

鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界 致密砂岩储层非均质性特征

田景春¹,刘伟伟^{1,2},王峰¹,陈蓉¹,林小兵¹

[1. 成都理工大学 油气藏地质与开发工程国家重点实验室,四川 成都 610059;

2. 江西省天然气(赣投气通)控股有限公司,江西 南昌 330096]

摘要:为深入研究致密砂岩储层的非均质性,利用钻井岩心资料、测井资料和测试分析资料,对鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层的非均质性进行了深入分析。结果表明,研究区山西组—下石盒子组储集砂体的非均质性与沉积作用关系密切,垂向加积作用导致储集砂体物性在垂向上表现为规律不明显的正韵律或突变正韵律;侧积作用导致储集砂体物性在垂向上表现为强烈的正韵律;前积作用导致储集砂体物性在垂向上表现为规律明显的反韵律。漫流沉积作用导致储集砂体物性在垂向上表现为变化不大或略微反韵律。从层内非均质性上看,盒8段和山西组储层均具有较强的非均质性。其中山2段的储层非均质性较山1段的强,盒8^下的储层非均质性较盒8^上的强。4个亚层中属盒8^上的均质性最好。从层间非均质性上看:不同层位差异较大。从平面非均质性上看,高桥地区盒8段和山西组储层在平面上不同地区表现出较强的非均质性。

关键词:沉积作用;非均质性;致密储层;上古生界;高桥地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Heterogeneity of the Paleozoic tight sandstone reservoirs in Gaoqiao Area of Ordos Basin

Tian Jingchun¹, Liu Weiwei^{1,2}, Wang Feng¹, Chen Rong¹, Lin Xiaobing¹

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059 China; 2. Jiangxi Provincial Natural Gas Holdings Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330096 China)

Abstract: The heterogeneity characteristics of the Paleozoic tight sandstone reservoirs in Gaoqiao area of Ordos Basin are studied in detail in this paper by using core data, logging data, and test data. The results show that there is a close relationship between heterogeneity and sedimentation of the Shanxi Formation and Xiashihezi Formation sandbodies. The sandbodies formed by vertical accretion show vertical positive rhythm or flanges positive rhythm with no obvious trend. In contrast, those sandbodies formed by lateral accretion show strong vertical positive rhythm. Sandbodies formed by progradation have apparent vertical anti-rhythm. Sandbodies of overland flow deposition display little change or a slight vertical counter-rhythm. He8 and Shanxi Fm reservoirs show strong intralayer heterogeneity. The heterogeneity of Shan2 segment is stronger than that of Shan1, while the heterogeneity of lower He8 segment is stronger than that of upper He8 segment. Among these four sub-layers, the upper He8 segment is most homogeneous. Interlayer heterogeneity significantly varies among different layers. He8 segment and Shanxi Formation also show strong lateral reservoir heterogeneity in Gaoqiao area.

Key words: sedimentation, heterogeneity, tight reservoir, Upper Paleozoic, Gaoqiao area, Ordos Basin

位于鄂尔多斯盆地中部的高桥地区(北起陕63—陕245井一线,南至陕315井,西抵陕364—陕344井一线、东到与延长的矿权保护线,工区面积约8 000 km²),上古生界具有良好的开发前景。针对该区上古生界沉积相类型及特征^[1-9]、储集砂体成因及分布^[10-12]、成藏特征^[13-17]前人进行了大量研究,并取得了一系列重

要成果。但针对研究区上古生界致密砂岩储层的非均质性研究相对薄弱。储层非均质性是储层表征的核心内容,对认识油气水分布规律、指导油气开发具有重要意义。基于前人众多研究成果,并利用钻井岩心资料、测井资料和测试分析资料,对鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层的非均质性进行深入分析,以

收稿日期:2013-12-10;修订日期:2014-01-12。

第一作者简介:田景春(1963—),男,博士、教授、博士生导师,沉积地质学。E-mail: tjc@cdut.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011zx05007-04-01)。

期为该地区上古生界进一步开发提供基础资料和科学依据。

1 储层的层内非均质性

层内非均质性是指单砂体(层)内垂向上储层性质的变化,包括粒度的韵律性、沉积构造(层理)的垂向演变、层内夹层分布及层内微裂缝等,主要受沉积作用的控制,可以通过相关参数计算来定量表征。

1.1 沉积作用类型与储层非均质性关系

储层的形成受控于沉积作用,因此,储层的非均质性变化特征与不同沉积作用类型关系密切。从高桥地区来看,在上古生界致密砂岩储层形成过程中发生的沉积作用主要包括:垂积作用、前积作用、侧积作用和漫积作用(图 1)。不同沉积作用最终导致储集砂体形态、叠置关系、平面分布、非均质性明显不同,具体沉积作用类型与致密砂岩储层的非均质关系表现如下(图 2)。

