

The Research about Heterogeneity of Reservoir Rich in Volcanic Material of the First Member of Nantun Formation in Beizhong Area, Hailar Basin

Miaomiao Xu, Yi Gan, Yaning Wang*, Ganlu Li, Yuchen Ma

College of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei
Email: *1094457533@qq.com

Received: Apr. 4th, 2017; accepted: Apr. 26th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

According to core observation, thin sections identification and logging data, this paper analyzes the reservoir heterogeneity in the first member of Nantun Formation in Beier Sag. The reservoir heterogeneity has been investigated on the macro and micro, and the results show that the reservoir has strong heterogeneity. In K_1n_1 , the heterogeneity of IV oil group is the strongest while the other oil groups are medium. Macroscopically, each small layer sand body in plane distribution is extremely uneven. On the one hand, the reservoir parameters showed rhythmic variation in the vertical direction, and the average thickness of sandstone decreases from top to bottom. On the other hand, the interlayer development and distribution of these layers are very different. Furthermore, the thickness of the sand is uneven, and the porosity and permeability change greatly, showing strong plane heterogeneity. Microscopically, the porosity of reservoir is mainly secondary dissolution pore, and the micro pore structure is mainly ultra-low permeability. The reservoir performance of the IV oil group is higher than that of the I to III. Sedimentation and volcanism are the main controlling factors for the formation of heterogeneity.

Keywords

Hailar Basin, The First Member of Nantun Formation, Heterogeneity

海拉尔盆地贝中地区南一段富含火山物质储层非均质性研究

徐苗苗, 甘逸, 王雅宁*, 李甘璐, 马雨晨

*通讯作者。

文章引用: 徐苗苗, 甘逸, 王雅宁, 李甘璐, 马雨晨. 海拉尔盆地贝中地区南一段富含火山物质储层非均质性研究[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(2): 181-189. <https://doi.org/10.12677/ag.2017.72020>

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉
Email: 1094457533@qq.com

收稿日期: 2017年4月4日; 录用日期: 2017年4月26日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

本文根据岩心观察、薄片鉴定、测井资料等, 分析了海拉尔盆地贝中地区南一段富含火山物质储层非均质性, 并对储层宏观非均质性和微观非均质性分别展开研究。结果表明, 贝中地区南一段储层整体非均质性较强, 其中南一段I~III油组非均质性中等, IV油组非均质性最强。宏观上, 南一段各小层内砂体在平面上分布极为不均, 储层参数在纵向上呈韵律性变化, 自下而上单层平均砂厚有变薄的趋势, 隔层发育及其分布具有较强的差异性, 且南一段砂岩在平面上砂厚分布不均, 孔、渗变化较大, 具有较强的平面非均质性。微观上, 南一段储层孔隙以次生溶孔为主, 微观孔隙结构主要为超低渗, IV油组的储集性能优于I~III油组。沉积作用和火山活动是形成非均质性的主要控制因素。

关键词

海拉尔盆地, 南一段, 非均质性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

海拉尔盆地贝中地区具有良好的开发前景, 主要产油层位为南一段(K_1n_1)。该地区储层中的沉积碎屑物质富含火山碎屑物, 地层岩性以长石岩屑砂岩, 岩屑砂岩, 凝灰质砂岩为主。由于构造作用、沉积作用、成岩作用及火山活动强度等多种因素的影响, 造成其储层在空间分布上以及内部属性上都存在不均匀的变化, 而这些变化是影响地下油、气、水运动及油气采收率的主要因素。针对该地区储层特征和沉积环境, 樊晓东等(2015)对海拉尔盆地贝中油田南一段进行了沉积微相分析研究并建立了相识别标志[1]; 刘佩佩(2013)分析了贝尔凹陷南一段次生孔隙发育特征, 指出该储层纵向上存在两个异常高孔隙带, 储层孔隙度主要受储层岩石类型、沉积相和成岩作用控制[2]; 但对于该地区富含火山物质储层非均质性的相关研究相对较少。本文通过钻井岩心观察, 薄片分析, 压汞数据资料等, 对该地区富含火山物质储层的宏观非均质性和微观非均质性进行了研究分析, 以期促进该特殊类型储层的勘探开发。

