

用模糊数学方法对海安凹陷南部 局部构造含油气性的评价

薛冰

(华东石油地质局地质研究大队 江苏扬州 225002)

作者用宏观评判与微观评判相结合的方法,对海安凹陷南部的圈闭进行评价。文中介绍了各评价因素的隶属度函数的求取及模糊评判矩阵的合成,结果将36个圈闭分为三类。

关键词 模糊数学 隶属度 圈闭评价 海安凹陷

作者简介 薛冰 男 26岁 助理工程师 石油物探

圈闭评价的方法很多,除“打分法”等传统地质评价方法外,近年又出现了多种信息叠合评价等方法。但是,当使用的地质变量为模糊变量时,如用一般数学方法处理则会一筹莫展或者得不出真实的评价结果。

1965年,美国控制论专家 L. A. Zadeh 首先提出模糊集合^[1]概念,这一概念把“非此即彼”的传统特征函数推广到 $[0, 1]$ 区间上取值的“亦此亦彼”的隶属函数,以适应人们对模糊系的认识。

一、方法概述

一个概念有其内涵与外延,“集合”可以表现一定的概念,“集合”的运算和变换可以表现判断与推理。但有些概念没有明确的外延,例如对局部圈闭的评价经常是“好”、“较好”、“差”等概念组成的集合。经典的集合论要求一个对象对于一个集合来说要么属于、要么不属于,两者必居其一且仅居其一,这样就限定了经典集合只能表现确切的概念,它的隶属关系只有“0”和“1”两种逻辑值,故对局部圈闭评价时就显得不够了,它不能用绝对的“好”和绝对的“差”来描述,即不仅有“0”和“1”两种状态,还出现了“较好”、“次之”、“有希望”、“可能”等中间状态的模糊概念,对其评价具有“亦此亦彼”的模糊性。因此,不能用经典集合来描述,随之产生了用模糊集合论来分析研究这类问题的方法。

(一) 方法原理

本文采用宏观评判与微观评判相结合的方法,对控制圈闭含油性的因素进行处理,达到评价的目的,具体流程见图1。

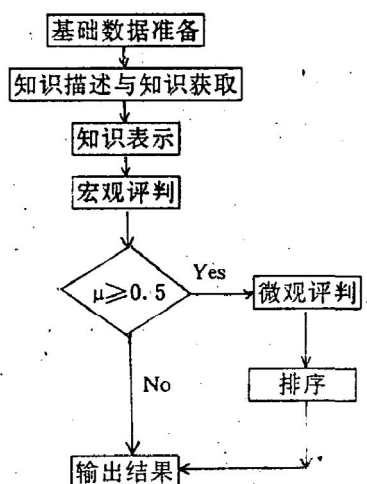


图1 圈闭评价的流程

1. 宏观评判

宏观评判是圈闭含油性的前提,本文以圈闭所处的区域构造位置、生油条件、储集条件、盖层条件、运聚条件、保存条件、可靠程度、地震地层学知识八个因素构成宏观评判的因素集合 U , 即:

$$U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$$

把评价结果的好坏分成 m 个级别, 构成评判集合 V , 即:

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$$

只有当所有的宏观参数的隶属度满足某个条件时, 才有必要进一步对之评价, 其判别的数学表达式为:

$$\mu = \bigwedge_{i=1}^N \mu_i \geq 0.5$$

式中 μ_i ——第 i 个宏观参数的隶属度; N ——宏观参数的总数; $\bigwedge$ ——取最小运算符。

2. 微观评判

在宏观评判的基础上, 对满足 $\mu = \bigwedge_{i=1}^N \mu_i \geq 0.5$ 的圈闭进行微观评判, 以圈闭类型、圈闭面积、闭合高度、砂泥岩百分比、可容性、高点埋深等因素构成微观评判的因素集合 W , 即:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_N)$$

