

保有石油预测储量 升级潜力评价方法及升级策略

石磊,黄学斌,刘景亮,张连,庄丽,张风东
(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:在低油价形势下,保有预测储量的有效升级动用是大家关注的焦点问题。目前保有石油预测储量基数大,缺乏针对预测储量升级潜力评价的系统性研究。采用漏斗筛选模型分层次建立清晰有效的预测储量升级潜力评价方法流程体系,强调升级过程中各阶段风险的评价和控制。为了最大程度降低地质风险评价中的人为因素影响,首次采用距离综合评价方法(TOPSIS法)对影响储量升级的地质因素进行评价,此方法应用于渤海湾盆地碎屑岩油藏,优选出升级潜力区块 11 个,取得良好的应用效果。研究表明,预测储量不确定性较大,在升级过程中,及时识别风险,找出难点,制定行之有效的升级策略,采用与之相适应的技术手段,寻求突破,才能进一步推动储量的高效升级动用。

关键词:评价方法;升级策略;升级潜力;预测储量;碎屑岩油藏;渤海湾盆地

中图分类号:TE155

文献标识码:A

Evaluation of upgrading potential and strategy for inferred initially in-place petroleum

SHI Lei, HUANG Xuebin, LIU Jingliang, ZHANG Lian, ZHUANG Li, ZHANG Fengdong
(SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Under the background of low oil price, the effective upgrading and utilization of the inferred initially in-place petroleum reserves are essential. At present, there is a large quantity of existing inferred initially in-place petroleum, but there is no systematic study on the evaluation of the upgrading potential. In this paper, a funnel screening method is used to establish a clear and effective evaluation procedure and to focus on the evaluation and control of risks in each stage of the process. In order to minimize the influence of human factors in geological risk assessment, the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) is used to evaluate the geological factors that affect the reserves upgrading for the first time. Eleven potential upgrading blocks have been selected and achieved good results in clastic rock reservoirs in the Bohai Bay Basin. The research results show that the uncertainty of the predicted reserves is large. In the upgrading process, the risks and difficulties should be identified in time. The corresponding technical measures are taken and the strategy are proposed, which provides guarantee for the further efficient and economic upgrading of reserves.

Key words: evaluation method; upgrading strategy; upgrading potential; inferred petroleum initially in place; clastic rock reservoir; Bohai Bay Basin

近年来,中国石化保有石油预测储量升级率较低,仅为 21%,对新增控制储量的贡献小,造成新增控制储量过度依赖于当年的勘探新发现,因而评价保有石油预测储量升级潜力,推动储量有效升级动用具有重大的现实意义。目前,针对储量升级的系统性研究并不多,主要的评价方法有 2 种:指标体系权重赋值法和升级概率法。指标体系权重赋

值法,其核心是将影响升级的各类指标进行赋值,确定各项指标权重,依据各项指标的综合打分结果对评价目标进行筛选排队^[1-10]。升级概率法是对影响升级的各种储量计算参数及井控等因素的可靠性概率进行估算,最终计算各种因素同时发生的概率得到预测储量升级概率,升级概率越大,升级的可能性就越大^[11]。这些方法的共同之处是将影

响升级的各类因素放在一起评价,变量较多,各变量之间的关系复杂,不能反映预测储量的特点,突出制约升级的主控因素,对实际油藏评价的科学性和可操作性较差。目前预测储量升级的主要难点问题是随着勘探开发程度加深,新发现油藏地质条件复杂、储量品位差,低渗—特低渗、特殊岩性和稠油油藏在新增储量构成中占比达 90%,因而建立科学、有效的石油预测储量升级潜力评价方法,对升级潜力作出合理的评价是十分必要的。

预测储量是指在圈闭预探阶段预探井获得了油气流或综合解释有油气层存在时,对有进一步勘探价值的、可能存在的油藏估算求得的、确定性很低的储量^[12]。预测储量在储量标准中处于最底层,不确定性最大,风险性也最高,因而对其升级潜力的评价是个长期动态监控的过程,对过程及风险的把控要比结果更为重要。本文借鉴管理学中经典的销售漏斗模型(Sale Funnel),评价保有预测储量的升级潜力并制定升级策略。销售漏斗是科学反映机会状态以及销售效率的一个重要的销售管理模型,评价从潜在的客户阶段,发展到意向客户阶段,最终获得收益这个过程所经历的一个类似漏斗筛选的过程^[13-14]。选取 2017 年底的保有预测储量,跟踪近两年来这些储量的升级过程,将升级过程分阶段、分层次筛选,识别每个阶段的风险,给出评价标准,找出每个阶段升级的制约性因素即漏斗瓶颈,制定策略,把握机会,提高转化率。依据地质是基础,技术是关键,效益是核心的原则,首先从地质因素出发,初筛出地质储量相对落实、储量品质较好的区块;其次是针对潜力区块开展评价试验,根据已升级油藏开发技术应用效果,进一步细筛出测试产能接近或达到储量起算标准的潜力目标区,升级为控制储量;最后根据技术应用前景,确定控制储量是否具备升级潜力,再通过技术攻关试验或试采评价,开展详细技术经济评价,确定是否达到探明储量标准,建立一个完整的保有预测储量升级潜力漏斗筛选模型。

