


Software & Math

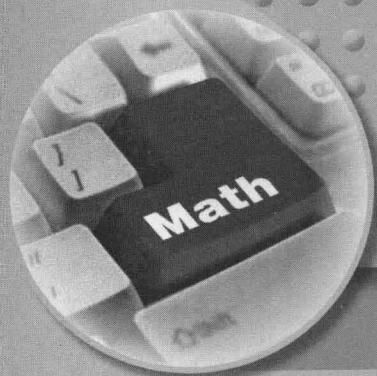
用计算机软件学数学系列教材

实用运筹学上机实验 指导与解题指导

(第二版)

叶向 编著

 中国人民大学出版社



Software & Math

用计算机软件学数学系列教材

实用运筹学上机实验 指导与解题指导



叶向 编著

中国人民大学出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用运筹学上机实验指导与解题指导/叶向编著. —2 版. —北京: 中国人民大学出版社, 2013. 7
用计算机软件学数学系列教材
ISBN 978-7-300-17857-8

I. ①实… II. ①叶… III. ①运筹学-教学参考资料 IV. ①O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 169348 号

用计算机软件学数学系列教材
实用运筹学上机实验指导与解题指导
(第二版)

叶向 编著

Shiyong Yunchouxue Shangji Shiyan Zhidao yu Jieti Zhidao

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010-62511242 (总编室)		010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)		010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)		010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn		
	http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	中煤涿州制图印刷厂	版 次	2007 年 9 月第 1 版
规 格	185 mm×260 mm 16 开本		2013 年 8 月第 2 版
印 张	17.5 插页 1	印 次	2013 年 8 月第 1 次印刷
字 数	416 000	定 价	32.00 元

侵权必究

印装差错

负责调换

内容简介

本书是和《实用运筹学——运用 Excel 2010 建模和求解》(第二版)(中国人民大学出版社)配合使用的辅导书。

由于本次修订对教材内容进行了更加适当的筛选,同时对例题和习题进行了大幅更新,每章的最后都增加了案例,于是本同步配套辅导书也做了相应的修订。每章包括五个部分:(1)本章学习要求,给出本章应该掌握的基本知识点;(2)本章主要内容,先以图的形式列出本章主要内容框架,然后简要列出本章的基本概念和主要内容,突出必须掌握或考试频率高的核心知识;(3)本章上机实验,简要列出本章上机实验的目的、内容和要求、操作步骤等;(4)本章习题全解,对教材的全部习题给出了详细的解答;(5)本章案例全解,对教材的全部案例给出了详细的解答。

本书内容丰富、概念清晰、实用性强,是学习运筹学的一本好参考书。它不但可作为本科教学的参考书,也可作为报考研究生以及研究生教学的辅导书。

第二版前言

为了帮助广大读者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，根据中国人民大学出版社出版的《实用运筹学——运用 Excel 2010 建模和求解》（第二版）编写了该同步配套辅导参考书。

由于本次修订对教材内容进行更加适当的筛选，同时对例子和习题进行大幅更新，每章的最后都增加了案例。于是本参考书也做了相应的修订，各章按照以下五个部分进行编排。

1. 本章学习要求：给出本章应该掌握的基本知识点。

2. 本章主要内容：先以图的形式列出本章主要内容框架，然后简要列出本章的基本概念和主要内容，突出必须掌握或考试频率高的核心知识。

3. 本章上机实验：简要列出本章上机实验的目的、内容和要求、操作步骤等。

4. 本章习题全解：教材中的习题层次多，内容丰富，从不同角度体现了基本概念和主要内容的应用。因此，我们对教材的全部习题给出了详细的解答。

5. 本章案例全解：本次教材修订，每章的最后都增加了案例。从综合的角度体现了基本概念和主要内容的应用。我们对教材的全部案例也给出了详细的解答。

本书沿用教材的写法，对于习题和案例，除了建立数学模型外，还给出了电子表格模型和求解结果。

(1) 教材的内容框架如下图所示。



第一版前言

运筹学是高等院校经济管理类专业和理工科部分专业的专业基础课，也是这些专业硕士研究生入学考试的一门考试科目。为了帮助广大读者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，我们根据中国人民大学出版社最新出版的《实用运筹学——运用 Excel 建模和求解》编写了这本同步配套辅导参考书。

