

塔河油田九区三叠系油气藏隔夹层识别及其展布研究

段冬平¹, 侯加根¹, 郭素华², 张家焯¹, 宋吉光¹, 张友¹

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院; 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249
2. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011

摘要 隔夹层的分布特征是厚油层层内非均质性的主要控制因素。针对塔河油田九区三叠系油气藏阿克库勒组阿1段厚层三角洲分流河道砂体, 综合岩心、测井资料, 将其内部隔夹层划分为泥质和钙质两类, 建立两类隔夹层定量划分标准。根据研究区的沉积环境确定了隔夹层的分布特征, 综合水平井资料和局部密井网区隔夹层对比结果确定其平面展布范围。优选示性点模拟方法对隔夹层的展布进行随机模拟, 再根据隔夹层分布特征修正随机模拟结果, 最终人机交互建立确定性的隔夹层三维地质模型。隔夹层研究成果为油藏开发方案编制和调整提供了地质依据。

关键词 塔河油田; 隔夹层; 示性点模拟; 人机交互

中图分类号 TE122

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)19-0021-05

Identification and Distribution of Intercalated Strata in the Triassic Petroleum Reservoir of the 9th Area, Tahe Oilfield

DUAN Dongping¹, HOU Jiagen¹, GUO Suhua², ZHANG Jiaye¹, SONG Jiguang¹, ZHANG You¹

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Research Institute of Exploration & Development, Northwest Branch of China Petroleum & Chemical Corporation, Urumqi 830011, China

Abstract The distribution of stratigraphic intercalations is a major controlling factor that accounts for heterogeneity in many thick, oil-prone sedimentary layers. Using as an example the Triassic reservoir of the A I member of Akekule Formation in Block 9 of the Tahe Oilfield, which comprises a thick layer of delta distributary channel sand bodies, and combined with core and well log data, the stratal intercalations can be quantitatively classified into two types of clay and carbonate. On this basis, quantitative criteria for the classification of the two types of intercalations are established. Based on the sedimentary environment of the study area, horizontal well data and correlation of interbedded strata in the local dense drilling zone, the pattern and extent of the intercalations are determined. Marked point process simulation is the preferred method to determine the distribution of intercalations during random simulation, and subsequently the random simulation results are modified by data spread. Consequently the three-dimensional certainty geological model of the intercalations is established by human-computer interaction. Intercalations research results provide a geological basis for petroleum reservoir development planning and management.

Keywords Tahe oilfield; intercalation; marked point process simulation; human-computer interaction

0 引言

隔夹层是影响陆相储层流体流动非均质、控制油水运动的主要原因之一^[1-2]。在油田开发中后期, 对依靠天然能量开采的厚层底水油藏来说, 隔夹层对厚油层复杂水淹的控制作

用尤其明显。要研究隔夹层对油水运动、厚油层内不均衡水淹的控制作用, 就必须精细刻画厚油层内隔夹层的类别, 并总结其展布规律。

隔夹层的划分、识别和预测一直是国内众多学者研究的

收稿日期: 2010-03-26; 修回日期: 2010-09-03

作者简介: 段冬平, 博士研究生, 研究方向为油气田开发地质与油藏描述; 电子信箱: 95328352@qq.com; 侯加根(通信作者), 教授, 研究方向为油藏地质与油藏描述, 电子信箱: lhujg63@cup.edu.cn

