

辽河油田锦 99 块扇三角洲前缘储层隔夹层成因与分布

宋 璠，苏妮娜

(中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

文献标识码: A

1 区域地质背景

辽河油田锦 99 区块构造上位于辽河断陷盆地西部凹陷的西南部,面积约为 60km^2 。受北东向两条倾向相反的主干断层控制,锦 99 块总体呈一个狭长高垒带,为油气聚集提供了有利场所(图 1)。钻井揭示研究区地层自下而上依次为前震旦系与中生界基底,古近系沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组,以及第四系平原组^[7],其中沙河街组沙四段又称杜家台油层,是该区目前主要的石油生

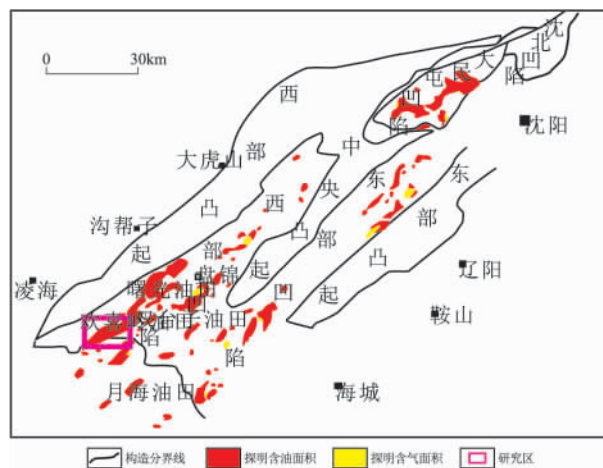


Fig. 1 Tectonic setting of the Jin-99 block of the Liaohe Oil Field

产层段。

杜家台油层沉积时期,由西部凹陷的北部注入湖盆的水系比较发育,形成了规模较大的扇三角洲沉积。锦99块以扇三角洲前缘水下分流河道与河口坝微相为主,垂向上多期水道砂体交错叠置,岩

资助项目: 教育部博士点基金(20120133120013)、国家科技重大专项(2011ZX05009-002) 联合资助

性主要包括含砾砂岩、粗砂岩、细砂岩以及泥质粉砂岩等。砂岩主要呈块状,交错层理较为发育。通过精细地层划分与对比,可将杜家台油层进一步分为2个油组、6个砂层组与36个单油层(表1)。单

油层厚度横向变化较快,砂体连通性明显受沉积作用形成的隔夹层控制,成岩过程中方解石与粘土矿物胶结又进一步增强了储层的非均质性,造成储层内部油水运动规律复杂。

表1 辽河油田锦99块地层划分表
Table 1 Stratigraphic division of the Jin-99 block of the Liaohe Oil Field

地层单元			地层厚度 (m)	岩性特征	地层划分方案			
					含油层系	油层组	砂层组	单油层
新近系			200~350	灰白色块状砂砾岩	—	—	—	—
古近系	东营组		0~300	灰绿色泥岩和浅灰色砂岩	—	—	—	—
	沙河街组	沙一	125~410	绿灰色泥岩与浅灰色砾状	—	—	—	—
		沙二	0~400	灰白色块状砂砾岩	—	—	—	—
		沙三	100~400	灰褐色泥岩与灰色砂岩互层	—	—	—	—
		沙四	0~350	深灰色、灰色泥岩与浅灰色砂岩互层，总体呈下粗上细的正旋回组合特征	杜家台油层	Ⅰ	1	1 ¹ -1 ³
							2	2 ¹ -2 ⁶
							3	3 ¹ -3 ⁶
	Ⅱ					1	1 ¹ -1 ⁶	
2		2 ¹ -2 ⁶						
3		3 ¹ -3 ⁹						
中生界基底			—	棕色泥岩、炭质泥岩夹煤层	—	—	—	—

2 隔夹层成因类型及特征

研究区扇三角洲前缘储层隔夹层的成因类型可以分为两大类:沉积作用形成的隔夹层与成岩作用形成的隔夹层。

2.1 沉积作用形成的隔夹层

扇三角洲前缘具有较强的水动力条件,垂向上水下分流河道砂体常呈多层叠置,空间上具有明显的前积特征。与曲流河的侧积体类似,三角洲前缘砂的前积纹层间易于形成泥质夹层,此类夹层厚度不一、数量众多、常斜交层面分布,增大了油藏中油气采出的难度。部分厚度较大、分布稳定的泥质夹层即为隔层,形成于湖盆发育的间歇期。此外,由于水下分流河道易于侧向迁移、改道,在单砂体迁移叠加过程中存在短暂的沉积间歇期,在厚层砂体内部形成泥质夹层,此类夹层通常厚度薄、分布范围小、连续性较差。

