

doi:10.3799/dqkx.2013.113

基准面旋回对河流相储层物性差异及声波测井影响

梁宏伟^{1,2}, 吴胜和^{2,3}, 穆龙新¹, 岳大力^{2,3}, 李宇鹏^{2,3}, 印森林^{2,3}, 喻宸^{2,3}

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249

3. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

摘要: 为揭示基准面旋回对不同旋回阶段河流相储层物性差异及声波时差测井响应的影响, 运用基准面旋回沉积动力学原理, 对岩心分析化验数据等实测资料进行分析, 对孤岛油田中一区馆陶组上段3砂层组河流相储层物性差异主控因素进行分析, 明确了基准面旋回对河道微相在不同旋回阶段储层物性差异和声波测井响应的控制机理, 并确定了不同级次基准面旋回内河道储层物性分布特征和声波测井响应差异。结果表明: 不同级次基准面升降引起可容纳空间与物源供给条件的改变, 导致不同旋回阶段河道储层沉积环境出现差异, 使短期基准面旋回内部单河道内部储层物性正韵律分布、声波测井响应差异不大; 中期基准面旋回中组成复合河道的多期单河道间储层物性自下向上呈总体变好趋势、声波测井响应有异; 长期基准面旋回中多期复合河道间储层物性呈无规则分布、声波测井响应差异明显。

关键词: 基准面旋回; 测井响应; 孤岛油田; 河道; 沉积物; 储层物性。

中图分类号: TE143

文章编号: 1000-2383(2013)05-1135-08

收稿日期: 2012-06-18

Base Level Cyclic Controls on the Fluvial Reservoir Physical Properties and Sonic Logging Response

LIANG Hong-wei^{1,2}, WU Sheng-he^{2,3}, MU Long-xin¹, YUE Da-li^{2,3},
LI Yu-peng^{2,3}, YIN Sen-lin^{2,3}, YU Chen^{2,3}

1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: To identify the influence of base level cycle on the differences of the fluvial reservoir physical properties and logging response among the same type of microfacies in different stages of base level cycle, the main controlling factors on the fluvial reservoir physical properties of the channel in the upper member of Guantao Formation of Gudao oilfield are analyzed based on the sediment dynamic analysis of the high resolution stratigraphic sequence and the quantitative analysis of the core testing, statistical data. The control mechanism of base level cycle on the differences of the reservoir differences and logging response among the channel in different stages of base level cycle is identified. The pattern of the reservoir differences and logging response among the channel in different stages of base level cycle is confirmed. The results show that the diversity of sedimentary environment of channel in different stages of base level cycle causes the variation of accommodate space and sediment supply due to the changes of the base level in different scales, the reservoir quality of the upper part of the single channel in short-term base level cycle is lower than that of the basal part, and the logging response of single channel is similar. The reservoir quality of the upper part of the compound channel (formed by different single channels) in middle-term base level cycle is lower than that of the basal part, and the logging response of different single channel is distinct. The reservoir property and logging response among compound channel in the different stages of long-term base level cycle is distributed irregularly.

Key words: base level cycle; logging response; Gudao oilfield; channel; sediments; reservoir physical property.

基金项目: 国家科技重大专项 (Nos. 2011ZX05011-001, 2011ZX05024-001); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (No. 40902035).

作者简介: 梁宏伟 (1985—), 男, 博士, 主要从事油气储层预测、油气藏描述研究. E-mail: 574504695@qq.com

储层质量作为储层储集和渗滤流体能力的表达(吴胜和等,2011),影响着油气充注与开发(赵跃华等,1999;吴胜和等,2003)、剩余油分布(俞启泰,1997)及测井响应(毛志强,2003).近年来,在储层层次研究的基础上(吴胜和王仲林,1999;尹太举等,1999),广大学者对影响储层物性分布特征的因素进行分析发现,储层质量不但受沉积作用(邹才能等,2005)、构造运动(微裂缝,曾联波等,2007)和成岩改造(成岩作用,郑俊茂和庞明,1989;成岩相,邹才能等,2008;岩石物理相,熊琦华等,1994)影响,还受基准面旋回(Cross,2000)的控制,即基准面旋回通过可容纳空间变化等沉积过程(朱筱敏等,2007)对沉积物的矿物组分(罗忠等,2007)、岩相组合(Cross,2000)和空间展布(樊太亮和李卫东,1999)产生影响,并使储层微相类型改变(张世广等,2009),最终导致不同旋回阶段储层物性出现差异.调研发现,前人研究主要侧重于探讨基准面旋回引起的沉积微相类型改变对储层质量和测井响应的影响,而对同类微相在不同基准面旋回的储层质量和测井响应差异研究较少.因此,本文以孤岛油田中一区馆陶组上段3砂层组河道储层为例,在应用密井网(平均井距125 m)建立高精度层序地层格架的基础上,对378口开发井的储层物性参数进行分析,探讨基准面旋回对河道储层质量和测井响应的影响及作用机理.

