



辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划配套教材

全国普通高等院校
信息管理与信息系统专业规划教材

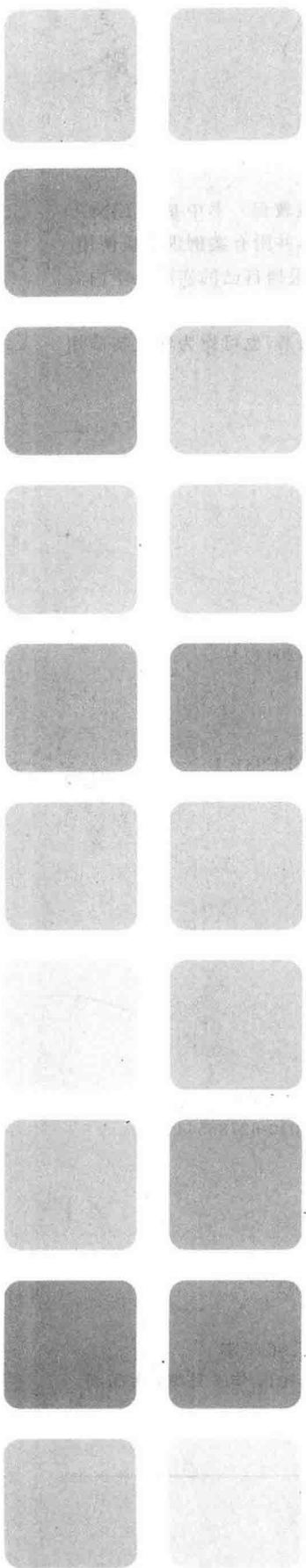
实用管理运筹学 实践教程（第二版）

徐家旺 王晓波 主 编

姜 波 刘 彬 副主编



清华大学出版社



全国普通高等院校
信息管理与信息系统专业规划教材

实用管理运筹学 实践教程（第二版）

徐家旺 王晓波 主 编

姜 波 刘 彬 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与《实用管理运筹学(第二版)》(清华大学出版社出版)相配套的实践教程。书中基于 LINGO 优化建模软件,在介绍各类运筹学模型的基础之上,设计了相应的上机实践环节,并附有案例供上机使用。设计的上机实践环节总学时为 24 学时,实践与理论教学同步进行,教师也可以根据自己的实际教学内容选用。

本书既可作为本科生和硕士研究生运筹学或管理运筹学课程的实验教学用书,也可作为学生实验用的实验报告册。

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

实用管理运筹学实践教程/徐家旺等主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2014

全国普通高等院校信息管理与信息系统专业规划教材

ISBN 978-7-302-35918-0

I. ①实… II. ①徐… 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 061987 号

责任编辑:白立军

封面设计:常雪影

责任校对:白 蕾

责任印制:宋 林

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

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16.75

字 数:396 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版 2014 年 7 月第 2 版

印 次:2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.50 元

产品编号:059355-01

前 言

为了帮助广大本科生和硕士研究生更好地掌握运筹学的精髓和解题技巧,加深理解并增强处理问题的能力,我们以清华大学出版社出版的《实用管理运筹学(第二版)》等通用运筹学教材为基础,专门编写了这本实践教程。

本教程的编写目的在于充分发挥 LINGO 软件这一先进的优化建模语言的强大功能,改变传统的教学手段和教学方法,将 LINGO 软件的应用引入到课堂教学中,理论与实践相结合,丰富教学内容,提高学生的学习兴趣和运用所学知识解决实际问题的能力。

本教程基于 LINGO 优化建模软件,在介绍每一类运筹学模型的基础之上设计了相应的上机实践环节,并附有案例供上机使用。设计的上机实践环节总学时为 24 学时,上机实践与理论教学同步进行,教师也可以根据自己的实际教学内容选用。本教程可作为运筹学实验的教学用书,还可以作为学生实验用的实验报告册。

本教程由徐家旺(编写第 4~6 章和第 13 章)、王晓波(编写第 1~3 章)、姜波(编写第 7~9 章)和刘彬(编写第 10~12 章)等教师共同编写,多所高等院校的本科生和硕士研究生试用了本教程的初稿。在本教程的策划、编写、审稿等方面,清华大学出版社以及编者所在学校的领导及有关老师给予了大力支持和热情帮助,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请广大使用者批评指正。