1 保有预测储量升级潜力评价方法

对比不同地区,不同盆地多年预测储量升级历史数据,可以看出不同地区受储量品位及地质认识程度等影响,升级率不同。如东部某些勘探程度较高的断陷盆地,升级率较高,在 30% 以上,而西部勘探程度较低的盆地,升级率较低,仅 5%。因此地质认识较为清晰,储量品位较高是预测储量升级

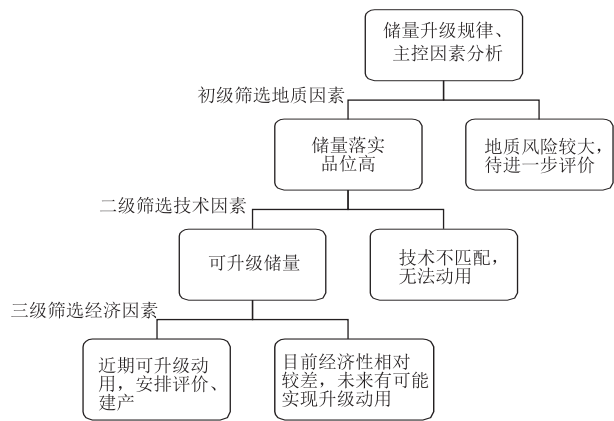


图 1 预测储量升级潜力评价流程

Fig.1 Evaluation of upgrading potential of inferred petroleum initially in place

的先决条件,也是漏斗筛选的顶层条件,然后依次往下层层筛选,使用技术指标、经济指标作为能否进一步升级的决策依据(图 1)。

1.1 地质因素筛选

影响预测储量升级的地质因素很多,各个因素之间又不完全独立,存在复杂的相关性,评价难度较大。以前主要采用权重赋值法^[11],这种指标体系中赋值参数分级过分依赖人的经验和主观的判断。本文采用距离综合评价方法(TOPSIS 法),这种方法的核心是通过计算有限个样本点到最优、最劣样本点的距离来进行评价。TOPSIS 法根据评判对象与理想化目标的接近程度进行排序,对现有对象进行相对优劣的评价,若评判对象最靠近最优解,则为最优值,否则为最差值^[15-16]。TOPSIS 法是多因素分析中一种常用的有效方法,被应用于圈闭评价优选、勘探资产评价等。这种方法可以充分利用原始数据的客观性,最大程度降低人为因素影响的不确定性,使得评价结果可信度更高。

使用 TOPSIS 法评价预测储量升级可量化的关键地质影响因素,主要分为 3 个步骤:

第一步,参数选取,建立评价因素矩阵。选择研究对象,假设有 m 个待评价的保有预测储量区块,组成方案集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 。选取与待评价的保有预测储量成因相似且已升级的油藏,分析升级过程,找出制约升级的主控因素;选取影响该类油藏储量升级的关键且可量化的 n 个地质因素,如孔隙度,渗透率,油藏埋深等,建立影响因子指标集 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$,评价对象对应的评判指标记为 $X_{ij}(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$,即 X_{ij} 表示第 i 个方案中第 j 个评判指标,建立初始评判矩阵:

$$A = (X_{ij})_{mn} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

第二步,标准化矩阵处理。地质影响因素可分为正向影响因素和负向影响因素,正向影响因素越大则储量可升级性越高,负向影响因素则相反。由于评价中各类地质因素具有不同的量纲和单位,不具有可比性,因此为了消除各因素之间的不可共度性,要对评价因素做归一化处理,形成一个标准化的多因素决策矩阵 $R = (r_{ij})_{mn}$ 。各因素归一化处理计算公式如下:

(1) 正向影响因素标准化公式

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{ij\min}}{X_{ij\max} - X_{ij\min}} \quad (2)$$

(2) 负向影响因素标准化公式

$$r_{ij} = \frac{X_{ij\max} - X_{ij}}{X_{ij\max} - X_{ij\min}} \quad (3)$$

$$R = (r_{ij})_{mn} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

第三步,样本点到最优、最劣样本点的距离贴适度分析。矩阵中最优理想样本为每个因素值都为最优,记为 r_j^+ , 而最劣理想样本为每个因素值都为最劣,记为 r_j^- , 那么评价对象到最优理想点的距离 (d_i^+) 和最劣理想点的距离 (d_i^-) 分别为:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (5)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (6)$$

