

改进的层次分析法 在天然气开发技术经济评价中的应用^{*}

李中锋¹ 何顺利¹ 周相广² 门成全¹

(1.中国石油大学·北京 2.中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

李中锋等.改进的层次分析法在天然气开发技术经济评价中的应用.天然气工业,2005,25(7):131~133

摘要 天然气开发经济评价涉及专业较多,技术经济评价指标庞大,如何确定指标的重要性对评价相当重要。采用层次分析法,通过建立递阶层次结构,构造判断矩阵,计算权重,然后进行综合影响一致性检验和组合权重计算,来确定不同的元素在决策中的作用。利用改进的层次分析法将九标度矩阵变为三标度矩阵,简化了矩阵的给出和求解过程。把天然气开发技术经济评价的综合效用值看成是决策目标层;把天然气开发所覆盖的气藏工程、钻井工程、完井工程、采气工艺、地面集输工程、总体评价看成是受决策目标层支配的准则层;把技术指标、经济指标及技术指标与经济指标的关系看作受准则层支配的子准则层;把具体的技术、经济指标看作受子准则层支配的方案层,最终建立起天然气开发技术经济评价体系模型。以某无水气藏为例,说明了该方法的使用过程。

关键词 天然气 开发方案 经济评价 数学分析 数学模型

一、层次分析法

层次分析法是一种定性分析和定量计算结合的统计分析方法。它把复杂的问题分为若干层次,根据对这一客观现实的判断,就每一层次各元素的相对重要性给出定量表示(即构造判断矩阵)。而后据此判断矩阵,通过求解该矩阵的最大特征值及特征向量来确定每一层次各元素相对重要性的权重,通过对各层次的分析,从而对该问题进行分析^[1~3]。

天然气开发经济评价涉及专业多,技术经济评价指标大,如何确定指标的重要性对天然气技术经济评价很重要。层次分析法就特别适用这种多专业、多层次的技术经济评价指标^[4~6]。其关键是构造判断矩阵。在构造判断矩阵进行两个元素重要程度对比时,采用九点标度法。层次分析法的具体步骤如下。

1. 建立递阶层次结构

首先应建立所研究问题的递阶层次结构。其最高目标层仅有一个元素(即目标元素),中间层次是准则和子准则层,准则和子准则仍可有多个,下一层受上一层的准则支配,递阶层次结构的最低层通常

是被选方案或指标,被选方案或指标通过子准则、准则与决策目标建立联系。

2. 构造判断矩阵

相对于上一层某一因素,递阶层次结构的每层结构各因素两两比较其重要性大小,把比较结果通过合适的标度采用九标度法表示出来,即得判断矩阵。九标度法元素比较权重值的确定原则,见表1。

表1 权重确定原则表

标度	说明
1	两个因素相比,具有同等重要性
3	两个因素相比,一个比另一个稍微重要
5	两个因素相比,一个比另一个明显重要
7	两个因素相比,一个比另一个十分重要
9	两个因素相比,一个比另一个极端重要
2,4,6,8	表示两相邻标度的中间值

3. 层次单排序

单准则排序是指根据判断矩阵计算某一准则下层各元素的相对权重,并进行一致性检验的过程。

针对某一准则,各元素的权重向量为:

^{*} 本文为中国石油天然气集团公司“九五”重点科技工程项目“天然气开采新技术”下的“天然气开发技术经济评价指标研究方法”的一级专题,编号:970506—08。

