

井斜轨迹对储层构型及其油水分布研究的影响

吴林¹, 陈清华¹, 肖斐¹, 高峰²

(1. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石化江苏油田分公司 地质科学研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 目前储层构型研究尚处于发展阶段, 其对测井资料的依赖程度较高, 特别是井斜轨迹对储层构型研究的影响较大。在井斜轨迹推算的基础上, 推导出储层构型单元真厚度的计算公式, 同时选取 Miall 关于储层构型分类方案中的四级(或五级)储层构型单元作为研究对象, 探讨井斜轨迹对储层构型及其油水分布研究的影响。结果表明, 井斜轨迹易混淆对储层构型单元顶、底界面的识别; 影响储层构型单元真厚度的测算结果, 其模式可分为储层构型单元水平、储层构型单元水平且井斜轨迹穿过断层、储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向相同、储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向相反共 4 种, 进而造成储层构型单元有效厚度解释偏差或油水分布关系认识不准确等情况。为了准确进行不同层次的储层构型研究, 须考虑井斜轨迹的影响, 由粗入细、逐步分析, 最终确定各级储层构型单元的油水分布规律。

关键词: 井斜轨迹 储层构型 储层构型单元 真厚度 油水分布

中图分类号: TE133

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)02-0075-05

目前中国多数油田已进入勘探开发的后期阶段, 生产开发过程中存在的问题也日益凸显, 须利用逐渐丰富的测井和地质等资料来进一步精细刻画储层的发育情况。Miall 利用构型分析法将河流相储层沉积体进行了界面分级^[1], 自此储层构型研究开始被重视。中外学者对野外露头 and 地下储层进行了大量的储层构型分析, 主要包括储层构型界面分级^[1-7]、储层构型单元划分^[1-6]、储层构型岩相识别^[1-5, 8-9]、储层构型微构造图制作^[10]、储层构型的油水分布^[11-15]以及储层构型建模^[16-17]等方面。

目前储层构型研究尚处于发展阶段, 其主要任务是划分沉积储层单元; 主要采用的层次分析法多集中在小层和单砂体级别, 其构型单元层次较低、厚度较薄, 因此界面识别和厚度变化对储层构型单元的精细刻画具有重要影响。测井资料是识别和研究密井网区地下储层构型单元的主要基础资料, 其采集精度与重点储层构型单元的描述精度较匹配; 而井斜轨迹在储层构型单元研究中的影响一直被忽视, 因此须分析井斜轨迹对储层构型及其油水分布研究的影响, 以期对油气区储层构型及其应用领域研究提供借鉴。

1 井斜轨迹的推算

由于勘探开发的需要, 往往要求钻井时须按照预先设定的轨迹钻进, 这样会造成井轨迹的阶段变化, 即相邻测点之间轨迹的迁移。假设某斜井轨迹如图 1 所示, 其第 i 个测点的测深、 x 方向大地坐标、 y 方向大地坐标和垂深的表达式分别为

$$Md_i = \sum_{i=1}^n \Delta Md_i \quad (1)$$

$$X_i = X_1 + \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2)$$

$$Y_i = Y_1 + \sum_{i=1}^n \Delta Y_i \quad (3)$$

$$Z_i = Z_1 + \sum_{i=1}^n \Delta Z_i \quad (4)$$

其中

$$\Delta Md_i = \frac{\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}}{\cos \alpha_i} \quad (5)$$

$$\Delta X_i = \Delta Md_i \cos \alpha_i \sin \beta_i \quad (6)$$

$$\Delta Y_i = \Delta Md_i \cos \alpha_i \cos \beta_i \quad (7)$$

式中: Md , X , Y 和 Z 分别为测点处的测深、 x

收稿日期: 2014-01-02。

作者简介: 吴林, 男, 在读博士研究生, 从事盆地构造特征及油气开发地质研究。联系电话: (0532)86981250, E-mail: 19534644@sohu.com。
基金项目: 国家油气重大专项“煤层气开发技术经济评价”(2009ZX05042-001), 国家油气重大专项“海外油气新项目快速评价方法研究”(2008ZX05028-005-01)。

方向大地坐标、 y 方向大地坐标和垂深, m ; i 为测点序号, 其值为 $1 \sim n, n \geq 2$ 且为整数; n 为测点总数, 个; $\Delta Md_i, \Delta X_i, \Delta Y_i$ 和 ΔZ_i 分别为第 i 与第 $i+1$ 个测点之间的测深、 x 方向大地坐标、 y 方向大地坐标和垂深的变化值, m ; X_i, Y_i 和 Z_i 分别为经过补心海拔高度校正的初始测点的 x 方向大地坐标、 y 方向大地坐标和海拔高度, m ; α_i 和 β_i 分别为第 i 个测点的井斜角和方位角, ($^\circ$)。

