

MATLAB OPTIMIZATION ALGORITHM

## MATLAB

## 优化算法

张岩 吴水根◎编著

Zhang Yan Wu Shuigen

**资深作者编著，图书质量更有保证**

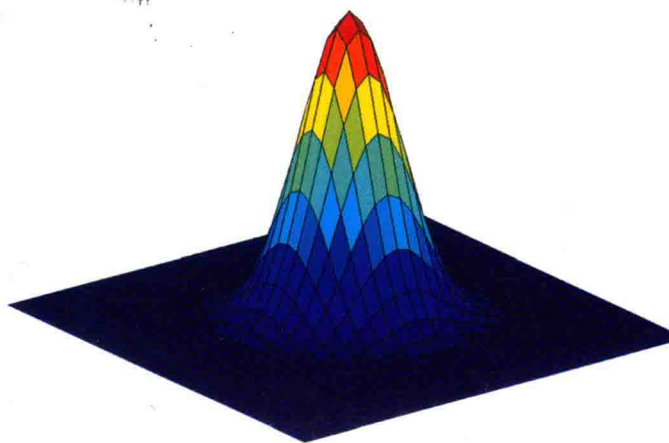
MATLAB资深工程师执笔，系统总结优化算法的实战经验

**提供配套源码，便于读者动手实践**

理论联系实践，本书提供源代码下载，方便读者学习使用

**内含丰富实例，利于读者二次开发**

提供了大量优化算法的典型实例，读者可以据此二次开发



清华大学出版社



源代码



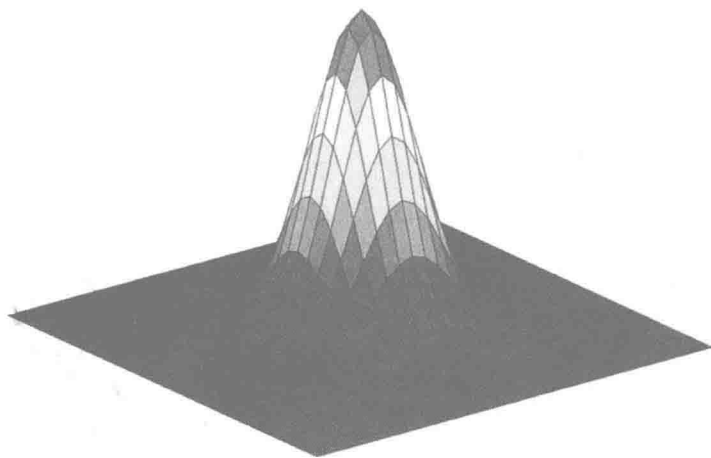
MATLAB OPTIMIZATION ALGORITHM

# MATLAB

## 优化算法

张岩 吴水根◎编著

Zhang Yan Wu Shuigen



清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是一本简明的 MATLAB 优化算法综合性参考书,以 MATLAB R2016b 软件版本为基础,根据常用优化算法编写,包含多种优化算法的 MATLAB 应用方法,是读者掌握 MATLAB 在优化算法中应用的有力工具。

全书分为四个部分共 18 章,包括 MATLAB 应用基础、常规优化算法、智能优化算法和综合应用。第一部分从 MATLAB 基础知识开始,详细介绍编程和程序设计、二维绘图、三维绘图、GUI 应用等内容;第二部分介绍 MATLAB 线性规划、非线性规划、无约束一维极值、无约束多维极值、约束优化方法、二次规划、多目标函数的优化方法等内容;第三部分介绍免疫优化算法及其 MATLAB 实现、粒子群优化算法的 MATLAB 实现、遗传优化算法的 MATLAB 实现、小波变换的 MATLAB 实现、神经网络的 MATLAB 实现等内容;第四部分主要介绍 MATLAB 在分形维数和经济金融最优化中的应用。在本书的最后,附录中还给出了 MATLAB 基本命令的介绍,便于读者查阅。

本书以 MATLAB 优化内容为主线,结合各种优化模型案例的讲解,各种 MATLAB 优化算法函数的说明,使读者易看懂、会应用。本书深入浅出,实例引导,讲解翔实,既可以作为高等院校数学建模和数学实验的参考教材,也可作为广大科研工程技术人员的参考用书。

