

文章编号:1000-0550(2014)04-0790-07

鄂尔多斯盆地东北部上古生界煤系烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷类的分布及成因探讨^①

程熊^{1,2} 陈小慧^{1,2} 张敏^{1,2}

(1. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室 武汉 430100; 2. 长江大学地球环境与水资源学院 武汉 430100)

摘要 鄂尔多斯盆地东北部上古生界 10 个典型煤系烃源岩样品中检测出三类重排藿烷,分别为 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷、 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷以及未知结构的早洗脱重排藿烷。烃源岩样品中藿烷类具有两种分布型式:①以 C_{30} 藿烷为主峰的 $\text{C}_{27}\sim\text{C}_{35}$ (缺 C_{28}) 藿烷类常规分布型式,含少量 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷和 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷;②以富含 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷和 C_{30} 早洗脱重排藿烷为特征。含有高~异常高相对丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的烃源岩样品,其 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的绝对浓度也明显较高。从烃源岩生源构成、有机质丰度及其赋存状态、成熟度以及沉积与成岩环境 4 个方面探讨了高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的成因。研究表明,烃源岩中高丰度的 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的形成与高等植物生源有一定联系,亚氧化—氧化的扇缘泥炭沼泽相是形成高~异常高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的有利沉积相带;而烃源岩显微组分、有机质丰度及其赋存状态以及有机质成熟度的影响尚不确定。

关键词 鄂尔多斯盆地 煤系烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷 生源构成 沉积环境

第一作者简介 程熊 男 1989 年出生 硕士研究生 地球化学 E-mail: zhangdadexiaoxiong@163.com

通讯作者 张敏 男 教授 E-mail: zmjpu@163.com

中图分类号 P618.130.1 **文献标识码** A

0 引言

重排藿烷类是指与正常藿烷具有相同的碳环骨架,而甲基侧链碳位有所不同的一类生物标志物^[1-3],其广泛分布于烃源岩与原油中。目前在烃源岩和原油中发现并检测出的重排藿烷类化合物有四种类型,分别为: $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷、 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷、碳数为 $\text{C}_{29}\sim\text{C}_{34}$ 的 21-甲基-28-降藿烷和早洗脱重排藿烷,其中 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷系列与 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷系列的含量最为丰富。

$18\alpha(\text{H})$ -22,29,30-三降新藿烷(Ts)是第一个在地质体中被检测出的重排藿烷化合物^[4],之后 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷的 C_{29} ^[1]与 C_{30} ^[3]同系物、 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷^[1]、早洗脱重排藿烷^[3]以及 21-甲基-28-降藿烷系列^[5]相继被鉴定出来。与正常藿烷类似, $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷系列也通常以 C_{30} ($17\alpha(\text{H})$ - C_{30} 重排藿烷, C_{30}^*)为主峰。迄今,国内外许多学者对 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的形成条件和地球化学属性进行了探讨,但其来源与成因尚无定论^[6]。

长期以来,人们对鄂尔多斯盆地三叠系延长组湖

相烃源岩生物标志化合物进行了较为细致的研究,张文正等^[7]对延长组不同烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的分布进行了报道,而文献中尚未见到对鄂尔多斯盆地上古生界煤系烃源岩中异常高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷分布的报道。本文在阐述鄂尔多斯盆地东北部上古生界典型煤系烃源岩重排藿烷的分布与组成的基础上,结合研究区地质背景与烃源岩样品地球化学资料,对烃源岩中异常高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的主控因素进行深入研究,研究结果不仅有助于揭示异常高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的来源与成因机理、丰富和完善生物标志化合物研究的理论与方法,而且也是寻找油气勘探新理论与新应用的突破口。

1 地质背景与样品

鄂尔多斯盆地作为华北地台西端的次级构造单元,北与阴山为邻,南与秦岭相望,东接吕梁隆起,西到六盘山一线,总体可划分为 6 个二级构造单元,分别为伊盟隆起、渭北隆起、伊陕斜坡、西缘逆冲带、晋西挠褶带和天环坳陷,是一个多旋回克拉通叠合盆地^[8-10]。盆地晚古生代经历了海相沉积为主的陆表

