

鄂尔多斯盆地古生界气源对比新探索

蒋助生 胡国艺 李志生 罗霞 张英 李剑 谢增业

(石油勘探研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 利用热模拟/在线同位素质谱和热模拟/气相色谱分析技术对鄂尔多斯盆地古生界气源岩和天然气轻烃组分组成和苯、甲苯碳同位素比值($\delta^{13}C$)进行了测定。分析结果表明下古生界灰岩中的I型和II型有机质在高演化阶段生成的轻烃产物中同样具有芳烃含量高的特征,轻烃中苯与甲苯 $\delta^{13}C$ 值变化主要与有机质类型有关,鄂尔多斯盆地古生界气源岩轻烃中苯与甲苯 $\delta^{13}C$ 值约-27‰,上古生界约-22‰,上、下古生界气源岩中苯与甲苯 $\delta^{13}C$ 值相差较大,上古生界天然气 $\delta^{13}C_{\text{苯}}$ 和 $\delta^{13}C_{\text{甲苯}}$ 分别分布在-18.64‰~-18.61‰和-23.71‰~-17.15‰之间,碳同位素偏重,下古生界天然气 $\delta^{13}C_{\text{苯}}$ 和 $\delta^{13}C_{\text{甲苯}}$ 分别分布在-28.99‰~-20.09‰和-26.59‰~-22.03‰之间,碳同位素明显偏轻。根据轻烃组成和苯、甲苯的碳同位素比值进行了天然气气源岩的直接对比,结果表明下古生界天然气可能主要来源于下古生界气源岩。

关键词 鄂尔多斯盆地 热模拟/在线同位素质谱 热模拟/气相色谱 苯碳同位素比值 甲苯碳同位素比值

第一作者简介 蒋助生 男 1944年出生 教授级高工 地球化学

中图分类号 P618.130.1;P593 **文献标识码** A

1 前言

鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳气田气源多年来一直存在争论,有的学者^[1~4]认为天然气主要为上古生界煤系源岩的产物,属腐殖型煤成气,但是另一些学者^[5,6]认为奥陶系风化壳天然气大部分是混源气,而且来自上古生界和下古生界的比例在50%左右。纵观前人研究资料和依据,主要是利用大量的天然气甲烷、乙烷碳同位素比值及含量来进行气-气对比,进而长出规律性,判断气源。虽然甲烷和乙烷是天然气中主要组分,利用其碳同位素组成及组分含量进行对比具有合理性,然而也存在一些问题:一、甲烷是不同有机质热演化形成的最终产物,无论是碳同位素组成还是其含量,气源岩的有机质类型和热演化程度及运移地质效应等都对其具有重要的影响作用,特别是对鄂尔多斯盆地高成熟-过成熟古生界气源岩来说,这种影响可能干扰对比指标的特征;二、大多数学者均采用气-气对比方法,缺乏有效的气-源岩直接对比手段。

大量研究表明轻烃在天然气组分中含量虽低,但其组分分布特征及碳同位素组成对天然气成因具

有重要的标志意义。轻烃组分组成可以反映有机质类型,一般认为腐殖型有机质中富含链烷烃,腐泥型有机质中芳烃含量很高,鄂尔多斯盆地古生界天然气中轻芳烃含量较高,常将其作为上古生界煤系气源岩产物的标志之一。然而通过热模拟实验发现鄂尔多斯盆地古生界高成熟过成熟灰岩中的I型和II型有机质生成轻烃中芳烃含量同样很高,通过气源岩和天然气轻烃组分组成进行直接动态对比,下古生界天然气与奥陶系气源岩有相似之处。天然气、气源岩轻烃中苯和甲苯结构比较稳定,其来源可能与有机质类型关系更密切,因此其碳同位素比值更能反映天然气与气源岩的成因关系。

2 样品来源与实验

本次样品采集情况如表1所示,样品主要分布于鄂尔多斯盆地中东部地区,下古生界气源岩有机质类型为I~II型,成熟度 R_o 在1.5%~2.0%之间。榆13井气源岩主要进行了轻烃组分分析(250℃),其中2172m奥陶系风化壳灰岩还进行350℃和450℃的热模拟轻烃分析,林2、神2井气源岩测下了不同温阶(300℃、400℃、和500℃)下热模

