

Analysis of Influencing Factors of Reservoir with High-Quality Volcanic Lithic Sandstone in Jiufotang Formation in Luxi Sag

Pengchao Guo

Exploration and Development Research Institute, Liaohe Co. Ltd., PetroChina, Panjin Liaoning
Email: guopc@petrochina.com.cn

Received: Mar. 18th, 2020; accepted: Apr. 21st, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

Volcanic lithic sandstone which has low maturity and poor physical property is usual stone in Liaohe peripheral basin. A deeply analysis on reservoir microscopic characteristics is meaningful for the next exploration and development. By a comprehensive application of rock thin-section identification, casting thin section analysis, SEM analysis, mercury-injection capillary pressure curve, and so on. The result showed that the reservoir is controlled by sedimentary facies; parent rock is the leading dominant factors. The parent rock of this sandstone is volcanic rock; it is very easily altered by carbonate and clay mineral, dissolved by organic acid, a great quantity of secondary pores were formed; the oil was sealed in debris micropores. The research will have reference significance to the next exploitation of other similar area of Liaohe depression.

Keywords

Luxi Sag, Jiufotang Formation, Volcanic Lithic Sandstone, Reservoir Controlling Factors

陆东凹陷九佛堂组火山岩屑砂岩储层影响因素分析

郭鹏超

中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦
Email: guopc@petrochina.com.cn

收稿日期: 2020年3月18日; 录用日期: 2020年4月21日; 发布日期: 2020年6月15日

摘要

火山岩屑砂岩是外围盆地勘探中常见的岩性, 相对于常规砂岩具有成熟度低、物性差等特点。本文采用岩石薄片鉴定、铸体薄片鉴定、扫描电镜分析、毛管压力曲线测定等手段, 深入剖析了火山岩屑砂岩的储层特征及影响因素, 认为: 沉积相控制了储油岩层的形成和分布, 母岩类型决定了成岩演化和蚀变性能。三角洲平原、前缘亚相具有常规低渗储层特征, 前三角洲亚相具有致密油储层特征; 中性火山岩的母岩类型决定了成岩演化中容易压实、碳酸盐化、溶蚀等特征; 油气以赋存于颗粒溶孔中为主。这些认识将指导辽河外围其他类似区块火山岩屑砂岩的勘探。

关键词

陆东凹陷, 九佛堂组, 火山岩屑砂岩, 储层影响因素

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

陆东凹陷是辽河外围盆地勘探较早的凹陷之一, 九佛堂组是主要油气富集层位, 其油源丰富, 周边地区物源供给充足, 构造发育, 具有形成构造及岩性油藏的良好条件[1]。近年来前人对陆东凹陷九佛堂组层序地层格架、沉积相、油藏特征, 乃至油气地球化学特征进行过系统的研究, 取得了相当丰富的研究成果, 同时也暴露出一些问题, 该区储层物性差, 有效层段薄, 完钻探井几乎每口井都见到荧光以上级别油气显示, 但获工业油流井仅 27 口[2], 储层段单井产能低, 含水高。因此, 从微观手段入手, 开展陆东凹陷九佛堂组碎屑岩岩性及储层特征研究, 对于该区微观储层的研究, 前人也有一定的涉入, 如刘太勋等对陆东凹陷库伦塔拉洼陷下白垩统储层特征进行了研究, 认为该地区储层成岩作用强, 成岩作用影响了储层储集性能[3]。王来斌等研究陆东凹陷后河地区下白垩统储层特征, 认为沉积相带和成岩作用是影响储层物性的主要因素[4]。但都没有深入剖析成岩作用强的原因, 及导致储层含油饱满、采出程度低的原因。因此, 本文从系统的微观测试分析入手, 深入剖析研究区碎屑岩储层影响因素, 以期深化对这套碎屑岩储层的认识。

