

# 用物元理论评价 NGL 回收方案环境质量

赵 欧<sup>1</sup> 张 鹏<sup>1</sup> 张 犇<sup>1</sup> 刘永茜<sup>2</sup>

1.西南石油大学,四川 成都 610500

2.中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司,四川 成都 610017

## 摘要:

天然气凝液回收是天然气集输工程中的一项重要工程,回收方案多种多样,各有利弊。为此,以传统意义上的天然气凝液回收的方法,即吸附法、油吸收法、低温分离法、膜分离法为例,根据物元理论,结合我国天然气凝液回收系统决策要素的特点,建立了关联函数和物元环保决策矩阵,探讨物元环保决策模型,进行了应用实践,旨在为环保决策提供一种简便实用的评价选择方法。最后经过理论分析,得出采用低温分离法综合关联函数值最大,为天然气凝液回收的最优环保决策方案。通过物元理论对回收方案进行决策,结果与实际吻合良好。

## 关键词:

天然气凝液回收;物元;关联函数;决策模型

## 文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)06-0030-04

## 0 前言

天然气凝液是从天然气中回收C<sub>2</sub>的烃类混合物的总称,国外简称NGL(Natural Gas Liquids)。天然气凝液回收有利于改善天然气质量,降低烃露点,防止在管输中有液态烃凝结,回收凝液的产品是重要的民用燃料和化工原料。因此,NGL有很高的回收利用价值和经济效益,但不予分离有可能对天然气集输等过程产生不良影响<sup>[1]</sup>。

鉴于天然气凝液回收的重要性,应当对凝液的回收采取恰当的分离方法。而对于天然气凝液回收方案的决策尤为重要,一般情况下,回收方案有:吸附法、油吸收法、低温分离法和膜分离法<sup>[1]</sup>。实践证明,科学合理的环境决策,不仅可以节省环境投资费用,提高投资效益,而且是进行环境科学管理、科学规划的重要保证<sup>[2-5]</sup>。在天然气凝液回收环境决策时,一般可以从环保的技术性和经济性等方面进行,具体可以从环

保的工程投资、运行费用、回收能力、回收效果等要素进行决策和评价,以选择合适的环保决策方案或措施。但是,由于这些决策要素具有模糊性和不可比拟性,给环保决策带来了不少困难,而采用物元理论决策法以处理凝液回收这类多要素、非定量化条件的复杂情况,具有明显的科学性和简洁性,效果很好。

## 1 物元理论环保决策的数学模型

### 1.1 建立物元环保决策矩阵<sup>[6]</sup>

#### 1.1.1 理想环保决策方案物元矩阵R<sub>0</sub>

$$R_0 = (S_0, T_i, x_{0i}) = \begin{bmatrix} S_0 & T_1 & x_{01} \\ & T_2 & x_{02} \\ & \dots & \dots \\ & T_n & x_{0n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 & T_1 & (a_{01}, b_{01}) \\ & T_2 & (a_{02}, b_{02}) \\ & \dots & \dots \\ & T_n & (a_{0n}, b_{0n}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 S<sub>0</sub>——理想环保决策方案;  
T<sub>i</sub>——环保方案决策要素;

收稿日期:

2011-05-30

作者简介:

赵 欧(1985-),男,四川眉山人,硕士研究生,主要从事油气储运安全技术方面研究。

$x_{0i}$ —— $S_0$  关于  $T_i$  的量值,  $x_{0i}=(a_{0i}, b_{0i})$  为经典域, 即各要素的量值范围<sup>[6]</sup>。

### 1.1.2 节域环保决策方案物元矩阵 $R$

$$R=(S, T_i, x_{pi})=\begin{bmatrix} S & T_1 & x_{p1} \\ & T_2 & x_{p2} \\ & \cdots & \cdots \\ & T_n & x_{pn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} S & T_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & T_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \cdots & \cdots \\ & T_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $S$ ——节域决策方案;

$x_{pi}$ —— $S$  关于  $T_i$  的量值,  $x_{pi}=(a_{pi}, b_{pi})$  为节域<sup>[6]</sup>。

### 1.1.3 被选环保决策方案物元矩阵 $r_B$

$$r_B=(S_B, T_i, x_i)=\begin{bmatrix} S_B & T_1 & x_1 \\ & T_2 & x_2 \\ & \cdots & \cdots \\ & T_n & x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $S_B$ ——被选环保决策方案;

