

文章编号: 1001-6112(2009)06-0608-05

# 松辽盆地长岭断陷层烃源岩地球化学特征研究

周卓明<sup>1,2</sup>, 王再锋<sup>2</sup>, 伍泓<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学 能源学院, 成都 610059;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:** 下白垩统沙河子组沉积的暗色泥岩和煤层是松辽盆地长岭断陷层主要的烃源岩, 火石岭组和营城组为次要烃源岩。钻井和露头样品表明, 火石岭组烃源岩有机碳含量 0.50%~8.55%、生烃潜量 2~17 mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.04%~0.33%, 干酪根类型以 II 型为主, 成熟度演化处于生气的过成熟阶段; 沙河子组烃源岩有机碳含量 1.00%~6.54%、生烃潜量 2~8 mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.2%~0.5%, 干酪根类型以 I 型和 II 型为主, 成熟度演化处于高成熟—过成熟阶段; 营城组烃源岩有机碳含量 0.5%~2.5%、生烃潜量 0.5~4.0 mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.05%~0.20%, 干酪根类型以 II 型为主, 处于成熟—高成熟阶段。综合评价沙河子组为中等—好烃源岩, 而营城组和火石岭组烃源岩属中等烃源岩。

**关键词:** 烃源岩分布; 有机质丰度; 有机质类型; 有机质成熟度; 长岭断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOURCE ROCKS IN CHANGLING FAULT DEPRESSION, SONGLIAO BASIN

Zhou Zhuoming<sup>1,2</sup>, Wang Zaifeng<sup>2</sup>, Wu Hong<sup>2</sup>

(1. School of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** The main source rocks of the Changling Fault Depression in the Songliao Basin are dark mudstone and coal seam deposited in the Lower Cretaceous Shahezi Formation. The Huoshiling and Yingcheng Formations are secondary source rocks. Analyses of well samples and outcrops show that, as to the Huoshiling Formation source rocks, organic carbon content is 0.50%—8.55%, hydrocarbon generation potential is 2—17 mg/g, chloroform bitumen “A” content is 0.04%—0.33%, main kerogen type is II, and it is during the over-mature stage of organic evolution. As to the Shahezi Formation source rocks, organic carbon content is 1.00%—6.54%, hydrocarbon generation potential is 2—8 mg/g, chloroform bitumen “A” content is 0.2%—0.5%, main kerogen types are I and II, and it is during the high- and over-mature stages of organic evolution. As to the Yingcheng Formation source rocks, organic carbon content is 0.5%—2.5%, hydrocarbon generation potential is 0.5—4.0 mg/g, chloroform bitumen “A” content is 0.05%—0.20%, main kerogen type is II, and it is during the mature and high-mature stages of organic evolution. The Shahezi Formation source rocks are considered as moderate—good, while the Yingcheng and Huoshiling Formations are considered as moderate.

**Key words:** distribution of source rock; organic matter abundance; organic matter type; organic matter maturity; Changling Fault Depression; Songliao Basin

松辽盆地是一个具有断、坳双重结构的大型河湖相沉积盆地, 油气资源十分丰富。勘探表明其具有中浅层和深层 2 套含油气组合, 中浅层为坳陷层, 含油气组合以油为主, 勘探程度较高; 深层为断陷结构(登娄库组及以下), 以气为主, 勘探程度较低<sup>[1,2]</sup>。

但随着近年来断陷层天然气勘探工作的迅猛发展, 松辽盆地深层油气勘探获得众多突破, 北部徐家围子地区形成了规模超千亿方的徐深大气田; 南部长岭地区在中国石油吉林油田和中国石化东北油气分公司先后针对断陷层实施的长深 1 井、腰深 1 井

获得突破后,也发现了规模超千亿方的松南气田<sup>[3]</sup>。长岭断陷层烃源岩分布及有机地球化学特征研究的开展,对该区深层天然气勘探非常重要。

### 1 烃源岩分布

长岭断陷位于松辽盆地南部,在古生代属吉黑地槽系南端,与松辽盆地北部地区为统一的整体。基底为中等变质的石炭—二叠系碳酸盐岩和具类复理石建造的粉砂岩、页岩及中酸性火山岩系。上侏罗统火石岭组—上白垩统营城组,主要为受近东西向拉张应力场控制的断陷沉积。登娄库组沉积时属断拗转换期,表现为下断上超的特点,下部明显受断裂控制,上部常超覆于控盆断裂之上。泉头组及其以上为坳陷沉积,基本继承了登娄库组沉积末期遭受剥蚀后的古构造格局<sup>[4]</sup>。