重点。20 世纪 90 年代初,单井隔夹层的划分和识别方法已经比较成熟,吕晓光^[3]、张吉^[4]、王国鹏^[5]、朱东亚等^[6]讨论了隔夹层的分类划分标准及其成因,并对井间隔夹层进行了定性预测。21 世纪以来,随着计算机技术的不断发展,对隔夹层的预测由密井网区的人为预测转向采用随机模拟方法进行插值预测^[7-8],但由于随机模拟方法具有不确定性,使得对低密度井网条件下的隔夹层预测效果有限,不确定性大。塔河油田九区三叠系油气藏经过 5 年的开发,目前已进入高含水期,新井初期含水高、产量递减快。延缓底水推进速度、延长稳产时间、提高采收率已成为该油田开发工作的重点。针对塔河油田九区井网密度低、厚油层复杂水淹的特点,首先建立隔夹层定量划分标准,分析其成因及控制因素,采用人机交互的方法对隔夹层的空间展布特征进行预测,降低隔夹层分布的不确定性,对拟定合理的油田开发方案、提高油田开发效率具有十分重要的意义。

1 研究区概况

塔河油田九区三叠系油气藏位于塔里木盆地北部,沙雅隆起中段南翼的阿克库勒凸起东南斜坡桑塔木东 3 号构造,是一受构造控制的背斜油气藏,被主断层分割成大、小两部分(图 1)。三叠系中上统阿克库勒组 and 哈拉哈塘组是塔河油田主要的陆源碎屑含油气层系,与下伏下三叠统柯吐尔组及上覆下侏罗统平行不整合接触,其中阿克库勒组自下而上为阿 1 段~阿 4 段^[9-10]。阿 1 段是塔河油田九区三叠系油气藏的主力含油层系,为一套物源自东向西的三角洲平原亚相分流河道砂体,广泛发育厚砂体,砂层连续沉积厚度达 150m。储层岩性较粗,以粗砂岩和含砾粗砂岩为主。油气藏主要受构造控制,以块状底水油藏为主;储层埋深 3650~3800m,储层物性

好,为中孔、中渗储层,孔隙度平均 21.3%,渗透率平均 $239 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于砂体发育程度不同,储层非均质性较严重,层内夹层分布变化性大。其自上而下分为 17 个(1~17)韵律层,只有 3 个(1~3)韵律层含油。研究区共有直井 34 口,水平井 23 口,水平段集中在 1、2 韵律层,仅有 6 口直井钻穿第 5 韵律层。本次隔夹层研究主要针对 1~5 韵律层进行。

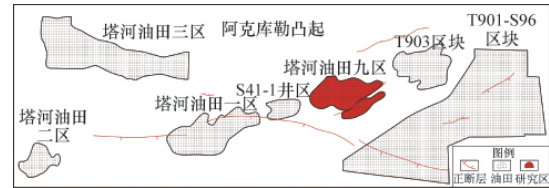


图 1 塔河油田构造位置示意图

Fig. 1 Tectonic zoning map of Tahe oilfield

2 隔夹层分类及识别

按成因不同,将隔夹层分为两类:沉积过程中形成的泥质隔夹层和成岩过程中形成的钙质隔夹层。在塔河油田九区油气藏,能较好反映泥质隔夹层的曲线是自然电位和自然伽马曲线,而声波时差曲线则能较好反映钙质隔夹层。

为了将研究区内隔夹层的电性标准量化,首先对测井曲线进行基线偏移校正,再利用极差正规化方法对曲线做归一化处理,处理后的测井曲线变量值在 0~1 之间,提高多井间测井资料的可比性。

1) 泥质隔夹层。沉积成因的泥质隔夹层包括泥岩、粉砂质泥岩。测井曲线表现为自然伽马和自然电位明显高值、曲线回返幅度大、声波时差略微增大、深中感应曲线无明显变化(图 2)。自然电位大于 0.69,自然伽马大于 0.60。泥质含量大于 45%,孔隙度小于 10%,渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 1)。