1 区域地质概况

孤岛油田位于渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷东部,是大型披覆背斜整装稠油油藏(图1).地层下部发育太古界前震旦系,古生界的寒武、奥陶、石炭—二叠系,中生界的侏罗—白垩系,上覆新生界的古近系、第四系地层.钻井揭示古近系自下而上发育沙河街组、东营组、馆陶组、明化镇组.馆陶组由上、下两个段组成,而馆上段共划分为6个砂层组,其中3砂层组为本次研究重点,为典型河流相沉积.

3砂层组以原生粒间孔隙为主,次生孔隙不发育,喉道形态较复杂,孔隙度值介于30%~45%、平均值为34.25%,渗透率值介于 $3 \times 10^{-3} \sim 16\,980 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均值为 $4\,723.17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属高孔储层,但渗透率变化范围较大.储层矿物成分以长石砂岩为主,胶结类型以泥质和钙质胶结为主,岩石成分成熟度和结构成熟度较低;岩石固结程度低到中等,颗粒支撑方式以孔隙接触—接触式和接触式为主,整体处于早成岩阶段(陆先亮等,2005).由于埋深跨

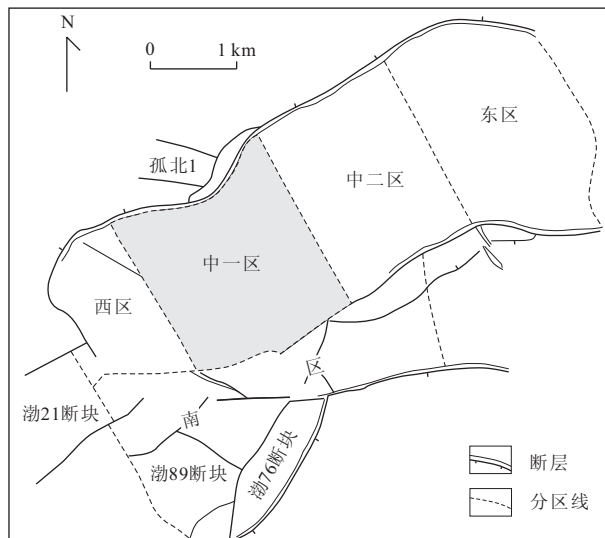


图1 孤岛油田构造位置

Fig.1 Tectonic location of the Gudao oilfield

度较小(介于1 150~1 250 m),故3砂组成岩作用较弱.

2 高分辨率层序地层格架

研究目的层可分为 Ng₃₁~Ng₃₅ 共7个小层.在前人对高分辨率地层层序级次问题研究的基础上(郑荣才等,2000;吴胜和等,2008a;温立峰等,2010),可将Ng₃对应于一个长期基准面旋回的上升半旋回,并依据表1(郑荣才等,2001)中岩心及测井曲线变化特征进一步划分为3个中期基准面旋回、6个短期旋回(图2,表2),并结合地层及砂体的发育规律在剖面上进行识别和对比.

3 沉积微相特征与储层质量定量评价参数

在高分辨率层序地层格架的基础上,根据岩心和测井曲线特征(重点识别单河道(吴胜和等,2008b))等识别标志,在Ng₃砂层组识别了曲流河道、天然堤、决口扇、河漫滩地、河漫洼地和废弃河道等主要微相类型(表3).其中,短期旋回主要发育单河道级次砂体,中期旋回对应复合河道级次砂体,长期旋回发育多期复合河道.

由于储层质量可以通过孔隙度、渗透率和孔喉结构表征参数进行评价,且本文重点是探讨基准面旋回对单一微相储层质量及测井响应的控制,故本

表 1 高分辨率层序地层格架特征和识别手段

Table 1 High resolution sequence stratigraphic framework features and recognition method

级次	成因	长期旋回	中期旋回	短期旋回
旋回特征	岩心	砂泥比整体自下而上减小	砂、泥岩互层,砂岩粒度总体正韵律、局部粗细交替	砂岩粒度呈正韵律,泥质含量向上逐渐增加
旋回特征	测井	测井曲线都呈向上振荡减弱特征,总体为箱形和钟形	测井曲线都呈向上增强、局部回返特征,总体为钟形	测井曲线呈钟形
旋回界面	岩心	顶部为含螺化石层的泥岩标志层,底部为厚层、稳定泛滥平原标志层	顶、底界面都为较薄的泛滥平原泥岩标志层	顶底界面都为岩相、岩性的突变面
旋回界面	测井	顶部微电极、微电位曲线呈针状,底部微电极、微电位曲线基线分布	自然电位、自然伽马和感应电导率大幅回返,微电极、微电位幅度和幅度差剧减	自然电位、自然伽马和感应电导率小幅回返,微电极、微电位幅度和幅度差较小

