



## 辽西拗陷凌源地区洪水庄组烃源岩石油地质特征及生烃潜力

宗文明<sup>1</sup>, 孙求实<sup>1</sup>, 郜晓勇<sup>1</sup>, 郑磊<sup>2</sup>, 石蕾<sup>1</sup>, 李永飞<sup>1</sup>, 孙守亮<sup>1</sup>, 张涛<sup>1</sup>

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:** 洪水庄组页岩是燕辽裂陷带的主力烃源岩层, 具有较好的生烃潜力, 而辽西拗陷的洪水庄组研究相对薄弱, 对烃源岩发育特征和生烃潜力等问题研究不够深入, 制约了该区中—新元古界油气地质条件研究和勘探部署工作。为揭示辽西拗陷洪水庄组烃源岩生烃潜力和油气保存条件, 以辽西拗陷凌源地区辽凌地 2 井和 3 条剖面的洪水庄组样品为对象, 进行了烃源岩地球化学特征分析研究。结果表明: 辽西拗陷凌源地区中元古界洪水庄组烃源岩有机质丰度较高, 具有较好的生烃物质基础; 有机质类型主要为 I—II<sub>1</sub> 型, 局部含 II<sub>2</sub> 和 III 型; 等效镜质体反射率 R<sub>o</sub> 分布在 1.15%~2.26%, 处于成熟—高成熟阶段, 部分样品过成熟, 综合评价为中到好烃源岩, 生烃潜力较好。凌源地区以洪水庄组为生油层, 可构成 2 套完整的生储盖组合, 且处于有利储集相带, 显示出良好的油气勘探前景。

**关键词:** 中元古界; 洪水庄组; 烃源岩; 地球化学; 辽西拗陷

## THE SOURCE ROCKS OF HONGSHUIZHUANG FORMATION IN LINGYUAN AREA OF LIAOXI DEPRESSION: Petroleum Geology and Hydrocarbon Generation Potential

ZONG Wen-ming<sup>1</sup>, SUN Qiu-shi<sup>1</sup>, GAO Xiao-yong<sup>1</sup>, ZHENG Lei<sup>2</sup>, SHI Lei<sup>1</sup>, LI Yong-fei<sup>1</sup>,  
SUN Shou-liang<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;
2. Key Laboratory of Exploration Technology for Oil and Gas Resources/Yangtze University, Wuhan 430100, China

**Abstract:** The shale of Hongshuizhuang Formation is the dominant source rock of Yanliao rift belt with good hydrocarbon generation potential. However, the study of Hongshuizhuang Formation in Liaoxi Depression is relatively weak, which restricts the study of Meso-Neoproterozoic oil-gas geological conditions and exploration in this area. To reveal the hydrocarbon generation potential and oil-gas preservation conditions of source rocks in the area, geochemical analysis is carried out for samples from LLD2 well and 3 sections in Lingyuan area. The results show that the source rocks of Mesoproterozoic Hongshuizhuang Formation generally have high organic abundance and good hydrocarbon-generating material basis. The organic matter is mainly I-II<sub>1</sub> type, partly II<sub>2</sub> and III types. The R<sub>o</sub> distribution ranges from 1.15% to 2.26%, belonging to mature-high mature stage, and some samples are over-mature, which are comprehensively evaluated as medium-good source rocks with good hydrocarbon generation potential. The Hongshuizhuang Formation in Lingyuan area serves as source bed located in favorable reservoir facies belt and can compose two sets of complete source-reservoir-cap assemblages, showing good oil-gas exploration prospects.

**Key words:** Mesoproterozoic; Hongshuizhuang Formation; source rock; geochemistry; Liaoxi Depression

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2020-09-15. 编辑: 李兰英.

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 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号. E-mail// 252973823@qq.com

## 0 前言

近年来,随着一系列前寒武系油气藏的发现<sup>[1-3]</sup>,前寒武纪地质学与化石能源成为国际地质界研究的热点问题.中国是全球中—新元古界沉积地层发育最完整的国家之一,20世纪60年代,地球元古宙早期生命演化的基础性研究取得重大进展<sup>[4]</sup>,在石油地质领域发现中—新元古界(1800~541 Ma)古老地层中存在大量未被破坏的油苗、沥青以及富含有机质的烃源岩.这些有机质跨越未成熟—过成熟不同热演化阶段,部分地区依然处在“生油液态窗”范围内,表明中—新元古界完全具备形成与富集规模性油气资源的条件<sup>[5-9]</sup>.

20世纪60年代以来,广大石油地质工作者在燕辽裂陷带中—新元古界开展了大量工作,发现在该带的宣龙、冀北、辽西3个北部沉积拗陷中,油苗、固体沥青点广泛分布<sup>[7-11]</sup>.王铁冠等<sup>[7]</sup>在该地区发现了距今1300 Ma的古油藏,并首次论证燕辽裂陷带中—新元古界油苗的原生属性,为该地区中—新元古界油气地质学研究奠定了理论基础.燕辽裂陷带中元古界蓟县系的高于庄组、洪水庄组、铁岭组以及待建系下马岭组均具有生烃潜力,其中高于庄组黑色泥晶白云岩与洪水庄组黑色页岩具有高有机质丰度,是该地区主要烃源层,特别是洪水庄组烃源岩,有机质丰度可以媲美渤海湾盆地古近系、新近系最佳烃源岩<sup>[12]</sup>.

洪水庄组在冀北拗陷出露较多,前人研究较为深入<sup>[13-17]</sup>,而辽西拗陷大部分地区上覆古生界和中生界沉积盖层,对洪水庄组烃源岩层的油气地球化学特征的研究相对薄弱.本研究以辽西拗陷凌源地区老庄户黄花沟剖面、侯杖子南剖面、孟家窝铺剖面以及中国地质调查局沈阳地质调查中心实施的辽凌地2(LLD2)井的洪水庄组烃源岩为研究对象,开展油气地球化学特征及生烃潜力研究,以期为辽西拗陷凌源地区乃至整个燕辽裂陷带中—新元古界油气勘探部署提供数据支撑,为明确该地区前寒武系未来油气勘探方向提供参考.

## 1 地质概况

辽西拗陷位于辽宁省西部阜新、朝阳、凌源等市县,地理上属于燕山地区西缘,地质构造上属于燕辽裂陷带西北部的一个中—新元古界沉积拗陷.该拗陷北

以承德—平泉—凌源大断裂与“内蒙地轴”相邻,西以凌源—刀尔登走滑断裂与冀北拗陷连接,东南接山海关隆起,总体上构成燕辽裂陷带“五拗—两隆”的区域构造轮廓(图1).燕辽裂陷带5个沉积拗陷均发育中元古界巨厚沉积,地层划分为“三系十组”,包含长城系( $Pt_2^1$ , 1800~1600 Ma)、蓟县系( $Pt_2^2$ , 1600~1400 Ma)和待建系下部( $Pt_2^3$ , 1400~1327 Ma).地层缺失待建系上部( $Pt_2^4$ , 1327~1000 Ma).新元古界地层沉积厚度较薄,划分为“一系两组”,包含唯一青白口系( $Pt_3^1$ , 1000~800 Ma),缺失南华系( $Pt_3^2$ )和震旦系( $Pt_3^3$ )地层沉积(图2)<sup>[10-11]</sup>.



