

# 高能河道砂体特征及勘探意义

——以元坝地区须三段为例

王 威

(中国石油化工股份有限公司 勘探南方分公司 研究院, 成都 610041)

**摘要:**元坝地区须三段钙屑砂岩气藏具有“源储共生、高效运聚、成藏条件优越和整体含气”的岩性气藏的特征, 储层主要发育在辫状河三角洲高能河道砂体中。元坝地区西北部须三段富钙屑高能河道砂体具有低伽马(伽马曲线均呈光滑箱型或微齿化箱型)、高电阻, 碳酸盐岩岩屑含量高、石英含量低, 溶蚀孔隙和裂缝十分发育的特点。富钙屑高能河道砂体沉积厚度大, 是须三段天然气富集高产的基础; 近物源, 碳酸盐岩岩屑含量高, 抗压实程度强, 可溶蚀程度强, 是须三段天然气富集高产的关键。须三段钙屑砂岩气藏的勘探应以钙屑砂岩单层厚度大、钙屑含量高、石英含量低的近源高能河道砂体为主要对象。

**关键词:**钙屑砂岩; 低孔低渗储层; 主控因素; 须三段; 元坝地区

**中图分类号:** TE122.2

**文献标识码:** A

## Characteristics of high-energy channel sandstone and its exploration significance:

A case from Xujiahe Formation in Yuanba area

Wang Wei

(Research Institute of SINOPEC Exploration Southern Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** The calcarenaceous sandstone reservoirs in the 3rd member of the Xujiahe Formation in the Yuanba area are lithologic ones featured by source and reservoir coexistence, high migration efficiency, favorable accumulation condition and overall gas-bearing capacity. Reservoirs mainly develop in the high-energy channel sandstones of braided river delta. The calcarenaceous high-energy channel sandstones in the 3rd member of the Xujiahe Formation in the northwestern Yuanba area are characterized by low GR (smooth box-like or toothed box-like gamma curves), high resistance, high carbonate debris content, low quartz content, and wide spread of dissolution pores and cracks. The big thickness of calcarenaceous high-energy channel sandstones provides the basement for the enrichment of natural gas in the 3rd member of the Xujiahe Formation. Near source, high carbonate debris content, high compression strength and high dissolution degree are the keys for the enrichment of natural gas in the 3rd member of the Xujiahe Formation. The explorations of calcarenaceous sandstone reservoirs in the 3rd member of the Xujiahe Formation should be focused on the near-source and high-energy channel sandstones with thick calcareous debris sandstone, high calcareous content and low quartz content.

**Key words:** calcarenaceous sandstone; low-porosity and low-permeability reservoir; main controlling factor; 3rd member of Xujiahe Formation; Yuanba area; Sichuan Basin

传统认识一般可将须家河组自上而下分为六段, 其中一、三、五段以泥岩为主, 为湖相沉积, 二、四、六段以砂岩为主, 为三角洲沉积。近期通过地质—地球物理综合研究证实, 元坝地区西北部由于距离物源区比较近, 须三段也发育有一定规模的辫状河三角洲砂体, 加之其成藏组合有利, 应具有一定

的勘探价值。为此优选元陆 7 井须三段进行射孔酸压测试, 获得  $120.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  高产工业气流, 实现了元坝地区须三段新层系勘探的重大突破<sup>[1-7]</sup>。

元陆 7 井突破后, 对以该井为代表的须三段钙屑砂岩储层进行了精细刻画。该类储层碎屑成分以碳酸盐岩岩屑为主, 物源为龙门山北段三叠系碳

酸盐岩地层<sup>[1]</sup>,高能河道从龙门山北段物源区三叠系飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组碳酸盐岩地层源源不断地搬运钙屑形成储层,物源和高能河道共同控制了这种特殊类型储层的分布。同时存在多口井测试产能差异较大的问题,高产富集主控因素尚不清晰。笔者通过精细解剖本区及邻区已有产能井,以富钙屑高能河道砂体为切入点,探讨其对须三段天然气高产富集的控制作用,以期对勘探有些许启示。

