

文章编号: 1000-0550(2006) 01-0113-10

# 富有机质的黑色页岩和油页岩的有机岩石学特征 与生、排烃意义

曾庆辉<sup>1</sup> 钱玲<sup>2</sup> 刘德汉<sup>1</sup> 肖贤明<sup>1</sup> 田辉<sup>1</sup> 申家贵<sup>1</sup> 李贤庆<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室 广州 510640

<sup>2</sup> 塔里木油田分公司 新疆库尔勒 841000

<sup>3</sup> 中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室 北京 100083)

**摘要** 用近代有机岩石学与有机地球化学分析相结合的方法,对比研究了我国四川盆地等下古生界富有机质沉积的海相黑色页岩,和渤海湾盆地第三系湖相油页岩的显微有机组成特征与热演化生烃、排烃作用的关系。观测分析结果表明:黑色页岩热演化程度很高,目前热解烃含量很低,但残余有机碳含量达 1%~3%,黑色页岩中保存了早期生油阶段由无定型有机质生油作用转化而形成的微粒体有机质,和未排出的石油演变而来的残余沥青,表明其为原始生烃性能很好的烃源岩。根据黑色页岩中微粒体和残余沥青的含量,可用来了解已生—排烃量和再沉降埋深过程中古油藏储层沥青、微粒体和残余沥青再生气对古生界碳酸盐气藏的贡献。富有机质沉积的下第三系湖相油页岩热演化程度不高,游离烃( $S_1$ 为 0.2~1.4 mg/g)和热解烃( $S_2$ 为 8~44 mg/g),有机碳含量达 2.4%~8%,是生油性能很好的烃源岩,油页岩中不仅存在强荧光的藻和无定型有机质,而且油页岩的纹层中广泛存在富有机质的荧光沥青,反映了有利于排烃运移的信息,表明是本区生油贡献最大的烃源岩。富有机质黑色页岩和油页岩的沉积结构构造特征、有机质的赋存形式、热演化中变化过程的对比观察结果表明:其生烃、排烃作用既有很多相似性,又有一定差别。

**关键词** 海相黑色页岩 湖相油页岩 有机岩石学 生排烃作用 显微荧光

**第一作者简介** 曾庆辉 男 1965 年出生 博士研究生 石油、天然气地质及地球化学

中图分类号 P593 文献标识码 A

## 1 引言

地层剖面中存在大量陆生和水生有机质的富集层段,其中,石炭—二叠系、侏罗系、第三系富集的煤层不仅是我国重要的固体可燃矿产,而且煤和含煤岩系也是我国很多大气田的重要源岩;我国南方等地早古生界海相水生有机质富集的黑色页岩,不仅伴生有多种金属矿产<sup>[1,2]</sup>,而且认为是四川盆地等震旦系、寒武系、石炭系碳酸盐岩气藏的源岩。但是其生烃机制属高成熟干酪根生气,还是属残余沥青、储层沥青或古油藏再生气成因等,尚有不同认识<sup>[3-7]</sup>;华北渤海湾盆地第三系发育的多层湖相水生有机质富集的纹层状油页岩,是否为本区众多油田的主力生油岩,正受到石油地质地球化学家们的广泛关注<sup>[8]</sup>,在以往传统生油岩评价观念中,认为油页岩之所以富烃,是由于难排烃,一般不作为油气盆地的重要烃源岩考虑。因此本文试用近代有机岩石学与有机地球化学方法,对比研究海相富有机质沉积的高成熟度黑

色页岩和湖相富有机质沉积的低成熟度油页岩的显微有机质的赋存形式和在热演化中的生烃演变规律,为探讨富有机质沉积在地质历史中的生排烃意义和对油、气田的贡献提供依据。

## 2 富有机层的岩性和沉积条件

海相水生有机质富集层,以我国南方下寒武统梅树村组、牛蹄塘组、下志留统龙马溪组等发育的黑色页岩分布较广,此外在塔里木盆地寒武系也存在有重要生烃意义的黑色页岩。各地黑色页岩的岩石类型主要有粉砂岩—炭质页岩,炭泥质钙质岩,细碎屑—硅质炭质和硅质—炭质岩等。黑色页岩中的砂泥比一般小于 8%,沉积环境主要为浅海陆棚相、闭塞海湾盆地相与深水盆地相。在南方地区,由西向东,碎屑和钙质含量降低,硅质、炭质含量增高。各地黑色页岩沉积构造的共同特征是纹层状韵律结构比较明显,并富含微粒分散状和条带状的黄铁矿等硫化物纹层。在粉砂质—炭质黑色页岩中碎屑状石英含量

收稿日期: 2005-03-25 收修改稿日期: 2005-07-01

30% ~ 35%, 有机碳含量为 2% ~ 7%; 炭质—白云质黑色页岩中白云质和粉砂质含量 25% ~ 30%, 有机碳含量 4% ~ 8%; 炭质—硅质黑色页岩和炭质—钙质—硅质黑色页岩中, 主要由细条纹状炭质、点尘状硅质、细粒石英集合体与硅质、泥质、炭质集合体组成, 有机碳含量可高达 19% 以上。黑色页岩中自生矿物主要有石英、玉髓、水云母、白云石、方解石、重晶石、胶磷矿、碳磷灰石, 以及黄铁矿等多种金属硫化物<sup>[1, 2]</sup>。除下志留统笔石黑色页岩的层面上往往保存有炭化笔石类化石以外, 寒武系黑色页岩中一般很少保存炭化生物残体化石, 三叶虫等底栖生物化石主要保存在含炭不高的页岩中。各类黑色页岩的岩性和沉积构造特征均表现了十分还原的沉积环境, 对有机物的富集和保存都比较有利。

渤海湾盆地富有机沉积的第三系湖相油页岩, 以东营凹陷沙河街组沙四上段 (E<sub>5<sub>上</sub></sub>) 和沙河街组沙三下 (E<sub>5<sub>下</sub></sub>) 发育的褐色—深灰色纹层状油页岩为代表, 有机碳含量为 2% ~ 8%, 具有十分发育的水平层纹构造和由泥质、钙质和黄铁矿微粒组成的韵律结构, 表现了湖泊水体比较宁静和物源供给有周期性波动的沉积环境。

油页岩中富有机质的纹层, 主要由发强黄色荧光的层状藻、结构藻和藻类成因的荧光沥青组成, 藻类等浮游生物残体比较丰富; 富泥质、粉砂质和碳酸盐矿物的纹层, 主要由发弱黄褐色荧光的粘土、微粒状石英和微晶碳酸盐矿物组成; 富黄铁矿的纹层中, 含粒径 1~3 μm 的黄铁矿微晶, 呈点—线状断续分布, 或由沿层理分布的草莓状黄铁矿微晶集合体组成。表明是沉积于比较宁静的咸水—半盐水环境, 并有水体分层、水化学条件和物源供给的周期性波动。沉积物的岩石类型有浅灰褐色钙质页岩, 粉砂质页岩和褐色—灰褐色油页岩, 韵律层序明显。

