

文章编号: 1000-0550(2011)01-0164-09

漠河盆地依列克得组火山活动间歇期烃源岩 有机地球化学特征研究^①

齐跃春^{1,5} 高红梅^{1,2} 鲍志东^{1,2} 高福红³ 张月巧⁴

(1. 中国石油大学资源与信息学院 北京 102249; 2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;

3. 吉林大学地球科学学院 长春 130061; 4. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 5. 中国石油吉林油田分公司 吉林松原 138000)

摘要 漠河盆地早白垩世为一火山岩断陷盆地,广泛发育火山岩夹沉积岩的二元沉积建造。依列克得组烃源岩为一套发育在玄武岩系之间的湖沼相沉积岩系,烃源岩岩性为油页岩、页岩及煤岩。该套烃源岩与其周围玄武岩为同期不同相产物,与该套烃源岩直接接触的火成岩为火山熔岩或火山碎屑直接进入湖盆水体而形成。利用热解、GC, GC-MS 等地球化学分析技术,对该套烃源岩生油潜力进行了初步评价,并探讨了该套烃源岩的沉积环境、母源特征及火山活动对该套烃源岩的影响。分析显示,该套烃源岩有机质丰度较高,有机质类型油页岩以 II 型为主,页岩和煤岩主要为 III 型,火山岩浆活动对烃源岩的烘烤作用不明显 ($R_o = 0.56\% \sim 0.59\%$),有机质热演化处于刚进入生烃门限的低成熟阶段,综合评价具有较好的生烃潜力;该套烃源岩沉积于强还原—弱还原水体环境,在垂向上含盐度具有较快的波动,处于淡水—咸水交替变化状态;母质来源具有水生生物和陆生植物混源输入特征,煤岩陆源有机质输入更丰富。

关键词 烃源岩 生物标志物 漠河盆地 依列克得组

第一作者简介 齐跃春 女 1965 年出生 博士研究生 储层地质学 E-mail: qiyuechun@163.com

中图分类号 P539 **文献标识码** A

漠河盆地位于黑龙江省西北部,大地构造上归属蒙古—鄂霍茨克造山带中的额尔古纳地块。盆地呈东西向展布,与北部俄罗斯境内的上阿穆尔盆地相连为同一盆地。漠河盆地基底为三叠纪结晶变质岩和前寒武纪花岗岩,主要沉积了侏罗系、白垩系,地层厚度较大。其中中侏罗统绣峰组、二十二站组、额木尔河组和开库康组沉积岩厚度大,分布广,而下白垩统依列克得组为火山岩发育地层。漠河盆地全区被大面积森林覆盖,露头不发育,勘探程度很低,目前仅完成地质浅井两口和几条不规则二维地震剖面^[1,2]。近年来大庆油田为寻找资源接替区,松辽外围勘探程度较低的盆地越来越受到重视^[3~5]。随着勘探程度的提高,漠河盆地被认为是松辽外围盆地中最有利含油气远景盆地之一,是下一步勘探的重点区域^[3],也是中国东部勘探程度较低的盆地中最具含油气远景的盆地之一^[3,5]。前人研究认为中侏罗统是该盆地油气勘探主要目的层段,也是近几年人们关注的焦点^[4,6],而火山岩发育的下白垩统沉积地层却未受到重视,对该套地层的研究几乎为空白。笔者在对松辽

外围盆地野外地质普查时发现,在漠河盆地地下白垩统依列克得组火山岩系地层中发育一套由油页岩、页岩、煤构成的潜在湖沼相烃源岩(图 1),该套烃源岩与周围玄武岩为同期不同相产物。初步研究认为该套烃源岩具有良好的生烃潜力。本次研究的目的即为该套烃源岩,这种烃源岩与火成岩接触关系在松辽外围西部盆地群中(例如,拉布达林、大杨树等盆地)广泛存在^[7],而且松辽、渤海湾、苏北—南黄海、南襄—江汉、三水—珠江口和东海、南海等裂谷型断陷盆地的主力生油岩中均发育火成岩与烃源岩共生现象,并引起了不少地质学家的重视^[8],因此对该套烃源岩的研究具有十分重要的意义。

1 样品及实验条件

漠河盆地依列克得组主要为中性或中基性火山熔岩夹火山角砾岩,个别地区夹少量碎屑岩及煤系地层,该组分布比较零星,出露面积不大,厚 10~306 m^[9]。依列克得组分布特征受基底断裂的控制,表现为地堑式断陷盆地型和火山链型,前者火山岩浆沿断

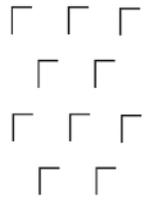
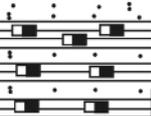
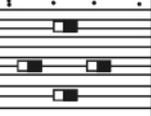
裂喷溢, 分布面积较大; 后者沿北西、北东向两组断裂呈链状分布, 多为次火山岩或火山通道相。本组地层以中基性火山岩为主, 厚度变化大, 局部为含煤建造。含煤建造一般分布于山前拗陷, 现代地貌显负地形; 中基性火山岩建造多分布于高山处, 构成正地形。此外还有火山岩呈岩脉、岩墙、岩盖等次火山相产出^[9]。

