

文章编号: 1000-0550(2003)03-0528-05

鄂尔多斯盆地苏里格庙与靖边天然气 单体碳同位素特征及其成因

付锁堂¹ 冯 乔² 张文正³

1(成都理工大学 成都 610059) 2(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

3(长庆油田勘探开发研究院 西安 710051)

摘要 苏里格庙上古生界砂岩气藏天然气重烃含量高,干燥系数低,为湿气;靖边奥陶系风化壳气藏天然气重烃含量低,干燥系数高,属干气。苏里格庙天然气的正构烷烃碳同位素具有 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_4$ 的规律,靖边天然气具有 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3$ 的规律。二者高碳数烷烃的同位素差别较大,尤其是苏里格庙的乙烷碳同位素比靖边平均重 3.6‰。根据天然气单体碳同位素及其含量变化,苏里格庙天然气属煤成气,靖边天然气属煤成气与油型气的混合气。苏里格庙和靖边天然气中均含少量 CO_2 气,其碳同位素表明苏里格庙除苏5井为无机 CO_2 气外,均为有机 CO_2 气;靖边林1、林5井为无机 CO_2 气,陕参1井为有机 CO_2 气。结合烷烃气和 CO_2 气,苏里格庙天然气可以分为含有机 CO_2 煤成气和含无机 CO_2 煤成气。碳同位素比值与 R_o 关系分析认为,苏里格庙的天然气成熟度处于成熟到高成熟阶段,其相应气源岩的平均 R_o 为 1.29%~1.39%,这一结果与该区二叠系煤岩的成熟度符合较好。

关键词 单体碳同位素 天然气 成因类型 苏里格庙

第一作者简介 付锁堂 男 1963年出生 高级工程师 石油与天然气地质

中图分类号 P593 **文献标识码** A

1 前言

鄂尔多斯盆地为我国大型的含油气盆地之一。近年来的勘探实践证明,盆地内古生界有着广阔的天然气勘探前景,以大面积、多层次和巨大潜在的天然气资源为特征,相继发现了中部大型气田和一批中型气田,尤其是近两年在上古生界煤成气勘探中取得了新的成果。苏里格庙位于鄂尔多斯盆地北部伊盟隆起之南斜坡带上,2000年6月完钻的苏6井在上古生界石盒子组和山西组发现众多的气显示,初产气达百万方以上,从而展示了苏里格庙天然气勘探的广阔前景。

鄂尔多斯盆地早古生代寒武—奥陶纪经历了两次规模较大的海进—海退旋回,沉积了一套除伊盟隆起外几乎覆盖全盆地的碳酸盐岩夹膏盐岩的岩石组合,形成了盆地内第一套主要的烃源岩和储集层。志留纪至早石炭世约1.4亿年的风化剥蚀和准平原化形成了盆地内的第二套风化壳储集层。晚古生代石炭纪晚期,海水从盆地的西部和南部再次侵入,一直推进到达研究区。但从二叠纪开始,盆地充填主要以河流、三角洲、湖泊沉积为主体,形成盆地内第三套主要的储集层。因此从纵向上看,鄂尔多斯盆地发育三种不同储

集类型的气藏,即下古生界碳酸盐岩气藏、风化壳气藏和上古生界碎屑岩气藏。碳酸盐岩气藏主要为以I型干酪根海相成气母质为主的天然气^[1~2],碎屑岩气藏主要为以II型干酪根成气母质为主生成的煤成气,而对于风化壳中的天然气来源是以下古生界油型气为主,还是以上古生界煤成气为主,分歧颇大。一部分研究认为应以下古生界天然气为主^[2~3],而另一部分研究表明应为以上古生界煤成气为主^[4~5]。本次通过 $\text{C}_1 \sim \text{C}_5$ 的单体碳同位素特征研究,试图对上古生界天然气和靖边风化壳型天然气的成因进行探讨。

