

# 钢管订购和运输优化模型

王海涛 张 浩 许 翔

指导教师：谭欣欣

**摘要:** 本文建立一个钢管订购和运输模型，从钢厂到主管道结点的运费是影响总费用的重要因素。为使总费用最小，须使从钢厂到主管道结点的运费——钢管运输费最小。对求网络中最短路径的 Dijkstra 算法进行改进，得到新的算法，可对含多种权重计算方式的网络进行搜索，得出最小费用路径（最短路径）。在此基础上，建立起描述总费用的函数，把钢管的订购和运输问题归结为在一定约束条件下求最小总费用的二次规划问题。用 Matlab 软件中的 QP() 函数求得问题的最优解。

对于问题（1），最小总费用为 129.17 亿元；对于问题（2），钢厂  $S_1$  的产量上限的变化和钢厂  $S_5$  的钢管销价的变化对订购和运输计划及其总费用的影响最大；对于问题（3），最小总费用为 141.83 亿元。

## 一. 问题的提出

要铺设一条输送天然气的主管道  $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_{15}$ ，能生产这种钢管的厂家一共有： $S_1, S_2, \dots, S_7$ 。厂家与管道间的交通网络已知。假设沿管道或者原来有公路，或者建有施工公路。

为方便计算，1km 主管道钢管称为 1 单位钢管。一个钢厂如果承担制造这种钢管，至少需要生产 500 个单位。钢厂  $S_i$  在指定期限内能生产该钢管的最大数量为  $s_i$  个单位，钢厂 1 单位钢管的出厂销价为  $p_i$  万元，如表一（见附录）。

1 单位钢管的铁路运价如表二（见附录），1000km 以上每增加 1 至 100km 运价增加 5 万元。公路运输费用为 1 单位钢管每公里 0.1 万元（不足整公里部分按整公里计算）。钢管可由铁路、公路运往铺设地点（不只是运到主管道结点  $A_1, A_2, \dots, A_{15}$ ，而是管道全线）。

（1）请制定一个主管道钢管的订购和运输计划，使总费用最小（给出总费用）。

（2）请就（1）的模型分析：哪个钢厂钢管的销价的变化对购运计划和总费用影响最大，哪个钢厂钢管的产量的上限的变化对购运计划和总费用的影响最大，并给出相应的数字结果。

（3）如果要铺设的管道不是一条线，而是一个树形图，铁路、公路和管道构成网络，请就这种更一般的情况给出一种解决办法，并对图（2）的情形给出模型和结果。

## 二. 问题的条件和假设

沿管道或者原来有公路，或者建有施工公路。

个钢厂如果承担制造这种钢管，至少需要生产 500 个单位。

本文获“2000 年网易杯全国大学生数学建模竞赛”全国二等奖

感谢您对网站建设一如既往的支持和厚爱

钢管的铺设是全线的，而不只是运到点 $A_1, A_2, \dots, A_{15}$ 。  
 钢厂的钢管销价不随定货量的改变而变化。

### 三. 符号说明

$A_i$	主管道与公路的第 $i$ 个交点，称为结点；
$S_i$	第 $i$ 个钢厂；
$s_i$	钢厂 $S_i$ 在指定期限内生产钢管的最大数量；
$p_i$	由钢厂 $S_i$ 生产的单位钢管的出厂销价；
$X_{ij}$	从钢厂 $S_i$ 运到主管道结点 $A_j$ 的钢管数量；
$C_{ij}$	从钢厂 $S_i$ 运一单位钢管到主管道结点 $A_j$ 的最小费用；
$T_{i1}$	从主管道结点 $A_i$ 向左端铺管道所用钢管的数量；
$T_{i2}$	从主管道结点 $A_i$ 向右端铺管道所用钢管的数量；
$T_{ij}$	从主管道结点 $A_i$ 向 $A_j$ 方向铺管道所用钢管的数量；
$H$	公路单位运费；
$Mat(i,j)$	结点 $i$ 到结点 $j$ 的距离。

### 四. 问题的分析：

总费用由三部分组成：

钢管的订购费。

支付钢厂订购钢管的费用。

因为钢厂生产单位钢管的出厂销价为常量，所以在运费相同的情况下，应从销价低的钢厂订购钢管。

把钢管从钢厂运到主管道结点所需的运费。

我们发现，总费用最小时，把单位钢管从钢厂运到主管道结点的费用也最小。因为，如果存在一条路径，使钢厂到主管道结点的单位钢管运费更小，则从这条路径运输，可使总费用更小。因此，可先对运费进行优化，即先求出把单位钢管从钢厂运到主管道结点的最小费用。这样做，既进行了初步优化，又便于表达运输钢管所需费用的函数。

运到主管道结点后从结点向两边铺设管道的费用。

铺设管道时，存在铺设里程数不为整数的情况。由题意，不足整公里部分按整公里计算。设铺设里程数为 $x$ 。当 $x$ 为整数时，费用为：

$$\frac{1}{2}x(x+1) \cdot H$$

$x$  为非整数时，通过估算可知，铺设管道费用远较订购钢管费用为小，故用上式近似表达铺设管道费用，对总费用而言，引起的偏差很小。

但当 $x$ 较小时是与实际不符的。这时 $x$ 应看作是连续的。费用为：

$$\frac{1}{2}x^2 \cdot H$$

观察图一和图二（图见附录，下略）可知 $x$ 均较大，故可用近似式求解。这样，问题归结为一个二次规划问题。

## 五. 问题（1）的模型的建立和求解

### 1. 求从钢厂 $S_i$ 运单位钢管到主管道结点 $A_j$ 的最小费用

从钢厂 $S_i$ 运单位钢管到主管道结点 $A_j$ 的费用由两部分组成：公路费用和铁路费用。求最小费用，即相当于求最短路径。

Dijkstra 给出一种对只含一种权重计算方式的网络求一结点到其它各结点的最短路径的算法。我们基于其思想，进行加工和改进，得到了对含多种权重计算方式的网络求任意两点间最小费用的算法。具体步骤如下：

