

川中西部侏罗系大安寨段天然气成因 及其对油井产能的影响

陈世加^{1,2}, 王力¹, 姚宜同¹, 黄圉霖¹, 路俊刚^{1,2}, 刘超威¹, 张焕旭¹, 张潇文¹

(1. 西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都 610500;

2. 天然气地质四川省重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要:川中西部侏罗系大安寨段高气油比油井广泛分布, 大安寨段油井也主要分布在高气油比井较多的地区, 研究天然气成因对认识川中大安寨段油气富集规律具有重要的意义。通过川中西部侏罗系大安寨段天然气与其下伏上三叠统须家河组天然气组分和碳同位素对比分析, 并结合大安寨段凝析油轻烃特征研究表明: 川中西部大安寨段高气油比井的天然气呈现腐殖型或偏腐殖型天然气特征, 与下伏须家河组天然气特征相似, 认为川中西部大安寨段高气油比井形成原因是大安寨段烃源岩生成的腐泥型天然气与须家河组腐殖型天然气混合的结果。在存在断穿大安寨段地层的断裂区域内, 下伏须家河组天然气沿断裂侵入: 一方面溶解了大安寨段原始油藏中的轻组分, 并沿断裂运移到大安寨段以上地层散失; 另一方面引起脱沥青作用充填靠近断裂处的大安寨段储层孔隙及裂缝, 从而使得紧邻断裂处大安寨段储层勘探效果较差。

关键词:川中西部; 大安寨段; 碳同位素; 天然气成因; 脱沥青作用; 勘探效果

中图分类号: TE122.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2015)01-0102-08

引用格式: Chen Shijia, Wang Li, Yao Yitong, *et al.* Natural gas origin and influence on oil well productivity in jurassic Da'anzhai Formation, western part of central Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(1): 102-109. [陈世加, 王力, 姚宜同, 等. 川中西部侏罗系大安寨段天然气成因及其对油井产能的影响[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(1): 102-109.]

0 引言

川中地区侏罗系为目前四川盆地唯一的产油层位, 油气产层自上而下包括沙溪庙组、凉高山组以及自流井组的大安寨段、马鞍山段和珍珠冲段, 其中自流井组大安寨段在整个川中地区油气显示丰富, 不论是背斜、向斜还是斜坡区均有油气的产出。经过50多年的勘探, 川中地区大安寨段已发现多个油气藏和含油气构造, 油气藏类型包括油藏和凝析气藏, 主要集中在川中西部地区^[1-5]。

侏罗系大安寨段沉积时期川中地区发育湖相沉

积, 沉积岩性主要为灰黑色泥页岩、浅灰色介壳灰岩、泥质介壳灰岩和灰岩。其中大安寨段烃源岩以灰黑色泥页岩为主, 沉积厚度介于40~60m之间, 有机质类型主要为腐泥型和腐殖腐泥型, 有机碳丰度高, 平均有机碳含量>1.0%, 氯仿沥青“A”含量>0.1%。川中西部地区大安寨段镜质体反射率 R_o 值在0.8%~1.0%之间, 处于成熟阶段^[6-8]。按照有机质演化生烃模式, 腐泥型烃源岩在成熟阶段正处于生油高峰期, 仅产出少量油型伴生气, 然而对于大安寨段自生自储型油藏, 却在川中西部地区多个构造中均发现气油比值介于650~20 000 m³/m³之间的高

收稿日期: 2014-01-16; 修回日期: 2014-09-11.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”)项目“中国陆相致密油(页岩油)形成机理与富集规律基础研究”(编号: 2014CB239005); 国家科技重大专项“四川盆地致密油气成藏机理与富集规律”(编号: 2011ZX05001001); 天然气地质四川省重点实验室联合资助。

作者简介: 陈世加(1964-), 男, 广东大埔人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气成藏、地球化学及致密油气勘探研究。

E-mail: chensj1964@swpu.edu.cn.

