

文章编号: 1000-0550(2006) 03-0432-08

# 鄂尔多斯盆地北部东胜铀矿区沉积有机质中 脂肪酸甲酯的检出及意义

妥进才<sup>1</sup> 张明峰<sup>1,2</sup> 王先彬<sup>1</sup>

(1 中国科学院地质与地球物理研究所 气体地球化学重点实验室 兰州 730000 2 中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要** 从鄂尔多斯盆地北部东胜铀矿区侏罗系沉积有机质中检出了丰富的脂肪酸甲酯系列化合物。脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中的正构烷烃化合物在分布特征上极为相似。在碳同位素组成方面,脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中正构烷烃系列也具有完全相同的变化范围。因此,脂肪酸甲酯系列化合物很可能就是正构烷烃系列化合物十分重要的母质来源。地质体中脂肪酸甲酯化合物的存在需要在相应的沉积体中维持一个比较严格的弱碱性—中性的环境。这种弱碱性—中性的成岩环境不仅对该地区有机质中脂肪酸甲酯化合物的形成和保存产生重要影响,而且有可能对该地区砂岩型铀矿床的形成产生了某些积极的作用。

**关键词** 脂肪酸甲酯 正构烷烃 单体化合物碳同位素组成

**第一作者简介** 妥进才 男 1962 年出生 研究员 石油与天然气地质

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

脂肪酸是生物体的重要组成部分。但在生物体中脂肪酸往往与醇、醛等其他的一类脂化合物形成酯(或角质蜡)类化合物<sup>[1]</sup>。在近、现代沉积物中,脂肪酸是可溶有机质的重要组成部分<sup>[2~7]</sup>。在未成熟原油以及低成熟的烃源岩中,脂肪酸也都被认为是十分重要的生烃母质<sup>[8~11]</sup>。但在地质体(近现代的沉积物、泥炭、煤以及未成熟的原油)中,类脂化合物通常都是以酸、醇、醛、酮和烃类的形式存在的。在地质体中检出以脂肪酸甲酯(或乙酯)形式存在的脂肪酸化合物则是十分罕见的<sup>[12,13]</sup>。因此,个别地质环境条件下存在脂肪酸甲酯形式的类脂化合物,可能意味着该地质体具有不同于其它沉积体的特殊的地质环境条件。在本项研究工作中,我们分别从有机质含量变化范围很大的煤、碳质泥岩以及泥岩样品中检出了丰富的脂肪酸甲酯系列化合物。在分布特征上,脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中的正构烷烃系列极为相似。在碳同位素组成方面,脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中正构烷烃系列也具有完全相同的变化范围。因此,脂肪酸甲酯系列化合物很可能就是正构烷烃系列化合物十分重要的母质来源。

## 1 样品与实验

样品采自鄂尔多斯盆地北部东胜地区侏罗系直

罗组,样品的基本地球化学参数如表 1 所示,从样品类型来看,所涉及到的样品包括劣质煤、碳质泥岩、泥岩以及泥质粉砂岩。

样品粉碎后用氯仿抽提 72 小时,可溶有机质用石油醚沉淀沥青质后再经硅胶—氧化铝色谱柱分离为饱和烃、芳烃和非烃馏分,冲洗剂分别为石油醚、二氯甲烷和甲醇。对饱和烃、芳烃馏分进行 GC-MS 分析。仪器为 Hewlett Packard 6890N 色谱和 Hewlett Packard 5973N 质谱连用仪。DB-5 型石英毛细柱(30m × 0.25mm),载气为氦气,程序升温条件:在 80℃ 恒温 1 分钟,然后以 3℃/min 的速度从 80℃ 升至 280℃,再恒温 20 分钟。离子源温度为 230℃。分析过程中分别在饱和烃和芳烃馏分中加入一定量的氘代正构烷烃化合物(C<sub>24</sub>D<sub>50</sub>)和三联苯化合物作为内标进行化合物的定量分析。在分析过程中未对任何馏分作过任何形式的甲基化处理。

正构烷烃和脂肪酸甲酯单体化合物的碳同位素分析在 Delta Plus XP 色谱—同位素质谱仪上进行。其中的色谱仪为 Finnigan GC COMBUSTION III 系统。采用与 GC-MS 分析完全相同的色谱条件。经过色谱仪分离以后的单体化合物在温度为 830℃ 的氧化炉内转化为 CO<sub>2</sub>,再进行相应化合物的碳同位素组成分析。分析过程中随时用已知其碳同位素组成的正构

表 1 样品的基本地球化学参数

Table 1 The basic geochemical data for the studied samples

样号	岩性	井深 /m	$T_{Max}$ /°C	有机碳 /%	$H I$ /(mg/g (TOC))	$IO I$ /(mg/g (TOC))	"A" /%	氯仿沥青 "A" 族组成 /%			
								沥青质	饱和烃	芳烃	非烃
T0412	泥岩	172	429	1.32	147	375	0.08	83.13	3.51	5.43	7.93
T0414	碳质泥岩	191	429	12.15	304	27	0.61	57.41	13.94	14.36	14.29
T0415	泥质粉砂岩	246	424	2.65	175	38	0.18	68.81	4.18	9.26	17.75
T0416	劣质煤	249	432	31.24	99	27	1.11	51.85	6.22	16.52	25.42

