

内蒙古东北拉布达林盆地上库力组烃源岩生烃潜力分析

高红梅¹, 鲍志东^{1,2}, 高福红³

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249
2. 中国石油大学(北京); 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

摘要 应用有机岩石学、热解分析等地球化学分析技术, 对拉布达林盆地下白垩统上库力组一段烃源岩进行干酪根元素分析、岩石热解分析和高温高压热模拟实验。探讨了拉布达林盆地下白垩统上库力组一段烃源岩的显微组分、有机质丰度、类型和成熟度等特征, 分析了其生烃潜力和生烃属性。将上库力组一段烃源岩显微组分划分为壳质组、镜质组和惰质组 3 种类型, 其中, 壳质组中来源于水生生物的腐殖无定形体含量很高(94%~97%), 有利于生油; 有机质丰度较高, 达到中到好的级别; 烃源岩有机质类型较好, 主要为 II₁ 型和 II₂ 型; 有机质热演化程度较低, 主要处于生油的低成熟阶段。结果表明, 拉布达林盆地上库力组一段烃源岩具备较好的生油潜力, 具有很好的油气勘探前景。

关键词 拉布达林盆地; 上库力组; 烃源岩; 生烃潜力

中图分类号 P618.13

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)16-0052-05

Hydrocarbon-generating Potentials of Source Rocks of Shangkuli Formation in Labudalin Basin, Northeastern Inner Mongolia

GAO Hongmei¹, BAO Zhidong^{1,2}, GAO Fuhong³

1. College of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. State Key Laboratory of Hydrocarbon Resources and Exploration, China Petroleum University, Beijing 102249, China
3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract The organic macerals of kerogen, with an abundance of organic matter, the maturity and the type of source rocks during the one group of Shangkuli Formation, lower Cretaceous in Labudalin Basin are discussed, based on the analytic technique of organic lithology and Rock-Eval analyses. Also discussed is the hydrocarbon generating potentials and features by element analyses on kerogen, Rock-Eval analyses and high temperature and pressure simulation on source rocks. The results show that the organic macerals of one group of Shangkuli formation source rock in Labudalin Basin are classified into 3 groups as follows: exinite, vitrinite and inertinite. The sapropel as an important oil generating component is the result of bacteria degrading algal. The content of the sapropel reaches 94%~97%. The organic materials of source rock are rather highly abundant, and the organic materials take type II₁ or II₂ kerogen as the dominant factor. The thermal evolutions of the most organic matter have reached a low maturation stage, and the organic matter mainly generates oil. The source rocks of Labudalin Basin with good oil generating potentials have very good prospect for petroleum exploration.

Keywords Labudalin Basin; Shangkuli Formation; source rocks; hydrocarbon-generating potentials

收稿日期: 2010-05-17; 修回日期: 2010-08-01

基金项目: 国家油气专项(XQ-2004-07)

作者简介: 高红梅, 博士研究生, 研究方向为储层地质学与沉积盆地流体矿产, 电子信箱: gaohongmei1007@sina.com; 鲍志东(通信作者), 教授, 研究方向为沉积学、储层地质学、地球化学与油气成藏富集规律, 电子信箱: baozhd@cup.edu.cn

0 引言

拉布达林盆地在区域构造上属内蒙—大兴安岭地槽褶皱系喜桂图旗地槽褶皱带根河复向斜西部。该盆地勘探程度很低,以往的研究多集中于大磨拐河组的含煤层系^[1-3],而下白垩统上库力组多发育的火山岩地层则较少涉及。本次对拉布达林盆地进行了详细的野外踏勘,发现在该盆地下白垩统上库力组一段发育一套烃源岩,该套烃源岩厚约 40m,岩性主要以深湖—半深湖的泥岩、页岩、油页岩和泥灰岩为主。该套烃源岩发育于火山岩系地层中,主要在火山活动间歇期沉积形成,纵向上与火山岩互层分布且直接接触,形成火成岩—烃源岩共生组合,而且这种火山岩与烃源岩共生的现象在松辽、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有发育,并取得了良好的勘探效果^[4]。对该套烃源岩进行地质填图和一系列采样分析发现,该套烃源岩在盆地内广泛分布,有油气生成和运移历史,具有非常好的勘探前景^[5]。本文对该套烃源生烃潜力进行分析研究,以期松辽盆地外围西部盆地的勘探具有指导、借鉴意义。