2. 地质概况

贝中次凹地区位于海拉尔盆地贝尔凹陷东南部, 北部为苏德尔特构造带, 东部为步勒洪布斯隆起带, 面积约 460 km²。局部构造发育, 划分为东部断阶带、中部洼槽带、西部断阶带和北部斜坡带, 整体上是—个北东向展布的地堑。从上至下钻遇的地层依次为第四系、第三系、白垩系青元岗组、伊敏组、大磨拐河组、南屯组、铜钵庙组和侏罗系布达特群[3]。

研究区南一段(K_1n_1)是主要含油层位, 按照沉积旋回规律, 南一段自下而上可划分为 I、II、III、IV 四个油组($K_1n_1^{1-4}$)。根据油层组内的旋回变化特征, 将 I 油组($K_1n_1^1$)划分为 4 个小层(N11-1 小层至 N11-4

小层), II 油组($K_1n_1^2$)划分为 5 个小层(N12-1 小层至 N12-5 小层), III 油组($K_1n_1^3$)划分为 6 个小层(N13-1 小层至 N13-6 小层), IV 油组($K_1n_1^4$)划分为 16 个小层(N14-1 小层至 N14-16 小层)。I 油组~III 油组沉积期间研究区仍处强烈断陷期, 主要为一套滨浅湖滩坝沉积砂岩, 具有一定的非均质性; IV 油组沉积期间, 研究区处于构造相对稳定期, 坡度较平缓, 主要形成广泛的扇三角洲沉积, 但是火山活动在此期间最为强烈, 凝灰质沉积物对储集空间的破坏作用最强, 导致该层位岩石物性差异显著, 非均质性明显更强。在沉积作用和火山活动的双重作用下, 南一段储层发育为一套碎屑岩储集层, 且普遍含有凝灰质不等粒砂岩, 含泥凝灰质细粒长石岩屑砂岩, 凝灰质细砂岩和含泥凝灰质细砂岩[4]。

3. 储层宏观非均质性特征

根据邱泽楠的储层非均质性分类标准, 储层宏观非均质性包括层内非均质性、层间非均质性和平面非均质性[5]。

3.1. 储层层内非均质性

层内非均质性是指单砂层层内垂向上渗透率、粒度、层理构造等的不均匀性和差异, 主要包括层内垂向上渗透率非均质程度、高渗透率段所处的位置、层内粒度韵律类型、层理构造等, 主要受沉积作用控制, 可以通过相关参数计算来定量表征储层层内非均质性。

3.1.1. 物性韵律

解剖分析取心井的岩性、电性、物性等参数, 确定研究区储层各项参数具有正韵律、反韵律、均质韵律和复合韵律等特征。根据沉积相研究, 研究区以扇三角洲前缘亚相为主, 对应不同的微相类型形成不同的韵律变化特征。

对于水下分流河道微相, 岩性向上变细, 为正韵律粒序, 最高渗透率段处于底部, 渗透率向上减小, 如希 46-56 井 2810~2818 米处于水下分流河道沉积。河口坝、远砂坝微相为反韵律沉积, 对应的最高渗透率段处于顶部, 如 X47-47 井 2640~2642 米段为典型的河口坝, 渗透率自下往上至最高渗透率段。在沉积环境的控制下, 水进水退的交替出现, 以及分流水道的变迁叠置, 使得研究区复合韵律、正韵律和反韵律较为发育, 导致层内粒度和渗透率出现不同程度上的非均质性。

3.1.2. 层内渗透率非均质性评价

表征渗透率非均质程度的定量参数有渗透率变异系数(V_k)、渗透率突进系数(T_k)、渗透率极差(J_k)、渗透率均质系数(K_p) [6]。

参照评价标准, 选取南屯组 N11-3、N14-4 小层为例分析评价储层层内渗透率非均质特征。

N11-3 小层渗透率变异系数(V_k)平均值为 0.5447, 大于 0.7 的样品数占 25.9%; 突进系数(T_k)大于 3.0 的样品数占 11.5%; 级差系数平均为 137.85, 大于 6.0 的样品数仅占 33.8%; 均质系数小于 0.5 的样品数也只占 32.4%; 反映该小层整体非均质性弱。