### 3 富有机层的有机岩石学特征

宏观上两类富有机层的沉积结构和岩石组合有很多相似, 但是由于古生界黑色页岩与第三系油页岩在生源物质、沉积环境、成岩条件、矿物组合, 特别是热演化阶段的不同而具有各自的有机岩石学特征。

#### 3.1 黑色页岩的有机岩石学特征

由于下古生界黑色页岩热演化程度普遍很高, 海相镜质体反射率 *MVR* 达 2.5% ~ 4%, 黑色页岩中原始有机质组成、形态结构和分布形式都发生了很大的变化。黑色页岩在透光和荧光下主要为不透明和无荧

光的黑色物质组成, 很难观察和分辨原始有机母质类型, 仅有少数热演化程度相对较低的样品, 在激光—荧光下可见弱棕黄色弱荧光的藻类残体<sup>[5]</sup>。多数样品主要采用 Leica DM RXP 偏光显微镜的反射光系统, 并用 100~125 倍的高分辨油浸物镜才能比较有效地观察黑色页岩的显微有机组分的类型和分布特征。

#### 3.1.1 微粒体是黑色页岩中有机质赋存的主要显微组份

微粒体是一种次生成因的显微组份, 主要由富有机质的泥质烃源岩中的藻类无定形体分散有机质经热演化生烃作用转变而来。在低成熟阶段, 无定形体有机质主要分散在泥质中与粘土矿物结合紧密, 如果不进行干酪根提取, 在显微镜下很难观察。在高成熟阶段, 由于黑色页岩经历了较强的成岩作用和热演化生烃作用中, 无定形体有机质生烃的残余缩聚成大量 1 μm 左右, 反射率较高的球状微粒体 (见图版 -2, 3, 4), 根据其光性特征, 可进一步划分成微粒体 A 与微粒体 B<sup>[5]</sup>。前者颗粒较大, 各向异性明显, 由生烃潜力较强的藻类体、藻类无定形体转变而来, 微粒体 B 颗粒比较细小, 各向异性弱主要由菌解无定形体转变而来。由于我国早古生代海相黑色页岩的成熟度较高, 微粒体是最主要的有机质存在形式, 是黑色页岩成烃演化作用的标志, 微粒体反射率也可作为成熟度指标<sup>[5, 12]</sup>。

#### 3.1.2 黑色页岩中存在较多残余沥青

地层中分布的很多固体沥青, 主要为油气生成演化过程中产出的次生有机质, 一般主要分布在砂岩、碳酸盐岩等各类储层的孔隙、裂隙或油气运移通道中, 已有很多研究<sup>[4, 8]</sup>。但是, 以往很少有关于作为烃源岩的黑色页岩中赋存残余固体沥青的研究和报道。本文研究工作中用 100~125 倍高分辨油浸物镜的精细观察, 发现在富有机质沉积的下寒武统、下志留统等黑色页岩中不仅存在大量微粒体, 而且在粉砂屑等矿物的粒间, 存在比较广泛的残余固体沥青, (见图版 -1, 5, 7)。其成因主要由于黑色页岩是原始有机质很富的优质生油岩, 在生油阶段, 不仅有大量液态烃类流体排出, 而且生油岩的微孔隙中也存在未排出的残留烃, 特别是原油中的重烃、沥青质和胶质, 易残留在各种孔隙或矿物晶粒间, 并进一步经热演化转变成微细充填状的残余固体沥青。它类似于刘德汉等划分的原生同层沥青<sup>[4]</sup>。黑色页岩中包含大量残余固体沥青也是反映地质历史中, 黑色页岩生

烃、含烃的重要标志。

### 3.1.3 高有机质的黑色页岩常存在海相镜质体

早古生代海相富有机质的黑色页岩中常存在一种透镜状、条带状和结构均一的, 类似镜质体的显微组分, Buchardt称之为类镜质体<sup>[11]</sup>, 金奎励、肖贤明称为海相镜质体或类镜质体<sup>[7, 10]</sup>, 王飞宇命名为镜状体<sup>[9]</sup>。这种显微组分的反射率常用作成熟度指标<sup>[7, 9, 11]</sup>。

关于海相镜质体的成因有多种认识, 一般认为是来源于藻类的腐殖化作用,; Buchardt认为是由藻类长烷基衍生物转变来的缩合沥青烯状的沥青<sup>[11]</sup>, 还有人认为是一种前油沥青<sup>[13]</sup>。王飞宇等认为是富纤维素的褐藻组分在还原环境下, 藻镜质体凝胶化作用的产物<sup>[10]</sup>。这种海相镜质体在有机质含量较高的黑色页岩中比较常见, 主要呈大小不等的透射状和条带状顺层分布产出。(见图版 -8), 海相镜质体反射率比残余沥青低。

### 3.1.4 黑色页岩中可以残存少量炭化生物残体

在部分热演化程度不太高的寒武系和奥陶系黑色页岩中, 可见到少量发棕色荧光的藻类残体, 以及无荧光的炭化菌类残体<sup>[5]</sup>, 它们提供了黑色页岩中水生生物的生源信息。黑色页岩中还见一些反射率高, 具蜂窝状结构的碎屑状有机质, 非常类似陆相烃源岩中的丝质体。这类显微组分反射率可高达 7.5%, 一般亦在 4.0% 以上, 具各向同性。其成因 Teichmüller认为与强氧化条件有关或为再循环有机质。海相菌类体一般个体较大, 仅保留局部碎片, 有时被黄铁矿化。

### 3.1.5 黑色页岩中的沥青反射率和反射率色散特征

我国多数下古生界黑色页岩热演化程度很高, 黑色岩系中的固体沥青常具有微粒状镶嵌结构, 平均沥青反射率  $BR_o$  达 3.5% ~ 4.2%, (见表 1), 以四川盆地和南方地区最高。

图 1 和图 2 为四川盆地 GK-1 井, 下寒武统黑色岩系中的固体沥青反射率和沥青反射率色散谱的测定实例。图 1 固体沥青反射率直方图中的最频值  $BR_o = 3.75%$ , 沥青反射率的分布范围 3.28% ~ 4.1%。

