转置后成为一个列向量。因为 \sin, \cos, \tan 函数都对元素群有效, 得出的都是同阶的列向量。第一条语句把 4 个列向量组成一个矩阵, 并进行显示。

```

得      ans =0      0      1.0000      0
          0.1000    0.0998    0.9950    0.1003
          0.2000    0.1987    0.9801    0.2027
          0.3000    0.2955    0.9553    0.3093
          0.4000    0.3894    0.9211    0.4228
          0.5000    0.4794    0.8776    0.5463
          0.6000    0.5646    0.8253    0.6841
          0.7000    0.6442    0.7648    0.8423

```

第一列是 x , 以下各列依次是 $\sin(x), \cos(x), \tan(x)$ 。如果要加一个表头, 第二条语句可改成两条如下的显示语句:

```
disp('      x      sin(x)      cos(x)      tan(x)');
```



```
disp([x,sin(x),cos(x),tan(x)])
```

disp 后括号内引号中的内容是直接显示的，放入空格就显示空格，放入汉字就显示汉字，后一括号中没有引号，是变量名组成的矩阵，它就显示该矩阵中各变量的值。

2. 其他函数

在 Matlab 里的数据分析是按面向列矩阵而进行的。不同的变量存储在各列中，而每行表示每个变量的不同观察。它很容易对数据集合进行统计分析。例如，假定我们已获得 20 天内三个城市每日最高温（单位为℃）的记录，数据 data 输入如下：

```
data =    [ 12    6   22;  
          12    8   18;  
          15    9   21;  
          13    5   18;  
          14    8   22;  
          10    8   17;  
          11    9   19;  
          15    9   15;  
           8   10   20;  
          19    7   18;  
          14   10   19;  
          15    8   18;  
           9    7   23;  
           8    8   19;  
          12    8   20;  
           8    9   20;  
          10    6   17;  
          12    7   18;  
           9    8   19;  
          12    8   21]
```

每一行包含了给定一天的高温；每一列包含不同城市的高温，图 2-1 所示。为了使数据可视，把它绘图：

```
d=1:20;      % 20 days  
plot(d, data)  
title(' Daily High Temperatures in Three Cities ')
```