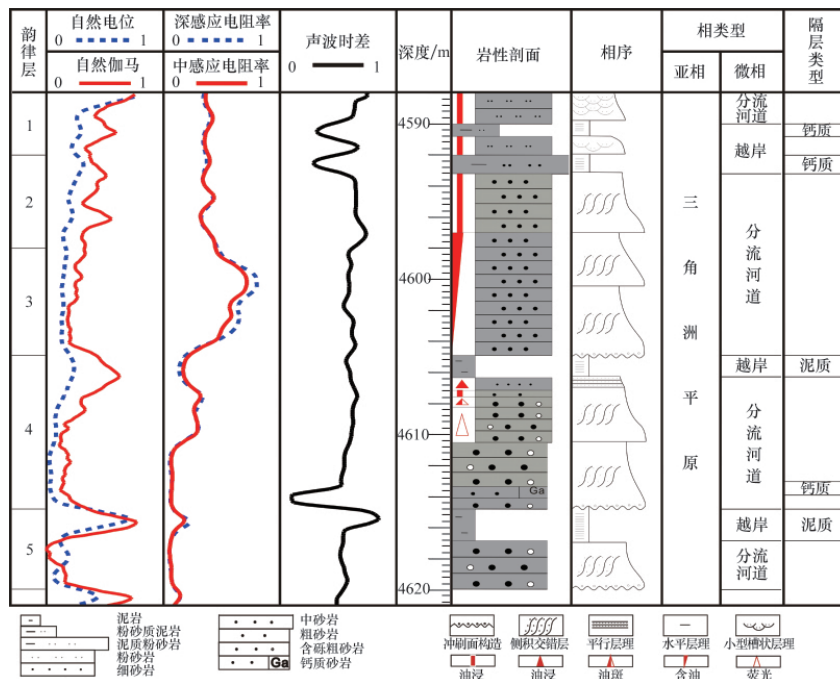


图 2 各类型隔夹层岩电特征

Fig. 2 Rock-electricity characteristics of various types of intercalations

表 1 隔夹层划分标准

Table 1 Intercalations division standard

	归一化自然电位	归一化自然伽马	归一化声波时差	泥质含量/%	孔隙度/%	渗透率/ $(10^{-3}\mu\text{m}^2)$
钙质夹层	—	—	<0.20	—	<10	<10
泥质夹层	>0.69	>0.60	—	<45	<10	<10

2) 钙质隔夹层。后期成岩过程中形成于砂层中的薄钙质隔夹层,岩性致密,岩心呈灰白色或白色,滴酸有大量气泡产生,钙质含量较高。测井曲线上最明显的特征是声波时差明显低值,表明岩性致密,其他常规测井曲线无明显变化(图2)。声波时差小于0.20,泥质含量无变化,孔隙度小于10%,渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表1)。

在单井上对阿克库勒组阿1段1~5韵律层的隔夹层的划分结果进行统计。垂向上阿1段1~5韵律层中隔夹层厚度为地层厚度的3.2%,其中钙质隔夹层厚度占40%,泥质隔夹层占60%。

3 隔夹层的分布特征

塔河油田九区三叠系油气藏井网密度只有 $2.7/\text{km}^2$,井网密度低、水平井资料丰富,利用局部密井网区隔夹层连井对比方法和水平井钻遇资料确定隔夹层平面展布特征。

泥质隔夹层的分布与距物源远近和沉积相类型有关,分布范围与隔夹层厚度正相关。研究区为自东向西的辫状河三角洲平原沉积,距物源近,以分流河道和越岸沉积为主(图3)。由于分流河道频繁改道、下切作用明显,导致前期越岸沉积的泥质隔夹层被冲刷掉,垂向上隔夹层发育密度低、连续性差,多呈交错分布,顺物源方向延伸为主,泥质隔夹层单井