图 2 中固体沥青的反射率色散谱具有比较平直的特征, 在波长 546 nm 的沥青反射率  $BR_o = 3.72%$ 。(测定条件: 3Y-Leica DM RXP 显微光度计,  $50 \times / \phi 0.85$  倍油浸物镜, Leica Nα 1149 标样反射率 1.24%, 光谱测量波长范围 420~700 nm, 测量光纤直径  $d = 0.3$

mm)。

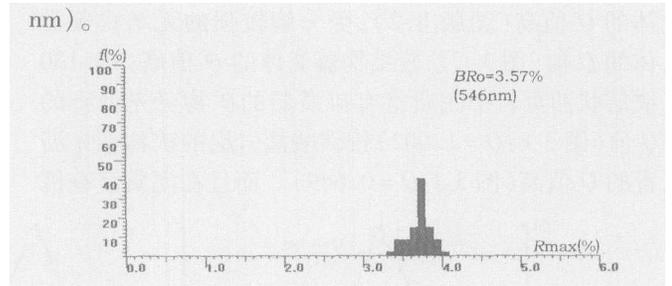


图 1 GK-1 井寒武系黑色页岩中沥青反射率 ( $BR_o\%$ ) 直方图

Fig 1 Bitumen reflectance ( $BR_o\%$ ) histogram in the black shale in Cambrian of Well GK-1

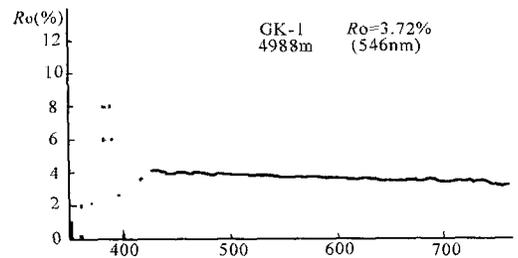


图 2 GK-1 井寒武系黑色页岩中沥青反射率色散曲线

Fig 2 Dispersion bitumen reflectance in the black shale in Cambrian of Well GK-1

## 3.2 油页岩的有机岩石学特征

渤海湾地区下第三系湖相油页岩的成熟度一般都比较低, 宏观上为黄褐色—灰褐色, 水平层理发育, 在荧光显微镜下显微组分荧光和结构构造都比较明显。

为了进一步研究油页岩的荧光性质, 用 3Y-Leica DM RXP 显微光度计, 进行了结构藻类体、层状藻体、藻无定型有机质、矿物荧光沥青的荧光光谱测定。实验条件: 光源 100W 汞灯, UV 紫外激发滤光器 A, (BP 340~380 nm) 测量波长范围 420~685 nm, HCX PL FLUOTAR  $40 \times / \phi 0.75$  P 物镜, 校正光源色温 2800°C。主要测定结果见图 3。

藻类体的荧光光谱和紫外光照射下荧光强度的变化特征, 对于研究镜质体反射率受抑制优质烃源岩的成熟度有重要意义<sup>[14, 15, 16]</sup>。样品荧光测定结果表明: 由于油页岩的成熟度低, 藻类荧光光谱的  $Q$  值 (650 nm / 500 nm) 在 0.27~0.45 左右, 主峰波长在 534~535 nm 左右, 谱峰半高宽在 152~173 nm 左右。图 3-A, 为 SL-157 纹层状油页岩, 结构藻类体的 (从粒藻)  $Q = 0.386$  (图版 -1); 图 3-D 为 SL-86 纹层状油页岩, 层状藻类体的  $Q = 0.578$  略比结构藻类

体的  $Q$  值高 (图版 -2); 受分解较强的无结构藻类体的  $Q$  值 (图 3-C), 较结构藻类体的  $Q$  值高; SL-130 纹层状油页岩中泥质富有机质层的矿物荧光沥青的  $Q$  值 (图 3-F:  $Q = 1.002$ ) 较碳酸盐岩层的矿物荧光沥青的  $Q$  值高 (图 3-J:  $Q = 0.649$ )。而且在泥质富有机

质层样品荧光的正光变和负光变都比较明显, 一般新磨制的油页岩样品有比较明显地负光变 (见图版 -6), 表明油页岩样品中含未挥发的游离烃, 放置一段时期以后的油页岩样品则有比较明显地正光变 (见图版 -5)。

