

文章编号: 1001- 6112(2007)02- 0188- 04

鸡西盆地地下白垩统煤系 烃源岩生物标志物地球化学特征

高福红, 高红梅, 樊 馥
(吉林大学 地球科学学院, 长春 130061)

摘要: 应用气相色谱和色谱-质谱等分析方法, 对鸡西盆地地下白垩统煤系烃源岩的泥岩和煤岩生物标志物进行研究。结果表明, 泥岩正构烷烃为前单峰型, 主峰碳为 C_{16} 或 C_{18} , Pr/Ph 分布于 1.16~2.90, Pr/nC_{17} 大于 1; 煤岩正构烷烃为后单峰型, 主峰碳为 C_{23} 或 C_{22} , Pr/Ph 分布于 2.86~11.22, Pr/nC_{17} 为 2.1~3.33; 泥岩和煤岩 OEP 和 CPI 值集中在 1.0 附近, 已进入成熟阶段。生标中泥岩三、四环萜烷/ C_{30} 藿烷比值为 2.37~3.62, $C_{31}22S/22(S+R)$ 值为 0.57~0.61, Ts/Tm 为 0.47~0.81, γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷为 0.11~0.34 之间, 规则甾烷内 $\alpha\alpha 20R$ 构型呈“V”型分布, 母质来源以水生生物为主, 形成于还原环境, 沉积介质咸化程度高, 有利于有机质的保存和转化; 煤岩三、四环萜烷/ C_{30} 藿烷比值低于泥岩, $C_{31}22S/22(S+R)$ 值在 0.6 附近, Ts/Tm 和 γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷值极低, 规则甾烷 $\alpha\alpha 20R$ 构型分布呈反“L”型, 母质来源以高等植物为主, 形成于氧化环境, 经历了较强的降解作用。

关键词: 泥岩; 煤岩; 生物标志化合物; 下白垩统; 鸡西盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOMARKERS EXTRACTED FROM THE LOWER CRETACEOUS COAL MEASURES ROCKS IN JIXI BASIN

Gao Fuhong, Gao Hongmei, Fan Fu

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China)

Abstract: By the Gas chromatography and the Gas chromatography-mass spectrogram analysis, the biomarkers in the Lower Cretaceous mud rocks and coals of coal measures from Jixi Basin were studied. The results indicate that n -alkanes in mud rocks show front single-peak type, with the main peak carbons to be C_{16} or C_{18} . The ratio of Pr/Ph is 2.86~11.22, Pr/nC_{17} is larger than 1. The n -alkanes in coals show rear single-peak type, with the main peak carbons to be C_{22} or C_{23} . The ratios of Pr/Ph and Pr/nC_{17} are 2.86~11.22 and 2.1~3.33 respectively. The values of the OEP and CPI in both mud rocks and coals concentrate on 1.0. The thermal evolution has reached maturation stage. The biomarkers in mud rocks show that the ratio of tricyclic terpane plus tetracyclic terpane to $C_{30}H$ is 2.37~3.62. The $C_{31}22S/22(S+R)$, Ts/Tm and $G/C_{30}H$ are 0.57~0.61, 0.47~0.81 and 0.11~0.34 respectively. The $\alpha\alpha 20R$ homosteranes in mud rocks appears to be in asymmetrical “V” distribution. The analytic result of the biomarkers show the mud rocks coming mainly from aquatic organisms and depositing in reducing environment with more saline water, which is better for preservation and transformation of organics. The biomarkers in coals show that the ratio of tricyclic terpane plus tetracyclic terpane to $C_{30}H$ is lower than that in mud rocks. The ratio of $C_{31}22S/22(S+R)$ is about 0.6, the Ts/Tm and $G/C_{30}H$ are very low. The $\alpha\alpha 20R$ homosteranes of coals appear to be in inverted “L” distribution. The coals are mainly from higher plants, and deposit in oxidizing environment.