2 天然气地化特征

气相色谱测定结果表明(表1),苏里格庙地区上古生界天然气中甲烷占绝对优势,其次为乙烷、丙烷,以及微量的高碳数烷烃。其中,甲烷平均 89.78%、乙烷 5.75%、丙烷 1.05%、异丁烷 0.162 4%、正丁烷 0.167%、异戊烷 0.057%、正戊烷 0.024%,总烃含量平均高达 96.99%。另外还含有少量的二氧化碳、氮气,以及微量的氢气。

天然气相对密度介于 0.564 0~0.600 2 g/cm^3 之间,平均 0.5863 g/cm^3 。其中山西组天然气密度较

表 1 苏里格庙与靖边天然气成分(%)组成与对比表

Table 1 Compositions and comparison of natural gases in Suligemiao and Jingbian areas

气藏	井名	层位	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	ΣC ₂₊	总烃	干燥系数
苏里格庙上古生界	苏 6	P ₁	87.5	5.43	1.13	0.17	0.172	0.053 2	0.02	6.975 2	94.48	0.926 2
	苏 6	P ₂	87.3	5.44	1.13	0.171	0.17	0.053 4	0.02	6.984 4	94.28	0.925 9
	桃 5	P ₁	90.9	4.69	0.831	0.114	0.121	0.037 6	0.014 3	5.807 9	96.71	0.939 9
	桃 5	P ₂	91.0	4.81	0.923	0.16	0.148	0.049 3	0.018 3	6.108 6	97.11	0.9371
	桃 6	P ₂	93.4	2.76	0.36	0.039	0.046	0.013 3	0.006 6	3.224 9	96.62	0.966 6
	苏 15	P ₂	91.361	6.243	0.914	0.145	0.144	0.053	0.025	7.524	98.89	0.923 9
	苏 16	P ₁	88.214	8.783	1.742	0.263	0.294	0.101	0.046	11.229	99.44	0.887 1
	苏 20	P ₂	88.55	7.859	1.369	0.237	0.244	0.099	0.042	9.85	98.40	0.899 9
	平均值		89.78	5.75	1.05	0.162 4	0.167	0.057	0.024	7.213	96.99	0.925 8
靖边风化壳型	陕参 1		97.1	0.61	0.000 4	0.008	0.009	0.026	0.001	0.654 4	97.75	0.993 3
	林 1	O _{1m}	96.35	0.57	0.000 4	0.011	0.015	0.02	0.002	0.618 4	96.97	0.993 6
	林 5		88.34	0.48	0.0004	0.061	0.014	0.024	0.001	0.580 4	88.92	0.993 5
	平均值		93.93	0.55	0.000 4	0.026 67	0.013	0.023	0.001	0.617 7	94.55	0.993 5

大, 平均 0.588 6 g/cm³, 石盒子组平均 0.582 4 g/cm³ (图 1), 即下部气层密度大于上部气层密度。在同一口井中, 也存在此规律。

靖边风化壳气藏中的天然气的甲烷含量介于 97.10%~88.34%, 变化较大, 平均为 93.93%, 但 C₂、C₃、C₄、C₅ 烷烃的含量基本相当, 约 0.58%~0.65%, 重烃含量低, 约 0.617 7%。苏里格庙气藏中天然气的干燥系数平均为 0.93, 为湿气, 重烃含量高。靖边风化壳气藏天然气的干燥系数高达 0.99, 为干气, 重烃含量低。说明: (1)苏里格庙与靖边天然气中甲烷含量差别不大, 而重烃含量差别较大, 表明二者的来源是有差别的; (2)与苏里格庙天然气相比, 靖边天然气中 CH₄ 含量略高, 总烃含量低, 干燥系数高, 表明下古生界天然气遭受了更程度的热作用。

3 单体碳同位素特征

3.1 组成特征

应用中科院广州地球化学研究所有机地球化学国

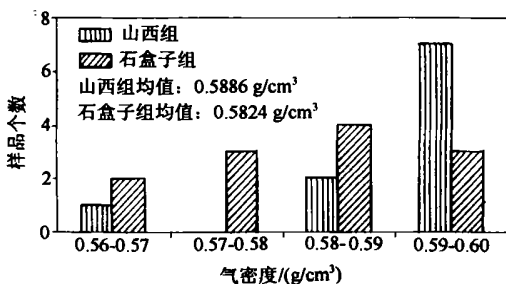


图 1 苏里格庙天然气密度直方图

Fig. 1 Histogram of natural gas density in Suligemiao

家重点实验室的 GC-IRMS 仪, 进行了天然气单体碳同位素在线分析。为了保证测定值的精度, 每个单体碳同位素值至少测定两次以上, 测定结果的相对误差小于 1.0‰。