2. 区域地质背景

陆东凹陷位于开鲁盆地陆家堡坳陷东北部，是开鲁盆地的一个次级负向构造单元，是在海西褶皱基础上发育起来的中生代凹陷[5]。早白垩世以断陷为主，而晚白垩世则以坳陷为主[6]。陆东凹陷基底岩性由石炭、二叠系轻变质粉砂岩、结晶灰岩组成，其上依次覆盖下白垩统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、上白垩统及新生界第三、四系等[7]。义县组期火山活动强烈，主要为一套火山岩；九佛堂组期，以沉积作用为主，火山喷发作用相对减弱，但仍然有一定的火山岩喷发，形成了一套以陆源碎屑岩为主、夹薄层状凝灰岩的岩层。构造上，陆家堡坳陷呈北东-南西向展布，其中成“东南断西北超”的断裂格局，二级构造带主要由交力格洼陷、三十方地洼陷和中央构造带等组成，见图1。凹陷东南部边界大断层控制了沉积中心的分布和沉积的展布，由于边界断层活动，凹陷南侧发育扇三角洲、近岸水下扇体沉积，或局部形成浊积扇[8]。

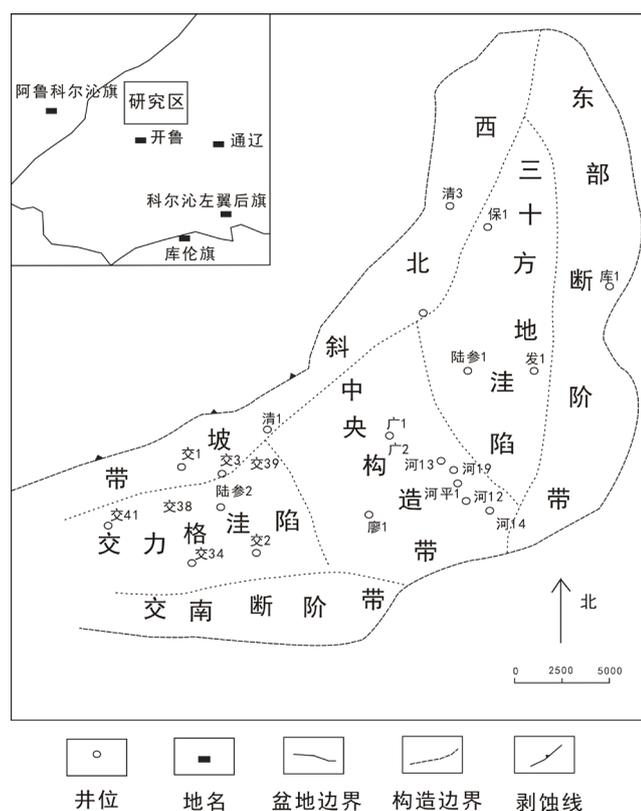


Figure 1. The structural map of lower cretaceous of Ludong sag
图1. 陆东凹陷下白垩统构造图

3. 岩石学特征

根据岩心观察、岩石薄片分析表明，陆东凹陷九佛堂组碎屑岩储层主要以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主，碎屑以中性火山岩岩屑、长石为主，极少量石英；火山岩岩屑以安山岩为主，次为闪长岩，少量流纹岩、花岗斑岩、花岗岩等；填隙物成分以碳酸盐为主，次为泥质；碎屑颗粒分选中等-差，粒度变化较大，有粗砂岩、中砂岩、细砂岩、不等粒砂岩、砂质砾岩、粉砂岩等，碎屑形态多为次圆-次棱角状，颗粒间多为点-线接触，胶结类型为孔隙式，反映短距离搬运、快速沉积的特征。不同粒度火山岩屑砂岩成分有明显变化，碎屑粒径由大到小，碳酸盐及粘土增多，交代作用变强，见图2。



Figure 2. The lithologic features of different kinds of sandstone. (a) Medium grained feldspathic lithic sandstone, some debris was replaced by dolomite, h19, 1847.88 m, micro photo, perpendicular polarized light 100 \times ; (b) Fine grained feldspathic lithic sandstone, some debris and interstitial material were replaced by dolomite, hep1, 1633.11 m, micro photo, perpendicular polarized light 50 \times ; (c) Dolomited fine-siltstone, the debris and interstitial material were strongly replaced by dolomite, 1631.1 m, micro photo, perpendicular polarized light 100 \times