1 样品和试验条件

拉布达林盆地内部断层十分发育,火山活动受盆内深达基地的断层限制。上库力组一段时期火山活动相对减少,松辽盆地外围西部盆地群整体下降形成湖盆,接受沉积,但仍伴随着同沉积小规模间歇性的火山活动,在该地质背景下,沉积了上库力组一段烃源岩。通过路线观测、实测剖面、槽探和浅钻等野外地质调查手段和方法,对上库力组一段烃源岩进行了详细的野外地质调查研究,并选定拉布达林—上库力—上乌尔根地区进行区域地质填图。地质填图显示上库力组一段下部烃源岩发育稳定,为一套深湖—半深湖相含碳酸盐岩的泥质烃源岩,岩石类型主要为灰黑色页岩、暗色泥岩、灰色中薄层泥灰岩、灰褐色钙质油页岩。在稳定的沉积岩岩层中沉积了中—薄层的火山碎屑岩和火山熔岩,火山岩单层厚度最小为 0.1m,岩石类型主要为火山凝灰岩、玻屑凝灰岩、晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、安山岩和玄武岩。该段岩层总厚度超过 200m,其中泥质岩累厚达 126m。

选取尖子山剖面(上乌尔根尖子山地区,样品编号 PII-X)和 491 剖面(S301 公路 491km 处,样品编号 PI-X 或 LBD-X)进行系列采样分析。尖子山剖面为一近期人工探槽,491 剖面为一天然露头,风化严重,表层已严重风化成土壤状。采样时尽量选择较新鲜的样品进行采集。相关分析在中国石油勘探开发研究院试验中心完成。

其中所使用的分析仪器包括:烃源岩显微组分鉴定仪器 Axiophot 型透光—荧光高级生物显微镜,岩石热解分析测试仪器为 Rock-Eval 2plus,总有机碳分析仪器为 Leco CS-400 碳硫分析仪,干酪根碳同位素分析仪器 Finnigan MAT-252,岩石有机元素含量测定仪器 Elementar Vario EL。镜质体反射率的测定条件是:室内相对湿度小于 70%,室温 (23±3)°C,通过

MPV-SP 显微光度计双标样(蓝宝石、SiC)标定。

2 显微组分特征

显微组分特征用于研究油气成因具有独特的优越性,可以很好地避免地表风化等因素的影响,在很大程度上补偿了有机地球化学分析方法的不足。一般来说,显微组分中壳质组、镜质组和惰质组均来自高等植物,腐泥组来自低等水生生物,为藻类、凝源类等低等水生生物经腐泥化作用(或沥青化作用)形成的有机显微组分^[6-7],是有机母质中生烃潜力最大的有机显微组分。上库力组一段烃源岩干酪根显微组分鉴定结果如表 1 所示,样品中镜质组和惰质组含量很低,壳质组中的腐殖无定形体含量很高(94%~97%);样品类型系数分布在 44~64 之间。该壳质组中的腐殖无定形体经鉴定并非来自高等植物,而来自水生生物。由于成岩过程中的生物降解作用,使有机质类型指数降低而等同于“腐殖无定形”,因此上库力组一段烃源岩干酪根壳质组中的腐殖无定形体的原始母质应为水生生物,烃源岩母质来源较好。根据干酪根显微组分类型指数划分的有机质类型标准^[7],两个剖面有机质类型均为 II₁ 型。

表 1 有机质干酪根显微组分

Table 1 Macerals of organic kerogen

样品 编号	壳质组		镜质组 /%	惰质组 /%	类型 指数	有机质 类型
	腐殖无定 形体/%	壳质碎 屑体/%				
PII-11	94*	1	2	3	43	II ₁
PII-14	97*	0	1	2	46	II ₁
PII-26	97*	0	1	2	46	II ₁
PI-29	95*	0	2	3	43	II ₁
PI-35	97*	0	1	2	46	II ₁
LBD-7	97*	0	1	2	64	II ₁
LBD-11	96*	0	1	3	44	II ₁

注:*,腐殖无定形为“生物降解的水生生物”。

Note: *, the sapropel is the result of bacteria degrading algal.

