

民和盆地中侏罗统煤-油页岩层系生油特征

王春江 王有孝 罗斌杰 夏燕青

(中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

提 要 本文简要论述了民和盆地中侏罗统含煤及油页岩层系的生油特征, 探讨了盆地独特的石油地质和地球化学条件。原油主要地化特征为: Pr/Ph比值偏高 (2.65-3.15), 甾烷/藿烷比值极低 (0.03), C_{27} 甾烷较丰富, $T_s/T_m > 1$, 低硫芴/氟芴比值、较高含量的 C_{29} 降新藿烷及重排藿烷类化合物及相对丰富的长链联苯及烷基四氢萘系列化合物。中侏罗统煤-泥页岩层系含生油潜力明显不同的多类型油页岩, 多数油页岩属由藻类和陆生高等植物母质组成的混合型有机质, 沉积环境为淡水-微咸水弱氧化条件, 其地化特征也表现为高 Pr/Ph比值 (平均为 1.98), 低甾烷/藿烷及低硫芴/氟芴比值等特征。某些油页岩富含 C_{29} 降新藿烷及重排藿烷系列化合物, 它们应为主力源岩。油页岩多含再沉积型或沉积改造型有机质。异常地热作用对源岩演化及原油地化特征有重要影响。

关键词 民和盆地 油页岩 煤 沉积环境 再沉积型有机质

分类号 P618° 11, 12, 130° 1

第一作者简介 王春江 男 32 博士 有机地球化学

民和盆地位于甘肃与青海交界地带, 属中新生代内陆山间盆地, 面积约 10 040 km²。该盆地是我国最早进行石油地质工作的盆地之一。石油的工业聚集于 1953 年发现于盆地南部巴州坳陷的虎头崖, 为一小型油田。但此后, 该盆地的油气勘探一直未获重要进展。前人曾对该盆地中生界生油气层原油进行了系统的评价与研究^①。本文将主要研究该盆地原油及源岩的有机地球化学特征, 探讨石油形成的地质和地球化学条件。

1 中侏罗统煤系地层沉积组合特征

民和盆地基底主要由中祁连隆起带震旦系、寒武系变质岩及北缘部分地区的北祁连加里东褶皱带变质岩构成的复合基底。沉积盖层为中新生界, 最厚约 7 000 m, 盆地内三叠系地层分布尚无确切评价, 下侏罗统也只是局部出现, 盆地主要沉积盖层为中上侏罗统、白垩系和第三系。中侏罗统为煤系及湖相泥岩发育层段, 厚度 23~276 m, 上侏罗统分布较广, 为杂色砂、泥岩, 总厚为 415 m, 下白垩统为巨厚红色碎屑沉积, 厚度可达 3 971 m, 上白垩统分布局限, 红色碎屑沉积厚 40~413 m; 第三系分布广泛, 也为河流浅湖相红色碎屑岩及石膏沉积, 总厚可达 1 711 m。

