

文章编号:1673-8926(2012)06-0020-07

新立地区嫩三段储层非均质性及其影响因素分析

胡望水¹,曹春¹,何海泉²,李相明¹,李松泽¹,李子豪³

(1.长江大学地球科学学院,湖北武汉430100;2.中国石油吉林油田分公司勘探开发研究院,吉林松原138000;3.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东青岛266580)

摘要:针对新立地区嫩三段各层位储层岩石学、物性、非均质性、微观孔隙结构等特征认识不清的问题,综合运用岩心薄片、扫描电镜、压汞曲线及测井等资料,对该区储层宏观非均质性(平面、层内、层间)和微观非均质性(孔隙)进行了研究。结果表明,新立地区嫩三段储层呈现强非均质性特点。同时,分析了该区储层非均质性的影响因素,认为沉积微相从根本上控制了储层非均质性的形成,而成岩作用引起的一系列变化则使储层非均质性增强。

关键词:储层非均质性;沉积微相;成岩作用;嫩三段;新立地区

中图分类号:TE122.2 **文献标志码:**A

0 引言

新立地区位于松辽盆地中央凹陷区南部扶新隆起带西部,即新立及新北油田所在区域(图1)。松辽盆地中,新生代构造演化经历了伸展断陷、拗陷、构造反转和新生代断拗等4个阶段^[1]。拗陷阶段(K₁q—K₂n)青山口组、嫩江组沉积时期,湖盆发育达到鼎盛。嫩江组沉积时期是古松辽盆地第二个扩张期,发生了松辽盆地中生代最大规模的湖侵事件,特别是嫩一、二段沉积时期,形成了广布全区的

浅湖—半深湖相泥质沉积;至嫩三段—嫩五段沉积时期,沉积范围明显缩小,湖泊水体变浅,在盆地的中部形成了浅湖—三角洲沉积体系^[2-3]。

嫩三段沉积时期,三角洲开始推进至新立地区,形成储层发育层段。据该区嫩三段3个向上变粗再变细的反—正旋回及其内部又包含的多个小的沉积旋回,采用分级控制、旋回对比的方法将其划分为3个砂组(, ,),9个小层(H¹⁻¹,H¹⁻²,H¹⁻³,H²⁻¹,H²⁻²,H²⁻³,H³⁻¹,H³⁻²,H³⁻³)。目前,研究区嫩三段各层位储层非均质性认识不清,致使各砂组储层渗流特征、不同性质原油在不同储层和不同驱替介质条件下的渗流特征及规律,以及储层特征与产能关系也不明确,从而制约了该区下一步油气勘探进程。而综合利用测井、地震、地质建模等手段研究储层非均质性将是必然的趋势^[4-5]。鉴于此,笔者在储层岩石学特征和储层物性特征研究的基础上,综合运用岩心薄片、扫描电镜、压汞曲线及测井等资料,进一步对该区储层非均质性进行研究,以期深化对该区目的层段储层的认识,为提高油气采收率提供理论指导。

1 岩石学特征

根据研究区548块薄片资料统计分析,嫩三

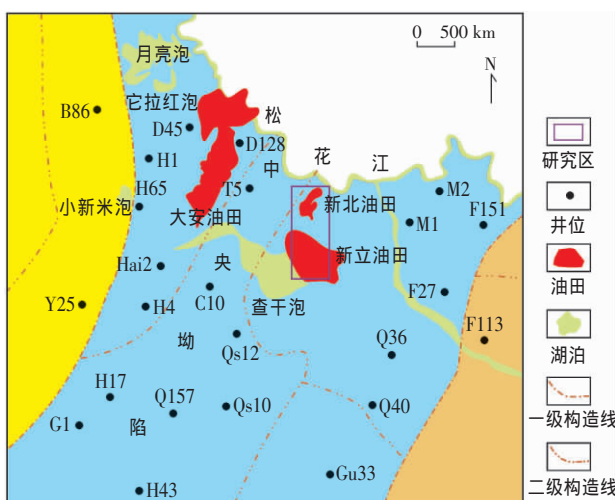


图1 研究区地理位置

Fig.1 Geographic location of the study area

收稿日期:2012-04-09;修回日期:2012-06-02

作者简介:胡望水(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事油气勘探与开发方面的教学和科研工作。地址:(430100)湖北省武汉市蔡甸区大学路特1号长江大学武汉校区地球科学学院。E-mail:huwangshui@126.com

