第 30 卷第 3 期 地 质 与 资 源 Vol. 30 No. 3
2021 年 6 月 GEOLOGY AND RESOURCES Jun. 2021
文章编号:1671-1947(2021)03-0350-07 中图分类号:P593;P618.13 开放科学标志码(OSID):
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2021.03.017 文献标志码:A

辽宁凌源牛营子盆地辽凌地 1 井北票组生烃潜力分析

宗文明[1],孙求实[1],李晓海[1],郜晓勇[1],李永飞[1],石 蕾[1],熊 荃[2]
1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034;
2. 油气资源与勘探技术教育部重点实验室/长江大学,湖北 武汉 430100

摘 要: 通过岩石热解、饱和烃色谱-质谱、镜质体反射率等分析测试,对辽西牛营子盆地辽凌地 1 井侏罗系北票组烃源岩的有机质丰度、类型及成熟度进行了详细分析,综合评价了其生烃潜力. 研究结果表明,侏罗系北票组有机碳含量分布在 0.75%~37.9%,平均值为 11.68%,有机质类型为Ⅲ型和Ⅱ$_2$型,镜质体反射率 R_o 主要分布于 0.57%~0.62%之间,平均为 0.60%,属于低成熟演化阶段. 综合评价认为,牛营子盆地侏罗系北票组具有一定的生烃潜力.

关键词: 生烃潜力;烃源岩;辽凌地 1 井;北票组;牛营子盆地

HYDROCARBON GENERATION POTENTIAL OF BEIPIAO FORMATION FROM LLD1 WELL IN NIUYINGZI BASIN, WESTERN LIAONING

ZONG Wen-ming[1], SUN Qiu-shi[1], LI Xiao-hai[1], GAO Xiao-yong[1], LI Yong-fei[1], SHI Lei[1], XIONG Quan[2]
1. *Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang* 110034, *China*;
2. *Key Laboratory of Ministry of Education for Exploration Technologies of Oil and Gas Resources, Yangtze University, Wuhan* 430100, *China*

Abstract: Through analysis of rock pyrolysis, saturated hydrocarbon gas chromatography-mass spectrometry and vitrinite reflectance (R_o), the paper studies the abundance, types and maturity of organic matters in the source rocks of Jurassic Beipiao Formation from LLD1 well of Niuyingzi Basin in western Liaoning, and comprehensively evaluates the hydrocarbon generation potential. The results show the TOC is 0.75%-37.9%, averagely 11.68%, with the III- and II$_2$-type of organic matters. The R_o values mainly range from 0.57% to 0.62%, averagely 0.60%, belonging to the low maturity stage. From the above, it is concluded that the Jurassic Beipiao Formation in Niuyingzi Basin has certain hydrocarbon generation potential.

Key words: hydrocarbon generation potential; source rock; LLD1 well; Beipiao Formation; Niuyingzi Basin

牛营子盆地是松辽外围南部盆地群油气基础地质调查的重点盆地,位于辽西凌源市南部,呈 NNE 走向,长约 20 km,宽约 6 km,面积约 120 km^2(图 1),大地构造划分上属于燕山陆内造山带的东延,北为内蒙地轴,南为华北地台[1-3]. 盆地内主要分布有长城系、蓟县系、寒武系、奥陶系、侏罗系和白垩系,地表零星见待建

收稿日期:2021-03-02;**修回日期**:2021-03-18. **编辑**:黄欣、张哲.
基金项目:中国地质调查局项目"冀北-辽西中新元古界油气地质调查"(编号 DD20190098).
作者简介:宗文明(1983—),男,硕士,高级工程师,从事油气基础地质调查研究,通信地址 辽宁省沈阳市黄河北大街 280 号,E-mail//252973823@qq.com
通信作者:李晓海(1982—),男,硕士,高级工程师,从事油气基础地质调查研究,通信地址 辽宁省沈阳市黄河北大街 280 号,E-mail//lixiaohai456@163.com

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

系下马岭组、二叠系石盒子组. 牛营子盆地以前的勘探目的层系为中新元古界，包括蓟县系高于庄组、洪水庄组和待建系下马岭组[4-9].