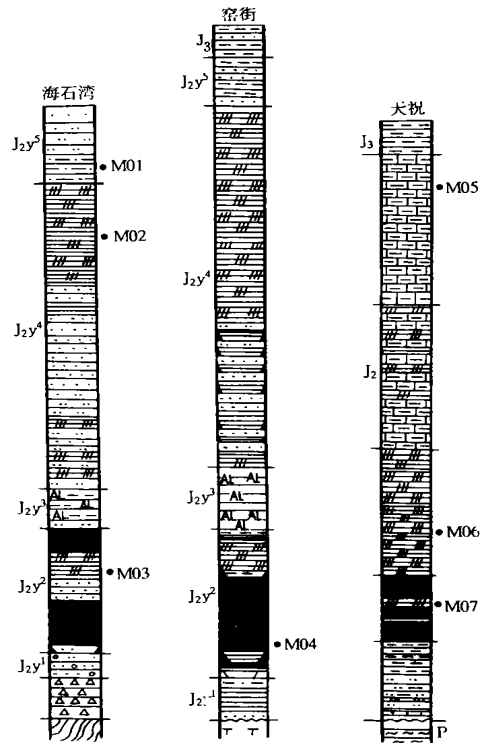


图 1 民和盆地中侏罗统沉积剖面柱状图

Fig. 1 Middle Jurassic sedimentary columnar profiles of the Minhe basin

^① 中国石油天然气总公司西北石油地质研究所, 中国科学院兰州地质研究所, 民和盆地中生界生油气层评价与油源对比, 1990
收稿日期: 1996-06-28

从沉积特征来看,生油岩分布仅限于中侏罗统窑街组(J_2y) (如图 1) 中侏罗统自下而上分为五个岩性段,即砂砾岩段(J_2y^1)、煤系层段(J_2y^2)、铝土泥页岩段(J_2y^3)、油页岩段(J_2y^4)和砂泥岩段(J_2y^5)。煤系层段自下而上又可分为第三含煤层段、第二含煤层段和第一含煤层段。在窑街矿区,煤层在第一层段较薄,厚为 2 m,第二层段煤平均厚 22 m,最厚可达 110 m,第三层段煤厚 1~2 m;并且,第二和第三层段之间夹有碳质页岩,第一和第二层段之间含有厚度可达 8 m 的油页岩和碳质页岩。

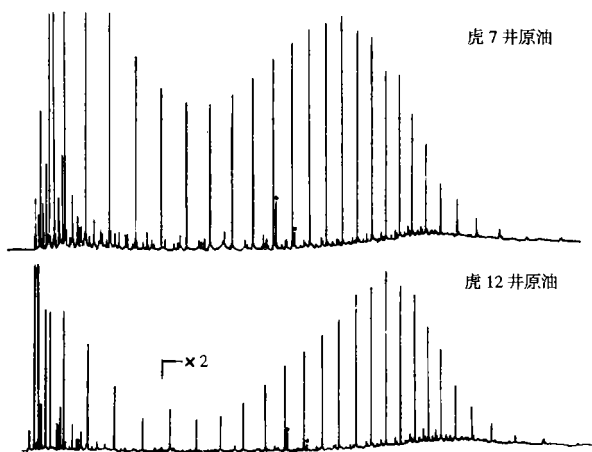


图 2 民和盆地原油全烃色谱图

Fig. 2 Gas chromatogram of oils from the Minhe basin

另外,在盆地北部坳陷带(天祝剖面),煤系地层上部还发育较厚的泥灰岩。总之,该盆地中侏罗统沉积因受基底古地理面貌变化大及构造断裂活动强烈的影响,而造成大幅度的沉积相变和厚度变化。

2 原油有机地球化学和油源对比

2.1 原油烷烃分布特征

图 2 为虎头崖油田虎 12 井和 7 井原油全烃色谱图,可以看出,原油全烃具有双峰分布特征,后峰以 nC_{23} 或 nC_{21} 为主峰;正构烷烃分布具有低的奇偶优势,CPI 值为 1.07,表明成熟度较高。2-甲基烷烃也以 iC_{26} 为主峰,但 3-甲基烷烃相对丰富, iC_{26}/aiC_{26} 为 2.10~2.33。原油异戊二烯烷烃丰度相对低,Pr/ nC_{17} 比为 0.15~0.19,Pr/Ph 比为 2.65~3.15。这些特征与吐哈盆地典型煤成油(台参 1 井)有较大差异(见表 1),但与吐哈盆地胜金口油田原油(Pr/Ph

= 2.61, iC_{26}/aiC_{26} = 4.00) 及准噶尔盆地齐 8 井原油相近(Pr/Ph = 3.71, iC_{26}/aiC_{26} = 2.39),反映了泥页岩可能为主要源岩之一^[2]。