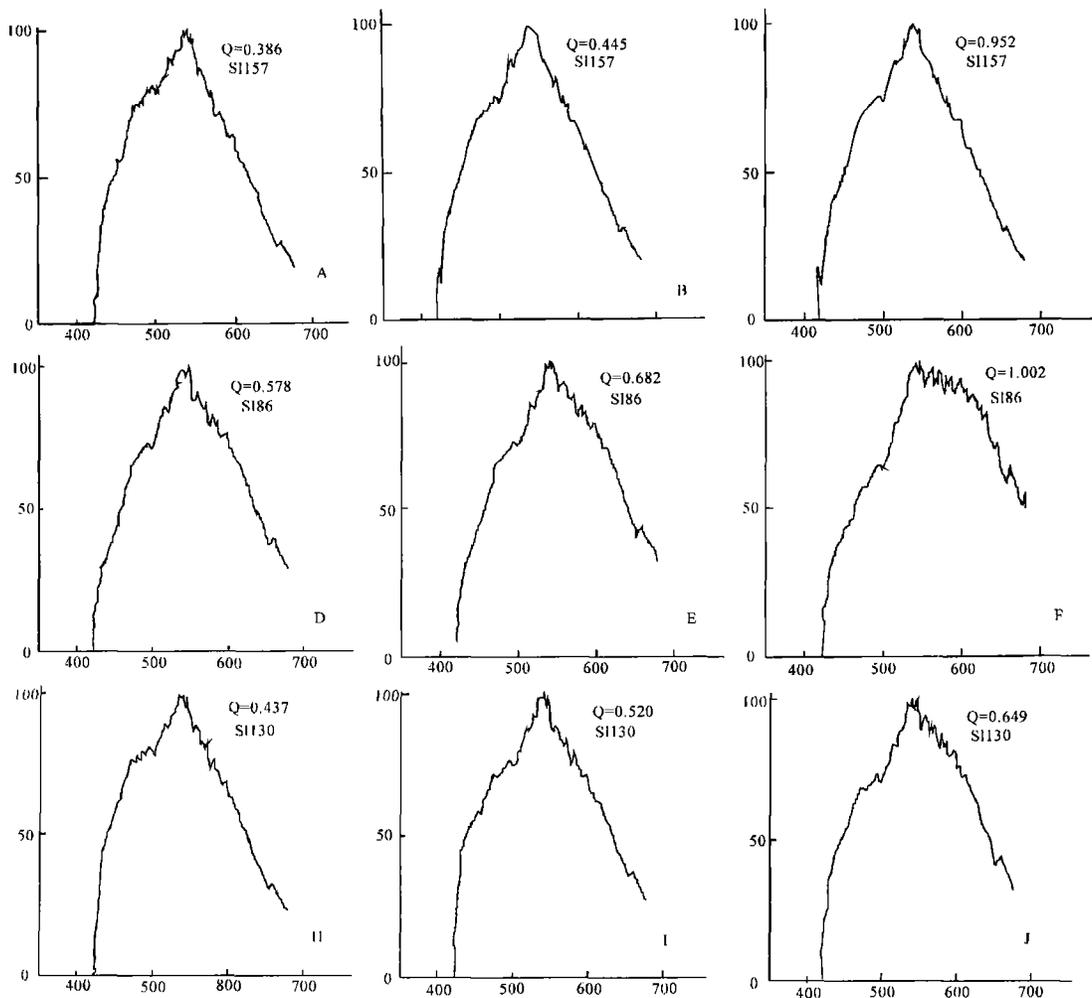


图 3 结构藻类体、层状藻类体、无定性有机质、矿物荧光沥青的荧光光谱曲线

注: A, B, C. SL-157 富含结构藻类体的油页岩, D, E, F. SL-86 富含层状藻类体的油页岩,

H, I, J. SL-130 含泥质和碳酸盐层纹状油页岩, 谱图中横坐标为波长 (nm), 纵坐标为相对强度

Fig 3 Spectral fluorescence of telalginate, layered alginate, amorphous organic matter and fluorescence mineral bituminous

A, B, C. SL-157 Telalginate-bearing oil shale D, E, F. SL-86 layered alginate-bearing oil shale

H, I, J. SL-130. Mudstone and carbonate-bearing lamination oil shale

X (cross)-coordinate axis is wavelength (nm). Y (vertical)-coordinate axis is intensity

下第三系富有机质的湖相油页岩的显微荧光综合观察结果有以下主要特征:

(1) 油页岩中保存有大量层状藻类体、结构藻类体和藻屑体, 在荧光显微镜下, 微细的层状藻和结构藻类体发较强的黄色荧光, 常沿纹层理顺层分布, 图版 -1, 2

(2) 油页岩中黄色荧光无定型有机质, 与藻类残体、荧光沥青紧密共生, 构成富有机质的强荧光纹层, 夹在弱荧光的泥质纹层、粉砂质纹层和碳酸盐矿物纹层中 (见图版 -7, 8)。

(3) 有机质含量高的油页岩中, 也含少量陆源有机质碎屑和棕黄色混合型无定型有机质, 在荧光显微

镜下发浅棕黄色荧光。

## 4 黑色页岩和油页岩的生排烃性能

### 4.1 黑色页岩的生排烃性能

#### 4.1.1 色页岩生排烃性能的有机岩石学信息

富含有机质的黑色页岩实际上是地质历史中的优质生油页岩, 经过大量生油以后转变而来的过成熟烃源岩。目前, 黑色页岩的黑色程度, 一方面取决于炭化残余有机质的含量, 另一方面与微粒黄铁矿的含量有关, 炭化有机质的含量高和微粒黄铁矿含量多, 页岩越黑。

黑色页岩已生、排烃的信息, 主要反映在目前黑色页岩中微粒体有机质和残余沥青的含量和分布。黑色页岩中微粒体含量越高, 不仅表明原始有机质含量高, 而且已生烃的量多。一般由低等水生生物成因的干酪根转变而来的微粒体, 约为原始有机质的 30% ~ 40% 即  $\text{I}_A$  型和  $\text{I}_B$  型干酪根的降解率可达 60% ~ 70%。

黑色页岩早期生油阶段的排烃性能, 主要表现在目前黑色页岩中残余沥青的含量和分布形式, 如果黑

色页岩中残余沥青和微粒体有机质含量高, 则表明黑色页岩早期生烃量大, 排烃率低; 而黑色页岩中微粒体多, 残余沥青少则排烃率高。因此根据目前黑色页岩中的微粒体和残余沥青的含量, 用物质平衡法原理可大致推算黑色页岩已生、排烃量。

单位体积: 生烃量 = 微粒体  $\times K_1$

单位体积: 排烃量 = 微粒体  $\times K_1$  - 残余沥青  $K_2$

注:  $K_1 \approx 1.5 \sim 2.5$   $K_2 \approx 1.2 \sim 1.5$

据高科 1 井等下寒武统黑色页岩的显微观测, 微粒体十分丰富, 残余沥青约为微粒体有机质的 1/3, 表明黑色页岩曾有大量生烃和排烃事实 (见图版 -1 ~ 5)。

#### 4.1.2 黑色页岩的生排烃性能的热解分析结果

据我国四川盆地、塔里木盆地震旦系和早古生界黑色页岩的有机碳和热解分析的测定结果 (见表 1), 黑色页岩的残余有机碳含量达  $C_{Toc} = 1.5\% \sim 5.9\%$ , 多数达 3% 左右, 但是, 烃产率  $S_1$  和  $S_2$  的含量都很低 (0.03 ~ 0.13 mg/g), 反映了黑色页岩是经历了早期生油阶段和后期热演化生气阶段的过成熟烃源岩的基本特征。

表 1 黑色页岩有机碳和热解分析结果

Table 1 Analytical data of Rock-Eval and  $C_{org}$  of black shale

序号	地区	井号	井深 /m	层位	岩性	$C_{org}$ /%	$S_1$ / (mg/g)	$S_2$ / (mg/g)	$R_o$ /%
1	四川盆地	高科 1	4963.01	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	1.80	0.07	0.02	3.24
2	四川盆地	高科 1	4171.05	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	3.81	0.05	0.03	3.69
3	四川盆地	高科 1	4974.06	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	3.11	0.012	0.02	3.78
4	四川盆地	高科 1	5351.66	$Z_2d$	钙质黑色页岩	2.14	0.15	0.23	3.92
5	四川盆地	威 106	2781	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	5.93	0.11	0.02	4.30
6	四川盆地	威 28	2975	$Z_2d$	钙质砂质黑色页岩	3.91	0.08	0.02	4.30
7	四川盆地	资 4	4313	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	2.00	0.05	0.04	4.80
8	塔里木盆地	库南 1	5350	$\epsilon_1$	粉砂质黑色页岩	2.25	0.63	0.19	2.30
9	四川盆地	五科 1	5251	$S_1$	粉砂质黑色页岩	2.76	0.06	0.01	3.50
10	四川盆地	五科 1	5256	$S_1$	粉砂质黑色页岩	3.23	0.08	0.08	3.50
11	四川盆地	五科 1	5257	$S_1$	粉砂质黑色页岩	2.76	0.10	0.04	3.56