样品采自漠河盆地阿木尔拗陷六支线胜利煤矿剖面的依列克得组(图 1), 该剖面为一套发育在玄武岩系之间的由煤—灰绿色页岩—灰黑色油页岩和灰黑色页岩组成的湖沼相烃源岩系, 中间夹有细砂岩和

凝灰质砂岩, 上下为玄武岩。该套烃源岩与其邻近的火山岩为同期不同相产物。本次研究针对该剖面进行了系列的样品采集, 并进行了实验分析, 初步分析显示该露头烃源岩具有很好的生烃潜力。相关实验分析在北京石油勘探开发研究院铺实验中心完成^[10]。

2 烃源岩地球化学特征

有机质丰度 根据样品的分析结果(表 1), 煤的有机碳(TOC)含量最高(37.42%), 油页岩样品有机

地层时代	组名	层号	岩性柱	厚度 /m	采样点	岩性描述
早白垩世	依列克得组	7		7.88		致密玄武岩, 柱状解理发育
		6		1.58	MH-37	碳质页岩与凝灰质细砂岩互层, 局部有煤线(与玄武岩接触处)
		5		1.18		灰白色、凝灰质、中薄层细砂岩
		4		2.76	06-9-2 MH-35	油页岩、局部夹凝灰质砂岩
		3		3.94	MH-33-2 06-9-1 MH-33-1	灰绿色页岩, 局部夹油页岩, 顶部有15cm厚凝灰质细砂岩
		2		7.09	MH-32-2 MH-32-1	煤层
		1		2.36		玄武岩

图例

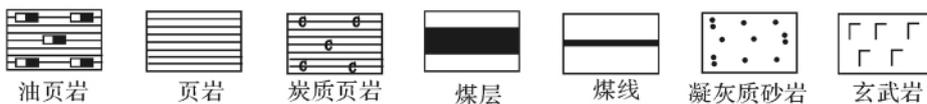


图 1 漠河盆地六支线胜利煤矿剖面依列克得组柱状图

碳分布在 10.56% ~ 22.58% 之间,平均 19.79%,页岩的有机碳(TOC)含量较低(11.04%);产烃潜量($S_1 + S_2$)油页岩最高,分布在 32.1 ~ 101.98 mg/g 之间,平均 64.72 mg/g,煤岩为 52.21 mg/g,页岩为 35.33 mg/g,总的来说有机质丰度较高,达到了较好烃源岩级别。

有机质类型 干酪根元素分析结果(表1)显示,两个油页岩样品氢碳原子比(H/C)分别为 1.07 和 1.27,均大于 1.0,而煤层和灰绿色页岩的氢碳原子比(H/C)分别为 0.94 和 0.96,均小于 1.0。根据我国烃源岩有机质类型划分标准^[11],六支线胜利煤矿油页岩有机质类型较好,为 II_B型,煤岩和灰绿色页岩有机质类型为 III 型。

有机质成熟度 该剖面共分析 5 组镜质体反射率(R_o)数据(表1),煤层、油页岩及灰绿色页岩 R_o 值并无太大变化,分布在 0.55% ~ 0.59% 之间,最高热解温度(T_{max})值主要分布在 426 ~ 433℃ 之间,根据我

国通用的烃源岩成熟阶段划分标准^[11],镜质体反射率(R_o)分布在 0.5 ~ 0.7 之间为低成熟阶段。综上所述,六支线胜利煤矿剖面有机质热演化程度较低,但烃源岩已进入了生烃门限,处于烃源岩有机质热演化的低成熟生油的阶段,应以找油为主。

3 生物标志物特征

3.1 正构烷烃

油页岩、煤及页岩的正构烷烃碳数分布基本均呈单峰型(图2,表2),碳数主要分布在 C_{21} 以后,主峰碳为 C_{23} 或 C_{27} ,奇偶优势明显,反映烃源岩有机质热演化程度比较低,有机质来源以陆源高等植物输入为主。正构烷烃的奇偶碳优势(OEP)和碳优势指数(CPI)分别分布在 3.82 ~ 5.35 和 2.25 ~ 4.83 之间, ($C_{21} + C_{22}$) / ($C_{28} + C_{29}$) 比值为 0.75 ~ 1.25,反映了该套烃源岩有机质热演化程度较低的特点,与镜质体反射率(R_o)分析结果一致。

表1 烃源岩基础地球化学参数

Table 1 Geochemical data of source rocks

编号	岩性	TOC/%	$S_1 + S_2$ /(mg/g)	"A"/%	IH/(mg/g)	H/C	O/C	镜质体反射率 R_o /%	最高热解温度/ T_{max} /℃
Mh-32-1	煤岩	37.42	52.21	0.5408	133	0.94	0.23	0.59	427
Mh-33-1	油页岩	22.58	101.96	0.6827	435	1.27	0.17	0.55	433
Mh-35	油页岩	25.28	73.72	0.9430	273	1.07	0.22	0.57	426
Mh-33-2	页岩	11.04	35.33	0.1363	304	0.96	0.25	0.56	428
06-9-1	油页岩	20.72	51.09	0.6913		1.13	0.28	0.57	
06-9-2	油页岩	10.56	32.10	0.1314		1.11	0.23		

