

辽西铁岭组烃源岩特征分析

郭子家, 付敬浩, 代宗仰

西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年10月8日; 录用日期: 2024年11月5日; 发布日期: 2024年11月13日

摘要

中新元古界是目前油气勘探的主要地层, 研究华北克拉通中新元古界烃源岩特征对指导下一步油气勘探具有重要意义。前人对辽西地区的烃源岩研究主要集中在中新元古界洪水庄组和下马岭组。为研究辽西地区铁岭组烃源岩特征对两口钻井和4条野外露头剖面样品进行了地球化学分析。研究结果表明, 辽西地区铁岭组烃源岩主要为黑色页岩和泥质云岩, 测试结果显示铁岭组平均有机质含量为0.37%, 生烃潜力平均为0.26 mg/g, 有机质类型为II1-I型, 有机质成熟度为成熟-高熟阶段。

关键词

辽西地区, 铁岭组, 烃源岩

Characteristics Analysis of Source Rocks of Tieling Formation in Liaoxi Area

Zijia Guo, Jinghao Fu, Zongyang Dai

School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 8th, 2024; accepted: Nov. 5th, 2024; published: Nov. 13th, 2024

Abstract

The Middle Neoproterozoic is currently the main stratum for oil and gas exploration, and studying the characteristics of hydrocarbon source rocks in the North China Craton is of great significance for guiding the next step of oil and gas exploration. Previous studies on hydrocarbon source rocks in Liaoxi Area mainly focused on the Hongshuizhuang Formation and Xiamaling Formation of the Middle Neoproterozoic. To study the characteristics of source rocks in the Tieling Formation in Liaoxi Area, geochemical analysis was conducted on two drilling wells and four field outcrop profile samples. The research results indicate that the source rocks of the Tieling Formation in Liaoxi Area are mainly black shale and mudstone dolomite. The test results show that the average organic

matter content of the Tieling Formation is 0.37%, the average hydrocarbon generation potential is 0.26 mg/g, the organic matter type is II1-I, and the organic matter maturity is in the mature to high mature stage.

Keywords

Liaoxi Area, Tieling Formation, Source Rocks

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

辽西地区位于华北克拉通燕辽裂陷带，中元古界广泛发育海相地层[1]，油气资源丰富。自上世纪 60 年代至今，已于冀北-辽西发现上百个油苗点及多个古油藏的存在，证实中新元古界存在过油气的形成、运移和破坏[2]，且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[3]。

目前对于燕辽裂陷带的研究多集中在冀北地区，主要研究内容包括沉积相、油气生烃潜力和烃源岩分布等[4]-[8]，其中华北克拉通拗拉槽中新元古界发育海岸相、陆棚相、台地相、生物礁相、扇三角洲相及冰川相等 7 种沉积相，并对其 15 种亚相及 21 种微相进行详细的描述[9]；另外河北下花园地区下马岭组三段油页岩由大量的底栖红藻堆积而成，而底栖红藻可以作为重要生烃母质并构成优质烃源岩[10]；燕山地区冀北、宣龙拗陷等地烃源岩层系发育，是潜在的有利区[11]；而且温润的中低纬度较适宜的地理位置、生物勃发事件、水底缺氧事件、沉积物中磷组分的富集以及粘土矿物的赋存滞留均有利于中新元古界烃源岩富集[12]。对于辽西凹陷的烃源岩研究目前较少，本文基于野外露头及两口钻井对辽西地区中元古界铁岭组烃源岩进行研究，为后续有利储层的预测和勘探区带的优选提供重要的科学依据，从而为油气勘探领域带来新的突破。

2. 区域地质概况

辽西凹陷位于辽宁省西部，包括朝阳、建昌、喀左、凌源四县及周边中新元古界地表露头区，面积约 30,000 km²，中新元古界厚度可达 8000~9000 m (见图 1)。蓟县系至青白口系是主要的烃源岩发育层位，包括碳酸盐岩和海相泥岩两大类烃源岩。其中蓟县系洪水庄组、铁岭组以及下马岭组则发育有一定规模的黑、灰色~绿灰色的海相页岩。