长岭断陷是松辽盆地断陷群中断陷层湖相烃源岩厚度最大(3 000 m 以上)、分布面积最广(1 500~3 000 km<sup>2</sup>)的区域<sup>[5]</sup>。目前钻井揭示的深部断陷层主要包括侏罗系火石岭组、下白垩统沙河子组、营城组和登娄库组。营城组、沙河子组和火石岭组的暗色泥岩和煤层是松辽盆地包括长岭地区断陷层的主力烃源岩<sup>[6~9]</sup>。

长岭断陷钻井揭示火石岭组仅在东岭斜坡区,且均未揭穿。暗色泥岩厚度从几 m 到 156 m,主要为浅湖相深灰色、灰黑色泥岩。地震资料及沉积相分析表明,长岭断陷暗色泥岩主要分布在前七号、北正镇和流水镇等局部地区,最大厚度可达 300 m 以上。

长岭断陷揭示沙河子组地层的钻井极少,从邻区 TS6 井在该地层中上部发育大段湖相—沼泽相块状暗色泥岩,厚度达 239 m,暗地比 46.32%,推测深陷区烃源岩更发育。结合十屋断陷钻井揭示以及周边露头分析认为,沙河子组烃源岩主要为泥岩,可能有一定的煤层。据地震资料及沉积相分析,烃源岩呈北西走向条带状分布,主要位于苏公坨—前七号以及所图—达尔罕地区,暗色泥岩最大厚度均超过 500 m。

营城组钻井揭示暗色泥岩厚度从几 m 到 421 m。平面上,由于营城组沉积时期构造由北西向转变为北北东向,从而形成沉积中心的叠置,更利于半深—深湖相发育,沿长岭牧场往北过所图凸起呈北北东向展布,厚度最大处超过 800~1 000 m,形成断陷西部 3 个暗色泥岩厚度中心;而东部、南部以及北部地区受火山岩大量喷发的影响,被大面积披盖,可能对暗色泥岩形成起到破坏作用,烃源岩相

对不发育。

## 2 烃源岩地球化学特征

### 2.1 有机质丰度

钻井及露头样品测试结果表明,长岭地区火石岭组总体有机质丰度较好,有机碳含量 0.50%~8.55%,热解生烃潜量 2~17 mg/g,氯仿沥青“A”含量 0.04%~0.33%。图 1,2 表明,火石岭组烃源岩质量处于中等水平,以生气为主;虽然沙河子组目前少有钻井揭示,周边的十屋和徐家围子断陷已经发现的烃源岩有机质丰度颇高。达尔罕构造带旁边的 TS6 井深灰色泥岩样品(深度 2 970.5 m)揭示有机碳含量 2.39%,而周边露头采集深黑色泥岩有机碳含量大致为 1.00%~6.54%,热解生烃潜量 2~8 mg/g,氯仿沥青“A”含量 0.2%~0.5%,远远高于火石岭组。沙河子组烃源岩质量中

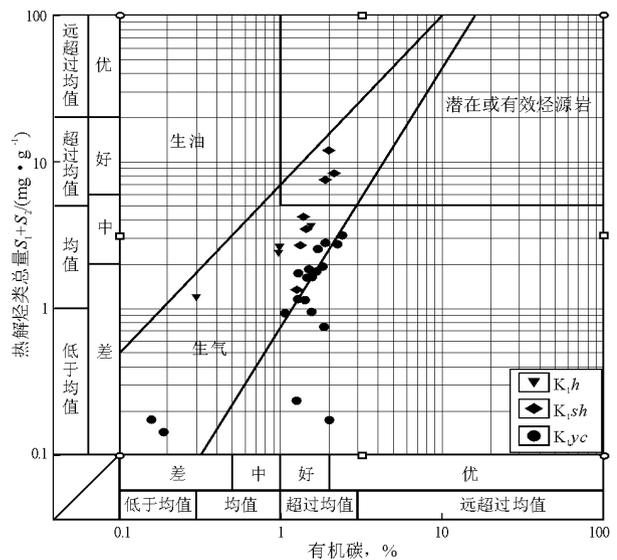


图 1 松辽盆地长岭地区有机碳与热解烃类总量判断源岩生烃潜力

Fig. 1 Using TOC and pyrolysis hydrocarbon to specialize hydrocarbon producing potential of source rocks in Changling area, Songliao Basin