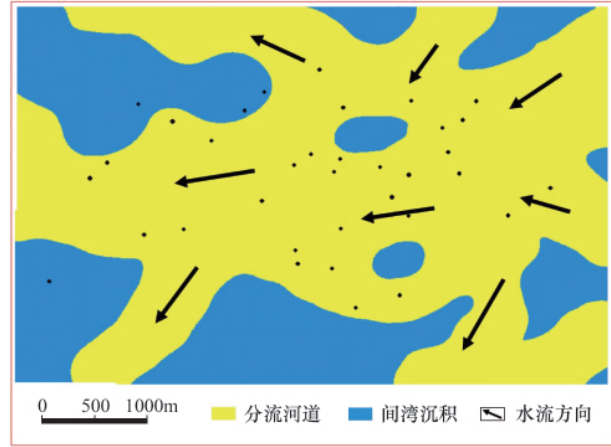


图 3 塔河油田九区三叠系下油组沉积微相图

Fig. 3 Sedimentary microfacies map of Triassic lower oil formation in 9th Block of the Tahe Oilfield

钻遇率仅18%。钙质隔夹层由后期成岩作用形成,展布范围小,横向连续性差,厚度变化大,空间分布与沉积微相和断层有一定关系^[11]。研究区沉积相类型单一、断层是孔隙水流动的重要通道等特点是控制钙质隔夹层发育的主要地质原因。钙质隔夹层单井钻遇率达30%,在断层附近,井钻遇率高更。

从局部密井网区TK936、TK907H和TK942X的连井对比剖面上发现(图4),钙质隔夹层延伸范围小,几乎无法在两口井之间实现对比;泥质隔夹层则延伸范围大,通过对比TK907H和TK942X两口井的泥质隔夹层可以发现。TK923HS井水平段钻遇1、2韵律层处泥质隔层达90m,后钻回至1韵律层砂体中;而水平井钻遇的钙质隔夹层范围小于80m,在局部井区呈密集分布,呈串珠状,每隔几十米就钻遇一个钙质隔夹层(图5),而个别水平井水平段则几乎未钻遇钙质隔夹层。综合分析可知,泥质隔夹层具有数量少、厚度大、范围广的特

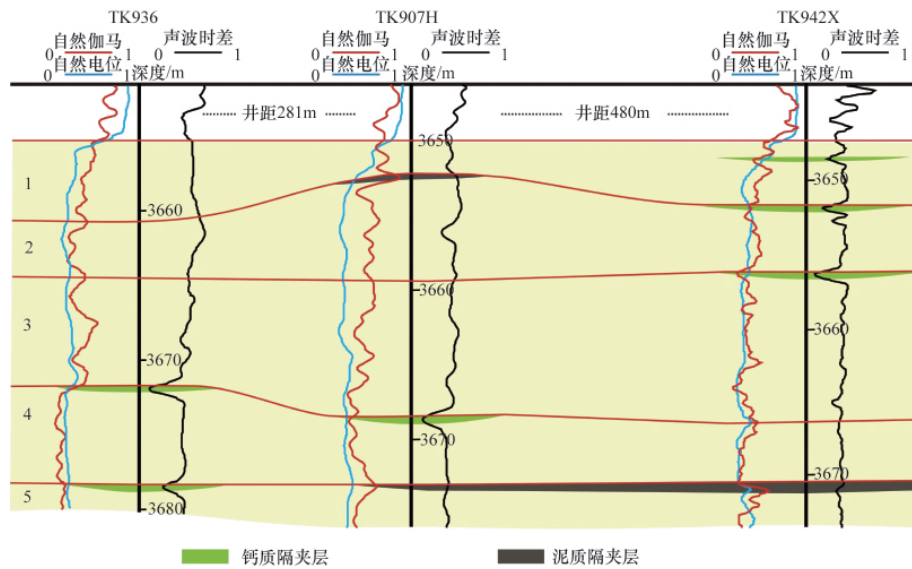


图 4 密井网区隔夹层对比剖面图

Fig. 4 Dense drilling zone intercalations correlation profile

点,主要分布在三角洲平原分流河道砂体内部,是在后期分流河道切割冲刷情况下保存下来的越岸沉积;钙质隔夹层具有数量多、厚度薄、局部密集分布的特点,连续性差,分布主要受断层控制,断层附近相对密集分布。

