



高等院校应用型人才培养
经济管理类实验示范教材

Gaodeng Yuanxiao Yingyongxing Rencai Peiyang
Jingji Guanlilei Shiyen Shifan Jiaocai



管理运筹学

● 李 军 叶艺勇 编著

GUANLI YUNCHOUXUE SHIYAN JIAOCHENG

实验教程



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

016003133



高等院校应用型人才培养
经济管理类实验示范教材

Gaodeng Yuanxiao Yingyongxing Rencai Peiyang
Jingji Guanlilei Shiyan Shifan Jiaocai

管理运筹学

● 李 军 叶艺勇 编著

GUANLI YUNCHOUXUE SHIYAN JIAOCHENG

实验教程



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 简 介

本书是《管理运筹学》的配套实验教材,全书系统地讲述了管理运筹学的基本模型和相关算法的计算机实现过程,同时介绍了与管理运筹学问题求解密切相关的软件——LINGO 软件的使用方法。全书共分 12 章,包括 LINGO 软件简介、LINGO 语言与数学建模、线性规划模型求解、运输模型求解、整数规划模型求解、目标规划模型求解、动态规划模型求解、图论和网络模型求解、排队论模型求解、存贮论模型求解、对策论模型求解和运筹学应用案例,涵盖了经济管理类应用型本科管理运筹学教学大纲规定的全部内容。

本书内容深入浅出、通俗易懂,将应用背景、基本理论、数学模型、算法、例题及相应的计算机软件相结合,重点突出数学模型的分析与构建,淡化计算,同时注重理论与实践的紧密结合,可使读者对管理运筹学的思想、方法及其应用有一个全面的认识与掌握。

本书既可作为普通高校各专业本科生和研究生学习管理运筹学的实验教材,也可以作为企业工程技术人员和管理人员培训的教材或自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

管理运筹学实验教程/李军,叶艺勇编著. —广州:华南理工大学出版社,2015.3
高等院校应用型人才培养经济管理类实验示范教材
ISBN 978-7-5623-4382-0

I. ①管… II. ①李… ②叶… III. ①管理学-运筹学-高等学校-教材
IV. ①C931.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 203394 号

管理运筹学实验教程

李军 叶艺勇 编著

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 潘宜玲 谢茉莉

责任编辑: 谢茉莉

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 18.25 字数: 389 千

版 次: 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换



前言

早在古代中国就有“运筹于帷幄之中，决胜于千里之外”之说，后来人们用“运筹帷幄”表示善于策划用兵、指挥战争。随着社会经济的发展，“运筹”发展到现代已成为一门重要的学科“运筹学”。

运筹学是利用现代数学研究各种资源的运用、筹划和相关决策等问题的一门重要学科，它把有关的运行系统首先归结成数学模型，然后用数学方法进行定量分析和比较，求得合理运用人力、物力和财力的系统运行最优方案。运筹学是软科学中“硬度”较大的一门学科，兼有逻辑的数学和数学的逻辑的性质，是系统工程学和现代管理科学中的一种基础理论和不可缺少的方法、手段和工具，在生产管理、工程技术、军事作战、科学试验、财政经济以及社会科学中都得到了极为广泛的应用。

运筹学在现代经济管理活动中发挥的作用越来越显著，它提供的决策方法和技术，不仅可以帮助企业解决战术层面上的问题，以降低成本或提高利润，而且可以帮助企业解决战略层面上的问题，使企业建立并保持长久的竞争优势。因此，运筹学的基本理论和方法应用已是广大管理人员和工程技术人员所必须掌握的基础知识之一。

如何根据运筹学实际应用的需要，构建新型的运筹学理论及实验教学体系，成为运筹学教育工作者面临的必须解决的关键问题。在吸收众家之长的基础上，作者结合多年运筹学教学所积累的经验，构建了运筹学教学新体系，针对教学中普遍存在的难点问题，对相关知识进行了全新的论述，并通过案例分析，结合相关的数学软件，对运筹学模型进行求解，淡

前言

化了数学计算的过程，更加强调知识论述经济上的逻辑关系和经济内涵，为提高运筹学的教学效果，增强学生分析问题、解决实际问题的能力，做出了有意义的探索，解决了长期以来运筹学课程难学、运筹学教材难懂的问题。

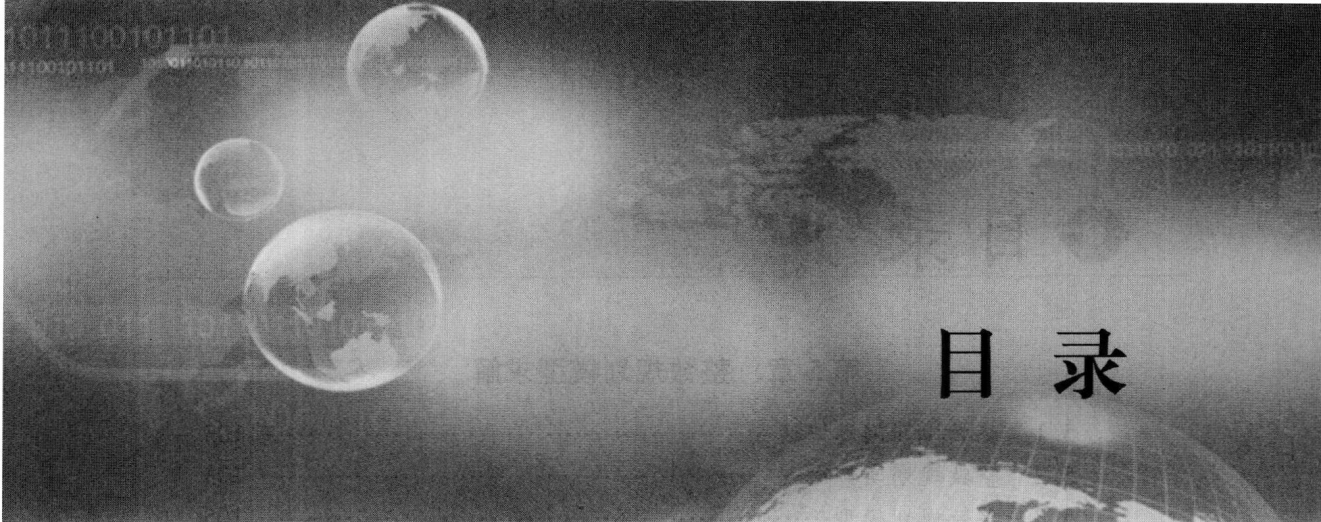
本书是在多年教学积累的基础上完成的，全书共12章，第1章LINGO软件简介，介绍了LINGO软件的基本功能以及使用LINGO软件求解运筹学模型的基本流程；第2章LINGO语言与数学建模，主要介绍了LINGO语法基础、运算符、函数、集合等基本内容，以及如何使用LINGO语言表示运筹学模型；第3章至第11章，分别介绍了线性规划模型、运输模型、整数规划模型、目标规划模型、动态规划模型、图论和网络模型、排队论模型、存储论模型、对策论模型，每章分别从案例分析、模型构建、LINGO求解以及习题练习四个环节进行讲述；第12章运筹学应用实例，主要介绍了运筹学在生产管理中的综合应用。

本书在写作过程中，首先是重视数学工具的使用，随着计算机软件的发展，大量重复性的复杂运算可以通过专业软件来完成，因此，在完成运筹学模型的构建以后，只需要将模型转换为LINGO语言进行求解，即可得出相关的计算结果，淡化了数学计算的过程，减轻了学生学习的负担。其次，在每章讲述过程中，首先通过案例分析进行引入，在此基础上，归纳出相关的数学模型的形式，然后再把模型转换为LINGO语言进行求解，最后通过习题练习加强巩固，帮助学生掌握和巩固所学的内容。

尽管本书的作者一直从事运筹学、系统最优化方面的教学和科研工作，但由于受到知识水平、学术视野的限制，书中难免会存在不妥和错误之处，欢迎读者批评指正，以便再版时修改完善。

编者

2014年6月



目 录

第 1 章 LINGO 软件简介

1.1 LINGO 软件基本功能	1
1.2 LINGO 软件求解过程	2
1.3 LINGO 软件使用须知	5

第 2 章 LINGO 语言与数学建模

2.1 LINGO 入门	7
2.2 在 LINGO 中使用集合	15
2.3 运算符和函数	33
2.4 LINGO 的主要菜单命令	43
2.5 LINGO 命令窗口	61

第 3 章 线性规划模型求解

3.1 线性规划概述	68
3.2 线性规划实例	68
3.3 线性规划模型	69
3.4 LINGO 求解线性规划问题	70
实验习题	78

第 4 章 运输模型求解

4.1 运输问题概述	86
4.2 运输问题实例	86
4.3 运输问题模型	87
4.4 LINGO 求解运输模型	87
实验习题	94

目录

第 5 章 整数规划模型求解

5.1 整数规划问题概述	103
5.2 整数规划实例	103
5.3 整数规划模型	105
5.4 LINGO 求解整数规划模型	105
实验习题	116

第 6 章 目标规划模型求解

6.1 目标规划问题概述	126
6.2 目标规划实例	126
6.3 目标规划模型	131
6.4 LINGO 求解目标规划模型	131
实验习题	155

第 7 章 动态规划模型求解

7.1 动态规划问题概述	163
7.2 动态规划实例	163
7.3 动态规划模型	164
7.4 LINGO 求解动态规划模型	166
实验习题	175

第 8 章 图论和网络模型求解

8.1 图论概述	182
8.2 图论实例	182
8.3 图论及网络模型	184
8.4 LINGO 求解图论及网络模型	186
实验习题	192

第 9 章 排队论模型求解

9.1 排队论概述	199
9.2 排队论实例	199

目录

9.3 排队论模型.....	201
9.4 LINGO 求解排队论模型	206
实验习题	211

第 10 章 存储论模型求解

10.1 存储论概述	215
10.2 存储论实例	215
10.3 存储论模型	219
10.4 LINGO 求解存储论模型	224
实验习题	237

第 11 章 对策论模型求解

11.1 对策论概述	241
11.2 对策论实例	241
11.3 对策论模型	243
11.4 LINGO 求解对策论模型	245
实验习题	250

第 12 章 运筹学应用案例

12.1 配矿计划编制	254
12.2 生产计划安排	258
12.3 培训计划安排	263
12.4 监理工程师配置问题	267
12.5 投资方案规划	270
12.6 华南公司投资方案	272
12.7 人员聘用计划	279

第1章 LINGO 软件简介

由美国 LINDO 系统公司开发的 LINGO 软件是一个利用线性和非线性最优化方法将复杂的大型规划问题转化为简明公式的工具，它可以建立、求解最优化模型并分析所得结果，具有简单、实用的特点。LINGO 软件的最优化功能可以帮助读者找到可行解中的最优结果，从而获得最多的利润、最高的产量、最大的满足等。最优化问题分为线性问题和非线性问题，这取决于变量和变量之间的关系是线性的还是非线性的。

在本章中，我们首先介绍了 LINGO 软件的基本功能和求解过程，使读者对 LINGO 软件有一个初步的认识，在以后的章节中，将对 LINGO 软件的各个部分做详细的介绍，为建立复杂的 LINGO 模型并进行求解奠定坚实的基础。

1.1 LINGO 软件基本功能

LINGO 是 Linear Interactive and General Optimizer 的缩写，即交互式的线性和通用优化求解器。LINGO 是一套用来帮助读者快速、方便和有效地构建和求解线性、非线性最优化模型的功能全面的工具，它包括功能强大的建模语言、建立和编辑问题的全功能环境、读取和写入 Excel 和数据库的功能，以及一系列完全内置的求解程序。其主要功能特点如下：

(1) 简单的模型表示。

LINGO 可以将线性、非线性问题迅速地以公式表示，并且容易阅读、理解和修改。LINGO 的建模语言允许读者使用汇总和下标变量，以一种易懂的、直观的方式来表达模型，模型更加容易构建，更容易理解，因此也更容易维护。

(2) 方便的数据输入和输出选择。

LINGO 建立的模型可以直接从数据库或工作表获取资料。同样地，LINGO 可以将求解结果直接输出到数据库或工作表，使得读者能够在所选择的应用程序中生成报告。

(3) 强大的求解器。

LINGO 拥有一整套快速的、内建的求解器用来求解线性的、非线性的（球面的、非球面的）、二次的、二次约束的和整数优化问题，用户甚至不需要指定或启



动特定的求解器，因为 LINGO 会读取用户的方程式并自动选择合适的求解器。

(4) 交互式模型或创建 Turn-key 应用程序。

用户能够在 LINGO 内创建和求解模型，或能够从自己编写的应用程序中直接调用 LINGO。对于开发交互式模型，LINGO 提供了一整套建模环境来构建、求解和分析用户的模型。对于构建 Turn-key（一站式）解决方案，LINGO 提供的可调用的 DLL 和 OLE 界面能够从用户自己编写的程序中被调用。LINGO 也能够从 Excel 宏或数据库应用程序中被直接调用，因此具有较强的兼容扩展性。

1.2 LINGO 软件求解过程

一般地，使用 LINGO 软件求解运筹学问题可以分为建立数学模型和求解数学模型两个步骤来完成。建立数学模型就是根据实际问题，使用数学建模的方法建立系统优化模型；而求解数学模型就是利用 LINGO 来求解模型，主要是借助 LINGO 软件，把数学模型转译成计算机语言，通过计算机来求解。

LINGO 软件内部包含四个基本的求解程序，用于求解不同类型的优化模型。这四个基本的求解程序分别为直接求解程序（Direct Solver）、线性优化求解程序（Linear Solver）、非线性优化求解程序（Nonlinear Solver）和分支定界管理程序（Branch and Bound Manager）。

当用户在 LINGO 软件中输入一个优化模型，要求 LINGO 软件求解时，LINGO 软件首先调用求解程序进行一系列的直接处理，主要包括对等式约束的直接处理和识别优化模型的类型两个步骤。

(1) 对等式约束的直接处理。

如果一个等式约束只含有一个变量，那么这个变量的值就可以直接定下来，然后 LINGO 软件在求解模型时就把这个变量看成是固定量（常数）而非决策变量。这个过程是循环进行的，例如，约束中有三个等式：

$$x \times y \times z = 800$$

$$x + y = 50$$

$$y = 10$$

则 LINGO 软件能直接确定出固定变量 $y = 10$ ，然后可以确定出 $x = 40$ ，最后确定出 $z = 2$ ；此时 x, y, z 这三个变量就是常量，而且这三个约束也就不存在。显然，经过这样的处理以后，将尽量减少模型中实际需要求解的决策变量和需要满足的约束条件的个数，可能会使问题的规模有所下降，从而使求解的效率更高。

(2) 识别优化模型的类型。

对约束不等式的直接处理后，求解程序将对输入的模型进行分析，自动识别模型的数学结构和性质，确定优化模型的类型，从而决定下一步采取什么样的求解程

序。如果模型是（连续）线性规划，下一步将直接调用线性优化求解程序；如果模型是（连续）非线性规划，下一步将直接调用非线性优化程序；如果模型是整数规划，则下一步将直接调用整数规划求解程序，主要是通过调用分支定界管理程序进行求解。

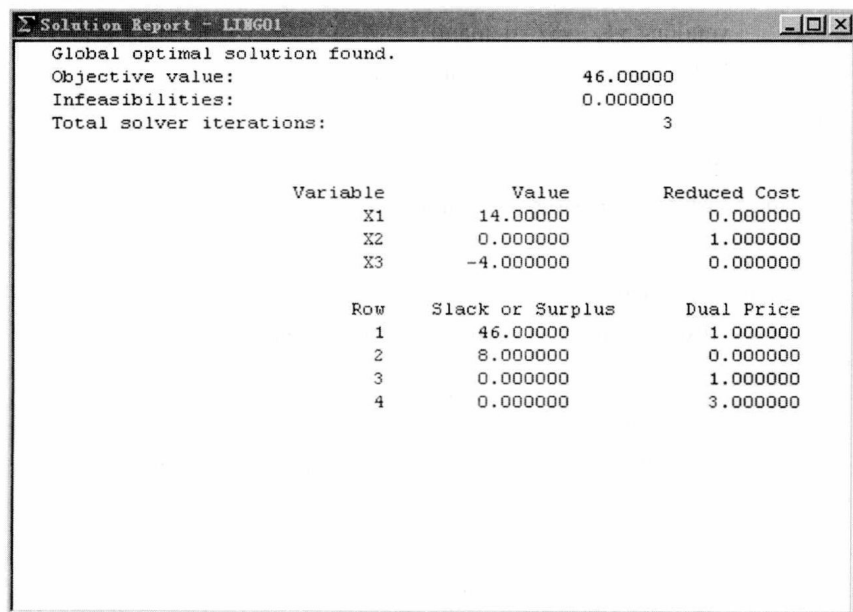
例1 使用 LINGO 软件求解线性规划问题。

$$\begin{aligned} \max \quad & Z = 5x_1 + 3x_2 + 6x_3 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 18 \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 16 \\ x_1 + x_2 + x_3 = 10 \\ x_1, x_2 \geq 0, x_3 \text{ 无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

应用 LINGO 来求解该模型，只需要在 LINGO 窗口中输入以下信息：

```
max = 5 * x1 + 3 * x2 + 6 * x3;
x1 + 2 * x2 + x3 <= 18;
2 * x1 + x2 + 3 * x3 = 16;
x1 + x2 + x3 = 10;
@free (x3);
```

然后按运行按钮，结果如图 1-1 所示，即可得到模型的最优解为 $x_1 = 14$, $x_2 = 0$, $x_3 = -4$ ，最优值为 46。



Solution Report - LINGO1

Global optimal solution found.
 Objective value: 46.00000
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 3

Variable	Value	Reduced Cost
X1	14.00000	0.000000
X2	0.000000	1.000000
X3	-4.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	46.00000	1.000000
2	8.000000	0.000000
3	0.000000	1.000000
4	0.000000	3.000000

图 1-1 运行结果截图



例2 使用 LINGO 软件求解 6 个发点 8 个收点的最小费用运输问题, 产销量及单位运价如表 1-1 所示。

表 1-1 单位运价表

产地	销地								总产量
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	
A_1	6	2	6	7	4	2	5	9	60
A_2	4	9	5	3	8	5	8	2	55
A_3	5	2	1	9	7	4	3	3	51
A_4	7	6	7	3	9	2	7	1	43
A_5	2	3	9	5	7	2	6	5	41
A_6	5	5	2	2	8	1	4	3	52
总销量	35	37	22	32	41	32	43	38	

使用 LINGO 软件, 编写程序如下 (代码结构及含义将在第二章介绍):

```

model:
! 6 发点 8 收点运输问题;
sets:
    warehouses/wh1..wh6/:capacity;
    vendors/v1..v8/:demand;
    links(warehouses,vendors):cost,volume;
endsets
! 目标函数;
    min = @sum(links:cost * volume);
! 需求约束;
    @for(vendors(J):
        @sum(warehouses(I):volume(I,J)) = demand(J));
! 产量约束;
    @for(warehouses(I):
        @sum(vendors(J):volume(I,J)) <= capacity(I));
! 这里是数据;
data:
    capacity = 60 55 51 43 41 52;
    demand = 35 37 22 32 41 32 43 38;
    cost = 6 2 6 7 4 2 5 9
    
```

```

4 9 5 3 8 5 8 2
5 2 1 9 7 4 3 3
7 6 7 3 9 2 7 1
2 3 9 5 7 2 6 5
5 5 2 2 8 1 4 3;

end data
end

```

最优解如表 1-2 所示，最小运费为 664 单位。

表 1-2 运输问题最优解

产地	销地								总产量
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	
A_1		19			41				60
A_2	1			32					33
A_3		11					40		51
A_4						5		38	43
A_5	34	7							41
A_6			22			27	3		52
总销量	35	37	22	32	41	32	43	38	

1.3 LINGO 软件使用须知

在使用 LINGO 软件求解运筹学模型之前，我们先明确建立 LINGO 优化模型需要注意的几个基本问题。虽然 LINGO 软件功能非常强大，但是为了能快速得到高质量的解，对实际问题建立优化模型就必须考虑得非常仔细，下面是五个值得特别注意的问题。

(1) 尽量使用连续优化模型。

减少整数约束和整数变量的个数，只有在万不得已的情况下才使用整数变量和整数约束，因为求解离散问题比求解连续问题难得多。

(2) 尽量使用光滑优化模型。

避免使用非光滑函数，非光滑函数是指存在不可微点的函数。例如，尽量少使用绝对值函数、符号函数、四舍五入函数、取整函数等，这些函数从数学上来看是不光滑的，含有不可微点甚至间断点，因此不利于利用其导数信息，求解非光滑优化比光滑优化难得多。



(3) 尽量使用线性优化模型。

减少非线性约束和非线性变量的个数，应当尽量简化变量之间的约束关系。例如，对于“变量 x 和 y 的比值不超过 5”这样的约束，写成“ $x/y \leq 5$ ”当然是可以的；但这是一个分式约束（同时它还含有间断点 $y = 0$ ），因此是非线性约束， x 和 y 都是非线性变量，最好都改写成线性约束“ $x \leq 5y$ ”，因为求解非线性模型问题比线性模型问题要难得多。

(4) 合理设定变量的上下界并尽可能给出变量的初始值。

如果在实际问题中知道变量的取值范围，那就尽量告诉 LINGO，不要让软件帮你在大海中捞针。例如，如果 x 的取值范围是在 30 ~ 50 之间，就不要让软件在整个实数范围内搜索最优解。有时如果在实际问题中还能知道或者感觉到最优解大概在什么范围，就可以以初始值的形式告诉 LINGO，这对于问题的求解是有很大帮助的。

(5) 模型中使用的单位的数量级要匹配。

如果同一模型甚至同一约束中有的数很小而有的数很大，例如 0.001 和 10000000，则这两个的数量级相差太大，不利于优化模型的求解，因为大的数与小的数运算时误差会很大，运算精度降低。LINGO 通常希望模型中数据之间的数量级相差不超过 1000 倍，否则会给出警告提示信息。有时，可以通过对数据选择适当的单位改变相对尺度，尽量使数据之间的数量级相差减少。

第2章 LINGO 语言与数学建模

2.1 LINGO 入门

2.1.1 LINGO 软件的安装过程

LINGO9.0 的安装过程比较简单，安装程序的文件约为 30M，开始安装后，需要接受安装协议、选择安装目录（默认的目录一般是 C:\LINGO 9）。安装完成前，会出现图 2-1 所示的对话框，这个对话框询问用户希望采纳的默认的建模（即编程）语言，系统推荐的是采用 LINGO 语法，即选项“LINGO (recommended)”，用户也可以选择“LINDO”（Linear INteractive and Discrete Optimizer）将 LINDO 语法作为默认的设置，然后点击“OK”按钮，系统就会完成 LINGO 的安装过程。安装后用户也可以随时通过“LINGO | Options | File Format”命令来修改默认的建模（即编程）语言。

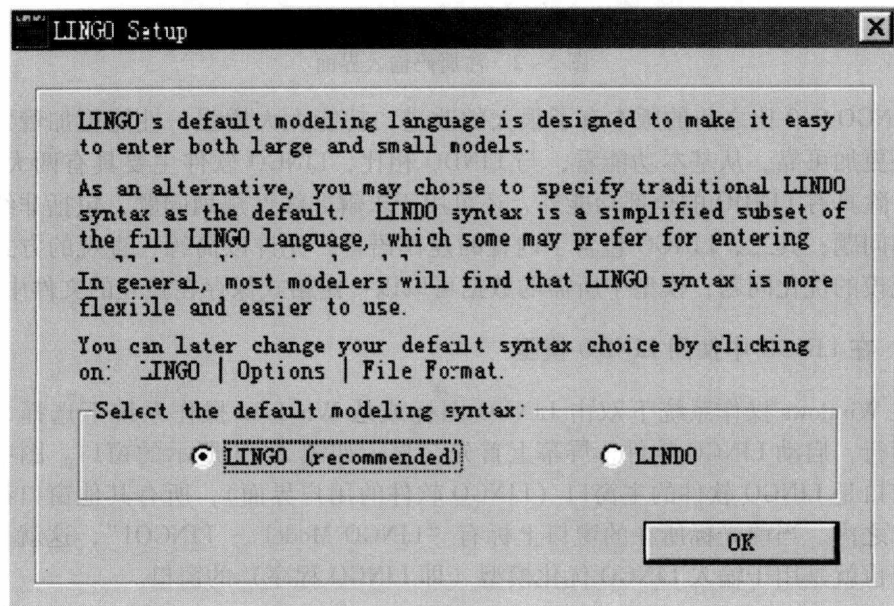


图 2-1 选择编程语法格式



第一次运行 LINGO 软件时, 系统需要输入注册码 (图 2-2)。LINGO 有两种命令模式: 一种是常用的 Windows 模式, 通过下拉式菜单命令驱动 LINGO 运行 (多数的菜单命令通常有快捷键, 常用的菜单命令在工具栏中有图标表示的快捷按钮), 界面是图形式的, 使用起来也比较方便; 另一种是命令行模式, 仅在命令窗口下操作, 通过输入行命令驱动 LINGO 运行, 其使用界面是字符式的, 初学者往往不太容易掌握。本书主要介绍在 Windows 模式下的基本操作。

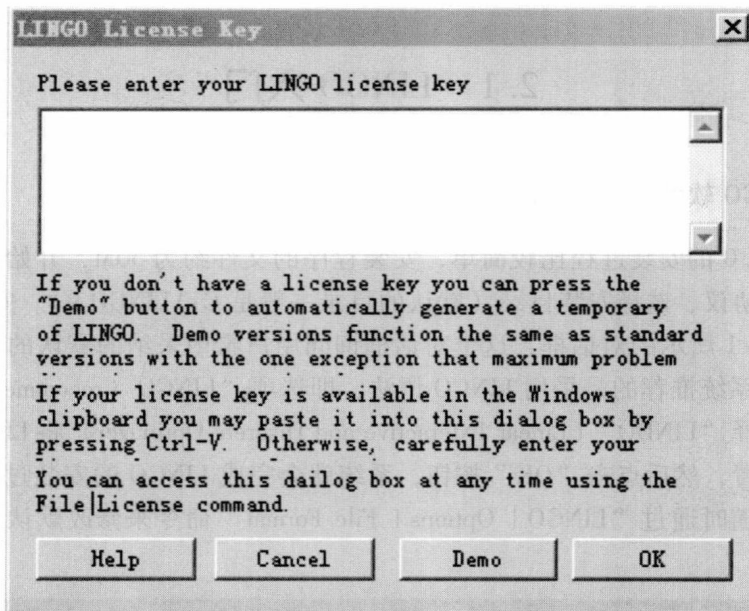


图 2-2 注册码输入界面

LINGO 9.0 比之前的版本有了很大的改进, 功能大大增强, 性能更加稳定, 解答结果更加可靠。从基本功能看, 与 LINDO 相比, LINGO 软件主要具有两大优点: 其一, 除具有 LINDO 的全部功能外, 还可用于求解非线性规划问题, 包括非线性整数规划问题; 其二, LINGO 包含了内置的建模语言, 允许以简练、直观的方式描述较大规模的优化问题, 模型中所需的数据可以以一定格式保存在独立的文件中。

2.1.2 在 LINGO 中使用 LINDO 模型

在 Windows 操作系统下双击 LINGO 图标或从 Windows 操作系统下选择 LINGO 软件运行, 启动 LINGO 软件, 屏幕上首先会显示如图 2-3 所示的窗口。图中最外层的窗口是 LINGO 软件的主窗口 (LINGO 软件的用户界面), 所有其他窗口都在这个窗口之内。当前光标所在的窗口上标有 “LINGO Model - LINGO1”, 这就是模型窗口, 也就是用于输入 LINGO 优化模型 (即 LINGO 程序) 的窗口。

初步观察可以看到, 图 2-3 这个界面最下面增加了一个状态行。目前, 状态行

最左边显示的是“For Help, press F1”，表示可以通过快捷键 F1 来获取帮助；右下角显示的是当前时间，时间前面是当前光标的位置“Ln 1, Col 1”（即 1 行 1 列）。用户可以用选项命令（LINGO | Options 菜单命令）决定是否需要显示工具栏和状态行。

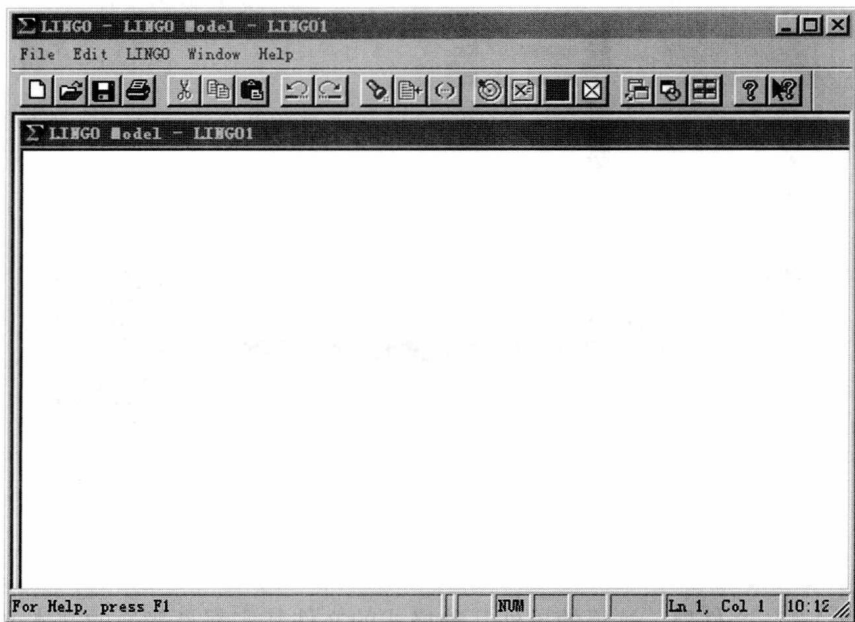


图 2-3 LINGO 初始界面

在 LINGO 中可以直接使用 LINDO 语法编写的优化模型，具体操作步骤如例 1 所示。

例 1 在 LINGO 模型窗口中，选择菜单命令“File | Open (Ctrl + O)”，可以看到如图 2-4 所示的标准的“File Open...”（打开文件）对话框，我们看到有各种不同的“文件类型”：

后缀“.ltx”：表示 LINDO 格式的模型文件；

后缀“.lg4”：表示 LINGO 格式的模型文件，是一种特殊的二进制格式文件，保存了用户在模型窗口中所能够看到的所有文本和其他对象及其格式信息，只有 LINGO 能读出它，用其他系统打开这种文件将出现乱码；

后缀“.lng”：表示文本格式的模型文件，并且以这个格式保存模型时 LINGO 将给出警告，因为模型中的格式信息（如字体、颜色、嵌入对象等）将会丢失；

后缀“.ldt”：表示 LINGO 数据文件；

后缀“.lit”：表示 LINGO 命令脚本文件；

后缀“.lgr”：表示 LINGO 报告文件；