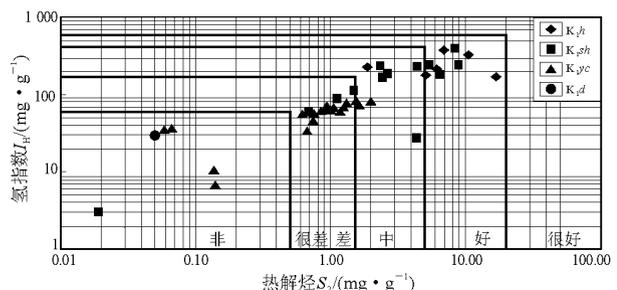


图 2 松辽盆地长岭断陷层热解烃和氢指数关系

Fig. 2 Pyrolysis hydrocarbon vs. hydrogen exponent diagram in Changling Fault Depression, Songliao Basin

等偏好,生烃潜力中上;长岭地区营城组钻井揭示烃源岩以灰色、灰黑色泥岩为主,有机碳含量 0.5%~2.5%,热解生烃潜量较火石岭组和沙河子组低,为 0.5~4.0 mg/g,氯仿沥青“A”含量 0.05%~0.20%,和火石岭组处于同一水平(图 1,2)。综合分析认为,营城组烃源岩质量总体中等偏差,稍逊于火石岭组和沙河子组。

## 2.2 有机质类型

### 2.2.1 族组分

研究表明,饱和烃和芳香烃分别来自脂肪酸、生物蜡、色素和木质素,一般认为饱/芳比值大于 3,为 I 型干酪根;比值为 1.6~3.0,为 II<sub>1</sub> 型干酪根;比值为 1.0~1.6,为 II<sub>2</sub> 型干酪根;比值小于 0.8,为 III 型干酪根<sup>[10]</sup>。据此分析,长岭地区火石岭组干酪根类型主要为 II<sub>1</sub> 型(8/9;满足条件样品数/样品总数,下同);沙河子组主要为 I 型(8/15),部分含 III 型(6/15);营城组以 I 型(31/46)和 II<sub>1</sub> 型(15/46)为主。

### 2.2.2 热解

据长岭断陷层烃源岩  $I_H-T_{max}$  关系(图 3)可以判断,火石岭组具有 II<sub>1</sub> 型有机质,可能还含有 II<sub>2</sub> 型;沙河子组大致为 II<sub>2</sub> 型有机质,局部含有 II<sub>1</sub> 型或 III 型,个别构造带也可能有 I 型存在;营城组样品普遍  $T_{max}$  值较大,只有少部分反映出可能存在 II<sub>2</sub> 型或 III 型有机质。

### 2.2.3 干酪根镜鉴

长岭断陷层钻井和野外露头样品干酪根镜鉴分析表明,火石岭组烃源岩干酪根主要为 II<sub>1</sub> 型(3/6)和 II<sub>2</sub> 型(2/6);沙河子组主要为 II<sub>2</sub> 型(10/15),部分含 III 型(4/15);营城组以 II<sub>1</sub> 型(9/15)和 II<sub>2</sub> 型(6/15)为主。

### 2.2.4 碳同位素

长岭断陷周边的火石岭组可能含有较多的 II<sub>1</sub> 型和一定的 III 型有机质(图 4),中心部位可能蕴含少量的 II<sub>1</sub>-I 型有机质,生烃母质为脂肪族和芳香族的混合型。长岭断陷边缘出露的沙河子组样品碳同位素值表明,有机质基本为 III 型,断陷中心部位难以预测;营城组钻井样品碳同位素数据说明,有机质大致为 II<sub>1</sub> 型,不排除局部的 III 型,生烃母质也是脂肪族和芳香族的混合型。

### 2.2.5 干酪根元素

长岭地区断陷层烃源岩干酪根的 H/C 原子比值为 0.5~1.4、O/C 原子比值为 0.05~0.30。由 H/C 原子比—O/C 原子比范氏图(图 5)来看,火石岭组和沙河子组地层主要发育 II<sub>1</sub>-II<sub>2</sub> 型有机质,而沙河子组部分含 III 型有机质,营城组地层主要为 II<sub>2</sub>-III 型。

### 2.2.6 饱和烃生物标志化合物规则甾烷分布

从长岭断陷层规则甾烷数据分布(图 6)可以看出,火石岭组 C<sub>29</sub> 含量 51.56%~87.96%,规则甾烷分布 C<sub>29</sub> 优势较明显,内部组成分布呈现近似反“L”形,基本以高等植物生源为主,兼有部分低等水生生物来源。