建立由火车站构成的图，确定一源火车站，由 Dijkstra 算法给出源火车站到其它火车站的最短路径。

② 改变源火车站，重复 1 的步骤，可得到任意两个火车站间最短路径。

建立由火车站、主管道结点构成的图（如图一）。用 $v_n$ 表示图的第 $n$ 个结点， $e_{i,j}$

表示 $v_i, v_j$ 间的边。任意两点 $v_i, v_j$ ：若 $v_i, v_j$ 间有铁路相连（可经过结点），则认为 $v_i, v_j$ 相连接。把两点间的最短路径（由①，②给出）转化为铁路费用，作为 $e_{i,j}$ 的权。若 $v_i, v_j$ 以公路相连接且不经其它结点，则把两点间公路长度转化为公路费用，作为 $e_{i,j}$ 的权。

④ 对上图，确定一源结点，由 Dijkstra 算法给出源结点到其它各结点的最短路径。

⑤ 改变源结点，可求得任意两个结点间最小费用。

算法由程序（见附录三）实现。在求得任一钢厂到每个主管道结点最小费用的同时，并给出对应的路线。

**分析最小费用路径，除去无用结点。**

观察最小费用路径，发现主管道结点 $A_2$ 总在任意钢厂 $S_i$ 到 $A_1$ 最小费用路径上。同样，主管道结点 $A_5$ 也总在任意钢厂 $S_i$ 到 $A_4$ 最小费用路径上。因为所求路径表示的是最小费用路径，所以对于 $A_1$ 和 $A_4$ 这样的点，就可以认为它们是无用的铺设结点。从而 $A_1A_2$ 间的管道，全部由 $A_2$ 向 $A_1$ 铺设；同样 $A_3A_4, A_4A_5$ 间的管道，全部由 $A_3, A_5$ 向 $A_4$ 铺设。即： $T_{2,1}$ 为常数，等于 $A_2, A_1$ 间的距离； $T_{1,2}$ 为常数，等于 0。这样就可简化网络为 $S_1 \cdots S_7$ 与 $A_2 A_3 A_5 \cdots A_{15}$ 这 13 个铺设点间的最小费用。

**把原问题归结为最优化问题**

钢管的订购费：
$$\sum_{i=1}^7 [(\sum_{j=1}^{13} X_{ij}) \cdot p_i]$$

把钢管从钢厂运到主管道结点所需的运费：
$$\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{13} X_{ij} C_{ij}$$

从主管道结点向两边铺设管道的费用：
$$\sum_{i=1}^7 \frac{1}{2} [T_{i1}(T_{i1}+1) + T_{i2}(T_{i2}+1)] \cdot H$$

所以钢管订购和运输的总费用为：

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{13} X_{ij} C_{ij} + \sum_{i=1}^7 [(\sum_{j=1}^{13} X_{ij}) \cdot p_i] + \sum_{i=1}^7 \frac{1}{2} [T_{i1}(T_{i1}+1) + T_{i2}(T_{i2}+1)] \cdot H$$

有如下约束条件：

1. 钢厂的订购量有其上限和下限：

$$\text{当} \sum_{j=1}^{13} X_{ij} \geq 500 \text{ 时有 } 500 \leq \sum_{j=1}^{13} X_{ij} \leq s_i;$$

$$\text{当} \sum_{j=1}^{13} X_{ij} < 500 \text{ 时有 } \sum_{j=1}^{13} X_{ij} = 500 \text{ 或 } \sum_{j=1}^{13} X_{ij} = 0$$

定义函数：Sub (X) 来表示上述关系。

2. 运抵结点的钢管数等于从结点向两端铺设的钢管数：

$$T_{j1} + T_{j2} = \sum_{i=1}^7 X_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, 15)$$

3. 运抵结点的钢管数等于从结点向两端铺设的钢管数：

设 $A_i$ 在 $A_j$ 的左方且相邻，则从 $A_i$ 向右铺设的钢管数与从 $A_j$ 向左铺设的钢管数之和等于 $A_i A_j$ 间的距离。即：

$$T_{i2} + T_{i+1,1} = mat(i, i+1) \quad (i = 1, 2, \dots, 14) \quad \text{其中, } mat(i, i+1) \text{ 表示 } A_i \text{ 到 } A_{i+1} \text{ 的距离。}$$

于是问题 (1) 归结为如下最优化问题：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{15} X_{ij} C_{ij} + \sum_{i=1}^7 [(\sum_{j=1}^{15} X_{ij}) \cdot p_i] + \sum_{i=1}^7 \frac{1}{2} [T_{i1}(T_{i1} + 1) + T_{i2}(T_{i2} + 1)] \right\} \\ \text{s.t.} \quad sub(X_i) \\ T_{j1} + T_{j2} = \sum_{i=1}^7 X_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, 15) \\ T_{i2} + T_{i+1,1} = mat(i, i+1) \quad (i = 1, 2, \dots, 14) \end{array} \right.$$

#### 4 优化求解

利用 MATLAB 工具箱中的 QP 函数求问题 (1) 这一二次规划问题的最优解。先把各变量的下限设为 0，求出在无约束条件下的最优解；以该解为初始点进行分析：

我们发现： $S_7$  厂的订购量不满足 Sub(x) 函数的条件。因此，为满足该条件，我们分别对两种情形分析，得出最优解列如下表：

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	订购总数
S <sub>1</sub>	0	0	0	0	349.5	194	256.5	0	0	0	0	0	0	0	0	800
S <sub>2</sub>	0	104	86	0	450.5	0	0	159.5	0	0	0	0	0	0	0	800
S <sub>3</sub>	0	0	252	0	0	0	0	0	748	0	0	0	0	0	0	1000
S <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>5</sub>	0	0	519	0	0	0	0	0	0	0	480	0	0	0	0	999
S <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402	0	40	268	782	80	1572
S <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
***	0	104	857	0	800	194	256.5	159.5	748	402	480	40	268	782	80	5171
*																
总费用：								1291698 万元								