徐家旺

2014 年 3 月

目 录

第 1 章 优化建模语言——LINGO 软件应用基础	1
1.1 LINGO 快速入门	1
1.2 LINGO 中的集	2
1.3 模型的数据部分和初始部分	5
1.3.1 模型的数据部分	5
1.3.2 模型的初始部分	8
1.4 LINGO 函数	8
1.4.1 基本运算符	9
1.4.2 数学函数	10
1.4.3 金融函数	11
1.4.4 概率函数	11
1.4.5 变量界定函数	14
1.4.6 集操作函数	14
1.4.7 集循环函数	15
1.4.8 输入和输出函数	16
1.4.9 辅助函数	20
1.5 LINGO Windows 命令	21
1.5.1 文件菜单(File Menu)	21
1.5.2 编辑菜单(Edit Menu)	23
1.5.3 LINGO 菜单	23
1.5.4 窗口菜单(Windows Menu)	31
1.5.5 帮助菜单(Help Menu)	33
1.6 上机实践	34
第 2 章 线性规划模型的建立与求解	41
2.1 基础知识	41
2.2 上机实践	51
第 3 章 灵敏度分析	63
3.1 基础知识	63
3.2 上机实践	65

第 4 章 整数规划与运输问题	77
4.1 基础知识	77
4.2 上机实践	83
第 5 章 目标规划	104
5.1 基础知识	104
5.2 上机实践	107
第 6 章 动态规划	118
6.1 基础知识	118
6.2 上机实践	124
第 7 章 对策论模型	138
7.1 基础知识	138
7.2 上机实践	142
第 8 章 最短路与网络最大流问题	152
8.1 基础知识	152
8.2 上机实践	154
第 9 章 网络计划	166
9.1 基础知识	166
9.2 上机实践	169
第 10 章 排队论	181
10.1 基础知识	181
10.2 上机实践	185
第 11 章 存储论	198
11.1 基础知识	198
11.2 上机实践	206
第 12 章 非线性规划	218
12.1 基础知识	218
12.2 上机实践	229

第 13 章 应用举例	237
13.1 多设施选址规划问题.....	237
13.2 有瓶颈设备的多级生产计划问题.....	241
13.3 一类需求不确定闭环物流系统的模糊规划模型与仿真.....	246
参考文献.....	259

第 1 章 优化建模语言——LINGO

软件应用基础

LINGO 是用来求解线性和非线性优化问题的简易工具。LINGO 内置了一种建立最优化模型的语言,可以简便地表达大规模问题,利用 LINGO 高效的求解器可快速求解并分析结果。

1.1 LINGO 快速入门

在 Windows 下运行 LINGO 系统,可得到如图 1-1 所示的主窗口。

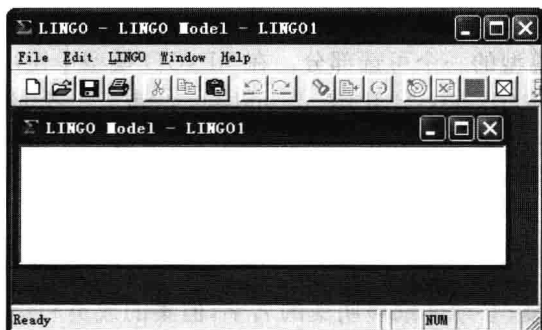


图 1-1

外层是主框架窗口,包含了所有菜单命令和工具条,其他所有的窗口将被包含在主窗口之下。在主窗口内的标题为 LINGO Model-LINGO1 的窗口是 LINGO 的默认模型窗口,要建立的模型都在该窗口内编码实现。

例 1.1 如何在 LINGO 中求解如下问题?

$$\begin{aligned} \min Z &= 3x_1 + 2x_2 \\ \text{s. t. } x_1 + x_2 &\geq 320 \\ x_1 &\geq 110 \\ x_1 + 2x_2 &\leq 500 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

在模型窗口中输入如下代码:

```
MODEL:
    min=3 * x1+2 * x2;
    x1+x2>=320;
    x1>=110;
    x1+2 * x2<=500;
```

