

doi: 10.13745/j.esf.2016.02.011

# 鄂尔多斯盆地华池地区三叠系延长组长 7 段富有机质页岩岩相特征

耳 闯<sup>1,2</sup>, 罗安湘<sup>3,4</sup>, 赵靖舟<sup>1,2</sup>, 张忠义<sup>3,4</sup>, 白玉彬<sup>1,2</sup>, 程党性<sup>3,4</sup>, 吴伟涛<sup>1,2</sup>,  
魏之焜<sup>1</sup>, 张 杰<sup>1</sup>

1. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065
2. 西安石油大学 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065
3. 中国石院长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018
4. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018

ER Chuang<sup>1,2</sup>, LUO Anxiang<sup>3,4</sup>, ZHAO Jingzhou<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhongyi<sup>3,4</sup>, BAI Yubin<sup>1,2</sup>,  
CHENG Dangxing<sup>3,4</sup>, WU Weitao<sup>1,2</sup>, WEI Zhikun<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>1</sup>

1. School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China
2. Shaanxi Key Lab of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China
3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oil Field Company, PetroChina, Xi'an 710018, China
4. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018, China

**ER Chuang, LUO Anxiang, ZHAO Jingzhou, et al. Lithofacies features of organic-rich shale of the Triassic Yanchang Formation in Huachi Area, Ordos Basin, *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(2): 108-117**

**Abstract:** Organic-rich shale and mudstone developed well in Chang-7 Member of the Triassic Yanchang Formation, which has become an important prospecting target for shale gas and shale oil. Based on fine description of core, micro-structure observation of thin section and grain analysis, three kinds of lithofacies of shale were determined, including black shale, laminar mudstone, and silty mudstone. Brittle minerals content of silty mudstone is higher than that of black shale and laminar mudstone. Pyrite content of the latter is higher than that of the former, and clay minerals content of the three lithofacies are nearly the same. Black shale is the most favorable lithofacies which has high organic abundance and greatest kerogen type (mainly type I). Laminar mudstone is the second favorable lithofacies. During the deposition of Chang-7 Member, the layered anaerobic environment was beneficial to the preservation of organic matter. Lower grade aquatic lives were the main biological precursor of organic matter. Black shale and laminar mudstone developed in deep lacustrine environment which was quiet and not influenced by terrigenous coarse grains. However, silty mudstone developed in the environment that was influenced frequently by terrigenous coarse grains. As a result, organic matter types of silty mudstone are diverse and complicate. With the combination of fine description of core and logs, the vertical development characteristics of each kind of lithofacies were uncovered. Influenced by base-level changing and sediment supply, the third section of Chang-7 Member (C7<sub>3</sub>) is composed of black shale and laminar mudstone, however, the second section and first section of Chang-7 Member are mainly composed of laminar mudstone and silty mudstone. Black mudstone and shale in C7<sub>3</sub> have better lithofacies that bear lamellation fracture and lamina facies, better organic matter type and high abundance. C7<sub>3</sub> is the best prospect target for shale oil and shale gas.

收稿日期: 2015-09-20; 修回日期: 2015-11-12

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2013JQ503); 陕西省教育厅重点科研项目(15JS092); 国家油气重大专项(2011ZX5018001, 2011ZX05001, 2011ZX05044)

作者简介: 耳 闯(1982—), 男, 博士, 讲师, 主要从事沉积储层与非常规油气地质的教学和科研工作。E-mail: erchuang@xsyu.edu.cn

**Key words:** organic-rich shale; lithofacies; organic facies; shale gas and shale oil; Yanchang Formation; Ordos Basin

**摘 要:**鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7 油层组发育富有机质页岩和泥岩, 目前已成为鄂尔多斯盆地页岩油气勘探的重要层位。综合岩心精细描述、薄片微观结构观察和粒度分析结果, 将富有机质页岩和泥岩划分为黑色页岩岩相、纹层状泥岩岩相、粉砂质泥岩岩相。粉砂质泥岩岩相的脆性矿物含量高于黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相, 后者比前者具有更高的黄铁矿含量, 3 种岩相的黏土矿物含量较接近。黑色页岩岩相有机质丰度高, 有机质类型以 I 型干酪根为主, 是最有利的富有机质岩相类型, 其次为纹层状泥岩岩相。长 7 油层组沉积时期水体为分层的厌氧环境, 有利于有机质的保存, 低等水生生物是主要的母质来源。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相形成于安静、缺少陆源碎屑影响的深湖环境下; 粉砂质泥岩岩相形成于受陆源碎屑频繁影响的环境, 有较多的陆源高等物质输入湖盆中, 造成有机质类型复杂。将岩心精细描述和测井信息紧密结合, 揭示了各类岩相纵向发育特征。受基准面变化和沉积物供给能力影响, 长  $7_3$  以黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相为主, 长  $7_2$  和长  $7_1$  以纹层状泥岩岩相和粉砂质泥岩岩相为主。长  $7_3$  暗色泥岩和页岩的岩相类型好, 发育页理缝和纹层缝, 有机质类型好、丰度高, 是最有利的页岩油气勘探目的层系。

**关键词:** 富有机质页岩; 岩相; 有机相; 页岩油气; 延长组; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** P618.130.21; P534.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2016)02-0108-10

鄂尔多斯盆地是中国著名的含油气盆地, 油气资源丰富, 已成为中国油气产量最高的含油气盆地。上三叠统延长组是石油主要的富集层位, 延长组自下而上, 可划分为 5 段共 10 个油层组, 分别是  $T_3y_1$  (长 10)、 $T_3y_2$  (长 9、长 8)、 $T_3y_3$  (长 7、长 6、长 4+5)、 $T_3y_2$  (长 3、长 2) 和  $T_3y_1$  (长 1)<sup>[1]</sup>。长 7 沉积时期经历了晚三叠世最大的一次湖泛事件, 形成了大面积稳定分布的暗色页岩和泥岩, 尤以“张家滩”页岩最典型<sup>[2]</sup>。长 7 油层组暗色富有机质页岩是延长组优质烃源岩, 具有强生烃和高排烃特征, 是中生界最主要的油源岩<sup>[3-4]</sup>。长 7 沉积时期经历的湖泛事件伴生了多种类型的事件性沉积作用<sup>[5-8]</sup>, 在湖盆内部发育了丰富的粒度偏细的重力流砂体和广泛分布的凝灰岩沉积, 造成长 7 岩性较为复杂, 形成页岩-致密砂岩的过渡岩性序列。长 7 油层组目前已成为鄂尔多斯盆地致密油勘探的重要层位, 页岩油也具有较大的资源潜力<sup>[9-11]</sup>。

