

泸州地区上三叠统须家河组 天然气成因类型与来源

李延钧¹ 张文济^{1,2} 李其荣³ 张本健⁴ 隆 辉³ 马彦良³

(1.西南石油大学,四川 成都 610500; 2.西南油气田分公司重庆气矿,重庆 400021;

3.西南油气田分公司蜀南气矿,四川 泸州 646000;4.西南油气田分公司川西北气矿,四川 绵阳 621700)

摘要:通过对天然气的组成和碳同位素组成的综合研究,综合实际地质条件,明确了泸州古隆起上三叠统须家河组天然气的成因类型和分布规律,并细分了不同气藏的气源贡献和来源特征。结果表明研究区存在 3 种来源与成因类型天然气:①以须家河组煤系为来源的自生自储型天然气;②以深层来源气为主的天然气;③以须家河组煤系烃源为主,深层来源为辅的混合型成因气。

关键词:泸州古隆起;上三叠统;碳同位素;天然气成因;气源

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)06-1747-06

须家河组天然气勘探在四川盆地近年来取得了良好效果,在广安、磨溪、通贤-安岳地区天然气主要来自须家河组煤系,属于自生自储^[1-3]。但是在泸州地区须家河组存在较大差异,有湿气气藏、含油气藏、干气气藏,显然来源不统一。由于处于古隆起区,下伏嘉陵江组、二叠系阳新统均存在工业性气藏,断裂发育,势必存在深层烃源向上贡献的可能。而且,在贵州赤水地区须家河组天然气主要属于深层来源气,与志留系烃源有关^[4]。因此,为了弄清泸州古隆起须家河组天然气来源问题,加快对须家河组天然气资源进一步勘探,首先必须搞清研究区须家河组天然气的具体成因类型与来源。

1 研究区地质概况

泸州古隆起位于四川盆地东南断褶带南段,西北为华蓥山大断裂,东界为中梁山至石龙峡背斜之间深断裂带,南为娄山关褶皱带,包括古隆起核部及古隆起上斜坡。区内沉积平稳,在内陆湖盆的大背景下,以三角洲平原亚相沉积环境为主^[5]。

本区须家河组地层露头主要分布在泸州古隆起周边的高陡构造顶部和轴部,须家河组沉积稳定,但区域上相比缺失了须一、须二段。地层厚度变化不大,纵向上地层连续性相对较好,大部分构造可分为六层,自下而上分别为须三段、须四段、须五段、须六¹亚段、须六²亚段、须六³亚段。须三段、须五段、须六²亚段在大部分地区以黑色、灰黑色页岩为主,夹灰色砂岩与薄煤层,局部相变为砂岩,是本区主要生油层和盖层,也是本区含煤层系之一。须四段、须六¹亚段、须六³亚段主要为浅灰色块状细、中砂岩,夹少量灰黑色泥岩、页岩,脉状煤线和煤的透镜体,是主要的储集层段。须六²亚段平面上变化较大,其中西部的牟家坪-南井地区泥岩发育,砂岩呈透镜体形式分布,向东则泥岩厚度减薄,主要以砂岩夹薄层泥页岩沉积为主要特征^①。

2 烃源岩与天然气分布

泸州古隆起上三叠统须家河组泥岩厚度变化很大,最大厚度在西部的牟家坪、桐梓园、阳高寺、长垣

收稿日期:2009-11-13;改回日期:2009-12-29

基金项目:四川省重点学科建设项目(SZD0414)资助。

作者简介:李延钧,男,1966年生,博士,副教授,主要从事油气成藏机理和油气地质教学与研究;E-mail:llyjjqq@126.com。

①李延钧,等.牟家坪-南井地区须家河组成藏条件研究,西南石油大学科研报告,2008。

表 1 研究区须家河组地层划分及岩性特征
 Table 1 Stratigraphic classification and lithologic characteristics of Xujiahe Formation in the study area

