

# 低渗透砂岩油藏开发效果评价新方法研究及应用

王 威<sup>1</sup>, 侯 爽<sup>2</sup>

(1. 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712; 2. 中国石油大庆油田有限责任公司第四采油厂第四作业区, 黑龙江 大庆 163511)

**摘要:**油田开发效果评价贯穿油田开发的整个历程,是明确挖潜方向、确定调整措施的重要手段。针对目前油田开发评价指标多、工作量大、计算繁琐且评价周期长的问题,从状态对比法出发,通过构建“一主两辅”三图版,以理论曲线与实际生产曲线对比,以偏离平均水平为指导,明确开发区块开发效果的优劣,实现区块历史对标评价。为了使评价结果更客观全面,构建8项地质指标体系及7项开发效果综合性指标评价体系,实现开发现状定量评价。按照简单易行、操作性强、指标独立等原则,优选5项控制性开发指标,通过合理确定指标界限,明确区块差距及潜力方向;通过多指标综合分析,确定合理调整对策。研究成果简单实用,对类似区块的开发效果评价具有重要的推广价值。

**关键词:**对标评价;低渗透;图版;开发效果

**中图分类号:**TE348      **文献标志码:**A

## Research and application of a new method for evaluating the development effect of low permeability sandstone reservoirs

WANG Wei<sup>1</sup>, HOU Shuang<sup>2</sup>

(1. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing 163712, China; 2. No.4 Oil Mine of No.4 Oil Production Plants of Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing 163511, China)

**Abstract:** The evaluation of oilfield development effect is carried out throughout the process, which is an essential means to clarify the potential tapping direction and determine the adjustment measures. Aiming at the current problems of oilfield development evaluation indexes, heavy workload, cumbersome calculation, and long evaluation cycle, starting from the state comparison method, through the construction of “one main and two auxiliary” three charts, the advantages and disadvantages of the development effect of the development block are clarified by comparing the theoretical curve with the actual production curve and guiding the deviation from the average level, to realize the historical benchmarking evaluation of the block. In order to make the evaluation results more objective and comprehensive, eight geological index systems and seven comprehensive index evaluation systems for development effect are constructed to realize the quantitative evaluation of current development status. According to the principles of simplicity, practicability, and independence of indicators, five controlling development indicators are selected, the block gap and potential direction of the block are defined by reasonably determining the boundaries of the indexes, and the reasonable adjustment countermeasures are determined through comprehensive analysis of multiple indexes. The research results are simple and practical and have significant popularization value for the development effect evaluation of similar blocks.

**Key words:** benchmarking evaluation; low permeability; chart; development effect

**引用格式:**王威,侯爽.低渗透砂岩油藏开发效果评价新方法研究及应用[J].复杂油气藏,2023,16(4):433-438,443.

WANG Wei, HOU Shuang. Research and application of a new method for evaluating the development effect of low permeability sandstone reservoirs [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(4): 433-438, 443.

水驱油田开发效果评价在国内外的研究可以追溯到20世纪50年代,大多采用确定一个或多个评价指标与给定的评价标准进行对比或者采取将几个评价指标联立运用数学方法进行综合评判等方法来评价开发效果<sup>[1-5]</sup>。当前较为明显的发展趋