1.1.1 垂向加积作用与储集砂体的非均质性

垂向加积作用是指沉积物以底负载方式搬运,当沉积物重量超过流水携砂能力时,被搬运的沉积物发

生垂向加积而沉积下来。所形成的砂体形态多为透镜状,如辫状河心滩砂体。研究区陕 309 井盒 8^下 沉积时,由辫状河三角洲前缘水下分流河道形成的砂体垂向叠置,砂体的非均质特征在垂向上表现为规律不明显的正韵律或突边正韵律(图 2a)。

1.1.2 侧向加积作用与储集砂体的非均质性

侧向加积作用是指水流形成侧向运动所搬运的沉积物发生沉积而形成砂体的作用。由此种作用形成的砂体形态多为条带状,如曲流河边滩砂体。研究区陕 331 井山西组一段沉积时,由曲流河三角洲前缘水下分流河道砂体即为侧向加积作用所形成的砂体,砂体的非均质特征在垂向表现为强烈的正韵律(图 2b)。

1.1.3 前积(进积)作用与储集砂体的非均质性

前积作用是指搬运沉积物的水体在地形开阔或坡度增加的部位由于搬运能力减弱开始卸载发生沉积,且沉积作用逐渐向前推进。由此种沉积作用所形成的砂体形态多为朵状,如陕 363 井山西组一段三角洲前缘河口坝砂体,这种砂体的非均质特征在垂向上表现为规律明显的反韵律(图 2c)。