\*\*\*：表示所有钢厂运到主管道结点的钢管总长度。

## 六. 问题（2）的分析

### ①钢厂钢管产量上限的变化对购运计划和总费用的影响分析：

由问题（1）的解，我们可以看出：只有  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  三厂的订购量达到各自的上限，故产量上限的变化只对这三个厂有影响。进行灵敏度分析，保持两个厂产量上限不变，另一个厂的产量上限分别增加：2%，4%，6%，8%，10%。求得的最小总费用如下表：

单位：万元

	2%	4%	6%	8%	10%
$S_1$	1290050	1288402	1286754	1285106	1283458
$S_2$	1291138	1290578	1290018	1289458	1288898
$S_3$	1291198	1290698	1290198	1289698	1289198

由计算结果可以看出：钢厂  $S_1$  的产量上限的变化对购运计划和总费用的影响最大。

### ②钢厂钢管销价的变化对购运计划和总费用的影响分析：

当钢厂钢管销价的变化时，进行灵敏度分析，保持六个钢厂的钢管销价不变，另一钢厂的钢管销价分别增加：5 万元，10 万元。得到相应的最小总费用如下表：

单位：万元

钢管销价	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
+5	1295698	1295698	1296698	1291698	1296693	1297788	1291698
+10	1299698	1299698	1301698	1291698	1300008	1299938	1291698

可见，钢厂  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  因为订购量达到上限，故钢管销价的变化对最小总费用影响较大。钢厂  $S_5$  的钢管销价的改变引起最小总费用的变化也比较快，但随销价升高，订购量变小。钢厂  $S_4$ 、 $S_7$  因为订购量为零，故对最小总费用无影响。

## 七. 问题（3）的求解

当主管道由直线变为树形图，铁路、公路和管道构成的网络时，求从钢厂  $S_i$  运单位钢管到主管道结点  $A_i$  的最小费用的算法仍旧适用，求解问题（1）的思想也适合于求解问题（3），但有些细节问题需要注意（见附录三）。

主管道变为图后，有些结点有多个分岔，即可向多个相邻结点铺设管道，将导致未知数的增加。在分析最小费用路径来去掉无用点时，有些结点起到中转作用，如主管道结点  $A_{11}$ 。这时， $A_{17}$  经  $A_{11}$  向  $A_{10}$ ， $A_{12}$  铺设管道，其运钢管的费用比  $T_{17,10}$ ， $T_{17,12}$  多一段经  $A_{17}$  到  $A_{11}$  的费用（这里  $T_{17,10}$  表示由  $T_{17}$  运到  $T_{11}$  的钢管经  $T_{11}$  向  $T_{10}$  铺设的长度； $T_{17,12}$  也同理）。这将导致目标函数中经  $A_{11}$  向  $A_{10}$ ， $A_{12}$  铺设管道铺设费用项的表达式变为：

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{1}{2} [(T_{17,10} + 1) \cdot T_{17,10} + T_{17,12} \cdot (T_{17,12} + 1)] + \text{mat}(17,11) \cdot (T_{17,10} + T_{17,12}) \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} (\text{mat}(17,11) + 1) \cdot \text{mat}(17,11) \right] \cdot H \end{aligned}$$

用 Matlab 中的 QP( ) 函数进行求解，得：

$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	最小总费用
800	800	1000	0	1303	2000	0	1418319 万元

## 八. 模型的评价和改进

我们在建立模型和构造算法时对各种可能的情况都进行了考虑, 故模型的一般性很强, 能够求解由铁路、公路构成的交通网络的钢管订购和运输的最优化问题, 给出订购计划, 最佳运输路径和铺设管道方式。这种处理方法, 对于更一般的运输和分配问题, 也是适用的。

目标函数中, 在处理铺设管道费用时有些草率, 仅采用近似表达式计算。如能采用更为精确的表达式且使问题仍能可解, 可得到更优的解。

### 参考文献:

- [1] 张志涌 刘瑞桢 杨祖婴, 掌握和精通 MATLAB, 北京航空航天大学出版社, 北京, 1997.
- [2] 严蔚敏 吴伟民, 数据结构, 清华大学出版社, 北京, 1992.

## 附录：

### 附录 一、

表一

I	1	2	3	4	5	6	7
$S_i$	800	800	1000	2000	2000	2000	3000
$P_i$	160	155	155	160	155	150	160

表二

里程(km)	$\leq 300$	301~350	351~400	401~450	451~500
运价 (万元)	20	23	26	29	32
里程(km)	501~600	601~700	701~800	801~900	901~10000
运价 (万元)	37	44	50	55	60