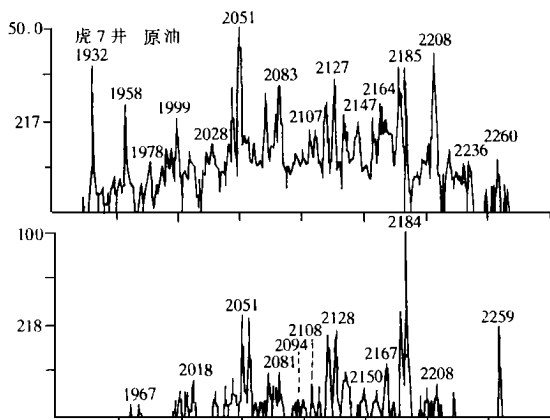


图 3 民和盆地原油甾烷分布特征

Fig. 3 Sterane (m/z 217) distribution in the oil from the Minhe basin

原油的甾烷分布明显不同于一般的煤成油,以 C_{27} 甾烷相对丰富为特征(如图 3), $\alpha\alpha\alpha C_{27}/C_{29}$ 比值为 1.07, $\alpha\alpha\alpha C_{28}/C_{29}$ 比为 0.75(虎 7 井),显示了藻类等生物有机质的重要贡献。成熟度参数 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/20R$ (S/R) 比值略低,为 0.47,与其高的 CPI 值不相吻合。更为特征的是原油的甾烷/藿烷比值异常低,仅为 0.03,远低于吐哈盆地煤成油,这种藻类母质丰富而甾烷含量甚低的现象可能与泥页岩源岩特征有重要联系。油页岩的热模拟产物(生烃峰期)中甾烷/藿烷比也为 0.03^[2]。

原油五环三萜类化合物的分布(图 4)也有其独特性,即具有较丰富的 C_{27} T_S 和 C_{29} 降新藿烷以及高丰度的 C_{30} 重排藿烷。

2.2 原油芳烃分布特征

民和盆地原油芳烃分布以萘菲系列化合物占绝对优势。萘和菲系比值为 1.50,高于吐哈盆地煤成油(1.06)。芳烃中硫芴含量低,硫芴/氧芴比值仅为 0.06,与吐哈盆地煤成油及淡水湖相原油近于一致^[2]。芳烃含低丰度的长链烷基苯系列化合物。另外,原油和油砂沥青中检出了丰富的 C_{12} ~ C_{18} 四氢萘,并在油砂沥青中检出了丰富的一元取代和二元取代长链联苯系列化合物。原油芳烃成熟度参数明显偏低,如 R_c 仅为 0.61。显然,原油的甾烷/藿烷及芳烃成熟度参数都偏低,与高的链烷烃成熟度参数

表 1 民和盆地原油和吐哈盆地煤成油地化参数的比较

Table 1 Geochemical parameters of the Minhe oil and the Tu-Ha oil

原油	nC_{21}^- / nC_{22}^+	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	CPI	甾烷/藿烷	倍半萜/藿烷
吐哈台参 1井	1.84	4.81	0.52	0.11	1.16	0.10	0.61
民和虎 7井	1.74	2.65	0.15	0.06	1.07	0.03	0.10
原油	饱和/芳	TNR-1	R _c	1-MP/9-MP	萜烯/9-MP	萘系/菲系	硫蒽/氧蒽
吐哈台参 1井	0.53	1.44	0.91	0.99	2.16	1.06	0.06
民和虎 7井	0.40	1.38	0.61	0.71	0.25	1.50	0.06
原油	T _S /T _m	$\frac{(C_{29} + C_{30})\alpha\beta}{T_m}$	$\frac{C_{30}\alpha\beta}{(C_{29} + C_{30})\beta\alpha}$	$C_{31}\alpha\beta \frac{22S}{22S+22R}$	$C_{32}\alpha\beta \frac{22S}{22S+22R}$		
吐哈台参 1井	0.37	6.16	3.32	0.60	0.60		
民和虎 7井	1.08	5.56	4.64	0.55	0.55		
原油	$\frac{C_{27}\alpha\alpha\alpha}{C_{29}}$	$\frac{C_{28}\alpha\alpha\alpha}{C_{29}}$	$C_{29}\alpha\beta\beta \frac{20S}{20S+20R}$	$C_{29}\frac{\alpha\beta\beta}{\alpha\alpha\alpha + \beta\beta\beta} (S+R)$	$C_{29}\alpha\alpha\alpha \frac{20S}{20S+20R}$		
吐哈台参 1井	0.06	0.21	0.53	0.55	0.52		
民和虎 7井	1.07	0.75	0.47	0.55	0.47		

