

# 致密砂岩气藏有效砂体分布及主控因素

## ——以苏里格气田南区为例

郭智<sup>1</sup>, 贾爱林<sup>1</sup>, 薄亚杰<sup>2</sup>, 唐海发<sup>1</sup>, 郭本晓<sup>3</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油测井有限公司技术中心, 西安 710077;  
3. 陕西延安石油天然气有限公司, 西安 710002)

**摘要:** 苏里格气田南区是苏里格气田主体向南的延伸, 距离物源区远, 储层埋深大, 成岩作用强。落实有效砂体分布及主控因素, 是苏南等气田边部地区高效开发的基础。以苏南盒 8、山 1 段储层为目标, 结合构造、沉积、储层、成岩分析, 研究了有效砂体的空间展布特征, 总结了有效砂体的主控因素。苏南有效砂体多分布在心滩和分流河道底部等粗砂岩相, 垂向上发育孤立型、垂向叠置型、侧向搭接型 3 种模式, 平面上分布在中、东部 2 条主砂带内。在有效储层形成过程中, 宽缓的构造坡降是沉积、成藏的背景, 强水动力条件下的浅水辫状河三角洲平原沉积控制了储层的分布格局, 而成藏前的压实、胶结、溶蚀等成岩作用深刻改造了储层, 塑造了有效砂体的形态。

**关键词:** 有效砂体; 沉积; 砂体分布; 成岩作用; 主控因素; 苏里格气田

中图分类号: TE122.2<sup>+</sup>5

文献标识码: A

## Effective sand body distribution and its main controlling factors in tight sandstone gas reservoirs:

### A case study of southern Sulige Gas Field

Guo Zhi<sup>1</sup>, Jia Ailin<sup>1</sup>, Bo Yajie<sup>2</sup>, Tang Haifa<sup>1</sup>, Guo Benxiao<sup>3</sup>

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;*  
2. *Technology Center of CNPC Logging Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710077, China;*  
3. *Shaanxi Yan'an Oil and Natural Gas Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710002, China*)

**Abstract:** The southern Sulige area is the southward extension of the main part of the Sulige Gas Field, where is far from sediment provenance, buried deep and has a strong diagenesis. Understanding the distribution characteristics and main controlling factors of effective sand body is the basis of the efficient development of the edge regions of the Sulige Gas Field, such as the southern Sulige area. Focusing on the reservoirs of He8 member and Shan1 member, the areas of tectonic, sedimentation, reservoir and diagenesis were studied, and the distribution characteristics and main controlling factors of effective sand body were concluded. The effective sand bodies in the southern Sulige area mainly distribute in point bars and the bottom of distributary channels, and can be vertically classified into three types: isolated, vertically stacking, and laterally shiplap ones. Horizontally, they locate in the central and eastern sand belts of the study area. During the formation of effective reservoirs, a gentle structure background is necessary for the sedimentation and formation of gas reservoirs. The shallow braided-river delta plain deposits in the strong hydrodynamic environment determined the distribution pattern of reservoir, whereas the compaction, cementation and dissolution diagenesis before the formation progress of gas reservoirs greatly reformed the reservoirs and controlled the distribution of effective sand body.

**Keywords:** effective sand body; sedimentation; sand body distribution; diagenesis; mainly controlling factors; Sulige Gas Field

苏里格气田南区(下文简称苏南)位于苏里格气田的边部, 勘探面积 10 000 余平方千米, 二叠系

盒 8、山 1 段为主要的目的层段。苏里格气田勘探开发步伐稳步加快, 以苏南为代表的苏里格边部地

区的高效开发已关系到大苏里格“十二五”末建产  $250 \times 10^8 \text{ m}^3$  及后续稳产的顺利实现。与苏里格主体相比,苏南沉积水体深,距离物源远,埋深大,成岩作用强,加之研究区面积大,勘探开发起步晚,时间短,资料相对不完备,储层分布规律、主控因素等研究存在争议和空白。在基础资料调研的基础上<sup>[1-8]</sup>,通过构造特征、沉积环境、储层特征、成岩作用等分析,研究了苏南砂体及有效砂体的空间展布特征,总结了有效砂体展布的主控因素。区内有效砂体多分布在中、东部2条主砂带的心滩中下部和分流河道底部的粗砂岩相,这是构造、沉积、成岩等多因素共同作用的结果。苏南虽位于苏里格气田边部,仍具有一定的开发潜力,按照沉积演化规律,苏南再往南的浅水辫状河三角洲前缘相储层,值得下一步的研究和探索。

## 1 基本地质特征

### 1.1 构造特征

苏南处在苏里格气田的南部边缘(图1),位于伊陕斜坡以西,天环凹陷以东,整体受控于鄂尔多斯盆地宽缓的构造背景<sup>[9]</sup>。区域构造为一宽缓的南西倾大单斜,北东高,南西低,坡降  $4 \sim 8 \text{ m/km}$ ,坡角  $0.2^\circ \sim 0.5^\circ$ ,区内断层基本不发育。坡角小、坡降缓的构造背景下形成的浅水辫状河三角洲<sup>[10-11]</sup>,使得各亚相分布规模较常规的辫状河三角洲范围广,尤其是浅水辫状河三角洲平原沉积,更是大面积分布(图2)。

