

采用多级模糊综合评判法对 剩余油潜力定量评价

付国民¹, 马力宁², 屈信忠²

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 青海油田 分公司, 甘肃 敦煌 730000)

[摘要] 在高含水期碎屑岩储层剩余油形成条件、分布规律及控制因素分析的基础上, 选取剩余油饱和度、储量丰度、砂体类型、砂体位置、所处位置、连通状况、微构造形态、注水距离、射开完善程度、注采完善程度、渗透率变异系数等 11 项静态和生产动态指标组成剩余油潜力评价因素集, 并对各因素进行层次划分及权系数统计分析, 采用多级模糊综合评判方法, 以 M 油田为例对复杂非均质油藏剩余油潜力进行定量评价, 将 A、B 主力层各井组划分为 I ~ III 类潜力区, 从而建立剩余油潜力分析量化模型, 实现剩余油定性分析结果的量化描述。

[关键词] 剩余油潜力; 影响因素; 多级模糊综合评判

[中图分类号] TE14; TE343 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0038-04

[作者简介] 付国民(1968—), 男, 甘肃定西人, 副教授, 博士, 现从事油藏描述与油藏工程研究工作。

剩余油分布规律及其潜力评价是油田开发后期井网综合调整挖潜的关键所在, 只有明确高含水期储层剩余油的具体位置及其数量, 才能有的放矢的制定挖潜措施, 因此许多专家将高含水期综合调整归纳为“认识剩余油、挖潜剩余油”^[1~4]。影响剩余油形成与分布的各类地质及生产动态等因素是极其复杂的, 各因素对剩余油分布具有不同级别的控制, 且其间存在不确定性的相互影响程度, 因此很难用精细的线性数学方法进行定量表征^[5~7], 而油田开发高含水阶段综合调整挖潜生产实践要求对剩余油潜力进行定量表征, 在对剩余油潜力评价的常规研究中, 往往仅以剩余油饱和度或剩余油储量丰度等一种指标评价剩余油潜力, 即难免以偏概全, 又很难做到定量评价, 人为因素无法避免。笔者采用多级模糊综合评判方法考虑储层非均质特征及其开发动态等 11 项影响因素^[8~10], 以 M 油田为例对复杂非均质油藏剩余油潜力进行定量评价, 建立剩余油潜力分析量化模型, 实现剩余油定性分析结果的量化描述。

1 多级模糊综合评价原理及其方法

多级模糊综合评判是综合决策的一个有力数学工具, 适应于评判影响因素层次性及影响程度不确定性项目。通过对河流相储层剩余油形成条件、分布规律及其控制因素分析研究, 剩余油形成主要受沉积微相、油层微型构造、注采状况等多种因素控制, 这些因素共同确定了剩余油的分布状况, 具体表现为剩余油饱和度、剩余石油储量丰度及可采剩余储量的平面及纵向差异性, 以上各种因素之间存在着有机联系, 其间的相互影响程度是不确定的, 也是现阶段难以定量表征的。在充分考虑影响剩余油形成与分布因素的基础上, 结合河流相储层严重非均质性特点, 选取剩余油饱和度、储量丰度、砂体类型、砂体位置、所处位置、连通状况、微构造形态、注水距离、射开完善程度、注采完善程度、渗透率变异系数等 11 项静态和生产动态指标组成评价因素集, 各因素组成复杂关系谱系^[11], 在上述各因素中, 剩余油饱和度与剩余储量丰度的大小是各类静态及生产动态综合作用的结果, 是剩余油潜力评价的主要指标, 因此在实际评价中, 首先圈定剩余油饱和度及其剩余石油储量丰度高值区, 然后应

用多级模糊综合评判的数学方法,对剩余油富集区进行综合评判。

在剩余油富集区评价中采用的数学模型为:

设 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11}\}$ 为评价因素集; $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ 为剩余油潜力等级集,评价因素集与剩余油潜力等级集之间的模糊关系用矩阵来表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \\ r_{71} & r_{72} & r_{73} \\ r_{81} & r_{82} & r_{83} \\ r_{91} & r_{92} & r_{93} \\ r_{101} & r_{102} & r_{103} \\ r_{111} & r_{112} & r_{113} \end{bmatrix} \quad (1)$$