势是运用各种数学方法如模糊数学<sup>[6]</sup>、运筹学、多元

收稿日期:2023-03-14;改回日期:2023-07-04。

第一作者简介:王威(1984—),硕士,工程师,主要从事油气田开发研究工作。E-mail:wangwei\_dq@petrochina.com.cn。

统计分析、系统分析等各种指标或参数进行综合评价以便得到合理正确的评价结果。概括起来主要有以下几种效果评价方法:状态对比法、可采储量评价法、系统动态分析法<sup>[7-8]</sup>、模糊综合评判法<sup>[9-10]</sup>、灰色系统理论法<sup>[11]</sup>、数值模拟评价法等。所谓状态对比法<sup>[12]</sup>是指把理论(标准)曲线与实际的生产曲线对比,在相同情况下根据两者之间偏离情况来进行评价。常用的对比曲线有:含水率与采出程度关系曲线、存水率与含水率关系曲线<sup>[13]</sup>、含水上升率与含水率关系曲线、存水率与采出程度关系曲线等。通过对以上对标评价方法调研得出,目前已有的评价方法还不够快速简单,因此,需要研究一套科学合理、快速便捷、方法统一的以对标评价为核心的开发效果评价方法,建立常态化评价机制。本文按照“区分度高、时效性强、简单直观”的原则,优选反应总体开发效果、注采制度差异、注水利用效率的对标“三图版”,对分类油层开发效果全过程系统评价,建立常态化的评价机制,为水驱油田开发效果对标评价提供了新的方法。

## 1 建立“一主两辅”三图版实现开发效果定性评价

按照“区分度高、简单直观”的原则,从状态对比法出发,以理论(标准)曲线与实际生产曲线对比,在相同的情况下根据两者之间的偏离情况来进行评价。通过对长垣外围低渗透油田各种实际曲线的分析,最终优选建立三幅典型图版来评价开发效果,即以注入体积与地质储量采出程度关系图版为主,可采储量采出程度与含水图版及无因次累产油和无因次累注水关系图版为辅的对标评价图版,三个图版均以偏离平均水平为标准,这样可以明确各开发区块整体开发效果的优劣,实现各区块的历史对标评价。

注入体积(PV)和地质储量采出程度图版是以PV数为横坐标,PV数的含义是地下的注入水体积占地下总孔隙体积的倍数;可采储量采出程度和含水图版是以可采储量采出程度为横坐标,含水为纵坐标;无因次累产油和无因次累注水图版是以无因次累产油为横坐标,无因次累注水为纵坐标,其中无因次累产油定义为阶段累产油/目前累产油,无因次累注水定义为阶段累注水/目前累注水。

根据上述定义,绘制了长垣外围ABC油田一类区块的“一主两辅”三个图版(见图1、图2和图3)。

根据分类原则,将评价单元分成3类。越靠近图版右上方,代表评价单元的开发效果越好,越接近图版左下方,代表评价单元的开发效果越差,相同的地质开发条件下,评价单元与原点连线的斜率越大,说明采出程度越高,开发效果越好。从三个图版可以看出,Z3、F6、F507、W11-1区块开发效果较好,F116、F3、F483、F14区块开发效果较差,F407、SP、W11-2区块开发效果居中。

