

文章编号:1673-5005(2007)01-0013-06

特低渗透砂岩油藏剩余油分布的主控因素 及有利区块评价

高 建¹, 侯加根¹, 林承焰², 焦巧平³

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061;

3. 胜利油田 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:根据特低渗透砂岩油藏储量动用不均衡的特点,提出了采用动态生产指标来对生产区块进行标定和分类,并通过动、静态相结合的方法分析特低渗透油藏剩余油的主要控制因素,在此基础上,再利用模糊数学评判的方法进行定量分析,指出有利的挖潜区块。对胜利油区五号桩油田桩 74 块特低渗透砂岩油藏的动、静态特征分析表明,该油藏沉积微相、微型构造及储层非均质性是特低渗透油藏剩余油分布的主要控制因素。其中,沉积微相的控制作用最强,微型构造次之,非均质性控制作用最弱。在沉积微相中,中扇亚相的辫状水道微相是最有利的微相带,中扇水道侧缘微相具有一定的可采储量,但由于相带狭窄不利于后期调整加密;朵叶体微相的井网稀,具有一定的生产开发潜力;顶凸底凸型和顶底均为鼻状凸起型构造组合模式,水淹程度弱,既是高产区也是剩余油富集区。渗透率变异系数为 0.3~0.9 的区域,剩余油相对富集。最后以 5 砂组为例,采用模糊数学方法并结合剩余油控制因素分析结果进行了剩余油定量评判,指出了有利区域,经检验取得了良好的效果。

关键词:五号桩油田; 特低渗透油藏; 沉积微相; 微型构造; 模糊数学; 剩余油分布; 主控因素

中图分类号:TE 122.35

文献标识码:A

Key factors of remaining oil distribution of the lowest permeable sandstone reservoir and favorable area evaluation

GAO Jian¹, HOU Jia-gen¹, LIN Cheng-yan², JIAO Qiao-ping³

(1. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum,

Dongying 257061, Shandong Province, China;

3. Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257015, Shandong Province, China)

Abstract: According to characters of reserves' employ in the lowest permeable sandstone reservoir, the dynamic production target was used to classify the producing tract and the key factors of remaining oil distribution through combination of dynamic and static behaviors were analyzed. On the basis of the study, the favorable district by the quantitative analysis was determined by the fuzzy set theory. Through the analysis of dynamic and static behaviors about Zhuang 74 fault block in Wuhaozhuang Oilfield, sedimentary microfacies, microstructure and heterogeneity are the key factors of remaining oil distribution of the lowest permeable sandstone reservoir. The sedimentary microfacies takes on the strongest effect. Microstructure is moderate, and heterogeneity is small. In middle fan, the braided channel is the best microfacies, and channel edge is too narrow to make hole. And lobe is the potential microfacies. Two-type microstructure mode of double convexity mode and double nose mode, and the coefficient of permeability variation, which is from 0.3 to 0.9, are taken account into tapping remaining oil potentials. Five sand members were taken for example to evaluate quantitatively and the favorable area was indicated using the fuzzy set theory and the analysis of the key factors of remaining oil distribution. Through back-to-back test, the remaining oil in the lowest permeable reservoir was studied by the method. The results show that it is practical and the good effect is provided.

Key words: Wuhaozhuang Oilfield; lowest permeable reservoir; sedimentary microfacies; microstructure; fuzzy set theory; remaining oil distribution; key factors

收稿日期:2006-08-30

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2000F01)

作者简介:高建(1975-),男(汉族),吉林永吉人,博士研究生,主要从事油藏地质及油藏描述方面的研究。

目前,我国陆上大部分主力油田都已进入了中后期开发阶段,面临“四高”(高含水、可采储量的高采出程度、高采油速度、高自然递减率)的问题,在这种形势下妥善动用和开发低渗透油田显得尤其重要^[1]。前人对于特低渗透油藏的分类、地质特征、形成机理都有详细的研究^[2-3],且大都是从油藏的静态研究入手,但是在油藏开发的中后期出现了大量的动态资料,如何将动、静态资料结合起来开展特低渗透油藏的研究,目前还没有形成一套完整的工作流程。在此,笔者以胜利油区五号桩油田桩74块为例,提出利用动态生产指标来对生产区块进行标定和分类,然后通过动、静态相结合的方法,分析特低渗透油藏剩余油的主要控制因素,在此基础上,利用模糊评判的数学方法推断勘探的潜力区。