3 有机地球化学特征

3.1 有机质丰度

上库力组烃源岩热解数据分析结果如表 2 所示,尖子山剖面总有机碳 0.23%~3.15%,平均 1.35%,油页岩总有机碳含量均大于 1.0%;生烃潜量为 0.19~18.74mg/g,平均 6.02mg/g,油页岩生烃潜量基本大于 5.0%;氢指数 IH 为 53.57~597.22mg/g,平均 336.4mg/g;氯仿沥青 A 含量为 0.0057%~0.1161%,平均 0.062%。491 剖面总有机碳 0.17%~1.71%,平均 0.94%,略低于尖子山剖面;而生烃潜量、氢指数和氯仿沥青 A 含量很低,明显低于尖子山剖面。

生烃潜量、氢指数和氯仿沥青 A 受风化影响严重,不能很好地反映原始有机质丰度,而总有机碳受风化影响相对较

表 2 烃源岩有机质丰度

Table 2 Organic material abundance of source rocks

剖面	岩性	总有机碳/平均值 (样品数)/%	生烃潜量/平均值 (样品数)/(mg·g ⁻¹)	氢指数/平均值 (样品数)/(mg·g ⁻¹)	氯仿沥青 A/平均值 (样品数)/%	评价
尖子山剖面	暗色泥岩	0.3~1.44/0.56 (5)	0.19~8.93/2.05 (5)	54~597/182.4 (5)	0.0057~0.0602/0.0257 (3)	中
	页岩	1.15	3.52	289	—	好
	油页岩	1.31~3.15 /1.82(9)	4.7~18.74 /8.5(9)	330~583 /427.22(9)	0.0699~0.1161/0.0838 (5)	好
491 剖面	暗色泥岩	0.17~1.71/0.82 (10)	0.03~0.098/0.045 (10)	1~6/2.3 (10)	0.0015~0.0039/0.0026 (4)	非~好
	页岩	0.6~1.57/1.04 (8)	0.03~0.008/0.049 (8)	1~3/1.5 (8)	0.0009~0.0027/0.0017 (4)	中~好

小^[6,8-10]。据研究,风化作用对有机质性质的影响深度可达 3~5m^[11]。491 剖面为一天然露头,受风化作用更为严重,表面已半土壤化,其有机质丰度指标只有总有机碳具有参考价值。尖子山剖面为近期开挖的人工探槽,烃源岩受风化影响相对较小,生烃指标比较接近地下值,因此对该盆地有机质丰度的评价应以尖子山剖面为准。

综合以上地球化学参数,根据中国湖相烃源岩有机质丰度评价指标^[7],上库力组一段油页岩均达到了好到很好的烃源岩级别,黑灰色泥岩和黑色页岩达到了中到好烃源岩级别,个别泥岩样为差烃源岩。

3.2 有机质类型

选用干酪根氢碳原子比(H/C)、干酪根碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)方法结合范氏图和氢指数-最高热解温度(IH- T_{max})等常用烃源岩分类图版分析有机质类型。

干酪根元素分析结果如表 3 所示。尖子山样品 H/C 为 0.99~1.47,平均 1.3;氧碳原子比(O/C)为 0.06~0.14,平均 0.085。491 剖面样品 H/C 为 0.35~0.44,明显低于尖子山剖面, O/C 为 0.1~0.14,明显高于尖子山剖面。491 剖面氢元素含量明显低于尖子山剖面,氧元素含量高于尖子山剖面,这可能是风化作用的结果。由于长期受风化作用影响,烃源岩的碳、氢元素流失,氧元素增加,使有机质类型变差^[7,10-11]。根据中国烃源岩有机质类型划分标准^[7],上库力组一段油页岩有机质类型为 II₁ 型,泥岩为 II₂ 型和 II₁ 型;491 剖面有机质类型降为 III 型。

表 3 有机质干酪根元素组成

Table 3 Elements of organic kerogen

剖面名称	样品数	岩性	氢碳原子比 /平均值	氧碳原子比 /平均值
尖子山剖面	3	暗色泥岩	0.99~1.41/1.14	0.13~0.14/0.11
	5	油页岩	1.33~1.47/1.4	0.06~0.08/0.07
491 剖面	5	暗色泥岩	0.37~0.44/0.4	0.1~0.13/0.11
	4	页岩	0.35~0.41/0.38	0.1~0.14/0.12

由范氏图(图 1)可得,尖子山油页岩样品点主要落在了 II₁ 型附近,暗色泥岩样品点主要分布在 II₂ 型附近,个别样品为 II₁ 型,油页岩类型好于暗色泥岩。由 IH- T_{max} 图版(图 2)可得,尖子山剖面油页岩有机质类型好于暗色泥岩,前者主要为 II₁ 型和 II₂ 型,后者主要为 III 型,个别样品为 II₁ 型;491 剖面样品受风化作用影响,热解烃含量很低,只检测出了 3 个样品的最高热解温度值,又由于样品氢指数很低(可能是风化作用的影响),其样品均分布在 III 型区域;所有样品点均在镜质体反射率 R_o 为 0.5~1.3 的生油区。因此,上库力组一段烃源岩有机质处于生油的阶段,该段勘探工作应以找油为主。