N14-4 小层渗透率变异系数(V_k)平均值为 1.54, 大于 0.7 的样品数占 92.3%; 突进系数(T_k)平均值约为 7.79, 大于 3.0 的样品数占 88.7%; 级差最大值超过 1000, 大于 6.0 的样品数约占 97.5%; 均质系数小于 0.5 的样品数占到 96.9%; 反映该小层整体非均质程度非常强。

在南一段 I 油组~III 油组沉积期间, 研究区沉积较南二段有所减弱, 但处于强烈断陷期, 主要以滨浅湖滩坝沉积为主。N11-3 小层内滩砂、坝砂较为发育, 其储层非均质性主要是由于滩坝分布范围有限, 相较于周围环境物性存在一定差异。N11-3 小层具有中等强度的水动力, 水体相对稳定, 沉积物经过一定分选, 非均质性相对较弱。至南一段 IV 油组沉积期间, 研究区处于构造相对稳定期, 坡度较平缓, 主

要形成广泛的扇三角洲沉积。N14-4 小层以扇三角洲前缘沉积为主，储层物性较 N11-3 小层相对更好，但是火山活动在该期间最为强烈，凝灰质沉积物对储集空间的破坏作用最强，因此导致 N14-4 小层物性优劣差异显著，非均质性明显更强。

综合上述分析，南一段 I~III 油组层内非均质性中等，IV 油组层内非均质性最强。沉积作用和火山活动是形成非均质性显著差异的主要控制影响因素。

3.2. 储层层间非均质性

层间非均质性研究的对象是多套地层单元，是对一套砂泥岩间互的含油油组的总体研究，属油组规模的储层描述，包括各种沉积环境的砂体在剖面上交互出现的规律性，以及作为隔层的泥质岩类的发育和分布规律，即砂体的层间差异。

3.2.1. 储层参数纵向变化

南一段油组各小层储层参数在纵向上变化不仅反映出物性差异，而且说明不同小层间的层间非均质性差异。以希 3 区块内的希 47-47 井为例，该井在南一段 IV 油组内各小层砂体较发育(图 1)，纵向上储层参数呈现出韵律性变化，储层非均质性也相应表现出差异。其中，N14-3 小层变异系数平均为 0.4，非均质性较弱，而 N14-2 小层变异系数为 0.6，非均质性中等，N14-5 小层变异系数就达到了 0.9，非均质性明显高于其它小层，非均质程度相较最强。