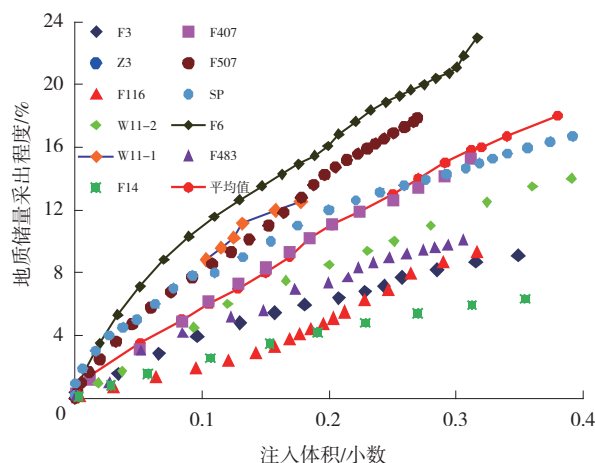


图1 注入体积与地质储量采出程度关系

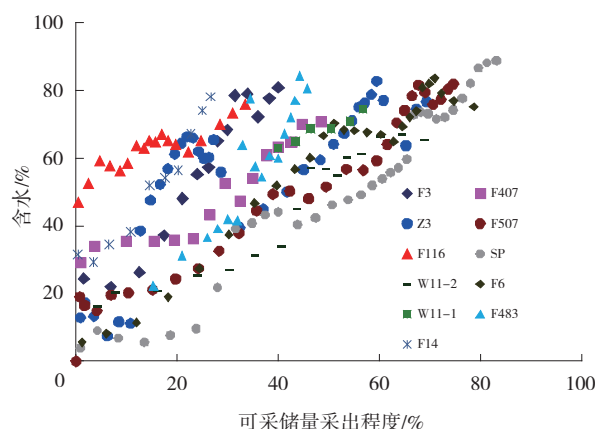


图2 可采储量采出程度与含水关系

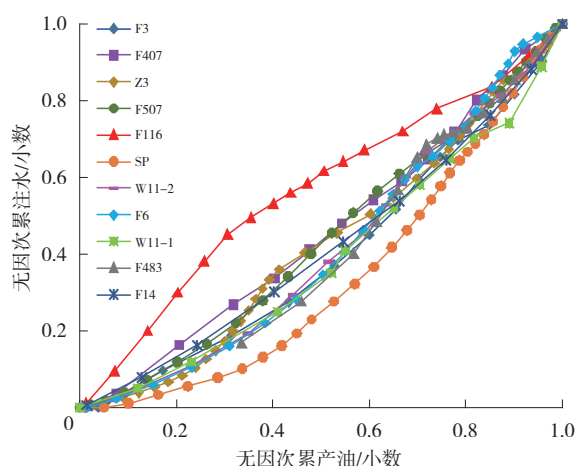


图3 无因次累产油与无因次累注水关系

2 构建地质开发评价指标体系,实现开发现状综合评价

“一主两辅”三图版针对各区块的开发全过程对标,直观明了。但是无法考虑地质因素对开发效果的影响,而油层潜力又是开发效果的重要物质基础,因此,还需要建立评价指标体系,把地质因素和开发因素全部考虑进来进行综合评价。按照简单易行、操作性强、指标独立等原则,从沉积特征、物性特征和储层特征3个方面建立了8项地质因数评价指标体系(见图4);从综合指标、注采系统和管理指标3个方面建立了7项开发效果评价指标体系(见图5)。这些指标都是结合油田开发管理纲要和油田的开发实际情况确定的。

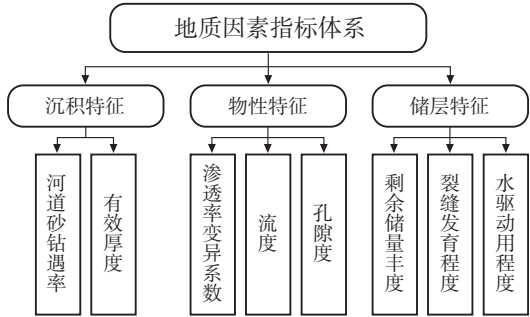


图4 长垣外围油田现状地质因素评价指标体系

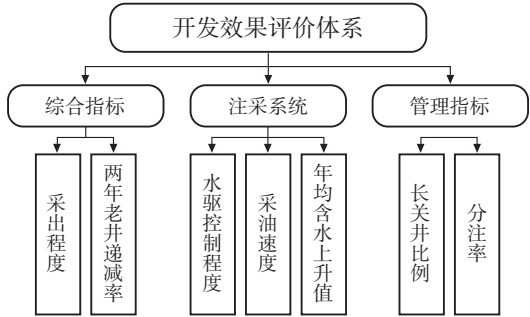


图5 长垣外围油田现状开发因素评价指标体系

为了去除量纲的影响,对选定的8项地质因数指标和7项开发效果评价指标需要进行归一化处理。对于正相关指标(包括有效厚度、流度、孔隙度、河道砂钻遇率、剩余储量丰度、裂缝发育程度等),利用下式进行转换。

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}, i = 1,2,3; j = 1,2,3,4$$
 (1)

式中, $Z_{ij}$ 为无量纲评价指标; $X_{ij}$ 为评价指标实际值; $\max(X_{ij})$ 为指标实际值的最大值; $\min(X_{ij})$ 为指标实际值的最小值。

对于负相关指标(包括渗透率变异系数和水驱

动用程度),利用下式转换。

$$Z_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}, i = 1,2,3; j = 1,2,3,4$$
 (2)