表 1 川中西部天然气组成

Table 1 Compositions of natural gas in the west of Central Sichuan Basin

井号	层位	C ₁ /%	C ₂ %	C ₃ %	C ₂₊ /%	C ₁ /C ₂₊	iC ₄ /nC ₄	iC ₅ /nC ₅	C ₁ /(C ₁ +C ₂₊)	备注
角 84	J ₁ dn	83.7	9.1	3.4	14.73	5.9	0.38	0.63	0.850	
西 9	J ₁ dn	73	14.3	7.9	25.7	2.84			0.740	大安寨段
莲 63	J ₁ dn	82.3	9.68	5	17.2	4.8	0.37	0.62	0.827	腐泥型
充 69	J ₁ dn	81.7	8.55	4.1	14.4	5.69	0.55	0.82	0.850	天然气
西 25	J ₁ dn	76.7	12.9	7.1	22.4	3.42	0.36	0.8	0.774	
角 105	J ₁ dn	91.4	5.02	1.3	7.37	12.4	0.51	0.72	0.925	大安寨段
金 27	J ₁ dn	91.4	4.6	1.3	7.24	12.63	0.8	1.73	0.927	混合成因
西 21	J ₁ dn	88.2	6.2	2.5	10.1	8.76	0.74	0.94	0.897	天然气
角 48	T ₃ x ₆	86.6	6.27	2.6	10.6	8.14	0.92	1.51	0.891	须家河组
金 3	T ₃ x ₆	86.9	5.63	3.4	11.8	7.37	0.96	1.48	0.880	腐殖型
充深 1	T ₃ x ₄	89.5	6.72	1.8	9.68	9.24	1.2	1.94	0.902	天然气
西 51	T ₃ x ₄	89.7	5.86	1.9	8.68	10.33	0.96	2.79	0.912	

2.2 天然气碳同位素特征

天然气碳同位素作为判别天然气成因的重要指标,在国内外油气源对比中得到了广泛的应用,特别是乙烷碳同位素,由于其稳定性较高,具有较强的母质类型继承性,受源岩成熟度影响较小,能更有效地区别不同母质类型形成的天然气,因此乙烷碳同位素是目前判别天然气成因的最有效和最常用的方法^[9-11]。根据我国大量天然气碳同位素组成统计分析表明,把 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值大于 -27‰ 作为腐殖型天然气判断的标准, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值小于 -29‰ 作为腐泥型天然气的标准, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值介于 $-29\text{‰}\sim-27\text{‰}$ 之间则一般认为是 2 种类

型成因气混合或混合性有机质形成的天然气^[12-14]。

从川中西部单个构造油井天然气碳同位素分布可知,靠近断裂的井天然气碳同位素组成偏重,明显呈现出下部须家河组侵入的特征。以金华油田为例:靠近断裂的金 23 井、金 29 井大安寨段天然气乙烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值分别为 -26.5‰ 和 -26.18‰ ,而远离断裂的金 7 井和金 13 井,虽然其天然气乙烷碳同位素也呈现出腐殖型气的特征,但其乙烷碳同位素组成相对较轻(图 2),说明越靠近断裂下伏须家河组天然气混入比例越大,天然气碳同位素组成越重。

依据川中西部八角场、秋林、公山庙以及充西等

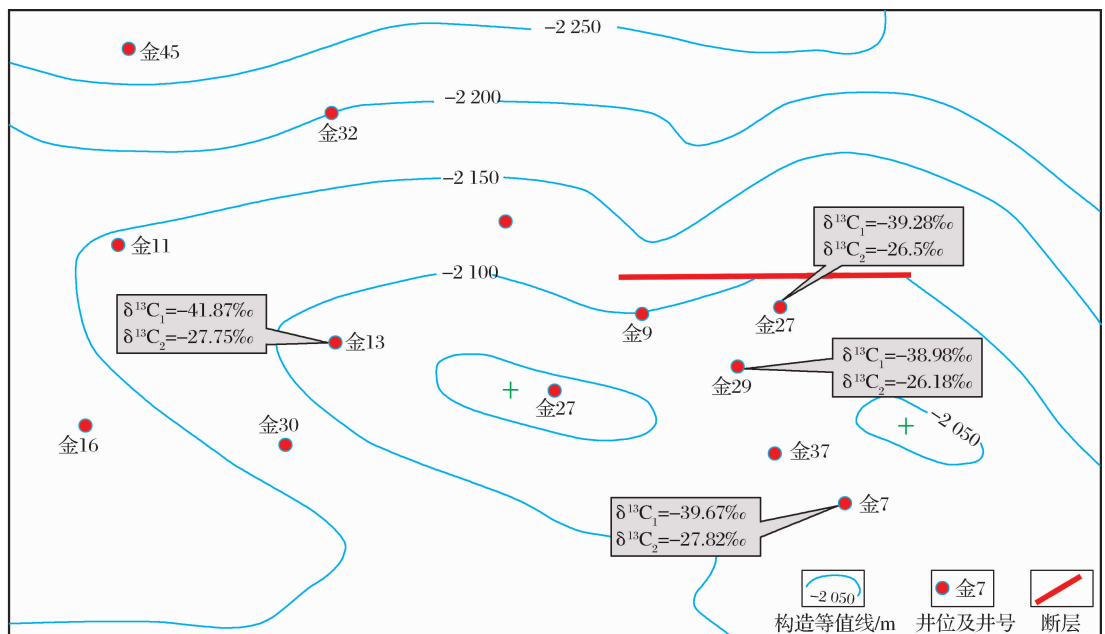


图 2 金华油田油井平面分布与碳同位素含量

Fig. 2 Planar distribution of oil wells and carbon isotopes composition, Jinhua Oilfield