单因素判别矩阵为 $R = [r_{ij}]_{m \times N}$, ij 表示第 i 个元素对 j 种评语的隶属度。又设因素集合中各元素的权重 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, 评判结果为 $B = (b_1, b_2, \dots, b_s)$, 则模糊综合评判方程为:

$$B = A \otimes R$$

式中 $\otimes$ 代表一对模糊算子。

(二) 模糊集构成

圈闭模糊评价的模糊集是一个圈闭评价的数学模型, 它是把任意空间定性或定量的问题转化为 $[0, 1]$ 区间的定量无纲量问题, 本文根据专家知识, 结合工区实际情况对模糊集构成选择的隶属度函数取以下3种形式:

(1) 选择集合 $A = \{0, a_1, a_2, \dots, a_n, 1\}$ 中的元素作为离散隶属度, 其中 $0 < a_1, a_2, \dots, a_n < 1$;

(2) 单因素控制函数 $\mu(x) = f(x, a)$;

(3) 多因素控制函数 $\mu(x) = f(x, a_1, a_2, \dots)$ 。

在这里我们仅对部分因素的隶属函数作说明。

1. 宏观因素的隶属度

宏观特征对圈闭的含油气性判识只是粗略的概述,是圈闭含油气性的准必要条件,不是充分条件,所以我们用有利性来表示隶属度数。

(1) 区域构造位置

尽管油气盆地的类型、地质时代和大小不同,盆地的地质结构、岩石类型和发育不一致,但油气在盆地中分布基本上是受有效生油区的控制,故我们选择临近油源的圈闭的隶属度函数为1,距油源较远的圈闭的隶属度函数为0.5,边界断裂以外或远离油源的圈闭的隶属度函数为0。

(2) 生油条件

生油条件的好坏,直接关系到盆地及其构造的含油气性。我们以单位面积油的资源量为评判参数确定生油条件的隶属度。

(3) 储集条件

对圈闭中储集层发育程度的预测直接关系到对圈闭有效性的评价^[2]。岩相研究是对圈闭中储集层发育程度认识的基础,而在此基础上,结合孔渗资料可得到储集条件分析图,就可以宏观评判构造所在处的储集层发育情况。故本文以此图作为储集条件隶属度函数的取值标准,即构造所处的储集相带给予相应的隶属度值。

(4) 盖层条件

盖层条件是构成有效圈闭的重要条件之一,对于不同的圈闭类型,封闭的研究内容不一样。对于断层起封闭作用的放在可靠程度中论述,这里主要讨论泥岩的封闭程度。涅斯捷夫指出^[2],根据理论计算和实验数据,使油或气渗透过1m厚的泥质盖层需要油气藏中具有 $1176 \times 10^4 \text{Pa}$ 的压降值,而高度为100m油藏的剩余压力仅为 $14.7 \times 10^4 \text{Pa}$,这说明仅数米厚的泥质盖层就可以封住高达数百米的油气藏中的油气,而盖层质量可以增加厚度来补偿。我们选择 $\mu(x)$ 为盖层条件的隶属度函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{1}{1 + \alpha(x-a)^{-\beta}} & x \geq a \end{cases} \quad \alpha, \beta > 0$$

式中 x ——泥岩厚度; α 、 β ——经验常数; a ——泥岩具封闭能力的起始厚度。

(5) 运聚条件

我们对圈闭进行运聚条件分析时,是将埋藏-热变曲线与圈闭发育曲线配合起来分析的,以便明确圈闭发育与热成熟条件的配置关系。在海安凹陷的研究中,分以下四种情况求取其隶属度:

① 共成熟型:即圈闭中的生油岩已进入热成熟门限深度,圈闭的形成时期与生油岩的成熟期一致,这类圈闭其隶属度取1(图2)。

② 侧成熟型:圈闭层在热成熟门限值以上,但其供油半径内沉积凹陷中的生油岩已进入门限值,圈闭形成时期与油气运移时期同时或较早,则取隶属度为0.70,否则为0(图3)。

③ 下成熟型:即圈闭层在热成熟门限值以上,但其下伏的生油岩已进入门限。如果圈闭形成时间早于油气运移或同时,且垂向油气运移的通道发育,其隶属度取0.70,否则为0。