## 1 须三段天然气成藏基本特征

### 1.1 源储共生、高效运聚、成藏条件优越

须家河组沉积时期,四川盆地构造活动以垂直升降为主,须三段内部也有频繁的湖侵与湖退,形成了元坝地区西北部须三段内部大面积烃源岩与大面积砂岩的互层发育,具有“源储共生,大面积紧密接触”的特点,加之须三段自身为川东北地区陆相层系最好的烃源岩,使得元坝地区西北部须三段气藏具有优质烃源岩“近源高效聚集”的特征。须三段内部频繁升降所形成的多个层序界面,与后期的构造活动形成的微断裂、裂缝共同构成运聚网络,为天然气大面积成藏提供了良好的运移通道(图 1),成藏条件十分优越。

### 1.2 整体含气、局部富集高产

测试资料表明,须三段气藏具有高地层压力和低地温梯度特点,天然气组分特征基本一致,具有统一成藏背景。元坝地区及邻区多口井在须三段测试均未见水,测井解释也无明显的水层显示,这些均揭示了元坝地区西北部须三段气藏的含气范围和气水分布不受构造的控制,具有“大面积分布、整体含气”的岩性气藏的特征,钙屑砂岩的展布控制了须三段天然气的分布。

## 2 富钙屑高能河道砂体的特征

元坝地区西北部有元坝 2 井、6 井,元陆 7 井、8 井、9 井、10 井等 6 口井在 7 个层的须三段进行测试,

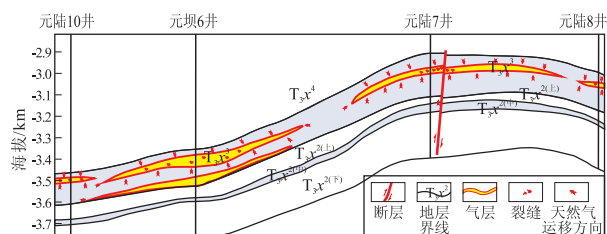


图 1 元坝地区须三气藏成藏模式示意

Fig.1 Accumulation model of gas reservoir in 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

其中 3 口井试获高产工业气流( $>10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 3 口井试获低产工业气流( $<10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 1 口井测试未获工业气流( $<1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )。此外,邻区龙 106 井、剑门 10 井测试均获高产工业气流。通过对上述本区及邻区已测试高产井与低产井的精细解剖,充分剖析须三段高产气层的地质特征。

须三段沉积时期,元坝地区西北部物源主要来自盆地边缘龙门山北段三叠系飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组碳酸盐岩,发育辫状河三角洲平原辫状河道及辫状河三角洲前缘水下分流河道等有利微相。根据岩心观察及测井相分析,本区的河道还可划分为高能河道和低能河道 2 大类。

高能河道通常是指主河道,是储层发育最有利位置。囊括了从细砂岩到砾岩所有碎屑岩沉积;岩性总体较粗,厚度较大,水流能量常年较稳定,因此砂岩分选较好,泥质含量很低,砂砾岩中砾石粒径多为细砾级,分选相对较好,砾石具一定程度的磨圆,自然伽马曲线均呈光滑箱型或微齿化箱型。低能河道通常指支流河道,其特点是沉积速率快,分选差,泥质含量高,自然伽马曲线常呈齿化箱型或钟形。

元坝西北部地区须三段储层主要发育在辫状河三角洲沉积相中的高能河道砂体中。由于距离物源区相对比较近,河道不断前积及侧向迁移,因此其辫状河道砂体及水下分流河道高能河道砂体大面积展布。

### 2.1 具有低伽马、高电阻的特征

元坝地区西北部元陆 7 井、9 井、10 井上及邻区剑门 102 井在须三段测试均获得高产,其测试段单层砂体厚度均为 10 m 左右,自然伽马曲线均呈光滑箱型或微齿化箱型,反映砂体内部结构均匀;岩性单一,砂体顶、底均与泥岩呈突变接触,反映物源充足、强而稳定的水动力特征,为辫状河三角洲沉积中高能河道微相(图 2)。