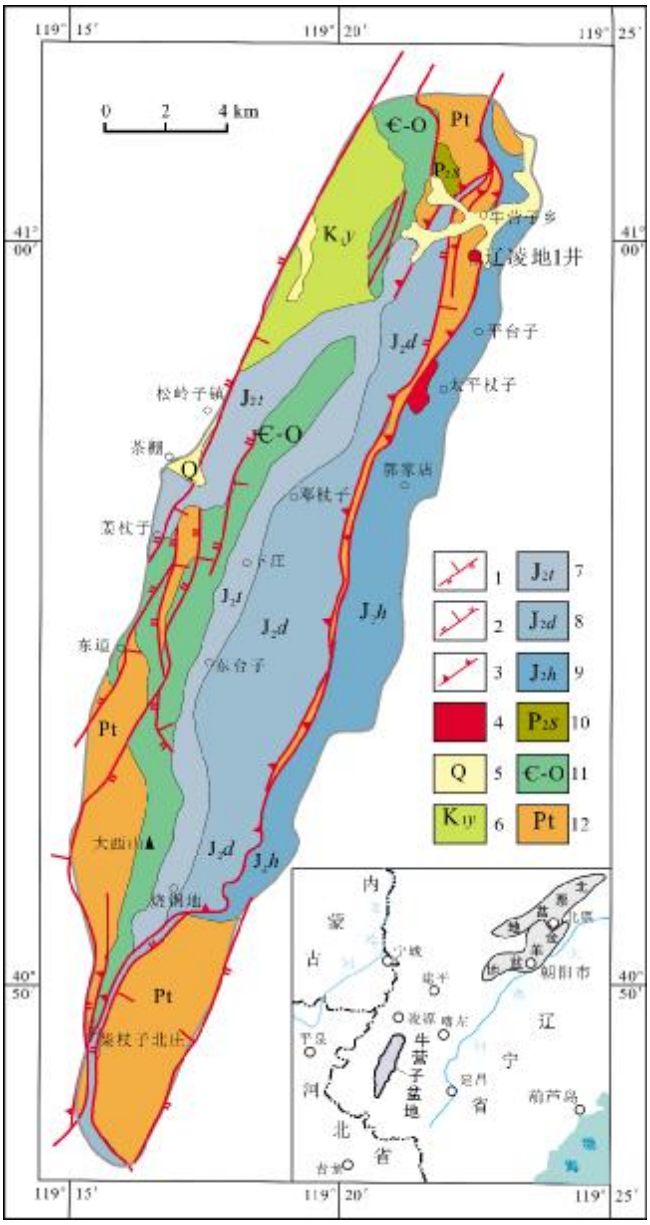

图 1　牛营子盆地地质略图

（据文献[16]修改）

Fig. 1　Geological sketch map of Niuyingzi Basin

(Modified from Reference [16])

1—逆断层(reverse fault)；2—正断层(normal fault)；3—逆冲推覆构造(thrust nappe structure)；4—侵入岩 (intrusive rock)；5—第四系(Quaternary)；6—白垩系义县组(Cretaceous Yixian fm.)；7—侏罗系髫髻山组 (Jurassic Tiaojishan fm.)；8—侏罗系邓杖子组(Jurassic Dengzhangzi fm.)；9—侏罗系海房沟组 (Jurassic Haifanggou fm.)；10—二叠系石盒子组(Permian Shihezi fm.)；11—寒武系-奥陶系(Cambrian-Ordovician)；12—中新元古界(Meso-Neoproterozoic)

侏罗系北票组作为辽西地区油气勘探的主要目的层系[10-15]，广泛出露于金羊盆地、北票盆地等中生代盆地. 以往的地质调查认为牛营子盆地不发育北票组. 2017 年中国地质调查局沈阳地质调查中心实施辽凌地 1 井(图 1)，在中元古界厚层碳酸盐岩推覆体之下钻遇北票组[16]. 本文在辽凌地 1 井岩心样品采集的基础上，对北票组暗色泥岩有机地球化学数据进行分析，查明北票组泥岩地球化学特征，对牛营子盆地北票组烃源岩进行评价，为下一步油气基础地质调查工作提供依据.

1　钻井地质概况

辽凌地 1 井自上而下钻遇地层分别为第四系(0~25 m)、中侏罗统海房沟组(25~272 m)、蓟县系杨庄组(272~889 m)、蓟县系高于庄组(889~1527.91 m)、下侏罗统北票组 (1527.91–1722.78m). 第四系为含砾石腐殖土；海房沟组为灰色复成分砾岩局部夹砂岩、粉砂质泥岩；杨庄组为灰红色、灰色白云岩、白云质灰岩；高于庄组为灰色、灰黑色白云岩，局部夹灰黑色白云质灰岩；北票组(未见底)岩性组合为砂泥岩互层，包括黑色、灰黑色碳质泥岩、泥质粉砂岩、灰色中砂岩、细砂岩、粉砂岩、含砾粗砂岩，局部夹薄煤线，其中泥岩累计总厚度 102.58 m，砂岩累计厚度 92.42 m，泥地比 59.79%，包括黑色、灰黑色碳质泥岩、泥质粉砂岩、灰色中砂岩、细砂岩、粉砂岩、含砾粗砂岩，见多段气测异常(图 2).