注: TNR-1 = 2, 3, 6- TMN/(1, 4, 6+ 1, 3, 5)- TMN; R_c = 0.6[1.5(2-MP+ 3-MP)/(P+ 9-MP+ 1-MP)]+ 0.4

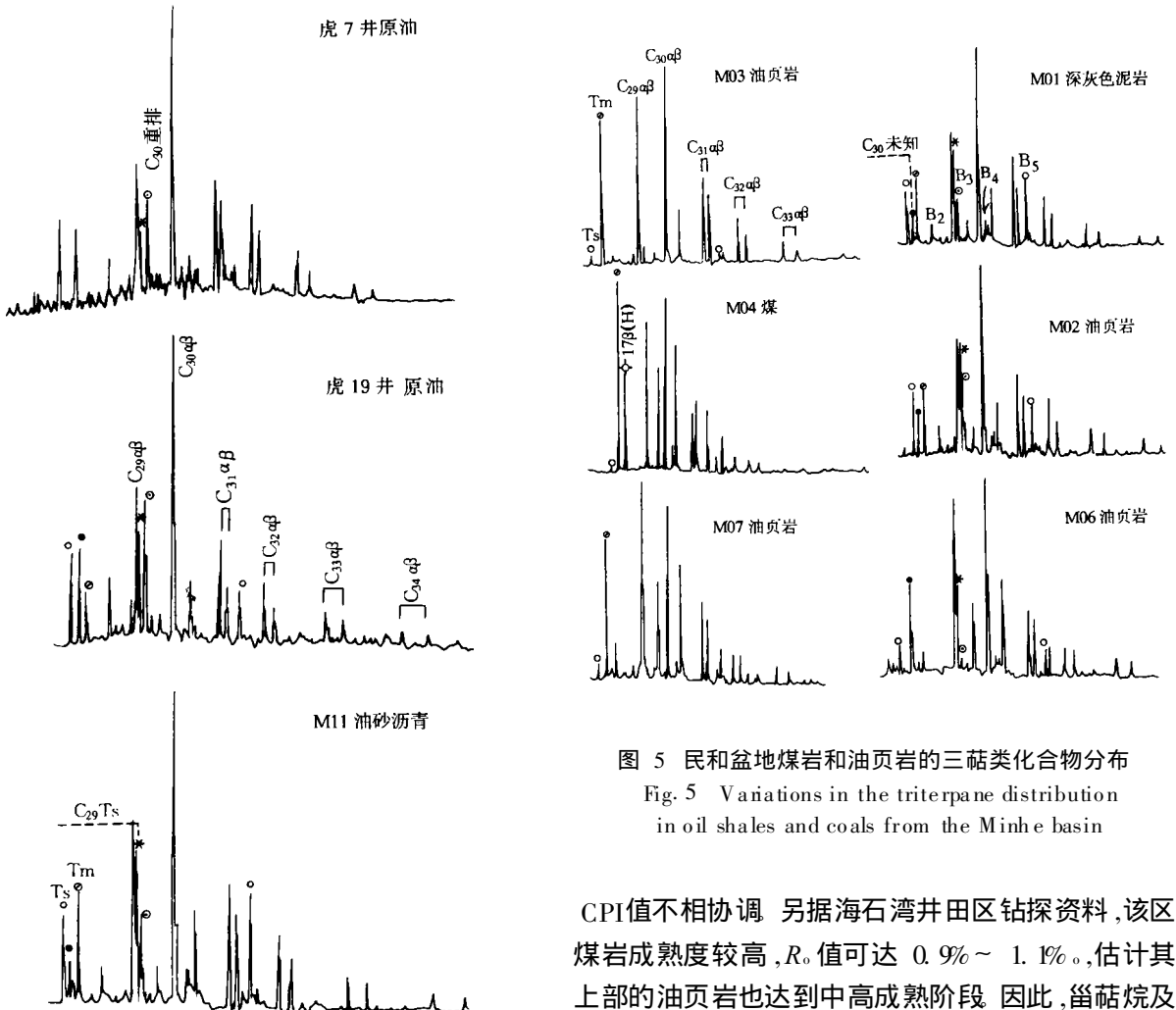


图 4 民和盆地原油三萜类化合物分布
Fig. 4 Triterpane distribution in the oil and bitumen from the Minhe basin

图 5 民和盆地煤岩和油页岩的三萜类化合物分布

Fig. 5 Variations in the triterpane distribution in oil shales and coals from the Minhe basin