沙河子组和火石岭组不同,该组 C<sub>28</sub> 含量明显大,大部分为 10%~20%,7 个样品的 C<sub>29</sub> 含量大于 C<sub>27</sub> 含量,其中 C<sub>29</sub> 超过 50%,这些规则甾烷组成分布也明显呈反“L”形,而没有证据显示有 C<sub>27</sub> 占绝对

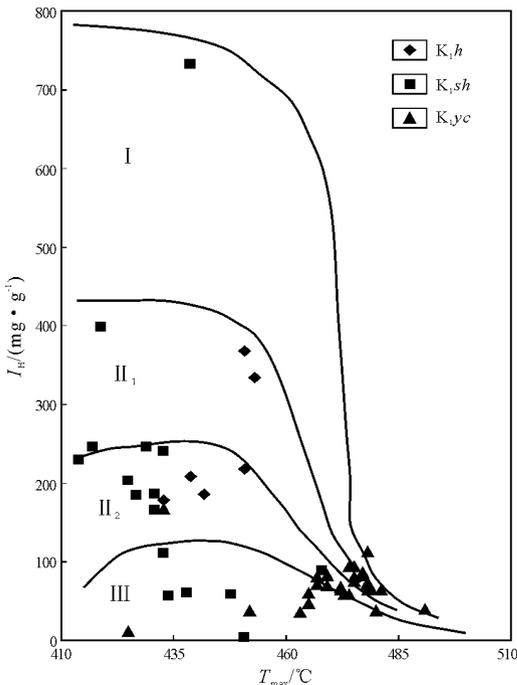


图 3 松辽盆地长岭断陷层烃源岩  $I_H-T_{max}$  关系

Fig. 3 Relation diagram of  $I_H$  vs.  $T_{max}$  of source rocks in Changling Fault Depression, Songliao Basin

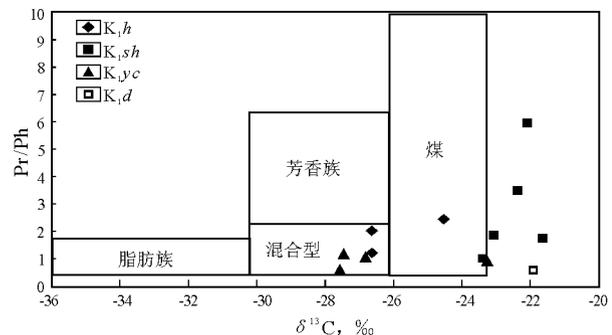


图 4 松辽盆地长岭断陷层干酪根碳同位素和可溶有机组成 Pr/Ph 关系

Fig. 4 Relation diagram of carbon isotope of kerogen vs. Pr/Ph of dissolvable organic matter of source rocks in Changling Fault Depression, Songliao Basin

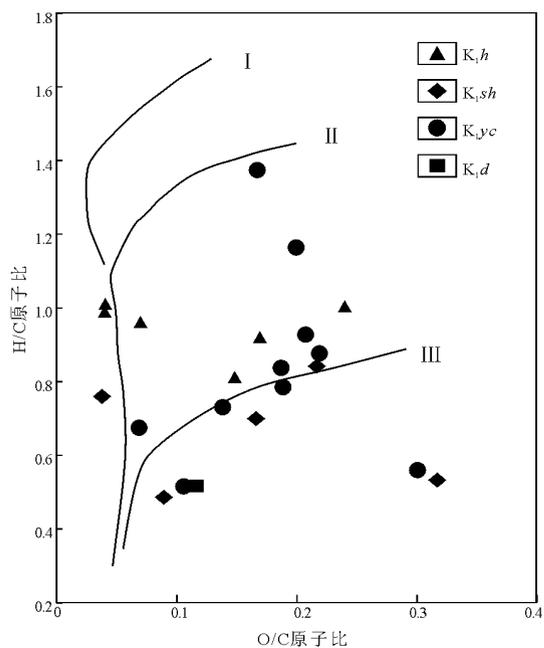


图 5 松辽盆地长岭断陷层烃源岩有机元素 H/C—O/C 范氏图

Fig. 5 H/C vs. O/C canonic form diagram of source rocks organic element in Changling Fault Depression, Songliao Basin

优势的样品,只有九台—3 和三台—1 样品甾烷分布显示为稍倾向于  $C_{27}$  的“V”形。说明沙河子组地层烃源岩基本还是以高等植物生源为主,局部地区可能有低等水生生物来源分布,有机质为  $II_2$ — $III$  型,断陷中心部位可能含  $II_1$  型或 I 型生烃母质。