①国家自然科学基金(批准号:41272170)、湖北省自然科学基金(编号:2013CFB97)与国家科技重大专项(编号:2011ZX05007-001)联合资助
收稿日期:2013-10-10;收修改稿日期:2013-12-31

源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷相对丰度则明显高于双1井和榆20井烃源岩样品,其 $\text{C}_{29}^*/\text{C}_{29}$ 降藿烷与 $\text{C}_{30}^*/\text{C}_{30}$ 藿烷比值分别介于 $0.36\sim 0.91$ 、 $0.72\sim 1.56$ (表1)。饱和烃绝对定量分析表明,富含 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的苏27井烃源岩,其 C_{29}^* 和 C_{30}^* 绝对浓度同样较高,二者分别介于 $0.26\sim 0.54\ \mu\text{g}/\text{mg}$ 、 $0.54\sim 1.72\ \mu\text{g}/\text{mg}$,双1井和榆20井烃源岩二者绝对浓度则分别介于 $0.06\sim 0.20\ \mu\text{g}/\text{mg}$ 、 $0.14\sim 0.53\ \mu\text{g}/\text{mg}$ (表1)。

3 异常高丰度 C_{30}^* 的主控因素

3.1 生源构成

一般来说,生源可能是通过影响藿烷类先质的丰富程度,从而影响到 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的相对丰度。Volkman *et al.*^[15], Philp *et al.*^[16], 罗斌杰等^[17]认为

C_{30}^* 可能是一种陆源生物标志物; Moldowan *et al.*^[11] 认为 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷和 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷系列仍为细菌生源; 张水昌等^[18] 认为红藻可能是 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的生源; 刘海钰等^[19] 研究表明, 咸化环境下的藻类可能是 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的一种生源。

取自双1井和榆20井的5个烃源岩样品, $\text{C}_{27}\sim\text{C}_{29}\alpha\alpha\alpha\text{R}$ 甾烷主要呈以 C_{27} 为主峰的不对称“V”字型分布, $\text{C}_{27}/\sum\text{C}_{27-29}\alpha\alpha\alpha\text{R}$ 甾烷比值介于 $0.33\sim 0.39$, $\text{C}_{29}/\sum\text{C}_{27-29}\alpha\alpha\alpha\text{R}$ 甾烷比值介于 $0.33\sim 0.40$, 表明烃源岩有机质母质为低等水生生物与陆源高等植物的混合输入^[20]; 而苏27井5个烃源岩样品规则甾烷主体呈反“L”型分布, 其 $\text{C}_{27}/\sum\text{C}_{27-29}\alpha\alpha\alpha\text{R}$ 甾烷比值介于 $0.16\sim 0.27$, $\text{C}_{29}/\sum\text{C}_{27-29}\alpha\alpha\alpha\text{R}$ 甾烷比值介于 $0.39\sim 0.55$, 表明烃源岩有机母质主要来源于陆源高等植