除了广布的水下分流河道外,锦99区块局部还发育河口坝与席状砂微相,其顶部常存在短暂间歇期的泥质粉砂层,属于典型的沉积成因隔夹层。其岩性主要为灰色泥质粉砂、粉砂质泥等细粒悬浮沉积物,富含碳屑、有机质。

2.2 成岩作用形成的隔夹层

沉积物成岩过程中,随着埋藏深度的增加,温

度升高,压力增大,有机质热演化释放出大量的CO₂与地层水中的Ca²⁺、Mg²⁺等结合形成了碳酸盐胶结物,通常在薄层砂岩以及储层顶底与泥岩接触的部位发生固结,造成粗粒的砂岩储油物性变差、渗透率降低,从而形成夹层。此类夹层的形成条件、分布规律较为复杂,横向预测难度大,给油气开发带来了极大困难^[8]。

3 隔夹层的识别特征

不同的地质成因,形成了不同类型的隔夹层。尽管隔层和夹层由于规模差异对油水运动规律的控制作用不同,但两者的成因特征十分相似,因此可对其进行统一识别。本文综合岩心、测录井资料,建立了不同类型隔夹层的测井识别标志,将本区隔夹层划分为以下3种类型:

3.1 泥质隔夹层

泥质隔夹层是研究区最主要的一种隔夹层类型,主要在单砂体前积过程或单河道摆动的间歇期沉积形成,纵向上出现的频率较高,其岩性主要包括泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩等,相当于3级或4级构型界面。此类隔夹层测井响应主要反映为泥岩特征,自然伽马呈高值,自然电位靠近泥质基线,井径明显扩径;微电极显著减小,幅度差几乎为零,声波时差一般大于310μs/m(图2)。

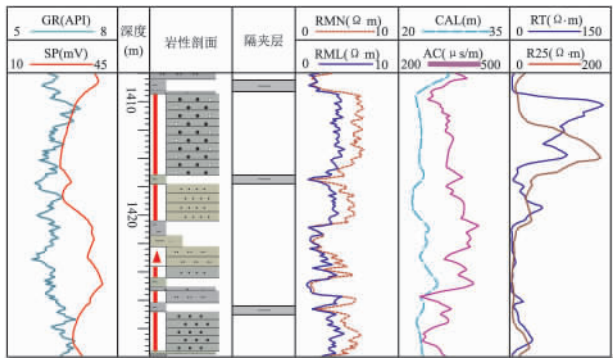


图 2 锦 2-13-3 井泥质隔夹层测井响应特征

Fig. 2 Well logs for the mudstone barrier interlayers in the Jin 2-13-3 well

3.2 物性隔夹层

指油层中物性较差的薄砂层,泥质含量通常较高,含油性差。此类隔夹层成因复杂,往往受沉积、成岩等多种因素控制。研究区物性隔夹层主要包括以下两类:一类为河道底部的滞留沉积,岩性主要为砂砾岩,颗粒分选差(图 3);另一类为水道侧翼、水道间等弱水动力环境的产物,岩性以油斑细砂、粉砂岩为主,泥质含量高,成岩过程中易于压实。这两类隔夹层具有一定的孔渗性,但均未达到有效厚度的物性下限。自然伽马呈中幅齿状凸起,自然电位幅度低,井径扩径不明显;微电极幅度有所减小,但具有一定的幅度差。

