木里煤田聚乎更矿区天然气水合物气源探讨

谭富荣¹⁾,刘世明²⁾,崔伟雄³⁾,万余庆¹⁾,杨创¹⁾,张光超¹⁾,刘伟刚⁴⁾,杜芳鹏¹⁾,范玉海¹⁾ 1)中国煤炭地质总局航测遥感局,西安,710199;2)青海煤炭地质勘查院,西宁,810001; 3)中煤科工集团西安研究院有限公司,西安,710077;4)陕西省能源化工研究院,西安,710054

内容提要:木里煤田位于青藏高原东北缘,近年在木里煤田聚乎更矿区中侏罗统窑街组中发现了天然气水合物。为了对天然气水合物气源类型做出客观认识,本文对木里煤田聚乎更矿区中侏罗统窑街组烃源岩样品的有机质丰度、有机质类型、有机质热演化程度进行了详细研究,并在此基础上对比了研究区天然气水合物、煤层气中烷烃气的异同,最终确定研究区天然气水合物成因类型和气源。结果表明:①研究区中侏罗统窑街组的泥质烃源岩有机质丰度较高,属好生油岩,有机质类型属于I型干酪根,R。值在 0.65%~1.32%之间,有机质热演化程度达到了石油伴生气阶段;②天然气水合物烷烃气碳同位素特征显示大部分烷烃气呈现正碳同位素特征系列,相同碳数的天然气水合物烷烃气碳同位素较煤层气轻,天然气水合物烷烃气中甲烷含量相对煤层气较低,且天然气水合物 烷烃气 &¹³C2值均小于-28%,属于油型气;③中侏罗统窑街组烃源岩碳同位素特征与天然气水合物的碳同位素具有高度一致性,表明研究区天然气水合物气源主要来自于中侏罗统窑街组的湖相泥岩和油页岩。

关键词:木里煤田;侏罗系;窑街组;天然气水合物;气源

天然气水合物是由气体分子和水在低温高压条 件下形成的像冰一样的固态物质,因其点着就可燃烧 俗称为"可燃冰"。作为一种能量密度高、清洁无污 染、使用方便的非常规能源,它被认为是 21 世纪重要 的潜在能源(Makogon et al.,2004,2007;Collett et al.,2009,2010,2011;Cao Daiyong et al.,2009;Zou Caineng et al.,2015;Fu Piaoer et al.,2016),其广泛分 布在大陆冻土区和浅海大陆坡上,全球潜在的资源量 超过了 1.5×10^{16} m³(Makogon et al.,2007)。

青海省天峻县木里煤田天然气水合物的发现 (Zhu Youhai et al., 2009; Lu Zhengquan et al., 2010a) 掀起了中国陆域天然气水合物研究的高潮 (Zhu Youhai et al., 2006; Cao Daiyong et al., 2009; Wang Tong et al., 2009; Jiang Xiangming, 2009; Huang Xia et al., 2011; Lu Zhengquan et al., 2010b; Han Lu et al., 2011),并且在木里煤田天然 气水合物组分(Huang Xia et al., 2011)和成因 (Wang Tong et al., 2009, 2012; Lu Zhengquan et al., 2010c)、形成条件(Zhu Youhai et al., 2006; Jiang Xiangming, 2009; Zhu Youhai et al., 2010)、 微生物种群(Han Lu et al., 2011)及其地震特征 (Xu Mingcai et al., 2011; Han Jianguang et al., 2016)、测井响应(Guo Xingwang et al., 2011)等方 面研究取得了一系列重要的成果,但对于木里煤田 天然气水合物的气源类型具有不同的认识:①Wang Tong et al. (2009)、Zhu Youhai et al. (2010)、Cao Daiyong et al. (2009, 2012)通过对煤层气烷烃组 分、碳同位素研究,认为水合物气源属于煤成气,且 气源主要来自于木里煤田中侏罗统窑街组的煤层及 其附近的碳质泥岩;②Lu Zhengquan et al. (2010c) 和 Huang Xia et al. (2011, 2016)对天然气水合物碳 同位素研究,认为天然气水合物属于混合型气源,即 煤成气和油型气都有,煤成气来自于侏罗系的煤层, 油型气可能来自于下伏上三叠统尕勒得寺组、中二 叠统草地沟组、石炭系暗色泥岩。

由于研究区天然气水合物气源研究可供选择的 指标较少,气源对比研究成为制约研究区天然气水合 物研究的一个难点,这直接影响了对木里煤田天然气 水合物分布规律的研究。天然气水合物气源研究不 仅能够为全面认识祁连山冻土区天然气水合物分布

收稿日期:2015-07-13;改回日期:2016-08-08;责任编辑:周健。

注:本文为国家重点基础研究发展计划"973"项目(编号 2015CB453000)、中国煤炭地质总局科技专项资金(编号 2010-I-04)、中国地质调 查局项目(编号 12120115011301)联合资助成果。

作者简介:谭富荣,男,1984 生。硕士,工程师,主要从事沉积盆地分析、能源地质研究。Email:tanfurong1308@163.com。

规律提供有利依据,还有助于指导研究区天然气水合物勘探部署决策。同时,天然气水合物气源研究还可以为南祁连盆地油气资源潜力评价、深埋沉积物、油 气资源勘探提供重要的有益信息。本文通过研究木 里煤田聚乎更矿区侏罗系泥页岩解析气、天然气水合物、煤层气的气体组分、碳同位素特征,来探讨木里煤 田天然气水合物的气源类型,并结合研究区侏罗系有 机地球化学分析进一步明确天然气水合物气源,为木 里煤田天然气水合物的研究提供基础资料和依据。

1 地质概况

木里煤田地处中祁连地块南缘(图 1),研究区 在空间上处于古亚洲构造域和特提斯域的结合部 位。研究区经历了前石炭纪古大陆克拉通演化阶 段、石炭纪一三叠纪新大陆克拉通化阶段、侏罗纪一 第四纪残留盆地演化改造阶段(Huang Ruihua, 1996; Xie Qifeng et al., 2015; Niu Zhixin et al., 2015)。后期残留盆地演化改造阶段又可划分为:侏





Fig. 1 Borehole distribution position of gas hydrate in Juhugeng mining area of Muli coalfield (after to Huang Xia, 2016)

