

准噶尔盆地六中东区克下组油藏井间连通性 动态反演及地质控制因素

蒋平¹, 赵昌奎¹, 李顺明¹, 王新征², 陈欢庆¹, 许晓明¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化胜利油田分公司 新疆勘探项目管理部, 山东 东营 257000)

摘要: 针对准噶尔盆地六中东区油藏井间连通性测试成本高、研究周期长的问题, 以油井产液量和水井注水量等动态数据为基础, 采用多元线性回归数学方法定量反演油水井连通系数, 并通过示踪剂资料进行验证。研究结果表明, 该区克下组油藏油水井存在单井突进、单线连通、单向连通和多向连通4种连通样式, 连通性主要受构型要素、断层、储层物性和储层改造措施等地质因素控制。其中扇根开发层系 S_7^4 和 S_7^3 小层以单井突进、单线连通为主, 主要受储层物性控制; 扇中开发层系 S_7^2 和 S_7^1 小层以单线连通和单向连通为主, 主要受构型单元控制。

关键词: 井间连通性 多元线性回归 连通样式 单井突进 单向连通 准噶尔盆地

中国分类号: TE331

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)01-0057-06

Dynamic inversion and the geological controlling factors of interwell connectivity in reservoirs of lower Karamay Formation in Liuzhongdong block, Junggar basin

Jiang Ping¹, Zhao Changlei¹, Li Shunming¹, Wang Xinzheng², Chen Huanqing¹, Xu Xiaoming¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing City, 100083, China; 2. Xinjiang Exploration Project Management Department, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

Abstract: In order to solve the problems of high cost and long cycle in the interwell connectivity research of reservoirs in Liuzhongdong block, Junggar basin, the connectivity coefficient of the oil and water wells was inverted using multiple linear regression mathematical method on the basis of dynamic data including fluid production of oil wells and water injection of water wells. The research results have been verified by tracer data. It shows that there are 4 connectivity types between oil and water wells: single well onrush, single connectivity, one-way connectivity and multidirectional connectivity. The factors controlling the connectivity are mainly affected by the configuration element, fault, physical properties of reservoirs, reservoir stimulation etc. Single well onrush and single connectivity types develop in layer S_7^4 and layer S_7^3 of fan root system, which are mainly controlled by the physical properties of the reservoirs. Single connectivity and one-way connectivity types mainly develop in layer S_7^2 and layer S_7^1 of middle fan system, which are controlled by the configuration unit.

Key words: interwell connectivity; multiple linear regression; connectivity type; single well onrush; one-way connectivity; Junggar basin

在原油开采过程中, 油藏储层孔隙结构会发生较大变化^[1-6], 尤其是进入高含水、特高含水阶段的油藏, 大孔道发育导致注入水无效循环, 水驱波及体积小, 层间层内矛盾突出。油藏井间连通性研究

对于注水开发油藏的动态分析、剩余油分布以及合理开发调整方案的制定有重要作用, 是高含水、特高含水油藏提高采收率的研究基础。目前, 中外研究油藏井间连通性的方法主要有电缆测井、地层对

收稿日期: 2014-11-10。

作者简介: 蒋平(1986—), 男, 重庆人, 博士, 从事海外非常规储层地质研究。联系电话: (010)83597832, E-mail: jiangpingdalang@126.com。

基金项目: 中国石油股份公司重点科技项目“储层精细结构表征及注采结构精细调控技术研究”(2011B-1101)。

比、地球化学、压力测试和油藏数值模拟及示踪剂等^[7],这些方法测试成本较高,研究周期较长。为解决这个问题,一些学者尝试性地采用数学方法进行油水井动态数据分析,进而研究油藏井间连通性^[8-15]。笔者利用油井产液量和水井注水量等动态数据,采用多元线性回归的数学方法,动态反演油水井井间连通性,并运用示踪剂试验数据进行验证,以期能够较好地解决油藏井间连通性研究成本高、周期长的问题。