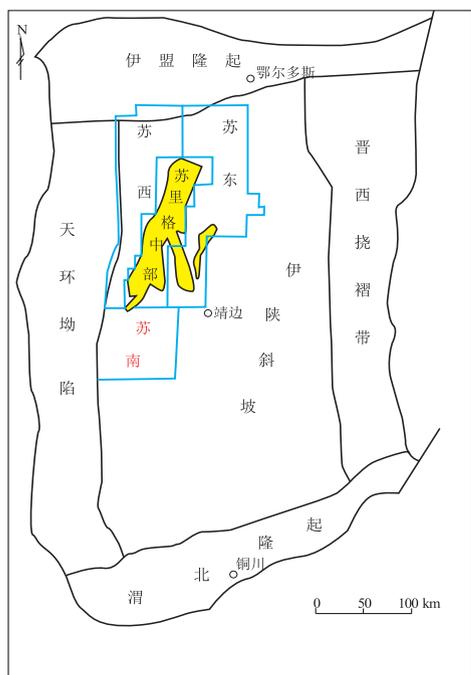


图1 苏里格气田南区位置

Fig.1 Location of southern Sulige Gas Field

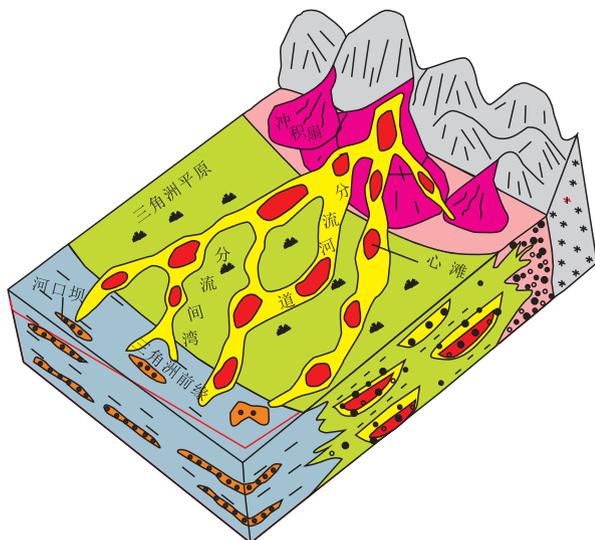


图2 鄂尔多斯盆地缓坡型浅水辫状河三角洲示意

Fig.2 Shallow braided-river delta in gentle structure background of Ordos Basin

### 1.2 沉积特征

苏南储层岩性以中砂岩、粗砂岩为主,偶见含砾粗砂岩和中细砂岩,而苏中储层岩性主要为粗砂岩、含砾粗砂岩。与苏中相比,苏南距离物源远,水动力减弱,岩石粗粒组分减少。

苏南沉积构造可见板状交错层理、河道底部冲刷构造,发育指示水体环境动荡的灰绿色、紫红色、杂色泥岩,可见植物根迹,沉积序列基本为正粒序(图3)。结合区域沉积背景、岩心观察、测井相分析、沉积剖面等,将区内沉积环境判断为宽缓构造背景下形成的浅水辫状河三角洲平原沉积,可细分为心滩、分流河道、分流间湾3种沉积微相。因浅水辫状河三角洲平原的分流河道与辫状河沉积具有一定的相似性,这里借用辫状河河道中“心滩”的概念,来指代分流河道的高能砂体。

(1)心滩:位于辫状分流河道的中心,水体能量最强,砂体厚度较大,沉积物粒度粗,分选好。测井曲线呈齿化的箱型、钟形,是研究区最有利的储层。

(2)分流河道:为浅水辫状河三角洲平原相的沉积主体,形成三角洲的大量泥沙都是通过它们搬运至河口处沉积下来的。分流河道具有一般河道沉积的特征,即以砂质沉积为主,以及向上逐渐变细的层序特征。但它们比中、上游河流沉积的粒度细,分选变好;以中砂岩、细砂岩为主,GR曲线以钟型、齿化钟型为主。

(3)分流河道间:分布在分流河道之间,粒度较细,岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主,沉积构造主要发育弱水动力条件下形成的水平层理、波纹层理,GR曲线幅度低,接近泥岩基线。

