

沙四段近源陡坡扇三角洲沉积特征及 成储控制因素

——以莱州湾凹陷 KL 油田为例

韩建斌,田晓平,徐中波,张俊,梁世豪

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300450)

摘要:针对 KL 油田沙四段扇三角洲巨厚砂砾沉积体优势储层认识不清的问题,利用丰富的井壁取心、薄片、扫描电镜等资料,系统研究莱州湾凹陷南斜坡 KL 油田沙四段扇三角洲沉积特征,并对形成储层控制因素及储集空间类型进行了探讨。结果表明:沙四段为暖温带干旱背景下的退积型扇三角洲沉积,发育平原和前缘亚相,岩性自下向上发育棕褐色砂砾岩、凝灰质含砾砂岩、杂色含砾砂岩、灰色粗砂岩,局部夹薄层凝灰岩;岩石成分主要为石英、长石以及火山岩碎屑,填隙物以泥质、凝灰质为主,可见白云石。同时发现沉积作用和成岩作用共同控制该套沉积体有效储层形成,扇三角洲前缘沉积的含砾砂岩和粗砂岩分选较好,粒间孔发育,成岩期溶蚀作用改善储集空间效果明显,孔隙类型主要为粒间孔,其次是溶蚀孔;扇三角洲平原沉积的砂砾岩分选极差,粒间孔不发育,溶蚀作用效果差,又受压实作用、胶结交代作用等影响,储集空间变差。指出了南斜坡带沉积体优势储层的分布规律,认为扇三角洲前缘沉积的杂色含砾砂岩为有效储层的主体,是今后勘探评价的重点。

关键词:莱州湾凹陷;近源陡坡;扇三角洲;砂砾岩;控制因素

中图分类号:P618.130.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.02006

自 Holmes^[1]提出并定义扇三角洲为“从邻近高地直接前积到停滞水体中的冲积扇”后,国内外地质工作者一直给予广泛关注。随着研究实例的不断积累,对扇三角洲类型、模式、特征以及机理有了系统的认识,尤其是国内松辽、胜利、四川、冀东、大港、塔里木、渤海湾、新疆等油田先后发现数个扇三角洲油气藏后,更加丰富、完善了扇三角洲沉积体的理论体系^[2-10]。笔者在吸取前人研究成果的基础上,结合研究区目的层扇三角洲巨厚砂砾体优势储层认识不清的问题,利用丰富的井壁

取心、薄片、扫描电镜等资料,系统研究了该区扇三角洲沉积特征,在此基础上对形成有效储层控制因素及储集空间类型进行了探讨,研究成果对该区勘探以及开发具有一定指导意义。

1 研究区概况

莱州湾凹陷南斜坡紧邻渤海湾盆地主力生烃凹陷—莱州湾凹陷,是油气运聚的有利区带,成藏位置非常有利。通过评价井证实,南斜坡带上的 KL 油田于新近系馆陶组、古近系沙河街组以及中生界均获得较好的油气显示,表现多套含油层系特征,本次研究目的层位为古近系沙河街组四段地层(以下简称沙四段),埋深为 1 400~1 570 m。

收稿日期:2017-07-19

基金项目:国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(2011ZX05023-006-002)

作者简介:韩建斌(1983—),男,硕士,工程师,主要从事开发地质综合研究工作。E-mail:hanjb@cnooc.com.cn

1.1 构造背景

在孔店—沙四时期为渤海湾盆地的初始裂陷期^[11],此时莱州湾凹陷为中部凸起,KL 油田整体处于暴露剥蚀状态,地形起伏较大,呈现东高西低的阶梯状,受古地貌影响中生界中酸性火山岩基底风化差异明显,构造东部位置最高,风化程度亦最严重,为研究区提供近距物源区,碎屑物于西侧低洼部位沉积(图 1)。在沙四段时期 6 井位置最低,沉积一套近 180 m 厚的砂砾岩,综合解释油层 60 m,是本次研究的主力井。

1.2 沉积背景

受渤海湾盆地裂陷背景的影响,区域沉积整体表现为水进过程。根据钻井揭示,沙四时期为扇三角洲沉积,以砂砾岩为主;沙三下时期为辫状河三角洲前缘沉积,以中—细砂岩为主;沙三中时期为前三角洲和湖相沉积,在区域上沉积一套稳