而元陆 10 井下须三段测试未获工业气流,其测试层段单层砂体厚度仅为 5 m 左右,自然伽马曲线呈齿化箱型,岩性组合由多个正粒序或反粒序组成,夹层较多,反映了水动力条件强弱频繁交替的特征,为辫状河三角洲沉积相中非高能河道微相。元陆 8 井须三段测试获低产工业气流,其测试层段自然伽马曲线为钟形—漏斗形,反映为分流河道过渡到河口坝沉积微相,非高能河道砂体。

此外充分利用测井资料以及反演资料对邻区高产井进行分析,结果表明,邻区剑门 102 井和龙 106 井须三段测试获高产工业气流的井段均为厚层

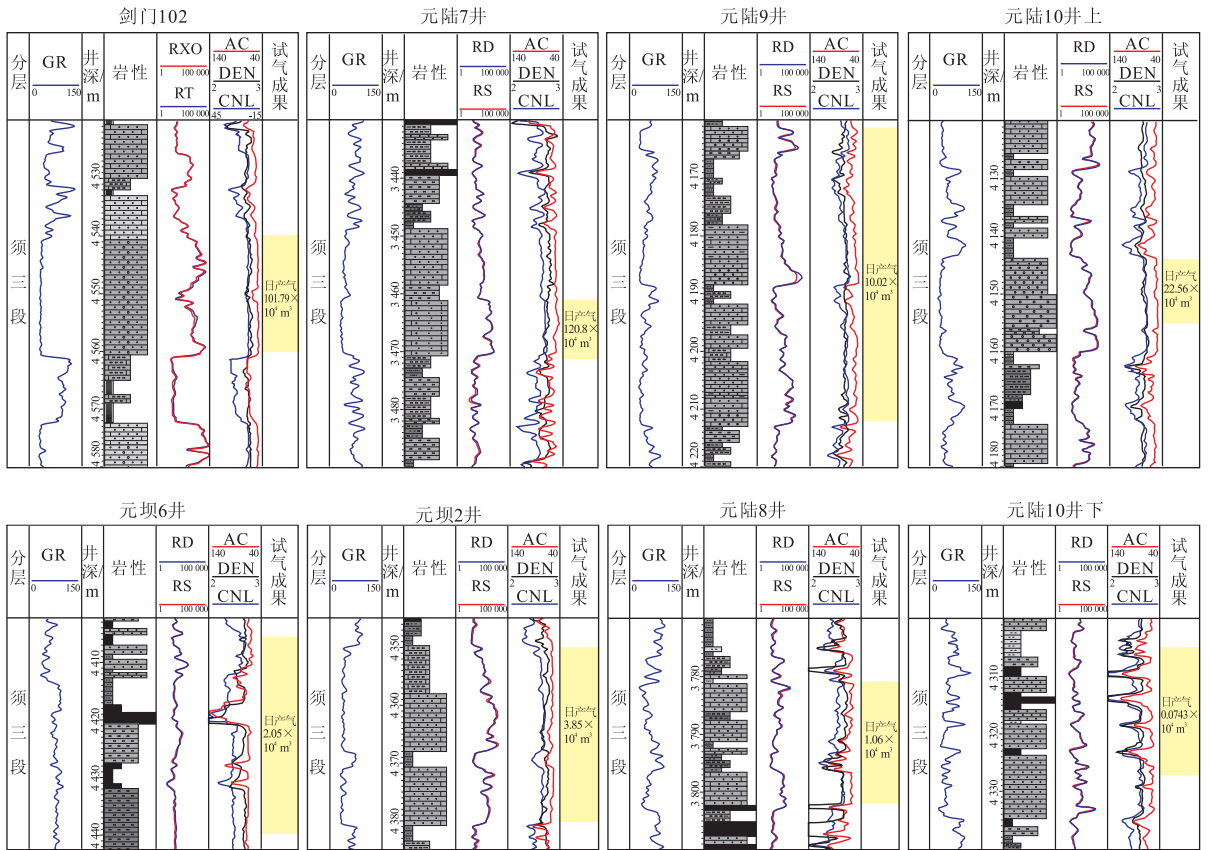


图2 元坝及邻区须三段测试井单井综合柱状

Fig.2 Synthesis column of testing well in 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba and neighboring areas