(图4)。

④未成熟型：这类圈闭埋藏深度浅，且其中没有进入热成熟门限的生油岩，在供油半径内的沉积凹陷中也没有进入热成熟门限的生油岩，这类圈闭的隶属度取0(图5)。

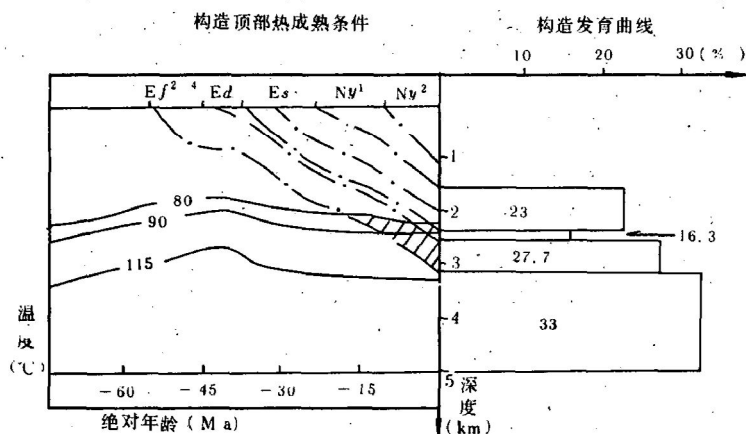


图2 张家垛构造聚油条件分析图(共成熟型)

(6) 保存条件

保存条件主要是根据地震资料及钻井得到的油气水信息，分析各圈闭的发育史与流体性质，从而确定其隶属度。

(7) 可靠程度

可靠程度的研究主要是利用地球物理资料及钻探资料进行的。与断层有关的圈闭，通过研究断层的活动性质、断面的倾角及其两侧岩性的配置，确定断层的封闭性质，另根据测网密度及资料品质分可靠圈闭，较可靠圈闭与不可靠圈闭确定其隶属度。

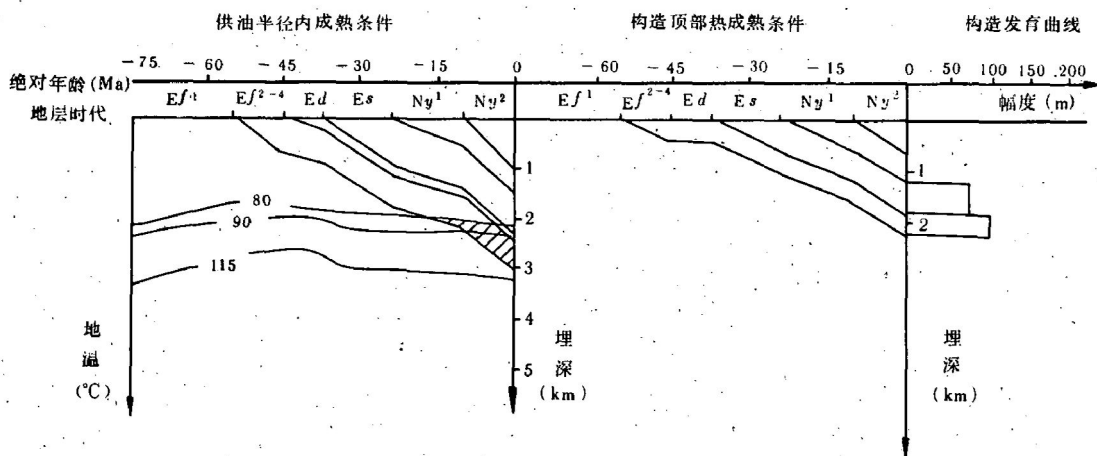


图3 A构造聚油条件分析图(侧成熟型)

(8) 地震地层学知识

海安凹陷南部地区进行了地震地层学工作，根据反射作定性分析，恢复地层学的信息。运用反射振幅、连续性的变化及整一关系划分独特的区域，并结合沉积特征分析，进行沉积环境恢复；在油气地质条件分析的基础上得出有利的生储油相带。本文应用这一结论作为评价局部构造的一个宏观因素，更进一步的工作有待今后深入探索。