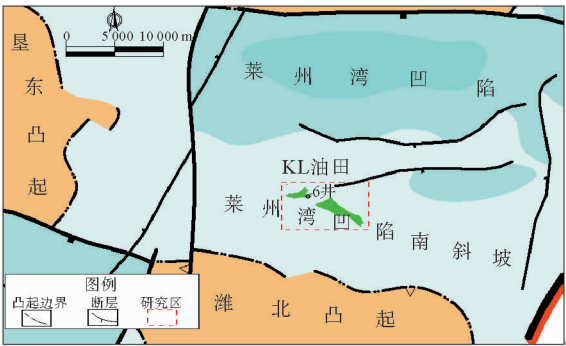


图 1 KL 油田位置

Fig. 1 Location of KL Oilfield

定的暗色泥岩(图 2)。依据井壁取心古生物分析,可知 KL 油田沙四段孢粉类化石以暖温带早生的麻黄粉属为主,藻类以半咸水条件下的德弗兰藻属为常见,介类表现壳大、近肾形、壳面光滑特点,指示水动力较大的浅水环境。综合孢粉、藻类以及介类特点,沙四段表现为干旱暖温带气候,为水动力较强的浅水环境,沉积物以受氧化作用为主。

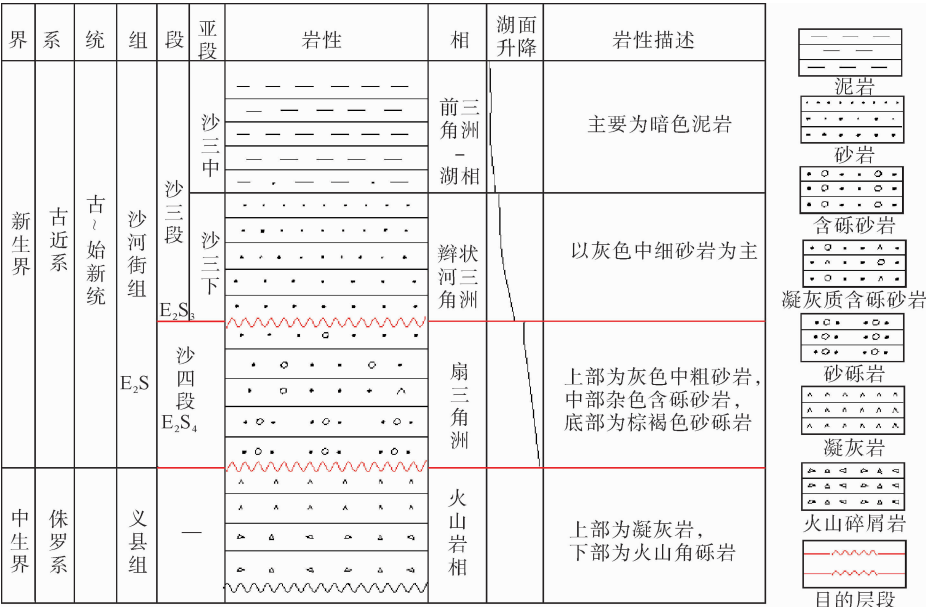


图 2 KL 油田目的层段地层综合柱状图

Fig. 2 Integrated stratigraphic column of the target segment in KL Oilfield

2 沉积特征

2.1 岩石学特征

2.1.1 岩石类型

综合考虑 KL 油田沙四段纵向上粒度差异明

显、特殊成分影响砂体成储这两个因素,本次依据粒度和特殊成分的百分含量对目的层段岩性开展综合命名(表 1)。KL 油田沙四段自下而上发育砂砾岩、凝灰质含砾砂岩、含砾砂岩、粗砂岩(图 3),以砂砾岩和含砾砂岩为主。

根据 6 井 32 块薄片分析,矿物成分主要为石英、长石、岩屑,岩屑主要为火山碎屑。石英其含

表 1 KL 油田沙四段岩性命名原则
Table 1 Lithology classification and nomenclature

岩石类别	命名原则(粒度+特殊成分)				岩石名称
	粒度		特殊成分		
	粒径/mm	含量	成分	含量	
砂岩	0.5~1.0	>50%	—	—	粗砂岩
	0.25~2.0	25%~50%且 C _{0.5~1.0 mm} > C _{0.25~0.5 mm}	—	—	含砾砂岩
	2.0~4.0	10%~25%	—	—	
	0.25~2.0	>50%	凝灰质	25%~50%	
	2.0~10.0	10%~25%			
砾岩	0.25~2.0	25%~50%且 C _{2.0~30.0 mm} > C _{0.25~2.0 mm}	—	—	砂砾岩
	2.0~30.0				

