

# 蜀南低缓构造区须家河组岩性气藏形成条件与勘探潜力

金惠<sup>1</sup>,杨威<sup>1</sup>,夏吉文<sup>2</sup>,马彦良<sup>2</sup>,施振生<sup>1</sup>,沈珏红<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院 天然气地质研究所,河北 廊坊 065007;

2. 中国石油西南油气田分公司 蜀南气矿,四川 泸州 646000)

**摘要:**与四川盆地川中地区须家河组岩性气藏相对比,近年来蜀南地区须家河组勘探和开发一直没有获得重大突破,蜀南低缓构造区须家河组是否存在岩性气藏形成条件和勘探潜力一直为众人所关注。综合分析露头、岩心和测井资料,并通过对该区须家河组构造背景、沉积砂体、烃源岩和储层等成藏条件、成藏主控因素研究认为:蜀南低缓构造之间存在大面积地层平缓区,具备大面积岩性气藏形成的构造背景;须家河组一段、三段、五段及六段二亚段为广覆式分布烃源岩,具备面式生烃特征,为岩性气藏的形成奠定气源基础;大型敞流型湖盆内须二段、须四段、须六段一亚段和须六段三亚段以砂岩沉积为主,砂体分布广并多层叠置,具备较好储集条件;源岩层与储集层间互沉积,源储一体使蜀南须家河组与川中须家河组具有相似的面状供烃、近源高效聚集成藏特征。蜀南地区须家河组具备岩性气藏形成基础,可形成大规模岩性大气区,勘探潜力巨大。该认识为低缓构造区须家河组勘探部署提供充分地质依据,并指明低缓构造之间的平缓区域是下一步勘探重要领域。

**关键词:**低缓构造;成藏条件;岩性气藏;须家河组;蜀南地区;四川盆地

**中图分类号:**TE122.3

**文献标识码:**A

## Lithologic gas reservoir formation and exploration potential of the Xujiahe Formation in gently structured zones, southern Sichuan Basin

Jin Hui<sup>1</sup>, Yang Wei<sup>1</sup>, Xia Jiwen<sup>2</sup>, Ma Yanliang<sup>2</sup>, Shi Zhensheng<sup>1</sup>, Shen Juehong<sup>1</sup>

(1. Department of Natural Gas Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang, Hebei 065007, China; 2. Shunan Gasfield, Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Luzhou, Sichuan 646000, China)

**Abstract:** There is no significant breakthrough in the exploration and development of the Xujiahe Formation in Shunan area in recent years compared with that of lithologic gas reservoir of the Xujiahe Formation in the central Sichuan Basin. Thus the lithologic gas reservoir forming conditions and exploration potential of the Xujiahe Formation in gently structured zones of Shunan area have always been the focus of attention. With the integrated analysis of outcrop, core and logging data, and the investigation of various accumulating conditions and major controlling factors, such as tectonic setting, sedimentary sandbody development, source rock presence, reservoir characteristics and etc. of the Xujiahe Formation in this area, we believe that: (1) a large area of flat laying strata in the tectonically quiescent area is favorable for forming lithologic gas reservoirs; (2) the source rocks capable of large area hydrocarbon generation are distributed widely in the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup>, 5<sup>th</sup> member and the 2<sup>nd</sup> submember of the 6<sup>th</sup> member of the Xujiahe Formation, providing the gas source for lithologic accumulation; (3) the 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup> member and the 1<sup>st</sup>, 6<sup>th</sup> submember of the 6<sup>th</sup> member of the Xujiahe Formation in the large-scale open flow lacustrine basin mainly are sandstones that are widespread and present in multiple zones, favorable for reservoir formation; (4) source beds and reservoirs interbeddedly deposit, resulting in similar accumulating features to the Xujiahe Formations in the central Sichuan Basin, i. e. large area continuous source kitchen hydrocarbon supply and efficient near-source charge. We believe that the Xujiahe Formation in the Shunan area has the conditions favorable for lithologic gas accumulating and may have formed a large-scale gas accumulation area. The understanding

收稿日期:2017-04-20;修订日期:2017-12-12。

第一作者简介:金惠(1970—),女,博士、高级工程师,油气地质。E-mail:jh69@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05007)。

provides the geological basis for the exploration deployment of the Xujiahe Formation in tectonically quiescent zones, and indicates that the gently structured area between the low structures will be a focus for further exploration.

**Key words:** low gentle structure, accumulating condition, lithologic gas reservoir, Xujiahe Formation, Shunan area, Sichuan Basin

近年来,碎屑岩岩性气藏勘探在四川盆地川中地区须家河组和鄂尔多斯盆地上古生界获得重大突破,先后发现川中广安、安岳、合川和鄂尔多斯盆地苏里格、乌审旗、榆林等多个地质储量超过  $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  的大气田。整体上,四川盆地和鄂尔多斯盆地目前已经发现的大面积碎屑岩岩性气区均处于相对平缓的构造背景<sup>[1-5]</sup>,为低孔渗砂岩气藏,而在这些平缓构造区以外的其它地区,如低缓、低陡构造区,以往须家河组主要是以构造气藏勘探为主,钻井集中分布于构造高部位,如何把川中地区、鄂尔多斯盆地岩性油气藏勘探研究理论和方法应用到低缓、低陡构造发育区,寻找大规模岩性气藏是这些地区须家河组下一步勘探需要解决的主要问题。

本文以蜀南低缓构造区为研究工区,以须家河组为研究目的层,对须家河组构造背景、烃源岩、储层、储盖组合等成藏条件和成藏主控因素进行探讨,确定该地区具备碎屑岩岩性气藏发育条件,为低缓构造区须家河组的勘探部署提供了充分的地质依据,拓展了该地区须家河组勘探领域。

## 1 研究区概况

蜀南低缓构造区位于四川盆地南部,西至乐山市犍为,东至隆昌—宜宾华蓥山断裂带,北达内江,南抵宜宾,呈北东—南西向带状展布,勘探面积约  $7\,000 \text{ km}^2$ 。区域构造属于川西南低缓构造区,发育麻柳场、观音场、自流井等 16 个喜马拉雅期低缓褶皱构造圈闭。