烷烃混合标样 ( $C_{16}$ - $C_{32}$ 正构烷烃)对仪器的精度进行检查。化合物的碳同位素组成均以 PDB 标准给出。所有样品均经过 2 次重复测定,同一个化合物 2 次测定结果的差值一般不超过 0.5%。给出的化合物碳同位素值均为 2 次重复测定的平均值。

## 2 结果和讨论

### 2.1 样品的基本地球化学特征

从表 1 可以看出,分析的样品类型变化比较大,包括劣质煤、碳质泥岩、泥岩以及泥质粉砂岩。其有机碳含量变化在 1.32% ~ 31.24% 之间。氯仿沥青 "A" 含量变化在 0.08% ~ 1.11% 之间,这说明,上述样品形成时的沉积环境是不同的,尤其是在原始有机母质的供应量方面存在着很大的差别。可溶有机质氯仿沥青 "A" 族组成中以沥青质和非烃为主,饱和烃和芳烃的含量很低,结合热解分析数据 ( $T-Max$ ),可以看出,此次分析的样品基本上均处在未成熟-低成熟热演化阶段。

### 2.2 样品中正构烷烃和脂肪酸甲酯系列化合物的分布特征

从样品芳烃馏分中检测到非常丰富的脂肪酸甲酯系列化合物,在大部分样品中其含量非常高,已经远远超过了任何一种芳烃化合物的含量(图 1)。以正二十六酸甲酯和正二十八酸甲酯为例,其质谱图上最特征的峰是由 McClafferty 重排和与  $C=O$  基团相邻间隔断裂所产生的  $m/z$  74 碎片峰<sup>[14]</sup>,其强度很大,

呈基峰,其他的特征离子峰包括  $[CH_2CH_2COOCH_3]^+$  碎片峰 ( $m/z$  87),由  $C=O$  相邻的键断裂而形成的  $R-C\equiv O^+$  碎片峰 ( $M-31$ ),分子离子峰 ( $M^+$ )  $m/z$  410/438 以及  $M-43$  峰等(图 1)。

在分布特征上,脂肪酸甲酯系列化合物一般以  $C_{28}$  或  $C_{26}$  为主峰,呈明显的偶数碳优势(习惯上,脂肪酸甲酯化合物的碳数都是以脂肪酸部分的碳数来计的,未包括甲酯部分的甲基碳)。与相应样品的正构烷烃化合物相比(图 2),二者在分布特征上非常相似,所不同的是,正构烷烃化合物呈现明显的奇数碳优势。正构烷烃和脂肪酸甲酯系列在主峰碳分布上也一致(图 2 表 2)。在碳优势指数 ( $CPI$ )、正构烷烃化合物奇偶优势 ( $OEP$ ) 和脂肪酸甲酯化合物偶奇优势 ( $EOP$ ) 参数对比上看(表 2),脂肪酸甲酯化合物的偶数碳优势均比相应样品中正构烷烃化合物的奇数碳优势更为明显。在上述两个系列化合物的绝对含量上(图 2),除了 T0416 号样品具有比其他样品含量更高的脂肪酸甲酯化合物以外,其他样品中的正构烷烃化合物和相应样品中的脂肪酸甲酯化合物均呈同步消长的关系。因此,可以看出,脂肪酸甲酯系列化合物经水解形成脂肪酸然后脱羧基就可以形成相应样品中与之分布特征十分相似的正构烷烃系列化合物。

早在上世纪 60 年代,就有学者提出脂肪酸及其酯可以形成石油的观点<sup>[15-16]</sup>,Cooper 发现近代沉积物中的正构烷烃化合物具有奇数碳优势,而脂肪酸却

表 2 样品的链烷烃和脂肪酸甲酯系列化合物参数

Table 2 The parameters for aliphatic hydrocarbons and fatty acid methylester series

样号	岩性	井深 /m	链烷烃						脂肪酸甲酯		
			Pr/Ph	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>	$C_{max}$	$CPI$	$OEP$	$C_{max}$	$CPI$	$EOP$
T0412	泥岩	172	2.18	1.16	0.49	$C_{27}$	3.02	3.42	$C_{28}$	4.21	4.56
T0414	碳质泥岩	191	0.95	0.84	1.02	$C_{27}$	3.82	4.46	$C_{28}$	4.51	5.39
T0415	泥质粉砂岩	246	4.50	2.88	0.49	$C_{29}$	3.13	4.00	$C_{28}$	6.07	6.60
T0416	劣质煤	249	7.98	3.48	0.35	$C_{25}$	3.55	4.02	$C_{26}$	7.80	8.77