拟产物中苯甲苯碳同位素比值;对天然气来说,林2和陕6井天然气进行了轻烃分析,其它气样进行了轻烃中苯和甲苯碳同位素分析。

表1 样品分布情况表

Table 1 Distribution of the studied samples

井号	层位	深度(m)	岩性
榆13	山西组	1892	煤岩
榆13	太原组	2029	煤岩
榆13	马家沟组(风化壳)	2069	云灰岩
榆13	马家沟组(盐下)	2172	灰岩
林2	马家沟组		灰岩
神2	太原组		煤岩
镇川5	下石盒子组		天然气
铺1	太原组		天然气
陕21	马家沟组		天然气
林1	马家沟组		天然气
陕5	马家沟组		天然气
林2	马家沟组		天然气
陕6	马家沟组		天然气

岩样粉碎20~60目(0.9~0.3),进行热模拟/在线同位素质谱和热模拟/气相色谱分析,气样直接进行色谱和在线同位素分析。热解器为澳大利亚生产的SGE,色谱仪为HP5890 II,同位素仪为非尼根-玛特GC/C/MS(Deltas S)。

3 结果与讨论

3.1 天然气、气源岩轻烃组分分布特征

天然气轻烃组成如图1(右)所示,从图中可看出林2井和陕6井下古生界天然气轻烃组成均具有共同的特征,甲苯、甲基环己烷以及链烷烃含量均较高。

为了研究古生界气源岩轻烃产物的组分组成特征,选择了榆13井不同层位四块岩样(表1)进行热抽提轻烃分析(250℃),各样品的轻烃组成如图1(左)所示,可以看出上古生界煤岩(1892 m和2029 m)轻烃组分分布具有共同的特征,富含苯和甲苯,链烷烃(正构和异构烷烃)含量很低,这是典型Ⅲ型有机质生成的轻烃组成特征;奥陶系两个灰岩样轻烃组成差别较大,风化壳云灰岩以风化壳岩样轻烃富含链烷烃和环烷烃,与一叠系、石炭系恰恰相反,而盐下的奥陶系灰岩轻烃组成甲苯含量较高,链烷烃和环烷含量较低。

为了进一步研究高成熟阶段奥陶系灰岩I—II型有机质轻烃生成特征,将下古生界风化壳灰岩样在350℃和450℃温阶下分别进行加热30分钟,观

察其轻烃在热演化过程的组成特征,因为250℃热解产物可能反映的是岩石吸附或残余烃类,对于鄂尔多斯盆地风化壳灰岩来说吸附烃类是可能的,不能代表其原始的烃类生成特征,只有在排出了吸附烃后(250℃),更高温度热解产物才能真正反映其生烃特征,另一方面,由于气源岩的排驱分馏效应,排出的链烷烃较多,这样岩石中残余的芳烃较多,因此在已发生过排烃的气源岩中,残余烃中的芳烃高于对应天然气的芳烃含量,例如盐下的奥陶系灰岩样品。2069 m奥陶系云灰岩350℃和450℃温度热解轻烃产物如图1(中)所示,从图中可看出,在随热演化程度增高热解产物中苯和甲苯含量逐渐增高的特点。通过这项实验分析得出如下认识:一、250℃轻烃反映的是岩石吸附的烃类,与350℃烃类组成差别较大,推断其可能是受到气体侵入吸附“污染”所致,不能代表其原始的烃类生成特征,因此,不能利用风化壳灰岩吸附的烃类分布特征来作为气源对比依据;二、灰岩中的I型有机质随热演化程度增加,生成的轻烃产物同样具有苯和甲苯含量高的特征,鄂尔多斯盆地古生界气源岩均处于高成熟—过成熟阶段,具有苯和甲苯含量高的天然气也有可能是下古生界气源岩来源的。