全书包括两部分的内容：上机实验指导和解题指导。

上机实验指导每章包括实验目的、内容和要求等，并附有案例供上机使用。

解题指导的各章按照以下三部分编排。

1. 本章学习要求：给出了本章应该掌握的基本知识点。
2. 主要内容：先以图的形式列出了本章主要内容框架，然后简要列出了本章基本概念和主要内容，突出了必须掌握或考试频率高的核心知识。
3. 课后习题全解：教材中课后习题层次多，内容丰富，从各个角度体现了基本概念和主要内容的应用，因此，我们对课后习题全部给出了详细的解答。

本书沿用原教材的写法，对于习题和案例，除了建立数学模型外，还给出了电子表格的建模和求解结果。本书的编写，参照了国内外有关教材及参考文献，在此特向原著者致谢。

本书主要由叶向编写，研究生王舒、朱琳参与了两章习题解答的编写。信息学院数学系的魏二玲老师认真审阅了书稿并提出了宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。在本书的策划、编写、审稿等方面，中国人民大学出版社的编辑潘旭燕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，敬请广大读者给予指正。

编者

2007年9月

(2) 教材的学时分配建议如下表所示。

建议讲授章节	学时
第1章 线性规划	4 学时
第2章 线性规划的灵敏度分析	4~6 学时
第3章 线性规划的建模与应用	8~10 学时
第4章 运输问题和指派问题	10~12 学时
第5章 网络最优化问题	10~12 学时
第6章 整数规划	8~10 学时
第7章 动态规划	8~10 学时
第8章 非线性规划	4 学时
第9章 目标规划	4 学时
小计	60~72 学时

(3) 上机实验。

上机实验与运筹学理论教学同步进行。

①实验目的：充分发挥 Excel 软件这一先进的计算机工具的强大功能，改变传统的教学手段和教学方法，将软件的应用引入到课堂教学，理论与应用相结合，丰富教学内容，提高学习兴趣。

②实验要求：能够使用 Excel 软件中的“规划求解”命令求解运筹学中常见的规划模型。

在本书的修订编写过程中，得到了来自多方面的支持和帮助，并参考了大量的国内外有关文献资料，这些文献资料对本书的成文起了重要作用。在此，对一切给予支持和帮助的家人、朋友、同事、有关人员以及参考文献的作者一并表示衷心的感谢。

本书的写作基础是安装于 Windows 7 操作系统上的 Excel 2010 中文版。为了能顺利学习本书介绍的习题和案例，建议读者在 Excel 2010 中文版的环境下学习。

为了使广大读者更好地掌握本书的有关内容，加深理解并增强处理实际问题的能力，我们将本书所有习题和案例的 Excel 电子表格模型放在中国人民大学出版社网站（www.crup.com.cn）的资源中心处，读者可以登录该网站免费下载。

鉴于编著者的水平和经验有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者给予指正。编著者邮箱：yexiang@ruc.edu.cn。

叶向

于中国人民大学信息学院

2013 年 3 月

目 录

第 1 章 线性规划	1
1.1 本章学习要求	1
1.2 本章主要内容	1
1.3 本章上机实验	2
1.4 本章习题全解	3
1.5 本章案例全解	9
案例 1.1 家用轿车装配	9
第 2 章 线性规划的灵敏度分析	17
2.1 本章学习要求	17
2.2 本章主要内容	17
2.3 本章上机实验	18
2.4 本章习题全解	19
2.5 本章案例全解	28
案例 2.1 奶制品加工生产	28
案例 2.2 奶制品生产销售	31
第 3 章 线性规划的建模与应用	35
3.1 本章学习要求	35
3.2 本章主要内容	35
3.3 本章上机实验	36
3.4 本章习题全解	37
3.5 本章案例全解	53
案例 3.1 某医院护理部 24 小时护士排班计划优化研究	53
案例 3.2 回收中心的配料问题	59
第 4 章 运输问题和指派问题	68
4.1 本章学习要求	68

