

三塘湖盆地煤层与原油地球化学特征对比

张枝焕¹, 关强², 阳安成³

(1. 石油大学, 北京 102200; 2. 三塘湖石油勘探经理部, 新疆乌鲁木齐 830000;

3. 中国新星石油公司勘探研究院, 湖北荆州 434100)

摘要: 三塘湖盆地的煤系主要发育于侏罗系西山窑组和八道湾组。4口井30余块样品测试结果表明, 煤系有机质丰度及可抽提有机质的量都较高; 正构烷烃具明显奇偶优势; 姥植比为1.25~8.17; 正规甾烷内组成分布具明显C₂₉优势, C₃₁藿烷含量高, 伽马蜡烷含量低; 干酪根碳同位素为-2.279‰和-2.413‰; 镜质体反射率为0.50%~0.62%, 正处于主要生烃期; 但其地球化学特征明显异于侏罗系二叠系含油岩芯抽提物, 表明侏罗系煤系生成的烃类并未从煤系中排出, 对本区油气聚集没有贡献。所以在研究煤成烃时, 更应注意研究煤成烃的排出条件。

关键词: 煤层; 地球化学; 特征; 油源对比; 排烃; 三塘湖盆地

第一作者简介: 张枝焕, 男, 36岁, 副教授(博士生), 有机地球化学与石油地质学

中图分类号: P599

文献标识码: A

近年来, 煤成油研究和勘探已经引起人们的关注。大量生产和科研成果表明, 煤系地层不仅能够生成油气, 而且可以形成相当数量的油气聚集和油气田。但煤的排烃问题, 仍然是一个值得注意的问题, 并非所有的煤成烃都能从煤层中排出并聚集成藏。

1 地质概况

三塘湖盆地位于新疆维吾尔自治区东北部, 北邻

中蒙边界的阿尔泰山的北塔山, 南抵天山东段的白依山, 与蒙古接壤(图1)*。盆地呈NW-SE向延伸, 东西长500 km, 南北宽约46 km, 面积约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地总体呈两隆一坳格局, 自北向南可分为北东冲断褶皱带、中央坳陷区和西南冲断褶皱带3个构造单元。盆地基底主要由石炭系、二叠系组成, 盖层以中新界为主, 沉积岩厚度在3 000 m以上。

生油岩主要分布在中、下侏罗统水须沟群, 中、上

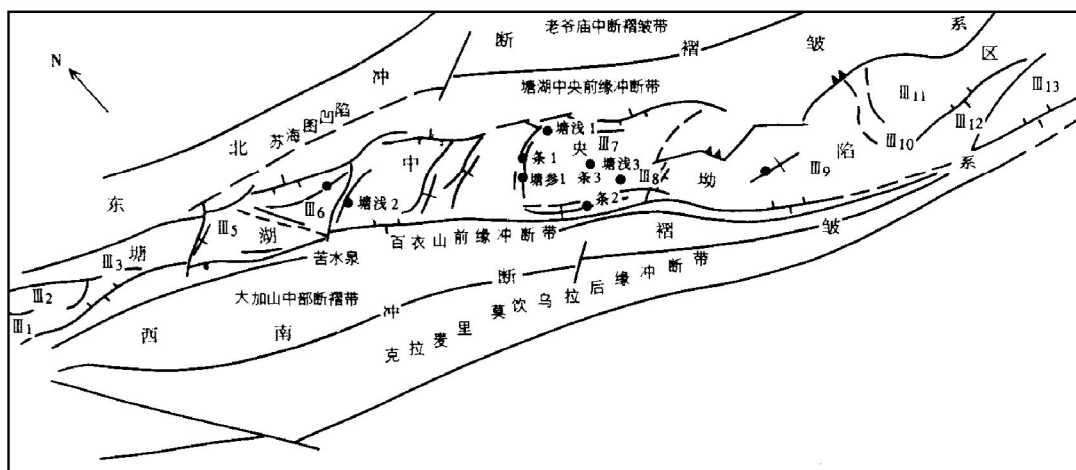


图1 三塘湖盆地及周缘构造区划图(据张或丹, 1995)

Fig. 1 Division map of structures in Santanghu Basin and its periphery

III₁—乌通凹陷; III₂—小青山凸起; III₃—库木苏凹陷; III₄—咸水泉凸起; III₅—汉水泉凹陷; III₆—沙河坝凸起;