营城组 DB11 井(腰英台地区)、SN108 井(东岭地区)和周边地区的九台—6 样品显示的  $C_{27} : C_{28} : C_{29}$  分别为 41.07 : 22.41 : 36.52, 35.45 : 21.39 : 43.15 和 42.65 : 22.92 : 34.43,说明是混合生物生源,未见明显的  $C_{27}$  或  $C_{29}$  优势,有机质为  $II_1$ — $II_2$  型,而断陷中心部位的有机质类型有待进一步分析。从产出的液态烃和油型气分析表明,母质类型应该有  $II_1$  型甚至 I 型。

### 2.3 有机质成熟度

#### 2.3.1 热解峰温 $T_{max}$ 和镜质体反射率 $R_o$

通过长岭断陷层钻井和野外露头样品  $T_{max}$  值和镜质体反射率  $R_o$  分析,营城组大部分样品的  $T_{max}$  值大于  $455\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $R_o$  值在  $1.05\% \sim 1.92\%$ ,处于成熟—高成熟阶段;沙河子组也处于高成熟阶段;而火石岭组基本处于高一过成熟阶段。

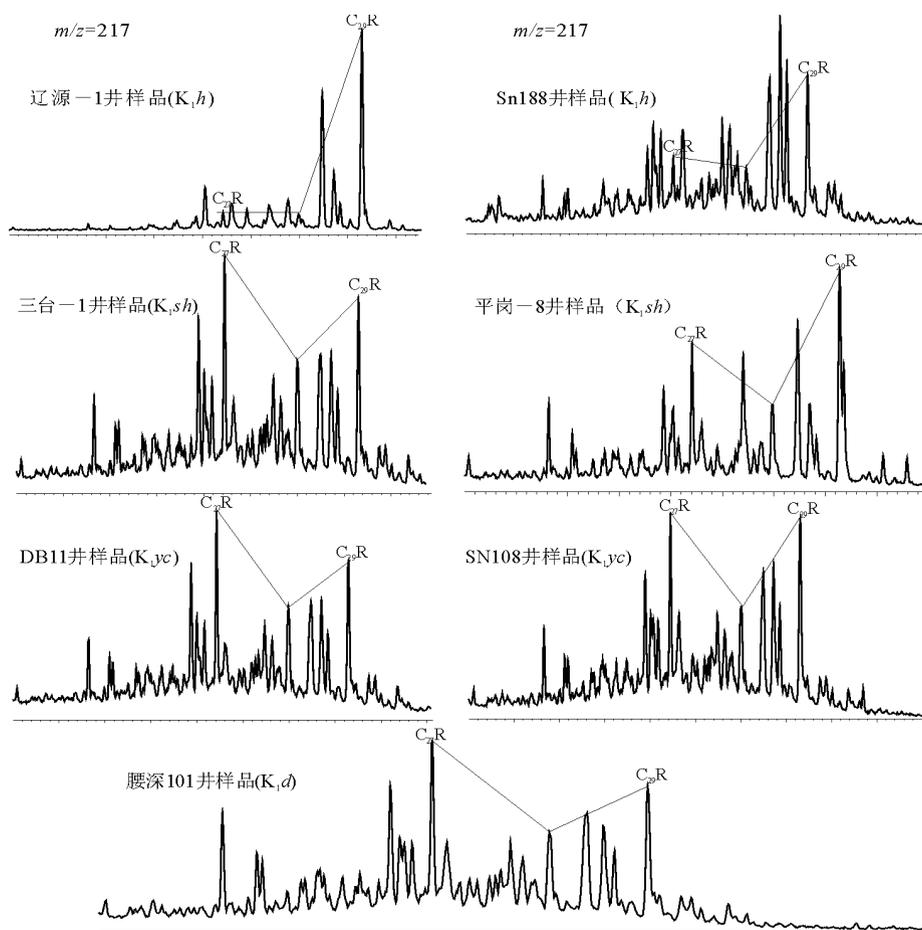


图 6 松辽盆地长岭断陷层饱和烃生物标志化合物规则甾烷

Fig. 6 Regular steroid diagram of saturate hydrocarbon biomarker in Changling Fault Depression, Songliao Basin

表 1 松辽盆地长岭断陷层钻井样品气相包裹体分析结果

Table 1 Analyses data of gas inclusion samples in Changling Fault Depression, Songliao Basin