段储层岩石碎屑成分主要由石英、长石、岩屑和少量的云母、重矿物组成(图版)。石英含量主要为 20%~44%,平均为 31.65%;长石含量主要为 1%~44%,平均为 17.65%;岩屑含量主要为 1%~49%,平均为 19.70%;岩屑以火山岩岩屑为主,沉积岩岩屑相对较少,变质岩岩屑最少。从碎屑组成看,区内嫩三段砂岩的成分成熟度中等偏低。按赵澄林等^[6]的四组分分类体系,对该区砂岩成分进行分类,区内砂岩主要为长石质岩屑砂岩及岩屑质长石砂岩(图 2)。

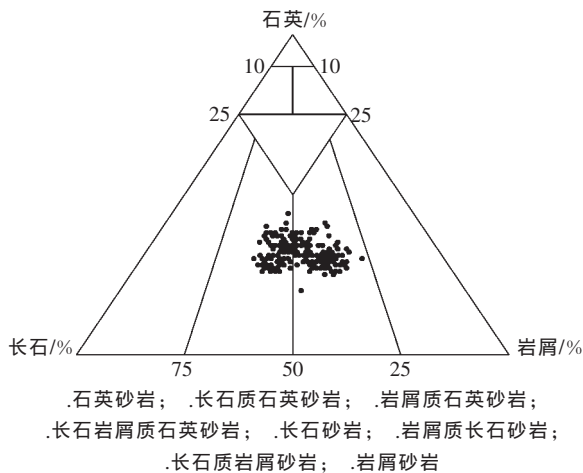


图 2 新立地区嫩三段砂岩成分分类三角图
Fig. 2 Triangular diagram of sandstone composition of Nen 3 member in Xinli area

2 物性特征

根据对研究区 JH101, JH114, JH116 等 19 口井的统计分析,嫩三段有效储层主要为水下分流河道砂体,储层孔隙度、渗透率为正相关,相关性中等,孔隙度为 3.4%~40.2%,平均为 26.9%,渗透率为 0.1~5 294.1 mD,平均为 3 09.2 mD;储层孔隙度以中—高孔为主,特高孔次之,渗透率以低—中渗为主,高渗次之,同时发育一定量的特高渗储层(表 1);储层

表 1 新立地区嫩三段储层物性统计表
Table 1 Frequency statistics of reservoir properties of Nen 3 member in Xinli area

物性参数	分布频率/%	
孔隙度/%	$\varphi < 5$	0.47
	$5 \leq \varphi < 10$	1.40
	$10 \leq \varphi < 15$	3.43
	$15 \leq \varphi < 25$	30.69
	$25 \leq \varphi < 30$	41.82
	$\varphi \geq 30$	22.20
渗透率/mD	$0.1 \leq k < 1.0$	0.66
	$1 \leq k < 10$	11.85
	$10 \leq k < 50$	24.64
	$50 \leq k < 500$	30.33
	$500 \leq k < 2\ 000$	23.51
	$k \geq 2000$	9.00

物性总体较好。

3 储层非均质性

储层非均质性是指由于储层在形成过程中受沉积环境、成岩作用和构造作用的影响,造成其基本性质(岩性、物性、电性和含油气性等)在三维空间分布上的不均一性^[5]。这些不均一性是影响地下油、气、水运移及油气采收率的主要因素,可导致油田开发中存在的诸如层间干扰、单层突进、剩余油局部富集等现象。因此,储层非均质性的研究对提高油田采收率具有重要意义^[7-9]。

储层非均质性分类方案较多,笔者采用裘亦楠^[10]的储层非均质性分类方案,将碎屑岩的储层非均质性分为两大类:宏观非均质性(平面、层内、层间)和微观非均质性(孔隙)。

3.1 储层平面非均质性

平面非均质性是指基于沉积微相平面展布,砂体的几何形态、规模、连续性、孔隙度以及渗透率的平面变化所引起的储集层物性在平面上的差异程度^[11],包括砂体成因单元的连通程度、平面孔隙度和渗透率变化及其差异程度,以及渗透率的方向性等。

研究区优势储层主要为三角洲前缘水下分流河道砂体,顺河道方向呈条带状展布,宽度为 0.5~1.0 km,超出该范围砂体的厚度急剧变化。选取孔隙度、渗透率、泥质含量、砂岩百分含量等参数,运用灰色系统理论及聚类分析方法将研究区储层划分为 4 类(表 2)。

表 2 新立地区嫩三段储层评价分类表
Table 2 Classification of the reservoir evaluation of Nen 3 member in Xinli area