图1 燕辽裂陷带地质构造单元及研究区位置  
(据文献[3]修改)

Fig. 1 Tectonic units of Yanliao rift zone with location of the study area

(Modified from Reference [3])

燕辽裂陷带中—新元古界地层的沉降中心位于裂陷带东段冀东—冀北—辽西拗陷一带,沉积厚度巨大.辽西拗陷中—新元古界沉积厚度达7 567 m,以碳酸盐岩为主,含部分碎屑岩沉积,上覆为古生界和中生界<sup>[7]</sup>.本研究的目层洪水庄组下部为灰黑色含硅质页岩与中薄层泥质白云岩互层组成,向上泥质白云岩消失,以灰黑色页岩为主,含黄铁矿结核;上部为含粉砂泥质页状白云岩、含砂白云岩及含锰泥晶白云岩.洪水庄组继雾迷山期大规模海侵之后,基底上升,海水退却,海域面积大幅度缩小,整体上为一套以暗色含石英粉砂伊利石页岩为主的潟湖相沉积.洪水庄组在辽西拗陷区域上岩性稳定,但厚度变化较大,在老庄户黄花沟剖面厚度最大,达183.63 m,平均厚度131 m.

表 1 取样剖面钻孔基本信息表

Table 1 Basic information of sampled section/borehole

剖面/钻孔名称	代号	总长度/m	目的层	目的层厚度/m	暗色烃源岩层数	烃源岩累计厚度/m
孟家窝铺剖面	P1701	570	洪水庄组	210	6	96.6
侯杖子南剖面	P1702	460	洪水庄组	70.52	1	41.42
老庄户剖面	LP11	1532	洪水庄组	141.3	3	85.1
辽凌地 2 井	LLD2	978.9	洪水庄组	114.7	7	78.2



图 2 研究区中—新元古界地层时代柱状图

Fig. 2 The Meso-Neoproterozoic stratigraphic column of the study area

2 样品与实验

本研究共采集中元古界蓟县系洪水庄组烃源岩样品 51 块, 分别来自辽西拗陷凌源地区孟家窝铺 P1701 剖面(7 块)、侯杖子南 P1702 剖面烃源岩(3 块)、老庄

户黄花沟 LP11 剖面(10 块)和辽凌地 2 井洪水庄组并深 380.8~495.5 m 泥岩段(31 块)(图 3)。剖面及钻孔信息见表 1。样品测试分析在长江大学油气资源与勘探教育部重点实验室完成包括气相色谱-质谱(GC-MS)分析测试、岩石热解(Rock-Eval)、镜质体反射率和显微组分分析测试。其中, GC-MS 分析采用 HP6890N/5975II MSD 气相色谱-质谱联用仪; Rock-Eval 分析采用 OGE-VI 油气评价工作站; 镜质体反射率分析采用 Leica MPV-SP 显微光度计; 显微组分鉴定采用 Axioskop 2 plus 生物显微镜。

3 烃源岩有机地球化学特征及生烃潜力

3.1 有机质丰度

按照华北地区泥岩有机质丰度评价标准对凌源地区中元古界蓟县系洪水庄组烃源岩样品进行评价<sup>[18-20]</sup>(表 2)。

表 2 华北地区泥岩有机质丰度评价标准

Table 2 Evaluation criteria for organic matter abundance of mudstone in North China

评价参数	分级评价标准				
	非烃源岩	差烃源岩	较好烃源岩	好烃源岩	优质烃源岩
TOC/%	<0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~5.0	>5.0
氯仿沥青“A”/%	<0.01	0.01~0.05	0.05~0.10	0.10~0.20	>0.20
(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )/10 <sup>-3</sup>	<0.5	0.5~2.5	2.5~6.0	6.0~20.0	>20.0
总烃/10 <sup>-6</sup>	<100	100~250	250~500	500~1000	>1000

(1) 有机碳(TOC)

孟家窝铺 P1701 剖面洪水庄组烃源岩样品 TOC 分布范围在 0.59%~2.00%, 平均值为 1.35%。其中 TOC 在 0.5%~1.0% 之间的样品有 1 件, 占 14.29%; 在 1.0%~3.0% 之间的样品有 6 件, 占 85.71%。