贴适度综合评价因子 $c_i^+ [c_i^+ = d_i^+ / (d_i^+ + d_i^-)]$ 反映了评价对象靠近正理想解、远离负理想解的程度; c_i^+ 值一般在 0~1 之间, c_i^+ 值越小表明距离正理想解越近,即越优化。因而在影响升级的地质因素中, c_i^+ 值就代表地质风险,当 c_i^+ 值越小也就代表地质风险越小,越接近理想值;而越大则表明偏离理想值越远,代表地质风险大。为了便于评价地质风险,将 c_i^+ 值分为 3 个等级,小于 0.5 为低风险, 0.5~0.75 为中等风险,大于 0.75 为高风险。只有当 c_i^+ 值小于 0.75, 为中低地质风险时, 区块才能进入下个层次的筛选。

1.2 技术、经济因素筛选

在地质条件落实的情况下,进行二级筛选,判断现有的开发技术条件能否支持储量的升级,能否实现油藏的有效升级动用。例如,油气藏埋藏深、储层致密、物性差,需要工程技术的支持,水平井分段压裂技术在致密油藏的开采方面大量应用,但是在某些区块应用效果并不理想,多次压裂仍然无法突破,因而这些预测储量在现有技术条件下无法动用。对于地质条件差、技术还不成熟的,必须要开展试验攻关。

为了对评价目标作出更清晰的判断,基于现有的技术条件和设施,对开发技术风险进行分级。常规技术开发的油藏,如注水开发、稠油常规开采等认为是低风险,风险概率小于 0.5;而对于常规技术要加以改进的,如薄层水平井热采技术、小型压裂水驱开发等,则认为是中等风险,风险概率为 0.5~0.75;对于现有开发技术不匹配,需要大规模改进以及加强技术攻关的,则认为是高风险,风险概率为 0.75~1,这类区块目前无法实现有效升级动用。

在低油价的背景下,经济因素也是一个非常重要而复杂的指标。受储量品位、油价、成本等多种因素影响,储量经济评价有效益才能进一步升级动用,三级筛选划分出近期可升级动用区块,能够开展评价或建产的目标区块,以及经济性相对较差、未来需通过技术提升、降低成本等有可能实现升级动用的区块。在预测储量阶段,通常只有井的试油产量,产能预测往往精度较低,可靠性较差,主要依靠工业油流的一个判别标准作出一个初步的判断;而在升级为控制储量之后,更加注重能够获取的经济可采储量是多少,这时可以采用评价精度更高的平衡油价作为经济可行性评价指标。

2 应用实例分析

对中国石化东部渤海湾盆地碎屑岩油藏 2017 年底以前的保有预测储量进行研究,通过对已升级的同类油藏分析,认为制约升级的关键性可量化地质因素为有效厚度、有效孔隙度、渗透率、油藏埋深和可采储量丰度 5 个参数。采用 TOPSIS 分析法,结合专家意见,将地质可靠性较差的样本点去除,对盆地内 22 个区块进行分析,将各影响因素代入公式(2)和(3)进行归一化处理,建立多因素标准化矩阵(表 1),使用公式(5)和(6)分别求出样本点到最优样本和最劣样本的距离 d_i^+ 和 d_i^- ,最后计算得到贴适度评价因子 c_i^+ (表 2)。类比已升级、已开发油藏使用的开发技术及应用效果,进行开发技术

表 1 评价区块地质因素标准化参数

Table 1 Standardized parameters of geological factors of evaluation blocks

区块	标准化有效厚度	标准化有效孔隙度	标准化渗透率	标准化埋深	标准化丰度
A ₁	0.09	0.81	1.00	0.67	0.53
A ₂	0.09	0.72	0.25	0.93	0.18
A ₃	0.14	1.00	0.60	0.90	0.69
A ₄	0.01	0.81	0.17	0.77	0.35
A ₅	0.14	0.40	0.97	1.00	0.49
A ₆	0.03	0.75	0.04	0.97	0.29
A ₇	0.36	0.12	0.05	0.35	0.42
A ₈	0.08	0.80	0.43	0.66	0.36
A ₉	1.00	0.00	0.01	0.36	1.00
A ₁₀	0.40	0.12	0.00	0.32	0.50
A ₁₁	0.05	0.40	0.07	0.19	0.16
A ₁₂	0.05	0.28	0.00	0.23	0.20
A ₁₃	0.06	0.28	0.00	0.09	0.23
A ₁₄	0.09	0.02	0.00	0.00	0.08
A ₁₅	0.05	0.36	0.01	0.16	0.25
A ₁₆	0.18	0.02	0.00	0.24	0.18
A ₁₇	0.00	0.40	0.04	0.33	0.09
A ₁₈	0.01	0.01	0.02	0.05	0.00
A ₁₉	0.02	0.28	0.51	0.30	0.10
A ₂₀	0.11	0.19	0.09	0.70	0.11
A ₂₁	0.27	0.00	0.02	0.06	0.13
A ₂₂	0.08	0.12	0.07	0.46	0.16

表 2 评价区块 TOPSIS 参数及开发技术风险参数

Table 2 TOPSIS parameters and development technical risk parameters of evaluation blocks