对隔夹层展布特征进行统计,研究区两类隔夹层都不稳定发育,泥质隔夹层延伸长度在 100~400m 之间,与厚度正相关;虽然钙质隔夹层在储层内随机分布,但一定程度上受断层控制,局部密集,延伸范围小于 80m。

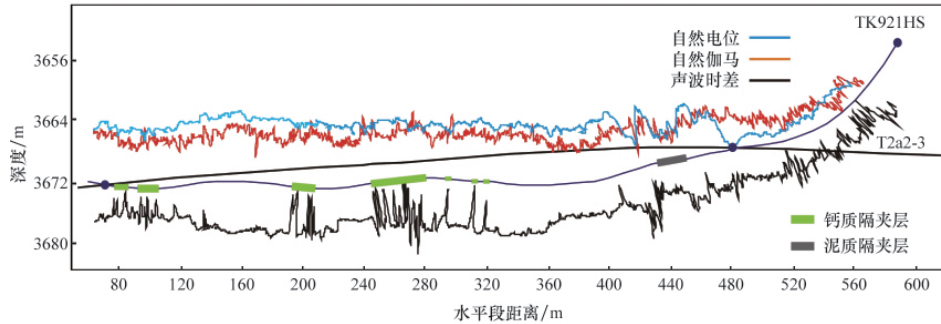


图 5 水平井 TK921HS 水平段隔夹层

Fig. 5 Horizontal well TK921HS horizontal section intercalations graph

4 隔夹层模型的建立

随机模拟的方法很多,不同的模拟方法对不同的地质条件都有一定的适用性。离散模型能用于描述如隔夹层、砂体展布等具有离散性质的地质特征,包括示性点模拟、序贯指示模拟和截断高斯模拟^[12]。

序贯指示模拟和截断高斯模拟两种方法都依赖于隔夹层的变差函数模型。研究区井网密度低,分布不规则,同时隔夹层分布范围小,平面延伸距离短,得不到可靠的隔夹层变差函数数据,应用序贯指示模拟和截断高斯模拟会有较大偏差。示性点模拟忠实于离散参数的地质形态,需要参数少,方法灵活简单^[13]。因此,在井网密度低、数据点少的情况下,首先采用示性点模拟方法建立隔夹层分布模型的多个实现,再利用分布特征优选、修正随机模拟结果,人机交互建立确定性的隔夹层三维地质模型。

根据本油田的沉积环境和已经统计的隔夹层数据,确定了示性点模拟的模拟参数:泥质隔夹层的分布密度为 0.019,宽厚比为 270,长宽比为 1.7,展布方向为物源方向(90°);钙质隔夹层的分布密度为 0.013,宽厚比为 100,长宽比为 1.0,展布方向无明显规律,长宽比设定为 1.0 后,任意角度对钙质隔夹层的模拟结果均无影响。为了解决钙质隔夹层过于分散的问题,在模拟过程中将宽厚比数据调整为 200,虽然不能准确地模拟每个钙质夹层的大小和范围,但可以将每一个钙质隔夹层密集区模拟出来。

建立 20m×20m×0.5m 网格模型的三维数据体,通过示性点模拟方法得到 20 个实现,根据分布特征从中优选出模拟结果较合理的实现 2,同时结合油田生产动态资料,对其不合理的之处进行了人为修改和完善,最终得到确定性的隔夹层地质模型(图 6、图 7)。对隔夹层的空间分布和连通关系做出了确定性的认知。