罗纪断陷沉积期、白垩纪一古近纪的隆升剥蚀期、上 新世以来的冲断期3个阶段(何登发和赵文智, 1999),从而构成了现今的格局。

木里煤田的侏罗系划分为:下侏罗统大西沟组, 中侏罗统窑街组和上侏罗统享堂组三个岩石地层单 位(孙崇仁,1997)。

钻探表明天然气水合物主要赋存在中侏罗统窑 街组上部的泥岩、油页岩、粉砂岩和中细砂岩中(Lu Zhengquan et al.,2010b)(图 2)。区内发育的侏罗 系以河流相一三角洲一滨浅湖一半深湖相为主。中 侏罗统窑街组在木里煤田为黄绿色、灰黑色、褐灰 色、黑色细砂岩、粉砂岩、泥岩,含有菱铁矿结核、煤 层、油页岩等,主体为三角洲相一浅湖一半深湖相 (孙崇仁,1997; Zhang Xiang et al., 2009; Wen Huaijun et al.,2011)。

2 样品采集与测试

本次烃源岩、解析气样品来自于木里煤田聚乎 更矿区一井田范围内的中侏罗统窑街组,采样位置 参见图1,采样层位参见图2,为露天矿开采采样,样 品新鲜。样品采集的地质露头界线都比较清晰,而且 地层发育程度比较完整。将采集的烃源岩测试样品



图 2 木里煤田聚乎更矿区天然气水合物分布层位(据 Lu Zhengquan et al. 2010b 修改) Fig. 2 Gas hydrate distribution formation of Juhugeng Mining area of Muli Coalfield (modified from to Lu Zhenquan et al., 2010b)

分成两份:一份进行烃源岩有机质丰度、有机质类型、 有机质热演化程度分析。在进行烃源岩分析时,为了 减少风化作用对有机质丰度的影响程度,野外采样过 程中尽量保证采集新鲜的岩石样品,室内分析选样和 碎样过程中,都用小刀刮掉了岩石表面的风化物和相 对松散的部分,烃源岩有机质丰度测试在西北大学大 陆动力学国家重点实验室进行;另一份进行解析,解 析后对烷烃气组分和碳同位素进行分析。解析方法 如下:将采集的样品放入解析仪中,进行抽真空至 10⁻⁴~10⁻⁵标准大气压,基本将解析仪内及吸附于样 品表面的空气排出,然后恒温加热至 90℃,保持 3h, 采用专用集气装置可稳定获取解析气,并将获取的 解析气进行碳同位素测定。泥页岩解析气碳同位素 在中国石油勘探开发研究院廊坊分院进行,煤层气 气体组分和稳定碳同位素测试在中科院兰州地质研 究所进行。碳同位素分析采用 Delta plus GC/C/ IRMS 同位素质谱仪,一个样品分析三次,分析精度 达到±0.5‰,标准为 V-PDB,分析结果见表 1、2。

表1 木里煤田聚乎更矿区烃源岩测试数据

Table 1	The experimental	data of so	ource rock i	n Juhugeng	mining area	of Muli	coalfield
---------	------------------	------------	--------------	------------	-------------	---------	-----------

样品号	岩性	有机碳 含量	氯仿沥 青"A"	生烃 潜力	总烃 (×10 ⁻⁶)	镜质组 反射率	干酪根 ∂ ¹³ C	有机质 组分		解析气碳同位素 (%, PDB)			
		(%)	$(\times 10^{-6})$	$(\times 10^{-3})$		$R_{\rm o}(\%)$	(‰,PDB)	H/C	O/C	$\delta^{13} C_1$	$\delta^{13} C_2$	$\delta^{13} C_3$	
JHG-03	泥岩	1.26	232	0.21	156.32	0.68	-29.6	1.61	0.08	-48.9	-38.5	-34.9	
JHG-07	泥岩	1.34	143	0.34	148.11	0.82	-43.5	1.73	0.09	-45.6	-35.4	-32.6	
JHG-08	泥岩	1.43	158	0.25	123.56	0.75	-37.7	1.64	0.05	-46.7	-36.2	-33.5	
JHG-012	泥岩	1.25	93	0.18	163.54	0.79	-51.8	1.48	0.06	-39.2	-33.9	-31.8	
JHG-016	泥岩	1.77	112	0.65	28.96	0.63	-42.3	1.66	0.08	-43.6	-34.1	-31.9	
JHG-18	油页岩	3.02	193	0.77	98.56	0.87	-47.4	1.56	0.10	-49.6	-38.8	-35.1	
JHG-19	油页岩	2.72	188	0.65	112.36	0.95	-46.8	1.71	0.09	-48.6	-38.4	-34.6	
JHG-23	油页岩	2.45	265	0.45	186.23	1.32	-35.3	1.58	0.06	-46.2	-35.8	-33.4	
JHG-24	泥岩	1.56	352	0.34	198.68	0.85	-39.4	1.47	0.03	-43.9	-34.5	-32.1	
JHG-26	泥岩	1.73	162	0.39	164.79	0.87	-50.3	1.42	0.07	-44.8	-34.1	-32.4	
JHG-28	油页岩	3.52	181	0.33	152.33	0.9	-45.9	1.56	0.07	-47.6	-36.7	-33.8	
JHG-30	泥岩	0.98	136	0.42	203.17	0.74	-33.2	1.62	0.06	-44.6	-34.2	-32.2	

表 2 木里煤田聚乎更矿区煤层气地球化学参数

					煤柞	羊有	碳同	位素	次羽		
样品号	深度(m)	(评组力(70)						且分	(‰,	PDB)	
		CH_4	$C_2 \sim C_4$	CO_2	N_2	$C_1/\sum C_1$ - C_4	H/C	O/C	$\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	术原
JHGC-01		17.26	0.67	12.2	70	96.26	0.58	0.16	-35.1	-12.9	
JHGC-02		15.78	0.63	6.81	77	96.16	0.73	0.14	-47.2	-17.5	
JHGC-04		17.35	0.87	5.60	76	95.23	0.66	0.13	-31.7	-18.2	
JHGC-07		35.42	0.48	7.63	56	98.66	0.78	0.17	-49.6	-19.6	本文
JHGC-08		17.64	0.53	5.97	76	97.08	0.72	0.12	-27.9	-10.8	
JHGC-011		15.61	0.54	9.24	75	96.66	0.64	0.14	-47.3	-20.8	
JHGC-015		34.58	1.13	18.00	46	96.84	0.69	0.18	-39.2	-13.9	
WS-8-59-2	268.7~268.8	56.63	26.73	16.2	0.5	99.16			-29.5	-9.5	Cao Daiyong
WS-8-59-4	706.1~706.2	10.81	4.66	78.2	6.3	63.07			-28.0	-9.3	Cao Daiyong
WS-8-60-2	655.9~656.0	10.40	16.26	72.6	0.8	93.17			-51.4	-19.3	et al. ,
WS-8-59-4	722.4~722.5	15.27	8.05	76.3	0.4	97.32			-30.7	-18.7	2012