Key words: mud rock; coal; biomarkers; the Lower Cretaceous; Jixi Basin

收稿日期: 2006-05-25; 修订日期: 2007-01-31。

作者简介: 高福红(1963—), 女(满族), 辽宁朝阳人, 副教授, 博士, 从事岩石学和油气地球化学研究。

基金项目: 国家油气资源战略选区专项(XQ-2004-07)。

鸡西盆地是我国东北地区具有油气显示的盆地之一,煤田钻井过程中曾发生天然气井喷^[1,2]。下白垩统为该区主要的烃源岩层系,属滨浅湖—沼泽相沉积,烃源岩主要是煤系泥岩和煤岩,累计厚度最大达480 m,占地层总厚度的40%以上^[1,3]。盆地勘探有效面积较小,主要集中在盆地南部平原镇凹陷和梨树镇凹陷区,已有研究证明下白垩统泥岩和煤岩均为气源岩^[3,4]。大庆油田研究院曾对鸡D2、鸡参1和鸡3井部分油砂、泥岩和煤岩样做过GC/MS分析,并进行了初步油源对比,结果显示煤和泥岩均为油砂油源。盆地边缘及中部隆起区(剥蚀比较严重)勘探程度相对较低,但下白垩统含煤地层出露良好^[1]。本文对研究程度较低地区的野外露头及部分井下样品进行对比研究,为下一步油气勘探钻井提供依据。

1 样品采集及分析条件

野外露头样品采自鸡西盆地鸡东拗陷北部和南部边缘以及梨树镇拗陷西部边缘的下白垩统剖面(图1),相关分析在中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院实验中心进行。井下样品的井位分布于梨树镇拗陷中部,分析数据由大庆石油研究院提供。

气相色谱分析在美国HP-5890GC分析仪上进行,色谱柱为弹性石英毛细柱OV-1(30m×0.22 mm);检测器为氢火焰离子化监测器,330℃;气化室为恒温310℃;柱温为100~310℃;速率为8℃/min;氢气为30 mL/min;空气为300 mL/min;分流为30 mL/min。色谱—质谱

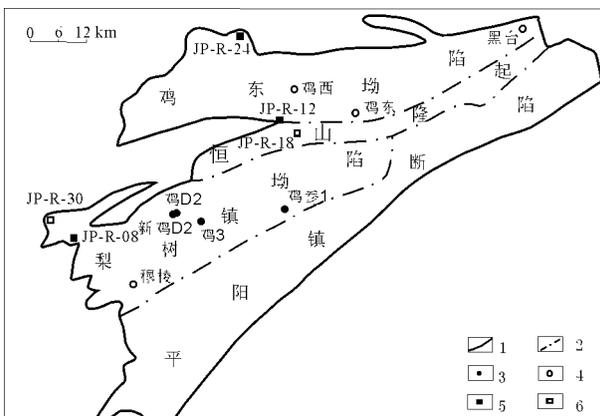


图1 鸡西盆地下白垩统煤系烃源岩采样点及井下样品井位分布

1. 盆地边界; 2. 构造分区线; 3. 井位及井号;
4. 地名; 5. 泥岩采样点; 6. 煤采样点

Fig. 1 Sampling and well sites in the coal measure rocks of the Lower Cretaceous in Jixi Basin

分析在英国FISONS MD800上进行,色谱柱为HP-5MS(60 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序为饱和烃以4℃/min升温速率从50℃升温到220℃,再以2℃/min从220℃升温到320℃。

2 族组分

泥岩饱和烃平均含量为17.42%,芳烃平均含量为42.21%,饱/芳比范围比较大(0.09~4.72),35.3%的样品显示饱和烃馏分占优势的特征。煤岩饱和烃平均含量为14.14%,芳烃平均含量51.05%,饱/芳比均小于1,芳烃馏分占优势;非烃和沥青质含量较低。井下样品的芳烃含量相对较低,沥青质含量较高。族组分分析结果反映了煤系烃源岩的特点,有机质演化程度达到成熟^[5,6]。