地层接触关系上，海房沟组角度不整合覆盖于杨庄组之上，杨庄组整合于高于庄组之上，中元古界蓟具系推覆体逆冲于北票组之上. 该逆冲断层应属于张长厚等[17]认为的牛营子到瓦房店东部一带逆冲系统.

2　样品测试与分析方法

辽凌地 1 井岩心中共采集北票组暗色泥岩样品 12 件，相关分析测试在长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室完成. 对所有样品均进行了岩石热解、总有机碳、干酪根元素、干酪根同位素、镜质组反射率、饱和烃色谱和饱和烃气相色谱–质谱等分析.

烃源岩的可溶烃分析方法及实验仪器简介如下：称取岩样 200 g，粉碎为粒径小于 0.09 mm 的粉末，装入滤纸筒中包扎好，置于脂肪抽取器中，加入不超过

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

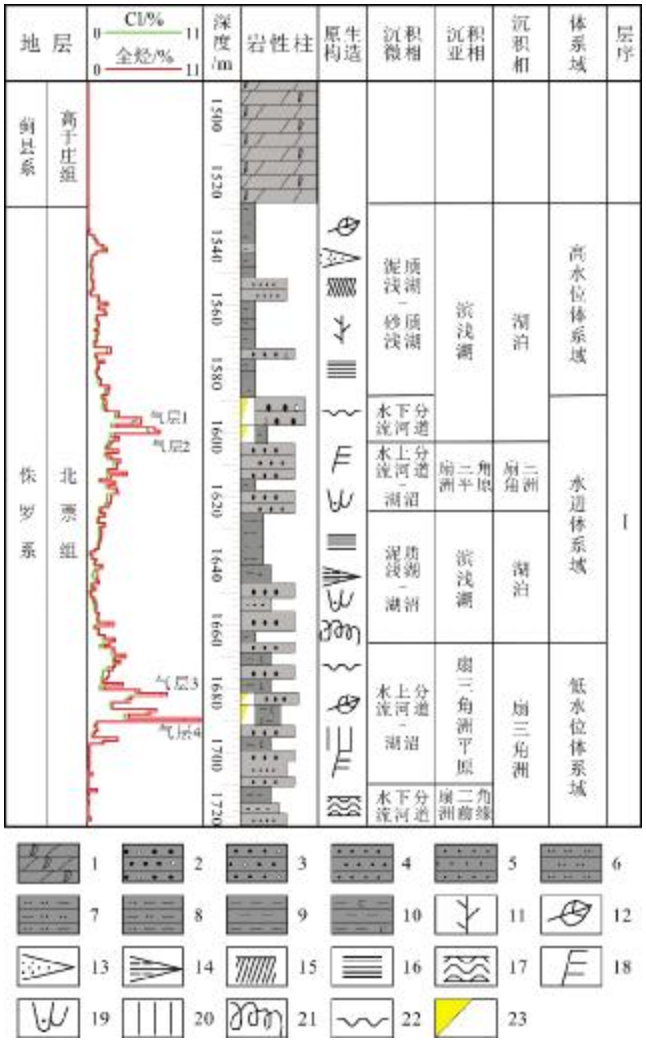

图 2 辽凌地 1 井北票组综合柱状图

(据文献[16]修改)

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of Beipiao Formation in LLD1 well

(Modified from Reference [16])

1—砾屑白云岩(dolorudite); 2—含砾粗砂岩(pebbly coarse sandstone); 3—含砾中砂岩(pebbly medium sandstone); 4—中砂岩(medium sandstone); 5—细砂岩(fine sandstone); 6—粉砂岩(siltstone); 7—泥质粉砂岩(argillaceous siltstone); 8—粉砂质泥岩(silty mudstone); 9—泥岩(mudstone); 10—碳质泥岩(carbon mudstone); 11—植物茎秆化石(fossilized plant stalk); 12—植物叶片(plant leaf); 13—砂质条带(sandy belt); 14—泥质条带(argillaceous stripe); 15—斜层理(oblique bedding); 16—水平层理(horizontal bedding); 17—波状层理(wave bedding); 18—爬升层理(climbing bedding); 19—槽状交错层理(trough cross-bedding); 20—块状层理(massive bedding); 21—生物扰动构造(bioturbation structure); 22—冲刷面(scouring surface); 23—含气层(gas-bearing formation)

2/3 容积的氯仿,在 75~82 ℃的水浴中连续抽提 72 h,获得氯仿沥青"A". 用正己烷沉淀氯仿沥青"A"的沥青质后,将其可溶物通过中性氧化铝和硅胶层析柱,依次用正己烷、二氯甲烷+正己烷、无水乙醇+氯仿冲洗,分离出饱和烃、芳香烃和胶质(非烃).