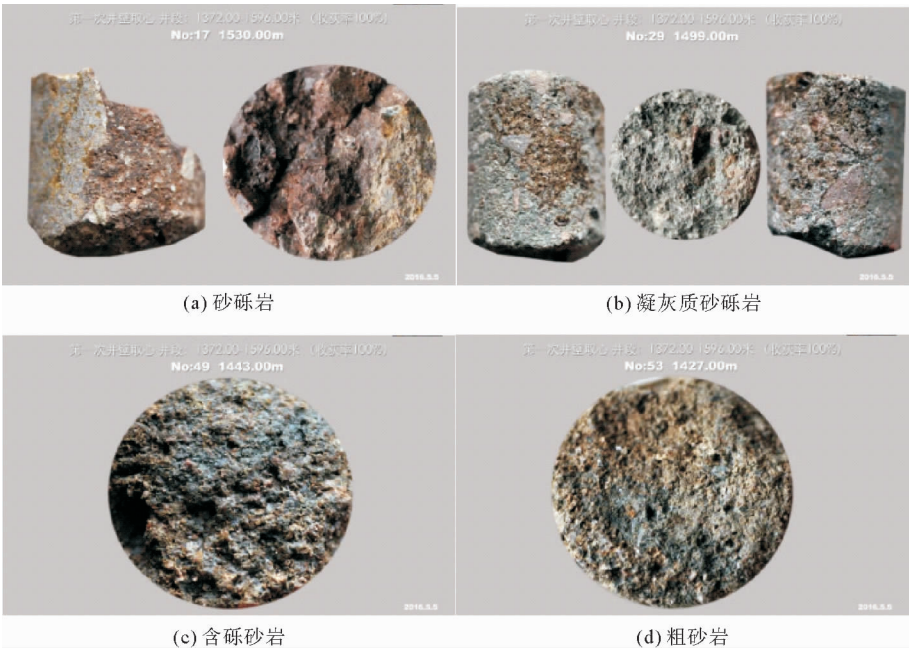


图 3 KL 油田沙四段碎屑岩岩石类型
Fig. 3 The clastic rock type of Sha-4 Formation in KL Oilfield

量为 2%~19%;长石含量为 6%~43%,钾长石含量在 16.0%~35%,斜长石含量在 6%~14%之间,长石风化严重,颗粒普遍蚀变较强烈;岩屑含量为 45%~69%,以酸性喷出岩为主。砾石成分主要为火成岩岩块。粒间填隙物发育,主要为泥质和凝灰质,可见白云石。

2.1.2 结构特征

从钻井壁心、薄片以及粒度资料来看,研究区碎屑表现粒度粗、分选差、多以次棱状为主,颗粒间填隙物发育,反映陡坡近源、快速堆积沉积特

征,因此结构成熟度低。

下部砂砾岩为砂砾状结构,砾石约占 50%,砾径主要分布在 2~10 mm,砾石成棱角状,多以互不接触方式悬浮于杂基之中,表现杂基支撑特征,为典型陡坡近源、快速堆积的产物,粒度概率累积曲线具有近似浊流沉积特征(图 4a)。

中上部含砾砂岩、粗砂岩均有粗砂状结构,碎屑颗粒主要为粗粒级,颗粒间点接触,具有颗粒支撑特点,填隙物较发育,主要为泥质,可见泥晶状白云石,呈泥质胶结特征(图 4b)。对于凝灰质含