页岩储层“甜点”预测是页岩油和页岩气勘探的重要内容, 页岩储层“甜点”至少有 4 个特点: (1) 富含有机质; (2) 易改造; (3) 纵向上富集在一定层段; (4) 平面上发育在一定区域。岩相是“甜点”预测的有效途径, 其对揭示易改造的富有机质页岩的发育特征和水平井设计具有重要意义<sup>[12-13]</sup>。明确长 7 油层组暗色泥岩和页岩的岩性和岩相特征, 对于认识致密油的油源特征和页岩油储层特征具有重要的理论意义和现实勘探意义。本文力图划分鄂尔多斯盆地三叠系延长组富有机质页岩的岩相类型, 揭示页岩岩相的矿物组成、有机质类型和丰度等特征, 探讨

有利页岩岩相的发育机制, 确定有利富页岩油气的岩相类型。

## 1 暗色泥岩和页岩的岩相特征

不同研究者从研究对象的特点和储层评价角度对页岩岩相进行了划分: (1) 根据页岩的矿物组成, 将页岩岩相划分为黏土质页岩、硅质页岩、钙质页岩及它们的过渡类型<sup>[14-15]</sup>; (2) 根据(泥)页岩的粒度组成和岩性构成, 将页岩划分为纯(泥)页岩、含粉砂页岩和粉砂质页岩<sup>[16]</sup>; (3) 将岩石类型、矿物组成和有机碳含量结合, 划分页岩岩相类型<sup>[17]</sup>。将页岩岩相类型与层序旋回结合, 有利于分析岩相的成因、发育规律和有利层段预测<sup>[1-2, 15, 18]</sup>。

长 7 油层组是延长组最重要的烃源岩层, 烃源岩岩性有页岩、泥岩、含粉砂泥岩、粉砂质泥岩甚至泥质粉砂岩(图 1)。综合岩心观察和泥岩薄片鉴定资料, 笔者将华池地区长 7 段富有机质泥页岩岩相类型划分为黑色页岩相、纹层状泥岩相和含粉砂泥岩或粉砂质泥岩相(以下简称粉砂质泥岩岩相); 与上述岩相伴生的, 还包括含泥粉砂岩或泥质粉砂岩相(以下简称泥质粉砂岩岩相)。

### 1.1 岩相类型

(1) 黑色页岩相。岩性为页岩, 颜色为深黑色, 岩心染手, 新鲜面具油亮光泽, 岩性纯, 夹较多的凝灰质纹层、砂质纹层和黄铁矿结核或黄铁矿条带(图 2a)。薄片观察显示, 泥质含量高, 有机质吸附于泥质层, 泥质层和碎屑颗粒呈互层状排列, 显微纹层连

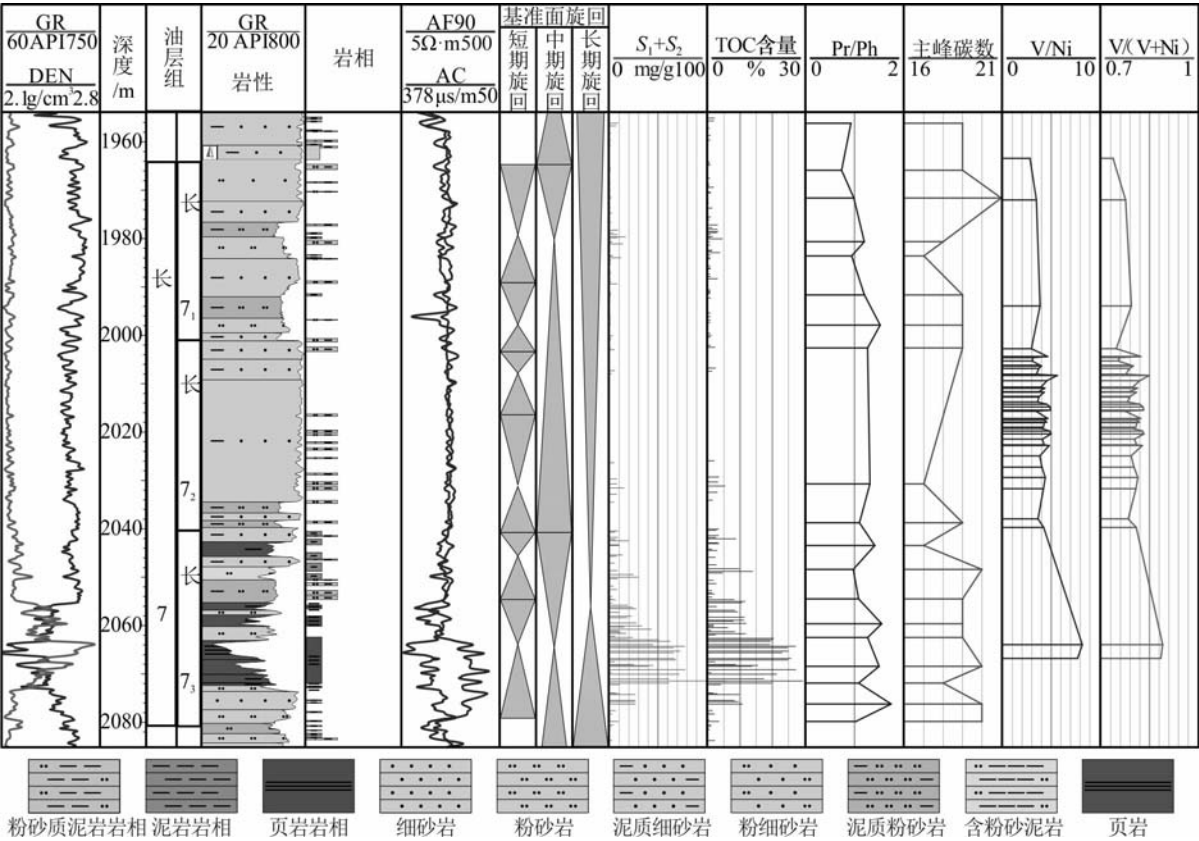


图 1 X 井长 7 油层组层序地层-有机地球化学-无机地球化学综合柱状图

Fig.1 Sequence stratigraphic, organic geochemistry, inorganic geochemistry composite columnar section of Chang-7 Member, Well X as an example