2. 微观因素的隶属度

(1) 圈闭类型

圈闭类型不同，它的含油气风险值就不同，故应结合工区特点，进行圈闭分类以确定其隶属度值。

(2) 圈闭面积、闭合高度

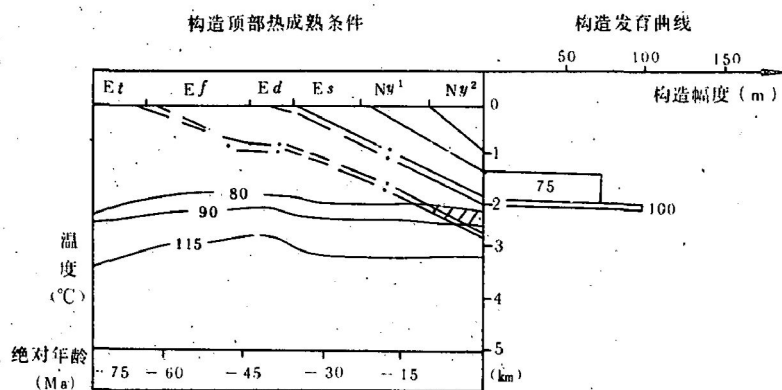


图4 B构造聚油条件分析图(下成熟型)

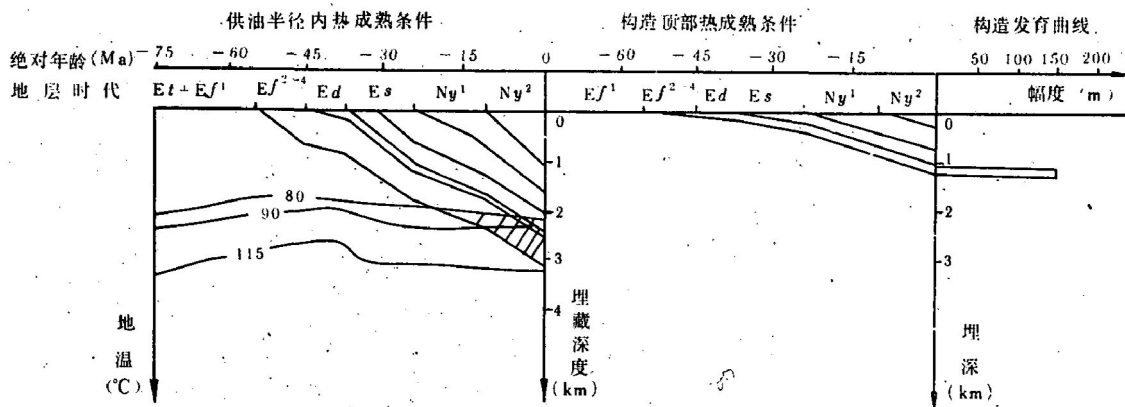


图5 C构造聚油条件分析图(未成熟型)

圈闭面积和闭合高度是圈闭的空间概念,当然,我们希望它们越大越好,为此取以下函数表示其隶属度函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} kx & x < \alpha \\ a + bx & \alpha < x < \beta \\ 1 & x \geq \beta \end{cases}$$

式中 k 、 a 、 b ——经验常数; α 、 β ——工区圈闭面积或闭合高度的评价限值。

(3) 砂泥岩百分比

研究砂泥岩百分比变化情况,对评价储集层的优劣有一定意义。研究表明,油气富集程度与地层中砂泥岩比之间存在着内在的联系。钱之光等于1982年引用国外7241个砂岩储油层中砂泥岩交互层的模拟结果说明,聚油地层中最佳砂泥岩百分比在20%—60%之间,我国陆相沉积盆地中油气在砂泥岩剖面上的分布规律也显示了这一特征。例如,渤海湾盆地冀中坳陷下第三系沙河街组四段到孔店组中已发现的别古庄、孟南等油气藏均形成于砂泥岩百分比为20%—45%的地带。故本采用以下函数表述砂泥岩百分比的隶属度函数:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2}$$