1 地质概况

准噶尔盆地六中东区克下组油藏被断裂切割成似三角形的封闭断块,北以白碱滩北断裂为界,南以克一乌断裂为界^[16],地面海拔为260~275 m。研究区克下组油藏为正旋回山麓洪积扇沉积,油层中部埋深约为400 m,自下而上分为S₇和S₆砂层组,其中S₇砂层组可进一步划分为S₇¹, S₇², S₇³和S₇⁴共4个小层,岩性主要为砾岩和含砾不等粒砂岩。其中,S₇⁴和S₇³主要为扇根沉积,发育槽流带、漫洪内带、漫洪外带和片流带4个5级构型单元以及槽流砾石体、槽滩砂砾体、漫洪内(外)砂体、漫洪内外细粒和片流砾石体等多个4级构型单元;S₇²和S₇¹主要为扇中沉积,发育辫流带和漫流带2个5级构型单元以及辫流水道、辫流砂砾坝、漫流砂体和漫流细粒等多个4级构型单元;S₆主要为扇端沉积,发育径流水道和河道间细粒2个4级构型单元。该油藏平均有效孔隙度为18.96%,有效渗透率为250×10⁻³ μm²,储层具有中强水敏性和中弱速敏性。

2 油藏井间连通性

2.1 动态反演方法

油藏是一个复杂的动力学平衡系统,其开发动态数据能体现油藏开发特征。水井注入量变化所引起的油井产液量波动能反映出油藏井间连通性,因此利用开发动态数据来研究油藏井间连通性,方法简单,结果准确。其中多元线性回归方法是较好的油藏井间连通性动态反演方法之一。

将油藏的油井、水井以及油水井间的储层看作一个完整的系统,水井注入量为系统的激励,油井产液量为系统的响应输出。每口油井的产液量受到临近多口水井注入量的影响,对于有M口水井和N口油井的油藏,第j口油井的产液量可用线性模

型^[17]表示为

$$\hat{q}_j(k) = \beta + \sum_{i=1}^M \beta_{ij} i_i(k) \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

多元线性回归权重系数能够表征第j口油井和第i口水井的动态连通程度,即连通系数,可通过最小二乘法求取油井产液量观测值与估计值的最小残差平方和得到,使残差平方和取得极小值的最小二乘估计值应满足的表达式为

$$\frac{\partial}{\partial \beta_{ij}} \left[\sum_{n=1}^N q_j(k) - \hat{q}_j(k) \right]^2 = 0 \quad (2)$$

式(2)也可以表示为

$$\sum_{m=1}^M \beta_{mj} Cov_{im} = Cov_{ij} \quad (3)$$

式(3)写成线性方程组为

$$\begin{bmatrix} Cov_{11} & Cov_{12} & \cdots & Cov_{1M} \\ Cov_{21} & Cov_{22} & \cdots & Cov_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Cov_{M1} & Cov_{M2} & \cdots & Cov_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{1j} \\ \beta_{2j} \\ \vdots \\ \beta_{Mj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cov_{1j} \\ Cov_{2j} \\ \vdots \\ Cov_{Mj} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中

$$Cov_{im} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [i_i(k) - \bar{i}_i][i_m(k) - \bar{i}_m] \quad (5)$$

$$Cov_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [i_i(k) - \bar{i}_i][q_j(k) - \bar{q}_j] \quad (6)$$

式(4)可以分为3个部分:第1部分是左侧第1个矩阵,为注入数据向量的协方差阵,可通过式(5)求取;第2部分的列向量为注采系统多元线性回归模型权重的最小二乘估计值;第3部分是右侧矩阵,为水井注入量与油井产液量间的协方差阵,也可通过式(6)求得。

通过方程组求解的多元线性回归权重系数能够定量表征油水井间的连通程度,但由于未考虑水井注入量在地层中传导的时滞性和衰减性,对于同一个时间步长,水井的注水量同油井的产液量并不具备完全的对对应关系,因此须根据渗流力学相关原理对水井注水量进行修正。

将水井注水量看成一系列的注入脉冲,根据渗流力学压降叠加原理^[18],在不同时间点,地层中某点的压降表达式为

$$\Delta p = \begin{cases} C_i E \left(-\frac{\mu C_i}{4k} \right) \frac{r^2}{t} & t \leq 1 \\ C_i E \left(-\frac{\mu C_i}{4k} \right) \times \left(\frac{r^2}{t} - \frac{r^2}{t-1} \right) & t > 1 \end{cases} \quad (7)$$