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 优化算法/张岩,吴水根编著. —北京:清华大学出版社,2017  
(科学与工程计算技术丛书)  
ISBN 978-7-302-47495-1

I. ①M… II. ①张… ②吴… III. ①Matlab 软件—应用—最优化算法 IV. ①O242.23-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 140417 号

责任编辑:盛东亮  
封面设计:李召霞  
责任校对:梁毅  
责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:30.25 字 数:734 千字

版 次:2017 年 11 月第 1 版 印 次:2017 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:89.00 元

产品编号:072487-01

## 序言

致力于加快工程技术和科学研究的步伐——这句话总结了 MathWorks 坚持超过三十年的使命。

在这期间,MathWorks 有幸见证了工程师和科学家使用 MATLAB 和 Simulink 在多个应用领域中的无数变革和突破:汽车行业的电气化和不断提高的自动化;日益精确的气象建模和预测;航空航天领域持续提高的性能和安全指标;由神经学家破解的大脑和身体奥秘;无线通信技术的普及;电力网络的可靠性,等等。

与此同时,MATLAB 和 Simulink 也帮助了无数大学生在工程技术和科学研究课程里学习关键的技术理念并应用于实际问题中,培养他们成为栋梁之材,更好地投入科研、教学以及工业应用中,指引他们致力于学习、探索先进的技术,融合并应用于创新实践中。

如今,工程技术和科研创新的步伐令人惊叹。创新进程以大量的数据为驱动,结合相应的计算硬件和用于提取信息的机器学习算法。软件和算法几乎无处不在——从孩子的玩具到家用设备,从机器人和制造体系到每一种运输方式——让这些系统更具功能性、灵活性、自主性。最重要的是,工程师和科学家推动了这些进程,他们洞悉问题,创造技术,设计革新系统。

为了支持创新的步伐,MATLAB 发展成为一个广泛而统一的计算技术平台,将成熟的技术方法(比如控制设计和信号处理)融入令人激动的新兴领域,例如深度学习、机器人、物联网开发等。对于现在的智能连接系统,Simulink 平台可以让您实现模拟系统,优化设计,并自动生成嵌入式代码。

“科学与工程计算技术丛书”系列主题反映了 MATLAB 和 Simulink 汇集的领域——大规模编程、机器学习、科学计算、机器人等。我们高兴地看到“科学与工程计算技术丛书”支持 MathWorks 一直以来追求的目标:助您加速工程技术和科学研究。

期待着您的创新!

Jim Tung  
MathWorks Fellow

## PREFACE

**To Accelerate the Pace of Engineering and Science.** These eight words have summarized the MathWorks mission for over 30 years.

In that time, it has been an honor and a humbling experience to see engineers and scientists using MATLAB and Simulink to create transformational breakthroughs in an amazingly diverse range of applications: the electrification and increasing autonomy of automobiles; the dramatically more accurate models and forecasts of our weather and climates; the increased performance and safety of aircraft; the insights from neuroscientists about how our brains and bodies work; the pervasiveness of wireless communications; the reliability of power grids; and much more.

At the same time, MATLAB and Simulink have helped countless students in engineering and science courses to learn key technical concepts and apply them to real-world problems, preparing them better for roles in research, teaching, and industry. They are also equipped to become lifelong learners, exploring for new techniques, combining them, and applying them in novel ways.

Today, the pace of innovation in engineering and science is astonishing. That pace is fueled by huge volumes of data, matched with computing hardware and machine-learning algorithms for extracting information from it. It is embodied by software and algorithms in almost every type of system—from children’s toys to household appliances to robots and manufacturing systems to almost every form of transportation—making those systems more functional, flexible, and autonomous. Most important, that pace is driven by the engineers and scientists who gain the insights, create the technologies, and design the innovative systems.

To support today’s pace of innovation, MATLAB has evolved into a broad and unifying technical computing platform, spanning well-established methods, such as control design and signal processing, with exciting newer areas, such as deep learning, robotics, and IoT development. For today’s smart connected systems, Simulink is the platform that enables you to simulate those systems, optimize the design, and automatically generate the embedded code.

The topics in this book series reflect the broad set of areas that MATLAB and Simulink bring together: large-scale programming, machine learning, scientific computing, robotics, and more. We are delighted to collaborate on this series, in support of our ongoing goal: to enable you to accelerate the pace of your engineering and scientific work.