构造上多口井侏罗系大安寨段天然气乙烷碳同位素的分析(图 3),在八角场、秋林、公山庙以及充西等构造上都存在部分井天然气乙烷同位素值偏高,大于-29‰,与下伏须家河组腐殖型天然气乙烷同位素特征相似,表明下伏须家河组天然气的侵入在川

中西部地区是普遍存在的。且天然气乙烷碳同位素值偏高的井普遍具有高气油比特征,乙烷同位素值偏低的井气油比相对较低,说明须家河组天然气的侵入不仅改变了大安寨段天然气同位素特征,也引起了大安寨段气油比值的变化。

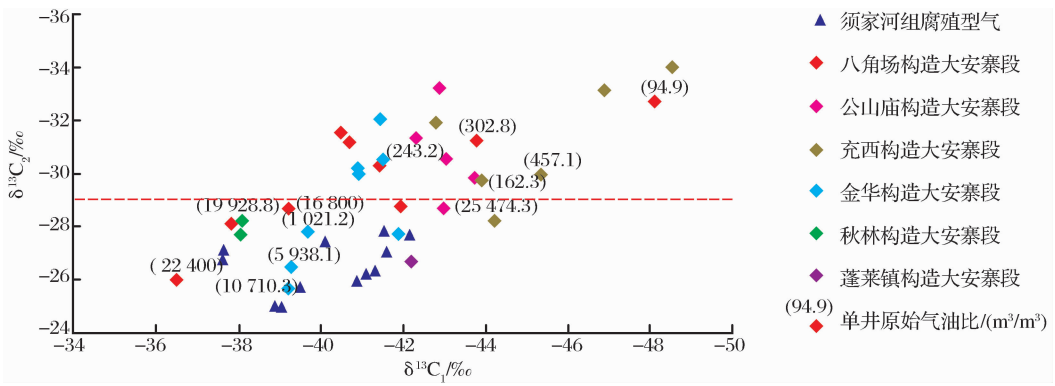


图 3 天然气甲烷与乙烷碳同位素交会特征

Fig. 3 Cross plot of methane and ethane carbon isotopes composition

此外,根据 $\delta^{13}C_1$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 交会图(图 4)看出,无论是川中地区侏罗系大安寨段腐泥型天然气还是下伏须家河组腐殖型天然气,随着成熟度的增加,其甲烷碳同位素值变高,乙烷碳同位素与甲烷碳同位素差值呈逐渐减小的趋势。但是,须家河组腐殖型气乙烷碳同位素与甲烷碳同位素差值总体比大安寨段腐泥型气大,侏罗系大安寨段异常天然气介于腐殖型气和腐泥型气之间,呈现混源的特征。

盆地八角场构造侏罗系大安寨段凝析气藏研究中也运用庚烷值和异庚烷值进行了油源对比,并取得了一定的认识。

大量的样品分析也表明,川中西部靠近断裂的井大安寨段原油(凝析油)庚烷值、异庚烷值介于脂族曲线和芳族曲线之间,与典型的大安寨段腐泥型原油特征不同,呈现出下伏须家河组腐殖型油与大安寨段原油混合的特征(图 5)。

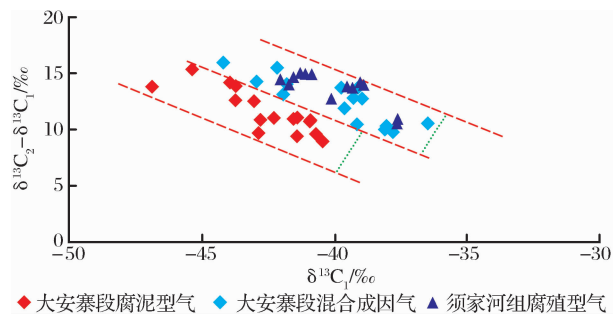


图 4 川中西部大安寨段天然气 $\delta^{13}C_1$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 交会特征

Fig. 4 $\delta^{13}C_1$ and $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ cross plot of gas of Da'anzhai Formation in west of central Sichuan Basin

2.3 原油轻烃特征

自 Thompson 提出正庚烷值和异庚烷值这 2 个轻烃指标并通过实验分析指出可以应用庚烷值和异庚烷值来判断油气来源及其成熟度以来,这 2 个参数在油源对比和成熟度判别上在国内外得到了广泛的应用^[15]。韩耀文等^[16]、王海清等^[16-17]在对四川