1 地质概况

五号桩油田位于沾化凹陷东北部斜坡带上的次一级构造单元上^[12],为孤北隆起的东翼,它是在中生界区域构造背景上发育起来的一个新生界断陷湖盆,为一东断西隆、北断南超的箕状洼陷。桩74断块正是在这样的构造背景下滑塌形成的湖底扇体,它位于五号桩油田中偏南部,含油层系为沙三下Ⅱ油组,具有油层厚度大、埋藏深和特低渗透等特点,属于难动用油藏。

桩74断块受区域构造格局的影响,目的层沙三下Ⅱ油组地层总体产状为东高西低、北高南低、东陡中缓,地层形态呈鼻状构造,发育3条边界断层,内部被断层复杂化,发育10余条小断层(图1)。

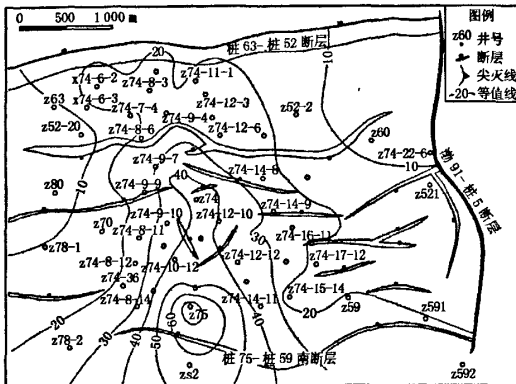


图1 桩74块5砂层组地层等厚图

2 储层特征

桩74断块发育湖底扇沉积,其中分为内扇、中

扇和外扇3个亚相,又进一步划分为内扇主水道微相、主水道侧缘微相、中扇辫状水道微相、辫状水道侧缘微相、砂坝微相、朵叶体微相、中扇外侧微相和外扇等8个沉积微相(图2)。

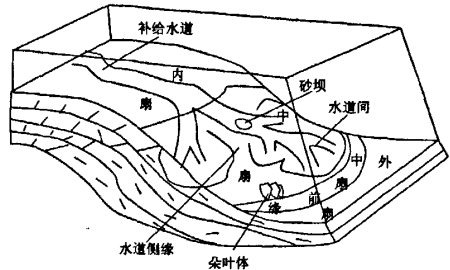


图2 桩74块湖底扇沉积微相模式

桩74断块储层埋深为3450~3580 m,成岩作用强,属晚成岩A2期。岩性主要为细砂岩,其次为粉砂岩及含砾砂岩,平均粒度中值为0.15 mm,平均分选系数为1.5。碎屑颗粒磨圆程度差,以棱角一次棱角状为主,结构成熟度较低。胶结物含量高,胶结致密。砂岩的平均孔喉半径为1.4 μm ,孔隙度平均为14.7%,渗透率为 $(2.3 \sim 41) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $5.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,泥质含量为8.6%,碳酸盐岩含量为12.0%,属于低孔特低渗油藏。

根据测井解释及试油试采资料分析认为,桩74块储层均为油层。由于受特低渗储层的影响,储层存在高饱和度油层和低饱和度油层差别,在进行储量计算时,考虑到特低渗油藏难开采的特征,扣除了含油饱和度低于30%的储层厚度。原油物性好,地面相对密度为0.8503~0.8579,地面粘度为11.6~28 mPa·s。

3 特低渗砂岩油藏剩余油控制因素

由于井间具有不易渗流区带的存在^[4-5],特低渗透油藏的储量具有动用低、平面动用不平衡,而且动用的储量主要集中在生产井周围,无井控制区域储量未动用的特点(图3)。基于以上特征,利用动态生产指标来对生产区块进行标定和分类,然后利用动、静态相结合的方法,找出该区剩余油的控制因素。

