

## 多维决策圈闭评价方法及其应用

王丽君, 严恒

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

**摘要** 多维决策就是在具有相互冲突、相互影响的多个因素下对评价目标进行的决策,把它应用到圈闭评价时,就是把影响圈闭评价的各个因素看成一个整体,这些影响因素共同反映圈闭的优劣,将多个因素系统合成为一个能从总体上度量圈闭优劣的单因子来进行评价优选。在使用多维决策对研究区进行实际的圈闭评价时,通过多维目标函数,求解各圈闭与所假设的最优和最劣圈闭之间的距离,最后得到综合评价因子序列,此时选出距最优圈闭较近而距最劣圈闭较远的圈闭可作为优先勘探的对象。对四川盆地某区进行了圈闭评价实践,并与地质风险概率法作了对比,证明多维决策圈闭评价方法是有效的。此方法具有简单、实用、易操作、分辨率高等优点,人为因素的干预比较少,预测结果更为客观。

**关键词** 油气勘探;圈闭评价;多维决策;影响因素;方法研究;方法应用

**中图分类号**: TE112.36 **文献标识码**: A

油气勘探历来被认为是一项高风险、高投资、高回报的经济活动,而油气勘探的一个重要内容就是对所要钻探的圈闭进行评价和优选。然而,由于影响圈闭优劣的因素有很多<sup>[1]</sup>,各个因素之间又会互相影响,使得圈闭评价难上加难。前人已经提出了很多圈闭评价的方法<sup>[2-3]</sup>,如模糊数学法<sup>[4]</sup>、地质风险概率分析法<sup>[5]</sup>、灰色综合判别法<sup>[6]</sup>、加权平均法<sup>[7]</sup>、专家系统法<sup>[8]</sup>等,但这些评价方法大多是定性或是半定量的,且人为因素对圈闭评价结果的影响很大,评价的精度也不高。基于这些原因,本文提出了一种圈闭评价新方法——多维决策圈闭评价方法,将多维决策理论<sup>[9]</sup>引入到石油勘探中进行圈闭评价优选,该方法受人为因素影响小、简单实用、评价结果可信度高,是一种进行圈闭评价的有效方法。

本文利用多维决策圈闭评价方法对四川东部某区的6个待钻探圈闭进行了优选,并与当前公认的圈闭评价方法——地质风险概率法计算结果进行了对比,证明了所述方法的有效性及其实用性。

### 1 多维决策圈闭评价理论与方法

多维决策就是在具有相互冲突、相互影响的多个因素下对评价目标所进行的决策<sup>[9-10]</sup>。多维决策问题最早在20世纪60年代由MacCrimmon<sup>[11]</sup>系统地提出,80年代初我国学者开始对其进行研究,并在不同领域逐渐提出了各种多维决策方法,它们主要应用于经济、管理、工程等系统的各个领域,如投资决策、项目评估、经济效益综合评价等等,但迄今尚未在油气勘探领域得到应用。本文尝试应用多维决策理论(方法)来对油气圈闭进行评价,建立多维决策圈闭评价方法。

多维决策圈闭评价,就是将影响圈闭评价的各个因素看成一个整体,这些影响因素共同反映了圈闭的优劣。选择适合的评价指标体系,将多个因素系统合成为一个能从总体上度量圈闭优劣的单因子来进行圈闭评价优选,可以使得结果更为确定。这一方法就是在进行圈闭评价时建立起研究区所有圈闭的

收稿日期: 2012-07-23

本文受国家重大专项“南海北部深水区储集体地球物理描述和预测”(编号: 2011ZX05025-002-06)和“莺琼盆地高温高压地层岩石地球物理特征与地震属性技术研究”(编号: 2011ZX05023-004-02)资助

王丽君: 女,1985年生,工程师。2010年毕业于西南石油大学,地球探测与信息技术专业,现从事地震解释与储层预测工作。通讯地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油一区研究院; 电话: (0759)3912435