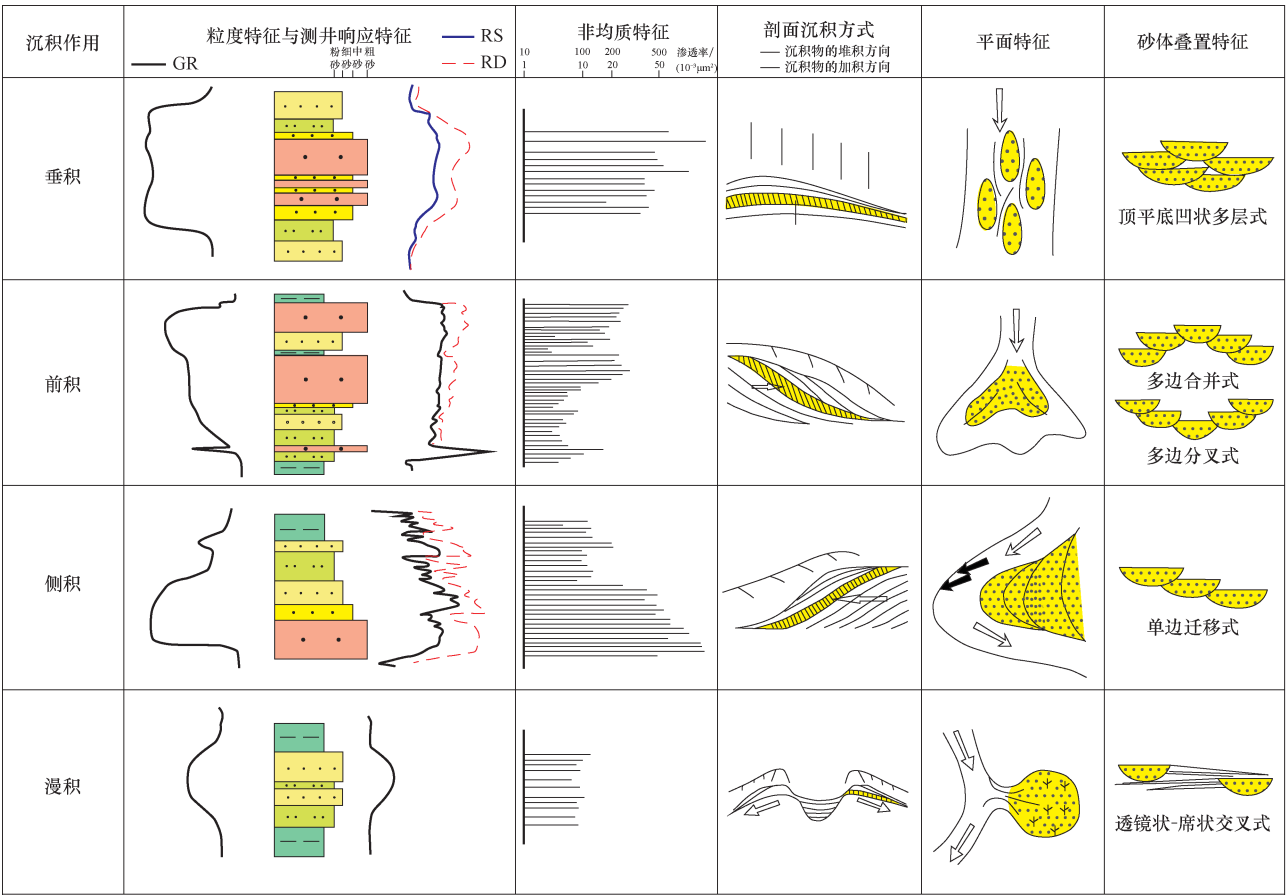


图 1 沉积作用与储层非均质特征

Fig. 1 Sedimentation and reservoir heterogeneity characteristics

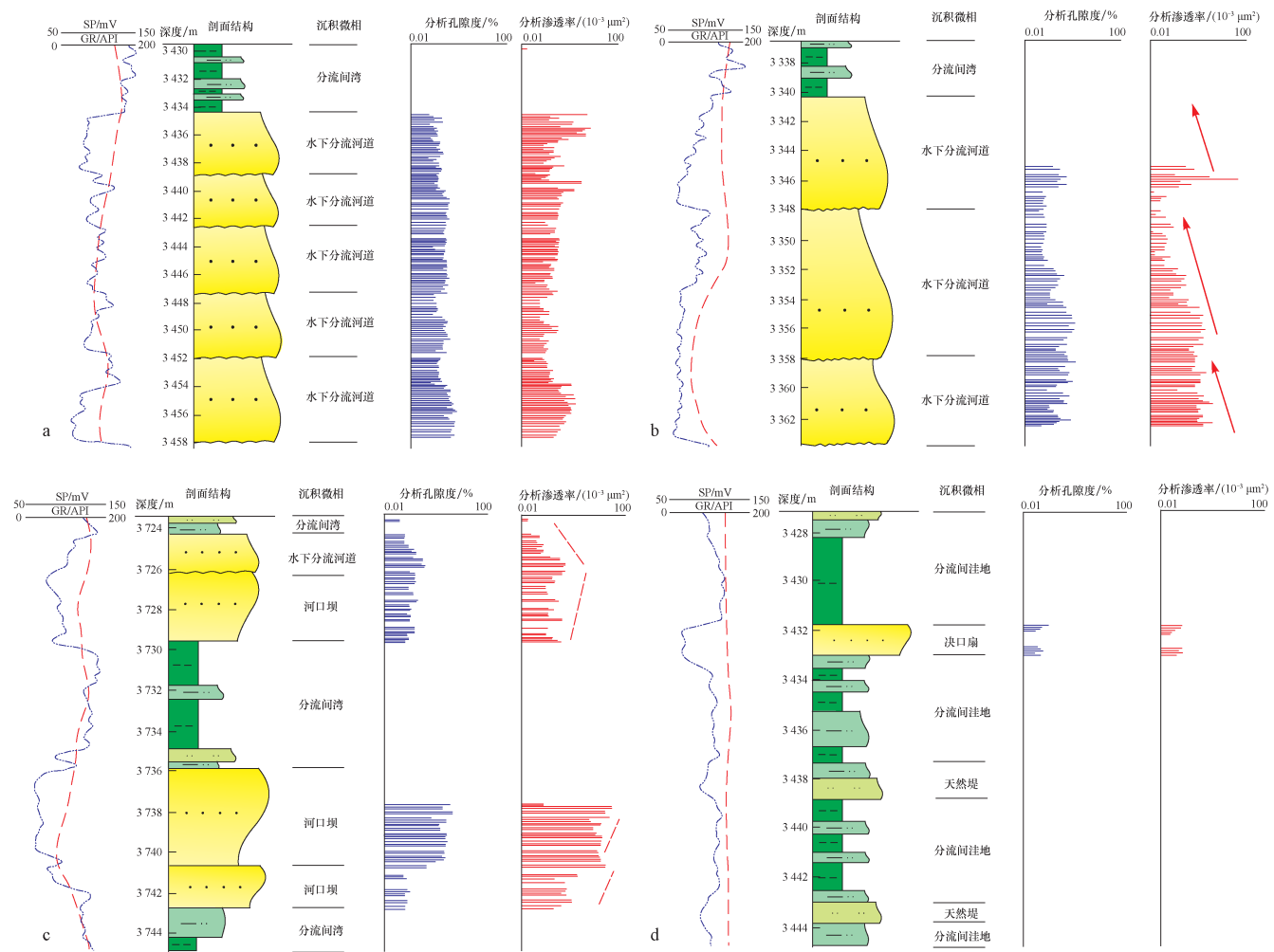


图 2 不同叠置关系砂体非均质性特征

Fig. 2 Heterogeneity characteristics of reservoir formed by various sandstones overlapping