剖析黑色页岩的热演化历程表明: 我国四川盆地和塔里木盆地等下古生界黑色页岩, 主要经历了加里东运动以前的大量生油阶段以后的广泛抬升, 和海西—燕山期的再沉降埋深的叠加热演化过程的再生烃作用 (见图 4)。

据表 2 低成熟沥青的模拟实验结果和图 4 四川盆地热演化史分析, 下古生界黑色页岩在海西—燕山

期的再生烃作用, 主要为生气作用, 其气源物质不仅包括微粒体干酪根生气, 而且包括古油藏和储层沥青、残余沥青生气的重要贡献。例如四川盆地乐山—龙女寺古隆起, 震旦—寒武系碳酸盐岩地层中大量储层沥青的生气作用, 和黑色页岩中残余沥青的生气作用对本区震旦—寒武系碳酸盐岩气藏可能都有重要贡献。

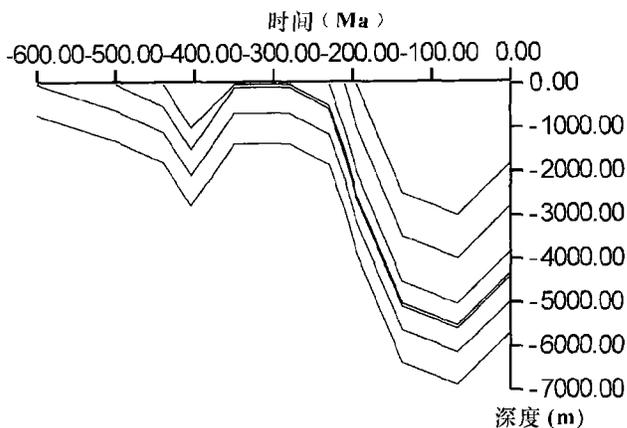


图 4 四川盆地高科-1井地层埋藏史

Fig. 4 Stratigraphic burial histories of the Well GK-1 in Sichuan Basin

表 2 沥青热模拟实验的烃产率和组成

Table 2 Composition and hydrocarbon productivities of bitumen them at simulating experiment

热模拟	沥青 A					沥青 (氯仿不溶物)			产气率	
	温度 /C	含量 %	族组分分析			含量 %	反射率 %	产气量 %	烃含量 %	
未加热	98.4	1.80	14.3	43.1	40.8	1.60	0.05	0.0	-	
300	97.3	2.4	20.1	39.1	38.4	2.60	0.05	0.10	-	
325	97.0	3.3	30.1	28.7	37.9	2.40	0.052	0.60	-	
350	23.8	8.0	36.9	19.1	36.0	75.0	0.601	1.20	78.4	
375	10.9	7.2	50.3	34.5	8.0	70.2	1.382	18.9	81.2	
400	4.5	-	-	-	-	55.1	1.807	40.4	94.5	
450	3.2	-	-	-	-	47.9	2.907	48.9	94.8	
500	1.7	-	-	-	-	44.5	3.408	53.8	96.7	

#### 4.2 油页岩的生排烃性能探讨

低成熟富有机质湖相油页岩生排烃作用,以表 3 东营凹陷 E<sub>3s</sub>和 E<sub>3s</sub>油页岩的显微观测和热解分析结果为例:可见,牛 38井、王 7井、坨 73井、河 149井、

表 3 东营凹陷湖相油页岩样品的有机碳和热解分析结果

Table 3 Analytical data of Rock-Eval and C<sub>org</sub> of lacustrine oil shale in Dongying depression

序号	井号	井深 /m	层位	岩性	TOC /%	S <sub>1</sub> / (mg/g)	S <sub>2</sub> / (mg/g)	R <sub>o</sub> /%	备注
1	牛 38	3209.93	E <sub>3s</sub> F	灰褐色油页岩	2.62	0.73	12.12	0.66	
2	牛 38	3330.6	E <sub>3s</sub> F	深灰褐色油页岩	8.06	4.74	44.65	0.69	
3	王 7	2590.8	E <sub>3s</sub> L	灰褐色油页岩	4.34	0.83	27.63	0.45	
4	坨 73	2892.66	E <sub>3s</sub> L	灰褐色油页岩	2.04	0.25	8.40	0.56	
5	坨 73	3270	E <sub>3s</sub> L	灰褐色油页岩	3.94	2.57	22.19	0.68	
6	坨 73	2497.27	E <sub>3s</sub> L	灰褐色泥岩	1.66	0.17	5.29	0.44	
7	河 149	3152.2	E <sub>3s</sub> F	灰褐色油页岩	5.08	2.64	28.53	0.64	
8	利 512	1962.6	E <sub>3s</sub> F	灰褐色油页岩	2.90	0.32	15.44	0.35	
9	利 98	3145.8	E <sub>3s</sub> F	黑褐色油页岩	2.59	1.08	12.57	0.63	
10	利 98	3428.72	E <sub>3s</sub> F	黑褐色油页岩	2.43	1.46	9.1	0.73	
11	永 556	2445.93	E <sub>3s</sub> F	黑褐色油页岩	2.58	0.33	10.51	0.44	

利 98井等油页岩的热演化程度 R<sub>o</sub> = 0.45% ~ 0.70%, 主要处于早期生油阶段。油页岩的有机碳含量普遍较高,多数达 3%,高者可达 5% ~ 8%,热解分析结果 S<sub>1</sub>含量为 0.32~ 4.74mg/g 表明含有较多的游离烃有机质; S<sub>2</sub>含量为 8.4~ 44.65mg/g 热解烃含量普遍较高,而且由表 3可见:样品中有机碳含量越高, S<sub>1</sub>和 S<sub>2</sub>含量均高, S<sub>1</sub>含量约为 S<sub>2</sub>含量的 3% ~ 10%,表明为生烃、含烃性能很好的烃源岩。

在荧光显微镜下,富有机质油页岩具有明显的负光变,表明样品在高功率汞灯的照射下游离烃受到散失。例如样品牛 38井 (3330.6 m), TOC = 8.06%, 游离烃 S<sub>1</sub> = 4.74%, S<sub>2</sub> = 27.36%, 游离烃为热解烃含量的 3.6%。说明有机质越富,吸附烃的量也相应较高。

由于富有机油页岩生烃量大,除了吸附的残留烃占有一定比例以外,实际排烃量也很大<sup>[16]</sup>。因此与厚度大,但有机质丰度不太高的泥质烃源岩相比,油页岩的生油的贡献较大。而且由表 3分析结果表明:随着热演化程度的增高,排烃率也明显增高。低成熟阶段的排烃往往以油水混相排烃为主,排烃率受水化学与大分子有机组分的性质影响较大,高成熟阶段的排烃相态,以连续烃相运移为主,因此富有机质的纹层是排烃运移的重要通道。在纹层和矿物晶间可残留游离烃和荧光沥青,到高演化阶段将转变为类似于黑色页岩中的残余沥青。