储层类型	孔隙度/%	渗透率/mD	泥质含量/%	砂地比/%
	≥ 21	≥ 55	0~19	≥ 60
	17~21	7.9~55.0	19~26	40~60
	13~17	0.7~7.9	26~37	27~40
	≤ 13	≤ 0.7	≥ 37	≤ 27

由图 3 可以看出:研究区不同类型储层分布具有不均一性,其分布规律与沉积微相基本保持一致,其中水下分流河道微相主要发育 , 类储层,河口坝微相主要发育 , 类储层,支流间湾和浅湖微相主要发育 类储层和非储层;H⁻²小层类储层分布在 X+18-7, JH102, JH101, JH4 等井区,为有利储层。

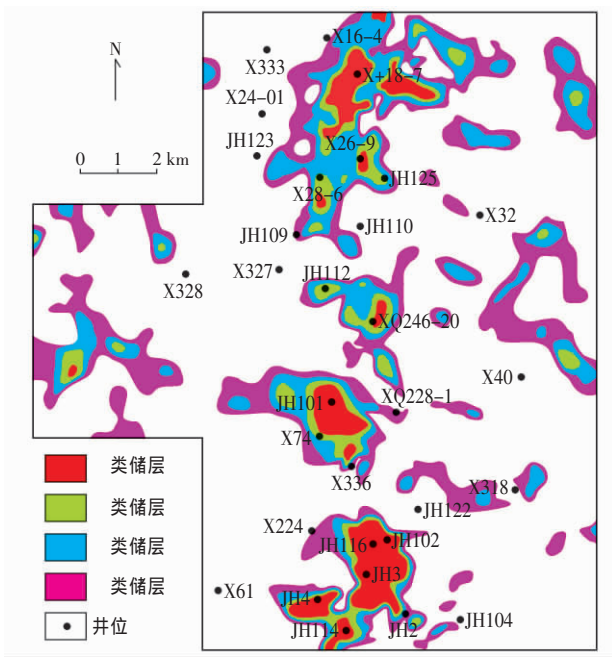


图3 H¹⁻²小层储层类型分布图

Fig. 3 Reservoir distribution of H¹⁻² sublayer

3.2 储层层内非均质性

层内非均质性是指在单砂体单元内储层性质(岩性、物性、电性和含油气性)在纵向上的不均一

变化,主要受控于砂体粒度和沉积构造的垂向演化。层内非均质性是直接控制和影响注水开发过程中储集层垂向注入水波及体积的关键性地质因素,可从层内夹层特征与层内渗透率特征2个方面进行研究^[12]。

3.2.1 层内夹层特征

根据 JH102, JH114, JH116 等井的岩心观察结果和隔夹层的岩性、物性特征,可将研究区夹层分为泥质夹层、钙质夹层和物性夹层3种类型,并以泥质夹层为主(图4)。泥质夹层主要包括泥岩、粉砂质泥岩,电性特征主要表现为自然伽马曲线靠近基线,微电极曲线幅度明显下降,幅度差几乎为0或很小,井径曲线明显扩径;钙质夹层的发育主要与沉积物碳酸盐胶结作用、溶解作用等成岩作用的不均匀性有关,分布随机性较强,其电性特征主要表现为微电极曲线上呈现尖峰状,与邻层尖峰比值超过1.2,井径曲线无扩径;物性夹层主要是由于胶结作用使得砂岩的孔、渗性降低及砂岩中泥质含量相对升高而形成,电性特征主要表现为微电极曲线介于泥岩层和钙质层之间,有一定的幅度差,自然伽马曲线幅度变化小。

