

模糊变权法在地下储气库方案优选中的应用*

苏欣** 袁宗明

范小霞

(西南石油大学)

(四川威东能源开发有限责任公司)

苏欣 袁宗明等:模糊变权法在地下储气库方案优选中的应用,油气储运,2006,25(3)23~28。

摘要 模糊变权法是一种利用权重随评估向量变化而变化的方法,它能够很好地解决实际中评价极低的项目对全局的影响及其在何种程度下会被评估决策者放弃。指出在用模糊综合评价优选地下储气库的设计方案时,应用变权法加大得分过低项目的权重,可突出评价得分过低的项目引起决策者的注意。通过对计算实例采用常权法和变权法计算的最终方案排序不同的分析对比,表明采用变权法计算的方案排序结果更加合理。

关键词 模糊变权法 地下储气库 方案优选

一、前言

在地下储气库设计方案中应考虑的因素很多,例如储气库工作规模、投资回收年限、储气库库容利用率、气垫气气量、气垫气比例、工作井数、单位采注成本、注气为单井日注气量、注气为总日注气量、压缩机功率等,要确定一个最优方案就必须综合考虑这一系列的因素^[1,2],以达到经济合理的目的。

地下储气库设计方案优选的方法很多,例如层次分析法、灰色关联法等,而采用模糊变权法对地下储气库设计方案进行优选主要是考虑到方案中涉及的因素不能得到准确的评价。由于专家往往只能给出定性的、模糊的评价,相对于其他评价方法,用模糊数学的区间数对各评价对象进行评价能较好的降低主观因素。另外方案的选用与否,不仅取决于综合评价的优劣,还将受到某些因素的最低限度的影响,而这些因素往往很难定量表示。对于这种模糊限制,其他评价方法很难有效解决,而模糊变权法通过加大评价过低项目得分的权重,突出评价得分过低的项目,从而引起综合评价得分的下降,较好地解决了这个问题。

二、模糊变权法

模糊变权法^[3]认为,评价中各因素的权重随评价向量的不同而变化,即 $w_i = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$, $w_i \in [0, 1]$ 为因素 C_i 的权重 ($i = 1, 2, \dots, n$), u_1, u_2, \dots, u_n 分别为 n 个因素 C_1, C_2, \dots, C_n 的评价得分 (u_i 无量纲或量纲相同,且 $u_i \in [0, u_m]$, 常取 $u_m = 1, 10$ 或 100), 定义 $u_i = 0$ 时表示 C_i 完全失去了作用, $u_i = u_m$ 时表示 C_i 为理想值。

定义1, 总体十分完善理想情况下 C_i 的权重 $w_{0i} = w_i(u_m, \dots, u_m, \dots, u_m)$ 为基础权重。

定义2, C_i 的权重 w_{0i} 为 C_i 功能完全消失时 C_i 的上确界权重, 他体现了加大评价过低项目权重的思想。 w_{0i} 由下式求出:

$$w_{0i} = (u_{m1}, \dots, u_{m(i-1)}, 0, u_{m(i+1)}, \dots, u_{mm})$$

$$= \frac{w_{mi}}{\min_{1 \leq j \leq n} w_{mj} + \max_{1 \leq j \leq n} w_{mj}}$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

为了能更方便地求出 $w_i = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$, 该构造函数为:

* 四川省重点学科建设资助项目(SZD0416)。

** 610500, 四川省成都市新都区西南石油大学硕士2004级2班;电话:(028)67302441。

$$w_i = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n) = \frac{\lambda_i(u_i)}{\sum_{j=1}^n \lambda_j(u_j)} \quad (2)$$

其中 $\lambda_i(u_i) (u_i \in [0, u_m])$ 为引入的辅助函数, 是一非负有界的非增可微函数, 即:

$$\lambda_i(0) = \lambda_{0i}, \lambda_i(u_m) = \lambda_{mi}, \lambda_{mi} = w_{mi}$$

如果 $\lambda_i(u_i)$ 已知, 则很容易求出 $w_i = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$ 。即:

$$\lambda_0 = \sum_{j \neq i} \lambda_j(u_j) \quad (3)$$

根据 w_{0i} 的定义:

$$\lambda_{0i} = \frac{w_{0i} \sum_{j \neq i} w_{mj}}{1 - w_{0i}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