在已知 Md_i 的情况下, 结合 (α_i, β_i) 或 (X_i, Y_i) 中任意 1 组数据, 即可得出其他参数, 进而明确井斜轨迹。

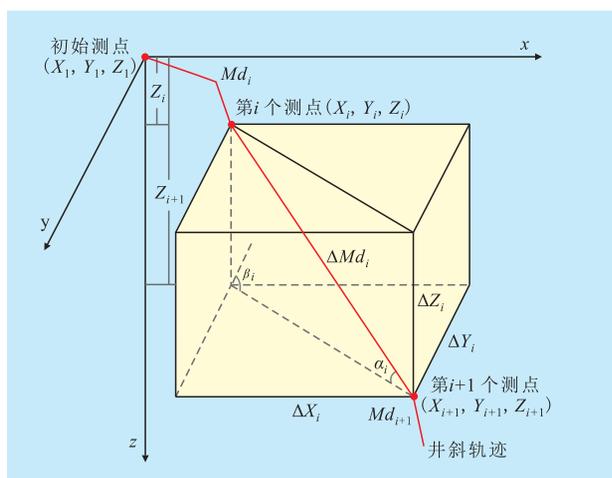


图1 井斜轨迹空间示意

一般来说, 井斜轨迹中相邻测点之间的井段会贯穿 1 个或多个储层构型单元, 致使储层构型单元真厚度计算变得相对复杂。假设某储层构型单元分布在第 $i-1, i$ 和 $i+1$ 个测点之间, 且储层构型单元的产状为水平, 则储层构型单元真厚度的表达式为

$$d = d_{i-1} + d_i + d_{i+1} \quad (8)$$

其中

$$d_{i-1} = \Delta Z_{i-1} \frac{\Delta Md_{i-1} - \Delta Md_{i-1}'}{\Delta Md_{i-1}} \quad (9)$$

$$d_i = \Delta Z_i \quad (10)$$

$$d_{i+1} = \Delta Z_{i+1} \frac{\Delta Md_{i+1}}{\Delta Md_{i+1}} \quad (11)$$

式中: d 为储层构型单元的总真厚度, m ; d_{i-1}, d_i 和 d_{i+1} 分别为储层构型单元分布于第 $i-1$ 与第 i 个测点、第 i 与第 $i+1$ 个测点和第 $i+1$ 与第 $i+2$ 个测点之间的真厚度, m ; ΔZ_{i-1} 和 ΔZ_{i+1} 分别为第 $i-1$ 与第 i 个测点、第 $i+1$ 与第 $i+2$ 个测点之间的垂深变化值, m ; ΔMd_{i-1} 和 ΔMd_{i+1} 分别为第 $i-1$ 与第 i 个测点、第 $i+1$ 与第 $i+2$ 个测点之间的测深变化值, m ; $\Delta Md_{i-1}'$ 为分布于第 $i-1$ 与第 i 个测点之间的储层构型单元

顶界面与第 $i-1$ 个测点之间的测深变化值, m ; $\Delta Md_{i+1}'$ 为分布于第 $i+1$ 与第 $i+2$ 个测点之间的储层构型单元底界面与第 $i+1$ 个测点之间的测深变化值, m 。

2 井斜轨迹对储层构型研究的影响

储层构型是指不同级次储集单元与隔夹层的形态、规模、方向及其空间叠置关系。储层构型几何学研究主要是各级次储层构型单元的三维地质形态描述, 包括大小、厚度、界面和轮廓等, 而这些均基于储层构型单元的层次划分和界面识别。众所周知, 水道型沉积是有利储层发育的主要沉积相带, 因此, 对于河流相、三角洲相储层构型的研究较多^[2,6-11]。Miall 利用 8 级沉积界面将河流相储层构型单元划分为 8 个层次^[5], 一级沉积界面划分交错层系, 二级沉积界面划分层系组, 三级沉积界面划分超短期沉积旋回 (即 1 期水流变化), 四级沉积界面划分短期沉积旋回 (即 1 期河道变化), 五级沉积界面划分河道充填复合体, 六级沉积界面划分河道群, 七级沉积界面划分大型沉积体系, 八级沉积界面划分盆地充填复合体。该分类方案中的一、二和三级储层构型单元的规模较小, 六、七和八级储层构型单元的规模偏大, 而四级和五级储层构型单元的垂向厚度约为 $1 \sim 100 \text{ m}$, 横向展布范围约为 $10 \sim 1000 \text{ m}$ ^[3], 因此选取四级和五级储层构型单元来探讨井斜轨迹对储层构型研究的影响。可进一步分为井斜轨迹对储层构型界面识别的影响和对储层构型单元真厚度测算的影响。假设井斜轨迹仅穿过研究对象 1 次, 即穿过 1 个四级 (或五级) 储层构型单元及其对应的上、下 2 个四级 (或五级) 储层构型单元界面。

