

# 运筹学实验

(WinQSB)

2018 年 9 月

# 目 录

## 第 1 章 WINQSB 简介 1

- 1.1 实验平台、环境和主要功能 1
- 1.2 软件安装 1
- 1.3 运行 3
- 1.4 WINQSB 与 EXCEL 表格交换数据 8

## 第 2 章 线性规划与整数规划 ( LP-ILP ) 9

- 2.1 线性规划 ( LINEAR PROGRAMMING, LP ) 9
- 2.2 灵敏度分析 ( PERFORM PARAMETRIC ANALYSIS ) 11
- 2.3 整数线性规划 ( INTEGER LINEAR PROGRAMMING, ILP ) 13

## 第 3 章 目标规划 ( GOAL PROGRAMMING, GP ) 16

## 第 4 章 网络模型 ( NETWORK MODELING, NET ) 18

- 4.1 网络模型模块简介 18
- 4.2 分配问题 ( ASSIGNMENT PROBLEM ) 18
- 4.3 运输问题 ( TRANSPORTATION PROBLEM ) 20
- 4.4 最小支撑树 ( MINIMAL SPANNING TREE ) 24
- 4.5 最短路问题 ( SHORTEST PATH PROBLEM ) 26
- 4.6 最大流问题 ( MAXIMAL FLOW PROBLEM ) 28
- 4.7 旅行商问题 ( TRAVELING SALESMAN PROBLEM ) 31

## 第 5 章 动态规划 ( DYNAMIC PROGRAMMING, DP ) 34

- 5.1 马车驿站问题 34
- 5.2 背包问题 ( KNAPSACK PROBLEM ) 36
- 5.3 生产存储问题 ( PRODUCTION AND INVENTORY SCHEDULING ) 37

## 第 6 章 存储论与存储控制 ( ITS ) 38

- 6.1 模块简介 38
- 6.2 确定需求存储模型 ( EOQ ) 38
  - 6.2.1 基本 EOQ 模型求解 40
  - 6.2.2 允许缺货及时补充 EOQ 模型求解 41
  - 6.2.3 在制品 EOQ 模型 42
- 6.3 有价格折扣的 EOQ 模型 44
- 6.4 单时期随机需求存储模型 ( 报童问题 ) 45

## 第 7 章 排队论 ( QUEUING ANALYSIS ) 49

- 7.1 简单排队系统 M/M 49
- 7.2 一般排队系统 G/G 51
  - 7.2.1 一般服务时间 M/G/1 排队模型 52
  - 7.2.2 定长服务时间 M/D/1 模型 53

## 第 8 章 决策分析 ( DECISION ANALYSIS ) 55

- 8.1 决策分析模块简介 55
- 8.2 损益矩阵表分析 ( PAYOFF TABLE ANALYSIS ) 55
- 8.3 贝叶斯决策 ( BAYESIAN DECISION ) 61
- 8.4 决策树 ( DECISION TREE ANALYSIS ) 63
- 8.5 二人零和对策 ( TWO-PLAYER, ZERO-SUM GAME ) 65

# 第 1 章 WinQSB 简介

## 1.1 实验平台、环境和主要功能

QSB 是 Quantitative Systems for Business 的缩写, WinQSB 是 QSB 的 Windows 版本, 是一种教学软件, 里面有大量的模型, 对于非大型的问题一般都能计算, 较小的问题还能演示中间的计算过程。可以在 Windows9X/ME/NT/2000/XP 及以上平台下运行。WinQSB V1.0 共有 19 个子系统, 分别用于解决运筹学不同方面的问题, 详见表 1-1。

表 1-1 WinQSB 主要模块与应用范围

序号	程 序	启动程序名称	内容	应用范围
1	Acceptance Sampling	ASA	抽样分析	各种抽样分析、抽样方案设计、假设分析
2	Aggregate Planning	AP	综合计划编制	具有多时期正常、加班、分时、转包生产量、需求量、存储费用、生产费用等复杂的整体综合生产计划的编制方法, 将问题归结到求解线性规划模型或运输模型
3	Decision Analysis	DA	决策分析	确定型与风险型决策、贝叶斯决策。决策树、二人零和对策
4	Dynamic	DP	动态规划	最短路问题、背包问题、生产与存储
5	Facility Location	FLL	设备场地布局	设备场地设计、功能布局、线路均衡布局
6	Forecasting and Linear	FC	预测与线性回归	简单平均、移动平均、加权移动平均、线性趋势移动平均、指数平滑、多元线性回归、Holt-Winters 季节迭加与乘积
7	Goal Programming and Integer	GPIGP	目标规划与整数线性目标规划	多目标线性规划、线性目标规划、变量可以取整、连续或无限制
8	Inventory Theory and	ITS	存储论与存储控制系统	经济订货批量、批量折扣、单时期随机模型、多时期动态存储模型、存储控制系统(各种存储策略)
9	Job Scheduling	JOB	作业调度、编制工作进度表	机器加工排序、流水线车间加工排序
10	Linear Programming and Integer	LP-ILP	线性规划与整数线性规划	线性规划、整数规划、写对偶、灵敏度分析、参数分析
11	Markov	MKP	马尔可夫过程	转移概率、稳态概率
12	Material Requirements Planning	MRP	物料需求计划	物料需求计划的编制、成本核算
13	Network Modeling	Net	图论模型	运输、指派、最大值、最短路、最小支撑树、货郎担等问题
14	Nonlinear Programming	NLP	非线性规划	有(无)条件约束、目标函数或约束条件非线性, 目标函数与约束条件都非线性等规划的求解与分析
15	Project Scheduling	PERT-CPM	网络计划	关键路径法、计划评审技术、网络的优化、工程完工时间模拟、绘制特图与网络图
16	Queuing Programming	QP	二次规划	求解线性约束、目标函数是二次型的一种非线性规划问题, 变量可以取整数
17	Queuing Analysis	QA	排队分析	各种排队模型的求解与性能分析、15 种分布模型、灵敏度分析、服务能力分析、成本分析
18	Queuing System Simulation	QSS	排队系统模拟	未知到达和服务时间分布、一般排队系统模拟计算
19	Quality Control Charts	QCC	质量管理控制图	建立各种质量控制图质量分析

## 1.2 软件安装

WinQSB 的安装比较简单。双击 Setup.exe, 弹出窗口如图 1-1 所示:



图 1-1

输入要安装到哪个目录，点 Continue 按钮，弹出窗口如图 1-2 所示：

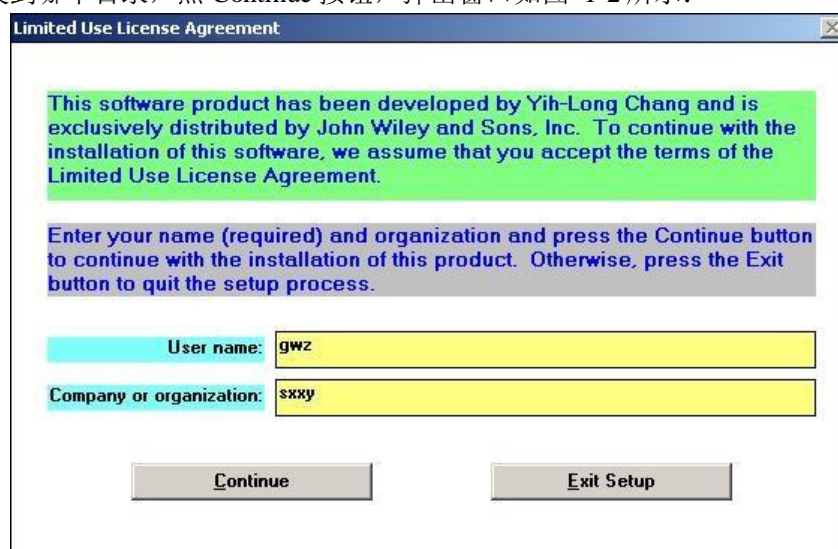


图 1-2

输入用户名和公司或组织名称，点 Continue 按钮进行文件的复制，完成后弹出窗口如图 1-3：



图 1-3

显示安装完成，点“确定”退出。

WinQSB 软件安装完毕后，会在开始 → 程序 → WinQSB 中生成 19 个菜单项，分别对应运筹学的 19 个问题。如图 1-4 所示：

Acceptance Sampling Analysis	抽样分析
Aggregate Planning	综合计划编制
Decision Analysis	决策分析
Dynamic Programming	动态规划
Facility Location and Layout	设备场地布局
Forecasting and Linear Regression	预测和线性回归
Goal Programming	目标规划
Inventory Theory and System	存储论与存储控制系统
Job Scheduling	作业调度、编制工作进度表
Linear and Integer Programming	线性 and 整数规划
Markov Process	马尔柯夫过程
Material Requirements Planning	物料需求计划
Network Modeling	网络模型
Nonlinear Programming	非线性规划
PERT_CPM	计划评审技术与关键路线法
Quadratic Programming	二次规划
Quality Control Chart	质量控制图
Queueing Analysis	排队论
Queueing System Simulation	

图 1-4

针对不同的问题，选择不同的子菜单项，运行相应的程序，然后使用 File 菜单下的 New Problem 菜单来输入所需数据。

## 1.3 运行

WinQSB 基本上有三种窗口：启动窗口、数据输入窗口、结果输出窗口。现以 Linear and Integer Programming 为例加以说明：

1.启动窗口。在开始菜单中选择 Linear and Integer Programming，运行后出现启动窗口如下图 1-5 所示：

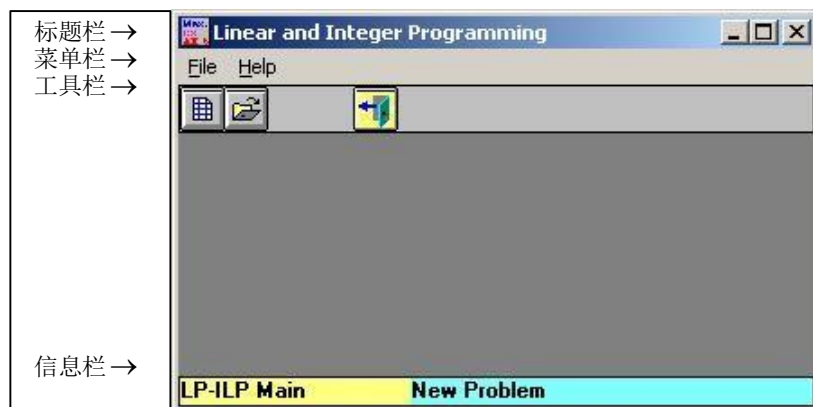


图 1-5 启动窗口

(1) 标题栏：显示了程序的名称。

(2) 菜单栏：共有两个菜单：File 和 Help。

File 菜单只有三个子菜单：New Problem、Load Problem 和 Exit。

New Problem：创建新问题

Load Problem：装载问题

Exit：退出

Help 菜单为帮助菜单（略）

(3) 工具栏：提供了执行菜单栏各功能的快捷按钮。

(4) 信息栏：把鼠标移动到工具栏按钮上时，信息栏会给出相应的说明信息。

2.数据输入窗口：在 File 菜单中选择 New Problem 菜单（或在工具栏上按新建按钮），出现对话框如图 1-6 所示：

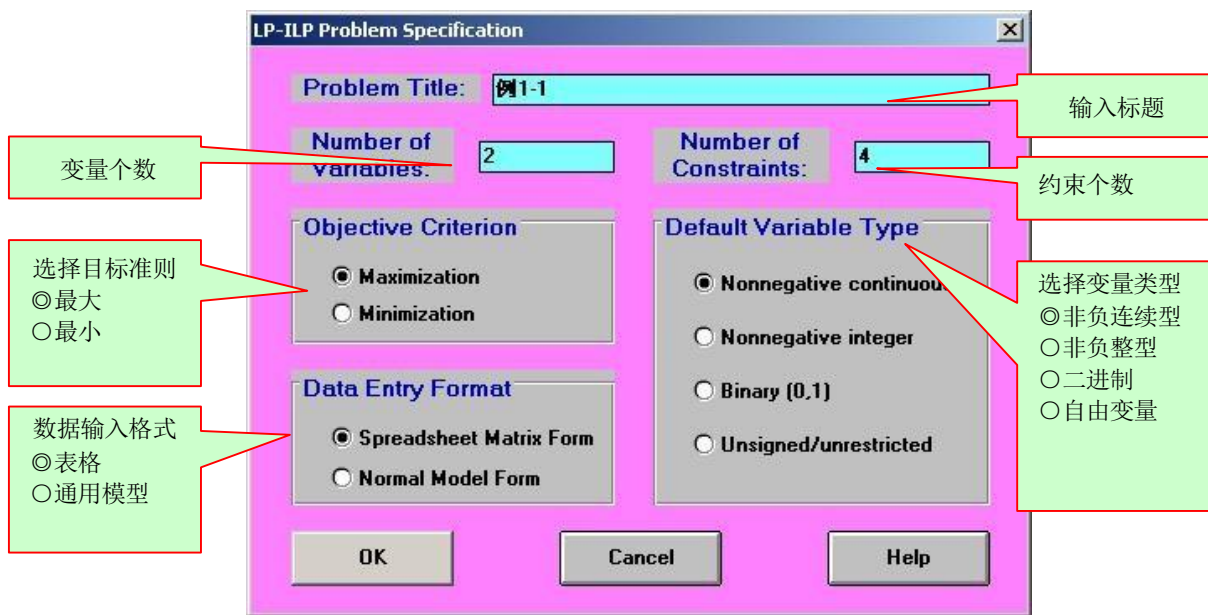


图 1-6 参数设置对话框

注意：对应于不同的子程序，弹出对话框的内容是不同的。  
点击 OK 按钮，进入数据输入窗口。如图 1-7 所示：

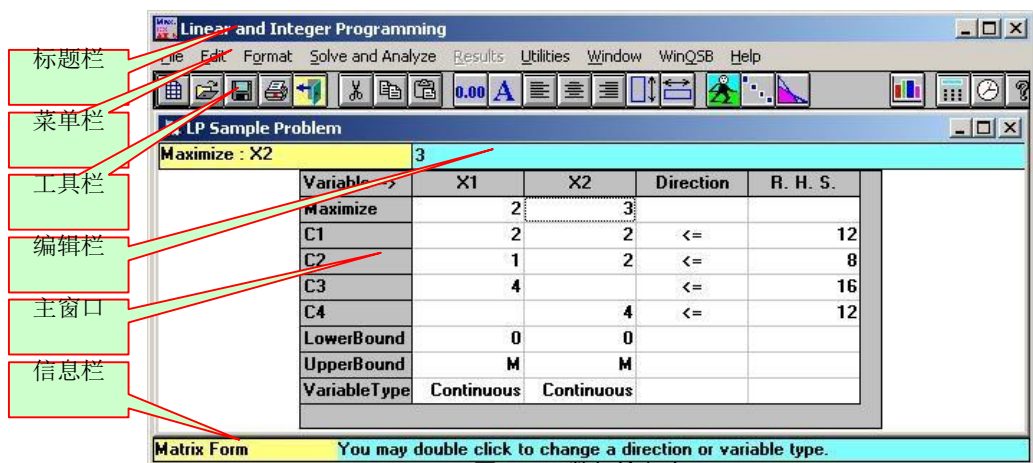


图 1-7 数据输入窗口

(1) 菜单栏：共有 9 个菜单：File、Edit、Format、Solve and Analysis、Results（此处为灰色不可用）、Utilities、Window、WinQSB 和 Help。