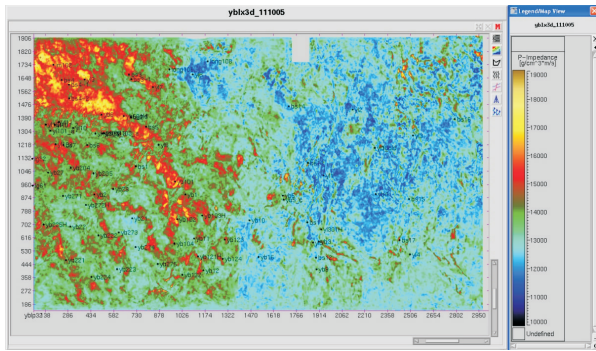


图3 元坝地区须三段波阻抗

Fig.3 Wave impedance planar graph of 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

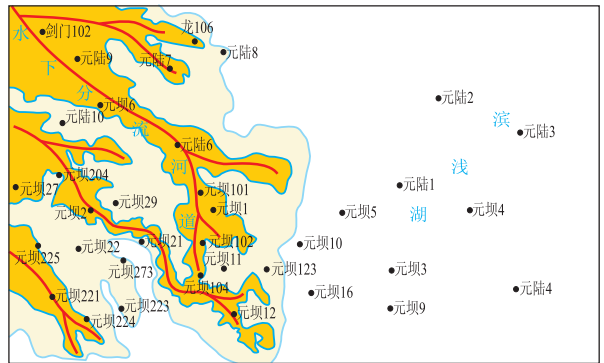


图4 元坝地区须三段沉积相

Fig.4 Sedimentary facies of 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

高阻抗的钙屑砂岩,反映为高能河道主沉积(图3,4)。

大量探井资料表明,元坝地区须三段高产气层具有的电性特征为:自然伽马低值(<30 API),曲线呈光滑或微齿化箱型;电阻率曲线相对围岩呈高值(>1 000 Ω·m),非高能河道自然伽马值相对较高,电阻率相对较低。

### 2.2 碳酸盐岩岩屑含量高、石英含量低

大量薄片鉴定资料分析表明,元坝西北部须三段储层岩石类型主要为细—中粒钙屑砂岩(钙屑砂

岩是指碎屑组分中碳酸盐岩岩屑含量大于50%的砂岩<sup>[8]</sup>,由于碳酸盐类矿物含量高,所经历的成岩后生变化和孔隙演化与铝硅酸盐类矿物含量高的砂岩不同,有其特殊性),碎屑成分中石英含量较低,分布在10.0%~28.0%之间,平均为22.8%,长石含量分布在0.5%~2.0%之间,平均为0.9%;岩屑成分以碳酸盐岩岩屑为主,含量在70.0%~90.0%之间,平均为74.8%(图5,表1);平均孔隙度4.8%,平均渗透率 $0.448 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具有低孔渗裂缝—孔隙型储层特征。