结合采油指数定义,由压降导致的油井产液量变化可以表示为

$$\Delta q = \begin{cases} C_2 E \left(-\frac{\mu C_1}{4k} \right) \frac{r^2}{t} & t \leq 1 \\ C_2 E \left(-\frac{\mu C_1}{4k} \right) \times \left(\frac{r^2}{t} - \frac{r^2}{t-1} \right) & t > 1 \end{cases} \quad (8)$$

由式(8)可以看出,油井产液量是一系列注入脉冲在该时间步长的响应之和。某水井在某时间节点的注入脉冲可以离散成不同时间步长的一系列脉冲之和(通常离散成12个)。

根据渗流力学相关原理对注水井注水量进行滞性和衰减性的修正,修正后的注水量表达式为

$$i_{ij}^c(t) = \sum_{n=0}^{11} \alpha_{ij}^{(n)} i_i(t-n) \quad (9)$$

式(9)中的离散系数可根据注水量在不同时间步长引起的产液量变化来确定,其表达式为

$$\alpha^{(n)} = \frac{\int_{t=12}^{t=n+1} \Delta q dt}{\int_{t=0}^{t=n} \Delta q dt} \quad n=0,1,2,\dots,11 \quad (10)$$

将修正后的水井注入量代入多元线性回归模型中,所得到的油水井连通系数能准确反映油藏井间的动态连通状况。

2.2 动态反演结果

研究区自2006年进入二次开发阶段,选取2006年3月—2011年10月的97口油井产液量和77口水井注水量的月度数据,并采用多元线性回归方法进行油藏井间连通性研究。

2.2.1 油藏井间连通性验证

研究区2010年进行了5个井组的示踪剂试验。对比多元线性回归方法计算得到的井间连通性与示踪剂试验数据(表1)表明:①计算的示踪剂注入井与检测井之间的连通系数为0且示踪剂检测井检测结果不见效,如表1的T6100井组中,示踪剂注入井T6100与检测井T6091计算的连通系数为0,而实际检测结果表明T6091并未检测到示踪剂,表明计算结果与试验数据吻合;②计算的示踪剂注入井与检测井之间的连通系数不为0且示踪剂检测井检测结果见效,如表1的T6100井组中,示踪剂注入井T6100与检测井T6107计算的连通系数不为0,实际检测结果显示T6107井能检测到示踪剂,见效时间为52 d,则计算结果与试验数据吻合。示踪剂注入井与检测井对应的20组数据中,其中有16组显示的井间连通性与计算的连通系数吻合,吻合率达到80%。在定量方面,将抽取的吻合数据分成不同井组,对比归一化后的连通系数与突破速度之间的关系,每个示踪剂注入井组内的连通系数与突

表1 六中东区克下组井组动态连通系数与示踪剂试验数据对比

Table1 Contrast between dynamic connectivity coefficient and tracer test data of the lower Karamay Formation in Liuzhongdong block

示踪剂注入井	示踪剂检测井	见效时间/d	突破速度/(m·d ⁻¹)	动态连通性	计算连通系数	归一化的连通系数
	T6090	14	8.9	是	0	0
	T6091			否	0	0
T6100	T6107	52	2.4	是	0.360 6	1
	T6108			否	0	0
	T6124	3	41.7	是	0.199 7	0.32
	T6125	39	3.2	是	0.099 5	0.16
T6133	T6140	6	20.8	是	0.161	0.26
	T6141	6	20.8	是	0.161	0.26
	T6154			否	0.303 1	0.30
	T6155	17	7.4	是	0.318 5	0.32
T6161	T6167	28	4.5	是	0.186	0.19
	T6168	18	6.9	是	0.192 4	0.19
	T6168	24	4.5	是	0.325 6	0.32
	T6169	27	4.6	是	0.466 3	0.47
T6174	T6179			否	0	0
	T6180	34	3.7	是	0.208	0.21
	T6106	15	8.3	是	0	0
	T6107	8	15.6	是	0.330 5	0.41
T6116	T6124	8	15.6	是	0.321 4	0.40
	T6125			否	0.147	0.19

破速度呈正相关性。计算结果表明,对于每个井组通过动态反演模型计算的油水井连通系数能够有效地定量表征油水井间的连通程度。

2.2.2 油藏井间连通样式

受储层平面非均质性、射孔对应程度、井距和注水强度等因素影响,油藏井间连通样式呈现出单井突进、单线连通、单向连通和多向连通等样式(图1),以单井突进和单线连通样式为主。