File 菜单：共有 9 个子菜单，如图 1-8。

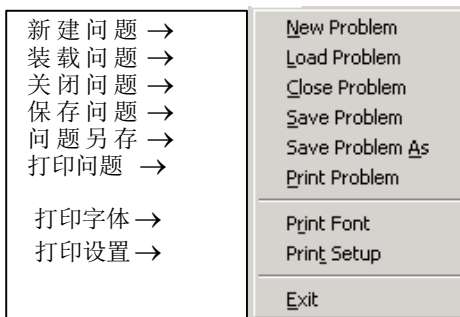


图 1-8 文件菜单

Edit 菜单，如图 1-9

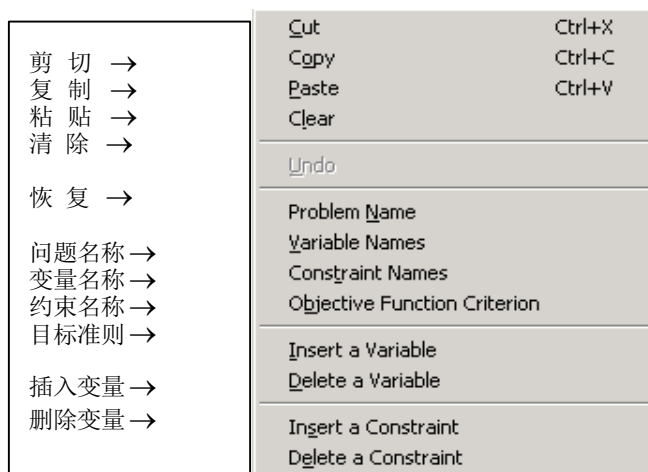


图 1-9 编辑菜单

需要注意的是除了剪切复制等的第一部分和 Undo 的第二部分外，其它部分的子菜单会由于所选程序的不同而不同。具体见后面实验中各问题的详细解法。

Format 菜单，如图 1-10

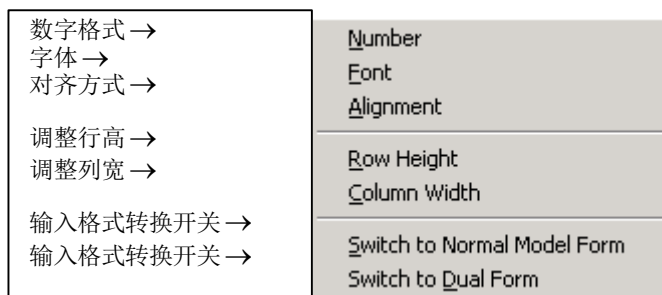


图 1-10 格式菜单

Number: 选择数字的显示格式。选择此菜单，弹出窗口如图 1-11

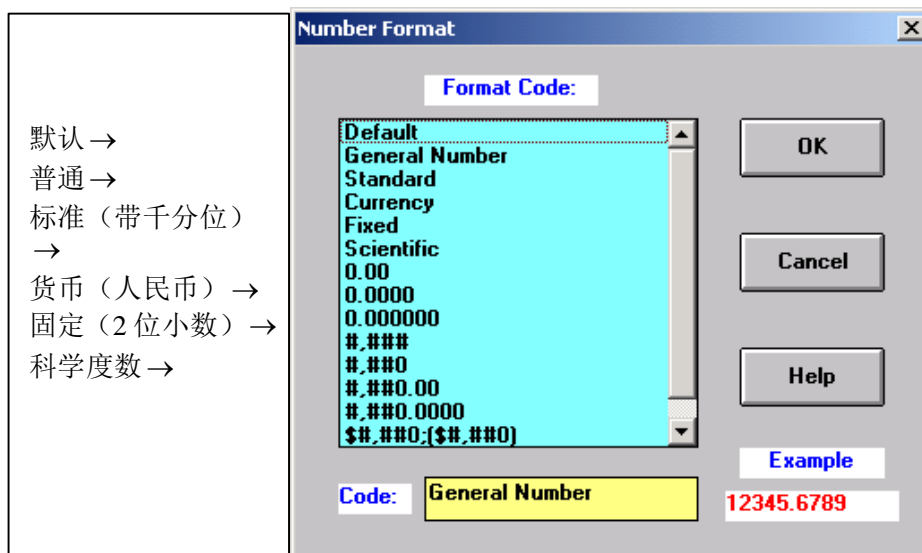


图 1-11 数字格式选择框

Font: 选择显示字体（为 Windows 标准的字体对话框）

Alignment: 电子表格文字的对齐方式。选择此菜单，弹出窗口如图 1-12

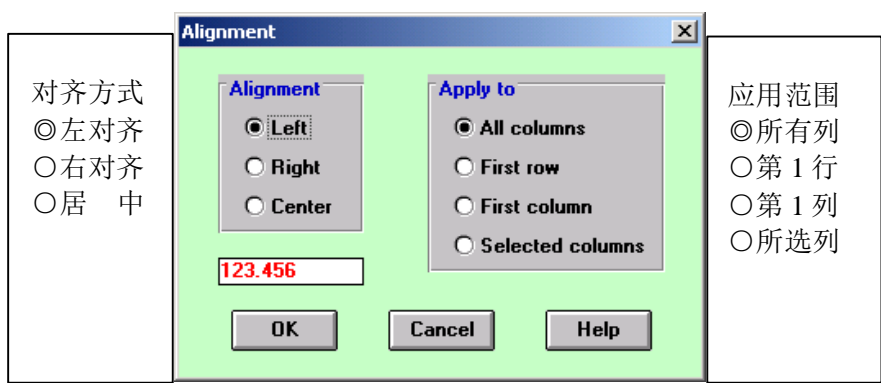


图 1-12 对齐方式选择框

Row height: 调节电子表格行高（如图 1-13）。

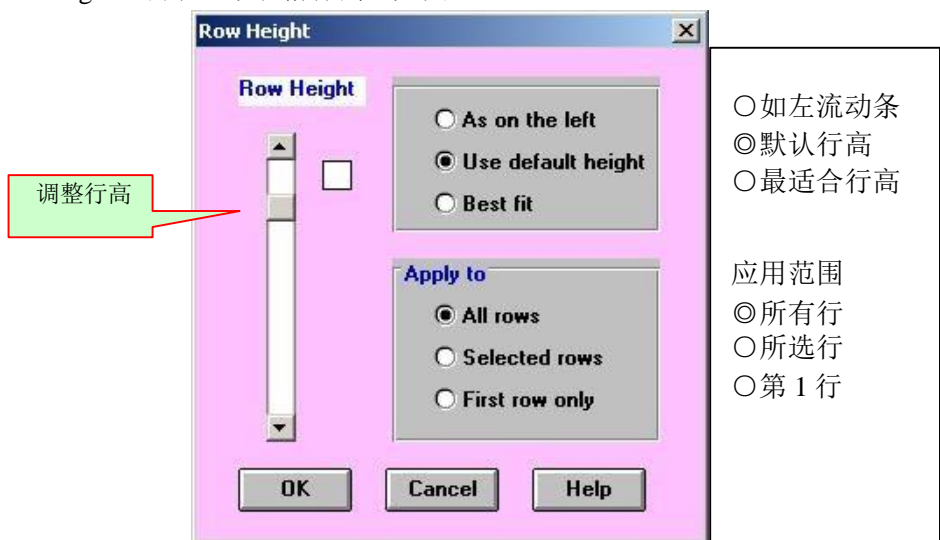


图 1-13 调整行高

Column weight: 调节电子表格列宽（方法同调整行高）。

根据子程序的不同，Format 菜单中会有不同的子菜单。具体见后面各问题的详细解法。Solve and Analysis 菜单，如图 1-14。

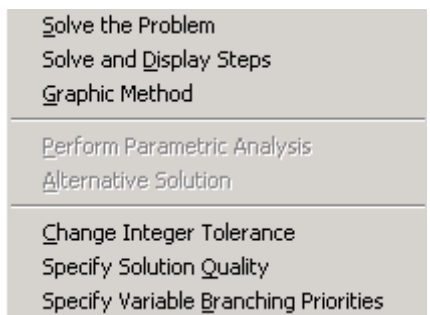


图 1-14 求解与分析菜单

它也会根据不同的子程序而有不同的子菜单，主要的是：

Solve the Problem: 求解问题

Solve and Display Steps: 求解并显示过程

Utility 菜单

此菜单较简单，主要是提供了几个小工具，有 Calculator（计算器）、Clock（时钟）和 Graph/Chart（图表）。

Window 菜单，如图 1-15



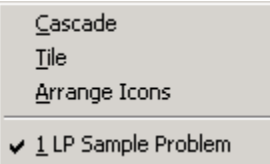


图 1-15 窗口菜单

此处会显示已经打开的子窗口的名称，可方便的进行切换。  
Cascade: 层叠，各子窗口的显示如图 1-16 所示：

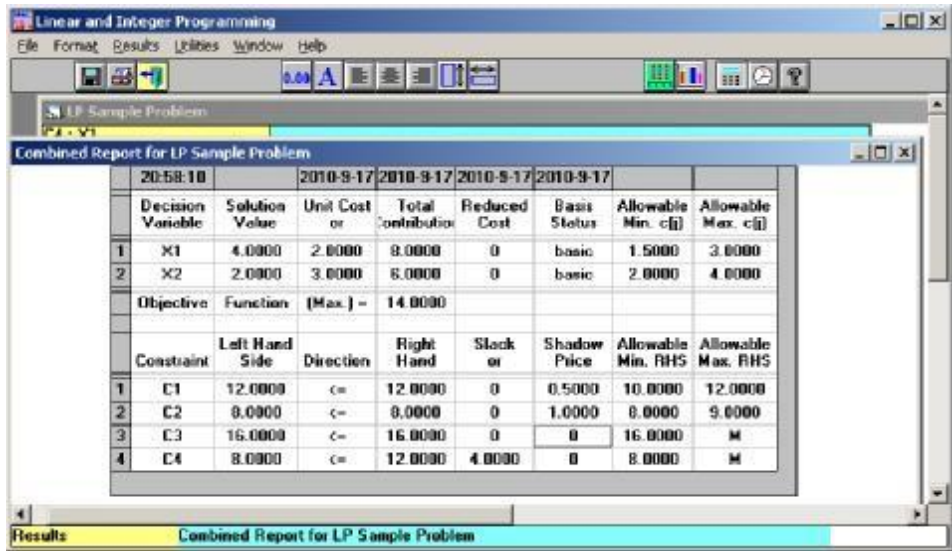


图 1-16 窗口层叠

Title: 平铺，各子窗口的显示如图 1-17 所示：

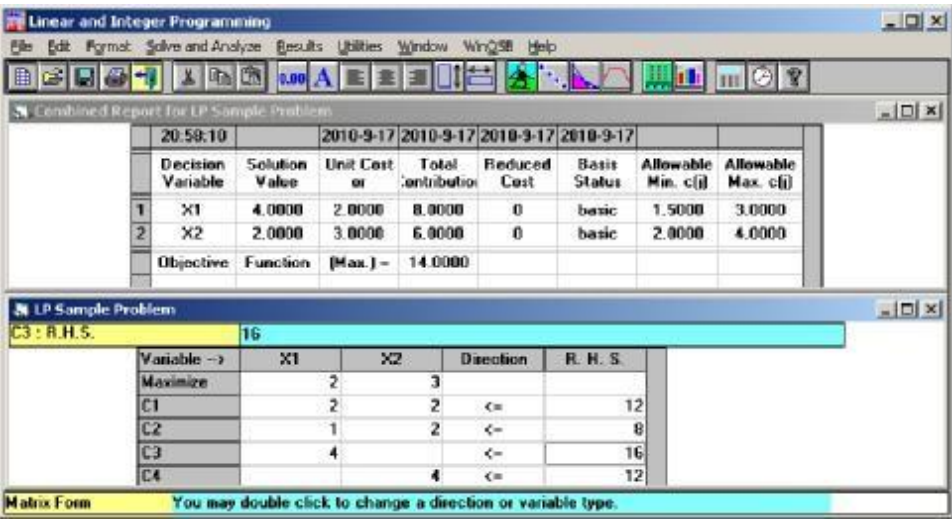


图 1-17 窗口平铺

### WinQSB 菜单

WinQSB 菜单提供了 WinQSB 的 19 能的菜单，可在此处方便的打开其它子程序。

### Help 菜单

提供了 WinQSB 的帮助。

(2) 工具栏: 此处提供了比启动窗口更丰富的工具按钮。

(3) 主窗口: 在此处输入具体问题的数据。

3. 结果输出窗口: 在输入了数据之后，选择 Solve and Analysis 菜单下的 Solve the Problem 菜单，问题求解后弹出结果输出窗口如图 1-18 所示：

20:58:10		2010-9-17		2010-9-17		2010-9-17	
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1 X1	4.0000	2.0000	8.0000	0	basic	1.5000	3.0000
2 X2	2.0000	3.0000	6.0000	0	basic	2.0000	4.0000
Objective	Function	(Max.) =	14.0000				
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand	Slack or	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1 C1	12.0000	<=	12.0000	0	0.5000	10.0000	12.0000
2 C2	8.0000	<=	8.0000	0	1.0000	8.0000	9.0000
3 C3	16.0000	<=	16.0000	0	0	16.0000	M
4 C4	8.0000	<=	12.0000	4.0000	0	8.0000	M

Results Combined Report for LP Sample Problem

图 1-18 结果输出窗口

(1) 此窗口有 6 菜单：File、Format、Result、Utilities、Window 和 Help。

File 菜单，如图 1-19

打印	Print
快速打印	Quick Print Window
结果另存	Save As
复制到剪贴板	Copy to Clipboard
打印字体设置	Print Font
打印设置	Print Setup
退出	Exit

图 1-19 文件菜单

### Result 菜单

主要是对问题进行各种不同的分析和显示。根据不同的子程序会有所不同

Format、Utilities、Window 和 Help 菜单同数据输入窗口中的菜单。

(2) 工具栏：提供了命令的快捷按钮。

(3) 结果显示窗口：把问题的计算结果以表格或图形的形式显示出来。

## 1.4 WinQSB 与 Excel 表格交换数据

(1) 从 Excel 表格中复制数据到 winQSB：先选中 Excel 中要复制的数据区域，点击复制或按“Ctrl+C”键，然后在 winQSB 的电子表格编辑状态下选中要粘贴的单元格（选中的粘贴区域与在 Excel 中复制时选中的区域行列数相同），点击粘贴或按“Ctrl+V”键完成复制。

(2) 把 WinQSB 数据输入窗口中的数据复制到 Excel 表格：先清空剪贴板（可用 Excel 中 Edit 菜单下的 office 剪贴板来清空，方法：编辑/office 剪切板/全部清空），然后在 WinQSB 表格中选中要复制的数据，选 Edit 菜单下的 Copy，然后在 Excel 表格中复制即可。

## 第 2 章 线性规划与整数规划 ( LP-ILP )

线性规划与整数线性规划模型相同，仅区别于变量取值的限制，在 WinQSB 中共用一个模块 Liar and Integer Programming.

### 2.1 线性规划 (Linear Programming, LP)

【例 2.1】某企业利用三种资源生产两种产品的最优计划问题归结为下列线性规划。

$$\begin{aligned} \max z &= 5x_1 + 4x_2 \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} x_1 + 3x_2 \leq 90 \\ 2x_1 + x_2 \leq 80 \\ x_1 + x_2 \leq 45 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- (1) 求出最优解与最优值；
- (2) 确定  $x_2$  的系数  $c_2$  的变化范围，使原最优解保持不变？并绘出参数规划曲线图；
- (3) 若  $c_2=6$ ，求新的最优计划；
- (4)  $b_3$  在什么范围内变化，原最优基不变？并绘出参数规划曲线图；
- (5) 若  $b_3=55$ ，求出新的最优解。

解 第 (1) 个问题是求 LP 的最优解；第 (2) (3) 个问题可合并求解，为对目标系数的敏感性分析；第 (4) (5) 个问题可合并求解，为资源项的敏感性分析。

首先求 LP 问题最优解，具体操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Liar and Integer Programming/File/New Problem

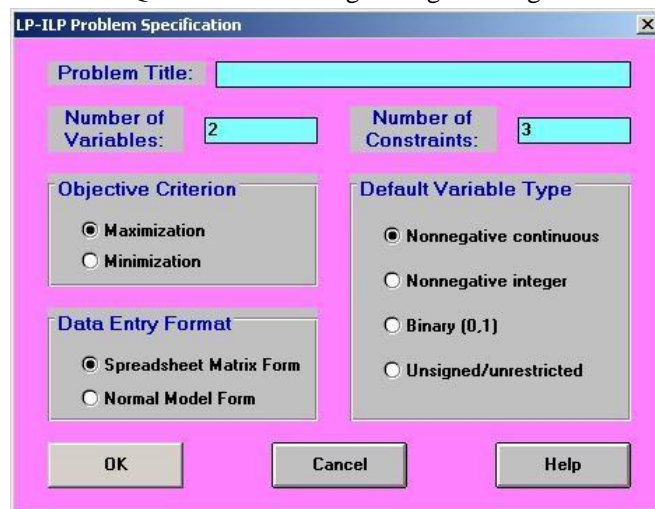


图 2-1 LP-ILP 参数设置对话框

输入变量数 2、约束数 3、目标最大化（默认）、表格输入形式（默认）、非负连续变量（默认）。单击 OK 弹出数据编辑窗口，并输入数据（图 2-2）。

Variable -->	X1	X2	Direction	R. H. S.
Maximize	5	4		
C1	1	3	<=	90
C2	2	1	<=	80
C3	1	1	<=	45
LowerBound	0	0		
UpperBound	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous		

图 2-2 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze 有 3 求解方式：

求解 求解并显示中间结果 图解法	Solve the Problem Solve and Display Steps Graphic Method
	Perform Parametric Analysis Alternative Solution
	Change Integer Tolerance Specify Solution Quality Specify Variable Branching Priorities

图 2-3 求解分析菜单

方法一：求解

选择第 1 项 Solve the Problem，得运行结果（图 2-4）。

Decision Variable	Optimal Solution Value	Unit Cost or	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1 X1	35.0000	5.0000	175.0000	0	basic	4.0000	8.0000
2 X2	10.0000	4.0000	40.0000	0	basic	2.5000	5.0000
Objective Function (Max.) =	215.0000						
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1 C1	90.0000	<=	90.0000	25.0000	0	65.0000	M
2 C2	80.0000	<=	80.0000	0	1.0000	67.5000	90.0000
3 C3	45.0000	<=	45.0000	0	3.0000	40.0000	50.0000

图 2-4 结果输出窗口

由运行结果解读如下：

- （1）最优解：x1=35,x2=10，最优值：max z=215，其中 x1 对目标的贡献 175，x2 贡献 40；
- （2）缩减成本：指该变量入基后，其增加 1 个单位，目标值的减少量。若有多个决策变量，若其中有非基变量，则该缩减成本将为非 0；
- （3）c 在允许下限和允许上限范围内变量时，最优基不变，或者说解的结构不变；
- （4）当约束左端小于约束右端时，松弛变量非 0，表示该资源尚未利用完；
- （5）当影子价格为 0 时，表示该种资源未利用完；当影子价格大于 0 时，该资源已利用完，若市场价格低于该影子价格时，就应购入该种资源；
- （6）b 在允许下限与允许上限范围变动时，最优基不变。

方法二：显示单纯形迭代过程

选择第 2 项 Solve and Display Steps，得初始单纯形表（图 2-5）。该表与教材中单纯形表的表式是一致的，其中 R.H.S.列最下端的数值为目标值。

		X1	X2	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	5.0000	4.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	1.0000	3.0000	1.0000	0	0	90.0000	90.0000
Slack_C2	0	2.0000	1.0000	0	1.0000	0	80.0000	40.0000
Slack_C3	0	1.0000	1.0000	0	0	1.0000	45.0000	45.0000
	C(j)-Z(j)	5.0000	4.0000	0	0	0	0	

图 2-5 初始单纯形表

由于两个决策变量的检验数均大于零，故非最优解，其主元素用蓝色标出。执行 Simplex/Next Simplex，得第 1 次迭代结果。

		X1	X2	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	5.0000	4.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	0	2.5000	1.0000	-0.5000	0	50.0000	20.0000
X1	5.0000	1.0000	0.5000	0	0.5000	0	40.0000	80.0000
Slack_C3	0	0	0.5000	0	-0.5000	1.0000	5.0000	10.0000
	C(j)-Z(j)	0	1.5000	0	-2.5000	0	200.0000	

图 2-6 第 1 次迭代

再次执行 Simplex/Next Simplex，得第 2 次迭代结果。由于检验数全部小于等于 0，故为最终单纯形表。

		X1	X2	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	5.0000	4.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	0	0	1.0000	2.0000	-5.0000	25.0000	
X1	5.0000	1.0000	0	0	1.0000	-1.0000	35.0000	
X2	4.0000	0	1.0000	0	-1.0000	2.0000	10.0000	
	C(j)-Z(j)	0	0	0	-1.0000	-3.0000	215.0000	

图 2-7 第 2 次迭代（最终单纯形表）

由最终单纯表可直接见到最优解和最优值。若执行 Simplex/Nonstop to Finish，则得图 2-4 所示结果输出窗口。

方法二：图解法

选择第 3 项 Graphic Method，得图解法结果（图 2-8）。

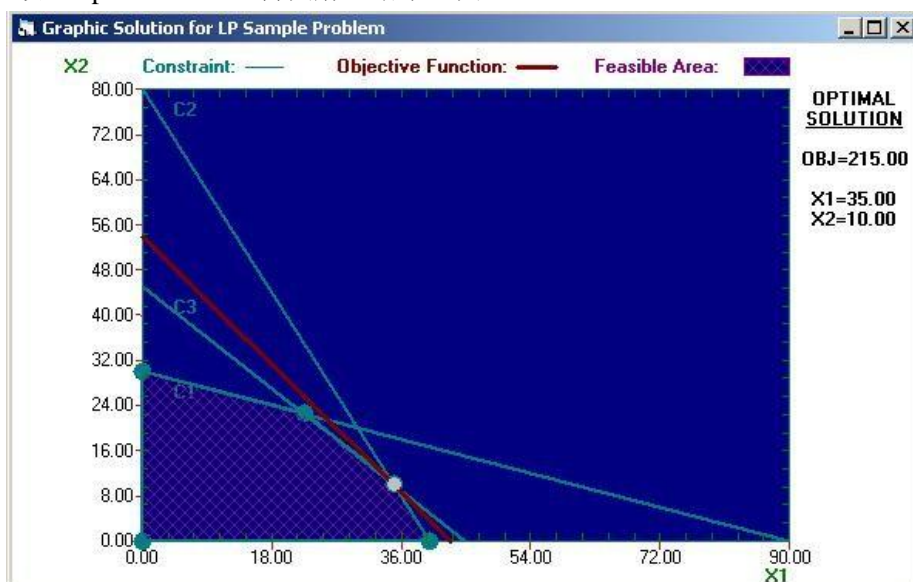


图 2-8 图解法

## 2.2 灵敏度分析（Perform Parametric Analysis）

### 1. 对目标系数 c2 进行敏感性分析

在结果输入窗口执行菜单命令：Results/Perform Parametric Analysis 弹出对话框（图 2-9）



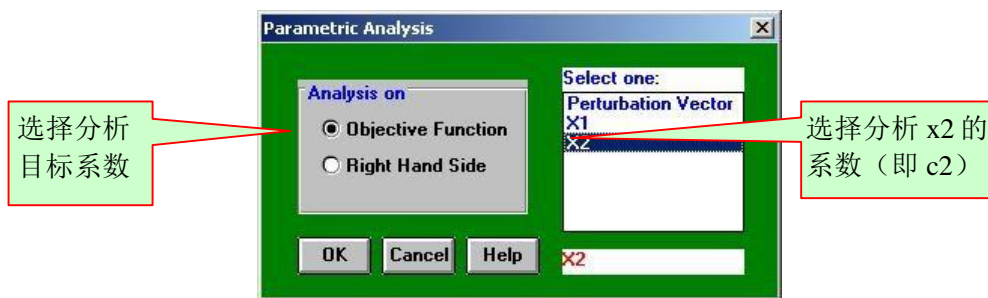


图 2-9 灵敏度分析选项

单击 OK 得分析结果 (图 2-10)

Range	From Coeff. of X2	To Coeff. of X2	From OBJ Value	To OBJ Value	Slope	Leaving Variable	Entering Variable
1	4.0000	5.0000	215.0000	225.0000	10.0000	Slack_C1	Slack_C2
2	5.0000	15.0000	225.0000	450.0000	22.5000	X1	Slack_C3
3	15.0000	M	450.0000	M	30.0000		
4	4.0000	2.5000	215.0000	200.0000	10.0000	X2	Slack_C3
5	2.5000	-M	200.0000	200.0000	0		

图 2-10 灵敏度分析结果 (c2)

分析结果解读如下:

- (1)  $c_2$  从 4 增至 5, 目标函数值从 215 增至 225, 斜率 10, 出基变量 Slack\_C1, 入基变量 Slack\_C2;
- (2)  $c_2$  从 5 增至 15, 目标函数值从 225 增至 450, 斜率 22.5, 出基变量  $x_1$ , 入基变量 Slack\_C3;
- (3)  $c_2$  从 15 增至  $\infty$ , 目标函数值从 450 增至  $\infty$ , 斜率 30;
- (4)  $c_2$  从 4 减至 2.5, 目标函数值从 215 减至 200, 斜率 10, 出基变量  $x_2$ , 入基变量 Slack\_C3;
- (5)  $c_2$  从 2.5 减至  $-\infty$  (实际上只能减至 0), 目标函数值保持 200 不变;
- (6) 当  $c_2$  增至 6 时, 目标值  $=225+22.5=247.5$ 。

在灵敏度分析结果窗口执行菜单命令: Results/Graphic Parametric Analysis 得  $c_1$  变化的参数线性规划分析图 (图 2-11)

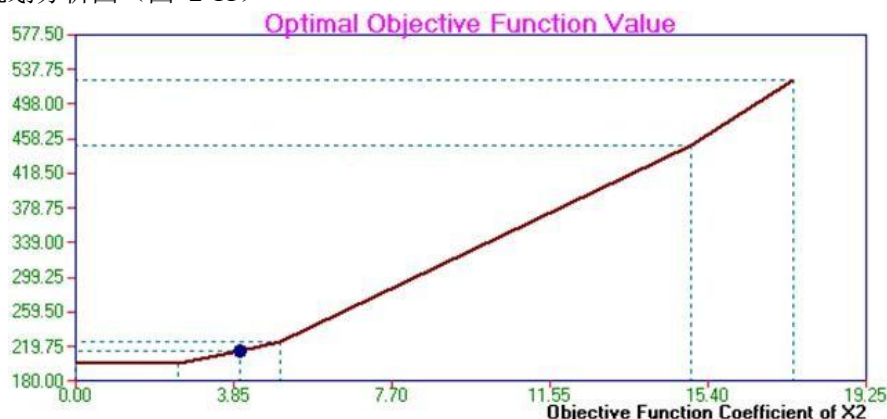


图 2-11 参数 LP 图 (c2)

## 2. 对右端常数 $b_3$ 进行敏感性分析

在结果输入窗口执行菜单命令: Results/Perform Parametric Analysis 弹出对话框 (图 2-12)

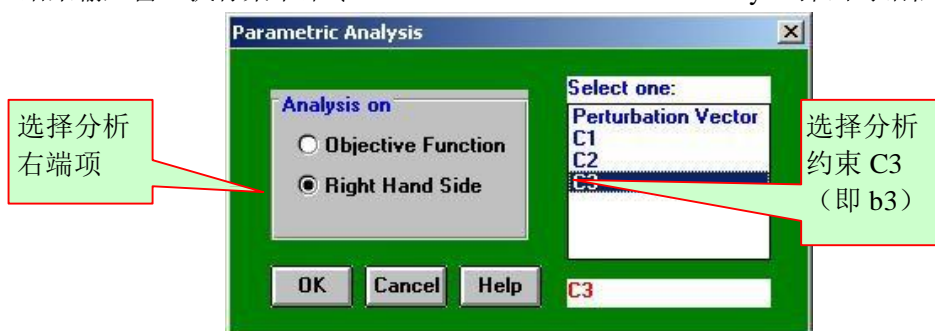


图 2-12 灵敏度分析选项

单击 OK 得分析结果（图 2-13）

Range	From RHS of C3	To RHS of C3	From OBJ Value	To OBJ Value	Slope	Leaving Variable	Entering Variable
1	45.0000	50.0000	215.0000	230.0000	3.0000	Slack_C1	Slack_C3
2	50.0000	M	230.0000	230.0000	0		
3	45.0000	40.0000	215.0000	200.0000	3.0000	X2	Slack_C2
4	40.0000	0	200.0000	0	5.0000	X1	
5	0	-Infinity	Infeasible				

图 2-13 灵敏度分析结果（b3）

分析结果解读如下：

- （1）b3 从 45 增至 50，目标函数值从 215 增至 230，斜率 3，出基变量 Slack\_C1，入基变量 Slack\_C3；
- （2）b3 从 50 增至 $\infty$ ，目标函数值保持 230 不变；
- （3）b3 从 45 减至 40，目标函数值从 215 减至 200，斜率 3，出基变量 x2，入基变量 Slack\_C2；
- （4）b3 从 40 减至 0，目标函数值从 200 减至 0，斜率 5；
- （6）当 b3 增至 55 时，目标值保持 230 不变。

在灵敏度分析结果窗口执行菜单命令：Results/Graphic Parametric Analysis 得 b3 变化的参数线性规划分析图（图 2-14）

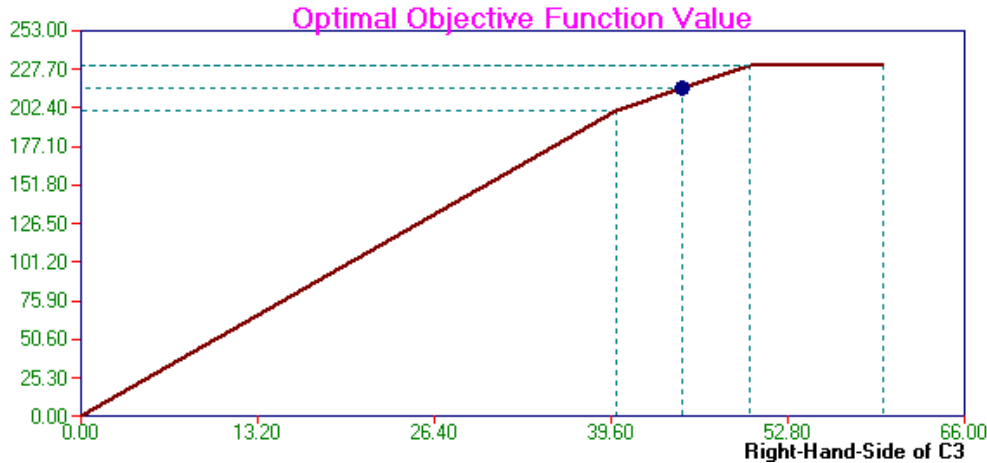


图 2-14 参数 LP 分析图（b3）

## 2.3 整数线性规划（Integer Linear Programming, ILP）

【例 2.2】某企业接受某项产品订货，需求量为每日 3 500 千克，现在 3 种生产过程供选择，各生产过程所需固定投资(成本)，生产成本，最大日产量如表 2-1 所示。