作者简介:李中锋,1976年生,中国石油大学(北京)石油天然气工程学院2002级博士研究生;从事油藏工程研究。地址:(102249)北京市昌平区石油大学石油天然气工程学院。电话:(010)89734268。E-mail:lizhongfeng1@sina.com

$$W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_N)^T \quad (1)$$

可以通过求解下列方程得到 W : $BW = \lambda_{\max} W$, 式中: λ_{\max} 为矩阵 B 的最大特征值。

4. 一致性检验

为保证结果可靠,需对判断矩阵进行一致性检验。检验通常需要如下 4 个指标。

(1) 计算矩阵最大特征值 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{w_i}$ 。

(2) 计算偏离一致性检验指标 $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。

(3) 查出随机一致性指标 $R.I.$ 。

(4) 修正偏离一致性检验指标 $C.R. = C.I./R.I.$ 。

通常,只要 $C.R. \leq 0.10$,则认为判断矩阵具有满意的一致性,否则必须重新调整其中元素的标度值。

5. 组合权重计算

组合权重计算是把最低一层的指标权重折算到相对于目标层上来,求得指标的最后权重,并进行综合判断的一致性校验。

二、改进的层次分析法

层次分析法的关键是构造判断矩阵。标度定义的本身是科学的,而在实际应用中,常会出现一些问题,难以给出一致性较好的矩阵。为解决该问题,改进层次分析法在进行两元素的重要程度比较时,将九标度变成容易给出的三标度矩阵,方法如下。

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: $C_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{第 } i \text{ 个元素比第 } j \text{ 个元素重要} \\ 1 & \text{第 } i \text{ 个元素与第 } j \text{ 个元素同等重要} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 个元素不如第 } j \text{ 个元素重要} \end{cases}$

$$r_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

设 b_m 为 r_{\min} 比较时的一种标度(如九标度)。这样三标度就转化为九标度。

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} \times (b_m - 1) + 1 & r_i > r_j \\ 1 & r_{\max} = r_{\min} \\ \left[\frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} \times (b_m - 1) + 1 \right]^{-1} & r_i < r_j \end{cases} \quad (4)$$

式中: $b_m = r_{\max} / r_{\min}$; $r_{\max} = r_{\max}$; $r_{\min} = r_{\min}$ ($1 \leq i \leq n$)。

上述构造的判断矩阵不一定满足思维判断的一致性,可利用最优化传递矩阵的概念,对矩阵 B 进行

改造是指自然满足一致性要求,直接求出权重值。

令:

$$a_{ij} = \lg b_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n (a_{ik} - a_{jk}) / n \quad (5)$$

$$b_{ij}^+ = 10^{c_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

则矩阵 $B^+ = (b_{ij}^+)_{n \times n}$ 具有较好的一致性, B^+ 为判断矩阵,用方根法求 B^+ 最大特征根对应的特征向量。

$$\begin{cases} M^i = \prod_{j=1}^n b_{ij} & (i = 1, 2, \dots, n) \\ \bar{W}_i = (M^i)^{\frac{1}{n}} & (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (6)$$

对向量 $\bar{W} = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)^T$ 归一化:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (7)$$

特征向量 $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)^T$, 则 W 的各分量就是同一层中 n 个元素对于上一层中某一元素的权重。

三、层次分析法的应用

天然气开发技术经济评价指标体系可看成是层次分析法的递阶层次结构。我们就可按层次分析法的基本步骤,依递阶层次逐层构造判断矩阵,确定各指标评价的权重,并进而对备选方案进行综合评价和比选。图 1 为利用层次分析法所建立的天然气技术经济评价体系模型。

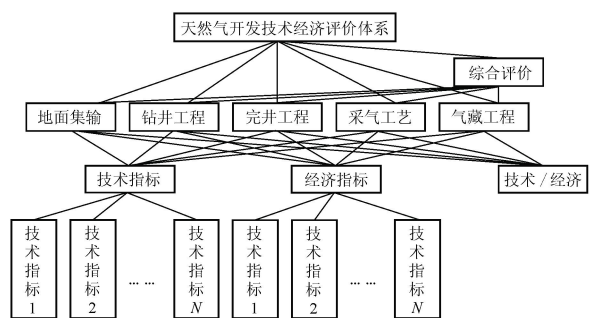


图 1 天然气开发技术经济评价体系模型图

四、算例

以某无水气藏为例,说明本方法的使用过程。

1. 集输指标

所选集输指标及其指标值如下:净化水平 0.8;集输能力 1100;使用寿命 30;防腐程度 0.76;集输可靠度 0.86;集输可用度 0.65;压能利用率 0.75;辅助