由式(3)和式(4), 可以将式(2)变形为:

$$w_i(u) = \frac{\lambda_i(u)}{\lambda_0 + \lambda_i(u)} \quad (5)$$

其中

$$\lambda_i(u) = \frac{\lambda_i^* \lambda_{0i}}{\lambda^* \exp\left(\frac{1}{1 - k_i} \left(\frac{u}{u_m}\right)^{1 - k_i}\right)} \quad (6)$$

$$\lambda^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i}, k_i = 1 - \frac{1}{\ln \frac{\lambda_{0i}(\lambda_i^* + w_{mi})}{\lambda^* w_{mi}}} \quad (7)$$

$$\lambda_{si} = \sum_{i \neq j} w_{mj} \leq \lambda_0 \leq \sum_{i \neq j} \lambda_{0j} = \lambda_i^* \quad (8)$$

将式(8)求得的结果代入式(5), 便可以求得变化的权重 $w_i(u)$ 。

三、实例应用

为了说明模糊变权法的可行性, 文献[4]中给出了建库方案的有关数据, 将分析上述方法在优选地下储气库方案设计优选中的可行性及储所库各方案的主要经济指标列于表1。

表 1 储气库各方案主要经济技术指标对比表

方案	综合费用 (10 ⁴ 元/a)	垫底气量 (10 ⁸ m ³)	最大地层压力 (MPa)	工作井数 (口)	压缩机功率 (MW)	使用寿命 (年)
方案1	15 756	1.83	15.49	11	5.063	20
方案2	16 287	1.29	17.52	8	7.172	15
方案3	16 836	2.75	19.47	6	10.592	12
方案4	15 729	1.83	17.38	13	6.446	20
方案5	16 259	2.29	19.26	10	9.084	15
方案6	16 807	2.75	21.14	8	13.416	12

设评估人员通过对有关专家的询问, 拟定出各指标的基础权重, 其中基础权重仍取文献[4]中所确定的权重, 即:

$$(w_{m1}, w_{m2}, w_{m3}, w_{m4}, w_{m5}, w_{m6}) = (0.357, 0.065, 0.065, 0.199, 0.115)$$

上述因素评判一般遵循以下原则^[2,3,5]。

(1) 年综合费用和压缩机消耗功率越低的方案越优, 其压缩机的使用寿命越长的方案越优。

(2) 气垫气量越大, 所维持的底层压力越高, 就能减少采气井井数, 并为采出气提供较高的压力。但随着气垫气量增加, 储气库有效储气量减少, 即储气层有效储存容积减小, 而且用于气垫气的费用也会增加, 因此气垫气量是适中极性。

(3) 气井气数量取决于储气库的日供气量和单井产气量, 前者由整个输配系统的供需平衡来确定, 后者则与采气压力密切相关。显然, 采气压力越高, 则单井产量越高, 在总供气量一定的情况下, 采气井井数就可以减少, 钻井费用、井场及气管网设施的投资都可以减少。但最小采气压力是靠垫层气来维护的, 要减少采气井井数, 就要增加垫层气量, 因此气井数也是适中极性。提高储气压力可增加储气容量, 但都要以不破坏盖层和储气结构为前提, 压力过高会破坏储气层封闭圈的密闭性, 导致储气泄漏。

根据以上原则, 请5位专家结合自己经验和知识水平对拟定的6个方案的各因素利用区间数进行了评估, 整个评分结果见表2~表7。

表 2 方案 1 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	80 ~ 85	60 ~ 70	60 ~ 65	85 ~ 90	85 ~ 95	85 ~ 95
2	75 ~ 80	70 ~ 75	65 ~ 70	90 ~ 100	95 ~ 100	95 ~ 100
3	80 ~ 85	65 ~ 70	70 ~ 80	90 ~ 95	90 ~ 100	90 ~ 95
4	85 ~ 90	80 ~ 85	65 ~ 70	90 ~ 95	85 ~ 90	95 ~ 100
5	80 ~ 85	70 ~ 80	70 ~ 75	85 ~ 95	90 ~ 100	95 ~ 100