表 2-1 产品生产成本及日产量

生产过程的种类	固定投资/元	生产成本/(元/千克)	最大日产量/千克
甲	1 000	5	2 000
乙	2 000	4	3 000
丙	3 000	3	4 000

解 首先要建立该问题 ILP 模型。设：

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{采用第} i \text{种生产过程} \\ 0 & \text{不采用第} i \text{种生产过程} \end{cases}$$

$x_i$  采用第  $i$  种生产过程生产的数量 ( $i=1,2,3$ )

$$\begin{aligned} \min z &= 1000y_1 + 2000y_2 + 3000y_3 + 5x_1 + 4x_2 + 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 \geq 3500 \\ x_1 \leq 2000y_1 \\ x_2 \leq 3000y_2 \\ x_3 \leq 4000y_3 \\ y_1 \leq x_1M \\ y_2 \leq x_2M \\ y_3 \leq x_3M \\ y_{1\sim 3} = 0 \text{ 或 } 1; x_{1\sim 3} \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

这是由 6 个变量、7 个约束构成的混合 LP，求解过程如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Liear and Integer Programming/File/New Problem

图 2-15 LP-ILP 参数设置对话框

输入变量数 6、约束数 7、目标最小化、表格输入形式（默认）、由于包括非负连续型和 0-1 型，先采取默认（非负连续型），之后再调整。单击 OK 弹出数据编辑窗口（图 2-16）。

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Direction	R. H. S.
Minimize								
C1							>=	
C2							>=	
C3							>=	
C4							>=	
C5							>=	
C6							>=	
C7							>=	
LowerBound	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

图 2-16 数据编辑窗口

更改变量名称：Edit/Variable Names，将 x4,x5,x6 改为 y1,y2,y3（图 2-17）



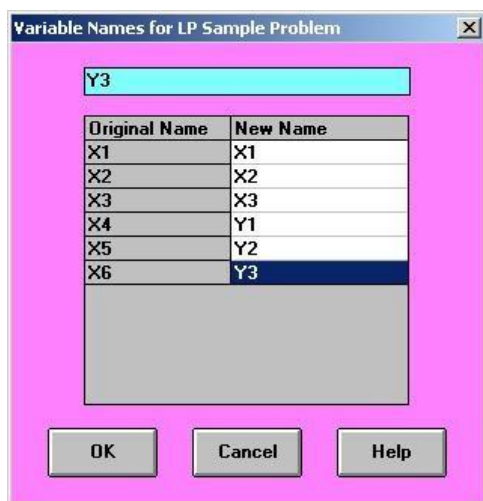


图 2-17 更改变量名

双击 y1 的变量类型由连续型 (continuous) 变为整数型 (Integer)，再双击一次变为二进制 (Binary)。用相同做法将 y2,y3 变为二进制；  
 双击第 2 个约束符 “>=” 变为 “=”，再双击一次变为 “<=”，第 3~7 个约束符同样方法处理；  
 输入目标系数、约束系数和右端项（其中 M 用一个很大的数代替）（图 2-18）

Variable -->	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Direction	R. H. S.
Minimize	5	4	3	1000	2000	3000		
C1	1	1	1				>=	3500
C2	1			-2000			<=	0
C3		1			-3000		<=	0
C4			1			-4000	<=	0
C5	-9999			1			<=	0
C6		-9999			1		<=	0
C7			-9999			1	<=	0
LowerBound	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	1	1	1		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Binary	Binary	Binary		

图 2-18 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem，得运行结果（图 2-19）

	09:31:06		Saturday	September	18	2010
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X1	0	5.0000	0	2.0000	at bound
2	X2	0	4.0000	0	1.6667	at bound
3	X3	3,500.0000	3.0000	10,500.0000	0	basic
4	Y1	0	1,000.0000	0	1,000.0000	at bound
5	Y2	0	2,000.0000	0	0	basic
6	Y3	1.0000	3,000.0000	3,000.0000	3,000.0000	at bound
	Objective	Function	(Min.) =	13,500.0000		
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1	C1	3,500.0000	>=	3,500.0000	0	3.0000
2	C2	0	<=	0	0	0
3	C3	0	<=	0	0	-0.6667
4	C4	-500.0000	<=	0	500.0000	0
5	C5	0	<=	0	0	0
6	C6	0	<=	0	0	0
7	C7	-34,996,500.0000	<=	0	34,996,500.0000	0

图 2-19 结果输出窗口

由运行结果可见：

- （1）最优生产方案是使用第 3 种生产方式生产 3500kg，总成本 13500 元（其中变量成本 10500 元，

固定成本 3000 元)。

(2)  $x_1$  的缩减成本为 2 元，若增加使用第 1 种生产方式，每件增加变动成本 2 元，并发生增加固定成本 1000 元；若增加使用第 2 种生产方式，每件增加变动成本 1.67 元，同时会增加固定成本 2000 元；若再增加使用第 3 种生产方式生产，将再产生固定成本 3000 元。

(3) 由松弛变量可见，第 3 种生产方式生产能力尚有 500kg 剩余，若产量再增加 500kg 以内时，固定成本不会发生变化；

(4) 需要注意的是具有整数（包括 0-1）约束的 LP 不产生敏感性分析报告。

### 第 3 章 目标规划 ( Goal Programming, GP )

【例 3.1】 利用 WinQSB 求解目标规划：

$$\begin{aligned} \min z = & P_1 d_1^- + P_2 (d_2^- + d_2^+) + 3P_3 (d_3^- + d_3^+) + P_3 d_4^+ \\ \text{s.t.} \quad & \left. \begin{aligned} 2x_1 + 2x_2 &\leq 12 && \text{系统约束} \\ 2x_1 + 3x_2 + d_1^- - d_1^+ &= 15 \\ 2x_1 - x_2 + d_2^- - d_2^+ &= 0 \\ 4x_1 + d_3^- - d_3^+ &= 16 \\ 5x_1 + d_4^- - d_4^+ &= 15 \end{aligned} \right\} \text{目标约束} \\ & x_1, x_2, d_j^-, d_j^+ \geq 0 \quad (j=1,2,3,4) \text{ 变量非负约束} \end{aligned}$$

解 第 1 步：执行“程序/WinQSB/Goal Programming/File/New Problem”，打开如图 3-1 所示对话框；  
 Number of Goals（目标数，指优先级数）输入“3”；  
 Number of Variables（变量数，包括决策变量和偏差变量）输入“10”；  
 Number of Constraints（约束条件数，包括系统约束和目标约束）输入“5”；  
 Default Goal Criteria（目标要求，选取“Minimization”最小）；  
 Data Entry Format（数据输入方式，选取表格形式 Spreadsheet Matrix Form）；  
 Default Variable Type（数据类型，选择非负连续型 Nonnegative continuous）。



图 3-1 WinQSB 目标规划对话框

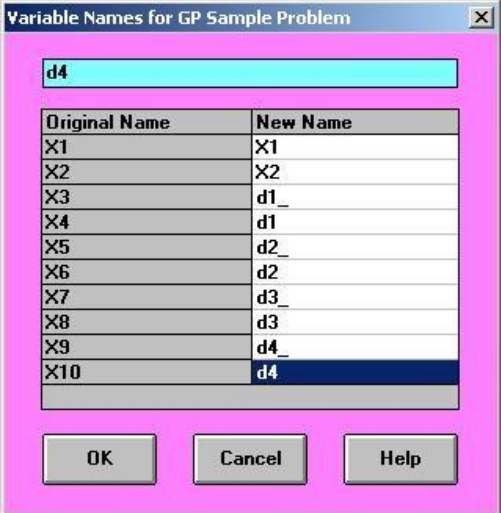


图 3-2 修改变量名对话框

第 2 步：单击“OK”生成表格，生成类似于图 3-2 的数据编辑窗口，但包括偏差变量均为  $x$  的下标变量。  
 第 3 步：执行菜单命令“File/Variable Names”，修改偏差变量名（注意：负偏差变量用下划线而不能负号）（见图 3-2）。

第 4 步：单击“OK”，返回数据窗口并按数学模型输入数据（G<sub>1</sub>所在行为目标函数中优先因子 P<sub>1</sub>所对应的偏差变量的系数，依此类推）(见图 3-3)。

Variable -->	X1	X2	d1_	d1	d2_	d2	d3_	d3	d4_	d4	Direction	R. H. S.
Min:G1			1									
Min:G2					1	1						
Min:G3							3	3		1		
C1	2	2									<=	12
C2	2	3	1	-1							=	15
C3	2	-1			1	-1					=	0
C4	4						1	-1			=	16
C5		5							1	-1	=	15
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	unous	unous	unous	unous	unous	unous	unous	unous	unous	unous		

图 3-3 数据输入窗口

第 5 步：执行菜单命令：“Solve and Analyze/Sove the Problem”得运行结果（注：输出结果中给出了从最高优先级目标 G1 到最低优先级目标 G3 优化结果，应看 G3，它是最终的优化结果，见图 3-4）：

	12:01:23		Thursday	April	15	2010		
	Goal Level	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
21	G3	X1	2.00	0	0	0	-M	0
22	G3	X2	4.00	0	0	0	-M	0
23	G3	d1_	0	0	0	6.00	-M	M
24	G3	d1	1.00	0	0	0	-M	0
25	G3	d2_	0	0	0	7.67	-M	M
26	G3	d2	0	0	0	-1.92	-M	M
27	G3	d3_	8.00	3.00	24.00	0	3.00	M
28	G3	d3	0	3.00	0	6.00	-3.00	M
29	G3	d4_	0	0	0	1.00	-1.00	M
30	G3	d4	5.00	1.00	5.00	0	0.00	1.00

图 3-4 运行结果

由运行结果可见，满意解为 x1=2,x2=4，目标 1 产生 1 个正偏差；目标 3 产生 8 个负偏差；目标 4 产生 5 个正偏差。

## 第 4 章 网络模型 ( Network Modeling, Net )

### 4.1 网络模型模块简介

(1) 程序启动 WinQSB 中的网络模型模块的启动程序如下：  
开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem

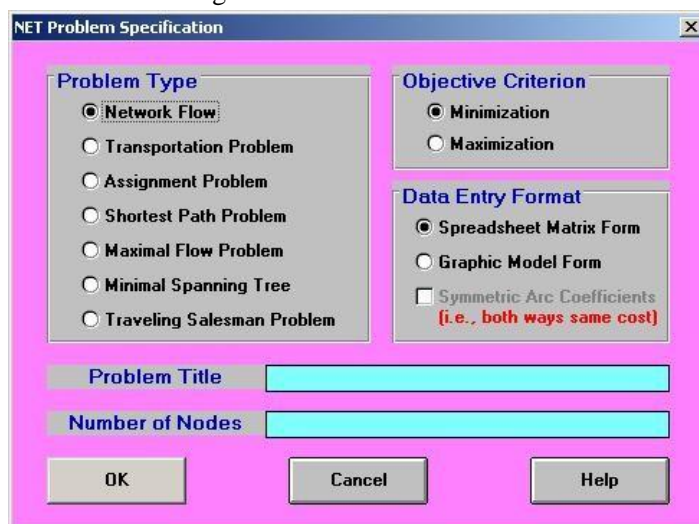


图 4-1 网络模型类型选项框

(2) 问题类型 网络模型包括如下内容：

- ◎网络流 (Network Flow)
- 运输问题 (Transposition Problem)
- 指派分配 (Assignment Problem)
- 最短路问题 (Shortest Path Problem)
- 最大流问题 (Maxmal Flow Problem)
- 最小支撑树 (Minimal Spanning Tree)
- 旅行商问题 (Traveling Salesman Problem)

可见网络模型包括运筹学中的运输问题、分配问题和图论，是一个重要的模块。当选择不同问题类型时，参数框有所不同。当选择分配问题和运输问题时，给出表格的行数与列数；当选择其他问题时，给出节点数，下面分别加以介绍。

### 4.2 分配问题 (Assignment Problem)

WinQSB 求解分配问题时，目标可以是最大化，也可以求最小化；人员数与任务数可以相等，也可以不等。

【例 4.1】 某游泳队有四名运动员，其平时训练成绩 (s/50m) 如表 4-5 所示。问如何安排可使总成绩最好？

表 4-1 平时训练成绩

项目	张	王	李	赵
仰泳	37	33	38	37
蛙泳	43	33	42	34
蝶泳	33	29	39	30
自由泳	30	26	29	29

操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem (图 4-2)

图 4-2 指派问题参数设置

选择第 3 个类型选项按钮，输入任务和人员数。由于效率矩阵表中行、列代表的是任务或人员可能有的不同，因此 Number of Objects 代表的是行数；Number of Assignments 代表的是列数。输入 4、4，目标要求最小化，表格输入形式，单击 OK，弹出数据编辑窗口。

From \ To	Assignee 1	Assignee 2	Assignee 3	Assignee 4
Assignment 1				
Assignment 2				
Assignment 3				
Assignment 4				

图 4-3 数据编辑窗口

修改人员、任务名称：Edit/Node Names（如图 4-4）

Node Number	Node Name
1	仰泳
2	蛙泳
3	蝶泳
4	自由泳
5	张
6	王
7	李
8	赵

图 4-4 修改人员任务名称

单击 OK，并输入效率矩阵（图 4-5）

From \ To	张	王	李	赵
仰泳	37	33	38	37
蛙泳	43	33	42	34
蝶泳	33	29	39	30
自由泳	30	26	29	29

图 4-5 输入数据

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem，得运行结果（图 4-6）

09-18-2010	From	To	Assignment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	仰泳	王	1	33	33	0
2	蛙泳	赵	1	34	34	0
3	蝶泳	张	1	33	33	0
4	自由泳	李	1	29	29	0
	Total	Objective	Function	Value =	129	

图 4-6 运行结果

最优方案仰泳——王、蛙泳——赵、蝶泳——张、自由泳——李，总预计时间 129 秒。

### 4.3 运输问题（Transposition Problem）

WinQSB 求解运输问题时，目标可以最小化，也可以最大化；产量与销量也可以不平衡，若不平衡，系统运行时在表上作业法的产销平衡表上自动添加假想产地或销地。但产量与销量都不允许有弹性。若产、销量有弹性，需要按教材 5.1.3 的方法进行处理。

【例 4.2】求最优生产计划。某化肥公司根据现有定单及对市场的预测，估计下一年度每个季度对化肥的需求量分别为 10 万吨、25 万吨、25 万吨、10 万吨，其每季度的生产能力和生产成本如表 4-2 所示，假设在每个季度内产销都是平稳的，又若产品当季不销售，每季度存储费用为 10 万元/万吨，要求在满足需求量的前提下，如何制订生产计划，才能使全年总成本（包括生产成本和存储费用）最低？

表 4-2 生产能力及生产成本表

季度	生产能力（万吨）	生产成本（万元/万吨）
I	20	250
II	25	280
III	25	300
IV	20	250

解 这是一个非地理问题，可以将其转化为地理问题。单位运价表如下：

表 4-3 产销平衡与单位运价表

需求 生产	I	II	III	IV	产量
I	250	260	270	280	20
II	M	280	290	300	25
III	M	M	300	310	25
IV	M	M	M	250	20
销量	10	25	25	10	

操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem/设置如图 4-7 所示对话框。

图 4-7 运输问题参数设置对话框

单击“OK”，生成电子表模型（见图 4-8）

From \ To	Destination 1	Destination 2	Destination 3	Destination 4	Supply
Source 1					0
Source 2					0
Source 3					0
Demand	0	0	0	0	

图 4-8 运输问题数据窗口

执行菜单命令“Edit/Node names”，将产销地名称修改成如图 4-9。

Node Number	Node Name
1	1季生产
2	2季生产
3	3季生产
4	4季生产
5	1季销售
6	2季销售
7	3季销售
8	4季销售

图 4-9 运输问题产销地重命名

单击“OK”，返回数据编辑窗口，并输入单位运价和各产地产量及各销地销量，如图 4-10 所示。



From \ To	1季销售	2季生产	3季生产	4季生产	Supply
1季生产	250	260	270	280	20
2季生产	M	280	290	300	25
3季生产	M	M	300	310	25
4季生产	M	M	M	250	20
Demand	10	25	25	10	

图 4-10 运输问题电子表模型

执行菜单命令“Solve and Analyze/Solve the Problem”得运行结果（见图 4-11）

18-2	From	To	Shipment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	1季生产	1季销售	10	250	2500	0
2	1季生产	2季销售	10	260	2600	0
3	2季生产	2季销售	15	280	4200	0
4	2季生产	3季销售	10	290	2900	0
5	3季生产	3季销售	15	300	4500	0
6	3季生产	Unused_Supply	10	0	0	0
7	4季生产	4季销售	10	250	2500	0
8	4季生产	Unused_Supply	10	0	0	0
	Total	Objective	Function	Value =	19200	

图 4-11 运输问题运行结果

若想得到表上作业法迭代步骤，可执行如下操作：

在数据编辑窗口执行菜单命令：Solve and Analyze/Select Intial Solution Method 弹出方法选择对话框（图 4-12）

对话框给出了 8 种方法：一般教材讲的有最小元素法、西北角法和 Vogel 法。通常 Vogel 法 所给的初始方案最好，本例采用 Vogel 法。

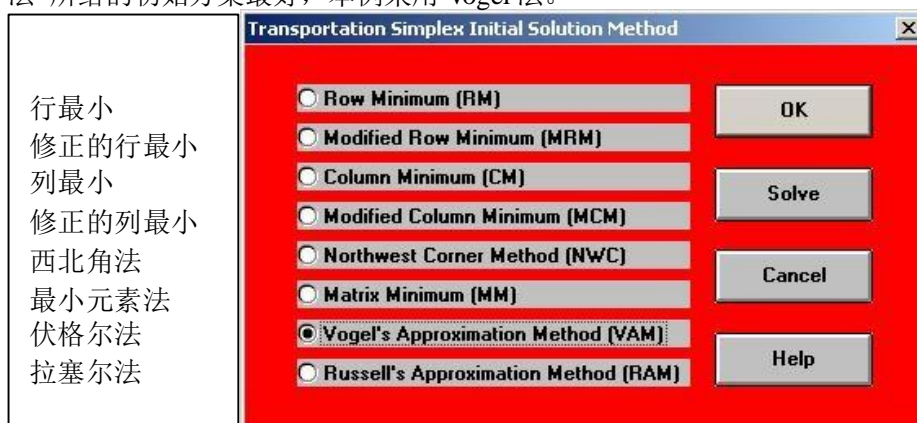


图 4-12 方法选择对话框

选择伏格尔法，单击 OK，再执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve/Solve and Display Step-Tableau，得初始方案（如图 4-13）



Network Modeling - [Transportation Tableau for NET Problem - Iteration 1]							
	1季销售	2季生产	3季生产	4季生产	Unused Supply	Supply	Dual P(i)
1季生产	250 10	260 10*	270 Cij=-10 **	280	+1M	20	0
2季生产	+1M	280 15	290	300 10	+1M	25	20
3季生产	+1M	+1M	300 25	310 0	+1M	25	20
4季生产	+1M	+1M	+1M	250 10 10	+1M	20	20
Demand	25	25	10	20	20		
Dual P(j)	250	260	280	230	-20+1M		
Objective Value = 20M+19300 (Minimization)							
** Entering: 1季生产 to 3季生产 * Leaving: 1季生产 to 2季生产							
Graphic Solution Click scroll bars to show other areas, if any.							

图 4-13 Vogel 法给出的初始方案

该初始方案自动添加了假想销地，其需求为 20，变成产销平衡。存在负的检验，该方案不是最优方案，入基变量  $x_{13}$ ，出基变量  $x_{12}$ 。执行菜单命令：Iteration/Next Iteration，得第 1 次调整后的方案（如图 4-14）

Network Modeling - [Transportation Tableau for NET Problem - Iteration 2]							
	1季销售	2季生产	3季生产	4季生产	Unused Supply	Supply	Dual P(i)
1季生产	250 10	260	270 10	280	+1M	20	0
2季生产	+1M	280 25	290 Cij=-10 **	300 0*	+1M	25	30
3季生产	+1M	+1M	300 15	310 10	+1M	25	30
4季生产	+1M	+1M	+1M	250 10 10	+1M	20	30
Demand	25	25	10	20	20		
Dual P(j)	250	250	270	220	-30+1M		
Objective Value = 20M+19200 (Minimization)							
Graphic Solution Click scroll bars to show other areas, if any.							