CPI值不相协调。另据海石湾井田区钻探资料,该区煤岩成熟度较高, R_c值可达 0.9%~1.1%,估计其上部的油页岩也达到中高成熟阶段。因此,甾萜烷及芳烃成熟度参数都难以反映原油成熟度,这种现象可能起因于源岩特征及高的热演化速率(地温梯度)。

3 油页岩有机地球化学特征

油页岩和煤岩在三萜烷分布上有所差异(图5),煤岩藿烷分布以 $C_{29}\alpha\beta$ 降藿烷和 T_m 相对丰富为特征; C_{30} 重排藿烷系列、 C_{27} T_s 和 C_{29} 降新藿烷含量极低或无。油页岩类的三萜烷分布变化很大,有些油页岩极类似于煤岩,而另一些油页岩和黑灰色泥岩则含有丰富的 C_{29} 降新藿烷和 T_s ,更为特征的是可能含有较完整的重排藿烷系列。如图5,化合物 B_2 , B_3 , B_4 和 B_5 可能分别为 C_{29} , C_{30} , C_{31} 和 C_{32} 重排藿烷^[3]。这类油页岩的藿烷分布特征极类似于原油,表明它们为主要源岩。

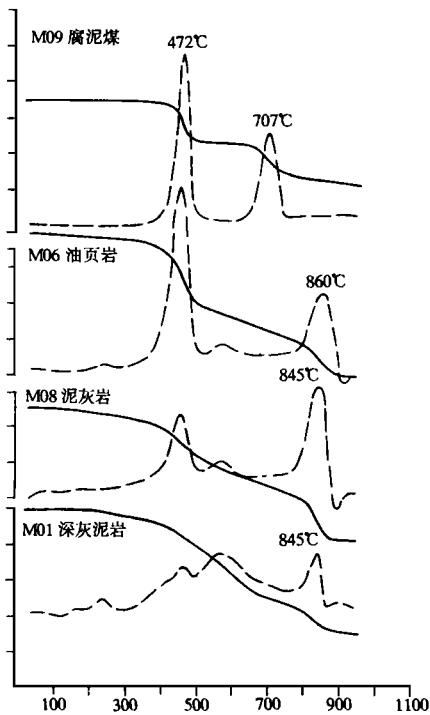


图6 民和盆地油页岩干酪根热谱图

Fig. 6 TGA and DTG diagrams of oil shales from the Minhe basin

值得指出的是,该盆地油页岩类型多样,如黑色油页岩,褐色油页岩,含薄微煤层油页岩,黑灰色页岩,同时还含有铝土质页岩、碳质泥岩及灰色泥灰岩。这些泥页岩类在形成环境上有一定差异,母质组成也有一定差异。干酪根类型分析表明,不同类型油页岩其干酪根类型可为I型,II型或为III型。优质黑

褐色油页岩具有极高的生烃潜力,HI值可达685以上,有机岩石学研究表明油页岩富含藻类体。但多数油页岩的有机地化特征都显示出与煤岩的类似性,有机母质由陆生植物和藻类混合组成。表现为Pr/Ph比值较高,平均为1.98,高者大于3;低甾烷/藿烷比值, T_m 和 $C_{29}\alpha\beta$ 藿烷相对丰富等特征;有机质类型多属II型和III型,表明高等植物母质的大量输入及淡水弱氧化环境。另外,部分油页岩的干酪根热谱图(图6)显示出油页岩具有两个突出的转化阶段,第二转化阶段通常发生于 850°C 左右,这一温度点较前人^[4]关于碳酸盐岩晶包有机质的释放温度还高得多。由此可见,应该对这类油页岩的岩石化学特征及有机质的生源及化学性质进行深入研究。特别要考虑沉积有机质本身的化学结构及形成环境特征,如在中侏罗世时,盆地断裂活动强烈具有多分割性断陷,油页岩形成于断陷作用加剧的深水沉积期,断陷湖盆的不均衡发育及水体深浅的经常性变化,可使沉积有机质发生不同程度的氧化及菌解改造,使产生化学性质趋于稳定的再造型有机质。另外,井田区井下深灰色泥岩(M01)和油页岩(M03)样品 R_o 值测定呈现两组明显不同的数值,其一为0.77%和0.86% R_o ,其二为1.37%和1.24%,这一现象也可能进一步证明再沉积型有机质的存在。事实上,中侏罗统不同层段厚度多变,相变大,以及油页岩类型多样且有许多油页岩呈现III型有机质生烃潜力等现象都说明早期沉积成岩过程有其独特性。也就是说,民和盆地特殊的盆地形成发育过程导致了沉积环境和沉积有机质化学结构及生油属性的特殊性。