END

然后单击工具条上的按钮即可。

一般来说,一个 LINGO 程序是以“MODEL:”为开始语句,以 END 为结束语句。用“;”表示一条语句结束。

1.2 LINGO 中的集

集是 LINGO 建模语言的基础,是程序设计最强有力的基本构件。借助于集,能够用一个单一的、长的、简明的复合公式表示一系列相似的约束,从而可以快速方便地表达规模较大的模型。

LINGO 有两种类型的集: **原始集**(Primitive Set)和**派生集**(Derived Set)。

一个原始集是由一些最基本的对象组成的。

一个派生集是用一个或多个其他集来定义的,也就是说,它的成员来自于其他已存在的集。

集部分是 LINGO 模型的一个可选部分。在 LINGO 模型中使用集之前,必须在集部分事先定义。集部分以关键字“sets:”开始,以 endsets 结束。一个模型可以没有集部分,或有一个简单的集部分,或多个集部分。一个集部分可以放置于模型的任何地方,但是一个集及其属性在模型约束中被引用之前必须定义它们。

1. 定义原始集

为了定义一个原始集,必须详细声明集的名字,但集的成员和集成员的属性可选。

用下面的语法定义一个原始集:

```
setname[/member_list/][:attribute_list];
```

注意: 用[]表示该部分内容可选。下同,不再赘述。

setname 是选择的来标记集的名字,最好具有较强的可读性。集名字必须严格符合标准命名规则:以拉丁字母或下划线(_)为首字符,其后由拉丁字母(A~Z)、下划线、阿拉伯数字(0,1,...,9)组成的总长度不超过 32 个字符的字符串,且不区分大小写。

注意: 该命名规则同样适用于集成员名和属性名等的命名。

member_list 是集成员列表。如果集成员放在集定义中,那么对它们可采取显式罗列和隐式罗列两种方式。如果集成员不放在集定义中,那么可以在随后的数据部分定义它们。

(1) 当显式罗列成员时,必须为每个成员输入一个不同的名字,中间用空格或逗号隔开,允许混合使用。

例 1.2 可以定义一个名为 xuesheng 的原始集,它具有成员 zhangsan、lisi、wanger 和 liuwu,属性有 xingbie 和 nianling。

```
sets:
    xuesheng/zhangsan lisi, wanger liuwu/: xingbie, nianling;
endsets
```

(2) 当隐式罗列成员时,不必罗列出每个集成员。可采用如下语法:

```
setname/member1..memberN/[: attribute_list];
```

这里的 member1 是集的第一个成员名,memberN 是集的最末一个成员名。LINGO 将自动产生中间的所有成员名。LINGO 也接受一些特定的首成员名和末成员名,用于创建一些特殊的集。列表如表 1-1 所示。

表 1-1

隐式成员列表格式	示 例	所产生集成员
1..n	1..5	1,2,3,4,5
StringM..StringN	Car2..Car14	Car2,Car3,Car4,...,Car14
DayM..DayN	Mon..Fri	Mon,Tue,Wed,Thu,Fri
MonthM..MonthN	Oct..Jan	Oct,Nov,Dec,Jan
MonthYearM..MonthYearN	Oct2001..Jan2002	Oct2001,Nov2001,Dec2001,Jan2002

(3) 集成员不放在集定义中,而在随后的数据部分来定义。

例 1.3

```
!集部分;
sets:
    xuesheng:xingbie,nianling;
endsets
!数据部分;
data:
    xuesheng,xingbie,nianling=zhangsan 1 26
                                lisi 0 24
                                wanger 0 27
                                liuwu 1 23;
enddata
```

注意: 开头用感叹号(!),末尾用分号(;)表示注释,可跨多行。

在集部分只定义了一个集 xuesheng,并未指定成员。在数据部分罗列了集成员 zhangsan、lisi、wanger 和 liuwu,并对属性 xingbie 和 nianling 分别给出了值。

集成员无论用何种字符标记,它的索引都是从 1 开始连续计数。在 attribute_list 可以指定一个或多个集成员的属性,属性之间必须用逗号隔开。

LINGO 内置的建模语言是一种描述性语言,用它可以描述现实世界中的一些问题,然后再借助于 LINGO 求解器求解。因此,集属性的值一旦在模型中被确定,就不可能再更改。在 LINGO 中,只有在初始部分中给出的集属性值在以后的求解中可更改。这与前面并不矛盾,初始部分是 LINGO 求解器的需要,并不是描述问题所必需的。

2. 定义派生集

为了定义一个派生集,必须详细声明:

- 集的名字;
- 父集的名字;
- 可选, 集成员;
- 可选, 集成员的属性。

可用下面的语法定义一个派生集:

```
setname (parent_set_list) [/member_list/][:attribute_list];
```

setname 是集的名字。parent_set_list 是已定义的集的列表, 多个时必须用逗号隔开。如果没有指定成员列表, 那么 LINGO 会自动创建父集成员的所有组合作为派生集的成员。派生集的父集既可以是原始集, 也可以是其他的派生集。

例 1.4

```
sets:
    chanpin/A B/;
    jiqi/M N/;
    xingqi/1..2/;
    allowed(chanpin, jiqi, xingqi):x;
endsets
```

LINGO 生成了三个父集的所有组合共八组作为 allowed 集的成员。列表如下:

编号	成员
1	(A,M,1)
2	(A,M,2)
3	(A,N,1)
4	(A,N,2)
5	(B,M,1)
6	(B,M,2)
7	(B,N,1)
8	(B,N,2)

成员列表被忽略时, 派生集成员由父集成员所有的组合构成, 这样的派生集称为**稠密集**。如果限制派生集的成员, 使它成为父集成员所有组合构成的集合的一个子集, 这样的派生集称为**稀疏集**。同原始集一样, 派生集成员的声明也可以放在数据部分。一个派生集的成员列表有两种方式生成:

- ① 显式罗列;
- ② 设置成员资格过滤器。

采用方式①时, 必须显式罗列出所有要包含在派生集中的成员, 并且罗列的每个成员必须属于稠密集。使用前面的例子, 显式罗列派生集的成员:

```
allowed(chanpin, jiqi, xingqi)/A M 1, A N 2, B N 1/;
```

如果需要生成一个大的、稀疏的集, 那么显式罗列就很复杂。幸运的是, 许多稀疏集的成员都满足一些条件以和非成员相区分。可以把这些逻辑条件视为过滤器, 在 LINGO 生成派

生集的成员时把使逻辑条件为假的成员从稠密集中过滤掉。

例 1.5

```
sets:
    !学生集:性别属性 xingbie,1 表示男性,0 表示女性;年龄属性为 nianling;
    xuesheng/zhangsan,lisi,wanger,liuwu/:xingbie,nianling;
    !男学生和女学生的联系集:友好程度属性 pengyou 是 [0,1]之间的数;
    linkmf(xuesheng,xuesheng) | xingbie(&1) #eq#1 #and#xingbie(&2)
    #eq#0: pengyou;
    !男学生和女学生的友好程度大于 0.5 的集;
    linkmf2(linkmf) | pengyou(&1,&2) #ge#0.5 : x;
endsets
data:
    xingbie,nianling=1 26
                0 24
                0 27
                0 23;
    pengyou=0.3 0.5 0.6;
enddata
```

用竖线(|)来标记一个成员资格过滤器的开始。#eq#是逻辑运算符,用来判断是否相等。&1 可视为派生集的第 1 个原始父集的索引,它取遍该原始父集的所有成员;&2 可视为派生集的第 2 个原始父集的索引,它取遍该原始父集的所有成员;&3,&4,……,以此类推。

注意:如果派生集 B 的父集是另外的派生集 A,那么上面所说的原始父集是集 A 向前回溯到最终的原始集,其顺序保持不变,并且派生集 A 的过滤器对派生集 B 仍然有效。因此,派生集的索引个数是最终原始父集的个数,索引的取值是从原始父集到当前派生集所限制的总和。

1.3 模型的数据部分和初始部分

在处理模型的数据时,需要为集指派一些成员并且在 LINGO 求解模型之前为集的某些属性指定值。为此,LINGO 为用户提供了两个可选部分:输入集成员、数据的数据部分(Data Section)和为决策变量设置初始值的初始部分(Init Section)。

1.3.1 模型的数据部分

模型的数据部分以关键字“data:”开始,以 enddata 结束。在数据部分可以指定集成员、集的属性。其语法如下:

```
object_list=value_list;
```

对象列(object_list)包含要指定值的属性名、要设置集成员的集名,用逗号或空格隔开。一个对象列中至多有一个集名,而属性名可以有任意多个。如果对象列中有多个属性名,那