单因素评价矩阵 $R = [r_{ij}]_{n \times m} = \mu(\mu_i, v_j) (0 \leq r_{ij} \leq 1)$, 其中 r_{ij} 为第 i 因素对第 j 评语的隶属度。矩阵 R 中的 $R = \{r_{12}, r_{12}, r_{13}\}$ 为第 i 个评价因素 u_i 的单因素评判,它是 V 上的模糊子集。隶属度主要根据检查井资料及单层测试资料分级分类统计求取。

由于影响剩余油的诸因素对剩余油潜力划分作用大小程度不同,因此必须考虑因素权重问题。

假定 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{11}$ 分别是评价因素 $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11}$ 的权重,并满足 $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_{10} + a_{11} = 1$, 令 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{11}\}$, 则 A 为反应权重因素的模糊集,即权向量。本次权系数的求取主要根据实践经验并结合河流相储层剩余油富集特点综合考虑。

由权向量与模糊矩阵进行合成得到综合隶属度 B , 则通过模糊运算

$$B = A \circ R,$$

式中: B 为综合评判结果; A 为权重系数; R 为单因素评价矩阵; \circ 为模糊运算符。

据上式求出模糊集

$$B = (b_1, b_2, b_3) \quad (0 \leq b_j \leq 1),$$
$$b_j = \sum_{i=1}^{11} a_i r_{ij} \quad (M^{\circ}, +). \quad (2)$$

根据最大隶属度准则, $b_{i0} = \max\{b_j\} (1 \leq j \leq 3)$ 所对应的隶属度即为综合评判值,依据综合评判结果 B 值将剩余油潜力分为 3 类: $B \geq 0.5$ 为最有利的剩余油富集区; $0.1 < B < 0.5$ 为有利的剩余油富集区; $B \leq 0.1$ 为较最有利的剩余油富集区。

分析各种影响因素可以看出,对剩余油潜力进行综合评价宜采用二级评价数学模型,在实际评价中,首先根据地质综合法和数值模拟结果,圈定剩余油饱和度及剩余油储量丰度高值区,进而对这些井区的砂体类型、砂体位置、所处位置、连通状况、微构造形态、注水距离、射开完善程度、注采完善程度、渗透率变异系数等参数均按 3 类进行一级评判,对剩余油饱和度及储量丰度按不同层对各个井区归一化后赋值,然后从以下 11 个方面对剩余油潜力进行评判,分别为: 剩余油饱和度 A 、储量丰度 B 、砂体类型 C 、砂体位置 D 、所处位置 E 、连通状况 F 、微构造形态 G 、注水距离 H 、射开完善程度 I 、注采完善程度 J 、渗透率变异系数 K 。

多级模糊综合评判的数学模型简单易行,关键是确定权系数及其评判矩阵。研究中根据影响剩余油富集的重要程度,采取专家打分及因子分析相结合的方法确定权重系数: $A = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K\} = \{0.2, 0.15, 0.12, 0.06, 0.08, 0.05, 0.05, 0.07, 0.08, 0.09, 0.05\}$, 由此可见,在各因素中,剩余油饱和度与剩余储量丰度、砂体类型是影响剩余油潜力的主要因素,其次,砂体连通状况、注采完善程度、射开完善程度对剩余油富集具有重要的控制作用。在具体评价中,对影响剩余油富集的地质因素及注采状况等因素,如砂体类型、微构造类型、注采完善程度等非量化指标,对各种类型按最有利、有利、较有利分别赋予权值(表 1),非均质性注水井距离等定量指标按其值范围赋予权值。

2 综合评判结果

对 M 油田 A、B 主力层剩余油富集区进行了多级模糊综合评价,首先根据油藏数值模拟结果和综合地质分析法圈定潜力井组,对各井组按上述 11 项指标分类进行二级评价,然后根据所建立的模糊矩阵,结合权向量进行综合评判,结果见图 1,图 2, A 层 I 类潜力区主要分布在 $f5-4, f5-5, f11-11, f9-11, f7-2, f11-4$ 等井区, II 类潜力区主要分布在 $f11-5, f10-5, f9-4, f7-3, f7-6, f5-2, f3-2, f2-5$ 等井区, III 类潜力区主要分布在 $f9-6, f1-4$ 等油砂