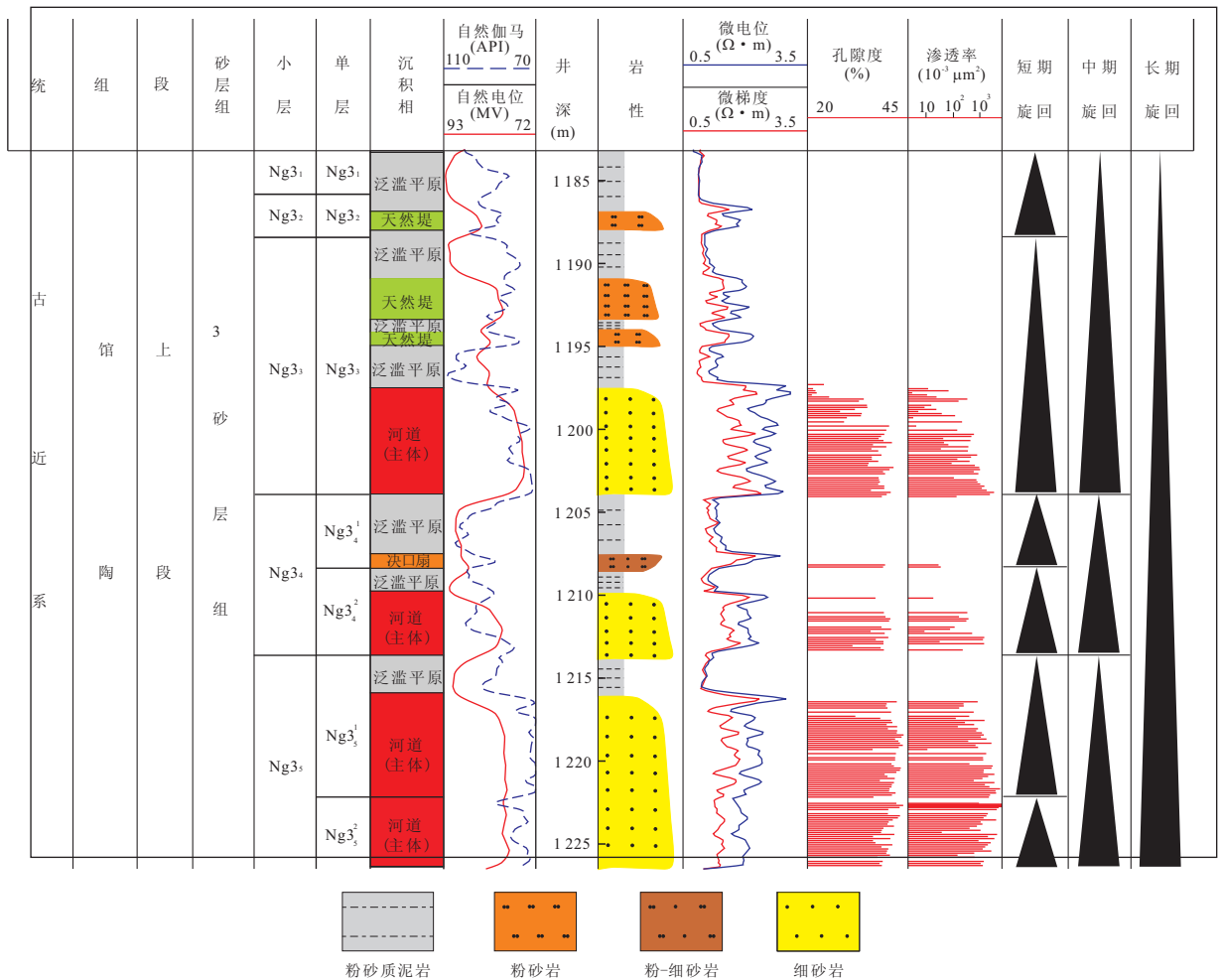


图 2 基准面旋回综合模式(13XJ9 井)

Fig.2 Synthetic pattern of base level cycle(Well 13XJ9)

次研究在综合分析单河道不同部位(河道主体、河道边缘)砂体发育程度对储层物性的影响基础上,对 378 口开发井单河道的储层定量评价参数进行了统计,最终筛选出单河道主体作为本次研究的重点。

4 基准面旋回对河流相储层的影响

4.1 短期基准面旋回对单河道储层质量及测井响应的影响

在基准面旋回发育过程中,碎屑岩储层沉积主

表 2 高分辨率层序地层划分与岩石地层对比关系

Table 2 The comparison between the high resolution sequence stratigraphic division and the lithostratigraphy