图 2. 不同类型砂岩岩性特征。(a) 中粒长石岩屑砂岩, 白云石交代碎屑, h19, 1847.88 m, 微观照片, 正交偏光 100 \times ; (b) 细粒长石岩屑砂岩, 白云岩交代碎屑及粒间填隙物, hep1, 1633.11 m, 微观照片, 正交偏光 50 \times ; (c) 白云岩化极细 - 粉砂岩, 白云石交代碎屑及填隙物强烈, 1631.1 m, 微观照片, 正交偏光 100 \times

4. 储层特征

4.1. 储集空间类型

通过岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜等分析, 研究区火山岩屑砂岩储集空间类型主要为粒间溶孔、岩屑溶孔、长石溶孔为主, 原生粒间孔较少, 少量微裂缝, 见图 3。由于火山岩屑砂岩中性岩屑含量高, 其塑形强, 易被压实, 原生孔隙保留差。中性岩屑包括安山岩屑、闪长玢岩等, 不稳定组分多, 在粒间溶蚀形成不规则孔隙, 粒内形成蜂窝状溶蚀微孔, 个别溶蚀扩大形成铸模孔。微裂缝在部分井中也有发育, 微裂缝可以改善储层的物性, 见图 3。

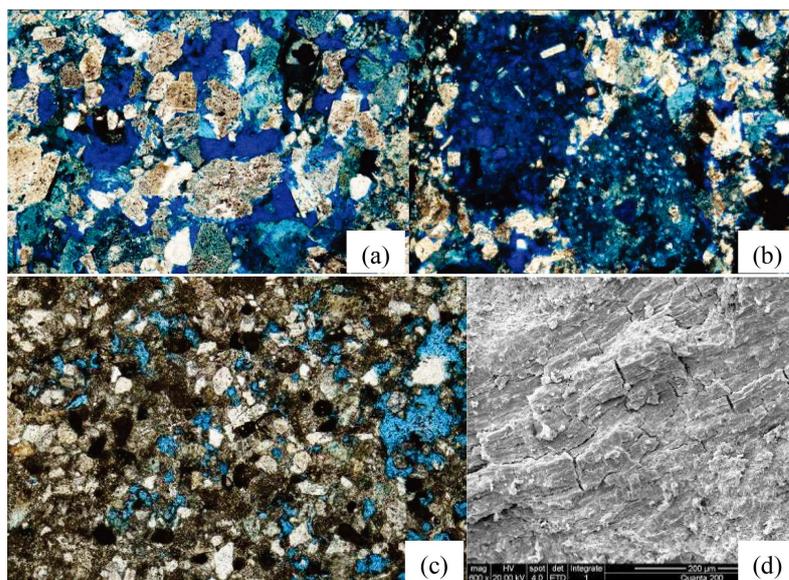
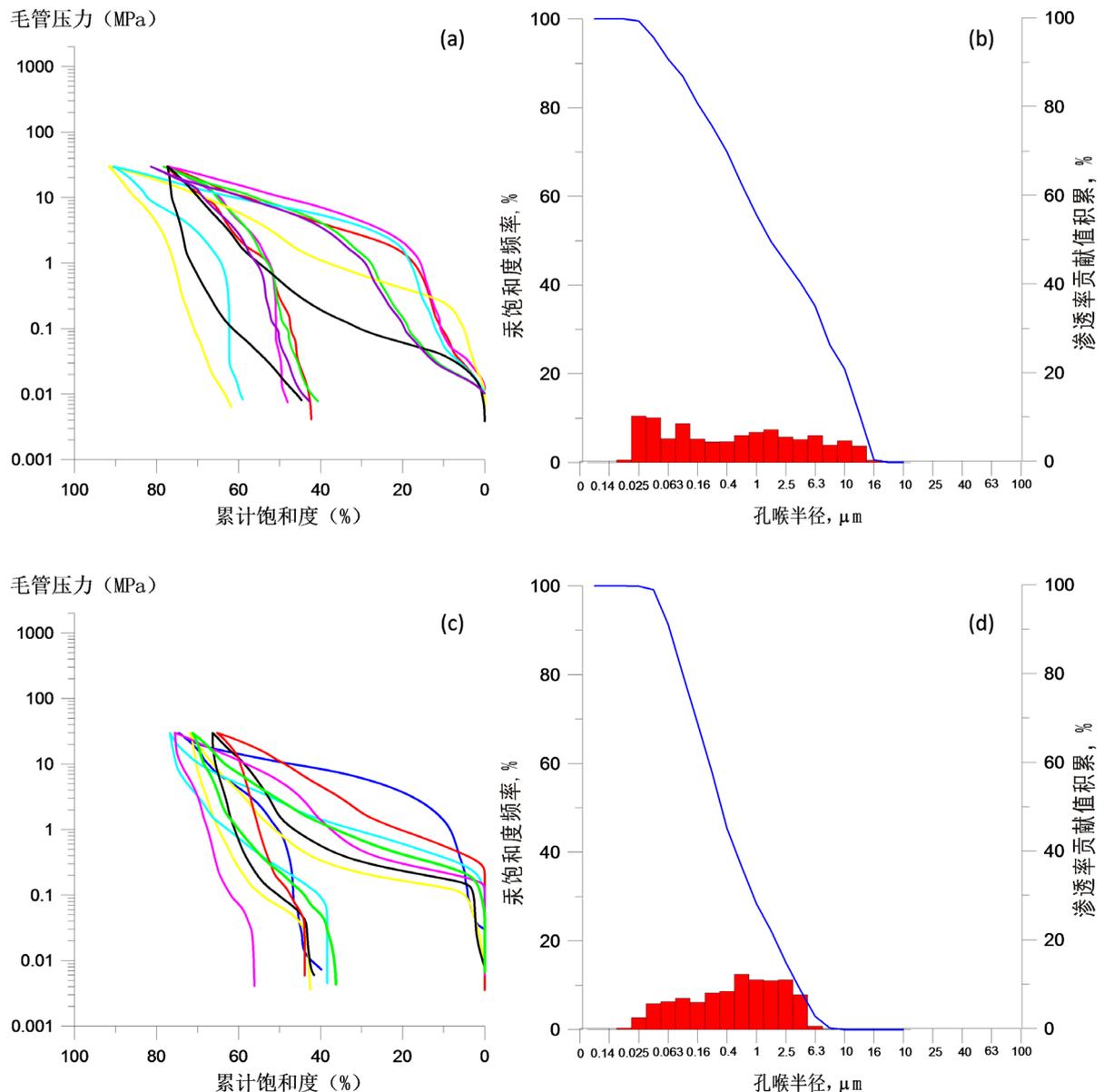


Figure 3. Reservoir space type. (a) Intergranular dissolution pore, mold opening, feldspar solution pore, detritus solution pore, hep1, 1864.47 m, micro photo, plane polarized light 50 \times ; (b) Intragranular dissolved pore, hep1, 2003.15 m, micro photo, plane polarized light 50 \times ; (c) Feldspar solution pore, intergranular dissolution pore, h21, 2631.3 m, micro photo, plane polarized light 50 \times ; (d) Hairlike crack, he11, 1051.05 m, 600 times amplification

图 3. 储集空间类型。(a) 粒间溶孔、铸模孔、长石溶孔、岩屑溶孔, hep1, 1864.47 m, 微观, 单偏光 50 \times ; (b) 粒内溶孔, hep1, 2003.15 m, 微观, 单偏光 50 \times ; (c) 长石溶孔, 粒间溶孔, h21, 2631.3 m, 微观, 单偏光 50 \times ; (d) 微缝, he11, 1051.05 m, 放大 600 倍