么它们的类型必须一致。如果对象列中有一个集名,那么对象列中所有的属性的类型就是这个集。

数值列(value_list)包含要分配给对象列中的对象的值,用逗号或空格隔开。注意属性值的个数必须等于集成员的个数。

例 1.6

```
sets:
    set1/X,Y,Z/: A,B;
endsets
data:
    A=5,6,7;
    B=4,5,6;
enddata
```

在集 set1 中定义了两个属性 A 和 B。A 的三个值是 5、6 和 7,B 的三个值是 4、5 和 6。也可采用例 1.7 中的复合**数据声明**(Data Statement)实现同样的功能。

例 1.7

```
sets:
    set1/X,Y,Z/: A,B;
endsets
data:
    A,B=5 4
        6 5
        7 6;
enddata
```

LINGO 在为对象指定值时,首先在 n 个对象的第 1 个索引处依次分配数值列中的前 n 个对象,然后在 n 个对象的第 2 个索引处依次分配数值列中紧接着的 n 个对象……以此类推。

1. 参数

在数据部分也可以指定一些**标量变量**(Scalar Variables)。当一个标量变量在数据部分确定时,称为**参数**。看例 1.8,假设模型中用利率 6.0%作为一个参数,就可以像下面一样输入一个利率作为参数。

例 1.8

```
data:
    lilv=.06;
enddata
```

也可以同时指定多个参数。

例 1.9

```
data:
```

```

lilv,tongzhanglv=.06 .03;
enddata

```

2. 实时数据处理

在本该放数的地方输入一个问号(?)。

例 1.10

```

data:
    lilv,tongzhanglv=.06 ?;
enddata

```

每一次求解模型时,LINGO 都会提示为参数 tongzhanglv 输入一个值。在 Windows 操作
系统下,将会接收到一个如图 1-2 所示的对话框。

输入一个值后再单击 OK 按钮,LINGO 就会把输入
的值指定给 tongzhanglv,然后继续求解模型。

除了参数之外,也可以实时输入集的属性值,但不允
许实时输入集成员名。

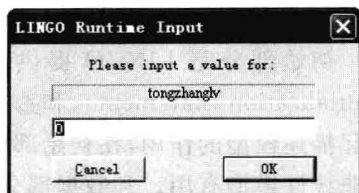


图 1-2

3. 指定属性为一个值

可以在数据声明的右边输入一个值来把所有的成员的该属性指定为一个值。看
例 1.11。

例 1.11

```

sets:
    days /MO,TU,WE,TH,FR,SA,SU/:xuqiu;
endsets
data:
    xuqiu=20;
enddata

```

LINGO 将用 20 指定 days 集的所有成员 xuqiu 属性。对于多个属性的情形,见例 1.12。

例 1.12

```

sets:
    days /MO,TU,WE,TH,FR,SA,SU/:xuqiu,chengben;
endsets
data:
    xuqiu chengben=120 10;
enddata

```

4. 数据部分的未知数值

有时只想为一个集的部分成员的某个属性指定值,而让其余成员的该属性保持未知,以

便让 LINGO 去求出它们的最优值。在数据声明中输入两个相连的逗号表示该位置对应的集成员的属性值未知。两个逗号间可以有空格。

例 1.13

```
sets:
    years/1..5/: channeng;
endsets
data:
    channeng=,30,40,,;
enddata
```

属性 channeng 的第 2 个值和第 3 个值分别为 30 和 40,其余的未知。

1.3.2 模型的初始部分

初始部分是 LINGO 提供的另一个可选部分。在初始部分中,可以输入**初始声明**(Initialization Statement),和数据部分中的数据声明相同。对实际问题建模时,初始部分并不起描述模型的作用,在初始部分输入的值仅被 LINGO 求解器当作初始点来用,并且仅仅对非线性模型有用。和数据部分指定变量的值不同,LINGO 求解器可以自由改变初始部分初始化的变量的值。

一个初始部分以“init:”开始,以 endinit 结束。初始部分的初始声明规则和数据部分的数据声明规则相同。也就是说,可以在声明的左边同时初始化多个集属性,可以把集属性初始化为一个值,可以用问号实现实时数据处理,还可以用逗号指定未知数值。