3.2 天然气、气源岩轻烃中苯、甲苯碳同位素分布特征

轻烃中苯和甲苯碳同位素主要受母质类型的影响,热演化作用对其影响较小,表2中列出了林2井下古生界灰岩和神2井上古生界煤岩在400℃、500℃和600℃下热模拟轻烃产物中苯和甲苯碳同位素比值,林2井中 $\delta^{13}C_{\text{苯}}$ 值分布在-25.22‰~-26.9‰之间,差值为1.5‰, $\delta^{13}C_{\text{甲苯}}$ 值分布在-26.89‰~-27.88‰之间,差值更小,为1‰,神2煤岩 $\delta^{13}C_{\text{苯}}$ 值分布在-22.32‰~-22.88‰之间,差值为0.5‰, $\delta^{13}C_{\text{甲苯}}$ 值分布在-21.99‰~-22.44‰,差值仅为1.5‰,这进一步表明对于同一样品来说热演化作用对苯和甲苯碳同位素比值影响较小,同时还可以看出,林2井灰岩和神2井煤岩之间苯、甲苯碳同位素比值相差较大,分别为3.4‰和5.1‰(表2),这些资料进一步证明苯和甲苯同位素比值变化主要受有机质类型的影响,因此可以用其来反映有机质类型,这也是利用苯和甲苯碳同位素进行气源对比的基础。

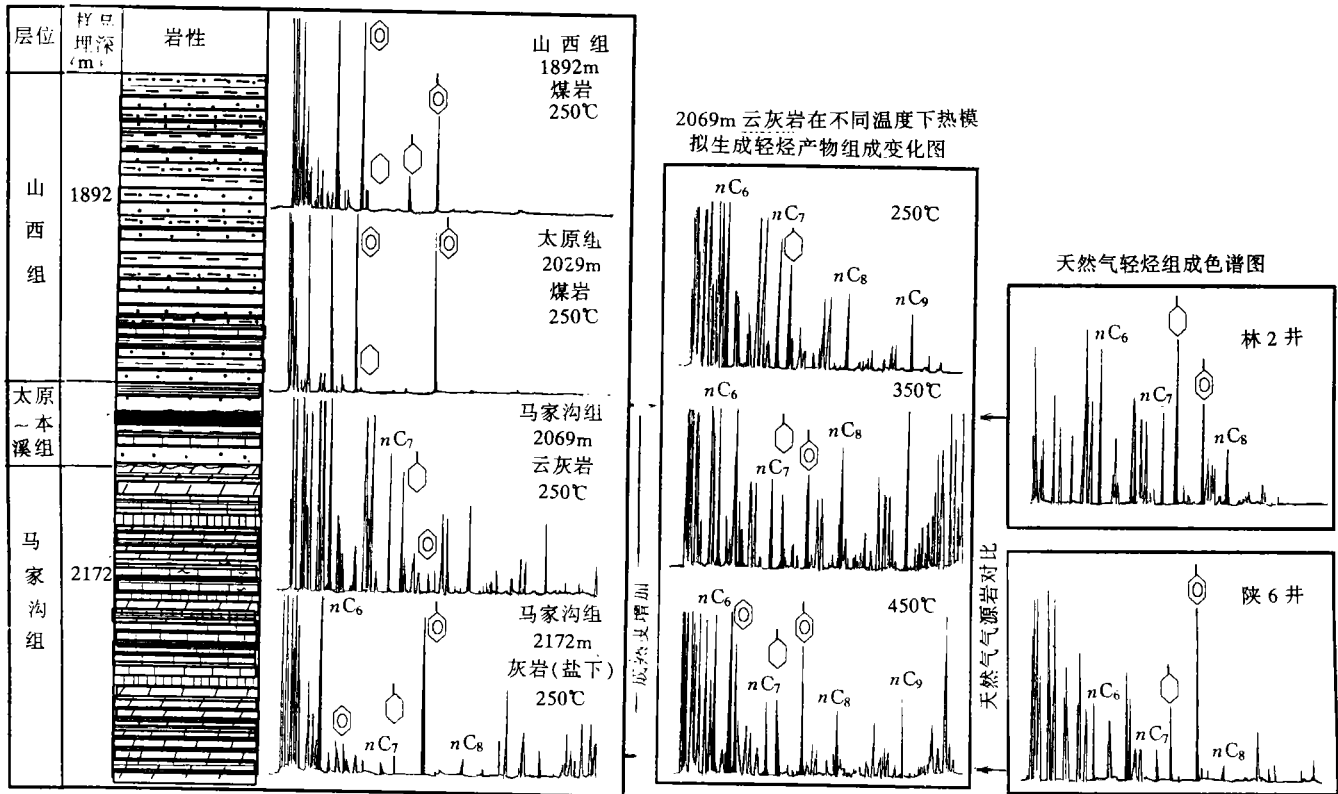


图1 鄂尔多斯盆地古生界天然气与气源岩轻烃组成分布特征及气源对比

Fig. 1 The comparison between the light hydrocarbon compositional characteristics of Paleozoic source rock and natural gas in Ordos basin