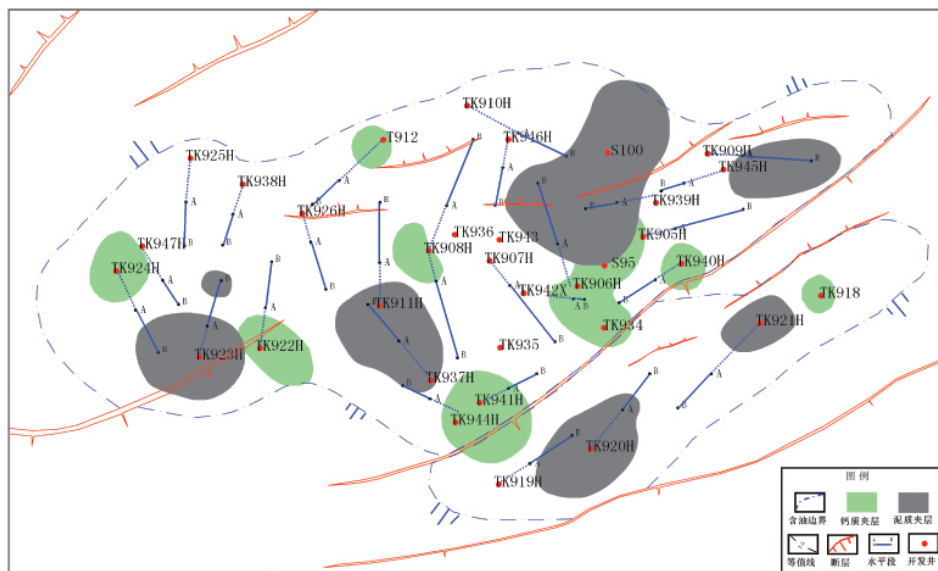


图 6 模型修正后 2 韵律层隔夹层分布

Fig. 6 Modified model Intercalations distribution of 2th rhythmic layering

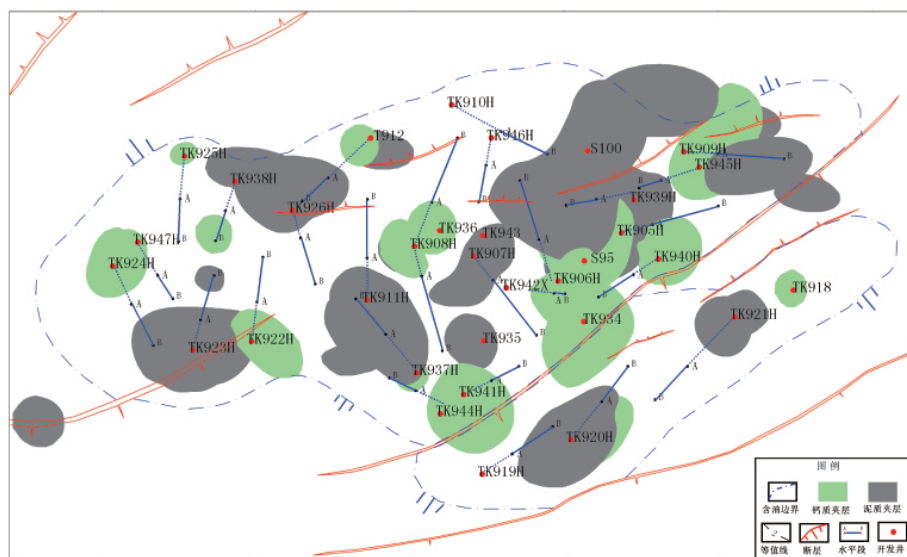


图7 模型修正后 1~5 韵律层隔夹层分布图

Fig. 7 Modified model Intercalations distribution of 1~5th rhythmic layering

5 结论

1) 塔河油田九区三叠系油气藏隔夹层分为泥质和钙质两类,泥质隔夹层的主要判别标准是自然伽马和自然电位高值、曲线明显回返、声波时差曲线略微增大或不变;钙质隔夹层的主要判别标准是声波时差低值。

2) 该区无稳定发育的隔夹层。泥质隔夹层顺物源发育,受沉积微相控制,主要发育在三角洲平原分流河道微相内,延伸范围稍大;钙质隔夹层延伸范围小,单一钙质隔夹层分布范围小于 80m,断层附近局部密集分布,主要受断层控制。