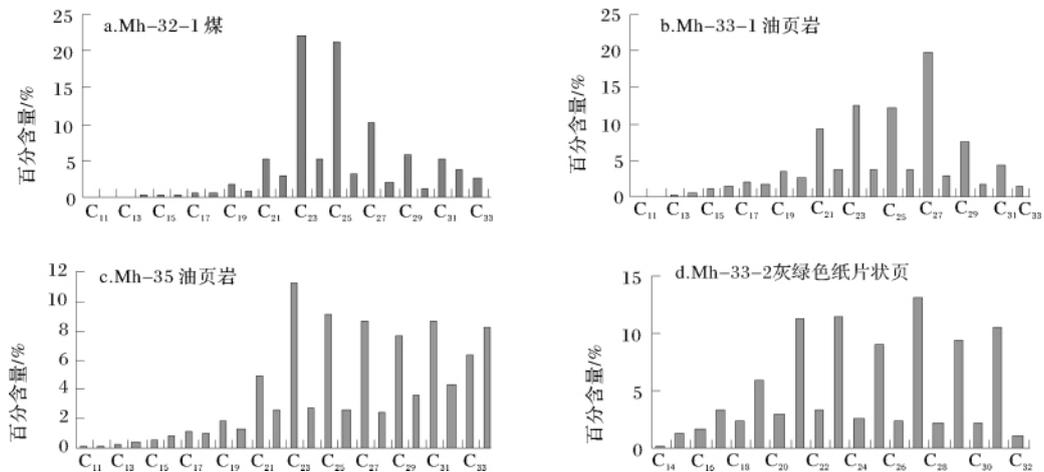


图2 烃源岩中正构烷烃分布图

Fig. 2 The distribution of *n*-alkane of source rocks

表 2 正构烷烃与类异戊二烯烷烃数据

Table 2 The data of saturated hydrocarbon and isoprenoid hydrocarbon

样品号	岩性	正构烷烃					异戊间二烯烷烃			CPI	OEP
		碳数分布	主峰碳	峰型	C_{21-}/C_{22+}	$C_{(21+22)}/C_{(28+29)}$	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈		
06-9-2	油页岩	10~34	23	单峰	0.24	0.97	1.09	0.21	0.32	3.79	3.87
Mh-35	油页岩	11~35	23	单峰	0.16	0.75	0.27	1.30	5.26	2.25	3.82
Mh-33-2	页岩	14~34	27	单峰	0.41	1.25	0.99	0.13	0.19	4.83	5.20
06-9-1	油页岩	9~34	23	单峰	0.27	0.75	0.34	1.02	2.87	2.76	3.1
Mh-33-1	油页岩	11~34	27	单峰	0.30	1.24	0.66	0.21	0.35	4.05	5.35
Mh-32-1	煤	11~35	23	单峰	0.11	1.05	1.29	0.45	0.30	3.34	4.93

$\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$ 比值反映低碳数正构烷烃相对丰度总和与高碳数正构烷烃相对丰度总和的比值。它既可反映母质来源的差异(一般认为低等浮游生物(包括细菌和藻类)其正构烷烃分布主要集中在 C_{20} 之前,高等生物体中,一般高分子量的正构烷烃占优势,最丰富的组分是 $C_{27} \sim C_{33}$),又可反映演化程度的不同(在相近环境和母质来源的情况下,演化程度越高,高碳数正构烷烃向低碳数正构烷烃转化的程度越高)^[12]。剖面 $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$ 比值分布在 0.11~0.41 之间(表 2),低碳数正构烷烃明显低于高碳数正构烷烃。从上面分析可知,该套烃源岩有机质热演化程度较低,三种岩性的 R_o 值基本无差别,而 $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$ 比值却略有不同,煤岩最低(0.11),油页岩和页岩 $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$ 比值相对较高,反映了煤岩母质高等植物的输入相对更丰富一些。

3.2 类异戊二烯烷烃

样品均检出丰富的类异戊二烯烷烃,其中最丰富且最重要的是姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)。姥鲛烷和植烷是判断沉积环境、介质酸碱度及生源的重要指标^[13,14,16]。经典的观点认为,姥鲛烷形成于较氧化环境,植烷形成于较还原环境^[15,16]。Peters 等提出,对生油窗内的样品,高 Pr/Ph 比值(>3.0)指示氧化条件下的陆源有机质输入,低比值(<0.6)代表缺氧的并且通常是超盐环境^[17]。梅博文等人对姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的进一步研究认为,姥鲛烷主要形成于弱氧化—弱还原的淡水湖沼环境,植烷主要形成于还原环境。Pr/Ph 比值大于 1 或更高时,代表淡水、弱氧化—弱还原的环境,Pr/Ph 小于 0.8 时,代表强还原咸化的沉积环境^[14~6]。也有研究认为^[18],Pr/Ph < 1(植烷优势),为缺氧环境;Pr/Ph > 1 为氧化环境;Pr/Ph 值接近 1 被认为出现于氧化与缺氧条件交替变化时期。样品中编号为 Mh-35、Mh-33-1 及 06-9-1 的油页岩的 Pr/Ph 比值均小于 1(表 2),反映其沉积