样品 编号	深度/m	层位	相对摩尔百分含量, %					均一 温度/℃
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	其他烃 类气体	其他非 烃类气体	
SN108—3	2 557	火石岭组	98.5	1.5	0	0	0	182.0
SN188—4	2 172	火石岭组	83.7		0	0.8	15.5	159.2
SN188—5	2 177	火石岭组	90.6	4.2	0	0	5.2	124.2
YS101—1	3 840	营城组		92.1	0	3.8	4.1	174.0
SN108—2	2 372	营城组		61.5	0	38.5	0	140.8
YN1	3 832	营城组	67.3	15.4	0	0	17.3	145.0
YS2	4 198	营城组		47.8	0	0	52.2	192.3
SN108—1	1 852	登娄库组	99.4		0	0	0.6	172.3
YS101—4	3 524	登娄库组	2.4	85.7	0	10.8	1.1	169.5

### 2.3.2 流体包裹体

根据长岭断陷层钻井样品气相包裹体分析结果(表 1),所有样品均不含 H<sub>2</sub>O,说明均已进入成熟阶段。从样品的包裹体均一温度值及其组分来看,长岭断陷层大部分已进入高一过成熟演化阶段;其中登娄库组处于成熟—高成熟演化阶段;营城组处于高成熟演化阶段。火石岭组也已进入高成熟演化阶段,但仍有个别样品反映其处于成熟阶段(可能与埋深有关)。

## 3 结论

长岭断陷是松辽盆地面积最大的断陷。地层发育齐全,埋藏较深。断陷层主要发育火石岭组、沙河子组及营城组烃源岩,岩性以暗色泥岩和煤层为主。其中,沙河子组烃源岩是断陷层最主要的烃源岩,综合评价为中等—好烃源岩;营城组和火石岭组烃源岩属中等烃源岩,为次要烃源岩。

火石岭组虽然钻井揭示不够全面,但结合野外露头剖面,从有机质指标来看,无论是暗色泥岩厚度还是有机质丰度均有发现油气的潜力。有机质丰度较好(有机碳含量 0.50%~8.55%、生烃潜量 2~17mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.04%~0.33%),暗色泥岩厚度较大(最大超过 300 m),干酪根类型以 II 型为主(包括 II<sub>1</sub> 型和 II<sub>2</sub> 型),极少地区可能会有 I 型和 III 型干酪根。成熟度演化处于生气的过成熟阶段。

沙河子组烃源岩有机质丰度较好(有机碳含量 1.00%~6.54%、生烃潜量 2~8 mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.2%~0.5%),暗色泥岩厚度大(最大超

过 500 m),干酪根类型以 I 型和 II 型为主,少数地区有 III 型干酪根。成熟度演化处于高成熟—过成熟阶段。

营城组烃源岩从现有钻井、野外露头等所揭示的烃源岩指标来看,其有机质丰度等稍逊于火石岭组(有机碳含量 0.5%~2.5%、生烃潜量 0.5~4.0 mg/g、氯仿沥青“A”含量 0.05%~0.20%),干酪根类型以 II 型为主(包括 II<sub>1</sub> 型和 II<sub>2</sub> 型),部分地区有 I 型干酪根。暗色泥岩厚度较大(最大可达 800~1 000 m),处于成熟—高成熟阶段。

### 参考文献:

- 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 181~211
- 秦伟军,刘超英. 松辽盆地长岭断陷火山岩相与天然气成藏关系[J]. 石油实验地质,2008,30(4):328~332,339
- 谢晓安,周卓明. 松辽盆地深层天然气勘探实践与勘探领域[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):75~86
- 张枝焕,吴聿元,俞凯等. 松辽盆地长岭地区烃源岩地球化学特征[J]. 新疆石油地质,2002,23(6):501~505
- 周荔青,吴聿元,张淮. 松辽盆地断陷层系油气成藏的分带特征[J]. 石油实验地质,2007,29(1):7~12
- 李景坤,刘伟,宋兰斌. 徐家围子断陷深层烃源岩生烃条件研究[J]. 天然气工业,2006,26(6):21~25
- 吴聿元,周荔青. 松辽盆地主要断陷大中型油气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):231~237
- 周荔青,雷一心. 松辽盆地断陷层系大、中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):820~826,840
- 王树学,周庆华,周庆强等. 松辽盆地徐家围子断陷深层天然气含气系统与成藏机制[J]. 天然气地球科学,2007,18(3):394~398
- 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005. 20~40

(编辑 韩 或)