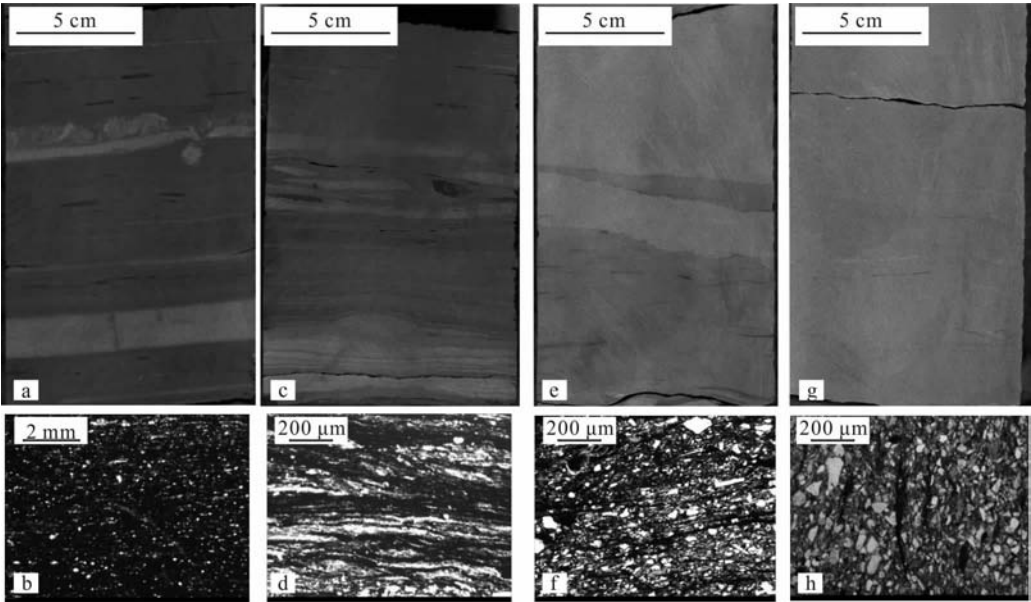


图 2 X 井长 7 暗色页岩和泥岩岩相类型

Fig.2 Lithofacies types of dark mudstone and shale of Chang-7 Member, an example from Well-X

续或断续发育(图 2b)。

(2)纹层状泥岩相。岩性为泥岩,颜色为黑色或灰黑色,与黑色页岩相相比,不具油亮光泽。岩性较纯,砂质含量增多,夹较多的凝灰质纹层、砂质纹层和黄铁矿结核(图 2c)。薄片观察显示,泥质含量高,泥质和砂质互层。泥质部分富含有机质,偏光镜下不发光;砂质部分含较多的碎屑颗粒,偏光镜下光性矿物颗粒发光明显(图 2d)。

(3)粉砂质泥岩岩相。岩性为粉砂质泥岩或含粉砂泥岩,砂质含量较高,颜色为灰色或浅黑色。发育块状层理、水平层理、波状层理等沉积构造,岩心中可见碳质纹层(图 2e)。薄片观察显示,泥质含量高,碎屑颗粒呈漂浮状分散于泥质内,碎屑颗粒彼此孤立或呈点接触,夹碳质或有机质纹层。其显微层理有块状层理、递变层理、纹层构造等(图 2f)。

(4)泥质粉砂岩相。此类岩相不属于富有机质泥页岩岩相的范畴,但常与上述 3 种岩相类型尤其是粉砂质泥岩岩相伴生。岩性为含泥粉砂岩或泥质粉砂岩,砂质含量高,颜色为灰色或灰白色,具有块状层理、递变层理和平行层理等沉积构造(图 2g)。薄片观察显示,砂质含量高,碎屑颗粒粒径较大,杂基支撑,基底式或孔隙式胶结,泥质部分可见碳屑或有机质条带(图 2h)。

## 1.2 岩相矿物组成

利用 X 射线衍射全岩分析数据分析各类岩相的矿物组成特征,实际研究过程中将黑色页岩和纹层状泥岩合并一个大类。X 射线衍射测试由中国石

油长庆油田分公司勘探开发研究院实验中心完成,测试参照标准为 SY/T 5163—2010,实验仪器为 D8 FOCUS 型 X 射线衍射仪。统计表明,粉砂质泥岩岩相的矿物组成中石英、长石和碳酸盐含量均高于黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相,前者与后两者的黏土矿物含量较接近,而后两者相比前者具有更高的黄铁矿含量(图 3)。

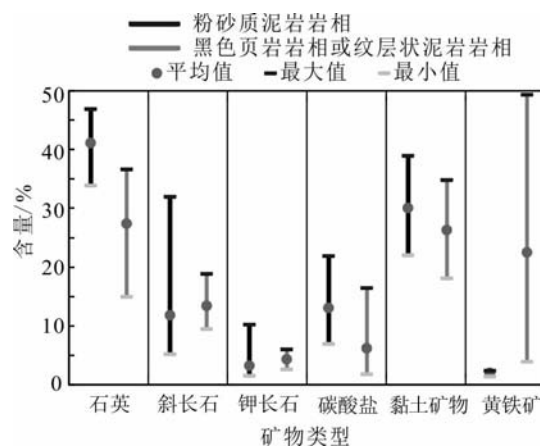
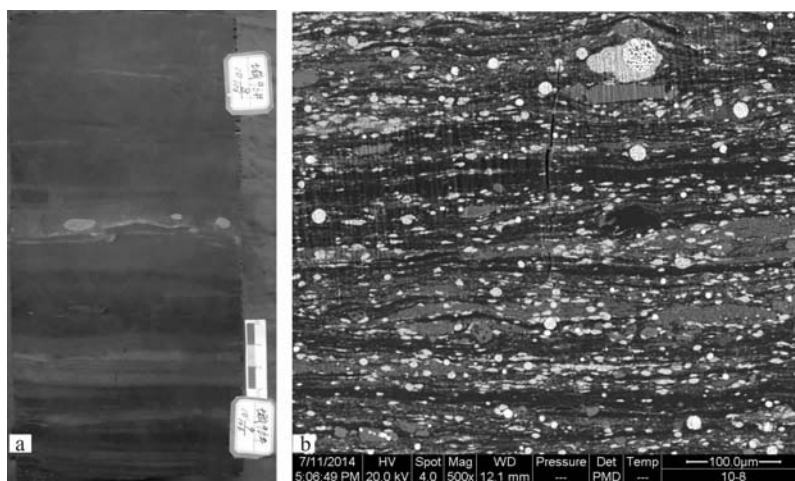