层位	岩性特征
T ₃ X ⁶ ₃	灰白色中、细砂岩夹薄层黑灰色页岩及粉砂岩
T ₃ X ⁶ ₂	灰黑色页岩夹粉砂岩及砂岩, 局部夹煤线
T ₃ X ⁶ ₁	灰白色中、细砂岩为主, 局部井区夹少量粉砂岩及灰黑色页岩
T ₃ X ⁵	灰黑色泥岩、黑色页岩、砂质页岩为主夹浅灰色灰质粉砂岩及灰白色细砂岩, 局部夹煤线
T ₃ X ⁴	灰白色细一中粒砂岩为主夹少量薄层状黑色泥岩及煤线
T ₃ X ³	灰黑色泥岩、泥质粉砂岩, 含灰质重, 局部夹泥灰岩和黑色炭质页岩、薄煤层

坝、纳溪一带,中部的纳溪—朱沱地区次之,东部的丹凤场—梁董庙地区烃源岩厚度相对较薄,总的变化趋势是从东北到西南厚度逐渐增大。煤层呈现东西部厚,中部薄的特征,即牟家坪—南井地区和丹凤场—梁董庙地区煤层相对较厚,一般厚度为 5~10 m,而泸州古隆起核部地区相对较薄,一般厚度为 1~5 m。

泸州古隆起上三叠统须家河组泥岩的有机碳含量相对较高,都达到了生烃门限值,且部分达到了较好烃源岩级别,并以中等烃源岩为主。而有机质类型是以 III 型为主,并有少量的 II₂ 型。实测 R_o 分布在 0.95%~1.28%,显然处于成熟阶段。

泸州古隆起区有 21 口井在须家河组钻遇良好显示(这里指气浸、井涌、井喷),油气分布的储层主要为

须六段和须四段,其他层段也有部分显示。西部的牟家坪—南井地区油气测试结果为低产,油气分布的储层主要为须六段,须四段也有部分显示。其中南井构造的井 23 井在须家河组产出少量凝析油。中部的合江—纳溪地区测试结果为高产,油气分布的储层为须六段。东部的丹凤场—梁董庙地区测试结果为工业气流,主要分布在须四段,须六段也有部分显示。其中董 13 井在须六段获得一定量的凝析油(图 1)。

3 天然气组成与成因类型

3.1 天然气组成

天然气组成的变化与生烃母质的成熟度和类型具有密切的关系^[6]。从天然气的组成来看(表 2),泸

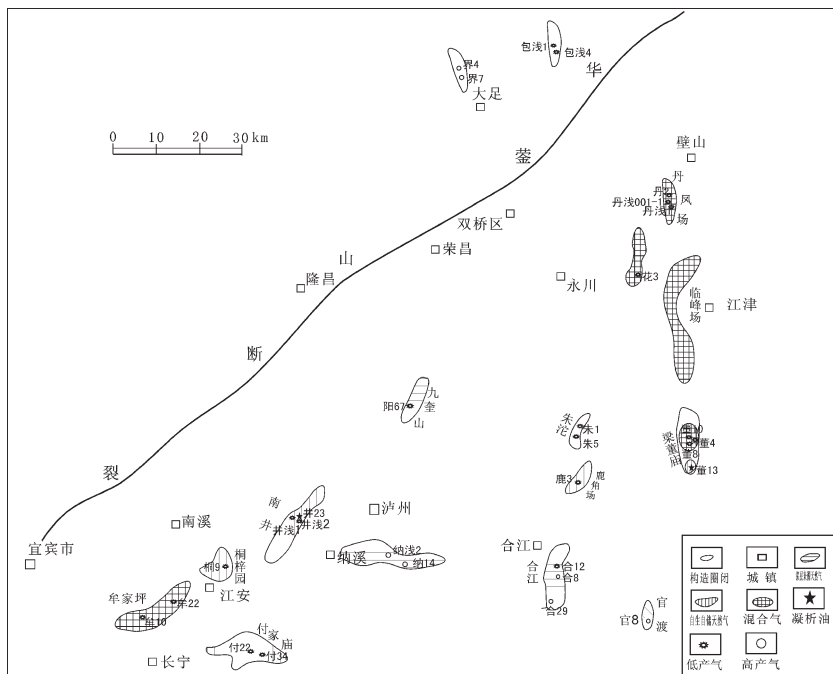


图 1 研究区上三叠统须家河组油气分布图

Fig.1 Gas and oil distribution in the Upper Triassic Xujiahe Formation of the study area