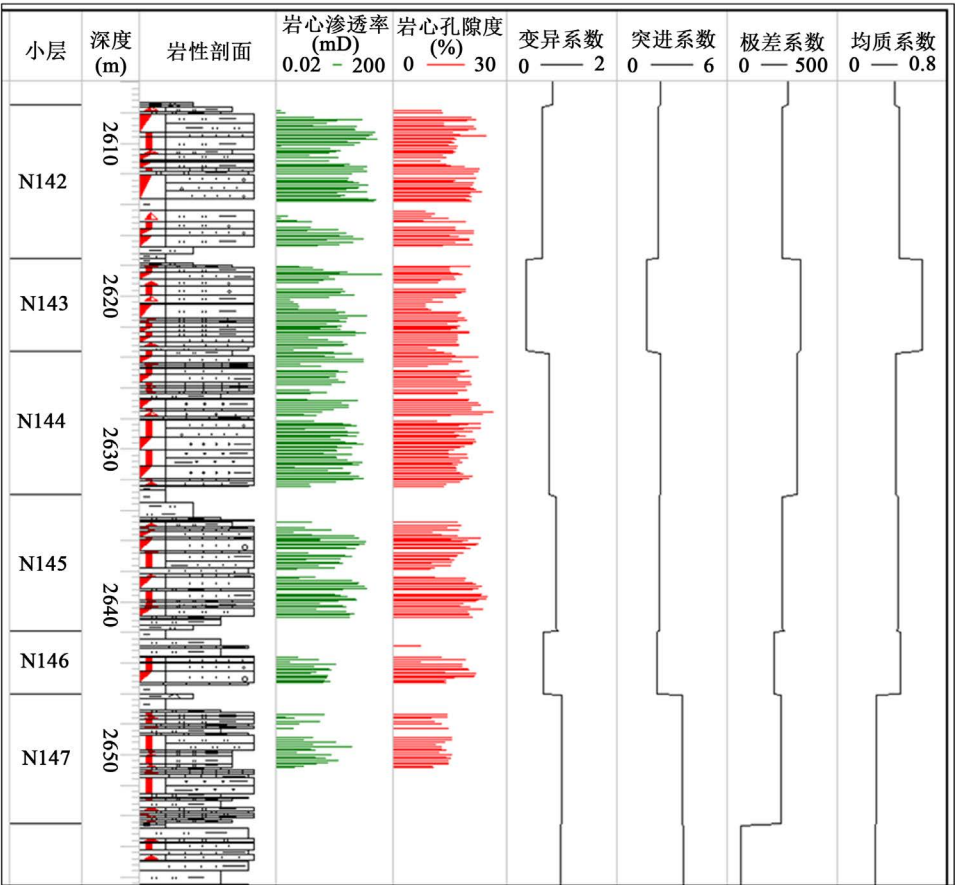


Figure 1. Vertical distribution of reservoir parameters in each layer of N14 oil formation in Xi 47-47 well
图 1. 希 47-47 井 IV 油组各小层储层参数纵向分布图

3.2.2. 砂层的发育与分布

采用分层系数、砂岩密度、每百米砂岩层数及单层平均砂岩厚度描述这种层间非均质性。整体上，南一段各油组每百米砂岩层数自 I 油组至 IV 油组减小；I 油组分层系数最大，为 2.9，II 油组分层系数为 1.26，I、II、IV 油组分层系数均在 2.2 到 2.9 之间；I、II 油组砂岩密度分别为 18.96 和 2.46，III、IV 油组砂岩密度较大，分别为 63.16 和 67.88。很显然，南一段 IV 油组砂体最为发育，研究区砂体在平面展布上极为不均，存在极大的差异。

南一段各小层的单层平均砂厚大值主要集中在 III 油组与 IV 油组，这与地层发育程度、沉积的环境、沉积的旋回性相一致。在沉积过程中，南一段底部由于剥蚀严重，地层发育程度低，其单层平均砂厚较薄。随着南一段湖平面的逐渐上升，剥蚀程度较低的小层单层平均砂厚呈现变薄的趋势。

3.2.3. 隔层分布特征研究

根据电测曲线统计，各井均有隔层分布，平面上隔层的分布不均匀，且隔层厚度在空间上的变化较大(表 1)。分析表明，贝尔油田南一段油组间的隔层厚度变化非常大，在 0.5~40 米之间分布，平均分布在 0.5~10 米之间，如 III 油组和 IV 油组间 40.6% 的隔层厚度小于 1 米，51.6% 层厚度在 1~10 米间，说明南一段的隔层发育及其分布存在较强的差异性。

3.3. 储层平面非均质性

平面非均质性是指一个储层砂体的几何形态、规模、连续性，以及砂体内孔隙度、渗透率的平面变化所引起的非均质性。

3.3.1. 砂岩平面分布

以希 2 区块为例，南二段和南一段沉积时期都有砂体发育。其中，南一段东部 N14-4 小层以希 16-68 井附近砂体最为发育，最大砂厚为 15 m；南一段 N14-3 小层砂体发育情况一般，主要集中在希 26-66 井附近和希 16 井东南面区域，最大砂厚为 9 m。南一段砂体形态呈现大面积块状带与多条宽度不等的弯曲条带叠合。