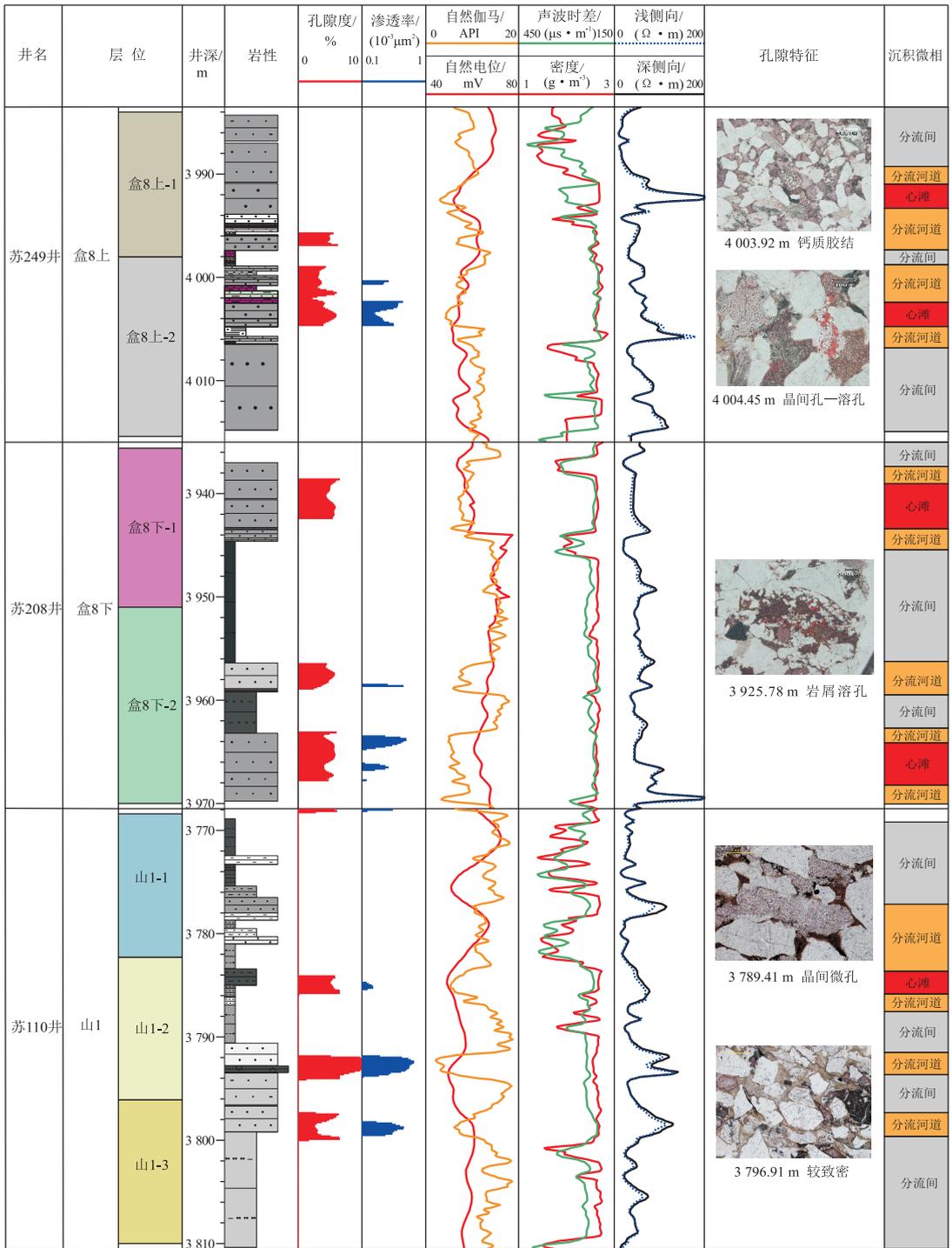


图 3 苏里格气田南区典型井沉积序列

Fig.3 Sedimentary sequence of typical wells in southern Sulige area

苏南山 1—盒 8 地层, 由下至上发育 3 套正旋回沉积, 分别对应山 1、盒 8 上、盒 8 下 3 段地层, 其中盒 8 下段砂体最为发育。在 1 套正韵律旋回的底部, 多期分流河道砂体、分流河道与心滩砂体之间互相切割、叠置, 形成了厚度大、横向连续性相对好、钻遇率高的砂体。在旋回的顶部, 随着水动力条件的减弱, 河道受限制性迁移, 多呈孤立状, 延伸范围小, 砂体规模小。

### 1.3 储层特征

苏南岩石类型以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩为主, 储层物性差、长石含量低, 孔隙度主要分布在 4.0%~14.0%, 平均 5.97%; 渗透率主要分布在  $(0.1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间, 平均  $0.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 从盒 8 上到山 1, 各层段物性明显小于苏中 (表 1), 为典型的致密砂岩储层。

苏南储层较致密, 储集空间主要为杂基溶孔、

表1 苏里格气田南区与苏中岩心孔、渗分析

Table 1 Porosity and permeability comparison of cores in southern and central Sulige areas

层段	苏南			苏中		
	孔隙度/%	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	样品数/ 块	孔隙度/%	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	样品数/ 块
盒8上	6.89	0.469	1 418	8.57	0.768	472
盒8下	6.04	0.300	1 410	6.98	0.472	1 091
山1	4.99	0.103	675	6.59	0.304	536

表2 苏里格气田南区各小层砂体及有效砂体统计

Table 2 Sand body and effective sand body statistics for each sublayer in southern Sulige area

层位	小层	地层 厚度/m	砂体 厚度/m	砂体 钻遇率/%	砂地比	有效 厚度/m	有效砂体 钻遇率/%
盒8上	H811	15.04	3.57	72.05	0.24	1.04	26.02
盒8上	H812	15.81	4.77	85.59	0.28	2.16	43.90
盒8下	H821	15.50	4.03	71.62	0.26	1.58	36.18
盒8下	H822	15.96	5.28	82.97	0.33	2.31	47.56
山1	S11	14.99	2.54	59.39	0.17	0.51	16.26
山1	S12	15.15	3.33	66.38	0.22	1.04	28.46
山1	S13	15.73	3.51	72.05	0.22	1.20	31.71