图 4-14 经过 1 次调整

存在负的检验数，该方案也不是最优方案，入基变量  $x_{23}$ ，出基变量  $x_{25}$ ，再次执行菜单命令 Iteration/Next Iteration，得第 2 次调整的方案（如图 4-15）

	1季销售	2季生产	3季生产	4季生产	Unused Supply	Supply	Dual Price
1季生产	250 10	260	270 10	280	+1M	20	0
2季生产	+1M	280 25	290 0	300	+1M	25	20
3季生产	+1M	+1M	300 15	310	+1M 10	25	30
4季生产	+1M	+1M	+1M	250 10	+1M 10	20	30
Demand	25	25	10	20	20		
Dual Price	250	260	270	220	-30+1M		
Objective Value = 20M+19200 (Minimization)							

图 4-15 经过 2 次调整（最优方案）

由于所有检验数均非负，为最优方案。

## 4.4 最小支撑树（Minimal Spanning Tree）

【例 4.2】 印第安那州的五个城市之间的距离如表 4-4 所示

表 4-4 印第安那州五个城市之间的距离

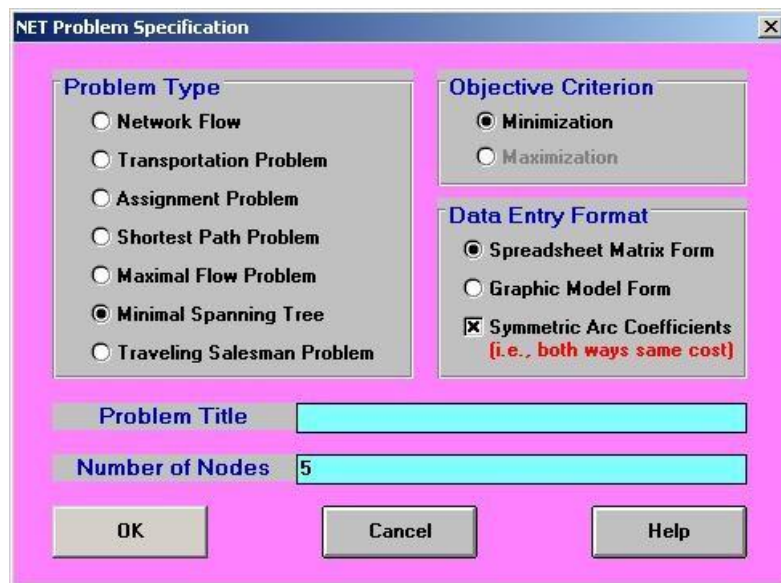
单位：km

	Gary	Fort Wayne	Evansville	Terre Haute	South Hend
Gary	—	132	217	164	58
Fort Wayne	132	—	290	201	79
Evansville	217	290	—	113	303
Terre Haute	164	201	113	—	196
South Hend	58	79	303	196	—

现必须建造连接所有这些城市的州公路系统。假设由于政治原因，不能建造连接 Gary 和 Fort Wayne 的公路以及连接 Evansville 和 South Bend 的公路。所需公路的最短长度是多少？

这是一个最小支撑树问题，操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem/设置如图 4-16 所示对话框。



**NET Problem Specification**

**Problem Type**

- ☐ Network Flow
- ☐ Transportation Problem
- ☐ Assignment Problem
- ☐ Shortest Path Problem
- ☐ Maximal Flow Problem
- ☒ Minimal Spanning Tree
- ☐ Traveling Salesman Problem

**Objective Criterion**

- ☒ Minimization
- ☐ Maximization

**Data Entry Format**

- ☒ Spreadsheet Matrix Form
- ☐ Graphic Model Form
- ☒ Symmetric Arc Coefficients  
(i.e., both ways same cost)

**Problem Title**

**Number of Nodes**

OK Cancel Help

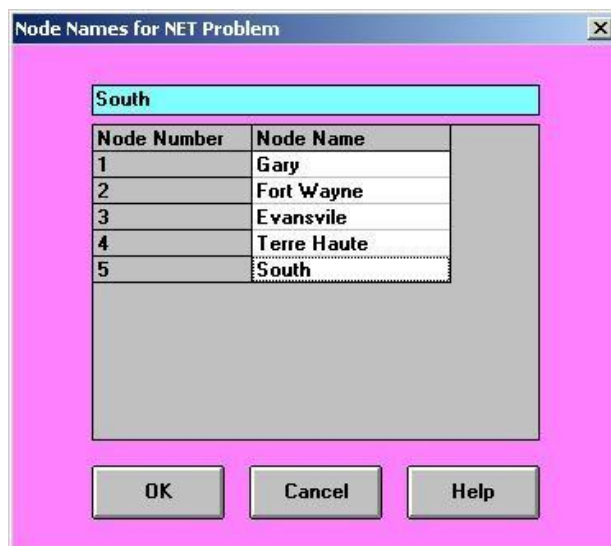
图 4-16 网络模型类型选项设置

单击 OK，弹出数据窗口（图 4-17）

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5
Node1					
Node2					
Node3					
Node4					
Node5					

图 4-17 最小支撑树数据窗口

Edit/Node Names 修改节点名称（如图 4-18）



**Node Names for NET Problem**

South

Node Number	Node Name
1	Gary
2	Fort Wayne
3	Evansville
4	Terre Haute
5	South

OK Cancel Help

图 4-18 修改节点名称

单击 OK，返回数据窗口并输入数据（图 4-19）（输入上三角数据，下三角可自动得到数据）。

From \ To	Gary	Fort Wayne	Evansville	Terre Haute	South
Gary		132	217	164	58
Fort Wayne	132		290	201	79
Evansville	217	290		113	303
Terre Haute	164	201	113		16
South	58	79	303	16	

图 4-19 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem得优化结果（图 4-20）

09-18-2010	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	South	Fort Wayne	79	3	South	Terre Haute	16
2	Terre Haute	Evansville	113	4	Gary	South	58
	Total	Minimal	Connected	Distance	or Cost	=	266

图 4-20 结果输出窗口

## 4.5 最短路问题（Shortest Path Problem）

【例 4.3】设备更新问题。某企业使用一台设备，在每年年初，企业领导部门就要决定是购置新的，还是继续使用旧的。若购置新设备，就要支付一定的购置费用；若继续使用旧设备，则需支付一定的维修费用。若已知该种设备在各年年初的价格和使用不同年数的设备所需要的维修费用如下表所示。

表 4-5 设备重置费与维修费用

购置时间	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
购置费用	10	12	13	14	15
使用年数	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
维修费用	4	6	9	12	19

要求 制订设备更新计划，使得总的支付费用最少。

解 将各年购置与使用费绘制网络图如图 4-21

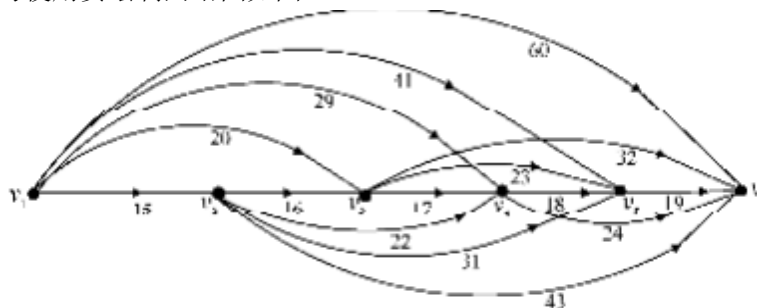
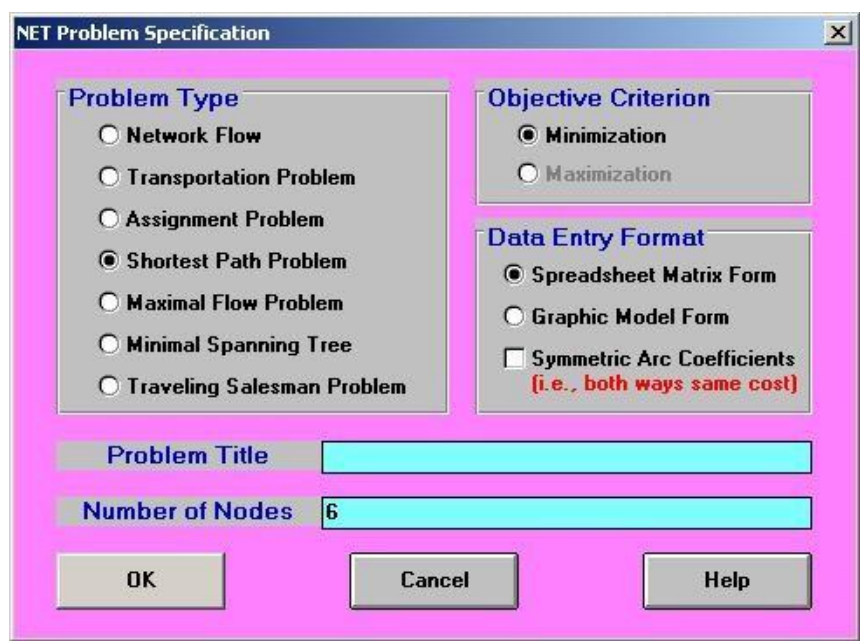


图 4-21

WinQSB 求解操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem/设置如图 4-22 所示对话框。



**NET Problem Specification**

**Problem Type**

- ☐ Network Flow
- ☐ Transportation Problem
- ☐ Assignment Problem
- ☒ Shortest Path Problem
- ☐ Maximal Flow Problem
- ☐ Minimal Spanning Tree
- ☐ Traveling Salesman Problem

**Objective Criterion**

- ☒ Minimization
- ☐ Maximization

**Data Entry Format**

- ☒ Spreadsheet Matrix Form
- ☐ Graphic Model Form
- ☐ Symmetric Arc Coefficients  
(i.e., both ways same cost)

**Problem Title**

**Number of Nodes**

OK Cancel Help

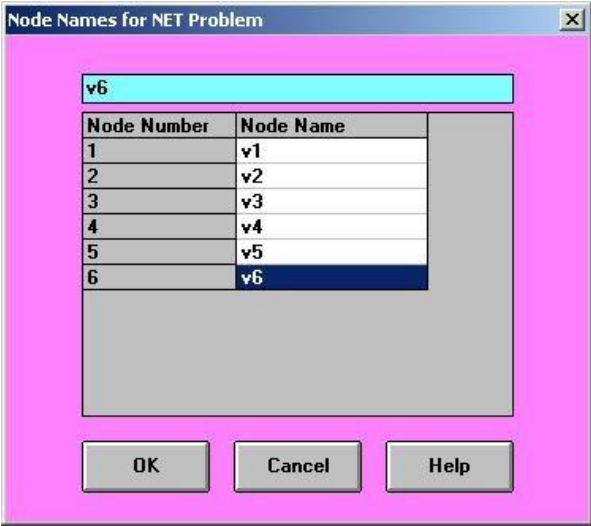
图 4-22 网络模型类型选项设置

单击 OK，弹出数据窗口（图 4-23）

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6
Node1						
Node2						
Node3						
Node4						
Node5						
Node6						

图 4-23 最短路问题数据窗口

Edit/Node Names 修改节点名称（图 4-24）



**Node Names for NET Problem**

Node Number	Node Name
1	v1
2	v2
3	v3
4	v4
5	v5
6	v6

OK Cancel Help

图 4-24 修改节点名称

单击 OK，返回数据窗口并输入数据（图 4-25）。

From \ To	v1	v2	v3	v4	v5	v6
v1		15	20	29	41	60
v2			16	22	31	43
v3				17	23	32
v4					18	24
v5						19
v6						

图 4-25 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem，选择发点与收点（图 4-26）。

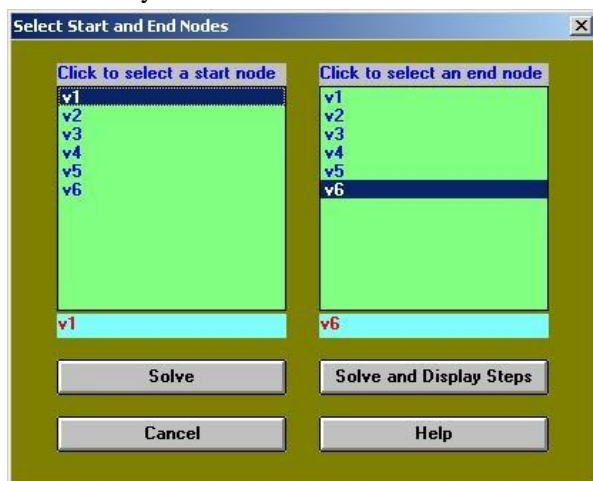


图 4-26 发点与收点选择

单击 Solve，得优化结果（图 4-27）

09-18-2010	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	v1	v3	20	20
2	v3	v6	32	52
	From v1	To v6	Distance/Cost	= 52

图 4-27 结果输出窗口

即第 1 年初购置，第 3 年初更新，使用第 5 年末，总费用 52 万元。

## 4.6 最大流问题（Maxmal Flow Problem）

【例 4.4】用标号法求图 4-28 所示网络的最大流。

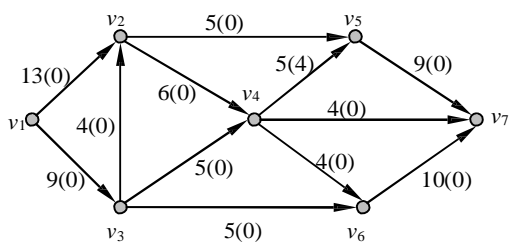
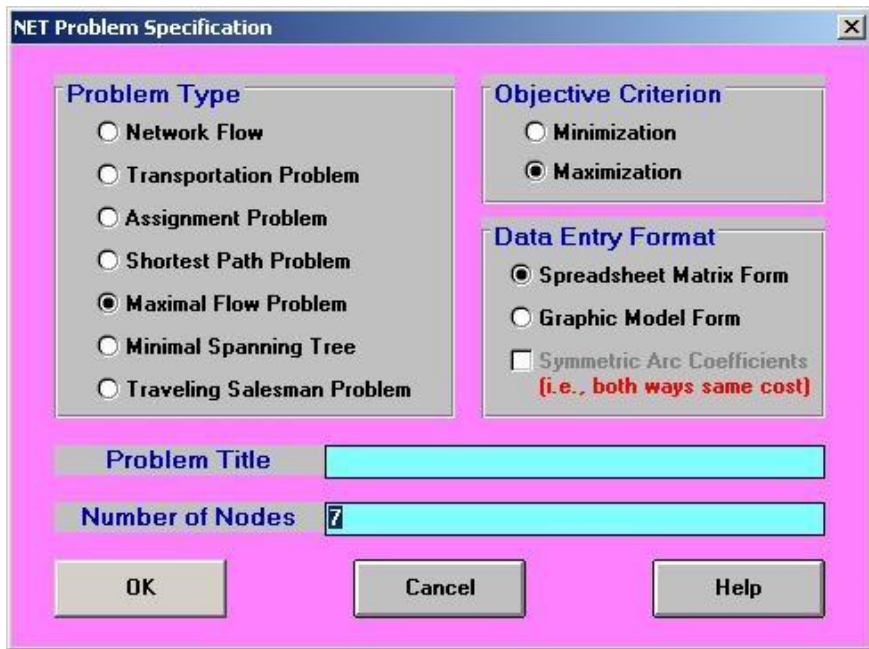


图 4-28

WinQSB 求解操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem/设置如图 4-29 所示对话框。





**NET Problem Specification**

**Problem Type**

- ☐ Network Flow
- ☐ Transportation Problem
- ☐ Assignment Problem
- ☐ Shortest Path Problem
- ☒ Maximal Flow Problem
- ☐ Minimal Spanning Tree
- ☐ Traveling Salesman Problem

**Objective Criterion**

- ☐ Minimization
- ☒ Maximization

**Data Entry Format**

- ☒ Spreadsheet Matrix Form
- ☐ Graphic Model Form
- ☐ Symmetric Arc Coefficients  
(i.e., both ways same cost)

**Problem Title**

**Number of Nodes**

OK Cancel Help

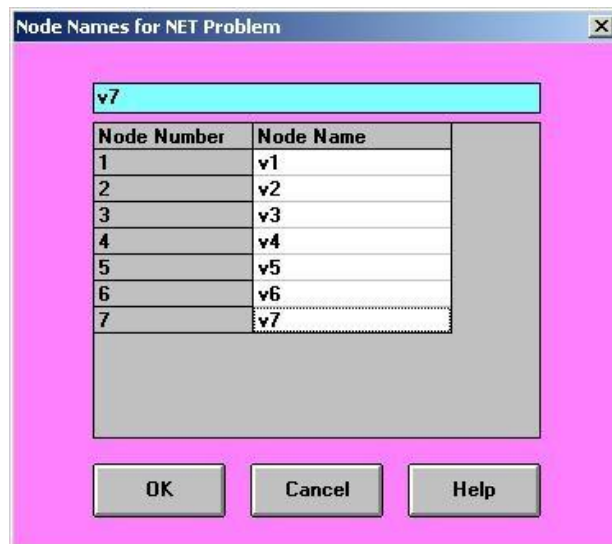
图 4-29 网络模型类型选项设置

单击 OK，弹出数据窗口（图 4-30）

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7
Node1							
Node2							
Node3							
Node4							
Node5							
Node6							
Node7							

图 4-30 最大流问题数据窗口

Edit/Node Names 修改节点名称（图 4-31）



**Node Names for NET Problem**

Node Number	Node Name
1	v1
2	v2
3	v3
4	v4
5	v5
6	v6
7	v7

OK Cancel Help

图 4-31 修改节点名称

单击 OK，返回数据窗口并输入数据（图 4-32）。

From \	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7
v1		13	9				
v2				6	5		
v3		4		5		5	
v4					5	4	4
v5							9
v6							10
v7							

图 4-32 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem，选择发点与收点（图 4-33）。

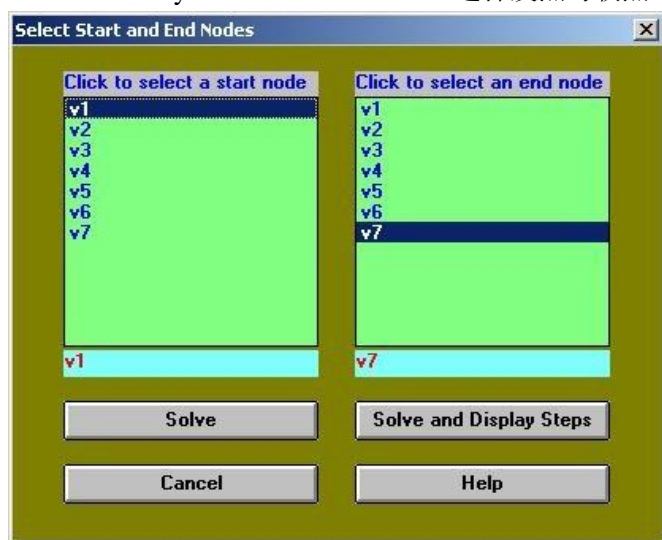


图 4-33 发点与收点选择

单击 Solve，得优化结果（图 4-34）（若出现运行循环，单击“Q”使其终止）。

09-18-2010	From	To	Net Flow		From	To	Net Flow
1	v1	v2	11	7	v4	v5	4
2	v1	v3	9	8	v4	v6	2
3	v2	v4	6	9	v4	v7	4
4	v2	v5	5	10	v5	v7	9
5	v3	v4	4	11	v6	v7	7
6	v3	v6	5				
Total	Net Flow	From	v1	To	v7	=	20

图 4-34 结果输出窗口

执行菜单命令 Results/Graphic Solution 得网络流量图（图 4-35）。



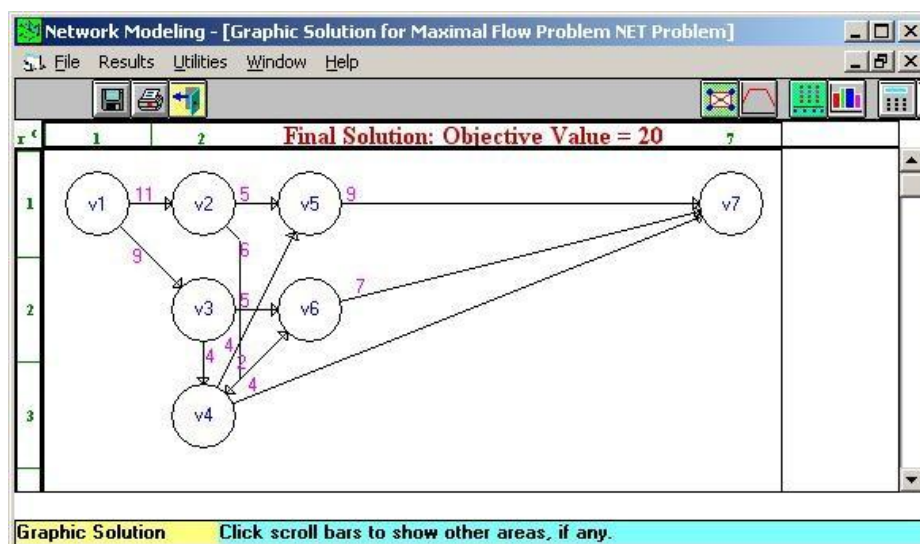


图 4-35 网络流量图

## 4.7 旅行商问题（Traveling Salesman Problem）

【例 4.5】某巡视组要到 6 个城市进行调研，从城市 A 出发，到 B、C、D、E、F，最后返回城市 A，各城市间距离如下：

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 700 & 450 & 840 & 1300 & 1200 \\ 700 & 0 & 325 & 1100 & 1150 & 800 \\ 450 & 325 & 0 & 1140 & 1200 & 850 \\ 840 & 1100 & 1140 & 0 & 1600 & 1860 \\ 1300 & 1150 & 1200 & 1600 & 0 & 2000 \\ 1200 & 800 & 850 & 1860 & 2000 & 0 \end{bmatrix}$$

问应如何安排巡视路线，使总的行程最短？

WinQSB 求解操作如下：

启动程序：开始/程序/WinQSB/Network Modeling/File/New Problem/设置如图 4-36 所示对话框。

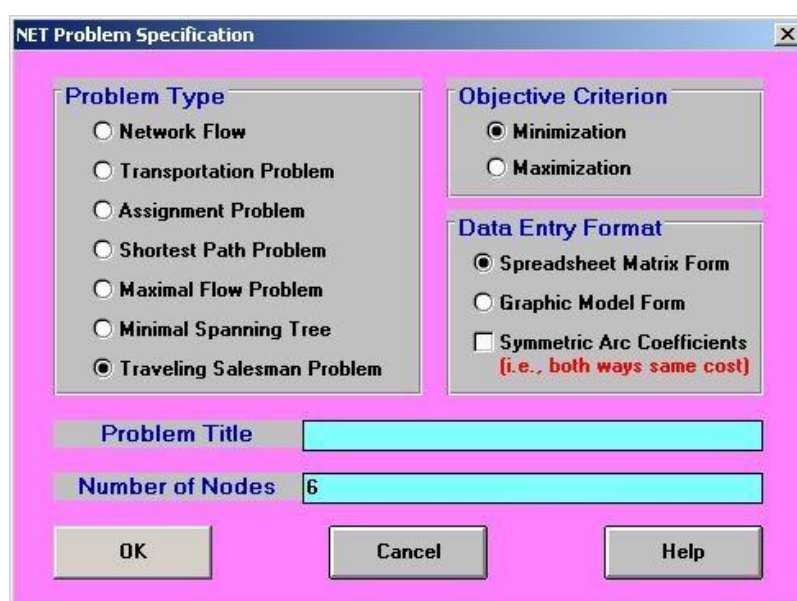


图 4-36 网络模型类型选项设置

单击 OK，弹出数据窗口（图 4-37）

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6
Node1						
Node2						
Node3						
Node4						
Node5						
Node6						

图 4-37 旅行商问题数据窗口

Edit/Node Names 修改节点名称（图 4-38）

Node Names for NET Problem

F

Node Number	Node Name
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E
6	F

OKCancelHelp

图 4-38 修改节点名称

单击 OK，返回数据窗口并输入数据（图 4-39）。

From \ To	A	B	C	D	E	F
A		700	450	840	1300	1200
B	700		325	1100	1150	800
C	450	325		1140	1200	850
D	840	1100	1140		1600	1860
E	1300	1150	1200	1600		2000
F	1200	800	850	1860	2000	

图 4-39 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem，选择求解方法（图 4-40）。

◎最短距离法  
○凸包随意插入法  
○双向改善法  
○分枝定界法

Traveling Salesman Solution Method

☒ Nearest Neighbor Heuristic  
☐ Cheapest Insertion Heuristic  
☐ Two-way Exchange Improvement Heuristic  
☐ Branch and Bound Method

SolveBranch-and-Bound Steps

CancelHelp

图 4-40 求解方法选择

采取默认，单击 Solve，得优化结果（图 4-41）。

09-19-2010	From Node	Connect To	Distance/Profit		From Node	Connect To	Distance/Profit
1	A	E	1300	4	D	C	1140
2	E	F	2000	5	C	B	325
3	F	D	1860	6	B	A	700
	Total	Maximal	Traveling	Distance	or Profit	=	7325
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

图 4-41 结果输出窗口

执行菜单命令 Results/Graphic Solution 得行程路线图（图 4-42）。

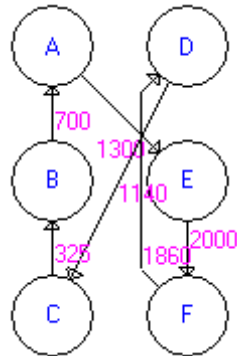


图 4-42 行程路线图

## 第 5 章 动态规划 ( Dynamic Programming, DP )

WinQSB 的动态规划模块 (DP) 包括 3 个方面内容:

马车驿站问题 (最短路问题) (Stagecoach[Shortest Route]Problem)

背包问题 (Knapsack Problem)

生产存储问题 (Production and Inventory Scheduling)

### 5.1 马车驿站问题

【例 5.1】求下图从 A 到 E 的最短路。

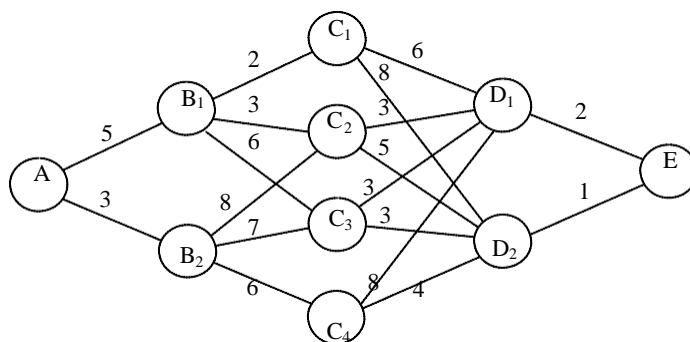


图 5-1

操作步骤如下:

执行:“程序/WinQSB/Dynamic Programming/New/New Problem”弹出并设置如图 5-2 所示对话框。

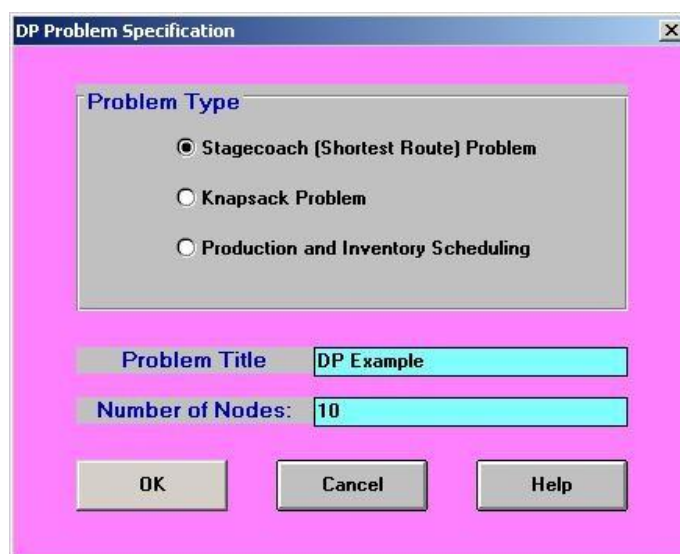


图 5-2 动态规划类型选项

最短路问题 (Stagecoach [Shortest Route]Problem), 节点数 (Number of Nodes) 输入 10, 单击 OK, 弹出数据输入窗口 (图 5-3)。

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10
Node1										
Node2										
Node3										
Node4										
Node5										
Node6										
Node7										
Node8										
Node9										
Node10										

图 5-3 数据编辑窗口

执行菜单命令：Edit/Node Names，修改节点名称（图 5-4）。

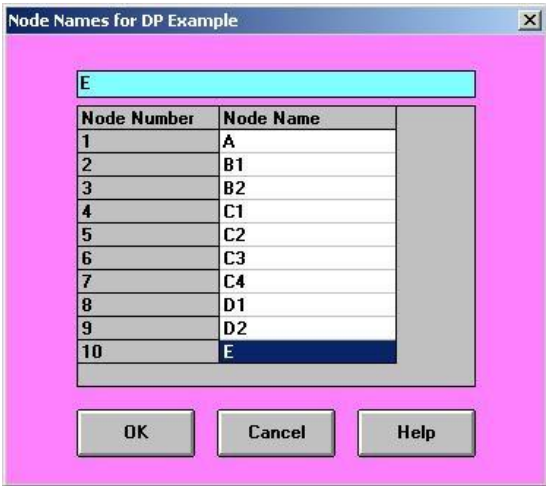


图 5-4 更改节点名称

单击 OK，跳回数据窗口，输入数据（邻接矩阵）（图 5-10）

From \ To	A	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D1	D2	E
A		5	3							
B1				2	3	6				
B2					8	7	6			
C1								6	8	
C2								3	5	
C3								3	3	
C4								8	4	
D1										2
D2										1
E										

图 5-5 输入数据

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem得运行结果（见图 5-6）

09-19-2010 Stage	From Input State	To Output State	Distance	Cumulative Distance	Distance to E
1	A	B1	5	5	13
2	B1	C2	3	8	8
3	C2	D1	3	11	5
4	D1	E	2	13	2
	From A	To E	Min. Distance	= 13	CPU = 0

图 5-6 运行结果

即最短路径：A→B1→C2→D1→E，最短路长 13。

# 5.2 背包问题（Knapsack Problem）

【例 5.2】 有一辆最大运货量为 10t 的货车，用以装载三种货物，每种货物的单位质量和相应单位价值如表 9-6 所示。问如何装载才使总价值最大？

表 9-6 货物质量价值表

货物编号	1	2	3
单位重量/t	3	4	5
单位价值	4	5	6

操作步骤如下：

执行：“程序/WinQSB/Dynamic Programming/New/New Problem” 弹出并设置如图 5-12 所示对话框。

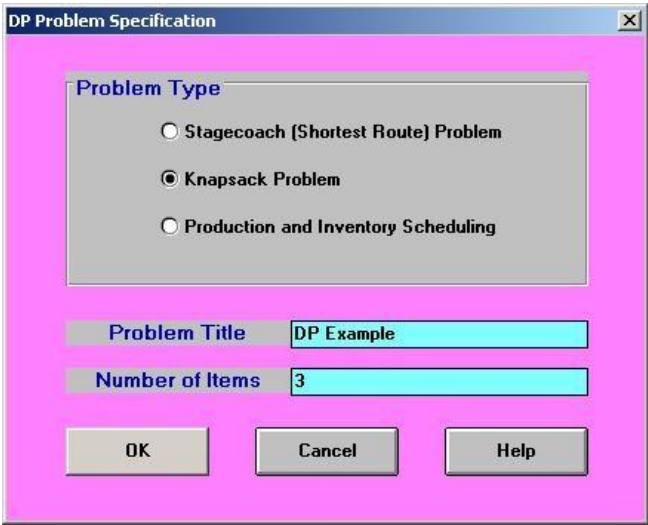


图 5-7 动态规划类型选项

选择第 2 项，输入物品种类数（Number of Items）3，单击 OK，弹出数据输入窗口（图 5-8）。

Item (Stage)	Item Identification	Units Available	Capacity Required	Return Function (x: item no) (e.g., 50x, 3x+100, 2.15x^2+5)
1	Item1	10	3	4x
2	Item2	10	4	5x
3	Item3	10	5	6x
Knapsack	Capacity =	10		

图 5-8 数据编辑窗口

注：装载物品的价值必须是公式，该值=物品的价值系数乘以 x；x 表示装载数量。

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem 得运行结果（图 5-9）

09-19-2010 Stage	Item Name	Decision Quantity (X)	Return Function	Total Item Return Value	Capacity Left
1	Item1	2	4x	8	4
2	Item2	1	5x	5	0
3	Item3	0	6x	0	0
	Total	Return	Value =	13	CPU = 0

图 5-9 运行结果

即物品 1 装载 2t，物品 2 装载 1 吨，总价值 13 货币单位。

### 5.3 生产存储问题（Production and Inventory Scheduling）

【例 5.3】某工厂要对一种产品制定今后五个时期的生产计划，根据经验已知今后五个时期的产品需求量如表 9-5 所示，假定该工厂生产每批产品的固定成本为 3(千元)，不生产就为 0；产品的单位成本为 1(千元)；每时期生产能力不超过 6 个单位；每个时期末未销售的产品需存储，最大存储能力 4 个单位，单位存储费为 0.5(千元)。还假设在第一时期的初始库存 和第五时期末的库存量都为 0。试问该工厂如何安排各时期的生产，才能在满足市场需求的条件下，使总成本最小。

表 5-1 五个时期的需求表

时期/k	1	2	3	4	5
需求量/ $d_k$	2	3	2	4	3

执行：“程序/WinQSB/Dynamic Programming/New/New Problem”弹出如图 5-10 所示对话框。

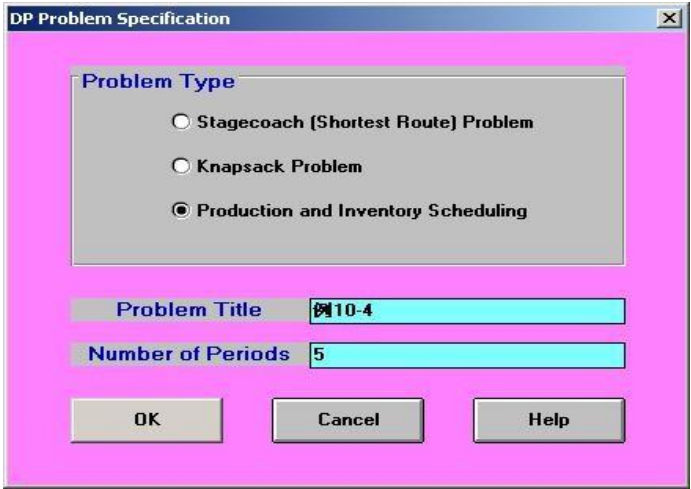


图 5-10 生产存储问题 WinQSB 参数对话框

选择存储问题（Production and Inventory Scheduling），时期数（Number of Periods）输入 5，单击 OK，弹出数据输入窗口（图 5-11）。

Period [Stage]	Period Identification	Demand	Production Capacity	Storage Capacity	Production Setup Cost	Variable Cost Function (P,H,B: Variables) [e.g., 5P+2H+10B, 3(P-5)^2+100H]
1	Period1	2	6	4	3	$p+0.5h$
2	Period2	3	6	4	3	$p+0.5h$
3	Period3	2	6	4	3	$p+0.5h$
4	Period4	4	6	4	3	$p+0.5h$
5	Period5	3	6	4	3	$p+0.5h$

图 5-11 生产存储问题 WinQSB 数据输入窗口

输入各期需求量（Demand）、生产能力（Production Capacity）、存储能力（Storage Capacity）、调整费用（Production Setup Cost）、变动成本计算公式（Variable Cost Function）（ $p+0.5h$ ）。在输入计算公式中  $p$  为产量， $h$  为存储量。单击“Solve”得运行结果（见图 5-12），即 5 个时期依次生产 2、6、0、6、0，总成本 26.5 千元。

05-20-2010 Stage	Period Description	Demand	Starting Inventory	Production Quantity	Ending Inventory	Setup Cost	Variable Cost Function (P,H,B)	Variable Cost	Total Cost
1	Period1	2	0	2	0	¥ 3.00	$p+0.5h$	¥ 2.00	¥ 5.00
2	Period2	3	0	6	3	¥ 3.00	$p+0.5h$	¥ 7.50	¥ 10.50
3	Period3	2	3	0	1	0	$p+0.5h$	¥ 0.50	¥ 0.50
4	Period4	4	1	6	3	¥ 3.00	$p+0.5h$	¥ 7.50	¥ 10.50
5	Period5	3	3	0	0	0	$p+0.5h$	0	0
Total		14	7	14	7	¥ 9.00		¥ 17.50	¥ 26.50

图 5-12 生产存储问题 WinQSB 求解结果



## 第 6 章 存储论与存储控制 ( ITS )

### 6.1 模块简介

存储论与存储控制 (Inventory Theory and System) 模块的启动程序是：开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem, 启动后弹出如下类型选项对话框：

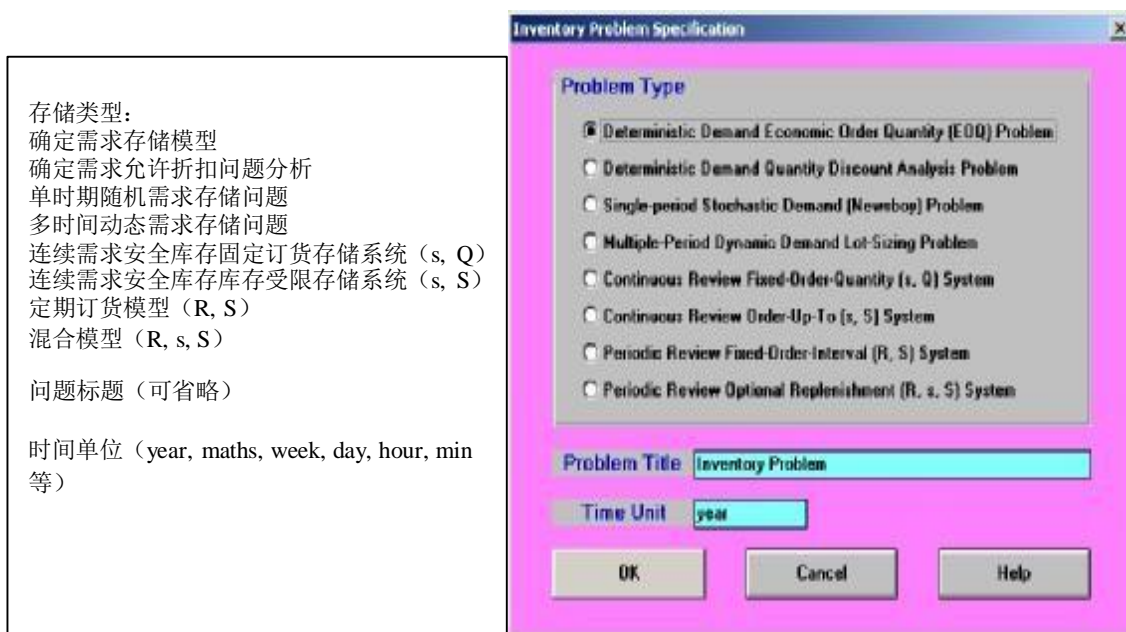


图 6-1 存储类型选项对话框

在上述模型中，确定需求存储模型 (Deterministic Demand Economic Order Quantity[EOQ] Problem)，适用于教材中模型 I (基本 EOQ)、模型 II (在制品 EOQ)、模型 III (允许缺货 EOQ)、模型 IV (允许缺货在制品 EOQ)；确定需求允许折扣存储模型 (Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem)，适用于教材中模型 V (价格折扣 EOQ)；单时期随机需求存储问题适用于教材中模型 VI (离散型随机需求，即报童问题)、模型 VII (连续型随机需求)。

### 6.2 确定需求存储模型 (EOQ)

程序启动：开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem/选择第 1 个单选按钮，调整时间单位，单击 OK，弹出数据编辑窗口 (图 6-2)。

其应用条件：全年需求固定且均匀；

生产能力固定且在生产期内均衡生产；

若生产能力为 M，则为经济订购模型，否则为在制品存储模型；

若单位缺货损失为 M，则为不允许存储缺货，否则为允许缺货存储模型；

折扣点数省略为无折扣模型，否则为数量折扣模型。



DATA ITEM	ENTRY	
Demand per year		需求量/年（时间单位由选项框输入决定）
Order or setup cost per order		每次订货成本（或生产准备费）/次
Unit holding cost per year		单位存储成本/年
Unit shortage cost per year	M	单位缺货成本/年（不允许缺货为 M）
Unit shortage cost independent of time		单位缺货成本/次
Replenishment or production rate per year	M	生产能力/年（经济订购量模型为 M）
Lead time for a new order in year		交纳间隔期（提前时间）/年（即时到货空白）
Unit acquisition cost without discount		无折扣购货成本
Number of discount breaks (quantities)		折扣点数（无折扣空白）
Order quantity if you know		

图 6-2 确定需求 EOQ 模型

与库存有关的总成本计算公式：

$$K = \underbrace{\frac{AD}{Q}}_{\text{订货成本}} + \underbrace{h \left[ Q \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - b \right] / \left[ 2Q \left( 1 - \frac{D}{P} \right) \right]}_{\text{储存成本}} + \underbrace{b^2 / \left[ 2Q \left( 1 - \frac{D}{P} \right) \right] + \frac{bD}{Q}}_{\text{缺货成本}}$$

式中：

K：与存储有关的总成本（为决策变量 Q 和 b 的函数）（The total inventory relevant cost, is a function of decision variables Q and b）

A：固定性订货或生产准备费/次（Fixed ordering or setup cost）

D：需求量/单位时间（Demand per unit time）

Q：订货量（Order quantity）

h：单位储存成本/单位时间（Holding cost per unit per unit time）

P：生产或补充能力（Production or replenishment rate）

C：单位采购成本（Unit acquisition cost）

b：最大缺货量（Maximum backorder） 模

型中其他符号含义：

$\pi$ ：单位缺货成本/时间单位（Shortage cost per unit short, independent of time）

$\theta$ ：单位缺货成本/次（Shortage cost per unit short per unit time）

$\tau$ ：补充或订货提前期（replenishment or order lead time）

【例 6.1】某文教用品商店（零售商）每年可销售 10000 包光电复印纸，可从复印纸制品厂（供货商）进货。每次订货需发生订货费 100 元；零售商需租用库房存放复印纸，每月每包存贮费为 1 元；复印纸购价 10 元/包。

零售商：我们都是老熟人了，能否便宜点？

供货商：你如果多买就可以给你让利。 零售商：如何让利呢？ 供货商：你一次订货

300~600 包，每包 9.5 元；一次订货超过 600 包（含 600 包括），每包 9 元。假设复印纸零售价为 14 元，平均毛利 3 元，如果缺货，年平均缺货每包将产生机会损失 15 元/

年。

问题：

（1）若不允许缺货，且无价格折扣情况下零售商应该订货多少次？每次订货多少？并对单位存储费从 12 到 15，步长为 1 进行敏感性分析；

（2）若允许缺货，且无价格折扣情况下，零售商应订货多少次？每次订货多少？最大缺货量多少？

（3）若不允许缺货，是否享受折扣？享受多少折扣？每次订货量多少？

### 6.2.1 基本 EOQ 模型求解

例 6.1 中第 (1) 个问题为不允许缺货，无价格折扣的 EOQ，称为基本 EOQ 模型。执行如下操作开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem/选择第 1 个单选按钮，单击 OK，弹出数据编辑窗口（同图 6-1）。

输入需求 10000，每次订货费 100，单位存储费 12（每月 1 元，全年 12 元），无折扣单位采购价 10（图 6-3）。

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	10000
Order or setup cost per order	100
Unit holding cost per year	12
Unit shortage cost per year	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	M
Lead time for a new order in year	
Unit acquisition cost without discount	10
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you known	

图 6-3 确定需求 EOQ 模型

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve then Problem，得运行结果（图 6-4）

09-19-2010	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per year	10000	Order quantity	408.2483
2	Order (setup) cost	¥ 100.00	Maximum inventory	408.2483
3	Unit holding cost per year	¥ 12.00	Maximum backorder	0
4	Unit shortage cost		Order interval in year	0.0408
5	per year	M	Reorder point	0
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	¥ 2,449.49
8	Replenishment/production		Total holding cost	¥ 2,449.49
9	rate per year	M	Total shortage cost	0
10	Lead time in year	0	Subtotal of above	¥ 4,898.98
11	Unit acquisition cost	¥ 10.00		
12			Total material cost	¥ 100,000.00
13				
14			Grand total cost	¥ 104,898.98

图 6-4 结果输出

执行菜单命令 Results/Graphic Inventory Profile 可生成库存变动曲线图（图 6-5）

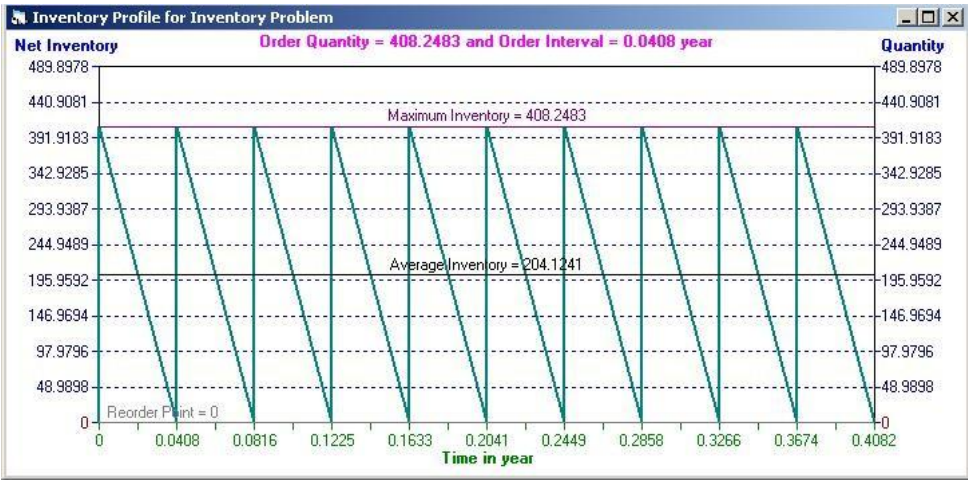


图 6-5 库存变动曲线图

关闭库存变动图，跳回图 6-4，执行菜单命令：Results/Perform Parametric Analysis，弹出敏感性分析对话框（图 6-6）

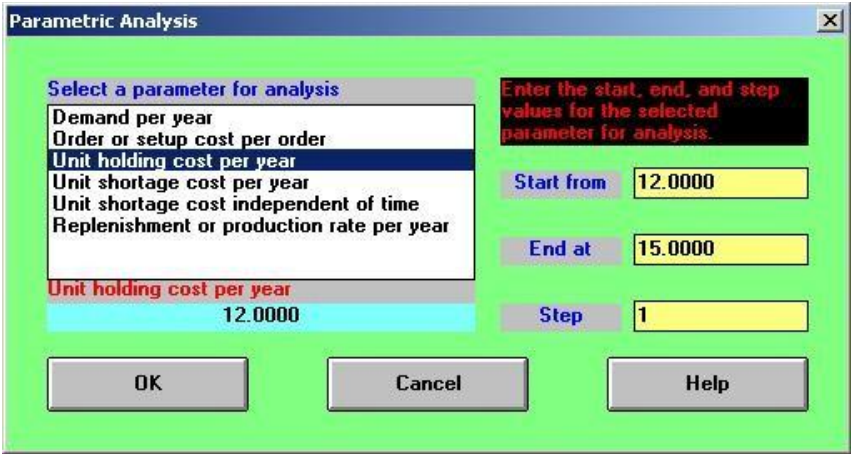


图 6-6 敏感性分析对话框

选择单位存储成本（Unit holding cost per year），开始于 12，终止于 16，步长 1，单击 OK，得敏感性分析结果（图 6-7）

Unit holding cost per year	From: Order Quantity	Inventory Related Cost	Grand Total Cost	Total Setup Cost	Total Holding Cost	Total Shortage	Total Material Cost	Maximum Inventory	Maximum Backorder	Order Interval in year	Reorder Point
1	12	400.2403	¥ 104.000.00	¥ 2.440.40	¥ 2.440.40	0	¥ 100.000.00	400.2403	0	0.0400	0
2	13	367.7323	¥ 103.089.10	¥ 2.149.51	¥ 2.149.51	0	¥ 100.000.00	367.7323	0	0.0367	0
3	14	377.9045	¥ 105.291.50	¥ 2.045.25	¥ 2.045.25	0	¥ 100.000.00	377.9045	0	0.0370	0
4	15	365.1484	¥ 103.477.23	¥ 2.738.61	¥ 2.738.61	0	¥ 100.000.00	365.1484	0	0.0365	0