3.1 沉积微相对剩余油分布的控制

通过原始储量丰度图(图3(a))和沉积微相图(图4)对比可以清晰地看出,辫状水道的原始地质储量最大,水道侧缘次之,砂坝和朵叶体发育面积小,储量比例最小。通过对单井日产油及日采油强度等生产指标的分析对比发现,生产能力最好的也是中扇辫

状水道,水道侧缘次之,砂坝及朵叶体一般(表 1)。这充分反映了沉积微相对油井生产起到控制作用。

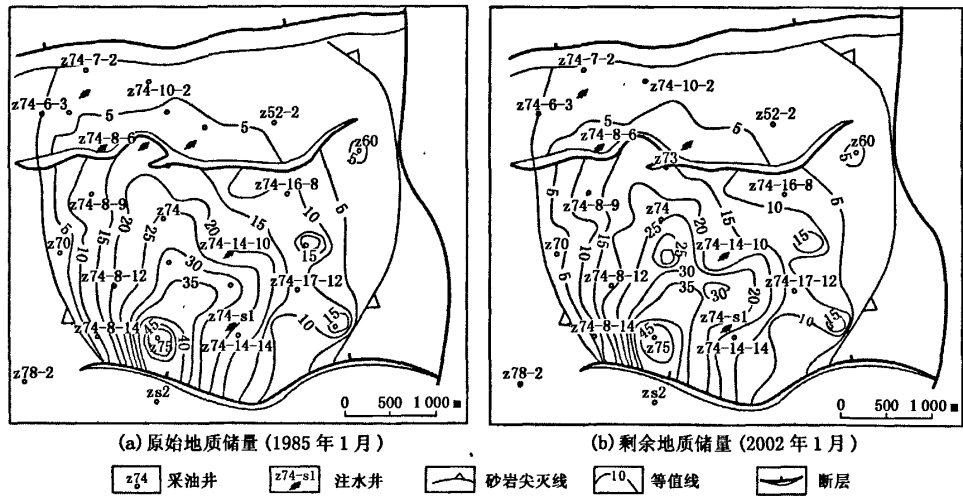


图 3 桩 74 块 5 砂层组生产前、后储量丰度图(等值线单位:10⁴ t/km²)

辫状河道微相的主力油层不仅所占储量比例大,而且是主要出油部位,单井产量高,累积产油量占总产油量的 82.3%。但是由于井间的未动用程度低,还有很大的未动用储量(表 2),可以考虑在稀井网的区域内进行小井距开发。水道侧缘生产情况则次之,虽然具有一定的剩余油可采储量(表 2),但是由于相带较窄,不利于后期的加密生产。砂坝部位井的生产情况最差,后期的挖潜前景最差,可以考虑后期的转注,为处于相邻辫状水道微相的生产井补充地层能量。朵叶体部位的生产井情况一般,但是它具有含水率低、生产寿命长的特点,还有很大的生产潜力(表 2),如 4² 小层的桩 60 井截至 2002 年 3 月,累积生产 117.5 月,日采油量 4.55 t,综合含水率 12.2%。可以看出,沉积微相既控制着地质储量的分布,也控制着剩余油储量的分布。