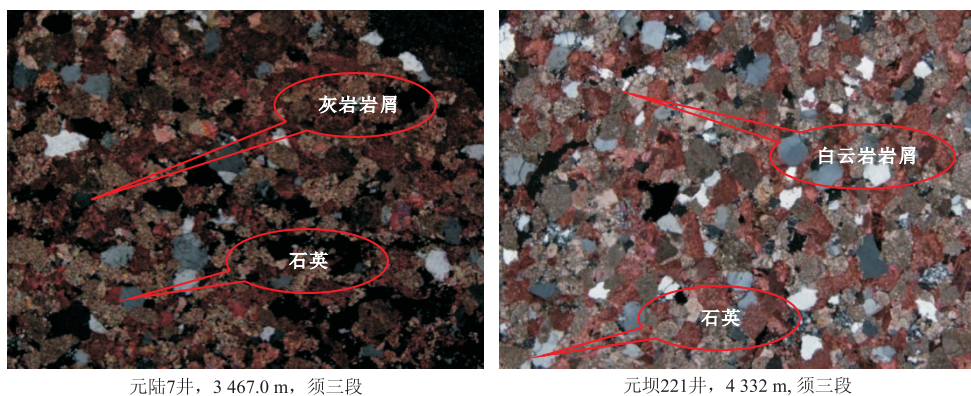


图 5 元坝地区须三段钙屑砂岩储层岩石学特征

Fig.5 Petrologic characteristics of calcarenaceous sandstone reservoirs in 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

表 1 元坝地区须三段砂岩碎屑成分统计

**Table 1 Statistics of sandstone elastic components of 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area %**

含量	石英	长石	岩屑			杂基	胶结物		
			岩浆岩	变质岩	沉积岩		方解石	白云石	硅质
最低	10.0	0.5	0.2	1.0	70.0	0.2	2.0	3.0	0.2
最高	28.0	2.0	2.0	2.0	90.0	6.0	25.0	5.0	1.0
平均	22.8	0.9	1.0	1.5	74.8	1.6	12.4	3.5	0.7

表 2 元坝地区须三段测试产气层段岩石学特征统计

**Table 2 Petrologic characteristic statistics of testing gas production layer of 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area**

井号	井段/m	单层砂体厚度/m	粒径/mm	岩石名称	石英含量/%	碳酸盐岩岩屑/%	沉积微相	测试情况/ (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )
元陆 7	3 461~3 471	9.6	0.25~0.40	中粒钙屑砂岩	6.5	90	高能河道	120.8
元陆 9	4 161~4 212	10.0	0.08~0.50	粉砂—中粒钙屑砂岩	7.25	89.5	高能河道	10.02
元陆 10 上	4 144~4 155	10.0	0.15~0.50	细—中粒钙屑砂岩	25	64	高能河道	22.56
元陆 8	3 781~3 802	5.8	0.08~0.20	粉砂—细粒钙屑砂岩 长石岩屑砂岩	15~70 平均 42.5	15~82 平均 48.5	低能河道— 河口坝	1.06
元陆 10 下	4 305~4 327	5.0	0.13~0.20	细粒长石岩屑砂岩	50	30	低能河道	0.0743
元坝 2	4 350~4 380	10.0	0.30~0.35	中粒岩屑砂岩	52	22	高能河道	3.85

元陆 7 井、9 井、10 井上等须三测试段获得高产的高能河道砂体的碳酸盐岩岩屑含量普遍很高 (>60%)，测试产量最高的元陆 7 井，其碳酸盐岩岩屑的含量达到 90%，其相应的石英含量都很低，大部分不到 10%。而测试获低产及未获工业气流的非高能河道砂体，其碳酸盐岩岩屑含量普遍较低，均低于 50%。酸压测试获低产的元陆 10 井下，其须三测试段为典型非高能河道砂体，碳酸盐岩岩屑的含量仅有 30%，而相应的石英含量比较高，达到 50% 左右(表 2)。

### 2.3 溶蚀孔隙和裂缝十分发育

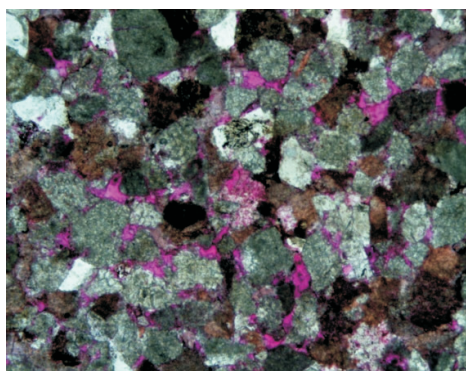
由于须三钙屑砂岩储层与含煤的烃源岩交互发育，有利于在相对刚性的砂岩地层中形成裂缝，也有利于烃源岩的排烃与运移；烃源岩充注时有机