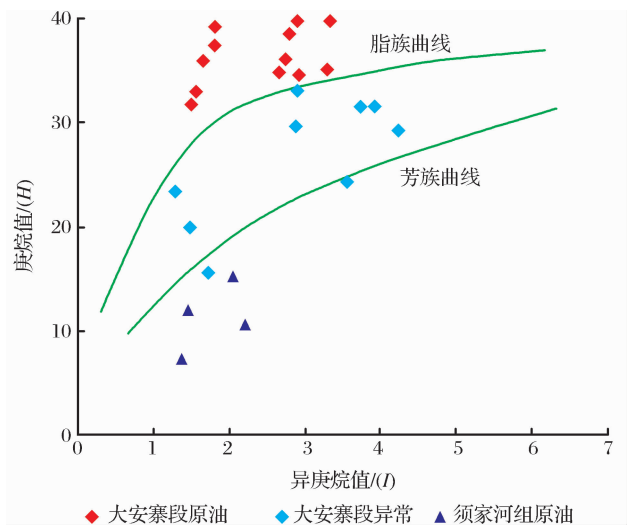


图 5 原油轻烃特征

Fig. 5 Light hydrocarbons characteristic of crude oil

以上分析表明,川中西部侏罗系大安寨段油藏中天然气存在 2 种来源,其中腐泥型天然气为大安寨段烃源岩在成熟阶段生成的原油伴生气,腐殖型

天然气来自于下伏须家河组腐殖型烃源岩所生成的天然气。腐泥型气与腐殖型气的混合使得川中西部地区高气油比井广泛分布。

3 气侵对油井产能的影响

川中侏罗系大安寨段为裂缝—孔隙型致密储层,前人^[4,18]研究认为,裂缝是大安寨段储油和富集高产的决定性因素。然而勘探结果表明,一些靠近断裂的井大安寨段储层孔隙及裂缝中见有黑色沥青(图6),且呈现出靠近断裂的井产能较低,远离断裂的井产能反而较高的特征;对于大安寨段致密储层,裂缝的存在可以改善特低孔特低渗致密储层的渗流能力,应有利于油气的产出,然而为何会出现靠近断裂,裂缝更加发育的井产能偏低的现象?

Lomando^[19]对 West Purl 油田的 Rodessa 组储层中沥青进行研究后指出由于下伏地层天然气沿断层的注入,在 Rodessa 组油层中形成了沥青质的沉淀,从而使得断层附近的储层中充填了大量的沥青质,导致该油田在临近断层处的井为干井,而远离断层的部位却是具有工业性油气流的井。王廷栋等^①、陈世加

等^[20]在对川中八角场构造油气分布特征研究中也指出,由于下伏须家河组天然气沿背斜油藏的边部侵入大安寨段,沥青质、胶质等重组分在背斜边部沉淀,形成沥青质沉淀带,使得后期生成的油很难穿越沥青质沉淀带,而只能在沥青质沉淀带以下的向斜部位聚集。此外沥青质沉淀充填于储集层的孔隙中,占据了储层大量孔隙,降低了储层物性^[21-22]。

天然气在地层的高温高压环境下,对于原油而言是一种“溶剂”。相同温压条件下,低碳数的烃类更易溶于气相中而高碳数的烃类则残留在油相中^[23]。Thompson^[24]在研究油气蒸发分馏作用时指出油气中天然气的散失不仅使得原油芳烃含量增大,同时也会使其链烃中轻组分散失,主峰碳不断后移,高碳数链烃含量增大,从而原油含蜡量增高(图7)。黄第藩等^[25]、张水昌^[26]在对塔里木盆地高蜡原油成因研究中,也曾指出先期成藏的油藏由于后期干气的侵入会发生蒸发分馏作用,表现为后期高成熟的干气进入油藏后,对先期成藏的原油进行选择性溶解,形成凝析油或轻质油,而残留下来的原油则含有很多的重组分,从而形成蜡质含量较高的原油。