分析结果表明, 苏里格庙天然气甲烷碳同位素介于 -29.96‰~-36.45‰之间, 平均 -32.95‰。其中桃 5 井同位素较轻, 桃 6 井相对较重, 除此而外, 一般介于 -33‰~-34‰之间。靖边下古生界奥陶系顶部风化壳气藏中的甲烷碳同位素介于 -33.72‰~-31.23‰之间, 平均 -32.66‰(图 2)。

苏里格庙天然气的乙烷碳同位素介于 -24.02‰~-23.17‰之间, 平均 -23.41‰。而靖边风化壳天然气的乙烷碳同位素介于 -26.53‰~-27.26‰, 平均 -27.02‰。上、下古生界乙烷碳同位素相差较大, 平均相差约 3.6‰。苏里格庙天然气的丙烷碳同位素基本都大于 -25‰, 丁烷基本都大于 -24‰, 戊烷基本都大于 -23‰, 与靖边下古生界风化壳的天然气的碳同位素基本一致。

综上所述, 苏里格庙砂岩气藏中天然气的单体碳同位素具有碳数越高, 同位素越重的特点。若仅考虑正构烷烃, 具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_4$ 的规律。而靖边奥陶系风化壳气藏天然气的单体碳同位素具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$ 的规律, 显示出苏里格庙上古生界气藏与靖边下古生界风化壳气藏中天然气的来源和成因有一定的差别。

3.2 碳同位素组合特征

不同碳数碳同位素的组合关系也同样可以反映出同位素的组成特征, 可以反映不同来源天然气组分

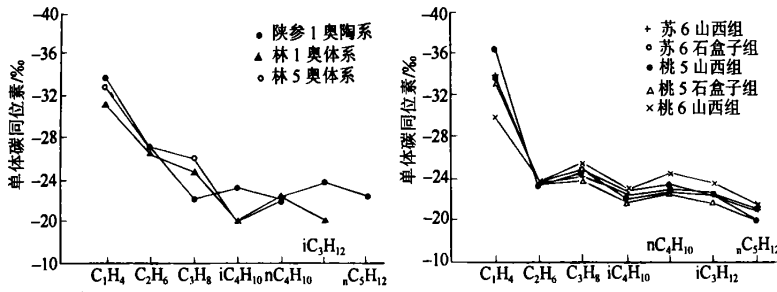


图 2 天然气中碳同位素分布特征

Fig. 2 Distribution plots of carbon isotopes in Suligemiao and Jingbian areas

之间同位素组成的差异。如图 2 所示, 苏里格庙的天然气与靖边的天然气在同位素组成上存在明显差异, 这种差异有可能反映了两区天然气来源与成藏条件的不同。

4 天然气成因类型

秦建中等^[6]通过对华北地区煤系烃源岩层油气生成、运移、评价的研究, 提出了一套煤成天然气的成因分类方案, 其重点是把单体碳同位素作为分类的主要依据, 并同时参考天然气组分特征进行的。其中煤成气的碳同位素为 $\delta^{13}\text{C}_1 > -37\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_2 > -27\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_3 > -25\text{‰}$, 油型气的碳同位素除甲烷变化较宽外, $\delta^{13}\text{C}_2 < -27\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_3 < -25\text{‰}$ 。

戴金星等^[7]根据天然气单体碳同位素, 把油型气和煤成气作为端元组分, 对天然气进行了类型划分(表 2)。

4.1 烷烃气的成因

利用多种烷烃气的鉴别图版和方法对苏里格庙砂岩气藏中的天然气和靖边风化壳气藏中的烷烃气进行了研究^[3,7-10], 如 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 CH_4 含量关系图版、 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 含量比值图版、 $\delta^{13}\text{C}_1 - \delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_3$ 关系图版、 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 $\delta^{13}\text{C}_2$ 差值法图版等, 从天然气组分与同位素的关系、同位素系列、及其组合等多方面, 研究认为