地层系统	系		古近系				
	组	段	馆陶组	馆陶组	馆陶组	馆陶组	馆陶组
基准面旋回	长期		LSC1(Ng3 砂层组)				
	中期	MSC1(Ng ₃₁ ~Ng ₃₃ 小层)		MSC2(Ng ₃₄ 小层)		MSC2(Ng ₃₅ 小层)	
	短期	SSC1	SSC2	SSC3	SSC4	SSC5	SSC6
(单层)		Ng ₃₁ ~Ng ₃₂	Ng ₃₃	Ng ₃₄ ¹	Ng ₃₄ ²	Ng ₃₅ ¹	Ng ₃₅ ²

表 3 不同相类型特征

Table 3 Different types of facies characteristics

相类型	河道(主体)	河道边缘		泛滥平原		废弃河道
		天然堤	决口扇	河漫滩地	河漫洼地	
岩性特征	岩性	长石中细砂岩,夹薄层粉砂岩	薄层细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩	灰色、灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩及杂色泥岩		粉细砂岩、泥质粉砂岩、泥岩
	构造	槽状、楔状交错层理,平行层理,砂岩底部见底冲刷	小型槽状交错层理、波状层理、爬升交错层理等,见虫孔及生物扰动构造	低角度斜层理、波状层理及水平波状层理,砂质条带		槽状、楔状交错层理及平行层理
	生物化石	仅见少量植物碎片	炭化植物碎片	淡水螺、植物碎屑		少
电测曲线	曲线呈箱形、齿化箱形、箱形叠加、齿化箱形叠加、钟形、箱形—钟形叠加	曲线呈钟形、指形或锯齿状等,幅度中低	曲线低幅平直,偶有微小低幅指形出现		钟形、齿化钟形、指形等,幅度中低	

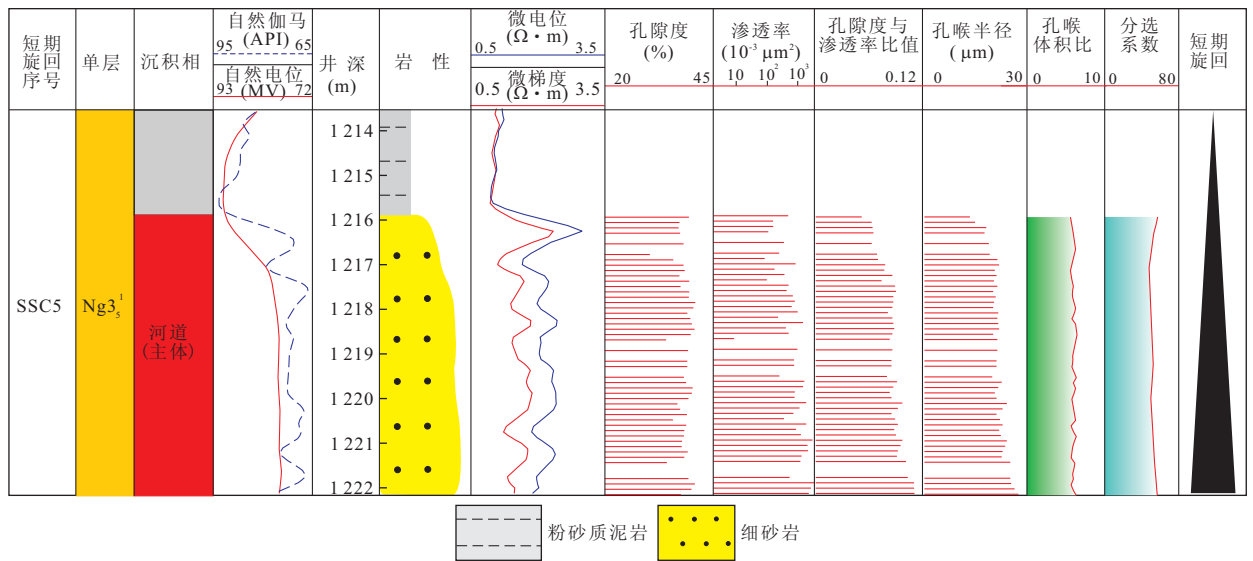


图 3 SSC5 短期基准面旋回储层质量模式(13XJ9 井)

Fig.3 The reservoir quality pattern of SSC5 short-term base level cycles (Well 13XJ9)

要受控于水体水动力条件变化等自旋回因素和构造运动等异旋回因素(黄彦庆等,2006)。在对研究区目的层 6 个短期基准面旋回进行研究发现,单河道主体储层分选程度整体相近(图 3),说明由于短期基准面旋回发育时间相对较短,湖平面升降等异旋回因素处于相对静止状态,单河道砂体主要矿物组成

和沉积物搬运距离(通过分选系数表征)基本不变,对储层物性影响较小;而单河道主体的孔隙度、渗透率等物性参数则都呈向上持续减小趋势(图 3),这是由于在沉积水动力条件减弱等自旋回因素影响下,孔隙体积由于储层粒度变细而减小,孔隙喉道受泥质颗粒含量增加影响而变窄,两者相同的变化趋