该地区针对须家河组的勘探工作开展较晚,勘探程度总体较低,钻遇该层位的井多数为以嘉陵江组和下二叠统为目的层的过路井,并主要位于构造高部位。但是,在已钻遇须家河组钻井中,须家河组油、气、水显示频繁,近年针对须家河组部署的几口专层勘探井也见到较好成效。目前,65 口测试井中,已获 33 口工业气井,部分井开发效果较好。观音场气田音 27 井自 1992 年投产以来,生产情况良好。截止 2016 年底,已累计产天然气  $1.858 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,目前仍有  $1.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  左右生产能力,至今无地层水产出,展示了该地区须家河组良好的勘探开发前景<sup>[6]</sup>。

## 2 须家河组岩性气藏成藏地质条件

### 2.1 构造背景

晚三叠世以来,四川盆地经历燕山和喜马拉雅两次构造运动,其中喜马拉雅运动对现今构造格局形成起到至关重要的控制作用。在蜀南西部地区,受喜马拉雅运动影响,形成十余个近北东—南西向和近东西向发育的局部构造,北东—南西向构造分布于隆昌—富顺—宜宾一带,如隆昌、邓井关、宜宾和赵场构造,近东西向构造主要位于北部至西北部自贡和犍为一带,如麻柳场等构造,在两排构造间发育有大塔场、兴隆场穹隆背斜构造(图 1)。

研究区须家河组构造面积和闭合幅度差异大,圈闭面积从  $2.2 \sim 124 \text{ km}^2$  不等,绝大部分构造在几十平方公里,闭合幅度介于  $15 \sim 670 \text{ m}$ ,多数为  $100 \sim 300 \text{ m}$ 。与川东高陡构造相比,其构造闭合幅度低,归属于低陡、低缓构造;与川中构造相对比,构造闭合度相似,但圈闭面积偏小(广安须六段构造闭合度  $340 \text{ m}$ ,面积  $241.6 \text{ km}^2$ ,合川须二段构造闭合度  $92 \text{ m}$ ,面积  $629.6 \text{ km}^2$ )。整体上,低缓构造面积小、幅度低,彼此分散,构造之间地层平缓(图 1),其平缓构造特征与川中安岳、潼南地区构造相似,故具有与川中须家河组大规模岩性气藏相似的有利构造背景<sup>[7]</sup>。

侏罗纪及以前,由于无大的构造运动,须家河组沉积古地貌及各时期古构造轮廓分异较小,现今发育的须家河组断裂主要为喜马拉雅期形成的构造伴生断裂,北西—南东向断裂主要分布在研究区西部麻柳场、自流井地区,北东—南西向断裂位于东部隆昌、邓井关地区。受喜马拉雅构造运动多期次影响,东部断裂较西部更加发育,力度也更强,如邓井关、兴隆场构造的部分断层已切穿须家河组,进入上覆侏罗系,甚至与地表断层相通。

### 2.2 生储盖组合

四川盆地在晚三叠世处于前陆盆地发育期,川中—川东和川西南—川南地区一直是稳定而平缓的斜坡带<sup>[8-9]</sup>,地层坡度多小于  $3^\circ$ ,一般为  $1^\circ \sim 2^\circ$ 。这一时

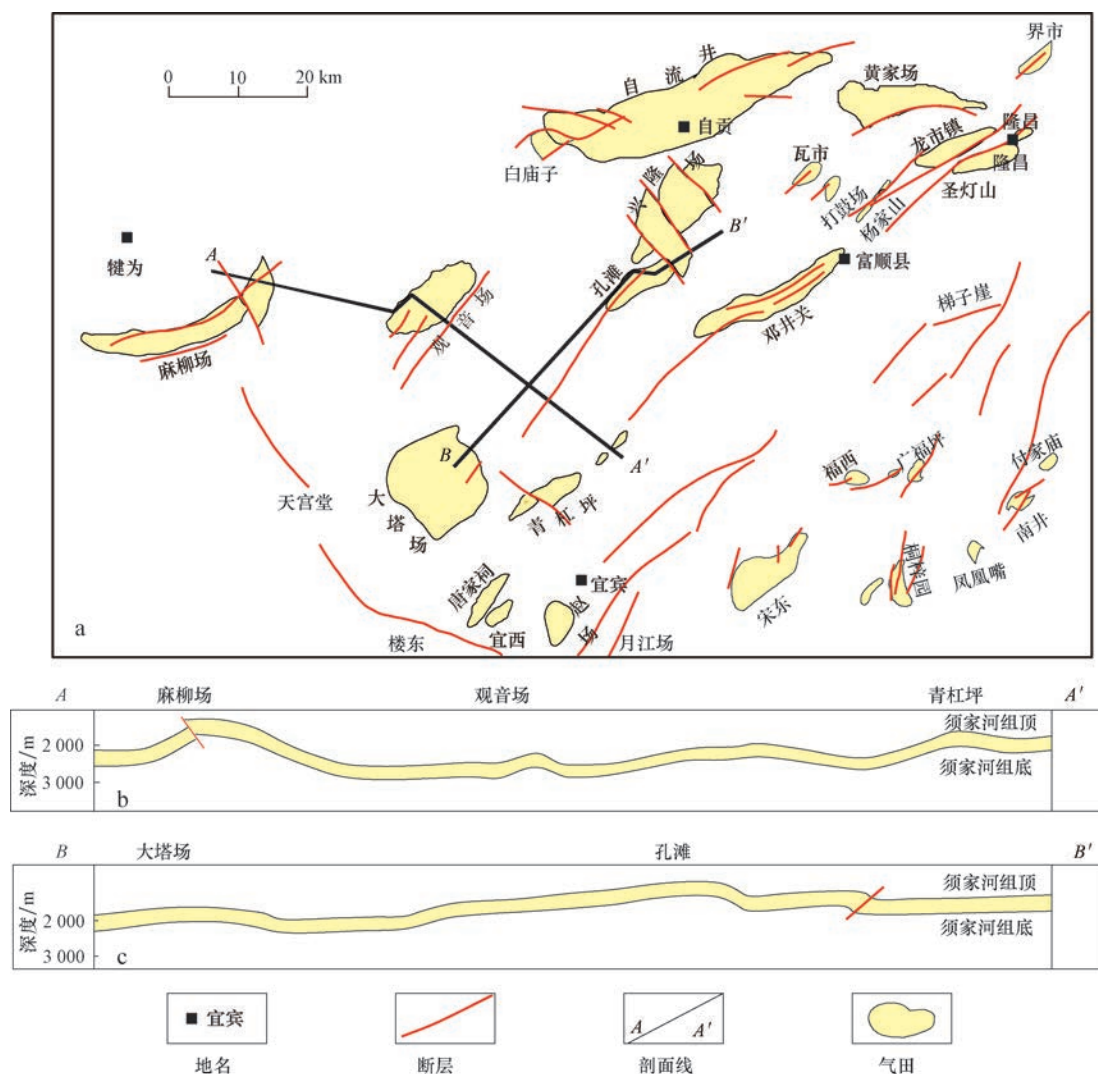


图1 蜀南西部须家河组构造圈闭分布及地质剖面

Fig. 1 Distribution and geological profile of structural traps of the Xujiahe Formation in the western Shunan area