图 3 各岩相矿物组成特征图

Fig. 3 Diagrams of minerals composition of each lithofacies

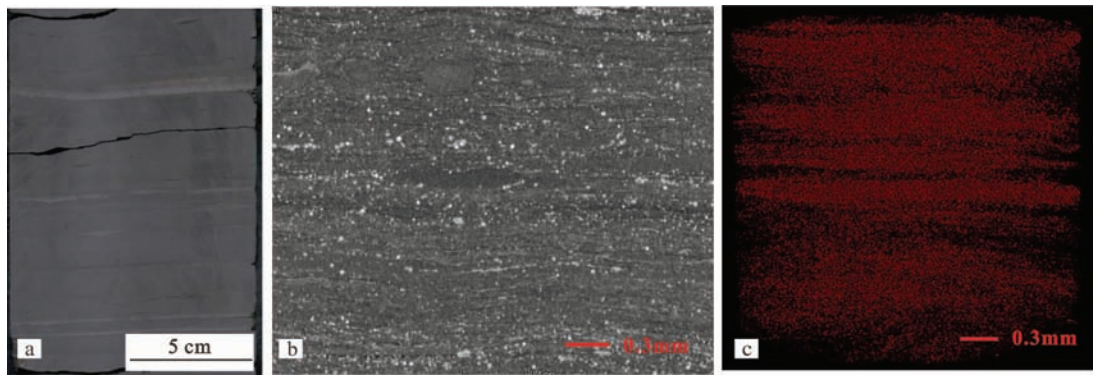
在黑色页岩和纹层状泥岩中,黄铁矿十分发育,在岩心中可见到结核状或条带状黄铁矿,在岩石薄片或扫描电镜样品中,黄铁矿在泥质条带和砂质条带界面处顺层分布,形成良好的莓状黄铁矿集合体(图 4)。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相黄铁矿含量高,推测其可能形成于相对封闭的还原环境。



a—X 井, 2 063.1 m, 长 7<sub>3</sub>, 泥岩, 发育黄铁矿结核、凝灰质纹层; b—X 井, 2 062.96 m, 长 7<sub>3</sub>, 页岩, 有机质(深色)和矿物层(浅色)互层, 黄铁矿顺纹层面分布。

图 4 纹层状泥岩岩相中黄铁矿发育特征

Fig. 4 Development characteristics of pyrites in laminar mudstone



a—X 井,2 063.95 m,长 7<sub>3</sub>,黑色页岩,岩心中可见凝灰质纹层;b—X 井,2 063.95 m,长 7<sub>3</sub>,CT 扫描图像,砂质与泥质互层,显微纹层构造;c—X 井,2 063.95 m,长 7<sub>3</sub>,纹层缝三维空间分布特征。

图 5 黑色页岩相纹层缝发育特征  
Fig. 5 Laminar fissures feature of black shale

1.3 纹层缝发育特征

通过将岩心和岩石薄片对比观察,黑色页岩岩相发育页理、砂质纹层和凝灰质纹层等,纹层状泥岩岩相中也可见到砂质纹层和凝灰岩纹层。岩石薄片可见到富含有机质的泥质和砂质呈连续或断续纹层状分布,碎屑颗粒排列具有定向性;而深灰色泥岩、含粉砂泥岩则以块状层理或夹砂质条带为特征,岩石薄片鉴定多以块状泥岩、递变状粉砂质泥岩和块状粉砂质泥岩为主,显微纹层不发育,碎屑颗粒排列无明显定向性。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相具页理或砂质纹层,其对改善页岩储层渗透率可以起到积极的作用<sup>[19]</sup>(图 5)。

1.4 岩相纵向发育特征

将岩心精细描述与测井数据有机结合,建立了各类富有机泥页岩岩相的测井定量识别标准,进而预测各类岩相的纵向发育特征。岩心精细描述和解释结果具有较好的一致性。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相在长 7<sub>3</sub> 最发育,长 7<sub>2</sub> 和长 7<sub>1</sub> 以纹层状泥岩和粉砂质泥岩为主,且后者所占比重较大(图 1)。岩相发育特征受基准面变化和沉积物供给影响。长 7<sub>3</sub> 沉积时期为长期基准面上升晚期和下降早期,陆源碎屑供给能力较差,深湖区以沉积页岩和泥岩等细粒沉积为主,页岩和泥岩在该阶段最发育。长 7<sub>2</sub> 和长 7<sub>1</sub> 沉积时期对应长期基准面下降期,物源供给充分,深水重力流沉积在该阶段十分发育,在该阶段以粉砂质泥岩为主。

2 各类岩相的地球化学特征

长 7 段为深湖亚相沉积,长 7<sub>3</sub> 以黑色泥岩、页

岩为主,长 7<sub>2</sub> 和长 7<sub>1</sub> 以重力流沉积为主,丰富的陆源碎屑供给造成了有机质丰度和有机质类型的差异。前面已对岩相类型和岩相发育特征做了阐述,本节重点从有机质丰度和有机质类型阐述各类岩相的地球化学特征。

2.1 不同类型岩相的有机质丰度

(1)有机碳含量。泥质粉砂岩岩相和粉砂质泥岩岩相有机碳(TOC)含量以 2% 以下居多,纹层状泥岩岩相 TOC 含量以 2% 以上为主,黑色页岩岩相 TOC 含量最高,主体在 8% 以上,最大可达 29.43%。以 TOC 含量为指标,泥质粉砂岩岩相和粉砂质泥岩岩相以中等—好烃源岩为主,纹层状泥岩和黑色页岩以好—最好烃源岩为主(图 6)。从层位分析,长 7<sub>3</sub> TOC 含量高,长 7<sub>1</sub> 和长 7<sub>2</sub> 的 TOC 含量相对较低。

(2)生烃潜量。黑色页岩岩相生烃潜量( $S_1 + S_2$ )分布范围介于 17.77~100.99 mg/g,平均为 52.21 mg/g;纹层状泥岩岩相( $S_1 + S_2$ )分布范围介于 0.56~29.59 mg/g,平均为 11.36 mg/g;粉砂质泥岩岩相( $S_1 + S_2$ )分布范围介于 0.43~11.47 mg/g,平均为 3.16 mg/g;泥质粉砂岩岩相( $S_1 + S_2$ )分布范围介于 0.19~8.57 mg/g,平均为 2.38 mg/g。黑色页岩岩相属于最好的烃源岩类型,纹层状泥岩岩相大部分属于好的烃源岩类型,少部分属于中等烃源岩;粉砂质泥岩岩相大部分差—中等烃源岩。以黑色页岩岩相生烃潜量最高,其次为纹层状泥岩岩相(图 7)。