例 1.14

```
init:
    X, Y=0, 0.1;
endinit
Y=@log(X);
X^2+Y^2<=1;
```

好的初始点会减少模型的求解时间。

1.4 LINGO 函数

有了前几节的基础知识,再加上本节的内容,就能够借助于 LINGO 建立并求解复杂的优化模型了。

LINGO 有 9 种类型的函数。

- (1) 基本运算符:包括算术运算符、逻辑运算符和关系运算符。
- (2) 数学函数:三角函数和常规的数学函数。
- (3) 金融函数: LINGO 提供的两种金融函数。
- (4) 概率函数: LINGO 提供了大量概率相关的函数。
- (5) 变量界定函数:这类函数用来定义变量的取值范围。

- (6) 集操作函数：这类函数为对集的操作提供帮助。
- (7) 集循环函数：遍历集的元素,执行一定的操作的函数。
- (8) 数据输入输出函数：这类函数允许模型和外部数据源相联系,进行数据的输入输出。
- (9) 辅助函数：各种杂类函数。

1.4.1 基本运算符

这些运算符是非常基本的,甚至可以不认为它们是一类函数。事实上,在 LINGO 中它们非常重要。

1. 算术运算符

算术运算符是针对数值进行操作的。LINGO 提供了 5 种二元运算符：

^ 乘方

* 乘

/ 除

+

- 减

LINGO 唯一的一元算术运算符是取反函数“ $-$ ”。

这些运算符的优先级由高到底为

高 $-$ (取反)

^

* /

低 + -

运算符的运算次序为从左到右按优先级高低来执行。运算的次序可以用圆括号“ $()$ ”来改变。

2. 逻辑运算符

在 LINGO 中,逻辑运算符主要用于集循环函数的条件表达式中,来控制在函数中哪些集成员被包含,哪些被排斥。在创建稀疏集时用在成员资格过滤器中。

LINGO 具有 9 种逻辑运算符。

not # 否定该操作数的逻辑值, # not # 是一个一元运算符

eq # 若两个运算数相等,则为 true;否则为 false

ne # 若两个运算符不相等,则为 true;否则为 false

gt # 若左边的运算符严格大于右边的运算符,则为 true;否则为 false

ge # 若左边的运算符大于或等于右边的运算符,则为 true;否则为 false

lt # 若左边的运算符严格小于右边的运算符,则为 true;否则为 false

le # 若左边的运算符小于或等于右边的运算符,则为 true;否则为 false

and # 仅当两个参数都为 true 时,结果为 true;否则为 false

#or# 仅当两个参数都为 false 时,结果为 false;否则为 true

这些运算符的优先级由高到低为

高 #not#

#eq# #ne# #gt# #ge# #lt# #le#

低 #and# #or#

3. 关系运算符

在 LINGO 中,关系运算符主要是用在模型中,来指定一个表达式的左边是否等于、小于等于、或者大于等于右边,形成模型的一个约束条件。关系运算符与逻辑运算符 #eq#、#le#、#ge# 截然不同,前者是模型中该关系运算符所指定关系的为真描述,而后者仅仅判断一个该关系是否被满足:满足为真,不满足为假。

LINGO 有三种关系运算符: =、<= 和 >=。LINGO 中还能用“<”表示小于等于关系,“>”表示大于等于关系。LINGO 并不支持严格小于和严格大于关系运算符。然而,如果需要严格小于和严格大于关系,比如让 A 严格小于 B:

$$A < B$$

那么可以把它变成如下的小于等于表达式:

$$A + \epsilon \leq B$$

这里 ϵ 是一个小的正数,它的值依赖于模型中 A 小于 B 多少才算不等。

下面给出以上三类操作符的优先级:

高 #not# —(取反)

^

* /

+ —

#eq# #ne# #gt# #ge# #lt# #le#

#and# #or#

低 <= = >=

1.4.2 数学函数

LINGO 提供了大量的标准数学函数。

@abs(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的绝对值
@sin(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的正弦值, <i>x</i> 采用弧度制
@cos(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的余弦值
@tan(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的正切值
@exp(<i>x</i>)	返回常数 e 的 <i>x</i> 次方
@log(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的自然对数
@lgm(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的 gamma 函数的自然对数
@sign(<i>x</i>)	如果 <i>x</i> < 0 返回 -1; 否则,返回 1
@floor(<i>x</i>)	返回 <i>x</i> 的整数部分。当 <i>x</i> ≥ 0 时,返回不超过 <i>x</i> 的最大整数