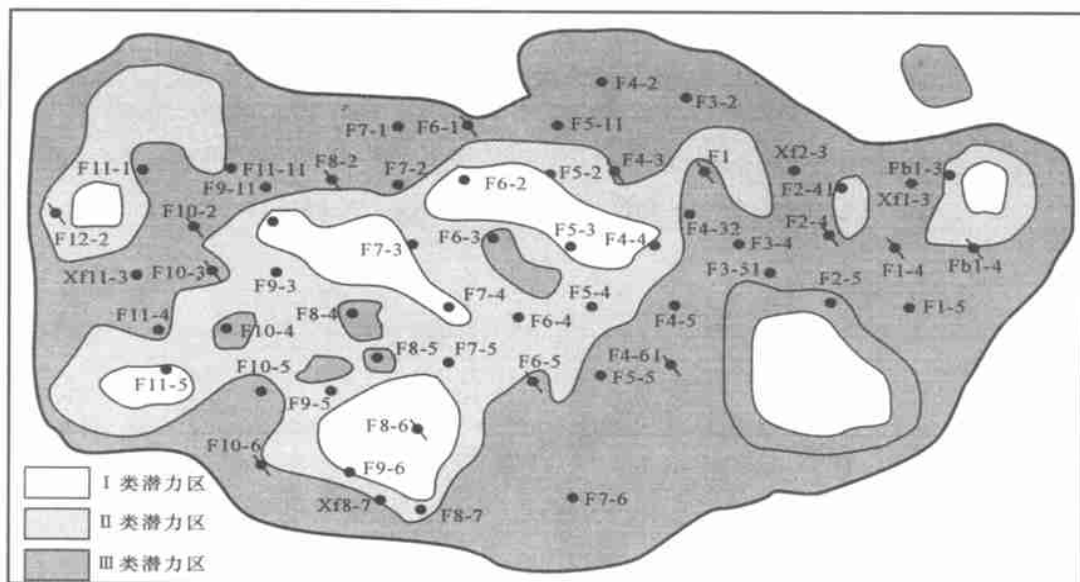


图2 B层剩余油潜力评价

Fig. 2 Potential evaluation of the remaining oil of the B reservoir

- [3] 刘建民. 河流成因储层剩余油分布规律及控制因素探讨[J]. 油气采收率技术, 2000, 10(4): 50~53.
 - [4] 董冬. 河流相储层剩余油类型及分布规律[J]. 油气采收率技术, 1999, 6(3): 39~46.
 - [5] 李中江. 高含水后期单层剩余油识别方法研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(6): 30~33.
 - [6] 赵永胜. 剩余油分布研究中的几个问题[J]. 大庆石油地质与开发, 1996, 15(4): 45~48.
 - [7] 俞启泰. 关于剩余油研究的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 98~102.
 - [8] 林成焰. 剩余油形成与分布[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2000.
 - [9] 窦之林. 孤东油田馆陶组河流相储层流动单元模型与剩余油分布规律研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 520~526.
 - [10] 黄文芬. 孤东七区西储层非均值表征及剩余油定量描述[D]. 成都: 成都理工大学, 2001.
 - [11] 付国民. 河流相储层地质建模及剩余油分布规律研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2003.

Quantitative evaluation for the potentiality of remaining oil by multilevel fuzzy judgement method

FU Guo-min¹, MA Li-ning², QU Xin-zhong²

(1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Qinghai Oilfield, Dunhuang Gansu 730000, China)

Abstract: The remaining oil potential in the complex heterogeneous reservoir of the Fanchiachuan oil field is quantitatively evaluated by applying multilevel fuzzy judgement method. In the evaluation of remaining oil potential, the remaining oil abundance, sand-body style, sand-body location and pace, connection status, microscopic construction configuration, producer-injector spacing, perforating completely penetrating degree, producer-injector perfect degree, permeability variation coefficient were selected as factors. On the basis of analysis of formation condition, distribution and controlling factor of the remaining oil, the hierarchical structure and power coefficient of all factors are statistically analyzed. The A, B major reservoir is divided into I, II and III potential sections by which the quantitative model of the remaining oil potential evaluation is built up and thus the qualitative description of qualitative analysis result of remaining oil could be realized.

Key words: potentiality of the remain oil; the influence factors; multilevel fuzzy judgement

(英文审定: 苏生瑞)