表 2 研究区上三叠统须家河组天然气组成与碳同位素
Table 2 Components and carbon isotope data of gas resources in the Upper Triassic Xujiahe Formation of the study area

井号	层位	天然气碳同位素 (‰)			天然气组成				类型	数据来源
		δC_1	δC_2	δC_3	甲烷 (%)	C_{2+} (%)	$\log(C_1/C_{2+})$	H_2S (g/m ³)		
磨 85	T ₃ X ²	-41.42	-26.83	-23.5	89.09	10.17	0.94	—		
女 103	T ₃ X ²	-39.37	-25.68	-23	90.87	8.43	1.03	—		
遂 56	T ₃ X ²	-40.9	-25.75	-22.74	87.74	11.55	0.88	—		
中 31	T ₃ X ⁴	-37.65	-25.23	-23.29	90.82	8.46	1.03	—		黄世伟, 等 ^[8]
中 9	T ₃ X	-36.1	-25.15	-23.79	90.67	8.64	1.02	—		
西 51	T ₃ X ⁴	-40.79	-26.65	—	90.00	7.99	1.05	—		
角 42	T ₃ X ⁴	-37.60	-25.10	—	90.67	8.39	1.03	—		
包浅 1	T ₃ X	-39.89	-28.36	—	86.43	12.28	0.85	—		
包浅 4	T ₃ X	-39.38	-28.98	—	87.93	9.92	0.95	—		
界 1	T ₃ X	-39.16	-29.93	-26.32	89.28	8.1	1.04	—		梁燕, 等 ^[9]
界 6	T ₃ X	-39.39	-28.77	-25.61	90.91	7.5	1.08	—		
界 7	T ₃ X ⁶	—	—	—	90.32	7.74	1.07	—		
广安 1	T ₃ X ⁶	-39.25	-27.34	-25.05	90.14	9.64	0.98	—	自生 自储	李登华, 等 ^[3]
广安 2	T ₃ X ⁶	-38.37	-26.58	-25.24	88.02	10.15	1.01	—		
广安 7	T ₃ X ⁶	-42.49	-27.98	-24.2	88.79	9.91	1.00	—		
董 13	T ₃ X ⁶ ~T ₃ X ⁴	—	—	—	84.18	8.38	1	—		
丹浅 001-1	T ₃ X ⁴	—	—	—	91.86	6.77	1.13	—		
丹浅 1	T ₃ X ⁴	-36.86	-27.93	-26.75	90.58	7.02	1.11	—		李延钧, 等, 2008,
丹 2	T ₃ X ⁴	-36.78	-27.84	-26.75	92.25	6.78	1.13	—		牟家坪-南 井地区须 家河组成 藏条件研 究, 科研 报告
花 3	T ₃ X	-41.1	-27.7	—	90.81	8.28	1.04	—		
井 23	T ₃ X ⁶	—	—	—	87.04	9.97	0.94	—		
井浅 2	T ₃ X ⁴	-36.39	-30.61	-28.2	90.2	7.87	1.06	—		
牟 10	T ₃ X ⁴	—	—	—	90.2	8.3	1.04	—		
桐 14	T ₃ X ⁶	—	—	—	86.76	7.32	1.07	—		
朱 5	T ₃ X ⁶	—	—	—	89.62	8.7	1.01	—		
平落 9	T ₃ X ⁴	-34.80	-21.69	-20.48	96.32	3.03	1.50	—		
魏城 1	T ₃ X ⁴	-33.90	-21.42	-21.04	95.96	3.55	1.43	—		
平落 1	T ₃ X ⁴	-33.82	-22.43	-21.98	96.77	2.25	1.63	—		黄世伟, 等 ^[8]
官 3	T ₃ X ⁴	-32.28	-33.81	—	98.09	0.65	2.18	—		
官 8	T ₃ X ⁴	-32.4	-32.81	-28.65	98.39	0.629	2.19	—	深层 来源	
海 1	T ₃ X ⁶	—	—	—	98.78	0.51	2.29	—		
合 8	T ₃ X ⁶	-30.8	-29.83	-26.26	98.67	0.71	2.14	5.48		
纳浅 2	T ₃ X ⁶	—	—	—	97.15	0.87	2.05	—		李延钧 等, 2008
阳 67	T ₃ X ⁴	—	—	—	97.88	0.86	2.06	—		(同上)
董 10	T ₃ X ⁶	-35.35	-25.29	-24.69	94.86	4.22	1.35	1	混合 来源	
董 4	T ₃ X ⁶ ~T ₃ X ⁴	—	—	—	94.89	4.12	1.36	0.85		
董 8	T ₃ X ⁶ ~T ₃ X ⁴	—	—	—	94.55	3.79	1.4	0.92		