2.2 不同类型岩相的有机质类型

2.2.1 不同类型岩相的热解参数特征

利用岩石热解实验获得的氢指数( $I_H$ ,指热解

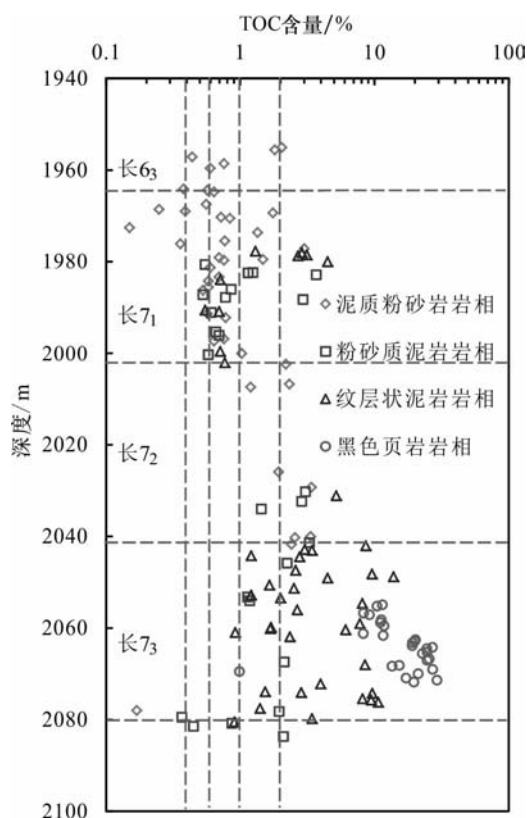


图6 X井长7各类岩相有机碳含量

Fig. 6 Total organic content of each lithofacies of Chang-7 Member, an example from Well-X

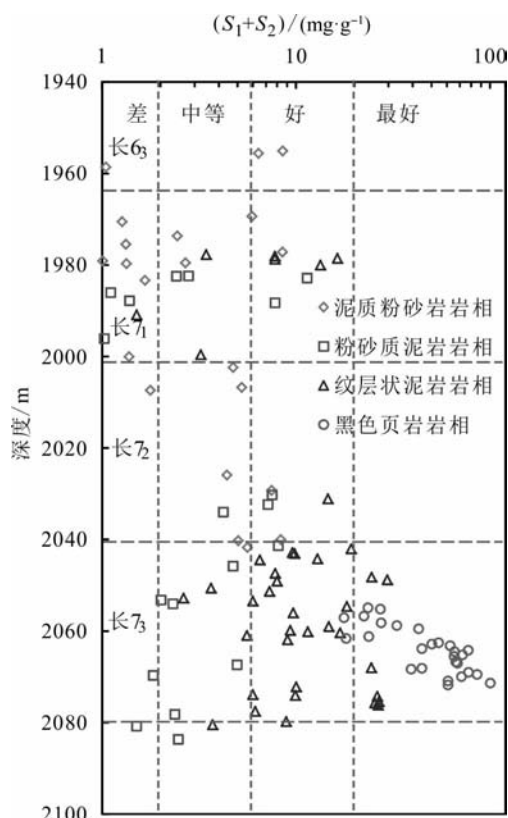


图7 X井长7各类岩相生烃潜量

Fig. 7 Generation potential of each lithofacies of Chang-7 Member, an example from Well-X

烃/总有机碳, mg/g)、氧指数 ( $I_O$ , 指  $CO_2$  质量/总有机碳, mg/g) 和  $T_{max}$  (最大热解峰温), 编制了相应的图版判断各类岩相的干酪根类型。

在  $I_O$ - $I_H$  图中, 黑色页岩岩相、纹层状泥岩岩相总体表现为低  $I_O$  和高  $I_H$ , 粉砂质泥岩岩相总体表现为低  $I_O$  和较高  $I_H$ , 这3类岩相的干酪根类型为I型干酪根。泥质粉砂岩岩相总体表现为较低  $I_O$  和较高  $I_H$ , 干酪根类型以  $II_2$  和  $III$  型为主(图8a)。

在  $I_O$ - $I_H$  图类似, 在  $T_{max}$ - $I_H$  图版上, 黑色页岩岩相、纹层状泥岩岩相、粉砂质泥岩岩相烃源岩类型为I型和  $II_1$  型干酪根, 泥质粉砂岩岩相有机质类型复杂, I型、 $II_1$  型和  $II_2$  型均发育, 可能与沉积环境和母质类型有关(图8b)。

### 2.2.2 不同类型岩相的干酪根 $\delta^{13}C$

纵向上, 黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相集中在长7<sub>3</sub>, 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相集中在长7<sub>2</sub> 和长7<sub>3</sub>。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相的干酪根  $\delta^{13}C < -27\text{‰}$ , 干酪根类型为腐泥型, 母质类型单一, 以低等水生生物为主<sup>[6, 20]</sup>; 粉砂质泥岩岩相和含粉砂泥岩岩相的干酪根同位素  $-29.76\text{‰} <$

$\delta^{13}C < -26.06\text{‰}$ , 干酪根类型I型、 $II_1$  和  $II_2$  型均发育, 其母质类型除低等水生生物外可能还有陆源高等植物的影响(图9)。

### 2.2.3 不同类型岩相的干酪根显微组分

干酪根镜检结果表明, 黑色页岩岩相腐泥组含量范围为81.6%~98.1%, 镜质组含量范围为1.9%~18.4%。纹层状泥岩岩相腐泥组含量范围为46%~97.5%, 镜质组含量范围为1.6%~51%。粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相腐泥组含量范围为0~86.1%, 镜质组含量为13.8%~96%。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相具有较高腐泥组组分, 而其他两种类型的岩相则具有较高镜质组组分(图10)。显微组分的差异与母源类型有关, 长7<sub>3</sub> 沉积时期, 水体相对安静, 以水生低等生物为主, 干酪根中腐泥组含量较高; 长7<sub>2</sub> 和长7<sub>1</sub> 在深湖相背景下, 有较多的陆源沉积物供给, 陆源高等植物与碎屑沉积物一起沉积并保存下来, 造成长7<sub>1</sub> 和长7<sub>2</sub> 母质类型复杂多样。