利用层次分析法确定各级指标的权重。按照因素之间的相互影响和隶属关系将评价层系划分为不同层次的要素组合,形成有序的层次结构模型。

(1)确定评价指标体系的层次。评价指标体系分为目标层、中间层和基础层,此次地质因数指标和开发效果评价结果为目标层,沉积特征、物性特征和储层特征为中间层,各项指标为基础层。

(2)构造比较矩阵并求解。以 $u_i$ 表示某一层次的指标, $u_{ij}$ 表示 $u_i$ 相对于 $u_j$ 的重要性数值, $u_{ij}$ 取值采用(0,1,2)三标度法,对中间层和每个基础层的指标逐一进行两两比较后赋值,构造比较矩阵。通过计算转换后的比较矩阵的特征值,得到各项指标的权重。

(3)建立综合评价模型。根据中间层和基础层的指标权重和归一化的指标体系,建立目标层的综合评价模型,实现潜力层系(区块)的量化描述。潜力层系的综合评价分值可表示为:

$$K = \alpha_1 \sum_{j=1}^n \beta_{1j} Z_{1j} + \alpha_2 \sum_{j=1}^n \beta_{2j} Z_{2j} + \alpha_3 \sum_{j=1}^n \beta_{3j} Z_{3j}$$
 (3)

式中, $K$ 为综合评价分值; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 为中间层指标的权重; $\beta_{1j}, \beta_{2j}, \beta_{3j}$ 为基础层指标的权重。

通过确定各指标的权重,构建综合评价模型,计算各对标区块地质指标和开发指标综合得分(见表1)。

表1 对标区块综合评价

分类结果	区块名称	地质因数指标综合得分	开发效果指标综合得分
标杆区	Z3	0.57	0.86
	F6	0.62	0.65
	F507	0.84	0.71
正常区	W11-1	0.72	0.63
	SP	0.83	0.58
	W11-2	0.73	0.56
	F407	0.84	0.52
	F483	0.54	0.26
	F116	0.87	0.43
潜力区	F14	0.81	0.21
	F3	0.76	0.33

以地质评价分值作为横坐标、开发效果评价分值为纵坐标,绘制各区块综合评价图版。处于图版中的区块由地质评价分值均值线和开发效果分值均值线分成了标杆区、正常区和潜力区(见图6)。处于标杆区的区块油层条件较差,但开发效果好,属于总体开发效果最好区块;处于正常区的区块油层条件较好,开发效果也较好,或者油层条件差,开发效果也较差,属于正常开发区块;处于潜力区的区块油层条件较好,但开发效果较差,属于重点调整的区块。

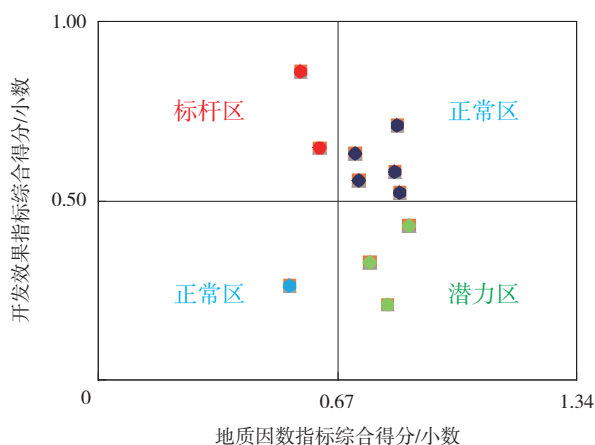


图6 对标区块综合评价图版示意

### 3 确定控制性开发指标界限,明确区块潜力方向

根据简单易行、操作性强、指标独立等原则,从众多的指标中精简优选5项关键控制性开发指标,制定相应的理论值或标准确定方法,和油田开发管理纲要相比,有些指标的理论值是通过计算得到的,更加精准。其中井网密度、油水井数比和合理地层压力3项为理论指标,吸水厚度比例、油水井利用率2项为趋势性指标。通过合理确定指标界限,明确区块实际指标差距,综合多指标分析,科学制定调整对策。

