

川中地区上三叠统须家河组气源分析

唐 跃¹, 王靓靓¹, 崔泽宏²

TANG Yue¹, WANG Liang-liang¹, CUI Ze-hong²

1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

1. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China

摘要:通过对川中与川西北主要气田的天然气组分、天然气运移指标等资料的详细分析,发现川中地区须家河组天然气主要来自内部的次级生烃洼陷,其中须家河组二、四、六段气源分别为一、三、五段烃源岩,且不同含气层段之间很少有气源窜通的现象。最后指出即使生气强度小于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,但只要紧邻生气洼陷,储层物性就相对较好,又有良好的构造背景,也能形成大中型气田。

关键词:川中地区;须家河组;天然气组分;天然气运移;气源

中图分类号:P534.51; P618.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)10-1608-06

Tang Y, Wang L L, Cui Z H. An analysis of the gas source in the Upper Triassic Xujiahe Formation, central Sichuan Basin. Geological Bulletin of China, 2011, 30(10): 1608-1613

Abstract: An intensive analysis of the characteristics of main gas fields in central and northwest Sichuan basin such as the components and migration indicators of natural gas shows that natural gas of Xujiahe Formation in central Sichuan basin was mainly generated from source beds in the hydrocarbon generation sags, and the natural gas of T_3x^2 , T_3x^4 , T_3x^6 was respectively generated from hydrocarbon source rocks of T_3x^1 , T_3x^3 , T_3x^5 . It is pointed out that even if the gas generation intensity of hydrocarbon source rocks in the hydrocarbon generation sag is lower than $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, the reservoir which has good physical properties and beneficial tectonic background and is close to the hydrocarbon generation sag could also form a large or medium sized gas field.

Key words: central Sichuan Basin; Xujiahe Formation; natural gas components content; natural gas migration; gas source

川中地区位于四川盆地西侧龙泉山与东侧华蓥山两大深断裂之间,北至营山构造,南到威远古隆起以北,整体表现为西倾的平缓单斜,构造上属于川西前陆斜坡和隆起带,面积约 $5.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。川中地区远离川西上三叠统须家河组生烃洼陷,且内部生烃能力有限,但区内发现了八角场、充西、磨溪、广安、合川、安岳等多个大中型气田(图1),尤其是近年发现的广安、合川和安岳3个气田的探明储量均超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$,但其气源始终是个悬而未决的问题。笔者通过川西与川中主要气

藏的地化指标对比,以及川中各层段天然气性质对比,尝试对须家河组气源作出较合理的解释,为进一步扩大勘探范围提供理论依据。

1 地质概况

四川盆地上三叠统须家河组,是印支早幕运动后,在中下三叠统碳酸盐岩侵蚀面之上沉积的一套海相向陆相过渡的以砂泥岩为主的煤系地层,与下伏中下三叠统白云岩或灰岩呈假整合接触,与上覆侏罗系呈不整合—整合接触。该组沉积厚度大,西厚

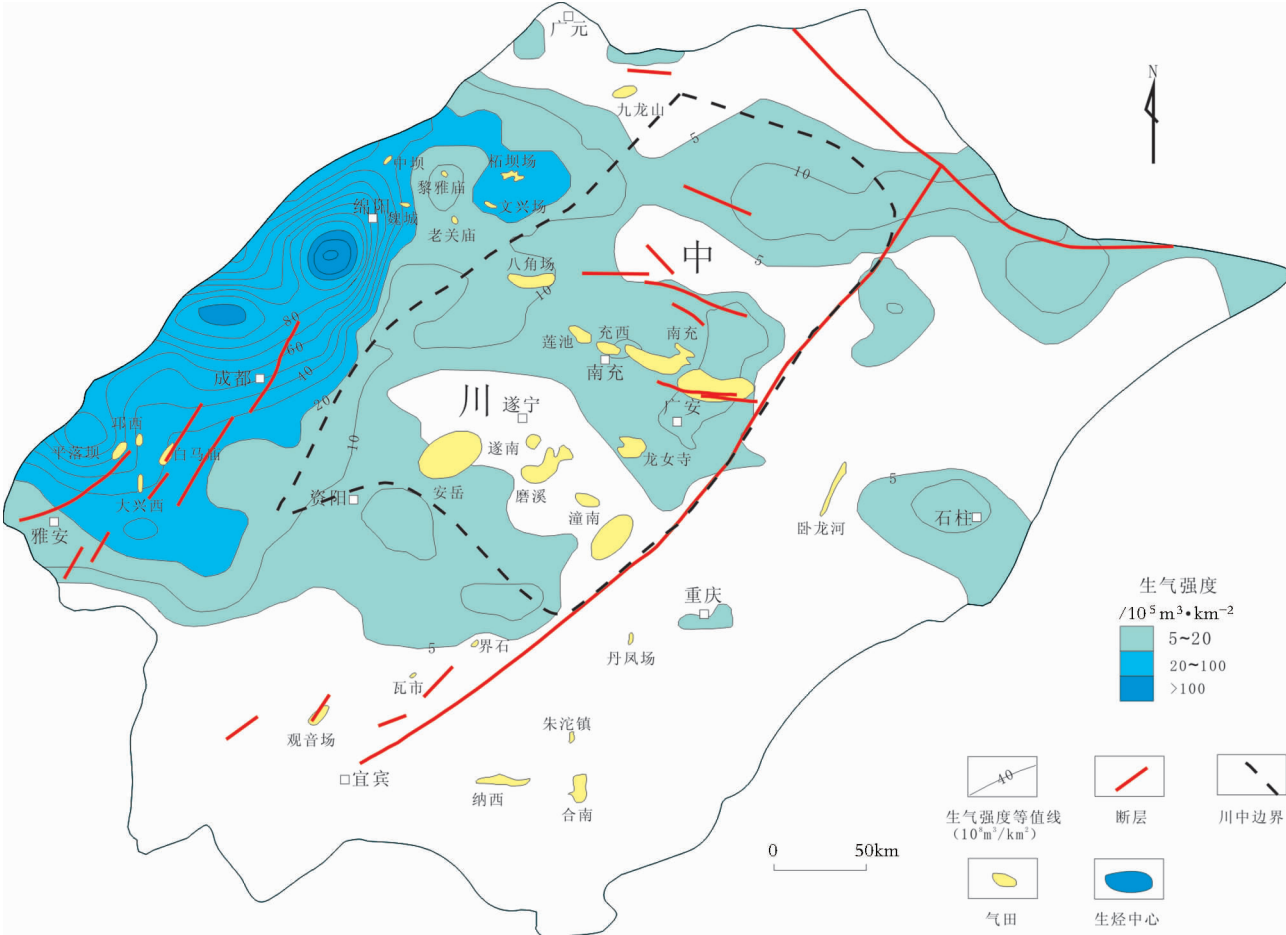


图 1 四川盆地上三叠统主要气田和生烃中心

Fig. 1 Main Upper Triassic gas fields and hydrocarbon generation sags in Sichuan Basin

东薄,川西地区为 1200~4400m;川中地区为 500~1100m,东南侧和东北侧厚度较薄,为 200m 左右。其总体格局是在由西向东分布的西陡东缓的箕状拗陷中沉积的沉积体^[2-4]。须家河组自下而上分为 6 段(图2)。其中须一、三、五段以黑色页岩、泥岩为主,夹薄层粉砂岩、砂岩、煤层或煤线,是主要的烃源岩和盖层;须二、四、六段以灰色中粒、中—细粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑石英砂岩为主,夹薄层泥页岩,是主要的储气层段。须家河组一、三、五段烃源岩与二、四、六段储集层间互叠置呈“三明治”结构,具有广覆式分布的特征,构成有利的生储盖组合^[5]。

川中地区除须一段外,须家河组主要为一套内陆河湖相沉积体系。须二、四、六段主要为辫状河三角洲沉积体系,有效储层主要发育在分支河道、河

口坝和滨浅湖砂坝微相中。生烃层中须一段为残留海湾相沉积,只发育在川中西部;须三、五段主要为湖沼相沉积,在川中广泛分布。须一、三、五段暗色泥质源岩总厚度一般超过 130m,局部地区大于 300m;煤岩总厚度超过 3m,具多层分布的特点,单层厚度为 0.2~1m。烃源岩有机碳丰度普遍较高,平均为 1.76%,以腐殖型干酪根为主,川中地区烃源岩以须五段最好,须三段次之,须一段最差,总生气强度低于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

须家河组须二、四、六段岩心分析资料表明:砂岩基质孔、渗具有分布频带宽、低孔、低渗的特征,局部发育有高孔、高渗储层段。孔隙度为 0.18%~20.21%,平均 3.6%~6.8%。其中,孔隙度大于 6%的储层所占比例为 17%~57%,大于 8%的储层所占比例为 8%~31%,大于 10% 所占比例为 4%~18%;渗透率

川中地区须家河组天然气勘探始于 1956 年,截至 2010 年底,已钻探 600 余口井,发现了八角场、充西、磨溪、广安、合川、安岳等气田(图 1),探明天然气地质储量超过 $3000\times 10^8\text{m}^3$ 。

2 气源分析

迄今为止,四川盆地主要发现了下寒武统、下志留统、下二叠统、上二叠统、上三叠统和下侏罗统 6 套烃源岩^[7]。前人研究证实:上三叠统天然气具有典型的煤成气特征,须家河组须一、三、五段是主要的烃源岩^[8-10]。但对川中地区而言,主要气源是来自川西洼陷还是川中内部的次洼?须二、四、六段各自的气源是与须一、三、五段一一对应,还是有主力的烃源岩层段?这些问题都没有明确的答案。本文通过川西与川中主要气藏的地球化学指标对比,以及川中各层段天然气性质对比,尝试对上述问题给出较合理解释。

2.1 天然气组分特征

四川盆地上三叠统天然气主要为成熟—高成熟的煤成气^[11-12],其组分中烃类气体含量变化在 60.27%~99.76%,但含量主频为 97.5%~99.3%,反映烃类气体占绝对优势。

天然气烃类组成以甲烷为主,主要分布在 86%~96%,川西普遍高于川中。重烃(C_2^+)含量变化较大,其中川中为 3.24%~16.32%,平均 9.19%;川西为 0.20%~11.10%,平均 4.96%。天然气相对密度主要集中在 0.5660~0.7000。

上三叠统天然气干燥系数(C_1/C_1^+)为 0.83~0.99,以干燥系数小于 0.95 的湿气为主,大于 0.95 的干气主要赋存于川西地区(图 3)。纵向上,天然气干燥系数自下而上逐渐降低。须家河组须一段仅在川西获得工业气流,除中坝等少数构造外,大部分构造以产干气为主;须六段目前发现的天然气几乎均为湿气,且都集中在川中地区。说明须家河组各段的气源可能不同,而且相互之间窜通较少。

横向上,同一层位天然气的干燥系数川西普遍高于川中,川中内部没有明显的西部低于东部的现象,主要运移指标($i\text{C}_4/\text{nC}_4$)也没有自西向东变大的趋势(图 3),说明川中地区的天然气可能并不主要来自川西坳陷。

2.2 天然气运移指向分析

天然气的二次运移存在水溶相、油溶相、气相和

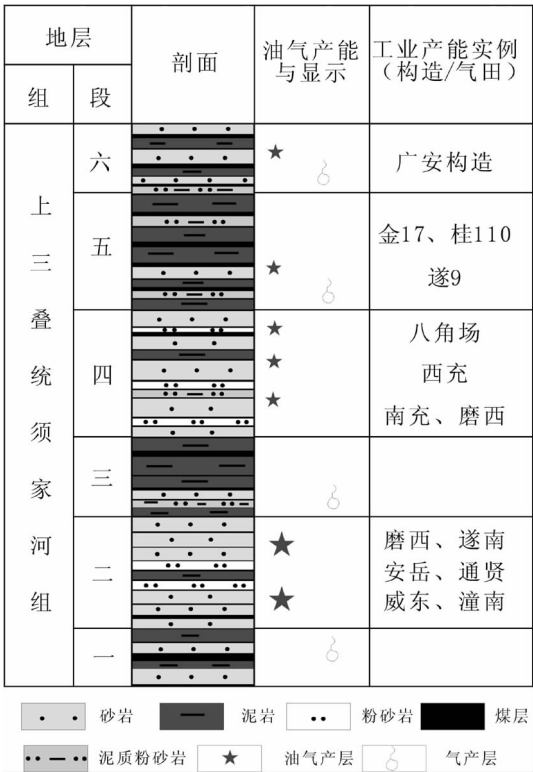


图 2 四川盆地上三叠统须家河组及其含油气性简图
Fig. 2 Stratigraphic division and hydrocarbon potential of the Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin

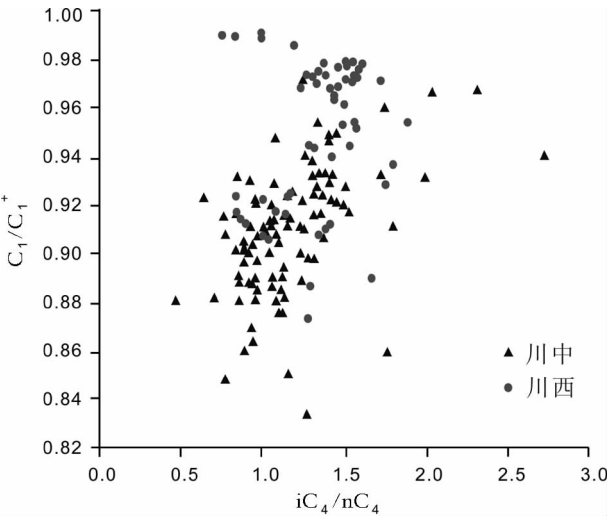


图 3 川中、川西天然气 $i\text{C}_4/\text{nC}_4$ 与 C_1/C_1^+ 相关图
Fig. 3 $i\text{C}_4/\text{nC}_4$ - C_1/C_1^+ diagram of natural gas in central and western Sichuan Basin

分布范围为 $0.01\times 10^{-3}\mu\text{m}^2\sim 45\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。含水饱和度为 45%~96%，单井含水饱和度一般都超过 50%，属高含水储层^[6]。

表 1 天然气运移过程中地球化学指标的变化趋势
(据陈安定等,1994,有修改)

Table 1 Variation of geochemical indicators during natural gas migration				
指 标	水溶 (水溶气)	运移 (游离气)	散 失	聚集显示
iC ₄ /nC ₄	减小	增大	不变或略减小	中高异常
C ₁ /C ₁ ⁺	增大	增大	减小	据情形而定
CO ₂ /%	增大	减小		
N ₂ /%	减小	增大		

扩散相 4 种。上三叠统烃源岩以产气为主,油溶相起的作用非常有限,而扩散相很难形成气藏^[13-14],因此本区天然气成藏的主要运移相态只能是水溶相和气相。中国的许多学者通过大量的物理模拟实验得出了较为一致的认识:水溶气成藏的天然气干燥系数高、CO₂ 高、N₂ 低,游离气成藏的天然气 CO₂ 低、N₂ 高^[15-20]。因此,在气源确定的条件下,C₁/C₁⁺是判断运移指向最有效的参数;区分气相和水溶相运移成藏的天然气的有效指数主要有 δ¹³C₁、iC₄/nC₄、CO₂ 含量和 N₂ 含量(表 1)。

运用 iC₄/nC₄、C₁/C₁⁺、CO₂ 含量和 N₂ 含量 4 项主要参数,对川中各层段重点气藏的天然气性质进行分析,发现总体上随与生烃次洼距离的加大(图1),天然气 δ¹³C₁ 变轻,iC₄/nC₄ 增大,CO₂ 含量减少,N₂ 含量增加(表 2)。因此,川中须家河组天然气的主要运移相态为气相,尚未发现明显的水溶气藏。通过对川中、川西地区上三叠统主要储气层段天然气干燥系数的分析,发现各段天然气干燥系数的低值区与其烃源岩发育区吻合较好。广安须家河组须六段气藏是最典型的例证。由于须五段煤岩的生烃中心在营山北侧,因此天然气干燥系数表现为由北至南逐渐升高的趋势^[10]。总体说明川中地区须家河组天然气围绕生烃中心就近成藏。

2.3 气气对比

对同一气田不同层位天然气的各项地球化学指标进行对比,可以较好地分析不同层位之间的气源是否发生窜通现象。笔者通过对川中 7 个典型气田天然气的综合地球化学指标对比(表 3),发现不同层位之间的天然气性质差别明显,说明各层位之间气体基本不发生交换,与广安气田具有相似的特征^[21]。说明在川中地区,须家河组须二、四、六段气源分别来自下伏的须一、三、五段烃源岩,彼此很少窜通。

表 2 川中须家河组天然气运移指标数据

Table 2 Natural gas migration indicators of 2nd, 4th and 6th Member of Xujiache Formation in gas fields of central Sichuan Basin

层位	构造名称	iC ₄ /nC ₄	C ₁ /C ₁ ⁺	N ₂ /%	CO ₂ /%
须二段	金华	0.97	0.8852	1.10	0.48
	八角场	1.56	0.9572	0.01	0.34
	通贤	1.12	0.8756	0.03	0.25
	潼南	1.15	0.8499	1.37	0.81
	磨溪	1.24	0.9019	0.15	0.20
	充西	1.12	0.9036	1.06	0.30
	南充	1.27	0.8331	1.98	0.03
	遂南	1.13	0.8806	0.24	0.44
	龙女寺	2.11	0.9301	0.03	0.18
	华蓥西	1.34	0.9328	0.02	0.80
	鲜渡河	1.23	0.9096	0.48	0.16
	营山	1.37	0.9187	0.02	0.41
	磨溪	0.80	0.8665	0.04	0.44
	充西	0.88	0.9044	0.94	2.09
须四段	八角场	1.02	0.9196	0.18	0.37
	金华	1.06	0.9131	0.81	0.38
	南充	1.19	0.9007	1.20	0.72
	龙女寺	1.30	0.9136	1.12	0.60
	广安	1.40	0.9398	1.25	0.30
	白庙	1.42	0.9306	1.03	0.70
	罗渡溪	1.45	0.9485	1.89	0.50
	营山	1.62	0.9347	0.03	0.25
须六段	八角场	0.87	0.9148	0.31	0.27
	金华	0.96	0.8805	0.94	0.30
	遂南	0.85	0.8880	0.05	0.31
	磨溪	0.99	0.8935	0.05	0.24
	小潼场	0.94	0.8877	0.01	0.62
	广安	1.09	0.9093	0.81	0.38
	罗渡溪	1.30	0.9377	0.93	0.68
	白庙	1.32	0.9295	0.46	0.39
	华蓥西	1.15	0.9108	0.21	0.59
	合川	1.80	0.9104	1.40	0.48

2.4 气油对比

C₆~C₇ 烃类化合物组成是进行天然气和液态烃类成因联系的主要桥梁。川中地区须家河组产层中,天然气和凝析油同产的井是比较普遍的,如广安构造广 19、兴华 1,龙女寺构造女 106,磨溪构造磨 1、9、17、25、64、66、69、73、81、85、147、203,遂南构造遂 35、37、47、56,潼南构造潼南 1、2、5,充西构造西 13-1、35-1、56、57、67、68、73x、74,南充构造充深 1、充 8,八角场构造角 13、46-0、52、55、57 等。在这些油气同产井中,对采自遂 56、遂 37、西 72、莲深 1 井的天然气和凝析油样品进行了轻烃测试结果的对比分析

表 3 川中须家河组主要气田地球化学指标数据

Table 3 Geochemical indicators of natural gas of the Upper Triassic Xujihe Formation in central Sichuan Basin

气田名称	层位	C ₁ /%	C ₂ /%	C ₃ /%	iC ₄ /nC ₄	iC ₅ /nC ₅	C ₂ ⁺ /%	C ₁ /C ₁ ⁺	N ₂ /%	CO ₂ /%
华蓥西	须六段	90.32	6.50	1.46	1.15	2.13	8.84	0.9108	0.21	0.59
	须二段	91.77	5.20	0.84	1.34	2.87	6.61	0.9328	0.02	0.80
八角场	须六段	90.42	5.37	1.79	0.87	2.22	8.42	0.9148	0.31	0.27
	须四段	90.51	5.36	1.51	1.02	1.76	7.90	0.9196	0.18	0.37
	须二段	94.70	3.35	0.52	1.56	2.02	4.24	0.9572	0.01	0.34
金华	须六段	86.89	5.63	3.44	0.96	1.48	11.79	0.8805	0.94	0.30
	须四段	90.14	6.15	1.52	1.06	1.80	8.58	0.9131	0.81	0.38
	须二段	87.04	5.51	3.35	0.97	1.63	11.29	0.8852	1.10	0.48
磨溪	须六段	88.20	6.48	2.33	0.99	2.07	10.51	0.8935	0.05	0.24
	须四段	85.13	7.04	3.38	0.80	2.15	13.11	0.8665	0.04	0.44
	须二段	89.06	6.09	1.94	1.24	2.89	9.69	0.9019	0.15	0.20
龙女寺	须四段	89.64	5.97	1.45	1.30	1.92	8.48	0.9136	1.12	0.60
	须二段	92.13	5.30	0.84	2.11	3.97	6.93	0.9301	0.03	0.18
	须六段	87.43	6.60	2.70	0.85	1.49	11.02	0.8880	0.05	0.31
遂南	须五段	87.63	6.46	2.78	1.06	2.26	10.84	0.8899	0.03	0.27
	须二段	86.60	7.61	2.64	1.13	2.41	11.74	0.8806	0.24	0.44
	须四段	87.48	5.61	2.04	0.88	1.59	9.31	0.9044	0.94	2.09
充西	须三段	84.76	8.39	3.54	1.76	1.96	13.93	0.8588	0.55	0.62
	须二段	89.00	5.91	1.93	1.12	2.15	9.49	0.9036	1.06	0.30

表 4 川中-川南地区须家河组天然气和凝析油轻烃参数对比

Table 4 Comparison of light hydrocarbon parameters between natural gas and condensate oil of the Upper Triassic Xujihe Formation in central and southern Sichuan Basin

井号	层位	类型	苯/正己烷	苯/总 C ₆	苯/环己烷	苯/甲苯	甲苯/正庚烷	甲苯/甲基环己烷
遂 56	须二段	凝析油	0.377	0.078	0.357	0.294	1.207	0.485
		天然气	0.268	0.052	0.484	17.732	0.073	0.032
遂 37	须二段至须四段	凝析油	0.278	0.062	0.224	0.210	1.021	0.385
		天然气	0.225	0.052	0.342	23.028	0.040	0.017
西 72	须四段	凝析油	0.511	0.080	0.222	0.303	1.793	0.304
		天然气	0.306	0.055	0.236	1.196	0.962	0.179
莲深 1	须四段	凝析油	0.879	0.128	0.332	0.183	3.122	0.597
		天然气	0.524	0.096	0.406	1.242	1.264	0.305

(表 4)。研究表明,天然气和凝析油的 C₅~C₇ 轻烃组成特征基本是相同的,即含有丰富的环烷烃和芳烃,反映它们具有相同的来源,主要来源于腐殖型烃源岩。但是由于气态烃、液态烃分子组成和在采出过程中相态变化的差异,天然气和凝析油轻烃在不同组分的相对含量上稍有差别,气态烃中低碳数部分占优势,液态烃中高碳数部分占优势。也说明在川中地区,须家河组须二、四、六段气源分别来自下伏的须一、三、五段烃源岩,彼此很少窜通。

综上所述,川中须家河组天然气主要来自其内部生烃次洼并就近成藏,须二、四、六段气源分别来自下伏的须一、三、五段烃源岩,彼此很少窜通。

3 结 论

- (1)川中须家河组气源主要来自其内部的次级生烃洼陷。
- (2)须家河组须二、四、六段气源分别来自各自下伏的须一、三、五段烃源岩,彼此很少窜通。

(3)即使生气强度小于 $20\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,但只要紧邻生气洼陷,储层物性相对较好,又有良好的构造背景,也能形成大中型气田。

参考文献

[1]翟光明.中国石油地质志(卷十)[M].北京:石油工业出版社,1990.

[2]罗启后,王世谦.四川盆地中西部三叠系重点含气层系天然气富集条件研究[J].天然气工业,1996,12(6):40-55.

[3]陈海霞,赵兵,陈陵康.四川蒲江地区上三叠统须家河组地层古生物特征及沉积环境[J].地质通报,2009,28(4):493-500.

[4]苟宗海.四川全芦山宝兴地区须家河组地层特征[J].中国区域地质,1996,(4):323-329.

[5]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):146-157.

[6]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.

[7]朱光有,张水昌,梁英波,等.四川盆地天然气特征及气源[J].地学前缘,2006,13(2):234-238.

[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.

[9]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.

[10]李登华,李伟,王泽成,等.川中广安气田天然气成因类型及气源

分析[J].中国地质,2007,34(5):829-836

[11]戴金星,钟宁宁,刘德汉,等.中国煤成大中型气田地质基础和主控因素[M].北京:石油工业出版社,2000.

[12]张静平,唐书恒,郭东鑫.四川盆地下古生界筇竹寺组与龙马溪组页岩气勘探优选区预测[J].地质通报,2011,30(2/3):357-363.

[13]李明诚.石油与天然气运移(第三版)[M].北京:石油工业出版社,2004.

[14]王连进,吴冲龙,王春辉.油气二次运移研究进展述评[J].地质通报,2006,25(9/10):1220-1224.

[15]刘朝露,李剑,方家虎,等.水溶气运移成藏物理模拟实验技术[J].天然气地球科学,2004,15(1):32-36.

[16]马立元,张晓宝,李剑,等.地层条件下天然气扩散过程中地球化学组分变化的模拟实验研究[J].石油实验地质,2004,26(4):365-374.

[17]史基安,孙秀建,王琪,等.天然气运移物理模拟实验及其组分分异与碳同位素分馏特征[J].石油实验地质,2005,27(3):293-298.

[18]李剑,刘朝露,李志生,等.天然气组分及其碳同位素扩散分馏作用模拟实验研究[J].天然气地球科学,2003,14(6):463-468.

[19]何家雄,夏斌,刘宝明,等.琼西莺歌海盆地中深层天然气成藏条件分析及其与浅层成藏条件的比较[J].地质通报,2005,24(1):9-15.

[20]李耀华,师晓蓉,杨西南.川中~川西地区上三叠统储集条件研究[J].天然气勘探与开发,2003,26(3):1-6.

[21]车国琼,龚昌明,汪楠,等.广安地区须家河组气藏成藏条件[J].天然气工业,2007,27(6):1-5.