III₇—一条湖凹陷; III₈—岔哈泉凸起; III₉—马朗凹陷; III₁₀—一方方良凸起; III₁₁—卓毛湖凹陷; III₁₂—苇北凸起; III₁₃—苏鲁克凹陷

* 新疆三塘湖盆地石油勘探项目经理部. 新疆三塘湖盆地石油勘探地球化学综合研究及资源评价. 1995

收稿日期: 1998-10-08

三叠统小泉沟群和二叠系上藉藉槽群。盆地内分布有砂砾岩和火成岩两类储层, 其中砂砾岩储层主要分布在中、下侏罗统水须沟群, 中、上三叠统小泉

沟群以上的地层;火成岩储层主要分布在二叠系和石炭系。盆地内分布有三套生储盖组合,第一套为中、上石炭统与下二叠统组成的深部生储盖组合;第二套为上二叠统组成的中部生储盖组合;第三套为中、上三叠统小泉沟群与中、下侏罗统水须沟群组成的上部生储盖组合。目前已在中侏罗统西山窑组砂砾岩及下二叠统卡拉岗组火成岩中发现了油气流或油气显示。

2 样品分析

本项研究样品主要采自中央坳陷区中部条湖凹陷和岔哈泉凸起的 4 口井(条 1、2 井,塘浅 2、3 井),煤样总数 30 个,其中侏罗系西山窑组 28 个,下侏罗统 2 个,另有侏罗系和二叠系含油岩芯样品 5 个。在煤样有机碳、热解、干酪根分离和镜检以及煤样和含油岩芯氯仿抽提的基础上,对煤和含油岩芯中可溶组分进行族组分分离,并对其中的饱和烃进行了气相色谱、气相色谱-质谱分析,对含油岩芯抽提物作了全组分及各个馏分的稳定碳同位素分析,对部

分煤样(干酪根)作了稳定碳同位素分析。

3 煤的地球化学特征

3.1 有机质丰度

上述 4 口井 30 个样品的分析表明,西山窑组煤样有机碳质量分数(TOC)为 17.50%~76.23%,平均值为 54.38%;生烃潜量(P_g)为 22.59~228.45 mg/g,平均值为 100.38 mg/g;氯仿沥青“A”为 0.105 5%~3.628 2%,平均值为 0.930 8%;总烃质量分数为 535.31×10^{-6} ~ $7\,568.43 \times 10^{-6}$,平均值为 $2\,485.96 \times 10^{-6}$ 。八道湾组煤样的有机碳质量分数为 56.95%~68.0%,平均值为 62.475%; P_g 为 185.508~197.73 mg/g;氯仿沥青“A”为 2.709 3%~2.909 5%,平均值为 2.805 7%;总烃质量分数为 $4\,541.25 \times 10^{-6}$ ~ $8\,878.38 \times 10^{-6}$,平均值为 $6\,709.82 \times 10^{-6}$ 。不同井区有机质丰度有所不同,其中条 1 井区有机质丰度最高,其次为条 2 井区,向塘浅 2 井、塘浅 3 井有机质丰度降低(表 1)。

表 1 三塘湖盆地部分井区煤层有机质丰度表

Table. 1 Organic abundances of Coal bed from some well of Santanghu Basin

井位	TOC/%	$P_g(S1+S2)/mg \cdot g^{-1}$	氯仿沥青“A”/%	总烃/%	层位
条 1 井	35.70~76.23 64.56(10)	102.09~209.01 133.35(10)	0.197 7~3.628 2 2.067 7(4)	0.006 8~0.075 7 489(4)	J _{2x}
条 2 井	17.50~65.30 48.31(8)	22.59~228.45 108.33(8)	0.105 5~0.470 0 0.269 0(5)	0.005 4~0.011 0 0.008 2(2)	J _{2x}
塘浅 2 井	13.73~66.93 52.93(6)	25.82~115.52 68.91(6)	0.396 5~0.902 0 0.599 3(2)	—0.010 5~0.019 10 0.014 98(2)	J _{2x}
塘浅 3 井	21.65~65.02 43.25(4)	1.55~70.32 49.25(4)	0.355 5(1)	0.011 7	J _{2x}
条 1 井	56.95(10)	197.73(1)	2.709 3	0.088 8(1)	J ₁
塘浅 2 井	68.00(1)	185.51(1)	2.909 0(1)	0.045 4(1)	J ₁