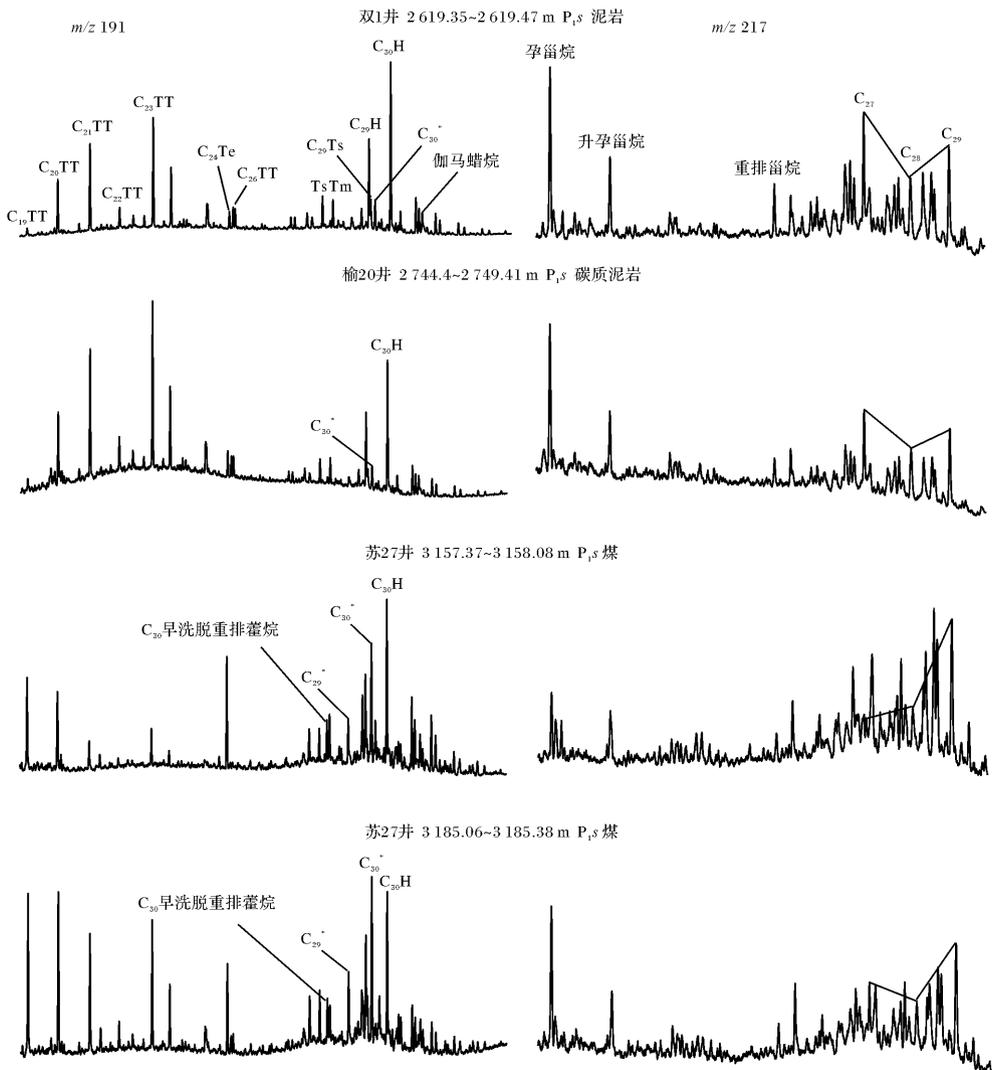


图2 研究区典型烃源岩样品甾、萜烷分布

注: TT.三环萜烷; Te.四环萜烷; H.藿烷;

Fig.2 The distribution of steranes and terpanes in typical source rocks in the study area

TT.tricyclic terpane; Te.tetracyclic terpane; H.hopane

物^[20](图2、表1)。双1井和榆20井烃源岩样品C₂₄四环萜烷相对丰度较低,C₂₄四环萜烷与C₂₆三环萜烷比值(C₂₄Te/C₂₆Tt)介于0.42~0.62;而苏27井岩样C₂₄Te非常丰富,C₂₄Te/C₂₆Tt比值主体介于2.39~7.07,表明烃源岩生源中陆源有机质贡献较多^[21]。

上述甾、萜烷的分布特征表明,双1井和榆20井烃源岩原始母质输入为混源型,低等水生生物贡献较大,而苏27井烃源岩有机母质则主要为陆源高等植物。以水生生物输入占优势的双1井与榆20井烃源岩样品,其C₂₉^{*}、C₃₀^{*}相对丰度和绝对浓度都明显低于以陆源高等植物生源为主的苏27井烃源岩。虽然这不足以断定17 α (H)-重排藿烷的先质物直接来源于陆源高等植物,但可以肯定的是高丰度的17 α (H)-重排藿烷与高等植物生源存在一定的成因联系。

3.2 显微组分与有机质丰度

全岩显微组分分析结果(表2)显示,所研究的10个烃源岩样品的类型指数TI都<0,介于-68.2~-3.8,表明烃源岩样品有机质类型均为Ⅲ型。虽然10个样品的有机质类型相同,但其无机矿物与各种

有机显微组分百分含量均存在较大的差异,而且这一差异性与17 α (H)-重排藿烷丰度的差异性并无相关性(图3a、表2)。由此推断,烃源岩显微组分与重排藿烷的形成与富集并无必然联系。