岩屑溶孔、晶间孔等次生孔隙,以及残余粒间孔、少量微裂隙。磨圆以次棱—次圆为主,分选中等—好,结构成熟度中等,反映了长距离而沉积分异不明显的搬运特征,与浅水辫状河三角洲的沉积环境是契合的。

## 2 砂体及有效砂体分布规律

### 2.1 砂体及有效砂体规模

苏南盒8、山1段各小层砂体厚度一般分布在3~5 m,有效砂体1~2.3 m(表2)。盒8段砂体、有效砂体要比山1段发育,尤以盒8上-2、盒8下-2小层砂体、有效砂体最为发育。山1段、盒8下段、盒8上段每个层段内的各小层从下到上,砂体厚度、有效厚度、砂地比、砂体钻遇率、有效砂体钻遇率有明显减小的趋势,和浅水辫状河三角洲平原下粗上细的正沉积序列一致<sup>[12]</sup>。

各层段有效厚度与砂体厚度虽然呈正相关关系,但相关系数仅为0.634 5,表明除了沉积作用对该地区储层有效厚度有一定的控制作用之外,后期成岩改造效应叠加可能是另外一种主要控制因素。

据完钻井统计,苏南单砂体有效厚度处于0.5~2.5 m之间,其中盒8有效砂体平均2.25 m,山1段平均1.12 m;而苏中盒8单砂体有效厚度平均3.44 m,山1平均3.16 m。苏南有效砂体单层厚度较苏中明显减薄,有效储层开发潜力变差。按照辫状河砂体40~80的宽厚比统计数据,苏南折算有效砂体单砂体宽度20~200 m;按照辫状河砂体1.5~3的长宽比统计

数据,折算有效砂体单砂体长度30~600 m。

### 2.2 平面分布规律

苏南砂体受物源和沉积环境控制,呈南北向条带状展布(图4a)。有效砂体平面上分布较分散,基本不连片(图4b),局部富集,主要集中在区内中、东部2条主砂带的北部。对比砂体厚度和有效砂体等厚图(图4),同样可以发现有效厚度分布趋势整体受砂体厚度控制,局部又与砂体厚度存在很大不同<sup>[13]</sup>,这跟研究区所受强烈的成岩作用有关<sup>[14]</sup>。研究区中、东部为2条主砂带的汇集区,有效砂体集中发育,而研究区西部有效砂体相对不发育。受物源控制,北部有效砂体发育程度好于南部。

### 2.3 垂向分布规律

受浅水辫状河三角洲沉积控制,区内有效砂体多呈小薄层分散分布,纵向上多个小层含气,主河道部位发育集中分布、累积厚度较大的有效储层。砂体垂向叠置样式主要有孤立型、垂向叠置型、侧向搭接型。

位于心滩和分流河道底部的剖面AA'(图5a),储层岩性较粗,成分较纯,物性最好,单层有效厚度可达10 m以上。砂体组合形式为河道下切形成的厚层孤立型、多期河道叠置形成的垂向叠置型,横向上较稳定,连通性较好,是区内最有利的储层。位于河道下游的分流河道沉积的剖面BB'(图5b),粗粒成分减少,单砂体厚度在5~8 m,有效砂体横向不稳定,纵向上多有隔夹层,以薄层孤立型和河道迁移形成的侧向搭接型为主,储层质量一