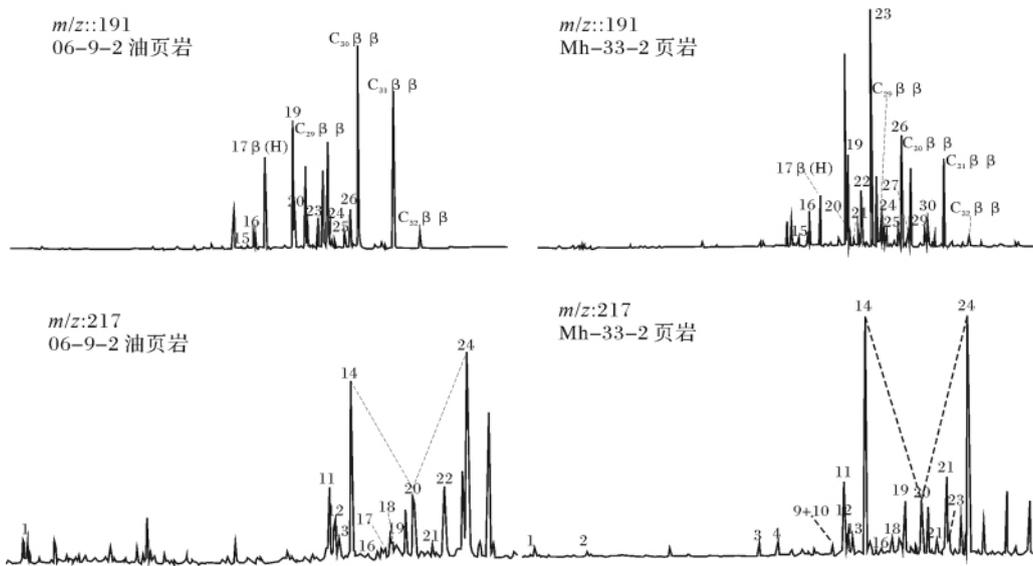
时的水体环境为还原环境;页岩及编号为 06-9-2 的油页岩样品 Pr/Ph 比值为 1 左右,可能反映其沉积时的水体处于氧化与缺氧条件交替变化时期。煤岩的 Pr/Ph 比值为 1.29,反映其沉积时的水体环境为弱还原的环境。

3.3 萜烷类化合物(m/z 191)

样品中萜烷类化合物只检测出了五环三萜烷(图 3),三环萜烷及四环萜烷含量很低。伽马蜡烷是一种 C_{30} 的三萜烷,被认为是主要来源于原生动物和光合作用细菌的四膜虫醇,通过还原作用形成的,高含量的伽马蜡烷常被作为强还原超盐环境的指示^[17]。研究区页岩 G/ $C_{30}H$ 比值为 0.4,反映页岩沉积时期的水体含盐度较高,淡水输入较少。而编号为 06-9-2 和 06-9-1 的油页岩 G/ $C_{30}H$ 比值为极低,反映其沉积时的水体环境含盐度较低,湖盆中不断有淡水输入。

T_s/T_m 是反映有机质成熟度的一个指标, T_s 代表较稳定的化合物, T_m 代表易熟的化合物,随着成熟度增高,比值增高,生油门限为 0.67,上限可达到 1。本次样品 T_s/T_m 比值均极低,反映该套烃源岩有机质热演化程度不高(表 3)。

油页岩样品中检测出了 5 种 $\beta\beta$ 型藿烷(图 3),分别为 $C_{30}\beta\beta$ 、 $C_{29}\beta\beta$ 、 $C_{30}\beta\beta$ 、 $C_{31}\beta\beta$ 和 $C_{32}\beta\beta$,而且峰值较高,一般 $\beta\beta$ 型生物藿烷仅见于未成熟生油岩中。样品中检测出 $\beta\beta$ 藿烷,反映了生油岩未成熟的特征。在现代沉积中 $C_{31}22S/22R$ 藿烷只有一种异构体 $17\beta(H)$ 、 $21\beta(H)$ 、 $20R$,当进入成熟阶段时, $C-22$ 位有两种异构体(R 和 S),质量色谱图上出现双峰,即 $17\alpha(H)$ 、 $21\beta(H)$ 、 $22R$ 和 $17\alpha(H)$ 、 $21\beta(H)$ 、 $22S$,达到生油门限深度时,两个峰高度接近,比值为 1.5,本次样品 $C_{31}22S/22R$ 比值为 0.18~0.67,反映有机质热演化程度比较低。

图 3 m/z 191/217 类色谱—质谱图Fig. 3 Sterane (m/z : 191/217) chromatogram

3.4 甾烷类化合物 (m/z 217)

样品抽提物中的甾烷化合物以规则甾烷为主,含有一定的重排甾烷、孕甾烷和升孕甾烷(图3)。不同甾烷构型的比值来一般用来判断烃源岩的成熟度,其中 $C_{29}\alpha\alpha S / (S + R)$ 和 $C_{29}\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 是最有效的参数^[17]。根据陈建渝等 1989 年划分的烃源岩成熟度的甾烷参数评价指标^[18],六支线胜利煤矿剖面烃源岩的有机质热演化程度比较低(表3),处于有机质热演化的低成熟阶段。

规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 甾烷的相对含量的高低可以确定不同生源贡献的比例,用于判断有机质母源及沉积环境^[11],一般来说浮游生物 C_{27} 甾烷占优势,陆源高等生物中 C_{29} 甾烷占优势,但是也有研究证实富含 C_{29} 甾烷的有机质,其母源中没有或很少有高等植物的输入,而是和藻类和细菌的输入有关^[14,16]。样品中油页岩和页岩的 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷均为“V”字型(图3),反映原始母质输入具有水生生物和