区块	距最优样本距离 d_i^+	距最劣样本距离 d_i^-	贴近度评价因子 c_i^+	开发技术风险性
A ₁	1.10	1.54	0.42	0.20
A ₂	1.46	1.22	0.55	0.55
A ₃	1.00	1.64	0.38	0.57
A ₄	1.48	1.18	0.56	0.45
A ₅	1.16	1.54	0.43	0.52
A ₆	1.56	1.26	0.55	0.53
A ₇	1.69	0.66	0.72	0.30
A ₈	1.32	1.18	0.53	0.32
A ₉	1.55	1.46	0.51	0.45
A ₁₀	1.69	0.72	0.70	0.72
A ₁₁	1.87	0.48	0.80	0.65
A ₁₂	1.91	0.42	0.82	0.8
A ₁₃	1.96	0.38	0.84	0.77
A ₁₄	2.15	0.12	0.95	0.85
A ₁₅	1.89	0.47	0.80	0.63
A ₁₆	1.97	0.35	0.85	0.77
A ₁₇	1.89	0.53	0.78	0.67
A ₁₈	2.19	0.06	0.97	0.4
A ₁₉	1.74	0.66	0.73	0.6
A ₂₀	1.78	0.74	0.71	0.65
A ₂₁	2.03	0.31	0.87	0.63
A ₂₂	1.86	0.51	0.78	0.67

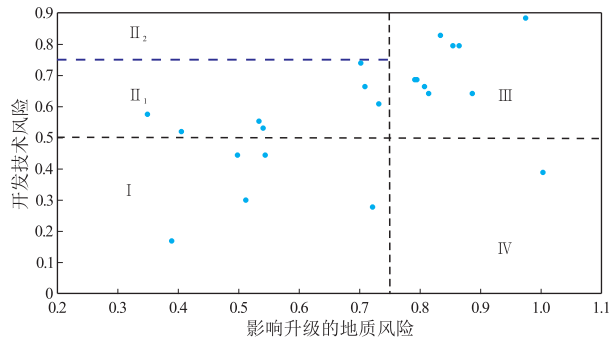


图 2 地质风险及开发技术风险双因素评价

Fig.2 Two-factor evaluation of geological risks and development technology risks

风险性分析,对开发技术风险进行分级评价赋值(表 2);将地质风险与开发技术风险放入同一坐标系(图 2),进行综合评价。在图 2 中可划分出 I、II₁、II₂、III、IV 类 5 个区: I 类区为中低地质风险、低技术风险区(地质风险小于 0.75,技术风险小于 0.5),可以优先开展勘探评价的区块; II₁类为中低地质风险、中等技术风险区(地质风险小于 0.75,技术风险为 0.5~0.75),这些区块需要后期进一步实施勘探开发、油藏评价工作,类比相似油藏,落实工程技术适用性; II₂类现有的开发技术风险较高(技术风险大于 0.75),无法实现储量的有效动用,需要加强技术攻关; III、IV 类区地质风险较高(地质风险大于 0.75),暂不可升级,需要深入开展地质研究,确定未来区块的走向。I 类区优选出 5 个潜力区块,分别为 A₁, A₄, A₇, A₈, A₉; II₁类区优选出潜力区块 7 个,分别为 A₂, A₃, A₅, A₆, A₁₀, A₂₁, A₂₂; III、IV 类区地质风险较高, II₂类开发技术风险较高,暂不升级。

通过地质因素、技术因素依次筛选出的 12 个区块,根据其试油产量,使用东部地区工业油流标准(油藏埋深为 500~1 000 m,单井油产量 0.5 m³/d;油藏埋深为 1 000~2 000 m,单井油产量 1.0 m³/d;油藏埋深为 2 000~3 000 m,单井油产量 3.0 m³/d)对其经济性作出一个初步判断,最终优选出 11 个升级潜力区块(表 3)。持续跟踪近两年来预测储量的升级状况,优选的 11 个潜力区块中已有 7 个区块陆续升级为控制储量,可见此方法具有良好的应用效果。

3 升级策略研究

3.1 不同类型油藏升级策略研究

在漏斗模型中,要提高最终的收益,原理很简单,就是把每一层的容量都扩大,或者提高向下的

表 3 优选的升级潜力区块

Table 3 Preferred upgrade potential blocks

区块	埋深/m	试油产量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
A ₁	1 825.00	25.35
A ₂	1 035.83	6.60
A ₃	1 110.00	5.90
A ₄	1 505.00	9.15
A ₆	897.50	8.10
A ₇	2 793.50	141.00
A ₈	1 845.19	41.77
A ₉	2 740.00	6.30
A ₁₀	2 875.00	21.60
A ₂₁	2 940.00	5.99
A ₂₂	1 725.00	32.30