2.1 对储层构型界面识别的影响

储层构型界面的识别主要依据岩心和测井资料。井斜轨迹中穿过相邻的同级别储层构型界面时, 容易混淆为相应储层构型单元的顶、底界面, 从而误导储层构型界面的识别。如图 2 所示, A, B, C 和 D 共 4 口井分别从不同位置按照设计的轨迹钻遇某三角洲相四级储层构型单元。仅根据电性和岩心资料显示, 会片面地认为这 4 口井均自上而下依次钻遇某四级储层构型单元顶界面、四级储层构型单元和四级储层构型单元底界面; 但实际情况是在 4 口井中仅对 D 井的认识是正确的, A 井钻遇 2 次储层构型单元底界面, B 井先钻遇储层构型单元底界

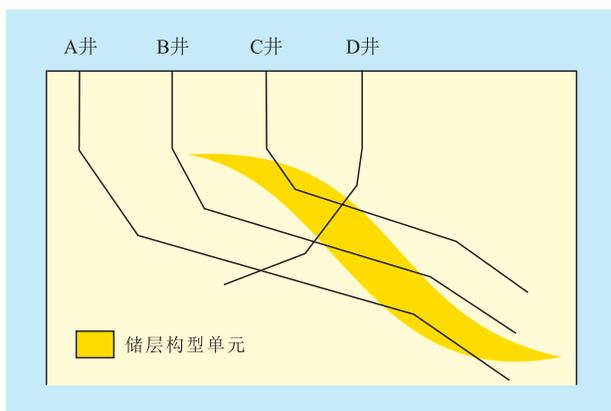


图2 井斜轨迹影响储层构型界面识别示意

面、后钻遇其顶界面,C井钻遇2次储层构型单元顶界面。

2.2 对储层构型单元真厚度测算的影响

在进行储层构型研究时,须识别各级储层构型单元的类型、产状、厚度、连通关系和空间位置等,进而研究各储层构型单元的平面展布,最终建立储层构型单元模型,而井斜轨迹对其影响主要表现在对储层构型单元真厚度的测算。以河流相五级储层构型单元即单一河道砂体构型单元为例,分析井斜轨迹影响储层构型单元真厚度测算的4种模式(图3)。