陆源高等植物的混源输入特征。

高含量重排甾烷一般表明陆源黏土矿物和陆源有机质的淡水输入比较充分,而且处于弱氧化—弱还原的相对淡水环境。目的层烃源岩中油页岩的 C_{27} 重排甾烷/ C_{27} 规则甾烷比值均极低,而页岩的该比值却相对高于油页岩(表3),反映油页岩陆源黏土矿物和陆源有机质的淡水输入相对比较丰富,这与 $G/C_{30}H$ 的分析结果基本一致。

孕甾烷和升孕甾烷的高低代表着沉积水体的咸化程度,一般在咸化湖相中含量较高。本次检测的油页岩样品(孕甾烷+升孕甾烷)/ C_{27} 甾烷比值均较低,页岩样品的(孕甾烷+升孕甾烷)/ C_{27} 甾烷比值为 0.038(表3),反映页岩沉积时的水体环境咸化程度较高,而编号为 06-9-2 和 06-9-1 的油页岩样品的含盐度较低,这与 $G/C_{30}H$ 的分析结果较一致,而编号为 06-9-2 和 06-9-1 的油页岩样品的含盐度较低,这与 $G/C_{30}H$ 的分析结果较一致。

表 3 烃源岩生物标志物参数

Table 3 Geochemical parameters of biomarkers in source rocks

样品号	岩性	191 类				217 类				
		T_s/T_m	$G/C_{30}H$	$C_{31}22S$ /22R	(孕+升孕) / C_{27} 甾烷	C_{27} 重排 / C_{27} 甾烷	$C_{29}-\alpha\alpha S$ /(S+R)	$C_{29}-\beta\beta$ /($\alpha\alpha + \beta\beta$)	$\alpha\alpha-RC_{27}$ / C_{29}	$\alpha\alpha-RC_{28}$ / C_{29}
06-9-2	油页岩	极低	极低	0.35	极低	极低	0.061	0.26	0.64	0.3
MH-33-2	页岩	极低	0.4	0.18	0.038	0.073	0.056	0.364	0.77	0.32
06-9-1	油页岩	0.02	极低	0.67	极低	极低	0.26	极低	0.33	0.23

3.5 讨论

漠河盆地依列克得组为伸展环境下所形成的火山断陷盆地, 岩性主要为煤岩、泥岩、含油页岩、砾岩及中基性熔岩^[20], 前人研究认为依列克得组的该套烃源岩与其邻近的火山岩为同期不同相产物^[9]。本次野外考察中, 发现漠河盆地依列克得组页岩、油页岩及煤岩等烃源岩和火山熔岩呈互层状, 其接触关系为整合接触。这种深湖一半深湖相沉积岩与火山岩直接接触的关系, 也说明火山岩形成的古地理环境为湖盆环境。即火山碎屑岩是由火山碎屑物质直接落入湖水中沉积而成, 火山熔岩是火山活动时的熔岩溢流到湖盆中形成。

另外, 从上面地球化学分析中也可以看出, 无论是有机质热解成熟度指标(R_o , T_{max}), 还是生物标志物的成熟度指标(OEP, CPI, T_s/T_m 等)均指示漠河盆地依列克得组的该套烃源岩有机质热演化程度较低, 处于刚进入生烃门限的低成熟阶段。但在野外地质考察中发现, 该套烃源岩发育于火山岩系地层中, 上下被玄武岩包围, 一般玄武岩浆的温度为1 025 ~ 1 225 °C^[21], 而油气形成研究最重要的热模拟温度是300 ~ 400 °C^[22], 因此玄武岩与烃源岩接触, 会导致高温岩浆烘烤周围烃源岩, 甚至可以使烃源岩产生轻微变质, 有机质热演化程度很高, 可以达到高一过成熟阶段^[23]。但本次研究却发现, 依列克得组火山活动对烃源岩的烘烤作用并不明显, 其有机质热演化程度并不高($R_o = 0.55\% \sim 0.59\%$)。烃源岩镜质体反射率(R_o)有机质演化热模拟试验发现, 受热温度范围为250 ~ 350 °C^[22], 对应的 $R_o = 0.6\%$, 由于有机质热演化具有不可逆性, 因此漠河盆地依列克得组烃源岩经历的最高温度应不超过350 °C。对现代海底热液的研究, 发现火山喷口温度不高(“黑烟囱”300 ~ 400 °C, “白烟囱”100 ~ 300 °C)^[24-25], 而且随着离火山口距离变远, 其温度会迅速变低^[26-27]。对松辽、渤海湾等盆地火山岩发育区烃源岩热演化的研究, 也发现其有机质热演化不高。水下喷溢的岩浆虽然具有很高的温度, 但因湖盆水体是热的良导体, 岩浆热量被水体迅速对流, 热量很快散失掉, 使湖盆水体温度不会过高, 从而对周围烃源岩的热烘烤作用不明显^[23]。综上分析, 漠河盆地与烃源岩伴生的火山岩形成时的古地理环境应为水下环境。水体对岩浆的散热作用, 导致漠河盆地群依列克得组火山活动对烃源的烘烤作用并不明显。