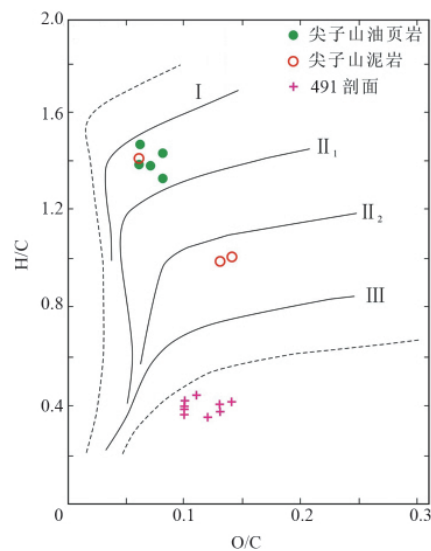
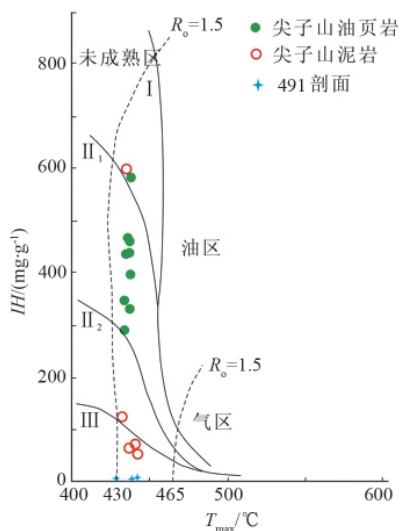


图 1 有机质干酪根 H/C-O/C 范氏图

Fig. 1 H/C-O/C classification of organic kerogen

491 剖面显微组分分析结果与 H/C-O/C 和 IH- T_{max} 分析的有机质类型相差很大,本文对 491 剖面样品进行了干酪根碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)分析,结果如表 4 所示。干酪根碳同位素相对比较稳定,受生物降解作用的影响比较小^[12-13],有机质热成熟作用可能对其产生一定的影响,但由于研究区热演化程度较低、H/C 比较高,因此有机质热成熟作用对干酪根碳同位素影

图2 有机质干酪根 $HI-T_{max}$ 分类图Fig. 2 $HI-T_{max}$ classification of organic kerogen表4 有机质干酪根 $\delta^{13}C$ 数据表Table 4 The $\delta^{13}C$ data of organic kerogen

样品编号	层位	岩性	$\delta^{13}C/\%$
LBD-7	上库力组	黑色页岩	-2.7
LBD-11	上库力组	黑色页岩	-2.73

响也不大,故 $\delta^{13}C$ 能够比较真实地反映有机质的原始母质类型^[13-15]。研究区 491 剖面 2 个样品的干酪根碳同位素值分别为 -2.7% 和 -2.73%。根据中国干酪根碳同位素划分有机质类型标准^[16],有机质类型为 II₁ 型,与显微组分分析结果一致。

由图 1、图 2 可得,尖子山剖面样品有机质类型明显好于 491 剖面。但由显微组分分析和干酪根碳同位素参数对有机质类型的划分结果可得,两个剖面有机质类型相似,均为 II₁ 型。尤其是 491 剖面的 PI-29、PI-35、LBD-7 和 LBD-11 样品,同时测定了显微组分、干酪根碳同位素和氢碳原子比、氧碳原子比、氢指数等参数,但分析结果却相差甚多,显微组分和碳同位素显示有机质类型均为 II₁ 型,而后面的参数则显示为 III 型。

总结以上地化指标的特点,显微组分及干酪根碳同位素主要受母源影响,受风化、热演化等外部因素影响较小^[9,17],而 H/C、HI 等参数受风化作用影响严重。因此,491 剖面有机质类型的划分应该以干酪根碳同位素和显微组分的划分结果为依据,其他类型指标应参考尖子山剖面。