a. 垂向加积作用所形成的储层的非均质性特征(陕 309 井, 盒 8^下); b. 侧向加积作用所形成的储层的非均质性特征(陕 331 井, 山 1 段);
c. 前积(加积)作用所形成的储层的非均质性特征(陕 363 井, 山 1 段); d. 漫积作用所形成的储层的非均质性特征(陕 320 井, 盒 8 段)

1.1.4 漫流沉积作用与储集砂体的非均质性

水体漫过堤岸, 远离河道, 流速减慢, 大量悬浮物质卸载二发生的沉积作用。此种沉积作用常形成的泛滥平原沉积, 或河道两侧的天然堤或决口扇沉积, 如陕 320 井盒 8 段砂体, 此类砂体的非均质特征在垂向上表现低渗透薄砂层孔、渗变化不大或略微反韵律(图 2d)。

1.2 砂层的韵律变化特征

由于受沉积环境和沉积作用的控制, 导致单砂层内碎屑颗粒的粒度大小在垂向上的规律变化称之为粒度韵律或粒序。一般分为正韵律、反韵律、复合韵律和均质韵律四类。通过对高桥地区盒 8 段、山西组砂层的韵律(表 1)统计可以看出, 高桥地区盒 8 段以正、反韵律层交替发育为主, 山西组以连续叠合的若干反韵律偶夹正韵律层交替发育为主。不同韵律储集砂体反映了层内非均质性的差异。

1.3 储层内夹层的特征

储层内夹层是指位于单砂层内部的非渗透层或低渗透层, 一般为泥岩、粉砂质泥岩或钙质砂岩, 厚度从几厘米到几米不等。夹层的存在是影响层内非均质性的关键。对于夹层的描述通常用单位厚度的储层内非渗透性泥质夹层的个数(即夹层分布频率)和单位厚度的储层内非渗透性泥质夹层的总厚度(即夹层分布密度)来描述。通过对研究区内盒 8 段和山西组内均

表 1 高桥地区盒 8 段和山西组砂层的韵律特征
Table 1 Rhythm features of He8 segment and Shanxi Formation sandstones in Gaoqiao area

层位	厚度/m	正韵律 个数	反韵律 个数	复合韵律 个数	韵律 总数
盒 8 ^上	一般 3.8~12, 少数 15~18.2	13	6	4	23
盒 8 ^下	一般 2.4~8.8, 少数 16~20.3	12	7	3	22
山 1 段	一般 2~12, 少数 14~21	8	12	5	25
山 2 段	一般 1.6~5.5, 少数 10~15	4	7	3	14

表2 高桥地区储层夹层统计
Table 2 Mezzanines of reservoir in Gaoqiao area

层位	单井平均 砂岩 厚度/m	单井平均 夹层 厚度/m	单井平均 夹层数	单井夹层 平均 厚度/m	夹层频率/ (层·m ⁻¹)	夹层 密度
盒8 ^上	6.03	2.975	2	1.487	0.33	0.49
盒8 ^下	10.53	1.875	0.875	1.36	0.08	0.18
山1	10.73	1.187	0.625	0.864	0.06	0.11
山2	14.19	1.55	0.67	1.162	0.05	0.11

表3 储层层内非均质性评价标准
Table 3 Evaluation criteria of reservoir
heterogeneity within the layers

评价参数	变异系数(V_k)	突进系数 (T_k)	级差 (J_k)	均质参数
计算公式	$V_k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2 / n}}{\bar{k}}$	$T_k = \frac{K_{\max}}{\bar{k}}$	$J_k = \frac{K_{\max}}{K_{\min}}$	$T_p = \frac{\bar{K}}{K_{\max}}$
非均质程度	弱非均质性 中等非均质性 强非均质性	<0.5 0.5~0.7 >0.7	<2.0 2.0~3.0 >3.0	低值— 高值 越接近1 均质性越好

表4 高桥地区盒8段和山西组储层渗透率非均质参数值

Table 4 Calculation table of reservoir permeability
heterogeneity parameter values of He8 segment
and Shanxi Formation in Gaoqiao area

非均质参数	盒8 ^上	盒8 ^下	山1	山2
级差	239	315	520	950
突进系数	4.69	9.05	7.12	6.69
变异系数	0.18	1.34	0.17	1.09
均质系数	0.213	0.112	0.14	0.149