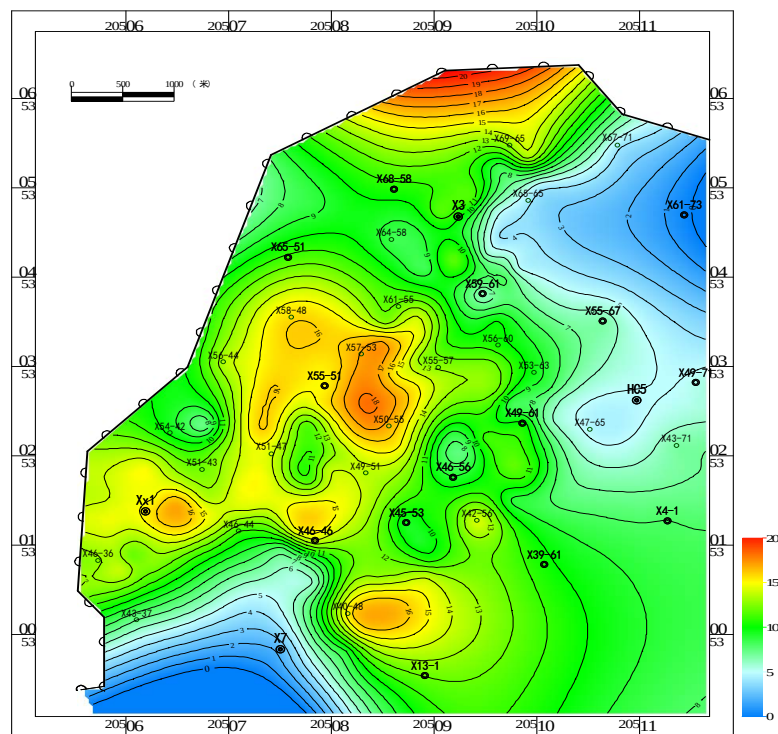
3.3.2. 孔渗平面分布

根据测井解释结果及南屯组各井的砂层物性统计，绘制了希 3 区块 N14-2 小层孔隙度和渗透率的等值线图(图 2)。

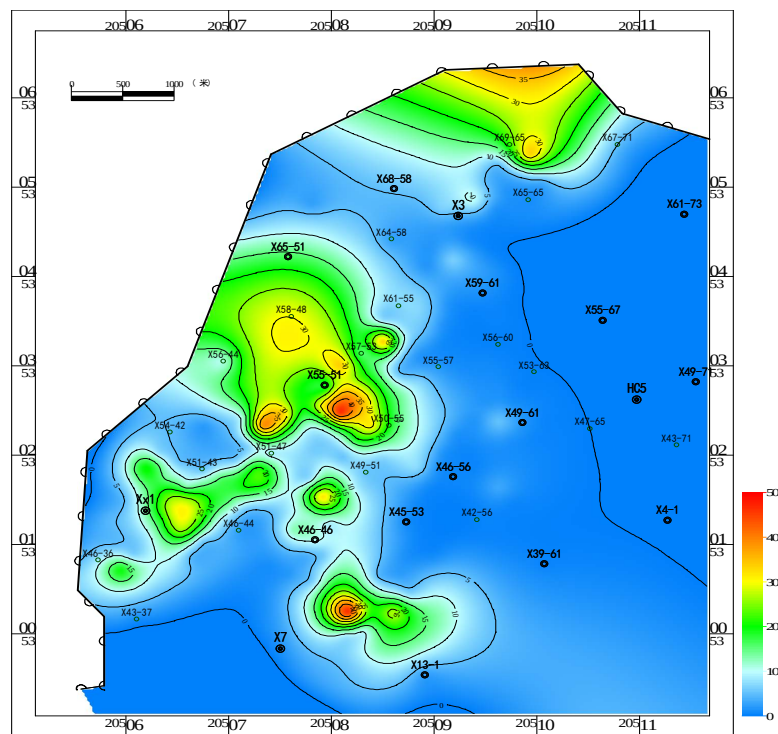
Table 1. System resulting data of standard experiment

表 1. 贝尔油田各油组间隔层统计表

隔层	厚度(m)	<1	1~5	5~10	10~15	15~20	25~30	>30
K ₁ n ₂ ⁴ /K ₁ n ₁ ¹ (样品总数: 262)	样品个数	137	20	37	18	7	4	39
	样品比例%	52.3	7.6	14.1	6.9	2.7	1.5	14.9
K ₁ n ₁ ³ /K ₁ n ₁ ⁴ (样品总数: 308)	样品个数	125	85	74	23	1		
	样品比例%	40.6	27.6	24.0	7.5	0.3		
N14-5/N14-6 (样品总数: 290)	样品个数	282	8					
	样品比例%	97.2	2.8					
K ₁ n ₁ ⁴ /K ₁ t (样品总数: 226)	样品个数	151	22	16	14	8	12	3
	样品比例%	66.8	9.7	7.1	6.2	3.5	5.3	1.3