4.2. 孔隙结构特征

通过铸体图像及毛管压力等分析显示, 该套火山岩屑砂岩与常规砂岩不同, 最大进汞饱和度可以很大, 最大甚至超过 90 MPa, 但退汞效率很少超过 50%, 这是由于本区火山岩屑含量高, 孔隙为不规则溶孔, 喉道细小为主, 所以退汞效率普遍偏低。其孔隙结构可以分为中-细喉道不均匀型、细喉道不均匀型、微细喉道不均匀型, 见图 4。中-细喉道不均匀型岩性主要为粗砂岩、中砂岩, 少量细砂岩; 最大汞饱和度一般介于 70%~90%之间, 退汞效率一般在 40%~50%之间; 孔喉半径一般介于 $0.063\ \mu\text{m}$ ~ $15\ \mu\text{m}$ 之间, 均质系数一般在小于 0.25。细喉道不均匀型岩性主要为细砂岩、不等粒砂岩、极细砂岩等; 最大汞饱和度一般介于 50%~70%之间, 退汞效率一般在 35%~45%之间; 孔喉半径一般介于 $0.025\ \mu\text{m}$ ~ $6.3\ \mu\text{m}$ 之间, 均质系数小于 0.25。微细喉道不均匀型岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩等; 最大汞饱和度一般小于 50%, 退汞效率小于 40%; 孔喉半径小于 $1\ \mu\text{m}$, 均质系数小于 0.25。



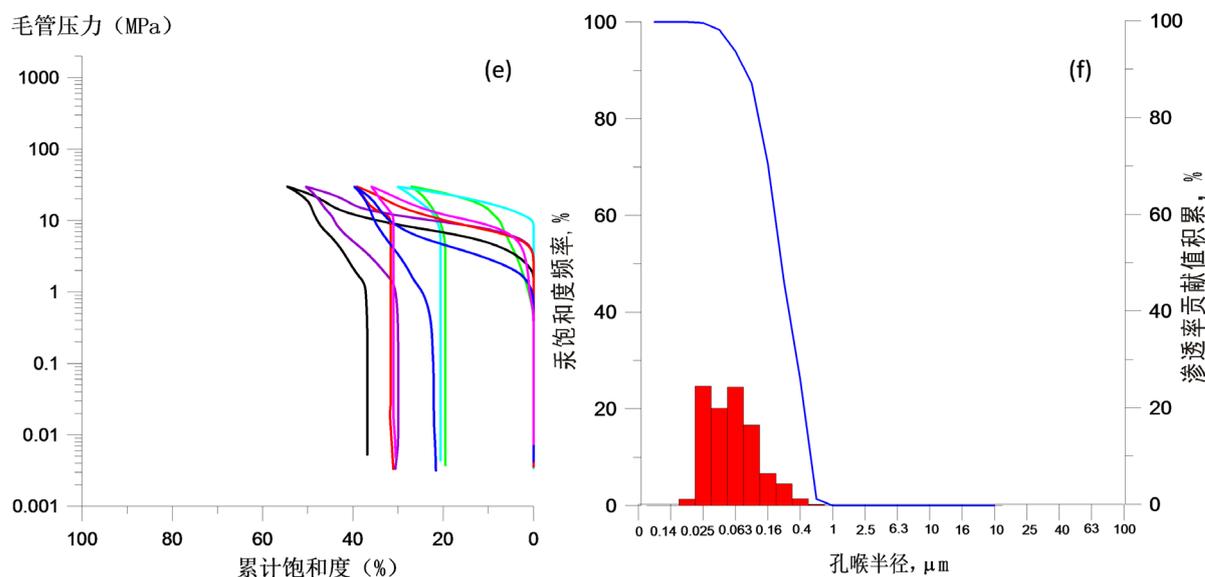


Figure 4. The mercury saturation curve and pore throat radius distribution. (a), (c), (e) Capillary pressure and characteristics of cumulative saturation curve; (b), (d), (f) Pore throat radius distribution; (a), (b) Differential fine-medium pore throat; (c), (d) Differential fine pore throat; (e), (f) Differential micro-fine pore throat