图 6-7 敏感性分析结果

### 6.2.2 允许缺货及时补充 EOQ 模型求解

例 6.1 中第（2）个问题为允许缺货，无价格折扣，执行如下操作：在图 6-3 中将单位缺货成本由 M 改为 15（图 6-8）。

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	10000
Order or setup cost per order	100
Unit holding cost per year	12
Unit shortage cost per year	15
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	M
Lead time for a new order in year	
Unit acquisition cost without discount	10
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you known	

图 6-8 确定需求允许缺货 EOQ 模型

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve then Problem，得运行结果（图 6-9）

09-19-2010	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per year	10000	Order quantity	547.7225
2	Order (setup) cost	¥ 100.00	Maximum inventory	304.2903
3	Unit holding cost per year	¥ 12.00	Maximum backorder	243.4322
4	Unit shortage cost		Order interval in year	0.0548
5	per year	¥ 15.00	Reorder point	-243.4322
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	¥ 1,825.74
8	Replenishment/production		Total holding cost	¥ 1,014.30
9	rate per year	M	Total shortage cost	¥ 811.44
10	Lead time in year	0	Subtotal of above	¥ 3,651.48
11	Unit acquisition cost	¥ 10.00		
12			Total material cost	¥ 100,000.00
13				
14			Grand total cost	¥ 103,651.48

图 6-9 运行结果

执行菜单命令 Results/Graphic Inventory Profile 可生成库存变动曲线图（图 6-5）

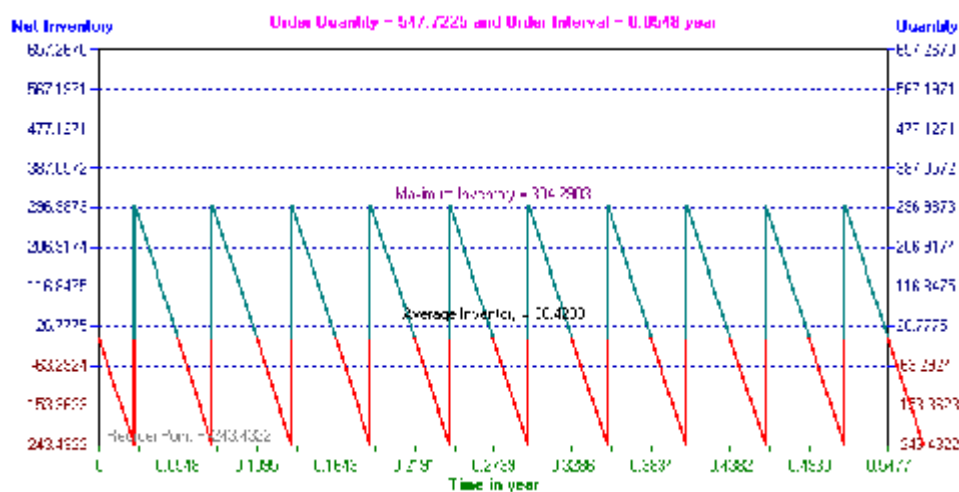


图 6-10 允许缺货库存变动曲线图

## 6.2.3 在制品 EOQ 模型

【例 6.2】某工厂生产并出售农机配件，据预测全年需要量为 18000 个，每月生产能力为 3000 个，每次生产设备调整费为 500 元，零件存储费 0.15 元/月，要求：

- (1) 在不允许缺货的条件下求经济批量；
- (2) 若允许缺货，单位缺货损失费为 2 元，经济批量又为多少？

解 时间单位为年，全年生产能力为 36000，单位产品年存储成本 1.8。WinQSB 操作如下：开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem/选择第 1 单选按钮，单击 OK，弹出数据编辑窗口（同图 6-1）。

输入需求 18000，生产能力 36000，每次订货费 500，单位存储费 1.8（图 6-11 图 6-11 不允许缺货）。

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	18000
Order or setup cost per order	500
Unit holding cost per year	1.8
Unit shortage cost per year	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	36000
Lead time for a new order in year	
Unit acquisition cost without discount	
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you know	

图 6-11 不允许缺货数据输入

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve then Problem，得运行结果（图 6-13）

09-20-2010	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per year	18000	Order quantity	4472.136
2	Order (setup) cost	¥ 500.00	Maximum inventory	2236.068
3	Unit holding cost per year	¥ 1.80	Maximum backorder	0
4	Unit shortage cost		Order interval in year	0.2485
5	per year	M	Reorder point	0
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	¥ 2,012.46
8	Replenishment/production		Total holding cost	¥ 2,012.46
9	rate per year	36000	Total shortage cost	0
10	Lead time in year	0	Subtotal of above	¥ 4,024.92
11	Unit acquisition cost	0		
12			Total material cost	0
13				
14			Grand total cost	¥ 4,024.92

图 6-12 不允许缺货结果输出

经济生产批量 4472.14，总成本（不含变动成本）4024.92。

允许缺货时输入单位缺货损失/年：2

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	18000
Order or setup cost per order	500
Unit holding cost per year	1.8
Unit shortage cost per year	2
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	36000
Lead time for a new order in year	
Unit acquisition cost without discount	
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you know	

图 6-13 允许缺货数据输入

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve then Problem，得运行结果（图 6-14）

09-20-2010	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per year	18000	Order quantity	6164.414
2	Order (setup) cost	¥ 500.00	Maximum inventory	1622.214
3	Unit holding cost per year	¥ 1.80	Maximum backorder	1459.993
4	Unit shortage cost		Order interval in year	0.3425
5	per year	¥ 2.00	Reorder point	-1459.993
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	¥ 1,459.99
8	Replenishment/production		Total holding cost	¥ 768.42
9	rate per year	36000	Total shortage cost	¥ 691.58
10	Lead time in year	0	Subtotal of above	¥ 2,919.99
11	Unit acquisition cost	0		
12			Total material cost	0
13				
14			Grand total cost	¥ 2,919.99

图 6-14 允许缺货结果输出

即在允许缺货条件下，生产批量 6164.4，总成本 2919.99（不含变动成本）

## 6.3 有价格折扣的 EOQ 模型

例 6.1 中第（3）个问题为有价格折扣 EOQ 模型，该问题使用存储类型的第 2 个选项。该选项所生成的数据编辑窗口虽然与第 1 个选项相同，但运行结果却不同，操作步骤如下：

开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem/选择第 2 个单选按钮，单击 OK，弹出数据编辑窗口（同图 6-15）。

DATA ITEM	ENTRY	
Demand per year	10000	全年需求
Order or setup cost per order	100	每次订货费
Unit holding cost per year	12	单位年存储费
Unit shortage cost per year	M	
Unit shortage cost independent of time	M	
Replenishment or production rate per year	M	
Lead time for a new order in year		
Unit acquisition cost without discount	10	无折扣单价
Number of discount breaks (quantities)	2	折扣点数
Order quantity if you know		

图 6-15 有折扣存储模型数据窗口

输入折扣条件：执行菜单命令 Edit/Discount Breaks，弹出折扣点和折扣百分比（图 6-16）

Discount Breaks

300

Number	Discount Break	Discount %
1	300	5
2	600	10

OK
Cancel
Help

图 6-16 折扣条件

单击 OK, 跳回图 6-15, 执行菜单命令: Solve and Analyze/Solve the Problem, 得运行结果 (图 6-17)。

09-20-2010	Break Qty.	Discount %	EOQ	EOQ Cost	Feasibility	Order Qty.	Total Cost
0	0	0	408.2483	¥ 104,898.98	No	300	¥ 105,133.34
1	300	5	408.2483	¥ 99,898.98	Yes	408.2483	¥ 99,898.98
2	600	10	408.2483	¥ 94,898.98	No	600	¥ 95,266.66
	Recommended	Order Qty. =	600	Discount =	10%	Total Cost =	¥ 95,266.66

图 6-17 运行结果

由结果可见, 最优订货批量 600 包, 享受 9 折优惠, 最小总成本 95266.66 元。

## 6.4 单时期随机需求存储模型 (报童问题)

单时期随机需求存储问题也称为报童问题。

在 WinQSB 中有关字符代表的含义如下:

$x$ : 随机需求变量 (Random variable that represents the demand), 需求量为  $X$  的期望值, 即:  $D = E(x)$ .

$f(x)$ : 概率密度函数 (probability density function for  $x$ , pdf).

$F(x)$ : 累积概率分布 (cumulative density function for  $x$ , cdf).  $F'(x) = 1 - F(x)$ .

$C$ : 单位获得成本 (Unit acquisition cost)

$P$ : 销售单价 (Selling price)

$S$ : 残值 (Salvage value)

$B$ : 缺货成本 (Shortage cost)

$c(o)$ : 单位超储成本 (Unit overstock cost),  $c(o) = C - S$

$c(u)$ : 单位缺货成本 (Unit understock cost),  $c(u) = P - C + B$

$SL$ : 服务水平 (Service level), 即货物满足率 (% of no shortage).

$Ps$ : 缺货概率 (Probability of shortage),  $SL = 1 - Ps$

最优订货量是指满足下式的期望利润最大化:

$$F(Q) = \frac{c(u)}{c(u) + c(0)}$$

$$\text{Profit} = \begin{cases} Px - CQ + S(Q - x), & x \geq Q \\ Px - CQ + B(Q - x), & x < Q \end{cases}$$

$$SL = F(Q)$$

**【例 6.2】**报童问题是运筹学经典案例, 可描述如下: 报童每日早晨从报社以批发价购得当日的日报, 然后以在市场以零售价售出, 每份订购价 0.6 元, 零售价 1 元; 若卖不完, 则每份积压报纸退还给报社每份 0.2 元。该报童对以往的销售量作了连续一个月的统计, 其记录如表所示。

表 6-1 每日报纸需求量概率分布

日需求量 $d$	120	130	140	150	160
频率 $P(d)$	0.15	0.2	0.3	0.25	0.1

问题: (1) 他 (或她) 应订购多少份报纸为宜?



(2) 若需求均值为 140 份、标准差为 25 份的正态分布，订货量又应为多少？  
 (1) 离散分布执行如下操作：  
 开始/程序/WinQSB/Inventory Theory and System/File/New Problem/选择第 3 个单选按钮，将时间单位改为 day（图 6-18）。

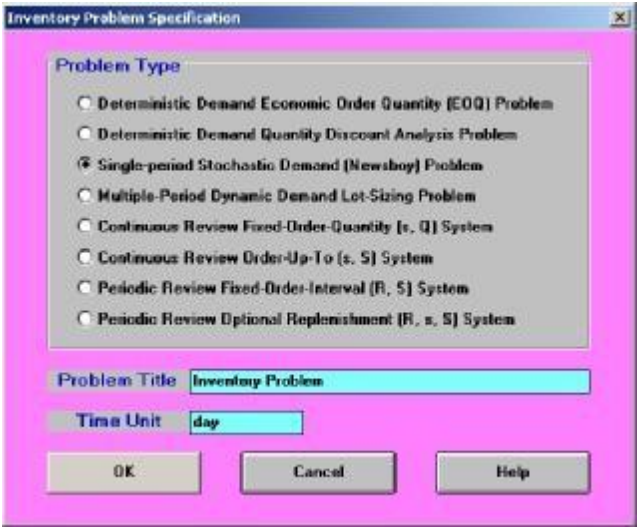


图 6-18 存储类型选择

单击 OK，弹出数据编辑窗口（图 6-19）

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in day)	Normal
Mean (u)	
Standard deviation (s>0)	
(Not used)	
Order or setup cost	
Unit acquisition cost	
Unit selling price	
Unit shortage (opportunity) cost	
Unit salvage value	
Initial inventory	
Order quantity if you know	
Desired service level (%) if you know	

图 6-19 数据编辑窗口

在该窗口中需求分布默认的为正态型（Normal），WinQSB 提供了包括常数在内的 18 种分布可供选择（见附表）。双击 Normal 可选择适当的分布律（图 6-20）。

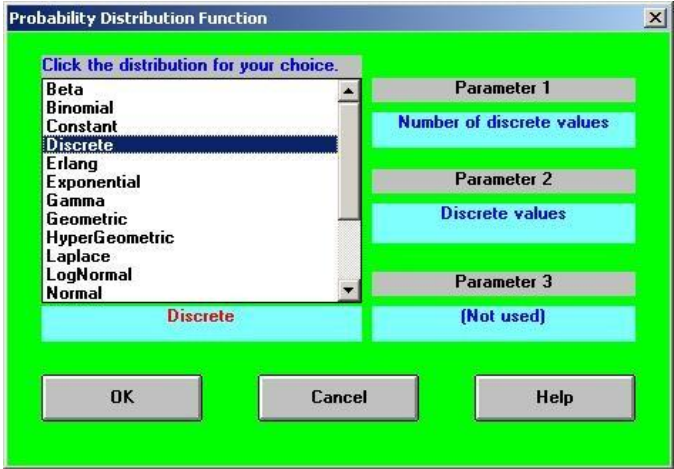


图 6-20 分布律选择框

选择离散分布 (Discrete)，返回数据窗口，但由于选择的分布律不同，数据项略有区别 (图 6-21 与图 6-19 比较)

输入数据：

断点数 (Number of discrete values) 5

离散值 (Discrete values)：依次输入，并用逗号分隔 离散值/该离散值概率

单位购货成本：0.6

销售单价：1 单位缺货成本：0.4 (缺货损失为

售价-进价) 残值：0.2

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in day)	Discrete
Number of discrete values	5
Discrete values	120/0.15,130/0.2,140/0.3,150/0.25,160/0.1
(Not used)	
Order or setup cost	
Unit acquisition cost	0.6
Unit selling price	1
Unit shortage (opportunity) cost	0.4
Unit salvage value	0.2
Initial inventory	
Order quantity if you know	
Desired service level (%) if you know	

图 6-21 数据编辑窗口

执行菜单命令 Solve and Analyze/Solve the performance，得运行结果 (图 6-22)

09-20-2010	Input Data or Result	Value
1	Demand distribution (in day)	Discrete
2	Demand mean	139.5
3	Demand standard deviation	12.0312
4	Order or setup cost	0
5	Unit cost	¥ 0.60
6	Unit selling price	¥ 1.00
7	Unit shortage (opportunity) cost	¥ 0.40
8	Unit salvage value	¥ 0.20
9	Initial inventory	0
10		
11	Optimal order quantity	150
12	Optimal inventory level	150
13	Optimal service level	66.6667%
14	Optimal expected profit	¥ 92.40

图 6-22 结果输出窗口

可见最优订货量 150 份，期望利润 92.40 元，服务率 66.67% (即以 66.67% 的概率满足全部需求)。

(2) 若正态分布需求，则应在图 6-19 中输入数据如下：

均值 (Mean) 140

标准差 (Standard deviatin) 25

其他同图 6-19 (见图 6-23)

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the problem，得最优结果 (图 6-24)

最优订货 151 份，期望利润 45 元，服务率 66.67%。

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in day)	Normal
Mean ( $\mu$ )	140
Standard deviation ( $\sigma > 0$ )	25
(Not used)	
Order or setup cost	
Unit acquisition cost	0.6
Unit selling price	1
Unit shortage (opportunity) cost	0.4
Unit salvage value	0.2
Initial inventory	
Order quantity if you know	
Desired service level (%) if you know	

图 6-23 数据编辑窗口

09-21-2010	Input Data or Result	Value
1	Demand distribution (in day)	Normal
2	Demand mean	140
3	Demand standard deviation	25
4	Order or setup cost	0
5	Unit cost	¥ 0.60
6	Unit selling price	¥ 1.00
7	Unit shortage (opportunity) cost	¥ 0.40
8	Unit salvage value	¥ 0.20
9	Initial inventory	0
10		
11	Optimal order quantity	150.7687
12	Optimal inventory level	150.7687
13	Optimal service level	66.6667%
14	Optimal expected profit	¥ 45.09

图 6-24 结果输出窗口

## 第 7 章 排队论 ( Queuing Analysis )

在 WinQSB 中排队问题求解模块有两个：一是 Queuing Analysis，用于排队分析；二是 Queuing System Simulation，用于排队系统随机模拟。

排队分析程序启动如下：

开始/程序/WinQSB/Queuing Analysis/File/New Problem，弹出如下窗口：

图 7-1 排队分析程序启动窗口

### 7.1 简单排队系统 M/M

【例 7.1】某加油站有 3 个油泵，前来加油的汽车平均 30 辆/h，服从泊松分布；每个油泵加油一辆汽车平均要用 5min，服从指数分布。问：

- (1) 平均等待加油的车辆数？
- (2) 每辆车平均等待时间是多少？
- (3) 车到时不需等待立即可加油的概率是多少？
- (4) 至少 1 个油泵空闲概率是多少？
- (5) 若 1 个油泵平均每小时服务成本为 100 元（无论忙期还是空闲），每辆车等待 1 小时的等待成本 30 元，问设几个油泵为宜？
- (6) 若前来加油的汽车发现系统中车辆达到 15 台时随即离去到别的加油站加油，所造成的该加油站的机会损失为 50 元，则设几个油泵为宜？

操作过程如下：

开始/程序/WinQSB/Queuing Analysis/File/New Problem，时间单位改为 hour，格式选择 simple M/M System，单击 OK（图 7-1），弹出数据窗口，输入数据（图 7-2）

Data Description	ENTRY	
Number of servers	3	服务台数
Service rate (per server per hour)	12	平均服务率/h
Customer arrival rate (per hour)	30	顾客到达率/h
Queue capacity (maximum waiting space)	M	队长 (M 表示无限)
Customer population	M	顾客源 (M 表示无限)
Busy server cost per hour	100	忙期服务成本/h
Idle server cost per hour	100	空闲服务成本/h
Customer waiting cost per hour	30	顾客等待成本/h
Customer being served cost per hour	30	顾客接受服务成本/h
Cost of customer being balked	50	顾客离开成本 (机会损失)
Unit queue capacity cost		单位队列容量成本

图 7-2 数据编辑窗口

求解 (1) ~ (4)：求解菜单 Solve and Analyze 有 4 个子菜单，分别为：

Solve the Performance                      执行求解  
Simulate the System                        系统模拟

Perform Sensitivity Analysis      执行敏感性分析  
 Perform Capacity Analysis      执行系统容量分析 选  
 择第 1 个子菜单，执行求解，得求解结果（图 7-3）

09-21-2010	Performance Measure	Result	
1	System: M/M/3	From Formula	
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	30.0000	顾客到达率/h
3	Service rate per server (mu) per hour =	12.0000	平均服务率/h
4	Overall system effective arrival rate per hour =	30.0000	顾客有效到达率/h
5	Overall system effective service rate per hour =	30.0000	有效服务率/h
6	Overall system utilization =	83.3333 %	服务水平
7	Average number of customers in the system (L) =	6.0112	平均队长
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	3.5112	平均排队长
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	5.0000	
10	Average time customer spends in the system (W) =	0.2004 hours	平均逗留时间 h
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0.1170 hours	平均排队时间 h
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0.1667 hours	平均接受服务时间 h
13	The probability that all servers are idle (Po) =	4.4944 %	服务台空闲概率
14	The probability an arriving customer waits (Pw or Pb) =	70.2247 %	顾客到达后需等待的概率
15	Average number of customers being balked per hour =	0	顾客到达后随即离开的概率
16	Total cost of busy server per hour =	\$250.0000	忙期服务成本/h
17	Total cost of idle server per hour =	\$50.0000	空闲服务成本/h
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$105.3371	顾客等待成本/h
19	Total cost of customer being served per hour =	\$75.0000	接受服务等待成本/h
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0	
21	Total queue space cost per hour =	\$0	
22	Total system cost per hour =	\$480.3371	系统总成本/h

图 7-3 结果输出窗口

(5)对服务台(加油泵数)进行敏感性分析,执行求解菜单(Solve and Analyze)的第 3 个子菜单(Perform Sensitivity Analysis) (图 7-4)

在列表框中选择服务台数;

在求解方法选近似估算;

服务台数从 3 至 6 (2 个服务台,在队长无限下会发生“爆炸”)

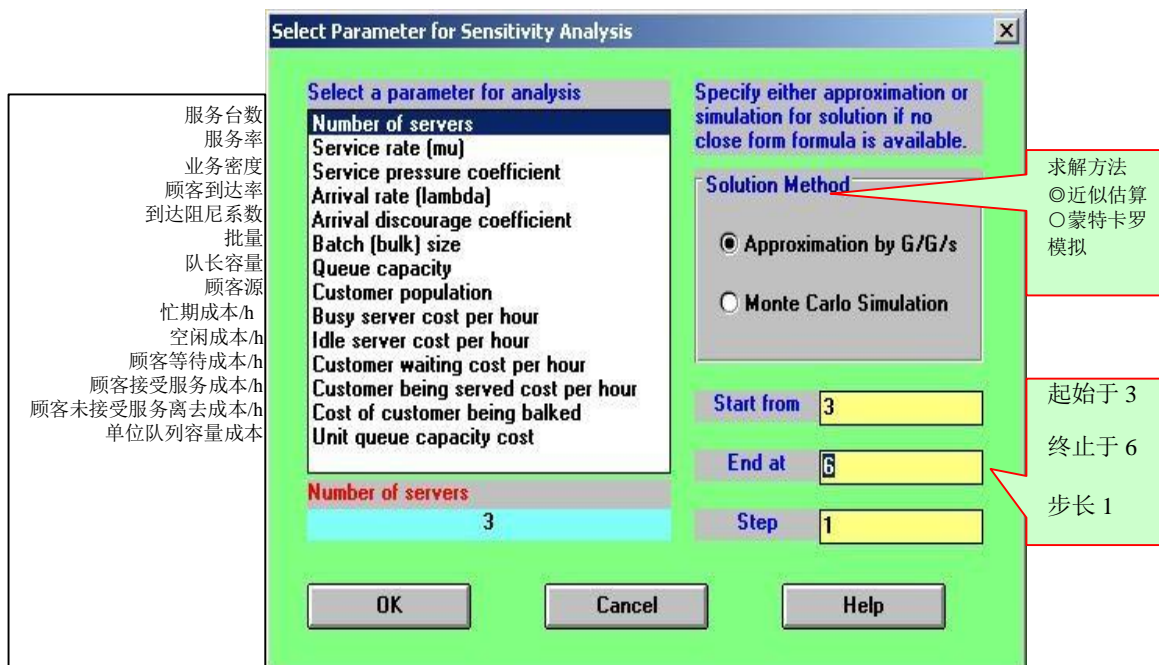


图 7-4 敏感性分析对话框

单击 OK, 得敏感性分析结果。由结果可见, 最佳服务台数为 3, 因为其总成本最低 (TOTAL COST) 为 480.3371。

Effective Arrival Rate	System Utilization	L	Lq	Lb	W	Wq	Wb	PD	Pw	Average Balked	Busy Server Cost	Idle Server Cost	Waiting Customer Cost	Served Customer Cost	Balked Customer Cost	Queue Capacity	TOTAL COST
30.0000	0.0333	0.0112	0.0112	0.0000	0.2004	0.1170	0.1067	0.0049	0.7022	0	250.0000	50.0000	105.3333	75.0000	0	0	480.3333
30.0000	0.1250	0.0333	0.0333	0.0000	0.1001	0.0720	0.0556	0.0023	0.3722	0	250.0000	50.0000	75.0000	75.0000	0	0	450.0000
30.0000	0.5000	2.6304	0.1304	1.0000	0.0877	0.0043	0.0333	0.0001	0.1304	0	250.0000	250.0000	3.9011	75.0000	0	0	528.9011
30.0000	0.4167	2.5339	0.0339	0.7143	0.0845	0.0011	0.0238	0.0016	0.0474	0	250.0000	350.0000	1.0167	75.0000	0	0	676.0167