### 2.3 各类岩相发育的地球化学环境

(1) 饱和烃特征。长7段泥岩抽提物饱和和烃色



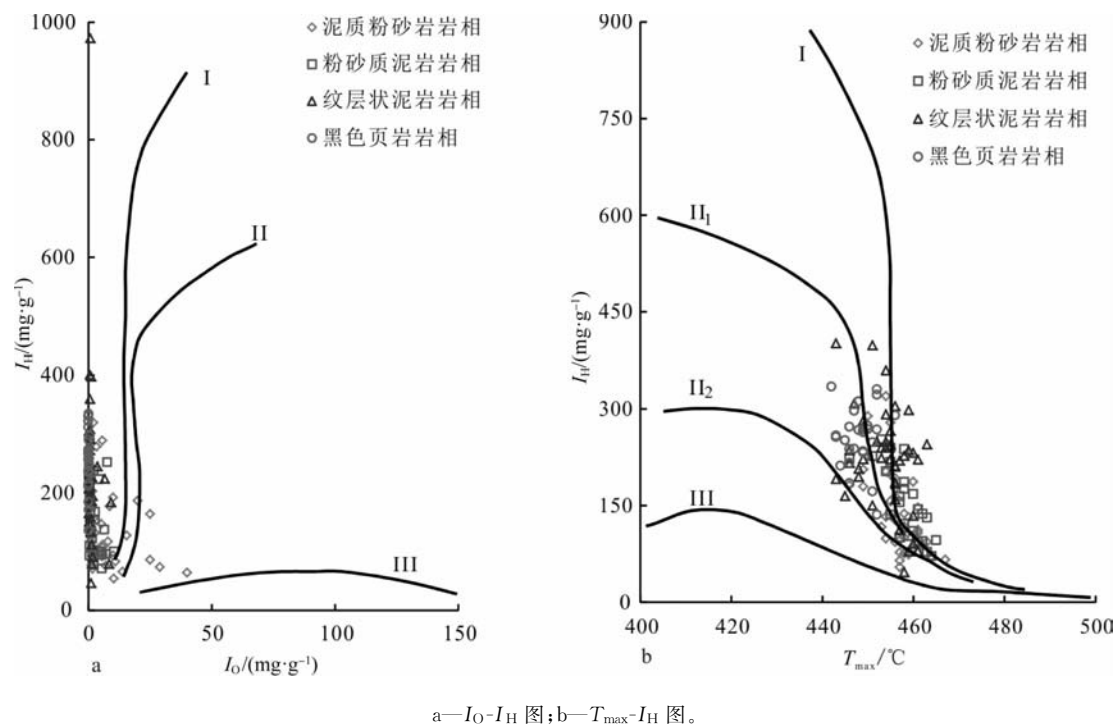


图 8 利用岩石热解参数评价干酪根类型  
Fig. 8 Diagram of kerogen type using rock pyrolysis results

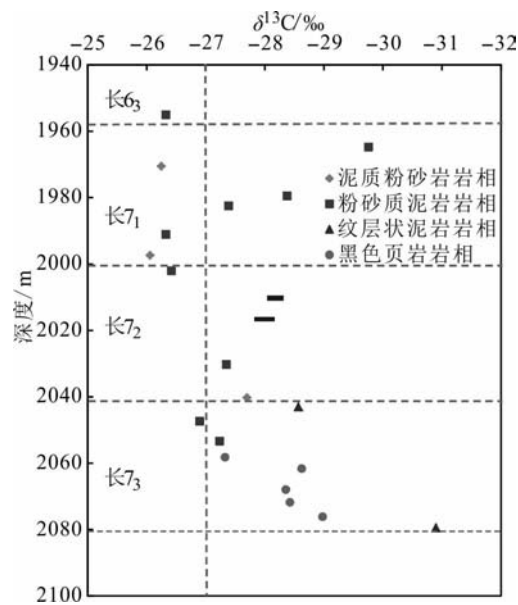


图 9 长 7 不同岩相干酪根  $\delta^{13}\text{C}$  特征  
Fig. 9  $\delta^{13}\text{C}$  characteristics of each lithofacies of Chang-7 Member

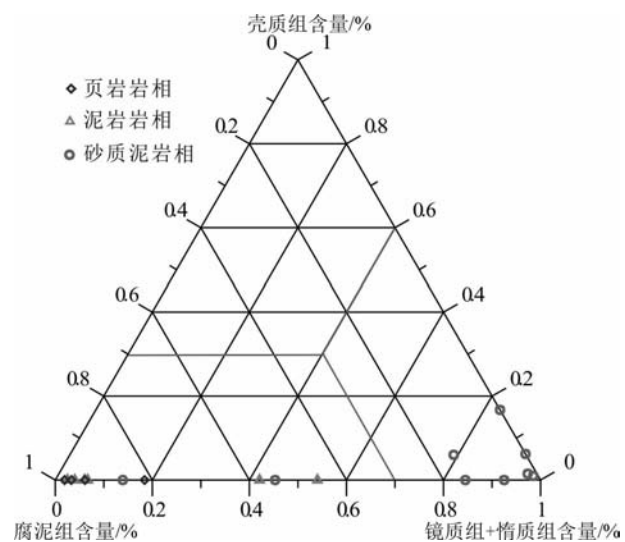
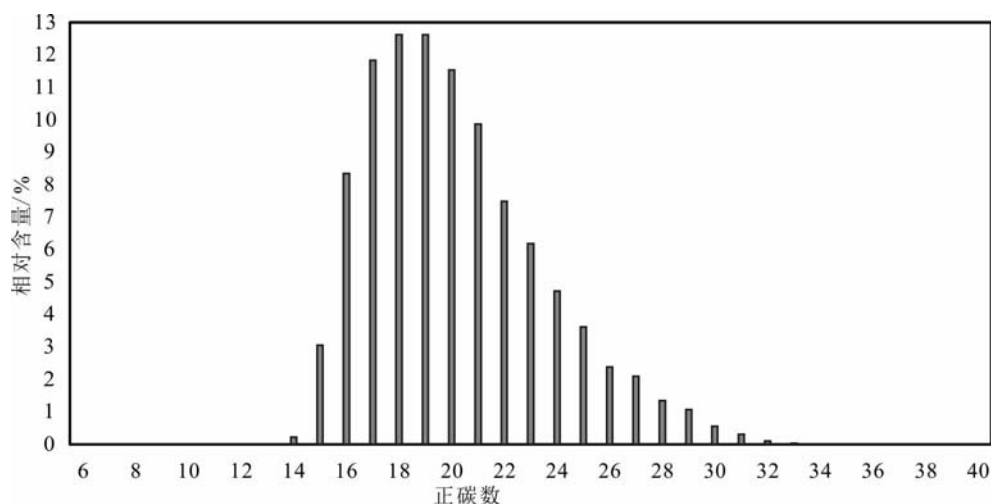


图 10 长 7 不同岩相干酪根显微组分  
Fig. 10 Kerogen maceral of each lithofacies of Chang-7 Member

谱分析表明,Pr/Ph 介于 0.73~1.76(图 1),反映沉积环境总体为还原环境;CPI 介于 0.99~1.12, OEP 介于 0.99~1.43,无明显奇偶优势;主峰碳数介于 17~21,主峰碳数偏低(图 1); $\text{C}_{21}^-/\text{C}_{22}^+$ 、 $\text{C}_{22}^-/\text{C}_{23}^+$ 、 $(\text{C}_{21} + \text{C}_{22})/(\text{C}_{28} + \text{C}_{29})$  值较高,饱和烃色谱为前峰型(图 11),反映有机质母质类型以藻类等低等