表 3 方案 2 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	70 ~ 75	55 ~ 60	75 ~ 80	65 ~ 70	70 ~ 80	80 ~ 85
2	65 ~ 75	45 ~ 50	70 ~ 75	55 ~ 60	75 ~ 80	75 ~ 80
3	75 ~ 80	50 ~ 55	70 ~ 75	60 ~ 65	70 ~ 75	70 ~ 80
4	70 ~ 75	55 ~ 60	65 ~ 70	60 ~ 65	75 ~ 80	75 ~ 85
5	70 ~ 80	60 ~ 65	65 ~ 70	65 ~ 70	80 ~ 85	75 ~ 80

表 4 方案 3 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	60 ~ 65	65 ~ 70	75 ~ 85	55 ~ 60	60 ~ 65	55 ~ 60
2	65 ~ 70	65 ~ 70	80 ~ 85	45 ~ 50	60 ~ 65	60 ~ 65
3	70 ~ 75	60 ~ 65	75 ~ 80	50 ~ 55	60 ~ 70	65 ~ 75
4	60 ~ 65	65 ~ 70	70 ~ 85	55 ~ 60	65 ~ 70	55 ~ 60
5	60 ~ 65	55 ~ 60	80 ~ 85	60 ~ 65	55 ~ 60	55 ~ 60

表 5 方案 4 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	85 ~ 90	60 ~ 70	60 ~ 65	55 ~ 60	75 ~ 85	85 ~ 95
2	95 ~ 100	70 ~ 75	70 ~ 75	60 ~ 65	80 ~ 90	95 ~ 100
3	90 ~ 95	65 ~ 70	65 ~ 70	50 ~ 65	80 ~ 85	90 ~ 95
4	95 ~ 100	80 ~ 85	65 ~ 70	65 ~ 70	85 ~ 90	95 ~ 100
5	85 ~ 95	70 ~ 80	65 ~ 70	60 ~ 65	85 ~ 90	95 ~ 100

表 6 方案 5 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	70 ~ 75	90 ~ 95	75 ~ 80	80 ~ 85	60 ~ 70	80 ~ 85
2	75 ~ 80	80 ~ 90	70 ~ 80	70 ~ 80	65 ~ 70	75 ~ 80
3	70 ~ 75	90 ~ 95	80 ~ 85	70 ~ 75	70 ~ 75	70 ~ 80
4	70 ~ 75	80 ~ 85	75 ~ 85	75 ~ 80	65 ~ 75	75 ~ 85
5	75 ~ 85	90 ~ 95	70 ~ 80	70 ~ 75	70 ~ 75	75 ~ 80

表 7 方案 6 评分结果

评估者	各单因素得分					
	1	2	3	4	5	6
1	65 ~ 70	65 ~ 70	95 ~ 100	60 ~ 70	60 ~ 65	55 ~ 60
2	70 ~ 75	65 ~ 70	85 ~ 95	70 ~ 75	55 ~ 60	60 ~ 65
3	65 ~ 70	60 ~ 65	95 ~ 100	65 ~ 75	50 ~ 55	65 ~ 70
4	60 ~ 70	65 ~ 70	95 ~ 100	80 ~ 85	50 ~ 60	55 ~ 60
5	65 ~ 70	55 ~ 60	95 ~ 100	70 ~ 80	55 ~ 60	55 ~ 60

由于评估人员对各指标的评分用的是区间数,因此对它进行数学处理,以求出各指标的具体得分。

$$\text{令 } x_{ij}^k(u) = \begin{cases} 1 & (u \in (x_{ij}^k, y_{ij}^k]) \\ 0 & (u \notin (x_{ij}^k, y_{ij}^k]) \end{cases}$$

其中 $(x_{ij}^k, y_{ij}^k]$ 表示决策者 i 对方案 i 中因素 C_i 的评价打分区间, $x_{ij}^k, y_{ij}^k, u \in [0, u_m]$ 。

$$\text{再令 } \eta_j^k(u) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}^k(u) \quad (9)$$

$$u_j^k = \frac{\int_0^{u_m} u \eta_j^k(u) du}{\int_0^{u_m} \eta_j^k(u) du} \quad (10)$$