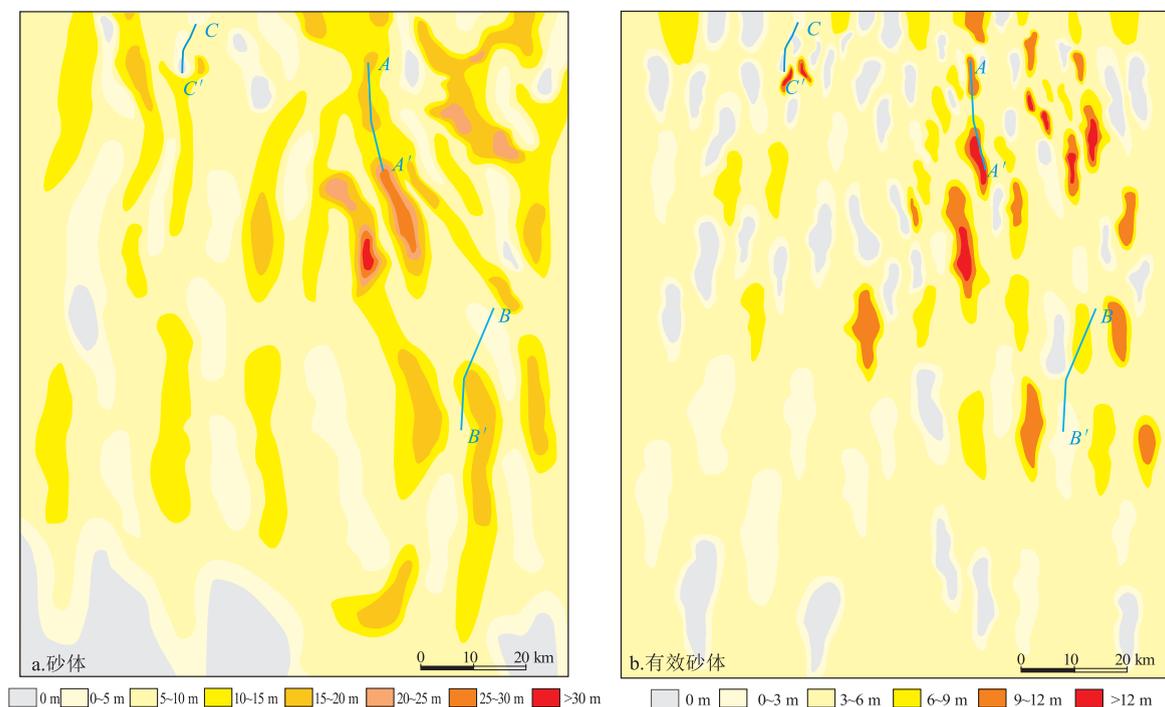


图4 苏里格气田南区盒8下段砂体与有效砂体厚度平面分布

Fig.4 Sand body thickness and effective sand body thickness plans of lower part of He8 member in southern Sulige area

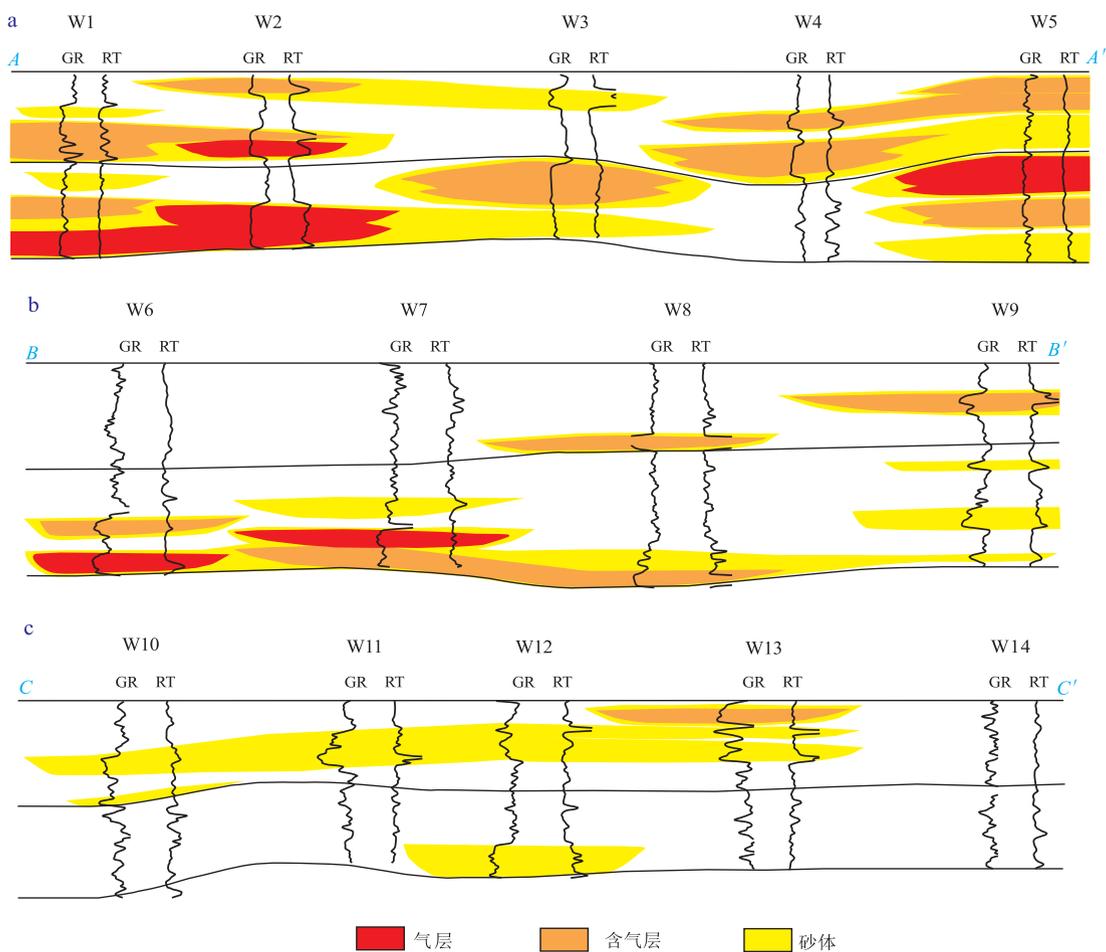


图5 苏里格气田南区盒8下段砂体及有效砂体剖面  
剖面位置见图4

Fig.5 Sand body and effective sand body sections of lower part of He8 member in southern Sulige area