多维决策模型<sup>[12]</sup>,并将其数学化为多维决策目标函数,最后求出该目标函数的最优解,此最优解就是我们所要选择的圈闭。

为了更好地说明多维决策方法,笔者选择了一种最简单的情況来加以分析。

假设所涉圈闭只有两个影响因素,此时建立一个平面直角坐标系,选取这两个因素分别作为x轴和y轴,待评价圈闭有六个,分别表示为 $A_1(x,y)$ 、 $A_2(x,y)$ 、 $A_3(x,y)$ 、 $A_4(x,y)$ 、 $A_5(x,y)$ 、 $A_6(x,y)$ 。另外假设 $A^+$ 为最优圈闭, $A^-$ 为最劣圈闭,它们分别表示各种影响因素均为有利的情况和各种影响因素均为不利的情况(图1)。于是,在所有待评价的圈闭中,距离最优圈闭最近而距离最劣圈闭最远的那个圈闭就是相对较好的圈闭。在图1中, $A_6$ 就是相对较好的圈闭。

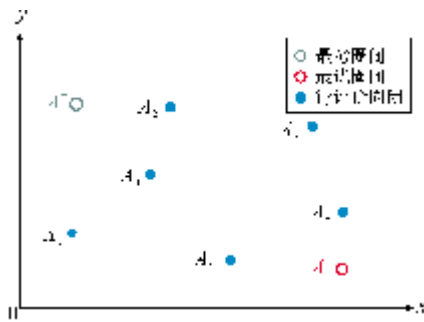


图1 多维决策圈闭评价示意图

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$  为待评价的圈闭,它们是影响因素  $x$  和  $y$  的函数。

设  $A^+$  和  $A^-$  分别为最优和最劣圈闭,则距离最优圈闭  $A^+$  最近且距离最劣圈闭  $A^-$  最远的  $A_6$  圈闭就是相对较好的圈闭

在影响圈闭评价的因素不止两个时,可以建立影响因素矩阵。假设一个探区中有  $m$  个圈闭需要评价,记作  $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ ,圈闭的影响因素有  $n$  个,记作  $S_j (j=1, 2, \dots, n)$ ,则  $m$  个圈闭的  $n$  个影响因素就可以构成指标矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。 $a_{ij}$  就为第  $i$  个圈闭的第  $j$  个影响因素。同时通过分析,我们发现影响圈闭优劣的因素可以分为正向因素和负向因素。正向因素的特征为其值越大,表示圈闭越好;而负向因素其值越大,则圈闭越差。所以在进行圈闭评价前,需要对影响圈闭评价的因素进行归一化处理<sup>[9]</sup>,其计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{(a_{ij} - a_{ij\min})}{(a_{ij\max} - a_{ij\min})} \quad (\text{当 } j \text{ 为正向因素时}) \quad (1)$$

$$r_{ij} = 1 - \frac{(a_{ij} - a_{ij\min})}{(a_{ij\max} - a_{ij\min})} \quad (\text{当 } j \text{ 为负向因素时}) \quad (2)$$

式中:  $a_{ij\min}$  表示影响因素矩阵  $A$  第  $j$  个影响因素中的最小值,  $a_{ij\max}$  则表示第  $j$  个影响因素中的最大值。 $r_{ij}$  为对应于影响因素矩阵元素  $a_{ij}$  归一化后的数据值,并由此得到归一化后的影响因素矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

设定最优圈闭的每个因素值都为 1,最劣圈闭的每个因素值都为 0,这样就形成了所假设的最优圈闭和最劣圈闭 $\bullet$ ,分别为  $A^+ = [1, 1, \dots, 1]$ ,  $A^- = [0, 0, \dots, 0]$ ,进而可以计算出第  $i$  个待评价圈闭与最优圈闭和最劣圈闭之间的距离分别为<sup>[9]</sup>:

$$d_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^n (r_{ij} - 1)^2 \right]^{0.5} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$d_i^- = \left[ \sum_{j=1}^n (r_{ij} - 0)^2 \right]^{0.5} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