酸的大量生成，加之高能河道砂体沉积厚度大、碳酸盐岩岩屑含量高，更有利于溶蚀作用的发生，发育粒间溶孔(图 6)。

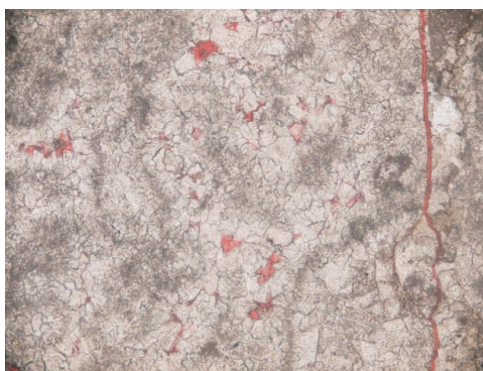
## 3 砂体对天然气高产富集的控制作用

### 3.1 须三天然气富集高产的基础

通过前面分析，获得高产的层段均为高能河道砂体，有利于形成厚度大、分布稳定、相对较纯的砂体。高能砂体沉积时水动力强，沉积物粒度粗，分选较好，黏土含量低，包括钙屑砂岩在内的砂岩储层具有较高的初始孔隙度<sup>[1,8]</sup>，并且容易保存。更重要的是，按照邻区的勘探经验，元坝地区须三段高能河道厚层钙屑砂体的中部极有可能发育有相对优质储层(图 7)<sup>[9]</sup>。这是因为高能河道砂体厚



元坝2井, 4 364.0 m, 中粒钙屑砂岩, 粒间溶孔



元陆6井, 4 182.98 m, 碳酸盐岩砾石, 粒间溶孔和微裂缝

图6 元坝地区须三段储层孔隙类型

Fig.6 Pore types of reservoirs in 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

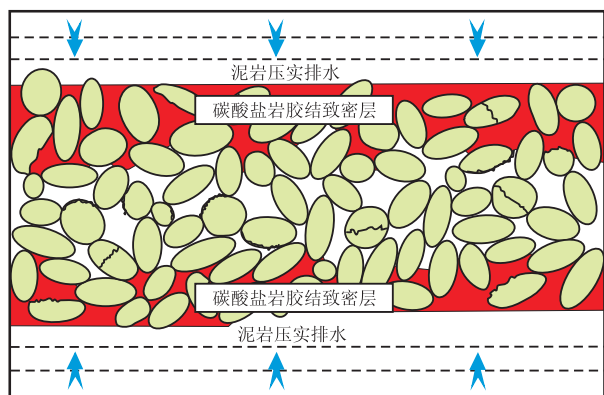


图7 元坝地区须三段厚层钙屑砂岩段相对优质储层形成模式示意

据文献[9]。

Fig.7 Formation model of relatively good reservoirs in thick calcarenaceous sandstone sections of 3rd member of Xujiahe Formation, Yuanba area

度大,可以有效减少早期方解石胶结作用对厚砂体中部原生孔隙的破坏<sup>[10-11]</sup>。因此,富钙屑高能河道砂体厚度大,是须三天然气富集高产的基础。

### 3.2 须三天然气富集高产的关键

是不是处在高能主河道的井测试就一定能获得高产? 其实也不尽然,比如元坝2井处于辫状河三角洲前缘主河道沉积微相,但是测试仅获得 $3.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 天然气。究其原因,产能较低应当还与其储层性质有关。

由岩石力学知识可知,钙屑砂岩方解石胶结作用强,可增大砂体的抗压强度,若岩石颗粒中易碎颗粒掺杂刚性颗粒时,易碎颗粒更易破碎。当钙屑砂岩中的碳酸盐岩岩屑含量高,几乎全由碳酸盐岩岩屑组成时,厚砂体中部的部分原生粒间孔得以保存。元坝2井须三测试段虽然为高能河道砂体,但是其钙屑含量低,刚性颗粒石英含量高(52%),在同样压力作用下碳酸盐岩岩屑更易破碎形成假杂