(a) 希 3 区块 N14-2 小层孔隙度等值线



(b) 希 3 区块 N14-2 小层渗透率等值线

Figure 2. Porosity and permeability isoline of N14-2 layer in Xi 3 block. (a) Porosity isoline of N14-2 layer in Xi 3 block; (b) permeability isoline of N14-2 layer in Xi 3 block

图 2. 希 3 区块 N14-2 孔隙度和渗透率等值线。(a) 希 3 区块 N14-2 小层孔隙度等值线; (b) 希 3 区块 N14-2 小层渗透率等值线

从储层物性分布图可看出,南一段IV油组物性较好,孔、渗在平面上的分布与砂体的展布有一定的对应关系,即砂层厚度大的区域孔隙度、渗透率相对高,砂层厚度薄的区域孔隙度、渗透率相对低。由于平面上岩性的变化,决定了研究区孔、渗物性变化也比较大,平面非均质性强。

4. 储层微观非均质性

微观非均质性又称孔隙非均质性,主要描述的内容为微观孔道内孔隙和喉道的分布、大小,结构特征等。

4.1. 储集空间类型

贝中地区南一段储层砂岩孔隙类型主要为粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔等(图 3)。

根据铸体薄片图像分析资料统计,南一段以次生溶孔为主,粒间孔为次;II 油组粒间孔较 I 油组发育,分别占 36.88%和 17.14%。其中,粒内溶孔占 36.86%,粒间溶孔占 46.00%,粒间孔占 18.45%。

4.2. 微观孔隙结构研究

根据 24 口井 332 个样品的压汞资料,将孔隙结构参数分为 3 类:反映孔喉大小及分布的参数,如平均孔喉半径(R_p)、孔喉分布峰值(R_m)等;反映孔喉分布和分选的参数,如均质系数(α)、分选系数(S_p)等;反映孔喉连通性及孔隙网络渗流特征的参数,如排驱压力(P_{cd})、饱和度中值压力(P_{c50})等。利用单相关非线性回归方法,对渗透率和孔隙度与毛细管压力曲线特征参数分别进行相关性分析,建立了渗透率与各参数之间的关系式:

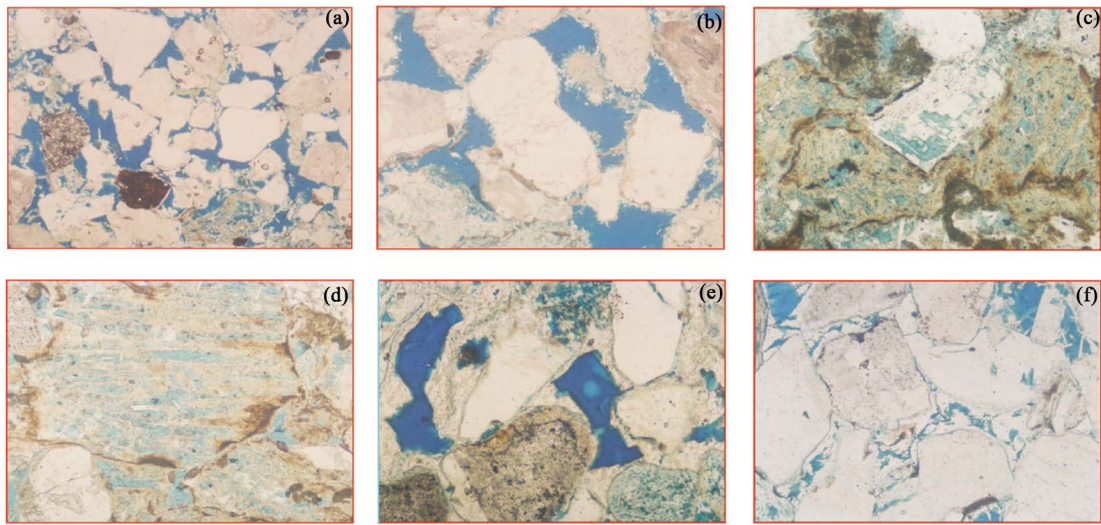


Figure 3. Pore types of reservoir sandstone. (a) Xi 3 well, 2414.50 m, mainly intergranular pores, a few dissolved pores. Plane-polarized, $\times 40$; (b) Xi 3 well, 2422.90 m, intergranular dissolved pores, corrosion residual can be seen at the edge. Plane-polarized light, $\times 40$; (c) Xi 55-51 Well, 2529.97 m, feldspathic and debris intragranular dissolved pores. Plane-polarized light, $\times 100$; (d) Xi 55-51 Well, 2524.02 m, fire rock cuttings intragranular dissolved pores. Plane-polarized light, $\times 100$; (e) Xi 3 well, 2414.71 m, intergranular calcite cementation. Polygon regular dissolution pore can be seen in calcite, and may be formed by erosion of analcime. Plane-polarized light, $\times 100$. (f) Xi 3 well, 2405.73 m, filling with intergranular analcime and dissolution pore. Plane-polarized light, $\times 100$.

图 3. 储层砂岩孔隙类型。(a) 希 3 井, 2414.50 m, 粒间孔为主, 少量溶孔。单偏光, $\times 40$; (b) 希 3 井, 2422.90 m, 粒间溶孔, 边缘见溶蚀残余。单偏光, $\times 40$; (c) 希 55-51 井, 2529.97 m, 长石、岩屑内溶孔。单偏光, $\times 100$; (d) 希 55-51 井, 2524.02 m, 火岩岩屑内溶孔。单偏光, $\times 100$; (e) 希 3 井, 2414.71 m, 粒间方解石胶结。方解石内见规则多边形溶孔, 可能为方沸石溶蚀形成。单偏光, $\times 100$; (f) 希 3 井, 2405.73 m, 粒间方沸石充填, 并有溶孔。单偏光, $\times 100$

$$\ln(K) = 1.322596919 \times \ln(Rp) + 0.4355175894, R = 0.8619$$

$$\ln(K) = 1.442927485 \times \ln(R50) + 1.923570574, R = 0.8307; \text{等。}$$

其中，孔喉大小是影响渗透率的主要因素(图 4)。

综合各参数，南一段四个油组储层微观孔隙结构主要为超低渗储层。III 油组砂岩粒度较粗，孔隙缩小型喉道比例较大，孔隙结构微观均质性相对最好；I 油组次之；II、IV 油组中缩颈型和管束状喉道比例较大，油组孔隙结构微观非均质性最强。