浮游生物为主。  
(2)微量元素特征。暗色泥岩无机地球化学研究主要是利用常量元素、微量元素和稀土元素资料,分析其所蕴含的古盐度、古温度和古环境信息,揭示有机质保存的沉积地球化学条件。V/Ni 和 V/(V+Ni)是反映氧化-还原环境的重要指标,一般认为



X 井, 长  $7_3$ , 2 062.47 m, 主峰碳数 19。

图 11 饱和烃气相色谱图

Fig. 11 Gas chromatogram of saturated hydrocarbon

V/Ni 值大于 1 为还原环境, 小于 1 为氧化环境<sup>[21]</sup>。V/(V+Ni) 值  $>0.84$ , 反映水体分层及底层水体中出现  $H_2S$  的厌氧环境; 比值为  $0.54 \sim 0.72$  为水体分层不强的厌氧环境; 比值为  $0.46 \sim 0.6$  为水体分层弱的贫氧环境<sup>[22]</sup>。长 7 段 V/Ni 值介于  $2.8 \sim 8.21$ , 水体环境为还原环境; V/(V+Ni) 值介于  $0.74 \sim 0.89$ , 总体反映长 7 沉积时期为分层的厌氧环境, 有利于有机质的保存。V/Ni 和 V/(V+Ni) 高值段, 对应了 TOC 含量、 $S_1$ 、 $S_2$ 、( $S_1 + S_2$ ) 的高值区, 无机地化指标与有机地化指标具有较好的一致性(图 1)。

(3) 各类岩相有机地球化学指标差异性分析。通过对 4 种岩相的有机质丰度和有机质类型的各种指标对比不难发现, 黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相有机质丰度高, 干酪根类型主要为 I 类, 母质类型以藻类等低等浮游生物为主; 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相的有机质丰度和干酪根类型较复杂, 但后两者有机质丰度总体要比前两者差, 干酪根类型 I 型、II<sub>1</sub> 型和 II<sub>2</sub> 型均发育, 母质类型除藻类等低等浮游生物外, 还受到高等植物的影响(表 1)。

虽然 4 类岩相都形成于厌氧的水体环境下, 但 4 类岩相仍受到水体环境和陆源碎屑供给强度的影响。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相形成于安静、缺少陆源碎屑影响的深湖环境下, 有利于低等水生生物的保存, 干酪根类型好, 有机质丰度高; 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相形成于受陆源碎屑频繁影响的环境下, 有较多的陆源高等物质输入湖盆中,

造成有机质类型复杂, 同时陆源碎屑含量高, 缺少泥质沉积和有机质保存的有利环境, 造成有机质丰度偏低。

### 3 岩相纵向发育模式

基准面旋回和物源供给能力控制了岩相的纵向发育, 沉积环境和物源供给影响了有机质母质类型和有机质保存条件。长  $7_3$  沉积时期对应于长期基准面上升晚期和下降早期, 物源供给能力较差, 水体安静, 形成分层缺氧的水体环境, 以页岩和泥岩沉积为主, 有利于低等水生生物的保存, 母质类型以藻类为主。长  $7_2$  和长  $7_3$  沉积时期对应长期基准面下降晚期, 物源供给能力逐渐增强, 湖盆内部发育丰富的重力流沉积, 发育薄层粉砂质泥岩和泥质粉砂岩, 水体环境动荡, 陆源高等植物随沉积物一起进入湖盆内部, 母质来源包括水生生物和高等植物, 有机质类型复杂多样(图 12)。在长期基准面旋回中, 最大湖泛面上下, 以黑色页岩和纹层状泥岩为主, 砂质含量低, 有机碳含量高, 有机质类型好; 长期基准面下降晚期, 陆源碎屑供给充分, 砂质含量逐渐增多, 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相为主, 有机碳含量总体下降。因此, 在高频基准面旋回和碎屑供给周期性变化背景下, 长 7 油层组从下至上, 其砂质含量逐渐增多, 岩相类型由好到差, 有机碳含量由多到少, 有机质类型由好变差, 在纵向上具有“宝塔状”特征(图 12)。



表 1 研究区长 7 油层组 4 类岩相类型有机地球化学特征对比表

Table 1 Organic geochemistry features of 4 kinds of lithofacies of Chang-7 Member in study area

岩相类型	显微组分含量/%	$\delta^{13}\text{C} / \text{‰}$	TOC 含量/%	$(\text{S}_1 + \text{S}_2) / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	Pr/Ph	$\text{C}_{21}^- / \text{C}_{22}^+$	母质类型
腐泥组							
81.6~98.1							
黑色页岩相	92.6	-28.98~-27.33	0.99~29.43	17.77~100.99	1.085~1.56	1.21~2.59	藻类等低等浮游生物
镜质组							
-28.35							
17.33							
52.21							
1.36							
1.93							
1.9~18.4							
7.4							
腐泥组							
46~97.5							
纹层状泥岩相	80.8	-30.9~-28.57	0.55~13.89	0.56~29.59	0.973~1.757	1.09~3.41	藻类等低等浮游生物
镜质组							
4.01							
11.36							
1.29							
1.69							
2.5~54							
19.2							
腐泥组							
0~86.1							
砂质泥岩相	20.2	-29.76~-26.33	0.37~3.7	0.43~11.47	0.941~1.312	1.52~3.51	藻类等低等浮游生物和高等植物
镜质组							
-27.34							
15							
3.6							
1.13							
2.38							
13.9~98							
76.3							
腐泥组							
壳质组							
-27.7~-26.06							
0.15~3.4							
0.19~8.57							
0.732~1.53							
0.99~1.66							
0~16.7							
3.5							
2.38							
1.08							
1.21							
藻类等低等浮游生物和高等植物							

注:砂质泥岩相与泥质砂岩相的显微组分含量数据较少,将两种岩相对应的显微组分数据合并在一起统计。各项测试均由中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院实验中心完成。有机碳含量测试参照 GB/T 19145—2003,利用碳硫联合测定仪完成;岩石热解测试参照 GB/T 18602—2012,利用 Rock Eval 6 岩石热解仪完成;干酪根碳同位素测试参照 SY/T 5358—2002,利用 Delta plus XP 同位素质谱仪完成;干酪根显微组分测试参照 SY/T 5125—1996,利用 MPV—SP 显微光度计完成;饱和烃气相色谱测试参照 SY/T 5779—2008,利用 CP 3900II 气相色谱仪;饱和烃气相色谱—质谱参照 GB/T 18606—2001,利用 Trace DSQ II 气—质联用仪完成。