4.2	本章主要内容	68
4.3	本章上机实验	70
4.4	本章习题全解	70
4.5	本章案例全解	90
	案例 4.1 菜篮子工程	90
	案例 4.2 教师工作安排	94
第 5 章	网络最优化问题	98
5.1	本章学习要求	98
5.2	本章主要内容	98
5.3	本章上机实验	100
5.4	本章习题全解	100
5.5	本章案例全解	144
	案例 5.1 人员配备模型研究	144
	案例 5.2 银行设置	153
第 6 章	整数规划	159
6.1	本章学习要求	159
6.2	本章主要内容	159
6.3	本章上机实验	160
6.4	本章习题全解	160
6.5	本章案例全解	183
	案例 6.1 证券营业网点设置	183
第 7 章	动态规划	188
7.1	本章学习要求	188
7.2	本章主要内容	188
7.3	本章上机实验	189
7.4	本章习题全解	189
7.5	本章案例全解	221
	案例 7.1 出国留学装行李方案	221
	案例 7.2 某公司投资项目分析	224
	案例 7.3 某房地产开发公司投资项目分析	229
第 8 章	非线性规划	234
8.1	本章学习要求	234
8.2	本章主要内容	234
8.3	本章上机实验	235
8.4	本章习题全解	235
8.5	本章案例全解	249
	案例 8.1 羽绒服生产销售	249
第 9 章	目标规划	253
9.1	本章学习要求	253

9.2 本章主要内容	253
9.3 本章上机实验	254
9.4 本章习题全解	255
9.5 本章案例全解	265
案例 9.1 森林公园规划	265
参考文献	268

第 1 章

线性规划

1.1 本章学习要求

- (1) 理解线性规划模型的三要素；
- (2) 了解线性规划的图解法及其几何意义；
- (3) 掌握使用 Excel 软件中的“规划求解”命令求解线性规划问题的操作方法；
- (4) 理解线性规划问题求解的几种可能结果。

1.2 本章主要内容

本章主要内容框架如图 1—1 所示。

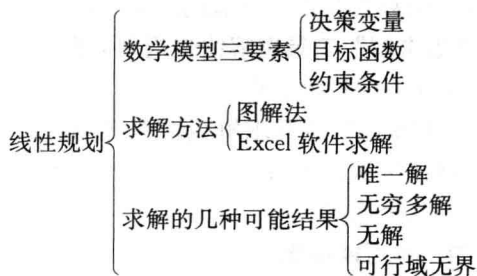


图 1—1 第 1 章主要内容框架图

1. 线性规划的数学模型

线性规划模型的一般形式为：设决策变量为 $x_j (j=1, 2, \dots, n)$ ，有

$$\max(\min) z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1-1)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq (=, \geq) b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq (=, \geq) b_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \leq (=, \geq) b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

$$(1-3)$$

其中,式(1—1)称为目标函数,它只有两种形式: max(最大化)或 min(最小化);式(1—2)称为函数约束,它们表示问题所受到的各种约束,一般有三种形式:“ \leq (小于等于)”、“ \geq (大于等于)”(这两种情况又称为不等式约束)或“ $=$ (等于)”(又称为等式约束);式(1—3)称为非负约束条件。

在线性规划模型中,也直接称 z 为“目标函数”;称 $x_j(j=1, 2, \dots, n)$ 为“决策变量”;称 $c_j(j=1, 2, \dots, n)$ 为“目标函数系数”、“价值系数”或“费用系数”;称 $b_i(i=1, 2, \dots, m)$ 为“函数约束右端常数”或简称“右端值”,也称“资源常数”;称 $a_{ij}(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 为“约束系数”、“技术系数”或“工艺系数”。这里, c_j, b_i, a_{ij} 均为常数(称为模型参数)。

线性规划的数学模型可以表示为如下简洁的形式:

$$\begin{aligned} \max(\min) z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_i & (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_j \geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

2. 线性规划的图解法

对于只有两个变量的线性规划问题,可以在二维直角坐标平面上作图求解。

用图解法求解的步骤如下:

- (1) 建立平面直角坐标系。
- (2) 图示约束条件,找出可行域。
- (3) 图示目标函数,即为一条直线。

(4) 朝着使目标函数最优化的方向,平行移动目标函数直线,直到再继续移动就会离开可行域为止。这时,该目标函数直线在可行域内的那些点,即为最优解。

3. 使用 Excel 2010 “规划求解”工具求解线性规划问题

- (1) 在 Excel 电子表格中建立线性规划模型;
- (2) 使用 Excel 2010 “规划求解”工具求解线性规划问题;
- (3) 使用名称(给单元格或区域命名);
- (4) 建好电子表格模型的几个原则。

4. 线性规划问题求解的几种可能结果

- (1) 唯一解;
- (2) 无穷多解;
- (3) 无解;
- (4) 可行域无界(目标值不收敛)。

1.3 本章上机实验

1. 实验目的

在 Excel 2010 软件中加载“规划求解”工具(加载宏,命令),使用 Excel 2010 软件求解线性规划问题。

2. 内容和要求

- (1) 在 Excel 2010 软件中, 加载“规划求解”工具(加载宏, 命令);
- (2) 在 Excel 2010 软件中, 建立新问题, 输入模型, 求解模型, 对结果进行简单分析。

3. 操作步骤

使用 Excel 2010 软件求解习题 1.1、案例 1.1 (或其他例子、习题、案例等)。

- (1) 在 Excel 中建立电子表格模型: 输入数据、给单元格或区域命名、输入公式等。
- (2) 使用 Excel 2010 软件中的“规划求解”工具(加载宏, 命令)求解线性规划问题。

(3) 结果分析: 如每月生产四种产品各多少吨? 总利润是多少? 哪些原料有剩余? 并对结果提出自己的看法。

(4) 在 Excel 文件或 Word 文档中写实验报告, 包括线性规划模型、电子表格模型和结果分析等。

1.4 本章习题全解

1.1 某工厂利用甲、乙、丙三种原料, 生产 A、B、C、D 四种产品。每月可供应该厂原料甲 600 吨、乙 500 吨、丙 300 吨。生产 1 吨不同产品所消耗的原料数量及可获得的利润如表 1—1 所示。问: 工厂每月应如何安排生产计划, 才能使总利润最大?

表 1—1 三种原料生产四种产品的有关数据

	产品 A	产品 B	产品 C	产品 D	每月原料供应量(吨)
原料甲	1	1	2	2	600
原料乙	0	1	1	3	500
原料丙	1	2	1	0	300
单位利润(元)	200	250	300	400	

解:

(1) 决策变量。

本问题要做的决策是工厂每月应如何安排生产计划(即四种不同产品的每月产量)。设该厂每月应生产 x_1 吨产品 A, x_2 吨产品 B, x_3 吨产品 C, x_4 吨产品 D。

(2) 目标函数。

本问题的目标是总利润最大, 即

$$\max z = 200x_1 + 250x_2 + 300x_3 + 400x_4$$

(3) 约束条件。

本问题的约束条件共有四个。

① 每月原料甲的供应量限制: $x_1 + x_2 + 2x_3 + 2x_4 \leq 600$

② 每月原料乙的供应量限制: $x_2 + x_3 + 3x_4 \leq 500$

③ 每月原料丙的供应量限制: $x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 300$

④ 每月产量非负: $x_i \geq 0$ ($i=1, 2, 3, 4$)

于是, 得到习题 1.1 的线性规划模型为:

$$\begin{aligned} \max z &= 200x_1 + 250x_2 + 300x_3 + 400x_4 \\ \text{s. t. } &\begin{cases} x_1 + x_2 + 2x_3 + 2x_4 \leq 600 \\ x_2 + x_3 + 3x_4 \leq 500 \\ x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 300 \\ x_i \geq 0 \quad (i=1, 2, 3, 4) \end{cases} \end{aligned}$$