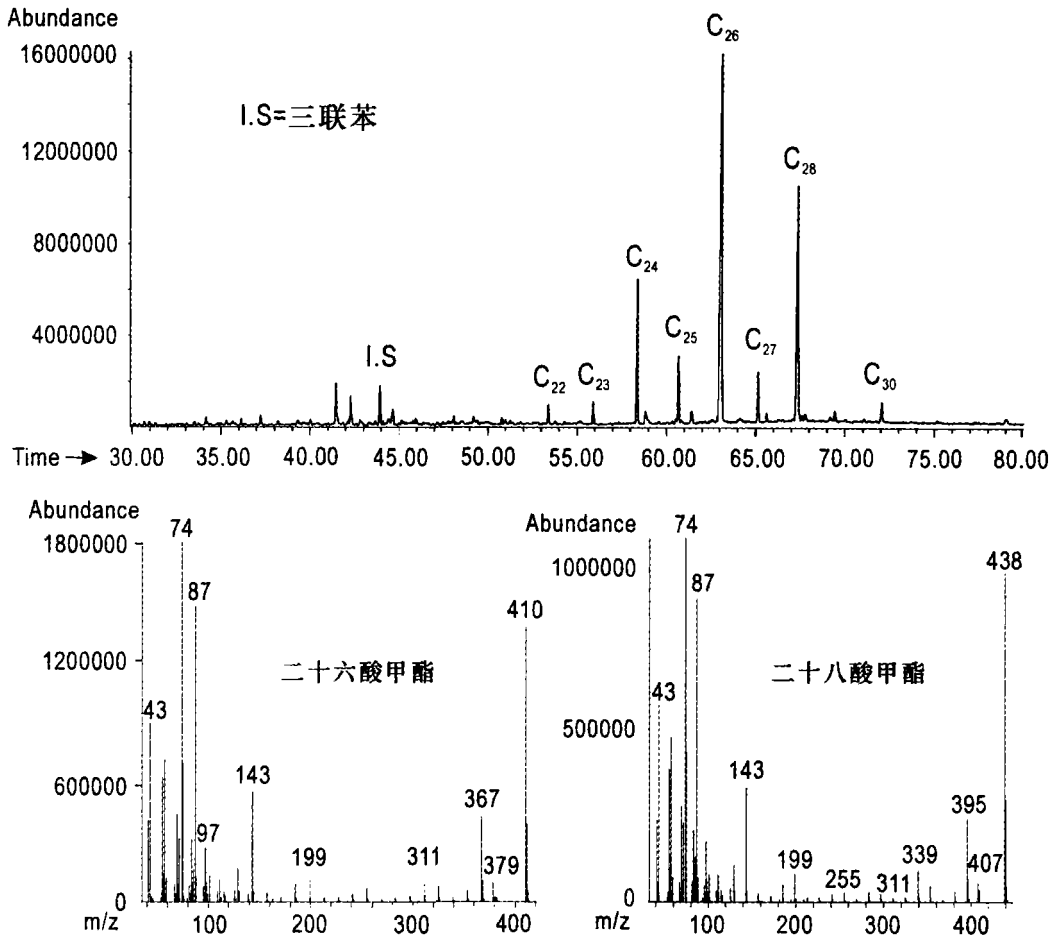


图 1 典型样品的芳烃馏分 GC-MS 分析总离子流图 (上)、正二十六酸甲酯 (下左) 和正二十八酸甲酯 (下右) 的质谱棒图

Fig 1 GC-MS chromatogram for aromatic fraction of a typical sample (upper) and mass spectra for hexacosanoic acid methyl ester and octacosanoic acid methyl ester (below)

具有偶数碳优势, 据此认为沉积物中的正构烷烃化合物是由脂肪酸脱羧反应以后形成的。此后, 众多的学者相继开展了一系列有关近、现代沉积物中的游离脂肪酸和烃源岩干酪根中的结合脂肪酸生烃方面的研究工作 [4 6 8 10 11 17-21]。研究结果表明, 沉积物中的游离脂肪酸和烃源岩干酪根中的结合脂肪酸均可以成为地质体中正构烷烃化合物的母质来源。但由于在地质体中很少能够见到以甲酯类形式存在的脂肪酸化合物。因此, 脂肪酸甲酯能否成为地质体中正构烷烃化合物的直接来源, 还未见到相关的报道。此次在相同的样品中检测到分布特征几乎完全一致的正构烷烃和脂肪酸甲酯系列化合物, 从而为正构烷烃直接来源于脂肪酸甲酯提供了佐证。至少上述两个分布特征相同的化合物系列应该来源于完全相同的母质。由于生物体中的生物类酯化合物的结构与生物体本身有很大的关系。因此地质体中直接来源于生物体中类酯化合物的脂肪酸和正构烷烃化合物就具备了

指示沉积物中有机质母质来源的作用。通常情况下, 具有强偶/奇碳优势, 同时又以高碳数化合物为主峰群的脂肪酸和正构烷烃为分布特征的有机质, 其母质来源一般以陆生高等植物为主。所以, 从上述两个系列化合物在所有样品中的分布特征并结合相关的链烷烃参数 (例如 Pr/Ph 比值) (表 2), 可以看出此次分析的样品其有机质主要来源于陆生的高等植物。

### 2.3 样品中正构烷烃和脂肪酸甲酯化合物单体的碳同位素组成

分析的样品中正构烷烃和脂肪酸甲酯化合物单体的碳同位素组成如表 3 和图 3 所示, 从表 3 和图 3 中数据可以看出, 大部分样品中正构烷烃化合物的碳同位素组成均变化在  $-25\text{‰} \sim -30\text{‰}$  之间, 这样的碳同位素组成与一般陆相烃源岩和煤中的正构烷烃化合物的碳同位素组成基本一致 [22 23]。这也与样品中正构烷烃和脂肪酸甲酯均以高碳数化合物为主的分析结果是一致的。值得注意的是, T0414 样品中