转化率。用数据指标去判断,哪个地方的容量太小,或转化率太低,然后去制定方案进行针对性提高。对保有预测储量而言,识别升级各阶段的风险、转化的难点,提高向下个层级的转化率具有较大的意义(图 3)。对于没有潜力的区块,储量申报以后、长期没有开展后续工作的要及时处置,以防干扰评价结果,造成预测储量基数很大的假象。工作中存在许多上报多年的储量无法升级动用,导致总升级率与近三年升级率相当。真实反映储量的

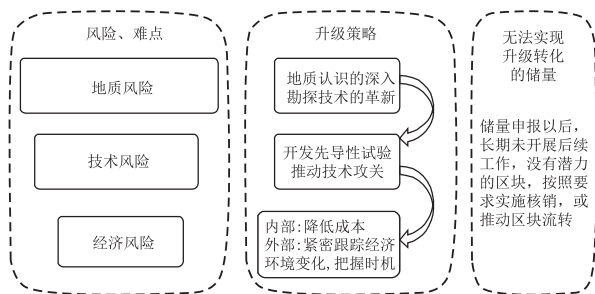


图 3 保有预测储量升级策略

Fig.3 Inferred petroleum initially in place and upgrading strategy

现状,才能更好地指导未来的勘探开发。

对不同类型油藏的升级过程、升级规律进行研究,针对不同类型油藏的特点、升级难点,制定了行之有效的升级策略(表 4)。

3.2 典型实例分析——砂砾岩扇体油藏升级策略

随着勘探难度的加大、勘探程度的深入,低渗油藏在预测储量中所占比例越来越高,许多学者对致密砂岩油气藏做过大量的研究^[17-30]。目前保有预测储量中低渗—特低渗油藏所占比例较大,是下一步值得重视、挖潜的升级目标。

渤海湾盆地某油田 B 区块砂砾岩扇体油藏,主要含油层系为古近系沙河街组沙一段、沙二段,储层岩性以含砾砂岩为主,属于近岸水下扇沉积;储集类型为孔隙型,储层孔隙度 5.9%~14.3%,平均 10.4%,渗透率 $(3.3 \sim 73.42) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $38.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔—低渗储层,油藏类型为构造—岩性油藏;地面原油黏度为 9.9~64.7 mPa·s,储量品位较好;2014 年上报预测储量,含油面积 10.67 km²,2015 年升级为控制储量,含油面积 2.87 km²。

区块北部边界主断层为走向近东西向、向南倾的正断层,断距为 200~700 m,主断层在区块内派生 2 条分支断层。区块内的砂砾岩体为陡坡带背景下发育的扇三角洲砂砾岩体,紧邻生油洼陷,储层纵向上多层叠置,平面上叠合连片分布,成藏条件优越;有效储层边界控制油藏的边界,表现出明显的优势储层控藏的特点。目前发现的储量均位于扇中有利相带内,油藏受岩性和断层的封堵而聚集成藏。

将预测储量升级前后的计算参数进行对比,发现有效厚度和含油面积变化最大(表 5)。含油面积最初是以北部扇根致密封堵线作为边界,体现了

表 4 不同类型油藏升级策略

Table 4 Upgrading strategies for different types of reservoirs

油藏类别	升级的主要难点	采取的升级策略
特殊岩性	勘探技术:特殊岩性储层的预测	地震技术:高精度三维地震提高复杂条件下的断裂地质及缝洞体系成像精度,实现特殊岩性储层精细刻画
稠油	开发技术:敏感性高,油稠、产能低,达不到商业开发要求,有待技术突破	开发技术:通过热采、注水等方式提高产能,实现储量经济有效开发
中高渗	勘探技术:圈闭的识别,复杂断裂体系的描述	高精度三维地震处理解释:落实构造、断层如复杂的走滑断裂构造及潜山内部断裂空间展布、地层分布及潜山面构造特征,精细描述复杂潜山圈闭
低渗—特低渗	勘探技术:薄储层预测,致密储层甜点识别	勘探技术:发展单点高密度勘探技术,提高砂组分辨率,使得储层反演结果与实际厚度变化更加吻合;提高滩坝砂、浊积砂等致密储层甜点识别效果
低渗—特低渗	开发技术:渗透率低,产能低,能量递减快	开发技术:发展体积压裂等储层改造技术,改造储层,提高产能。对于低渗储层注水开发,补充地层能量

表 5 渤海湾盆地某油田 B 区块储量升级关键参数对比
Table 5 Comparison of key parameters for reserves upgrading in block B, X oil field, Bohai Bay Basin

层位	储量类别	含油面积/ km ²	有效厚度/ m	有效孔隙度/ %	含油饱和度/ %	体积系数	地面原油密度/ (g · cm ⁻³)
沙一段	预测	5.42	21.9	10.0	60.0	1.186	0.874
1 砂组	控制	0.33	9.6	13.2	60.9	1.186	0.870
沙一段	预测	5.12	35.8	10.0	60.0	1.186	0.889
2 砂组	控制	2.34	25.5	13.2	60.9	1.186	0.880
沙二段	预测	4.58	24.5	10.0	60.0	1.186	0.889
1 砂组	控制	0.27	8.2	13.2	60.9	1.186	0.880