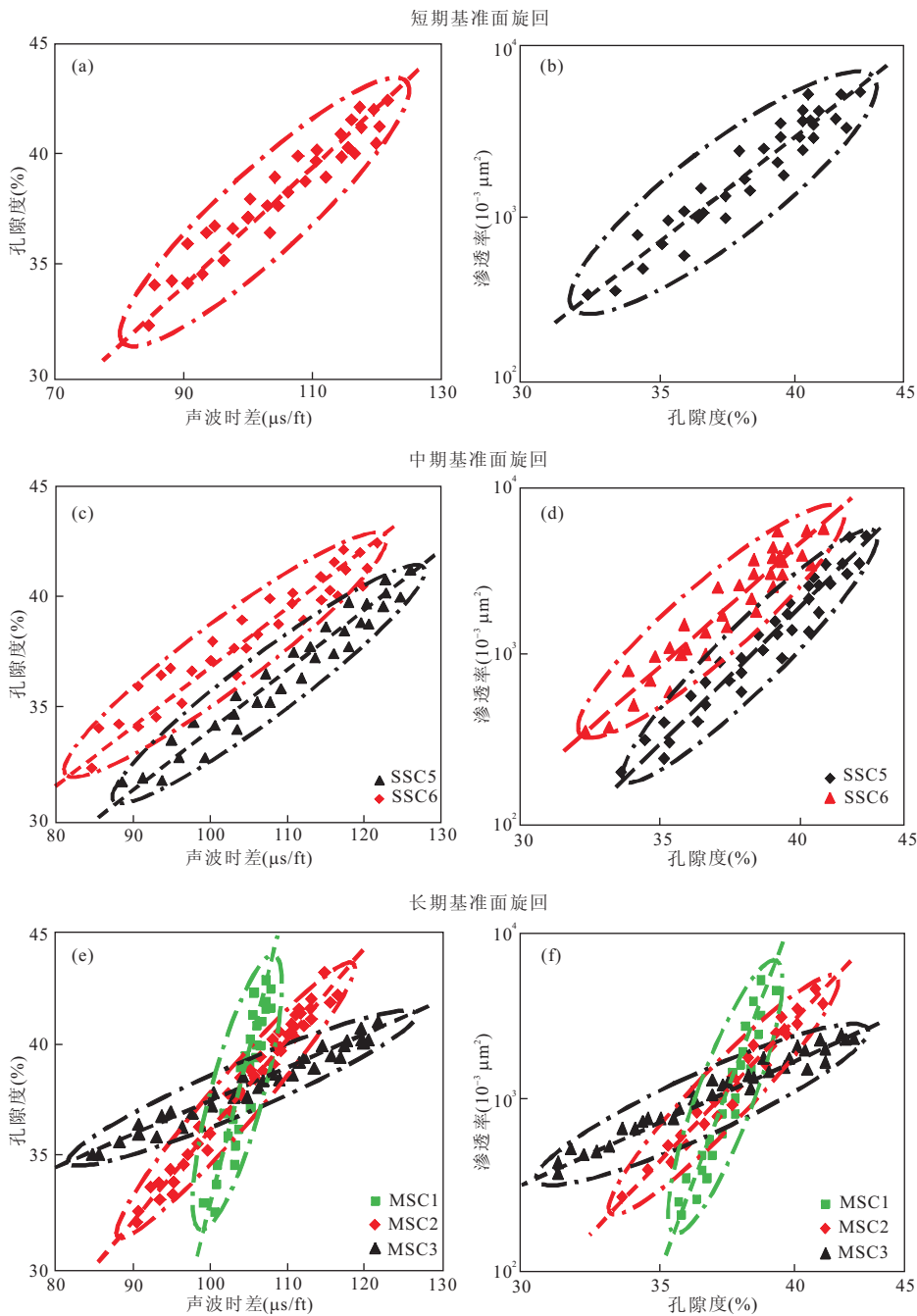


图 4 储层质量、测井响应与基准面旋回的关系

Fig.4 The relationship among the reservoir quality, logging response and the base level cycles

势使储层的孔喉体积比、孔渗比(渗透率(取对数)与孔隙度比值,与孔隙结构具有正相关关系(吴胜和等,2011))保持不变,储层孔隙结构基本相同;同时,由于储层孔隙结构的复杂程度会对其电性和测井响应产生影响(张龙海等,2006),故单河道主体的测井响应总体变化不大(图 4a,4b).

因此,当构造运动等异旋回因素相对稳定时,短期基准面旋回内部单河道主体储层物性受沉积水动力条件等自旋回因素的影响自下而上呈整体变差趋

势,而其孔隙结构和测井响应整体差异不大.