### 附录 二、Matlab 函数的说明

Matlab 中的  $qp()$  函数被用来进行二次规划求解，它的使用格式是：

$X=qp(H,C,A,B,VLB,VUB,X0,n)$

各参数的意义:  $F(x)=X'*H*X+C*X$

$$A*X \leq B$$

$$VLB \leq X \leq VUB$$

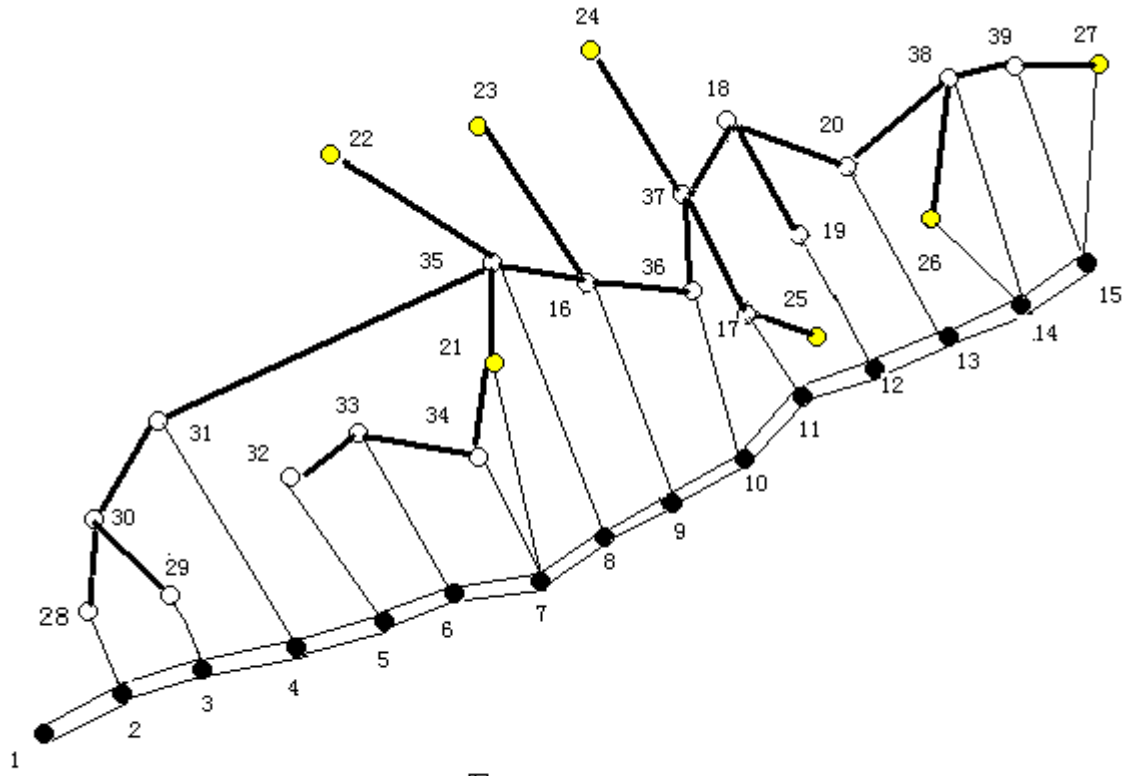
$n$  表示条件中的前  $n$  个为等式。

### 附录 三、图和源程序对原附图的结点进行编号得到如下二图。

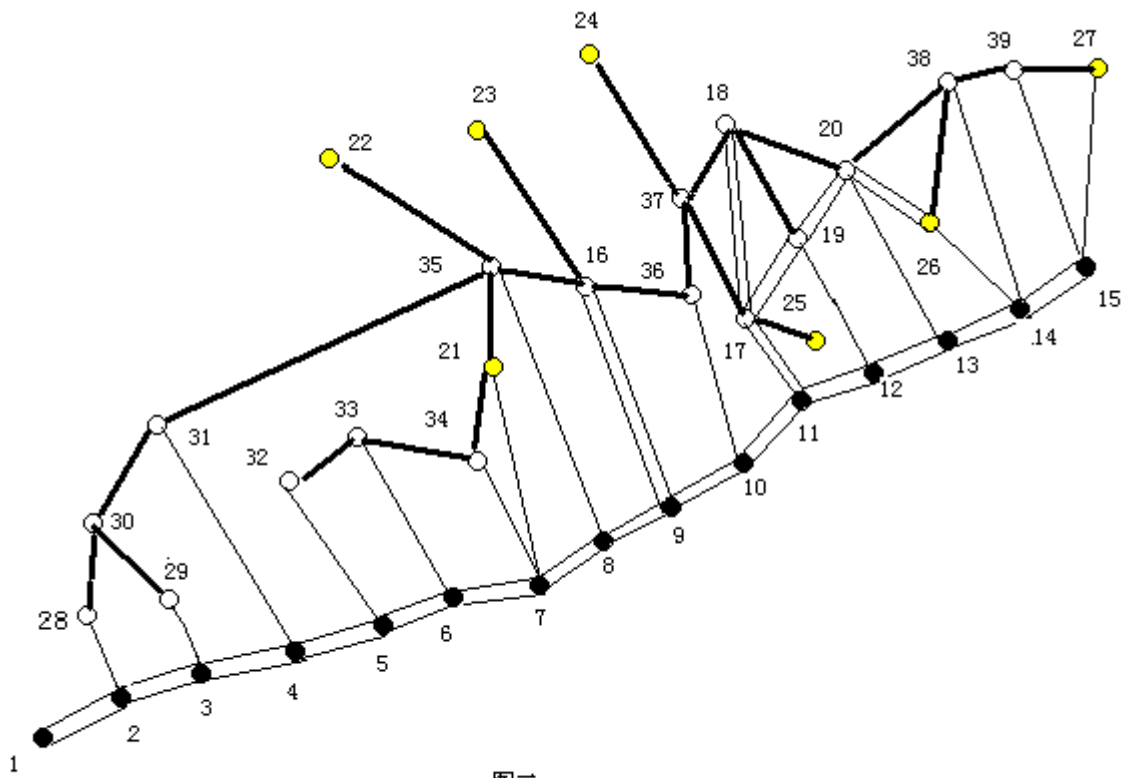
程序从数据文件  $d:\mat\_load\_1.txt$  ( $d:\mat\_load\_2.txt$ ) 中读取数据，经过运算后得到任一钢厂到每个主管道结点最小费用及相应的路线，分别存入数据文件：

$d\backslash result\_1.txt$  ( $d\backslash result\_2.txt$ ) 和  $d\backslash HighwayPath\_1.txt$  ( $d\backslash HighwayPath\_2.txt$ ) 中。

文件名中， $\_1$  表示对问题一求解， $\_2$  表示对问题三求解。给出的源程序可对问题一求解，把源程序中的所有的  $\_1$  替换为  $\_2$  便可实现对问题三的求解。