图 7-5 敏感性分析结果

(6) 若司机发现系统中汽车数达 15 辆随即离去，相当于队长受限，将图 7-2 中队长 M 替换为 15（如图

7-6

Data Description	ENTRY
Number of servers	3
Service rate (per server per hour)	12
Customer arrival rate (per hour)	30
Queue capacity (maximum waiting space)	15
Customer population	M
Busy server cost per hour	100
Idle server cost per hour	100
Customer waiting cost per hour	30
Customer being served cost per hour	30
Cost of customer being balked	50
Unit queue capacity cost	

由 M 改为 15

图 7-6 数据编辑窗口

执行求解菜单（Solve and Analyze）的第 3 个子菜单（Perform Sensitivity Analysis）得求解结果（图 7-7）

09-21-2010 Value	Effective Arrival Rate	System Utilization	L	Lq	Lb	W	Wq	Wb	PD	Pw	Average Balked	Busy Server	Idle Server	Waiting Customer	Served Customer	Balked Customer	Queue Capacity	TOTAL COST
2	23.08	0.99	13.36	11.37	11.46	0.56	0.48	0.48	0.00	0.99	0.12	198.97	1.03	341.14	59.69	306.21	0	907.03
3	24.76	0.83	5.30	2.82	4.04	0.78	0.04	0.04	0.00	0.83	0.24	248.03	51.97	84.67	74.41	11.84	0	470.87
4	30.00	0.67	3.13	0.63	1.65	0.70	0.02	0.02	0.00	0.67	0.00	249.97	150.03	75.90	74.99	0.01	0	491.01
5	30.00	0.50	2.63	0.13	1.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	250.00	250.00	3.91	75.00	0.00	0	578.91
6	30.00	0.42	2.53	0.03	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	250.00	350.00	1.02	75.00	0.00	0	676.02

图 7-7 敏感性分析结果

由分析结果可见，服务台数（油泵）还是 3 个最佳。

## 7.2 一般排队系统 G/G

启动程序：开始/程序/WinQSB/Queuing Analysis/File/New Problem，弹出同图 7-1 对话框，选择第 2 个单选按钮，单击 OK，生成数据编辑窗口（图 7-8）。

在数据编辑窗口中有两个要点：一是服务时间分布（Service time distribution）；二是顾客到达时间分布（Interarrival time distribution）。可供选择的分布函数有 17 种，此外还有常数（constant）及一般任意分布（General/Arbitrary）。若已知概率分布，选择相应的分布；若分布律未知，选择一般任意分布；若定常分布，选择常数。

选择了不同的概率分布，数据编辑窗口中的参数的含义不同，详见本书附表。参数与 M/M 不同的是：它是时间分布，而不是平均到达率和服务率。



Data Description	ENTRY	
Number of servers		服务台数 (s)
Service time distribution (in hour)	Exponential	服务时间分布/h: 默认指数分布, 双击 Exponential 可选其他
Location parameter (a)		位置参数 (a): 意义查附表中所选分布
Scale parameter (b>0) (b=mean if a=0)		尺度参数 (b): 意义查附表中所选分布
(Not used)		
Service pressure coefficient		业务密度?
Interarrival time distribution (in hour)	Exponential	顾客到达间隔时间分布: 默认指数分布, 双击可改变
Location parameter (a)		位置参数 (a): 意义查附表中所选分布
Scale parameter (b>0) (b=mean if a=0)		尺度参数 (b): 意义查附表中所选分布
(Not used)		
Arrival discourage coefficient		
Batch (bulk) size distribution	Constant	顾客到达批量分布: 默认常数, 双击可选
Constant value	1	顾客单个到达 (每次到达数 1)
(Not used)		
(Not used)		
Queue capacity (maximum waiting space)	M	队长限制 (M 不受限)
Customer population	M	顾客源限制 (M 不受限)
Busy server cost per hour		繁忙时单位时间服务成本
Idle server cost per hour		空闲时单位时间服务成本
Customer waiting cost per hour		顾客单位时间等待成本
Customer being served cost per hour		顾客接受服务单位时间成本
Cost of customer being balked		顾客未接受服务离去机会成本
Unit queue capacity cost		单位队列容量成本

图 7-8 数据编辑窗口

## 7.2.1 一般服务时间 M/G/1 排队模型

【例 7.2】某自动取款机平均每 2min 到达一名顾客, 服从泊松分布, 顾客取款时间分布律为:

$$f(y) = \begin{cases} 1.25e^{-1.25y+1.25} & y \geq 1 \\ 0 & y < 1 \end{cases}$$

试求顾客在系统中平均等待时间是多少? 队长平均有多长?

解 Y 的期望为 1.8, 标准差为 0.8, M/G/1 模型

启动程序: 开始/程序/WinQSB/Queuing Analysis/File/New Problem, 弹出同图 7-1 对话框, 选择第 2 个单选按钮, 单击 OK, 生成数据编辑窗口 (图 7-8)。

双击 “Service time distribution” 右边的 “Exponential”, 选择一般服务分布 (图 7-9)

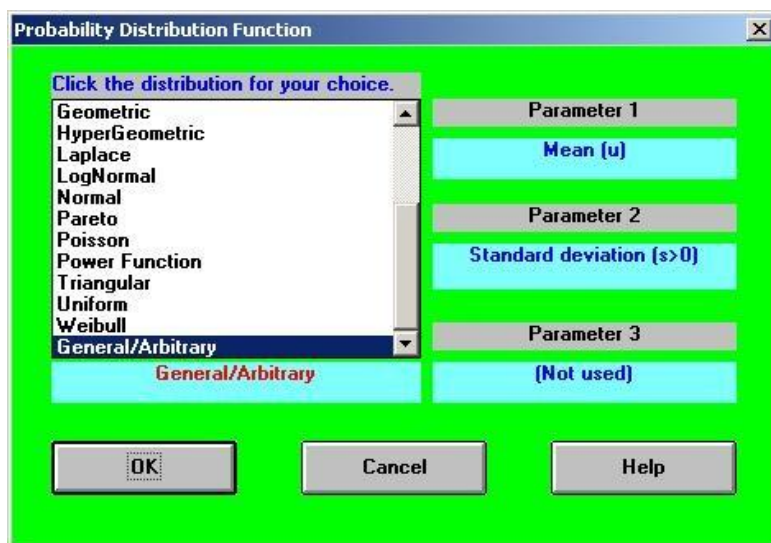


图 7-9

单击 OK, 在数据编辑窗口输入数据 (图 7-10)



Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service time distribution (in min)	General/Arbitrary
Mean ( $\mu$ )	1.8
Standard deviation ( $\sigma > 0$ )	0.8
(Not used)	
Service pressure coefficient	
Interarrival time distribution (in min)	Exponential
Location parameter ( $a$ )	
Scale parameter ( $b > 0$ ) ( $b = \text{mean if } a = 0$ )	2
(Not used)	
Arrival discourage coefficient	
Batch (bulk) size distribution	Constant
Constant value	1
(Not used)	
(Not used)	
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per min	
Idle server cost per min	
Customer waiting cost per min	
Customer being served cost per min	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

图 7-10 数据编辑窗口

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Performance，得运行结果（图 7-11）。

09-22-2010	Performance Measure	Result
1	System: M/G/1	From Formula
2	Customer arrival rate ( $\lambda$ ) per min =	0.5000
3	Service rate per server ( $\mu$ ) per min =	0.5556
4	Overall system effective arrival rate per min =	0.5000
5	Overall system effective service rate per min =	0.5000
6	Overall system utilization =	90.0000 %
7	Average number of customers in the system ( $L$ ) =	5.7500
8	Average number of customers in the queue ( $L_q$ ) =	4.8500
9	Average number of customers in the queue for a busy system ( $L_b$ ) =	5.3889
10	Average time customer spends in the system ( $W$ ) =	11.5000 mins
11	Average time customer spends in the queue ( $W_q$ ) =	9.7000 mins
12	Average time customer spends in the queue for a busy system ( $W_b$ ) =	10.7778 mins
13	The probability that all servers are idle ( $P_0$ ) =	10.0000 %
14	The probability an arriving customer waits ( $P_w$ or $P_b$ ) =	90.0000 %
15	Average number of customers being balked per min =	0
16	Total cost of busy server per min =	\$0
17	Total cost of idle server per min =	\$0
18	Total cost of customer waiting per min =	\$0
19	Total cost of customer being served per min =	\$0
20	Total cost of customer being balked per min =	\$0
21	Total queue space cost per min =	\$0
22	Total system cost per min =	\$0

图 7-11 运行结果

即平均等待顾客数 4.85，平均等待时间 9.7min.

## 7.2.2 定长服务时间 M/D/1 模型

【例 7.3】某医院检验科的血糖检测仪器检测每位患者需 5min，平均每 h 有 10 位患者按泊松分布到达，求：

- (1) 在检验科排队等候检验的患者人数；
- (2) 每位患者平均逗留时间。

解 操作过程如下

按上述启动程序，在数据编辑窗口中双击“Service time distribution”右边的“Exponential”，选择“常数（Constant）”，并输入数据（图 7-12）

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service time distribution (in min)	Constant
Constant value	1/12
(Not used)	
(Not used)	
Service pressure coefficient	
Interarrival time distribution (in min)	Exponential
Location parameter (a)	
Scale parameter (b>0) (b=mean if a=0)	1/10
(Not used)	
Arrival discourage coefficient	
Batch (bulk) size distribution	Constant
Constant value	1
(Not used)	
(Not used)	
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per min	
Idle server cost per min	
Customer waiting cost per min	
Customer being served cost per min	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

图 7-12 数据窗口

执行求解：Solve and Analyze/Solve the Performance（图 7-13）

09-22-2010	Performance Measure	Result
1	System: M/D/1	From Formula
2	Customer arrival rate ( $\lambda$ ) per min =	10.0000
3	Service rate per server ( $\mu$ ) per min =	12.0000
4	Overall system effective arrival rate per min =	10.0000
5	Overall system effective service rate per min =	10.0000
6	Overall system utilization =	83.3333 %
7	Average number of customers in the system (L) =	2.9167
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	2.0833
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	2.5000
10	Average time customer spends in the system (W) =	0.2917 mins
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0.2083 mins
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0.2500 mins
13	The probability that all servers are idle (Po) =	16.6667 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw or Pb) =	83.3333 %
15	Average number of customers being balked per min =	0
16	Total cost of busy server per min =	\$0
17	Total cost of idle server per min =	\$0
18	Total cost of customer waiting per min =	\$0
19	Total cost of customer being served per min =	\$0
20	Total cost of customer being balked per min =	\$0
21	Total queue space cost per min =	\$0
22	Total system cost per min =	\$0

图 7-13 运行结果

即平均等待人数（Lq）为 2.917 人，平均逗留时间（L）为 0.2917h（约 17.5min）。

## 第 8 章 决策分析 ( Decision Analysis )

### 8.1 决策分析模块简介

程序启动：开始/程序 WinQSB/Decision Analysis)/File/New Problem弹出问题类型对话框（图 8-1）

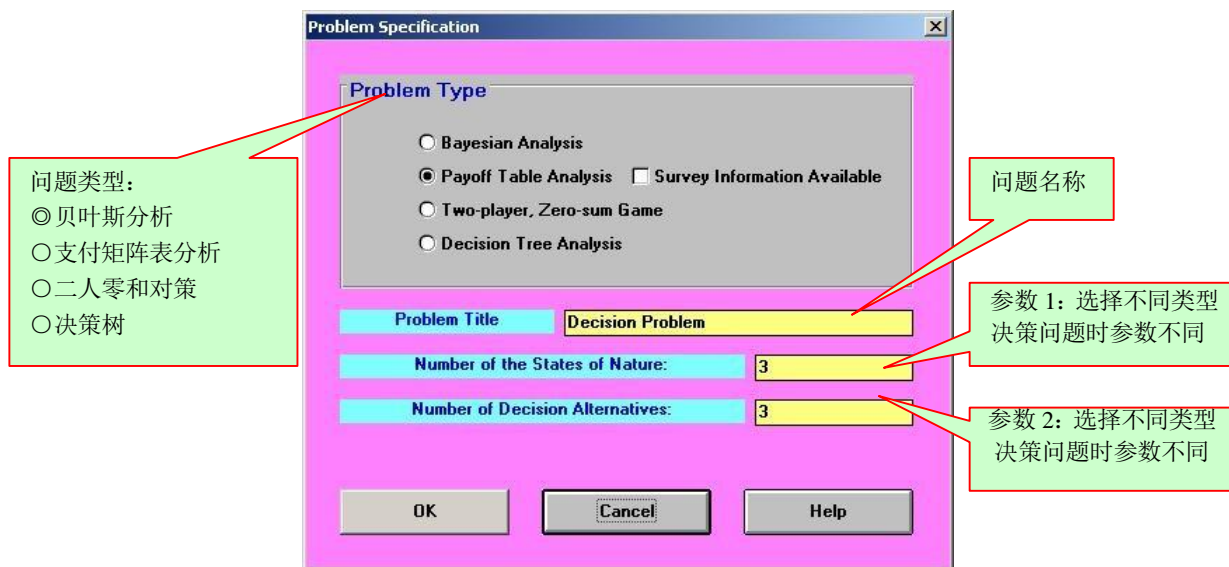


图 8-1 决策分析问题类型选项框

决策分析模块包括：贝叶斯分析、益损矩阵分析（不确定型决策、风险型决策中的期望值法、信息的价值）、二人零和对策、决策树分析（用于序列决策）。以下按教材内容顺序依次介绍：

益损矩阵分析

决策树分析

贝叶斯分析

二人零和对策

### 8.2 益损矩阵表分析（Payoff Table Analysis）

【例 8.1】（益损矩阵分析）应用 WinQSB 分析工具对第 12 章导入案例中建立的益损值矩阵分别用乐观准则、悲观准则、乐观系数准则、等概率准则、最小后悔值准则进行决策。若假设三种自然状态的概率分别为 0.3、0.5、0.2，用期望值准则进行决策。

表 8-1 导入案例的益损值矩阵

方案 \ 状态	利润（元）		
	需求 100 个 s1	需求 200 个 s2	需求 300 个 s3
生产 100 个 d1	40	40	40
生产 200 个 d2	20	80	80
生产 300 个 d3	0	60	120

程序启动：开始/程序 WinQSB/Decision Analysis)/File/New Problem/设置（如图 8-1）

选择第 2 个单选按钮，弹出的信息的价值（Survey Information Available）复选框不选；

自然状态数（Number of the States of Nature）输入 3；

决策方案数（Number of Decision Alternatives）输入 3；

单击 OK，生产数据编辑窗口（图 8-2）该窗口状态名称和方案名称可以更改。

执行菜单命令 Edit/State of Nature Name，修改自然状态名称如图 8-3，单击 OK 返回数据窗口；

执行菜单命令 Edit/Decision Alternative Name，修改决策方案名称如图 8-4。

Decision \ State	State1	State2	State3
Prior Probability			
Alternative1			
Alternative2			
Alternative3			

图 8-2 数据编辑窗口

State of Nature Names for Decision Problem

需求 300个

State Number	State Name
1	需求 100个
2	需求 200个
3	需求 300个

OK Cancel Help

图 8-3 修改自然状态名称

Decision Alternative Names for Decision Problem

生产 300个

Alternative	Alternative Name
1	生产 100个
2	生产 200个
3	生产 300个

OK Cancel Help

图 8-4 修改决策方案名称

单击 OK，返回数据编辑窗口，并输入数据（图 8-5）

Decision \ State	需求 100个	需求 200个	需求 300个
Prior Probability	0.3	0.5	0.2
生产 100个	40	40	40
生产 200个	20	80	80
生产 300个	0	60	120

图 8-5 输入数据

执行菜单命令 Solve and Analyze/Solve the Problem 输入乐观系数 0.5（图 8-6）

Payoff Table Analysis

The following criteria will be used to evaluate the payoff table. To implement the Hurwicz criterion, please enter the coefficient of optimism ( $0 \leq p \leq 1$ ). The criterion will decide based on the weighted [ $p$  maximax +  $(1-p)$  maximin].

> Maximin criterion

> Maximax criterion

> Hurwicz criterion

> Minimax regret criterion

> Expected value criterion

> Equal likelihood (insufficient reason) criterion

> Expected regret criterion

Coefficient of optimism (p) for Hurwicz criterion: 0.5

OK Cancel Help

图 8-6 输入乐观系数

单击 OK，得运行结果（图 8-7）

	09-24-2010 Criterion	Best Decision	Decision Value
悲观准则（最大最小准则）→	Maximin	生产100个	\$40
乐观准则（最大最大准则）→	Maximax	生产300个	\$120
乐观系数准则（赫维兹准则）→	Hurwicz (p=0.5)	生产300个	\$60
最小后悔值准则→	Minimax Regret	生产200个	\$40
期望值准则→	Expected Value	生产200个	\$62
等概率准则→	Equal Likelihood	生产200个	\$60
期望后悔值准则→	Expected Regret	生产200个	\$14
无信息期望值→	Expected Value	without any	Information = \$62
完全信息期望值→	Expected Value	with Perfect	Information = \$76
信息价值→	Expected Value	of Perfect	Information = \$14

图 8-7 运行结果

前 6 种决策准则在教材中作了介绍，后 4 种决策方法如下：

设：益损值矩阵和条件概率矩阵如下表。

表 8-2 益损值矩阵与条件概率矩阵

自然状态 (n 列)		S(j)	...
自然状态概率		P(S(j))	...
备选方案 (m 行)	d(i)	a(i,j)	...
信息调查结果 (r 行)	I(k)	P(S(j) I(i))	...

益损值矩阵

条件概率

(1) 期望后悔值准则 (Expected regret value):

$$x(j) = \max \{a(i, j)\}, \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$g(i, j) = x(j) - a(i, j), \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$$

$$H(i) = \sum_{j=1}^n P(s(j))g(i, j), \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$H^* = \min \{H(i)\}, \text{ 对应的方案为最优方案}$$

(2) 信息的价值 (Expected value of perfect information, EVPI)

$$\text{每方案期望值: } E(i) = \sum_{j=1}^n P(s(j))a(i, j), \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\text{每方案最大益损值: } z(j) = \max \{a(i, j)\}, \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$\text{完全信息期望值 (Expected value with perfect information): } EVWPI = \sum_{j=1}^n P(s(j)) \max_i \{a(i, j)\}$$

$$\text{无信息期望值 (Expected value without perfect information): } EVWOPI = \max_i \{E(i)\}$$

$$\text{信息的价值 } EVPI = EVWPI - EVWOPI$$

(3) 样本信息期望值 (Expected value of sample information, EVSI):

$$\text{每方案期望值: } E(i) = \sum_{j=1}^n P(s(j))a(i, j), \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$B(k, i) = \sum_{j=1}^n P(s(j) | I(k))a(i, j), \quad (k = 1, \dots, r; i = 1, \dots, m)$$

$$Q(k) = \max_i \{B(k,i)\}$$

样本信息期望值（expected value with sample information）： $EVWSI = \sum_{k=1}^r P(I(k))Q(k)$

无样本信息期望值（expected value without sample information）： $EWVOSI = \max\{E(i)\}, \quad (i = 1, \dots, m)$

样本信息价值  $EVSI = EVWSI - EVWOSI$

样本信息效用值（Efficiency of sample information ,EFF）： $EFF = EVSI / EVPI$

执行菜单命令：Results/Show payoff table Analysis 显示矩阵表分析结果（图 8-8）

09-24-2010 Alternative	Maximin Value	Maximax Value	Hurwicz (p=0.5) Value	Minimax Regret Value	Equal Likelihood Value	Expected Value	Expected Regret
生产100个	\$40**	\$40	\$40	\$80	\$40	\$40	\$36
生产200个	\$20	\$80	\$50	\$40**	\$60**	\$62**	\$14**
生产300个	0	\$120**	\$60**	\$40	\$60	\$54	\$22

图 8-8 运行结果（支付矩阵表）

执行菜单命令：Results/Show Regret Table 显示后悔值矩阵（图 8-9）

Decision\State	需求100个	需求200个	需求300个
生产100个	0	\$40	\$80
生产200个	\$20	0	\$40
生产300个	\$40	\$20	0

图 8-9 运行结果（后悔值矩阵）

在数据编辑窗口执行菜单命令：Solve and Analyze/Draw Decision Tree 设置决策树图参数（图 8-10）

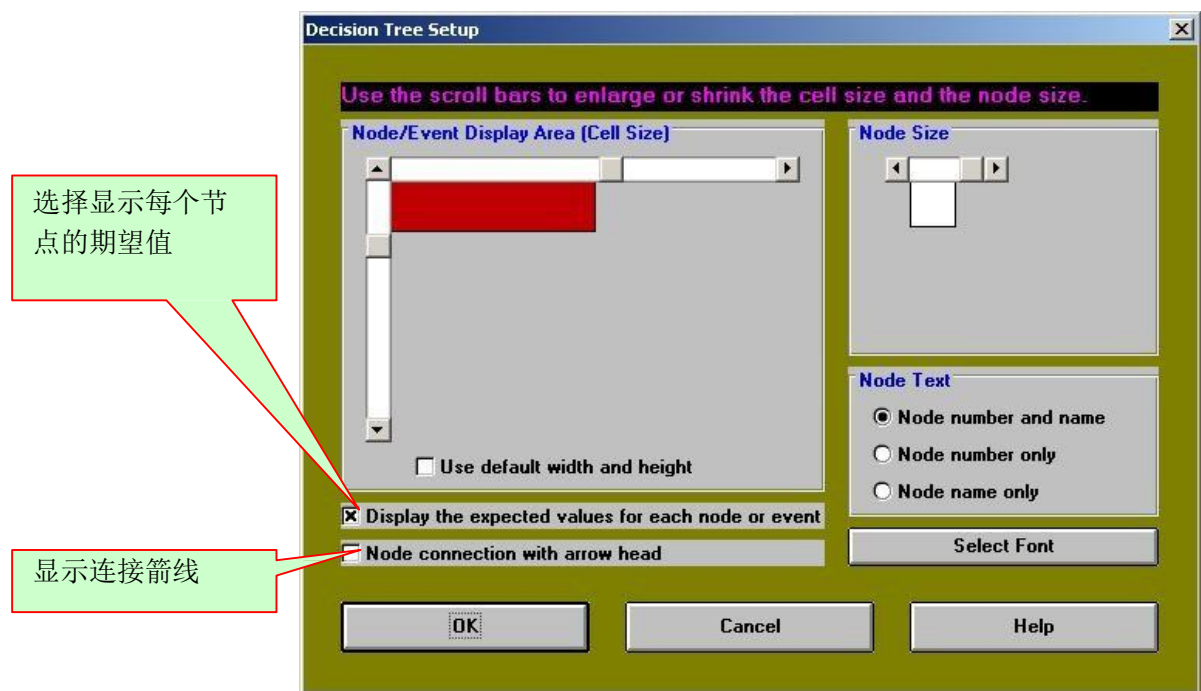


图 8-10 运决策树参数

单击 OK 得运行结果决策树图（图 8-11）

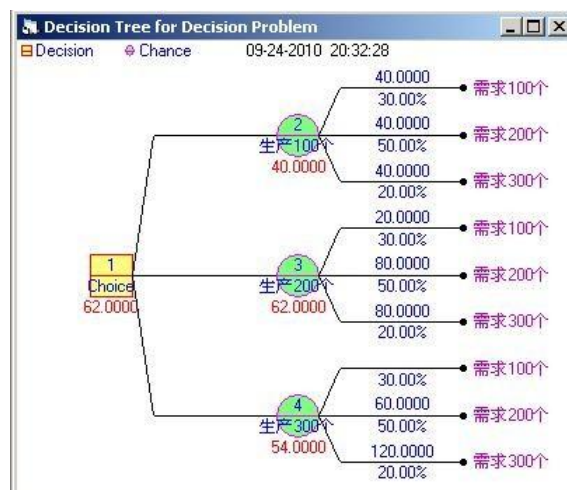


图 8-11 决策树

【例 8.2】某石油公司考虑在某地钻井，结果可能出现三种情况：无油  $s_1$ ，少油  $s_2$ ，多油  $s_3$ 。公司估计，3 种状态出现的可能性分别为 0.5, 0.3, 0.2。已知钻井费用为 7 万元。如果少油，可收入 12 万元；如果多油，可收入 27 万元。为进一步了解地质构造情况，可先进行勘探。勘探结果可能是：构造较差( $I_1$ )，构造一般( $I_2$ )，构造较好( $I_3$ )。根据过去的经验，地质构造与出油的关系如表 12-9 所示。