Table 2 Geochemical data of coal gas in Juhugeng mining area of Muli coalfield

3 烃源岩有机地球化学特征

为了对烃源岩进行客观评价,在进行烃源岩评 价中采用了程克明(1982)建立的泥质岩有机质丰 度评价标准。同时,在进行有机质类型划分过程中 采用 H/C 比值和干酪根碳同位素 δ¹³C 值相结合的 方法来确定其有机质类型,其中干酪根碳同位素 δ¹³C值确定有机质类型采用了 Ding Wenlong et al. (2011)建立的有机质类型划分标准。

3.1 有机质类型

通过对木里煤田中侏罗统窑街组的煤样、油页 岩、泥岩和碳质泥岩样品进行有机质类型分析发现: 油页岩和泥岩干酪根表现为 H/C 值普遍较大,在 1.4~1.7之间,O/C 比值在 0.06~0.15 之间,H/C 与 O/C 比值较大,在范式图解上落入 I 型、II1型干 酪根区域(图 3),该类烃源岩干酪根原始组分富含 大量的藻类、类脂化合物,其成分以氢质、炭质为主, 具有较好的生烃类型和较大的生烃潜力;煤样和碳 质泥岩样品表现为 H/C 值普遍较小,在 0.6~0.8 之间,O/C 比值在 0.1~0.17 之间,在范式图解落 入Ⅲ型干酪根区域(图 3),H/C 与 O/C 比值相对于 Ⅰ型、Ⅱ1型干酪根较小,表明原始有机质组分主要 源于沼泽环境下发育的高等乔木和灌木,富氧、富碳 而缺乏氢质多环芳香烃结构组分。





烃源岩碳同位素显示,研究区泥岩和油页岩碳 同位素δ¹³ C 值最重为一29.6%,最轻的为 -51.8%,大多数样品碳同位素δ¹³ C 在-34%~ -48%之间,平均为-41.9%,所有碳同位素δ¹³ C 值均小于-28%,属于 I 型干酪根,与 H/C、O/C 之 比值得出的有机质类型不完全相符,其原因在于:随 着热演化程度升高,有机质中的 H、C、O分解流失, H原子流失量是 C、O 原子流失量的数倍,导致有机 质中 C、O 进一步富集,部分烃源岩在范式图解上多 落入 II 1型干酪根的区域。同时,有机质随着热演化 程度的升高,其碳同位素δ¹³ C 值随着变重。然而, 表 1 内所有烃源岩样品碳同位素仍然小于-28%, 属于 I 型干酪根。综合上述表明木里煤田聚乎更矿 区中侏罗统窑街组的烃源岩其原始有机质属于 I 型 干酪根,煤层及碳质泥岩属于 II 型干酪根。

3.2 有机质丰度

表1测试结果显示:木里煤田聚乎更矿区泥岩

和油页岩有机碳(TOC)含量在 $0.98\% \sim 3.52\%$ 之间,平均值为 1.92%;生烃潜力($S_1 + S_2$)在 $0.18 \times 10^{-3} \sim 0.77 \times 10^{-3}$ 之间,平均值为 0.42×10^{-3} ;氯 仿沥青"A"在 $93 \times 10^{-6} \sim 352 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 184.58×10^{-6} ;总烃含量在 $28.96 \times 10^{-6} \sim 203 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 144.7×10^{-6} ,各项指标均达到 了好生油岩的标准。

3.3 有机质成熟度

镜质组反射率测试显示:聚乎更矿区侏罗系泥 岩和油页岩 R。值在 0.63%~1.32%之间,主要集中 在 0.75%~0.85%,表明烃源岩进入低成熟热演化 阶段。在该阶段泥岩和油页岩开始生烃,主要形成 一些液态的烃类物质,并伴生一些天然气,在局部泥 岩和油页岩镜质组反射率较高(R。=1.3%)的层位 有机质已经进入凝析气一湿气的生烃阶段,烃源岩 生成的液态烃类开始裂解,形成一些湿气和凝析气。

4 解析气和天然气水合物烷烃气特征

解析气的研究对于天然气成因判识、气源对比、 运移成藏、烃源岩和储层评价,以及煤层气、页岩气、 致密砂岩气等非常规天然气热点研究领域,均具有 十分重要的理论和实际意义。Shi Baoguang et al. (2013)通过对吐哈、三塘湖、辽河盆地烃源岩的解析 气碳同位素地球化学特征的研究,证实了解析气与 相应源岩具有极好的"亲缘"关系,建立了气源直接 对比的新方法,这为研究区进行解析气的对比研究 确定天然气水合物气源提供了依据。

通过对已经获得的 3 个科学钻孔不同深度的 19 个天然气水合物样品分解后的气体组分(表 3)统 计发现: $C_1/\Sigma C_{1-4}$ 值在 45.71%~95.98%之间,仅 有 1 个样品 $C_1/\Sigma C_{1-4}$ 值大于 95%, $C_1/\Sigma C_{1-4}$ 值大 多集中在 63%~87%(表 3)。对比区内天然气水合 物和煤层气发现,区内 4 个钻孔和 7 个样品中煤层 气中有 10 个 $C_1/\Sigma C_{1-4}$ 值在 93.17%~99.16%之 间,1 个 $C_1/\Sigma C_{1-4}$ 值在 93.07%(表 2),显示煤层气 和天然气水合物烷烃气在组分上存在较大差异,且 煤层气中甲烷含量普遍较天然气水合物高,天然气 水合物烷烃气较煤层气干。