综合生物标志物的还原性指标(Pr/Ph)及含盐

度指标($G/C_{30}H$ (孕甾烷 + 升孕甾烷) / C_{27} 甾烷, C_{27} 重排甾烷 / C_{27} 规则甾烷), 在纵向上编号为Mh-33-1、MH-35和06-9-1的油页岩样品沉积环境应为强还原环境; 06-9-1号油页岩、页岩及煤岩样品则沉积于弱还原环境。前人对松辽盆地、海拉尔盆地、鸡西盆地、汤源断陷煤系地层煤成油地球化学分析发现, 煤成油一般出现姥鲛烷占优势, Pr/Ph为3.7 ~ 4.9^[28], 最高可达到11.93^[10], 而漠河盆地火山岩地层中发育的该套煤系烃源岩煤岩的Pr/Ph仅为1.29, 显示明显的偏还原的沉积环境特征。这种还原环境可能由两种情况导致, 即漠河盆地煤系地层沉积时的水体较深或水体存在明显的化学分层。本次分析的烃源岩样品中, 同为油页岩样品, 沉积于还原环境的编号为Mh-33-1、06-9-1和MH-35的油页岩样品, 其有机质丰度较高, TOC分别为22.58%、20.72%和25.28%, $S_1 + S_2$ 分别为101.96 mg/g、51.09 mg/g和73.72 mg/g, 而沉积于弱还原环境的编号为06-9-2油页岩样品, 其TOC与 $S_1 + S_2$ 分别为10.56%和32.1 mg/g, 明显偏低, 即沉积环境的还原性强度与有机质的丰度具有正相关关系, 还原环境更有利于有机质的保存, 有利于形成有机质丰度较高的优质烃源岩。

含盐度指标($G/C_{30}H$ (孕甾烷 + 升孕甾烷) / C_{27} 甾烷, C_{27} 重排甾烷 / C_{27} 规则甾烷)显示该套烃源岩沉积时水体的含盐度变化较快, 这可能是有外来物质的输入导致的, 即页岩沉积时有高盐度物质的输入。分析该套烃源岩的沉积环境, 该套烃源岩与火成岩紧密接触, 而火山在活动过程中一般都携带大量的火山热液物质, 这种火山热液物质中富含 H_2O 、 CO_2 及金属矿物质, 从而会导致水体的化学分层及含盐度升高。而前人对漠河盆地早白垩世热液矿床的研究^[29-31]也显示, 在脆性构造破碎带中确实存在与岩浆、火山活动有关的热液金矿床(点), 且流体包括体分析显示, 热液流体的温度为270.5 ~ 332.1 °C(与该套烃源岩有机质热演化经历的最高温度相匹配), 阳离子主要 Na^+ 、 K^+ , 阴离子主要以 Cl^- 为主, 气相成分以 H_2O 、 CO_2 为主。这种富含 Na^+ 、 K^+ 离子矿物质的火山热液的注入, 可能会导致水体含盐度增高。页岩沉积时水体含盐度的突然升高以及煤岩的还原环境可能是火山活动带来的热液物质进入湖盆水体导致。

漠河盆地早白垩世为一火山岩沉积盆地, 火山活动频繁, 火山岩夹沉积岩的二元沉积建造广泛发育^[20], 因此搞清火山活动与烃源岩之间的关系, 具有重要的意义, 针对这个问题需要做进一步的深入

研究。

4 结论

(1) 漠河盆地依列克得组烃源岩为火山活动间歇期沉积的一套煤系烃源岩,有机质丰度较高,达到中—好的级别,处于低成熟阶段,元素分析显示油页岩有机质类型较好,为II型,页岩和煤为III型,该套烃源岩具有较好的生烃潜力;

(2) R_o 、 T_{max} 、OEP、CPI、 T_s/T_m 、 $C_{29}\text{-}\alpha\alpha S/(S+R)$ 、 $C_{29}\text{-}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 等成熟度参数分析结果,显示依列克得组烃源岩处于有机质热演化的低成熟阶段,水下火山岩浆活动对烃源岩的烘烤作用不明显。

(3) 油页岩、煤、页岩有机质母质来源均具有水生生物和陆源高等植物混源输入的特征,相对来说,煤岩陆源有机质输入相对更丰富;

(4) Pr/Ph、 γ -蜡烷指数、(孕甾烷+升孕甾烷)/ C_{27} 甾烷、 C_{27} 重排甾烷/ C_{27} 规则甾烷反映沉积环境的生物标志物指标综合分析,显示依列克得组烃源岩沉积于强还原—还原环境,在纵向上,沉积时水体的咸化程度具有较快波动性,反映其沉积时水体环境变化较快。这种较快的水体环境变化,可能是外来火山热液物质(CO_2 、矿物质等)的输入导致的,这种火山热液物质的输入导致的咸化还原环境可能更有利于优质烃源岩的形成。

参考文献 (References)