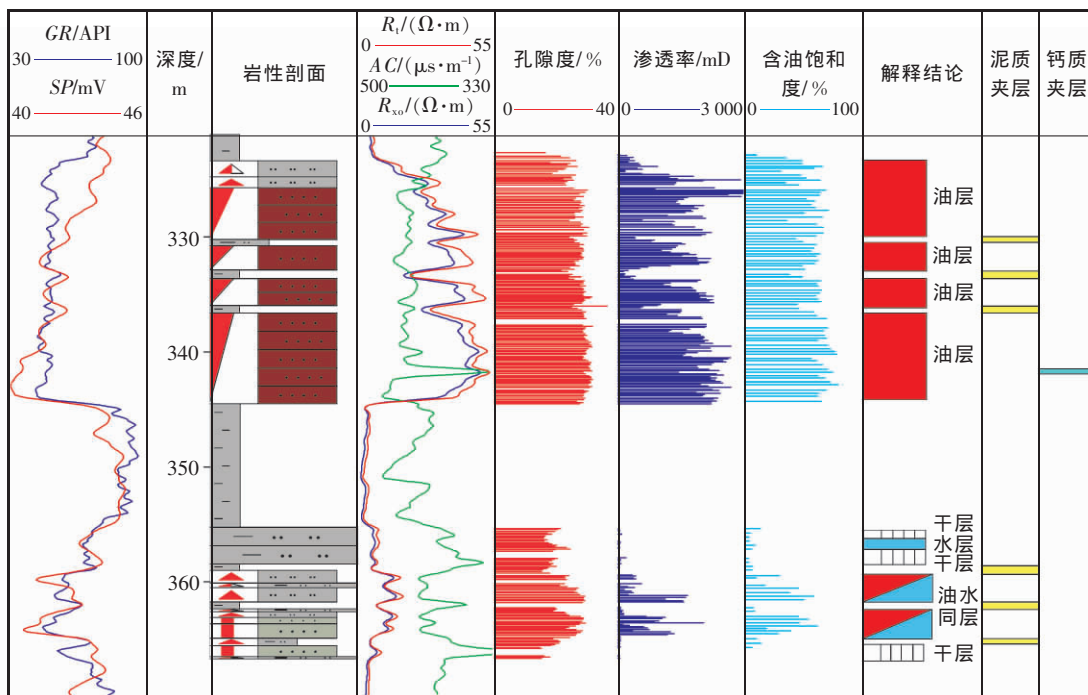


图4 JH116井综合柱状图

Fig. 4 Columnar section of JH116 well

总体来看,研究区夹层在垂向上的出现频率较低,主要见于水下分流河道砂体中,平面上一般延伸不远,通常不超过2个井距;层位上主要分布于

H¹⁻², H²⁻¹和H³⁻²小层,其次分布于H²⁻²和H²⁻³小层(表3)。分布在单砂体内的低渗透物性夹层和泥质夹层及非渗透的钙质夹层,起渗流屏障的作用,

降低了储层的垂向连通性,使层内均质性降低。

表 3 新立地区嫩三段各小层内夹层统计表
Table 3 Statistics of interbeds in different layers of Nen 3 member in Xinli area

小层	钻遇率/%	层内夹层厚度/m	
		范围	平均值
H ¹⁻¹	7.20	0.182~0.885	0.47
H ¹⁻²	43.75	0.201~0.728	0.43
H ¹⁻³	0.66	0.125~0.528	0.25
H ²⁻¹	29.5	0.125~0.611	0.38
H ²⁻²	14.05	0.125~0.629	0.26
H ²⁻³	12.37	0.264~0.898	0.57
H ³⁻¹	5.54	0.125~0.625	0.42
H ³⁻²	41.43	0.236~0.705	0.55

注:H³⁻³小层为嫩三段底部大套泥岩,砂体不发育,未作夹层研究。

表 4 新立地区嫩三段储集砂体层内非均质参数统计表

Table 4 Intralayer heterogeneity parameters of reservoir sand bodies of Nen 3 member in Xinli area

砂组	小层	分区	变异系数	级差	突进系数	均质系数	砂组	小层	分区	变异系数	级差	突进系数	均质系数		
砂组	H ¹⁻¹	北	11.33	442 911.37	139.27	0.007	砂组	H ²⁻²	南	2.94	3 160.12	15.77	0.063		
		中	2.24	16 527.51	10.58	0.095			H ²⁻³	北	3.80	228 173.79	31.96	0.031	
		南	2.28	13 734.12	10.31	0.097				中	3.72	4 145.67	16.33	0.061	
	H ¹⁻²	北	5.16	926 077.28	57.14	0.018			南	1.50	31.21	2.73	0.367		
		中	3.57	7 321.39	26.45	0.038			砂组	H ³⁻¹	北	3.61	17 463.75	22.20	0.045
		南	4.25	101 499.33	27.58	0.036					中	2.91	30 452.50	15.74	0.064
	H ¹⁻³	北	3.37	73 650.51	20.28	0.049		南			2.19	9 967.17	8.64	0.116	
		中	2.28	7 883.28	8.63	0.116		H ³⁻²	北	10.83	670 102.09	144.47	0.007		
		南	2.38	7 697.85	8.08	0.124			中	2.69	50 364.88	19.95	0.050		
砂组	H ²⁻¹	北	3.82	407 465.95	37.83	0.026	南		5.21	97 522.54	27.57	0.036			
		中	2.62	20 670.47	17.66	0.057	H ³⁻³	北	1.18	237.32	4.95	0.202			
		南	2.30	5 045.81	13.67	0.073		中	0.92	15.12	2.00	0.499			
H ²⁻²	北	4.26	158 318.66	39.41	0.025	南		1.25	16.02	1.88	0.531				
	中	2.82	3 660.72	19.69	0.051										