铁岭组主要为灰色、浅灰色泥云岩，灰色盆屑云岩夹页岩，局部见柱状叠层石。岩性组合特征反映当时沉积环境是低能与较高能环境交替出现。自下而上可划分为三个段，其中铁一段以云质石英砂岩、云岩为主，铁三段以泥晶云岩为主，铁二段以泥质岩为主。本组地面剖面厚度最大区位于凌源三家子-喀左轱辘井一带，厚约 300 m，在宽城-平泉区一般厚度小于 200 m。铁岭组二段是主要生油岩，厚度一般 50 m 左右。韩 1 井因断层缺失仅钻遇 62 米，杨 1 井钻遇 270 米，根据地震资料推测建昌盆地内厚度约 300 米以上。铁岭组工区地面剖面和井下都见到较多的油苗、沥青显示，推测有较好的生油条件。

3. 铁岭组烃源岩

铁岭组碳酸盐岩样品的有机碳在 0.01%~0.85% 区间变化，平均为 0.16% (见表 1)。约 30% 的 TOC 分布在 0.25%~0.5% 好生油岩区间，且有约 5% 已达到最好生油岩的级别。氯仿沥青“*A*”最低为 0.0001%，

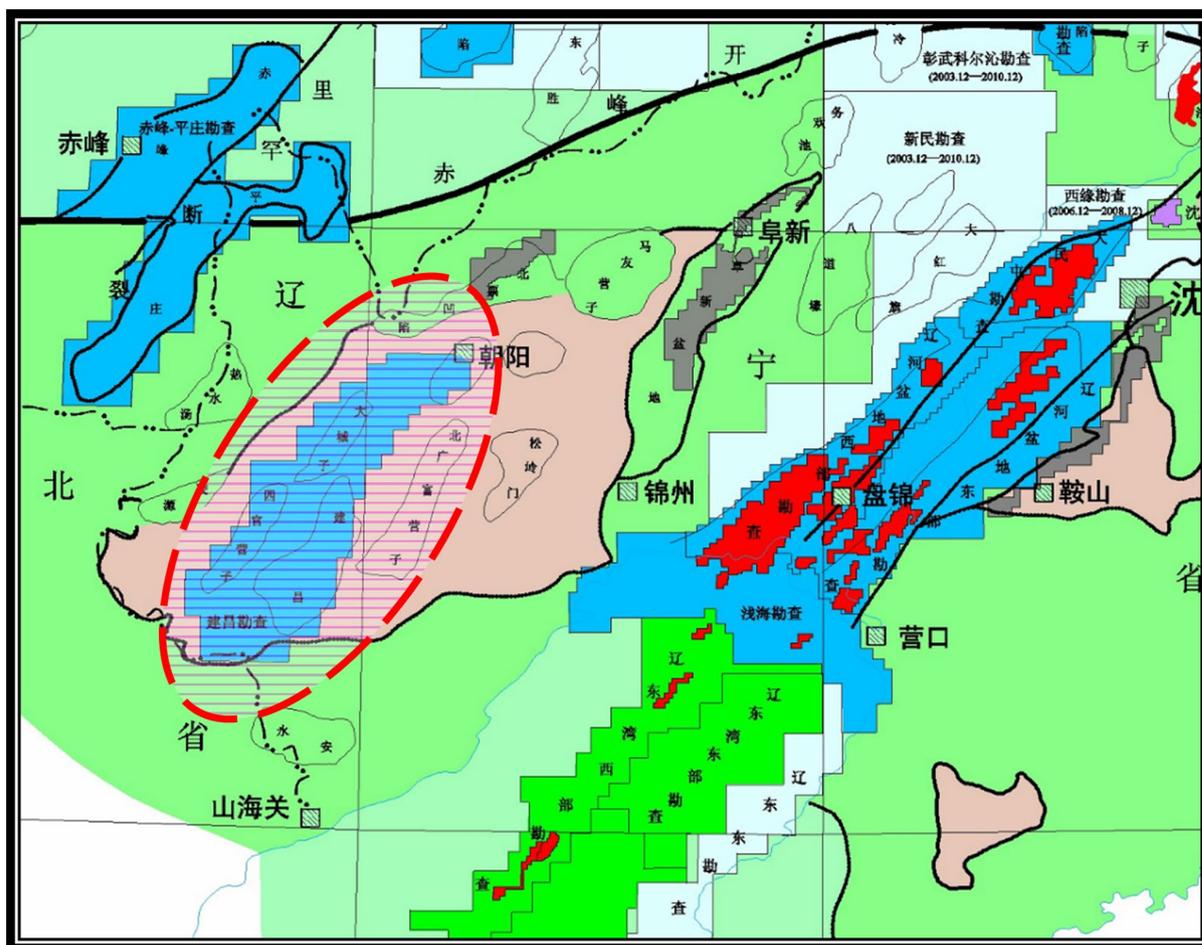


Figure 1. Location map of the research area

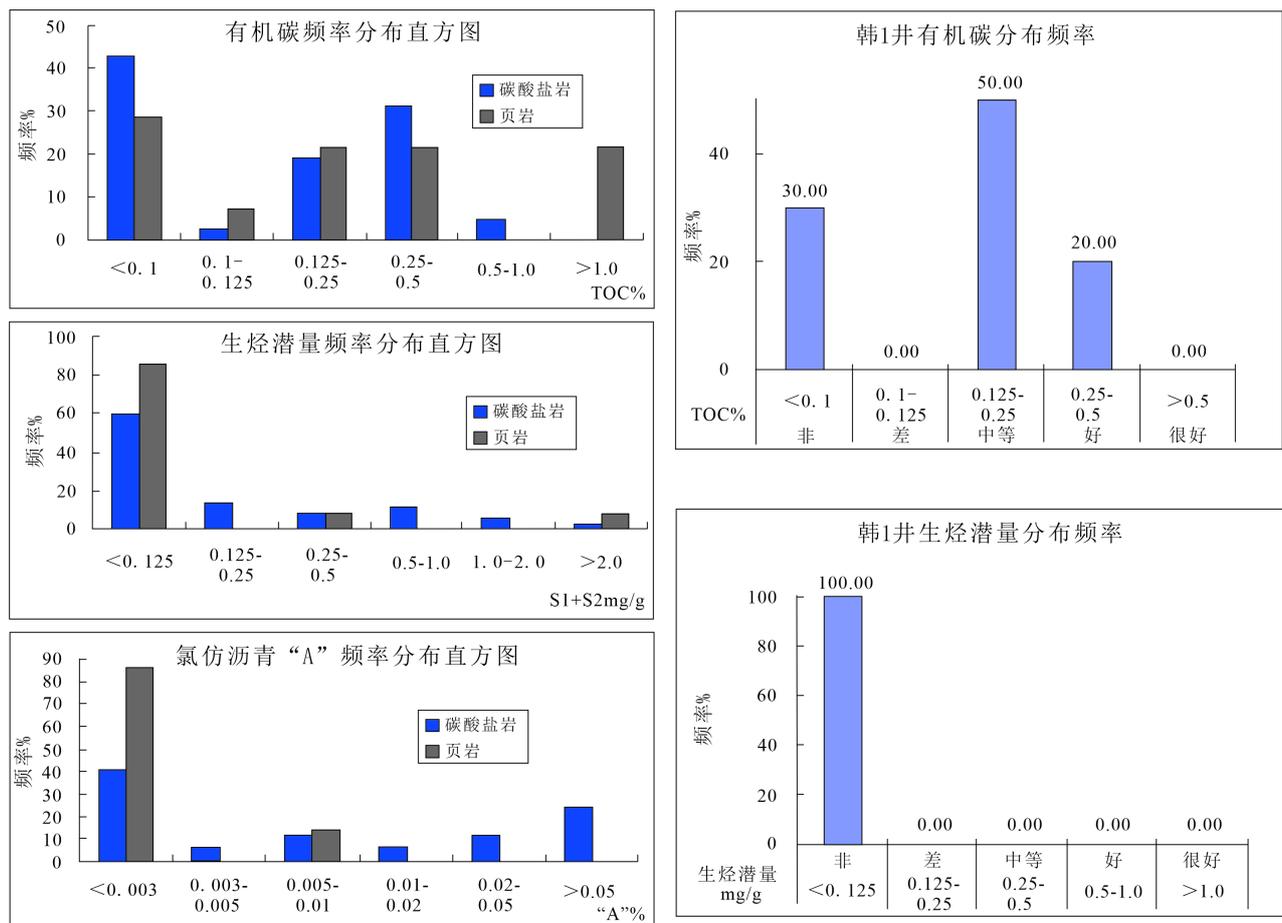
图 1. 研究区位置图

最高已达 0.0905%，平均值为 0.0252%，已超出最好级别生油岩的低限(0.02%)。氯仿沥青“A”的频率分布也反映，铁岭组碳酸盐岩中等以上生油岩样品占 52.9%，其中好生油岩样品占 5.9%，“A”大于 0.02% 以上的最好生油岩样品高达 35.2%，充分显示了较高的生烃能力。生烃潜力在 0.01~2.65 mg/g 区间变化，平均值为 0.29 mg/g，总体上达到中等生油岩的标准。生烃潜力与有机碳和氯仿沥青“A”的分布规律不尽相同，究其原因主要是由成熟度较高所引起，从目前所测样品看，铁岭组的 T_{max} 分布在 460°C 左右，已进入高成熟的凝析油阶段，因此生烃潜力较低。这些生烃潜力较高的样品主要分布在双洞一带，其值分布在 0.43~2.65 mg/g 之间，因正处于成熟阶段，因此仍具有较高的生烃潜力。本组碳酸盐岩以中等源岩为主。

铁岭组页岩有机碳值变化范围较大，最低仅为 0.01%，最高为 1.53%，平均有机碳含量 0.37%。小于 0.4% 的非生油岩样品占 71.6%，大于 1.0% 的好生油岩占 21.4%。氯仿沥青“A”最高为 0.0051%，最低为 0.0002%，平均为 0.0012%，远远低于碳酸盐岩类。“A”的频率分布以小于 0.003% 为主频，非~差烃源岩可占 85.7%，只有 14.3% 的样品达到较好生油岩的级别。生烃潜力平均为 0.26 mg/g，最高为 2.07 mg/g，多数样品小于 0.2 mg/g。其频率分布与氯仿沥青 A 一样，均以非生油岩为主频，达 92.3%。页岩的各项丰度指标远远低于本组的碳酸盐岩类，反映了铁岭组页岩、碳酸盐岩具有较高的生烃能力(见图 2)。杨 1 井区铁岭组揭示的黑色泥页岩很薄，未采集到合适的样品进行分析。

Table 1. Organic matter abundance of Tieling Formation in Liaoxi Area**表 1.** 辽西地区铁岭组有机质丰度表

地区	岩性		TOC (%)	氯仿沥青“A”	S1 + S2 (mg/g)
双洞	页岩	最小值~最大值	0.3~2.92	-	0.07~2.07
		平均值	1.61 (2)	-	1.07 (2)
双洞	灰岩	最小值~最大值	0.23~0.59	0.0235~0.0905	0.43~2.65
		平均值	0.33 (14)	0.0695 (5)	1.15 (8)
北洞	灰岩	最小值~最大值	0.01~0.85	0.0001	0.11~0.17
		平均值	0.43 (2)	-	0.14 (2)
瓦房子	页岩	最小值~最大值	0.02	0.0004	0.01
		平均值	-	-	-
瓦房子	灰岩	最小值~最大值	0.08~0.14	0.0006	0.01~0.07
		平均值	0.11 (2)	-	0.04 (2)
辘轳井	页岩	最小值~最大值	0.03~0.3	0.0005~0.0009	0.01~0.05
		平均值	0.17 (2)	0.0007 (2)	0.03 (2)
辘轳井	灰岩	最小值~最大值	0.01~0.18	0.0059	0.01~0.38
		平均值	0.11 (4)	-	0.13 (4)

**Figure 2.** Histogram of organic matter abundance distribution in source rocks of Tieling Formation (left: field outcrop; right: Han 1)
图 2. 铁岭组烃源岩有机质丰度分布直方图(左: 野外露头; 右: 韩 1)

3.1. 有机质类型

中新元古界的有机质以原核藻类占绝对优势，生烃母质主要是菌藻类等低等生物，干酪根为典型藻腐泥型。

从热演化程度相对较低的中新元古界源岩中分离出来的干酪根，多呈棕黄色 - 深棕色，呈以云雾状和絮状无定形结构为主的特征。在显微镜下铁岭组干酪根形态特征多呈棕黄色或棕色云雾状，类脂组含量大于 70%，类型指数在 50 以上，类型为III-I型。在扫描电镜下铁岭组干酪根多呈团状和球粒状无定形结构，为腐泥型。另外可以由 $\delta^{13}\text{C}$ 来确定源岩原始母质类型： $\delta^{13}\text{C} < -28\text{‰}$ (PDB)为 I 型母质； $\delta^{13}\text{C}$ 值 $-27\text{‰}\sim-24\text{‰}$ (PDB)为 II 型母质； $\delta^{13}\text{C} > -24\text{‰}$ (PDB)为III型母质。铁岭组烃源岩的干酪根碳同位素分布在 -33.85‰ 左右，来自同源的低等水生生物。从干酪根碳同位素和饱和烃 + 芳烃关系图上看出(见图 3)：铁岭组烃源岩有机质类型为I-III 型。

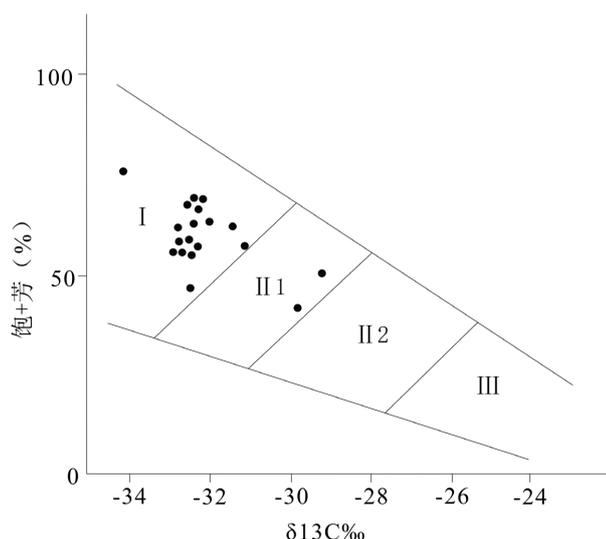


Figure 3. Relationship between saturation + aroma and $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ in source rocks

图 3. 生油岩饱和 + 芳与 $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ 关系图

3.2. 有机质成熟度

本次评价主要应用热解参数 T_{max} 值作为成熟度分析指标，并结合 HI、H/C 原子比及干酪根颜色等辅助指标对中新元古界烃源岩的热演化程度进行分析，采用郝石生刘宝泉等的热演化阶段划分标准(见表 2)，评价结果如表 3、表 4 所示。

Table 2. Classification criteria for organic matter thermal evolution stages (Hao Shisheng, Liu Baoquan, etc.)

表 2. 有机质热演化阶段划分标准(郝石生、刘宝泉等)

指标及界线	成熟生油	高成熟		过成熟干气
		凝析油	湿气	
干酪根 H/C 原子比	>0.7	0.7~0.6	0.6~0.45	<0.45
干酪根颜色	黄 - 深棕	深棕 - 棕黑	棕黑 - 黑	黑
热解峰温 $T_{\text{max}}\text{°C}$	<455	455~485	485~530	>530
沥青反射率	<1.3	1.3~1.6	1.6~2.2	>2.2

铁岭组一般处于生油主带的晚期或凝析油带的早期阶段，铁岭组的 T_{max} 分布与本区的构造活动及构造位置密切相关。 T_{max} 值随着埋藏深度的增加而增加，这是因为深埋的烃源岩经历了更高的温度和更长的热演化时间，导致有机质成熟度增加，进而表现为 T_{max} 值的升高[13]。图 4 反映冀北拗陷平泉双洞地区 T_{max} 值较低，仍处于生油主带阶段，说明双洞背斜形成较早，至少印支期以后埋藏深度就比较浅。辽西拗陷瓦房子、辘轳井处 T_{max} 值也较低，处于生油主带和生油主带-凝析油过渡带，表明其与双洞地区一样，埋藏深度较浅。北洞区 T_{max} 值最高，已经进入了过成熟的干气阶段，此现象主要与构造活动密切相关。

Table 3. Evolutionary indicators of source rocks in the middle proterozoic Tieling Formation in Liaoxi Area
表 3. 辽西中元古界铁岭组烃源岩演化指标

井号/地点	岩性		有机碳(%)	T_{max} (°C)	PI (s1/(s1 + s2))	演化阶段
韩 1 井	泥质云岩	最小~最大值	0.03~0.34	438~500	0.5	成熟~高熟
		平均值	0.19	476		
辽西露头	黑色页岩	最小~最大值	0.25~5.03	423~457	0~0.07	成熟~高熟
		平均值	1.728	436	0.03	

Table 4. Aromatic hydrocarbon parameters and calculated vitrinite reflectance of proterozoic source rocks in Liaoxi Area
表 4. 辽西元古界烃源岩芳烃参数及计算镜质体反射率

地点	岩性	MNR = 2-/1-MN	MPR1 = 1-MP/P	MPR = 2-/1-MP	MPI1	MPI2	MPI3	计算 R_c ($R_o < 1.35$)	演化阶段
双洞	灰黑色页岩	1.14	0.77	1.13	0.51	0.66	0.45	0.71	成熟生油

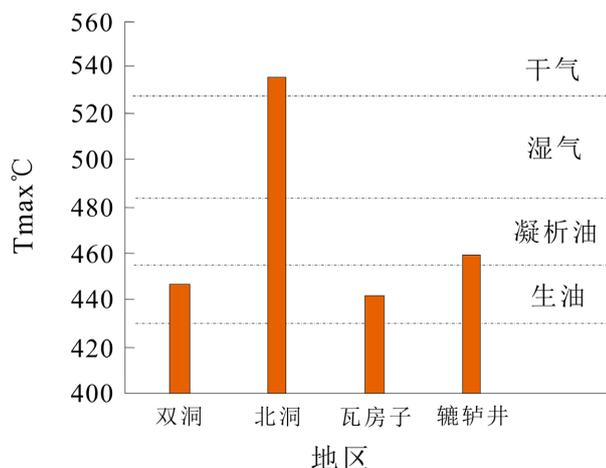


Figure 4. Distribution of pyrolysis peak temperatures of Tieling Formation source rocks in different regions
图 4. 不同地区铁岭组烃源岩热解峰温分布图

4. 烃源岩综合评价

铁岭组下部主要为灰色、浅灰色泥云岩，灰色盆屑云岩夹页岩，上部为闭塞潮上带环境形成的灰色泥晶灰岩、含泥灰岩夹页岩。该组碳酸盐岩类的有机质丰度高，有机碳平均为 0.2%，沥青“A”平均为 0.0252%，为好生油岩。页岩类有机质丰度较高，有机碳 0.01%~1.53%，平均为 0.37%；沥青“A”0.0002%~0.0051%，平均为 0.0012%，为较差生油岩。

参考文献

- [1] 冷筠滢. 辽西坳陷中元古界烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2020.
- [2] 姜在兴, 徐杰, 刘桐, 等. 燕辽裂陷槽辽西坳陷中元古界黑色页岩沉积环境和生烃潜力[J]. 沉积学报, 2023, 41(6): 1830-1846.
- [3] 孙求实, 宗文明, 郜晓勇. 辽西坳陷牛营子地区中元古界下马岭组生物标志化合物特征——以小庄户剖面为例[J]. 地质论评, 2019, 65(S1): 87-88.
- [4] 王晓梅, 张水昌, 王华建, 等. 烃源岩非均质性及其意义——以中国元古界下马岭组页岩为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 32-39.
- [5] 王铁冠. 燕山地区震旦亚界油苗的原生性及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1980(2): 34-52.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张文浩, 汤冬杰, 杨焯, 等. 华北地台中——新元古界烃源岩沉积特征及生烃潜力[J]. 中国地质, 2021, 48(5): 1510-1523.
- [9] 吕奇奇, 罗顺社, 汪泽成, 等. 华北克拉通典型拗拉槽中——新元古界沉积体系与古地理演化[J]. 地质学报, 2022, 96(2): 349-367.
- [10] 张水昌, 张宝民, 边立曾, 等. 8 亿多年前由红藻堆积而成的下马岭组油页岩[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(5): 636-643.
- [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(Z1): 404-413.
- [12] 鲍志东, 陈践发, 张水昌, 等. 华北中上元古界烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(z1): 114-119.
- [13] 张振苓, 鄢立言, 舒念祖. 烃源岩热解分析成熟度参数 T_{max} 值异常的原因[C]//中国地质学会石油地质专业委员会. 第十届全国有机地球化学学术会议论文摘要汇编. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2005: 2.