3 饱和烃气相色谱特征

3.1 泥岩饱和烃气相色谱特征

3.1.1 正构烷烃

泥岩正构烷烃的谱峰特征主要呈单峰型(图2)。主峰碳为C₁₆, C₁₈或C₂₇,碳数分布范围为C₁₂~C₃₃,轻重比C₂₁⁻/C₂₂⁺主要分布在0.89~3.57,以低碳数同系物占优势,反映烃源岩以水生低等生物输入为主,同时也有陆源高等植物的输入^[7]。(C₂₁+C₂₂)/(C₂₈+C₂₉)比值分布在1.3~4.56之间,表明其高碳数同系物主要集中在C₂₁~C₂₇。表征有机质成熟度的正构烷烃OEP值多集中于0.92~1.08之间,碳优势指数CPI值分布于1.05~1.19之间,奇偶优势不明显,显示成熟有机质特征^[7]。井下样品和露

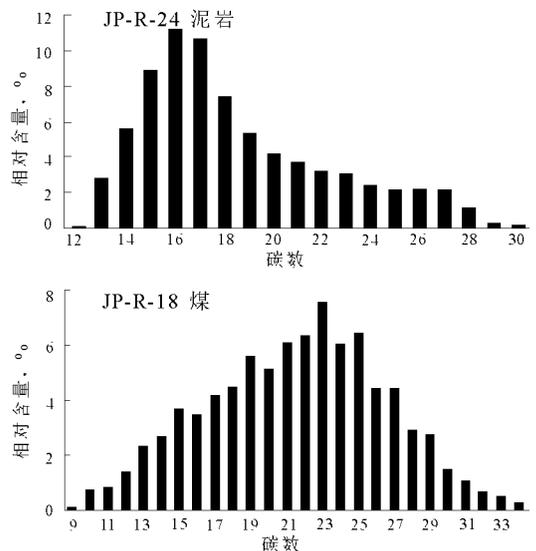


图2 鸡西盆地下白垩统烃源岩中正构烷烃分布

Fig. 2 Distribution of *n*-pentane in the source rocks of the Lower Cretaceous in Jixi Basin

头样品值没有差别, 具有很大可比性。

3.1.2 类异戊间二烯烷烃

井下和露头泥岩姥植比 (Pr/Ph) 均分布于 1.16~2.9 区间, 显示姥鲛烷优势, 表明这些样品中有机质形成于较还原环境^[7,8]。 $Pr/n C_{17}$ 和 $Ph/n C_{18}$ 能较好地反映有机质的降解程度, 一般降解较严重的样品其姥鲛烷和植烷的相对丰度会大于其相邻的正构烷烃^[5]。本文中井下和露头样品 $Pr/n C_{17}$ 和 $Pr/n C_{18}$ 分别分布于 0.54~1.67 和 0.09~0.83。

3.2 煤岩饱和和烃气相色谱特征

3.2.1 正构烷烃

煤岩正构烷烃的峰型主要为单峰型(图 2), 露头样品主峰碳为 C_{23} 或 C_{22} , 井下样品为 C_{16} 或 C_{11} , 碳数分布范围相似, 为 C_9-C_{35} 。轻重比 C_{21^-}/C_{22^+} 为 0.69~2.1, 反映煤岩有机质的母质来源以陆源高等植物输入为主, 也有大量低等水生生物输入^[6,7]。 $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$ 值分布在 1.83~2.75 之间, 高碳数同系物主要分布在 $C_{21}-C_{27}$ 之间。煤岩气相色谱分析所显示的大量低碳数同系物的存在, 可能是在母质沉积时有低等生物的输入, 也可能与煤对重烃类较强的吸附有关^[9]。成熟度参数 CPI 为 1.27~1.30, OEP 多分布于 1.07~1.16 之间, 奇偶优势不明显, 烃源岩已达成熟阶段^[7]。与井下样品相比, 露头样品除了主峰碳更偏向于后峰型外, 其它参数基本相似。