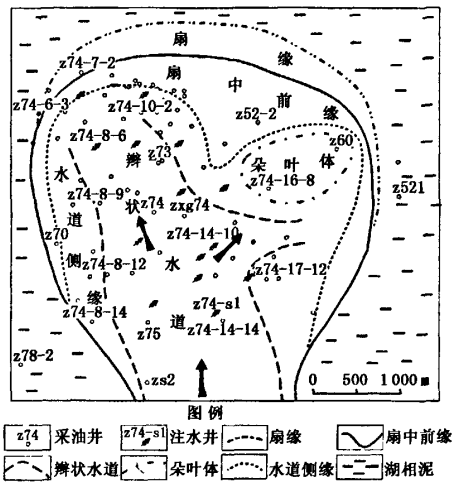


图 4 桩 74 块 5 砂层组沉积微相

表 1 各沉积微相带生产开发特征统计

相带	生产状况 (井数/层数)	累积产油量 $N_p/10^4 \text{ t}$	累积油水 比 R_{ow}	生产时间 t/月	综合含水率 $f_w/\%$	日产油量 q_o/t	日采油强度 $v_o/(t \cdot m^{-1})$	备注
辫状水道	31/33	41.344 5	1.75	1 359	36.3	10.1	0.64	单采井
水道侧缘	4/4	2.113 5	1.70	109	37.0	6.5	0.38	单采井
砂坝	14/14	4.541 4	0.99	428.8	50.4	3.5	0.30	劈产
朵叶体	3/3	2.247 8	5.25	231.5	16.0	3.2	0.29	劈产

表 2 各沉积微相带地质储量统计

沉积微相	地质 储量 $N/10^4 \text{ t}$	累积 产油量 $N_p/10^4 \text{ t}$	剩余油 地质储量 $N_{ar}/10^4 \text{ t}$	剩余油 可采储量 $N_{RR}/10^4 \text{ t}$
砂坝	99.2	4.5	94.7	0.6
辫状水道	1 264.6	41.3	1 223.3	36.3
侧缘	354.5	2.1	352.4	16.1
朵叶体	88.8	2.2	86.5	4.0

3.2 微型构造对剩余油分布的控制

研究区发育有微高点、微斜面、微鼻状、微沟槽、微底点等微构造类型^[6,7,12]。结合生产动态指标发现,微构造对于油井生产有着控制作用。正向微构造生产情况好于斜面微构造,二者均明显好于负向微构造(表 3)。虽然低渗透油藏的渗流特征不同于常规油藏,所受的阻力比常规油气藏要多,但是在克

服阻力的情况下,油气的运移聚集机理是一致的^[8]。在低渗透条件下,流体主要受到的阻力包括极限剪切力、毛细管力、重力、与浮力相反的注入水驱动力;动力主要包括浮力、与浮力方向一致的注入水驱动力^[9]。在油层投入注水开发时,当动力大于阻力时,油气水原有的平衡条件被打破,油层的局部

微构造起伏就会造成油气水的局部重新分配,促使负向微构造的油气沿着斜面向正向微构造聚集。当然,地层倾角越大,越有利于油气向上运移聚集。综上所述,顶底均向上凸起最有利于油气富集,也最有利于开发生产,斜面微构造形态次之,负向微构造最先水淹^[12]。

表 3 桩 74 断块不同微构造类型油井生产情况对比

顶底组合模式	微构造类型	统计井数	日产液量 q_l/t	日产油量 q_o/t	综合含水率 $f_w/\%$	有效厚度 h_e/m	采液强度 $v_l/(t \cdot m^{-1})$	生产时间 t/m	采油强度 $v_o/(t \cdot m^{-1})$	累积产油量 $N_p/10^4 t$	累积产水量 $W_p/10^4 t$	累积生产时间 $\Sigma t/月$	备注
双凸型	微高点	1	5.00	4.7	7.1	8.1	0.60	122.2	0.58	1.711	0.1300	122.2	74-10-4 劈产
双鼻状凸起	微鼻状	4	13.36	10.4	22.02	18.45	0.72	154.0	0.56	4.8133	1.3591	39	单层开采数据
双斜面	微斜面	27	15.02	9.9	34.17	16.4	0.92	1306.5	0.60	38.7597	20.1224	48	单层开采数据
双凹型	微负向	8	24.88	4.8	80.64	12.3	2.02	100.5	0.39	1.4518	6.0488	14	单层开采数据
顶平底凹	微负向	1			91.3					9.0	0.0094		

由微型构造的开发特征(表 3)可以看出,正向和斜面微构造类型的生产情况明显优于负向微构造。负向微构造的生产井寿命短,含水上升迅速,采油强度低,对油田开发生产不利。微构造在特低渗砂岩油藏中对于生产及剩余油的富集也具有重要的影响。

3.3 储层平面非均质性对剩余油的影响

特低渗砂岩油藏的特点决定了层内渗透率的韵律性和夹层对剩余油形成与分布的控制作用均不明显,所以通过渗透率变异系数平面等值线图(图 5)与剩余储量丰度图(图 3(b))进行叠合对比,研究平面