饱和烃色谱分析仪器为惠普 6890 气相色谱仪. 色谱柱为 HP-5ms 石英弹性毛细柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm). 温度程序从 100 ℃升温到 300 ℃,升温速率为 4 ℃/min,载气为氮气(流速 1 mL/min),进样器温度 300 ℃, FID 检测器温度 300 ℃,分流比 30:1. 饱和烃气相色谱-质谱分析: 仪器为惠普 5890 和 5971 气相色谱和质谱仪. 色谱柱为 HP-5ms 石英弹性毛细柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm). 升温程序为 50 ℃至 100 ℃的升温速率为 20 ℃/min,100 ℃至 310 ℃的升温速率为 3 ℃/min,310 ℃时恒温 15.5 min. 进样温度为 300 ℃,载气为氦气,流速为 1.04 mL/min,扫描范围为 50~550 amu,检测方式为多离子扫描.

3 有机地球化学特征

3.1 有机质丰度

有机质丰度是衡量烃源岩生烃能力最基本的依据. 常见的评价指标包括有机碳含量(TOC)、热解生烃潜量(S_1+S_2)、氯仿沥青"A"、总烃(HC)等[18]. 辽凌地 1 井 12 件岩心样品的有机地球化学测试结果(表 1)表明,TOC 分布范围 0.75%~37.90%, 平均值为 11.68%. 生烃潜量(S_1+S_2)分布范围 0.96×10^{-3}~177.6×10^{-3},平均为 42.01×10^{-3}. 氯仿沥青"A"分布在 0.0192%~0.5282%之间,平均为 0.1304%.

参考中国湖相烃源岩有机质丰度评价标准[19](表 2),12 件烃源岩样品中, 有机碳含量在 0.6%~1.0%之间的样品有 1 件,占 8.33%;在 1.0%~2.0%之间的样品有 1 件, 占 8.33%; 大于 2.0%的样品有 10 件,占 83.33%. 表明北票组烃源岩主要处于好烃源岩范畴,非烃源岩和差烃源岩极少. 生烃潜量大于 20×10^{-3} 的占 41.67%; 在 60×10^{-3}~200×10^{-3} 的好生油岩占 25%; 20×10^{-3}~60×10^{-3} 的中等生油岩占 16.67%;小于 20×10^{-3}的差烃源岩占 16.67%. 氯仿沥青 "A" 在 0.015%~0.050%之间的样品占25%; 在 0.050%~0.100%之间的占 33.33%; 在 0.100%~0.200%之间的占 25%; 大于 0.200%的占 16.67%.

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表 1　北票组烃源岩地球化学分析数据表

Table 1　Geochemical analysis data of Beipiao Formation source rocks

样品编号	TOC/%	$(S_1+S_2)/10^{-3}$	氯仿沥青"A"/%	TI	T_{max}/℃	R_o/%
LLD1-1534.2	5.25	17.79	0.047	25.3	437	0.62
LLD1-1538.5	3.68	14.31	0.528	12	432	0.62
LLD1-1545	1	4.35	0.034	-35.25	436	0.57
LLD1-1560	4.45	4.4	0.061	-14	432	0.57
LLD1-1570	2.9	0.96	0.019	-8.75	428	0.59
LLD1-1584	1.84	9.71	0.078	-4.5	430	0.59
LLD1-1598	5.52	1.57	0.053	8.75	429	0.61
LLD1-1620	6.09	52.86	0.088	-15.75	418	0.59
LLD1-1644	18.47	128.25	0.115	-25.75	419	0.59
LLD1-1669	11.93	45.43	0.158	-29.5	446	0.6
LLD1-1679	11.2	46.91	0.169	-27.75	424	0.62
LLD1-1688	25.58	177.61	0.214	-39.75	419	0.62

测试单位:长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室.

从热解生烃潜力与 TOC 关系可以看出,12 件样品中,2 件为差烃源岩,2 件为中等烃源岩,3 件为好烃源岩,5 件为很好烃源岩(图 3). 有机质丰度一般采用 TOC 为主要评价参数,其余为辅助参数[20]. 由此可见,北票组烃源岩有机质丰度高,具有较好的生烃物质基础.