综上所述,上库力组一段烃源岩有机质类型较好,主要为 II₁ 型。油页岩有机质类型好于暗色泥岩,油页岩主要为 II₁ 型,暗色泥岩主要为 II₁ 型、III 型。

3.3 有机质热演化程度

采用 R_0 和 T_{max} 对烃源岩的成熟度进行评价。由于上库力组烃源岩有机母质来源主要为水生生物,有机质类型好,因

此其显微组分中镜质组含量很低或为零,62 个样品中只有 8 个样品检测出镜质体反射率值(表 5),其值分布在 0.58%~0.62% 之间。 T_{max} 分布在 429~442°C 之间,平均 436°C。根据中国通用的烃源岩成熟阶段划分标准^[7,18],上库力组一段烃源岩有机质热演化程度处于生油的低成熟阶段。

对现代熔岩流温度研究发现,岩浆温度通常为 700~1200°C,而模拟油气形成最重要的热模拟温度为 300~400°C,因此火山岩浆活动会严重烘烤周围烃源岩,甚至可以使烃源岩产生轻微变质,有机质热演化程度很高,达到高到过成熟阶段^[4]。但与此不同的是,上库力组同期火山活动对烃源岩的烘烤作用并不明显,与火山凝灰岩、安山岩直接接触互层分布的烃源岩,其有机质热演化程度并不高(R_0 为 0.58%~0.62%)。烃源岩镜质体反射率有机质演化热模拟试验发现,受热温度范围为 250~350°C,对应的 R_0 为 0.6%,与上库力组烃源岩 R_0 基本一致,说明该处烃源岩并未受到与之互层分布且直接接触的高温火山物质的烘烤。究其原因,对现代海底热液研究发现,火山喷口温度不高(“黑烟囱”300~400°C,“白烟囱”100~300°C)^[19],随着与火山口距离的增大,温度会迅速降低^[20]。对松辽、渤海湾等盆地火山岩发育区烃源岩热演化研究发现,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,从而导致对周围烃源岩的热烘烤作用不明显^[21]。同样,拉布达林盆地烃源岩虽然与火成岩互层分布直接接触,但由于烃源岩与火成岩均形成于水下环境,因此火成岩对烃源岩烘烤作用并不明显,烃源岩仍处于生油的低成熟阶段,该区域的勘探工作以找油为主。

4 结论

1) 显微组分分析结果表明,壳质组中腐殖无定形含量很高(94%~97%),烃源岩干酪根显微组分中镜质组和惰性组含量很低。腐殖无定形来自于经生物降解的水生生物,说明该套烃源岩母质来源主要为水生生物,有机质类型为 II₁ 型,有利于生油。

2) 对总有机碳、生烃潜量、HI、氯仿沥青 A 分析结果表明,上库力组一段烃源岩有机质丰度较高,达到中到好级别;对 H/C-O/C、HI- T_{max} 、 $\delta^{13}C$ 、显微组分等参数分析发现,上库力组一段烃源岩有机质类型较好,主要为 II₁ 型和 II₂ 型,油页岩好于暗色泥岩。

3) R_0 、 T_{max} 分析结果表明,烃源岩有机质热演化程度较低,主要处于生油的低成熟阶段,于火山喷发间歇期沉积的该套烃源岩受同沉积的火成岩的烘烤作用并不明显。

参考文献 (References)

- [1] 杜凤玲. 浅析拉布达林煤田大磨拐河组沉积环境与聚煤特征[J]. 内蒙古地质, 2002(1): 31-33.
Du Fengling. *Geology of Inner Mongolia*, 2002(1): 31-33.

[2] 王世辉, 王立民, 唐金生. 兴安岭盆地群成盆机制及含油气远景评价 [J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(5): 5-7.
Wang Shihui, Wang Limin, Tang Jinsheng. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(5): 5-7.

[3] 冯宇. 上黑龙江凹陷晚中生代含煤地层对比 [J]. 中国煤田地质, 1997, 9(2): 34-36.
Feng Yu. *Coal Geology of China*, 1997, 9(2): 34-36.

[4] 翟庆龙. 东营凹陷火成岩发育区油气生成与成藏模式研究 [D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2002.
Zhai Qinglong. Investigation on hydrocarbon generation and accumulation in igneous rock areas in the Dongying depression [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2002.

[5] 曲希玉, 刘立, 彭晓蕾, 等. 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, Peng Xiaolei, et al. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(5): 567-573.

[6] 王玉华, 侯启军, 孙德君, 等. 柴达木盆地北缘地区中生代地层油气生成与资源评价 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Wang Yuhua, Hou Qijun, Sun Dejun, et al. Oil generating and resource evaluation of Mesozoic and Cenozoic stratum in the north of Chaidamu Basin [M]. Beijing: Science Press, 2004.