区内不同钻孔不同层段获得天然气水合物分解 产生的天然气甲烷、乙烷、丙烷碳同位素测试显示: δ¹³C₁最轻的为-52.6‰,最重的为-31.3‰,主频 率峰在-36‰~-45‰,相比研究区煤层气δ¹³C₁(表 4)多集中在-28.0‰~-31‰,δ¹³C₁特征表现出天然 气水合物烷烃气整体轻于煤层气;天然气水合物烷烃 气 $\delta^{13}C_2$ 最轻的为-38.6%,最重的为-27.5%,主频 率峰在-36%~-38%,而煤层气 $\delta^{13}C_2$ 主要分布在 -19%~-9%; $\delta^{13}C_3$ 最轻的为-34.7%,最重的为 -21.2%,主频率峰在-34%~-30%。两者碳同位 素明显存在较大差别,主要表现为:在总体表现为碳 数相同情况下,煤层气碳同位素较天然气水合物碳同 位素重。天然气水合物样品烷烃气碳同位素系列总 体具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$ 的特征,属于正碳同位 素系列,表明烷烃气是有机成因的,并且属于未受强 的次生改造的原生烷烃气;141.5m 处的样品存在 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 > {}^{13}C_3$,属倒转碳同位素系列。

区内泥岩、油页岩解析气碳同位素显示: δ^{13} C₁最 轻的为-49.6‰,最重的为-39.2‰,主频率峰在 $-49\%\sim-43\%$; δ^{13} C₂最轻的为-38.8‰,最重的为 -33.9%,主频率峰在-39‰~-34‰,与天然气水 合物烷烃气 δ^{13} C₂有较高的一致性; δ^{13} C₃最轻的为 -35.1%,最重的为-31.8‰,主频率峰在-30‰~ -35%,与天然气水合物烷烃气 δ^{13} C₃有高度的一致 性。同时,泥岩、页岩解析气碳同位素特征也呈现出正 碳同位素系列,这一特征也与烷烃气碳同位素相同。

表 3 木里煤田聚乎更矿区天然气水合物地球化学参数

Fah 3	Geochemical	data n	f gas	hydrate	in	Inhugeng	mining	area	of	Muli	coalfield	ł
1 a.u. 3	Geochennical	uata u	n gas	nyurate	m	Junugeng	mmmg	area	UI .	viuii	coanten	I.

たとては	返 庄 (…)		天然《	气水合物组分	}(%)		C同住	立素 δ ¹³ (‰,	次封市派	
拍孔	休及 (m)	C1	C ₂	C ₃	C4	C_1/C_{1-4}	C1	C ₂	C ₃	页 件木 你
DK-1	134	68.75	8.65	9.1	6.7	73.77	-50.5	-35.8	-31.9	Lu Zhongguan et al
	143	52.56	8.13	16.97	4.42	64.04	-39.5	-32.7	-30.8	
		73.85	7.8	11.8	2.42	77.03	-47.4	- 35	-31.8	2010c
	141.5	72.89	9.26	8.87	5.73	75.34	-31.3	-27.5	-27.6	
DK-2	147	69.31	12.33	6.14	8.07	72.31	-37.4	-29.6	-29.2	
	238.5	86.02	8.34	3.94	1.34	86.33	-42.3	-36.7	-33.6	
	241	76.92	10.92	9.04	2.53	77.38	-40.7	-36.5	-33.5	Huang Xia et al. ,
	251	80.72	10.19	6.74	1.85	81.13	-47.2	-38.4	-34.5	2011
	252	69.76	13.69	11.8	3.74	70.47	-36.3	-35.8	-33.6	
	266	71.31	9.09	16.49	2.78	71.55	-40.1	-36.3	-33.4	
	274	83.49	8.44	5.8	1.8	83.88	-45.7	-37.5	-33.1	
	149	34.85	6.61	21.15	13.63	45.71	-49	-33.4	-31.1	
	253	62.61	8.64	22.37	3.75	64.3	-48.4	-38.2	-33.8	
DV 9	266.8	62.45	8.66	20.72	3.31	65.64	-49.3	-38.6	-34.7	Liu Changling et al. ,
DK-2	336	62.98	9.22	21.04	3.78	64.91	-48.7	-38.2	-33.9	2012
	363	59.02	8.88	19.8	4.75	63.84	-48.8	-38.3	-33.8	
	372.6	62.52	8.89	21.22	4.16	64.59	-48.4	-38.2	-34.1	
DK 2	142	52.2	8.73	16.57	3.9	64.13	-48.1	-34.1	-30.9	Hummer Vie at al. 2010
DK-3	395	86.95	2.88	0.46	0.3	95.98	-52.6	-30.7	-21.2	nuang Ala et al. ,2016

5 天然气水合物气源探讨

5.1 天然气水合物气源类型

通过对区内天然气水合物气体组分统计分析结 果显示:天然气水合物的主要组分是烷烃气,烷烃气 占气样总组分的59.31%~99.27%,故着重探讨烷 烃气的成因类型。由于研究区天然气水合物烷烃气 主要以正碳同位素系列为主,仅有一个样品碳同位 素呈现出倒转(其不具有代表性)。下面针对正碳同 位素系列的天然气水合物烷烃气进行分析。

烷烃气碳同位素随着碳数的渐增而不断变重, 即 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$,这是有机成因的烷烃气的 特征(Dai Jinxing,2002,2004),表 3 天然气水合物 烷烃气具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$ 特征,故表明这些 烷烃气是有机成因的。根据烃源岩生烃的成熟度, 有机成因气一般以δ¹³C₁值一55%为界,轻于一55% 属于生物成因气,重于一55%属于热成因气(戴金星 等,1992; Dai Jinxing et al.,1993,2008)。表 3 中 δ¹³C₁值比均大于一55%,故表明天然气水合物中的 烷烃气属于热成因气。热成因气依据成气源岩可分 为腐殖型或者腐泥型,亦可分为煤成气和油型气,因 此研究区内天然气水合物中的烷烃气应为此两种成 因之一。已有研究表明乙烷碳同位素受源岩热成熟 度的影响比甲烷同位素小(张士亚等,1988),即乙烷 碳同位素对反映烃源岩母质的组成比甲烷碳同位素 影响小一些,能够更准确地反映烃源岩与天然气水 合物烷烃气的亲缘关系。因此,可利用乙烷碳同位 素值来鉴别煤成气和油型气。不同的学者(Wang Shiqian,1994; Dai Jinxing et al.,2005; Song Yan et al.,2005)运用碳同位素特征对国内外不同的盆地 的煤成气和油型气进行研究均取得了良好的效果, 但关于油型气碳同位素 $\delta^{13} C_2$ 划分标准是 $\delta^{13} C_2 < -28\%$ 还是 $\delta^{13} C_2 < -29\%$ 存在争议。Dai Jinxing (2011)对我国具有 $\delta^{13} C_1 < \delta^{13} C_2 < \delta^{13} C_3 < \delta^{13} C_4$ 原生 型特征的油型气 $\delta^{13} C_2$ 与美国德克萨斯州 Barnett 页岩气源类型进行对比研究,将 $\delta^{13} C_2 < -28\%$ 作为 油型气鉴别标志,确定了我国不同盆地天然气的气 源有机质类型划分的标准。表 3 中天然气水合物 烷烃气 $\delta^{13} C_2$ 都小于-28‰,所以木里煤田聚乎更矿 区天然气水合物烷烃气主要属于油型气。