在构造背景下岩性控藏的特征;而升级为控制储量后,油藏含油面积北部以断层为边界,反映了构造岩性复合控藏的特点(图 4,5)。构造形态及砂体

展布变化造成含油面积和有效厚度的变化,是主要的地质风险。该区块采用砂砾岩扇体勘探评价技术,这种技术将高分辨率层序地层学与测井、三维

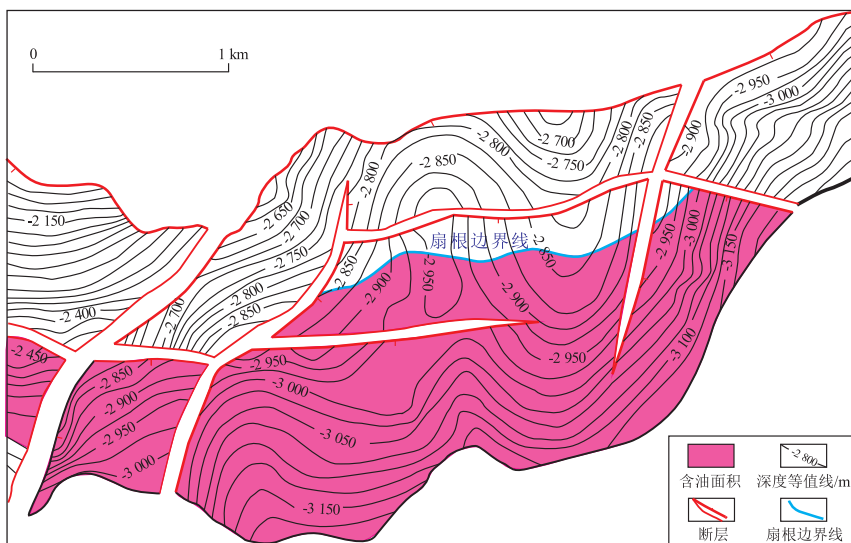


图 4 渤海湾盆地某油田 B 区块沙一段 2 砂组预测储量含油面积示意

Fig.4 Oil bearing area of predicted reserves in sand group 2 in first member of Shahejie Formation, block B, X oil field, Bohai Bay Basin

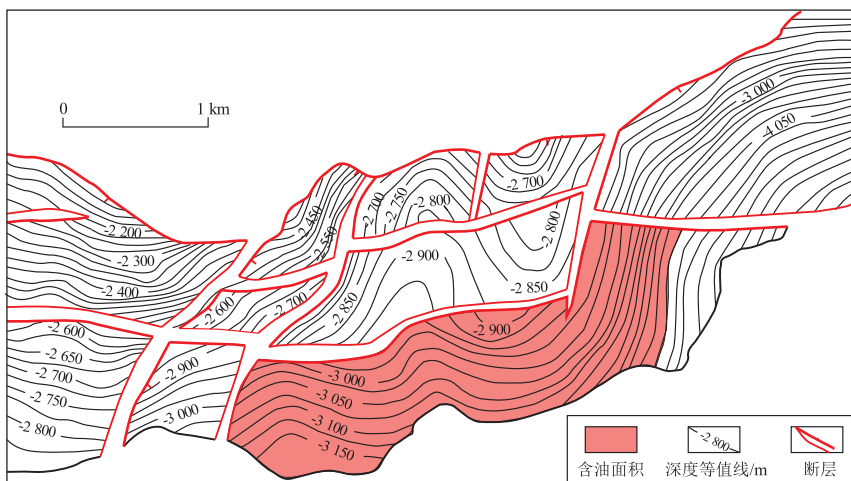


图 5 渤海湾盆地某油田 B 区块沙一段 2 砂组控制储量含油面积示意

Fig.5 Oil bearing area of controlled reserves in sand group 2 in first member of Shahejie Formation, block B, X oil field, Bohai Bay Basin

地震精细解释技术结合起来,利用地震相分析确定砂砾岩扇体的宏观分布,而高分辨率层序地层学用来描述砂砾岩体内部结构,大大降低了地质的不确定性,使得地质影响因素的量化指标评价精度更高,提高了储量的落实程度。

B 区块油藏埋深 2 730~3 300 m,油层厚度 1.3~13.8 m,储层物性整体较差;扇中有利相带范围较小,区块常规投产产能低。在这种情况下,对现有的常规开发技术做出一系列的改进尝试,取得很好的开发效果,提高了产能,推动预测储量升级动用。B 区块通过压裂改造储层,有效提高了单井产能,但产量递减大,前三年年平均递减达到 35%。采用注水开发,注水井进行适当的排液后实施转注,及时补充地层能量,整体开发效果较好。含油面积内投产的 13 口井,单井初期产量 2.2~19.5 t/d,平均 10.8 t/d;12 口井达到工业油流标准,具备良好的升级潜力,因此升级为控制储量。