另据张景廉^①,海石湾井田区具高的地温梯度,平均可达 $4.12^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。并且从 J_4 油页岩段以下,地温梯度增高,平均为 $7.125^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,某些井更高,如603井,从900m至950m,温差 7.4°C ,相应梯度为 $14.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。该地区地温梯度高且变化大可能主要由深部断裂带引起。因此,该区生油研究还应注意高地温梯度对石油生成及演化的影响。如原油含有长链烷基苯、烷基联苯及烷基四氢萘,甾萜烷及甲基菲参数偏低等重要特征都可能与高的地温梯度有关。另外,该盆地在喜山期经历强烈构造运动,盆地抬升,对盆地油气形成与聚集保存产生了一系列复杂的影响。

① 张景廉,民和盆地石油地质学及地球化学若干问题,石油地质,1994,(1): 7-21

4 结 论

民和盆地石油生成的地质地球化学条件及原油地化性质都有其独特性;初步研究结果表明中侏罗统泥页岩(包括含煤层段夹层油页岩、碳质页岩及煤层上部厚层泥岩及油页岩)为主要生油岩,有机质类型多为II~III型,属高等植物与藻类的混合类型,沉积环境具淡水弱氧化条件。原油地化特征表现为:Pr/Ph比偏高,2.65~3.15; $\alpha\alpha\alpha$ C₂₇/C₂₉甾烷比值较高;甾萜烷含量及甾烷/藿烷比值极低;藿烷分布以T_s/T_m比较高,含有相对丰富的C₂₉T_s和C₃₀(及C₃₂)重排藿烷;极低的硫芴/芴芴比值;含有长链烷基苯、长链联苯及烷基四氢萘系列化合物等特征。民

和盆地原油为煤系泥页岩生油的典例,其地化特征与源岩类型、沉积环境、沉积构造及地温史都存在密切的成因联系

参 考 文 献

- [1] 王春江,罗斌杰,郑国东,王昌桂.吐鲁番盆地原油地球化学特征及成因.沉积学报,1993,11(3):72~81.
- [2] 王春江.煤岩有机地球化学与煤成油形成机理.中国科学院兰州地质所博士学位论文,1995.
- [3] Moldwan J M, et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 3333~3353.
- [4] 周中毅,范善发,谢觉新.晶包有机质——认识碳酸盐岩生油机制的另一侧面.沉积学报,1991,9(增刊):112~119.

Characteristics of the oil Formation in the Middle Jurassic Coal-Shale Strata in the Minhe Basin

Wang Chunjiang Wang Youxiao Luo Binjie and Xia Yanqing

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

Special petroleum geological and geochemical conditions lead to a special type of oils formed in the Middle Jurassic coal-shale strata in the Minhe basin. The oils are characterized by: a higher Pr/Ph ratio (2.65~3.15), very low sterane/hopane ratio (0.03), higher C₂₇/C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ sterane ratio (1.07), higher T_s/T_m value (1.09), higher abundance of C₂₉T_s and rearranged hopane series, higher abundance of biphenyl series and alkyl tetrahydrogen naphthalenes, and high value of dibenzofuran/dibenzothiophene, etc.

Many types of oil shales with very different oil potentials occur in the Middle Jurassic coal-shale strata. Most of them are formed in weakly oxidizing fresh-water sedimentary environments, with higher Pr/Ph ratios (averaging 1.98) and very low values of sterane/hopane and dibenzofuran/dibenzothiophene as main evidence. Some oil shales show higher abundance of C₂₉T_s and rearranged hopanes, reflecting that these oil shales are the predominant contributor to the Minhe oil. It's also proved that the oil shales contain re-worked sedimentary organic matter by organic geochemistry, organic petrology and kerogen TGA and DTG analysis. Source rock maturation and oil/gas generation are also affected by abnormal geothermal energy.

Key words Minhe basin oil shale coal depositional environment reworked sedimentary organic matter