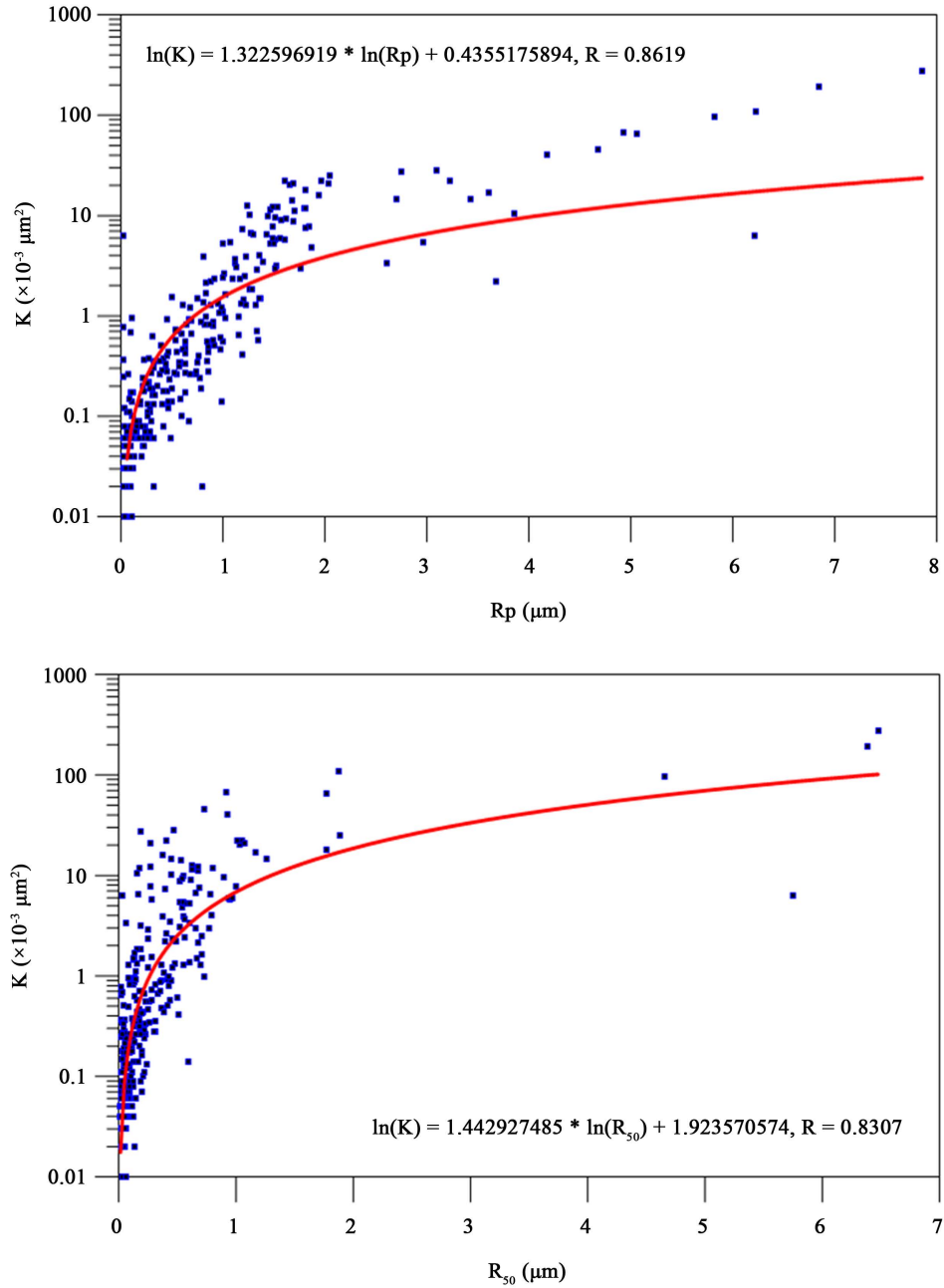


Figure 4. The relationship between permeability and pore throat of reservoir in Beier oil filed
图 4. 贝中油田储层渗透率与孔喉关系图

5. 结论

(1) 贝中地区南一段储层在其形成过程中由于受到沉积环境、成岩作用以及构造作用等因素的共同影响, 造成其储层整体的非均质性较强。

(2) 根据层内非均质性评价标准对研究区南一段层内非均质性进行了评价, 南一段 I~II 油组非均质性中等, IV 油组非均质性最强。沉积作用和火山活动是形成非均质性的主要控制因素。

(3) 南一段层间非均质性强, 各小层内砂体在平面上分布极为不均, 储层参数在纵向上呈韵律性变化, 自下而上单层平均砂厚有变薄的趋势, 隔层发育及其分布具有较强的差异性。

(4) 南一段砂岩在平面上砂厚分布不均, 孔、渗变化较大, 具有较强的平面非均质性。

(5) 南一段储层孔隙以次生溶孔为主, 微观孔隙结构主要为超低渗, IV 油组的储集性能优于 I~III 油组。

基金项目

国家自然科学基金“火山活动背景下优质储层发育机制——以海拉尔盆地贝中地区为例”(项目编号: 41302095)和长江大学 2015 年大学生创新创业训练计划项目基金(项目编号: 20150021)资助。

参考文献 (References)

- [1] 樊晓东, 李忠权, 刘剑营. 海拉尔盆地贝中油田南一段沉积微相特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34(2): 34-40.
- [2] 刘佩佩. 贝尔凹陷南一段次生孔隙发育特征研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2013.
- [3] 姜茵华. 海拉尔盆地贝中次凹南屯组一段储层特征分析及评价[J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30(2): 50-55.
- [4] 彭建亮, 姜茵华, 李红英. 海拉尔盆地贝中次凹南屯组一段储层特征分析及评价[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(6): 355-358.
- [5] 裘怿楠, 薛书浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 251-57.
- [6] 叶成林, 王国勇, 何凯, 徐中波. 苏里格气田储层宏观非均质性——以苏 53 区块石盒子组 8 段和山西组 1 段为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 236-244.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org