[7] 秦建中. 中国烃源岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Qin Jianzhong. The source rocks of China [M]. Beijing: Science Press, 2005.

[8] 孟元林, 王建国, 肖丽华. 野外露头的盆地模拟研究与地下烃源岩有机质成熟度的预测 [J]. 中国海上油气(地质), 1996, 10(1): 13-16.
Meng Yuanlin, Wang Jianguo, Xiao Lihua. *China Offshore Oil and Gas*, 1996, 10(1): 13-16.

[9] 孟元林, 肖丽华, 杨俊生, 等. 风化作用对西宁盆地野外露头有机质性质的影响及校正 [J]. 地球化学, 1999, 28(1): 42-50.
Meng Yuanlin, Xiao Lihua, Yang Junsheng, et al. *Geochimica*, 1999, 28(1): 42-50.

[10] 张君峰, 王东良, 秦建中, 等. 青藏高原地面露头样品风化校正研究 [J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 297-301.
Zhang Junfeng, Wang Dongliang, Qin Jianzhong, et al. *Petroleum Geology and Experiment*, 2001, 23(3): 297-301.

[11] 徐伟民. 石油地球化学在油气勘探中的应用 [M]. 北京: 石油大学出版社, 1993.
Xu Weimin. The application of Petroleum geochemistry in the oil exploration [M]. Beijing: University of Petroleum Press, 1993.

[12] 郭庆军, 刘丛强, Strauss H, 等. 贵州瓮安陡山沱组剖面碳同位素生物地球化学研究 [J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 75-80.
Guo Qingjun, Liu Chongqiang, Strauss H, et al. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2005, 25(2): 75-80.

[13] 苏艾国. 干酪根碳同位素在成熟和风化过程中变化规律初探 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(2): 79-83.
Shu Aiguo. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1999, 18(2): 79-83.

[14] Samuelsson J, Strauss H. Stable isotope geochemistry and paleobiology of the upper Visings Group (early Neoproterozoic), southern Sweden [J]. *Geological Magazine*, 1999, 136: 63-73.

[15] 李任伟, 卢家烂, 张淑坤, 等. 震旦纪和早寒武世黑色页岩有机碳同

位素组成 [J]. 中国科学 D 辑, 1999, 29(4): 351-357.
Li Renwei, Lu Jialan, Zhang Shukun, et al. *Science in China: Series D*, 1999, 29(4): 351-357.

[16] 黄第藩, 李晋超, 顾信章, 等. 陆相有机质演化和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
Huang Difan, Li Jinchao, Gu Xinzhang, et al. The evolution and the mechanism of hydrocarbon generation of organic matter of continental facies [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984.

[17] 许怀先, 陈丽华, 王玉金, 等. 石油地质实验测试技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
Xu Huaixian, Chen Lihua, Wang Yujin, et al. Laboratory testing technology and application in petroleum geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.

[18] 邬立言, 顾信章, 盛志纬, 等. 生油岩快速热解定量评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
Wu Liyan, Gu Xinzhang, Sheng Zhiwei, et al. Quick Evaluation Quantitatively on the Pyrogenation of Source Rocks [M]. Beijing: Science Press, 1986.

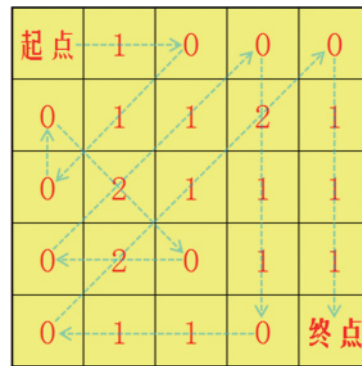
[19] 王兴涛. 现代海底热液活动的热液循环及烟卤体研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学海洋地球科学学院, 2004.
Wang Xingtao. Studies on hydrothermal circulation and smokers of modern seafloor hydrothermal activity [D]. Qingdao: College of Marine Geosciences, Ocean University of China, 2004.

[20] 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. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1999, 19(4): 103-108.

[21] 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. *Geological Science and Technology Information*, 1995, 14(2): 31-36.

(责任编辑 刘志远)

本期行进路线答案



勘 误

本刊第 28 卷 13 期“卷首语”中之第 6 行:“瑞典 Leiden 大学”中之“瑞典”系“荷兰”之误,特此更正,并向读者致歉。

本刊编辑部