#### 3.1 井网密度

经验表明油田开发进入中后期钻加密调整井仍然是开采剩余油、保持油田稳产、改善水驱开发效果和提高采收率的最为有效的方法。但是,钻加密井在改善油田开发效果、提高采收率的同时,也增加了油田的投入,因此,合理的井网密度在考虑提高采收率的同时,也应该充分考虑经济因素。根据经济极限井网密度初步确定可加密区块范围,测算经济极限井网密度应用以下公式:

$$f_{\min} = \frac{d_o(P_o - O)NE_R}{(I_D + I_B)(1 + R)^{T/2} A_o} \quad (4)$$

式中, $I_D$ 为平均单井钻井投资,万元/井; $I_B$ 为平均单井基建投资,万元/井; $T$ 为开发评价年限,10a; $P_o$ 为原油售价,元/t; $O$ 为原油成本,元/t; $N$ 为地质储量,t; $A_o$ 为含油面积,km<sup>2</sup>。

#### 3.2 吸水厚度比例

吸水厚度比例是注水子系统指标,是指注水井能注入部分的油层厚度占总厚度的比例,是从油层动用状况来评价开发效果的。这一参数主要是通过测试基础数据计算得到。

#### 3.3 油水井利用率

油水井利用率是注水—采油子系统关联指标,是指某一时间段(一般是12月)油水井生产天数与这一时间段天数的比值,该值属于管理指标,越大越好,可通过实际生产数据直接计算得到。

#### 3.4 合理的地层压力

压力的保持水平主要反映在地层压力的保持程度及该地层压力水平下是否满足排液量的需要。合理的地层压力水平不仅可以取得较高的采收率,而且降低了注水开发的难度。地层压力高,要求高的注入压力并且注水设备具有高的承压能力,这使得注水工艺变得复杂;地层压力低,虽然易于注水,但是当地层压力低于饱和压力进入溶解气驱时,可能会使得原油采收率降低<sup>[14-15]</sup>。地层压力保持过低,则地层能量不足,其产量达不到要求;地层压力保持过高,则需要提高注入压力,增加注水量,势必增加投资,影响开发效益。这就需要研究合理地层压力保持水平。对于低渗透油田,确定合理的地层压力保持水平,对注水开发显得尤为重要。

$$\text{定义启动压力影响因子: } E = 1 - \frac{\delta p}{\Delta p} \quad (5)$$

$$\text{无因次采液指数: } \bar{J}_L = K_{ro} + K_{rw} \frac{B_o \rho_w}{B_w \rho_o} \frac{1}{E} \quad (6)$$

$$\text{油田每天总的排液量: } Q_L = \frac{NV_o}{365(1 - f_w)} \quad (7)$$

假设油田有注有采,根据采油工艺原理,排液量和注入量的公式为:

$$Q_L = n_p J_L (P_R - P_{wf}) \quad (8)$$

$$Q_i = n_i I (P_i - P_R) \quad (9)$$

联立公式(7)和公(8)可以得到:

$$P_R = P_{wf} + \frac{NV_o}{365(1 - f_w) J_L n_p} \quad (10)$$



根据注采比定义有:

$$Q_L \left[ (1 - f_w) \frac{B_o}{\rho_o} + f_w \frac{B_w}{\rho_w} \right] IPR = Q_i \frac{B_w}{\rho_w} \tag{11}$$

令注采井数比为:  $M = \frac{n_i}{n_p}$  (12)

将公式(6)、(12)代入公式(10),得到:

$$P_R = \frac{P_i + P_{wf}}{2} - \frac{NV_o}{730n_i} \left[ \frac{IPR \left( \frac{B_o \rho_w}{B_w \rho_o} + \frac{f_w}{1 - f_w} \right)}{I} - \frac{M}{K_{ro} J_{L(f_w=0)}} \right] \tag{13}$$