注:表 $\frac{a \sim b}{c(d)}$ 中 a 为最小值; b 为最大值; c 为平均值; d 为样品数

3.2 有机抽提物组成特征

3.2.1 族组成

侏罗系煤样抽提物具有饱和烃含量低,非烃、沥青质含量高的特点,其中饱和烃质量分数为 7.22%~24.38%,芳香烃 14.23%~35.54%,非烃 27.27%~50.47%,沥青质为 11.39%~32.91%,非烃+沥青质为 40.08%~78.55%。

3.2.2 正构烷烃

西山窑组和八道湾组煤层有机抽提物正构烷烃主峰碳为 23,具有较明显的奇偶优势,OEP 和 CPI 分别为 1.25~1.82 和 1.42~1.91, ($C_{21}+C_{22}$)/

($C_{28}+C_{29}$) 为 1.85~13, C_{21}^{-}/C_{22}^{+} 为 0.61~2.6。

3.2.3 类异戊间二烯烷烃

姥鲛烷含量比较高,与植烷相比具明显的优势,其相对含量大于相邻的正构烷烃的含量,Pr/Ph 为 1.25~8.17,平均值为 4.08,Pr/ nC_{17} 为 1.13~6.29,平均值为 2.63。

3.2.4 生物标志物

西山窑组和八道湾组煤样抽提物中甾萜烷系列化合物的组成具有以下特点:

(1) 正规甾烷内组成分布具有明显 C_{29} 优势,正规甾烷 $C_{27}:C_{28}:C_{29}$ 的平均比值为 6.54:10.86:81.60。

(2) 具有 C_{31} 藿烷含量较高, 伽马蜡烷含量较低, 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷比值很小的特点。

3.2.5 稳定碳同位素分布特征

稳定碳同位素值($\delta^{13}C$)高是本区西山窑组煤岩中干酪根的又一显著特征, 两个煤样干酪根 $\delta^{13}C$ 值分别为 -2.279‰ 和 -2.413‰ 。

3.3 煤岩的热演化程度

条1、条2井侏罗系西山窑组煤样分别取自1428~1889 m井段, 镜质体反射率 R_o 为 0.50‰ ~ 0.62‰ , OEP 为1.39~1.68, CPI 为1.53~1.68, $\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $S/(S+R)$, C_{30} 藿烷 $S/(R+S)$ 分布范围分别为0.1284~0.1730, 0.349~0.5834。塘浅2、3井西山窑组煤样深度为342.33~646.5 m, $\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $S/(S+R)$, C_{31} 藿烷 $S/(R+S)$ 分布范围分别为0.024~0.22, 0.1818~0.339。如果按照泥岩有机质热演化特征及判断标准分析, 西山窑组煤的各项地化指标都表明其仍然处于未成熟阶段。但煤的生烃条件与一般泥岩有一定的差别, 煤中有机质具有早生烃、早排烃的特点, 低煤阶($R_o=0.35\text{‰}$ ~ 0.70‰)是煤的生排烃最有利时期^[1], 因此本区西山窑组煤岩中有机质已经进入主要生烃阶段。

4 原油地球化学特征

侏罗系和二叠系含油岩芯抽提物具有以下特点:

(1) 侏罗系、二叠系含油岩芯抽提物具有饱和

烃含量较高, 芳烃、非烃含量中等, 沥青质含量较低的特点。其中侏罗系饱和烃质量分数为 56.32‰ ~ 64.2‰ , 芳烃为 15.8‰ ~ 21.38‰ , 非烃为 18.1‰ ~ 19.23‰ , 沥青质为 0‰ ~ 3.07‰ , 饱/芳值为2.63, 非/沥值为6.26。二叠系饱和烃质量分数为 59.02‰ ~ 62.60‰ , 芳烃为 13.70‰ ~ 21.1‰ , 非烃为 16.4‰ ~ 17.74‰ , 沥青质为 0‰ ~ 2.8‰ , 饱/芳值为2.8~4.57, 非/沥值为5.81~8.29。

(2) 侏罗系、二叠系含油岩芯抽提物正构烷烃主峰碳值较低, 为19~21, OEP 为1.04~1.16, 轻重比 $[(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})]$ 为2.25~3.98。

(3) 姥鲨烷、植烷含量较低, 姥鲨烷与植烷相比不具明显优势。其中 Pr/nC_{17} 为0.28~0.49, Pr/nC_{18} 为0.16~0.34, Pr/Ph 为0.98~2.05。这些比值与侏罗系煤中抽提物有较大的差别。