研究表明^[7],分散的有机质赋存状态,TOC介于3%~6%更有利于高丰度C₃₀^{*}的形成。显然母质类型相似的双1井、榆20井与苏27井泥岩、碳质泥岩和煤的有机质富集程度及赋存状态都存在明显差异。但事实却是苏27井泥岩——有机质丰度低(TOC为2.5%、6.8%),有机质以分散状态分布,煤——有机质丰度高(TOC介于44.1%~63.1%),有机质以富集状态存在,其C₂₉^{*}与C₃₀^{*}相对丰度和绝对浓度都高;而双1井与榆20井的泥岩、碳质泥岩和煤C₂₉^{*}与C₃₀^{*}相对丰度和绝对浓度都低(图3b、表1)。由此可见,烃源岩有机质富集程度及赋存状态对17 α (H)-重排藿烷形成与富集的影响并不明确,也可能相对其他因素来说是次要的。

3.3 成熟度

烃源岩的成熟度是影响藿烷类(与甾烷类)化合

表2 烃源岩有机碳和显微组分

Table 2 The TOC and macerals of source rocks

井号	深度/m	层位	岩性	1	2	3	4	5	6	7	8
双1	2 619.35~2 619.47	P1s	泥岩	1.1	70.0	4.0	0.8	0.0	25.2	0.0	-3.8
双1	2 697.68~2 697.77	P1s	煤	33.1	9.6	71.2	16.8	0.8	1.6	0.0	-68.2
榆20	2 696.11~2 701.95	P ₂ sh	泥岩	2.2	58.0	15.6	0.4	0.8	25.2	0.0	-11.7
榆20	2 733.6~2 734.84	P1s	煤	62.2	74.6	2.4	0.0	0.4	22.6	0.0	-1.6
榆20	2 744.4~2 749.41	P1s	碳质泥岩	23.5	18.6	75.8	0.4	0.6	3.8	0.8	-57.0
苏27	3 155.03~3 155.97	P1s	泥岩	2.5	81.2	4.0	0.8	0.0	14.0	0.0	-3.8
苏27	3 157.37~3 158.08	P1s	煤	44.1	16.0	52.0	17.6	1.4	13.0	0.0	-51.1
苏27	3 184.46~3 185.06	P1s	煤	63.1	9.6	80.0	7.2	1.0	2.2	0.0	-65.3
苏27	3 185.06~3 185.38	P1s	泥岩	6.8	55.6	21.6	0.0	0.2	22.6	0.0	-16.1
苏27	3 223.19~3 223.45	C ₂ b	煤	58.4	19.2	68.8	12.0	0.0	0.0	0.0	-63.6

注:1.TOC;2.无机矿物含量(%);3.镜质组含量(%);4.惰性组含量(%);5.壳质组含量(%);6.腐泥组含量(%);7.次生有机质含量(%);8.类型指数(TI)。

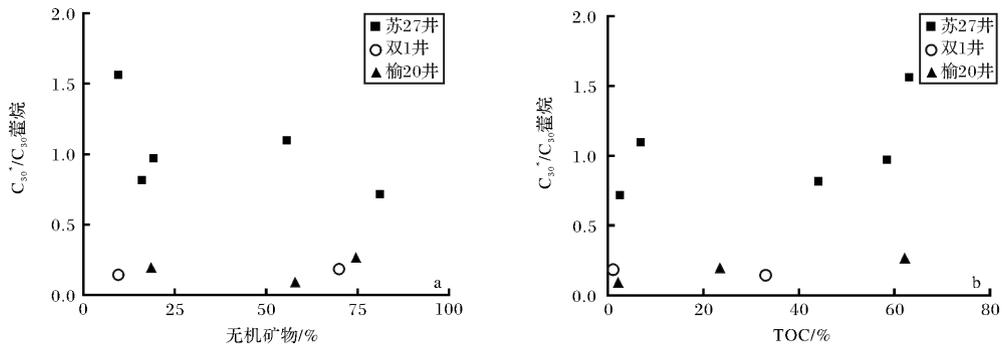


图3 无机矿物含量与C₃₀^{*}/C₃₀藿烷(a)和TOC与C₃₀^{*}/C₃₀藿烷(b)相关图

Fig.3 Correlation plots of inorganic minerals content versus C₃₀^{*}/C₃₀-hopane (a) and TOC versus C₃₀^{*}/C₃₀-hopane (b)