式中,  $\delta p$  为启动压力, MPa;  $\Delta p$  为生产压差, MPa;  $K_{ro}$ 、 $K_{rw}$  为油相、水相相对渗透率,  $\mu m^2$ ;  $B_o$ 、 $B_w$  为原油、地层水体积系数, 小数;  $\rho_o$ 、 $\rho_w$  为原油、地层水密度,  $g/m^3$ ;  $N$  为石油地质储量, t;  $V_o$  为油层孔隙体积,  $m^3$ ;  $P_R$ 、 $P_{wf}$  为地层压力、井底流压, MPa;  $f_w$  为含水率, 小数;  $n_p$ 、 $n_i$  为生产井数、注水井数, 口;  $I$ 、 $J_L$  为采液指数, 吸水指数,  $t/(d \cdot MPa)$ ;  $Q_L$ 、 $Q_i$  为排液量、注入量,  $t/d$ ;  $IPR$  为注采比, 小数;  $M$  为油水井数比, 小数。

3.5 油水井数比

合理油水井数比是注水—采油子系统关联指标, 是指油田注水井和采油井井底流动压力一定, 开发总井数一定的条件下, 能够获得最高产液量的采油井和注水井的井数之比。它是反映油井受效情况、水驱控制程度和波及系数的重要指标。随着

油田开发的不断深入, 油水井数比会不断降低, 开发效果由差变好。

最佳油水井数比通过下式计算:

$$R_j^{\#} = \sqrt{\frac{1}{R_{re} (J_L/J_w) [B_o(1 - f_w) + f_w]}} \tag{14}$$

式中,  $R_{re}$  为注采比, 小数;  $J_L$ 、 $J_w$  为采液指数, 吸水指数,  $t/(d \cdot MPa)$ ;  $B_o$  为体积换算系数, 小数;  $f_w$  为综合含水, 小数。

4 综合评价定对策

利用前面油水井数比的理论和实际计算方法, 分别计算了ABC油田11个区块的理论油水井数比、地层压力界限, 结合油田管理纲要确定的界限, 将这些理论指标与实际指标进行对比, 从图7可以看出, F3和F14区块井网密度低于井网密度界限, 具有一定的井网整体加密及局部加密潜力。从表3的测算结果可以看出F3、F14及F116区块油水井数比高于理论值幅度较大, 具有一定的注采系统调整潜力, 尤其是F116受老套损区及断层发育影响, 注采系统调整潜力较大。各区块油水井利用率平均在75%左右, 随着开发效果由差变好, 区块油水井利用率逐步增长, 其中F116区块明显低于其他区块, 油水井利用率只有65.86%, 而开发效果比较好的F3油水井利用率则为85.88%。

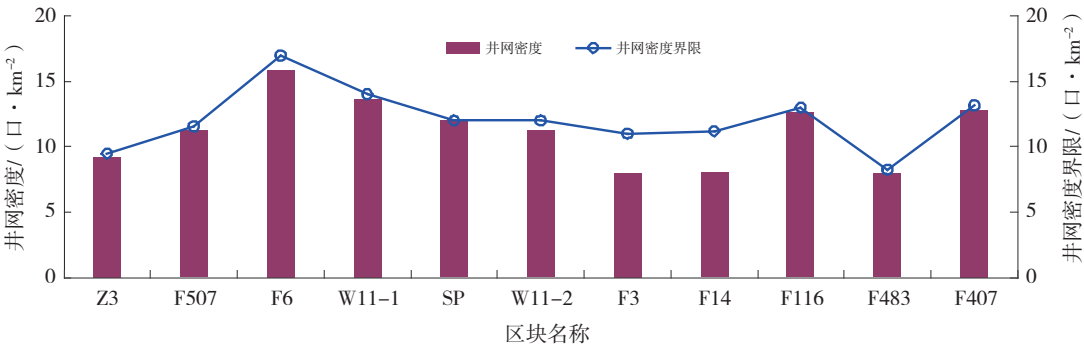


图7 ABC油田11个水驱区块井网密度及界限

表3 ABC油田11个水驱区块理论与实际测算结果对比

区块名称	油水井数比			吸收厚度 比例/%	油水井 利用率/%	地层压力/ MPa	地层压力界限/ MPa
	实际值	理论值	相对差异程度/%				
Z3	2.22	2.05	7.66	87.3	75.13	10.34	10.81
F507	1.99	1.86	6.53	84.5	74.79	9.04	9.95
F6	1.92	1.79	6.77	77.6	70.51	8.92	9.71
W11-1	2.06	1.78	13.59	85.0	78.06	7.84	9.09
SP	1.82	1.59	12.64	75.0	81.03	8.46	9.64