习题 1.1 的电子表格模型如图 1—2 所示, 参见“习题 1.1. xlsx”。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	习题 1.1								
2									
3			产品A	产品B	产品C	产品D			
4	单位利润	200	250	300	400				
5									
6			单位产品所需原料			实际使用		供应量	
7	原料甲	1	1	2	2	600	<=	600	
8	原料乙	0	1	1	3	500	<=	500	
9	原料丙	1	2	1	0	300	<=	300	
10									
11			产品A	产品B	产品C	产品D			总利润
12	每月产量	260	20	0	160				121000

名称	单元格
单位利润	C4:F4
供应量	I7:I9
每月产量	C12:F12
实际使用	G7:G9
总利润	I12

	G
6	实际使用
7	=SUMPRODUCT(C7:F7, 每月产量)
8	=SUMPRODUCT(C8:F8, 每月产量)
9	=SUMPRODUCT(C9:F9, 每月产量)

	I
11	总利润
12	=SUMPRODUCT(单位利润, 每月产量)

规划求解参数

设置目标: (T)

到: 最大值 (M) 最小值 (M) 目标值: (V)

通过更改可变单元格: (E)

遵守约束: (U)

实际使用 <= 供应量

使无约束变量为非负数 (N)

选择求解方法: (E)

图 1—2 习题 1.1 的电子表格模型

习题 1.1 的最优生产计划为：每月生产 260 吨产品 A、20 吨产品 B 和 160 吨产品 D（不生产产品 C），此时工厂获得的总利润最大，为每月 12.1 万元（121 000 元）。同时，甲、乙、丙三种原料刚好全部消耗完毕。

1.2 某公司受客户委托，准备用 120 万元投资 A 和 B 两种基金。基金 A 每份 50 元、基金 B 每份 100 元。据估计，基金 A 的预期收益率（投资回报率）为 10%、预期亏损率（投资风险率）为 8%；基金 B 的预期收益率为 4%、预期亏损率为 3%。客户有两个要求：(a) 投资收益（预期收益额）不少于 6 万元；(b) 基金 B 的投资额不少于 30 万元。问：

(1) 为了使投资亏损（预期亏损额）最小，该公司应该分别投资多少份基金 A 和基金 B？这时的投资收益（预期收益额）是多少？

(2) 为了使投资收益（预期收益额）最大，应该如何投资？这时的投资亏损（预期亏损额）是多少？

解：

1. 问题 (1) 的求解

(1) 决策变量。

本问题要做的决策是该公司应该各投资多少份基金 A 和基金 B。

设该公司应该投资 x_A 万份基金 A，投资 x_B 万份基金 B。

这时，基金 A 的投资额为 $50x_A$ 万元，基金 B 的投资额为 $100x_B$ 万元。

投资收益（预期收益额）为： $(50x_A) \times 10\% + (100x_B) \times 4\% = 5x_A + 4x_B$ 万元。

投资亏损（预期亏损额）为： $(50x_A) \times 8\% + (100x_B) \times 3\% = 4x_A + 3x_B$ 万元。

(2) 目标函数。

本问题的目标是投资亏损（预期亏损额）最小，即 $\min z = 4x_A + 3x_B$ 。

(3) 约束条件。

本问题的约束条件共有四个。

① 投资总额限制： $50x_A + 100x_B \leq 120$

② 投资收益（预期收益额）要求： $5x_A + 4x_B \geq 6$

③ 基金 B 投资额要求： $100x_B \geq 30$

④ 非负： $x_A, x_B \geq 0$

于是，得到习题 1.2 问题 (1) 的线性规划模型：

$$\begin{aligned} \min z &= 4x_A + 3x_B \\ \text{s. t.} &\begin{cases} 50x_A + 100x_B \leq 120 \\ 5x_A + 4x_B \geq 6 \\ 100x_B \geq 30 \\ x_A, x_B \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

习题 1.2 问题 (1) 的电子表格模型如图 1—3 所示，参见“习题 1.2 (1).xlsx”。

习题 1.2 问题 (1) 的最优投资方案为：为了使投资亏损（预期亏损额）最小（为 4.6 万元），该公司应该在基金 A 中投资 0.4 万份、在基金 B 中投资 1 万份，这时的投资收益（预期收益额）为 6 万元（E8 单元格）。