物重排作用的因素之一^[7]。实验分析表明,苏27井烃源岩样品 C_{30}^* 与 C_{27} 重排甾烷相关性很好(表1),反映二者在形成条件和成因机理方面具有一定的相似之处。一般认为,较高的成熟度有利于甾烷重排作用的发生,形成高丰度的重排甾烷,据此推测较高的成熟度也应有利于重排藿烷的形成^[7]。

笔者取样分析测试显示,杭锦旗地区苏27井上古生界烃源岩样品 R_o 介于0.8%~0.9%,位于榆林地区的双1井与榆20井 R_o 介于1.0%~1.2%,与文献^[22]报道的成熟度相比略微偏低。但总体而言,符合鄂尔多斯盆地上古生界有机质成熟度南高北低的特征。

苏27井烃源岩成熟度相近,均达到成熟阶段,但其 C_{30}^* 绝对浓度以及相对丰度都存在很大的差异,双1井与榆20井烃源岩样品成熟度具有一定的差异,但其 C_{30}^* 绝对浓度和相对丰度却相差不大,且成熟度明显较低的苏27井烃源岩更富含 C_{30}^* (图4、表1)。由此可见,成熟度并不是影响 C_{30}^* 丰度的主要因素。因此,在把 C_{30}^* 相对丰度作为成熟度参数使用时应慎重。

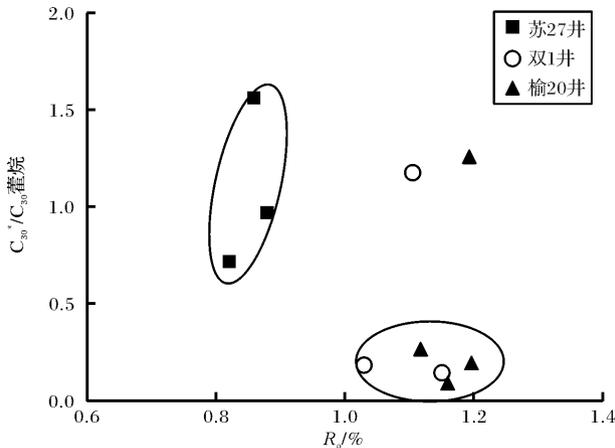


图4 C_{30}^*/C_{30} 藿烷与 R_o 相关图

Fig.4 Correlation plot of C_{30}^*/C_{30} -hopane versus R_o

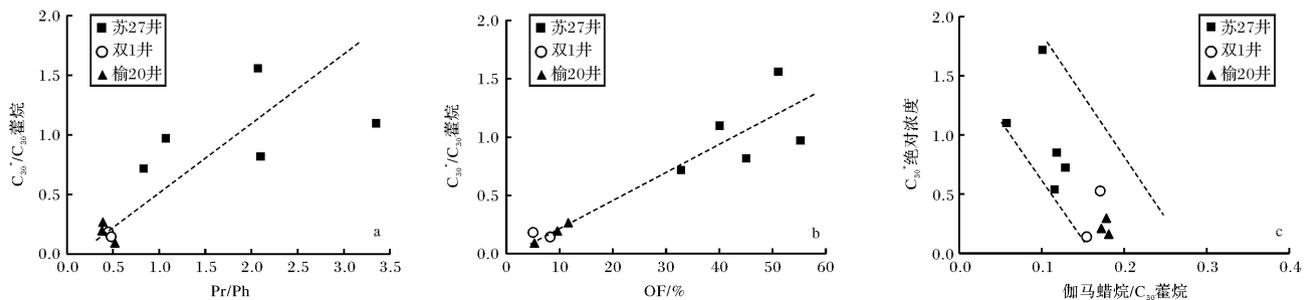


图5 C_{30}^*/C_{30} 藿烷与 Pr/Ph (a), C_{30}^*/C_{30} 藿烷与 氧芴 (OF,%) (b) 和 C_{30}^* 绝对浓度与 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷 (c) 相关图

Fig.5 Correlation plots of C_{30}^*/C_{30} -hopane versus Pr/Ph (a), C_{30}^*/C_{30} -hopane versus OF (b) and versus gammacerane / C_{30} -hopane (c)