续表3 ABC油田11个水驱区块理论与实际测算结果对比

区块名称	油水井数比			吸收厚度 比例/%	油水井 利用率/%	地层压力/ MPa	地层压力界限/ MPa
	实际值	理论值	相对差异程度/%				
W11-2	2.75	2.26	17.82	74.2	84.43	9.54	10.52
F407	2.25	1.98	12.00	75.2	72.87	9.31	10.12
F483	1.93	1.35	30.05	65.1	65.35	8.51	10.27
F3	2.21	1.49	32.58	81.8	85.88	6.92	9.59
F14	2.19	1.58	27.85	74.2	85.45	9.34	11.68
F116	1.95	1.35	30.77	61.4	65.86	8.87	11.13

综上所述,我们定义实际参数与合理界限负偏离幅度在10%以上的控制参数为区块需要采取措施调整的参数,筛选出F3、F14和F116区块为具有宏观调整潜力区块,并针对综合性表现指标与控制指标实际与理论差距,初步确定了区块的宏观调整方向(见表4)。

表4 潜力区块宏观调整方向及对策

潜力区块	主要指标	实际值	界限值	主要矛盾	治理对策
F3	井网密度/(口·km <sup>-2</sup> )	7.97	11.00	井网密度低 地层压力低 油水井数比高	开展整体或局部加密 受效区注采结构调整 注采系统调整和注采结构调整
	地层压力/MPa	6.92	9.59		
	油水井数比	2.21	1.49		
F14	吸收厚度比例/%	74.2	85.0	吸收厚度比例低 井网密度低	低效区油水井对应压裂、欠注井治理 开展整体或局部加密
	井网密度/(口·km <sup>-2</sup> )	7.99	11.2		
F116	油水井数比	1.95	1.35	油水井数比高 油水井利用率低	注采系统调整 完善单砂体注采关系

5 结论

(1)从状态对比法出发,建立“一主两辅”三图版,针对各区块的开发全过程对标,实现开发效果定性评价,具有应用简单、评价结果直观形象等优点。

(2)通过确定各指标的权重,构建综合评价模型,绘制各区块综合评价图版。按照地质和开发评价分值均值线将区块分成了标杆区、正常区和潜力区,实现开发效果定量评价。

(3)根据简单易行、操作性强、指标独立等原则,优选5项控制性开发指标,通过合理确定指标界限,明确区块差距及潜力方向,通过多指标综合分析,确定合理调整对策。

参考文献:

[1] 秦同洛,李璽,陈元千.实用油藏工程方法[M].北京:石油工业出版社,1989.

[2] GUTHRIE R K, GREENBERGER M H. The use of multiple correlation analysis for interpreting petroleum eng-

ineering data[J]. API Drilling and Production Practice, 1955:130-137.

[3] 邹存友,王国辉,窦宏恩,等.油田开发效果评价方法与关键技术[J].石油天然气学报,2014,36(4):125-130,147.

[4] 王东琪,殷代印.特低渗透油藏水驱开发效果评价[J].特种油气藏,2017,24(6):107-110.

[5] 吴杰,熊自春,杨光伟,等.基于水驱特征曲线的油田开发效果评价[J].长江大学学报(自科版),2013,10(26):137-139.

[6] 郭立波,凌云,王新海,等.零散分布小油砂体水驱开发效果评价[J].石油天然气学报,2012,34(4):124-125.

[7] 廖红伟,王凤琴,薛中天,等.基于大系统方法的油藏动态分析[J].石油学报,2002,23(6):45-49.