图 4. 汞饱和度曲线及孔喉半径分布特征。(a)、(c)、(e) 毛管压力与累计饱和度曲线特征, (b)、(d)、(f) 孔喉半径分布特征; (a)、(b) 细-中喉道不均匀型, (c)、(d) 细喉道不均匀型, (e)、(f) 微细喉道不均匀型

4.3. 物性特征

该套火山岩屑砂岩属于中-低孔、超低渗储层, 少量低渗、中渗储层, 孔隙度多集中在 10%~25% 之间, 渗透率一般小于 1 mD, 见表 1。分选较好的粗、中砂岩溶孔、粒间孔发育, 碳酸盐含量低, 孔隙度可达到 15%~25% 之间, 渗透率可达到 50 mD~500 mD 之间; 细砂岩次之, 孔隙度多集中在 10%~15% 之间、次为 15%~25% 之间, 渗透率以小于 1 mD 为主, 部分可达到 1 mD~10 mD 之间, 少量大于 10 mD; 不等粒砂岩孔隙度多集中在 10%~15% 之间, 渗透率以小于 1 mD 为主, 部分可达到 1 mD~10 mD 之间; 粉砂岩孔隙度多集中在 10%~15% 之间, 渗透率均小于 1 mD。

5. 储层控制因素

影响储层发育的因素主要有构造作用、沉积作用、成岩作用及母岩类型等[9]。构造作用对该套火山岩屑砂岩储层影响较小, 本区主要是受沉积作用及母岩类型的影响, 沉积作用决定了储层的类型, 母岩类型决定了后期的成岩演化和储集性能。

5.1. 构造作用

陆家堡的前期勘探以寻找构造油气藏为主, 在包日温都断裂构造带及马家铺高垒带等发现了一系列构造油藏[10], 凹陷以近物源、多物源沉积为主, 沉积条件决定了各凹陷储集层物性普遍较差, 多方向的物源交汇, 形成砂泥交替沉积, 油气以短距离运移为主, 因此, 随后形成了“下洼找油气”理论[11], 在陆东交力格洼陷和陆西五十家子庙洼陷部署的探井, 均取得了较好的效果, 说明在生油岩发育的洼陷地区也可形成油藏[12]。

5.2. 沉积作用

陆东凹陷九佛堂期, 发育的沉积相类型有近岸水下扇、扇三角洲、辫状河三角洲、浊积扇、湖泊相

[13]。由于陡坡带边界断裂强烈活动，盆地快速下降，可容空间增大，在初期下降盘发育大量的近岸水下扇沉积和扇三角洲沉积，局部发育浊积体，这三种沉积体也是陆东凹陷储层砂体发育的主要场所。油气主要在砂体中富集，扇三角洲前缘砂体、近岸水下扇中扇河道砂体及外扇内缘砂体处于高能环境，分选相对较好，物性较好；三角洲前缘远端粉砂，由于其紧邻生油岩，有机质生烃产生有机酸溶蚀，长石溶孔发育，但孔隙连通性差。因此，寻找有利的沉积相带也是十分重要的。