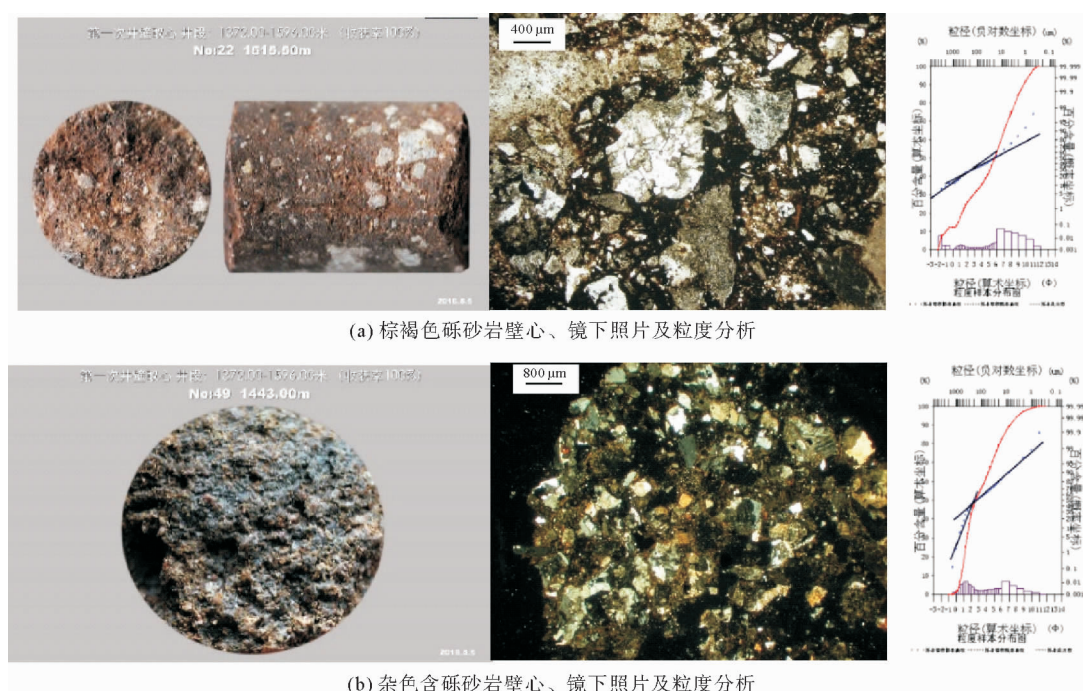


图4 KL油田沙四段碎屑岩结构特征

Fig. 4 Characteristics of elastic rocks of Sha-4 Formation in KL Oilfield

砾砂岩填隙物为凝灰质和泥质,以凝灰质胶结为主,凝灰质通过蚀变形形成颗粒的黏土矿物包壳或经由重结晶呈鳞片状及纤维状较均匀分布于孔隙内,堵塞储集空间,研究区内凝灰质含砾砂岩为非有效储层。

2.1.3 沉积构造

受快速沉积条件的控制,沉积物无足够时间进行分异,因此,该区沉积体分选差,表现砾、砂、泥混杂,沉积层理构造不发育,整体表现为块状构造特征,底部为砂砾岩、中部主要为含砾砂岩,顶部发育粗砂岩,构成非典型的向上变细沉积韵律。可见明显的冲刷面,为河道受季节性洪水影响的产物。

2.2 沉积微相特征

综合钻井、壁心、薄片以及粒度等资料,认为研究区沙四段发育扇三角洲平原与前缘亚相。扇三角洲平原位于下部,发育水上分流河道,岩性主要是棕褐色砂砾岩,为水上氧化环境;扇三角洲前缘位于上部,发育水下分流河道,岩性主要是杂色含砾砂岩,表现为水上、水下过渡的氧化—还原环境(图5)。

(1) 平原水上分流河道微相

主要为厚层棕褐色砂砾岩,块状构造。砾石杂乱分布,呈棱角状,多以互不接触方式悬浮于杂基之中,表现为杂基支撑,粒间孔极不发育。从粒度概率累积曲线可知斜率低、分选极差,悬浮总体含量大,占到了70%~80%,悬浮总体与跳跃次总体交截点在 1Φ 以下,表现出近似浊流沉积的特征。根据测井及壁心物性解释结果,主可知要分布在6.7%~15.0%范围内,未达到有效储层厚度孔隙度下限值15.5%,且经测试证实为干层。

(2) 前缘水下分流河道微相

主要为厚层杂色含砾砂岩,粗砂状结构,块状构造。碎屑颗粒主要为粗粒级,分选差,磨圆以次棱状为主,颗粒间点接触、颗粒支撑,以粒间孔为主。从粒度概率累积曲线为两段式,斜率中等、分选较差,悬浮总体含量较大,占到了50%~60%,悬浮总体与跳跃次总体交截点在 2Φ 以下,为分流河道砂沉积的特征。根据测井及壁心解释孔隙度可知,主要分布在16.0%~21.0%范围内,大于有效储层厚度孔隙度下限值15.5%,且经测试证实为油层,日产油 50 m^3 。

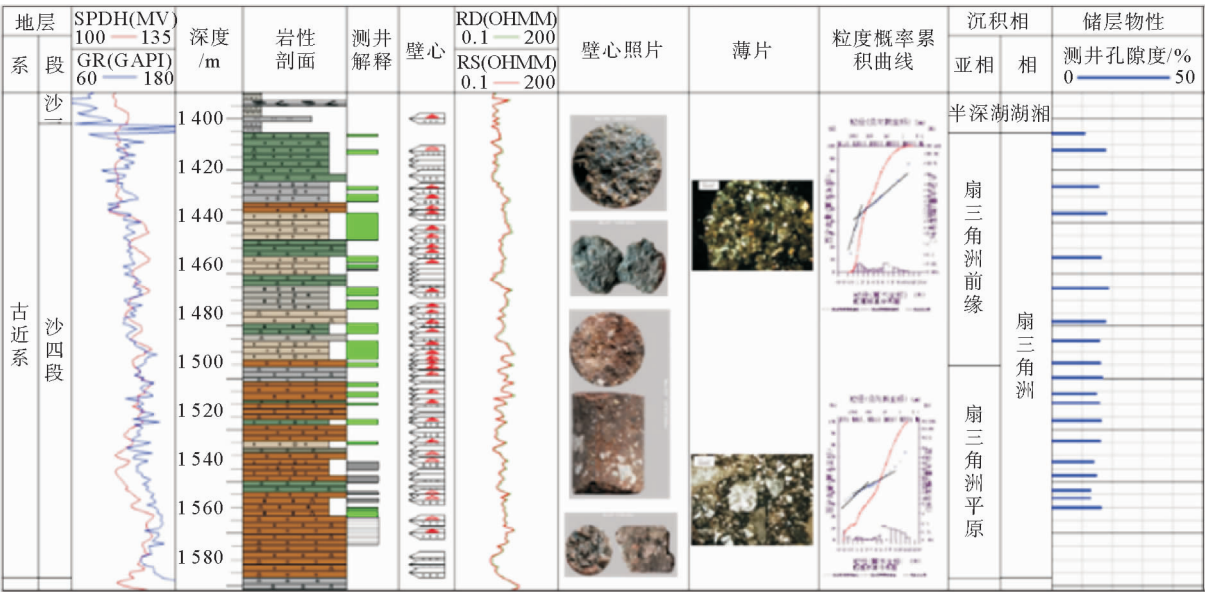


图 5 6 井沙河街组四段砂砾岩体沉积相

Fig. 5 Sedimentary facies analysis of sandy conglomerate in, Sha-4 Formation of well 6

3 成储控制因素及储集空间类型

储集层物性受原始沉积条件、后期成岩改造等多种因素影响。在储集层形成与演化过程中，沉积作用控制母岩及储集层分布、成岩作用类型和强度，是储集层发育的主导因素；成岩作用决定了储集层内部储集空间特征^[12-18]。KL 油田沙四段储集层物性主要的影响因素为沉积作用和成岩作用，沉积作用是先天条件，成岩作用是后天因素，两者综合影响着集层的物性变化，沉积作用占据主导地位。

3.1 沉积作用

沉积机制与沉积环境的差异，形成了两种储层不同的沉积相带、岩石矿物组分、颗粒粒度以及结构等，造成两种储层物性之间的差异^[12]。

扇三角洲平原亚相的水上分流河道环境，具有类似浊流沉积特征，主要沉积厚层棕褐色砂砾岩。砾石杂乱分布，多以互不接触方式悬浮于杂基之中，表现为杂基支撑，分选极差，粒间孔极不发育。据测井解释，孔隙度主要分布在 6.7%~15.0% 范围内，未形成有效储层。

扇三角洲前缘亚相的水下分流河道环境，为牵引流沉积特征，主要沉积厚层杂色含砾砂岩、凝

灰质含砾砂岩，粗砂状结构，块状构造。杂色含砾砂岩和粗砂岩碎屑颗粒主要为粗粒级，颗粒间点接触、颗粒支撑，分选较差，粒间孔为主且发育，可见溶蚀孔。据测井解释，孔隙度主要分布在 16.0%~21.0% 范围内，达到有效储层厚度下限值，经测试证实为有效储层；受火山岩相纵向分布规律影响，沉积母岩发生变化，致使凝灰质成分含量高，钻井揭示纵向局部发育薄层凝灰质含砾砂岩，孔隙度主要分布在 7.4%~16.2% 范围内，经证实为非有效储层。

同时统计 6 井沙四段 60 颗密集旋转井壁取心物性分析资料(图 6)可知，扇三角洲平原亚相沉积的砂砾岩和前缘亚相沉积的凝灰质含砾砂岩孔隙度主要集中在<15% 范围内，均为非有效储

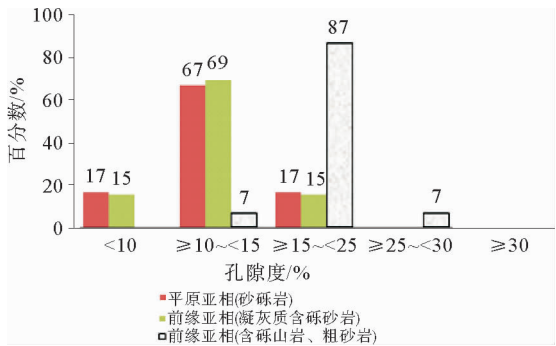


图 6 沙四段孔隙度分布与沉积相关系

Fig. 6 Porosity distribution and sedimentary facies of Sha-4 Formation

层;而前缘亚相沉积的含砾砂岩和粗砂岩孔隙度主要集中在 15%~25% 范围内,形成有效储层(图 6),与上述认识一致。

3.2 成岩作用

通过对 KL 油田沙四段壁心、薄片、扫描电镜、物性等资料分析,在成岩作用过程中该区物性受到压实作用、溶蚀作用、胶结交代作用以及黏土矿物等影响,其中溶蚀作用主要起到改善储集空间作用,与原始沉积共同控制有效储层形成。

溶蚀作用是次生孔隙形成的关键^[13]。据该区岩石学特征可知,长石、岩屑为碎屑岩主要成分,具有不均一溶蚀特性,导致长石和岩屑边缘或内部溶解,产生溶蚀粒间孔和溶蚀颗粒孔,有效的改善了储层的储集性,据统计储层物性与长石百分含量呈明显正相关性(图 7)。对于研究区目的层来说,扇三角洲前缘水下分流河道微相沉积的杂色含砾砂岩,成分主要为长石、岩屑,且碎屑颗粒间孔隙较发育,成岩阶段溶蚀作用效果明显,

形成大量溶蚀孔、溶蚀缝,进一步改善了有效储层的储集性(图 8);而扇三角洲平原水上分流河道沉积的砂砾岩,分选极差,粒间孔极不发育,成岩阶段溶蚀作用效果差,其主要受压作用、胶结交代作用影响,储集空间进一步变差,据统计储层物性与黏土百分含量、碳酸盐百分含量呈明显负相关性(图 9)。

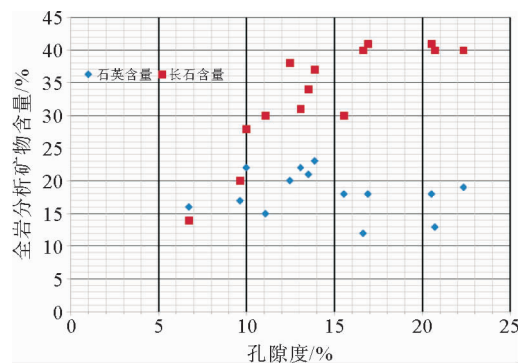


图 7 孔隙度与石英、长石百分含量关系图

Fig. 7 Porosity vs quartz, feldspar percentages diagram

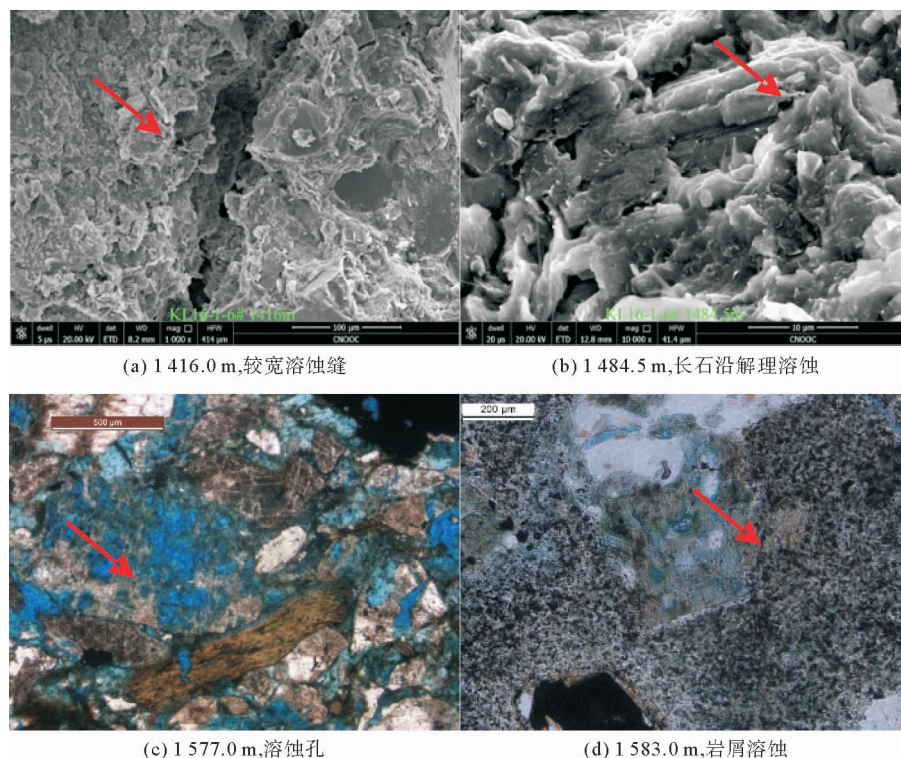


图 8 沙四段溶蚀作用孔隙特征

Fig. 8 Dissolution of pore characteristics of Sha-4 Formation

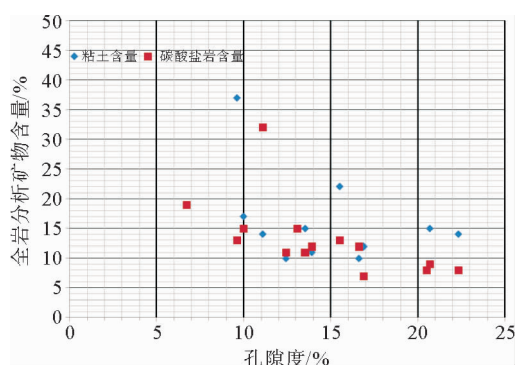


图9 孔隙度与黏土、碳酸盐百分含量关系

Fig. 9 Porosity vs clay and carbonate percentages diagram

3.3 储集空间类型

综上所述,扇三角洲平原水上分流河道微相沉积的棕褐色砂砾岩分选极差,填隙物发育,表现为杂基支撑,粒间孔极不发育,成岩阶段溶蚀作用效果差。扇三角洲前缘水下分流河道微相沉积的杂色含砾砂岩、粗砂岩分选相对变好,储集空间以粒间孔为主且发育,此外由于长石、岩屑成分含量高,易发生溶蚀作用,可见溶蚀孔、溶蚀缝发育。

4 结论

(1)KL油田沙四段厚层沉积体为陡坡、近源扇三角洲产物,具有粒度粗、分选差、悬浮总体含量大、填隙物发育等特征。

(2)原始沉积作用是控制沉积砂体形成储层的主导因素。研究区目的层段发育扇三角洲平原和前缘亚相,其中平原亚相的水上分流河道沉积产物主要为棕褐色砂砾岩,分选极差,杂基支撑,粒间孔极不发育,主要为非有效储层。前缘亚相的水下分流河道沉积产物主要为杂色含砾砂岩,具有粗砂结构,颗粒支撑,粒间孔隙较发育,为主要的有效储层。

(3)成岩作用在原始沉积基础上进一步扩大沉积砂体物性差异。由于扇三角洲前缘水下分流河道微相沉积的杂色含砾砂岩粒间孔隙发育,成岩阶段溶蚀作用效果明显,形成大量溶蚀孔、溶蚀缝,进一步改善了有效储层的储集性;而扇三角洲平原水上分流河道沉积的砂砾岩,粒间孔极不发育,成岩阶段溶蚀作用效果差,又受压作用、胶结

交代作用等影响,储集空间进一步变差,未形成有效储层。

(4)依据上述研究成果认为,莱州湾凹陷南斜坡带沙四段扇三角洲沉积砂体发育,其中的扇三角洲前缘水下分流河道沉积的厚层杂色含砾砂岩粒间孔、溶蚀孔发育,且产能落实,为该区优势储层,是今后勘探评价的重点。

参考文献:

- [1] Holmes A. Principle of physical geology[M]. London: Thomas Nelson and Sons, 1965: 288.
- [2] 张昌民,朱 锐,尹太举,等. 扇三角洲沉积学研究进展[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(3): 362-367.
- [3] 张春生,刘忠保,施 冬,等. 扇三角洲形成过程及演变规律[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 522-525.
- [4] 邹姐姐,史基安,张大权,等. 准噶尔盆地西北缘玛北地区百口泉组扇三角洲沉积模式[J]. 沉积学报, 2015, 33(3): 607-614.
- [5] 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三—四段砂砾岩体与油气聚集[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 278-282.
- [6] 陈全红,李可永,张道锋,等. 鄂尔多斯盆地本溪组—太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 421-428.
- [7] 管 红,朱筱敏. 南堡凹陷东营组层序地层格架与沉积体系[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 731-735.
- [8] 刘志飞,王成善. 西藏日喀则地区早白垩世恰布林组辫状河—扇三角洲沉积[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 6-12.
- [9] 李文厚. 塔西南拗陷侏罗系的扇三角洲沉积[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 150-153.
- [10] 史基安,何 周,丁 超,等. 准噶尔盆地西北缘克百地区二叠系沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 962-967.
- [11] 黄 雷,王应斌,武 强,等. 渤海湾盆地莱州湾凹陷新生代盆地演化[J]. 地质学报, 2012, 86(6): 867-875.
- [12] 刘志刚,杜晓峰,王清斌,等. 渤海海域旅大 21_A 构造沙四段储集层特征及控制因素[J]. 海洋石油, 2012, 32(2): 26-29.
- [13] 刘志刚,周心怀,李建平,等. 渤海海域石白坨凸起东段 36-3 构造古近系沙二段储集层特征及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 832-838.
- [14] 孟元林,李亚光,牛嘉玉,等. 渤海湾盆地北部深层碎屑岩储层孔隙度影响因素探讨[J]. 中国海上油气, 2007, 19(3): 154-156.
- [15] 张 友,侯加根,李 娜,等. 黄骅坳陷塘 34 断块古近系沙河街组一段下部储集层特征及控制因素[J]. 古地理学报, 2012, 14(3): 383-392.
- [16] 斯春松,寿建峰,王少依,等. 鄂尔多斯盆地中部上古生界砂(砾)岩储集层孔隙成因及控制因素[J]. 古地理学报,

2012,14(4):533-542.

- [17] 蒋凌志,牛嘉玉,张庆昌,等. 渤海湾盆地深部有利储层发育的主控因素[J]. 地质评论,2009,55(1):75-78.

- [18] 沈卫兵,庞雄奇,张宝收,等. 塔中地区碳酸盐岩与碎屑岩储层物性差异及主控因素[J]. 高校地质学报,2015,21(1):138-146.

SEDIMENTARY CHARACTERISTICS OF A NEAR-SOURCE STEEP SLOPE DELTA AND THEIR CONTROL OVER OIL ACCUMULATION: AN EXAMPLE FROM SHA-4 FORMATION, KL OIL FIELD IN LAIZHOU BAY DEPRESSION

HAN Jianbin, TIAN Xiaoping, XU Zhongbo, ZHANG Jun, LIANG Shihao

(Institute of Exploration and Development, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: Sedimentary characteristics of a fan delta in the 4th Member of the Shahejie Formation located on the south slope of the Laizhou Bay Depression are studied, aiming at finding out the major reservoir of the fan-delta sand of the KL Oilfield. Data of wall sample, thin slice and scanning electron microscope are used for the purpose. Reservoir controlling factors and reservoir space types are also discussed. Results suggest that the fan delta was a retrogressive one developed in a warm and dry climate, consisting of brown conglomerate, green gray tuffaceous gravel sandstone, colored gravel sandstone, and gray coarse sandstone from the bottom up, with thin layers of tuffs locally. Clastic components including quartz, feldspar and volcanic rock debris are cemented by muddy, tuffaceous, and dolomitic interstitial materials. Both the deposition and diagenesis control the formation of reservoir. Gravel sandstone and coarse sandstone deposited in the fan delta front are well sorted, and their pores are dominated by the type of intergranular, followed by dissolution pores. The diagenetic dissolution can improve the reservoir space obviously. The fan-delta plain sediments, however, are poorly sorted with less intergranular pores. The dissolution effect is not well developed under heavy compaction, instead, the accumulation space is further deteriorated. Based upon the distribution pattern of the deposits on the southern slope, it is concluded that the gravel sandstone deposited in front of the fan delta is the most effective reservoir and exploration target.

Key words: Laizhou Bay; near-source steep slope; fan delta; sandstone; controlling factor