- 张顺,林春明,吴朝东,等. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化[J]. 高校地质学报, 2003, 9(3): 411-419 [Zhang Shun, Lin Chunming, Wu Chaodong, et al. Tectonic characteristics and basin evolution of the Mohe Basin, Heilongjiang Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(3): 411-419]
- 吴根耀,冯志强,杨建国,等. 中国东北漠河盆地的构造背景和地质演化[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 528-535 [Wu Genyao, Feng Zhiqiang, Yang Jianguo, et al. Tectonic setting and geological evolution of Mohe basin in Northeast China [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(4): 528-535]
- 吴河勇,刘文龙. 外围盆地评价优选[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 20-23 [Wu Heyong, Liu Wenlong. Evaluation and optimum of peripheral basins [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5): 20-23]
- 吴河勇,王世辉,杨建国,等. 大庆外围盆地勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(4): 23-31 [Wu Heyong, Wang Shihui, Yang Jianguo, et al. Analysis of Exploration potential in surrounding basins of Daqing oil field [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(4): 23-31]
- 孟祥军,金成志,杨平等. 从海拉尔盆地勘探历程看大庆外围中小型盆地勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2005, 10(3): 22-25 [Meng

- Xiangjun, Jin Chengzhi, Yang Ping, et al. Potential evaluation of exploration in Cretaceous petroleum system in Hualai basin [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 10(4): 23-31]
- 吴河勇,辛仁臣,杨建国. 漠河盆地中侏罗统沉积演化及含油气远景[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 116-121 [Wu Heyong, Xin Renche, Yang Jianguo. The middle Jurassic sedimentary evolution and petroleum potential of the Mohe basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2003, 25(2): 116-121]
- 高红梅,鲍志东,高福红. 内蒙古东北拉布达林盆地上库力组烃源岩生物标志物特征[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(3): 28-33 [Gao Hongmei, Bao Zhidong, Gao Fuhong. Biomarker characteristics of source rocks in Shangkuli Formation of Labudalin Basin, northeastern Inner Mongolia [J]. Journal of China University of Petroleum, 2009, 33(3): 28-33]
- 曲希玉,刘立. 内蒙古东北部拉布达林盆地上乌尔根软沥青的发现及其意义[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 567-573 [Qu Xiyu, Liu Li. Discovery of soft asphalt at Shangwuergen of the Labudalin basin, northeastern Inner Mongolia, China, and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5): 567-573]
- 李晓波. 大兴安岭北部早白垩世火山—沉积地层序列与构造古地理[D]. 硕士论文, 长春: 吉林大学, 2007 [Li Xiaobo. Early Cretaceous Volcanic-Sedimentary Strata Sequence Tectono Paleogeography, in northern Daxinganling, China [D]. Changchun: Jilin University, 2007]
- 高红梅,高福红,樊馥,等. 鸡西盆地早白垩世烃源岩可溶有机质地球化学特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(1): 86-90 [Gao Hongmei, Gao Fuhong, Fan Fu, et al. Geochemical characteristics of soluble organic matter extracted from source rocks during the early Cretaceous in Jixi Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(1): 86-90]
- 秦建中,等. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 8-78 [Qin Jianzhong, et al. The Source Rocks of China [M]. Beijing: Science Press, 2005: 8-78]
- 孟仟祥,房孺,徐永昌,等. 柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志物特征及其地球化学意义[J]. 沉积学报, 2001, 22(4): 729-736 [Meng Qianxiang, Fang Xuan, Xu Yongchang, et al. Biomarkers and geochemical significance of Carboniferous source rocks and coals from Qaidam [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 22(4): 729-736]
- 梅博文,刘希江. 我国原油中异戊间二烯烃的分布及其与地质环境的关系[J]. 石油与天然气地质, 1980, 1(2): 99-115 [Mei Bowen, Liu Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China a crude oil and its relation with the geologic environment [J]. Oil & Gas Geology, 1980, 1(2): 99-115]
- 王铁冠,等. 生物标志物地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990 [Wang Tieguan, et al. Approach to Biomarker Geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1990]
- Seifert W K, Moldovan J M. Paleoreconstruction by biological markers [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 783-794]
- Powell T, Mckirdy D M. Relationship between ratio of pristane to