利用式(9)、式(10)分别求出:

$$\begin{aligned} \eta_1^{(1)}(u) &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}^k(u) \\ &= \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{i1}^{(1)}(u) \\ &= \begin{cases} 0.2 & u \in (75, 80) \\ 0.6 & u \in (80, 85) \\ 0.2 & u \in (85, 90) \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_1^{(1)} &= \frac{\int_0^{u_m} u \eta_1^{(1)}(u) du}{\int_0^{u_m} \eta_1^{(1)}(u) du} \\ &= \frac{\int_{75}^{80} 0.2 u du + \int_{80}^{85} 0.6 u du + \int_{85}^{90} 0.2 u du}{\int_{75}^{80} 0.2 du + \int_{80}^{85} 0.6 du + \int_{85}^{90} 0.2 du} \\ &= 82.5 \end{aligned}$$

同理,可求出其它的 $\eta_j^k(u)$:

$$\eta_2^{(1)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(1)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.4 & u \in (65, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 80) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(1)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (85, 90) \\ 0.8 & u \in (90, 95) \\ 0.2 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(1)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (85, 90) \\ 0.6 & u \in (90, 95) \\ 0.6 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(1)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (85, 90) \\ 0.4 & u \in (90, 95) \\ 0.6 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_1^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (65, 70) \\ 0.8 & u \in (70, 75) \\ 0.4 & u \in (75, 80) \end{cases}$$

$$\eta_2^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (45, 50) \\ 0.4 & u \in (50, 55) \\ 0.4 & u \in (55, 60) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (65, 70) \\ 0.4 & u \in (70, 75) \\ 0.4 & u \in (75, 80) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (80, 85) \\ 0.2 & u \in (85, 90) \\ 0.6 & u \in (90, 95) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (70, 75) \\ 0.6 & u \in (75, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(2)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (70, 75) \\ 0.8 & u \in (75, 80) \\ 0.4 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_1^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.6 & u \in (60, 65) \\ 0.2 & u \in (65, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 75) \end{cases}$$

$$\eta_2^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (55, 60) \\ 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.6 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (70, 75) \\ 0.6 & u \in (75, 80) \\ 0.8 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (45, 50) \\ 0.4 & u \in (50, 55) \\ 0.4 & u \in (55, 60) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (55, 60) \\ 0.6 & u \in (60, 65) \\ 0.4 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(3)}(u) = \begin{cases} 0.6 & u \in (55, 60) \\ 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.2 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$\eta_1^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (85, 90) \\ 0.4 & u \in (90, 95) \\ 0.4 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_2^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.6 & u \in (65, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 75) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (50, 55) \\ 0.2 & u \in (55, 65) \\ 0.2 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (75, 80) \\ 0.6 & u \in (80, 85) \\ 0.6 & u \in (85, 90) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(4)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (85, 90) \\ 0.4 & u \in (90, 95) \\ 0.6 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_1^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.6 & u \in (70, 75) \\ 0.4 & u \in (75, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_2^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (80, 85) \\ 0.2 & u \in (85, 90) \\ 0.6 & u \in (90, 95) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (70, 75) \\ 0.8 & u \in (75, 80) \\ 0.4 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.6 & u \in (70, 75) \\ 0.4 & u \in (75, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.6 & u \in (65, 70) \\ 0.6 & u \in (70, 75) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(5)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (70, 75) \\ 0.8 & u \in (75, 80) \\ 0.4 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_1^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.8 & u \in (65, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 75) \end{cases}$$

$$\eta_2^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (55, 60) \\ 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.6 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$\eta_3^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (85, 90) \\ 0.2 & u \in (90, 95) \\ 0.8 & u \in (95, 100) \end{cases}$$

$$\eta_4^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.2 & u \in (60, 70) \\ 0.2 & u \in (70, 80) \\ 0.2 & u \in (80, 85) \end{cases}$$

$$\eta_5^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.4 & u \in (50, 55) \\ 0.6 & u \in (55, 60) \\ 0.2 & u \in (60, 65) \end{cases}$$

$$\eta_6^{(6)}(u) = \begin{cases} 0.6 & u \in (55, 60) \\ 0.2 & u \in (60, 65) \\ 0.2 & u \in (65, 70) \end{cases}$$

$$u^{(5)} = (75.83, 88.33, 78.21, 75.83, 68.93, 78.21)$$

$$u^{(6)} = (67.5, 64.5, 95, 72.5, 56.67, 60.5)$$

由式(1)、式(4)和式(8)求得:

$$(w_{01}, w_{02}, w_{03}, w_{04}, w_{05}, w_{06}) = (0.846, 0.154, 0.154, 0.472, 0.472, 0.273)$$