设

$$D^+ = [d_1^+, d_2^+, \dots, d_m^+] \quad (5)$$

$$D^- = [d_1^-, d_2^-, \dots, d_m^-] \quad (6)$$

则公式(5)和(6)分别称最优圈闭点距数列和最劣圈闭点距数列,其中的每个元素均为待评价圈闭与最优或最劣圈闭之间的点距。

由此可求得第  $i$  个待评价圈闭的综合评价因子:

$$c_i = \frac{d_i^+}{d^+} - \frac{d_i^-}{d^-} \quad (7)$$

式中的  $c_i$  为第  $i$  个待评价圈闭的综合评价因子;  $d^+$  为最优圈闭点距数列  $D^+$ (式 5)中的最小值;  $d^-$  则为最劣圈闭点距数列  $D^-$ (式 6)中的最大值。由式(7)的定义可知,  $c_i$  值越小时,表示第  $i$  个待评价圈闭越好,反之则越差。因此,根据综合评价因子的大小,可以进行圈闭的评价与优选。我们建立综合评价因子数列如下:

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_m] \quad (8)$$

① 由于归一化之后的影响因素值的范围是 0~1,因此影响因素均有利的情况就是每个因素值都为 1 的时候,而影响因素均不利的情况就是每个因素值都为 0 的时候,所以在实际计算中最优圈闭和最劣圈闭的影响因素假设值 1 和 0 是固定的,只是其个数会随着所选定的影响因素的个数而改变。

根据(8)式的数列,只要比较各元素之间的大小,将它们按数值大小排成序列,各待评价圈闭的相对优劣即可一目了然。需要强调的是,在综合评价因子序列C中, $c_i$ 值越小,表明所评价的圈闭越好。我们给圈闭的优劣顺序也列成一个序列,称圈闭评价序列:

$$A_c=[A_c^1,A_c^2,\cdots,A_c^m] \tag{9}$$

在这个圈闭评价序列中, $A_c^1$ 对应于(8)式中综合评价因子 $c_i$ 值最小的一个圈闭,它也是所评价圈闭中的最好圈闭; $A_c^m$ 对应于 $c_i$ 值最大的一个圈闭,它也是所评价圈闭中的最差圈闭。在最好与最差圈闭之间的各圈闭, $c_i$ 值从左到右依次递增。

补充说明一点,图1中最优圈闭A<sup>+</sup>和最劣圈闭A<sup>-</sup>的两个影响因素(x,y)的值显然并不是(1,1)和(0,0)两种情况,原因在于其中的各影响因素值未经归一化处理。

在实际的勘探中,圈闭的地质评价主要是对圈闭条件、油气源条件、储层条件、保存条件、配套条件等五个方面进行评价。其中圈闭条件包括圈闭类型、圈闭面积、圈闭幅度及闭合形式等,油气源条件包括烃源岩厚度、运移距离等,储层条件包括岩性、储层厚度等,保存条件包括盖层条件、断层等,配套条件包括时间配套、空间配套。对于不同地区不同类型的圈闭,影响因素也不尽相同,因此在多维决策圈闭评价时,要针对圈闭的类型,选择合适的影响因素,以达到定量评价圈闭的目的。

2 实例应用分析

2.1 多维决策圈闭评价实践

为了验证多维决策在圈闭评价中的效果,选择了四川盆地东部某区6个待钻探圈闭,编号为A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,……A<sub>6</sub>(表1),进行了评价优选实践。

表1 四川盆地东部某区圈闭评价影响因素数据表

圈闭编号	圈闭面积 (km <sup>2</sup> )	圈闭高点埋深 (m)	闭合度 (m)	白云岩厚度 (m)	烃源距 (km)	盖层厚度 (m)
A <sub>1</sub>	1.5	4300	600	5	11	15
A <sub>2</sub>	1.3	3500	220	30	5.6	25
A <sub>3</sub>	20.42	4650	1100	8	12	55
A <sub>4</sub>	3.72	4040	610	24	7.3	30
A <sub>5</sub>	9.6	5100	1200	55	3.5	86
A <sub>7</sub>	1.4	5100	280	18	15	20