3.2　有机质类型

有机质类型的优劣实质上就是有机质富氢程度的高低,最终表现为生烃潜力的大小,是评价烃源岩的质量指标[21]. 有机质类型不仅可以衡量有机质的产烃能力,也决定了产物的类型是油还是气. 常用于鉴别有机质类型的依据包括:干酪根显微组分组成、干酪根元素组成、干酪根稳定碳同位素、岩石热解特征、红外光谱特征、可溶沥青特征等[22]. 本文采用生物标志化合物和干酪根显微组分来确定辽凌地 1 井北票组烃源岩有机质类型.

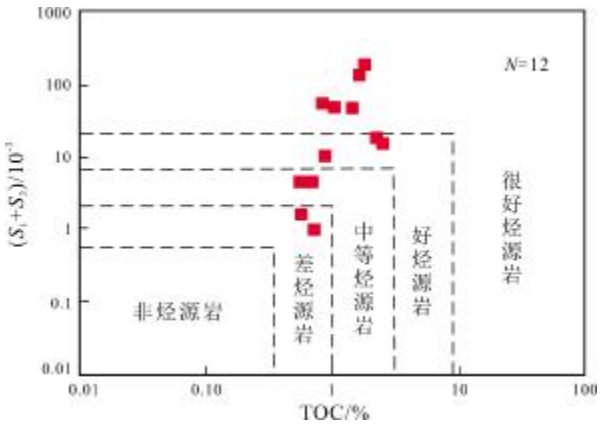

图 3　北票组烃源岩有机质丰度判别图

Fig. 3　Discrimination diagram of organic matter abundance of Beipiao Formation source rocks

生物标志化合物包含了丰富的有机质来源信息. Shanmugam[23]提出用 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 的相关关系来指示有机质来源和成熟度. 通过 12 件北票组样品投点(图 4),1 件样品落在Ⅱ$_2$型,其余 11 件样品落在 III 型.

不同类型的干酪根显微组分具有不同的生烃能力. 因此,根据干酪根的主要显微组分类脂组、壳质组、镜质组和惰质组分的含量可划分不同类型[24]. 目前主要采用 2 种方法对干酪根进行分类,一种是根据干酪根的类脂组与镜质组的相对含量,另一种是同时考虑干酪根类脂组、壳质组、镜质组和惰质组 4 种组

表 2　有机质丰度评价标准

Table 2　Evaluation criteria for organic matter abundance of source rocks

指标	湖盆水体类型	非生油岩	生油岩类型			
			差	中等	好	最好
TOC/%	淡水-半咸水	<0.4	0.4~0.6	>0.6~1.0	>1.0~2.0	>2.0
	咸水-超咸水	<0.2	0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8
氯仿沥青"A"/%		<0.015	0.015~0.050	>0.050~0.100	>0.100~0.200	>0.200
HC/10^{-6}		<100	100~200	>200~500	>500~1000	>1000
$(S_1+S_2)/10^{-3}$			<2	2-6	>6-20	>20

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

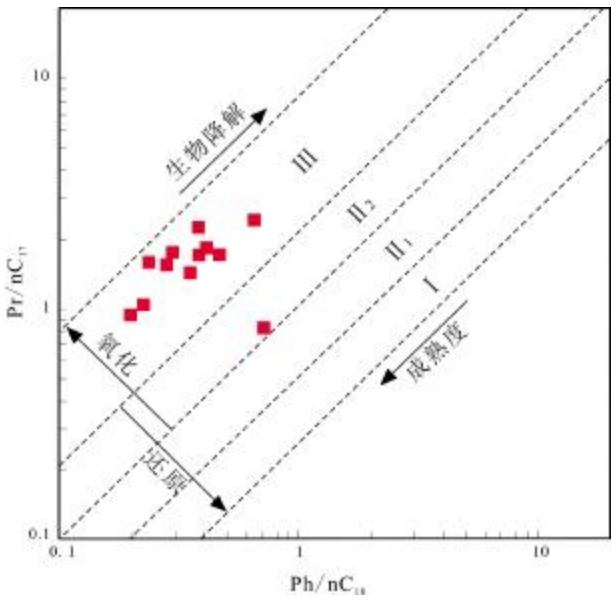

图 4 北票组烃源岩 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 的相关关系

Fig. 4 The Pr/nC_{17}–Ph/nC_{18} diagram of Beipiao Formation source rocks

分的含量,采用类型指数(TI)来划分干酪根类型:TI=(腐泥组×100+壳质组×50−镜质组×75−惰质组×100)/100.

本文采用曹庆英[25]提出的 TI 指数干酪根四分法(表 3).

表 3 干酪根类型指数分类表

Table 3 Classification of kerogen types

干酪根类型	I	II_1	II_2	III
TI	TI≥80	40≤TI<80	0≤TI<40	TI<0

经计算北票组烃源岩有机质以 III 型为主,部分为 II_2 型(图 5).