天然气中苯和甲苯碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{苯}}$ 值分布在 -18.61% ~ 28.99% 之间, $\delta^{13}\text{C}_{\text{甲苯}}$ 值分布在 -17.15% ~ -26.59% 范围内, 并且一般具有下古生界天然气较上古生界天然气轻的特点(表2)。

表2 天然气、气源岩轻烃中苯和甲苯碳同位素比值分布
Table 2 The $\delta^{13}\text{C}$ 苯 ratios of benzene and toluene of source rock and natur gas

井号	层位	岩性	温度 ℃	$\delta^{13}\text{C}_{\text{苯}}$ 值 /‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{甲苯}}$ 值 /‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{甲苯}}$ 均值/‰
			400	-25.85	-27.88	
林2	O_{1m}	灰岩	500	-26.9	-26.89	27.36
			600	-25.22	-27.32	
神2	C_{3f}	煤岩	400	-22.88	-21.99	22.22
			500	-22.32	-22.44	
镇川5	P_{1x}	天然气		-18.64	-17.15	
铺1	C_{3f}	天然气		-18.61	-23.71	
陕21	O_{1m}	天然气		-20.09	-24.84	
林1	O_{1m}	天然气		-26.37	-22.03	
陕5	O_{1m}	天然气		-28.99	-26.59	

4 气源探讨

根据气源岩中轻烃的组成分布可以看出, 下古生界气源岩在高成熟阶段生成的轻烃产物中同样具有苯和甲苯含量高的特征, 因此尽管林2井和陕6井下古生界天然气中甲苯含量很高, 但其仍然具有下古生界气源岩来源的可能性, 从前文可知, 天然气轻烃组成与下古生界气源岩热抽提物(反映残余或吸烃类)也由差别(图1), 因此有效的气源对比不应是静态的直接对比, 应该通过热模拟方法进行动态对比。也就是说热模拟过程的产物可能真正反映气源岩的生烃特征。从图1中气-源岩轻烃组成对比可以看出, 天然气中甲基环己烷和链烷含量也较高, 这下上古生界煤岩组成是有明显差别的, 但其分布类似于2069m云灰岩在350°C和450°C的热模拟产物, 其来源可能也与下古生界气源岩来源有关。

上古生界天然气(镇川5和铺1井)苯碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{苯}}$ 值在 -18.6% 左右, 甲苯碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{甲苯}}$ 值在 -17.15% ~ 23.71% 之间, 表明上古生界天然气

苯和甲苯碳同位素非常重,这与上古生界煤岩和甲苯碳同位素接近,其来源可能是上古生界煤岩;下古生界陕5井天然气苯和甲苯分别为-28.99‰和-26.59‰,碳同位素较轻,与林2井下古生界灰岩接近,具有下古生界气源岩来源特征;而林1井下古生界天然气苯和甲苯碳同位素介于灰岩和煤岩之间,其气源可能为上、下古生界源岩混源形成的,下古生界陕21井天然气可能主要是由上古生界气源岩生成的(图2)。

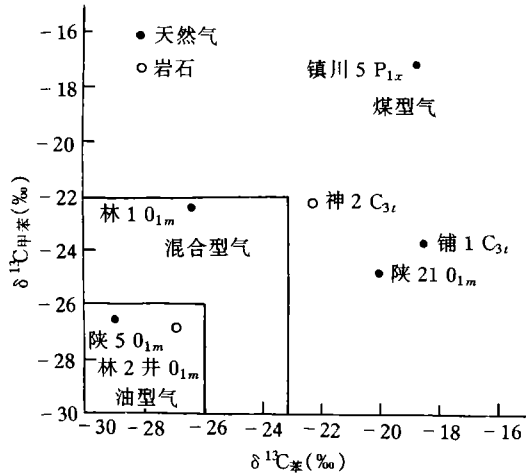


图2 天然气和气源岩苯和甲苯碳同位素对比图

Fig 2 The correlation between natural gas and source rock by the δ¹³C ratio of benzene and toluene