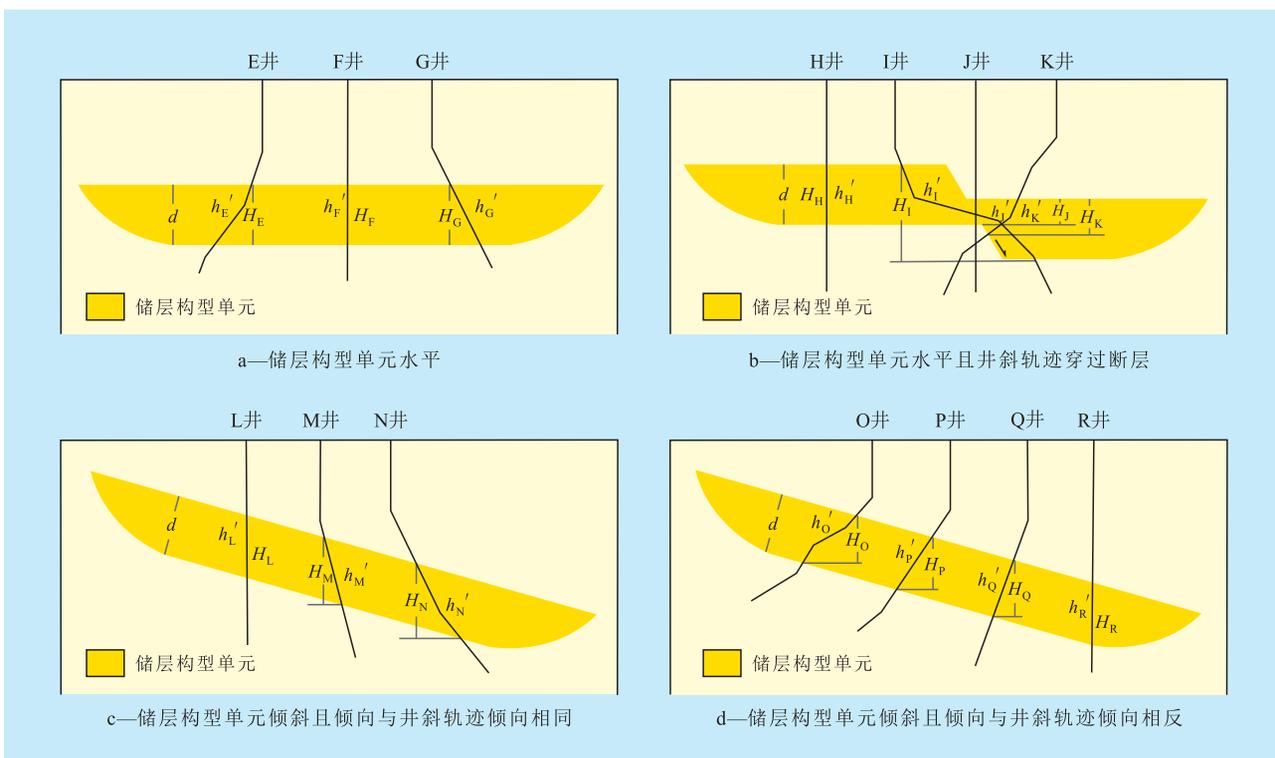


图3 井斜轨迹影响储层构型单元真厚度测算的4种模式

h' 和 H 分别为根据井斜轨迹计算得出的储层构型单元的视厚度和铅直厚度, m

储层构型单元水平 当储层构型单元水平时(图3a),直井F的视厚度和铅直厚度即为储层构型单元的真厚度,即 $h'_F = H_F = d$;斜井E和G的视厚度均大于真厚度,经井斜校正后的铅直厚度可反映该储层构型单元的真厚度,即 $h'_E > H_E = d$, $h'_G > H_G = d$ 。

储层构型单元水平且井斜轨迹穿过断层 当储层构型单元水平且井斜轨迹穿过断层时(图3b),直井H的视厚度和铅直厚度即为储层构型单元的真厚度,即 $h'_H = H_H = d$;斜井I穿过断层,钻遇重复的储层构型单元,其视厚度和铅直厚度均大于储层构型单元的真厚度,即 $h'_I > H_I > d$;直井J钻遇断层,

其视厚度和铅直厚度均小于储层构型单元的真厚度,即 $h'_J = H_J < d$;斜井K穿过断层,钻遇缺失的储层构型单元,经过井斜校正后的铅直厚度小于储层构型单元的真厚度,即 $h'_K > H_K$ 且 $d > H_K$ 。

储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向相同 当储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向相同时(图3c),直井L的视厚度和铅直厚度均大于储层构型单元的真厚度,即 $h'_L = H_L > d$;斜井M和N的视厚度、铅直厚度均大于储层构型单元的真厚度,即 $h'_M > H_M > d$, $h'_N > H_N > d$ 。

储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向相反 当储层构型单元倾斜且倾向与井斜轨迹倾向

相反时(图3d),斜井O和P的视厚度均大于储层构型单元的真厚度,经过井斜校正以后的铅直厚度均小于储层构型单元的真厚度,即 $h_o' > d > H_o$, $h_p' > d > H_p$;斜井Q的视厚度可反映储层构型单元的真厚度,经井斜校正后的铅直厚度反而小于储层构型单元的真厚度,即 $h_q' = d > H_q$;直井R的视厚度和铅直厚度均大于储层构型单元的真厚度,即 $h_r' = H_r > d$ 。