非均质性对剩余油的控制作用。以 5 砂组为例,其渗透率变异系数 V_k 为 0.3~0.9 的区域,剩余地质储量丰度较高,剩余油相对富集;而小于 0.3 和大于 0.9 的区域生产情况均较差(表 4)。一方面变异系数小于 0.3 的情况下对应的是扇中辫状水道接近扇根的部位,含水率上升快,不利于剩余油挖潜;另一方面大于 0.9 的区域基本对应于水道侧缘和扇中前缘微相,剩余储量丰度低(表 2),也不利于剩余油挖潜。所以,从非均质角度考虑,储层在平面上的剩余油富集区位于非均质性较强向非均质性较弱的过渡区域。

表 4 非均质性与产量关系的统计

井数	累积产油量 $N_p/10^4 t$	累积产水量 $W_p/10^4 t$	生产时间 $t/月$	综合含水率 $f_w/\%$	日产液量 q_l/t	日产油量 q_o/t	有效厚度 h_e/m	日采液强度 $v_l/(t \cdot m^{-1})$	日采油强度 $v_o/(t \cdot m^{-1})$	渗透率变异系数 V_k
6	4.9745	4.6923	264.5	48.5	12.2	6.3	17.70	0.69	0.35	0~0.3
32	42.9837	25.1016	1706.8	36.9	13.3	8.4	13.97	0.95	0.60	0.3~0.9
7	2.3775	0.9264	169.0	28.0	6.5	4.7	12.99	0.50	0.36	>0.9

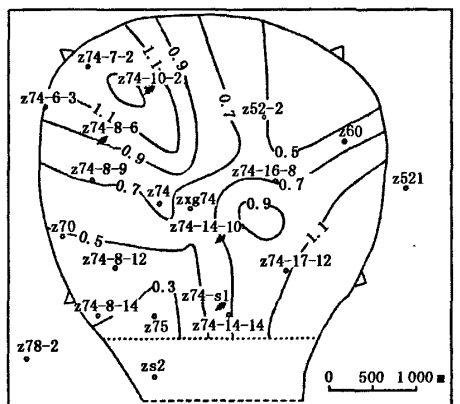


图 5 桩 74 块 5 砂层组渗透率变异系数平面分布

对桩 74 块动、静态资料综合分析认为,在特低

渗砂岩油藏中的剩余油分布主要是受到沉积微相的控制,微构造次之,非均质性控制作用最弱。

4 特低渗砂岩油藏剩余油分布评价

特低渗透砂岩油藏的剩余油形成与分布的主要控制因素有沉积微相、油层微构造、储层非均质性等多种因素。另外,油藏构造及剩余油饱和度也是影响剩余油分布的重要指标,在进行综合地质评价时也应该考虑。以上各种因素互相联系、互相牵制,共同制约着剩余油的分布。基于以上特点,采用模糊数学的方法对其进行综合评判。在实际评价过程中,首先圈定各砂层组要评价的井区,并对各井区沉积微相、微构造以及油藏构造进行分析,确定出有利、较有利、较差 3 个不同的级别,分别赋值为 3,2,1,同时对其进行定量化变换;最后从沉积微相(S)、

微构造(M)、断层构造(F)、剩余油饱和度(S_{or})和渗透率变异系数(V_k)等5个方面对剩余油分布进行综合评判。模糊综合评判的数学模型简单易行,关键是确定权重系数 A 和评判矩阵 R ^[10-11]。

根据各种因素影响剩余油富集的重要程度而确定权重系数,桩74断块综合评判的权重系数 $A = \{S_{or}, V_k, S, M, F\} = \{0.2, 0.1, 0.35, 0.2, 0.15\}$ 。通过做出各种单因素的频率直方图以及多参数的频率交会图等图件进行统计分析,再结合专家经验解释,