	A	B	C	D	E	F	G
1	习题 1.2 (1)						
2							
3			基金 A	基金 B			
4	单位投资亏损		4	3			
5							
6			基金的各种数据		实际		限制/要求
7	投资总额		50	100	120	<=	120
8	投资收益		5	4	6	>=	6
9	基金 B 投资额			100	100	>=	30
10							
11			基金 A	基金 B			总投资亏损
12	投资份数		0.4	1			4.6

名称	单元格
单位投资亏损	C4:D4
基金 B 实际投资额	E9
基金 B 最少投资额	G9
可用资金	G7
实际投资收益	E8
实际投资总额	E7
投资份数	C12:D12
总投资亏损	G12
最少投资收益	G8

	E
6	实际
7	=SUMPRODUCT(C7:D7, 投资份数)
8	=SUMPRODUCT(C8:D8, 投资份数)
9	=SUMPRODUCT(C9:D9, 投资份数)

	G
11	总投资亏损
12	=SUMPRODUCT(单位投资亏损, 投资份数)

规划求解参数

设置目标: (T)

到: 最大值 (M) 最小值 (M) 目标值 (V)

通过更改可变单元格: (B)

遵守约束: (L)

实际投资总额 <= 可用资金
基金 B 实际投资额 >= 基金 B 最少投资额
实际投资收益 >= 最少投资收益

使无约束变量为非负数 (K)

选择求解方法: (M)

图 1-3 习题 1.2 (1) 的电子表格模型

2. 问题 (2) 的求解

问题 (2) 与问题 (1) 的区别是目标不同, 而决策变量和约束条件都相同。问题 (2) 的目标是投资收益 (预期收益额) 最大, 即 $\max z = 5x_A + 4x_B$ 。于是习题 1.2 问题 (2) 的线性规划模型为:

$$\max z = 5x_A + 4x_B$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 50x_A + 100x_B \leq 120 \\ 5x_A + 4x_B \geq 6 \\ 100x_B \geq 30 \\ x_A, x_B \geq 0 \end{cases}$$

习题 1.2 问题 (2) 的电子表格模型如图 1—4 所示, 参见“习题 1.2 (2).xlsx”。

	A	B	C	D	E	F	G
1	习题 1.2 (2)						
2							
3			基金 A	基金 B			
4	单位投资收益		5	4			
5							
6			基金的各种数据		实际		限制/要求
7	投资总额		50	100	120	<=	120
8	投资收益		5	4	10.2	>=	6
9	基金 B 投资额			100	30	>=	30
10	投资亏损		4	3	8.1		
11							
12			基金 A	基金 B			总投资收益
13	投资份数		1.8	0.3			10.2

名称	单元格
单位投资收益	C4:D4
基金 B 实际投资额	E9
基金 B 最少投资额	G9
可用资金	G7
实际投资收益	E8
实际投资总额	E7
投资份数	C13:D13
总投资收益	G13
最少投资收益	G8

	E
6	实际
7	=SUMPRODUCT(C7:D7, 投资份数)
8	=SUMPRODUCT(C8:D8, 投资份数)
9	=SUMPRODUCT(C9:D9, 投资份数)
10	=SUMPRODUCT(C10:D10, 投资份数)

	G
12	总投资收益
13	=SUMPRODUCT(单位投资收益, 投资份数)

规划求解参数

设置目标: (T)

到: 最大值 (M) 最小值 (M) 目标值 (V)

通过更改可变单元格: (B)

遵守约束: (C)

实际投资总额 <= 可用资金
基金 B 实际投资额 >= 基金 B 最少投资额
实际投资收益 >= 最少投资收益

使无约束变量为非负数 (N)

选择求解方法: (M)

图 1—4 习题 1.2 (2) 的电子表格模型

习题 1.2 问题 (2) 的最优投资方案为: 为了使投资收益 (预期收益额) 最大 (为 10.2 万元), 该公司应该在基金 A 中投资 1.8 万份、在基金 B 中投资 0.3 万份, 这时的投