a. 须家河组构造圈闭分布; b. 麻柳场—观音场—青杠坪地质剖面; c. 大塔场—孔滩地质剖面

期整个四川盆地主要以垂向升降运动为主,平缓地形加上整体一致的垂向升降造成湖水大规模进退。当周缘古陆及造山带快速抬升时,湖平面下降,充足的物源供给造成河道砂体快速推进到湖盆中心,并因湖水频繁进退而大面积分布<sup>[8-10]</sup>,形成须二、须四、须六段大面积厚层状沉积砂体;在构造相对平静期,湖平面上升,湖泊水域拓宽,大范围发育有机质丰富的泥质岩沉积,形成须一、须三、须五段泥质烃源岩发育层。与川中地区须家河组完整的地层发育特征不同,因晚三叠世前陆盆地沉积、沉降中心不断由龙门山前向东部内陆迁移,造成整个须家河组由西向东逐渐超覆,并最终在川南—黔北一带形成晚三叠世晚期—侏罗纪、白垩纪沉降中心。由此,蜀南地区晚三叠世表现为早期地层沉积厚度薄,晚期沉积厚度大,体现在须一段厚度薄甚至缺失,须六段厚

度变大,且须六段自身三分性更加明显,可进一步细分为须六段一亚段、须六段二亚段和须六段三亚段3个亚段。其中须六段一亚段、须六段三亚段与须二段、须四段一样,为湖平面下降期沉积,发育大面积河道砂体,须六段二亚段与须一、三、五段相似,为湖平面上升期,以暗色泥质烃源层广泛发育。故而,在蜀南地区发育须一、三、五段和须六段二亚段4套烃源层段以及须二、四段和须六段一亚段、须六段三亚段4套储集层段。此外,每一期湖水进退过程中还伴随更小规模湖盆频繁震荡,形成多期短暂湖水升降旋回,造成须一、三、五段和须六段二亚段主要烃源层段内部也发育砂岩储层,须二、四段和须六段一亚段、须六段三亚段主要储集层段内也发育薄层泥、页岩沉积,大面积分布砂岩层与泥页岩层相互叠置,在蜀南地区形成与川中地区类似的多套广覆式分布生储盖组合(图2)。

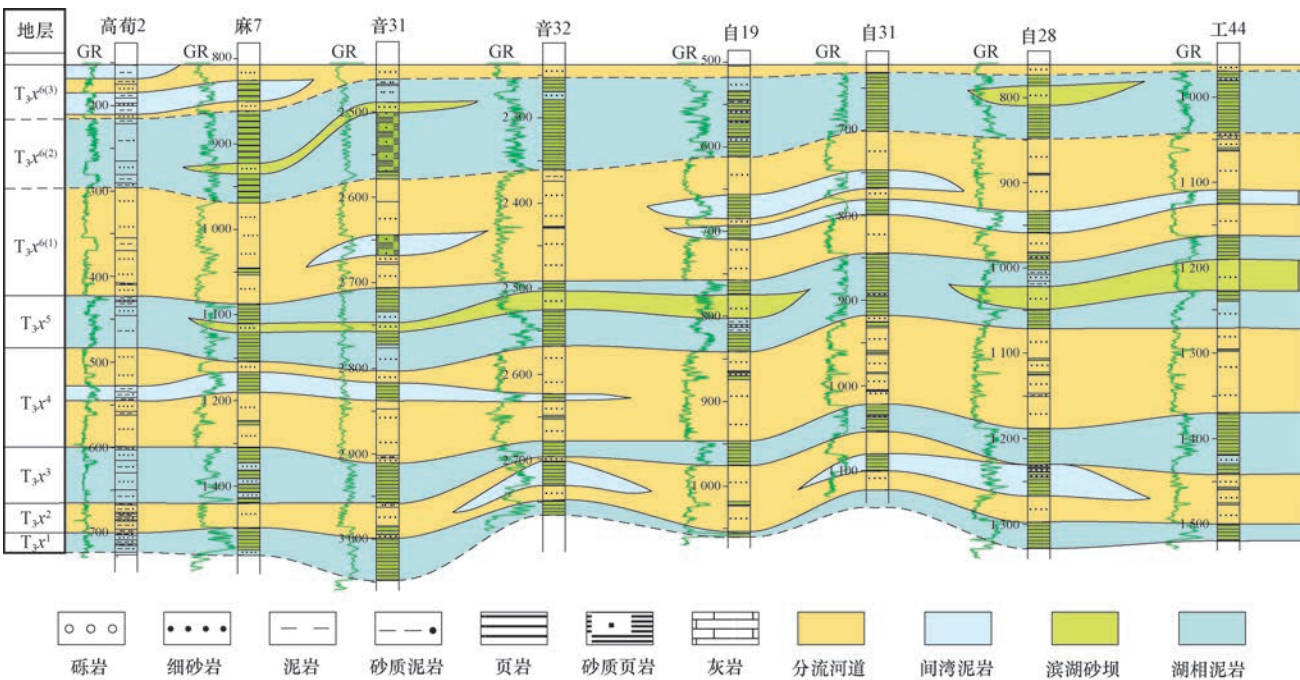


图2 研究区上三叠统须家河组生储盖剖面

Fig. 2 Source-reservoir-caprock profile of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the study area