3.2.2 类异戊间二烯烷烃

井下和露头煤岩的 Pr/Ph 均为 3.06~11.93,

呈明显的姥鲛烷优势, 表明煤岩中有机质形成于氧化条件(水体较浅)下, 且为陆源植物的输入^[8,10]。准噶尔盆地侏罗系以陆源植物为主要母质输入类型的烃源岩、煤岩及原油物质的 Pr/Ph 值分布在 2.86~11.22 之间^[5], 与本次研究样品相似。 $Pr/n C_{17}$ 均分布在 2.1~3.33, 反映了该煤岩样曾经遭受过强烈的降解过程, 使正构烷烃的相对丰度显著降低^[5]。

4 生物标志化合物特征

4.1 泥岩的生物标志化合物特征

4.1.1 萜烷

在 $m/z 191$ 质量色谱图(图 3a)中, 三环萜烷和藿烷系列化合物的相对丰度大小和分布特征受沉积环境和母质类型控制^[6], $(\text{三环} + \text{四环萜烷})/C_{30}$ 藿烷比值分布在 2.37~3.62 之间, 这种分布特征与我国较咸化古环境的地质样品相似。反映有机质成熟度参数的 $C_{31} 22S/22(S+R)$ 值分布区间为 0.57~0.61, Ts/Tm 为 0.47~0.81, 均显示成熟有机质特征; γ -蜡烷主要反映沉积水介质条件, 特别是盐度^[11], 高 γ -蜡烷常能指示有机质沉积时的强还原超盐度环境^[6,7,12], 泥岩 γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷分布在 0.11~0.34 之间, 井下略高于露头。

4.1.2 甾烷

根据泥岩饱和烃 $m/z 217$ 质量色谱图(图 3b), 泥岩甾烷系列化合物以规则甾烷为主, 含有一定量的重排甾烷, 规则甾烷内 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型的 C_{27} , C_{28} 和

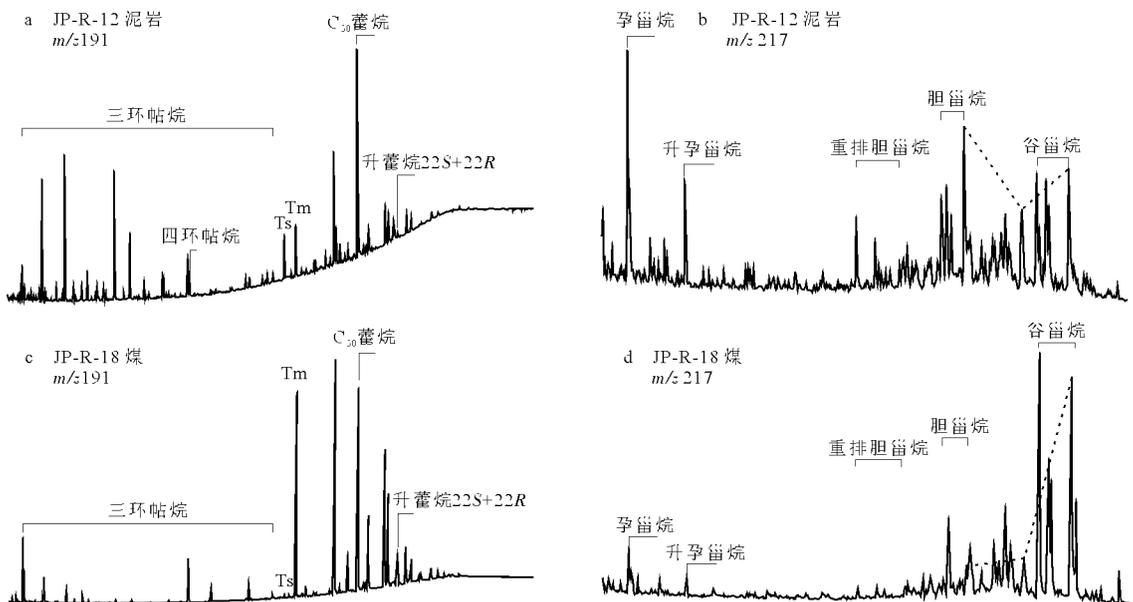


图 3 鸡西盆地下白垩统烃源岩甾、萜烷质量色谱

Fig. 3 Triterpane ($m/z 191$) and Sterane ($m/z 217$) chromatograms in the source rocks of the Lower Cretaceous in Jixi Basin

