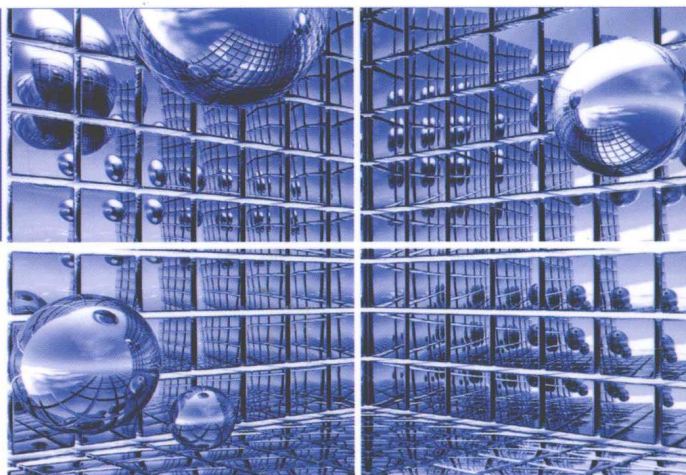


普通高等教育“十二五”规划教材



# 优化技术与MATLAB

## 优化工具箱

赵继俊 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 优化技术与 MATLAB 优化工具箱

主 编 赵继俊  
副主编 温建民  
参 编 李长河 修世超  
主 审 邹经湘



机械工业出版社

本书基于山东省研究生教育创新计划项目“优化技术与 MATLAB 优化工具箱”中的主要内容。

本书把传统的优化设计理论融于 MATLAB 软件中,通过将最优化技术理论与 MATLAB 优化工具箱或 MATLAB 编程相结合,既大大简化了优化设计理论解题过程中繁琐的高级语言编程工作,又能节省程序调试时间,还可以借助于 MATLAB 软件的强大的数值计算能力和卓越的数据可视化能力,将优化设计的迭代过程形象化地用图表形式表示出来,有利于更深入地了解和掌握各种优化方法的原理及工程应用。

本书主要内容有:优化设计方法与 MATLAB 优化工具箱概述,优化设计中的数学基础,一维搜索方法,无约束优化方法,约束优化方法,线性规划,多目标函数的优化方法,现代优化方法及上述各种方法中在 MATLAB 软件中的实现。本书可作为机械类研究生和高年级本科生教材,也可供广大工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

优化技术与 MATLAB 优化工具箱/赵继俊主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 2  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 111 - 33205 - 3

I. ①优… II. ①赵… III. ①最优化算法 - 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB - 高等学校 - 教材 IV. ①O242. 23-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 012753 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 王小东  
版式设计: 张世琴 责任校对: 李锦莉  
封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦  
北京京丰印刷厂印刷  
2011 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 13 印张 · 317 千字  
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 33205 - 3  
定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

社服务中心: (010) 88361066  
销售一部: (010) 68326294  
销售二部: (010) 88379649  
读者购书热线: (010) 88379203

门户网: <http://www.cmpbook.com>  
教材网: <http://www.cmpedu.com>  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

经过近三十年的努力,我国高等学校和科研院所已培养出一大批高素质人才,为国家的经济建设和发展作出了突出的贡献。但还要看到,研究生培养工作与 21 世纪知识经济时代对人才创新人才的要求相比还有一定的差距,与时代的发展步伐还有许多不相应的地方。高水平、自主创新和应用性很强的研究成果还不多,杰出创新型人才更是凤毛麟角,这些问题表明研究生培养尤其是创新能力培养方面还有待提高。

随着国际政治、经济、文化竞争的日益加剧,世界各国越来越重视人才在经济和社会发展中的重要作用,普遍认为经济竞争和综合国力的较量,归根到底是人才数量和质量的竞争。因此,各国政府对研究生教育的关注程度与日俱增,研究生教育被视为增加国家实力和国际竞争力的重要因素。伴随我国高等教育的规模化发展,人们不再仅仅关注研究生教育的数量,而且对研究生的综合素质、创新能力和创新精神愈加重视。

研究生教育在我国经济社会发展中占有重要的地位和作用。研究生创新教育是时代发展的迫切要求,担负着培养高层次专门人才和发展现代科学技术的双重任务。为此,从 2006 年开始,山东制定并启动了“山东省研究生教育创新计划”。本书内容为该计划资助项目“优化技术与 MATLAB 优化工具箱”的主要成果。

本书以注重知识的系统性和连贯性为主导思想,介绍了工程中常用的优化理论方法及这些方法在 MATLAB 软件中如何实现。共分 9 章,第 1 章优化设计方法与 MATLAB 概述,第 2 章优化设计中的数学基础与 MATLAB 实现,第 3 章一维搜索方法与 MATLAB 实现,第 4 章无约束优化方法与 MATLAB 实现,第 5 章约束优化方法与 MATLAB 实现,第 6 章线性规划与 MATLAB 实现,第 7 章多目标函数的优化方法与 MATLAB 实现,第 8 章现代优化方法与 MATLAB 实现,第 9 章优化设计实例。

本书可作为高等院校机械类研究生和高年级本科生教材,也可供相关专业的学生,教师及广大工程技术人员参考。

本书由哈尔滨工业大学(威海)赵继俊教授担任主编,温建民担任副主编,青岛科技大学李长河教授、东北大学修世超教授参加了编写。哈尔滨工业大学邹经湘教授担任主审。

由于编者水平所限,书中难免有缺点和错误,恳切希望读者给予批评指正。

**编 者**  
**山东威海**



# 目 录

## 前言

## 第 1 章 优化设计与 MATLAB

### 概述 ..... 1

- 1.1 优化设计问题实例 ..... 1
- 1.2 设计变量 ..... 2
- 1.3 约束条件 ..... 3
- 1.4 目标函数 ..... 5
- 1.5 MATLAB 简介 ..... 7

## 第 2 章 优化设计中的数学基础与

### MATLAB 实现 ..... 16

- 2.1 函数的方向导数和梯度 ..... 16
- 2.2 多元函数的泰勒展开式 ..... 20
- 2.3 二次型函数 ..... 23
- 2.4 无约束问题的极值条件 ..... 26
- 2.5 函数的凸性 ..... 30
- 2.6 约束优化问题的极值条件 ..... 34
- 2.7 优化设计的迭代法和终止准则 ..... 44