3.4 沉积与成岩环境

从形成机理分析,沉积与成岩环境的氧化还原性应是影响烃源岩 C_{30}^* 相对丰度的重要因素,许多资料表明,形成于亚氧化—氧化的滨浅湖—沼泽相且富含黏土矿物的烃源岩中有高含量的 $17\alpha(H)$ -重排藿烷^[1,3,7,16,23-27]。

烃源岩样品分析测试资料(表1)表明,发育于岸后泥炭沼泽相与三角洲平原泥炭沼泽相的双1井与榆20井山西组烃源岩样品 Pr/Ph 介于0.38~0.52,呈现出明显的植烷优势,反映烃源岩形成于强还原沉积环境^[28];其三萜系列化合物以芴占优势,相对百分含量介于50.45%~74.86%,硫芴次之(介于20.11%~39.93%),氧芴含量最低(介于5.03%~11.67%),反映其为还原沉积环境,与姥鲛烷和植烷的分布相符。然而,苏27井山西组烃源岩样品 Pr/Ph 主体介于1~4,姥鲛烷优势明显,且三萜系列化合物具有氧芴高、硫芴低的特征,二者分别在32.8%~51.08%和13.89%~20.05%,表明该烃源岩形成于亚氧化~氧化沉积环境^[28],这与山西组沉积时期苏27井所在区域为扇缘泥炭沼泽沉积环境^[12]是相符的。

重排藿烷与伽马蜡烷在生源和成因上并无直接联系。伽马蜡烷含量通常反映沉积水体的盐度,但在一定程度上也能反映沉积环境的氧化还原性。伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷比值越大表明水体盐度越高,还原性越强;反之,还原性越弱。

从 C_{30}^*/C_{30} 藿烷与 Pr/Ph、 C_{30}^*/C_{30} 藿烷与氧芴(OF,%)相关图(图5a,b), C_{30}^* 绝对浓度与伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷相关图(图5c)可以看出, C_{30}^* 丰度随沉积环境氧化性的增强而增加,发育于氧化性较强的扇缘泥炭沼泽相的苏27井山西组烃源岩 C_{30}^* 丰度明显高于发育于岸后泥炭沼泽相的双1井和三角洲平原泥炭沼泽相的榆20井烃源岩。由此可见,沉积环境的氧化还原性对山西组煤系烃源岩 C_{30}^* 丰度有着

明显的影响,偏氧化的扇缘泥炭沼泽相是形成异常丰度 C_{30}^* 的有利沉积相带。

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地上古生界 10 个煤系烃源岩普遍发育 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷,但不同烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的型式。总体可分为两类:发育于岸后泥炭沼泽相、三角洲平原泥炭沼泽相的双 1 井和榆 20 井山西组烃源岩呈以 C_{30} 藿烷为主峰的 $\text{C}_{27} \sim \text{C}_{35}$ (缺 C_{28}) 藿烷类常规分布型式,含少量 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷和 $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷;发育于扇缘泥炭沼泽相的苏 27 井山西组烃源岩以富含 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷和 C_{30} 早洗脱重排藿烷为特征,个别样品以 C_{30}^* 为主峰。

(2) $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷相对丰度较高的苏 27 井煤系烃源岩,其绝对浓度也明显高于双 1 井和榆 20 井烃源岩。

(3) 结合烃源岩有机岩石学、地球化学和地质资料,认为显微组分、有机质丰度与有机质赋存状态和成熟度对 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷丰度的影响并无定论,在把 C_{30}^* 相对丰度作为成熟度参数使用时应慎重。

(4) 异常高丰度 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷与高等植物生源有一定的成因联系,发育于亚氧化—氧化的扇缘泥炭沼泽相的烃源岩易于形成高丰度的 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷。

参考文献 (References)