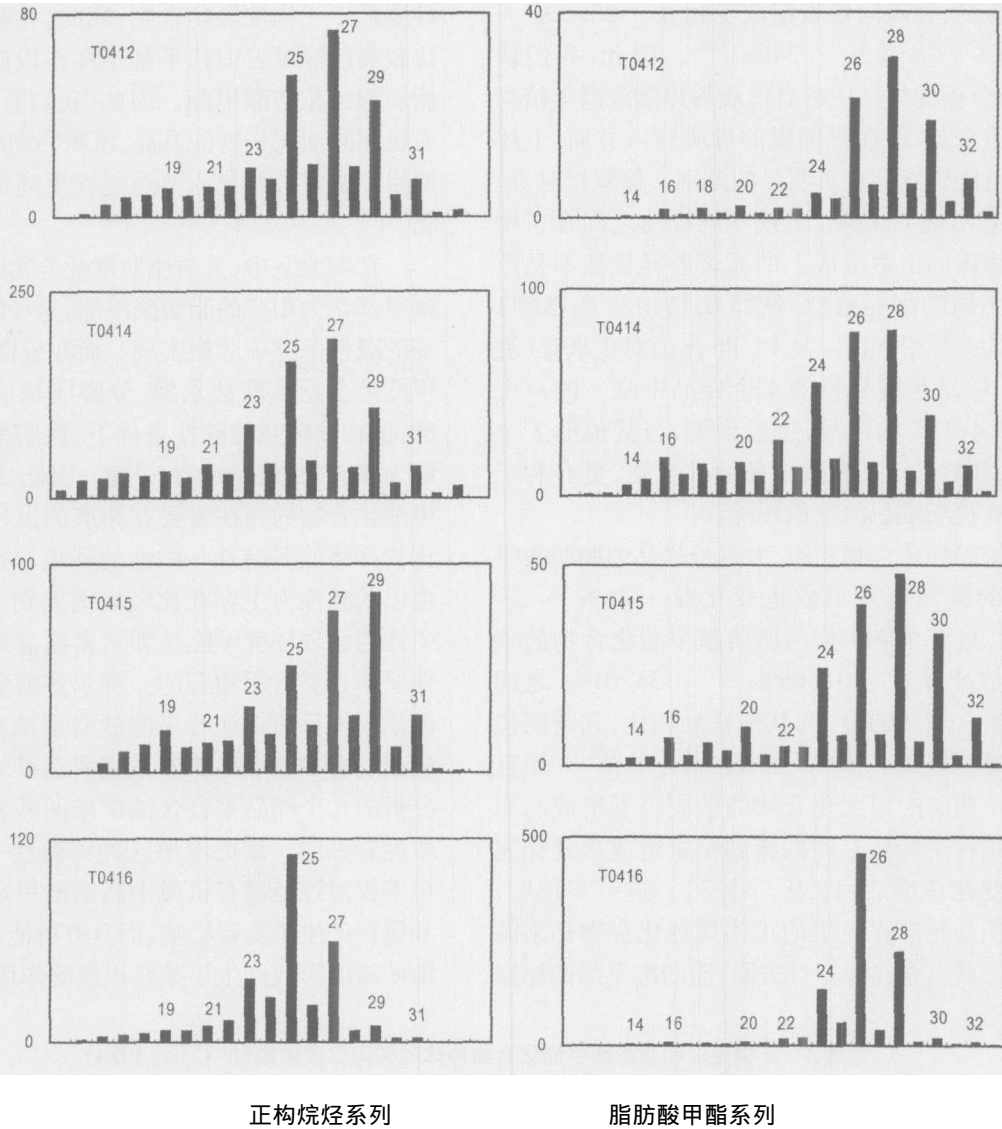


图 2 正构烷烃和脂肪酸甲酯化合物在样品中的绝对含量 ( $\mu\text{g/g TOC}$ ) 对比 (棒状图中的数字代表化合物的碳数)  
 Fig 2 Comparison showing the concentrations of aliphatic hydrocarbons and fatty acid methyl esters in the studied samples ( $\mu\text{g/g TOC}$ ) (peak numbers refer to chain length)

正构烷烃化合物的碳同位素组成变化在  $-32.31\%$  ~  $-36.06\%$  之间 (平均值为  $-33.63\%$ ), 与其他样品相比, 其碳同位素组成明显偏轻约  $5.22\%$  ~  $7.05\%$  (平均值)。从所分析的样品的基本地质情况和热演化程度 ( $T_{M_{ax}}$  以及正构烷烃的  $CPI$  和  $OEP$  值) 来看, 上述样品基本都处在未成熟—低成熟热演化阶段 (表 2 表 3), 因此, 有机质所经历的热演化程度的不同不可能在不同样品的正构烷烃化合物碳同位素组成上造成如此大的差异。此外, 从上述样品的正构烷烃和脂肪酸甲酯系列化合物的组成和分布情况来看, 上述样品中的有机质基本上都是以陆源高等植

物为主要母质来源。同样以高等植物为主要母质来源的广西百色盆地州景矿第三系褐煤中的正构烷烃化合物也具有类似于 T0414 样品中正构烷烃化合物的碳同位素组成<sup>[24, 25]</sup>。因此, 总体上以高等植物为主要母质来源的有机质组成情况同样可以在不同样品正构烷烃化合物碳同位素组成方面产生比较大的差异, 但这种差异肯定与更为细微基础上的母质来源和沉积环境的差异有关。对现代高等植物中正构烷烃化合物的碳同位素分析结果表明, 来源于  $C_4$  植物的正构烷烃化合物, 其碳同位素组成变化在  $-20\%$  ~  $-26\%$  (平均值为  $-23\%$ ), 而来源于  $C_3$  植物的正