$$(\lambda_{01}, \lambda_{02}, \lambda_{03}, \lambda_{04}, \lambda_{05}, \lambda_{06}) = (3.532, 0.1702, 0.1702, 0.716, 0.716, 0.3323)$$

$$(\lambda_{1*}, \lambda_{2*}, \lambda_{3*}, \lambda_{4*}, \lambda_{5*}, \lambda_{6*}) = (2.1047, 5.4665, 5.4665, 4.9207, 4.9207, 5.3044)$$

$$(\lambda_{*1}, \lambda_{*2}, \lambda_{*3}, \lambda_{*4}, \lambda_{*5}, \lambda_{*6}) = (0.643, 0.935, 0.935, 0.801, 0.801, 0.885)$$

根据式(10)得到:

$$u^{(1)} = (82.5, 72.5, 69.5, 91.79, 93.125, 94.17)$$

$$u^{(2)} = (73.21, 53.5, 71.5, 89.5, 76.671, 78.21)$$

$$u^{(3)} = (65.5, 64.5, 79.375, 53.5, 85.83, 60.5)$$

$$u^{(4)} = (92.5, 72.5, 67.5, 60, 83.93, 94.17)$$

将上述结果代入式(5)~式(7), 求出各方案中各因素的变权重, 然后用 $\mu^{(1)}$ 乘以各单因素的权重并求和, 便可以求出各方案的综合值(单因素初始权重乘以 $\mu^{(1)}$ 得到的是常权综合值, 单因素变权重乘以 $\mu^{(1)}$ 得到的是变权综合值), 计算结果见表8。

表8 各方案各因素变权重

方案	各因素下的变权重						常权评估 综合值	变权评估 综合值
	1	2	3	4	5	6		
方案1	0.3420	0.0790	0.08130	0.1943	0.1918	0.1116	86.3103	85.7980
方案2	0.3405	0.0863	0.07181	0.1791	0.2044	0.1179	76.2579	74.5699
方案3	0.3365	0.6964	0.06016	0.2374	0.1685	0.1278	67.4195	66.2029
方案4	0.2898	0.0743	0.07800	0.2548	0.1918	0.1050	81.5900	79.2606
方案5	0.3293	0.0605	0.06690	0.2052	0.2207	0.1174	75.6978	75.5021
方案6	0.3287	0.0696	0.05150	0.1934	0.2291	0.1277	61.1273	66.2994

从表2~表8可以看出, 通过常权评估综合值得到的方案排序为1、4、2、5、3、6; 而用变权评估综合值得到的方案排序为1、4、5、2、6、3。两种不同排序就是由于变权法中加大了过低项的权重, 使得综合评估值比常权综合评估值低。方案2中由于因素2得分过低, 因此通过变权法加大了其权重; 方案3中由于因素4, 也加大了其权重, 这样就使得方案2和方案3的综合评估值相应降低, 导致排序变化; 方案2中垫层气量只有 $1.29 \times 10^8 \text{ m}^3$, 与方案5中的垫层气量 $2.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 相比较很不符合一般垫层气量的要求, 因此排在方案5后是合理的; 对于方案3中的注采井数只有6口, 也没有方案6中的8口符合要求, 因此排在方案6后仍然是合理的。

整个方案的影响, 使决策者作出的决策更加符合实际, 这也为决策者提供了一种新的决策方法。该方法在实际中取得了良好的效果。

参 考 文 献

- 1, 彭祖赠等: 模糊数学及其应用, 武汉大学出版社(武汉), 2002。
- 2, 陈家新 谭羽非: 天然气地下储气库规划设计要点, 油气储运, 2001, 20(7)。
- 3, 周士华: 天然气地下储气库地面工程的工艺设计, 石油规划设计, 1994, 5(4)。
- 4, 梁光川 蒲宏斌: 地下储气库优化设计的灰色关联分析法, 天然气工业, 2004, 24(9)。
- 5, 赵树栋 王皆明: 天然气地下储气库注采技术, 石油工业出版社(北京), 2000。

通过变权法进行模糊综合评价, 使决策者不仅仅关心综合评估值, 还注意那些得分过低的项目对

(收稿日期: 2005-04-13)

编辑: 孟凡强