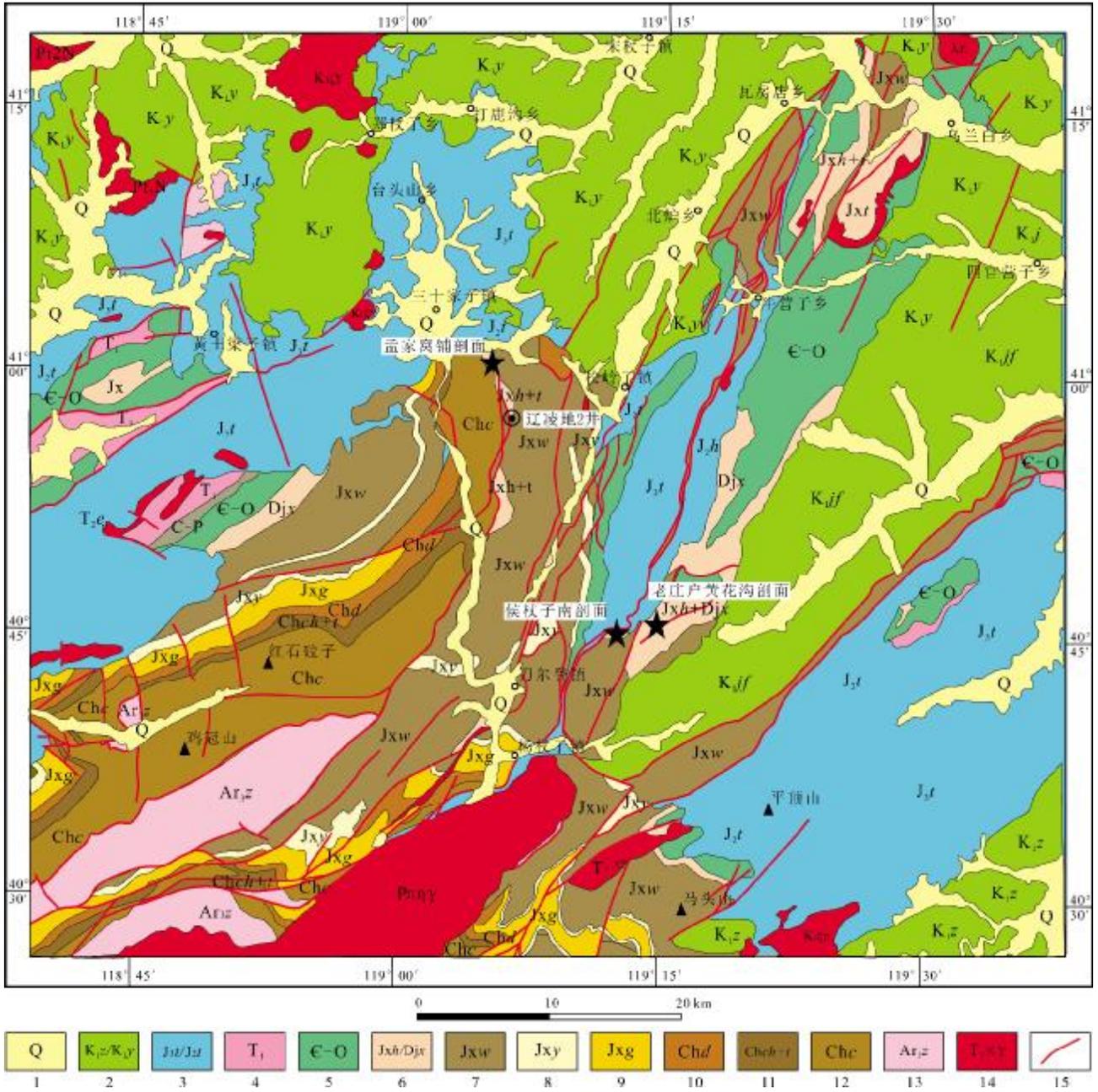


图3 研究区地质简图及样品位置

Fig. 3 Geological sketch map of the study area with sampling location

1—第四系(Quaternary); 2—白垩系(Cretaceous); 3—侏罗系(Jurassic); 4—三叠系(Triassic); 5—寒武系-奥陶系并层(Cambrian-Ordovician); 6—蓟县系洪水庄组-待建系下马岭组(Jixianian Hongshuizhuang fm.-Xiamaling fm.); 7—蓟县系雾迷山组(Jixianian Wumishan fm.); 8—蓟县系杨庄组(Jixianian Yangzhuang fm.); 9—蓟县系高于庄组(Jixianian Gaoyuzhuang fm.); 10—长城系大红峪组(Changchengian Dahongyu fm.); 11—长城系串岭沟组-团山子组(Changchengian Chuanlinggou fm.-Tuanshanzi fm.); 12—长城系常州沟组(Changchengian Changzhougou fm.); 13—变质表壳岩(metamorphic supracrustal rock); 14—侵入岩(intrusive rock); 15—断层(fault)

侯杖子南 P1702 剖面洪水庄组烃源岩样品 TOC 分布范围在 0.38%~1.56%，平均值为 0.79%。其中 TOC 小于 0.5% 的样品有 2 件，占 66.67%；在 1.0%~3.0% 之间的样品有 1 件，占 33.33%。

老庄户黄花沟 LP11 剖面洪水庄组烃源岩样品 TOC 分布范围在 0.35%~2.65%，平均值为 1.35%。其中 TOC 小于 0.5% 的样品有 2 件，占 20.00%；在 0.5%~1.0% 之间的样品有 2 件，占 20.00%；在 1.0%~3.0% 之

间的样品有6件,占60.00%。

辽凌地2井洪水庄组烃源岩样品TOC分布范围在0.16%~5.42%,平均值为2.14%。其中TOC小于0.5%的样品有2件,占6.06%;在0.5%~1.0%之间的样品有3件,占9.09%;在1.0%~3.0%之间的样品有24件,占72.73%;在3.0%~5.0%之间的样品有2件,占6.06%;TOC大于5.0%的优质烃源岩有2件,占6.06%(表3)。

参考华北地区泥岩有机质丰度评价标准,样品TOC数据结果表明:凌源地区中元古界蓟县系洪水庄组有机质丰度处于较好—好烃源岩。

### (2) 氯仿沥青“A”

氯仿沥青“A”及相应的族组分也是有机地球化学研究的重要内容。氯仿沥青为烃源岩中可溶于氯仿的有机物,可分为饱和烃(Ali)、芳烃(Aro)、沥青和非烃4类组分,同时根据各族组分的相对百分比、氯仿沥青“A”含量和样品重量,可以计算总烃含量:总烃=10×(饱和烃+芳烃)×氯仿沥青“A”/样品重量。鉴于受风化影响,野外氯仿沥青“A”和总烃含量较低,且为了取得更有说服力的数据,本研究主要对岩心样品进行氯仿沥青“A”抽提和族组分离。

孟家窝铺P1701剖面洪水庄组烃源岩氯仿沥青“A”分布在0.0025%~0.0081%之间,平均为0.0043%,所有样品中氯仿沥青“A”含量均小于0.010%。侯杖子南P1702剖面洪水庄组烃源岩仅一件氯仿沥青“A”样品,数值为0.0035%。老庄户黄花沟LP11剖面洪水庄组烃源岩氯仿沥青“A”分布在0.0172%~0.0677%之间,平均为0.0333%,所有样品中氯仿沥青“A”含量在0.010%~0.050%之间的样品8件,占80.00%,大于0.050%的样品2件,占20.00%。

辽凌地2井洪水庄组烃源岩氯仿沥青“A”分布在0.0044%~0.2556%之间,平均为0.023%。所有样品中氯仿沥青“A”含量小于0.010%的样品16件,占51.61%;在0.010%~0.050%之间的样品13件,占41.93%;大于0.050%的样品2件,占6.45%(表3)。

整体来看,凌源地区洪水庄组烃源岩中可溶烃含量较低,且不同位置剖面(井)中样品的氯仿沥青“A”含量差异较大:辽凌地2井和老庄户黄花沟LP11剖面中烃源岩品质优于P1701剖面和P1702剖面。

### (3) 总烃和生烃潜力

总烃(HC)和生烃潜力( $S_1+S_2$ )是评价烃源岩丰度的重要指标。孟家窝铺P1701剖面洪水庄组烃源岩总烃分布范围 $7.24 \times 10^{-6}$ ~ $27.50 \times 10^{-6}$ ,平均为 $18.63 \times 10^{-6}$ ;辽凌地2井洪水庄组烃源岩总烃分布范围 $16.07 \times 10^{-6}$ ~ $730.29 \times 10^{-6}$ ,平均为 $96.35 \times 10^{-6}$ ;老庄户黄花沟LP11剖面洪水庄组烃源岩总烃分布范围 $86.44 \times 10^{-6}$ ~ $423.40 \times 10^{-6}$ ,平均为 $176.2 \times 10^{-6}$ ;侯杖子南P1702剖面仅一个样品,总烃值为 $9.89 \times 10^{-6}$ 。样品总烃含量整体上较低,为非烃源岩—差烃源岩。