给出每个单因素评价结论的隶属度,综合各隶属度参数可以得到评判矩阵 R 。

以桩74断块5砂组为例进行了分区剩余油综合评价,根据综合评价 B 值将剩余油富集区分为4种类型: $B \geq 0.37$ 为最有利的剩余油富集区Ⅰ; $0.35 < B < 0.37$ 为有利剩余油富集区Ⅱ; $0.3 < B < 0.35$ 为一般的剩余油富集区Ⅲ; $B \leq 0.3$ 为剩余油相对贫瘠区Ⅳ,见表5。

表5 桩74断块沙三下5砂层组剩余油综合评价

井区	剩余油饱和度 $S_{or}/\%$	渗透率变异系数 V_k	沉积微相 S 值	微构造 M 值	断层构造 F 值	综合评价 B 值	综合评价结果
1	49.5	0.767	0.28	正	0.35	0.358	Ⅱ
2	50.4	0.552	0.24	负	0.35	0.304	Ⅲ
3	48.9	0.904	0.28	负	0.35	0.241	Ⅳ
4	52.3	0.480	0.32	斜	0.45	0.376	Ⅰ
5	50.2	0.821	0.24	斜	0.20	0.310	Ⅲ
6	52.6	0.482	0.32	斜	0.45	0.376	Ⅰ
7	51.5	0.661	0.28	正+斜	0.45	0.366	Ⅱ

将以上评价结果进行了动态验证,2002年在分析结果最差的2井区进行了加密井网开发,井距在150~180 m,结果6口新生产井均未见到效果,初期产液18.6 t,初始含水率为67%,1年以后4口井关

停;而在分析效果好的7井区进行了桩74-s1井组的小井距开发,效果相当明显,地层压力稳中有升,产油量上升,综合含水率下降,采油速度增加(表6)。

表6 桩74-s1井组与桩74块开发效果对比

项目区域	井距 L/m	单井日产油量 q_o/t	采油速度 $J_o/\%$	采出程度 $\%$	综合含水率 $f_w/\%$	地层压力 p/MPa	标定采收率 $E_R/\%$
桩74	300~350	3.2	0.37	4.4	45.6	28	15
桩74-s1井组	140~250	6.1	1.1	29.72	42.5	34~35	39

5 结论与认识

(1)研究区特低渗砂岩油藏的剩余油主要控制因素是沉积微相、微构造、非均质性。沉积微相的控制作用最强,微构造次之,非均质性控制作用最弱。

(2)研究区中扇亚相的辫状水道微相是最有利的微相带;中扇水道侧缘微相具有一定的可采储量,而由于相带狭窄不利于后期调整加密;朵叶体微相井网稀,具有一定的生产开发潜力;顶凸底凸型和顶底均为鼻状凸起型微构造组合模式水淹程度弱,既是高产区也是剩余油富集区。渗透率变异系数为0.3~0.9的区域剩余油相对富集。

(3)研究区井间不易渗流区带导致该区储量动用低,平面动用不均衡,而且动用的储量主要集中在生产井周围,无井控制区域储量具有未动用的特点。

(4)用模糊数学判别方法可以对剩余油富集区进行定量评判,推断出有利区域,经检验取得了良好的效果。

致谢 胜利油田有限责任公司桩西采油厂的田波、关勋中、冯斌等技术人员对本文研究进行了指导

和帮助,在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

[1] 李道品. 低渗透油田高效开发决策论[M]. 北京:石油工业出版社,2003.

[2] 曾大乾,李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. 石油学报,1994,15(1):38-46.
ZENG Da-qian, LI Shu-zhen. Type and characteristics of low permeability sandstone reservoirs in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1994,15(1):38-46.

[3] 蒋凌志,顾家裕,郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报,2004,22(1):13-18.
JIANG Ling-zhi, GU Jia-yu, GUO Bin-cheng. Characteristics and mechanism of low permeability clastic reservoir in Chinese petroliferous basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2004,22(1):13-18.