4.2 中期基准面旋回对复合河道储层质量及测井响应的影

研究区 Ng3 砂层组的复合河道发育于中期基准面旋回,由多期单河道复合而成.虽然微相类型一致,但不同短期旋回中发育的单河道主体的储层物性和孔隙结构具有明显差异(图 5a,5b).这是由于在中期基准面上升过程中,受盆地基底持续下降等异旋回因素影响,可容纳空间与物源供给的比值变大,

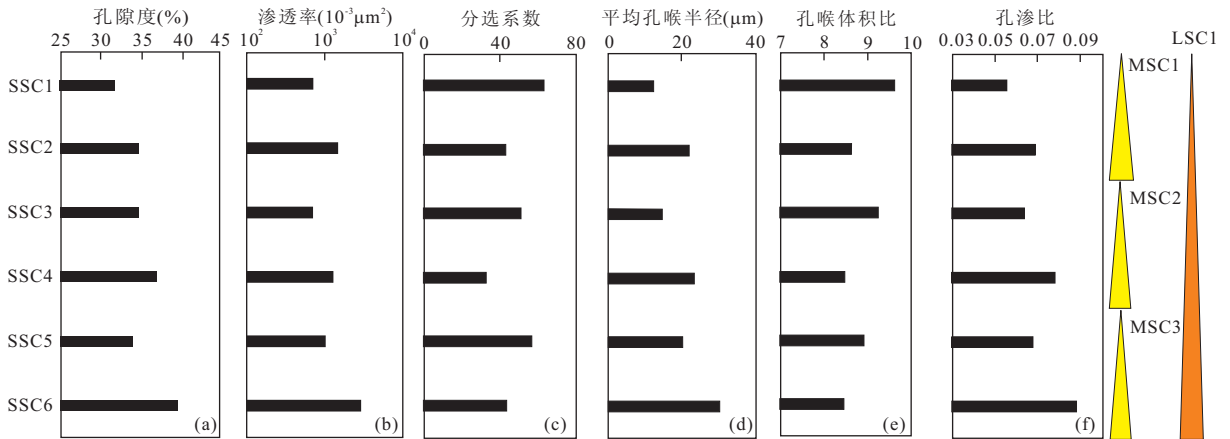


图 5 储层质量与基准面旋回的关系

Fig.5 The relationship between the reservoir quality and the base level cycles

河流携带着沉积物逐渐向远离湖盆方向退积,沉积物搬运距离减少,使后沉积的单河道主体的分选程度劣于先沉积的单河道主体(图 5c)。同时,由于沉积水体水动力条件持续减弱等自旋回因素影响,复合河道自下而上粒度变细、泥质含量增加、物性不断变差。但由于不同短期基准面上升速度有异,储层孔隙体积和孔隙喉道的变化程度存在差异(图 5d, 5e),导致不同短期旋回内部各单河道主体的孔隙结构有异,并在复合河道中呈向上不断复杂化规律(图 5f)。

通过以上分析可知,中期旋回由于发育时间相对较长而受自旋回与异旋回因素共同控制,使发育于其中的不同时期的单河道主体在体积分配和粒度分异作用影响下,各自沉积环境出现差异,故同类微相在不同短期旋回发育时,其储层物性和孔隙结构也会出现差异,并导致同类微相测井响应有异(图 4c, 4d)。同时,中期旋回发育过程中水动力条件持续减弱,使多期单河道主体进行有序组合,最终导致复合河道主体自下而上储层物性不断变差、孔隙结构趋于复杂。

4.3 长期基准面旋回与多期复合河道储层质量及测井响应的影响

长期基准面旋回 LSC1 由 MSC3、MSC2 和 MSC1 这 3 个中期旋回组成。虽然单期复合河道储层物性和孔隙结构呈规律性分布,但其在多期复合河道之间呈不规则变化(图 5a, 5b)。这是因为长期旋回发育时间最长,盆地基底反复升降等异旋回因素主导,沉积物搬运距离多次增减,使不同期次复合河道的储层分选系数呈不规则变化(图 5c);同时,水动力条件等自旋回因素受控于异旋回因素,使储层粒度和泥质含量呈不规则变化,从而影响储层孔隙

体积和孔隙喉道分布特征(图 5d, 5e),导致多期复合河道之间储层物性和孔隙结构差异性明显(图 5f)。因此,在异旋回因素主控下,多期复合河道主体之间储层的物性特征、孔隙结构明显不同,并呈无规则分布,最终导致多期复合河道的测井响应具有差异(图 4e, 5f)。

5 结论

(1)短期基准面旋回由于发育时间较短,主要受自旋回因素影响,故单河道主体储层的物性呈正韵律分布、孔隙结构与测井响应整体变化不大。

(2)中期基准面旋回由于受到自旋回因素和异旋回因素共同控制,使组成复合河道的各单河道储层的物性特征、孔隙结构和测井响应存在差异,并呈自下而上物性变差、孔隙结构趋于复杂的分布特征。