构烷烃化合物,其碳同位素组成变化在  $-28.0\% \sim -43.0\%$  (平均值为  $-34\%$ )<sup>[26]</sup>。因此,我们认为,尽管所分析的样品中的有机质均以陆源高等植物为主要母质来源,但在更细微的母质输入方面,上述样品之间可能仍然存在着明显的差别。侏罗纪时,地球上还没有出现  $C_4$ 植物,上述不同样品之间在正构烷烃化合物碳同位素组成上的显著差异显然不是由代谢方式不同的高等植物(例如  $C_4$ 植物和  $C_3$ 植物)输入量上的差异引起的。从 Pr/Ph 比值对比来看(表 2), T0414 样品是所分析的 4 个样品中唯一的一个 Pr/Ph 比值小于 1 的样品,这也说明,与其他的 3 个样品相比, T0414 样品形成于还原性更强,更有利于偏腐泥型有机质堆积的沉积环境。

与正构烷烃化合物相似,大部分样品中脂肪酸甲酯化合物的碳同位素组成也变化在  $-25\% \sim -30\%$  之间,只有 T0414 样品脂肪酸甲酯化合物的碳同位素组成变化在  $-31.05\% \sim -34.01\%$  之间(平均值为  $-32.90\%$ ),与其他样品相比,其碳同位素组成明显偏轻约  $4.48\% \sim 5.87\%$ (平均值)。而且所有样品中脂肪酸甲酯化合物的碳同位素组成与相应样品中正构烷烃化合物的碳同位素组成都处在完全相同的变化范围之内(表 3 图 3)。进一步说明,脂肪酸甲酯与相应样品中的正构烷烃化合物都来源于相同的母质。在热稳定性方面,脂肪酸甲酯的稳定

性要低于正构烷烃化合物,同时,在绝大部分成熟度比较高的烃源岩中几乎都不存在以游离形式存在的脂肪酸或脂肪酸甲酯。因此,我们有理由认为,随着有机质热演化程度的升高,沉积物中的脂肪酸或脂肪酸甲酯必定会转化为热稳定性更高的正构烷烃化合物。

在实验室中,分析脂肪酸化合物时需要先将脂肪酸甲基化为相应的脂肪酸甲酯,这种酯化过程需要在弱的碱性条件下才能实现。而在酸性条件下,脂肪酸甲酯将会发生酸性水解,分解成相应的脂肪酸和甲醇,但在比较强的碱性条件下,脂肪酸甲酯也将会水解为相应的脂肪酸盐和甲醇。因此,地质体中脂肪酸甲酯化合物的存在需要在相应的沉积体中维持一个比较严格的弱碱性—中性的环境。这与一般成煤环境以弱酸性为主存在比较大的差别。这种弱碱性—中性的成岩环境可能是鄂尔多斯盆地北部东胜地区侏罗系直罗组所独有的。鄂尔多斯盆地北部东胜地区是我国目前正在开采的砂岩型铀矿区。砂岩型铀矿就发育于该地区侏罗系直罗组砂岩中。本项目所分析的几个样品采自含铀矿床的砂岩中的泥岩和碳质泥岩夹层。该层段中这种弱碱性—中性的成岩环境不仅对该地区有机质中脂肪酸甲酯化合物的形成和保存产生了重要影响,而且有可能对该地区砂岩型铀矿床的形成产生了某些积极的作用。

表 3 正构烷烃和脂肪酸甲酯化合物单体的碳同位素组成 ( $\delta^{13}C \%$ , PDB)

Table 3 The carbon isotopic compositions for the n-alkane hydrocarbons and fatty acid methyl esters ( $\delta^{13}C \%$ , PDB)

化合物	正构烷烃				脂肪酸甲酯			
	T0412 泥岩	T0414 碳质泥岩	T0415 泥质粉砂岩	T0416 劣质煤	T0412 泥岩	T0414 碳质泥岩	T0415 泥质粉砂岩	T0416 劣质煤
$C_{16}$	-28.95	-32.68	-27.44					
$C_{17}$	-28.58	-32.67	-26.73	-26.87				
$C_{18}$	-29.23	-33.42	-27.51	-28.24				
$C_{19}$	-27.97	-32.36	-26.51	-28.77				
$C_{20}$	-28.47	-32.31	-26.90	-27.37		-32.58	-25.67	
$C_{21}$	-29.37	-34.36	-27.05	-26.55		-34.01		
$C_{22}$	-29.23	-33.40	-26.99	-27.47		-31.05	-27.23	-29.55
$C_{23}$	-27.77	-33.93	-26.02	-26.99		-33.79	-27.04	-27.40
$C_{24}$	-27.52	-34.73	-25.55	-27.55	-26.97	-33.17	-25.55	-26.90
$C_{25}$	-29.91	-32.96	-25.89	-26.91		-33.83	-27.94	-28.22
$C_{26}$	-26.86	-32.73	-24.37	-27.92	-27.99	-31.45	-25.20	-26.87
$C_{27}$	-27.14	-33.34	-26.13	-27.23	-29.83	-32.37	-26.79	-28.80
$C_{28}$	-27.97	-33.64	-26.77	-29.65	-28.10	-31.81	-26.46	-27.81
$C_{29}$	-27.80	-33.52	-26.61	-29.01	-26.34	-33.84	-30.28	-28.73
$C_{30}$	-28.54	-36.01	-25.76	-27.57	-28.89	-34.00	-28.14	-31.58
$C_{31}$	-29.24	-36.06	-29.06	-31.12				
平均值	-28.41	-33.63	-26.58	-27.95	-28.02	-32.90	-27.03	-28.43