孟家窝铺P1701剖面洪水庄组烃源岩 $S_1+S_2$ 分布范围为 $0.02 \times 10^{-3}$ ~ $0.08 \times 10^{-3}$ ,平均为 $0.05 \times 10^{-3}$ , $S_1+S_2$ 全部小于 $0.5 \times 10^{-3}$ 。侯杖子南P1702剖面洪水庄组烃源岩 $S_1+S_2$ 分布范围 $0.08 \times 10^{-3}$ ~ $0.17 \times 10^{-3}$ ,平均为 $0.14 \times 10^{-3}$ , $S_1+S_2$ 全部小于 $0.5 \times 10^{-3}$ 。老庄户黄花沟LP11剖面洪水庄组烃源岩 $S_1+S_2$ 分布范围 $0.48 \times 10^{-3}$ ~ $8.37 \times 10^{-3}$ ,平均为 $2.80 \times 10^{-3}$ 。其中 $S_1+S_2$ 小于 $0.5 \times 10^{-3}$ 的样品1件,占10%;在 $0.5 \times 10^{-3}$ ~ $2.5 \times 10^{-3}$ 之间的有5件,占50.00%;在 $2.5 \times 10^{-3}$ ~ $6.0 \times 10^{-3}$ 之间的有2件,占20.00%;在 $6.0 \times 10^{-3}$ ~ $20.0 \times 10^{-3}$ 之间的有2件,占20.00%。

表3 凌源地区洪水庄组烃源岩有机质丰度参数

Table 3 Organic matter abundance parameters of the source rocks from Hongshuizhuang Formation in Lingyuan area

剖面/井	TOC/%		氯仿沥青“A”/%		$(S_1+S_2)/10^{-3}$		总烃/ $10^{-6}$	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
P1701	0.59-2.00	1.35	0.0025-0.0081	0.0043	0.02-0.08	0.05	7.24-27.50	18.63
P1702	0.38-1.56	0.79	0.0035	0.0035	0.08-0.18	0.14	9.89	9.89
LP11	0.35-2.65	1.35	0.0172-0.0677	0.0333	0.48-8.37	2.8	86.44-423.40	176.2
LLD2	0.16-5.42	2.14	0.0044-0.2556	0.0229	0.03-1.08	0.52	16.07-730.29	96.35

辽凌地 2 井洪水庄组烃源岩  $S_1+S_2$  分布范围  $0.03 \times 10^{-3} \sim 1.08 \times 10^{-3}$ , 平均为  $0.04 \times 10^{-3}$ . 其中  $S_1+S_2$  小于  $0.5 \times 10^{-3}$  的样品 17 件, 占 54.84%; 在  $0.5 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-3}$  之间的有 14 件, 占 45.16%(表 3).

参考华北地区泥岩有机质丰度评价标准, 凌源地区洪水庄组烃源岩生烃潜力不同剖面(井)的差异较明显. 老庄户黄花沟 LP11 剖面洪水庄组页岩生烃潜力处于较好—好烃源岩; 辽凌地 2 井部分处于较好烃源岩; 而另外两条剖面的生烃潜力较差.

凌源地区中元古界蓟县系洪水庄组烃源岩在区域上存在较大差异(图 4). 有机碳受热演化程度影响相对较小, 能更准确地反映源岩中有机质丰度高低. 研究区 3 条剖面 and 辽凌地 2 井中的洪水庄组烃源岩样品的 TOC 数据较好, 为较好—好烃源岩. 由于中元古界烃源岩整体热演化程度偏高, 源岩中生烃潜力和氯仿沥青“A”含量整体偏低, 且不同剖面(井)的样品差异较大. 老庄户黄花沟 LP11 剖面 and 辽凌地 2 井的数据较好, 多为较好烃源岩; 孟家窝铺 P1701 剖面 and 侯杖

子南 P1702 剖面数据较差, 多为非烃源岩或差烃源岩. 根据前人研究成果<sup>[7-9]</sup>, 在冀北拗陷的洪水庄组具有较好的生烃潜力, 氯仿沥青“A”和生烃潜力的结果与老庄户黄花沟剖面的结果较为接近. 那么, 造成孟家窝铺 P1701 剖面 and 侯杖子南 P1702 剖面数据结果较差的原因可能是因为两剖面分布在凌源—刀尔登走滑断裂周围, 后期的构造破坏可能是导致凌源地区局部洪水庄组烃源岩有机质丰度较差的主要原因, 而未受构造运动影响的老庄户黄花沟 LP11 剖面则能较为真实地反映凌源地区洪水庄组的有机质丰度.

整体来看, 凌源地区中元古界蓟县系洪水庄组有机质丰度各剖面(钻孔)具有差异性, LP11 剖面 and 辽凌地 2 井部分样品处于较好—好烃源岩, P1701 剖面 and P1702 剖面烃源岩品质一般.

### 3.2 有机质类型

烃源岩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, 所以划分烃源岩有机质类型的目的是为了评价烃源岩的生烃品