般。位于分流间湾内的剖面  $CC'$  (图 5c), 砂体薄且不连续, 零星可见有效砂体, 以薄层孤立型为主, 储层开发潜力差。

### 3 有效砂体控制因素

苏南储层在物性、砂体规模等方面皆劣于苏里格主体, 是由构造因素、沉积环境、成岩作用共同影响造成的<sup>[15-17]</sup>。在宽缓的构造坡降背景下, 强水动力下浅水辫状河三角洲平原沉积宏观上决定了储层的分布格局<sup>[18-19]</sup>, 而在大量排烃之前, 储层已经历了强烈的压实、胶结等成岩作用, 形态和分布发生了巨大的改变。

#### 3.1 构造背景

鄂尔多斯盆地构造平缓, 坡度小, 河流水动力强, 对浅水辫状河三角洲形成起建设作用, 使得顺物源方向各个相带宽, 分布面积广, 范围大; 另一方面, 在区域地层平缓的构造背景下, 天然气沿上倾方向大规模运移很难克服较强的阻力。再加上油源不足, 故区内天然气多为就近运移, 这就造成了构造对气藏的构造作用不明显, 表现为构造下倾方向仍可发育有利含气区。例如, 处在深部的盒 8 下段虽然物性要差于浅部的盒 8 上段, 但含气性却好。

#### 3.2 沉积体系

苏南与苏中受来自西北方的同一沉积物源控制, 岩石学组分相近, 石英含量高、岩屑含量低, 但苏南距离物源更远, 从苏中的辫状河沉积演变为浅水辫状河三角洲平原沉积。相比于苏中, 苏南沉积水动力减弱, 沉积相带变窄, 砂体规模减小, 粗砂岩组分降低。沉积作用控制着砂体的规模, 是成岩作用的基础, 决定着有效储层形成和改造。

#### 3.3 压实作用

压实作用对储层影响很大。苏南盒 8 上段储层的岩心分析平均孔隙度为 6.89%, 平均渗透率为  $0.469 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 随着埋深增大, 山 1 段平均孔隙度降为 4.99%, 平均渗透率降为  $0.103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

压实作用跟岩石埋深、岩石组分有关<sup>[20]</sup>。苏南与苏中相比, 一是苏南平均埋藏深度超过苏中 400 m, 二是距离物源更远, 粗粒组分减少, 抗压性减弱。较大的埋深, 较少的抗压粗粒组分, 使得苏南储层承受的压实作用强于苏中。

#### 3.4 胶结作用

胶结作用是导致储层致密化的主要原因。区内含气层为煤成气型气藏, 煤系酸性水介质条件缺乏早期碳酸盐胶结物, 利于晚期  $\text{SiO}_2$  的沉淀, 故煤系地层致密砂岩中胶结作用以硅质胶结为主<sup>[21]</sup>,

主要包括石英次生加大和自生石英孔隙充填, 钙质胶结为辅。石英次生加大现象明显的颗粒成缝合线形式接触, 孔隙空间几乎被占据, 仅发育少量粒内溶孔; 碳酸盐胶结物主要以充填粒间孔隙、交代矿物、衬状边以及连晶形式出现。

以自生绿泥石为主的自生黏土矿物环边, 能够在一定程度上降低可供胶结的石英颗粒表面积<sup>[22]</sup>, 从而起到抑制石英次生加大和保留原生粒间孔的作用。

#### 3.5 溶蚀作用

苏里格气田气源主要来自石炭系的本溪组和二叠系的山西组, 气源岩于三叠纪开始成熟, 晚侏罗—早白垩世达到生烃高峰。大量排烃时, 苏南盒 8、山 1 段距海平面埋深 3 400~3 600 m, 地温 120~140 °C, 处于晚成岩 B 期<sup>[23-24]</sup>, 即烃类大规模运移之前, 压实作用、胶结作用已使储层变得较致密。苏南储层先致密后成藏, 原生孔隙基本消失殆尽, 以次生孔隙为主, 溶蚀作用是形成次生孔隙的主要原因。

溶蚀作用与埋藏环境中地层水介质的酸碱度、离子含量及流通性密切相关。当温度达到 100~140 °C 时, 地层水 pH 值明显降低, 一些酸性不稳定矿物将发生溶蚀而形成次生孔隙<sup>[24]</sup>。与苏里格主体相比, 苏南储层距离物源远, 搬运距离长, 以长石为代表的酸性不稳定组分含量低, 溶蚀作用相对较弱, 在一定程度上导致了次生孔隙的相对不发育, 溶孔面孔率低。

虽然溶蚀作用在局部范围内可以改善砂岩的储集性能, 但溶蚀产物发生质量传递和异地胶结作用, 增强了储层的非均质性, 封闭了局部孔隙喉道, 又在一定程度上损害了储层整体的连通性, 这也是致密低渗储层非均质性强和渗透能力低的主要原因之一。

#### 3.6 构造、沉积、成岩的叠加作用

在构造、沉积、成岩的叠加作用下, 苏南区的有效储层多为浅水辫状三角洲平原相沉积中的相对粗砂岩相, 如分流河道底部和心滩沉积。这是因为, 分流河道底部、心滩等粗砂岩相沉积水动力强, 分选好, 岩性为较纯的石英砂岩; 储层物性好, 分布稳定, 连续性及连通性强; 石英等刚性颗粒含量高, 在深埋藏状态下原生孔隙得以最大程度的保存; 较好的储层连通性、原生孔隙的保存为溶蚀作用提供了流体运移的通道。