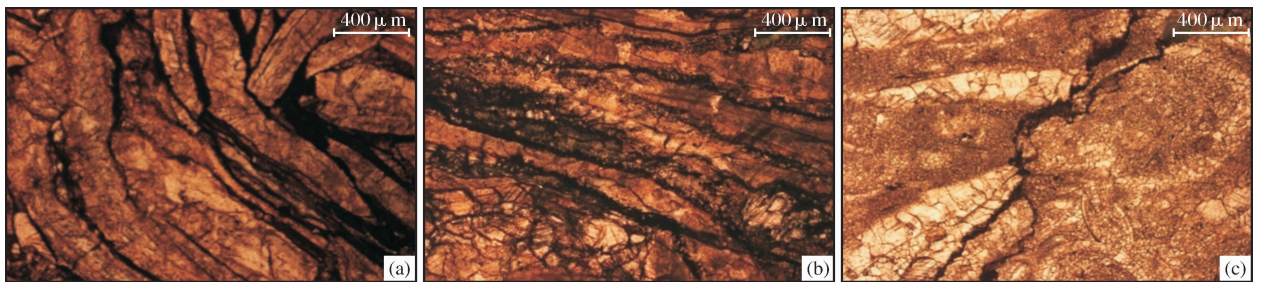


图6 川中地区大安寨段储层沥青

Fig. 6 Reservoir bitumen in Da'anzhai Formation of central Sichuan Basin

(a) 西20井, $J_1 dn, 1\ 848.91\text{m}$; (b) 金61井, $J_1 dn, 2\ 666.14\text{m}$; (c) 秋25井, $J_1 dn, 2\ 854.39\text{m}$

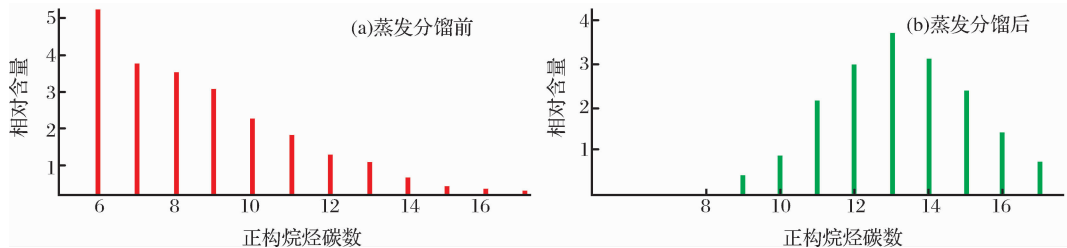


图7 蒸发分馏实验前后原油色谱示意对比^[24]

Fig. 7 Oil chromatogram comparison before & after evaporative fractionation^[24]

在川中西部地区多个构造上的大安寨段同样存在这些现象,靠近断裂的井见沥青,原油含蜡量偏

高,且产能较低,勘探效果较差。以川中西部充西构造为例,结合其目前勘探成果来看(图8),靠近断裂

① 王廷栋,郑永坚,王兰生,等. 四川盆地磨溪、卧龙河气田主要气藏气源探索研究. “八五”国家重点科技攻关项目成果报告. 内部报告,1994.

的井,如西 2 井、西 20 井、西 21 井为干井,其含蜡量分别为 14.0%、19.8%和 21.48%,明显高于远离断

裂的工业油井西 28 井(含蜡量为 0.12%),呈现出下伏须家河组天然气的侵入并散失的特征。

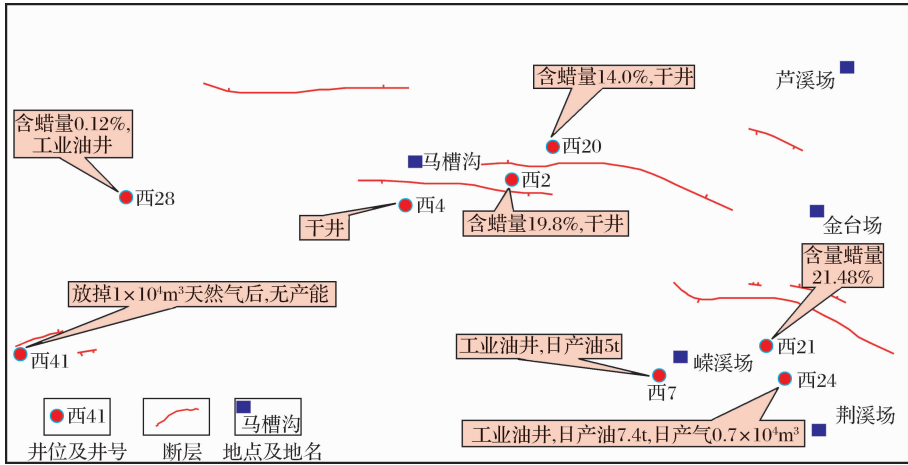


图 8 充西构造油井含蜡量分布特征

Fig. 8 The distribution of oil wells wax content in Chongxi structure

结合前人^[27]研究,综合分析表明:大安寨段烃源岩在白垩系中后期进入大量生油阶段,形成自生自储油藏,喜马拉雅构造运动所形成的断裂为下伏须家河组腐殖型天然气侵入提供了运移通道^[18]。下伏须家河组天然气沿断裂侵入到充西构造大安寨段储层,须家河组天然气首先会选择性的溶解先成藏的大安寨段原油中的轻组分,但由于充西构造断裂断到大安寨段以上地层(图 9),须家河组天然气