图一



图二



```

' *****
'Need input Number of Vex.
'File: mat_load_i
' The First Row:the number of Edge.
' The rest Row:
' Vex i, Vex j, Length(i, j), State(i, j)
' *****

' n is the number of vex.
Public n As Integer
Dim Dist() As urlValue
Dim OKSet() As Integer

Private Sub cmdMinWay_Click()
Dim i As Integer, j As Integer

' v is the beginning point.
Dim v As Integer
' w is the minimum point.
Dim w As Integer
Dim iI As Integer, iJ As Integer
Dim iNum As Integer
Dim Mat() As urlValue

' 输入结点数:
n = InputBox("Input number of vex:")
ReDim OKSet(1 To n) As Integer
ReDim Dist(1 To n) As urlValue
ReDim Mat(1 To n, 1 To n) As urlValue

For i = 1 To n
For j = 1 To n
Mat(i, j).Value = Infin
Mat(i, j).State = -1
Next j
Next i

' *****
' DataFileName is mat_load_1.txt.
' *****
Open "d:\mat_load_1.txt" For Input As #1
Input #1, iNum
For i = 1 To iNum
Input #1, iI, iJ, mvalue, mstate

If mstate = 0 Then
Mat(iI, iJ).Value = mvalue
Mat(iI, iJ).State = 0
Mat(iJ, iI).Value = mvalue
Mat(iJ, iI).State = 0
End If
Next i
Close #1

Open "d:\RailwayPath_1.txt" For Output As #1
Close #1

' v is beginning point.
' v:Steel Factory.
For v = 16 To n

For i = 1 To n
Dist(i).Value = Mat(v, i).Value
If Mat(v, i).State = 0 Then
Dist(i).Previous = v
Else
Dist(i).Previous = 0
End If
OKSet(i) = 0
Next i

OKSet(v) = 1
Dist(v).Value = 0

For i = 1 To n - 1

' find minimat.
Dim mI As Integer, mTemp As Integer
Dim mC As Double ' mC:Yunfee.
mTemp = Infin
For mI = 1 To n
mC = Dist(mI).Value
If OKSet(mI) = 0 And mC <= mTemp Then
mTemp = mC
w = mI
End If
Next mI

' return w.
OKSet(w) = 1

```

```

For j = 1 To n
    If OKSet(j) = 0 Then
        If
            Dist(w).Value+Mat(w, j).Value<Dist(j).Value Then
                Dist(j).Value = Dist(w).Value +
                Mat(w, j).Value
                Dist(j).Previous = w
            End If
        End If
    Next j
Next i

For i = 1 To n
    Mat(v, i).Value = Dist(i).Value
    Mat(i, v).Value = Dist(i).Value
    Mat(v, i).State = 0
    Mat(i, v).State = 0
Next i

Open "d:\RailwayPath_1.txt" For
Append As #1
    'Print #1, "The Steel Factory is:";
v
    For i = 1 To n
        fi = Dist(i).Previous
        If fi = 0 Then
            GoTo ab:
        End If

        If i >= v Then

            Print #1, i; fi;
            Do While fi > 0
                If Dist(fi).Previous = 0 Then Exit Do
                Print #1, Dist(fi).Previous;
                fi = Dist(fi).Previous
            Loop
            Print #1, ""

        Else

            Dim ttt As Integer
            ttt = 1
            spath = OutputRailway(v, i)

            Open "d:\temppath.txt" For Output As #5
            Print #5, spath
            Close #5

            Open "d:\temppath.txt" For Input As #5
            Do While Not EOF(5)
                Input #5, ispath(ttt)
                ttt = ttt + 1
            Loop
            Close #5

            Open "d:\railwaypath_1.txt" For Append
            As #1
                'Print ttt, spath
                'Stop
                For ttt = ttt - 1 To 1 Step -1
                    Print #1, ispath(ttt);
                Next ttt
                Print #1, v
            End If

            ab:
            Next i
        Close #1

    Next v

    Open "d:\mat_load_1.txt" For Input As #1
    Input #1, iNum
    For i = 1 To iNum
        Input #1, iI, iJ, mvalue, mstate
        If mstate = 1 Then
            Mat(iI, iJ).Value = mvalue
            Mat(iI, iJ).State = mstate
            Mat(iJ, iI).Value = mvalue
            Mat(iJ, iI).State = mstate
        End If
    Next i
    Close #1

    Open "d:\modeldata_1.txt" For Output As #1

```

```

Print #1, n
For i = 1 To n
For j = 1 To n
Print #1, i; j; Mat(i, j).Value; Mat(i, j).State
Next j
Next i
Close #1

Print "End"
End Sub

Private Sub Form_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 27 Then End
End Sub

Private Sub Form_Load()
With frmInitMatrix
.Left = (Screen.Width - .Width) / 2
.Top = (Screen.Height - .Height) / 2
End With
End Sub

' *****
' Structure of modeldata:
' The first row: n:number of vex.
' The rest row: Matrix(i, j)
' *****

Dim n As Integer

Private Sub cmdMinWay_Click()
Dim i As Integer, j As Integer
' v is the beginning point.
Dim v As Integer
' w is the minimum point.
Dim w As Integer
Dim iL As Integer, iJ As Integer
Dim fi As Integer
Dim Dist() As urlValue
Dim OKSet() As Integer
Dim Mat() As urlValue

Open "d:\result_1.txt" For Output As #1
Close #1
Open "d:\HighwayPath_1.txt" For Output As #1
Close #1

' *****
' SourceDataFile: modeldata_1.txt
Open "d:\modeldata_1.txt" For Input As #1
Input #1, n
ReDim Dist(1 To n) As urlValue
ReDim OKSet(1 To n) As Integer
ReDim Mat(1 To n, 1 To n) As urlValue

For i = 1 To n * n
Input #1, iL, iJ, mvalue, mstate
If mstate = -1 Then mstate = 0
Mat(iL, iJ).Value = mvalue
Mat(iL, iJ).State = mstate
' Mat(iJ, iL).Value = mvalue
' Mat(iJ, iL).State = mstate
Next i

Close #1

' v = 1 'v is beginning point.
For v = 21 To 27

For i = 1 To n
Dist(i).Previous = v
If Mat(v, i).State = 1 Then
Dist(i).Value = TranFee(Mat(v, i).Value, 1)
Dist(i).State = 2
Else
Dist(i).Value = TranFee(Mat(v, i).Value, 0)
Dist(i).State = 2
End If
OKSet(i) = 0
Next i

OKSet(v) = 1
Dist(v).Value = 0
' From railway.
Dist(v).State = 0