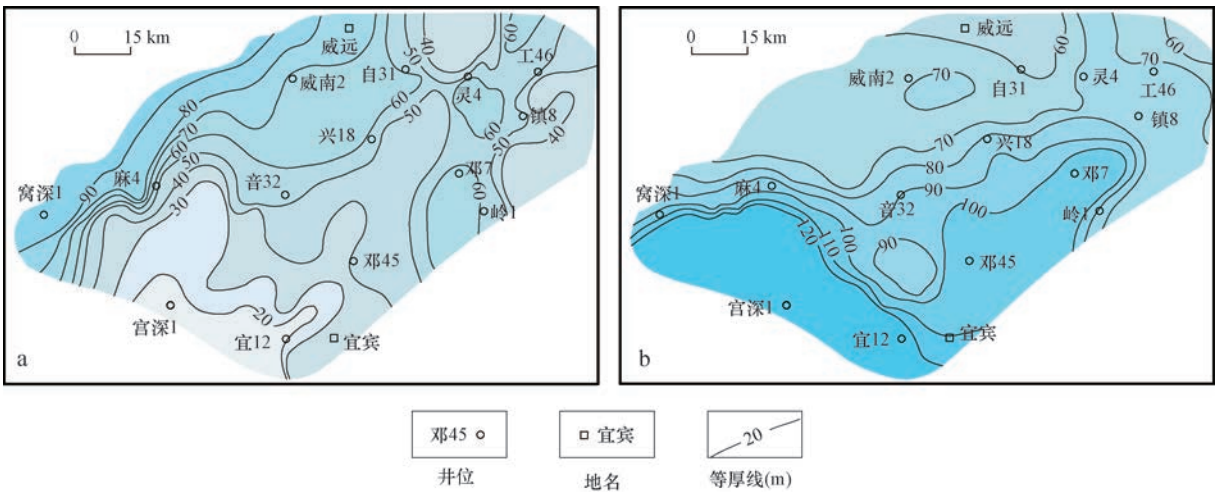


图3 研究区须家河组烃源岩厚度

Fig. 3 Source rock thickness of the Xujiahe Formation in the study area

a. 须五段;b. 须六段二亚段

2.3 气源特征

须家河组烃源岩为湖泊或沼泽相暗色泥岩和煤层,主要分布于须一、须三、须五和须六段二亚段。由于须一、须三段厚度薄或缺失,须五段和须六段二亚段是该地区最主要烃源层段,须五段中页岩厚度一般在30~70 m,须六段二亚段中页岩一般厚70~100 m,麻柳场西端最厚可达80 m以上(图3)。此外,须六段一亚段中部页岩夹层厚度也达20~40 m,同时,须二段向西逐步相变为一套浅湖相页岩沉积,厚度约20~40 m,

须六段一亚段和须二段中两套页岩层段也能作为该地区次要烃源层。各层泥页岩累积厚度在200~300 m,分布面积达到 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

露头 and 岩心18个烃源岩样品分析表明:须家河组烃源岩有机碳含量介于0.60%~7.61%,平均值为2.07%(图4),有机质丰度以麻柳场地区最高。有机质类型以腐植型为主,少量腐泥腐植型。镜质反射率介于0.97%~1.22%,有机质处于成熟~高成熟阶段,烃源岩在白垩纪进入成烃高峰期,现今仍处于生烃阶段。干酪显微组份分析表明,腐泥组含量为30%~

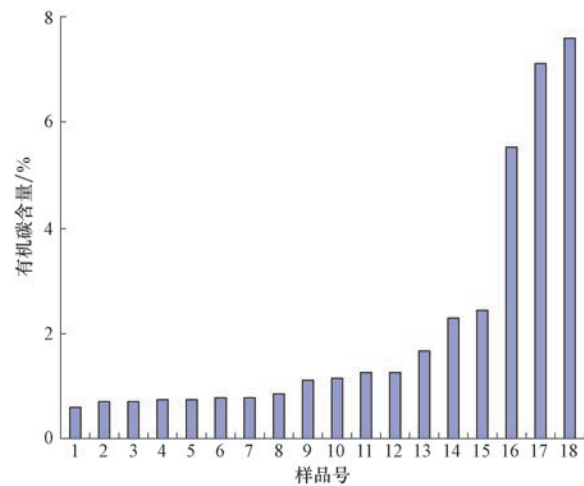


图 4 研究区须家河组有机碳含量分布

Fig. 4 Distribution of organic carbon content of the Xujiache Formation in the study area

50%,壳质组含量极少,镜质组占 20%~30%,惰质组占 25%~35%,腐泥组与惰质组含量较高;有机质类型以腐植型为主,少量为腐泥腐植型(表 1)。

2.4 砂体分布特征

研究表明,晚三叠世四川盆地为敞流型湖盆,湖盆出口位于川西南部地区<sup>[9-10]</sup>,此时蜀南地区整体上以大型浅湖相三角洲沉积体系为主,物源主要来自东南方向的江南古陆,物源供给充足、地形坡降平缓、湖水频繁进退造成三角洲分流河道砂体相互叠置,大面积分布。须二段沉积时期是前陆盆地由海陆过渡相正式转变陆相沉积的时期,靠近湖盆出口的研究区西部和南部为浅湖和滨湖沼泽相沉积,在天宫堂和孔滩发育小面积滨湖砂坝,三角洲砂体主要位于北部威远和自贡一带(图 5)。须四段沉积时期,沉积范围进一步扩大,分流河道砂体叠置连片,分布广泛,砂地比普遍大于 90%~95%,单个分流河道砂体无法分辨,故而在此将砂地比大于 80%以上的区带定义为河

道主体,砂地比处于 70%~80%区带定义为河道边缘,此时研究区以大规模河道主体沉积为主。须六段沉积时期,沉积中心南移造成须六段一亚段和须六段三亚段继续发育大型三角洲砂体,主河道砂体分布面积分别为 7 000 km<sup>2</sup> 和 5 800 km<sup>2</sup>,占整个研究区面积 70%以上。

储集层以岩屑长石石英砂岩、长石岩屑石英砂岩为主,储集空间主要为原生粒间孔、次生溶孔。据全区 1 269 个物性数据分析,须家河组孔隙度主要分布在 3%~6%,平均孔隙度为 5.096%,渗透率主要分布与 (0.01~1) × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,平均渗透率为 0.277 × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,与川中地区相同都属于低孔、低渗储层<sup>[11-13]</sup>。在局部井段也发育较好储层,如瓦 6 井须六段一亚段中部 1 134~1 145 m 岩心平均孔隙度达 12.63%,麻 14 井须四段下部 1 313~1 325 m 岩心平均孔隙度为 7.9%。