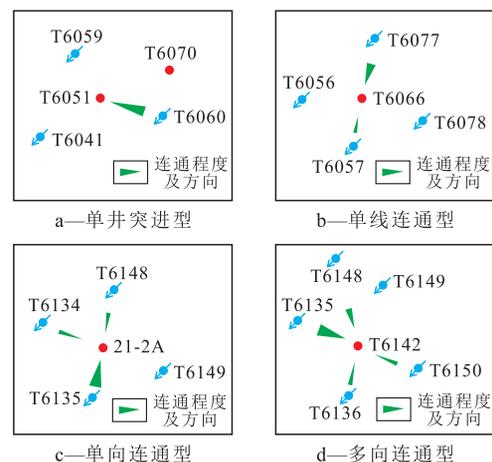


图1 油藏井间连通样式

Fig.1 Interwell connectivity types of oil reservoir

单井突进型(图 1a)指注水井注入水沿着某一个优势渗流通道直接流入附近某口油井中,从而使得注入水的波及系数变小而影响其开发效果。通常情况下,单井突进型的产生是由于油水井间存在高渗透条带或者油水井处于相对独立的构型单元内部。单线连通型(图 1b)指水井与相反方向的2口油井或者油井与其两侧水井之间的动态连通性明显好于其他方向,在动态连通图上表现为一字形连通形状。单向连通型(图 1c)指油井与其某一侧水井之间的连通性明显好于另外一侧,在动态连通图上表现为扇形连通形状。多向连通型(图 1d)指油井与周围水井的连通性大体一致,没有明显的优势渗流通道,动态连通图上表现为片形连通形状。

3 地质控制因素

3.1 构型要素

研究区发育多种类型的构型要素,其中主要为扇根和扇中沉积,主要的构型要素包括槽流砾石体、片流砾石体、辫流水道和辫流砂砾坝等。由于各构型要素间的沉积环境不同,导致其岩相类型、粒度和物性存在差异,并且不同的构型要素在空间上形成侧向叠置的匹配关系,接触面通常为渗透性较弱的细粒沉积面或者致密成岩面,从而阻挡了油水在不同构型要素间的渗流。若油水井分属于不同构型要素,则油水井间存在动态不连通性。研究区 T6141 和 T6158 井组井间连通性分析结果(图 2)表明,油井 T6141 和水井 T6134 均属于辫流水道沉

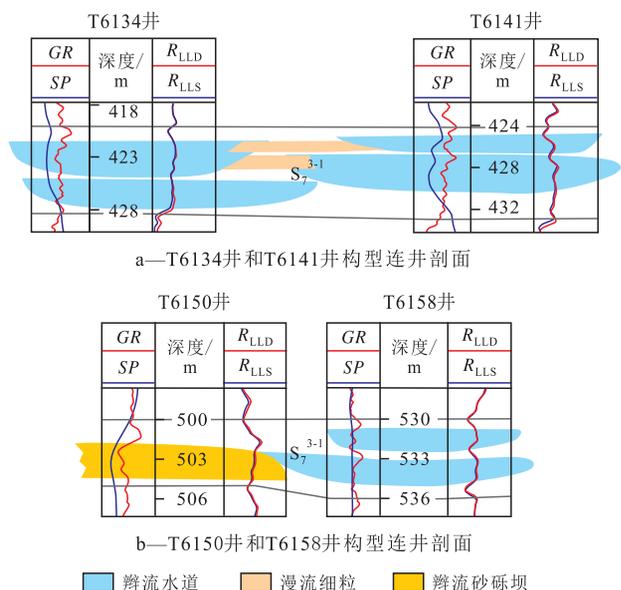


图2 T6141和T6158井组井间连通性分析
Fig.2 Diagrams showing interwell connectivity in T6141 well group and T6158 well group

积,但油水井间存在漫流细粒沉积,油水井分属于2个相对独立的构型单元,油水井动态不连通(图 2a);油井 T6158 和水井 T6150 分别属于辫流水道和辫流砂砾坝沉积,二者之间存在构型界面,油水井动态不连通(图 2b)。正是由于各构型单元的空间匹配与平面组合关系不同,导致油水井在平面上呈现不同的连通样式。