```

```

For i = 1 To n - 1
    ' find minimat.
    Dim mI As Integer, mTemp As Integer
    Dim mC As Double ' mC:Yunfee.
    mTemp = Infin
    For mI = 1 To n
        mC = TranFee(Dist(mI).Value, Dist(mI).State)
        If OKSet(mI) = 0 And mC <= mTemp Then
            mTemp = mC
            w = mI
        End If
    Next mI
    ' return w.
    OKSet(w) = 1
    For j = 1 To n
        If OKSet(j) = 0 Then
            ' Yunfee
            Dim yFee As Double
            Dim mY As Double
            ' Dist(w).state is same as Mat(w, j).state.
            If Dist(w).State = 0 And Mat(w, j).State = 0 Then
                If TranFee(Dist(w).Value + Mat(w, j).Value, 0) <
                    TranFee(Dist(j).Value, Dist(j).State) Then
                    Dist(j).Value = Dist(w).Value + Mat(w,
j).Value
                    Dist(j).State = 0
                    Dist(j).Previous = w
                End If
            Else
                mY = TranFee(Dist(w).Value, Dist(w).State) _
                + TranFee(Mat(w, j).Value, Mat(w, j).State)
                If mY < TranFee(Dist(j).Value,
Dist(j).State) Then
                    Dist(j).Value = mY
                    Dist(j).State = 2
                    Dist(j).Previous = w
                End If
            End If
        End If
    Next j
Next i
' Output to result.txt.
Open "d:\result_1.txt" For Append As #1
For i = 1 To n
    Print #1, v; i; Dist(i).Value, Dist(i).State, Dist(i).Previous
Next i
Close #1
Open "d:\HighwayPath_1.txt" For Append As
#1
Print #1, "The Steel Factory is:"; v
For i = 1 To n
    fi = Dist(i).Previous
    Print #1, i;
    If fi = v Then
        If Mat(i, v).State = 0 Then
            ' Railway output i-->v.
            Print #1, OutputRailway(i, v)
        GoTo ab:
    End If
    End If
    Do While fi <> v
        Print #1, fi;
        If Dist(fi).Previous = v Then
            If Mat(fi, v).State = 0 Then
                ' Railway output fi-->v
                Print #1, OutputRailway(fi, v)
            GoTo ab:
        End If
    Exit Do
    End If
    fi = Dist(fi).Previous
Loop
Print #1, v
ab:
Next i
Close #1
Next v
Print "End"
End Sub

Private Sub Form_KeyPress(KeyAscii As
Integer)
    If KeyAscii = 27 Then End
End Sub

Private Sub Form_Load()
    With frmMCM
        .Left = (Screen.Width - .Width) / 2
        .Top = (Screen.Height - .Height) / 2
    End With
End Sub

```

```

*****
**          mobule          **
*****

Public Const Infin As Integer = 10000
Type urlValue
    Previous As Integer
    Cost As Double
    Value As Double
    State As Integer
End Type
'State:
'-1:NoWay      0: RailWay
'1: HighWay    2: YunFee
Sub main()
Dim sName As String
sName = InputBox("Input frmInit or frmMCM:")

Do While True
If sName = "frmInit" Or sName = "frminit" Then
    frmInitMatrix.Show
    Exit Do
ElseIf sName = "frmMCM" Or sName = "frmmcm" Then
    frmMCM.Show
    Exit Do
End If
Loop
End Sub

Function TranFee(rDist As Double, iState As Integer)
Dim rFee As Double
Select Case iState
Case 0
    Select Case rDist
    Case Is <= 300
        rFee = 20
    Case Is <= 350
        rFee = 23
    Case Is <= 400
        rFee = 26
    Case Is <= 450
        rFee = 29
    Case Is <= 500
        rFee = 32
    Case Is <= 600
        rFee = 37
    Case Is <= 700
        rFee = 44
    Case Is <= 800
        rFee = 50
    Case Is <= 900
        rFee = 55
    Case Is <= 1000
        rFee = 60
    Case Else
        rFee = Int((rDist - 901) / 100) * 5 + 60
    End Select
Case 1
    rFee = 0.1 * rDist
Case 2
    rFee = rDist
End Select
TranFee = rFee
End Function

Function OutputRailway(cFi As Integer, cv As Integer) As String
Dim cBegin As Integer, cEnd As Integer
Dim cString As String
Dim cLength As Integer
Dim cLastS As String
cLastS = "end"
Open "d:\RailwayPath_1.txt" For Input As #2
Do Until EOF(2)
Line Input #2, cString
cString = Trim(cString)
cLength = Len(cString)
cBegin = Val(Mid(cString, 1, 2))
cEnd = Val(Mid(cString, cLength - 1, 2))
If cFi = cBegin And cv = cEnd Then
    cLastS = Mid(cString, 4, cLength - 2)
    Exit Do
End If
Loop
Close #2

OutputRailway = cLastS
End Function

```

#### 附录 四、数据文件格式说明及部分文件

数据文件 d:\mat\_load\_1.txt (d:\mat\_load\_2.txt) 的格式为:

第一行: 图中边的条数

以下每行: 结点 结点 两点间距离 道路类型

例如: 28 38 450 0

(道路类型| -1: 两结点不相邻; 0: 铁路; 1: 公路; 2: 两点间距离为运费)

数据文件 d\result\_1.txt (d:\result\_2.txt) 的格式为:

每行: 结点 结点 两点间最小费用

例如: 21 1 170.7

数据文件 d:\HighwayPath\_1.txt(d:\HighwayPath\_2.txt) 的格式为:

每行: 起始点 途经点 终点

例如: 1 2 28 30 31 35 21

result\_1.txt: (问题 (1) 钢厂到各铺设点的最小运费)

21	1	170.7	23	1	24	15	97	26	14	11
21		2	230.7		25		1	26	15	28
160.3			23	2	255.7			27		1
21		3	220.3		25		2	275.7		
140.2			23	3	245.3			27		2
21	4	98.6	200.2		25		3	265.3		
21	5	38	23	4	225.2			27		3
21	6	20.5	181.6		25		4	245.2		
21	7	3.1	23	5	206.6			27		4
21	8	21.2	121		25	5	146	226.6		
21	9	64.2	23	6	25		6	27	5	166
21	10	92	105.5		130.5			27		6
21	11	96	23	7	96	25	7	121	150.5	
21	12	106	23	8	25		8	27	7	141
21		13	86.2		111.2			27		8
121.2			23	9	25	9	79.2	131.2		
21	14	128	48.2		25	10	57	27	9	99.2
21	15	142	23	10	25	11	33	27	10	76
22		1	82		25	12	51	27	11	66
215.7			23	11	25		13			
22		2	86		71.2					
205.3			23	12	25	14	73			
22		3	96		25	15	87			
190.2			23	13	26		1			
22		4	111.2		265.7					
171.6			23	14	26		2			
22	5	111	118		255.3					
22	6	95.5	23	15	26		3			
22	7	86	132		235.2					
22	8	71.2								

Result\_2.txt: (问题 (3) 钢厂到各铺设点的最小运费)

21	1	170.7	23	3	200.2	25	5	146	27	8	131.2
21	2	160.3	23	4	181.6	25	6	130.5	27	9	99.2
21	3	140.2	23	5	121	25	7	121	27	10	76
21	4	98.6	23	6	105.5	25	8	111.2	27	11	64
21	5	38	23	7	96	25	9	79.2	27	12	56
21	6	20.5	23	8	86.2	25	10	57	27	13	38.2
21	7	3.1	23	9	48.2	25	11	33	27	14	26
21	8	21.2	23	10	82	25	12	51	27	15	2
21	9	64.2	23	11	86	25	13	71.2	27	16	95
21	10	92	23	12	96	25	14	73	27	17	63
21	11	96	23		13	25	15	87	27	18	50
21	12	106	111.2			25	16	75	27	19	55
21		13	23	14	118	25	17	32	27	20	32
121.2			23	15	132	25	18	45	27	26	26
21	14	128	23	16	44	25	19	50			
21	15	142	23	17	85	25	20	65			
21	16	60	23	18	90	25	26	75			
21	17	95	23	19	95	26	1	260.7			
21	18	100	23	20	105	26	2	250.3			
21	19	105	23	26	115	26	3	235.2			
21	20	115	24	1	260.7	26	4	216.6			
21	26	125	24	2	250.3	26	5	156			
22	1	215.7	24	3	235.2	26	6	140.5			
22	2	205.3	24	4	216.6	26	7	128.1			
22	3	190.2	24	5	156	26	8	116.2			
22	4	171.6	24	6	140.5	26	9	84.2			
22	5	111	24	7	131	26	10	61			
22	6	95.5	24	8	116.2	26	11	47			
22	7	86	24	9	84.2	26	12	37			
22	8	71.2	24	10	62	26	13	16.2			
22	9	114.2	24	11	51	26	14	11			
22	10	142	24	12	61	26	15	28			
22	11	146	24	13	76.2	26	16	80			
22	12	156	24	14	83	26	17	46			
22		13	24	15	97	26	18	33			
171.2			24	16	80	26	19	36			
22	14	178	24	17	50	26	20	10			
22	15	192	24	18	55	27	1	275.7			
22	16	110	24	19	60	27	2	265.3			
22	17	145	24	20	70	27	3	245.2			
22	18	150	24	26	80	27	4	226.6			
22	19	155	25	1	255.7	27	5	166			
22	20	165	25	2	245.3	27	6	150.5			
22	26	175	25	3	225.2	27	7	141			

HighwayPath\_1: (问题(1) 钢厂到各铺设点的最小运费路径)

The Steel Factory is: 21

1 2 28 30 31 35 21  
2 28 30 31 35 21  
3 29 30 31 35 21  
4 5 32 33 34 21  
5 32 33 34 21  
6 33 34 21  
7 21  
8 35 21  
9 16 35 21  
10 36 16 21  
11 17 16 21  
12 19 18 21  
13 20 18 21  
14 38 16 21  
15 39 16 21

The Steel Factory is: 22

1 2 28 30 31 35 22  
2 28 30 31 35 22  
3 29 30 31 35 22  
4 5 32 21 22  
25 32 21 22  
6 33 21 22  
7 34 21 22  
8 35 22  
9 16 35 22  
10 36 16 22  
11 17 16 22  
12 19 18 22  
13 20 18 22  
14 38 16 22  
15 39 16 22

The Steel Factory is: 23

1 2 28 16 23  
2 28 16 23  
3 29 16 23  
4 5 32 16 23  
5 32 16 23  
6 33 16 23  
7 34 16 23  
8 35 16 23  
9 16 23

10 36 16 23

11 17 16 23  
12 19 18 23  
13 20 18 23  
14 38 16 23  
15 39 16 23

The Steel Factory is: 24

1 2 28 16 24  
2 28 16 24  
3 29 16 24  
4 5 32 16 24  
5 32 16 24  
6 33 16 24  
7 34 16 24  
8 35 16 24  
9 16 36 37 24