州古隆起上三叠统须家河组天然气总体特征明显,可分为两种类型。

3.1.1 自生自储类型

梁董庙构造董 13 井位于梁董庙构造南轴,处于翼部上。牟家坪—南井构造的井 23 井、牟家坪—南井构造区的井 23 井、井浅 2 井和牟 10 井是须六 2 透镜体砂岩发育区^①,据统计须六透镜体砂岩厚度分布在 20~65 m,储层物性较好。以及丹凤场构造和朱沱构造的朱 5 井,这些井甲烷含量低(84.18%~92.25%),干燥系数低(0.94~1.13),属于湿气。同广安、磨溪、中坝的

天然气一样(表 2),显然属于成熟阶段的油气,具有须家河组煤系为烃源的自生自储特征。

3.1.2 深层来源类型

3.1.2.1 依据

H₂S 气体生成常见的有两种方式。第一种是生源成因,即细菌硫酸盐还原作用,该过程所需的环境条件是低温,目前大多数学者都认为该反应过程对烃类的降解主要发生在埋藏温度低于 60~80℃的浅埋藏环境中,此时油气处于未成熟阶段。第二种是热化学硫酸盐还原作用,在 100℃至 150~200℃,R_o 相

①李延钧,等.牟家坪—南井地区须家河组成藏条件研究,西南石油大学科研报告,2008.

当于 1%~4% 的深埋高温环境中,在硫酸盐的参与下烃类常发生这样的次生变化^[7]。在高温条件下,一般并形成含硫气藏,显然须家河组地层内不能形成硫化氢气体。泸州地区只有嘉陵江组及其以下地层才具有硫酸盐岩的物质条件和 130℃ 以上的古地温条件。因此,在研究工区的董 4 井、董 8 井、董 10 井、合 8 井的油气内含有硫化氢,是深层来源气注入须家河组的证据。

3.1.2.2 深层来源气也分为两类

一类是梁董庙构造的顶部的董 4 井、董 8 井、董 10 井须家河组甲烷含量为 94%~95%,重烃为 3.5%~4.5%,干燥系数平均值为 1.37,与董 13 井存在明显区别,且含有 H₂S(表 2)。董 4 井、董 8 井、董 10 井位于梁董庙构造高点,是油气运移的指向区,南北向的断层发育,起主要沟通作用,为深层来源气的贡献提供了条件。表明它们不完全是须家河组烃源岩所生成天然气的贡献,存在一定量的深部天然气的混入,具有以须家河自身煤系烃源岩为主,深层来源气为辅的特征。

二类是在合江构造的合 8 井、纳溪构造的纳溪 2 井、阳高寺的阳 67 井以及海潮的海 1 井,须家河组四段天然气总体特征是甲烷含量高(大于 96%),重烃含量低(小于 1.5%),干燥系数大(大于 2.0),天然气具有典型的干气特征。与川西北地区中坝气田须一