I look forward to the innovations that you will create!

Jim Tung  
MathWorks Fellow

# 前言

第 5 章: MATLAB 线性规划

第 6 章: MATLAB 非线性规划

第 7 章: 无约束一维极值

第 8 章: 无约束多维极值

第 9 章: 约束优化方法

第 10 章: 二次规划

第 11 章: 多目标函数的优化方法

第三部分为 MATLAB 智能优化算法部分。主要介绍免疫优化算法及其 MATLAB 实现、粒子群优化算法的 MATLAB 实现、遗传优化算法的 MATLAB 实现、小波变换的 MATLAB 实现、神经网络的 MATLAB 实现等内容。其中每章内容如下:

第 12 章: 免疫优化算法及其实现

第 13 章: 粒子群优化算法的实现

第 14 章: 遗传优化算法的实现

第 15 章: 小波变换的实现

第 16 章: 神经网络的实现

第四部分为 MATLAB 综合应用部分。主要介绍分形维数应用与 MATLAB 实现、经济金融最优化 MATLAB 应用等内容。其中每章内容如下:

第 17 章: 分形维数应用与实现

第 18 章: 经济金融最优化应用

## 3. 读者对象

本书适合 MATLAB 初学者和期望掌握 MATLAB 优化应用的读者。具体说明如下:

★相关从业人员

★初学数学建模的技术人员

★大中专院校的教师和在校生

★相关培训机构的教师 and 学员

★参加工作实习的“菜鸟”

★广大科研工作人员

## 4. 读者服务

为了方便解决本书疑难问题,读者朋友在学习过程中如果遇到与本书有关的技术问题,可以发邮件到邮箱 [caxart@126.com](mailto:caxart@126.com),或者访问博客 <http://blog.sina.com.cn/cax-art>,编者会尽快给予解答。

另外本书所涉及的素材文件(程序代码)已经上传到本书提供的博客中,读者可以自行下载。

## 5. 本书作者

本书主要由张岩、吴水根编著。此外,付文利、王广、沈再阳、林晓阳、任艳芳、唐家鹏、孙国强、高飞等也参与了本书部分内容的编写工作,在此表示感谢。

虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善,但由于水平有限,书中欠妥之处在所难免,希望读者和同仁能够及时指出,共同促进本书质量的提高。

最后再次希望本书能为读者的学习和工作提供帮助!

编者

2017.7.1

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件,常用于算法开发、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。在优化算法中,MATLAB 也有大量的应用。

优化算法有很多,关键是针对不同的优化问题,如可行解变量的取值(连续还是离散)、目标函数和约束条件的复杂程度(线性还是非线性)等,应用不同的算法。对于连续和线性等较简单的问题,可以选择一些经典算法,如梯度、Hessian 矩阵、拉格朗日乘数、单纯形法、梯度下降法等。而对于更复杂的问题,则可考虑用一些智能优化算法,如遗传算法和蚁群算法。此外还包括模拟退火、禁忌搜索、粒子群算法等。

本书是利用 MATLAB 软件 R2016b 版本进行 MATLAB 优化算法应用的最新书籍。

## 1. 本书特点

(1) 由浅入深,循序渐进:本书以有优化算法应用需求的读者为对象,首先从 MATLAB 应用基础知识讲起,接着详细讲解 MATLAB 求解各种优化问题,帮助读者尽快掌握 MATLAB 求解优化问题。

(2) 步骤详尽,内容新颖:本书结合作者多年的 MATLAB 优化算法的使用经验与实际应用案例,将优化算法的分析及其 MATLAB 的实现方法和函数应用详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖,讲解过程辅以相应的图片,使读者在阅读时一目了然,从而快速掌握书中所讲内容。

(3) 实例典型,轻松易学:书中多种优化算法求解案例,是掌握 MATLAB 优化算法和优化函数应用最好的方式。本书通过典型案例的求解,透彻、详尽地讲解了 MATLAB 在优化算法中的各种应用,即 MATLAB 优化函数的使用。

## 2. 本书内容

本书共 18 章,分为基础篇(MATLAB 应用基础)、进阶篇(MATLAB 常规优化算法)、高级篇(MATLAB 智能优化算法)、综合应用篇四部分,帮助初、中级读者快速掌握 MATLAB 优化算法应用。本书基于 MATLAB R2016b 版,详细讲解 MATLAB 优化算法的基础知识和经典案例。具体内容如下:

第一部分为 MATLAB 应用基础部分。主要介绍 MATLAB 各种基础运算、编程和程序设计、二维绘图、三维绘图、GUI 应用等内容。其中每章内容安排如下:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| 第 1 章: MATLAB 基础知识 | 第 2 章: MATLAB 编程 |
| 第 3 章: MATLAB 绘图   | 第 4 章: GUI 应用    |

第二部分为 MATLAB 常规优化算法部分。主要介绍 MATLAB 线性规划、非线性规划、无约束一维极值、无约束多维极值、约束优化方法、二次规划、多目标函数的优化方法等内容。其中每章内容如下:

## 第一部分 MATLAB 应用基础

第 1 章	MATLAB 基础知识 .....	3
1.1	基本概念 .....	3
1.1.1	数据类型概述 .....	3
1.1.2	整数类型 .....	4
1.1.3	浮点数类型 .....	6
1.1.4	常量与变量 .....	8
1.1.5	数组、矩阵、向量和标量 .....	9
1.1.6	字符型数据 .....	10
1.1.7	运算符 .....	11
1.1.8	复数 .....	14
1.1.9	无穷量和非数值量 .....	14
1.2	向量 .....	15
1.2.1	向量的生成 .....	15
1.2.2	向量的加减和数乘运算 .....	17
1.2.3	向量的点、叉积运算 .....	18
1.3	数组 .....	20
1.3.1	数组的创建和操作 .....	20
1.3.2	数组的常见运算 .....	24
1.4	矩阵 .....	29
1.4.1	矩阵生成 .....	29
1.4.2	向量的生成 .....	34
1.4.3	矩阵加减运算 .....	36
1.4.4	矩阵乘法运算 .....	37
1.4.5	矩阵的除法运算 .....	38
1.4.6	矩阵的分解运算 .....	39
1.5	字符串 .....	40
1.5.1	字符串变量与一维字符数组 .....	40
1.5.2	对字符串的多项操作 .....	41
1.5.3	二维字符数组 .....	43
1.6	符号 .....	44
1.6.1	符号表达式的生成 .....	44



# 目录

1.6.2	符号矩阵	45
1.6.3	常用符号运算	46
1.7	关系运算和逻辑运算	48
1.7.1	关系运算	48
1.7.2	逻辑运算	49
1.7.3	常用函数	51
1.8	复数	52
1.8.1	复数和复矩阵的生成	53
1.8.2	复数的运算	55
1.9	数据类型间的转换	55
	本章小结	57
第 2 章	MATLAB 编程	58
2.1	MATLAB 编程概述	58
2.2	MATLAB 编程原则	60
2.3	分支结构	60
2.3.1	if 分支结构	61
2.3.2	switch 分支结构	62
2.4	循环结构	63
2.4.1	while 循环结构	63
2.4.2	for 循环结构	64
2.5	其他控制程序命令	66
2.6	程序调试	70
2.6.1	程序调试命令	70
2.6.2	常见程序错误	71
2.6.3	内存优化	77
2.7	经典案例	82
	本章小结	91
第 3 章	MATLAB 绘图	92
3.1	数据图像绘制简介	92
3.1.1	离散数据可视化	92
3.1.2	连续函数可视化	95
3.2	二维绘图	98
3.2.1	二维图形基本绘图命令 plot	98
3.2.2	二维图形的修饰	100
3.2.3	子图绘制法	108
3.2.4	二维绘图的经典应用	111

3.3	三维绘制 .....	115
3.3.1	三维绘图基本命令 .....	116
3.3.2	网格曲面隐藏线的显示和关闭 .....	120
3.3.3	三维绘图的实际应用 .....	120
3.4	特殊图形的绘制 .....	122
3.4.1	特殊二维图形的绘制 .....	122
3.4.2	特殊三维图形 .....	123
	本章小结 .....	127
第4章	GUI 应用 .....	128
4.1	GUI 基础概念 .....	128
4.1.1	GUI 开发方法 .....	128
4.1.2	GUI 基本元素 .....	129
4.1.3	GUI 的层次 .....	130
4.2	菜单 .....	131
4.2.1	建立菜单和子菜单 .....	132
4.2.2	菜单对象常用属性 .....	136
4.2.3	快捷菜单 .....	137
4.3	GUIDE 的使用 .....	138
4.4	使用 M 文件创建 GUI 对象 .....	139
	本章小结 .....	142