式中 a 、 σ ——经验常数。

(4) 可容性

如某圈闭位于盖层和储层发育配合良好的地区,即可认为该圈闭的有效性好,反之则差或无效。这是定性评价。依·维索斯基于1981年提出^[2],应用圈闭的容纳烃类的可能性(可容性) k 值来表示圈闭对烃类的容纳能力。

$$k = V_{\text{真}} / V_{\text{视}}$$

式中 $V_{\text{视}}$ ——圈闭的视体积,为圈闭面积乘圈闭的平均闭合高度; $V_{\text{真}}$ ——圈闭的真体积,指圈闭范围内有效储集层体积。

根据圈闭可容性大小取其隶属度函数值,即:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & k > 0.5 \\ 0.6 & 0.25 \leq k \leq 0.5 \\ 0.4 & 0.1 \leq k < 0.25 \\ 0 & k < 0.1 \end{cases}$$

(5) 目的层埋深

目的层埋深不仅关系到经济效益,而且它也与圈闭形成时间、油气生成时间、生储油层的配置有关,因此我们也以一定的关系式表述其隶属度。例如在海安凹陷应用上述方法评价构造圈闭含油气性时,根据钻井揭示的油气显示成果和储集层成岩作用的研究成果,确定其隶属度函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ 或 } x < d \\ \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^k & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ \left(\frac{d-x}{d-c}\right)^k & c \leq x < d \end{cases}$$

式中 a, b, c, d ——结合上述成果确定的常数; k ——经验值。

二、实际资料应用

海安凹陷南部地区包括曲塘凹陷和海北次凹两个构造单元,位于东台拗陷东部,其西北与泰州凸起相邻,东部向海区延伸与南黄海凹陷相接,北邻海安凹陷中央断隆带和新街次凹,南邻南通隆起(图6),面积约1347 km²。基底由印支-燕山期褶皱的中、古生界组成。上第三系极其发育,下第三系沉积较薄,阜宁组受吴堡运动强烈抬升而遭受剥蚀,但在凹陷中心保存较完整,戴南组是充填超覆在吴堡剥蚀面之上的一套河流相碎屑岩。主要生油层为泰州组二段、阜宁组;储集层为泰州组一段、阜一段、阜二段砂岩和戴南组及以上层位砂岩。曲塘凹陷发现张家垛油田,在其它一些构造上也见到不同程度的油气显示,虽然它的油气地质条件不如金坛、高邮、溱潼凹陷,但仍是一个值得深入工作的地区,故有必要对其圈闭进行含油远景评价。