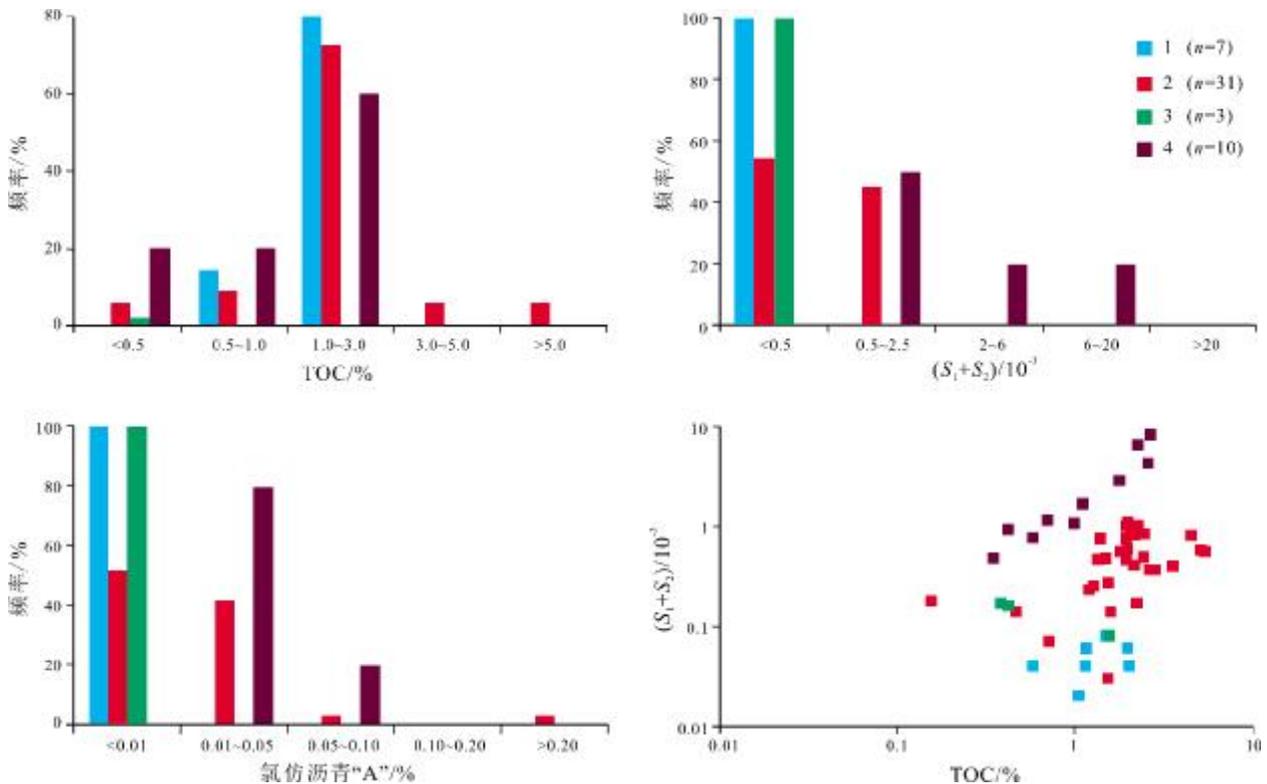


图 4 凌源地区洪水庄组烃源岩有机质丰度分布图

Fig. 4 Organic matter abundance distribution for the source rocks of Hongshuizhuang Formation from different strata in Lingyuan area 1—孟家窝铺剖面(Mengjiawopu section); 2—辽凌地 2 井(LLD2 well); 3—侯杖子南剖面(Houzhangzinan section); 4—老庄户黄花沟剖面(Laozhuanghu Huanghuagou section)

质. 本研究利用干酪根碳同位素、干酪根显微组分方法综合评价洪水庄组烃源岩有机质类型.

### (1) 干酪根碳同位素

碳同位素是一种间接确定有机质类型的手段,干酪根碳同位素组成能反映有机质的生源组成,腐泥型干酪根相对富集轻碳同位素  $^{12}\text{C}$ ,腐殖型干酪根相对富集重碳同位素  $^{13}\text{C}$  [18-19].

从干酪根碳同位素值分布特征来看(图5),中元古界干酪根样品碳同位素偏轻,基本都小于 $-27\text{‰}$ ,具有明显的偏腐泥型有机质的特征,这与其当时生物处于初级发育阶段有关.

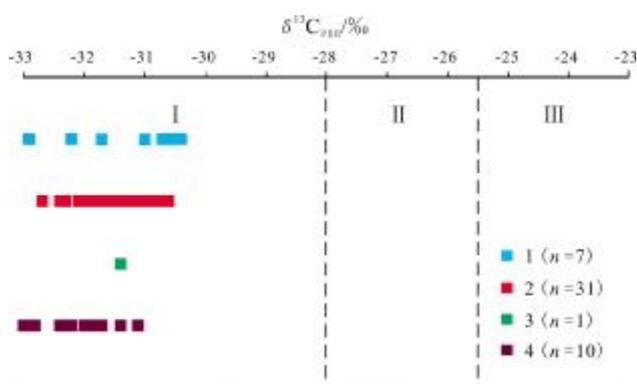


图5 凌源地区洪水庄组烃源岩干酪根碳同位素值划分类型图

Fig. 5  $\delta^{13}\text{C}$  distribution for the source rock kerogens of Hongshuizhuang Formation from different strata in Lingyuan area  
1—孟家窝铺剖面 (Mengjiawopu section); 2—辽凌地 2 井 (LLD2 well); 3—侯仗子南剖面 (Houzhangzinan section); 4—老庄户黄花沟剖面 (Laozhuanghu Huanghuagou section)

### (2) 干酪根显微组分

根据干酪根显微组分有机质类型指数  $T_i$  判定结果显示(图6),凌源地区中元古界洪水庄组烃源岩干酪根类型指数均大于40,表明该组有机质类型主要为  $\text{II}_1$  型,少部分为  $\text{I}$  型.

综合上述研究结果,凌源地区洪水庄组烃源岩样品有机质类型偏腐泥型,主要为  $\text{II}_1$  型,少部分为  $\text{I}$  型,为低等水生藻类及细菌贡献,具有较好的生烃物质基础.

### 3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是指有机质向石油和天然气转化的热演化程度. 本文主要根据镜质体反射率( $R_0$ )、热解峰温( $T_{\text{max}}$ )、饱和烃以及芳烃成熟度参数来判识有机质

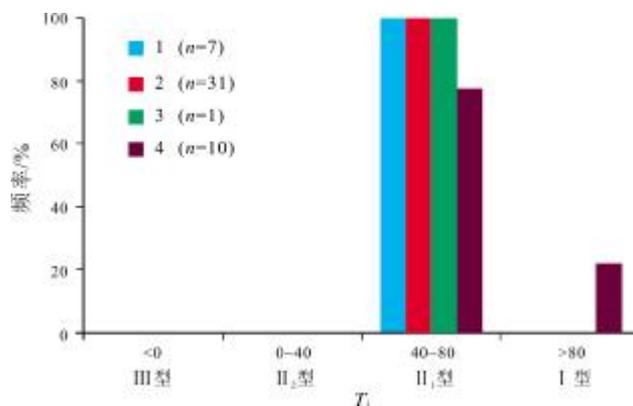


图6 凌源地区洪水庄组烃源岩干酪根类型指数分布直方图

Fig. 6 Distribution histogram for the source rock kerogen type indexes of Hongshuizhuang Formation from different strata in Lingyuan area

1—孟家窝铺剖面 (Mengjiawopu section); 2—辽凌地 2 井 (LLD2 well); 3—侯仗子南剖面 (Houzhangzinan section); 4—老庄户黄花沟剖面 (Laozhuanghu Huanghuagou section)

成熟度. 由于前寒武纪海相烃源岩普遍缺乏镜质体,文中讨论的镜质体反射率多为等效镜质体反射率,其成熟度研究没有陆相烃源岩可靠性高,尚未有国际统一的成熟度指标,故本研究采用陆相烃源岩成熟度标准(SY/T 5735—1995)进行评价(表4).

#### (1) 镜质组反射率

镜质组反射率是确定烃源岩有机质向烃类转化程度(热成熟度)的一项关键指标. 本研究对凌源地区洪水庄组均值镜质体进行反射率测定,由于泥盆纪以前的中—新元古界不存在镜质组显微组分,无法应用镜质组反射率来标定有机质的热演化程度,因此测试了其腐泥体的反射率,并根据腐泥体反射率( $R_d$ )与其等效镜质体反射率( $R'_0$ )换算公式: $R'_0=1.084+0.551R_d$ 进行镜质体反射率推算[20].