表5 高桥地区盒8段和山西组储层砂地比

Table 5 Ratio of sand thickness and stratigraphic thickness
of He8 segment and Shanxi Formation in Gaoqiao area

层位	地层平均 厚度/m	单井平均砂岩 层数	单井平均砂岩 厚度/m	单砂层平均 厚度/m	砂地比
盒8上	28.80	3.12	11.32	5.88	0.393
盒8下	31.96	3.62	17.14	5.80	0.536
山1段	45.07	2.50	8.94	3.17	0.198
山2段	19.34	1.67	5.90	3.54	0.305

表6 高桥地区分区域储层砂地比

Table 6 Ratio of sand thickness and stratigraphic thickness of different regions in Gaoqiao area

层位	地区	地层平均厚度/m	单井平均砂岩层数	单井平均砂岩厚度/m	单砂层平均厚度/m	砂地比
盒8 ^上	高桥东	29.10	2.50	7.17	3.26	0.246
	高桥西	28.50	3.75	15.47	8.21	0.543
盒8 ^下	高桥东	32.12	3.75	19.75	5.60	0.615
	高桥西	31.80	3.50	14.52	6.41	0.457
山1段	高桥东	45.52	2.25	8.65	2.98	0.190
	高桥西	44.62	2.75	9.22	3.36	0.207
山2段	高桥东	21.80	1.67	8.50	4.25	0.390
	高桥西	16.87	1.67	3.30	2.12	0.196

普遍含泥质夹层统计(表2)可以看出,区内盒8^上夹层频率最大,达0.33层/m;盒8^下为0.08层/m;山1段为0.06层/m;山2段为0.05层/m。单井夹层平均厚度盒8^上最大,达1.487 m,盒8^下次之,达1.36 m,山1段为0.864 m,山2段为1.162 m。

因此,从夹层分布的频率及密度来看,盒8^上的非均质性最强,其次为盒8^下和山2段,山1段较弱。

1.4 层内非均质性定量评价

在研究层内非均质性时常用渗透率的突进系数(T_k)、级差(J_k)、变异系数(V_k)以及均质系数(T_p)来定量表征层内非均质强度(表3)。

通过据区内盒8段和山西组渗透率非均质参数的统计(表4),可以看出,从突进系数看盒8段和山西组储层均具有较强的非均质性。从变异系数看盒8^下非均质性最强,其次为山2段。从均值系数看各层位均表现为强的非均质性。总体上看山2段的储层非均质性较山1段的强,盒8^下的储层非均质性较盒8^上的强。4个亚层中属盒8^上的均质性最好。

2 层间非均质性

层间非均质性是指相邻储层或砂体垂向上岩性、结构、物性等方面的差异。通常用砂/地比、隔层厚度来表征储层的层间非均质性。通过对高桥地区不同层段、不同区域砂/地比、隔层厚度计(表5—表8),可以看出:盒8^下的砂地比、单砂层平均厚度均最大,盒8^上、山2段次之、山1段最小。从区域上看:高桥西部地区在盒8^上和山1中砂地比值和单井平均砂体厚度大于高桥东部地区(表6)。

隔层厚度统计及分布特征也影响层间非均质性。依据区内盒8段和山西组中的隔层发育特征统计结果(表7),可以看出,山1段的单隔层平均厚度和单井平均隔层厚度都最大,盒8^下、盒8^上此致,山2段最小。从区域上看,高桥东部地区的单隔层平均厚度