5.2 气源讨论

木里煤田聚乎更矿区及邻区发现有油型气的烃 源岩有两套:中侏罗统窑街组和上三叠统尕勒得寺 组。中侏罗统窑街组湖相泥岩和油页岩分布于木 里、江仓、默勒等地区, 经源岩有机质丰度较高、有机 质类型属 I 型,热演化程度达到了石油伴生气的热 演化阶段(表1)。中侏罗统窑街组烃源岩碳同位素 δ^{13} C主要分布在 $-30\% \sim -47\%$ 之间,天然气水合 物烷烃气的 δ^{13} C₁、 δ^{13} C₂、 δ^{13} C₃集中在-30%~ 一47‰,两者碳同位素具有较高的一致性,表明天然 气水合物可能来自于侏罗系泥岩、油页岩。尽管上 三叠统尕勒得寺组(T₃g)湖相泥岩、油页岩有机碳 丰度值为 0.11%~7.75%,平均值为 1.21%,生烃 潜量 S₁+S₂平均值为 0.286mg/g,干酪根类型属于 $| ~ | ~ | ~ 型_{\circ} R_{\circ}$ 值为 1.21% ~ 1.5%, 平均值为 1.37%,已经进入高成熟期凝析油-湿气阶段(Xie Qifeng et al., 2011), 若气源来自于上三叠统尕勒得 寺组,下伏地层生成的天然气向上运移,途经侏罗系 发育的煤层,与煤层气发生混合,而混合气会引起所 有天然气水合物烷烃气碳同位素呈现出倒转碳同位 素,这与研究区天然气水合物烷烃气为正碳同位素 系列这一事实相矛盾,所以可以得出木里煤田聚乎 更矿区天然气水合物的气源基本来自于中侏罗统窑 街组的泥岩、油页岩,其理由为:①中侏罗统窑街组 发育的泥岩、油页岩,有机质丰度较高,有机质热成 演化程度达到了石油伴生气阶段,具备了为天然气 水合物提供气源的物质条件;②窑街组烃源岩解析 气与天然气水合物在烷烃组分、碳同位素存在高度 一致性,表现出一定的亲缘关系;③天然气水合物与 煤层气在烷烃组分、碳同位素存在较大差异;④来自 于下伏地层上三叠统尕勒得寺组的天然气向上运移 过程必然与侏罗系煤层气发生混合,造成碳同位素 倒转,这与事实不符。综上所述表明,研究区内天然 气水合物气源很可能主要来自于中侏罗统窑街组的 泥岩、油页岩。

6 结论

(1)木里煤田聚乎更矿区中侏罗统窑街组发育的泥岩、油页岩具有较高的有机质丰度,达到了中等一好生油岩。有机质热演化程度达到了石油伴生气阶段,碳同位素表明烃源岩干酪根类型属于 I型。

(2)天然气水合物碳同位素 δ¹³ C₁ < δ¹³ C₂ < δ¹³ C₃,
且 δ¹³ C₂ 均小于-28‰, 天然气水合物组分大部分 C₁/ΣC₁₋₄分布在 60%~85%之间, 是典型的油型气。

(3) 窑街组烃源岩碳同位素和天然气水合物气体的碳同位素具有高度一致,表明木里煤田聚乎更矿区天然气水合物气源可能主要来自于中侏罗统窑街组的泥岩、油页岩。

致谢:在论文写作过程中得到长安大学地球科 学与资源学院刘志武副教授、西安科技大学地质与 环境学院地球科学系陈应涛博士的重要启示和建 议,使得论文顺利完成;论文审稿过程中中国地质科 学院矿产资源研究所祝有海研究员提出建设性的修 改意见,对提升论文质量起了重要作用,在此一并表 示诚挚的谢意。

References

- Cao Daiyong, Liu Tianji, Wang Dan, Wang Tong, Wen Huaijun, Pan Yuelu. 2009. Analysis of formation conditionsof natural gas hydrate in Muli coalfield, Qinghai Province. Coal Geology of China, 21(9): 3~6 (in Chinese with English abstract).
- Cao Daiyong, Wang Dan, Li Jing. 2012. Gas source analysis of natural gas hydrate of Muli coalfield in Qilian Mountain permafrost, Qinghai Province, China. Journal of China coal society, 37(8): 1364 ~ 1368. (in Chinese with English abstract)
- Collett T S, Johnson A H, Knapp C C, Boswell R. 2009. Natural gas hydrates: a review. natural gas hydrates-energy resource potential and associated geologic hazards. American Association of Petroleum Geologists Memoir, vol. 89.
- Collett T S, Lee M W, Agena M W, Miller J J, Lewis K A, Zyrianova M V, Boswell R, Inks T L. 2010. Permafrost associated natural gas hydrate occurrences on the Alaska North Slope. Marine and Petroleum Geology, 28: 460~477.
- Collett T S, Lewis K A, Winters W J, Lee M W, Boswell R. 2011. Downhole well log and core montages from the Mount Elbert gas hydrate stratigraphic test well, Alaska North Slope. Marine and Petroleum Geology, 28: 561~577.
- Dai Jinxing, Chen Ying. 1993. Alkane component carbon isotope characteristics and identification marks of biological gas in China. Science in China Series B, 23: $303 \sim 310$ (in Chinese with English abstract).