表 2 天然气成因划分标准(戴金星, 1992)

Table 2 Genetic classification of natural gas (after Dai Jinxing 1992)

成因类型	碳同位素(PDB, ‰)		
	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta^{13}\text{C}_2$	$\delta^{13}\text{C}_3$
煤成气	> -35	> -24	> -22
以煤成气为主的混合气	> -35	> -28	
以油型气为主的混合气		< -28	
油型气	< -38	< -28	< -27

苏里格庙上古生界砂岩气藏的天然气以煤成气为主, 混有少量下古生界运移上来的油型气, 致使甲烷碳同位素偏轻, 并且与靖边奥陶系风化壳气藏天然气的一致。在局部地区或层位, 可能混有部分下古生界运移上来的油型气, 形成以上古生界煤成气为主的混合气。靖边奥陶系风化壳气藏的天然气则为上古生界煤成气与下古生界油型气的混合气。

4.2 CO_2 气成因

天然气中 CO_2 的成因可分为无机和有机两大类。有机成因是指有机物在厌氧细菌或热作用下, 遭受生物化学降解或热裂解而生成的 CO_2 ; 无机成因的 CO_2 主要为非有机质形成, 包括两类。(1)碳酸盐岩化学成因, 碳酸盐在高温热解、低温水解、酸类溶解过程中均可形成 CO_2 ; (2)岩浆成因, 指岩浆在上升过程中, 由于温度、压力降低, 可析出大量 CO_2 。

苏里格庙二叠系天然气中, 除主要成分为烷烃气外, 含有少量 CO_2 , 其含量在 $0.573\% \sim 2.870\%$ 之间, 平均 1.248% (表 3)。其碳同位素介于 $-7.03\text{‰} \sim -26.37\text{‰}$, 平均 -13.90‰ 。以碳同位素 -10‰ 作为划分标准^[7], 桃 5 井山西组、石盒子组天然气中的 CO_2 为无机成因, 桃 6 井石盒子组、苏 6 井山西组、石盒子组天然气中的 CO_2 为有机成因。靖边奥陶系天然气以含无机 CO_2 气较多, 除陕参 1 井为有机 CO_2 外, 林 1、林 5 井均为无机 CO_2 气。

由于鄂尔多斯盆地自下古生代以来, 一直构造稳定, 几乎无岩浆活动, 因此其无机成因的 CO_2 气应主要是由下古生界碳酸盐岩高温裂解或低温水解或酸类溶解形成的产物。

4.3 天然气成因类型

根据上面的分析和讨论, 苏里格庙二叠系天然气除含占绝对多数的烷烃气以外, 还含有少量的二氧化碳气。如果考虑到甲烷碳同位素是受母质类型和热演化程度的双重作用, 而乙烷碳同位素主要是母质类型

表 3 苏里格庙天然气中 CO₂ 碳同位素对比
Table 3 Isotope values and comparison of CO₂ in natural gas from Suligemiao

井名	层位	CO ₂ /%	δ ¹³ C _{CO₂} /‰	资料来源
桃 5	山 1	0.759	-7.03	广州地化所 有机地球化 学国家开放 实验室
桃 5	盒 8	0.617	-7.55	
桃 6	盒 8	0.573	-11.40	
苏 6	山 1	2.870	-26.37	
苏 6	盒 8	1.420	-16.46	
平均值		1.248	-13.90	
陕参 1 井	奥		-15.87	
林 1 井	陶		-6.30	
林 5 井	系		-3.95	
平均值			-8.68	

的影响, 并结合二氧化碳的来源, 拟将本区的天然气划分为如下 2 种类型, 即含无机二氧化碳的煤成气和含有机二氧化碳的煤成气。再则靖边奥陶系天然气也同样可划分出 2 种类型, 即含无机二氧化碳的以煤成气为主的混合气和含有机二氧化碳的以煤成气为主的混合气(图 3)。