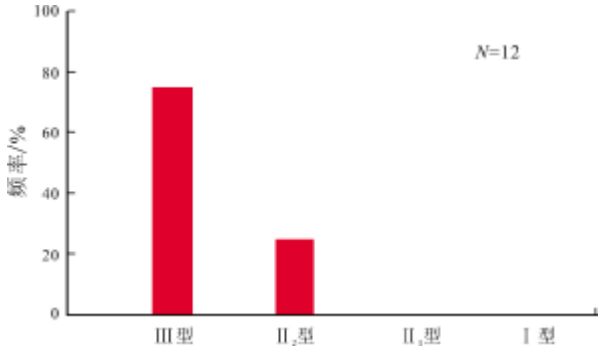

图 5 北票组烃源岩干酪根类型分布直方图

Fig. 5 Distribution histogram for kerogen types of Beipiao Formation source rocks

3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是衡量有机质向油气转化的程度.反映有机质成熟度的参数较多,如干酪根演化特征的元素组成的变化、官能团构成的变化、自由基含量的变化、颜色及荧光性的变化、热失重的变化、碳同位素组成的变化、镜质体反射率的变化及反映热解产物演化的可溶有机质的含量和组成、烃类的含量和组成均可成为成熟度指标[26].

镜质组反射率(R_o)是最为有效的参数.根据烃源岩成熟阶段划分标准[27],可分为未熟阶段(R_o<0.5%);成熟阶段(R_o: 0.5%~1.3%,其中 R_o 介于 0.5%~1.0%为重油生烃高峰,1.0%~1.3%为轻质油生烃高峰);凝析气—湿气生烃阶段(R_o:1.3%~2.0%);过熟阶段(R_o>2.0%,干气阶段).

辽凌地 1 井北票组 12 个烃源岩的镜质体反射率值均为 0.57%~0.62%,平均值为 0.60%,为低成熟特征(图 6).

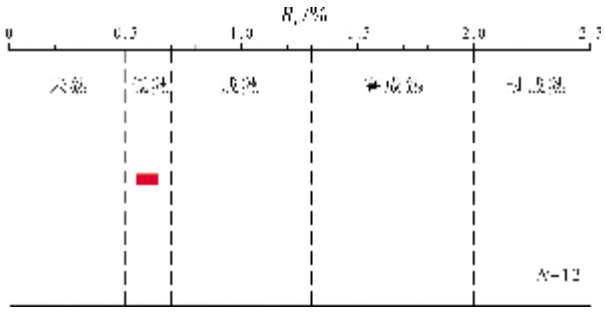

图 6 北票组烃源岩 R_o 分布图

Fig. 6 R_o distribution of Beipiao Formation source rocks

生物标记化合物异构化参数、奇偶优势参数等也可以作为成熟度指标.分析北票组 12 件烃源岩样品甾烷异构化成熟度参数 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$相关关系(图 7),3 件处于未成熟演化阶段,其余 9 件均处于低成熟演化阶段.

4 结论

(1)牛营子盆地辽凌地 1 井侏罗系北票组烃源岩有机碳分布在 0.75%~37.9%之间,平均值为 11.68%.综合判断其有机质丰度高,具备良好的生烃物质基础.

(2)根据 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 的相关关系判断,北票组烃源岩有机质类型为Ⅲ型和Ⅱ$_2$型.镜质组反射率研究表明有机质处于低成熟演化阶段.

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

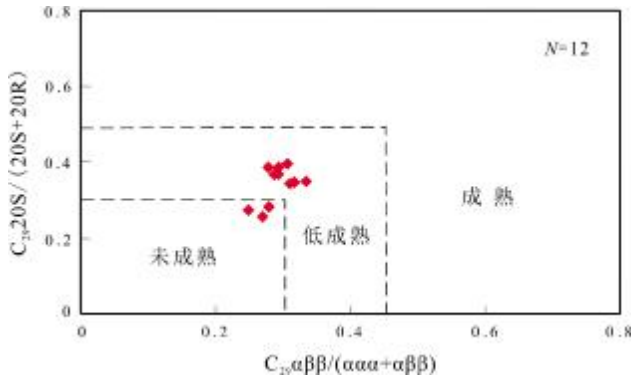

图 7　甾烷成熟度参数相关图

Fig. 7　The $C_{29}20S/(20S+20R)$–$C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ diagram of Beipiao Formation source rocks

(3)综合分析认为,牛营子盆地侏罗系北票组具有一定的生烃潜力.

致谢:吉林大学实习生姜洋参加了钻孔岩心编录与取样工作,在此表示感谢.