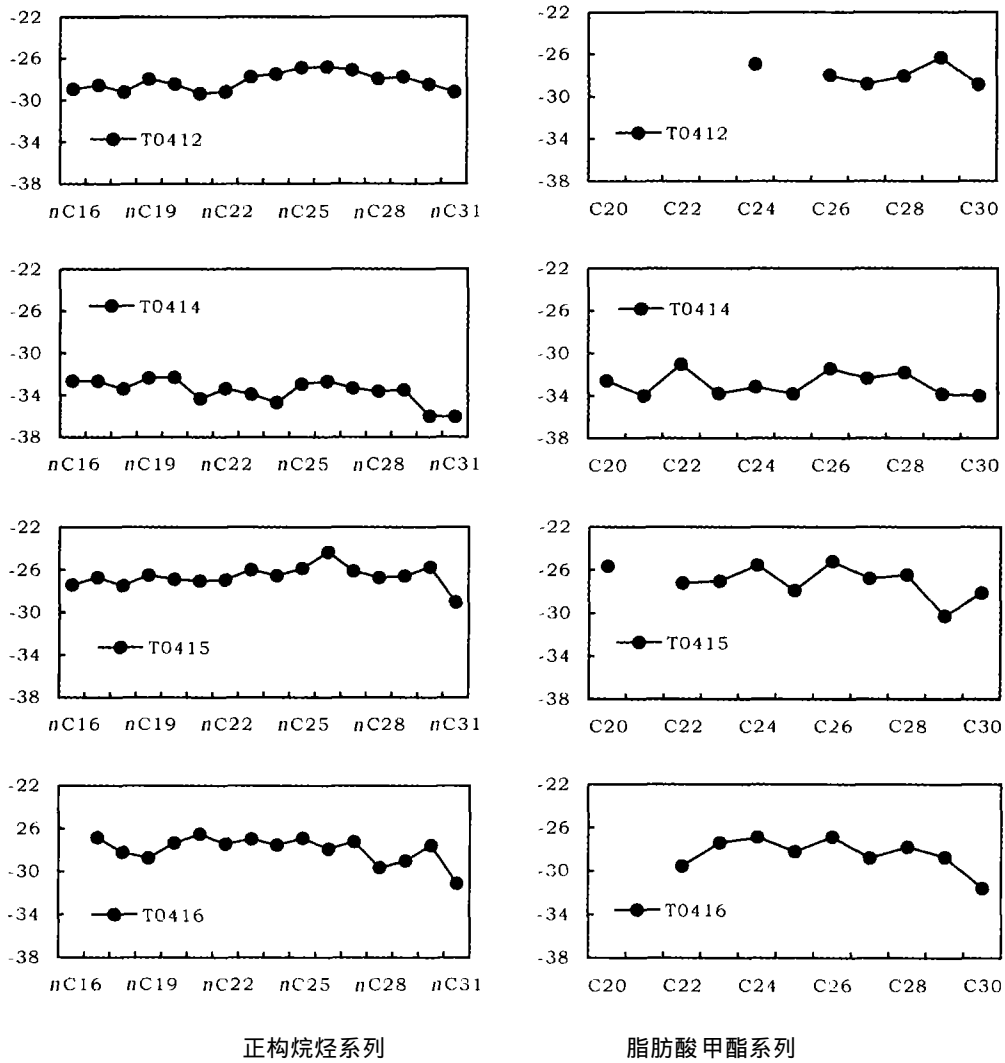


图 3 样品中正构烷烃化合物和脂肪酸甲酯化合物的碳同位素分布曲线对比 ( $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ , PDB)

Fig 3 Comparison showing the carbon isotopic compositions for the *n*-alkane hydrocarbons and fatty acid methyl esters ( $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ , PDB)

### 3 结论

在本项研究工作中, 分别从鄂尔多斯盆地北部东胜地区侏罗系直罗组有机质含量变化范围很大的煤、碳质泥岩以及泥岩样品中检出了丰富的脂肪酸甲酯系列化合物。在分布特征上, 脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中的正构烷烃系列极为相似。在碳同位素组成方面, 脂肪酸甲酯系列化合物与相应样品中正构烷烃系列也具有完全相同的变化范围。因此, 脂肪酸甲酯系列化合物很可能就是正构烷烃系列化合物十分重要的母质来源。在地质体中检出以脂肪酸甲酯形式存在的脂肪酸化合物是十分罕见的。因此, 个别地质环境条件下存在脂肪酸甲酯形式的类脂化合物, 可能意味着该地质体具有不同于其它沉积体的

特殊的地质环境条件。地质体中脂肪酸甲酯化合物的存在需要在相应的沉积体中维持一个比较严格的弱碱性—中性的环境。这种弱碱性—中性的成岩环境不仅对该地区有机质中脂肪酸甲酯化合物的形成和保存产生重要影响, 而且有可能对该地区砂岩型铀矿床的形成产生了某些积极的作用。