#### 5 黑色页岩和油页岩生烃、排烃作用的对比

以上研究结果表明:富含有机质的海相黑色页岩和湖相油页岩的沉积结构构造特征、有机质的赋存形

式、热演化中变化过程的生烃、排烃作用既有很多相似性, 又有一定差别。在源岩组成结构方面: 两者都具有非常发育的纹层状结构和富藻类无定型等有机质分布特征, 但海相黑色页岩中与有机质共生的微粒状黄铁矿更加丰富, 黑色页岩系的分布和厚度比油页岩大; 在生烃、排烃作用方面: 两者在地质历史中都是重要烃源岩, 但是, 由于两者的热演化历程和热演化程度差别很大, 黑色页岩热演化程度高, 为已大量生了烃的过成熟生油岩, 目前岩石中赋存的显微有机组分主要是微粒体和残余沥青, 而油页岩是正处于生油阶段的烃源岩, 赋存的显微有机组分除了大量藻和藻类无定型荧光有机质以外, 还含有少量镜质体、壳质体等陆源显微有机质。在地质演化历程中, 低成熟油页岩演化到高成熟阶段, 也将转变为排烃不完全的富含残余沥青和微粒体有机质的黑色页岩。

## 6 结论

据样品在高倍显微镜下的精细观测结果: 发现我国早古生界高成熟和高有机碳含量的黑色页岩中赋存大量微粒体和比较广泛的残余沥青, 表明黑色页岩是曾经历过大量生油、生气的过成熟烃源岩。据黑色页岩中微粒体和残余沥青的含量和相对比例, 可以大致推算黑色页岩的已生、排烃量。四川盆地等早古生界地层在海西—燕山期再次沉降埋深过程的再生气的物源, 不仅包括黑色页岩中干酪根再生气和残余古油藏裂解生气, 而且包括碳酸盐岩中大量储层沥青和黑色页岩中微粒体和残余沥青的生气作用对本区古生界碳酸盐岩气藏的重要贡献。

渤海湾地区, 老第三系富有机质的纹层状湖相油页岩, 含大量强荧光的层状藻、结构藻、藻屑和荧光沥青、矿物荧光沥青, 表明是处于生油阶段的优质烃源岩。富有机组分的纹层与富粉砂质、泥质和碳酸盐矿物的纹层结构, 有利于烃类的横相排烃运移。有机分析测定结果表明: 虽然地层剖面中油页岩的厚度不大, 但油页岩的有机质丰度高, 生油性能好, 生、排量, 对本区油气田的贡献也较大, 是重要烃源岩。

富有机质沉积的海相黑色页岩和湖相油页岩的对比研究结果表明: 其生烃、排烃作用既有很多相似性, 又有一定差别, 海相黑色页岩在低演化阶段的类似于生烃性能好的油页岩, 湖相油页岩热演化到高一过成熟阶段, 将转变为富含微粒体有机质和残余沥青的黑色页岩。

## 参考文献 (References)

- 1 范德廉, 张焘, 叶杰, 等. 中国的黑色岩系及其有关矿床. 北京: 科学出版社, 2004 1~14 [Fan Delian, Zhang Tao, Ye Jie *et al* Black Shale Series and Related to Ore Deposits of China. Beijing: Science Press, 2004 1~4]
- 2 叶杰, 范德廉. 黑色岩型矿床的形成作用及其在我国的产出特征. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 1(2): 95~102 [Ye Jie, Fan Delian. Characteristics and mineralization of ore deposits related to black shale series. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000 19(2): 95~102]
- 3 戴鸿鸣, 王顺玉, 王海青, 等. 四川盆地寒武系—震旦系含气气系统成藏特征及有利勘探区块. 石油勘探与开发, 1999 26(5): 16~20 [Dai Hongming, Wang Shunyu, Wang Haiqing *et al*. Formation characteristics natural gas reservoirs and favorable exploration areas in Sinian-Cambrian. Petroleum Exploration and Development 1999, 26(5): 16~20]
- 4 刘德汉. 高演化碳酸盐岩的有机质的地球化学特征及油气非常规评价方法. 天然气工业, 1994 14(增刊): 62~67 [Liu Dehan. Discussion on the geochemical characteristics and unconventional evaluation method of high altered carbonate rock. Nature Gas Industry, 1994 14(Supp): 62~67]
- 5 刘德汉, 肖贤明, 贾容芬, 等. 高成熟碳酸盐岩地层烃类生成和运移的激光诱导荧光显微镜观测与评价. 科学通报, 2000, 45(增刊): 16~20 [Liu Dehan, Xiao Xianming, Jia Rongfen *et al*. Observation of hydrocarbon generation and migration of highly-matured carbonate by means of laser-induced fluorescence microscopy. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 16~20]
- 6 肖贤明, 吴治君, 刘德汉, 等. 早古生代海相烃源岩成熟度评价方法. 沉积学报, 1995, 13(2): 112~119 [Xiao Xianming, Wu Zhijun, Liu Dehan *et al*. Evaluation of maturity Paleozoic marine hydrocarbon source rocks on the basis of organic petrology. Acta Sedimentologica Sinica, 1995 13(2): 112~119]
- 7 肖贤明, 刘德汉, 傅家谟, 等. 海相镜质体——海相烃源岩中的重要生烃母质. 石油学报, 1997, 18(1): 44~49 [Xiao Xianming, Liu Dehan and Fu Jianmo *et al*. Marine vitrinite—an important hydrocarbon source matter in marine source rocks. Acta Petrologica Sinica, 1997, 18(1): 44~49]
- 8 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化特征研究. 沉积学报, 2003 21(3): 506~512 [Zhu Guangyou, Jin Qiang. Geochemical characteristics of two sets of excellent source rocks in Dongying depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2003 21(2): 506~512]
- 9 王飞宇, 何萍, 刘德汉, 等. 镜质体反射率可作为下古生界高过成熟烃源岩有机成熟度标尺. 天然气工业, 1996, 16(4): 14~17. [Wang Feiyu, He Ping, Liu Dehan, *et al*. Taking vitrinite reflectance as a maturity indicator for Lower Paleozoic. Nature Gas Industry, 1996 16(4): 14~17]
- 10 刘大猛, 金奎励. 塔里木盆地海相烃源岩显微组分的分类及其岩石学特征. 沉积学报, 1995 13(增刊): 124~133 [Liu Dameng, Jing Kuili. A petrographic classification and organic petrological char-