## 第二部分 MATLAB 常规优化算法

第5章	MATLAB 线性规划 .....	145
5.1	线性规划的概念 .....	145
5.2	线性规划的标准形式 .....	146
5.3	线性规划的 MATLAB 函数 .....	147
5.4	线性规划问题求解方法 .....	150
5.4.1	单纯形线性规划问题求解 .....	150
5.4.2	多目标线性规划问题求解 .....	153
5.5	线性规划实例 .....	157
5.5.1	生产决策问题 .....	157
5.5.2	工作人员计划安排问题 .....	158
5.5.3	投资问题 .....	160
5.5.4	工件加工任务分配问题 .....	161
5.5.5	厂址选择问题 .....	163
5.5.6	确定职工编制问题 .....	164
5.5.7	生产计划的最优化问题 .....	165

# 目录

本章小结 .....	167
第 6 章 MATLAB 非线性规划 .....	168
6.1 非线性规划基础 .....	168
6.1.1 非线性规划标准形式 .....	168
6.1.2 非线性规划 MATLAB 函数 .....	169
6.2 无约束非线性规划 .....	171
6.2.1 基本数学原理 .....	171
6.2.2 无约束非线性规划函数 .....	172
6.2.3 无约束非线性规划问题的应用 .....	176
6.3 求解非线性规划 .....	177
6.3.1 一维最优化方法 .....	177
6.3.2 无约束最优化方法 .....	177
6.3.3 约束最优化方法 .....	178
6.4 非线性规划实例 .....	178
6.4.1 遗传算法求解非线性规划 .....	178
6.4.2 资金调用问题 .....	186
6.4.3 经营最佳安排问题 .....	189
本章小结 .....	190
第 7 章 无约束一维极值 .....	191
7.1 无约束算法基础 .....	191
7.2 进退法 .....	192
7.3 黄金分割法 .....	195
7.4 斐波那契法 .....	200
7.5 牛顿型法 .....	202
7.5.1 牛顿法 .....	202
7.5.2 阻尼牛顿法 .....	204
7.6 割线法 .....	206
7.7 抛物线法 .....	208
7.8 三次插值法 .....	210
7.9 坐标轮换法 .....	212
本章小结 .....	215
第 8 章 无约束多维极值 .....	216
8.1 直接法 .....	216
8.1.1 模式搜索法 .....	216
8.1.2 单纯形搜索法 .....	219
8.1.3 Powell 法 .....	223
8.2 使用导数计算的间接法 .....	227

8.2.1 最速下降法 .....	227
8.2.2 共轭梯度法 .....	229
8.3 拟牛顿法 .....	232
本章小结 .....	234
<b>第 9 章 约束优化方法 .....</b>	<b>236</b>
9.1 约束优化方法简介 .....	236
9.2 随机方向法 .....	237
9.3 复合形法 .....	238
9.4 可行方向法 .....	241
9.5 惩罚函数法 .....	245
本章小结 .....	247
<b>第 10 章 二次规划 .....</b>	<b>248</b>
10.1 基本概念 .....	248
10.2 拉格朗日法 .....	250
10.3 起作用集算法 .....	252
本章小结 .....	255
<b>第 11 章 多目标函数的优化方法 .....</b>	<b>256</b>
11.1 概述 .....	256
11.2 理想点法 .....	260
11.3 线性加权和法 .....	262
11.4 最大最小法 .....	264
11.5 目标规划法 .....	265
本章小结 .....	267

## 第三部分 MATLAB 智能优化算法

<b>第 12 章 免疫优化算法及其实现 .....</b>	<b>271</b>
12.1 基本概念 .....	271
12.2 人工免疫系统 .....	273
12.3 免疫遗传算法 .....	279
12.4 免疫算法 MATLAB 应用实例 .....	286
12.4.1 最短路径规划 .....	286
12.4.2 旅行商问题 .....	289
12.4.3 故障检测问题 .....	295
本章小结 .....	302
<b>第 13 章 粒子群优化算法的实现 .....</b>	<b>303</b>
13.1 算法的基本概念 .....	303