[4] 何秋轩,阮敏,王志伟. 低渗透油田注水开发的生产特征及影响因素[J]. 油气地质与采收率,2002,9(2):6-9.
HE Qiu-xuan, RUAN Min, WANG Zhi-wei. Production characteristic and influencing factors in the waterflooding

- of low permeability oil reservoirs[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2002, 9(2): 6-9.
- [5] 王端平, 时佃海, 李相远, 等. 低渗透砂岩油藏开发主要矛盾机理及合理井距分析[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 87-89.
- WANG Duan-ping, SHI Dian-hai, LI Xiang-yuan, et al. The main challenges and the reasonable well spacing for the development of low permeability sandstone reservoirs[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1): 87-89.
- [6] 李兴国. 油层微型构造影响油井生产的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 1987, 14(2): 53-59.
- LI Xing-guo. Effect of mini-structure in a reservoir on well productivity[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1987, 14(2): 53-59.
- [7] 李兴国. 陆相储层沉积微相与微型构造[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [8] 王庆, 贾东, 马品刚. 微幅度构造识别方法及利用浮力开发油田[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 65-67.
- WANG Qing, JIA Dong, MA Pin-gang. Recognition method of micro-relief structures in complicated structural reservoirs and the application of buoyance in oilfield development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1): 65-67.
- [9] 黄延章. 低渗透油层渗流机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [10] 杨昌明, 王美丽, 聂新坤, 等. 圈闭地质评价中模糊数学综合评判的优势[J]. *西南石油学院学报*, 1999, 21(2): 41-42.
- YANG Chang-ming, WANG Mei-li, NIE Xin-kun, et al. The advantage of comprehensive evaluation method by blurred mathematics in trap evaluation[J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 1999, 21(2): 41-42.
- [11] 刘艳, 高有瑞. 已探明开发石油储量评价的模糊数学方法[J]. *石油勘探与开发*, 1993, 20(1): 105-109.
- LIU Yan, GAO You-rui. Fuzzy set theory used in the evaluation of undeveloped proved reserve[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1993, 20(1): 105-109.
- [12] 侯建国, 高建, 张志龙, 等. 五号桩油田桩74断块特低渗透砂岩油藏微构造模式及其开发特征[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(3): 1-5.
- HOU Jian-guo, GAO Jian, ZHANG Zhi-long, et al. Microstructure mode and development character of the lowest permeable sandstone oil reservoir of Wuhaozhuang Oilfield Zhuang 74 fault block[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2005, 29(3): 1-5.
- (编辑 刘艳荣)
-
- (上接第12页)
- [6] 陈孟晋, 刘锐娥, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地北部伊盟地区山西组碎屑岩储层特征分析[J]. *沉积学报*, 1999, 17(增刊): 723-727.
- CHEN Meng-jin, LIU Rui-e, SUN Fen-jin, et al. Reservoir characters of classic rocks of the Shanxi formation at Yi-meng area, northern of Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(sup): 723-727.
- [7] 曾大乾, 李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. *石油学报*, 1994, 15(1): 38-46.
- ZENG Da-qian, LI Shu-zhen. Types and characteristics of low permeability sandstone reservoirs in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1994, 15(1): 38-46.
- [8] 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 13-18.
- JIANG Ling-zhi, GU Jia-yu, GUO Bin-cheng. Characteristics and mechanism of low permeability clastic reservoir in Chinese petroliferous basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 13-18.
- [9] 任战利, 张盛, 高胜利. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 674-684.
- REN Zhan-li, ZHANG Sheng, GAO Sheng-li. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 674-684.
- [10] 王夕宾, 钟建华, 薛照杰. 孤岛油田馆(1+2)砂层组沉积模式及其对剩余油分布的控制[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2004, 28(6): 16-26.
- WANG Xi-bin, ZHONG Jian-hua, XUE Zhao-jie. Sedimentary of Guan(1+2) sand sets and its control over distribution of remaining oil in Gudao Oilfield[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2004, 28(6): 16-26.
- [11] 李龙艳, 何千里. 鄂尔多斯盆地马家沟组储气层的裂缝发育特征[J]. *江汉石油学院学报*, 1995, 17(1): 17-24.
- LI Long-yan, HE Qian-li. Fracture feature of gas reservoirs in Majiagou formation of lower Ordovician in Ordos Basin[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 1995, 17(1): 17-24.
- (编辑 刘艳荣)