- phytane, crude oil composition and geological environments in Australia[J]. *Nature*, 1973, 243: 37-39
- 17 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 张永昌, 林永汉, 等译. 北京: 石油工业出版社, 2001: 106 [Peters K E, Moldowan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. Translated by Jiang Naihuang, Zhang Shuichang, Lin Yonghan, et al. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 106]
- 18 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 缺氧环境及地球化学判识标志的探讨——以鄂尔多斯盆地为例[J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 365-372 [Tonger, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. The discussion on anoxic environments and its geochemical identification indices[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 365-372]
- 19 彭兴芳, 李周波. 生物标志化合物在石油地质中的应用[J]. *资源环境与工程*, 2006, 20(3): 279-283 [Peng Xingfang, Li Zhoubo. The application of biomarker in the research of petroleum geology[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2006, 20(3): 279-283]
- 20 李春雷. 漠河盆地构造特征演化与成盆动力学研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007 [Li Chunlei. *Structural characteristic, tectonic evolution and basin dynamics of Mohe Basin* [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007]
- 21 郭占谦. 火山作用与油气田的形成和分布[J]. *新疆石油地质*, 2002, 3(3): 183-186 [Guo Zhanqian. Volcanic activity versus formation and distribution of oil and gas fields[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 3(3): 183-186]
- 22 郑国东, 罗斌杰, 程克明, 等. 源岩镜质体反射率和有机质演化的热模拟研究[J]. *沉积学报*, 1996, 14(增刊): 122-130 [Zheng Guodong, Luo Binjie, Cheng Keming, et al. Thermally simulating study on the vitrinite reflectance and the evolution of organic materials from various source rocks[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(增刊): 122-130]
- 23 翟庆龙, 金强, 曾怡, 等. 渤海湾盆地东营凹陷滨南地区玄武岩—烃源岩共生体的油气地质特征[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(5): 448-451 [Zhai Qinglong, Jin Qiang, Zeng Yi, et al. Petroleum geology of basalt-source rock paragenetic association in Binnan area, the Dongying depression of the Bohaiwan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 26(5): 448-451]
- 24 陈弘, 朱本铎, 崔兆国. 海底热液矿床地质和地球化学特点研究[J]. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 79-84 [Chen Hong, Zhu Benduo, Cui Zhaoguo. A study on geological and geochemical characteristics of sea floor hydrothermal polymetallic deposits[J]. *Journal of Tropical Oceanography* 2006, 25(2): 79-84]
- 25 钱江初, 于刚, 刘春秋, 等. Lost City 低温热液场——一种新的海底热液活动类型[J]. *海洋学研究*, 2006, 24(1): 43-49 [Qian Jiangchu, Yu Gang, Liu Chunqiu, et al. A new type of sea floor hydrothermal activity—serpentinization and Lost City low temperature hydrothermal field[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2006, 24(1): 43-49]
- 26 李日辉, 侯贵卿. 深海热液喷口生物群落的研究进展[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(4): 103-108 [Li Rihui, Hou Guiqing. Research advances in deep-sea hydrothermal vent communities[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1999, 19(4): 103-108]
- 27 阴家润, 王薇薇. 深海洋底热泉生态系和冷泉生物研究综述[J]. *地质科技情报*, 1995, 14(2): 31-36 [Yin Jiarun, Wang Weiwei. Hydrothermal vent ecosystem and cold seep community of deep sea[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1995, 14(2): 31-36]
- 28 王雪, 迟宏一. 松辽及外围盆地煤成油的有机地球化学特征[J]. *大庆石油地质与开发*, 2001, 20(5): 3-5 [Wang Xue, Chi Hongyi. Organic geochemical characteristic of the coal-formed oil in Songliao and its peripheral basins[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development*, 2001, 20(5): 3-5]
- 29 王晓勇, 梁海军, 金同和, 等. 黑龙江省漠河推覆构造特征及其与金成矿的关系[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(2): 218-225 [Wang Xiaoyong, Liang Haijun, Jin Tonghe, et al. Mohe nappe structure, Heilongjiang and its control on gold mineralization[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(2): 218-225]
- 30 丛润祥, 袁江洪, 张翔. 黑龙江省漠河地区火山岩特征及金矿化[J]. *黄金地质*, 1999, 5(3): 37-40 [Cong Runxiang, Yuan Jianghong, Zhang Xiang. The features of volcanic rocks and gold mineralization in Mohe, Heilongjiang[J]. *Gold Geology*, 1999, 5(3): 37-40]
- 31 赵炳新, 宋丙剑, 周殿宇, 等. 黑龙江省漠河县砂宝斯金矿地质特征及成矿规律浅析[J]. *黄金科学技术*, 2007, 15(2): 20-25 [Zhao Bingxin, Song Bingjian, Zhou Dianyu, et al. Geological features and ore-forming rule of the Shabaoshi Gold Deposit in Mohe, Heilongjiang[J]. *Gold Science and Technology* 2007, 15(2): 20-25]

Organic Geochemical Characteristics of Source Rocks from Yiliekedo Formation in the Intermittent Stages of Volcanic Activity in Mohe Basin

QI Yao-chun^{1,5} GAO Hong-mei^{1,2} BAO Zhi-dong^{1,2} GAO Fu-hong³ ZHANG Yue-qiao⁴

(1. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Beijing 102249;

3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061;

4. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083;

5. Jilin Oilfields Company, CNPC, Songyuan, Jilin 138000)

Abstract Mohe basin is a fault basin infilled with Lower Cretaceous volcanic rock and with growth of dual structure consisting of volcanic rock and sedimentary rock. The Yiliekedo group source rock in Mohe basin belongs to limnetic facies and is developed in basaltic series. The source rocks including oil shale, shale and coal. The source rocks were deposited in the same time with the basalts, and the igneous rock were formed for the volcanic lava or pyroclastic into lake water directly. Based on the analytic technique of GC and GC-MS, the depositional environment, biogenetic derivation and maturity of the source rocks were discussed. The results show that the abundance of the organic material of source rock is rather high, the kerogen of the oil shale is mainly of type II, the coal and the shale is mainly of type III; The source rocks were not heated by the basalt magma ($R_o = 0.56\% \sim 0.59\%$), and the thermal evolution of the samples have reached low maturation stage, and just entered the oil generation threshold. Thus the source rock is a set of excellent source rock measures with much better hydrocarbon generation potential. The source rocks are deposited in an water body of strong-weakly reduction. The salt of the water bowere changed between salt and freshwater-tiny salt quickly. The hydrocarbon came from the mixed-source of organics from the input of aquatic organisms and terrigenous plant, and the terrigenous plant is more enough in coals.

Key words source rocks; biomarkers; Mohe basin; Yiliekedo Formation