表 8-3 地质构造与出油关系表

P( $I S$ )	构造较差( $I_1$ )	构造一般( $I_2$ )	构造较好( $I_3$ )
无油 $s_1$	0.6	0.3	0.1
少油 $s_2$	0.3	0.4	0.3
多油 $s_3$	0.1	0.4	0.5

假设勘探费用为 1 万元，求：

(1) 应先进行勘探，还是不进行勘探直接钻井或不钻井？

(2) 如何根据勘探的结果决策是否钻井？

操作如下：

程序启动：开始/程序 WinQSB/Decision Analysis)/File/New Problem/设置（如图 8-12）

选择第 2 个单选按钮，弹出的信息价值（Survey Information Available）并勾选复选框；

自然状态数（Number of the States of Nature）输入 3（多油、少油、无油）；

决策方案数（Number of Decision Alternatives）输入 2（钻井、不钻井）；

调查可能结果（Number of Survey Outcomes[Indicators]）输入 3（构造较差、构造一般、构造较好）。

图 8-12



单击 OK，生成数据编辑窗口（图 8-13）该窗口状态名称和方案名称可以更改。  
 执行菜单命令 Edit/State of Nature Name，修改自然状态名称如图 8-14，单击 OK 返回数据窗口；  
 执行菜单命令 Edit/Decision Alternative Name，修改决策方案名称如图 8-15，单击 OK；  
 执行菜单命令 Edit/Survey Outcomes Name，调查结果名称如图 8-16，单击 OK。

Indicator-Decision \ State	State1	State2	State3
Prior Probability			
Indicator1			
Indicator2			
Indicator3			
Alternative1			
Alternative2			

图 8-13 数据编辑窗口



图 8-14 更改自然状态名称



图 8-15 更改决策方案名称



图 8-16 更改调查结果名称

Indicator-Decision \ State	无油	少油	多油
Prior Probability	0.5	0.3	0.2
构造较差	0.6	0.3	0.1
构造一般	0.3	0.4	0.4
构造较好	0.1	0.3	0.5
钻井	-7	5	20
不钻井	0	0	0

图 8-17 输入数据

执行菜单命令：Solve and Analyze/Solve the Problem弹出如上例图 8-6 所示输入乐观系数，单击 OK 得运行结果（图 8-18）

09-24-2010 Criterion	If Outcome = 构造较差	Decision Value	If Outcome = 构造一般	Decision Value	If Outcome = 构造较好	Decision Value
Maximin	不钻井	0	不钻井	0	不钻井	0
Maximax	钻井	\$20	钻井	\$20	钻井	\$20
Hurwicz (p=0.5)	钻井	¥ 6.50	钻井	¥ 6.50	钻井	¥ 6.50
Minimax Regret	钻井	\$7	钻井	\$7	钻井	\$7
Expected Value	不钻井	0	钻井	¥ 3.29	钻井	¥ 8.75
Equal Likelihood	钻井	\$6	钻井	\$6	钻井	\$6
Expected Regret	不钻井	¥ 2.07	钻井	¥ 3.00	钻井	¥ 1.46
Expected Value	without any	Information =	\$2			
Expected Value	with Perfect	Information =	¥ 5.50			
Expected Value	of Perfect	Information =	¥ 3.50			
Expected Value	with Sample	Information =	¥ 3.25			
Expected Value	of Sample	Information =	¥ 1.25			
Efficiency (%)	of Sample	Information =	35.71%			

图 8-18 运行结果

可见，除悲观准则不钻井外，其他准则均选择钻井。勘探信息的价值为 3.5 万元，而支付费用 1 万元，选择勘探。

也可按例 8.1 方法生成决策树图（图 8-19）

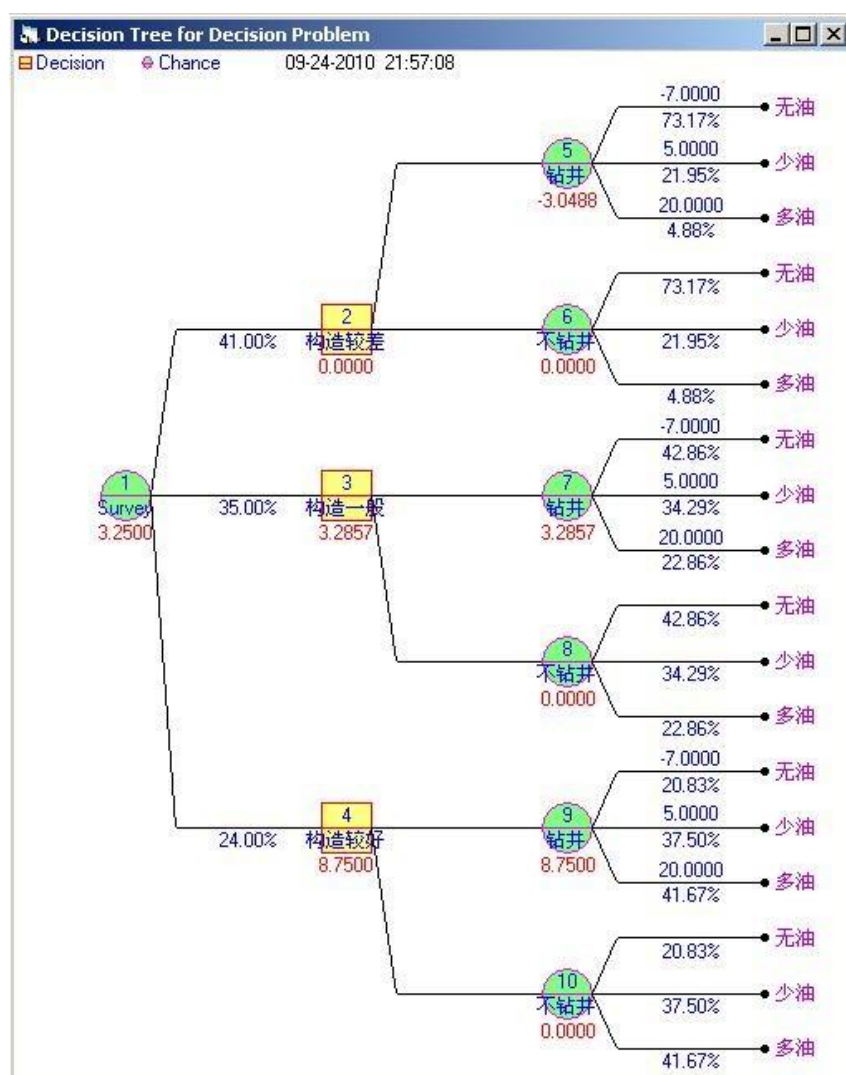


图 8-19 决策树图

### 8.3 贝叶斯决策（Bayesian Decision）

术语和符号：

$S(i)$ : 自然状态（State of nature）；

$P(S(i))$ : 先验概率（Prior probability），即凭主观判断或经验估计而确定的自然状态概率；

$I(k)$ : 调查或样本信息（Survey or sample information）；

$P(I(j)|S(i))$ : 条件概率（Conditional probability），指在事件  $S(i)$  发生的条件下  $I(k)$  发生的概率；

$P(I(j))$ : 边缘概率（Marginal probability），即全概率分工： $P(I(j)) = \sum_{i=1}^n P(S(i)P(I(j)|S(i)))$

$P(I(j), S(i))$ : 联合概率（Joint probability）， $P(I(j), S(i)) = P(S(i)P(I(j)|S(i)))$

$P(S(i)|I(j))$ : 后验概率（Posterior or revised probability），即贝叶斯公式： $P(S(i)|I(j)) = P(I(j), S(i)) / P(I(j))$

【例 8.3】已知先验概率  $S(j)=0.3, 0.5, 0.2$ ；条件概率矩阵：

$$P(I(i)|S(j)) = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.4 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

求： $P(I(i)), P(S(j)|I(i))$

解 执行菜单命令：  
 开始/程序 WinQSB/Decision Analysis)/File/New Problem/设置（如图 8-12）

Problem Specification

Problem Type

☒ Bayesian Analysis
 ☐ Payoff Table Analysis
 ☐ Two-player, Zero-sum Game
 ☐ Decision Tree Analysis

Problem Title

Decision Problem

Number of the States of Nature:

3

Number of Survey Outcomes (Indicators):

3

OK

Cancel

Help

图 8-20 问题类型选项

单击 OK，修改名称并输入数据：

Outcome \ State	s{1}	s{2}	s{3}
Prior Probability	0.5	0.3	0.2
I{1}	0.6	0.3	0.1
I{2}	0.3	0.4	0.4
I{3}	0.1	0.3	0.5

图 8-21 数据输入窗口

Solve and Analyze/Solve the problem 得后验概率矩阵

Indicator\State	s{1}	s{2}	s{3}
I{1}	0.7317	0.2195	0.0488
I{2}	0.4286	0.3429	0.2286
I{3}	0.2083	0.375	0.4167

图 8-22 后验概率矩阵

Results/Show Marginal Probability 显示边缘概率 P(I(i))

09-25-2010	Outcome or Indicator	Marginal Probability
1	I{1}	0.41
2	I{2}	0.35
3	I{3}	0.24

图 8-23 边缘概率

Results/Show Joint probability 显示联合概率 P(I(i),S(j))

State\Indicator	I{1}	I{2}	I{3}
s{1}	0.3	0.15	0.05
s{2}	0.09	0.12	0.09
s{3}	0.02	0.08	0.1

图 8-24 联合概率

Results/Show Decision Tree Graph 显示决策树图

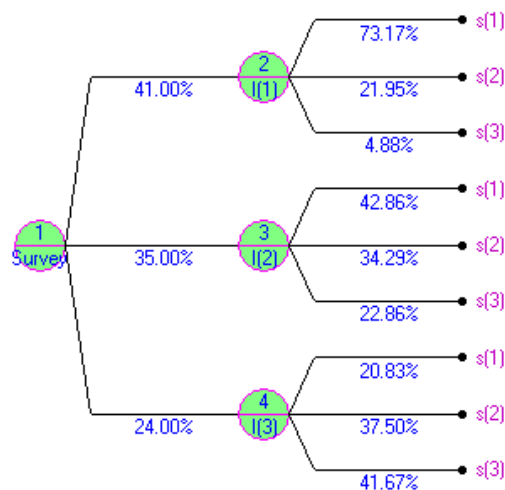


图 8-25 决策树图

## 8.4 决策树（Decision Tree Analysis）

对于序列决策，WinQSB 可通过绘制决策树图辅助决策。但 WinQSB 的缺点是需要事先确定节点数，不象 Excel 决策树插件那样方便。以第 12 章习题 11 来说明之。

【例 8.4】根据以下案例所提供的资料，要求：

- (1) 绘出决策树图；
- (2) 若李董以资产最大化为目标而不考虑风险，应该采取何种策略？其期望资产增加额是多少？
- (3) 若采取了试销，一旦在本地试销失败，李董应采取何种策略？此时资产将减少多少？
- (4) 若采取了试销，一旦在本地试销成功，李董应采取何种策略？此时资产将增加多少？



阅读案例 12.2

### 李董的营销策略

李董的当前资产为 100 万元，他想要确定是否开拓一个新的巧克力口味的苏打市场。李董有以下 3 种选择。

选择 1：本地试销，然后使用市场研究结果来确定是否在全国范围内销售；

选择 2：立即在全国范围内销售（不经过试销）； 选择 3：立即决定不在全国范围内销售（不经过试销）。

在不进行市场研究的情况下，李董认为在全国范围内成功的概率为 55%，在全国范围内失败的概率为 45%。如果获得全国范围内的成功，那么李董的资产会增加 200 万元，在全国范围内失败，那么李董的资产会减少 70 万元。如果李董进行市场研究（花费 10 万元），那么该研究将产生良好的结果（指本地成功）的概率为 60%，将产生不好结果（指本地失败）的概率为 40%。如果观察到的是本地成功，那么在全国范围内成功的概率就为 85%。如果观察到的是本地失败，那么在全国范围内成功的概率就只有 10%。

解 首先要确定节点数 初步确定节点数为 13 个，不实际需要的节点数不同，可通过 Edit 添加或删除节点。 操作步骤如下：

开始/程序/WinQSB/Decision Analysis

选择 Decision Tree Analysis 输入节点数 13（图

8-26） 单击 OK，生成数据窗口并输入数据（图

8-27）

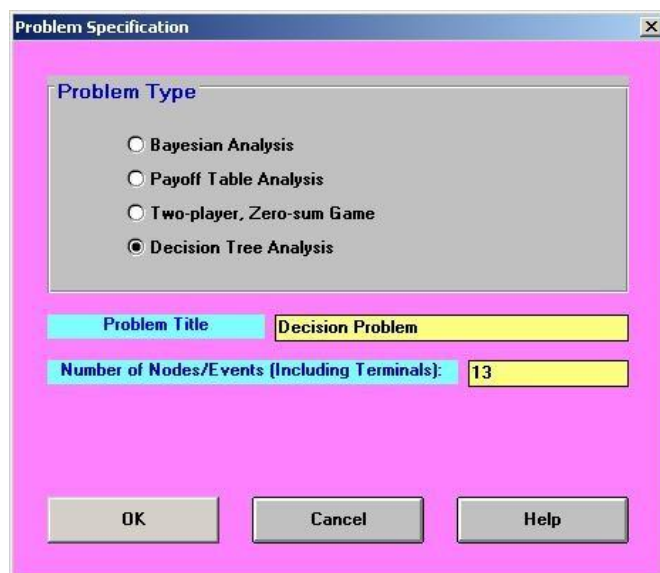


图 8-26

节点类型(D 决策, C 状态)

后续节点

收入或支出

状态分枝概率

	Node/Even Number	Node Name or Description	Node Type (enter D or C)	Immediate Following Node (numbers separated by ',')	Node Payoff (+ profit, - cost)	Probability (if available)
决策节点 1 →	1	D1	D	2,3,4		
本地试销 →	2	E11	C	5,6	-1	
直接在全国销售 →	3	E12	C	7,8	-7	
不在全国销售 →	4	E13	C	9	0	1
试销成功在全国销售 →	5	D111	D	10,11	-7	0.6
试销成功不在全国销售 →	6	D112	D	12,13	0	0.4
试销失败在全国销售 →	7	E121	C		200	0.55
试销失败不在全国销售 →	8	E122	C		-70	0.45
试销成功全国销售成功 →	9	E131	C		0	1
试销成功全国销售失败 →	10	E1111	C		200	0.85
试销失败全国销售成功 →	11	E1112	C		-70	0.15
试销失败全国销售成功 →	12	E1121	C		200	0.1
试销失败全国销售失败 →	13	E1122	C		-70	0.9

图 8-27 数据窗口

Solve and Analysis/Show Decision Tree, 选择显示每个节点的期望值 (图 8-28)

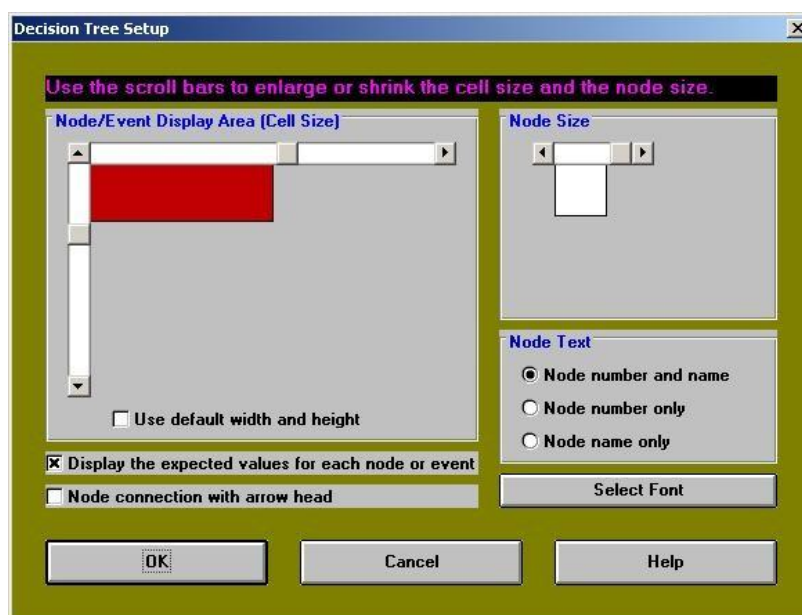


图 8-28

单击 OK，得决策树图（图 8-29）

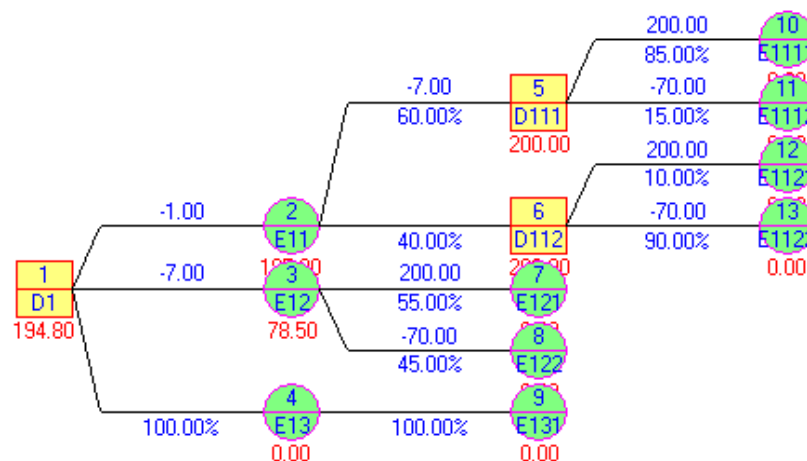


图 8-29 决策树图

最优方案：在本地试销，如果成功，则在全国销售；如果失败，不在全国销售。期望值 194.8。

## 8.5 二人零和对策（Two-player, Zero-sum Game）

【例 8.5】利用线性规划方法求解赢得矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 7 & 2 & 9 \\ 2 & 9 & 0 \\ 9 & 0 & 11 \end{bmatrix}$$

程序启动：开始/程序 WinQSB/Decision Analysis)/File/New Problem/选择第 3 个单选按钮（图 8-30）

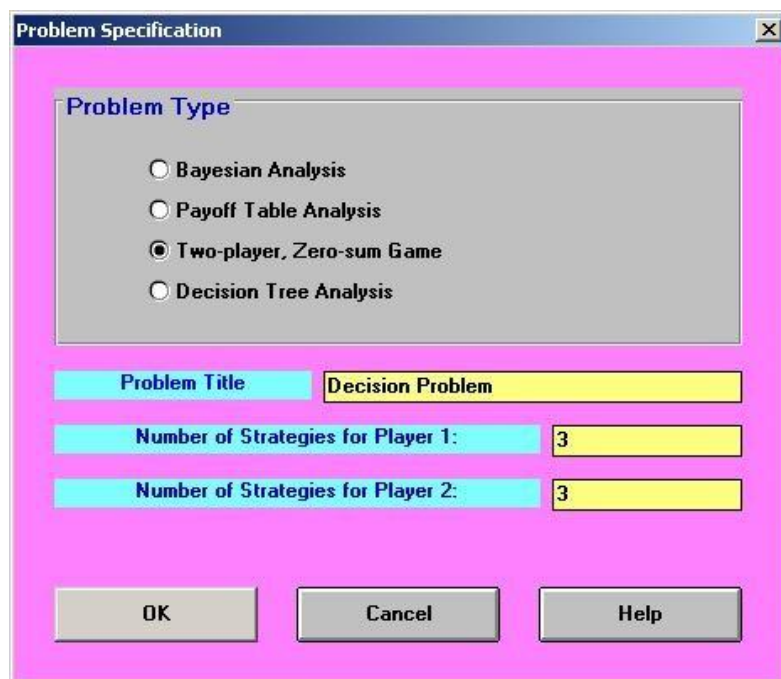


图 8-30

单击 OK，生成数据窗口（图 8-31）

Player1 \ Player2	Strategy2-1	Strategy2-2	Strategy2-3
Strategy1-1	7	2	9
Strategy1-2	2	9	0
Strategy1-3	9	0	11

图 8-31 数据窗口

Solve and Analysis/Solve the Problem, 得运行结果（图 8-32）

09-25-2010	Player	Strategy	Dominance	Elimination Sequence
1	1	Strategy1-1	Not Dominated	
2	1	Strategy1-2	Not Dominated	
3	1	Strategy1-3	Not Dominated	
4	2	Strategy2-1	Not Dominated	
5	2	Strategy2-2	Not Dominated	
6	2	Strategy2-3	Not Dominated	
	Player	Strategy	Optimal Probability	
1	1	Strategy1-1	0.25	
2	1	Strategy1-2	0.50	
3	1	Strategy1-3	0.25	
1	2	Strategy2-1	0.25	
2	2	Strategy2-2	0.50	
3	2	Strategy2-3	0.25	
	Expected	Payoff	for Player 1 =	5

图 8-32 运行结果

即局中人 A 以 0.25、0.5、0.25 的概率使用自己的三个策略；局中人 B 也以 0.25、0.5、0.25 的概率使用自己的三个策略。对策期望值：5。