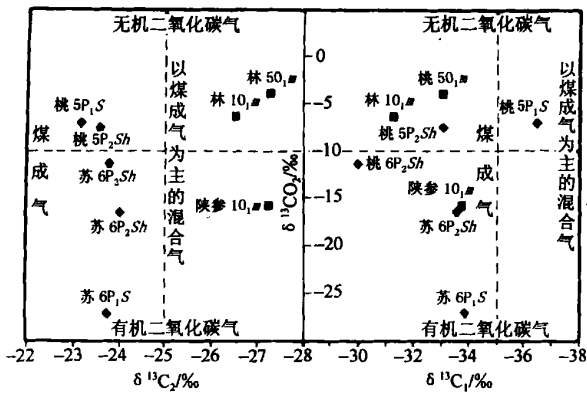


图 3 苏里格庙天然气的成因分类

Fig. 3 Plot of genetic types styles of Suligemiao gas field

4.3.1 二叠系天然气成因类型

(1) 含无机二氧化碳的煤成气

该类型主要分布在桃 5 井区。桃 5 井山西组和石盒子组天然气中的乙烷碳同位素均小于 -25‰, 二氧化碳碳同位素均大于 -10‰。虽然桃 5 井山西组天然气甲烷碳同位素相对较轻, 落入以煤成气为主的混合气区域, 可能是油型气混入, 或含有较多二叠系腐泥型气的结果, 还需进一步研究。

(2) 含有机二氧化碳的煤成气

苏里格庙二叠系的绝大部分天然气均属于此类

型。其共同特点是二氧化碳碳同位素小于 -10‰, 乙烷碳同位素小于 -25‰。其甲烷碳同位素变化较大, 从 -29.96‰ ~ -33.85‰。这种变化可能由于少量腐泥型气不同程度混入的结果。

4.3.2 奥陶系天然气成因类型

(1) 含无机二氧化碳以煤成气为主的混合气

该类型在下古生界天然气中可能数量略多, 林 1、林 5 井的天然气均属于此类。该类型由煤成气和油型气混合形成, 以含碳同位素均大于 -10‰ 的二氧化碳气和乙烷碳同位素均大于 -25‰ 与小于 -28‰ 为特点。林 1、5 井的甲烷碳同位素均偏重, 比苏 6 井的还重, 与煤成气甲烷碳同位素相差无几, 这可能是由于煤成气混入较多和热演化程度较高所致。

(2) 含有机二氧化碳以煤成气为主的混合气

陕参 1 井属于此类型, 是由煤成气和油型气混合而形成, 二氧化碳碳同位素为 -15.75‰, 乙烷碳同位素为 -27.26‰, 甲烷碳同位素为 -33.72‰, 也同样有较多煤成气的混合。

5 天然气成熟度

天然气的成熟度是判断相关气源岩的重要参数, 甲烷碳同位素 (δ¹³C₁) 仍然是至今估算天然气成熟度的主要依据。大量研究表明, 甲烷碳同位素随源岩成熟度增加而变重, 并在一定范围内存在线性关系 [7, 10]。

由于每一个估算公式都是作者根据特定的盆地或地区的实际资料统计得出的, 除了因统计回归造成的计算误差以外, 不同盆地或地区之间特定的地质差异也可以造成估算结果差别较大。经研究发现, 戴金星 (1992) 和 Claypool (1992) 的成熟度公式用于本地区, 其估算结果惊人一致, 平均仅相差 0.1%, 而这两个公式是由不同地区的两个学者根据不同的数据资料提出来的。Claypool G. E. 的估算公式是通过研究北美天然气碳同位素与成熟度之间的关系后提出的, 而戴金星的估算公式是根据中国煤成气的实际资料获得的。据此估算的天然气及其气源岩成熟度为 1.29% ~ 1.39%, 该值与区域 R₀ 的变化基本一致, 与二叠系煤岩的镜质体反射率也非常接近。因此, 其成熟度估算结果应是比较可靠的。

6 结论

苏里格庙上古生界砂岩气藏的天然气与靖边奥陶系风化壳气藏的天然气相比较, 前者重烃含量高, 达 5.82%, 干燥系数 0.94, 为湿气; 后者重烃含量较低, 约 0.62%, 干燥系数 0.99, 属干气。天然气中烷烃碳