- acteristics of macerals of the marine hydrocarbon source rocks in the Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13( Supp): 124~133]
- 11 Buchardt B, Lewan M D. Reflectance of vitrinite-like macerals as a thermal maturity index for Cambrian-Ordovician Alum shale, Southern Scandinavia. *AAPG Bulletin*, 1990, 74( 4): 394~ 406
  - 12 Davis A, Rathbone R F, Lin R and Quick J C. Observations concerning the nature of fluorescence alteration with time. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 897~ 906
  - 13 G lkson M, Taylor D, Morris D. Lower Paleozoic and Precambrian petroleum source rocks and the coalification path of a lignite. *Organic - Geochemistry*, 1992, 18(6): 881~ 897
  - 14 Hutton A C, and Cook A C. Influence of alginite on the reflectance of vitrinite from Joadia NSW, and some other coals and oil shales containing alginite. *Fuel*, 1990, 59( 10): 711~ 714
  - 15 Wilkins R W T, Wilshurst J R, Russell N J *et al*. Fluorescence alteration and the suppression of vitrinite reflectance. *Organic Geochemistry*, 1992, 18(5): 629~ 640
  - 16 王春江, 王有孝, 罗斌杰, 等. 民和盆地中侏罗统煤 2 油页岩层系生油特征. *沉积学报*, 1997, 15( 1): 60~ 64 [W ang Chunjiang W ang Youxiang Luo Binjie, *et al*. Characteristics of the oil formation in the Middle Jurassic coal-shale strata in the Minhe Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15( 1): 60~ 54]

## Organic Petrological Study on Hydrocarbon Generation and Expulsion from Organic-rich Black Shale and Oil Shale

ZENG Qing-hui<sup>1</sup> QIAN Ling<sup>2</sup> LU De-han<sup>1</sup> XIAO Xian-ming<sup>1</sup>  
TIAN Hui<sup>1</sup> SHEN Jia-gui<sup>1</sup> LI Xian-qing<sup>3</sup>

( 1 State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640

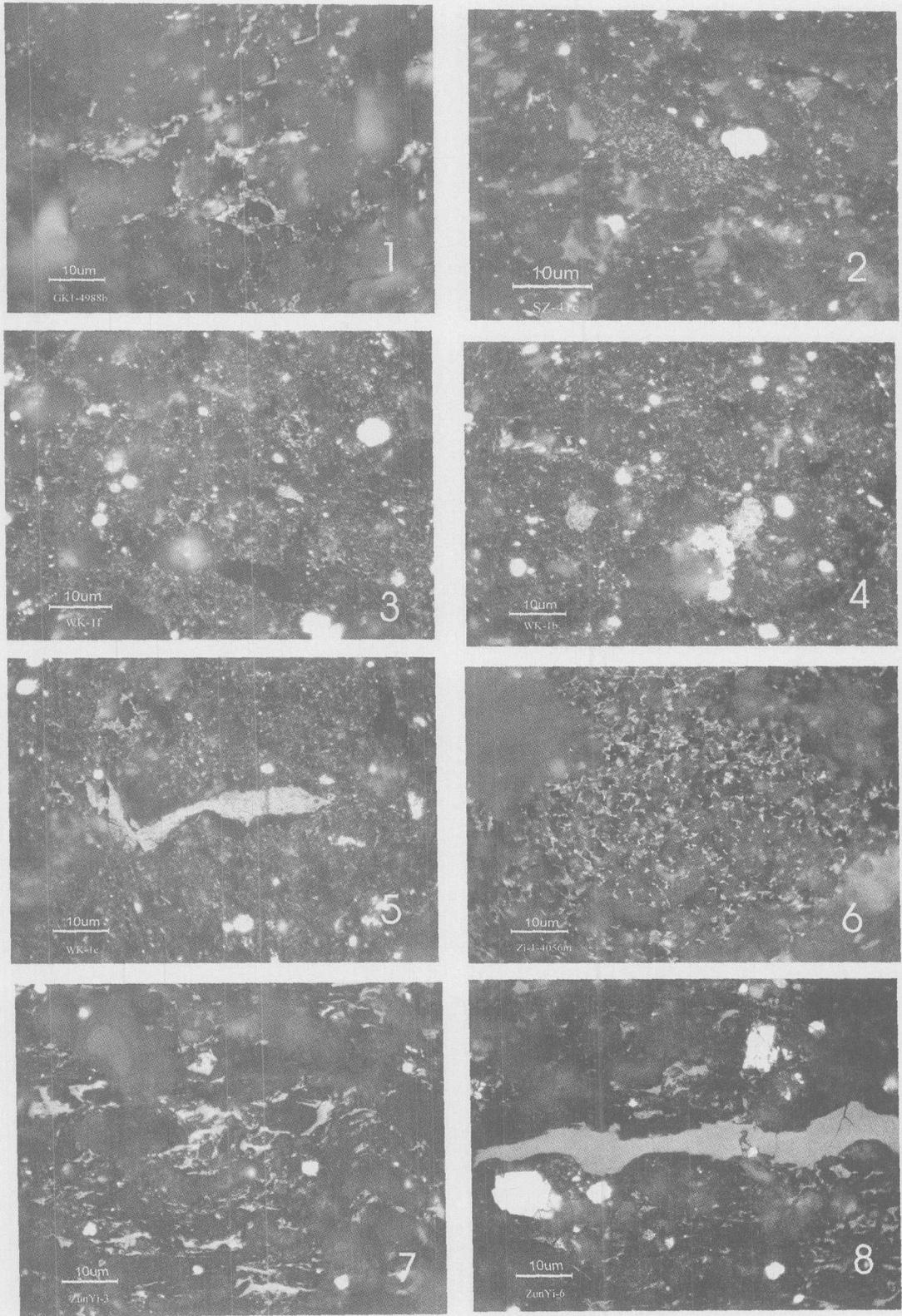
2. Tarim Oilfield Company, CNPC, Kule Xinjiang 841000

3 MOE Key Laboratory of Coal Resources, China University of Mining Beijing 100083)

**Abstract** By utilizing both modern organic petrological and organic geochemical analytical methods, a comparative study was carried out on the maceral ingredients of the Lower Paleozoic organic-rich marine black shale in Sichuan Basin and the Paleogene lacustrine oil shale in Bohai Gulf Basin, and on their relationship with thermal evolution, hydrocarbon generation and expulsion. Our observation and the analytical results demonstrate that the black shale are characterized by high degree of thermal evolution and currently very low concentration of hydrocarbons derived from pyrolysis, and are favorable source rocks in terms of primary hydrocarbon generation capacity, since they generally contain a relic organic carbon content up to 1%~3%. However, the black shale retains a great amount of particulate organic materials originated from amorphous organics and relict bitumen derived from oil that has not been expelled completely at the earlier stage of oil generation in pre-Caledonian. Based on the contents of microsmers and relict bitumen in black shale, the amount of hydrocarbon generation and expulsion in the marine black shale can be calculated, and the contribution of gas regeneration in the reservoir bitumen, particulate organics and relict bitumen in old petroleum deposits toward the formation of the Paleozoic carbonate gas reservoirs in the study area can thus be inferred.