- Moldowan J M, Fago F J, Carlson R M K, *et al.* Rearranged hopanes in sediments and petroleum [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55(11): 3333-3353
- Telnaes N, Isaksen G H, Farrimond P. Unusual triterpane distributions in lacustrine oil [J]. *Organic Geochemistry*, 1992, 18(6): 785-789
- Farrimond P, Telnaes N. Three series of rearranged hopanes in Toarcian sediments northern Italy [J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 25(3/4): 165-177
- Whitehead E F. The structure of petroleum pentacyclanes [C]//Tissot B, Biennier F. *Advances in Organic Geochemistry 1973*. Paris: Editions Technip, 1974: 225-243
- Nytoft H P, Lutnas B F, Johansen J E. 28-Nor-sepergularanes, a novel series of rearranged hopanes [J]. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(7): 772-786
- 张敏. 地质体中高丰度重排藿烷类化合物的成因研究现状与展望 [J]. *石油天然气学报*, 2013, 35(9): 1-5 [Zhang Min. Progress in genesis research on abundant rearranged hopanes in geological bodies [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(9): 1-5]
- 张文正, 杨华, 候林慧, 等. 鄂尔多斯盆地延长组不同烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的分布及其地质意义 [J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2007, 39(10): 1438-1445 [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Hou Lin-

- hui, et al.* Distribution and geological significance of $17\alpha(\text{H})$ -diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Science China (Seri. D): Earth Science*, 2007, 39(10): 1438-1445]
- 张渝昌, 张荷, 孙肇才. 中国含油气盆地原型分析 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1997 [Zhang Yuchang, Zhang He, Sun Zhao cai. *China's Oil and Gas Basin Prototype Analysis* [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1997]
- 侯洪斌, 牟泽辉, 朱宏权. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 [Hou Hongbin, Mou Zehui, Zhu Hongquan. *The Gas Accumulation Conditions and Exploration Direction of Upper Palaeozoic in Northern Ordos Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 苗建宇, 赵建设, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩地球化学特征与沉积环境的关系 [J]. *中国地质*, 2007, 34(3): 430-435 [Miao Jianyu, Zhao Jianshe, Liu Chiyang, *et al.* Relationship between the geochemical characteristics and sedimentary environment of Permian hydrocarbon source rocks in Ordos Basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3): 430-435]
- 陈洪德, 侯中键, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究 [J]. *矿物岩石*, 2001, 21(3): 16-24 [Chen Hongde, Hou Zhongjian, Tian Jingchun, *et al.* Study on sequence stratigraphy of deposits and tectono-sedimentary evolution in Ordos Basin during Late Paleozoic [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2001, 21(3): 16-24]
- 陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地早二叠世聚煤环境与成煤模式分析 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 70-76 [Chen Quanhong, Li Wenhui, Guo Yanqin, *et al.* The analysis of coal accumulating environment and coal forming models in Early Permian, Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 70-76]
- 陈洪德, 李洁, 张成弓, 等. 鄂尔多斯盆地山西组沉积环境讨论及其地质启示 [J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2213-2229 [Chen Hongde, Li Jie, Zhang Chenggong, *et al.* Discussion of sedimentary environment and its geological enlightenment of Shanxi Formation in Ordos Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2213-2229]
- 陈小慧. 松辽盆地南部梨树断陷深层油气成因与成藏研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2009 [Chen Xiaohui. *Study on the origin and accumulation of deep oil and gas in Lishu Fault Depression in southern Songliao Basin* [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2009]
- Volkman J K, Alexander R, Kagi R I, *et al.* A geochemical reconstruction of oil generation in the Barrow Sub-basin of western Australia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1983, 47(12): 2091-2105
- Philip R P, Gilbert T D. Biomarker distribution in oils predominantly derived from terrigenous source material [C]//Leythaeuser D, Rullkötter J. *Advances in Organic Geochemistry 1985*. Oxford: Pergamon Press, 1986: 73-84
- 罗斌杰, 王春江, 董成默, 等. 朝鲜安州盆地原油地球化学特征 [J]. *石油学报*, 1995, 16(4): 40-47 [Luo Binjie, Wang Chunjiang, Dong Chengmo, *et al.* Organic geochemical characteristics of oils from Anzhou Basin, DPR Korea [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 16(4): 40-47]