$x_i$ —— $S_B$  关于  $T_i$  的量值<sup>[6]</sup>。

## 1.2 建立环保决策关联函数 $K(x_i)$

对于天然气凝液回收环保决策方案, 关联函数的模式有以下特点: a)  $b_{0i}=b_{pi}$ , 即  $R_0$  与  $R$  有公共的右端点; b)  $K(a_{pi})=-1, K(a_{0i})=0$ ; c)  $K(x_i)$  是增函数。根据上述特点, 一般关联函数是线性的<sup>[7]</sup>, 则其形式可表达为:

$$K(x_i)=\frac{x_i-a_{0i}}{a_{0i}-a_{pi}} \quad (4)$$

采用多个要素评价环保决策方案时, 可以用综合关联函数  $K(x)$  来评价:

$$K(x)=\sum_{i=1}^n C_i K(x_i) \quad (5)$$

式中,  $C_i(i=1, 2, \cdots, n)$  为各决策要素的权重系数, 表示各要素对决策方案的重要程度。  $C_i$  的量值确定可根据各要素指标之间重要性一对一进行比较, 采用专家打分评议法(即特尔菲法)加以确定, 具体量化过程可按表 1 进行。

表1 权重系数  $C$  量化法

| 指标   | 指标权重 $C_i$ | 专家打分结果   |          |     |          | 专家人数 / 人 | 指标权重统计平均值 $C_x$                       |
|------|------------|----------|----------|-----|----------|----------|---------------------------------------|
|      |            | 1        | 2        | ... | $n$      |          |                                       |
| 基建投资 | $C_1$      | $C_{11}$ | $C_{12}$ | ... | $C_{1n}$ | $n$      | $C_x = \frac{\sum_{i=1}^n C_{xi}}{n}$ |
| 运行费用 | $C_2$      | $C_{21}$ | $C_{22}$ | ... | $C_{2n}$ |          |                                       |
| 质量能力 | $C_3$      | $C_{31}$ | $C_{32}$ | ... | $C_{3n}$ |          |                                       |
| 治理效果 | $C_4$      | $C_{41}$ | $C_{42}$ | ... | $C_{4n}$ |          |                                       |

## 1.3 决策标准

a) 当  $K(x) \geq 0$  时, 被选决策方案指标符合理想决

策方案的要求, 其值大小表示符合的程度<sup>[8]</sup>;

b) 当  $K(x) < -1$  时, 被选决策方案指标不符合要求<sup>[8]</sup>;

c) 当  $-1 \leq K(x) < 0$  时, 被选决策方案指标不符合要求, 但具备转化为理想决策方案的条件<sup>[8]</sup>。

## 1.4 决策方法及步骤

### 1.4.1 确定决策要素

即用哪些因素来衡量决策方案的优劣。天然气凝液回收环保决策方案的评价要素可分为:  $T_1$  为工程投资,  $T_2$  为运行费用,  $T_3$  为回收能力,  $T_4$  为回收效果等项目。

### 1.4.2 确定评价标准

根据评价要素的实际程度划分等级, 并分别确定各等级的评价标准, 例如可采取百分制衡量, 见表 2。

表2 评价标准

| 评价等级       | 评价标准 / 分 |
|------------|----------|
| 完全满足要求(一级) | 90~100   |
| 较好满足要求(二级) | 80~89    |
| 基本满足要求(三级) | 70~79    |
| 满足最低要求(四级) | 60~69    |

### 1.4.3 建立环保决策物元矩阵

量值的确定可根据环保决策方案基本数据及实际情况, 采用专家打分评议法, 参照评议标准综合确定。依据环保实际治理工程中各评议要素之间的重要性确定评议要素的权重系数。下面通过应用举例具体说明环保物元矩阵中各量值的取值方法及环境决策方法的选择步骤。

## 2 应用实例

天然气凝液回收拟定了四个实施方案, 即  $r_1$  为吸附法回收方案;  $r_2$  为油吸收法回收方案;  $r_3$  为低温分离法回收方案;  $r_4$  为膜分离法回收方案。其中主要技术指标(即决策要素)为:  $T_1$  为工程投资;  $T_2$  为运行费用;  $T_3$  为回收能力;  $T_4$  为回收效果。现须从这四个方案中选择出最适合天然气凝液回收的治理方案, 进行凝液回收的科学决策。

### 2.1 被选环保决策方案物元矩阵的量值

首先将决策指标按各方案基本数据分成不同的评价等级段及与之对应的评价标准, 看被选环保方案对应指标属于哪一等级, 采用专家打分评议法, 得到各环保决策方案在该指标下物元矩阵的量值, 可按工程投资、运行费用、回收能力、回收效果四项指标进



表3 被选环保决策方案工程投资指标量值确定

| 评价等级 | 工程投资 $T_i$ /万元     | 评价标准/分 | 基本数据  |         | 专家打分评议值/分   |
|------|--------------------|--------|-------|---------|-------------|
|      |                    |        | 被选方案  | 基建指标/万元 |             |
| 一级   | $1 \leq T_1 < 3$   | 90~100 | 低温分离法 | 2.5     | $x_{13}=95$ |
| 二级   | $3 \leq T_1 < 5$   | 80~89  | 吸附法   | 4.0     | $x_{11}=82$ |
| 三级   | $5 \leq T_1 < 10$  | 70~79  | 膜分离法  | 9.0     | $x_{14}=76$ |
| 四级   | $10 \leq T_1 < 15$ | 60~69  | 油吸收法  | 12.0    | $x_{12}=66$ |