3.3 储层层间非均质性

层间非均质性是对同一沉积单元内砂泥岩间互的含油层系的总体研究,指砂层间的层间差异,包括砂体的垂向连通性和侧向连续性,以及泥岩隔层的厚度和分布规律,属层系规模的储层研究^[13-14]。层间非均质性主要受沉积微相的控制,是注水开发过程中层间干扰的重要因素。

在湖平面涨落变化和三角洲进积—退积演化序列的控制下,研究区嫩三段沉积了多套砂体,纵向上砂泥岩频繁互层,分层系数最大值达 16。若细分到小层,H²⁻¹和 H³⁻²小层分层系数相对较大,在 2~3,层间矛盾突出;其次是 H¹⁻¹和 H¹⁻²小层,分

3.2.2 层内渗透率变化特征

层内非均质性最终体现为层内渗透率的差异。用渗透率变异系数、渗透率级差、单层突进系数及均质系数来反映渗透率纵向非均质程度,前三者值越小,均质系数越接近于 1,储层非均质性越弱。鉴于研究区面积比较大,可用井的分布不均匀,分别以 JH109 井—JH110 井—X32 井和 X224 井—JH122 井—X318 井为界将该区分成北区、中区、南区,进行储层非均质性研究。

根据储层的非均质性判别标准,表 4 中各小层层内非均质性均为强非均质性,北区各砂组的非均质性明显强于中区和南区;砂组中区非均质性相对较弱,南区较中区稍强;砂组和砂组非均质性由北向南逐渐减弱。

层系数在 1~2,层间矛盾相对较弱;其他小层分层系数不到 2,层间矛盾相对较弱或不存在层间矛盾。

层间渗透率差异性显示各小层不同区块均为强非均质性。砂组中区非均质性最弱,南区非均质性整体相对于中区稍强;砂组 H²⁻¹和 H²⁻³小层层间非均质性由北向南逐渐减弱,H²⁻²小层北区非均质性相对较弱,中区非均质性最强;砂组 H³⁻¹和 H³⁻²小层由北向南非均质性逐渐减弱,H³⁻³小层南区非均质性相对较弱,北区非均质性稍强于南区。

3.4 储层微观非均质性

微观非均质性主要研究储层孔隙类型及孔隙

结构的不均一性,包括孔隙和喉道在形状、大小、连通程度、配置关系以及分选程度等方面的差异^[5,7]。根据 JH114, JH116, JH102, JH112, JH125 等井的扫描电镜资料和 JH114, JH116 井的铸体薄片资料分析,研究区嫩三段储层以原生孔隙和次生孔隙混合发育为特点,面孔率平均为 20.4%。主要孔隙类型有粒间孔(以粒间原生孔为主,其次为粒间溶孔)、粒内孔、铸模孔、裂缝等,其中以粒间孔最为发育,超过总孔隙的 70%。常见的喉道包括孔隙缩小型喉道、收缩喉道、片状喉道、微喉道。储集层最大连通喉道半径平均为 30.47 μm ,中值半径平均为 5.28 μm ,排驱压力平均为 0.08 MPa,喉道以细喉—较细喉为主(表 5),喉道分选程度较差,非均质性强(表 6)。

表 5 新立地区嫩三段岩样孔隙连通性、控制流体运动特征
的参数统计表

Table 5 Parameters of pore throat connectivity and
controlling fluid movement of rock sample of
Nen 3 member in Xinli area

参数	最小值	最大值	平均值
最大进汞饱和度/%	47.31	98.53	89.63
退汞效率/%	10.08	56.41	33.73
孔隙喉道比	1.18	5.23	3.46
孔隙半径/ μm	0.09	113.33	6.85
孔隙配位数	0	8.00	1.07
结构系数	0.01	25.77	4.09
特征结构系数	0.015	116.020	2.760

表 6 新立地区嫩三段岩样喉道分选参数统计表

Table 6 Throat sorting parameters of rock sample of Nen 3 member in Xinli area

分选系数			均值系数			歪度		
最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
1.084	23.822	7.329	0.008	0.252	0.071	0.157	4.777	1.162