致谢 本工作为国家重点基础研究发展计划 (973 计划) “多种能源矿产共存成藏 (矿) 机理与富集分布规律”项目资助 (编号: 2003CB214606)。感谢核工业总公司 208 队提供了珍贵的样品。感谢夏毓亮和许荣华教授在采样过程中给予的热情指导和帮助。

## 参考文献 (References)

- Baker E A. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In: Cutler D F, Alvin K L, & Price C E, eds. *The Plant Cuticle*. London: Linn. Soc. Symp. Ser., 1982. 10: 139~165
- 段毅, 文启彬, 罗斌杰. 南沙海洋和甘南沼泽现代沉积物中单个脂肪酸碳同位素组成及其成因. *地球化学*, 1995, 24(3): 270~275 [Duan Yi, Wen Qibin, Luo Binjie. Carbon isotopic compositions and origin of individual fatty acids in modern sediments. *Geochimica* 1995, 24(3): 270~275]
- 段毅, 罗斌杰, 钱吉盛, 等. 南沙海洋沉积物中脂肪酸地球化学研究. *海洋与第四纪地质*, 1996, 16(2): 23~31 [Duan Yi, Luo Bingjie, Qian Jishen, et al. Study organic geochemistry of fatty acids in recent sediments from Nansha Sea area. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1996, 16(2): 23~31]
- 向明菊, 史继扬, 周友平, 屈定创. 不同类型沉积物中脂肪酸的分布、演化及生烃意义. *沉积学报*, 1997, 15(2): 84~88 [Xiang Mingju, Shi Jiyang, Zhou Youping, Qu Dingchun. The distribution and evolution of fatty acids in various sediments and its significance. *Acta Sedimentologica Sinica* 1997, 15(2): 84~88]
- 周友平, 史继扬, 向明菊, 屈定创. 可溶一元正脂肪酸分布模式表征参数有效性分析. *中山大学学报 (自然科学版)*, 1998, 37(增刊): 114~118 [Zhou Youping, Shi Jiyang, Xiang Mingju, Qu Dingchun. The validity evaluation of parameters for distribution model of monosaturated fatty acids in depositional environment differentiation. *Acta Scientiae Naturalis Universitatis Sunyatsen*, 1998, 37(Supp.): 114~118]
- 王占生, 王培荣, 林任子, 陈奇. 沥青质和非烃中脂肪酸的组成差异. *石油勘探与开发*, 2004, 31(3): 65~68 [Wang Zhansheng, Wang Peirong, Lin Renzi, Chen Qi. Occurrence of organic acids in asphaltene and resins. *Petroleum Exploration and Development* 2004, 31(3): 65~68]
- 林卫东, 周永章, 沈平. 南海中部表层沉积物中脂肪酸的组成、分布及来源. *广西师范学院学报 (自然科学版)*, 2004, 21(4): 11~15 [Lin Weidong, Zhou Yongzhang, Shen Ping. Composition, distribution and source of fatty acids in Marine surface sediments from the Middle of South China Sea. *Journal of Guangxi Teachers Education University (Nature Science Edition)*, 2004, 21(4): 11~15]
- 王培荣, 姚焕新, 陈奇, 赵红. 伊敏湖底褐煤抽提物中有机化合物的组成特征. *江汉石油学院学报*, 1995, 17(2): 33~37 [Wang Peirong, Yao Huanxin, Chen Qi, Zhao Hong. Compositional characteristics of organic oxygen compounds in extract from Yimin in Brown Coal. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 1995, 17(2): 33~37]
- 张松林, 崔明中, 李振西, 等. 盐湖相低熟油脂肪酸的组成与分布特征. *沉积学报*, 1999, 17(1): 130~155 [Zhang Songlin, Cui Mingzhong, Li Zhenxi, et al. Composition and distribution features of fatty acids in salt-lake immature oils. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999, 17(1): 130~155]
- 史继扬, 向明菊. 未熟和低熟烃源岩中脂肪酸的赋存形式与分布特征. *科学通报*, 2000, 45(16): 1771~1775 [Shi Jiyang, Xiang Mingju. The occurrence of fatty acids in immature source rocks and their distribution characteristics. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(2): 166~170]
- 史继扬, 向明菊, 屈定创. 未熟-低熟烃源岩中脂肪酸的模拟实验及演化. *科学通报*, 2001, 46(18): 1567~1571 [Shi Jiyang, Xiang Mingju, Qu Dingchun. Simulation experiments for evolution of fatty acids in immature source rock. *Chinese Science Bulletin* 2001, 46(18): 1567~1571]
- 徐雁前, 刘生梅, 段毅. 柴达木盆地第四系沉积物中中长链脂肪酸乙酯化合物的检出及意义. *沉积学报*, 1994, 12(3): 99~105 [Xu Yangqian, Liu Shengmei, Duan Yi. Identification and significance of long chain fatty acids ethyl in Quaternary sediment from Qaidam Basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 1994, 12(3): 99~105]
- 瞿文川, 王苏民, 张平中, 等. 太湖沉积物中中长链脂肪酸甲酯化合物的检出及意义. *湖泊科学*, 1999, 11(3): 245~250 [Qu Wenchuan, Wang Sumin, Zhang Pingzhong, et al. Identification and significance of long chain fatty acid methyl ester in the surface sediment of Taihu lake. *Journal of Lake Sciences* 1999, 11(3): 245~250]
- 王培荣. *非烃地球化学和应用*. 北京: 石油工业出版社, 2002 [Wang Peirong. *Non-hydrocarbon Geochemistry and Application*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- Cooper J E. Fatty acids in recent and ancient sediments and petroleum reservoir. *Nature*, 1962, 193: 744~746
- Cooper J E, Bray E E. A postulated role of fatty acids in petroleum formations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1963, 27: 1113~1127
- Jung J W, Eisma E. Petroleum hydrocarbons generation from fatty acids. *Science* 1964, 144: 1451~1452
- Shimoyama A, Jones W P. Formation of alkanes from fatty acids in the presence of  $\text{CaCO}_3$ . *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1972, 36: 87~91
- Haddad R I. Quantifying early diagenesis of fatty acids in a rapidly accumulating coastal marine sediment. *Organic Geochemistry*, 1992, 19(1-3): 205~216
- Andersen B, Barth T, Thordsen T. Generation potential of carbon dioxide and organic acids from North Sea source rocks: yields and carbon isotopic composition. In: Oygard K ed. *Organic Geochemistry Poster Session From the 16th Internal Meeting on Organic Geochemistry*, Stavanger, 1993. 281~284
- 张在龙, 孙燕华, 劳永新, 等. 未熟生油岩中含铁矿物对脂肪酸低温催化脱羧生烃的作用. *科学通报*, 1998, 43(24): 2649~2653 [Zhang Zaibong, Song Yanhua, Lao Yongxin, et al. Fatty acids decarboxylation catalyzed by iron-bearing minerals in the immature source rocks at low temperature. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(24): 2649~2653]
- Simoneit B R T, Schoell H M, Kvenvolden K A. Carbon isotope systematics of individual hydrocarbons in hydrothermal petroleum from Escanaba Trough, Northeastern Pacific Ocean. *Organic Geochemistry* 1997, 26(7-8): 511~515
- Tuo J, Wang X, Chen J, Simoneit B R T. Aliphatic and diterpenoid hydrocarbons and their individual carbon isotope compositions in coals from the Liaohé Basin, China. *Organic Geochemistry*, 2003, 34