和其溶解的大安寨段原始油藏中轻组分沿断裂运移到大安寨段以上地层散失,断裂旁边主要残余的是原油的重组分(含蜡量较高)。此外,对于大安寨段特低孔特低渗的致密储层而言,由于受到下伏须家河组腐殖型天然气的侵入而形成的沥青质沉淀,充填了断裂附近致密储层的孔隙及裂缝,进一步加剧储层的非均质性,从而影响油的富集,使得紧邻断裂处勘探效果较差。

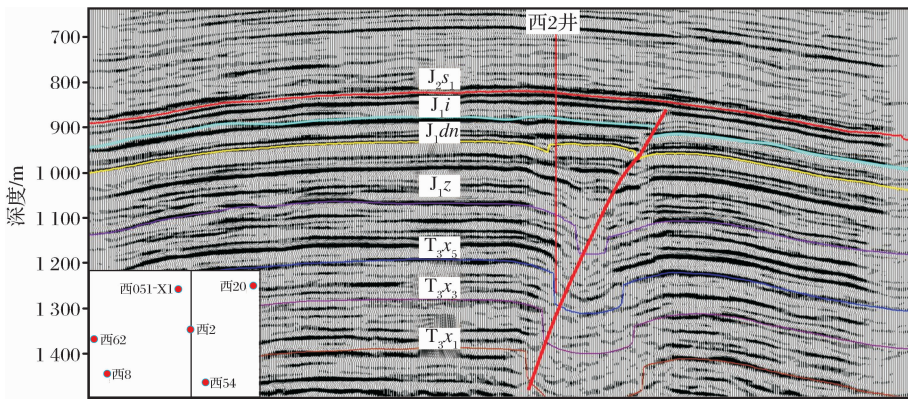


图 9 充西构造西 2 井地震剖面

Fig. 9 Seismic section of Xi 2 well in Chongxi structure

4 结论

(1)川中西部大安寨段天然气存在 2 种来源:一部分为大安寨段腐泥型烃源岩生成的腐泥型天然气;另一部分为下伏须家河组腐殖型烃源岩生成的腐殖型天然气。川中西部多个构造大安寨段部分井

天然气组分和碳同位素以及原油轻烃特征均与典型的大安寨段油气特征不符,与下伏须家河组腐殖型油气特征相似,呈现出腐泥型天然气与腐殖型天然气混合的特征。大安寨段腐泥型天然气与下伏须家河组腐殖型天然气混合是导致川中西部大安寨段高气油比井广泛分布的主要原因。

(2)对于断裂穿大安寨段的区域,下伏须家河组腐殖型天然气的侵入,溶解了大安寨段原始油藏中的轻组分,而重组分则残留在断裂附近的储层中,使得靠近断裂的井原油含蜡量较高,并在储层孔隙及裂缝中形成沥青质沉淀,导致靠近断裂的大安寨段储层更加致密,影响了油气的富集,因此紧邻断裂的井产能偏低,勘探效果较差。

参考文献(References):