- Dai Jinxing, Xia Xinyu, Qin Shengfei, Zhao Jingzhou. 2004. Causation of partly reversed orders of δ^{13} C in biogenic alkane gas in China. Oil and Geology, 35: $1 \sim 6$ (in Chinese with English abstract).
- Dai Jinxing, Qin Shengfei, Tao Shizhen, Zhu Youguang, Mi Jingkui. 2005. The development trend of natural gas industry and the significant progress on natural gas geological theories in China. Natural Gas Geoscience, 16: 127~142(in Chinese with English abstract).
- Dai Jinxing, Zou Caineng, Zhang Shuichang, Li Jian, Ni Yunyan, Hu Guoyi, Luo Xia, Tao Shizhen, Zhu Guangyou, Mi Jingkui, Li Zhisheng, Hu Anping, Yang Chun, Shuai Yan hua, Zhang Ying, Ma Chenghua. 2008. Identification of inorganic and organic alkane hydrocarbon gas. Science in China series D, 38 (11): 1329~1341(in Chinese with English abstract).
- Dai Jinxing. 2011. Significance of the study on carbon isotopes of alkane gases. Natural Gas Industry, 31(12): 1~6(in Chinese with English abstract).
- Ding Wenlong, Li Chao, Su Aiguo He Zhonghua. 2011. Study on the comprehensive geochemical cross section of Mesozoic marine source rocks and prediction of favorable hydrocarbon generation area in Qiangtan basin, Tibeta. Acta Petrologica Sinica, 27(3): 878~896(in Chinese with English abstract).
- Fu Piaoer. Cao, Liu Tiyong, Wang Yanmei, Zhang Xin, Cheng Sihai. 2016. Tracing the Gas Hydrate Reservoirs in the Northern South China Sea by Iodine Concentrations in Pore Waters from Marine Sediments. Geological review, 62(5):1344~1352.
- Guo Xinwang, Zhu Youhai. 2011. Well logging characteristics and evaluation of hydrates in Qilian Mountain permafrost. Geological Bulletin of China, 30(12): 1868~1873(in Chinese with English abstract).
- Han Jianguang, Yu Changqing, Zhang Xiaobo, Gu BingLao, Wang Yan, CHEN Peng. 2016. Multiwave Seismic Numerical Simulation Study on Terrestrial Gas Hydrate in Permafrost Area. Acta Geologica Sinica, 90(9): 2502 ~ 2512 (in Chinese with English abstract).
- Han Lu, Wu Sujiao, Li Jianhua, Lv Jie, Zhu Youhai. 2011. Microbial community in DK-2 gas hydrate borehole, Qilian Mountain permafrost. Geological Bulletin of China, 30(12): 1874~1882(in Chinese with English abstract).
- Huang Ruihua. 1996. Geotectionic evolution and its characteristics in Qilianshan region. Geotectionicaet Metallogenia, 20(2): 95 \sim 104(in Chinese with English abstract).
- Huang Xia, Zhu Youhai, Wang Pingkang, Guo Xingwang. 2011. Hydrocarbon gas composition and origin of core gas from the gas hydrate reservoir in Qilian permafrost. Geological Bulletin of China, 30 (12): 1851 ~ 1856 (in Chinese with English abstract).
- Huang Xia, Liu Hui, Zhang Jiazheng, Wang Pingkang, Xiao Rui, Pang Shouji, Zhang Shuai, Zhu Youhai. 2016. Gnetic-type and its significance of hydrocarbon gases from permafrost-associated gas hydrate in Qilian Mountain. Chinese Journal of Geology, 51

(3): $934 \sim 945$ (in Chinese with English abstract).

- Jiang Xiangming. 2009. Forming conditions and genetic analysis of natural gas hydrate. Coal Geology of China, 21(12): 7~11(in Chinese with English abstract).
- Liu Changling, He Xingliang, Meng Qingguo Ye Yuguang, Zhu Youhai, Lu Zhenquan. 2012. Carbon and hydrogen isotopic compositions characteristics of the released gas from natural gas hydrates in the Qilian Mountain permafrost. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(3): 489 ~ 494 (in Chinese with English abstract).
- Lu Zhenquan, Zhu Youhail, Zhang Yongqin, Wen Huaijun, Jia Zhiyao, Li Yonghong, Liu Changling, Wang Pingkang, Li Qinghai, Guo Xinwang. 2010a. Major evidence for gas hydrate existence in the Qilian permafrost, Qinghai. Geoscience, 24 (2): 329~336(in Chinese with English abstract).
- Lu Zhenquan, Zhu Youhai, Zhang Yongqin, Wen Huaijun, Li Yonghong, Jia Zhiyao, Liu Changling, Wang Pingkang, Li Qinghai. 2010b. Basic geological characteristics of gas hydrates in Qilian Mountain permafrost area, Qinghai Province. Mineral Deposits, 29(1): 182~191(in Chinese with English abstract).
- Lu Zhenquan, Zhu Youhai, Zhang Yongqin, Wen Huaijun, Jia Zhiyao, Wang Pingkang. 2010c. Study on genesis of gases from gas hydrate in the Qilian Mountain permafrost, Qinghai. Geoscience, 24 (3): 581 ~ 588 (in Chinese with English abstract).
- Makogon Yuri F, Holditch S A, Makogon T Y. 2004. Proven reserves and basics for development of gas hydrate deposits. American Association of Petroleum Geologists Memoir, Vankouver.
- Makogon Yuri F, Holditch S A, Makogon T Y. 2007. Natural gas hydrates — A potential energy source for the 21st Century. Journal of Petroleum Science and Engineering, 56: 14~31.
- Niu Zhixin, Geng Qingming, Dou Lu. 2015. Palaeogeographic analysis of Muli coalfield Juhugeng coalmine area in Qinghai province. Geological Review, 61(s1): 158~159(in Chinese).
- Shi Baoguang, Shen Ping, Wang Xiaofeng, Zheng Jianjing. 2013. Groundbreaking gas source rock correlation research based on the application f a new experimental approach for adsorbed gas. China Science Bulletin, 57: 4746 ~ 4752 (in Chinese with English abstract).
- Song Yan, Xu Yongcang. 2005. Origin and identification of natural gases. Petroleum Exploration and Development, 32(4): 24~29 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shiqian. 1994. Geochemical characteristics of natural gas form the Jurassic-Sinian in Sichuan Basin. Natural Gas Industry, 14: $1{\sim}5$.
- Wang Tong, Liu Tianji, Shao Longyi, Cao Daiyong, Guo Jinning, Liu Yifen, Wen Huaijun, Wang Dan. 2009. Characteristics and origins of the gas hydrates in the Muli coalfield of Qinghai. Coal Geology and Exploration, 37(6): 26 ~ 30(in Chinese with English abstract).
- Wen Huaijun, Shao Longyi, Li Yonghong Lu Jing, Zhang Shaolin,

Wang Wenlong, Huang man. 2011. Structure and stratigraphy of the Juhugeng Coal District at Muli, TianJun County, Qinghai Province. Geological Bulletin of China, 30(12): 1823~1828(in Chinese with English abstract).