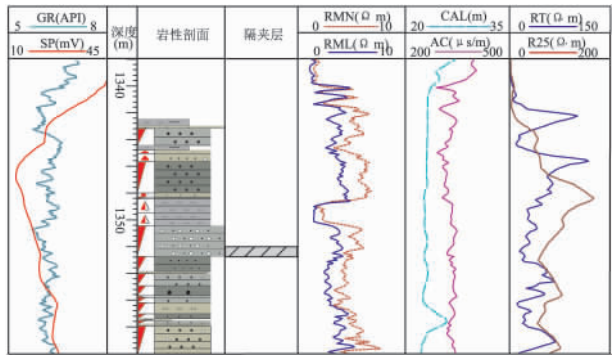


图 3 锦 2-12-1 井物性隔夹层测井响应特征

Fig. 3 Well logs for the physical barrier interlayers in the Jin 2-12-1 well

3.3 钙质隔夹层

岩性主要为灰白色中-细砂岩、含砾砂岩等,岩性致密,基本无渗透性或渗透性极差。这类隔夹层主要与碳酸盐胶结等成岩作用有关,分布随机性相对较强,纵向上出现的频率较小。在测井曲线上主要表现为:自然电位无明显变化,微电极比值超过

邻层 1 倍以上,呈尖峰状;由于孔隙被钙质胶结,声波传播速度增大,时差减小;井径稍显扩径,主要是由于钙质胶结的砂岩脆性较大,在钻进过程中易于崩落,从而产生微扩径(图 4)。

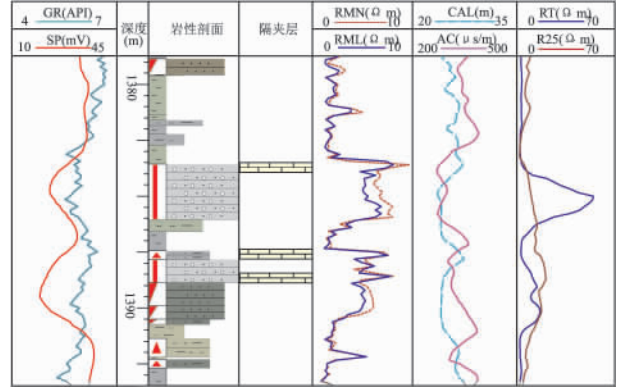


图 4 锦 2-15-4 井钙质隔夹层测井响应特征

Fig. 4 Well logs for the carbonate barrier interlayers in the Jin 2-15-4 well

与隔层相比,夹层对油层水驱开发工作的影响更大,精确识别单井夹层对于夹层预测与建模具有重要的意义^[9-11]。在隔夹层成因类型研究的基础上,通过对锦 99 块杜家台油层取心井进行夹层精细描述,结合测井曲线及其解释成果,选取声波时差、微电极幅度差、泥质含量、孔隙度、渗透率共 5 项参数,编制了不同类型夹层的判别图版(图 5),建立了夹层划分的定量标准(表 2)。

依据上述夹层划分标准,对研究区开展系统的单井夹层划分,结果表明,按照厚度与分布位置,夹层又可分为 3 种类型:Ⅰ类夹层为相邻单砂体之间的夹层,厚度一般大于 0.8m,主要为泥岩、粉砂质泥岩等,分布范围较广者即为隔层;Ⅱ类夹层为单砂体内部的夹层,厚度为 0.4~0.8m,岩性较细,以泥质夹层、物性夹层为主;Ⅲ类夹层常位于单砂体的顶部或底部,厚度常小于 0.4m,岩性较为复杂,以泥质粉砂岩、致密粉砂岩和细砂岩、砂质砾岩为主,位于顶部者常为钙质夹层,而位于底部者常为物性夹层。

4 隔夹层分布规律

在区域沉积作用、成岩作用环境研究的基础上,通过精细的单砂体划分与隔夹层识别,重点分析了区内 200 余口井的测录井资料,完成了单井隔夹层划分,并利用隔夹层厚度、钻遇率、频率及密度等参数分析其分布规律。

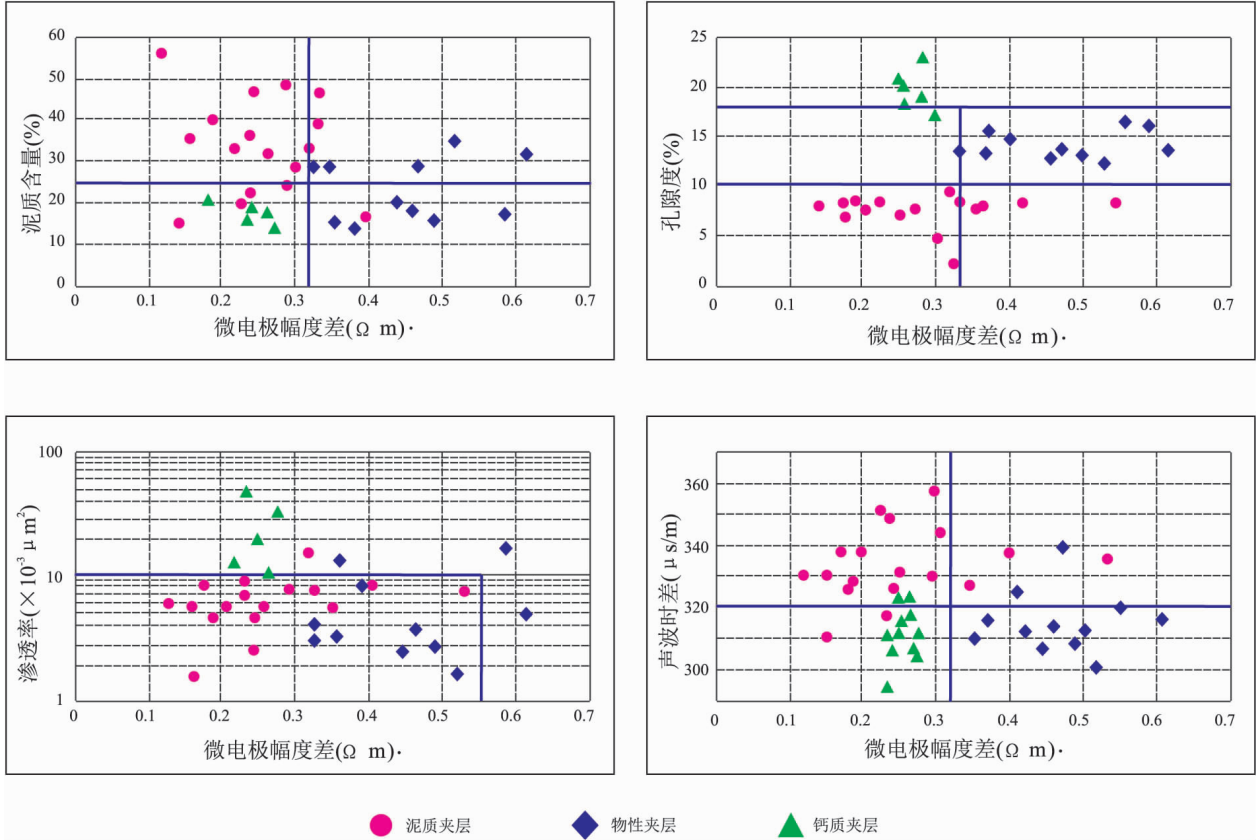


图5 不同类型夹层测井判别图版

Fig. 5 Correlation of the well logs in individual barrier interlayers

表2 锦99块夹层定量划分标准

Table 2 Quantitative division of the barrier interlayers in the Jin-99 block

	物性夹层	泥质夹层	钙质夹层
泥质含量	<25	≥25	—
微电极幅度差	>0.32	≤0.32	≤0.32
孔隙度	10~18	0~10	>18
渗透率	<10	<10	≥10
声波时差	<320	≥320	—

4.1 层间隔层分布

锦99块杜家台油层单砂层间隔层的发育较为稳定,以泥质隔层为主,其分布主要受控于水下分流河道微相的展布样式。以杜I油组主力产油层杜I₃²~杜I₃³层间的隔层发育最为良好,隔层厚度较大,钻遇率较高,因此其剩余油富集程度可能较高,具有一定增产潜力。

研究区隔层类型总体以泥质隔层为主,其次为物性隔层,钙质隔层不发育。图6为杜I₃²~杜I₃³层间隔层厚度分布图,可见砂体分布区内隔层分布连续性较好,砂体间基本不连通。隔层厚度多在2m以上,全区变化幅度较大,最大可达8m以上。隔层

厚度较大的地区主要分布在砂岩尖灭区夹持的地带或边角区,远离尖灭区的地方隔层较薄。

4.2 层内夹层分布

通常采用以下3个参数定量描述夹层的分布特征:夹层厚度H、夹层分布频率(即每米储层内夹层的个数)、夹层分布密度(即层内夹层的总厚度与储层厚度的比值),上述3个参数的定量参数值越大,储层质量越差。

如表3所示:锦99块杜I₃的6套含油单砂层内的夹层厚度平均0.8m左右,钻遇率较低,表明夹层发育规模不大。其中杜I₃²夹层分布频率为0.12~0.53层/m,分布密度为0.02~0.38,数值相对最低,因此夹层分布对水驱开发效果影响最小,剩余油富集程度也较低;杜I₃⁴夹层分布特征参数值最大,在钻遇井区可能存在一定程度的剩余油富集区。

从单砂层内夹层平面分布特征来看,研究区泥质夹层出现频率最高,分布相对较连续;物性夹层与钙质夹层次之,分布范围较局限,随机性较强(图7)。通过对研究区36个单砂层内夹层分布特征进行总结,发现扇三角洲前缘储层内不同夹层类型分

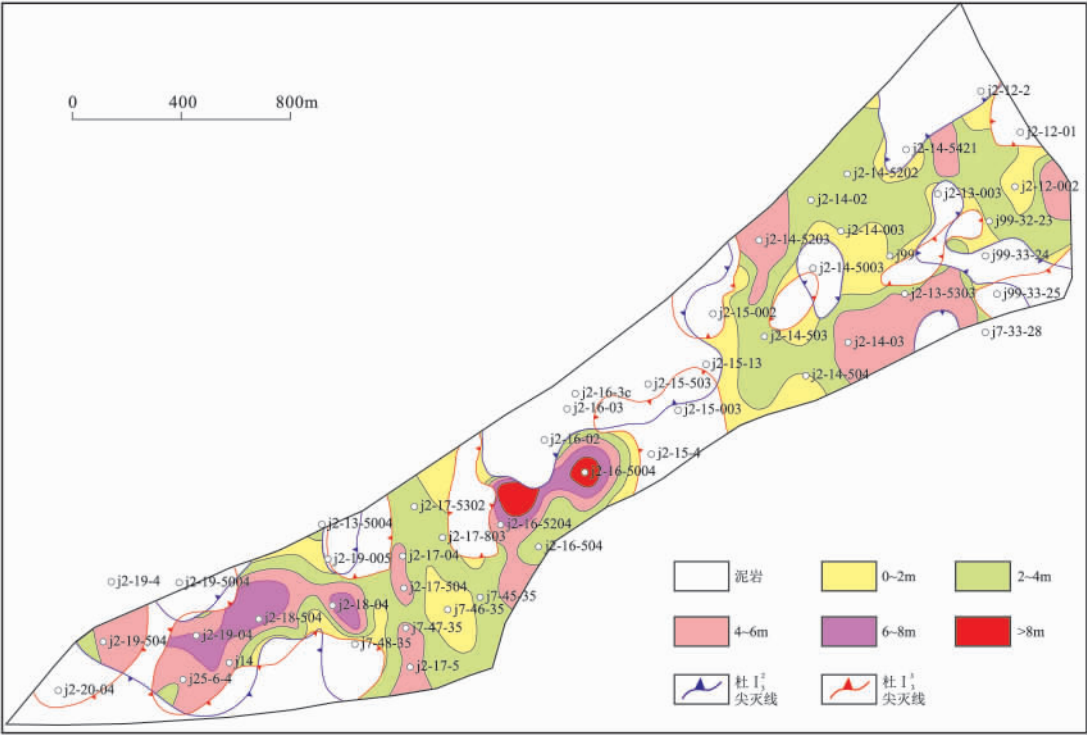


图 6 锦 99 块杜 I₃² ~ 杜 I₃³ 层间隔层厚度平面分布图

Fig. 6 Planar distribution of the barrier interlayers in the DU I₃²-Du I₃³ oil reservoirs

表 3 锦 99 块杜 I₃ 各单砂层内夹层分布参数

Table 3 Parameters showing the barrier interlayer distribution of individual sandlayers of the Du I₃ oil reservoirs in the Jin-99 block

单砂层	钻遇井数(个)	钻遇率(%)	夹层厚度(m)	夹层分布频率(层/m)	夹层分布密度(m/m)
I ₃ ¹	10	8. 1	0. 24 ~ 1. 28	0. 08 ~ 0. 26	0. 1 ~ 0. 35
I ₃ ²	16	13. 1	0. 2 ~ 2. 18	0. 12 ~ 0. 53	0. 02 ~ 0. 38
I ₃ ³	18	14. 6	0. 25 ~ 2. 64	0. 17 ~ 0. 41	0. 05 ~ 0. 76
I ₃ ⁴	26	21. 1	0. 2 ~ 3. 2	0. 28 ~ 0. 63	0. 46 ~ 0. 88
I ₃ ⁵	22	17. 9	0. 2 ~ 2. 4	0. 12 ~ 0. 56	0. 08 ~ 0. 28
I ₃ ⁶	17	13. 8	0. 2 ~ 2. 38	0. 18 ~ 0. 43	0. 1 ~ 0. 64

布具有一定规律性。泥质夹层主要分布于以下 3 类区域:一是厚层水下分流河道砂叠置区,如图 7 中的在 j2-16-5204 井区、j2-14-003 井区等,由于砂体主要以前积方式沉积,夹层常呈斜交层面产出,因此顺夹层倾向方向注水往往易于形成剩余油富集^[12];二是水下分流河道侧缘区,夹层分布规模较小,如 j2-14-04c 井区等,常呈孤立状分布;三是邻近砂岩尖灭线区域,平面上出现频率最高,常呈宽条带状连续分布,受沉积水动力影响夹层主要平行层面产出,其上部存在一定数量的剩余油。

物性夹层受沉积、成岩等多种因素控制,其总体分布规律性不明显,但通过与储层物性平面展布图叠合,表明其主要分布于孔渗相对低值区,这些低值区主要位于水道侧翼、水道间等弱水动力地

区,但也有部分于水道中部砂体较厚区,如图 7 中 j2-17-5302 井区等。钙质夹层分布较零星,厚度变化大,横向连续性较差,其分布明显受岩相与边界断层控制。首先,钙质夹层形成于特定的岩相中,主要在砂厚较大、原生孔隙发育的岩相带发育良好;其次,钙质夹层常沿边界Ⅱ级断层分布,如图 7 中 j2-19-504、j2-17-5、j2-14-504 等多个井区均有发育,主要由于地层水进入断裂带后不断流动,酸性孔隙水对不稳定组分进行溶解、蚀变,富含 Ca²⁺、Mg²⁺和 HCO³⁻离子的孔隙水在断层附近的好物性砂体中发生胶结作用而形成。物性夹层、钙质夹层的分布与泥质夹层相比较为复杂,在进行夹层预测时应充分考虑断裂构造、沉积相、成岩相等多方面地质因素。

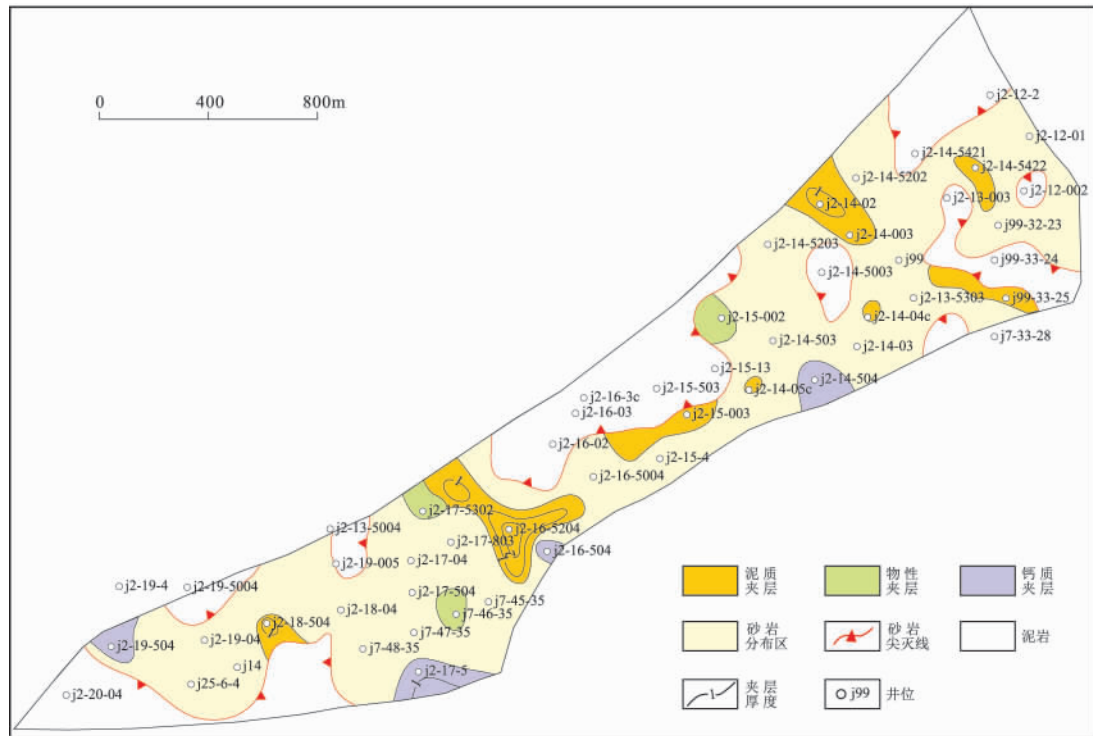


图7 锦99块杜 I_3^2 各类夹层平面分布图

Fig. 7 Planar distribution of the individual barrier interlayers within the Du I_3^2 oil reservoirs in the Jin-99 block

5 结论

隔夹层是储层非均质性研究的重要内容,它们将厚油层分隔为多个独立的流动单元,进而使得油水运动规律复杂化。目前河流相储层隔夹层研究较为成熟,可为其它相类型储层研究提供借鉴。辽河油田锦99区块扇三角洲前缘储层内隔夹层较为发育,利用岩心、测录井资料可识别出泥质、物性和钙质3种不同成因类型的隔夹层。受不同地质条件控制,3类隔夹层的分布规律也具有一定差别,因此在油藏描述过程中需综合断裂展布、沉积相、岩石相、成岩相等多重因素进行隔夹层预测,最终建立起较为可靠的隔夹层模型,指导油田开发过程中油水运动规律与剩余油分布研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [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.

制[J].石油学报,2003,24(1):58-62.

- [3] 束青林.正韵律厚油层剩余油分布模式及水平井挖潜[J].油气地质与采收率,2004,11(4):34-38.
- [4] 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.
- [5] 朱东亚,胡文,曹学伟.临南油田隔层类型划分及其分布规律研究[J].地球科学,2004,29(2):211-223.
- [6] 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):72-80.
- [7] 王青春,鲍志东,贺萍.辽河坳陷西部凹陷北区湖盆深陷期层序地层响应[J].石油勘探与开发,2010,37(1):11-20.
- [8] 张尚锋,张昌民,伊海生,等.双河油田核三段II油组内夹层分布规律[J].沉积与特提斯地质,2000,20(4):71-78.
- [9] 陈程,孙义梅.厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响[J].大庆石油地质与开发,2003,22(2):1-3.
- [10] 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.
- [11] 林博,戴俊生,陆先亮,等.孤岛油田中一区馆5段隔夹层划分与展布[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(4):11-14.
- [12] 王健,徐守余,仲维萃.河流相储层隔夹层成因及其分布特征[J].地质科技情报,2010,29(4):84-88.

Genesis and distribution of the fan delta front barrier interlayers in the Jin-99 block of the Liaohe Oil Field

SONG Fan , SU Ni-na

(*College of Geoscience and Technology , China University of Petroleum (East China) , Qingdao 266580 , Shandong , China*)

Abstract: The barrier interlayers are interpreted as the main factors to form the heterogeneity of fluid flows in the continental reservoirs and to control complicated waterlogged regimes in the thick oil reservoirs. The deposition and diagenesis led to the formation of three types of barrier interlayers: mudstone barrier interlayers , physical barrier interlayers and carbonate barrier interlayers. The mudstone barrier interlayers are observed mainly in the thick subaqueous distributary channel sandstones , channel margins and adjacent sandstone pinchout areas. The physical barrier interlayers appear commonly in the areas with poor porosity and permeability. The carbonate barrier interlayers occur dominantly in the sandstones with developed primary pores or along the second-order boundary faults. The residual oil distribution in oil reservoirs tends to be controlled not only by the above-mentioned barrier interlayers but also by other geological factors such as faulting structures , sedimentary facies and diagenetic facies.

Key words: Liaohe Oil Field; fan delta front; barrier interlayers; genesis; distribution patterns