# 目录

13.2	算法的 MATLAB 实现	305
13.2.1	算法的基本程序	305
13.2.2	适应度函数	307
13.2.3	免疫粒子群算法的 MATLAB 应用	311
13.3	粒子群算法的权重控制	315
13.3.1	线性递减法	315
13.3.2	自适应法	318
13.4	混合粒子群算法	321
13.4.1	模拟退火免疫算法	321
13.4.2	基于杂交的算法	324
	本章小结	327
第 14 章	遗传优化算法的实现	328
14.1	遗传算法概述	328
14.2	基本遗传算法	329
14.3	MATLAB 遗传算法工具箱及其应用	335
14.4	自适应遗传算法	340
14.5	遗传算法的典型应用	345
14.5.1	求解函数极值	345
14.5.2	函数优化求解	350
	本章小结	352
第 15 章	小波变换的实现	353
15.1	小波变换原理	353
15.2	小波算法的 MATLAB 函数	354
15.3	图像的分解和量化	365
15.3.1	一维小波变换	365
15.3.2	二维变换体系	366
15.4	小波变换经典案例	371
15.4.1	去噪	371
15.4.2	压缩	373
	本章小结	376
第 16 章	神经网络的实现	377
16.1	人工神经网络基本概念	377
16.2	MATLAB 神经网络工具箱	378
16.2.1	常用神经元激活函数	379
16.2.2	神经网络通用函数	382
16.2.3	神经网络的 MATLAB 实现	385
16.3	神经网络的经典应用	401

16.3.1	PID 神经网络控制 .....	401
16.3.2	模糊神经网络在函数逼近中的应用 .....	408
本章小结	.....	417

## 第四部分 MATLAB 综合应用

第 17 章	分形维数应用与实现 .....	421
17.1	分形维数概述 .....	421
17.2	二维分形维数的 MATLAB 应用 .....	425
17.3	分形插值算法的 MATLAB 应用 .....	433
本章小结	.....	439
第 18 章	经济金融最优化应用 .....	440
18.1	期权定价分析 .....	440
18.2	收益、风险和有效前沿的计算 .....	445
18.3	投资组合绩效分析 .....	450
18.4	固定收益证券的久期和凸度计算 .....	455
本章小结	.....	462
附录	MATLAB 基本命令 .....	463
参考文献	.....	467



# 第一部分

## MATLAB应用基础

第 1 章 MATLAB 基础知识

第 2 章 MATLAB 编程

第 3 章 MATLAB 绘图

第 4 章 GUI 应用





MATLAB 是目前在国际上被广泛接受和使用的科学与工程计算软件,在优化算法中有广泛应用。本章主要介绍 MATLAB 优化的基础知识,包括基本概念、向量、数组、矩阵、字符串、符号、关系运算和逻辑运算等内容。

学习目标:

- (1) 了解 MATLAB 基本概念;
- (2) 掌握 MATLAB 中的向量、数组、矩阵等运算;
- (3) 熟练掌握 MATLAB 数据类型间的转换。

## 1.1 基本概念

20 世纪 70 年代中后期,曾在密歇根大学、斯坦福大学和新墨西哥大学担任数学与计算机科学教授的 Cleve Moler 博士,为讲授矩阵理论和数值分析课程的需要,他和同事用 Fortran 语言编写了两个子程序库 EISPACK 和 LINPACK,这便是构思和开发 MATLAB 的起点。MATLAB 一词是对 matrix laboratory(矩阵实验室)的缩写,由此可看出 MATLAB 与矩阵计算的渊源。

数据类型、常量与变量是 MATLAB 语言入门时必须引入的一些基本概念, MATLAB 虽是一个集多种功能于一体的集成软件,但就其语言部分而言,这些概念不可缺少。

### 1.1.1 数据类型概述

数据作为计算机处理的对象,在程序语言中可分为多种类型, MATLAB 作为一种可编程的语言当然也不例外。 MATLAB 的主要数据类型如图 1-1 所示。

MATLAB 数值型数据划分成整型和浮点型的用意和 C 语言有所不同。 MATLAB 的整型数据主要为图像处理等特殊的应用问题提供数据类型,以便节省空间或提高运行速度。对一般数值运算,绝大多数情况是采用双精度浮点型的数据。