段、川中地区的充西和八角场气川须四段,以及广安的来源于须家河组烃源岩的天然气相比,其甲烷含量明显高得多,C²⁺的含量低得多,干燥系数大得多(表 2)。其中合 8 井含有 H₂S,显然不是来自须家河组烃源岩的贡献,而来自更老的地层。

3.2 气碳同位素依据

天然气的碳同位素组成是重要的气源对比参数,它不仅与母质类型有关,也受成熟度的控制^[9]。除上三叠统煤系地层外,四川盆地最可能的煤成气烃源岩为上二叠统海相煤系地层^[9]。其干酪根类型以 III 型为主,但也含部分 II₁ 型,因此生成的 δ¹³C₁ 的值普遍大于 -35‰,而且天然气成熟度较高,属于干气(表 2),可以看出董 10 井、合 8 井、官 8 井的天然气具有深层来源。

为了从区域和整体上判识须家河组天然气来源与成因类型,我们把四川盆地主要来源类型天然气的甲烷碳同位素与甲烷含量构成如图 2 所示的区分图上,显然不同类型或成因的天然气分布于不同的区域,在区域内的变化为成熟度的影响。花 3 井、界 1 井、界 6 井、包浅 1 井、包浅 4 井主要是成熟腐殖型气,以须家河组煤系烃源岩为主。合 8 井与官 8 井主要是高-过成熟腐泥型气,来源于上、下二叠统或其更老的志留系的烃源岩的贡献,因此为深层来源天然气。丹 2 井主要是以须家河自生烃源岩为主,但

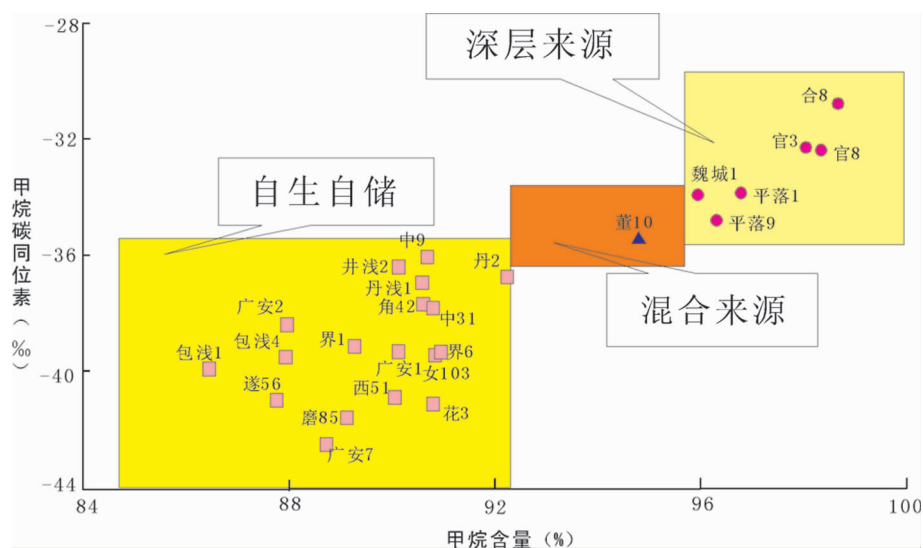


图 2 甲烷含量与碳同位素组成相关图

Fig.2 The relationship between methane content and carbon isotope composition of methane

表 3 研究区及其周边须家河组天然气成熟度计算数据
Table 3 Computational data of gas maturity level in the Upper Triassic Xujiahe Formation of the study area and adjacent areas

井号	气碳同位素(‰)		成熟度 R_o 推算(%)	井号	气碳同位素(‰)		成熟度 R_o 推算(%)
	$d^{13}C_1$	$d^{13}C_2$			$d^{13}C_1$	$d^{13}C_2$	
花 3	-41.1	-27.7	1.18	董 10	-35.35	-25.29	3.11
井浅 2	-36.39	-30.61	2.61	丹浅 1	-36.86	-27.93	2.41
合 8	-30.8	-29.83	6.71	丹 2	-36.78	-27.84	2.44

混合有少量深层气。董 10 井是混合成因气,既有须家河组的腐殖型气又有一定量海相腐泥型贡献。

天然气甲烷碳同位素随成熟度的增高而变重,因此可根据天然气甲烷碳同位素计算出气源岩成熟度,国内外学者提出了很多统计计算公式,其中包建平(2004)^①根据煤岩封闭模拟试验得到的天然气 $\delta^{13}C_1$ 与成熟度 R_o 的关系式,笔者认为适合须家河组煤系天然气的计算,其公式为:

R_o 公式: $\delta^{13}C_1 = 13.615 \log R_o - 42.058$

计算结果见表 3,其中花 3 井、丹浅 1 井、丹 2 井的天然气成熟度 R_o 值较低,显然属于成熟阶段的天然气,具有须家河组自生自储的特征。合 8 井天然气的成熟度为 6.71%,也异常偏高,与须家河组煤系烃源不符,显然属于深层来源气。董 10 井的成熟度为 3.11%异常高于须家河组天然气的气源,这与前面根据气的组成和碳同位素判断结果相一致,具有以须家河自身煤系烃源为主,深层来源气为辅的特征。

4 结论与认识

根据实际地质条件,利用天然气组成和碳同位素组成的综合分析,表明泸州地区上三叠统须家河组天然气存在 3 种来源和成因类型。

(1)以须家河组煤系为来源的自生自储型天然气,甲烷含量低,气体较湿,干燥系数仅在 1.0 左右,且含油凝析油。这些天然气分布在西部的牟家坪—南井地区,中部的花果山—鹿角场地区和梁董庙构造翼部,这些地区须家河组煤系烃源岩厚度相对较大,生烃强度相对较高。且天然气分布于须六 2 亚段泥岩之中,为砂岩透镜体气藏。研究区西部砂岩透镜体分布较多,厚度较大,相对保存条件较好。东部地区砂岩透镜体分布少,而且透镜体相对较薄,局部存在保存条件好的透镜体。

(2)泸州古隆起区深层来源天然气,甲烷含量

高,干燥系数大,为典型干气藏。主要分布在泸州古构造核部,须家河组烃源岩层相对较薄,生烃条件相对较差,深层断层较发育。这些断层不仅沟通天然气自深层烃源向上运聚,而且是深层已聚集气藏向上转移和再分配的直接或间接途径。因此,深层烃源断层在深层来源气的运聚中起到了关键作用。

(3)以须家河组煤系烃源为主,深层来源为辅的混合型成因天然气,甲烷含量、干燥系数介于前两种气体之间,主要分布在丹凤场与梁董庙构造顶部,这些地区不但须家河组具有良好的生烃条件,而且局部地区断层的存在为深层来源气提供通道。

参考文献 (References):

- [1] 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.
Che Guoqiong, Gong Changming, Wang Nan, et al. Gas accumulation condition in the Xujiahe group of Guang'an area[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27 (6):1-5 (in Chinese with English abstract).
- [2] 梁艳, 李延钧, 付晓文, 等. 川中—川南过渡带上三叠统须家河组油气全烃地球化学特征与成因[J]. 天然气地球科学, 2005, 17(4): 593-596.
Liang Yan, Li Yanjun, Fu Xiaowen, et al. Origin and whole-hydrocarbon geochemical characteristics of oil and gas from Xujiahe Group of Chuanshong-Chuannan transitional belt [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 17(4):593-596(in Chinese with English abstract).
- [3] 李登华, 李伟, 汪泽成, 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.
Li Denghua, Li Wei, Wang Zecheng, et al. Genetic type and source of gas in the Guang'an gasfield, central Sichuan [J]. Geology in China, 2007, 34(5):829-836(in Chinese with English abstract).
- [4] 黄世伟, 张廷山, 王顺玉, 赤水地区上三叠统须家河组源岩特征及天然气成因[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3):19-22.
Huang Shiwei, Zhang Tingshan, Wang Shunyu, et al. Source characteristics and gas origin of Xujiahe formation, upper Triassic in Chishui area [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2005, 27(3):19-22(in Chinese with English abstract).
- [5] 李延钧, 李其荣, 杨坚, 等. 泸州古隆起嘉陵江组油气运聚规律与

- 成藏[J]. 北京:石油勘探与开发, 2005, 32(5):20-24.
- Li Yanjun, Li Qiyong, Yang Jian, et al. Oil and gas migration and accumulation and reservoir formation in Jialingjiang formation of Luzhou paleo-uplift [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5):20-24(in Chinese with English abstract).
- [6] 李延钧, 李其荣, 梁艳. 应用烃类分段捕获原理研究油气运移聚集过程[J]. 天然气工业, 2007, 6(1):31-34.
- Li Yanjun, Li Qiyong, Liang Yan, et al. Hydrocarbon migration and accumulation by phased capture principle [J]. Natural Gas Industry, 2007, 6(1):31-34(in Chinese with English abstract).
- [7] 朱光有, 戴金星, 张水昌, 等. 中国含硫化氢天然气的研究及勘探前景[J]. 天然气工业, 2004, 9(9):1-4.
- Zhu Guangyou, Dai Jinxing, Zhang Shuichang, et al. Research on source gas in China and its exploration prospects [J]. Natural Gas Industry, 2004, 9(9):1-4(in Chinese with English abstract).
- [8] 黄世伟, 张廷山, 王顺玉, 等. 四川盆地赤水地区上三叠统须家河组烃源岩特征及天然气成因探讨 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6):250-252.
- Huang Shiwei, Zhang Tingshan, Wang Shunyu, et al. Research on source characteristics and origin of Xujiahe formation, Upper Triassic in Chishui area Sichuan basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(6):250-252(in Chinese with English abstract).
- [9] 李其荣, 王廷栋, 李延钧, 等. 全烃地球化学方法在复杂烃源研究中的应用[J]. 成都:西南石油学院学报, 2005, 27(3):1-4,7.
- Li Qiyong, Wang Tingdong, Li Yanjun, et al. The application of the whole - hydrocarbon geochemistry method in the complex hydrocarbon source research [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2005, 27(3):1-4,7(in Chinese with English abstract).

Geneses and sources of gas resources in Upper Triassic Xujiahe Formation of Luzhou area, southern Sichuan Basin

LI Yan-jun¹, ZHANG Wen-ji^{1,2}, LI Qi-rong³,
ZHANG Ben-jian⁴, LONG Hui³, MA Yan-liang³

(1. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 2. Chongqing Gas District, Southwest Oil and Gas Field Co., Ltd., PetroChina, Chongqing 400021, China; 3. Luzhou Gas District, Southwest Oil and Gas Field Co., Ltd., PetroChina, Luzhou 646000, Sichuan, China; 4. North-west of Sichuan Gas District, Southwest Oil and Gas Field Company, Petro China, Mianyang 621700, Sichuan, China)

Abstract: Based on a study of gas components and carbon isotopes and an integrated research on the actual geological conditions, the authors investigated the genetic types and causes of natural gas distribution, and divided the gas source contribution and source characteristics in detail into different segments. The results show that in the study area there are three types of sources and origins of natural gas, i.e., self-storage type gas derived from Xujiahe coal serial hydrocarbon rocks, mixed type gas mainly derived from coal source rocks, and gas mainly derived from deep source. It seems that the gas mainly comes from deep-seated sources.

Key words: Luzhou paleouplift; Upper Triassic; carbon isotope; genesis of natural gas; gas source

About the first author: LI Yan-jun, mail, born in 1966, Doctor, associate Professor, mainly engages in the teaching and research on the oil and gas accumulation mechanism; E-mail: zhangwenji6666@yeah.net.