储层发育主要受控于沉积微相和成岩作用。根据单井沉积微相与储层物性关系统计,储层物性较好的相带有三角洲水下分支河道和河口坝沉积微相。水下分流河道物性最好,平均孔隙度为 7.3%,平均渗透率为 0.266 × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,河口坝沉积微相平均孔隙度在 5.8%。这些相带岩石成分成熟度和结构成熟度较高,粒度较粗(一般在中砂以上),分选较好,杂基含量较少。三角洲前缘远砂坝、席状砂和砂泥坪物性较差,其平均孔隙度一般小于 5%,平均渗透率小于 0.1 × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。

成岩作用对有效储层形成至关重要。与川中类似,建设性成岩作用主要有溶蚀作用和绿泥石胶结<sup>[11-13]</sup>。溶蚀作用强烈与否是次生孔隙发育关键所在,研究区广泛发育的粒内溶孔、粒间溶孔和铸模孔即是溶蚀作用结果。粘土矿物常使孔隙喉道变得迂回曲折甚至堵塞喉道,使储层渗透率大大降低,尽管绿泥石胶结占据一定孔隙空间,但能阻止石英增生,有效地保护原生粒间孔隙,故而仍是一种建设性成岩作用。从绿泥石含量与孔渗数据统计分析来看,两者有一定正

表 1 干酪根镜鉴组分及镜质体反射率数据

Table 1 Kerogen type and vitrinite reflectance data table

| 井号或剖面 | 层位     | 干酪根显微组分含量/% |     |     |     | 干酪根类型          | R <sub>o</sub> /% | δ <sup>13</sup> C/‰ |
|-------|--------|-------------|-----|-----|-----|----------------|-------------------|---------------------|
|       |        | 腐泥组         | 壳质组 | 镜质组 | 惰质组 |                |                   |                     |
| 麻 14  | 须六段二亚段 | 50          | 1   | 21  | 28  | Ⅲ              | 0.97              | -26.87              |
| 瓦 6   | 须六段二亚段 | 41          | 1   | 28  | 30  | Ⅲ              | 1.13              | -25.40              |
| 音 23  | 须六段二亚段 | 54          | 0   | 20  | 26  | Ⅱ <sub>2</sub> | 1.05              | -25.50              |
| 黄石板   | 须三段    | 29          | 2   | 32  | 37  | Ⅲ              | 1.19              | -25.33              |
| 音 23  | 须五段    | 58          | 0   | 17  | 25  | Ⅱ <sub>2</sub> | 1.12              | -26.56              |
| 黄石板   | 须五段    | 32          | 4   | 30  | 34  | Ⅲ              | 1.16              | -26.14              |
| 黄石板   | 须一段    | 34          | 1   | 28  | 37  | Ⅲ              | 1.22              | -25.17              |

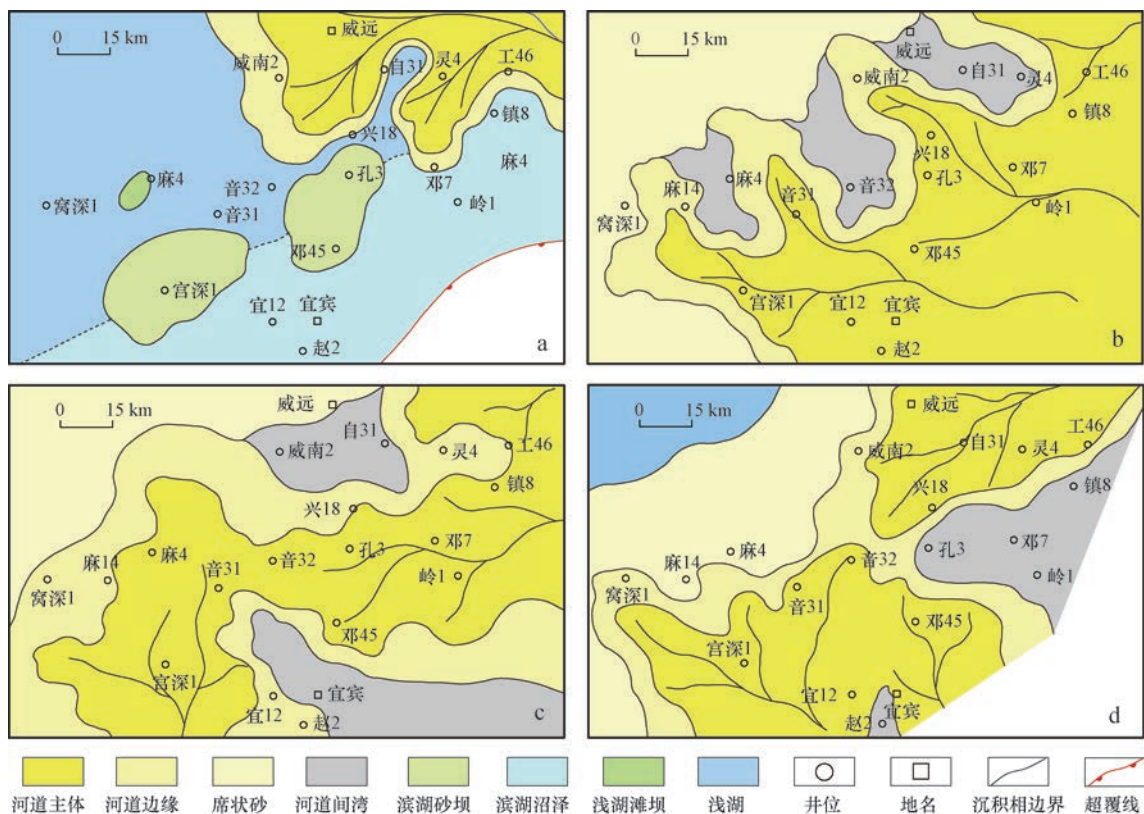


图5 川南地区须家河组沉积相分布

Fig. 5 Sedimentary facies distribution of the Xujiahe Formation in the southern Sichuan Basin

a. 须二段; b. 须四段; c. 须六段—亚段; d. 须六段—三亚段

相关性,绿泥石含量高的样品其孔隙度和渗透率也往往较高。

### 3 岩性气藏形成控制因素

#### 3.1 广覆式生烃和“三明治”生储结构

川中地区和鄂尔多斯盆地碎屑岩岩性气藏勘探表明,大面积分布的烃源岩及其广覆式生烃是平缓构造背景下岩性气藏发育的重要条件<sup>[14-16]</sup>。对于蜀南低缓构造区,同样具备广覆式生烃基本条件,除须一段烃源层以外,其它各套烃源层均覆盖整个研究区,并均达到生烃门限。广泛分布且具有生烃能力的烃源层与相邻储集层紧密接触,据统计,须三段、须五段及须六段二亚段各套烃源岩与其上覆储层叠置面积都在 5 000 km<sup>2</sup> 左右。生、储间互叠置的“三明治”构造对油气近源聚集极为有利<sup>[1-4,17-22]</sup> (图 6)。由此可以看出,蜀南地区须家河组与川中地区须家河组具有相似成藏条件,有利于大规模岩性圈闭气藏形成。