基堵塞孔隙,伤害储层,因而就不难理解该井为何测试获低产,因此,钙屑砂岩要成为有效储集层,其碳酸盐岩岩屑含量必须高。此外,相比石英,碳酸盐岩岩屑,特别是灰岩岩屑,极易溶蚀,其相对含量越高,可供溶蚀的组分越多,次生孔隙越发育<sup>[10-12]</sup>。因此,近物源,碳酸盐岩岩屑含量高,抗压实程度强,可溶蚀程度强,是须三天然气富集高产的关键。

## 4 勘探启示

1) 通过对本区及邻区高产井与低产井的精细解剖,明确须三段富钙屑高能河道砂体“近物源、沉积厚度大、碳酸盐岩屑含量高,抗压实程度强,可溶蚀程度强”的特点,对于天然气高产富集起到关键控制作用。同时也明确了应充分利用富钙屑高能河道砂体岩性、电性等识别标志,优选钙屑砂岩单层厚度大、钙屑含量高、石英含量低的近源高能河道砂体为主要目标。

2) 元坝西部地区须四段砂(砾)岩储层也具有和须三段类似的钙屑含量高的特点。此外,按照沉积演化规律,须三段沉积时期,川东北通南巴西北部—南江一带可能有类似于元坝西北部地区的富钙屑的辫状河三角洲砂体的分布,勘探应予以重视,建议与元坝地区西北部须三段钙屑砂岩气藏进行整体研究。

### 参考文献:

[1] 郭彤楼. 四川盆地北部陆相大气田形成与高产主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 139-149.  
 [2] 刘若冰, 郭彤楼, 邵明莉. 川东北元坝地区中浅层天然气气源及成因类型[J]. 天然气工业, 2011, 31(6): 34-38.  
 [3] 王威. 四川盆地北部须家河组致密砂岩储层成因机制[J]. 天然气勘探与开发, 2012, 35(1): 13-31.

里木盆地东部寒武系—中下奥陶统斜坡相类似的寒武系,但受钻井以及地震资料制约,该烃源岩分布还有待进一步研究证实。

### 3 结论

1) 根据玉北地区原油地球化学特征分析,推测原油可能来自中下寒武统斜坡相烃源岩。

2) 巴什托油田原油可能来自盆地—陆棚相下寒武统烃源岩,石炭系储层中的部分原油来源于海陆交互相的石炭系烃源岩。

#### 参考文献:

[1] 陈强路,周凌方,张根发,等.塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气勘探领域评价[J].石油实验地质,2009,31(4):343-349.

[2] 丁勇,宫继萍,王辉.塔里木盆地西南坳陷生油岩综合评价[J].石油实验地质,1999,21(4):336-339.

[3] 丁勇,邱芳强,李国政.塔里木盆地西南坳陷油气源对比分析[J].新疆地质,2000,18(1):61-67.

[4] 高志农.塔里木盆地巴楚隆起烃源岩特征及其油气源研究[J].石油实验地质,2000,22(4):319-324.

[5] 马红强,王恕一,蔺军.塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气运聚与成藏[J].石油实验地质,2006,28(3):243-247.

[6] 顾忆,邵志兵,赵明,等.塔里木盆地巴楚隆起油气保存条件与勘探方向[J].石油实验地质,2011,33(1):54-59.

[7] 严继新,赵习森,何云峰,等.塔里木盆地巴什托油气田石炭系碳酸盐岩沉积相特征[J].石油实验地质,2011,33(4):353-358.

[8] 陈践发,苗忠英,张晨,等.塔里木盆地塔北隆起天然气轻烃地球化学特征及应用[J].石油与天然气地质,2010,31(3):271-276.