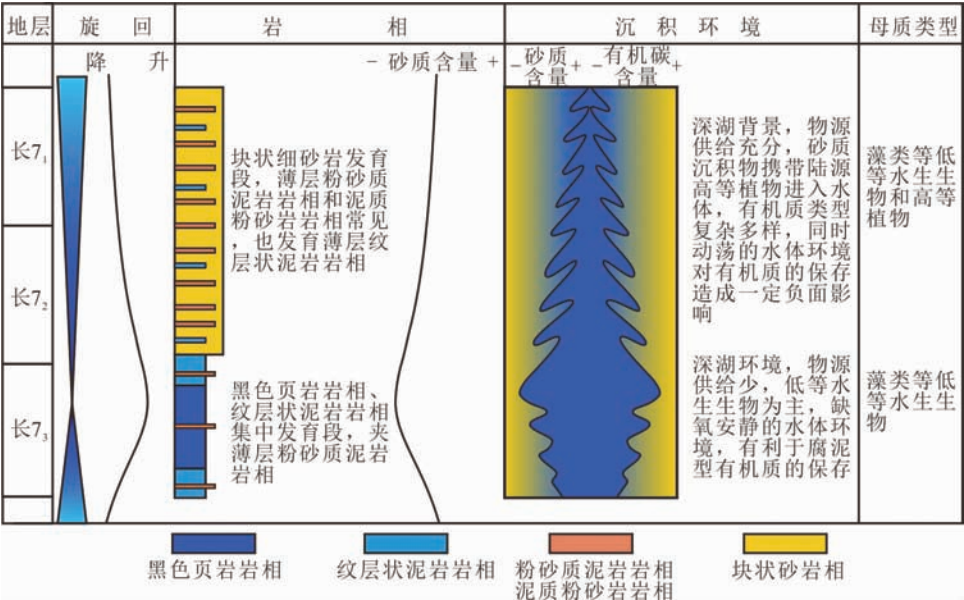


图 12 长 7 油层组岩相和有机质特征纵向模式图

Fig. 12 Lithofacies and features of organic matter distribution in the longitudinal section of Chang-7 Member

## 4 结论

通过划分研究区长 7 油层组暗色泥岩和页岩的岩相, 分析各类岩相的有机质丰度和有机质类型得出以下结论:

(1) 长 7 暗色泥岩和页岩岩相类型包括黑色页岩岩相、纹层状泥岩岩相、粉砂质泥岩岩相, 与前 3 种类型伴生的还包括泥质粉砂岩岩相。黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相发育页理、凝灰质纹层、粉砂质纹层等, 可能具有较好的渗透性。受基准面旋回和沉积物供给的影响, 黑色页岩岩相和纹层状泥岩岩相主要发育在长  $7_3$ , 粉砂质泥岩岩相主要发育在长  $7_1$  和长  $7_2$ 。

(2) 黑色页岩岩相有机质丰度最高, 其次为纹层状泥岩岩相, 这两种岩相以 I 和 II<sub>1</sub> 型干酪根为主, 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相有机质丰度变化较大, 但总体劣于前两者, 干酪根类型包括 I、II<sub>1</sub> 和 II<sub>2</sub> 型。

(3) 低等水生生物是干酪根的主要母质来源, 受沉积物供给的影响, 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相的母质类型中包括高等植物。4 类岩相形成于水体分层的厌氧或还原环境中, 有利于有机质的保存。

(4) 黑色页岩岩相有机质丰度高, 有机质类型好, 母质类型以藻类为主, 是最有利的岩相类型, 其次为纹层状泥岩岩相, 粉砂质泥岩岩相和泥质粉砂岩岩相较差。

(5) 长  $7_3$  暗色泥岩和页岩的岩相类型好, 发育页理缝和纹层缝, 有机质类型好、丰度高, 是最有利的页岩油气勘探目的层系。

## 参考文献

- [1] Bunting P J, Breyer J A. Lithology of the Barnett Shale (Mississippian), southern Fort Worth Basin, Texas[C]//Breyer J A. Shale reservoirs: Giant Resources for the 21st Century; AAPG Memoir 97. The American Association of Petroleum Geologists, 2012: 322-343.
- [2] Breyer J A, Bunting P J, Monroe R M, et al. Lithologic and stratigraphic variation in a continuous shale-gas reservoir: The barnett shale(Mississippian), Fort Worth Basin, Texas [C]//Breyer J A. Shale Reservoirs: Giant Resources for the 21st Century; AAPG Memoir 97. The American Association of Petroleum Geologists, 2012: 368-381.
- [3] 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7 (1): 34-44.
- [4] 杨华, 傅强, 付金华. 鄂尔多斯晚三叠世盆地沉积层序与油

- 气成藏[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 21-43.
- [5] 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
- [6] 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154.
- [7] 邓秀芹, 蔺防晓, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨[J]. 古地理学报, 2008, 10(2): 159-166.
- [8] 杨华. 鄂尔多斯盆地三叠纪延长组沉积期湖盆边界与底形及事件沉积研究[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 90-144.
- [9] 杨华, 邓秀芹. 构造事件对鄂尔多斯盆地延长组深水砂岩沉积的影响[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(5): 513-520.
- [10] 邓秀芹, 罗安湘, 张忠义, 等. 秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比[J]. 沉积学报, 2013, 31(6): 939-953.
- [11] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩油分类与评价[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 322-331.
- [12] 高岗, 刘显阳, 王银会, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长 7 段页岩油特征与资源潜力[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 140-146.
- [13] 杨华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 1-11.
- [14] Locks R G, Ruppel S C. Mississippian Barnett shale: Lithofacies and depositional setting of a deepwater shale gas succession in the Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 579-601.
- [15] Hammes U, Hamlin H S, Ewing T E. Geologic analysis of the Upper Jurassic Haynesville Shale in east Texas and west Louisiana[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(10): 1643-1666.
- [16] 耳闯, 赵靖舟, 白玉彬, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组富有机质泥页岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34 (5): 708-715.
- [17] Caldwell C D. Lithostratigraphy of the Woodford Shale, Anadarko Basin, West-Central Oklahoma[C]//Proceedings of AAPG Mid-Continent Section Meeting, Oklahoma City. 2011.
- [18] Hemmesch N T, Harris N B, Mnich C A, et al. A sequence-stratigraphic framework for the Upper Devonian Woodford Shale, Permian Basin, west Texas [J]. AAPG Bulletin, 2014, 98(1): 23-47.
- [19] 耳闯, 赵靖舟, 王芮, 等. 沉积环境对富有机质页岩分布的控制作用: 以鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7 油层组为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(5): 823-832.
- [20] 张文正, 杨华, 杨奕华, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 59-64.
- [21] 张才利, 高阿龙, 刘哲, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 油层组沉积水体及古气候特征研究[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 582-587.
- [22] 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): 406-413.