- Xie Qifeng, Zhou Lifa, Ma Guofu, Tan Xiuzhong, Wan Yanzhou, Liang Shiwei, Zhang Kai, Zhao Junhui. 2011. Organic geochemistry of Triassic source rocks in the Southern Qilian Basin. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 47(6): 1034~1040(in Chinese with English abstract).
- Xie Qifeng, Zhou Lifa, Cai Yuanfeng, Liu Yu, LiuZhiwu, Wang Su. 2015. Geochemical Characteristics of Permian Marine Source Rocks and Its Constraints of the Provenance and Paleoenvironment in the South Qilian Basin, Qinghai Province Acta Geologica Sinica, 89(7): 1288 ~1301(in Chinese with English abstract).
- Xu Mingcai, Liu Jianxun, Chai Mingtao, Wang Guangke, Gao Jinghua, Wang Xiaojiang, Zhang Baowei. 2011. Seismic characteristics of natural gas hydrate in Muli area, TianJun County, Qinghai Province. Geological Bulletin of China, 30 (12): 1910~1917(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiang, Tian Jingchun, Li Xianghui, Bai Haisheng, Liu Juan. 2009. Coal-accumulating environments and characteristics of inland coal measures: a case study of Jurassic coal-bearing area in Qilian Mountains and north Caidamu basin in Qinghai. Coal Geology and Exploration, 37 (6): 1 ~ 5. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Youhai, Liu Yalin, Zhang Yongqing. 2006. Formation conditions of gas hydrates in permafrost of the Qilian Mountains. Geological Bulletin of China, 25(1~2): 58~63(in Chinese with English abstract).
- Zhu Youhai, Zhang Yongqin, Wen Huaijun, Lu Zhenquan, Jia Zhiyao, Li Yonghong, Li Qinghai, Liu Changling, Wang Pingkang, Guo Xingwang. 2009. Gas hydrates in the Qilian Mountain permafrost, Qinghai, Northwest China. Acta Geologica Sinica, 83(11): 1762~ 1771(in Chinese with English abstract).
- Zhu Youhail, Zhang Yongqin, Wen Huai jun, Lu Zhenquan, Wang Pingkang. 2010. Gas hydrates in the Qilian Mountain permafrost and their basic characteristics. Acta Geoscientica Sinica, 31(1): 7~16(in Chinese with English abstract).
- Zou Caineng, Yang Zhi, Zhu Rukai, Zhang Guosheng, Hou Lianhua, Wu Songtao, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, Dong Dazhong, Wang Yuman, Wang Lan, Huang Jinliang, Wang Shufang. 2015. Progress in China's unconventional oil and gas exploration and development and theoretical technologies. Acta Geologica Sinica, 89(6): 979~1007.

参考文献

- 曹代勇,刘天绩,王丹,王佟,文怀军,潘语录. 2009. 青海木里地区 天然气水合物形成条件分析.中国煤炭地质,21(9):3~6.
- 曹代勇,王丹,李靖.2012. 青海祁连山冻土区木里煤田天然气水合 物气源分析.煤炭学报,37(8):1364~1368.
- 程克明.生油岩的定量评价.1982.石油勘探开发科学研究院地质研 究所主编.中国陆相油气生成.北京:石油工业出版社:175

 $\sim 188.$

- 戴金星,裴锡古,戚厚发.1992.中国天然气地质学(卷一).北京:石 油工业出版社,35~87.
- 戴金星,陈英.1993.中国生物气中烷烃组分的碳同位素特征及其鉴 别标志.中国科学 B辑,23:303~310.
- 戴金星,夏新宇,秦胜飞.赵靖舟.2003.中国有机烷烃气碳同位素系 列倒转的成因.石油与天然气地质,24(1):1~6.
- 戴金星,秦胜飞,陶士振,朱光有,米敬奎.2005.中国天然气工业发展趋势和天然气地学理论重要进展.天然气地球科学,16:127~142.
- 戴金星,邹才能,张水昌,李剑,倪云燕,胡国艺,罗霞,陶士振,朱光 有,米敬奎,李志生,胡安平,杨春,周庆华,帅燕华,张英,马成 华.2008. 无机成因和有机成因烷烃气的鉴别.中国科学:D辑, 38(11):1329~1341.
- 戴金星,2011.天然气中烷烃气碳同位素研究的意义.天然气工业, 31(12):1~6.
- 丁文龙,李超,苏爱国,何忠华.2011. 西藏羌塘盆地中生界海相烃源 岩综合地球化学剖面研究及有利生烃区预测. 岩石学报,27 (3):878~896.
- 傅飘儿,曹君,刘纪勇,王彦美,张欣,程思海. 2016. 南海北部孔隙 水碘与天然气水合物成藏关系研究. 地质论评,62(5):1344 ~1352.
- 郭星旺,祝有海.2011.祁连山冻土区 DK-1 钻孔天然气水合物测井 响应特征和评价.地质通报,30(12):1868~1873.
- 韩建光,于常青,张晓波,谷丙洛,王赟,陈鹏.2016. 陆域冻土区天然 气水合物多波地震数值模拟研究. 地质学报,Acta Geologica Sinica, 90(9): 2502~2512.
- 韩路,吴淑娇,李建华,吕杰,祝有海.2011. 祁连山冻土区天然气水 合物 DK-2 钻孔微生物群落.地质通报,30(12):1874~1882.
- 何登发,赵文智.1999.中国西北地区沉积盆地动力学演化与含油气 系统旋回.北京;石油工业出版社:28~33.
- 黄瑞华.1996. 祁连山地区大地构造演化及其性质特征. 大地构造与成矿学,20(2):95~104.
- 黄霞,祝有海,王平康,郭兴旺.2011. 祁连山冻土区天然气水合物烃 类气体组分的特征和成因. 地质通报,30(12):1851~1856.
- 黄霞,刘晖,张家政,王平康,肖睿,庞守吉,张帅,祝有海.2016.祁连 山冻土区天然气水合物烃类气体成因及其意义.地质科学,51 (3):934~945.
- 蒋向明. 2009. 天然气水合物的形成条件及成因分析. 中国煤炭地 质,21(12):7~11.
- 刘昌岭,贺行良,孟庆国,业渝光,祝有海,卢振权.2012. 祁连山冻土 区天然气水合物分解气碳氢同位素组成特征. 岩矿测试,31 (3):489~494.
- 卢振权,祝有海,张永勤,文怀军,贾志耀,李永红,刘昌岭,王平康, 李清海,郭星旺.2010a.青海省祁连山冻土区天然气水合物存在 的主要证据.现代地质,24(2):329~336.
- 卢振权,祝有海,张永勤,文怀军,李永红,贾志耀,刘昌岭,王平康, 李清海.2010b.青海省祁连山冻土区天然气水合物基本地质特 征.矿床地质,29(1):182~191.
- 卢振权,祝有海,张永勤,文怀军,李永红,贾志耀,王平康.2010c.青 海祁连山冻土区天然气水合物的气体成因研究.现代地质,24 (3):581~588.