4 结论与建议

(1)建立了漏斗筛选模型,从影响预测储量升级的地质因素、开发技术适应性、经济性出发,分阶段、分层次进行筛选,强调对升级过程中各阶段风险的控制,提高升级的转化率。

(2)在漏斗筛选模型中采用 TOPSIS 多因素分析法,对影响预测储量升级的地质影响因素进行定量评价。将此模型应用于中国石化东部渤海湾盆地碎屑岩油藏,优选出升级潜力区块 11 个,其中有 7 个区块已升级为控制储量,取得良好的应用效果。

(3)通过研究分析相似类型、成因油藏的发现过程、升级规律,类比储量升级采取的关键性勘探开发技术,提出下步升级策略建议。对于近期有望升级的区块,要有针对性地找准区块升级的难点问题,制定相应的升级策略,合理规划升级进度,加大投入,加大技术攻关试验力度,寻求突破。

参考文献:

- [1] 张玲,魏萍,肖席珍.SEC 储量评估特点及影响因素[J].石油与天然气地质,2011,32(2):293-301.
ZHANG Ling, WEI Ping, XIAO Xizhen.Characteristics and their influential factors of SEC reserve evaluation[J].Oil & Gas Geology,2011,32(2):293-301.
- [2] 黄学斌,魏萍,郭鸣黎,等.SEC 储量成本指标计算方法探讨[J].石油实验地质,2014,36(4):506-510.
HUANG Xuebin, WEI Ping, GUO Mingli, et al.Discussion of cost index calculation method on SEC reserves[J].Petroleum

Geology & Experiment,2014,36(4):506-510.

- [3] 郭鸣黎,陈凌,汪桂敏,等.SEC 准则下缝洞型碳酸盐岩油藏储量评估及应用实例探究[J].油气藏评价与开发,2020,10(2):11-17.
GUO Mingli, CHEN Ling, WANG Guiming, et al.Inquiry into evaluation methods and its application for reserves of carbonate fractured-vuggy reservoirs under SEC rules[J].Reservoir Evaluation and Development,2020,10(2):11-17.
- [4] 王鸣川,商晓飞,段太忠,等.海外油气田开发新项目储量评价方法[J].石油实验地质,2020,42(2):296-301.
WANG Mingchuan, SHANG Xiaofei, DUAN Taizhong, et al.Reserves evaluation for new investment projects in overseas oil and gas field development[J].Petroleum Geology & Experiment,2020,42(2):296-301.
- [5] 王庆帅.可靠技术在南海气田 SEC 储量评估中的应用[J].石油实验地质,2019,41(6):923-930.
WANG Qingshuai.Application of reliable technology in SEC reserve evaluation of South China Sea Gas Field[J].Petroleum Geology & Experiment,2019,41(6):923-930.
- [6] 尹万泉,武毅,于军.辽河油田 SEC 动态储量关键影响因素分析[J].特种油气藏,2019,26(2):87-90.
YIN Wanquan, WU Yi, YU Jun.Key influencing factor analysis of the SEC dynamic reserve in Liaohe oilfield[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2019,26(2):87-90.
- [7] 周亚彤.延川南煤层气田动态特征和 SEC 动态储量评估方法研究[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):53-58.
ZHOU Yatong.Dynamic characteristics and SEC dynamic reserve assessment of CBM gas field in South Yanchuan[J].Reservoir Evaluation and Development,2020,10(4):53-58.
- [8] 刘瑞娟.统计法在渤南洼陷南斜坡沙三段资源潜力评价中的应用[J].特种油气藏,2019,26(6):41-45.
LIU Ruijuan.Application of statistical method in the resource potential evaluation of Sha-3 Member in the south slope of south Bohai Depression[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2019,26(6):41-45.
- [9] 覃利娟.概率法在油气储量不确定性分析中的应用[J].断块油气田,2019,26(6):723-727.
QIN Lijuan.Application of probability method to uncertainty analysis of oil and gas reserves[J].Fault-Block Oil & Gas Field,2019,26(6):723-727.
- [10] 李友强.济阳坳陷低渗透砂岩油藏控制储量升级评价[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2013,35(6):36-40.
LI Youqiang.Controlled reserves upgrade evaluation in permeability sandstone reservoirs of Jiyang Depression[J].Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute),2013,35(6):36-40.
- [11] 秦伟军,付兆辉.油气预测储量区块升级评价方法[J].石油实验地质,2015,37(1):117-123.
QIN Weijun, FU Zhaohui.Improving evaluation of predicted hydrocarbon reserve zones[J].Petroleum Geology & Experiment,2013,35(1):117-123.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.石油天然气资源/储量分类:GB/T 19492-