## 4 结论

(1) 苏南相比于苏中, 距离物源远、埋深大, 沉

积水动力减弱,粗粒组分减少,储层规模减小,长石含量降低,物性差,成岩作用强。

(2) 苏南有效砂体薄而分散,剖面上成孤立型、垂向叠置型、横向切割型分布,平面上富集在中、东部 2 条主砂带的汇集区。有效储层多为辫状三角洲平原相沉积中的心滩、分流河道底部等粗砂岩相。

(3) 苏南储层先致密后成藏,构造、沉积、成岩等协同作用,控制了区内砂体及有效砂体的分布格局。

参考文献:

[1] 杨斌虎,刘小洪,罗静兰,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田东部优质储层分布规律[J].石油实验地质,2008,30(4):333-339.  
Yang Binhu, Liu Xiaohong, Luo Jinglan, et al. Distribution regularity of high-quality reservoirs in the eastern Sulige gas field, the Ordos basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(4): 333-339.

[2] Wang Fengjiang, Zhang Guangjie, Zhang Ying, et al. History and prospect of natural gas development in China[C]. Doha, Qatar: International Petroleum Technology Conference, 2005.

[3] Ping Wang, Jiang Ruizhong, Wang Shichao. Lessons learned from North America and current status of unconventional gas exploration and exploitation in China[C]. Vienna, Austria: Society of Petroleum Engineers, 2012.

[4] Jia Ailin. The development strategies for gas fields of low permeability, low abundance and in heterogeneity[C]. Beijing, China: Society of Petroleum Engineers, 2006.

[5] 赵荣华,田景春,郝海燕,等.苏里格气田苏 76、苏 77 井区山西组岩相类型及沉积相[J].断块油气田,2012,19(1):70-74.  
Zhao Ronghua, Tian Jingchun, Hao Haiyan, et al. Rock facies type and sedimentary facies of Shanxi Formation in Su 76 and Su 77 Well Area, Sulige Gas Field[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(1): 70-74.

[6] 金文辉,王林琪,周文,等.苏里格气田东二区北部盒 8 段水体分布及主控因素[J].油气地质与采收率, 2013, 20(3):22-25.  
Jin Wenhui, Wang Linqi, Zhou Wen, et al. Water distribution and main influencing factors in He8 member, north of East-2 of Sulige gasfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 22-25.

[7] 成志刚,宋子齐,景成,等.苏里格东区致密气储层成岩储集相分类及特征[J].断块油气田,2012,19(5):577-582.  
Cheng Zhigang, Song Ziqi, Jing Cheng, et al. Classification and characteristics of reservoir diagenetic facies for tight gas reservoir in eastern area of Sulige[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(5): 577-582.

[8] 成志刚,宋子齐,何羽飞,等.岩石物理相分类与致密储层含气层评价:以苏里格气田东区致密储层老井复查为例[J].油气地质与采收率,2013,20(5):23-27,32.  
Cheng Zhigang, Song Ziqi, He Yufei, et al. Classification of petrophysical facies and gas evaluation in tight reservoir-case of re-evaluation of old wells in eastern Sulige[J]. Petroleum Geology

and Recovery Efficiency, 2013, 20(5): 23-27, 32.

[9] 郑和荣,胡宗全.渤海湾盆地及鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件分析[J].石油学报,2006,27(3):1-5.  
Zheng Herong, Hu Zongquan. Gas pool-forming conditions for Bohai Bay Basin and Ordos Basin in the Upper Paleozoic[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 1-5.

[10] 金振奎,何苗.三角洲沉积模式的新认识[J].新疆石油地质,2011,32(5):443-446.  
Jin Zhenkui, He Miao. New understanding of delta depositional model[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(5): 443-446.

[11] 何顺利,兰朝利,门成全.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. New braided river model in Sulige Gas Field of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 25-29.

[12] 李会军,吴秦然,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):12-13.  
Li Huijun, Wu Tairan, Ma Zongjin, et al. Research on the basic characteristics and control factors of high-quality reservoir in Sulige Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(8): 12-13.

[13] 李志鹏,林承焰,董波,等.河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式[J].石油学报,2012,33(1):101-105.  
Li Zhipeng, Lin Chengyan, Dong Bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(1): 101-105.

[14] 宫雪,沈武显,李文厚,等.苏里格气田苏 77 区块特低渗储层成岩相识别及分布规律研究[J].石油实验地质,2014,36(3):291-298.  
Gong Xue, Shen Wuxian, Li Wenhui, et al. Diagenetic facies identification and distribution study of ultra-low permeability reservoir in Su77 block of Sulige gas field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 291-298.

[15] 赵文智,汪泽成,朱怡翔,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田低效气藏的形成机理[J].石油学报,2005,26(5):5-9.  
Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Zhu Yixiang, et al. Forming mechanism of low-efficiency gas reservoir in Sulige Gas Field of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 5-9.

[16] 王素荣,李国华,南珺祥.苏里格南部地区上古生界储层特征及影响因素分析[J].石油化工应用,2011,30(4):54-58.  
Wang Surong, Li Guohua, Nan Junxiang. The influential factors and characteristics of the upper Palaeozoic reservoirs in the south of the Sulige area[J]. Petrochemical Industry Application, 2011, 30(4): 54-58.