对孟家窝铺 P1701 剖面 7 块和辽凌地 2 井的 31 块洪水庄组烃源岩样品进行分析研究,结果如下: P1701 剖面 7 块样品等效镜质体反射率值主要分布在 1.15%~1.35%之间,平均值为 1.27%,为成熟—高成熟特征;辽凌地 2 井 31 块样品等效镜质体反射率值主要分布在 2.08%~2.26%之间,平均值为 2.19%,为高一过成熟特征(图7).

表 4 陆相烃源岩成熟阶段划分标准

Table 4 Classification standards for mature stages of continental source rocks

演化阶段	镜质组反 射率 $R_o$ /%	孢粉颜色 指数(SCI)	岩石热解最高 峰温 $T_{max}$ /°C	原子比 (H/C)	孢子体显微 荧光(Q)	孢粉(干酪根) 颜色	生物标志物		时间-温 度指数	古地温 T/°C	油气性质及产状
							参数 1	参数 2			
未成熟阶段	<0.5	<2.0	<435	>1.6	1~1.4	浅黄色	<0.2	<0.2	<15	50~60	生物甲烷,未成熟 油、凝析油
低成熟阶段	0.5~0.7	2.0~3.0	435~440	1.2~1.6	1.4~2.0	黄色	0.2~0.4	0.2~0.4	15~75	60~90	低成熟,重质油、凝 析油
成熟阶段	0.7~1.3	3.0~4.5	440~450	1.0~1.2	2.0~3.0	深黄色	>0.4	>0.4	75~160	90~150	成熟,中质油
高成熟阶段	1.3~2.0	4.5~6.0	450~580	0.5~1.0	>3.0	浅棕色-棕黑色	—	—	160~1500	150~200	高熟,轻质油、凝析 油、干气
过成熟阶段	>2.0	>6.0	>580			黑色	—	—	>1500	>200	干气

参数 1 为  $\alpha\alpha-C_{29}-20S/(20S+20R)$ , 参数 2 为  $C_{29}-\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ .

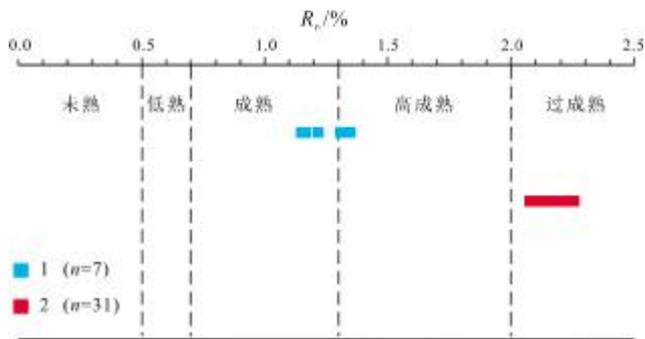


图 7 凌源地区洪水庄组烃源岩  $R_o$  值分布图

Fig. 7  $R_o$  distribution for the source rocks of Hongshuizhuang Formation from different strata in Lingyuan area  
1—孟家窝铺剖面(Mengjiawopu section); 2—辽凌地 2 井(LLD2 well)

(2)生物标记化合物成熟度指标

甾萜等许多生物标志化合物都具有特征性的生物构型,在热应力的作用下,稳定性较低的生物构型要向稳定性较高的地质构型转化,其转化程度与热应力及受热时间有关.因此可以根据这些构型参数发生变化来研究烃源岩成熟度特征.

图 8 是甾萜异构化成熟度参数  $C_{29}20S/(20S+20R)$  和  $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$  相关关系图.中元古界烃源岩中甾萜  $C_{29}-\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$  和  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$  基本大于 0.4,表明两者比值均已达到热演化的平衡点附近,烃源岩基本处于成熟阶段.

综合测试样品的镜质组反射率和生物标记化合物成熟度指标,认为凌源地区洪水庄组烃源岩基本处于成熟阶段.

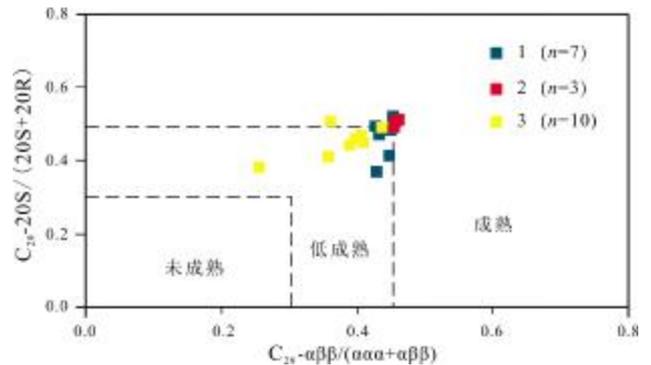


图 8 凌源地区洪水庄组烃源岩甾萜成熟度参数分布图

Fig. 8 Distribution of sterane maturity parameters for the source rocks of Hongshuizhuang Formation from different strata in Lingyuan area

1—孟家窝铺剖面(Mengjiawopu section); 2—辽凌地 2 井(LLD2 well); 3—老庄户黄花沟剖面(Laozhuanghu Huanghuagou section)

4 油气保存条件与成藏潜力

4.1 储层条件

通过对辽西拗陷洪水庄组烃源岩及其接触地层的油气基础地质调查研究,确认研究区中元古界有碳酸盐岩和碎屑岩两套储层<sup>[21-23]</sup>.

(1)碳酸盐岩储层

辽西拗陷中元古界雾迷山组和铁岭组可作为研究区的碳酸盐岩储层.雾迷山组是下伏于洪水庄组的一套富镁碳酸盐岩,夹少量碎屑岩和黏土岩地层.该组厚度巨大(最厚处达 5 457.2 m),区域上岩性稳定,叠层石、硅质岩发育,且野外露头见油苗<sup>[24]</sup>.该套储层原

生孔隙发育,后期虽部分被充填,但仍然具有一定的粒间、晶间孔隙,且次生溶蚀孔洞发育.该组孔隙度最大达4.7%,平均为1.82%,渗透率最大为 $8.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于特低孔低渗碳酸盐岩储层.雾迷山组顶部溶蚀现象明显,是优质的储集层.铁岭组是上覆洪水庄组的一套含锰白云岩、叠层石灰岩和白云质灰岩,总厚度350 m,孔隙度0.1%~3.2%,渗透率最大 $0.202 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于特低孔低渗碳酸盐岩储层.

值得注意的是,碳酸盐岩在构造应力作用下极易产生网状的构造裂缝,而辽西拗陷由于受后期燕山期构造事件影响,后期改造明显,因此雾迷山组和铁岭组都发育大量裂缝和溶孔.虽然这些孔隙后期被部分充填,但依然大大增加了渗透率,可为油气的储集提供空间.马满兴等<sup>[23]</sup>在研究区相邻的冰沟地区铁岭组的灰岩裂缝中见有黑色液态沥青渗出,表明辽西拗陷的碳酸盐岩可作为储层.