完善程度 0.85。权重计算结果： $W = (0.2291, 0.1295, 0.2189, 0.2498, 0.0382, 0.0382, 0.0198, 0.0764)^T$ 。

2. 完井指标

所选完井指标及其指标值如下：完井作业时效 71.15；完井表皮系数 -1.43；流动效率 1.26；固井合格率 92.40。权重计算结果： $W = (0.0663, 0.2638, 0.5057, 0.1642)^T$ 。

3. 采气指标

所选采气指标及其指标值如下：经济极限采气量 181.68；采气指数 0.01；最终经济采收率 85.00；采出程度 42.78；无阻流量 17.77；废弃地层压力 5.01。权重计算结果： $W = (0.2581, 0.1448, 0.1626, 0.1448, 0.1448, 0.1448)^T$ 。

4. 气藏开发指标

所选采气指标及其指标值如下：采气速度 4.50%；稳产年限 8.00；稳产期末采出程度 47.50。权重计算结果： $W = (0.1634, 0.2970, 0.5396)^T$ 。

5. 方案整体经济指标

所选方案整体经济指标及其指标值如下：财务内部收益率(FIRR) 0.30；投资利润率 45.00；资本金利润率 20.00；投资回收期 6.00；资产负债率 45.00；流动比率 3.00；经济内部收益率 25.00；社会贡献率 35.00；社会累积率 60.00。权重计算结果： $W = (0.2674, 0.1375, 0.0810, 0.2861, 0.1471, 0.0810)^T$ 。

所选国民经济指标有经济内部收益率、社会贡献率和社会累积率。权重计算结果： $W = (0.5396, 0.2970, 0.1634)^T$ 。

另外,还选取了技术、国民经济和财务经济指标。权重计算结果： $W = (0.4000, 0.4000, 0.2000)^T$ 。

6. 方案效用值计算

效用是人们的价值观念在决策活动中的综合表现,表明决策者对待风险的态度。将效用度量,其

量的表现为效用值,用 1 表示最大效用值,用 0 表示最小效用值,效用值的大小决定了决策者对风险的态度^[7]。

依据计算结果得出最终方案效用值:集输工艺 0.8413;完井工艺 0.4935;采气工艺 0.4253;气田开发效果 0.3602;财务水平 0.5411;国民经济水平 0.6898;方案效用值 0.5664。多个方案得到多个效用值,按效用值可确定最优方案。

五、结 论

采用层次分析法,通过建立递阶层次结构,构造判断矩阵,用单准则排序法近似计算某一准则下层各元素的相对权重,然后进行综合影响一致性检验,来确定不同元素在决策中的作用。利用改进的层次分析法将九标度矩阵变为三标度矩阵,简化了矩阵的给出和求解过程,并最终建立起天然气开发技术经济评价体系模型,模型的建立对天然气开发技术经济评价具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 Satty T L. The analytical hierarchy process. New York: Mc Craw Hill Companies, 1980
- 2 许树柏. 层次分析法原理. 天津: 天津大学出版社, 1988
- 3 孙福街, 程林松, 李秀生. 层次分析法在油田开发综合评价与方案优选中的应用探讨. 中国海上油气(地质), 2002; 16(5): 328~332
- 4 傅家骥, 全允桓. 工业技术经济学. 北京: 清华大学出版社, 1996
- 5 刘国恒. 工业可行性研究编制指南. 北京: 化学工业出版社, 1999
- 6 和金生等. 用层次分析法探讨科研成果的综合评价. 系统工程理论与实践, 1985; 5(1): 33~38
- 7 张保法. 经济预测与经济决策. 北京: 经济科学出版社

(修改回稿日期 2005-05-17 编辑 赵 勤)