表 1 鸡西盆地下白垩统烃源岩生物标志化合物分析数据

Table 1 The analytical data of biomarker in the source rocks of the Lower Cretaceous in Jixi Basin

样品编号	岩性	(三环+ 四环 萜烷) / C ₃₀ H	T _s /T _m	G/C ₃₀ H	C ₃₁ 22S/ 22(S+ R)	(孕+ 升孕甾 烷) / C ₂₇ 甾烷	C ₂₇ 重排/ C ₂₇ 甾烷	C ₂₉ ααS / (S+ R)	C ₂₉ ββ/ (ββ+ αα)	ααR C ₂₇ / C ₂₉	ααR C ₂₈ / C ₂₉
JP- R- 08	泥岩	2.38	0.79	0.15	0.58	0.48	0.32	0.42	0.37	0.76	0.42
JP- R- 12	泥岩	2.37	0.81	0.13	0.57	0.48	0.34	0.43	0.38	0.78	0.42
JP- R- 24	泥岩	3.62	0.47	0.11	0.61	0.88	0.34	0.43	0.38	0.86	0.36
鸡 D2	泥岩		0.75	0.45				0.31	0.31	0.98	0.70
JP- R- 18	煤	0.53	极低	极低	0.60	0.14	0.14	0.57	0.31	0.06	0.09
JP- R- 30	煤	0.15	0.07	极低	0.61	0.07	0.04	0.53	0.39	0.05	0.17
鸡参 1	煤		0.06	0.09				0.42	0.32	0.41	0.21

C₂₉的组成分布均为“V”分布(C₂₇> C₂₈< C₂₉), 具有明显的 C₂₇优势, ααα20R C₂₇/C₂₉ 为 0.76~ 0.98, αααRC₂₈/C₂₉ 为 0.36~ 0.70, 井下略高于露头, 指示水生低等浮游生物和藻类有机质的输入^[13, 14]。

表 1 中 C₂₉ααα20S/20(S+ R) 值和 C₂₉αββ/(αα+ ββ) 值是较理想的有机质演化程度参数^[15], 其比值分别在 0.31~ 0.43 和 0.31~ 0.38 之间, 井下样品略低于露头, 反映成熟有机质的特征, 样品经历过较强异构化过程^[5]。样品中检测出了较高孕甾烷和升孕甾烷(图 3b), 孕甾烷系列的高低代表着沉积水体的咸化程度及生物降解作用的强度^[6, 16], 主要归属藻类生源^[7], 其与 C₂₇甾烷的比值分布于 0.48~ 0.88(表 1), 说明样品与某些菌藻类低等生源输入有关, 沉积时水体咸化程度较高, 并经历了较强的生物降解作用。C₂₇重排甾烷/C₂₇甾烷为 0.32~ 0.34, 反映样品沉积时陆源粘土矿物和陆源有机质的淡水输入不充分^[6]。

4.2 煤岩生物标志化合物特征

4.2.1 萜烷

根据煤岩饱和烃 *m/z* 191 质量色谱(图 3c), C₃₁ 22S/22(S+ R) 值均在 0.6 附近, 反映煤岩已达成熟。T_s/T_m 既受成熟度的影响, 又受环境的影响^[6, 7], 井下和露头样品 T_s/T_m 和 γ- 蜡烷/C₃₀藿烷比值极低, (三+ 四环萜烷)/C₃₀藿烷也明显低于泥岩, 反映煤岩陆源沼泽相的特征^[6], 来源于水体比较开阔(盐度相对较低)、较动荡的淡水环境^[6, 7]。