1615~ 1625

24 Schoell M, Simoneit B R T, Wang T G. Organic geochemistry and coal petrology of Tertiary brown coal in the Zhoujing mine, Baise Basin, South China—4. Biomarker sources inferred from stable carbon isotope compositions of individual compounds. *Organic Geochemistry* 1994, 21 (6-7): 713~ 719

25 Schoell M, Simoneit B R T, 王铁冠. 广西百色盆地州景矿第三系褐煤有机地球化学与煤岩学研究. IV. 单化合物碳稳定同位素推断生物标志物起源. *沉积学报*, 1995, 13(4): 73~ 81 [Schoell M,

Simoneit B R T, Wang Tiegua. Organic geochemistry and coal petrology of Tertiary brown coal in the Zhoujing mine, Baise Basin, South China—4. Biomarker sources inferred from stable carbon isotope compositions of individual compounds. *Acta Sedimentologica Sinica* 1995, 13 (4): 73~ 81]

26 Collister JW, Riley G, Stem B, Eglinton G, Fry B. Compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  analyses of leaf lipids from plants with differing carbon dioxide metabolism. *Organic Geochemistry* 1994, 21(6-7): 619~ 627

## The Content and Significance of Fatty Acid Methyl esters in Dongsheng Sedimentary Uranium Ore Deposits, Ordos basin, China

TUO Jin-cai<sup>1</sup> ZHANG Ming-feng<sup>1, 2</sup> WANG Xian-bin<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract** Organic matter associated with Dongsheng uranium ore interbedded organic matter-rich layers was investigated by gas chromatographic-mass spectrometry and carbon isotopic analysis. *n*-Alkanes in organic matter-rich strata are characteristic of a higher relative abundance of heavy-molecular-weight (HMW) homologues and are dominated by the  $\text{C}_{25}$ ,  $\text{C}_{27}$  or  $\text{C}_{29}$  with distinct odd-to-even carbon number predominance from  $\text{C}_{23}$  to  $\text{C}_{29}$ . *n*-Fatty acid methyl esters in the organic matter-rich layers are characterized by a higher relative abundance of heavy-molecular-weight (HMW) homologues, maximizing at  $\text{C}_{24}$ ,  $\text{C}_{26}$  or  $\text{C}_{28}$  with distinct even-over-odd carbon number predominance above  $\text{C}_{22}$  homologue range. All of the results indicate that the organic matter in Dongsheng uranium ore interbedded organic matter-rich layers are mainly derived from terrestrial high plants, very similar distribution patterns and consistent carbon isotopic variations between *n*-alkanes and *n*-fatty acid methyl esters in corresponding samples suggest a product-precursor relationship between these two series of compounds. Thus, we assumed that *n*-fatty acid methyl esters could be the diagenetic intermediates for the formation of *n*-alkanes from *n*-fatty acids in the samples studied, or at least they are derived from the same source precursors. *n*-Fatty acid methyl esters can be formed and preserved in a strict mild-alkali to neuter geological environment. So a geologically mild-alkali to neuter environment probably also is a favorable factor for the formation and preservation of the uranium ore deposit in this region.

**Key words** *n*-fatty acid methyl ester; *n*-alkane; individual compound; carbon isotopic composition