#### (2)碎屑岩储层

辽西拗陷待建系下马岭组和青白口系龙山组可作为碎屑岩储层.下马岭组主要岩性为灰绿色中—粗粒砂岩,龙山组主要由一套含海绿石石英砂岩组成.下马岭组储层以中—粗粒石英砂岩为主,孔隙度15%~25%,储集空间以原生孔隙和粒间孔隙为主;而龙山组砂岩中颗粒部分发生蚀变,孔隙度扩大,孔隙类型主要为残余粒间孔和溶蚀孔.在凌源地区龙潭沟下马岭组底部发现了洪水庄组生油、下马岭组储油的沥青砂岩古油藏,该发现证明了辽西拗陷碎屑岩储层具有良好的储油能力<sup>[7]</sup>.

#### 4.2 生储盖组合

迄今为止,在燕辽裂陷带北部冀北、辽西拗陷等进行野外地质油气地质调查过程中,发现了数量多达201处的油苗、沥青、沥青砂岩等油气显示,其中主要分布于铁岭组和雾迷山组的碳酸盐岩以及下马岭组的底砂岩中<sup>[24]</sup>.通过在研究区开展油气基础地质调查,结合前人的相关研究成果<sup>[19-22, 25-26]</sup>,考虑到上覆雾迷山组的洪水庄组泥页岩、上覆铁岭组的下马岭组页岩都可作为良好的盖层,综合研究揭示辽西拗陷凌源地区以洪水庄组为生油层,可构成2套完整的生储盖组合,且处于有利储集相带.

(1)上生下储:以洪水庄组泥页岩生油、雾迷山组碳酸盐岩储油、洪水庄组泥页岩作为盖层的洪水庄

组-雾迷山组生储盖组合.

(2)下生上储:以洪水庄组泥页岩生油、铁岭组和下马岭组底部砂岩为储层、下马岭组页岩为盖层的洪水庄组-下马岭组生储盖组合.

#### 5 结论

(1)整体上,辽西拗陷凌源地区中元古界洪水庄组烃源岩有机质丰度较高,具有较好的生烃物质基础;有机质类型主要为I—II<sub>1</sub>型,局部含II<sub>2</sub>和III型;等效镜质体反射率分布在1.15%~2.26%,处于成熟—高成熟阶段,部分样品过成熟;综合评价为中到好烃源岩,具有较好的生烃潜力.

(2)凌源地区以洪水庄组为生油层,可构成2套完整的生储盖组合,分别是:①以洪水庄组泥页岩生油、雾迷山组碳酸盐岩储油、洪水庄组泥页岩作为盖层的上生下储组合;②以洪水庄组泥页岩生油、铁岭组和下马岭组底部砂岩为储层、下马岭组页岩为盖层的下生上储组合,且处于有利储集相带,显示出良好的油气勘探前景.

致谢:长江大学地球环境与资源学院唐友军教授在样品测试分析过程中给予了热情指导与帮助,在此表示衷心的感谢.

#### 参考文献(References):

- [1]张长根,熊继辉.燕山西段震旦界油气生成问题探讨[J].华东石油学院学报,1979(1):88-102.  
Zhang C G, Xiong J H. Discussion on oil and gas generation in Sinian subboundary of western Yanshan Mountains[J]. Journal of the China University of Petroleum, 1979(1): 88-102. (in Chinese)
- [2]刘宝泉,方杰.冀北宽城地区中上元古界、寒武系有机质热演化特征及油源探讨[J].石油实验地质,1989,11(1):16-32.  
Liu B Q, Fang J. On petroleum source and maturation characteristics of the organic matter of Cambrian and Middle-Upper Proterozoic in Kuancheng region of northern Hebei Province[J]. Experimental Petroleum Geology, 1989, 11(1): 16-32.
- [3]王铁冠,韩克猷.论中—新元古界的原生油气资源[J].石油学报,2011,32(1):1-7.  
Wang T G, Han K Y. On Meso-Neoproterozoic primary petroleum resources[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 1-7.
- [4]陈孟莪,萧宗正,袁训来.晚震旦世的特种生物群落——庙河生物群新知[J].古生物学报,1994,33(4):391-403.