对每个圈闭选择多个影响因素,在选择影响因素的时候需要考虑到本方法主要是用来进行圈闭定量评价的,所以选择的圈闭影响因素都应为可以量化的因素,如圈闭的高点埋深、闭合度和面积等。在本次研究中,所选圈闭的类型主要是构造圈闭、地层-构造复合型圈闭,故应选择与圈闭构造特征相关的影响因素,并且考虑到四川盆地东部地区储层主要岩性为白云岩,圈闭盖层的有效性与膏岩、泥岩的发育程度密切相关,因此主要选择了以下6个影响因素:圈闭面积、圈闭高点埋深、闭合度、白云岩厚度、烃源距、盖层厚度(膏岩及泥岩盖层的厚度)(表1),并由这6个圈闭及全部圈闭的六种影响因素构建该区待评价圈闭的影响因素矩阵A。

$$A = \begin{bmatrix} 1.5 & 4300 & 600 & 5 & 11 & 15 \\ 1.3 & 3500 & 220 & 30 & 5.6 & 25 \\ 20.42 & 4650 & 1100 & 8 & 12 & 55 \\ 3.72 & 4040 & 610 & 24 & 7.3 & 30 \\ 9.6 & 5100 & 1200 & 55 & 3.5 & 86 \\ 1.4 & 5100 & 280 & 18 & 15 & 20 \end{bmatrix} \tag{10}$$

在表1的六个影响因素中,圈闭面积越大,闭合度越大,白云岩厚度越大,盖层厚度越大,那么圈闭就越好,因此,这四个影响因素是正向因素;圈闭高点埋深越深,烃源距越远,圈闭就越差,所以这两个因素是负向因素。在对正向和负向的影响因素进行归一化处理时必须分别使用公式(1)和(2),由此对影响因素矩阵(10)式进行归一化处理后得到归一化后

的影响因素矩阵如下:

$$R = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.50 & 0.39 & 0.00 & 0.35 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.50 & 0.82 & 0.14 \\ 1.00 & 0.28 & 0.90 & 0.06 & 0.26 & 0.56 \\ 0.13 & 0.66 & 0.40 & 0.38 & 0.67 & 0.21 \\ 0.43 & 0.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.01 & 0.00 & 0.06 & 0.26 & 0.00 & 0.07 \end{bmatrix} \quad (11)$$

设定最优圈闭为  $A^+ = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$ , 最劣圈闭为  $A^- = (0, 0, 0, 0, 0, 0)$ , 将归一化后的影响因素各元素按照圈闭顺序 ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) 依次代入 (3)、(4) 两式, 可以分别求得最优圈闭点距数列  $D^+$  和最劣圈闭点距数列  $D^-$ :

$$D^+ = [2.01, 1.74, 1.47, 1.53, 1.15, 2.30] \quad (12)$$

$$D^- = [0.72, 1.39, 1.51, 1.12, 2.05, 0.28] \quad (13)$$

其中, 最优圈闭点距数列  $D^+$  中的最小值  $d^+$  和最劣圈闭点距数列  $D^-$  中的最大值  $d^-$  分别为:

$$d^+ = \min(d_i^+) = 1.15 \quad (14)$$

$$d^- = \max(d_i^-) = 2.05 \quad (15)$$

同时, 根据 (7) 式可以计算出综合评价因子数列为:

$$C = [1.39, 0.83, 0.54, 0.79, 0, 1.87] \quad (16)$$

对 (16) 式中的六个综合评价因子 ( $c_i$ ) 从小到大排序得到圈闭评价序列

$$A_c = [A_5, A_3, A_4, A_2, A_1, A_6] \quad (17)$$

由此可知, 在所评价的 6 个圈闭中, 以  $A_5$  为最理想圈闭, 其次是  $A_3$ , 最差的是  $A_6$ 。

由于实例中选择了六种影响因素, 是一个六维函数, 不像图 1 那样可以简单地使用平面坐标系来形象地加以表示, 所以在此没有给出相应的附图。

## 2.2 与地质风险概率法圈闭评价对比

为验证上述多维决策圈闭评价的有效性, 笔者又利用地质风险概率法<sup>[3]</sup>对上述同样的圈闭进行了评价。

先由经验丰富的专家给出该地区各个影响因素的得分值与权重评价因子, 形成该地区圈闭评价评分标准 (表 2), 再根据概率论原理 (式 (18)) 计算出各个圈闭的地质把握系数<sup>[3]</sup> (表 3), 地质把握系数的

表 2 四川盆地东部某区圈闭评价因素评分标准

评价因素	评分标准			权重因子
	1	0.7	0.5	
	数值范围			
圈闭面积(km²)	>5	5~2	<2	0.5
闭合度(m)	>400	400~100	<100	0.25
圈闭高点埋深(m)	2000~4000	4000~5000 或 2000~1000	>5000 或 <1000	0.3
白云岩厚度(m)	>15	15~10	<10	0.5
烃源距(m)	<15	15~30	>30	1
盖层厚度(m)	>50	30~50	<30	0.4

表 3 四川盆地东部某区圈闭因素地质把握系数表

圈闭编号	圈闭面积	圈闭高点埋深	闭合度	白云岩厚度	烃源距	盖层厚度	把握系数
	$P_1 \cdot Q_1$	$P_2 \cdot Q_2$	$P_3 \cdot Q_3$	$P_4 \cdot Q_4$	$P_5 \cdot Q_5$	$P_6 \cdot Q_6$	$P_i$
A <sub>1</sub>	0.25	0.21	0.25	0.25	1.00	0.20	0.07
A <sub>2</sub>	0.25	0.30	0.18	0.50	1.00	0.20	0.14
A <sub>3</sub>	0.50	0.21	0.25	0.25	1.00	0.40	0.26
A <sub>4</sub>	0.35	0.21	0.25	0.50	1.00	0.20	0.18
A <sub>5</sub>	0.80	0.15	0.25	0.50	1.00	0.40	0.60
A <sub>6</sub>	0.25	0.15	0.18	0.50	0.70	0.20	0.05

$i, j, P_i, P_j, Q_i, Q_j$  等的含义见公式 (18) 的注解, 其中,  $j$  在该表中已被 1, 2, ..., 6 序号直接代入。

大小决定了圈闭的优劣顺序, 地质把握系数越大, 说明圈闭含油气概率越高, 地质把握系数越小, 则圈闭含油气概率越低。

$$P_i = \left[ \prod_{j=1}^6 (P_{ij} \cdot Q_{ij}) \right] \cdot 100 \quad (j=1, 2, \dots, 6) \quad (18)$$

式中:  $i=1, 2, \dots, 6$ , 表示各个不同的圈闭;  $j=1, 2, \dots, 6$ , 代表圈闭中的不同评价因素, 对应于表 3, 即为从“圈闭面积”到“盖层厚度”等六个因素;

$P_i$  ——地质把握系数 (圈闭含油气概率);

$P_{ij}$  ——各子项因素 (评价因素) 得分值;

$Q_{ij}$  ——各子项因素 (评价因素) 权重评价因子。

从表 3 中可以看出, 利用地质风险概率法求出的这 6 个圈闭的 (地质) 把握系数分别为: 0.07, 0.14, 0.26, 0.18, 0.60, 0.05, 也就是说圈闭的优劣顺序为  $A_5, A_3, A_4, A_2, A_1, A_6$ , 该结果与前述多维决策方法所得到的结果相一致, 验证了多维决策圈闭评价方法的有效性和准确性。