(3)长期基准面旋回在异旋回因素主导下,导致多期复合河道之间的储层物性、孔隙结构和测井响应差异明显,且储层物性与孔隙结构呈无规则分布。

(4)多级次基准面旋回及其伴随的可容纳空间变化所引起的沉积环境改变是不同级次河道主体间储层物性和测井响应差异的决定因素。

References

- Cross, T. A., 2000. Stratigraphic Controls on Reservoir Attributes in Continental Strata. *Earth Science Frontier*, 7 (4): 322—350 (in Chinese with English abstract).
- Fan, T. L., Li, W. D., 1999. A Successful Case on Sequence Stratigraphy Applied to the Prediction of Non-Marine Oil Reservoir. *Acta Petrolei Sinica*, 20 (2): 12—17 (in

- Chinese with English abstract).
- Huang, Y. Q., Zhang, S. F., Zhang, C. M., et al., 2006. High-Resolution Sequence Stratigraphy Back to the Spin of the Function are Discussed. *Journal of Oil and Gas Technology*, 28(2): 6—8 (in Chinese).
- Lu, X. L., Shu, Q. L., Zeng, X. P., et al., 2005. Gudao Oilfield Fine Geologic Research. China Petrochemical Press, Beijing (in Chinese).
- Luo, Z., Luo, P., Zhang, X. Y., et al., 2007. Effect of Sequence Boundary on Sandstones Diagenesis and Reservoir Quality: An Outcrop Study from the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, Northwest China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(6): 903—914 (in Chinese with English abstract).
- Mao, Z. Q., 2003. Controlling Effects of Poor Permeable Layers upon Accumulation and Distribution of Hydrocarbon in Inhomogeneous Sandstone Reservoir. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(2): 196—200 (in Chinese with English abstract).
- Wen, L. F., Wu, S. H., Yue, D. L., et al., 2010. Stratigraphic Base-Level Cycles and Sedimentary Microfacies of Es₂₋₇ Formation in the Shengtuo Oilfield. *Geological Science and Technology Information*, 37(1): 144—151 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Wang, Z. L., 1999. A New Method of Non-Marine Reservoir Flow Unit Study. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(2): 252—256 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Zeng, J. H., Lin, S. Y., et al., 2003. Inter Layer Interference and Differential Injection of Hydrocarbon into a Trap. *Petroleum Geology and Experiment*, 25(3): 285—289 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Yi, Z. L., Xu, C. F., et al., 2008a. High Frequency Base-Level Cycles of Alluvial Fan and Distribution Patterns of Sandbodies of Lower Karamay Formation (Triassic) in Middle 6th District of Karamay Oilfield, Xinjiang. *Geological Journal of China Universities*, 14(2): 157—163 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Yue, D. L., Liu, J. M., et al., 2008b. Hierarchy Modeling Research of Reservoir Architecture of River Reservoir. *Science in China (Series D)*, 38(S1): 111—121 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Cai, Z. Q., Shi, S. M., 2011. Oil Deposits Geology (Fourth Edition). Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Xiong, Q. H., Peng, S. M., Huang, S. W., et al., 1994. A Preliminary Study of the New Concept of Petrophysical Facies and Its Initial Application in Lengdong-Leijia Region in Liaohe Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 15 (Suppl.): 68—75.
- Yin, T. J., Zhang, C. M., Chen, C., et al., 1999. A New Method for Founding the Model of Flow Unit Reservoirs. *Oil and Gas Geology*, 20(2): 171—175.
- Yu, Q. T., 1997. A Study on Remaining Oil. *Petroleum Exploration and Development*, 24(2): 46—50.