3.2 断层

研究区东南部和北部发育较大型逆冲断层,阻挡了油水井间的渗流通道,使得油水井动态不连通。从图 3 可以看出,油井 T6178 和水井 T6173 均属于片流砾石体沉积,射孔对应较好,但由于油水井井间断层的隔挡作用,油水井动态不连通,与多元线性回归方法计算的连通系数为 0 吻合。

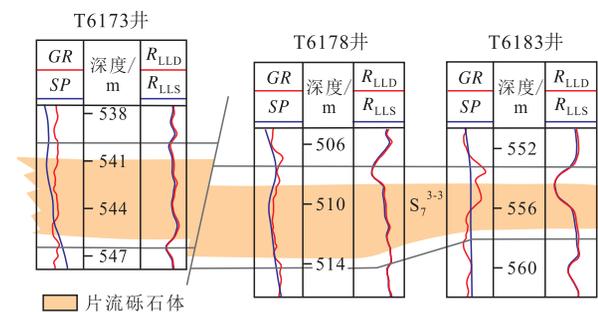


图3 T6178井组井间连通性分析
Fig.3 Diagram of interwell connectivity in T6178 well group

3.3 储层物性

准噶尔盆地六中东区克下组油藏 S₇³ 小层主要发育片流砾石体沉积。从图 4 可以看出,油井 T6122 与水井 T6113 和 T6131 均发育片流砾石体沉积。S₇³ 小层中油井 T6122 的平均渗透率为 150×10⁻³ μm²,水井 T6113 的平均渗透率为 150×10⁻³ ~ 200×10⁻³ μm²,水井 T6131 的平均渗透率小于 30×10⁻³ μm²,水井 T6113 和 T6131 存在明显的渗透率级差。由连通系数计算结果可知,水井 T6113 和 T6131 与油井 T6122 之间的归一化连通系数分别为 0.73 和 0.27。水井渗透率小,则计算的连通系数亦小。在同一构型单元中,储层物性的差异将导致井间连通性的差异。

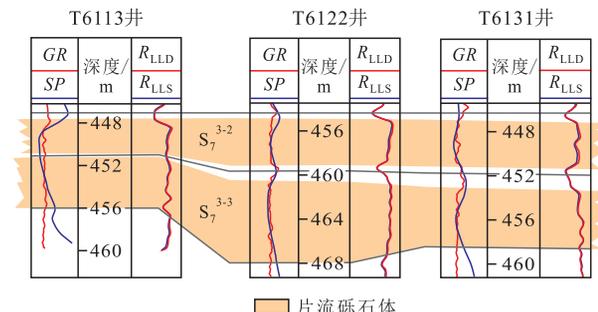


图4 T6122井组井间连通性分析
Fig.4 Diagram of interwell connectivity in T6122 well group

3.4 储层改造措施

研究区二次开发时应用了酸化和压裂措施,从酸化和压裂规模设计以及矿场实施情况来看,这些措施只是在近井地带作业,压裂缝延伸不超过井间距离的三分之一,对井间连通性影响较小。

通过井间连通性动态反演以及相关地质控制因素分析认为,研究区主要开发扇根外带和扇中沉积。其中扇根是以片流砾石体沉积为主,其砂、砾混杂堆积,平面非均质性较强,井间连通性明显受储层物性影响,主要存在单井突进和单线连通2种连通样式;扇中以辫流水道沉积为主,平面上呈条带状展布,井间连通性明显受构型单元控制,主要以单线连通和单向连通2种连通样式为主,连通方向主要为顺辫流水道方向。

4 结论

以油井产液量和水井注水量等动态数据为基础,采用多元线性回归的数学方法能够有效反演油藏井间连通性,并且在一定程度上解决了研究成本高、周期长的问题。

准噶尔盆地六中东区克下组油藏井间连通性主要受构型要素、断层、储层物性和储层改造措施等因素控制,连通样式有单井突进、单线连通、单向连通和多向连通4种。扇根为片流砾石体沉积,砂砾混杂堆积,内部构型界面不明显,储层物性控制油藏井间连通性,主要有单井突进和单线连通2种类型;扇中为辫流水道和辫流砂砾坝沉积,构型界面控制井间连通性,主要有单线连通和单向连通2种类型。

符号解释:

$\hat{q}_j(k)$ ——第 j 口油井在时间步长 k 的产液量, m^3 ; j ——油井编号; k ——时间步长; β ——引入的注采非平衡量; i ——水井编号; M ——水井总数, 口; β_{ij} ——第 j 口油井与第 i 口水井的多元线性回归权重系数; $i_i(k)$ ——第 i 口水井在时间步长 k 的注入量, m^3 ; N ——油井总数, 口; n ——油井序列号; m ——水井序列号; β_{mj} ——第 m 口水井与第 j 口油井多元线性回归模型权重的最小二乘估计值; Cov_{im} ——第 i 口水井和第 m 口水井注入量间的协方差; Cov_{ij} ——第 i 口水井注入量和第 j 口油井产液量间的协方差; K ——时间序列序号; Δp ——水井总压降, MPa; C_1 ——常数; E ——幂积分函数; μ ——地层原油粘度, $mPa \cdot s$; C_2 ——压缩系数; r ——地层中某点与水井的距离, m ; t ——生产时间节点; Δq ——由压降导致的油井产液量

变化量, m^3 ; C_2 ——常数; $i_i^c(t)$ ——修正后的某时间节点的注水量, m^3 ; $\alpha_{ij}^{(n)}$ ——水井 i 与油井 j 之间的离散系数; $\alpha^{(n)}$ ——离散系数。

参考文献:

- [1] 万云,詹俊,陶卉.碳酸盐岩储层孔隙结构研究[J].油气田地面工程,2008,27(12):13-14.
Wan Yun, Zhan Jun, Tao Hui. Study on pore structure of carbonate reservoir [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2008, 27(12): 13-14.
- [2] 刘月田,孙保利,于永生.大孔道模糊识别与定量计算方法[J].石油钻采工艺,2003,25(5):54-59.
Liu Yuetian, Sun Baoli, Yu Yongsheng. Fuzzy identification and quantitative calculation method for big pore throat [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(5): 54-59.
- [3] 王美娜,李继红,郭召杰,等.注水开发对胜坨油田坨30断块沙二段储层性质的影响[J].北京大学学报:自然科学版,2004,40(6):855-863.
Wang Meina, Li Jihong, Guo Zhaojie, et al. The influence of water-flooding development on reservoir properties of the No.12 member of Shahejie formation of Tuo30 fault block in Shengtuo oilfield [J]. Universitatis Pekinensis: Acta Scientiarum Naturalium, 2004, 40(6): 855-863.
- [4] 屈乐,孙卫,刘哲,等.牛圈湖油田储层孔隙结构对注水开发的影响[J].测井技术,2011,35(S1):622-626.
Qu Le, Sun Wei, Liu Zhe, et al. Effect of micro-pore structure and controlling factors on waterflooded development in Niujuanhu oilfield [J]. Well Logging Technology, 2011, 35(S1): 622-626.
- [5] 靳文奇,王小军,何奉朋,等.安塞油田长6油层组长期注水后储层变化特征[J].地球科学与环境学报,2010,32(3):239-244.
Jin Wenqi, Wang Xiaojun, He Fengpeng, et al. Characteristics of Chang-6 oil-bearing formation changes after long term waterflood development in Ansai oilfield [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(3): 239-244.
- [6] 林玉保,张江,刘先贵,等.喇嘛甸油田高含水后期储集层孔隙结构特征[J].石油勘探与开发,2008,35(2):215-219.
Lin Yubao, Zhang Jiang, Liu Xiangui, et al. Pore structure features of reservoirs at late high water-cut stage, Lamadian Oilfield, Daqing [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 215-219.
- [7] 石广志,冯国庆,张列辉,等.应用生产动态数据判断地层连通性方法[J].天然气勘探与开发,2006,29(2):29-31,35.
Shi Guangzhi, Feng Guoqing, Zhang Liehui, et al. Inferring strata connectivity from production performance data [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2006, 29(2): 29-31, 35.
- [8] 杜庆军,侯健,刘业俊,等.准噶尔盆地陆9井区J_{2x4}油藏井间动态连通性[J].新疆石油地质,2010,31(6):621-623.
Du Qingjun, Hou Jian, Liu Yejun, et al. Interwell dynamic connectivity of J_{2x4} reservoir in wellblock Lu-9 in Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(6): 621-623.
- [9] 金志勇,刘启鹏,韩东,等.非线性时间序列井间连通性分析方