同位素均具有碳数越高,同位素比值越重的总体特点。苏里格庙天然气的正构烷烃碳同位素具有 $\delta^3C_1 < \delta^3C_3 < \delta^3C_2 < \delta^3C_4$ 的规律,而靖边天然气具有 $\delta^3C_1 < \delta^3C_2 < \delta^3C_3$ 的规律。二者之间高碳数烷烃的同位素差别较大,尤其是乙烷的碳同位素值,苏里格庙比靖边平均重 3.6‰。

应用多种图版,根据天然气单体碳同位素及其含量变化,综合研究认为苏里格庙天然气属煤成气,靖边天然气属煤成气与油型气的混合气。

苏里格庙和靖边天然气中均含少量 CO_2 气。其碳同位素表明苏里格庙除苏 5 井为无机 CO_2 气外,均为有机 CO_2 气;靖边林 1、林 5 井为无机 CO_2 气,陕参 1 井为有机 CO_2 气。这种无机 CO_2 气主要是由碳酸盐岩高温裂解或酸性物质溶解形成的,推测来源于下古生界。结合烷烃气和 CO_2 气,苏里格庙天然气可以分为含有机 CO_2 煤成气和含无机 CO_2 煤成气;同理,靖边奥陶系天然气也可以分为两类。

根据碳同位素比值与 R_o 关系,讨论了研究区天然气的成熟度。综合分析认为苏里格庙的天然气的成熟度处于成熟到高成熟阶段,其相应气源岩的平均 R_o 为 1.29%~1.39%,这一结果与该区二叠系煤岩的成熟度一致。

参考文献 (References)

- 1 蒋助生,胡国艺,李志生等.鄂尔多斯盆地古生界气源对比新探索[J].沉积学报,1999,17(增刊):221~223 [Jiang Zhusheng, Hu Guoyi, Li Zhisheng, *et al.* The novel approach of the correlation between Paleozoic natural gas and source rock in Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999, 17(Supp.): 221 ~ 223]
- 2 陈安定.陕甘宁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 [Chen Anding. Origin and migration of

- natural gas in Ordovician reservoir in Shan-Gang-Ning Basin Central Gas Field [J]. *Acta Petroloei Sinica*, 1994, 15(2): 1 ~ 10]
- 3 黄第藩,熊传武,杨俊杰等.鄂尔多斯盆地中部天然气气源辨识和天然气成因类型[J].天然气工业,1996,16(6):1~5 [Huang Difang, Xong Chuangwu and Yang Junje. Source identifications and genetic types of natural gas in Ordos Basin Central Gas Field [J]. *Natural Gas Industry*, 1996, 16(6): 1 ~ 5]
- 4 张世亚.鄂尔多斯盆地天然气起源及勘探方向[J].天然气工业,1994,14(3):1~4 [Zhang Shiya. Natural gas source and exploration direction in Ordos Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 1994, 14(3): 1 ~ 4]
- 5 夏新宇,赵林,戴金星等.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[J].沉积学报,1998,16(3):75~78 [Xia Xinyu, Zhao Lin, Dai Jingxing, *et al.* Gas sources and mixing ratio of Ordovician weathering crust reservoir of central gas field in Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(3): 75 ~ 78]
- 6 秦建中,贾蓉芬,郭爱明等.华北地区煤系烃源岩油气生成、运移、评价[M].北京:科学技术出版社,2000 [Qin Jianzhong, Jia Rongfen, Guo Aiming *et al.* Generation, migration and evaluation on hydrocarbon in bearing-coal source rock, Huabei Area [M]. Beijing: Science & Technology Press, 2000]
- 7 戴金星,裴锡古,戚厚发.中国天然气地质学[M].北京:石油工业出版社,1992 [Dai Jinxing, Pei Xigu, and Qi Houfa. *Geology of natural gas in China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992]
- 8 刘文汇,徐永昌.天然气成因类型及判别标志[J].沉积学报,1996,14(1):110~115 [Liu Wenghui and Xu Yongchang. Genetic indicators for natural gases [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1996, 14(1): 110 ~ 115]
- 9 刚文哲,高岗,郝石生等.论乙烷碳同位素在天然气成因类型研究中的应用[J].石油实验地质,1997,19(2):164~167 [Gang Wenzhe, Gao Gang, Hao Shisheng, Zhu Lei. Carbon isotope of ethane in analysis of genetic types of natural gas [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1997, 19(2): 164 ~ 167]
- 10 Bemer U, Faber E. Maturity related mixing model for methane, ethane and propane based on carbon isotopes [A]. *Advances in Organic Geochemistry 1987* [C]. *Organic Geochemistry*, 1998, 13(1~3): 67 ~ 72