Table 1. Pore structure and physical property

表 1. 孔隙结构及物性特征

井号	井深(m)	火山岩屑含量	孔隙度(m)	渗透率(mD)	毛管压力曲线			孔喉分布特征		
					排驱压力(MPa)	最大汞饱和度(MPa)	退汞效率(%)	最大孔喉半径(μm)	平均孔喉半径(μm)	均质系数
he8	1531.27	56%	10.3	<1	0.013	89.58	39.44	57.732	4.132	0.071
	1951	52%	10.8	<1	0.015	79.6	46.73	49.429	6.915	0.139
	1958.7	51%	17.5	6.86	0.153	75.52	25.45	4.82	1.292	0.272
he19	1631.48	47%	7.7	<1	0.014	73.31	39.18	54.481	6.583	0.122
	1766.44	48%	12.4	<1	1.982	68.26	26.47	0.371	0.044	0.117
	1767.16	57%	11.3	<1	1.502	63.12	13.64	0.49	0.094	0.185
	1774.33	54%	10.7	<1	0.33	66.04	31.06	2.228	0.279	0.123
hep1	1863.27	46%	20.5	10.4	0.003	78.49	22.11	220.871	8.384	0.04
	1864.03	44%	22.4	73.1	0.011	84.61	33.07	67.913	1.244	0.018
	1865.69	47%	21.8	126	0.013	91.59	30.81	56.79	2.088	0.039
	1866.42	40%	20.7	212	0.013	89.65	34.40	56.102	3.286	0.059
jiao38	1838.8	48%	7.7	<1	0.009	64.61	12.47	82.64	13.66	0.197
	1839.1	52%	12.1	<1	0.009	71.93	37.97	86.124	6.742	0.083

5.3. 母岩类型

通过岩矿综合分析，该区九佛堂组碎屑岩母岩是以中生界中性岩屑为主，少量酸性喷出岩、及少量古生界浅变质岩等。这种特殊的岩性决定了在后期的成岩过程中极易被改造，易于被压实、蚀变泥化、碳酸盐化，溶蚀等，这些作用决定了该套储层储集性能及油气的赋存状态。

中酸性岩屑是一种半塑性 - 塑性岩屑，成岩过程中，在上覆压力下极易被压缩变形，使得颗粒排列方式趋向于更紧密，原生孔隙发育差。但由于其不稳定组分含量多，易于溶蚀，碎屑上蜂窝状溶孔发育，在分选较好的细、中、粗砂岩中，油气多分布在颗粒溶孔中，喉道细小，油气需要慢慢渗透；粉砂岩属于致密储层，孔隙连通性差，碳酸盐交代强烈，油气分布不均匀，见图 5。由于岩石发育微孔隙，束缚水含量高，含油不饱满，所以采油过程中，含水高。因此，对于这种岩性储层特征，应采用焖井的方式，提高单井产能。

6. 结论

1) 陆东碎屑岩储层为火山岩屑含量高的砂岩，沉积相控制了储油岩层的形成和分布，母岩类型决定了成岩演化和蚀变性能。

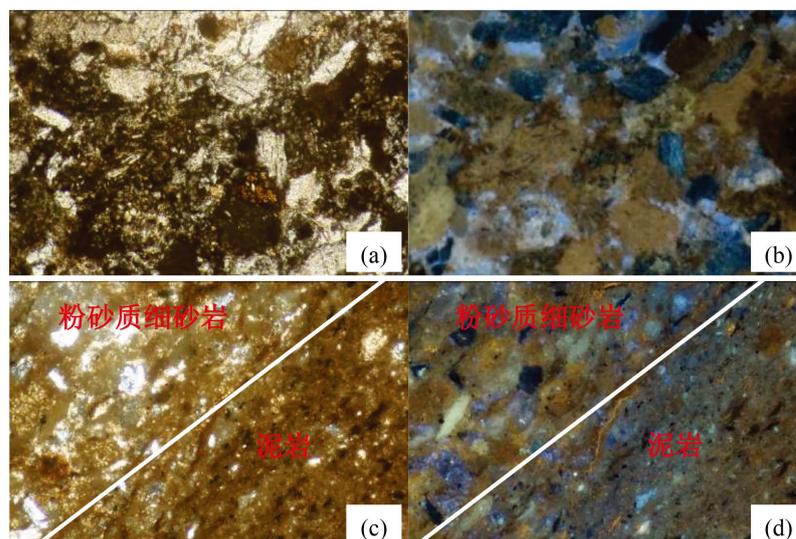


Figure 5. The characteristics of hydrocarbon occurrence. (a) Fine throat, medium grained detritus feldspar sandstone, hep1, 1864.72 m, micro photo, plane polarized light 50 \times ; (b) Hydrocarbon occurrence in detritus micro pore, hep1, 1864.72 m, fluorescence 100 \times ; (c) Bedding structure, marl layer and sandstone layer, he21, 1632.5 m, plane polarized light 100 \times ; (d) The oil generated from mudstone migrated to fine grained sandstone, he21, 1632.5 m, fluorescence 100 \times