#### 3.2 良好的保存条件

位于低缓构造之间的宽缓向斜区,须家河组埋深

多大于 1500m,同时上覆地层厚度大、保存条件良好。喜马拉雅期相伴生的区域构造断层主要发育在低缓构造带(图 1),而在宽缓向斜区主要发育须家河组层内断层,这类断层一方面伴生出大量能够改善储层性能的网状裂缝,同时还有效地沟通了须家河组内部源岩和储层,形成致密砂岩储层中孔-缝网状输导体系,对岩性圈闭气藏形成较为有利<sup>[4,7]</sup>。

### 4 有利勘探区带和勘探前景

上述研究表明,蜀南低缓构造区须家河组具备大规模岩性气藏形成条件,具有良好勘探前景,可成为蜀南地区下一步勘探重要接替领域。综合评价生烃条件、砂体分布、储层评价、保存条件和钻探状况后认为,麻柳场以北(区带 1)、观音场以东(区带 2)是该地区较有利岩性圈闭勘探区带(图 7)。

#### 4.1 麻柳场主体构造以北区带

位于麻柳场构造以北,处于南北构造高点之间,面积 700 km<sup>2</sup>。烃源岩发育,累积烃源岩厚度在 300 ~ 400 m,须三和须五段生烃强度在  $(4 \sim 10) \times 10^8$  m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>。

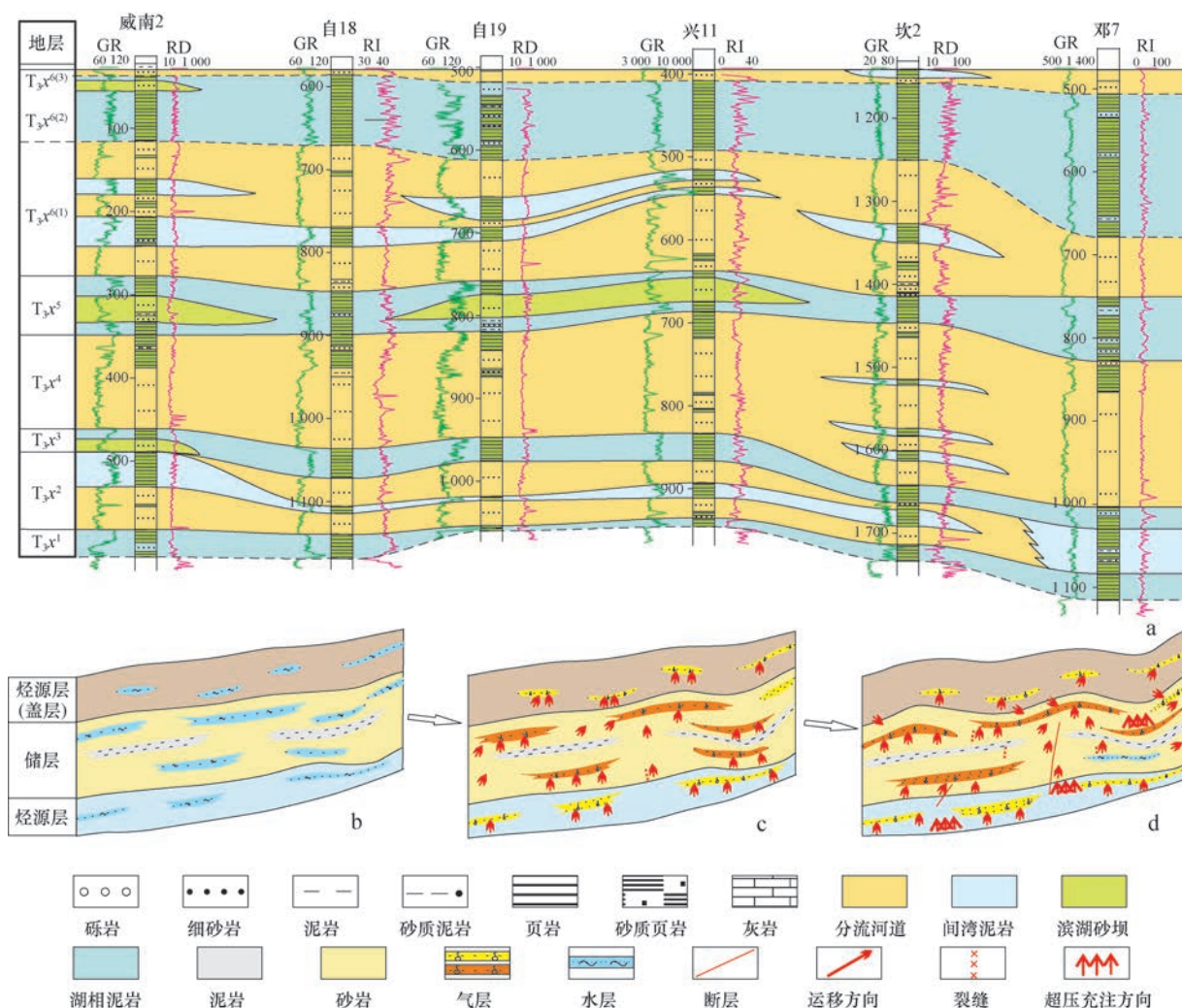


图6 研究区须家河组天然气成藏模式

Fig. 6 The gas accumulation model of the Xujiahe Formation in the study area

a. 沉积剖面; b. 印支期成藏模式; c. 燕山期成藏模式; d. 喜马拉雅期成藏模式

须六段一亚段、须四段为三角洲前缘水下分流河道沉积,为有利储集相带,须四和须六段一亚段、须六段三亚段砂体累计厚度在160~210 m。南部麻柳场主体构造多口井见油气显示,已在须四、须六段获工业气井2口。区带内发育一条须家河组内部断层,对保存条件影响不大。估算该区带资源量 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