- [1] Liang Digang, Ran Longhui, Dai Tanshen, *et al.* A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oils in the central-northern Sichuan Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 8-17. [梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 8-17.]
- [2] Wang Yujun. Feasibility analysis of discovering large oilfield in Sichuan Basin [J]. *Oil Forum*, 2010, 29(1): 28-31. [王毓俊. 四川盆地找到大油田的可能性分析[J]. *石油科技论坛*, 2010, 29(1): 28-31.]
- [3] Liao Qunshan, Hu Hua, Lin Jianping, *et al.* Petroleum exploration prospect of the Jurassic tight reservoirs in central Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(54): 815-822. [廖群山, 胡华, 林建平, 等. 四川盆地川中侏罗系致密储层石油勘探前景[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(54): 815-822.]
- [4] Jiang Yuqiang, Qi Lin, Deng Haibo, *et al.* Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potentials of the Jurassic reservoirs in the Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(3): 22-26. [蒋裕强, 漆麟, 邓海波, 等. 四川盆地侏罗系油气成藏条件及勘探潜力[J]. *天然气工业*, 2010, 30(3): 22-26.]
- [5] Wang Shiqian, Hu Suyun, Dong Dazhong. Jurassic tight oil & gas resources in east Sichuan Basin: A new exploration target [J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(12): 22-29. [王世谦, 胡素云, 董大忠. 川东侏罗系——四川盆地亟待重视的一个致密油气新领域[J]. *天然气工业*, 2012, 32(12): 22-29.]
- [6] Du min, Chen Shengji, Wan Maoxia, *et al.* Study on distribution and geochemical features of Jurassic source rocks in Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2005, 28(2): 15-17. [杜敏, 陈盛吉, 万茂霞, 等. 四川盆地侏罗系源岩分布及地化特征研究[J]. *天然气勘探与开发*, 2005, 28(2): 15-17.]
- [7] Chen Shengji, Wan Maoxia, Du Min, *et al.* Jurassic oil-gas source correlation and hydrocarbon source condition in Central Sichuan region [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2005, 28(2): 11-14. [陈盛吉, 万茂霞, 杜敏, 等. 川中地区侏罗系油气源对比及烃源条件研究[J]. *天然气勘探与开发*, 2005, 28(2): 11-14.]
- [8] Zeng Qinggao, Gong Changming, Li Junliang, *et al.* Exploration achievements and potential analysis of gas reservoirs in the Xujiahe Formation, central Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(6): 13-18. [曾青高, 龚昌明, 李俊良, 等. 川中地区须家河组气藏勘探成果及潜力分析[J]. *天然气工业*, 2009, 29(6): 13-18.]
- [9] Wang Qiang, Fu Xiaowen, Xu Zhiming, *et al.* Development and application of stable carbon isotopes in natural gas and oil geochemistry [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(2): 233-237. [王强, 付晓文, 徐志明, 等. 稳定碳同位素在油气地球化学中的应用及存在的问题[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(2): 233-237.]
- [10] Wang Wanchun, Liu Wenhui, Liu Quanyou, *et al.* Analyses of the carbon isotopic geochemistry of the mix-sourced shallow reservoir natural gas identification [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(6): 469-473. [王万春, 刘文汇, 刘全有. 浅层混源天然气判识的碳同位素地球化学分析[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(6): 469-473.]
- [11] Dai Jinxing. Significance of the study on carbon isotopes alkane gases [J]. *Natural Gas Industry*, 2011, 31(12): 1-6-123. [戴金星. 天然气中烷烃气碳同位素研究的意义[J]. *天然气工业*, 2011, 31(12): 1-6, 123.]
- [12] Dai Jinxing, Ni Yunyan, Zou Caineng, *et al.* Carbon isotope features of alkane gases in the coal measure of the Xujiahe Formation in the Sichuan Basin and their significance to gas source correlation [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(5): 519-529. [戴金星, 倪云燕, 邹才能, 等. 四川盆地须家河组煤系烷烃气碳同位素特征及气源对比意义[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(5): 519-529.]
- [13] Dai Jinxing. Carbon and hydrogen isotopic characteristics and differential diagnosis of natural gas [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1993, 4(2): 1-40. [戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J]. *天然气地球科学*, 1993, 4(2): 1-40.]
- [14] Dai Jinxing, Xia Xinyu, Wei Yanzhao, *et al.* Carbon isotope characteristics of natural gas in the Sichuan Basin, China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(2): 115-121, 132. [戴金星, 夏新宇, 卫延召, 等. 四川盆地天然气的碳同位素特征[J]. *石油实验地质*, 2001, 23(2): 115-121, 132.]
- [15] Wang Peirong, Xu Guanjun, Zhang Dajiang, *et al.* Problem with application of heptane and isoheptane values as light hydrocarbon parameters [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(1): 121-128. [王培荣, 徐冠军, 张大江, 等. 常用轻烃参数正, 庚烷值应用中的问题[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(1): 121-128.]
- [16] Han Yaowen, Wang Tingdong, Wang Haiqing, *et al.* Geological and Geochemical study on gas-condensating reservoir of Daanzhai Formation, Bajiaochang Sichuan province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 12(4): 95-104. [韩耀文, 王廷栋, 王海清, 等. 四川八角场油气田大安寨组凝析气藏的地质—地球化学研究[J]. *沉积学报*, 1990, 12(4): 95-104.]
- [17] Wang Haiqing, Wang Tingdong, Huang Qingde, *et al.* Analytical method of C₄-C₇ light hydrocarbons in source rock and its application [J]. *Journal of Southwestern Petroleum Institute*, 1991, 13(4): 31-35. [王海清, 王廷栋, 黄清德, 等. 源岩 C₄-C₇ 轻烃分析方法及其应用[J]. *西南石油学院学报*, 1991, 13(4): 31-35.]
- [18] Li Jun, Tao Shizhen, Wang Zecheng, *et al.* Characteristics of