区内已发现和落实36个圈闭(图5),根据前面介绍的方法,把各圈闭的参数输入计算机,运算结果如表1。

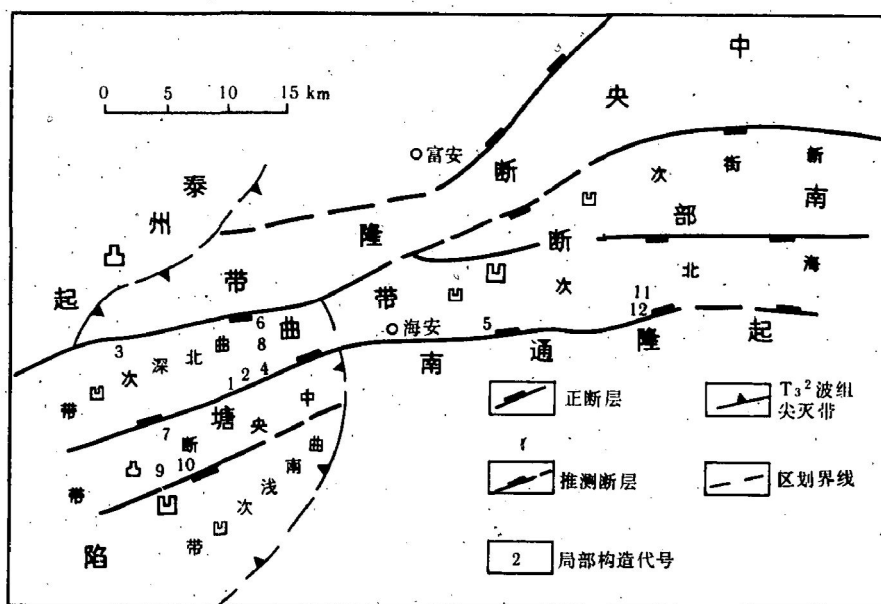


图6 海安凹陷南部局部构造分布图

1—胡家集1号, 2—胡家集2号, 3—张家垛, 4—胡家集3号, 5—立发, 6—顾家庄,
7—东李庄, 8—夏家套, 9—塔子里, 10—大桥七队, 11—丁家所1号, 12—丁家所1号

表1 模糊评判结果表

评价结果	原次序	圈闭名称	评价值	阈值(λ)
1	3(I)	张家垛	0.83	>0.7
2	8(I)	夏家套	0.79	
3	1(I)	胡家集1号	0.76	
4	5(I)	立发	0.74	
5	7(I)	东李庄	0.72	
6	2(I)	胡家集2号	0.71	
7	4(I)	胡家集3号	0.67	>0.5
8	6(I)	顾家庄	0.58	
9	11(II)	丁家所1号	0.57	
10	10(I)	大桥七队	0.56	
11	9(II)	塔子里	0.53	
12	13(II)	海北底辟	0.41	<0.5
13	12(II)	丁家所1号	0.42	
14	14—36	其它构造		

三、结果分析

对海安凹陷南部地区36个圈闭模糊评价结果有几个特点: 首先对所有参加评价的圈闭均按模糊值大小进行系统排队, 直观明了; 其次, 以选定阈值 λ 的大小决定评价的等级及其个数。

本次工作阈值 λ 是人为给定的,它是根据苏北盆地各油气藏的形成特征,并结合专家知识得到的,可以看出 λ 值大小与评价结果有直接关系。以 $\lambda > 0.7$ 为Ⅰ类圈闭,共有6个; λ 值在0.5—0.7之间为Ⅱ类构造,共有5个;其余25个为 $\lambda < 0.5$ 的Ⅲ类圈闭。

在评价的6个Ⅰ类圈闭中,张家垛构造为油田;胡家集构造、立发构造都见到油气显示,进一步追索是可以突破的;夏家套、东李庄为钻探中的构造。这些圈闭都具有良好的配置关系,如张家垛构造,据聚油条件分析图(图1),它在早期形成、中晚期得到继承,利于聚集从深拗陷中运移而来的油气,且圈闭层中生油岩亦已发育成熟,故而是一种自生自储的圈闭类型。因此把它模糊评价为Ⅰ类构造是恰当的。

可见,上述Ⅰ类圈闭是最有利区,Ⅱ类圈闭是较有利区,Ⅲ类圈闭是远景较差区。

本文运算是在PC机上实现的,在知识模型获取上得到刘培华、罗继坤、尤孝忠等同志的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 罗承忠编著. 模糊集引论. 北京: 北京师范大学出版社, 1989: 1—500.
- 2 朱世新等编著. 油气田调查勘探与资源评价. 北京: 地质出版社, 1987: 52—165.

EVALUATION OF HYDROCARBON POTENTIAL IN LOCAL STRUCTURES OF HAIAN DEPRESSION: AN APPLICATION EXAMPLE OF FUZZY MATHEMATICAL METHOD

Xue Bing

(Geological Research Party, East China Bureau of Petroleum Geology, Yangzhou Jiangsu)

Abstract

A method of macro-judgement and micro-judgement in which eight factors including tectonic position, oil-generating condition, reservoir condition, cap-rock condition, migration and accumulation condition, preservation condition, reliability and seismic stratigraphy formed the factor set of macro-judgement, and the other six factors containing trap type, trap area, closing height, percentage of sandstone and mudstone, effective space of reserve, burial depth of the target stratum formed the factor set of micro-judgement was adopted in this paper. It is also introduced concretely how to obtain subordinate functions of every factor and to compose fuzzy judgement matrixes. As the result of judging, 36 traps in Haian Depression could be divided into three types.