[9] 丁勇,彭守涛,李会军.塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与

成藏主控因素[J].石油实验地质,2011,33(5):488-494.

[10] 苏江玉,俞仁连.对塔河油田油气成藏地质研究若干问题的思考[J].石油实验地质,2011,33(2):105-112.

[11] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000,22(4):307-312.

[12] 顾忆,黄继文,邵志兵.塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移[J].石油实验地质,2003,25(6):746-750.

[13] 赵靖舟.塔里木盆地北部寒武—奥陶系海相烃源岩重新认识[J].沉积学报,2001,19(1):117-124.

[14] 王廷栋.轮南地区油气成藏机制研究[R].乌鲁木齐:塔里木油田分公司勘探开发研究院,2002.

[15] 孙永革,肖中尧,徐世平,等.塔里木盆地原油中芳基类异戊二烯烃的检出及其地质意义[J].新疆石油地质,2003,25(2):215-218.

[16] 赵宗举,周新源,郑兴平,等.塔里木盆地主力烃源岩的诸多证据[J].石油学报,2005,26(3):10-15.

[17] 刘高波,施泽进,余晓宇,等.巴楚—麦盖提的区域构造演化与油气分布规律[J].成都理工大学学报:自然科学版,2004,31(2):157-161.

[18] 邵志兵,吕海涛,耿锋,等.塔里木盆地麦盖提地区石炭系油藏地球化学特征[J].石油与天然气地质,2010,31(1):84-90.

[19] 赵斌,邓炜.西北油田麦盖提斜坡油气前景[J].科技创新导报,2011(14):60.

[20] 朱扬明,张洪波,傅家谟,等.塔里木不同成因原油芳烃组成和分布特征[J].石油学报,1998,19(3):33-37.

[21] 王传刚,王铁冠,何发歧,等.塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J].新疆石油地质,2005,26(2):155-157.

[22] 朱俊章,包建平.塔里木盆地寒武系—奥陶系海相烃源岩地球化学特征[J].海相油气地质,2000,5(3/4):55-59.

[23] 赵孟军,张宝民,边立曾,等.奥陶系类Ⅲ型烃源岩及其生成天然气的特征[J].科学通报,1999,44(21):2333-2336.

[24] 马安来,金之钧,张水昌,等.塔里木盆地寒武系—奥陶系烃源岩的分子地球化学特征[J].地球化学,2006,35(6):593-601.

(编辑 黄娟)

(上接第 661 页)

[4] 李嵘,张娣,朱丽霞.四川盆地川西坳陷须家河组砂岩致密化研究[J].石油实验地质,2011,33(3):274-281.

[5] 盘昌林,刘树根,马永生,等.川东北地区须家河组天然气成藏主控因素分析[J].断块油气田,2011,18(4):418-423.

[6] 尹正武,凡睿,陈祖庆,等.生物礁滩岩性气藏含气面积的圈定方法:以元坝气田长兴组气藏为例[J].石油实验地质,2012,34(5):499-505.

[7] 冯明刚,严丽,王雪玲,等.元坝气田长兴组气藏有效储层物性下限标准研究[J].石油实验地质,2012,34(5):535-538.

[8] 林小兵,刘莉萍,魏力民.川西丰谷地区须四段钙屑砂岩含气

储层预测[J].西南石油大学学报,2007,29(4):82-84.

[9] 郑荣才,魏钦廉,高红灿,等.川西坳陷中段须四段钙屑砂岩储层特征及有利区块预测[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(5):489-496.

[10] 林煜,吴胜和,徐樟有,等.川西丰谷构造须家河组四段钙屑砂岩优质储层控制因素[J].天然气地球科学,2012,23(4):691-699.

[11] 曾小英,张小青,钟玉梅.川西坳陷中段须家河组四段钙屑砂岩气层的成因[J].沉积学报,2007,25(6):896-901.

[12] 王多云,郑希民,李凤杰,等.低孔渗油气富集区优质储层形成条件及相关问题[J].天然气地球科学,2003,14(2):87-91.

(编辑 徐文明)