- 2004[S].北京:中国标准出版社,2004.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Classifications for petroleum resources/reserves: GB/T 19492-2004[S]. Beijing: China Standard Press, 2004.
- [13] 童佳,刘小刚.销售漏斗原理的逆向思考[J].中国市场,2012(40):5-6.
- TONG Jia, LIU Xiaogang. The reverse thinking of the principle of sales funnel[J]. China Market, 2012(40):5-6.
- [14] YENSEN K. 4 salesfunnel misconceptions[J]. Target Marketing, 2004(3):17-21.
- [15] LIN M Y, WANG C C, CHEN M S, et al. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process [J]. Computers in Industry, 2008, 59(1):17-31.
- [16] 王新民,秦健春,张钦礼,等.基于AHP-TOPSIS评判模型的姑山驻留矿采矿方法优选[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(3):1131-1137.
- WANG Xinmin, QIN Jianchun, ZHANG Qinli, et al. Mining method optimization of Gu Mountain stay ore based on AHP-TOPSIS evaluation model[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(3):1131-1137.
- [17] 张君峰,毕海滨,许浩,等.国外致密油勘探开发新进展及借鉴意义[J].石油学报,2015,36(2):127-137.
- ZHANG Junfeng, BI Haibin, XU Hao, et al. New progress and reference significance of overseas tight oil exploration and development[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(2):127-137.
- [18] 周庆凡,杨国丰.致密油与页岩油的概念与应用[J].石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.
- ZHOU Qingfan, YANG Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4):541-544.
- [19] 刘春燕.致密碎屑岩储层“甜点”形成及保持机理:以鄂尔多斯盆地西南部镇泾地区延长组长8油层组为例[J].石油与天然气地质,2015,36(6):873-879.
- LIU Chunyan. Formation and preservation mechanism of sweet spot in tight clastic reservoirs: a case study of Chang 8 oil layer of Yanchang Formation in Zhenjing area, southwest Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(6):873-879.
- [20] 钟大康.致密油储层微观特征及其形成机理:以鄂尔多斯盆地长6—长7段为例[J].石油与天然气地质,2017,38(1):49-61.
- ZHONG Dakang. Micro-petrology, pore throat characteristics and genetic mechanism of tight oil reservoirs: a case from the 6th and 7th members of Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1):49-61.
- [21] 陈晓智,陈桂华,李祺鑫,等.致密砂岩气储量不确定性计算方法及意义[J].断块油气田,2019,26(1):17-20.
- CHEN Xiaozhi, CHEN Guihua, LI Qixin, et al. Uncertainty reserves calculation for tight sandstone gas and its significance[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(1):17-20.
- [22] 朱如凯,邹才能,吴松涛,等.中国陆相致密油形成机理与富集规律[J].石油与天然气地质,2019,40(6):1168-1184.
- ZHU Rukai, ZOU Caineng, WU Songtao, et al. Mechanism for generation and accumulation of continental tight oil in China[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(6):1168-1184.
- [23] 周文博,刘卫东,孙灵辉,等.致密油藏水驱可动用性研究[J].断块油气田,2019,26(2):244-247.
- ZHOU Yibo, LIU Weidong, SUN Linghui, et al. Research on availability of water flooding in tight oil reservoir[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(2):244-247.
- [24] 李锦锋,杨连如,张凤博,等.下寺湾油田延长组长8段致密油富集主控因素及“甜点”模式[J].油气藏评价与开发,2019,9(6):1-9.
- LI Jinfeng, YANG Lianru, ZHANG Fengbo, et al. Main controlling factors of enrichment and sweet spot mode of tight sandstone oil reservoir in Chang-8 Member of Yanchang Formation in Xiasiwang Oilfield[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(6):1-9.
- [25] 彭金宁,邱岐,王东燕,等.苏北盆地古近系阜宁组致密油赋存状态与可动性[J].石油实验地质,2020,42(1):53-59.
- PENG Jinning, QIU Qi, WANG Dongyan, et al. Occurrence and recoverability of tight oil in Paleogene Funing Formation, Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1):53-59.
- [26] 闫林,袁大伟,陈福利,等.陆相致密油藏差异化含油控制因素及分布模式[J].新疆石油地质,2019,40(3):262-268.
- YAN Lin, YUAN Dawei, CHEN Fuli, et al. A study on differentiated oil-bearing controlling factors and distribution patterns of continental tight oil reservoir [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(3):262-268.
- [27] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.
- YANG Hua, LI Shixiang, LIU Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1):1-11.
- [28] 姚泾利,邓秀芹,赵彦德,等.鄂尔多斯盆地延长组致密油特征[J].石油勘探与开发,2013,40(2):150-158.
- YAO Jingli, DENG Xiuqin, ZHAO Yande, et al. Characteristics of tight oil in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2):150-158.
- [29] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.
- JIA Chengzao, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3):343-350.
- [30] 王秀宇,巨明霜,杨文胜,等.致密油藏动态渗吸驱驱规律与机理[J].油气地质与采收率,2019,26(3):92-98.
- WANG Xiuyu, JU Mingshuang, YANG Wensheng, et al. Dynamic imbibition principles and mechanism of tight oil reservoirs [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(3):92-98.