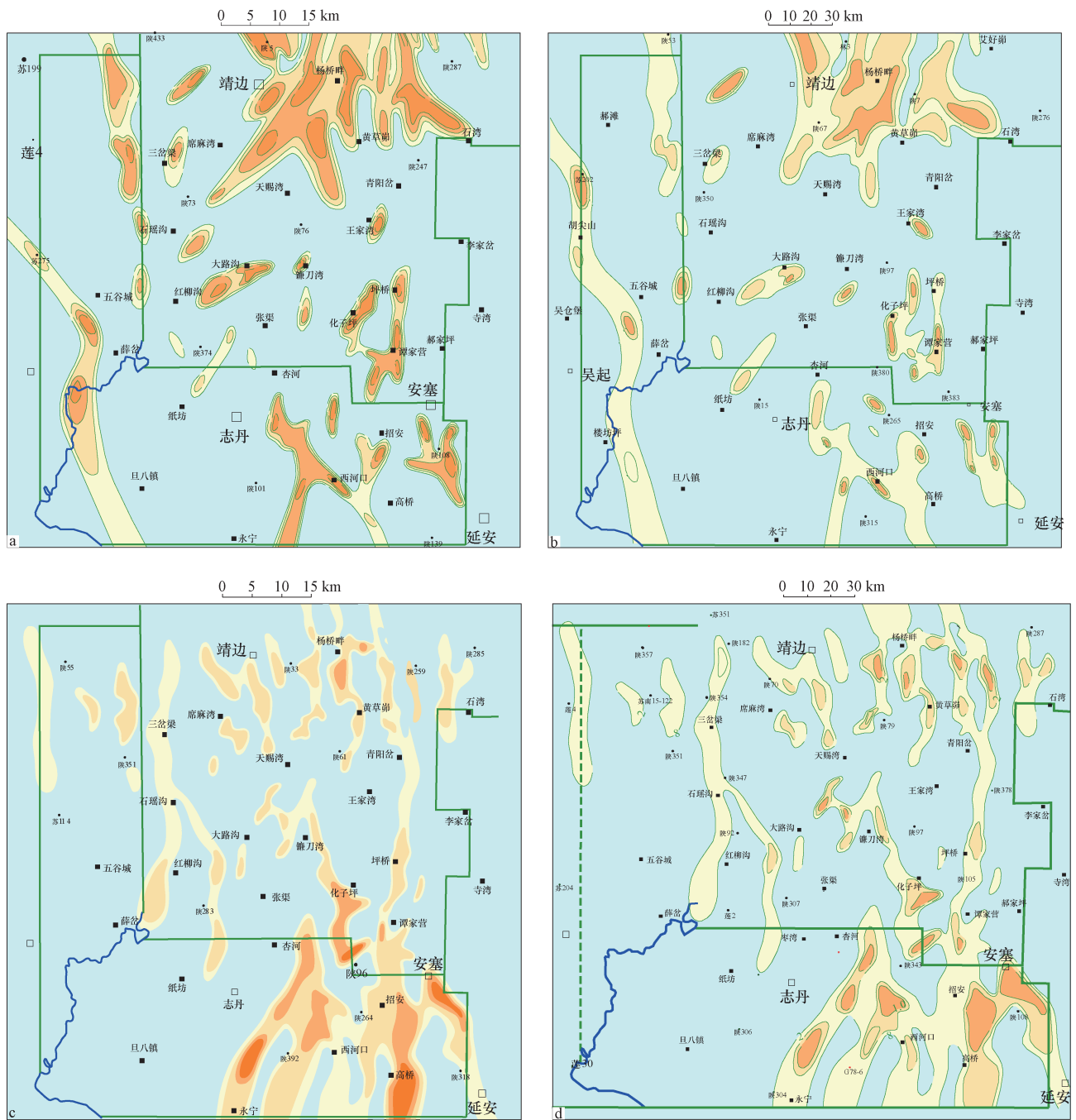


图3 高桥地区上古生界储层孔隙度、渗透率等值线

Fig. 3 Contour maps of porosity and permeability of upper Paleozoic in Gaoqiao area

a. 高桥地区盒8^上孔隙度等值线;b. 高桥地区盒8^上渗透率等值线;c. 高桥地区山2段孔隙度等值线;d. 高桥地区山2段渗透率等值线

表7 高桥地区盒8段和山西组储层隔层

Table 7 Statistics of reservoir compartment of He8 segment and Shanxi Formation in Gaoqiao area

层位	地层平均厚度/m	单隔层平均厚度/m	单井平均隔层厚度/m	单井平均隔层层数
盒8 ^上	28.80	11.36	15.62	1.375
盒8 ^下	31.96	7.52	15.04	1.875
山1段	45.07	16.12	34.25	2.125
山2段	19.34	11.93	11.93	1.000

和单井平均隔层厚度比高桥西部地区的大(表8)。

3 平面非均质性

平面非均质性指同一时期所形成的储集砂体渗透率和孔隙度的平面变化特征。从研究区盒8^上、山2段孔、渗等值线分布图上可以看出(图3):不同地区、不同层段储集砂体的孔隙度、渗透率变化很大,说明储集砂体的平面非均质性非常强。其中,盒8段分流河道、水下分流河道砂体分布带及山西的水下分流河道、河口坝复合发育带是高孔、高渗带,同时也是油气分布富集的有力区带。

表8 高桥地区盒8段和山西组分区储层隔层

Table 8 Statistics of reservoir compartment of He8 segment and Shanxi Formation in Gaoqiao area