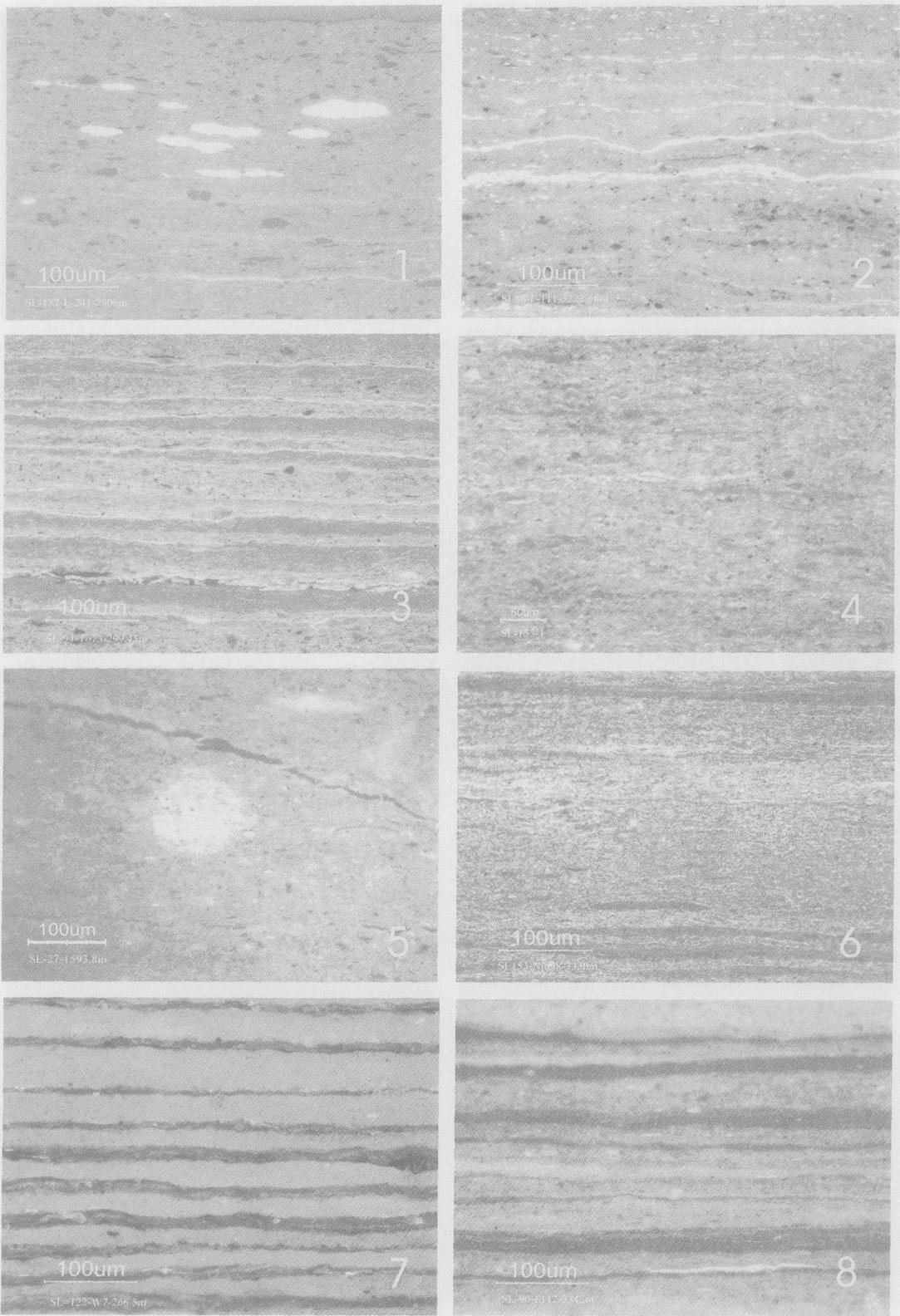
The organic-rich Paleogene lacustrine oil shale don't show high degree of thermal evolution, since they are characterized by very high contents in both S<sub>1</sub> ( free hydrocarbon) and S<sub>2</sub> ( pyrolyzed hydrocarbon), which are 2.04~8.06 mg g<sup>-1</sup> and 8.44~44.65 mg g<sup>-1</sup>, respectively, from pyrolytic analyses. The algae and amorphous organics in oil shale generally show strong yellow fluorescence. Also, extensive fluorescence can be observed among a great amount of laminae and mineral crystallites. These results illustrate that the oil shale are important source rocks at the stage of hydrocarbon generation and expulsion in the study area.

**Key words** marine black shale, lacustrine oil shale, organic petrology, hydrocarbon generation and expulsion, microscopic fluorescence



图版 说明 (黑色页岩反光油浸照片)

1. GK-1井 $\epsilon_1$ 黑色页岩矿物晶间残余沥青; 2. ZI-4井 $\epsilon_1$ 黑色页岩黑色页岩中的微粒体; 3. WK-1井,  $S_1$ 黑色页岩中的微粒体和黄铁矿微粒; 4. WK-1井,  $S_1$ 黑色页岩中的微粒化有机质、微粒体和黄铁矿微粒; 5. WK-1井,  $S_1$ 黑色页岩中的沥青和微粒体; 6. ZI-1井  $Z_2d$  细晶白云岩中的晶间沥青; 7. Zm-3 $\epsilon_1$ 黑色页岩中的矿物晶间残余沥青; 8. Zm-3 $\epsilon_1$ 黑色页岩中的海相镜质体矿物晶间残余沥青和黄铁矿。



图版 说明 (油页岩落射. 荧光照片)

1. SL-157. 富含结构藻类体的油页岩; 2. SL-86富含层状藻类体的油页岩; 3. SL-94 富有机质纹层状油页岩; 4. SL-153 富含层状藻类体的油页岩; 5. SL-27. 油页岩 UV 激发的正光变 (中心部位); 6. SL-153 油页岩 UV 激发的负光变 (中心部位); 7. SL-122富含碳酸盐岩纹层的油页岩; 8. SL-90 富泥质和有机质纹层的油页岩.