- Jurassic petroleum geology and main factors of hydrocarbon accumulation in NE Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(5): 732-741. [李军, 陶士振, 汪泽成, 等. 川东北地区侏罗系油气地质特征与成藏主控因素[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(5): 732-741.]
- [19] Lomando A J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76(8): 1137-1152.
- [20] Chen Shijia, Liu Chaowei, Yang Yueming, *et al.* Restudy of the formation mechanism of the Da'anzhai condensate gas reservoir in the Bajiaochang structure, Middle Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(9): 29-35. [陈世加, 刘超威, 杨跃明, 等. 川中八角场构造大安寨段凝析气藏形成机制再认识[J]. *天然气工业*, 2013, 33(9): 29-35.]
- [21] Chen Shijia, Fan Xiaojun, Lu Jungang, *et al.* Impact of bitumen on reservoir properties of and hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(1): 70-75. [陈世加, 范小军, 路俊刚, 等. 沥青对储集层物性及油气富集的影响[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(1): 70-76.]
- [22] Hu Shouzhi, Fu Xiaowen, Wang Tingdong, *et al.* Bitumen-sealed belt in reservoirs and its implication to petroleum exploration[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(1): 99-103. [胡守志, 付晓文, 王廷栋, 等. 储层中的沥青沉淀带及其对油气勘探的意义[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(1): 99-103.]
- [23] Price L C, Wenger L M, Ging T, *et al.* Solubility of crude oil in methane as a function of pressure and temperature[J]. *Organic Geochemistry*, 1983, 4(3): 201-221.
- [24] Thompson K F M. Gas-condensate migration and oil fractionation in deltaic systems[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1988, 5(3): 237-246.
- [25] Huang Difan, Zhao Mengjun. Analysis on crude oil physical characteristics and causes of low paraffin and sulfur in marine crude oil, Tarim Basin[C]//Tong Xiaoguang, Liang Digang, Jia Chengzao. *New Advance of Petroleum Geology in Tarim Basin*. Beijing: Science Press, 1996: 329-337. [黄第藩, 赵孟军. 塔里木盆地原油物性及海相原油中含蜡低含硫的成因分析[C]//童晓光, 梁狄刚, 贾承造. *塔里木盆地石油地质研究新进展*. 北京: 科学出版社, 1996: 329-337.]
- [26] Zhang Shuichang. Migration fractionation: the primary mechanism in formation of condensating oil and wax oil[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(6): 667-670. [张水昌. 运移分馏作用: 凝析油和蜡质油形成的一种重要机制[J]. *科学通报*, 2000, 45(6): 667-670.]
- [27] Zheng Rongcai. Application of ESR dating and fluid inclusion in study on the forming models for of petroleum accumulation in the Da'anzhai Formation, Lower Jurassic from Sichuan Basin[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1997, 17(4): 47-54. [郑荣才. 顺磁共振测年和包裹体在大安寨段成藏模式研究中的应用[J]. *矿物岩石*, 1997, 17(4): 47-54.]

Natural Gas Origin and Influence on Oil Well Productivity in Jurassic Da'anzhai Formation, Western Part of Central Sichuan Basin

CHEN Shi-jia^{1,2}, WANG Li¹, YAO Yi-tong¹, HUANG You-lin¹, LU Jun-gang^{1,2},
LIU Chao-wei¹, ZHANG Huan-xu¹, ZHANG Xiao-wen¹

(1. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. Sichuan Key Laboratory of Natural Gas Geology, Chengdu 610500, China)

Abstract: Wells with high gas oil ratio of Jurassic Da'anzhai Formation are widely distributed in the western part of Central Sichuan Basin, where oil wells are also mainly distributed. Study on natural gas origin is helpful to understand the hydrocarbon enrichment regularity in Jurassic Da'anzhai Formation, central Sichuan Basin. Based on the comparison of natural gas compositions and carbon isotopes between Da'anzhai Formation and Upper Triassic Xujiahe Formation, combined with the characteristics of condensate light hydrocarbons of Da'anzhai Formation, it suggests that gas of high oil gas ratio wells is characterized by humic or near-humic origin which is similar to the gas from Xujiahe Formation. The mixture of sapropelic gas from Da'anzhai Formation with humic gas from Xujiahe Formation leads to high gas oil ratio wells in Da'anzhai Formation, western part of Central Sichuan Basin. On one hand, when the faults crossed the Da'anzhai Formation, light hydrocarbons in the primitive reservoir of Da'anzhai dissolved in the gas injection from underlying Xujiahe Formation and migrated to the upper formation. On the other hand the injected gas caused deasphalting to fill the reservoir's pores and fractures, which leads to poor exploration effects near faults.

Key words: Western part of Central Sichuan Basin; Da'anzhai Formation; Carbon isotopes; Natural gas origin; Deasphalting; Exploration effects