10 36 37 24

11 17 37 24  
12 19 18 24  
13 20 18 24  
14 38 18 24  
15 39 18 24

The Steel Factory is: 25

1 2 28 17 25  
2 28 17 25  
3 29 17 25  
4 5 32 17 25  
5 32 17 25  
6 33 17 25  
7 34 17 25  
8 35 17 25  
9 16 36 37 17 25

10 36 17 25

11 17 25  
12 19 18 25  
13 20 18 25  
14 38 17 25  
15 39 17 25

The Steel Factory is: 26

1 2 28 20 26  
2 28 20 26  
3 29 20 26



4 5 32 20 26	12 19 18 21
5 32 20 26	13 20 18 21
6 33 20 26	14 38 16 21
7 34 20 26	15 39 16 21
8 35 20 26	16 35 21
9 16 36 37 18 20 38 26	17 16 21
10 36 20 26	18 16 21
11 17 37 18 20 38 26	19 18 21
12 19 18 26	20 18 21
13 20 38 26	26 20 18 21
14 26	The Steel Factory is: 22
15 39 38 26	1 2 28 30 31 35 22
The Steel Factory is: 27	2 28 30 31 35 22
1 2 28 20 27	3 29 30 31 35 22
2 28 20 27	4 5 32 21 22
3 29 20 27	5 32 21 22
4 5 32 20 27	6 33 21 22
5 32 20 27	7 34 21 22
6 33 20 27	8 35 22
7 34 20 27	9 16 35 22
8 35 20 27	10 36 16 22
9 16 36 37 18 20 38 39	11 17 16 22
27	12 19 18 22
10 36 39 15 27	13 20 18 22
11 17 37 18 20 38 39 27	14 38 16 22
12 19 18 27	15 39 16 22
13 20 38 39 27	16 35 22
14 38 39 27	17 16 22
15 27	18 16 22
	19 18 22
HighwayPath_2.txt:	20 188 22
(问题(3) 钢厂到各铺设点的最小运费	26 20 18 22
路径)	The Steel Factory is: 23
The Steel Factory is: 21	1 2 28 16 23
1 2 28 30 31 35 21	2 28 16 23
2 28 30 31 35 21	3 29 16 23
3 29 30 31 35 21	4 5 32 16 23
4 5 32 33 34 21	5 32 16 23
5 32 33 34 21	6 33 16 23
6 33 34 21	7 34 16 23
7 21	8 35 16 23
8 35 21	9 16 23
9 16 35 21	10 36 16 23

12 19 18 21  
13 20 18 21  
14 38 16 21  
15 39 16 21  
16 35 21  
17 16 21  
18 16 21  
19 18 21  
20 18 21  
26 20 18 21

The Steel Factory is: 22

1 2 28 30 31 35 22  
2 28 30 31 35 22  
3 29 30 31 35 22  
4 5 32 21 22  
5 32 21 22  
6 33 21 22  
7 34 21 22  
8 35 22  
9 16 35 22  
10 36 16 22  
11 17 16 22  
12 19 18 22  
13 20 18 22  
14 38 16 22  
15 39 16 22  
16 35 22  
17 16 22  
18 16 22  
19 18 22  
20 188 22  
26 20 18 22

The Steel Factory is: 23

1 2 28 16 23  
2 28 16 23  
3 29 16 23  
4 5 32 16 23  
5 32 16 23  
6 33 16 23  
7 34 16 23  
8 35 16 23  
9 16 23  
10 36 16 23  
11 17 16 23

12 19 18 23  
13 20 18 23  
14 38 16 23  
15 39 16 23  
16 23  
17 16 23  
18 16 23  
19 18 23  
20 18 23  
26 16 23

The Steel Factory is: 24

1 2 28 16 24  
2 28 16 24  
3 29 16 24  
4 5 32 16 24  
5 32 16 24  
6 33 16 24  
7 34 16 24  
8 35 16 24  
9 16 36 37 24  
10 36 37 24  
11 17 37 24  
12 19 18 24  
13 20 18 24  
14 38 18 24  
15 39 18 24  
16 36 37 24  
17 37 24  
18 37 24  
19 18 24  
20 18 24  
26 18 24

The Steel Factory is: 25

1 2 28 17 25  
2 28 17 25  
3 29 17 25  
4 5 32 17 25  
5 32 17 25  
6 33 17 25  
7 34 17 25  
8 35 17 25  
9 16 36 37 17 25  
10 36 17 25  
11 17 25

12	19	18	25	
13	20	18	25	
14	38	17	25	
15	39	17	25	
16	36	37	17	25
17	25			
18	17	25		
19	18	25		
20	18	25		
26	17	25		

12	19	18	27				
13	20	38	39	27			
14	38	39	27				
15	27						
16	36	37	18	20	38	39	27
17	18	20	38	39	27		
18	20	38	39	27			
19	18	27					
20	38	39	27				
26	38	39	27				

The Steel Factory is: 26

1	2	28	20	26				
2	28	20	26					
3	29	20	26					
4	5	32	20	26				
5	32	20	26					
6	33	20	26					
7	21	20	26					
8	35	20	26					
9	16	36	37	18	20	38	26	
10	36	20	26					
11	17	18	20	26				
12	19	20	26					
13	20	26						
14	26							
15	39	38	26					
16	36	37	18	20	38	26		
17	18	20	26					
18	20	26						
19	20	26						
20	26							
26	end							

The Steel Factory is: 27

1	2	28	20	27				
2	28	20	27					
3	29	20	27					
4	5	32	20	27				
5	32	20	27					
6	33	20	27					
7	34	20	27					
8	35	20	27					
9	16	36	37	18	20	38	39	

27

10	36	39	15	27		
11	17	18	20	38	39	27