- 牛志新, 耿庆明, 窦路. 2015. 青海省木里煤田聚乎更矿区古地理岩 相分析. 地质论评, 61(z1): 158~159.
- 史宝光, 沈平, 王晓锋, 郑建京. 2013. 岩石解析气实验新方法对气 源对比研究的突破. 科学通报, 57:4746~4752
- 宋岩,徐永昌.2005.天然气成因类型及其鉴别.石油勘探与开发,32 (4):24~29.
- 孙崇仁.1997.青海省岩石地层.武汉:中国地质大学出版社.
- 王世谦.1994.四川盆地侏罗系-震旦系天然气的地球化学特征.天 然气工业,14:1~5.
- 王佟,刘天绩,邵龙义,曹代勇,郭晋宁,刘益芬,文怀军,王丹.2009. 青海木里煤田天然气水合物特征与成因.煤田地质与勘探,37 (6):26~30.
- 文怀军,邵龙义,李永红,鲁静,张少林,王文龙,黄曼.2011. 青海省 天峻县木里煤田聚乎更矿区构造轮廓和地层格架.地质通报, 30(12):1823~1828.
- 谢其锋,周立发,马国福,谭修中,万延周,梁士伟,张凯,赵俊辉. 2011.南祁连盆地三叠系烃源岩有机地球化学特征.北京大学 学报(自然科学版),47(6):1034~1040.
- 谢其锋,周立发,蔡元峰,刘羽,刘志武,王苏里.2015.南祁连盆地二 叠系海相烃源岩地球化学特征及其对物源属性和古环境的约

束.地质学报,89(7):1288~1301.

- 徐明才,刘建勋,柴铭涛,王广科,高景华,王小江,张保卫.2011.青 海省木里地区天然气水合物地震响应特征.地质通报,30(12): 1910~1917.
- 张士亚, 部建军, 蒋泰然. 1988. 利用甲、乙烷碳同位素判识天然气类型的一种新方法.见: 地质矿产部石油地质研究所, 编. 石油与 天然气地质文集(第一集). 北京: 地质出版社, 48~58.
- 张翔,田景春,李祥辉,白生海,刘娟. 2009. 陆相煤系聚煤环境及聚 煤特征一以青海祁连山和柴北缘含煤区侏罗系为例. 煤田地质 与勘探,37(6):1~5.
- 祝有海,刘亚玲,张永勤.2006.祁连山多年冻土区天然气水合物的 形成条件.地质通报,25(1~2):58~63.
- 祝有海,张永勤,文怀军,卢振权,贾志耀,李永红,李清海,刘昌岭, 王平康,郭星旺.2009.青海祁连山冻土区发现天然气水合物. 地质学报,83(11):1762~1771.
- 祝有海,张永勤,文怀军,卢振权,王平康. 2010. 祁连山冻土区天然 气水合物及其基本特征. 地球学报,31(1):7~16.
- 邹才能,杨智,朱如凯,张国生,侯连华,吴松涛,陶士振,袁选俊,董 大忠,王玉满,王岚,黄金亮,王淑芳.2015.中国非常规油气勘 探开发与理论技术进展.地质学报,89(6):979~1007.

Origin of Gas Hydrate in the Juhugeng Mining Area of Muli Coalfield

TAN Furong¹⁾, LIU Shiming²⁾, CUI Weixiong³⁾, WAN Yuqing¹⁾, YANG Chuang¹⁾, ZHANG Guangchao¹⁾, LIU Weigang⁴⁾, DU Fangpeng¹⁾, FAN Yuhai¹⁾

Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Center, China National Administration of Coal Geology, Xi'an, 710199;
Qinghai Institute of Coal Geological Prospecting, Xi'ning, 810001;

3) Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an, 710077;

4) Shaanxi Povincial Institute of Energy Resource Chemical Engineerring, Xi'an, 710069

Abstract

The Muli Coalfield, located in the northeastern part of Tibetan Plateau, was recently discovered to host gas hydrate in the Jurassic Yaojie Formation in the Juhugeng Mining area. In order to obtain understanding of gas type and sources of gas hydrate, this study carried out detailed research on organic matter abundance, organic matter type, vitrinite reflectance, alkane carbon isotopic characteristics of source rock samples from the Middle Jurassic Yaojie Formation of the Juhugeng coal mine area. On the basis of the result above, we studied the similarity and difference of alkane gas in gas hydrate and coalbed gas and finally determined the genetic type and source of gas hydrate in the study area. The results show that (1) the hydrocarbon source rocks of the Jurassic are abundant in high organic matter abundance, and belong to good source rock. The organic matter type belongs to the type I kerogen, with vitrinite reflectance of 0. $65\% \sim 1.32\%$, and thermal evolution degree reaching the petroleum gas phase. (2) Carbon isotopic characteristics show that the majority of alkane belongs to positive carbon isotope series, and the values of $\delta^{13}C_2$ are less than $-28~\%_0$, belonging to petroliferous gases. Alkane carbon isotope series of DK-2 drilling at the depth of 141. 5m is reversed, indicating the gas is a mixture of the coal gas and petroliferous gases. ③ Carbon isotope characteristics of hydrocarbon from source rocks in Jurassic and gas hydrate are highly consistent, suggesting that the gas source of natural gas hydrate derived mainly from lacustrine mudstone and oil shale of the Middle Jurassic Yaojie Formation.

Key words: Muli Coalfield; Jurassic; Yaojie Formation; gas hydrate; gas origin