(4) 正规甾烷仍具 C_{29} 优势, 组成分布图略呈“反L”型, 但与侏罗系煤抽提物相比, C_{29} 优势明显变小, 其中 $\alpha\alpha 20RC_{29}:C_{28}:C_{27}$ 甾烷分别为19.4~34.6, 32.4~41.6, 32.2~39.0, 不具煤成烃的特征。

(5) 从萜烷系列化合物指纹图上看, C_{31} 后化合物含量较低(图2), 伽马蜡烷含量较高, 而 C_{31} 藿烷含量较低, 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值较大, 为0.17~0.3, 说明原油具湖相泥岩有机质成因的特征。此外, Ts/Tm 很大, 为0.555~1.083, C_{31} 藿烷 $S/(S+R)$ 为0.572~0.60, 说明其成熟度较高。

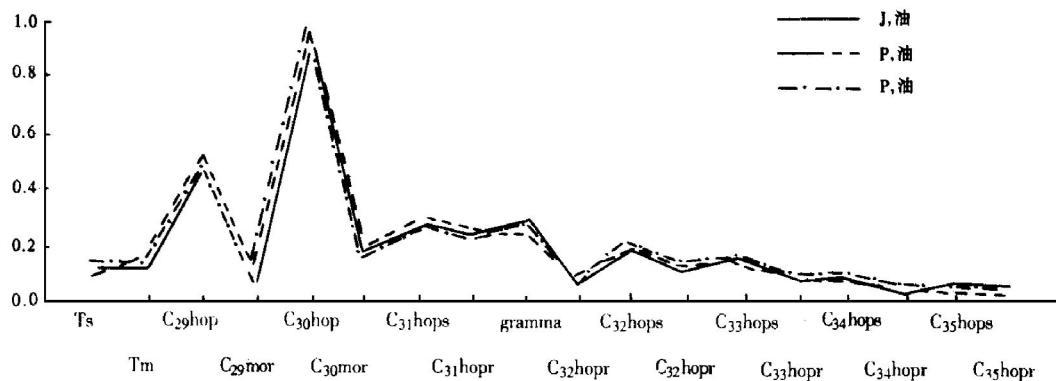


图2 三塘湖盆地侏罗系和二叠系五环三萜烷系列分布图

Fig. 2 Distribution of pentacyclic triterpanic series in the Jurassic and Permian Systems in Santanghu Basin

(6) 侏罗系、二叠系含油岩芯抽提物及各组分稳定同位素值都比较低, 其中全油为 -2.99‰ ~ -3.25‰ , 饱和烃为 -3.25‰ ~ -2.95‰ , 芳烃为 -3.25‰ ~ -2.69‰ , 非烃为 -3.14‰ ~ -2.43‰ , 沥青质为 -2.90‰ , 表现为典型湖相水生生物成因的原油的同位素组成特征。

5 侏罗系煤与侏罗系及二叠系原油对比

5.1 正构烷烃与类异戊间二烯烷烃

侏罗系煤与侏罗系、二叠系原油正构烷烃及类异戊间二烯烷烃组成之间存在较大的差异, 与原油相比, 类异戊二烯烷烃含量相对较高, 尤其是具有

明显的姥蛟优势(图 3)。

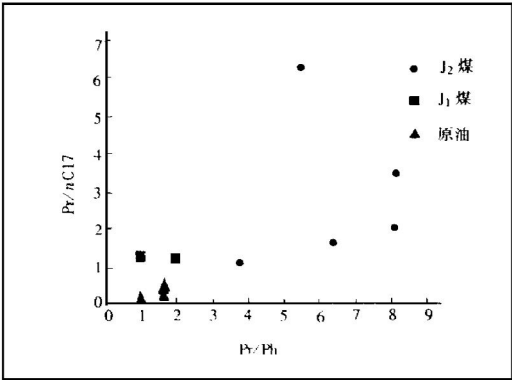


图 3 煤及原油 $Pr/Ph - Pr/nC_{17}$ 相关图

Fig. 3 Correlogram of $Pr/Ph - Pr/nC_{17}$ in coals and crude oils

5.2 生物标志物多因素对比

影响生物标志物组成的因素是十分复杂的,任何单一指标都具有局限性。如果生油岩和原油具有亲缘关系,那么二者无论在母源性质、沉积环境、成熟度上都应是高度一致的。因此我们在选择参数时必须同时考虑上述 3 个因素。参考前人的研究成果^[2],选择了 3 个能反映沉积环境的参数:

表 2 条湖凹陷煤与油生物标志物参数对比表

Table. 2 Comparison of biomark parameters for coals and oils in Tiaohu Sag

层位	C ₂₉ 规则甾烷 S/(S+R)	C ₂₉ 甾烷 ββ/(ββ+αα)	C ₃₂ 藿烷 S/R	C ₃₁ 藿烷 S/(S+R)	C ₂₉ 藿烷/莫烷	藿烷+莫烷 C ₂₉ /C ₃₀	伽马蜡烷 C ₃₀ 藿烷	20R 规则甾烷 C ₂₈ /C ₂₉	20R 规则甾烷 C ₂₇ /C ₂₈
西山窑组煤	0.024~0.156	0.211~0.407	0.193~1.361	0.181~0.583	0.339~1.686	0.337~1.071	0.068~0.087	0.090~0.244	0.016~0.241
下侏罗统煤	0.341	0.179	2.207	0.688	3.636	1.269	—	0.145	0.234
二叠系原油	0.497~0.502	0.444~0.460	1.177~1.461	0.541~0.572	6.828~7.299	0.488~0.523	0.286~0.300	0.732~0.743	0.409~0.642
侏罗系原油	0.349~0.580	0.377~0.740	1.260~1.490	0.559~0.597	17.02	0.170	0.38~0.583	1.030~1.070	0.692~1.074

从侏罗系煤与侏罗系、二叠系含油岩芯抽提物生物标志物多因素对比可以看出,侏罗系、二叠系原油与侏罗系煤对比较差,而原油之间对比较好。

5.3 生物标志物参数间对比

(1) 伽马蜡烷/C₃₀藿烷— $\alpha\alpha\alpha$ (20R) 甾烷 C₂₇/C₂₉ 关系图(图 4)表明,油样所落的位置与侏罗系煤样有很大差别。

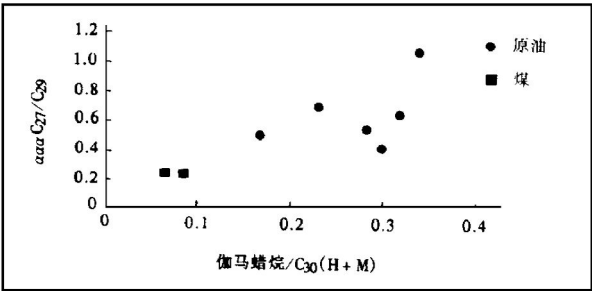


图 4 煤及原油伽马蜡烷/C₃₀(H+M)与 $\alpha\alpha\alpha C_{27}/C_{29}$ 相关图

Fig. 4 Correlogram of gammacerane/C₃₀(H+M) and $\alpha\alpha\alpha C_{27}/C_{29}$ in coals and crude oils

$\alpha\alpha\alpha$ (20R) 甾烷 C₂₇/C₂₉、 $\alpha\alpha\alpha$ (20R) 甾烷 C₂₈/C₂₉ (藿烷+莫烷) C₂₉/C₃₀; 一个反映母源的参数: 伽马蜡烷/C₃₀ (莫烷+藿烷); 5 个反映成熟度的参数: $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 S/(S+R)、C₃₂ 藿烷 S/R、C₂₉ 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 、C₂₉ 藿烷/莫烷、C₃₁ 藿烷 22S/(22R+22S), 共 9 个参数。从表 2 可以看出:

(1) 侏罗系煤 5 个反映成熟度的参数值都比较低,而侏罗系、二叠系的原油各项参数值都比较高,为成熟原油;

(2) 反映沉积环境的参数 $\alpha\alpha\alpha$ (20R) C₂₈/C₂₉, 侏罗系煤普遍较小,而侏罗系和二叠系原油都较大,且二者比较接近,侏罗系煤的(藿烷+莫烷) C₂₉/C₃₀ 普遍较大,侏罗系原油和二叠系原油较小;

(3) 伽马蜡烷主要来源于低等水生生物, C₃₀ 藿烷主要来于高等植物, 因此伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷能较客观地反映母质类型。侏罗系煤其值较低,西山窑组低于 0.087, 而侏罗系和二叠系原油其值较大 (> 0.24), 富含伽马蜡烷, 反映其母源类型与侏罗系煤有较大的差异。