表4 被选环保决策方案运行费用指标量值确定

| 评价等级 | 运行费用 $T_2$ / (万元·a <sup>-1</sup> ) | 评价标准/分 | 基本数据  |         | 专家打分评议值/分   |
|------|------------------------------------|--------|-------|---------|-------------|
|      |                                    |        | 被选方案  | 运行费用/万元 |             |
| 一级   | $0 \leq T_2 < 1$                   | 90~100 | 低温分离法 | 0.7     | $x_{23}=94$ |
| 二级   | $1 \leq T_2 < 2$                   | 80~89  | 膜分离法  | 1.6     | $x_{24}=82$ |
| 三级   | $2 \leq T_2 < 3$                   | 70~79  | 吸附法   | 2.8     | $x_{21}=76$ |
| 四级   | $3 \leq T_2 < 5$                   | 60~69  | 油吸收法  | 3.6     | $x_{22}=68$ |

行,表 3~4 具体说明了工程投资、运行费用两个指标物元矩阵的量值确定方法。

同理按表 3~4 方法得到回收能力、回收效果两个指标物元矩阵的量值,即:

$$\text{回收能力} \begin{cases} X_{31}=69 \\ X_{32}=80 \\ X_{33}=90 \\ X_{34}=82 \end{cases} \quad \text{回收效果} \begin{cases} X_{41}=70 \\ X_{42}=76 \\ X_{43}=92 \\ X_{44}=80 \end{cases}$$

$$R_0 = \begin{bmatrix} S_4 & T_1 & (a_{01}, b_{01}) \\ & T_2 & (a_{02}, b_{02}) \\ & T_3 & (a_{03}, b_{03}) \\ & T_4 & (a_{04}, b_{04}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{理想环保决策方案} & \text{工程投资} & (80 & 100) \\ & \text{运行费用} & (75 & 100) \\ & \text{回收能力} & (80 & 100) \\ & \text{回收效果} & (75 & 100) \end{bmatrix} \quad (10)$$

### 2.3 节域环保决策方案物元矩阵量值

节域环保决策方案物元矩阵的量值  $(a_{pi}, b_{pi})$ ,由之前的分析可知,  $a_{pi}$  值应小于  $r_1 \sim r_4$  矩阵中对应的指

于是得到各被选环保决策方案物元矩阵分别为:

$$r_1 = \begin{bmatrix} S_1 & T_1 & x_{11} \\ & T_2 & x_{21} \\ & T_3 & x_{31} \\ & T_4 & x_{41} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{吸附法决策方案工程投资} & 82 \\ & \text{运行费用} & 76 \\ & \text{回收能力} & 69 \\ & \text{回收效果} & 70 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$r_2 = \begin{bmatrix} S_2 & T_1 & x_{12} \\ & T_2 & x_{22} \\ & T_3 & x_{32} \\ & T_4 & x_{42} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{油吸收法决策方案工程投资} & 66 \\ & \text{运行费用} & 68 \\ & \text{回收能力} & 80 \\ & \text{回收效果} & 76 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$r_3 = \begin{bmatrix} S_3 & T_1 & x_{13} \\ & T_2 & x_{23} \\ & T_3 & x_{33} \\ & T_4 & x_{43} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{低温分离法决策方案工程投资} & 95 \\ & \text{运行费用} & 94 \\ & \text{回收能力} & 90 \\ & \text{回收效果} & 92 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$r_4 = \begin{bmatrix} S_4 & T_1 & x_{14} \\ & T_2 & x_{24} \\ & T_3 & x_{34} \\ & T_4 & x_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{膜分离法决策方案工程投资} & 76 \\ & \text{运行费用} & 82 \\ & \text{回收能力} & 82 \\ & \text{回收效果} & 80 \end{bmatrix} \quad (9)$$

### 2.2 理想环保决策方案物元矩阵量值

理想环保决策方案物元矩阵的量值  $(a_{0i}, b_{0i})$ ,可按四级评价等级及对应的评价标准进行确定。取值时  $a_{0i}$  按专家打分评议法确定。因决策方案上限指标最高为 100 分,且人们总是希望方案指标越接近上限指标越好,故  $b_{0i}$  皆取 100。本例实际计算有理想环保决策方案物元矩阵:

标值,以使节域包括被选环保决策方案的值域。仍可按专家打分评议法确定  $a_{pi}$ ,且  $b_{pi} = b_{0i} = 100$ ,于是有:

$$R = \begin{bmatrix} S & T_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & T_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & T_3 & (a_{p3}, b_{p3}) \\ & T_4 & (a_{p4}, b_{p4}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{节域环保决策方案} & \text{工程投资} & (65 & 100) \\ & \text{运行费用} & (66 & 100) \\ & \text{回收能力} & (68 & 100) \\ & \text{回收效果} & (69 & 100) \end{bmatrix} \quad (11)$$

### 2.4 计算关联函数值

吸附法关联函数值为:

$$K_1(x_1) = \frac{x_{11} - a_{01}}{a_{01} - a_{p1}} = \frac{82 - 80}{80 - 65} = 0.133 \quad (12)$$

$$K_1(x_2) = \frac{x_{21} - a_{02}}{a_{02} - a_{p2}} = \frac{76 - 75}{75 - 66} = 0.111 \quad (13)$$

$$K_1(x_3) = \frac{x_{31} - a_{03}}{a_{03} - a_{p3}} = \frac{69 - 80}{80 - 68} = -0.917 \quad (14)$$

$$K_1(x_4) = \frac{x_{41} - a_{04}}{a_{04} - a_{p4}} = \frac{70 - 75}{75 - 69} = -0.833 \quad (15)$$

同理,油吸收法关联函数值为:

$$\begin{aligned} K_2(x_1) &= -0.933 & K_2(x_2) &= -0.778 \\ K_2(x_3) &= 0 & K_2(x_4) &= 0.167 \end{aligned}$$

低温分离法关联函数值为:

$$\begin{aligned} K_3(x_1) &= 1.000 & K_3(x_2) &= 2.111 \\ K_3(x_3) &= 0.833 & K_3(x_4) &= 2.833 \end{aligned}$$

膜分离法关联函数值为:

$$\begin{aligned} K_4(x_1) &= -0.267 & K_4(x_2) &= 0.778 \\ K_4(x_3) &= 0.167 & K_4(x_4) &= 0.833 \end{aligned}$$

## 2.5 计算综合关联函数值

按表 1 量化法计算得:

$$C_i = (C_1, C_2, C_3, C_4) = (0.25, 0.25, 0.26, 0.24)$$

则

$$\begin{aligned} K_1(x) &= C_1 K_1(x_1) + C_2 K_1(x_2) + C_3 K_1(x_3) + C_4 K_1(x_4) \\ &= 0.25 \times 0.133 + 0.25 \times 0.111 + 0.26 \times (-0.917) \\ &\quad + (-0.833) \times 0.24 = -0.377 \quad (16) \end{aligned}$$

同理得:

$$\begin{aligned} K_2(x) &= -0.387 \quad 67 \\ K_3(x) &= 1.674 \quad 25 \\ K_4(x) &= 0.371 \quad 09 \end{aligned}$$

由此:  $K_3(x) > K_4(x) > K_2(x) > K_1(x)$

据此决策标准得此四个环保决策方案从优到劣的顺序为:低温分离法、膜分离法、油吸收法、吸附法。因吸附法和油吸收法的关联函数均小于 0, 故不符合要求, 而低温分离法和膜分离法的综合关联函数值均大于 0, 故皆符合要求。而低温分离法决策方案综合关联函数值最大, 为天然气凝液回收的最优环保决策方案。

## 3 结论

在运用物元分析方法进行天然气凝液回收决策方案评价过程中, 物元理论通俗易懂, 计算方法简便, 并且容易进行计算机编程。

物元理论可以使环境决策步骤大为简化, 同时避免了过去决策的盲目性, 提高了可信度, 还适用于其他工程治理方案的决策评价。

评价结果符合客观实际, 表明了物元理论进行天然气凝液回收方案决策评价是可行的, 为环境决策提供了较为可靠的科学依据, 并为该领域评价方法提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 苏建华, 许可方, 宋德琦. 天然气矿场集输及处理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [2] 文涛, 汪玉春. 油气管道设计多方案综合评价综述[J]. 天然气与石油, 2004, 22(4): 4-7.
- [3] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学文献出版社, 1998.
- [4] 门宝辉, 梁川. 水质质量评价的物元分析法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(3): 358-361.
- [5] 王洪光, 王国平. 地下水环境资源质量的物元分析评价法[J]. 黑龙江环境通报, 2002, 26(4): 114-118.
- [6] 杨晓华, 杨志峰, 郇建强. 大气环境质量综合评价的物元分析法[J]. 环境工程, 2003, 21(5): 69-70.
- [7] 罗定贵, 徐卫东. 环境质量评价的物元分析模型[J]. 地下水, 1997, 19(2): 49-55.
- [8] 王洪光, 王国平. 物元分析在污染源治理项目工程方案决策中的应用[J]. 贵州环保科技, 1997, 3(3): 6-9.

## 声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我社上述声明。

《天然气与石油》编辑部