- 法[J].油气地质与采收率,2009,16(1):75-77,81.
Jin Zhiyong, Liu Qipeng, Han Dong, et al. Inter-well connectivity analysis based on nonlinear time series [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(1):75-77, 81.
- [10] 盖平原.注采井间连通性的定量研究[J].油气田地面工程, 2011, 30(2):19-21.
Gai Pingyuan. Quantitative study of connectivity between injection and production wells [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2011, 30(2):19-21.
- [11] 冯其红,王相,王波,等.非均质水驱油藏开发指标预测方法[J].油气地质与采收率,2014,21(1):36-39.
Feng Qihong, Wang Xiang, Wang Bo, et al. A new method for prediction of heterogeneous reservoir development index by waterflooding [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1):36-39.
- [12] 赵辉,姚军,吕爱民,等.利用注采开发数据反演油藏井间动态连通性[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(6):91-98.
Zhao Hui, Yao Jun, Lü Aimin, et al. Reservoir interwell dynamic connectivity inversion based on injection and production data [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2010, 34(6):91-98.
- [13] 王端平.考虑孔隙波及特征的水驱理论采收率计算方法[J].油气地质与采收率,2013,20(5):1-3.
Wang Duanping. New evaluation method for recovery theory on waterflooding based on pore sweep extent [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5):1-3.
- [14] 赵辉,李阳,高达,等.基于系统分析方法的油藏井间动态连通性研究[J].石油学报,2010,31(4):633-636.
Zhao Hui, Li Yang, Gao Da, et al. Research on reservoir interwell dynamic connectivity using systematic analysis method [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4):633-636.
- [15] 张明安.油藏井间动态连通性反演方法研究[J].油气地质与采收率,2011,18(3):70-73.
Zhang Ming'an. Study on inversion for reservoir inter-well dynamic connectivity [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(3):70-73.
- [16] 马勋,张保国,蔡敏,等.六中区下克拉玛依组冲积扇储层构型解剖研究[J].吐哈油气,2011,16(3):228-232.
Ma Xun, Zhang Baoguo, Cai Min, et al. Anatomy of alluvial fan reservoir architecture in lower Karamay formation in Liuzhong district in Karamay oilfield [J]. Tuha Oil & Gas, 2011, 16(3):228-232.
- [17] 刘业俊.油藏井间动态连通性反演方法研究[D].东营:中国石油大学(华东),2009:41-43.
Liu Yejun. Study on inversion method of reservoir interwell dynamic connectivity [D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2009:41-43.
- [18] Alejandro A, Lake L. Inferring interwell connectivity from well-rate fluctuations in waterfloods [C]. SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Oklahoma, 2002.

编辑 王星

(上接第41页)

- Zhu Rixiang, Yang Zhenyu, Ma Xinghua, et al. Paleomagnetic apparent polar wander curve and movement of Chinese main land in the Phanerozoic [J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 1998, 28(S1):1-16.
- [19] 丁卫星,赵挺,赵胜,等.下扬子前陆盆地北部构造变形特征研究[J].复杂油气藏,2013,6(2):1-6.
Ding Weixing, Zhao Ting, Zhao Sheng, et al. Characteristics of structural deformation in the northern part of lower Yangtze foreland basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2013, 6(2):1-6.
- [20] 陈刚,史鹏,陈清华,等.连云港-苏州区域大剖面构造特征与变形机制[J].石油天然气学报,2009,31(4):49-53.
Chen Gang, Shi Peng, Chen Qinghua, et al. Structural characteristics and deformation mechanisms of Lianyungang-Suzhou section [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4):49-53.
- [21] 陈清华,陈诗望,黄超.渤海湾盆地成因类型评介[J].油气地质与采收率,2004,11(6):1-2.
Chen Qinghua, Chen Shiwang, Huang Chao. Evaluation and introduction to genetic types of Bohai Bay basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(6):1-2.
- [22] 练铭祥,薛冰,杨盛良.苏北新生代盆地断陷和拗陷的形成机理[J].石油实验地质,2001,23(3):256-260.
Lian Mingxiang, Xue Bing, Yang Shengliang. Formation mechanism of depressions and rifts in the Cenozoic basin of north Jiangsu province [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(3):256-260.

编辑 邹澍滢