#### 4.2 观音场以东区带

位于观音场、大塔场、孔滩和青杠坪构造之间,面积为2 200 km<sup>2</sup>。西部观音场构造已获探明储量,大塔场构造2012年部署的须家河组专探井已获工业气流,且生产地层水不活跃,为典型的构造-岩性气藏。除此以外,其他构造在须家河组均见到较好油气显示。该区带主要烃源层为须五段和须六段二亚段,生烃强度在 $(4 \sim 8) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。区带内砂体分布广泛,须四、须六段一亚段、须六段三亚段砂体

累计厚度分别是100~140,110~140和10~30 m。同时,该区段内构造平缓,断层不发育,须六段一亚段顶面埋深介于1 000~2 200 m,保存条件良好,估算区带资源量为 $4\,400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 5 结论

1) 蜀南低缓构造区须家河组以三角洲前缘水下分流河道作为有利储集砂体,砂体厚度大,浅湖相烃源层分布范围大,具广覆式生烃特征,同时生、储叠置的“三明治”构造有利于岩性气藏形成。

2) 低缓构造之间的宽缓向斜区不发育断穿须家河组的喜马拉雅期断层,保存条件良好,大量层内断层的发育有利于岩性气藏成藏。

3) 综合分析烃源岩、储层和保存条件等因素,优选观音场以东、麻柳场以北2个有利岩性圈闭勘探区带。

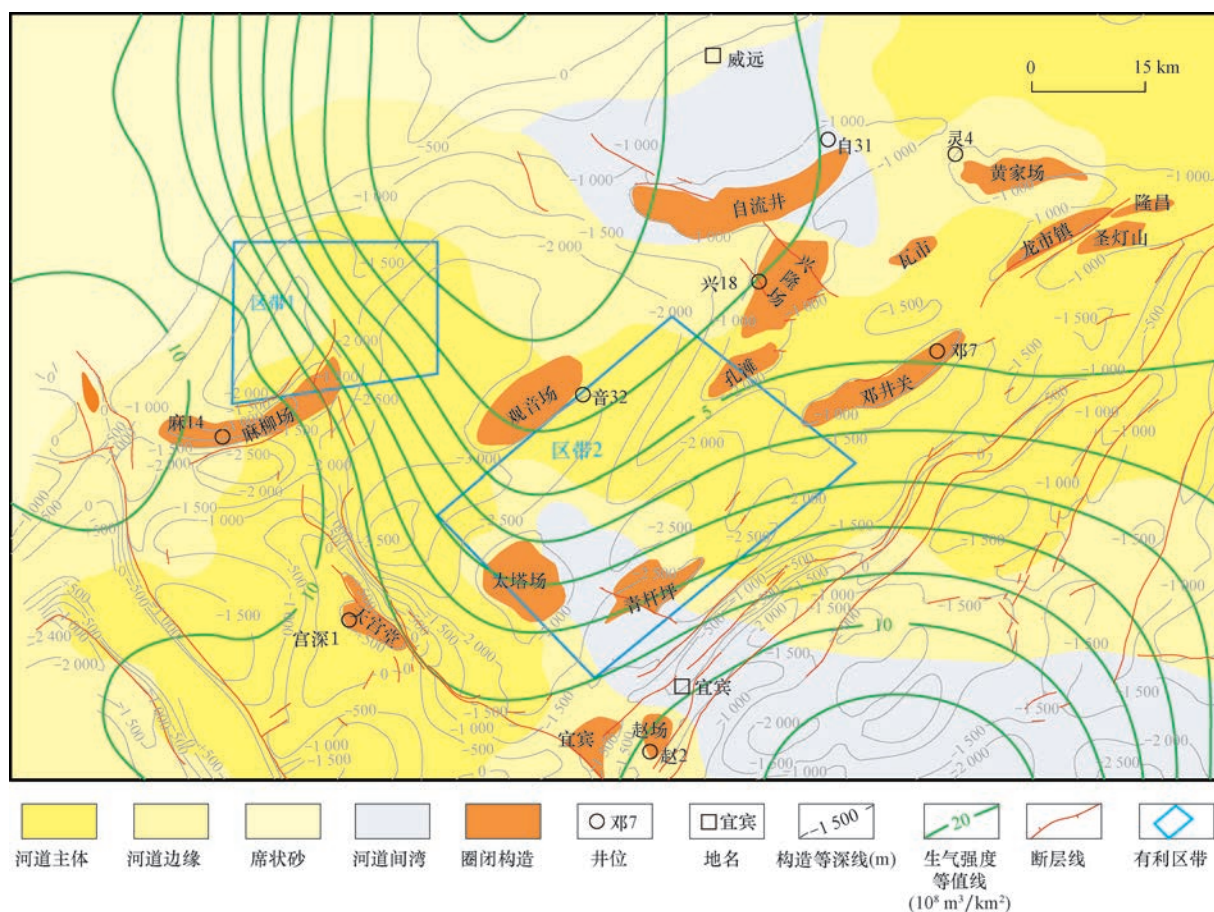


图7 蜀南低缓构造区须家河组有利区带综合评价

Fig. 7 Comprehensive evaluation of favorable gas exploration zones of the Xujiahe Formation in the Shunan area