参考文献(References):

[1]Davis G A, 郑亚东, 王琮, 等. 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化——以河北省和辽宁省为重点的研究[J]. 北京地质, 2002, 14(4): 1–40.
Davis G A, Zheng Y D, Wang C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China[J]. Beijing Geology, 2002, 14(4): 1–40.

[2]马寅生, 崔盛芹, 曾庆利, 等. 燕山地区燕山期的挤压与伸展作用[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 218–223.
Ma Y S, Cui S Q, Zeng Q L, et al. Yanshanian compression and extension in the Yanshan area[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(4/5): 218–223.

[3]Meng Q R, Hu J M, Jin J Q, et al. Tectonics of the late Mesozoic wide extensional basin system in the China-Mongolia border region[J]. Basin Research, 2003, 15(3): 397–415.

[4]宗文明, 郜晓勇, 孙求实, 等. 华北北部凌源–宁城盆地蓟县系洪水庄组生烃潜力分析——以小庄户剖面为例[J]. 地质与资源, 2017, 26(4): 370–376.
Zong W M, Gao X Y, Sun Q S, et al. Evaluation of the hydrocarbon generating potential of the Jixianan Hongshuizhuang Formation in Lingyuan-Ningcheng Basin, Northern China: A case study of Xiaozhuanghu geological profile[J]. Geology and Resources, 2017, 26(4): 370–376.

[5]宗文明, 郜晓勇, 孙求实, 等. 华北北部凌源–宁城盆地中元古界下马岭组生烃潜力分析: 以小庄户剖面为例[J]. 世界地质, 2017, 36(4): 1161–1169.
Zong W M, Gao X Y, Sun Q S, et al. Evaluation of hydrocarbon generation potential in Middle Proterozoic Xiamaling Formation of Lingyuan-Ningcheng Basin in Northern China: A case study of Xiaozhuanghu geological section[J]. Global Geology, 2017, 36(4): 1161–1169.

[6]张亚明, 陈振东, 周秀艳. 辽西地区中上元古界生烃量评价[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2002, 21(1): 22–24.
Zhang Y M, Chen Z D, Zhou X Y. The evaluation of producing hydrocarbon of medium-up Proterozoic earthen the west of Liaoning[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2002, 21(1): 22–24.

[7]秦婧, 钟宁宁, 齐雯, 等. 华北北部洪水庄组有机岩石学[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 367–374.
Qin J, Zhong N N, Qi W, et al. Organic petrology of the Hongshuizhuang Formation in northern North China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 367–374.

[8]杨时杰. 辽西建昌地区中—新元古界原生油气藏成藏条件分析[J]. 海相油气地质, 2013, 18(3): 12–18.
Yang S J. Conditions of hydrocarbon accumulation in Meso-Neoproterozoic primary oil reservoirs in Jianchang area, Western Liaoning[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18(3): 12–18.

[9]马满兴, 幕德梁, 李正达. 建昌盆地中新元古界石油地质条件研究[J]. 特种油气藏, 2013, 20(2): 60–64.
Ma M X, Mu D L, Li Z D. Study on petroleum geology conditions of Middle-Upper Proterozoic Eratherm in Jianchang Basin[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 60–64.

[10]陈树旺, 公繁浩, 杨建国, 等. 松辽盆地外围油气基础地质调查工程进展与未来工作方向[J]. 中国地质调查, 2016, 3(6): 1–9.
Chen S W, Gong F H, Yang J G, et al. Progress and orientation of the project about fundamental geological survey on oil and gas resources in the periphery area of Songliao Basin[J]. Geological Survey of China, 2016, 3(6): 1–9.

[11]李永飞, 陈树旺. 辽西地区金岭寺–羊山盆地油气资源调查新发现[J]. 地质通报, 2014, 33(9): 1463–1464.
Li Y F, Chen S W. The new discovery of oil and gas resources survey in Jinlingsi-Yangshan basin[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(9): 1463–1464. (in Chinese)

[12]张坤, 李永飞, 唐友军, 等. 辽西金羊盆地北票组油砂饱和烃地球化学特征——以 SZK02 井为例[J]. 地质通报, 2015, 34(10): 1929–1937.
Zhang K, Li Y F, Tang Y J, et al. Saturated hydrocarbon geochemical characteristics of the oil sand from Beipiao formation in Jinyang Basin, western Liaoning Province: a case study of SZK02 Well[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(10): 1929–1937.

[13]甄甄, 李永飞, 郜晓勇, 等. 金羊盆地 SZK01 井下侏罗统北票组沉积相及其有机质特征[J]. 世界地质, 2016, 35(1): 207–215.
Zhen Z, Li Y F, Gao X Y, et al. Characteristics of sedimentary

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

facies and organic matter of Lower Jurassic Beipiao Formation of Well SZK01 in Jinyang Basin[J]. Global Geology, 2016, 35(1): 207-215.