4.2.2 甾烷

在煤岩饱和烃 *m/z* 217 质量色谱(图 3d)中, 甾烷系列化合物以规则甾烷为主, 规则甾烷内 ααα20R 构型的 C₂₇, C₂₈ 和 C₂₉ 的组成分布呈反“L”型(C₂₇< C₂₈< C₂₉), 具有明显的 C₂₉ 优势, ααα20R C₂₇/C₂₉ 和 ααα20R C₂₈/C₂₉ 井下样品略高于露头, 比值较低, 指示煤岩母质具有丰富的陆生高等植物来源。但也有专家认为, C₂₉ 甾烷来源于藻类低等水生生物, 不一定代表高等植物的输

入^[3, 17, 18]。

露头 and 井下样品的 C₂₉ααα20S/20(S+ R) 和 C₂₉αββ/(αα+ ββ) 值基本无差别(表 1), 同泥岩一样, 有机质已进入成熟阶段, 且样品也经历了较强的异构化过程^[5]。(孕甾烷+ 升孕甾烷)/C₂₇甾烷的含量既可以指示沉积水体的咸化程度, 也可以反映成熟度^[6]。本文中泥岩和煤岩的成熟度基本一致, 但是煤岩孕甾烷系列含量明显低于泥岩(图 3, 表 1), 反映煤岩沉积环境的盐度低于泥岩。煤岩中 C₂₇重排甾烷/C₂₇甾烷比值极低, 表征陆源粘土及淡水的输入更少, 湖盆是处于一种外来的淡水注入更加贫乏的水体环境^[6]。这可能与早白垩世海侵事件的海水输入有关。

5 结论

1) 所研究的泥岩和煤岩样品均经历了较高的热演化, 已进入了大量生烃的成熟阶段。

2) 泥岩成烃母质主要来源于低等水生生物, 同时也有陆生高等植物的输入; 煤岩有机质主要为陆生高等植物来源, 同时又有大量低等水生生物的输入, 有机母质类型较好。

3) 煤岩的沉积环境属于较氧化环境, 样品曾经遭受过较强烈的降解作用, 淡水输入比较贫乏, 这可能与早白垩世海侵事件的海水输入有关; 泥岩为还原环境, 水体咸化程度要比煤岩高, 更有利于有机质的保存和转化; 相对来说煤岩和泥岩呈互层状, 反映古环境水体处于氧化—还原交替、过渡状态。

4) 通过对下白垩统烃源岩可溶有机质中饱和烃及生物标志化合物的初步讨论比较, 井下和露头样品反映信息情况基本一致, 具有很好的可比性。因此, 对油气勘探钻井薄弱地区进行露头研究具有很大意义。从有机质生源构成、沉积环境和成熟度考虑, 鸡西盆地都具有较好的油气勘探潜力。

(下转第 198 页)

约,产生了分类聚集作用。因此,本区油气勘探中应加强和深化沉积微相的研究。

参考文献:

- 1 贾承造,魏国齐,姚慧君等.塔里木盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995.1~174
- 2 秦建中.青藏高原羌塘盆地油源及运移过程[J].石油实验地质,2006,28(5):450~457
- 3 王玉华,侯启军.柴达木盆地北缘地区中生代地层油气生成与资源评价[M].北京:科技出版社,2004.361~378
- 4 Dzou L I, Hughes W B. Geochemistry of oils and condensates, K. Field, offshore Taiwan: a case study in migration fractionation. [J]. *Org Geochem*, 1993, 20(4): 437~462
- 5 赵孟军,张水昌.塔里木盆地天然气成因类型及成藏条件[J].中国石油勘探,2001,6(2):27~31
- 6 赵孟军,黄第藩.初论原油单体烃同位素分布特征与生油环境之间的关系[J].地球化学,1995.42(3):255~260
- 7 戴金星.从碳、氢同位素组成特征剖析柯克亚油气田的油气成