层位	地区	地层平均厚度/m	单隔层平均厚度/m	单井平均隔层厚度/m	单井平均隔层层数
盒8 ^上	高桥东	29.10	16.60	20.75	1.25
	高桥西	28.50	7.00	10.50	1.50
盒8 ^下	高桥东	32.12	7.14	12.50	1.50
	高桥西	31.80	7.81	17.58	2.25
山1段	高桥东	45.52	21.28	37.25	1.75
	高桥西	44.62	12.50	31.25	2.50
山2段	高桥东	21.80	10.00	10.00	1.00
	高桥西	16.87	13.87	13.87	1.00

4 结论

1) 研究区上古生界碎屑岩储层形成过程中发生的垂积作用、前积作用、侧积作用和漫积作用等不同沉积作用方式导致储集砂体的非均质性在垂向上也具有不同的变化样式。

2) 根据层内非均质性评价标准对研究区上古生界储层层内非均质性进行了评价,从突进系数看盒8段和山西组储层均具有较强的层内非均质性。从变异系数看盒8^下非均质性最强,其次为山2段。从均值系数看各层位均表现为强的非均质性。总体上看山2的储层非均质性较山1段的强,盒8^下的储层非均质性较盒8^上的强。4个亚层中属盒8^上的均质性最好。

3) 从层间非均质性和平面非均质性上看,不同地区、不同层段储集砂体的非均质性非常强。盒8段的分流河道、水下分流河道、山西的水下分流河道、河口坝复合发育的主砂带往往是高渗带,同时也是油气分布富集的有利区带。

参 考 文 献

- [1] 陈凤喜,卢涛,达世攀,等. 苏里格气田辫状河沉积相研究及其在地质建模中的应用[J]. 石油地质与工程,2008,22(2):21-24.
Chen Fengxi, Lu tao, Da Shipan, et al. Study on sedimentary facies of braided stream and its application in geological modeling in Sulige gas field[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(2): 21-24.
- [2] 付锁堂,田景春,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(3):236-241.
Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, et al. The delta depositional system distribution of late Paleozoic era in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3): 236-241.
- [3] 何顺利,兰朝利,门成全,等. 苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式[J]. 石油学报,2005,26(6):25-29.
He Shunli, Lan Chaoli, Men Chengquan, et al. New braided river model in Sulige Gas Field of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 25-29.
- [4] 白全明,樊长栓,李晓茹,等. 辫状河道砂体模拟—以苏里格苏6井区为例[J]. 石油天然气学报,2005,27(5):580-582.
Bai Quanming, Fan Changshuan, Li Xiaoru, et al. Braided channel sand-body simulation-for example Su 6 region in Sulige[J]. oil & Gas Journal, 2005, 27(5): 580-582.
- [5] 沈玉林,郭英海,李壮福,等. 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相[J]. 古地理学报,2006,8(1):53-62.
Shen Yulin, Guo Yinghai, Li Zhuangfu, et al. Sedimentary facies of the Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation of Permian in Suligemiao area, Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(1): 53-62.
- [6] 王勇,徐晓荣,李文福,等. 苏里格气田苏6井区上古生界沉积相特征研究[J]. 西北大学学报(自然科学版),2007,37(2):266-272.
Wang Yong, Xu Xiaorong, Li Rongfu, et al. Research on the sedimentary facies characteristics of upper paleozoic reservoir in Su 6 region, Sulige gas field[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2007, 37(2): 266-272.
- [7] 邹才能,赵文智,张兴阳,等. 大型敞流拗陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体形成与分布[J]. 地质学报,2008,82(6):813-825.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. Formation and Distribution of Shallow-water Deltas and Central-basin Sandbodies in Large Open Depression Lake Basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 813-825.
- [8] 郭英海,李壮福. 苏里格地区盒8-山1段砂体分布特征研究[R]. 2008.
Guo Yinghai, Li Zhuangfu. The Distribution study of sand bodies of He 8 member-Shan1 member in Suligemiao area[R]. 2008.
- [9] 胡光明,纪友亮,贾爱林,等. 鄂尔多斯盆地苏里格地区二叠系河流相砂体展布规律[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):4-7.
Hu Guangming, Ji Youliang, Jia Ailin, etc. Spreading rule of the fluvial fades sandbody of permian in Sulige area of Eerduosi Basin[J]. Petroleum geology and recovery efficiency, 2004, 11(1): 4-7.
- [10] 郭建林. 苏里格气田相对高产富集储层分布规律研究[D]. 北京:中国地质大学,2008.
Guo Jianlin. Study on Relatively Prolific Reservoir Distribution of Sulige Gas field[D]. BeiJing: China University of Geosciences, 2008.
- [11] 何东博,郑浚茂. 苏里格气田复杂储层控制因素和有效储层预测[D]. 北京:中国地质大学,2005.
He Dongbo, Zheng Junmao. Controls on the Complicated Reservoirs and Prediction of Effective Sandstone Distribution in Sulige Gas field[D]. BeiJing: China University of Geosciences, 2005.