3 井斜轨迹对储层构型单元中油水分布研究的影响

测井资料的解释结果或试油、试采结果仅针对钻井的视深度(即实际测深),与井斜轨迹关系密切;因此,井斜轨迹对储层构型单元中的油水分布具有重要影响,包括储层构型单元有效厚度及油水分布关系等方面。如图4所示,S,T,U和V共4口斜井钻遇某三角洲相四级储层构型单元,假设各斜井的井斜轨迹均由顶至底穿过该储层构型单元且仅穿过1次。S井钻遇含油储层构型单元,根据井斜轨迹对储层构型单元真厚度测算的影响可知,其测井解释的油层有效厚度偏大,但油水分布关系正常;T井钻遇储层构型单元的油水过渡带,由于铅直厚度和视厚度均大于真厚度,导致测井解释的油层有效厚度偏大,但油水分布关系正常;U井也钻遇储层构型单元的油水过渡带,而解释结果认为该井钻遇含油储层构型单元,导致油层有效厚度的解释结果偏大,且油水分布关系与实际不符;V井钻遇储层构型单元的油水过渡带,由于井斜轨迹从油水界面以下的低部位转入油水界面以上的高部位,油层有效厚度解释结果与实际不符,油水分布关系异常,出现油水倒置现象。

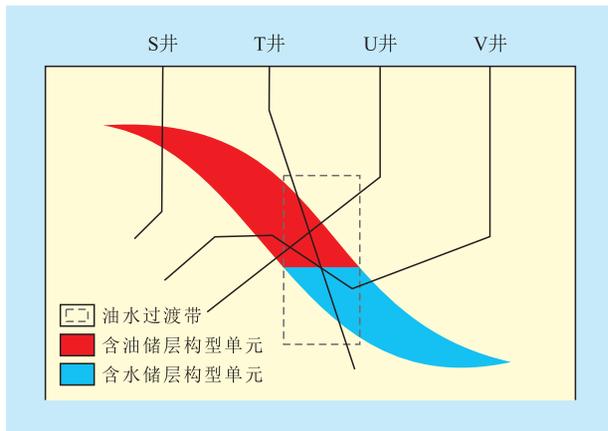


图4 井斜轨迹对储层构型单元中油水分布研究的影响

4 基于井斜轨迹影响的储层构型研究探讨

在未明确储层构型单元与井斜轨迹的空间关系时,直井或斜井的轨迹对储层构型单元的识别及其油水分布研究均会产生影响,致使分析结果可能存在一定的误差。为确保不同层次储层构型研究的准确性,须考虑井斜轨迹的影响,由粗入细、逐步分析,进而明确储层构型模型以及油水分布模式。在基于井斜轨迹影响的储层构型研究过程中,应做到以下4点:①根据井斜数据确定井斜轨迹,明确其空间位置和走向趋势,避免走入直井无须校正、斜井必须校正的误区,为储层构型研究做好准备。②明确进行储层构型研究的内容,包括研究区的储层构型层次级别,各层次储层构型单元划分依据及其界面识别标志,各层次储层构型单元的产状、厚度、空间位置、平面展布等几何特征。③从实际资料出发,利用测井、地震资料,在井震结合的原则下,综合井斜轨迹,对研究区进行精细地层对比划分,建立储层空间格架,确保准确划分出Miall划分方案中的6级储层构型单元;在沉积模式指导下,结合五级储层构型单元的测井资料,分析其类型、产状、厚度、连通关系、空间位置和平面展布等,明确各储层构型单元的厚度和微构造等,建立五级储层构型单元模型;以研究区五级储层构型单元为指导,在密井网区、取心井区进一步划分出四级和三级储层构型单元。④在明确研究区各级储层构型单元的发育情况后,综合井斜轨迹,修正各井的油水解释结果,包括测井解释结果和试油、试采结果,避免出现油水倒置等油水分布关系异常的现象,最终确定各级储层构型单元的油水分布规律。

5 结束语

在已知钻井测斜数据的情况下,根据公式可计算井斜轨迹的各项数据,推导出储层构型单元真厚度的计算公式,为研究储层构型做好准备。储层构型研究的主要任务为储层构型层次的划分,包括储层构型界面识别和储层构型单元真厚度测算2个方面。地下储层构型研究对测井资料的依赖程度较高,井斜轨迹会混淆各级别储层构型单元界面的识别以及影响不同模式下储层构型单元真厚度的测算,且造成储层构型单元有效厚度解释偏差或油水

分布关系认识不准确等情况。为准确把握不同层次的储层构型研究,须考虑井斜轨迹影响,由粗入细、逐步分析,明确储层构型模型及油水分布规律。

参考文献:

- [1] Miall A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. *Earth Science Reviews*, 1985, 22(2): 261-308.
- [2] Allen J R L. Studies in fluvial sedimentation; bars, bar complexes and sandstone sheets (lower-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L Devonian), Welsh Borders [J]. *Sediment Geology*, 1983, 33(4): 237-293.
- [3] Miall A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: Anatomy of the kayenta formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado [J]. *Sedimentary Geology*, 1988, 55(3): 233-262.
- [4] Miall A D. Hierarchies of architectural units in clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate [J]. *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 1991, 3: 6-12.
- [5] Miall A D. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology [M]. Berlin: Springer, 1996.
- [6] 于兴河, 马兴祥, 穆龙新, 等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 10-25.
- [7] 尹燕义, 王国娟, 祁小明. 曲流河点坝储集层侧积体类型研究 [J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(2): 37-40.
- [8] 周银邦, 吴胜和, 岳大力, 等. 复合分流河道砂体内部单河道划分——以萨北油田北二西区萨 II 1+2b 小层为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2010, 17(2): 4-8.
- [9] 张本华. 曲流河储层构型中废弃河道的识别及其分布模式——以孤岛油田馆上段为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(3): 18-21.
- [10] 章凤歧, 陈清华, 陈汉林. 储集层微型构造作图新方法 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(5): 91-93.
- [11] 渠芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层构型及其对油水分布的控制 [J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2008, 32(3): 14-18.
- [12] 蒋平, 吕明胜, 王国亭. 基于储层构型的流动单元划分——以扶余油田东 5-9 区块扶杨油层为例 [J]. *石油实验地质*, 2013, 35(2): 213-219.
- [13] 刘建民, 束青林, 张本华, 等. 孤岛油田河流相厚油层储层构型研究及应用 [J]. *油气地质与采收率*, 2007, 14(6): 1-4.
- [14] 饶资, 陈程, 李军. 扶余 X10-2 区块点坝储层构型刻画及剩余油分布 [J]. *特种油气藏*, 2011, 18(6): 40-43.
- [15] 束青林, 张本华, 毛卫荣, 等. 孤岛油田特高含水期提高采收率技术措施及效果 [J]. *油气地质与采收率*, 2009, 16(5): 52-55.
- [16] 刘太勋, 陶自强. 界面约束法在曲流河储层构型建模中的应用 [J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2011, 35(3): 26-30.
- [17] 李宇鹏, 吴胜和, 耿丽慧, 等. 基于空间矢量的点坝砂体储层构型建模 [J]. *石油学报*, 2013, 34(1): 133-139.

编辑 邹澹滢

(上接第74页)

- [9] 施和生, 秦成岗, 高鹏, 等. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡天然气晚期成藏特征 [J]. *中国海上油气*, 2008, 20(2): 73-76.
- [10] 王永诗, 郝雪峰. 断陷盆地油气成藏作用面及其石油地质意义——以济阳拗陷东营凹陷为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(1): 1-5.
- [11] 王勇. 岩性油藏成藏机理及运聚模式——以牛庄洼陷为例 [J]. *特种油气藏*, 2012, 19(2): 18-21.
- [12] 赵兰全. 西湖凹陷平湖地区油气源分析及其对成藏的影响 [J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(1): 26-29.
- [13] 郭小文, 何生, 石万忠. 珠江口盆地番禺低隆起轻质原油芳烃地球化学特征 [J]. *石油学报*, 2008, 9(1): 52-57.
- [14] 侯读杰, 庞雄, 肖建新, 等. 白云凹陷断裂作为天然气运移通道的地质-地球化学证据 [J]. *地质前缘*, 2008, 15(4): 81-87.
- [15] 高鹏, 秦成岗, 全志臻, 等. 陆架坡折带的识别及其与油气藏的关系——以番禺低隆起—白云凹陷北坡 21 Ma 陆架坡折带为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(5): 14-17.
- [16] 郭小文, 何生, 施和生, 等. 番禺低隆起 PY30-1 构造热流体活动及油气成藏 [J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(3): 297-303.
- [17] 郭小文, 何生. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷恩平组烃源岩特征 [J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(1): 31-46.
- [18] 聂逢君, 姜美珠, 李思田. 南海珠江口盆地珠三拗陷油气输导系统研究 [J]. *石油实验地质*, 2011, 33(4): 392-401.
- [19] 王红平, 吕福亮, 范国章, 等. 安达曼海域马达班湾盆地石油地质特征及勘探方向 [J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(5): 15-19.
- [20] 朱俊章, 施和生, 庞雄, 等. 珠江口盆地番禺低隆起凝析油地球化学特征及油源分析 [J]. *中国海上油气*, 2006, 18(2): 103-106.

编辑 邹澹滢