- 18 张水昌,张保民,边立曾,等. 8亿多年前由红藻堆积而成的下马岭组油页岩[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2007,37(5):636-643 [Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Bian Lizeng, *et al.* The oil shale formed by the accumulation of the red algae more than 800 million years ago in Xiamaling Formation [J]. Science China(Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(5): 636-643]
- 19 Liu Haiyu, Zhang Min, Li Xing. Genesis study of high abundant 17α (H)-diahopanes in Lower Cretaceous lacustrine source rocks of the Lishu Fault Depression, Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2014, 33(2): 201-206
- 20 Huang Wenyan, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43(5): 739-745
- 21 Philp R P, Gilbert T D. Biomarker distributions in Austrian oils predominantly derived from terrigenous source material [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(1/2/3): 73-84
- 22 张文正,李剑锋,管川莉. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地形成的气源条件研究[J]. 低渗透油气田, 1998, 3(2): 13-23 [Zhang Wenzheng, Li Jianfeng, Zan Chuanli. Study on the source of deep basin gas of Upper Palaeozoic in Ordos Basin [J]. Low Permeability Oil & Gas Fields, 1998, 3(2): 13-23]
- 23 Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993
- 24 朱扬明,钟荣春,蔡勋育,等. 川中侏罗系原油重排藿烷类化合物的组成及成因探讨[J]. 地球化学, 2007, 36(3): 253-260 [Zhu Yangming, Zhong Rongchun, Cai Xunyu, *et al.* Composition and origin approach of rearranged hopanes in Jurassic oils of central Sichuan Basin [J]. Geochimica, 2007, 36(3): 253-260]
- 25 赵孟军,张水昌. 17α (H)-重排藿烷在塔里木盆地中的指相意义[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 36-38 [Zhao Mengjun, Zhang Shuichang. The special sedimentary facies indicated by 17α (H)-diahopanes in Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 36-38]
- 26 王春江,傅家谟,盛国英,等. 18α (H)-新藿烷及 17α (H)-重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用[J]. 科学通报, 2000, 45(13): 1366-1372 [Wang Chunjiang, Fu Jiamo, Sheng Guoying, *et al.* Geochemical properties and application of 18α (H)-neohopanes and 17α (H)-rearranged hopanes [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1366-1372]
- 27 肖中尧,黄光辉,卢玉红,等. 库车坳陷却勒1井原油的重排藿烷系列及其油源对比[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 35-37 [Xiao Zhongyao, Huang Guanghui, Lu Yuhong, *et al.* Rearranged hopanes in oils from the Quele 1 well, Tarim Basin, and the significance for oil correlation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 35-37]
- 28 Didyk B M, Simoneit B R T, Brassell S C, *et al.* Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation [J]. Nature, 1978, 272: 216-222

Origin of 17α (H)-Rearranged Hopanes in Upper-Palaeozoic Coal-Bearing Source Rocks in Northeast Ordos Basin

CHENG Xiong^{1, 2} CHEN Xiao-hui^{1, 2} ZHANG Min^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Exploration Technology for Oil & Gas Research (Yangtze University), Ministry of Education, Wuhan 430100;

2. School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan 430100)

Abstract: Geochemical characteristics of saturated hydrocarbons have been discussed on the basis of GC/MS analysis for the 10 typical coal-bearing source rock samples in northeast Ordos Basin. Three series of rearranged hopanes, 17α (H)-diahopanes, 18α (H)-neohopanes and unidentified early-eluting rearranged hopanes, were detected. The analytical results showed that the hopane series compounds have two different distribution patterns. One is conventional pattern, which has high abundance of regular hopanes, low abundance of 17α (H)-diahopanes and 18α (H)-neohopanes, represented by source rock samples from Yu 20 and Shuang 1 well. The other one is unconventional model, characterized by abnormally rich in 17α (H)-diahopanes and a C_{30} -early-eluting rearranged hopane, represented by source rock samples from Su 27 well. The source rocks from Su 27 well high relative abundance of 17α (H)-diahopanes and also high absolute concentration. The main controlling factors of extremely abundant 17α (H)-diahopanes are discussed from the composition of organic materials, maceral, the abundance of organic matters and its occurrence, maturity, depositional and diagenetic environment. The result shows that the origin and accumulation of high abundance of 17α (H)-diahopanes in source rocks has a close relationship with higher plants source materials. Weak oxidation to oxidation fan marginal peat bog facies is a favorable sedimentary facies for forming a significant proportion of 17α (H)-diahopanes. However, the influences of maceral, maturity, the abundance of organic matters and its occurrence are not sure.

Key words: Ordos Basin; coal-bearing source rocks; 17α (H)-diahopane; composition of organic materials; depositional environment