在地质风险概率法的分析过程中,评价因素得分标准是经验丰富的专家对研究区地质情况进行深入了解之后针对该地区给出的,由此可以看到,这个方法存在地域性强和专家主观性强等缺陷,且不适合新区圈闭评价,同时它将原始数据分段转化为各子项因素得分值参与运算,缩小了原始数据之间的差异,降低了分辨率。多维决策方法则是直接采用原始数据进行计算,分辨率高,计算过程中不涉及到主观性比较强的评分标准的确定,因而人为因素的影响相对较小,且不受专家认识水平的制约,故本方法的地区适应性更强,在新区也能适用。

总之,与地质风险概率法相比,多维决策方法的优点可以概括为:人为因素干预少,地区适应性强,操作简单,实用性强,而且分辨率也更高。

### 3 结 论

(1)多维决策圈闭评价方法以圈闭的影响因素为参数,通过建立多维模型获得目标函数,再求解目标函数得到圈闭的优劣排序。

(2)多维决策方法具有简单、实用、易操作且分辨率高等优点,与已有的方法相比,它在圈闭评价过程中明显降低了人为因素的干预,预测结果更为客观。

(3)利用多维决策对四川东部某区的6个待选圈闭进行评价,最终得到的圈闭优劣排序结果,与通过地质风险概率法计算所得结果基本相同,验证了

本方法的操作可行性与有效性。

#### 参 考 文 献

- [1] 焦志峰,杨占龙.地震信息多参数综合分析 with 岩性圈闭评价[J].石油实验地质,2008,30(4):409-411.
- [2] 倪华.鄂西渝东上组合圈闭评价优选[J].江汉石油职工大学学报,2006,19(2):9-11.
- [3] 詹丽,杨昌明,杨东福.中国西部某盆地圈闭地质条件评价方法与模型[J].地质科技情报,2007,26(1):82-84.
- [4] 蔡希源,侯启军.油气圈闭地质评价方法及应用[J].大庆石油地质与开发,1994,13(2):1-5.
- [5] 李爱国,易海永,陈忠富,等.模糊数学在渝东地区石炭系圈闭评价中的应用[J].天然气工业,2003,23(4):23-25.
- [6] 胡宗全,袁琪.灰色聚类与圈闭优选[J].物探化探计算技术,1998,20(4):357-360.
- [7] 杨飞,袁东风.利用相关分析法确定圈闭评价中关键地质因数的权重系数[J].成都理工学院学报,1999,26(3):276-277.
- [8] 全兆岐,胡长军,马玉书.一个圈闭评价专家系统的设计与实现[J].地质论评,1993,39(4):292-293.
- [9] 肖浩,覃正.一种基于多维区间数加权距离的多属性决策方法.统计与决策[J],2011,26(8):32-34.
- [10] 徐泽水.多属性决策的两种方差最大化方法[J].管理工程学报,2001,15(2):11-13.
- [11] MacCrimmon K R. Decisionmaking among multiple -attribute alternatives: A survey and consolidated approach[R]. RAND Corporation, RM-4823-ARPA, 1968
- [12] 李希灿,王静.多目标多维自反馈模糊决策模型[J].统计与决策,2010,25(2):241-244.

编辑:吴厚松

## Principle and Application of Multidimensional Decision Trap Evaluation

Wang Lijun, Yan Heng

**Abstract:** The multidimensional decision is a method of making a decision for an evaluation target under the situation of many effective factors which conflict and react with each other. When the multidimensional decision is applied to trap evaluation, all of factors that reflect the quality of traps are regarded together as a whole, or several factors are integrated to a single factor that can optimally evaluate the quality of traps by multi-object calculation. The fact that it is applied in actual trap evaluation in some areas of Sichuan Basin and it is compared with the method of geological risk probability has proved that the method is of validity and applicability with advantages of simple, practical and easy operations, high resolution, less human intervention and more objective prediction result.

**Key words:** Oil and gas exploration; Trap evaluation; Multidimensional decision; Influence factors; Method  
Wang Lijun; female, Geology Engineer. Add: Zhanjiang Research Institute, CNOOC Zhanjiang Branch Company, Potou, Zhanjiang, 524057, China