(2) C₂₉ 甾烷 S/(S+R)、C₃₀ 藿烷/莫烷(图 5)表明,油样所落的位置与侏罗系煤样也有很大差别。

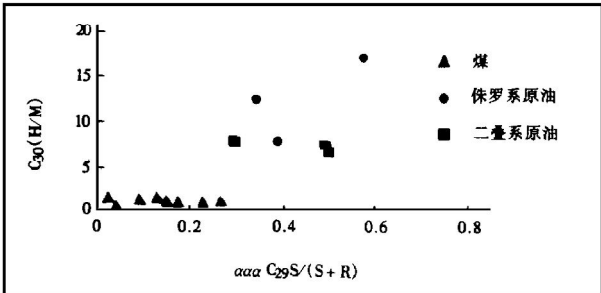


图 5 煤及原油 C₂₉甾烷 S/(S+R) - C₃₀藿烷/莫烷相关图

Fig. 5 Correlogram of C₂₉ sterane S/(S+R) - C₃₀hopane moretane in coals and crud oils

5.4 稳定碳同位素类型曲线对比

侏罗系煤的 $\delta^{13}C$ 值与侏罗系、二叠系原油同位素类型曲线有较大距离(图 6), 说明二者之间无亲缘关系。

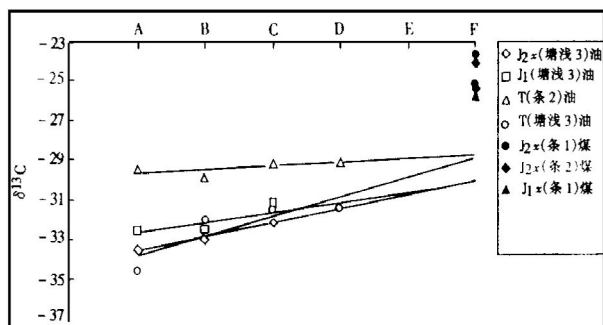


图6 侏罗系、二叠系含油岩芯同位素类型曲线

Fig. 6 Carbon isotope curves of Jurassic and Permian oil-bearing cores

A—饱和烃; B—全油(或抽提物); C—芳香烃; D—非烃; E—沥青质
(样品中沥青质含量很低, 未做碳同位素分析); F—煤中的干酪根

6 结论

尽管三塘湖盆地侏罗系煤层有机质丰度和可

抽提有机物含量极高, 并且已经进入煤的主要生烃阶段, 但其有机质提物与侏罗系及二叠系原油相比, 无论是正构烷、类异戊间二烯烷烃组成特征, 还是生物标志物特征或稳定碳同位素分布特征均存在明显的区别。由此推测侏罗系煤成烃并未排出, 对三塘湖盆地侏罗系和二叠系主要油层没有贡献。

参 考 文 献

- 1 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994, 160~ 163
- 2 程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M], 北京: 科学出版社, 1995, 117~ 126
- 3 程克明, 关德师, 陈建平, 等. 烃源岩生烃潜力的热模拟实验及其在油气勘探中的应用. 石油勘探与开发[J], 1995, 18(5): 1~ 10

CORRELATION OF GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS BETWEEN COALS AND CRUDE OILS IN SANTANGHU BASIN

Zhang Zhihuan¹ Guan Qiang² Yang Anchen³

(1. Petroleum University, Beijing; 2. Santanghu Managing Office of Petroleum Exploration Projects, Urumqi, Xinjiang;

3. Research Institute of Petroleum Exploration, CNSPC, Jingzhou, Hubei)

Abstract: Coal measures in Santanghu Basin mainly developed in Jurassic Xishanyao and Badaowan Formations. The test results of 30 samples collected in 4 wells indicate that the abundance and extractable contents of organic matter in the coal measures are both high, n-alkane possesses odd-even predominance; the ratio of Pr/Ph is 1.25~ 8.17; n-sterane has evident C₂₉ predominance; C₃₁ hopane content is high and gammacerane content is low; kerogen carbon isotopes are -2.279‰ and -2.413‰, the vitrinite reflectance is 0.50%~ 0.62% which is well in hydrocarbon generation period. The other geochemical characteristics differ clearly from the extracts of Jurassic and Permian oil-bearing cores. This suggests that Jurassic coal measures generated hydrocarbon is still in the coal measures, it means the coal measures made no contribution to the area's oil and gas accumulation. It thus concludes that we should pay more attention to the expulsion conditions of coal-formed hydrocarbon in the study of coal-formed hydrocarbon.

Key Words: coal measures; geochemistry; characteristic; oil source correlation; hydrocarbon expressing; Santanghu Basin