Characteristics of the Individual Carbon Isotope of Natural Gas from Suligemiao and Jingbian Gas Fields in Ordos Basin

FU Suo-tang¹ FENG Qiao² ZHANG Wen-zheng³

¹(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

²(Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS Guangzhou 510640)

³(Changqing Research Institute of Exploration and Development, Xi'an 710051)

Abstract Natural gas from the gas pool reservoir in Upper Paleozoic sandstone of Suligemiao area is wet gas that is characterized by high content of heavy hydrocarbon and low dry coefficient; otherwise, natural gas from Ordovician weathering crust gas pool in Jingbian area belongs to dry gas for its low content of heavy hydrocarbon and high dry coefficient. The isotopic composition of Suligemiao gas has the tendency of $\delta^3C_1 < \delta^3C_3 < \delta^3C_2 < \delta^3C_4$, but Jingbian gas tends to be $\delta^3C_1 < \delta^3C_2 < \delta^3C_3$. The isotopic difference of heavy carbon alkane is much larger between Suligemiao and Jingbian natural gas. Particularly, the carbon isotope of ethane of Suligemiao gas is higher

(Continued on page 538)

tion on secondary hydrocarbon generation and pyrolysis simulation on samples of different maturity, it is indicated that the evolution passway of secondary hydrocarbon generation do not follow the Tissot's model of continuous hydrocarbon generation. The obvious characteristics of secondary hydrocarbon generation is the lag effect and the degree of lag is related to the original maturity. The degree of lag is the least while R_o is about 0.9%. This is determined by chemical kinetic mechanism. The activation energy distribution of secondary hydrocarbon generation indicates that the intermediate products formed in the first hydrocarbon generation are not totally decomposed, and rapidly decomposed at the beginning of secondary hydrocarbon generation, but the chemical structure of kerogen quite solidify when cooled and become activated again during the secondary hydrocarbon generation. So the evolution of secondary hydrocarbon generation present discontinuous pulse progression. According to the lag plate of secondary hydrocarbon generation and the geological condition of Bohai Bay basin, through the study of the history and stage of hydrocarbon generation, and analyzing the obvious depth and ratio of secondary hydrocarbon generation, prospective areas of secondary hydrocarbon generation can be pointed out.

Key words secondary hydrocarbon generation, lag characteristics, quantitative evaluation method, Bohai Bay basin

(Continued from page 532)

than that of Jingbian. The difference is equal to 3.6%. According to individual carbon isotopes and compositions of natural gas, it can be seen that the Suligemiao Permian gas is coalbed gas, and the Jingbian Ordovician gas is gaseous mixture. Average R_o of Suligemiao gas and its source rock is equal to 1.29% ~ 1.39% according to CH_4 isotope values, which is consistent with R_o of the Permian rock. A little of CO_2 content is found in Suligemiao and Jingbian natural gas. In terms of the carbon isotope values, it is believed that inorganic CO_2 exists in well Su5 in Suligemiao and well Lin1, Lin5 in Jingbian. The rest are all organic CO_2 . In combination with hydrocarbon gas and CO_2 , the natural gas in Suligemiao could be divided into coal-formed gas with organic CO_2 and inorganic CO_2 . The maturity of coal-formed gas in Suligemiao reaches middle to high stage and the corresponding R_o is 1.29% ~ 1.39%, which is in line with the maturity in Permian coal.

Key words individual carbon isotope, natural gas, genetic types, Suligemiao