## 参 考 文 献

- [1] 赵文智, 卞从胜, 徐兆辉. 苏里格气田与川中须家河组气田成藏共性与差异[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 400-408.  
Zhao Wenzhi, Bian Congsheng, Xu Zhaohui, et al. Similarities and differences between natural gas accumulations in Sulige gas field in Ordos Basin and Xujiahe gas field in central Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(4): 400-408.
- [2] 付金华, 魏新善, 黄道军. 鄂尔多斯盆地大型含煤盆地岩性气藏成藏规律与勘探技术[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(1): 137-141.  
Fu Jinhua, Wei Xinshan, Huang Daojun. Law of reservoir formulation and exploration techniques of natural gas lithologic reservoir in Ordos Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1): 137-141.
- [3] 郭智, 贾爱林, 何东博, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田辫状河体系带特征[J]. 石油与天然气地质, 2017, 37(2): 197-204.  
Guo Zhi, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Characteristics of braided river sedimentary system zones in Sulige gasfield, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 37(2): 197-204.
- [4] 赵文智, 王红军, 徐春春, 等. 川中地区须家河组天然气藏大范围成藏机理与富集条件[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 146-156.
- [5] 易士威, 林世国, 杨威, 等. 四川盆地须家河组大气区形成条件[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(1): 1-8.  
Yi Shiwei, Lin Shiguo, Yang Wei et al. Condition of Xujiahe Formation large gas province formation in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(1): 1-8.
- [6] 张翔, 田景春, 杜本强, 等. 蜀南观音场地区须家河组砂岩致密化与成藏匹配关系[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(2): 231-237.  
Zhang Xiang, Tian Jingchun, Du Benqiang, et al. Matching between sandstone tightening and hydrocarbon accumulation of the Xujiahe Formation, Guanyinchang area in southern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2): 231-237.
- [7] 李剑, 魏国齐, 谢增业, 等. 中国致密砂岩大气田成藏机理与主控因素—以鄂尔多斯盆地和四川盆地为例[J]. 石油学报, 2013, 34(S.1): 14-28.  
Li Jian, Wei Guoqi, Xie Zengye et al. Accumulation mechanism and main controlling factors of large tight sandstone gas fields in China: cases study on Ordos Basin and Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(S.1): 14-28.

- [8] 杨威, 谢增业, 金惠, 等. 四川盆地上三叠统须家河组储层评价及天然气成藏机理 [J]. 天然气工业, 2010, 30(12): 10-15.  
Yang Wei, Xie Zengye, Jin Hui et al. Reservoir evaluation pooling mechanism of the Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry 2010, 30(12): 10-15.
- [9] 施振生, 杨威. 四川盆地上三叠统砂体大面积分布的成因 [J]. 沉积学报, 2011, 29(6): 1058-1068.  
Shi Zhensheng, Yang Wei. Genesis of widespread sandbodies of Upper Triassic in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(6): 1058-1068.
- [10] 施振生, 杨威, 金惠, 等. 川中-川南地区上三叠统沉积相研究 [J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 211-220.  
Shi Zhensheng, Yang Wei, Jin Hui, et al. Study on sedimentary facies of the Upper Triassic in central and south Sichuan Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 211-220.
- [11] 谢武仁, 杨威, 杨光, 等. 川中地区上三叠统须家河组砂岩储层孔隙结构特征 [J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 435-440.  
Xie Wuren, Yang Wei, Yang Guang, et al. Pore structure features of sandstone reservoirs in the Upper Triassic Xujiahe Formation in the central part of Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 435-440.
- [12] 王小娟, 谢继容, 唐大海, 等. 川中地区须家河组二段优质储层分布特征 [J]. 天然气勘探与开发, 2015, 38(3): 1-6.  
Wang Xiaojuan, Xie Jirong, Tang Dahai, et al. Reservoir distribution of Xujiahe 2 Member, central Sichuan Basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2015, 38(3): 1-6.
- [13] 祝海华, 钟大康, 张亚雄, 等. 川南地区三叠系须家河组致密砂岩孔隙类型及物性控制因素 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 65-76.  
Zhu Haihua, Zhong Dakang, Zhang Yaxiong, et al. Pore types and controlling factors on porosity and permeability of Upper Triassic Xujiahe tight sandstone reservoir in Southern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 65-76.
- [14] 陈涛涛, 贾爱林, 何东博, 等. 川中地区须家河组致密砂岩气藏气水分布形成机理 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(2): 218-223.  
Chen Taotao, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Mechanisms of gas-water distribution in tight sandstone gas reservoirs of Xujiahe Formation, central Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2): 218-223.
- [15] 林世国, 王昌勇, 易士威, 等. 川东卧新双地区天然气特征及上三叠统须家河组天然气来源 [J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(1): 913-921.  
Lin Shiguo, Wang Changyong, Yi Shiwei, et al. Analyses of features and natural gas in the Upper Triassic Xujiahe Formation, Woxin-shuang area, eastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 913-921.
- [16] 李杪, 侯云东, 罗静兰, 等. 致密砂岩储层埋藏-成岩-油气充注演化过程与孔隙演化定量分析-以鄂尔多斯盆地东部上古生界盒8段天然气储层为例 [J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 882-892.  
Li Miao, Hou Yundong, Luo Jinglan, et al. Burial, Diagenesis, Hydrocarbon charging evolution process and quantitative analysis of porosity evolution: A case study from He 8 tight sand gas reservoir of the Upper Paleozoic in Eastern Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(6): 882-892.
- [17] 戴金星, 邹才能, 陶士振, 等. 中国大气田形成条件和主控因素 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 473-484.  
Dai Jinxing, Zou Caineng, Tao Shizhen, et al. Formation conditions and main controlling factors of large gas fields in China [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(4): 473-484.
- [18] 李明诚. 石油与天然气运移 [M]. 第三版. 北京: 石油工业出版社, 2004.  
Li Mingcheng. Oil and gas migration [M]. 3rd Edition. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [19] 卞从胜, 王红军, 汪泽成, 等. 四川盆地川中地区须家河组天然气大面积成藏的主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 548-555.  
Bian Congsheng, Wang Hongjun, Wang Zecheng, et al. Controlling factors for massive accumulation of natural gas in the Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 548-555.
- [20] 杜金虎, 徐春春, 魏国齐, 等. 四川盆地须家河组岩性大气区勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.  
Du Jinhu, Xu Chunchun, Wei Guoqi, et al. Large lithologic gas provinces exploration of Xujiahe Formation in Sichuan Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [21] 邹才能, 陶士振, 朱如凯, 等. “连续型”气藏及其大气区形成机制与分布: 以四川盆地上三叠统须家河组煤系大气区为例 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(3): 307-319.  
Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhu Rukaia, et al. Formation and distribution of “continuous” gas reservoirs and their giant gas province: A case from the Upper Triassic Xujiahe Formation giant gas province, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(3): 307-319.
- [22] 魏国齐, 李剑, 张水昌, 等. 中国天然气基础地质理论问题研究新进展 [J]. 天然气工业, 2012, 32(3): 6-13.  
Wei Guoqi, Li Jian, Zhang Shuichang, et al. New progress in the studies on basic geological theories of natural gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(3): 6-13.

(编辑 张玉银)