因[J].石油勘探与开发,1989,16(6):18~23

- 8 唐友军,侯读杰,肖中尧.柯克亚油田原油地球化学特征和油源研究[J].矿物岩石地球化学通报,2006,25(2):160~164
- 9 黎茂稳.油气二次运移研究的基本思路和几个应用实例[J].石油勘探与开发,2000,27(4):11~19
- 10 李贤庆,侯读杰.应用含氮化合物探讨油气运移和注入方向[J].石油实验地质,2004,26(2):200~205
- 11 彼德斯 K E,莫尔多万 J M.生物标记化合物指南[M].姜乃煌译.北京:石油工业出版社,1995.1~236
- 12 Mango F D. The origin of light cycloalkanes in petroleum: a kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54: 1315~1323
- 13 Larter S R, Mills N. Phase-controlled molecular fractionations in migrating petroleum charges[A]. In: England W A, Fleet A J, eds. *Petroleum Migration*[M]. London: The Geological Society, 1991. 137~148
- 14 Curiale J A, Bromley B W. Migration induced compositional changes in oils and condensates of a single field[J]. *Org Geochem*, 1996, 24(12): 1097~1114

(上接第 191 页)

参考文献:

- 1 王建国,王林凤.鸡西含煤沉积盆地早期油气勘探[J].中国海上油气,1999,15(2):120~126
- 2 张健,王彦霞.鸡西煤田煤层气开发可行性分析[J].煤炭技术,2004,23(3):104~106
- 3 刘桂荣,胡善亭.鸡西煤田沉积体系与煤成气的分布[J].黑龙江矿业学院学报,1994,4(2):12~17
- 4 胡善亭,王英哲,刘桂荣等.鸡西煤田煤成气赋存规律[J].东北煤炭技术,1994,(2):45~48
- 5 孟任祥,房嫒,徐永昌等.柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志物特征及其地球化学意义[J].沉积学报,2004,22(4):729~736
- 6 王玉华,侯启军,孙德君等.柴达木盆地北缘地区中生代地层油气生成与资源评价[M].北京:科学出版社,2004.257~267
- 7 Pters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 120~159
- 8 苗建宇,周立发,邓昆等.新疆北部中二叠统烃源岩有机质与沉积环境的关系[J].地球化学,2004,33(6):551~660
- 9 赵长毅,程克明.煤成油排驱主要制约因素[J].科学通报,1997,42(16):1755~1758
- 10 刘全有,刘文汇,孟任祥等.塔里木盆地侏罗系煤岩热模拟生

物标志化合物特征研究[J].沉积学报,2004,22(4):724~728

- 11 王传刚,王铁冠,陈建平.对准噶尔盆地东部彩南油田侏罗系油藏原油族(组)群类型的认识[J].石油实验地质,2003,25(2):183~189
- 12 Fu Jiamo, Sheng Guoying, Peng Pingan, et al. Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 119~126
- 13 Ahmed M, Smith J W, George S C. Effects of biodegradation on Australian Permian coals[J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 1311~1322
- 14 袁彩萍,徐思煌,贾霍甫等.渤海湾盆地东营凹陷孔店组烃源岩特征研究[J].石油实验地质,2006,28(2):177~181
- 15 马安来,张水昌,张大江等.东营凹陷草桥油田生物降解原油沥青质钨离子催化氧化研究:生标分布及地质意义[J].石油实验地质,2005,27(3):288~292
- 16 谢邦华,王兰生,张鉴等.龙门山北段烃源岩纵向分布及地化特征[J].天然气工业,2003,23(5):21~24
- 17 Sari A, Bahtiyar I. Geochemical evaluation of the Besikli oil field Kahta Adiyama Turkey [J]. *Marine and Petroleum Geology*. 1999, 16: 151~161
- 18 Grantham P J. The occurrence of unusual C₂₇ and C₂₉ sterane predominances in two types of Oman crude oil [J]. *Organic geochemistry*, 1986, 9: 1~10