图 5. 油气赋存特征。(a) 喉道细小, 中粒岩屑长石砂岩, hep1, 1864.72 m, 微观, 单偏光 50 \times ; (b) 油气赋存在岩屑微孔中为主, hep1, 1864.72 m, 荧光 100 \times ; (c) 层理构造, 泥岩层与砂岩层, he21, 1632.5 m, 单偏光 100 \times ; (d) 泥岩层中生成的油向粉砂质细砂岩运移, he21, 1632.5 m, 荧光 100 \times

2) 三角洲平原、前缘亚相具有常规低渗储层特征, 前三角洲亚相具有致密油储层特征。

3) 中性火山岩母岩控制了砂岩成岩演化、后生蚀变及储集性能。由于中性岩屑塑性强, 易被压实, 原生孔隙发育差; 但其不稳定矿物含量高, 产生大量蜂窝状颗粒溶蚀孔隙, 为油气聚集提供充足空间。

4) 油气以赋存于颗粒溶孔中为主, 同时由于岩石发育溶蚀微孔隙, 束缚水含量高, 含油不饱满, 采油过程中含水高。因此, 建议采用焖井的方式, 提高单井产能。

基金项目

项目来源: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项; 名称: 辽河油田千万吨稳产关键技术研究与应用; 编号: 2017E-1601。

参考文献

- [1] 冯国忠, 胡凯, 张巨兴. 内蒙古开鲁盆地陆东凹陷低熟石油地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 454-460.
- [2] 王延山, 董崑昊, 陈乃申, 等. 陆东凹陷致密油形成条件及资源潜力探讨[J]. 特种油气藏, 2014, 21(4): 53-57.
- [3] 刘太勋, 徐怀民, 尹志军, 等. 陆东凹陷库伦塔拉洼陷下白垩统储层特征[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(6): 13-15.
- [4] 王来斌, 刘太勋, 徐怀民, 等. 陆东凹陷后河地区下白垩统储层特征研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2004, 24(1): 7-11.
- [5] 孙利, 李三国, 李中超, 等. 陆家堡凹陷西部地区九佛堂组层序地层格架与分布特征[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(1): 40-43.
- [6] 雷安贵, 王贵迎, 方炳忠. 陆家堡凹陷油藏分布规律探讨[J]. 特种油气藏, 2007, 14(2): 33-36.
- [7] 刘明洁, 谢庆宾, 刘震, 等. 内蒙古开鲁盆地陆东凹陷下白垩统九佛堂组 - 沙海组层序地层格架及沉积相预测[J]. 古地理学报, 2012, 14(6): 733-746.

- [8] 吴亚生, 钟大康, 邱楠生. 松南地区下白垩统九佛堂组沉积相特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(10): 30-33.
- [9] 冉怀江. 苏北海安凹陷阜三段优质储层控制因素分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2014, 29(3): 43-48.
- [10] 孙超, 朱筱敏, 咎国军, 等. 陆西凹陷九佛堂组砂体成因类型及储集性能[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 569-575.
- [11] 殷敬红, 雷安贵, 方炳忠, 等. 辽河外围中生代盆地“下洼找油气”理念[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 6-10.
- [12] 李晓光, 高险峰, 李玉金, 等. 辽河探区油气勘探潜力与前景[J]. 特种油气藏, 2011, 18(5): 1-5.
- [13] 朱筱敏, 王贵文, 李滨阳, 等. 开鲁盆地陆西凹陷下白垩统层序地层学和油气评价[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 531-536.