- Zeng, L. B., Qi, J. F., Wang, Y. X., 2007. Origin Type of Tectonic Fractures and Geological Conditions in Low-Permeability Reservoirs. *Acta Petrolei Sinica*, 28(4): 52—56 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. H., Zhou, C. C., Liu, G. Q., et al., 2006. Influence of Pore Structures on Electric Properties and Well Logging Evaluation in Low Porosity and Permeability Reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 33(6): 671—676 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. G., Lu, S. F., Zhang, Y., et al., 2009. Application of High-Resolution Sequence Stratigraphy in the Study of the Reservoir Macro-Heterogeneity. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(3): 458—469 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. H., Zhao, X. J., Weng, D. L., et al., 1999. The Changes of Oil Reservoir Formation Rock Properties in High Water Cut Production Stage on Xiaermen Oilfield. *Acta Petrolei Sinica*, 20(1): 44—45 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, J. M., Pang, M., 1989. The Research of Diagenesis of Clastic Reservoirs. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zheng, R. C., Wu, C. R., Ye, M. C., et al., 2000. Research Thinking of High-Resolution Sequence Stratigraphy about a Terrigenous Basin. *Journal of Chengdu University of Technology*, 27(3): 241—244 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. C., Peng, J., Wu, C. R., 2001. Grade Division of Base-Level Cycles of Terrigenous Basin and Its Implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2): 654—662 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X. M., Dong, Y. L., Guo, C. M., 2007. Sequence Framework and Reservoir Quality of Sha I Member in Shahejie Formation, Qikou Sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(6): 934—939 (in Chinese with English abstract).
- Zou, C. N., Tao, S. Z., Xue, S. H., 2005. Connotation of “Facies Control Theory” and Its Significance for Exploration. *Petroleum Exploration and Development*, 32(6): 7—12 (in Chinese with English abstract).
- Zou, C. N., Tao, S. Z., Zhou, H., et al., 2008. Genesis, Classification and Evaluation Method of Diagenetic Facies. *Petroleum Exploration and Development*, 35(5): 526—540 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- Cross, T.A., 2000. 地层因素对陆相沉积储层特征的控制. 地学前缘, 7(4): 322—350.
- 樊太亮, 李卫东, 1999. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例. 石油学报, 20(2): 12—17.
- 黄彦庆, 张尚锋, 张昌民, 等, 2006. 高分辨率层序地层学中自旋回作用的探讨. 石油天然气学报, 28(2): 6—8.
- 陆先亮, 束青林, 曾祥平, 等, 2005. 孤岛油田精细地质研究. 北京: 中国石化出版社.
- 罗忠, 罗平, 张兴阳, 等, 2007. 层序界面对砂岩成岩作用及储层质量的影响: 以鄂尔多斯盆地延河露头上三叠统延长组为例. 沉积学报, 25(6): 903—914.
- 毛志强, 2003. 非均质储层夹层控油作用初论——非均质储层油气分布规律及测井响应特征. 地球科学——中国地质大学学报, 28(2): 196—200.
- 温立峰, 吴胜和, 岳大力, 等, 2010. 胜二区沙二段 7 砂组地层基准面旋回与沉积微相研究. 中国地质, 37(1): 144—151.
- 吴胜和, 王仲林, 1999. 陆相储层流动单元研究的新思路. 沉积学报, 17(2): 252—256.
- 吴胜和, 曾溅辉, 林双运, 等, 2003. 层间干扰与油气差异充注. 石油实验地质, 25(3): 285—289.
- 吴胜和, 伊振林, 许长福, 等, 2008a. 新疆克拉玛依油田六中区三叠系克下组冲积扇高频基准面旋回与砂体分布型式研究. 高校地质学报, 14(2): 157—163.
- 吴胜和, 岳大力, 刘建民, 等, 2008b. 地下古河道储层构型的层次建模研究. 中国科学: D 辑, 38(增刊 I): 111—121.
- 吴胜和, 蔡正旗, 施尚明, 2011. 油矿地质学: 第 4 版. 北京: 石油工业出版社.
- 熊琦华, 彭仕宓, 黄述旺, 等, 1994. 岩石物理相研究方法初探: 以辽河凹陷冷东—雷家地区为例. 石油学报, 15(增刊): 68—75.
- 尹太举, 张昌民, 陈程, 等, 1999. 建立储层流动单元模型的新方法. 石油与天然气地质, 20(2): 171—175.
- 俞启泰, 1997. 关于剩余油研究的探讨. 石油勘探与开发, 24(2): 46—50.
- 曾联波, 漆家福, 王永秀, 2007. 低渗透储层构造裂缝的成因类型及其形成地质条件. 石油学报, 28(4): 52—56.
- 张龙海, 周灿灿, 刘国强, 等, 2006. 孔隙结构对低孔低渗储集层电性及测井解释评价的影响. 石油勘探与开发, 33(6): 671—676.
- 张世广, 卢双舫, 张雁, 等, 2009. 高分辨率层序地层学在储层宏观非均质性研究中的应用. 沉积学报, 27(3): 458—469.
- 赵跃华, 赵新军, 翁大丽, 等, 1999. 注水开发后期下二门油田储层特征. 石油学报, 20(1): 44—45.
- 郑俊茂, 庞明, 1989. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才, 等, 2000. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层学研究思路. 成都理工学院学报, 27(3): 241—244.
- 郑荣才, 彭军, 吴朝容, 2001. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. 沉积学报, 19(2): 654—662.
- 朱筱敏, 董艳蕾, 郭长敏, 2007. 歧口凹陷沙河街组一段层序格架和储层质量分析. 沉积学报, 25(6): 934—939.
- 邹才能, 陶士振, 薛叔浩, 2005. “相控论”的内涵及其勘探意义. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 7—12.
- 邹才能, 陶士振, 周慧, 等, 2008. 成岩相的形成、分类与定量评价方法. 石油勘探与开发, 35(5): 526—540.