4 储层非均质性影响因素分析

4.1 沉积微相是引起储层非均质性的根本原因

原始沉积作用对碎屑岩储集性能有着决定性的影响,因为沉积后作用及其所引起的各种变化都是在原始沉积作用的基础上进行的。各微相沉积时水动力能量的差异,导致了岩石成分和孔隙结构的不同。即使在同一微相内,其水动力分布也存在不均一性,从而造成沉积物在结构和构造上的各向异性。同时,沉积微相控制着砂体的发育程度,不同微相砂体在厚度和延展范围上均有差异。研究区嫩三段砂岩储层主要为发育于三角洲前缘环境下的粉砂岩、细砂岩和泥质粉砂岩,由水下分流河道微相→河口坝微相→前缘席状砂微相,储层孔隙度、渗透率由大变小,物性由好变差。

4.2 成岩作用加强了储层非均质程度

研究区嫩三段地层埋深一般小于 900 m,整体处于早成岩阶段 B 期,经历了压实、胶结、溶解和交代等作用过程,使目的层储层发生了一定的变化。压实作用使原生孔隙大幅度减少(图版 -1);黑云母、杂基、少量岩屑等柔性物质在压实作用下发生塑性变形,充填于孔隙中,或柔性组分与刚性颗粒相互嵌合形成斑状致密结构,从而导致粒间残余孔

隙保存很少或全部丧失,并使砂岩渗透率大大降低。胶结作用在研究区目的层储层表现较为强烈,常见黏土矿物胶结物、碳酸盐胶结物及硅质胶结物等。综合分析扫描电镜、X 射线衍射资料,发现研究区砂岩中黏土矿物主要是蒙皂石和高岭石,这些自生矿物或是附着在颗粒表面,或是杂乱堆积在粒间孔隙中,使喉道变窄甚至被阻塞,致使储层物性变差(图版 -2)。硅质胶结物平均含量为 0~4.6%,多以自生石英晶粒形式存在于储集岩中。由于目的层埋深较浅,石英次生加大较弱,薄片上仅见有个别石英颗粒有次生加大边,且加大边较窄,因此硅质胶结作用对储层物性影响较小。研究区碳酸盐含量较高,与储层孔隙度呈负相关性,与储层渗透率相关性较差,由于目的层储层原始孔隙度较高,碳酸盐胶结作用对其物性影响不明显。研究区长石、岩屑的溶蚀较普遍,有利于储层次生孔隙的形成,主要形成了粒间及粒内溶孔(图版 -3)。少量长石、岩屑全部溶蚀,形成铸模孔。砂岩中交代作用较弱,主要表现为早期成岩阶段形成的黏土矿物对碎屑矿物颗粒的交代,此过程对原生孔隙起破坏作用(图版 -4)。

经过上述一系列成岩作用后,储层表现为如下特点:①孔隙主要为原生孔隙、溶蚀孔隙及微孔等

组成的混合型孔隙;②孔喉组合以中—高孔、细—较细喉型为主;③渗透率主要由较粗喉贡献,微细喉、细喉道限制了大部分孔隙空间;④储层在横向上和纵向上的非均质性增强,造成退汞效率低(平均退汞效率为33.73%)、难采体积大。

5 结论

(1) 新立地区嫩三段砂岩主要为长石质岩屑砂岩和岩屑质长石砂岩,储层物性整体较好,以中—高孔、低—中渗为主。

(2) 对储层宏观和微观非均质性的研究结果表明,新立地区嫩三段储层非均质性在层内、层间和平面上均存在差异,但总体呈现强非均质性。

(3) H^{1-2} , H^{2-1} , H^{3-2} 等小层内夹层的钻遇率相对较高,降低了储层垂向上的连通性,同时渗透率参数反映储层为强非均质性。这可能是导致研究区剩余油富集的主要原因之一。

(4) 不同沉积微相在沉积物供给和水动力上的差异,导致了岩石成分上的差异及孔隙结构的各向异性,从根本上造成了储层非均质性,而成岩作用加大了孔隙结构的不均一性,从而加强了储层非均质程度。

参考文献:

- [1] 李娟,舒良树.松辽盆地中、新生代构造特征及其演化[J].南京大学学报,2002,38(4):525-531.
- [2] 舒良树,慕玉福,王伯长.松辽盆地含油气地层及其构造特征[J].地层学杂志,2003,27(4):340-347.
- [3] 魏魁生,徐怀大,叶淑芬,等.松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架[J].石油与天然气地质,1997,18(1):7-13.
- [4] 吴胜和,熊琦华.油气储层地质学[M].北京:石油工业出版社,1988:155-172.
- [5] 张云鹏,汤艳.油藏储层非均质性研究综述[J].海洋地质前沿,2011,27(3):17-22.
- [6] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001:99-114.
- [7] 陈永生.油田非均质对策论[M].北京:石油工业出版社,1993:13-75.
- [8] 许建红,钱俪丹,库尔班.储层非均质对油田开发效果的影响[J].断块油气田,2007,14(5):29-31.
- [9] 王谦,吴志芳,张汉泉,等.随机分形在刻画储层非均质特性中的应用[J].吉林大学学报:地球科学版,2005,35(3):340-345.
- [10] 袁烽楠.碎屑岩储层沉积基础[M].北京:石油工业出版社,1987:3-6.
- [11] 魏钦廉,郑荣才,肖玲,等.阿尔及利亚438b区块三叠系Serie Inferiere 段储层平面非均质性研究[J].岩性油气藏,2009,21(2):24-28.
- [12] 赵鹤森,陈义才,唐波,等.鄂尔多斯盆地定边地区长2储层非均质性研究[J].岩性油气藏,2011,23(4):70-74.
- [13] 于兴河.碎屑岩系油气储层沉积学[M].北京:石油工业出版社,2002:118-134.
- [14] 尹志军,鲁国永,邹翔,等.陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例[J].石油与天然气地质,2006,27(1):106-110.

Reservoir heterogeneity and influencing factors of Nen 3 member in Xinli area

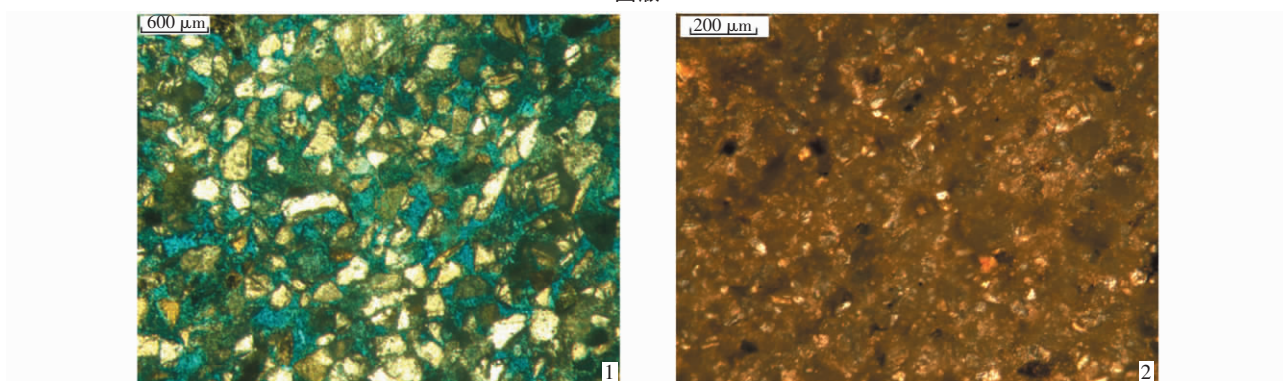
HU Wangshui¹, CAO Chun¹, HE Haiquan², LI Xiangming¹, LI Songze¹, LI Zihao³

(1. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan 138000, China; 3. School of Geosciences and Technology, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: In view of the problems that reservoir petrologic characteristics, physical properties, heterogeneity and microscopic pore structure characteristics have not been researched clearly, by comprehensive application of the data of core slices, scanning electron microscope, intrusive mercury curve and well logging, this paper studied the macroscopic and microscopic heterogeneities of the reservoir. The result shows that reservoir of Nen 3 member in Xinli area has strong heterogeneity. The influencing factors of heterogeneity were analyzed. It is considered that sedimentary microfacies fundamentally control the formation of reservoir heterogeneity, and a series of changes caused by diagenesis can enhance the reservoir heterogeneity.