上面从轻烃分布、苯和甲苯碳同位素组成对奥陶系风化壳天然气和气源岩进行了直接对比,初步认为下古生界天然气来源复杂,应有主要来源于奥陶系气源岩,也有上古生界气源的混合作用。但由于本次分析样品数量有限,对气源问题也只是初步探讨,全面认识有待于进一步工作。

5 结论

(1) 鄂尔多斯盆地下古生界奥陶系灰岩虽然为I—II型有机质,但在高成熟阶段其生成的轻烃产物中同样具有芳烃含量高的特点,因此,下古生界天然气轻烃中芳烃含量较高的特点并非完全反映是由腐殖型有机质来源。

(2) 上、下古生界气源岩轻烃产物中的苯和甲苯碳同位素 δ¹³C 值差别较大,分别为 3.4‰和 5.1‰,上古生界天然气轻烃中苯和甲苯碳同位素较重,与上古生界气源岩较接近,下古生界林2井下古生界灰岩接近,具有下古生界气源岩来源特征;而林1下古生界天然气苯和甲苯碳同位素值介于灰岩和煤岩之间,其气源可能为上、下古生界气源岩混源形成的。

(3) 天然气与气源岩轻烃组成的动态对比和苯、甲苯碳同位素比值的指纹对比,可以成为进一步调查鄂尔多斯盆地天然气来源的有效方法。

参考文献

- 1 关德师,张文正. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系产层的油气源[J]. 石油与天然气地质,1993;14(3):191~199.
- 2 张士亚. 鄂尔多斯盆地天然气气源及勘探方向[J]. 天然气工业,1994;14(3):14
- 3 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. 中国科学 B 辑;1992,22(2):185~193.
- 4 夏新宇,赵林,戴金星. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系风化壳气藏天然气来源及混源比计算. 沉积学报,1998,16(3):75~78.
- 5 陈安定. 陕甘岭盆地中部气田奥陶系天然气的成因及运移[J]. 石油学报,1994,15(2):1~10.
- 6 黄第藩. 鄂尔多斯盆地中部气田气源判别和天然气成因类型[J]. 天然气工业,1996,16

The Novel Approach of the Correlation between Paleozoic Natural Gas and Source Rock in Ordos Basin

JIANG Zhu-sheng HU Guo-yi LI Zhi-sheng LUO Xia ZHANG Ying LI Jian XIE Zeng-ye
(Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Langfang, Hebei, 065007)

Abstract

The advanced analytic techniques of thermal stimulation/on-line stable carbon mass spectrum and thermal stimulation/gas chromatography have been used to determine the light hydrocarbon distribution and the $\delta^{13}\text{C}$ ratio of benzene and toluene of source rock and natural gas. The analytic results indicate that I、II-type kerogen of lower Paleozoic limestone can generate more abundant benzene and toluene of light hydrocarbon at the high stage of evolution. The $\delta^{13}\text{C}$ ratios of benzene and toluene of light hydrocarbon mainly vary with kerogen type and have little relation to the maturity. The $\delta^{13}\text{C}$ ratios of benzene and toluene of light hydrocarbon of source rock between Lower Paleozoic and Upper Paleozoic in Ordos basin are about -27% and -22% , respectively. It indicates that the $\delta^{13}\text{C}$ ratios of benzene and toluene vary apparently. The $\delta^{13}\text{C}$ ratios of benzene and toluene of natural gas between Lower Paleozoic and Upper Paleozoic are $-18.64\% \sim -18.61\%$ and $-23.71\% \sim -17.15\%$, $-28.99\% \sim -20.09\%$ and $-26.59\% \sim -22.03\%$ respectively. The direct correlation between source rock and natural gas has been taken according to the characteristics of light hydrocarbon distribution and $\delta^{13}\text{C}$ ratios of benzene and toluene. Natural gas of Lower Paleozoic sources from source rock of Lower Paleozoic mainly.

Key words Ordos Basin thermal stimulation/on-line stable carbon mass spectrum thermal stimulation/gas chromatography benzene 'carbon isotope toluene'carbon isotope.