- [12] 陈安清,陈洪德,向芳,等.鄂尔多斯东北部山西组-上石盒子组砂岩特征及物源分析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(3):305-311.
Chen Anqing, Chen Hongde, Xiang Fang, et al. Sandstone characteristic and provenance analysis of the Permian Shanxi Formation-Shangshihezi Formation in the northeast of Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(3): 305-311.
- [13] 付金华,席胜利,刘新社,等.鄂尔多斯盆地上古生界低渗岩性油气藏综合勘探技术[J].石油科学(英文版),2004,1(2):111-118.
Fu Jinhua, Xi Shengli, Liu Xinshe, et al. Permian Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation in Ordos Basin; Palaeogeography and catchment area for sediments derived from north and south provenances[J]. Journal of Palaeogeography (English), 2004, 1(2): 111-118.
- [14] 何自新,杨华,王涛,等.苏里格特大型气田发现及综合勘探技术[R].2006.
He Zixin, Yang Hua, Wang Tao, et al. Sulige large gas field discovered and integrated exploration technology[R]. 2006.
- [15] 何自新,付金华,席胜利,等.苏里格大气田成藏地质特征[J].石油学报,2003,24(2):6-12.
He Zixin, Fu Jinhua, Xi Shengli, etc. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 6-12.
- [16] 李会军,吴泰然,马宗晋等.苏里格气田优质储层的控制因素[J].天然气工业,2004,24(8):12-14.
Li Huijun, Wu Tairan, Ma Zongjin, et al. factors controlling reservoirs with high quality in giant, Sulige Gas field[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(8): 12-14.
- [17] 林雄,徐小蓉,候忠健,等.鄂尔多斯盆地北部山西组-下石盒子期盆地演化与天然气富集规律[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):138-141.
Lin Xiong, Xu Xiaorong, Hou Zhongjian, et al. Law of gas gathering and basin evolution from Shanxi to Xiashihezi Age in northern Ordos basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, 32(2): 138-141.
- [18] 于兴河,马兴祥,穆龙新,等.辫状河储层地质模式及层次界面分析[M].石油工业出版社,北京,2004.
Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. The braided fluvial river reservoir geologic model and the level interface analysis[M]. Oil industry press, Beijing, 2004.

(编辑 董立)

《BP 2035 能源展望》概要

2014年初发布的BP《2035世界能源展望》提出并分析三大问题:世界是否将有足够的能源来驱动经济的持续增长?能源供应是否安全?能源供应是否可持续?《展望》认为,未来的能源增长能够满足经济增长的需求,但能源供应的安全性和可持续性仍然存在严峻挑战。技术的创新和发展在满足世界能源需求方面仍有巨大的潜力和威力,未来的能源安全形势总体乐观。

《展望》预测,在人口增长和收入增加的拉动下,到2035年,全球能源需求将增加41%,年均增速1.5%,其中95%的需求增加来自快速发展的新兴经济体。从供给角度来看,全球范围内技术的进步、投资的稳步增加以及政策的积极支持,促使全球能源生产的节奏能够跟上需求增加的步伐,页岩气、致密油和可再生能源等新型能源将在全球供应增长中占据重要份额。到2035年,可再生能源、页岩气、致密油和其他新型燃料的总体平均增长为6.2%,贡献了43%的能源生产增量。石油、天然气、煤炭3种能源的市场份额各占约27%;可再生能源、核能、水能合计约占20%。能源效率必将在全球化和竞争的驱动下持续提高,人们对油气能否满足需求增长的担心正逐渐淡化。

在能源依存度方面,美国在页岩气革命的推动下正在完成从进口国到出口国的角色转化,其次、卡塔尔、澳大利亚将陆续成为页岩气净出口大国。页岩气将彻底改变美国天然气贸易格局,并对全球液化天然气贸易产生深远影响。欧洲、中国和印度的依存度将有所提高,未来亚洲将成为主要的能源进口区域。俄罗斯依然是主要的能源出口国,而非洲在全球能源供应格局中的地位将有所抬升。中东的能源出口份额将从2012年的46%降至2035年的38%。在可持续性方面,碳排放水平仍然是能源发展面临的巨大挑战。《展望》预测全球二氧化碳排放2035年将增长29%,年均增速1.1%,全部增长都来自新兴经济体。同时,随着天然气和可再生能源抢占煤炭和石油市场份额,排放增长会有所放缓。

赵旭 供稿