## 第 3 章 一维搜索方法与 MATLAB

### 实现 ..... 47

- 3.1 一维搜索方法概述 ..... 47
- 3.2 搜索区间的确定 ..... 48
- 3.3 黄金分割法 ..... 50
- 3.4 二次插值法 ..... 54
- 3.5 牛顿法 ..... 59
- 3.6 一维优化问题 MATLAB 工具箱中的  
基本函数 ..... 61

## 第 4 章 无约束优化方法与 MATLAB

### 实现 ..... 64

- 4.1 无约束优化方法概述 ..... 64
- 4.2 坐标轮换法 ..... 66
- 4.3 梯度法 ..... 69
- 4.4 牛顿法 ..... 73
- 4.5 共轭方向法 ..... 78
- 4.6 单纯形法 ..... 83
- 4.7 Powell 法 ..... 88
- 4.8 变尺度法 ..... 97
- 4.9 无约束优化问题 MATLAB 工具箱中的

基本函数 ..... 103

## 第 5 章 约束优化方法与 MATLAB

### 实现 ..... 106

- 5.1 概述 ..... 106
- 5.2 随机方向法 ..... 107
- 5.3 复合形法 ..... 109
- 5.4 可行方向法 ..... 117
- 5.5 惩罚函数法 ..... 131
- 5.6 有约束优化问题 MATLAB 工具箱中的  
基本函数 ..... 141

## 第 6 章 线性规划与 MATLAB

### 实现 ..... 145

- 6.1 线性规划的标准形式与基本性质 ..... 145
- 6.2 单纯形法的基本原理 ..... 150
- 6.3 初始基本解与两相法 ..... 159
- 6.4 线性规划问题的 MATLAB  
实现 ..... 161
- 6.5 线性规划问题 MATLAB 工具箱  
中的基本函数 ..... 163

## 第 7 章 多目标函数的优化方法与

### MATLAB 实现 ..... 166

- 7.1 概述 ..... 166
- 7.2 统一目标函数法 ..... 166
- 7.3 主要目标法 ..... 169
- 7.4 协调曲线法 ..... 170
- 7.5 多目标优化举例及 MATLAB  
实现 ..... 171

## 第 8 章 现代优化方法与 MATLAB

### 实现 ..... 173

- 8.1 遗传算法 ..... 173
- 8.2 模拟退火算法 ..... 181

## 第 9 章 优化设计实例 ..... 187

- 9.1 威布尔分布参数优化估计 ..... 187
- 9.2 弹簧的优化设计 ..... 194

## 参考文献 ..... 201

# 第1章 优化设计与 MATLAB 概述

优化设计 (Optimal Design) 是现代先进的设计方法, 这种设计方法是把数学规划理论与计算方法应用于产品设计中, 按照预定的目标, 借助于计算机的运算寻求最优设计方案的有关参数, 从而获得最好的技术经济效果。

优化设计反映出人们对于设计规律这一客观世界认识的深化。设计上的“最优值”是指一定条件影响下所能得到的最佳设计值。最优值是一个相对的概念, 在大多数的情况下, 可以用最大值或最小值来表示。

概括起来, 优化设计的工作包括以下两部分内容:

1) 将实际的设计问题的物理模型抽象为数学模型 (用数学公式表示出来)。建立数学模型时要选取设计变量, 列出目标函数, 给出约束条件。目标函数是设计问题所需求的最优指标与设计变量之间的函数关系式。

2) 选取适当的最优化方法, 求解数学模型。也归结为在给定的条件 (约束条件) 下, 求目标函数的极值或最优值问题。

MATLAB 是由美国 Mathworks 公司开发集科学计算和程序设计为一体的工程软件, 具有非常强大的数值计算能力, 特别是所附带的数十种面向不同领域的工具箱, 已经广泛应用于数值分析、信号与图像处理、控制系统设计、通信仿真、工程优化、数学建模和统计分析等领域, 是工科大学生和研究生必须掌握的基本工具。利用 MATLAB 编程可以很方便地处理矩阵变换及运算、多项式运算、微积分运算、线性与非线性方程求解、常微分方程求解、偏微分方程求解、插值与拟合等问题, 而且还能方便地将计算结果用图形、图像等来表达, 使得计算过程更加生动、形象, 有利于提高学生的学习兴趣。MATLAB 软件的出现, 为解决各种工程最优化问题提供了更新、更丰富的手段、技术和方法。利用 MATLAB 求解优化问题, 系统性强、方式多, 一方面可从快捷便利的优化工具箱 GUI 工具以及工具箱函数入手; 另一方面也可采用算法编程的方式入手。

## 1.1 优化设计问题实例

在利用优化方法对产品进行设计时, 通常根据设计对象及对其所关注的性能指标要求, 选择若干个起关键作用的设计变量 (又称设计参数), 应用相关的专业理论知识建立性能指标与设计参数的数学表达式或数学方程 (又称数学模型)。下面通过生产和生活中两个简单问题来说明优化设计数学模型。

**例 1-1** 设计容积  $10\text{m}^3$  薄铁皮带盖圆柱形容器, 确定高度  $H$  和半径  $R$  的尺寸, 使用料最省。

**解:** 圆柱形带盖容器的用料可用其表面积  $s = 2\pi R^2 + 2\pi RH$  表示。要求得  $R$  和  $H$  值使表面积  $s$  最小, 同时又要满足容积  $V = \pi R^2 H = 10\text{m}^3$  的条件。因此, 这个优化设计问题的数学模型为:

求设计变量  $R$  和  $H$  的值, 使目标函数  $f(R, H) = s = 2\pi R^2 + 2\pi RH$  取最小值, 且满足约束条件

$$V = \pi R^2 H = 10$$

$$R > 0, H > 0$$

**例 1-2** 某工厂生产两种产品  $P_1$ 、 $P_2$ , 需用三种原料  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ , 生产 1kg 产品  $P_1$  需用原材料  $M_1$ 9kg、 $M_2$ 4kg、 $M_3$ 3kg; 生产 1kg 产品  $P_2$  需用原材料  $M_1$ 4kg、 $M_2$ 5kg、 $M_3$ 10kg。产品  $P_1$  每千克的利润为 700 元, 产品  $P_2$  每千克的利润为 1400 元。但该工厂每天能够提供的原材料为  $M_1$ 360kg、 $M_2$ 200kg、 $M_3$ 300kg。问每天生产  $P_1$ 、 $P_2$  产品各多少才能使利润最大?

**解:** 设每天生产  $P_1$ 、 $P_2$  产品的数量分别为  $x_1$ 、 $x_2$ , 则根据题意可建立如下数学模型, 即

$$\max f(x_1, x_2) = 7x_1 + 14x_2$$

$$\text{满足约束} \quad 9x_1 + 4x_2 \leq 360$$

$$4x_1 + 5x_2 \leq 200$$

$$3x_1 + 10x_2 \leq 300$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

可将上述 5 个约束条件及目标函数绘出函数图形如图 1-1 所示。可知, 满足全部约束条件点的集合为五边形  $OABCD$  的边界上和内部所有的点。而且, 目标函数  $\max f(x_1, x_2) = 7x_1 + 14x_2 = c$  是平行等值线族,  $c$  越大, 直线越向右上方变化 (图中虚线)。由图上可见, 点  $C$  是五边形上使  $c$  值最大的一个点, 也是问题的最优解。点  $C$  是直线  $3x_1 + 10x_2 = 300$  和直线  $4x_1 + 5x_2 = 200$  的交点, 即  $x_1 = 20$ ,  $x_2 = 24$ 。此时工厂的利润为 47600 元。

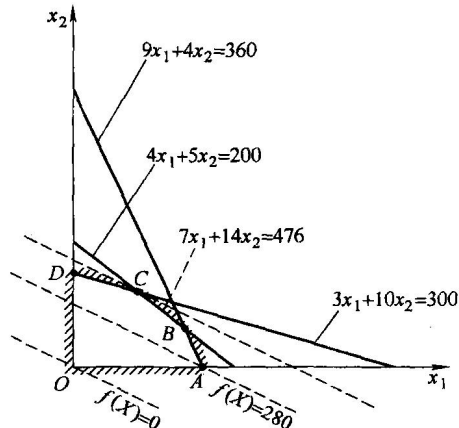


图 1-1 例 1-1 函数图形

## 1.2 设计变量

在设计过程中进行选择, 并最终必须确定的各项独立的参数, 称为设计变量或称优化参数。

在选择过程中它们是变量, 但这些变量一旦确定以后, 则设计对象也就完全确定了。最优化设计实质就是研究怎样合理地优化选择这些设计变量值的一种设计方法。

在机械设计中常用的独立参数有结构的总体布置尺寸、元件的几何尺寸和材料的力学和物理特性等。在这些参数中, 凡是可以根据设计要求事先给定的, 则不是设计变量, 而成为设计常量, 只有那些需要在设计过程中优选的参数, 才可看成是最优设计过程中优选的参数, 才可看成是最优化设计过程中的设计变量。

在实际的问题中, 设计变量可分为两类, 一类是连续变化的设计变量, 另一类是离散变化的设计变量, 如齿轮的齿数等。对于离散变量的优化设计问题, 目前尚处于发展阶段, 尽管目前已可以处理这类问题, 一般都是采用简化的计算方法, 假定设计变量有个连续变化的区域, 将不连续的变量当做连续变量处理。计算结果若不在连续变化区域中, 则一般可取与之相近的不连续的数。

设计变量的个数（数目）称为优化设计的维数：如有  $n$  ( $n=1, 2, \dots$ ) 个设计变量，则称为  $n$  维设计问题。只有两个设计变量的是二维设计问题，可用直角坐标系来表示，如图 1-2a 所示；有三个设计变量的是三维设计问题，可用空间直角坐标系表示，如图 1-2b 所示。

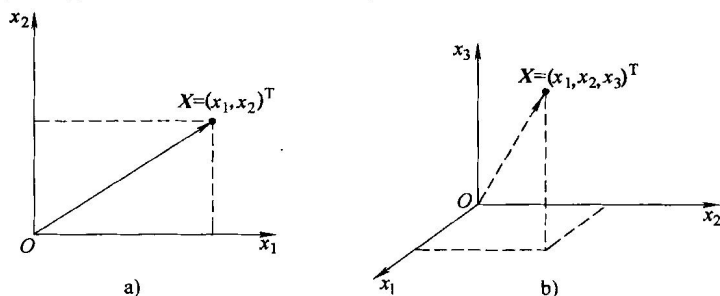


图 1-2 设计变量直角坐标系的表示

a) 二维设计变量 b) 三维设计变量

在二维优化问题中，当设计变量  $x_1$ 、 $x_2$  分别取不同值时，则可得到在坐标平面上不同的相应点，每一个点表示一种设计方案，如用向量表示这个点，即为二维向量

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = (x_1, x_2)^T$$

同样在三维优化问题中，每一个设计方案表示为三维空间中的一个点，同样也可用向量表示为

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = (x_1, x_2, x_3)^T$$

更一般的情况是，有  $n$  个设计变量，如用向量表示就是  $n$  维向量

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad (1-1)$$

通常设计变量的个数  $n > 3$  时，很难用图像表示，设计空间只能想象成一个抽象  $n$  维超越空间。当这种以  $n$  个独立变量为坐标轴组成的  $n$  维向量空间是一个  $n$  维实空间，用  $R^n$  表示，如果其中任意两向量又具有内积运算，则称  $n$  维欧式空间，用  $E^n$  表示。

### 1.3 约束条件

已经知道，设计空间内每一点都代表一个设计方案，但是实际上，并不是任何一个设计方案都是可行的。因为机械设计中的设计变量  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 不能任意选取，一般总要受到某些条件的限制，这些限制条件就是设计的约束条件。每一个约束条件用设计变量或它的函数表示，故又称约束函数。

### 1.3.1 约束条件的形式

设计变量的约束分边界约束和性能约束。边界约束是指设计变量取值范围的界限。例如，机械设计中的杆长度取值的上下限、齿轮最小和最大齿数限制范围。有些设计变量，例如，长度、重量等，取正值才有实际意义。性能约束是指对机械工作性能上要求的限制条件。例如，机械零件的强度、刚度、效率或振动频率的允许范围等。像这类约束函数，可根据力学和机械设计的公式导出。

机械优化设计的约束函数大部分是不等式的，也有等式的。不等式、等式的约束函数一般表示形式为

$$g_u(\mathbf{X}) \leq 0 \quad (u = 1, 2, \dots, m)$$

或 
$$g_u(\mathbf{X}) \geq 0 \quad (u = 1, 2, \dots, m)$$

和 
$$h_v(\mathbf{X}) = 0 \quad (v = 1, 2, \dots, p < n)$$

这三种形式都可以处理成统一的形式： $g_u(\mathbf{X}) \leq 0$ ，因为  $-g_u(\mathbf{X}) \leq 0$  可用来代替  $g_u(\mathbf{X}) \geq 0$ ；而  $h_v(\mathbf{X}) = 0$  可以用两个不等式约束函数  $h_v(\mathbf{X}) \leq 0$ 、 $-h_v(\mathbf{X}) \leq 0$  来代替。

上面等式约束中的  $p < n$  的含义是等式约束条件数目，应少于设计变量数。从理论上讲一个等式约束可以消去一个设计变量。消去一个设计变量，目标函数将降一维。由此，若  $p \geq n$ ，即等式约束条件数等于或多于设计变量，显然是没有实际意义的。因此，只能取  $p < n$ 。

### 1.3.2 可行域与非可行域

在优化设计中，由于引入了约束条件，因此，只有满足约束条件的设计方案才是可行的设计方案。从几何概念来看，一个不等式约束条件  $g_u(\mathbf{X}) \leq 0$ ，把设计空间划分为两部分，一部分满足约束条件，即  $g_u(\mathbf{X}) \leq 0$  部分；另一部分不满足约束条件，即  $g_u(\mathbf{X}) > 0$  部分。两部分的分界面或线  $g_u(\mathbf{X}) = 0$  称为约束面或线。换言之，在设计空间内， $g_u(\mathbf{X}) = 0$  表示为一个约束面（线），它把设计空间分成满足约束条件的部分  $g_u(\mathbf{X}) < 0$  和不满足约束条件的部分  $g_u(\mathbf{X}) > 0$ 。在二维设计平面中，可以直观地理解这个概念如图 1-3a 所示，在不满足约束条件的一侧画出阴影线来表示这个部分不符合约束条件。

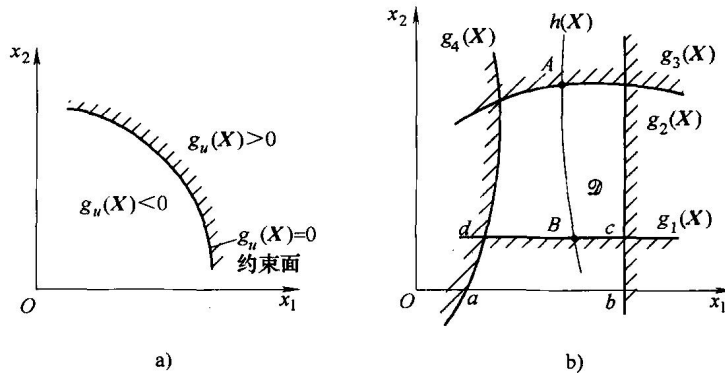


图 1-3 二维空间的可行域

a) 约束面 b) 可行域  $\mathcal{D}$

显然,若有  $m$  个不等式的约束条件  $g_u(X) \leq 0 (u=1,2,\dots,m)$ 。它们的约束面在设计空间中围出两个区域,在二维平面内,有四条约束线围出了两个区域的情形,如图 1-3b 所示。满足所有约束条件的区域,即图中由各约束线围成的没有阴影线的区域,称为可行设计区域,简称可行域,数学表达式为

$$\mathcal{D} = \{X | g_u(X) \leq 0 \quad (u=1,2,\dots,m)\} \quad (1-2)$$

也就是说设计变量只允许在这个区域中选取。在可行域之外的区域则为非可行域。严格地说,只要不满足任意一个约束条件的区域都是非可行域。例如,图 1-3b 中  $abcd$  这个非可行域中的点,只是不满足  $g_1(X) \leq 0$  一个约束条件。

如果除不等式约束条件外,还有等式约束条件  $h(X) = 0$ ,在这种情况下,设计方案只允许在可行域  $\mathcal{D}$  内的等式约束曲线  $h(X) = 0$  上选取,即在该曲线的  $AB$  段中选取,因为只有此线段中的点,才满足所有不等式和等式约束。

上面是以二维平面为例来说明可行域的概念,这是为了便于用平面图形形象地表示出来。对三维和三维以上的情况,约束条件是曲面或超越曲面,约束曲面围成的可行域是多曲面围成的空间,不使用图形表示。

对于无约束优化设计问题,因为没有约束条件,自然就不存在可行域和非可行域。

## 1.4 目标函数

在无约束优化问题的设计空间或在约束优化问题的可行域中,都有无数设计方案可供选择。优化设计的目的在于从一切可能的方案中选出一个最优的方案来。这就需要有一个衡量设计方案的标准。例 1-1 中的薄铁皮的面积、例 1-2 中的利润等都是衡量的标准。在机械设计中,结构尺寸、重量、强度、承受载荷的能力、效率等根据设计的要求都可以分别作为衡量设计方案优劣的标准。

优化设计要把设计变量与某种衡量标准的关系用函数式来表达,追求该函数值最小(或最大)以求得一组设计变量,从而获得一个最优设计方案。这个函数就称为目标函数,它是以设计变量为自变量,以所要求的某种目标为因变量,按一定关系所建立的用以评价设计方案优劣的数学关系式。它的一般表达式为

$$f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

在优化设计中,若追求目标函数最小可写成为  $\min_{x \in R^n} f(X)$ ,若追求目标函数最大可写成为  $\max_{x \in R^n} f(X)$ 。由于  $\min_{x \in R^n} -f(X)$  与  $\max_{x \in R^n} f(X)$  等价,以后为了统一,通常都写成目标函数最小的形式,即  $\min_{x \in R^n} f(X)$ 。

$$\min f(X) = \min f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-3)$$

在工程设计优化问题中,所追求的目标函数各式各样。目标函数由一个评价标准或一个追求的目标建立的目标函数称为单目标函数。如果同时兼顾有多个评价标准(追求目标)建立的目标函数称为多目标函数,或称多目标优化问题。在一般的机械优化设计中,多目标函数的情况较多,可以这样讲,目标函数越多,设计的综合效果越好,但问题的求解也就越复杂。



多目标函数，可以将它们分别独立地列出来，即

$$\left. \begin{aligned} f_1(\mathbf{X}) &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(\mathbf{X}) &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\dots\dots \\ f_q(\mathbf{X}) &= f_q(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

也可以把几个设计的目标函数综合到一起，建立一个综合的目标函数表达式，即

$$f(\mathbf{X}) = \sum_{j=1}^p f_j(\mathbf{X}) \quad (1-5)$$

式中， $p$  为最优化设计所追求的目标函数的数目。

在实际的工程设计中，经常会遇到多目标函数的某些目标之间存在矛盾的情况，这就要求设计者正确处理好各目标函数之间的关系。常用的解决办法是引入加权因子  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\dots$ 、 $\omega_q$ ，用一个目标函数来表示若干个目标函数的加权和，根据加权因子的大小，来区分各目标函数的重要程度。加入加权因子后，式 (1-5) 变成了

$$f(\mathbf{X}) = \sum_{j=1}^q \omega_j f_j(\mathbf{X}) \quad (1-6)$$

式中， $\omega_j$  为第  $j$  项（式中第  $j$  个目标函数）的加权因子（又称权重）

加权因子是一个非负的系数，由设计者根据该目标函数在整个最优化设计中所占的重要程度选定。

目标函数与设计变量之间的关系，可用曲线或曲面来表示。一个设计变量与一个目标函数之间的函数关系，为二维平面上的一条曲线，如图 1-4a 所示。当有两个设计变量时，目标函数与它们的关系是三维空间的一个曲面，如图 1-4b 所示。当有  $n$  个设计变量时，目标函数与设计变量间呈  $(n+1)$  维空间的超越曲面关系。

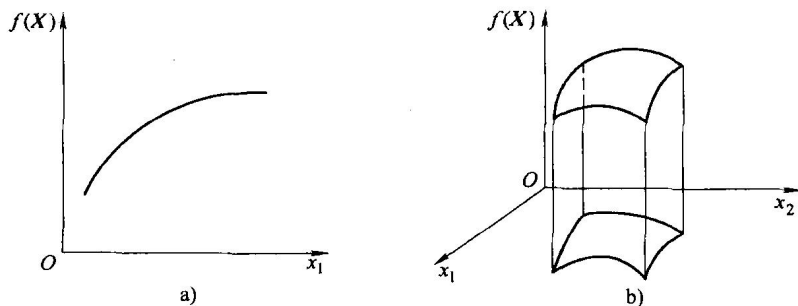


图 1-4 目标函数与设计变量间的函数关系  
a) 一个设计变量与一个目标函数 b) 两个设计变量与目标函数

图 1-5 表示目标函数  $f(\mathbf{X})$  与两个设计变量  $x_1$ 、 $x_2$  之间所构成的关系曲面，在曲面上目标函数值都相等的设计点所构成的曲线称为等值线（或称等高线），等值线在  $x_1$ 、 $x_2$  二维平

面上是一条平面曲线。当给定目标函数不同数值时,可得一系列的等值线,它们构成目标函数的等值线族。在极值处目标函数的等值线聚集成一点,并位于等值线族的中心。当该中心为极小值时,则离中心越远目标函数值越大;当该中心为极大值时,则离中心越远目标函数值越小。当目标函数值的变化范围一定时,等值线越稀疏说明目标函数值变化越平缓。利用等值线的概念可用几何图像形象地表示出目标函数的变化规律。另外,在许多优化问题中,最优点附近往往是一族近似的共心椭圆族,而每一个近似椭圆就是一条目标函数的等值线。这时,求最优点即是求其等值线同心椭圆族的中心。根据求椭圆族中心的不同途径,存在着各种最优化方法。

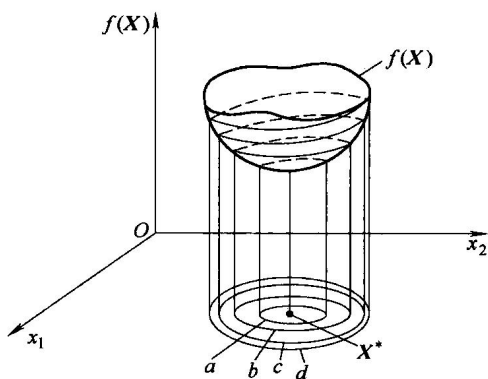


图 1-5 目标函数与等值线

以上讨论的是二维设计问题,等值线为平面曲线。对于三维设计问题,其等值函数为一个面,称做等值面。对于  $n$  维设计问题则为等值超越曲面。

## 1.5 MATLAB 简介

### 1.5.1 MATLAB 的主要特点

MATLAB 的英文源于 MATrix LABoratory,原意为矩阵实验室。目前, MATLAB 在工程设计及科学研究中之所以广受欢迎,其主要特点如下:

#### 1. 友好的工作平台和编程环境

MATLAB 提供了丰富的图形化工具,为用户使用 MATLAB 的函数和文件提供了极大的方便。这些图形化工具包括 MATLAB 桌面和命令窗口、历史命令窗口、编辑器和调试器、路径搜索,以及浏览帮助、工作空间、文件浏览器等。

随着 MATLAB 的商业化以及软件本身的不断升级, MATLAB 的用户界面也越来越精致,更接近 Windows 的标准界面,人机交互性更强,操作更简单。

#### 2. 简单易用的编程语言

MATLAB 是一种面向科学与工程计算的高级语言,允许用数学形式的语言编写程序,与 FORTRAN、C、C++ 等语言相比,更接近人们书写计算公式的思维方式。既具有结构控制语句,又具有面向对象的编程能力,用 MATLAB 编写程序更加符合科技人员对数学表达式的书写格式,更易于非计算机专业的科技人员使用。MATLAB 语言可移植性好、可拓展性强。

#### 3. 强大的科学计算和数据处理功能

MATLAB 的运算符十分丰富,拥有 600 多个工程要用到的数学运算函数,可以方便地实现用户所需的各种计算功能。MATLAB 数值计算能力非常强大、高效和方便,特别适合于矩阵及数组的计算。

#### 4. 出色的图形处理功能

MATLAB 具有一系列方便、快捷的绘图函数和命令,以及形象、直观、功能齐全的数据

可视化功能，能够将向量和矩阵用图形的形式表现出来，并且可以对图形进行标注和打印。MATLAB 可以在线性坐标、对数坐标和极坐标等不同坐标系中绘制二维和三维图形，以及工程特性较强的特殊图形。

### 5. 应用广泛的专业领域工具箱

MATLAB 对许多专业领域都开发了功能强大的工具箱 (Toolbox)，这些工具箱都是由本领域的专家开发，代表了各领域的最高水平。MATLAB 工具箱文件都是开放的、可读可改的源文件，用户可以对工具箱加以修改，并构成自己的新工具箱。

目前，MATLAB 工具箱已延伸到科学研究和工程应用的诸多领域，如最优化设计、概率统计、样条拟合、偏微分方程求解、神经网络、小波分析、信号分析处理、图像处理、金融分析及控制仿真等。

### 6. 良好的程序接口

MATLAB 与 FORTRAN、C 和 BASIC 语言之间可以很方便地连接，用户只需将已有的 EXE 文件转换成 MEX 文件即可。可见，尽管 MATLAB 除自身具有强大的功能之外，它还可以与其他程序和软件实现很好的交流和通信，这样可以最大限度地利用各种资源的优势，从而使 MATLAB 能够做到最大程度的优化。

## 1.5.2 MATLAB 桌面操作环境

MATLAB 为用户提供了全新的桌面操作环境，了解熟悉这些操作环境是使用 MATLAB 的基础。

### 1. MATLAB 启动和退出

以 Windows 操作系统为例，进入系统后，选择“开始”→“程序”→“MATLAB”，便可进入 MATLAB 默认主窗口，如图 1-6 所示。如在安装时在桌面上生成快捷方式，也可双击快捷方式直接启动。

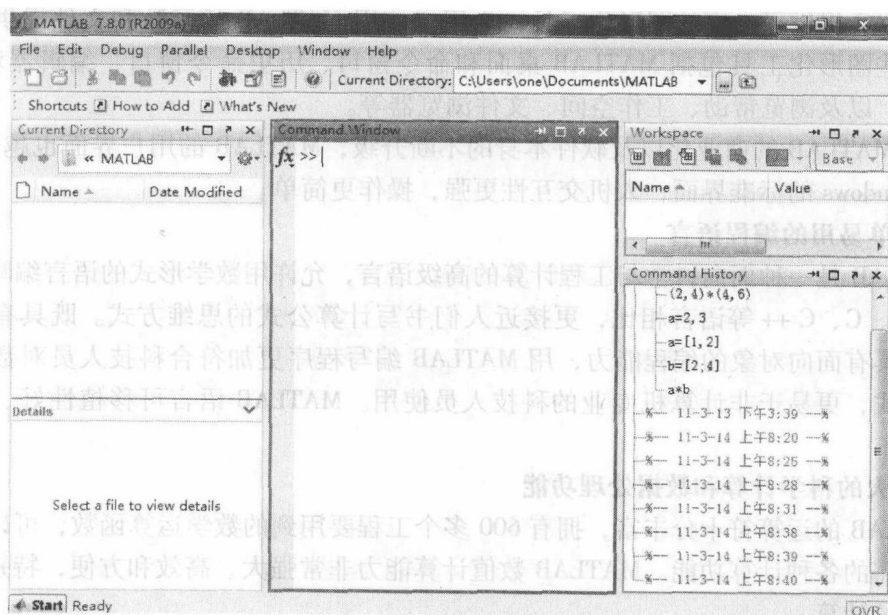


图 1-6 MATLAB 起始界面

## 2. MATLAB 的窗口

MATLAB 主窗口是 MATLAB 的主要工作界面。主窗口除嵌入一些子窗口外，还包括菜单栏和工具栏。

(1) 命令窗口 MATLAB 起始界面中间部分即为命令窗口 (Command Window)，在该窗口可以输入命令，实现计算和绘图。在命令窗口中可使用常用的功能键，使操作更简便。

命令窗口是和 MATLAB 编译器连接的主要通道。“>>”为运算提示符，表示 MATLAB 处于准备状态。当在提示符后输入一段正确的运算式时，只要按 Enter 键，命令窗口就会直接显示运算结果。例如，计算一个半径为 10 的圆的面积，只需在命令窗口输入如下数据：

```
fx >> are = pi * 10^2
```

按 Enter 键确认输入，如图 1-7 所示，即可得出如下结果：

```
are =
    314.1593
fx >>
```

同时“fx >>”提示符不会消失，表明 MATLAB 继续处于准备状态。

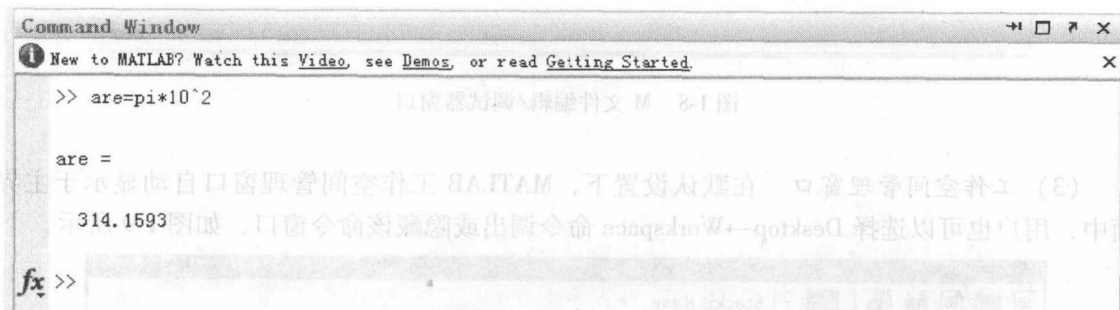


图 1-7 MATLAB 命令窗口

(2) M 文件编辑/调试器窗口 将 MATLAB 语句按特定的顺序组合在一起就得到了 MATLAB 程序，其文件名的后缀为 .m，故称之为 M 文件。利用 Edit 菜单的选项，可以对 M 文件进行编辑，其使用方法与其他文本编辑器相似。利用 Debug 和 Breakpoints 菜单选项，可以进行调试，利用 Breakpoints 菜单的选项，可以设置和取消断点。利用 Debug 菜单的选项，可以确定运行方式，如逐行运行、运行至光标处等，选择 Debug→Run 选项，可以运行程序，M 文件编辑/调试器窗口如图 1-8 所示。

M 文件有命令文件 (Script File) 和函数文件 (Function File) 两种形式。

命令文件通常只是一系列命令语句的组合，没用输入参数，也不返回参数，运行时只需要在命令窗口中键入文件名即可。

函数文件常用于反复调用和不断改变参数的场合，它可以接受参数，也可以返回参数，其运行时必须通过语句调用。函数文件的第一个可执行语句必须是定义语句

Function[输出参数] = 函数名(输入参数)

函数文件可以附带多个输出参数和输入参数，各个参数之间用逗号“,”隔开，也可以没有输出参数。输入参数是函数文件的入口数据，是函数操作的主要对象。函数的功能实质

是对输入参数进行运算，再通过输出参数（函数文件的出口数据）传递给调用命令。

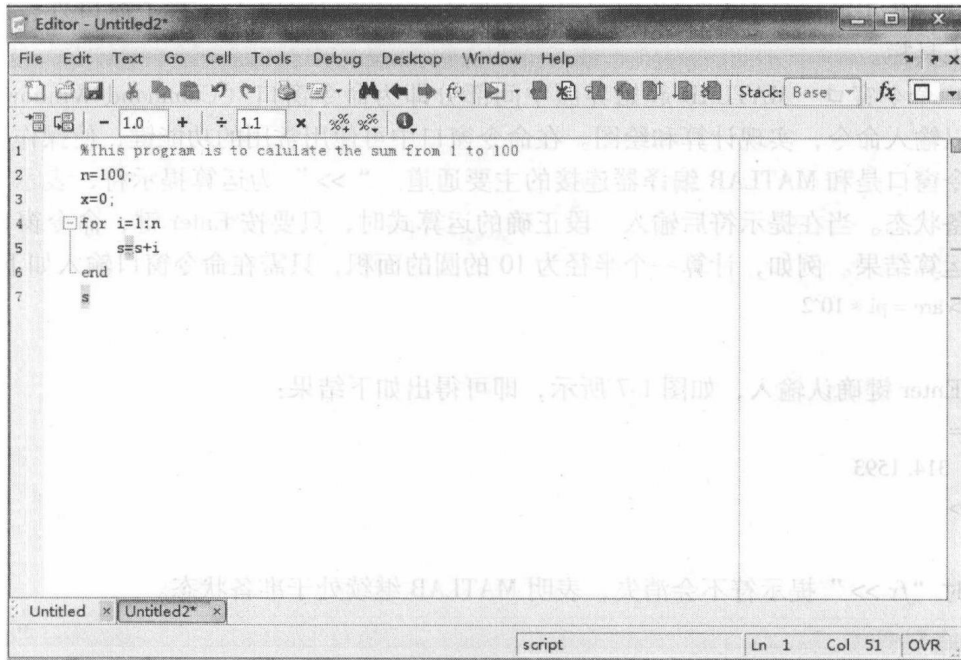


图 1-8 M 文件编辑/调试器窗口

(3) 工作空间管理窗口 在默认设置下，MATLAB 工作空间管理窗口自动显示于主界面中，用户也可以选择 Desktop→Workspace 命令调出或隐藏该命令窗口，如图 1-9 所示。

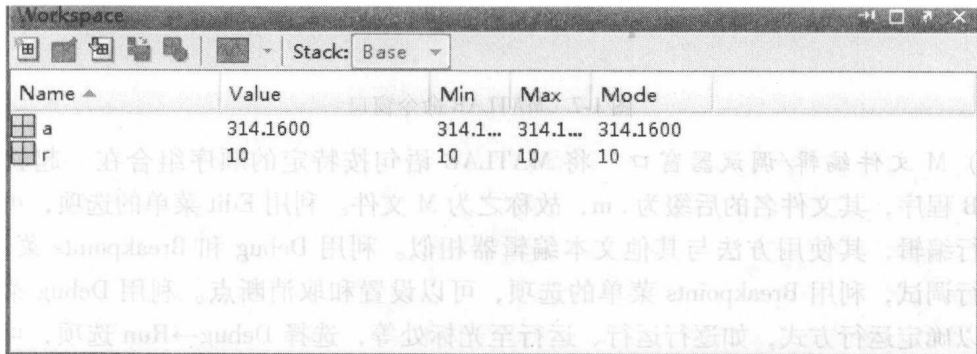


图 1-9 MATLAB 工作空间管理窗口

工作空间中的变量以变量名 (Name)、数值 (Value)、变量数组的大小 (Size)、变量字节大小 (Bytes) 和类型 (Class) 形式显示出来。双击某个变量，将进入变量编辑器 (Variable Editor)，可以直接观察变量具体元素的值，也可直接修改这些元素。

(4) 当前目录窗口 在默认设置下，MATLAB 当前路径窗口 (Current Directory) 自动显示主界面中，用户也可以选择 Desktop→Current Directory 命令调出或隐藏该命令窗口，如图 1-10 所示。该窗口显示当前目录下所有文件的文件名、文件类型和最后修改时间等内容。

(5) 命令历史窗口 在默认设置下, 命令历史 (Command History) 窗口自动显示于主界面的左下方。用户也可选择 Desktop→Command History 命令调出或隐藏该命令窗口, 如图 1-11 所示。

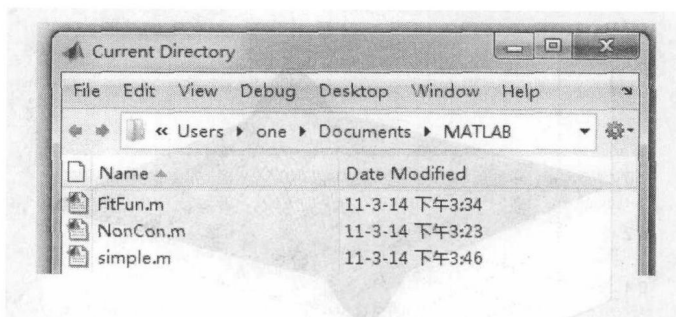


图 1-10 MATLAB 当前路径窗口

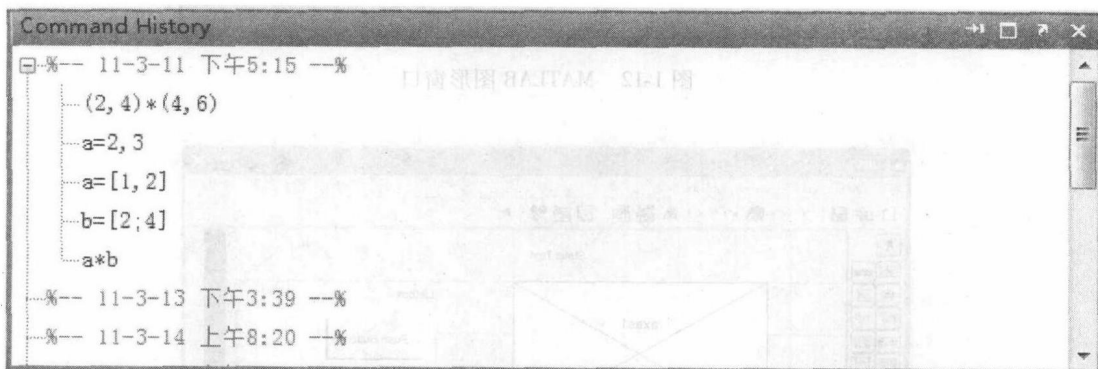


图 1-11 MATLAB 命令历史窗口

命令历史窗口显示用户在命令窗口中所输入的每条命令的历史记录, 并标明使用时间, 这样可以方便用户的查询。如果用户想再次执行某条已执行过的命令, 只需在命令历史窗口中双击该命令或通过拖曳或复制的方法将命令行复制到命令窗口, 就可执行该命令。用户还可以从命令历史窗口中删除一条或多条命令。

(6) 图形窗口 MATLAB 图形窗口 (Figure) 主要用于显示用户所绘制的图形。选择菜单 File→New→Figure 选项, 或在命令窗口输入或执行其他任意一种绘图命令, 图形窗口就会自动产生, 如图 1-12 所示。

利用图形窗口菜单和工具栏的选项, 可以对图形进行线形、颜色、标记、三维视图、光照和坐标轴等内容设置。

(7) GUI 窗口 GUI (Graphics User Interfaces) 指图形用户界面, 在 MATLAB 起始界面下, 选择 File→New→GUI 选项, 即可打开图形用户界面制作窗口, 如图 1-13 所示, 利用窗口左侧的工具栏按钮, 即可在右侧窗口中绘制各种按钮、滚动条、文本框、列表框、坐标系等多个控件, 可以快速方便地实现面向对象编程, 生成图形用户界面。



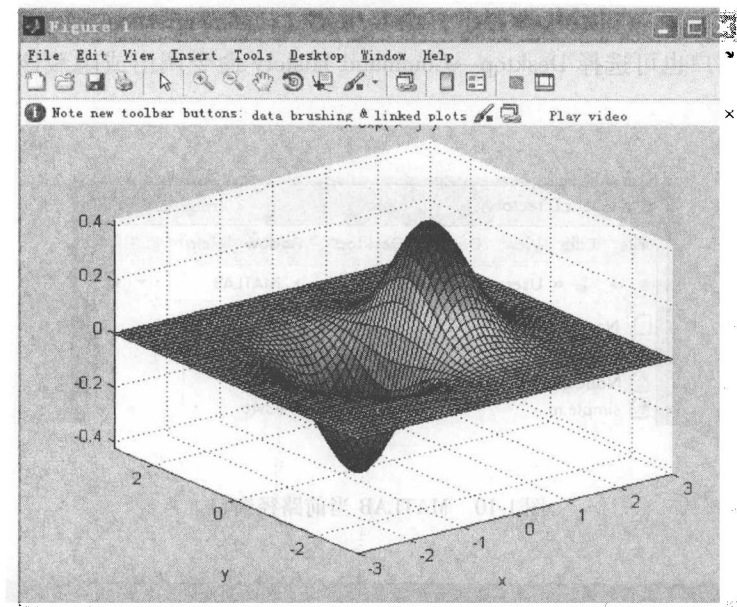


图 1-12 MATLAB 图形窗口

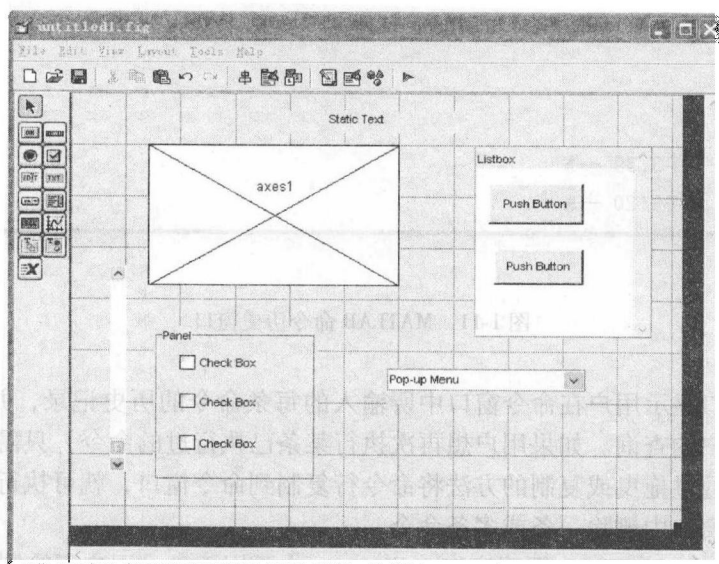


图 1-13 GUI 窗口

### 1.5.3 MATLAB 主菜单及功能

打开 MATLAB 主界面后，即弹出其主菜单，共包含 File、Edit、Debug、Parallel、Desktop、Window 和 Help 7 个菜单项。主菜单栏的各菜单项及其下拉菜单的功能简要介绍如下。

#### 1. File 主菜单项

File 主菜单项实现有关文件的操作，其下拉菜单有：

- 1) New：用于建立新的 .m 文件、图形、模型和图形用户界面。