3) 在低密度井网条件下,采用示性点方法模拟泥质隔夹层和每个钙质隔夹层密集区。再根据其分布特征,人机交互确定隔夹层的大小和范围,有效降低了随机模拟方法多个实现带来的随机性和不确定性。

通过对塔河油田九区三叠系油气藏隔夹层类型的划分,明确了不同类型隔夹层的主控因素和发育特征,揭示了隔夹层的空间分布特征,建立的隔夹层分布模型,对油区的勘探开发,特别是对剩余油预测及开发方案的制定有一定参考意义,对其他地区的相关研究也有借鉴意义。

参考文献 (References)

[1] 束青林. 孤岛油田馆陶组河流相储层隔夹层成因研究 [J]. 石油学报, 2006, 27(3): 100-103.
Shu Qinglin. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(3): 100-103.

[2] 刘建民, 徐守余. 河流相储层沉积模式及对剩余油分布的控制[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 58-62.
Liu Jianmin, Xu Shouyu. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(1): 58-62.

[3] 吕晓光, 马福士, 田东辉. 隔层岩性、物性及分布特征研究[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 80-87.
Lu Xiaoguang, Ma Fushi, Tian Donghui. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(5): 80-87.

[4] 张吉, 张烈辉, 胡书勇. 陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别[J]. 测井技术, 2003, 27(3): 221-224.

Zhang Ji, Zhang Liehui, Hu Shuyong. *Well Logging Technology*, 2003, 27(3): 221-224.

[5] 王国鹏, 何光玉. 双河油田厚油层内夹层分布特征 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 55-57.
Wang Guopeng, He Guangyu. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(2): 55-57.

[6] 朱东亚, 胡文宣, 曹学伟, 等. 临南油田隔层类型划分及其分布规律研究[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(2): 212-222.
Zhu Dongya, Hu Wenxun, Cao Xuewei, et al. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(2): 212-222.

[7] 严耀祖, 段天向. 厚油层中隔夹层识别及井间预测技术 [J]. 岩性油气藏, 2008, 20(2): 127-131.
Yan Yaizu, Duan Tianxiang. *Lithologic Reservoirs*, 2008, 20(2): 127-131.

[8] 崇仁杰, 宋春华, 程立芝. 应用随机模拟技术建立夹层模型[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 89-91.
Chong Renjie, Song Chunhua, Cheng Lizhi. *Oil and Gas Geology*, 2002, 23(1): 89-91.

[9] 付国民, 赵俊欣, 杨磊, 等. 塔河油田 9 区三叠系中上统高分辨率层序地层及沉积演化[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 13-17.
Fu Guomin, Zhao Junxin, Yang Lei, et al. *Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition*, 2007, 43(3): 13-17.

[10] 邹元荣, 金晓辉, 闫相宾. 塔河油田三叠系层序地层与沉积相研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(5): 11-15.
Zhou Yuanrong, Jin Xiaohui, Yan Xiangbin. *Journal of Xian Shiyou University: Natural Science Edition*, 2008, 23(5): 11-15.

[11] 林承焰, 侯连华, 董春梅, 等. 辽河西部凹陷沙三段浊积岩储层中钙质夹层研究[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 72-79.
Lin Chengyan, Hou Lianhua, Dong Chunmei, et al. *Acta Sedimentologica and Development*, 1996, 14(3): 72-79.

[12] 吴胜和, 金振奎, 陈崇河. 储层建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 94-99.
Wu Shenghe, Jin Zhenkui, Chen Chonghe. *Reservoir Modeling* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 94-99.

[13] 穆龙新, 贾爱林. 扇三角洲沉积储层模式及预测方法研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 186-196.
Mu Longxin, Jia Ailin. *Study sedimentary reservoir model and prediction method of fan delta* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 186-196.

(责任编辑 刘志远)