- Chen M E, Xiao Z Z, Yuan X L. A new assemblage of megafossils: Miaohe biota from Upper Sinian Doushantuo Formation, Yangtze Gorges[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1994, 33(4): 391-403.
- [5] 陈树旺, 许光, 杨建国, 等. 松辽盆地及外围油气资源基础地质调查——“十三五”阶段进展与未来工作展望[J]. *地质与资源*, 2021, 30(3): 221-231, 248.
- Chen S W, Xu G, Yang J G, et al. Foundational geological survey for oil and gas resources in Songliao Basin and its periphery areas: Progress and prospect [J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(3): 221-231, 248.
- [6] 肖飞, 郜晓勇, 李永飞, 等. 凌源-宁城盆地牛营子地区侏罗系海房沟组烃源岩地球化学特征: 以牛 D1 井为例[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2018, 37(1): 94-102.
- Xiao F, Gao X Y, Li Y F, et al. Geochemical characteristics of source rocks in the Jurassic Haifanggou Formation at the Niuyingzi area in the Lingyuan-Ningcheng Basin: A case study from the Well Niu D1[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2018, 37(1): 94-102.
- [7] 王铁冠, 钟宁宁, 王春江, 等. 冀北坳陷下马岭组底砂岩古油藏成藏演变历史与烃源剖析[J]. *石油科学通报*, 2016, 1(1): 24-37.
- Wang T G, Zhong N N, Wang C J, et al. Source beds and oil entrapment-alteration histories of fossil-oil-reservoirs in the Xiamaling Formation basal sandstone, Jibei depression[J]. *Petroleum Science Bulletin*, 2016, 1(1): 24-37.
- [8] 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 陆相湖盆生物类脂物早期生烃机制研究[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(6): 518-524.
- Wang T G, Hou D J, Zhong N N, et al. Early hydrocarbon generation of biological lipids in non-marine lacustrine basins: A genetic mechanism of immature oil[J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 40(1): 54-64.
- [9] 王铁冠. 燕山东段上元古界含沥青砂岩中一个新三环萜烷系列生物标志物[J]. *中国科学B辑*, 1990(10): 1077-1085.
- Wang T G. A Novel tricyclic terpane biomarker series in the Upper Proterozoic bituminous sandstone, eastern Yanshan region[J]. *Science in China (Series B)*, 1991, 34(4): 479-489.
- [10] 孙求实, 张坤, 李永飞, 等. 辽西金羊盆地北票组烃源岩生物标志化合物特征及意义[J]. *地质与资源*, 2018, 27(1): 69-76.
- Sun Q S, Zhang K, Li Y F, et al. Characteristics and implication of biomarker compounds in source rocks from Beipiao Formation in Jinyang basin, western Liaoning Province [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(1): 69-76.
- [11] 王浩, 任收麦, 周志, 等. 华北燕山地区中-新元古界油气勘查形势[J]. *地质通报*, 2019, 38(23): 404-413.
- Wang H, Ren S M, Zhou Z, et al. Oil and gas exploration status analysis of the Meso-Neoproterozoic strata in Yanshan area, North China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(2/3): 404-413.
- [12] 赵澄林, 李儒峰, 周劲松. 华北中新元古界油气地质与沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 165-172.
- Zhao C L, Li R F, Zhou J S. Sedimentology and petroleum geology of the Meso- and Neo-Proterozoic in North China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 165-172.
- [13] Sun Q S, Gao X Y, Zong W M, et al. A newly discovered oil-bearing Mesoproterozoic Erathem within the Niu D1 Well, Liaoxi depression, Yanliao faulted depression zone, NE China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2020, 94(1): 202-203.
- [14] Sun Q S, Xiao F, Gao X Y, et al. A new discovery of Mesoproterozoic Erathem oil, and oil-source correlation in the Niuyingzi area of western Liaoning Province, NE China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 110: 606-620.
- [15] 孙求实, 袁杰, 宗文明, 等. 广域电磁法在辽西地区牛营子凹陷油气资源潜力评价中的应用[J]. *物探与化探*, 2019, 43(1): 64-69.
- Sun Q S, Yuan J, Zong W M, et al. The application of wide field electromagnetic method to the oil and gas exploration of Niuyingzi sag in Liaoxi area [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(1): 64-69.
- [16] 牛露, 朱如凯, 王莉森, 等. 华北地区北部中-上元古界泥页岩储层特征及页岩气资源潜力[J]. *石油学报*, 2015, 36(6): 664-672, 698.
- Niu L, Zhu R K, Wang L S, et al. Characteristics and evaluation of the Meso-Neoproterozoic shale gas reservoir in the northern North China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(6): 664-672, 698.
- [17] 王杰, 陈践发, 窦启龙. 华北北部中-上元古界生烃潜力特征研究[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(2): 206-211.
- Wang J, Chen J F, Dou Q L. Evaluation of the hydrocarbon-generating potential for the possible hydrocarbon source rocks of the Middle-Upper Proterozoic in north Huabei area[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 26(2): 206-211.
- [18] 王万春, 徐永昌, Schidlowski M, 等. 不同沉积环境及成熟度干酪根的碳氢同位素地球化学特征[J]. *沉积学报*, 1997, 15(S1): 133-137.
- Wang W C, Xu Y C, Schidlowski M, et al. The geochemical characteristics of carbon and hydrogen isotopes of kerogens of various maturity and depositional environments [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(S1): 133-137.
- [19] 熊永强, 张海祖, 耿安松. 热演化过程中干酪根碳同位素组成的变化[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(5): 484-487.
- Xiong Y Q, Zhang H Z, Geng A S. Variation of carbon isotopic composition of kerogen during thermal evolution [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 26(5): 484-487.

129. (in Chinese)
- [18] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 123-139.  
Zhejiang Agricultural University. Plant nutrition and fertilizer [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991: 123-139. (in Chinese)
- [19] 蒋德安. 植物生理学实验指导[M]. 四川: 成都科技大学出版社, 1999: 22-23.  
Jiang D A. Plant physiology experimental guidance [M]. Sichuan: Chengdu University of Science and Technology Press, 1999: 22-23. (in Chinese)
- [20] 唐明灯, 吴龙华, 李宁, 等. 修复植物香薷堆肥对缺铜土壤上冬小麦生长和铜吸收的初步研究[J]. 土壤, 2006, 38(5): 614-618.  
Tang M D, Wu L H, Li N, et al. Preliminary study on effect of *Elsholtzia splendens* compost on plant growth and Cu uptake by winter wheat in a Cu-deficient upland soil [J]. Soils, 2006, 38(5): 614-618.
- [21] 郑利伟. 土壤缺锌作物典型症状及综合防治措施[J]. 现代农业科技, 2009(7): 185.  
Zheng L W. Typical symptoms and integrated control measures of zinc deficiency crops in soil [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(7): 185. (in Chinese)
- [22] 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014: 121-122.  
Cai Q S. Plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2014: 121-122.
- [23] 刘万华, 邵凤成, 刘淑君, 等. 武清区农田土壤缺硼现状与补硼措施[J]. 天津农业科学, 2009, 15(S1): 5-7.  
Liu W H, Shao F C, Liu S J, et al. Current situation of Boron deficiency in farmland soils in Wuqing District and measures for Boron supplementation [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2009, 15 (S1): 5-7. (in Chinese)
- [24] 刘艳, 侯龙鱼, 赵广亮, 等. 锗对植物影响的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 931-937.  
Liu Y, Hou L Y, Zhao G L, et al. Mechanism and application of germanium in plant growth [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(8): 931-937.
- [25] Rosenberg E. Germanium: Environmental occurrence, importance and speciation [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2009, 8(1): 29.
- [26] 孔涛, 曲韵笙, 朱连勤. 微量元素锗的生物学功能[J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(1): 59-60.  
Kong T, Qu Y S, Zhu L Q. Biological function of trace element germanium [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2007, 24(1): 59-60.

(上接第 174 页/Continued from Page 174)

- [20] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 177-181.  
Qin J Z. Source rocks in China [M]. Beijing: Science Press, 2005: 177-181. (in Chinese)
- [21] 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.
- [22] 张守鹏, 边雪梅, 郝运轻. 燕山地区中、上元古界地层结构与油气保存条件分析[J]. 地层学杂志, 2007, 31(S2): 599-604.  
Zhang S P, Bian X M, Hao Y Q. The Middle-Upper Proterozoic stratigraphic structure of the Yanshan area and analysis of the conditions for oil and gas storage [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(S2): 599-604.
- [23] 马满兴, 慕德梁, 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 Erathem in Jianchang basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 60-64.
- [24] 王铁冠, 龚剑明. 中国中—新元古界地质学与油气资源勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(6): 1-9.  
Wang T G, Gong J M. Meso-Neoproterozoic geology and petroleum resources prospect in China [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(6): 1-9.
- [25] 张涛, 李永飞, 孙守亮, 等. 冀北—辽西地区洪水庄期海洋氧化还原环境的不均一性[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 257-264.  
Zhang T, Li Y F, Sun S L, et al. Heterogeneity of marine redox environment during the sedimentary period of Hongshuizhuang Formation in northern Hebei-western Liaoning [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 257-264.
- [26] 宗文明, 孙求实, 李晓海, 等. 辽宁凌源牛营子盆地辽凌地 1 井北票组生烃潜力分析[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 350-356.  
Zong W M, Sun Q S, Li X H, et al. Hydrocarbon generation potential of Beipiao Formation from LLD1 well in Niuyingzi Basin, western Liaoning. [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 350-356.