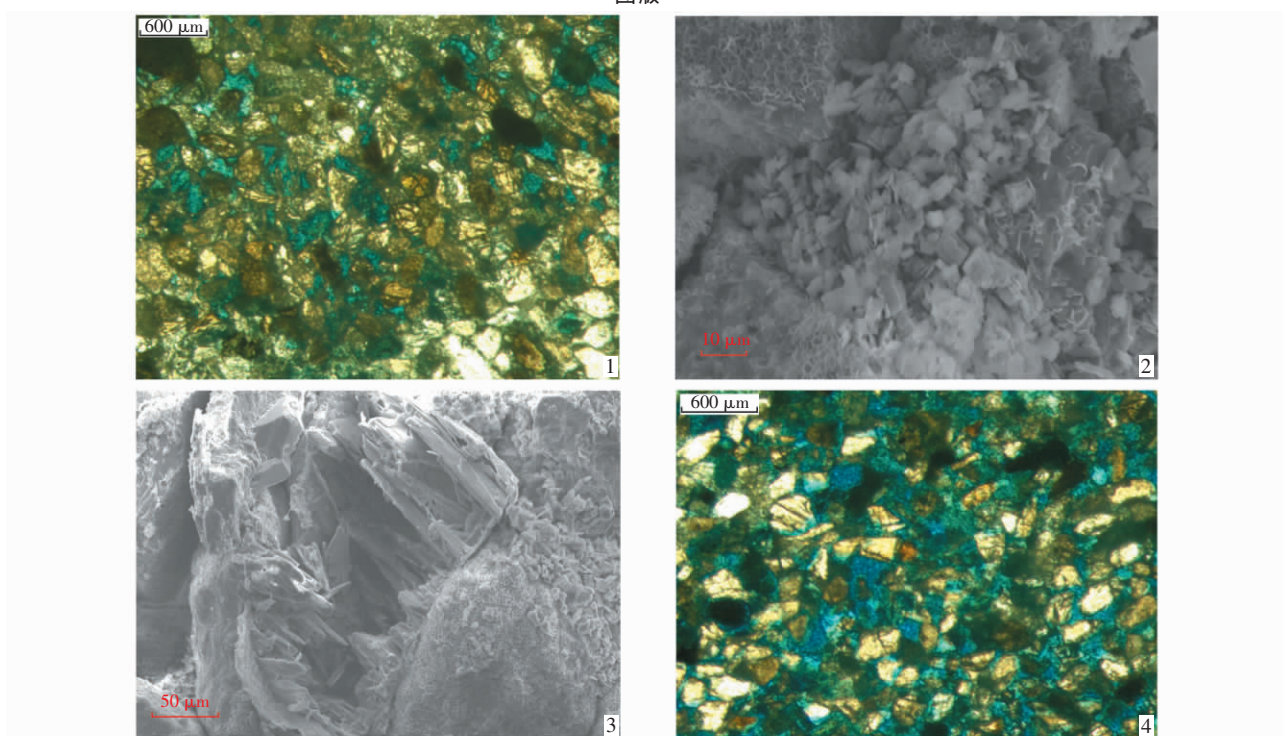
Key words: reservoir heterogeneity; sedimentary microfacies; diagenesis; Nen 3 member; Xinli area

图版



图版 说明:1.石英、长石等矿物镜下特征,JH114井,301.68 m,铸体薄片单偏光;2.锆石等重矿物镜下特征,JH114井,321.70 m,常规荧光薄片

图版



图版 说明:1.原生孔隙孤立存在,JH114井,304.05 m;铸体薄片单偏光;2.自生高岭石分布在颗粒表面及粒间,JH110井,482.40 m,扫描电镜;3.长石溶蚀形成粒内溶孔,X321井,735.40m,扫描电镜;4.黏土矿物交代长石、岩屑,JH114井,302.58 m,铸体薄片单偏光

(本文编辑:于惠宇)

(上接第19页)

yes if the Reynolds number is high enough. Whether high rate non-Darcy flow is easier to take place in low permeability reservoirs or in high permeability reservoirs, the answer is that it is easier to take place in high permeability reservoirs because the smaller pores in low permeability reservoirs tend to confine fluids flow. However measurements in lab show the non-Darcy coefficients of low permeability cores are higher than those of high permeability cores, which implies that high rate non-Darcy flow is easier to take place in low permeability reservoirs than in high permeability reservoirs. This is a false appearance in experiment. The measurements in lab are seldom applied to field analysis, while well test data are the best choice for engineers to research the gas flow in reservoirs. All the deliverability equations of gas wells contain a term of high rate non-Darcy flow regardless of high permeability reservoirs or low permeability reservoirs. All the equations have the same form, but the equations coefficients take different values.

Key words: low permeability; Darcy flow; non-Darcy flow; reservoir; Reynolds number; gas reservoir

(本文编辑:涂晓燕)