[17] 王晓梅,赵靖舟,刘新社.苏里格地区致密砂岩地层水赋存状态和产出机理探讨[J].石油实验地质,2012,34(4):400-405.  
Wang Xiaomei, Zhao Jingzhou, Liu Xinshe. Occurrence state and production mechanism of formation water in tight sandstone reservoirs of Sulige area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(4): 400-405.

[18] 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, et al. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field[J]. Acta Petrolei Sinica,

- 2003,24(2):6-12.
- [19] 李文厚,魏红红,赵虹,等.苏里格庙地区二叠系储层特征及有利相带预测[J].西北大学学报:自然科学版,2002,2(4):335-340.
- Li Wenhou, Wei Honghong, Zhao Hong, et al. Prediction of oil-bearing facies belts and reservoir characteristics of Permian system in Suligemiao region [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2002, 2(4): 335-340.
- [20] 魏红红,李文厚,邵磊,等.苏里格庙地区二叠系储层特征及影响因素分析[J].矿物岩石,2002,22(3):42-46.
- Wei Honghong, Li Wenhou, Shao Lei, et al. The effect factors and characteristics of Permian reservoir in Suligemiao region [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2002, 22(3): 42-46.
- [21] 郑浚茂,应凤祥.煤系地层(酸性水介质)的砂岩储层特征及成岩模式[J].石油学报,1997,18(4):19-24.
- Zheng Junmao, Ying Fengxiang. Coal measures strata (acidic medium) sandstone reservoir characteristics and diagenesis model [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(4): 19-24.
- [22] 李易隆,贾爱林,何东博.致密砂岩有效储层形成的控制因素[J].石油学报,2013,34(1):71-82.
- Li Yilong, Jia Ailin, He Dongbo. Control factors on the formation of effective reservoirs in tight sands: examples from Guang'an and Sulige gasfields [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 71-82.
- [23] 白玉彬,赵靖舟,方朝强,等.鄂尔多斯盆地长6油层组准连续性致密砂岩油藏形成机理[J].石油实验地质,2013,35(1):65-71.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Fang Chaoqiang, et al. Forming mechanism of quasi-continuous tight sandstone reservoir of Chang 6 oil-bearing formation, Ordos basin. [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 65-71.
- [24] 杨华,付金华,刘新社,等.鄂尔多斯盆地上古生界致密气成藏条件与勘探开发[J].石油勘探与开发,2012,39(3):295-303.
- Yang Hua, Fu Jinhua, Liu Xinshe, et al. Accumulation conditions and exploration and development of tight gas in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 295-303.

(编辑 黄娟)

(上接第683页)

- [13] 潘仁芳,伍媛,宋争.页岩气勘探的地球化学指标及测井分析方法初探[J].中国石油勘探,2009,14(3):6-9.
- Pan Renfang, Wu Yuan, Song Zheng. Geochemical parameters for shale gas exploration and basic methods for well logging analysis [J]. China Petroleum Exploration, 2009, 14(3): 6-9.
- [14] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: issues and discussion [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [15] Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A, et al. Mississippian Barnett shale, Fort Worth Basin, north-central Texas: gas-shale play with multi-trillion cubic foot potential [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.
- [16] 张金川,王宗余,聂海宽,等.页岩气及其勘探研究意义[J].现代地质,2008,22(4):640-646.
- Zhang Jinchuan, Wang Zongyu, Nie Haikuan, et al. Shale gas and its significance for exploration [J]. Geoscience, 2008, 22(4): 640-646.
- [17] Martini A M, Walter L M, Ku T C W, et al. Microbial production and modification of gases in sedimentary basins: A geochemical case study from a Devonian shale gas play, Michigan Basin [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(8): 1355-1375.
- [18] 王社教,李登华,李建忠,等.鄂尔多斯盆地页岩气勘探潜力分析[J].天然气工业,2011,31(12):1-7.
- Wang Shejiao, Li Denghua, Li Jianzhong, et al. Exploration potential of shale gas in the Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 1-7.
- [19] Loucks R G, Ruppel S C. Mississippian Barnett shale: Lithofacies and depositional setting of a deep-water shale-gas succession in the Fort Worth Basin, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 579-601.
- [20] Ross D J K, Bustin R M. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(6): 916-927.
- [21] 程启贵,郭少斌,王海红,等.鄂尔多斯盆地中西部长6油层组储层综合评价[J].石油实验地质,2010,32(5):415-419.
- Cheng Qigui, Guo Shaobin, Wang Haihong, et al. Comprehensive reservoir evaluation of Chang-6 oil-bearing layers in Midwest Ordos basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 415-419.
- [22] 谭成仟,宋子齐,高哲荣.灰色系统理论在二连浩特舒特凹陷储层评价中的应用[J].物探化探计算技术,1998,20(1):62-71.
- Tan Chengqian, Song Ziqi, Gao Zherong. Grey system theory and its application to reservoir evaluation in Hong Haoershute Depression [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 20(1): 62-71.

(编辑 黄娟)