[8] 王凤琴,薛中天.利用系统分析方法评价注水开发油田的水驱效果[J].断块油气田,1998,5(3):39-42.

[9] 庞琴,张建楠,胡泊.模糊综合评判法在水驱开发效果评价中的应用[J].石油化工应用,2020,39(3):76-82.

[10] 耿文爽,杨二龙,宋考平,等.基于模糊综合评判的宋芳屯油田南部水驱开发效果综合评价[J].数学的实践与认识,2014,44(6):76-80. (下转第443页)

岩油藏压力诊断管理提供理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 吴波,王荐,潘树林,等.基于高低频速度闭合技术的地层压力预测[J].石油物探,2017,56(4):575-580.
- [2] 崔治军,赵少伟,杨进,等.渤海油田科学探索井地层压力预测技术[J].断块油气田,2011,18(5):656-659.
- [3] HOLBROOK P W, HAUCK M L. A petrophysical-mechanical math model for real-time wellsite pore pressure/fracture gradient prediction [C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Dallas, Texas: SPE, 1987: SPE-16666-MS.
- [4] WARD C D, COGHILL K, BROUSSARD M D. Brief: pore- and fracture-pressure determinations: effective-stress approach [J]. Journal of Petroleum Technology, 1995, 47(2): 123-124.
- [5] 厄洛赫.试井分析方法[M].栾志安,吴玉林,胡祖修,译.北京:石油工业出版社,1985.
- [6] 童宪章.压力恢复曲线在油、气田开发中的应用[M].北京:石油化学工业出版社,1977.
- [7] 周全兴.预测注水区调整井地层压力的方法[J].石油钻采工艺,1991,13(2):25-30.
- [8] 赵少伟,范白涛,钟立国,等.注采条件下加密调整井压力预测与调控技术研究及应用[J].中国海上油气,2017,29(1):99-104.
- [9] 姚约东,李相方.动静态结合预测调整井地层压力的方法[J].石油钻探技术,2009,37(4):32-34.
- [10] 王勇茗,吴学升,周文军.安塞地区加密井地层压力预测研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2016,38(4):123-129.
- [11] 杨决算,高翔.基于不稳定试井原理的随钻地层压力测试模型[J].大庆石油学院学报,2010,34(2):81-84.
- [12] 李晓平,张烈辉,刘启国.试井分析方法[M].北京:石油工业出版社,2009:8-37.
- [13] 徐献芝,况国华,陈峰磊,等.多层合采试井分析方法[J].石油学报,1999,20(5):43-47.
- [14] 王德有.油气井节点分析实例[M].北京:石油工业出版社,1991.
- [15] 张建国,雷光伦,张艳玉.油气层渗流力学[M].东营:石油大学出版社,1998:11-96.
- [16] 葛家理.现代油藏渗流力学原理-上册[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [17] 高东升,万小迅,孟宪伟,等.阶梯式流量测试法用于油田注水管理[J].油气田地地面工程,2013,32(5):89-90.
- [18] 邹艳华,李远,那贺忠.注水井分层流量调配方法研究[J].油气井测试,2003,12(3):4-6.

(编辑 卞 炜)

(上接第438页)

- [11] 宋土顺,刘立,于森,等.灰色系统理论关联分析法在储层评价中的应用——以延吉盆地大砬子组2段为例[J].断块油气田,2012,19(6):714-717.
- [12] 张卫刚,郭龙飞,陈德照,等.基于灰色关联的油藏开发效果评价及治理对策研究——以姬塬油田Y267侏罗系油藏为例[J].北京石油化工学院学报,2019,27(1):45-50.
- [13] 王作乾,黄淑女.累积存水率和累积水驱指数与含水率的理论关系[J].新疆石油地质,2011,32(1):57-59.
- [14] 付艳.特低渗透油藏A区B油层合理地层压力研究[J].长江大学学报(自科版),2014,11(20):62-64,72.
- [15] 梁卫涛,王保军,林加恩.五里湾长6油藏合理地层压力计算方法研究[J].油气井测试,2016,25(3):15-17.

(编辑 卞 炜)