[14]孙守亮, 李永飞, 郜晓勇, 等. 辽西金羊盆地下侏罗统北票组页岩气地球化学特征及其成因[J]. 地质通报, 2017, 36(4): 575-581.
Sun S L, Li Y F, Gao X Y, et al. An analysis of the genesis and geochemical characteristics of shale gas in Lower Jurassic Beipiao formation in Jinyang Basin[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(4): 575-581.

[15]张涛, 李永飞, 孙守亮, 等. 辽宁金羊盆地羊 D1 井油砂地球化学特征及意义[J]. 地质通报, 2017, 36(4): 582-590.
Zhang T, Li Y F, Sun S L, et al. Saturated hydrocarbon geochemical characteristics of the oil sand from YD1 well in Jinyang Basin and its significance for oil and gas exploration[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(4): 582-590.

[16]孙求实, 宗文明, 王斯佳, 等. 辽西牛营子盆地中元古界推覆体下发现早中侏罗世新地层[J/OL]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx? dbcode =CAPJ&dbname =CAPJLAST&filename = DIZI20210108001&v =x2y3ikbbaik9ZlG6dXXFse6qgd5Ncptcjie6fuv9XJTKhPeU3esQfCuNfU%25mmd2FoBMVb, 2021-01-11.
Sun Q S, Zong W M, Wang S J, et al. The new discovery of the Jurassic strata under the middle Proterozoic thrust-nappe in Niuyingzi depression, westhern Liaoning Province[J/OL]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx? dbcode =CAPJ&dbname =CAPJLAST&filename =DIZI20210108001&v =x2y3ikbbaik9ZlG6dXXFse6qgd5Ncptcjie6fuv9XJTKhPeU3esQfCuNfU%25mmd2FoBMVb, 2021-01-11.

[17]张长厚, 王根厚, 王果胜, 等. 辽西地区燕山板内造山带东段中生代逆冲推覆构造[J]. 地质学报, 2002, 76(1): 64-76.
Zhang C H, Wang G H, Wang G S, et al. Thrust tectonics in the eastern segment of the intraplate Yanshan Orogenic Belt, Western Liaoning Province, North China[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(1): 64-76.

[18]李志明, 徐二社, 秦建中, 等. 烃源岩评价中的若干问题[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(6): 8-12, 27.
Li Z M, Xu E S, Qin J Z, et al. Some problems on the evaluation of source rock[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Nature Science Edition), 2010, 25(6): 8-12, 27.

[19]中国石油天然气总公司. SY/T 5735—1995 陆相烃源岩地球化学评价方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
China National Petroleum Corporation. SY/T 5735-1995 Continental source rock geochemistry evaluation method[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. (in Chinese)

[20]金强, 查明, 赵磊. 柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 125-129, 135.
Jin Q, Zha M, Zhao L. Identification of effective source rocks in the Tertiary Evaporate Facies in the Western Oaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 125-129, 135.

[21]刘光祥. 中上扬子北缘中古生界海相烃源岩特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 490-495.
Lu G X. Characteristics of Middle Palaeozoic marine source rock in the north margin of middle and upper Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 490-495.

[22]卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 206-213.
Lu S F, Zhang M. Oil and gas geochemistry[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 206-213. (in Chinese)

[23]Shanmugam G. Significance of coniferous rain forests and related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippsland Basin, Australia[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(8): 1241-1254.

[24]陈义才, 李坤, 刘四兵, 等. 石油与天然气有机地球化学[M]. 2 版. 北京: 地质出版社, 2015: 40-42.
Chen Y C, Li K, Liu S B, et al. Organic geochemistry of oil and gas[M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 40-42.

[25]曹庆英. 透射光下干酪根显微组分鉴定及类型划分[J]. 石油勘探与开发, 1985, 12(5): 14-23.
Cao Q Y. Identification of microcomponents and types of kerogen under transmitted light[J]. Petroleum Exploration and Development, 1985, 12(5): 14-23.

[26]卢进才, 魏仙样, 魏建设, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系-二叠系烃源岩干酪根 C 同位素的特征和影响因素[J]. 地质通报, 2010, 29(2/3): 384-391.
Lu J C, Wei X Y, Wei J S, et al. Kerogen carbon isotopic features and influencing factors of Carboniferous-Permian hydrocarbon source rocks in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2/3): 384-391

[27]秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 8-78.
Qin J Z. China source rock[M]. Beijing: Science Press, 2005: 8-78. (in Chinese)

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn