

内蒙古陶海营子地区上二叠统林西组泥岩热演化程度研究

公繁浩¹, 陈树旺¹, 张健¹, 郑月娟¹, 李永飞¹, 苏飞¹, 黄欣¹, 冯志强²,
王青海², 王世辉², 唐友军³, 蒋兴超³

(1. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034; 2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712;
3. 油气资源与勘探技术教育部重点实验室/长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023)

摘要 近年来松辽盆地外围油气勘探-基础地质调查表明, 大兴安岭地区上二叠统林西组发育有厚层的暗色泥岩, 为重要的潜在生烃层系之一。林西组在陶海营子地区出露广泛。本次研究采集了该区露头 and 钻井中的暗色泥岩样品。通过镜质体反射率(R_d)、伊利石结晶度(KI 指数法), 对本区林西组暗色泥岩的有机质热演化程度进行了详细的研究, 认为本地区林西组烃源岩演化处于高—过成熟演化阶段, 未进入变质阶段, 具有较好的页岩气勘探前景。

关键词 林西组 有机质热演化程度 镜质体反射率 伊利石结晶度 内蒙古

STUDY ON THE THERMAL EVOLUTION OF THE MUDSTONE FROM LINXI FORMATION IN TAOHAIYINGZI, INNER MONGOLIA

GONG Fan-hao¹, CHEN Shu-wang¹, ZHANG Jian¹, ZHENG Yue-juan¹, LI Yong-fei¹, SU Fei¹, HUANG Xin¹,
FENG Zhi-qiang², WANG Qing-hai², WANG Shi-hui², TANG You-jun³, JIANG Xing-chao³

(1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS Shenyang 110034, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing 163712, Heilongjiang Province, China;

3. Key Laboratory of Exploration Technology, Ministry of Education / Department of Geochemistry, Changjiang University, Jingzhou 434023, Hubei Province, China)

Abstract : Recent researches around Song-Liao Basin reveal that the Linxi Formation is one of the most potential hydrocarbon layers in Daxinganling region. The Linxi Formation, occurring as a series of thick black mudstones, is distributed widely in Taohaiyingzi area. With analysis on the vitrinite reflectance and illite crystallinity of mudstone samples collected from outcrop and wells, the thermal evolution of organics of the black mud stone from Linxi Formation is researched. The result shows that the thermal evolution of the organic matter has passed the principal stage, but not entered the metamorphic stage yet, suggesting a good exploring prospect for shale gas.

Key words : Linxi Formation; thermal evolution of organics; vitrinite reflectance; illite crystallinity; Inner Mongolia

0 引言

在我国传统油气地质研究中, 一直将中国北方上古生界作为古老的变质基底, 而未将其纳入油气勘探的对象。而近几年区域油气地质调查研究结果表明, 本区上古生界地层大部分仍未变质, 并发育巨厚的暗色泥页岩, 具有较好的油气勘探前景^[1]。特别是上二叠统林西组发育的一套暗色泥岩, 其厚度大, 分布广, 受到普遍的关注, 被认为是很好的、有潜力的

生烃母质^[2-3]。

上二叠统林西组主要为一套含暗色泥岩的滨浅湖—半深湖沉积, 早期可能存在微咸水的海陆过渡相沉积^[4-5]。在陶海营子地区, 林西组出露较好。本区所测得的林西组剖面(剖面位置见图1)为原1:20万扎鲁特旗幅所建三叠系陶海营子组的建组剖面, 岩性为一套轻微变质的砂岩、板岩组合。王五力等根据叶肢介化石将其修订为晚二叠世^[6]。剖面在1996年内蒙古岩石地

收稿日期: 2012-03-27. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局“松辽外围中新世盆地群油气地质综合调查”项目(编号1212010782001)资助。

作者简介: 公繁浩(1981—), 男, 博士, 主要从事石油地质、储层沉积方面的研究, 通信地址: 辽宁省沈阳市黄河大街1号, E-mail: gongfh@yahoo.com.cn

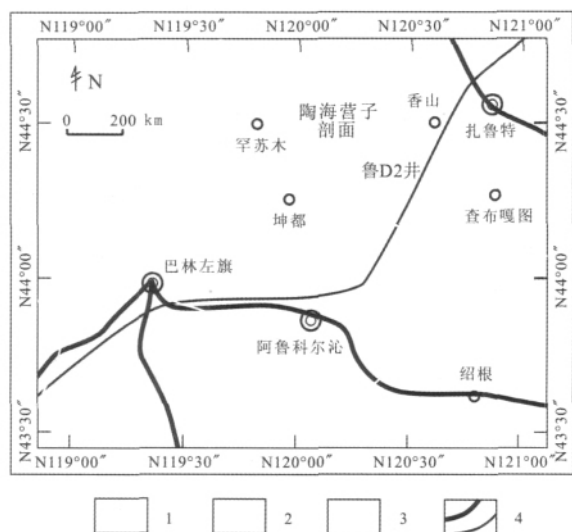


图1 陶海营子地区林西组剖面 and 鲁D2井位置图

Fig. 1 Location map of geological section of Linxi Formation and L-D2 well in Taohaiyingzi area

1—剖面位置(location of section); 2—钻孔位置(location of drill hole); 3—水系(river); 4—道路(road)

层划分中被归入林西组. 本次研究在修测的剖面中共采集 21 件露头暗色泥岩样品, 用于有机地球化学的相关分析、测试.

2011 年初, 项目组联合大庆油田完成了本区鲁 D2 井 (钻孔位置见图 1) 的设计和施工工作. 该井深 1200 m, 从中获取了大量的岩心资料, 为了解本地区林西组地层的发育特征提供了宝贵的资料. 共取得钻井中暗色泥岩样品 33 件. 所有泥岩样品, 包括剖面露头样品和钻孔样品均在长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室进行相关分析测试.

1 研究方法

本次研究主要采用常用的镜质体反射率 (R_o) 法, 结合伊利石结晶度 (KI 指数法), 对本区林西组的暗色泥页岩的热演化程度 (成熟度) 进行了相关研究.

(1) 镜质体反射率法

镜质体反射率 (R_o) 是煤田地质工作中用以确定煤化程度的参数. 鉴于干酪根与煤在化学和演化上具有很大的相似性, 并且其变化范围可以表征有机质从成岩、深成作用到变质作用的整个演化过程, 具有随成熟度增加而增大的不可逆性, 因此被视为表征有机质热演化程度的最有效的指标. 在油气勘探中, 镜质体反射率 (R_o) 被广泛用来确定有机质的成熟度 [7-8].

镜质体是由高等植物的根、茎、叶在覆水的还原条

件下, 经凝胶化作用而形成的. 本次研究的林西组为晚二叠世, 发育大量高等植物, 因此使用镜质体反射率法测定有机质成熟度具有较高的可行性和可信性.

(2) 伊利石结晶度 (KI 指数法)

伊利石结晶度是划分成岩-变质变化过程的重要定量指标之一 [9]. 通过建立沉积岩中自生伊利石的结晶程度与其所受的温度之间的定量关系, 来划分岩石的成岩-变质阶段. 因此, 它不仅广泛地应用在成岩作用-低温变质作用的研究中 [10], 也广泛地应用于判别有机质的热演化阶段 [11-13]. 特别是针对本区建组剖面描述中, 将本区地层归入浅变质砂岩和板岩, 应用伊利石结晶度的方法, 更有利于区分沉积岩与浅变质岩石之间过渡类型的划分.

目前国际上通常采用 Kübler 指数法 (KI 法), 采用 X 射线衍射谱图上伊利石 10 Å 峰的半高宽来表示, 单位为 $^{\circ}(\Delta 2\theta)$. 该指数具有较高的可靠性和可重复性 [14].

2 研究结果

(1) 露头样品

在陶海营子剖面中共采集暗色泥岩露头样品 21 件, 有机地球化学测试表明, 暗色泥岩的残余有机碳 (TOC) 含量主要为 0.70%~1.10%, 平均值为 0.88%, 为中等到好的烃源岩 [9]. 21 件烃源岩露头样品的镜质体反射率测试结果表明, 所有样品的 R_o 平均值为 1.58%, 主要分布在 1.3%~1.7%, 属于高成熟演化阶段 (图 2、3). 此外, 陶海营子 21 件样品的黏土矿物 X 射线衍射测试结果表明伊利石结晶度 (KI) 主要分布在 0.50~0.70° 之间 (图 2、4, 表 1), 均值为 0.58°, 其中 80.95% 的样品 (17 件) 位于 0.42~0.62° 之间. 该区间指示样品处于晚成岩阶段. 19.05% 的样品伊利石结晶度大于 0.62°, 指示样品位于中成岩阶段晚期 (R_o 为 1.0%~2.0%). 其与深度之间关系不明显 (图 2). 结合以上论述, 认为陶海营子林西组暗色泥岩处于高成熟阶段.

(2) 钻孔样品

采集鲁 D2 井 33 件岩心样品, 经有机地球化学测试表明, TOC 分布区间为 0.07%~1.47%, 平均值为 0.72% [9], 主体为中等到好的烃源岩. 从鲁 D2 井 31 件烃源岩样品的镜质体反射率测试结果可知, 所有样品 R_o 均大于 2.0%, 平均值为 3.04%, 主要分布在 2.4%~3.2% 区间, 属于过成熟演化阶段 (图 5、6, 表 2). 其纵

①“松辽外围中新世盆地群油气地质综合调查”项目专题成果油气地质条件研究 2011 年度成果报告.

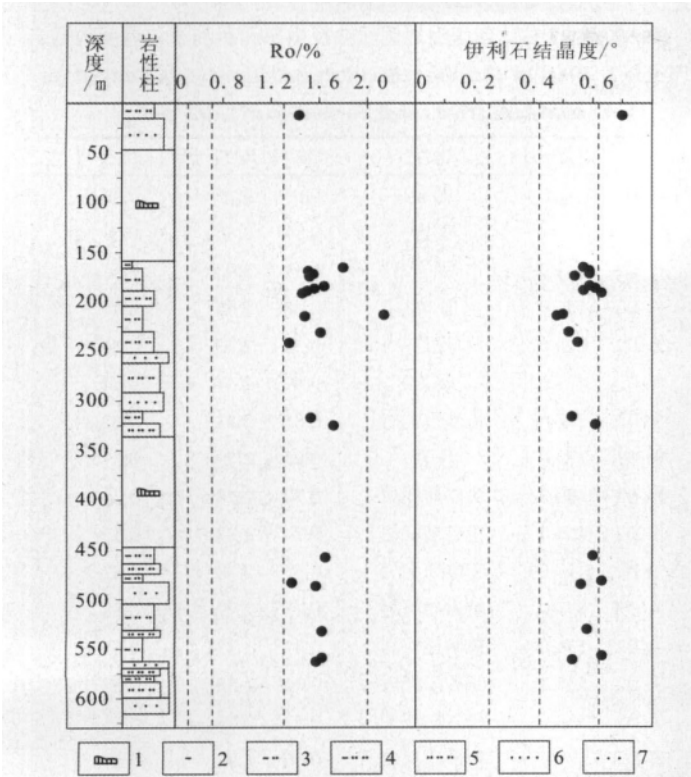


图 2 陶海营子林西组露头泥岩镜质体反射率和伊利石结晶度纵向分布图

Fig. 2 Vertical distribution of vitrinite reflectance and illite crystallinity of the mudstone from Linxi Formation in Taohaiyingzi area
1—第四系覆盖 (Quaternary); 2—泥岩 (mudstone); 3—粉砂质泥岩 (silty mudstone); 4—泥质粉砂岩 (muddy siltstone); 5—粉砂岩 (siltstone); 6—细砂岩 (fine sandstone); 7—粗砂岩 (grit)

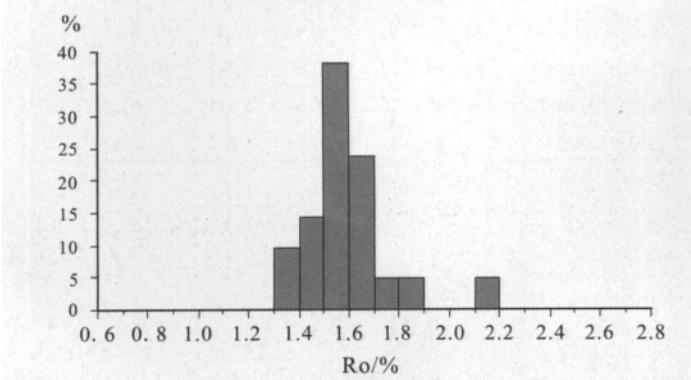


图 3 陶海营子地区林西组露头泥岩镜质体反射率直方图
Fig. 3 Histogram of vitrinite reflectance of mudstone from Linxi Formation in Taohaiyingzi area

向分布图指示成熟度随着深度略有升高的趋势 (图 5)。研究中还对鲁 D2 井样品进行了黏土矿物 X 射线衍射测试, 结果表明指证成岩作用阶段的参数伊利石结晶度 (K) 分布在 $0.38\sim0.62^{\circ}$ 之间, 均值为 0.49° , 其中 78.79% 的样品 (26 件) 位于 $0.42\sim0.62^{\circ}$ 之间 (图 5、6、7)。

该区间指示样品处于晚成岩阶段, 相当于 R_o 位于 $2.0\%\sim3.0\%$ 21.21% 的样品位于 $0.42\sim0.25$ 之间, 指示样品位于极低级变质成岩阶段 (R_o 为 $3.0\%\sim4.0\%$), 且伊利石结晶度随着深度增加结晶度减小, 说明其变质程度增加 (图 5)。

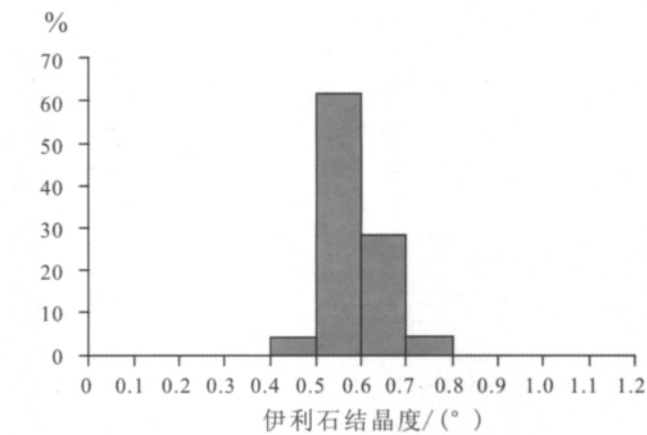


图 4 陶海营子地区林西组露头泥岩伊利石结晶度直方图
Fig. 4 Histogram of illite crystallinity of mudstone from Linxi Formation in Taohaiyingzi area

表 1 陶海营子林西组露头泥岩镜质体反射率和伊利石结晶度数据

Table 1 Data of vitrinite reflectance and illite crystallinity of the mudstone from Linxi Formation in Taohaiyingzi area

样品编号	深度 /m	岩性	$R_o/\%$	伊利石结晶度 (K) /°
ABP1-59TYY1	12.2	灰黑色泥岩	1.43	0.70
ABP1-54TYY2	165.5	灰黑色泥岩	1.8	0.57
ABP1-54TYY1	169.1	灰黑色泥岩	1.51	0.59
ABP1-53TYY2	172.1	深灰色粉砂质泥岩	1.55	0.59
ABP1-53TYY1	174.4	深灰色粉砂质泥岩	1.52	0.54
ABP1-51TYY4	184.4	灰黑色泥岩	1.64	0.59
ABP1-51TYY3	186.8	灰黑色泥岩	1.56	0.61
ABP1-51TYY2	189.2	灰黑色泥岩	1.5	0.57
ABP1-51TYY1	191.6	灰黑色泥岩	1.46	0.63
ABP1-48TYY2	213.4	灰黑色泥岩	2.14	0.50
ABP1-48TYY1	214.8	灰黑色泥岩	1.48	0.48
ABP1-42TYY1	231.1	灰黑色粉砂质泥岩	1.61	0.52
ABP1-38TYY1	241.5	灰黑色泥岩	1.35	0.55
ABP1-29TYY1	317.2	灰黑色粉砂质泥岩	1.53	0.53
ABP1-26TYY1	325.2	灰黑色泥岩	1.72	0.61
ABP1-21TYY1	458.2	灰黑色粉砂质泥岩	1.65	0.60
ABP1-17TYY1	483.8	灰黑色粉砂质泥岩	1.37	0.63
ABP1-15TYY1	487.3	灰黑色粉砂质泥岩	1.57	0.56
ABP1-13TYY1	532.7	灰黑色粉砂质泥岩	1.62	0.58
ABP1-11TYY2	559.5	深灰色粉砂质泥岩	1.62	0.63
ABP1-11TYY1	563.5	深灰色粉砂质泥岩	1.57	0.53

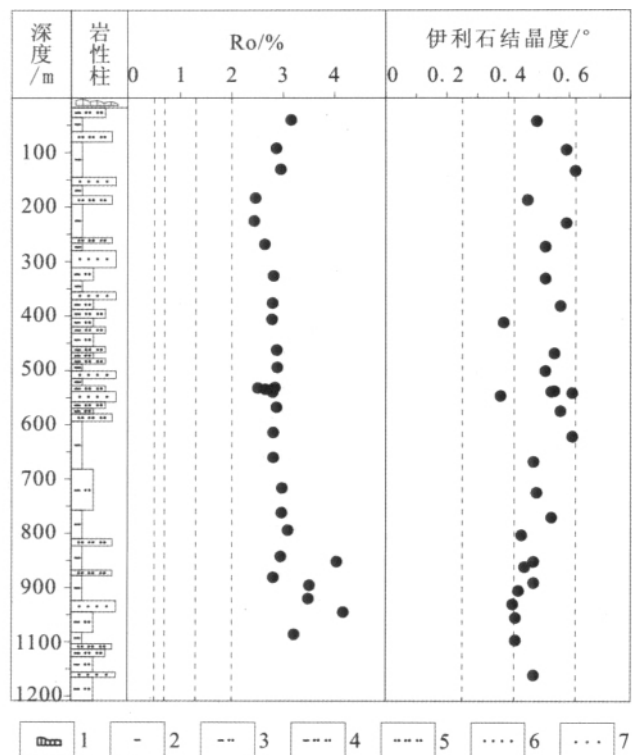


图 5 鲁 D2 井林西组泥岩镜质体反射率和伊利石结晶度纵向分布图

Fig. 5 Vertical distribution of vitrinite reflectance and illite crystallinity of the mudstone from Linxi Formation in L-D2 well

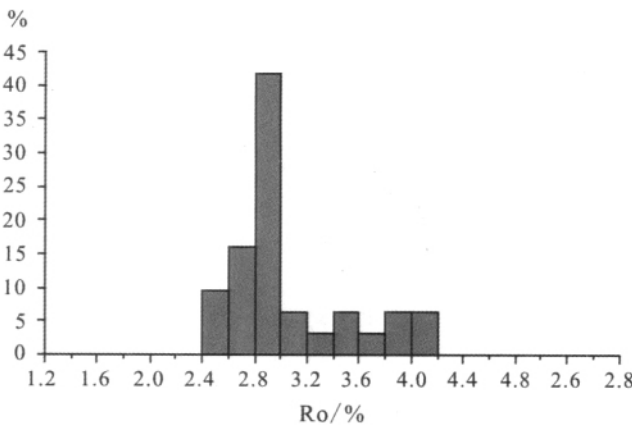


图 6 鲁 D2 井林西组泥岩镜质体反射率直方图

Fig. 6 Histogram of vitrinite reflectance of mudstone from Linxi Formation in L-D2 well

3 讨论

综合陶海营子地区林西组暗色泥岩的剖面露头和地质钻孔样品的分析,认为本区林西组暗色泥页岩发生了浅变质,处于晚成岩阶段,有机质热演化程度为高成熟至过成熟,不利于生油,而有利于生气.研究认为本区林西组具有良好的页岩气勘探前景.

表 2 鲁 D2 井林西组泥岩镜质体反射率和伊利石结晶度数据

Table 2 Data of vitrinite reflectance and illite crystallinity of the mudstone from Linxi Formation in L-D2 Well

井号	深度 /m	岩性	TOC/%	Ro/%	伊利石结晶度 /°
鲁 D2	42.5	泥岩	0.93	3.15	0.49
鲁 D2	94.6	泥岩	0.95	2.86	0.59
鲁 D2	133.0	泥岩	1.11	2.95	0.62
鲁 D2	186.0	泥岩	0.48	2.46	0.46
鲁 D2	228.0	泥岩	0.52	2.43	0.59
鲁 D2	271.0	泥岩	0.49	2.64	0.52
鲁 D2	329.0	粉砂质泥岩	0.85	2.81	0.52
鲁 D2	379.0	泥岩	0.95	2.79	0.57
鲁 D2	409.3	粉砂质泥岩	0.70	2.78	0.39
鲁 D2	465.0	粉砂质泥岩	0.74	2.87	0.55
鲁 D2	497.0	粉砂质泥岩	0.57	2.88	0.52
鲁 D2	543.0	粉砂质泥岩	0.15	2.79	0.38
鲁 D2	534.0	粉砂质泥岩	0.37	2.83	0.55
鲁 D2	535.0	粉砂质泥岩	0.49	2.50	0.54
鲁 D2	538.0	粉砂质泥岩	0.52	2.65	0.61
鲁 D2	571.0	粉砂质泥岩	0.66	2.86	0.57
鲁 D2	617.3	灰黑色泥岩	1.04	2.80	0.61
鲁 D2	663.4	深灰色泥岩	0.94	2.80	0.48
鲁 D2	720.0	深灰色粉砂质泥岩	0.82	2.97	0.49
鲁 D2	765.5	黑灰色泥质粉砂岩	0.56	2.96	0.54
鲁 D2	798.0	灰黑色泥岩	0.63	3.08	0.44
鲁 D2	846.5	灰黑色泥岩	0.91	2.94	0.48
鲁 D2	856.0	灰黑色泥岩	1.47	4.03	0.45
鲁 D2	885.0	灰黑色泥岩	1.22	2.80	0.48
鲁 D2	899.6	灰黑色泥岩	0.73	3.50	0.43
鲁 D2	924.0	粉砂质泥岩	0.50	3.48	0.41
鲁 D2	949.0	粉砂质泥岩	1.41	4.16	0.42
鲁 D2	990.0	泥岩	0.76	3.20	0.42

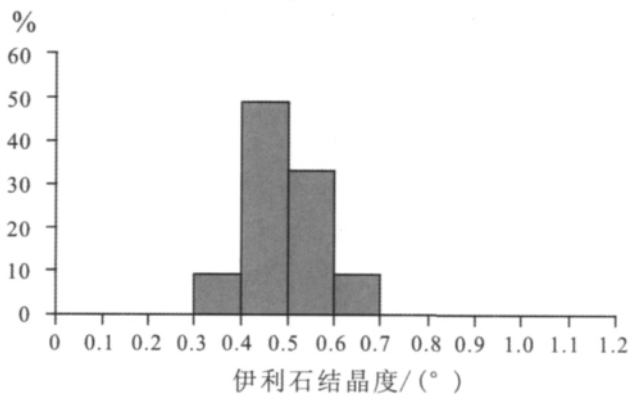


图 7 鲁 D2 井林西组泥岩伊利石结晶度直方图

Fig. 7 Histogram of illite crystallinity of mudstone from Linxi Formation in L-D2 well

参考文献:

- [1] 张抗. 中国大北方上古生界油气勘探新领域(代序)[J]. 地质通报, 2011, 30(3): 803—810.
- [2] 张永生, 王延斌, 卢振权, 等. 松辽盆地及外围地区石炭系—二叠系烃源岩的特征[J]. 地质通报, 2011(21): 214—220.
- [3] 赵亮亮, 朱占平, 王德海, 等. 内蒙古索伦地区辉长岩侵入体对上二叠统林西组烃源岩的影响[J]. 地质与资源, 2011, 20(3): 205—209.
- [4] 和政军, 刘淑文, 任纪舜, 等. 内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世沉积演化及构造背景[J]. 中国区域地质, 1997, 16(4): 68—74.
- [5] 李福来, 曲希玉, 刘立, 等. 内蒙古东北部上二叠统林西组沉积环境[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 265—272.
- [6] 王五力. 内蒙古昭乌达盟上二叠统陶海营子组的叶肢介化石[J]. 古生物学报, 1984, 23(1): 124—131.
- [7] 郝芳, 陈建渝. 可作为有机相指标的镜质体反射率[J]. 地质科技情报, 1988, 7(4): 111—117.
- [8] Waples D W. Time and temperature in petroleum formation: Application of Lopatin's method to petroleum exploration [J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(6): 916—926.
- [9] 王河锦. 关于伊利石结晶度 Kübler 指数的误差计算[J]. 地质论评, 1998, 44(3): 328—335.
- [10] 焦玉国, 李景坤, 乔建华, 等. 伊利石结晶度指数在岩石变质程度研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 41—43.
- [11] 秦建中, 腾格尔, 杨琦, 等. 川东地区海相高演化层系的成熟度指标研究[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 208—213.
- [12] 秦建中, 李志明, 腾格尔. 中国南方高演化海相层系的古温标[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 608—618.
- [13] 丁秋红, 陈树旺, 郑月娟, 等. 大兴安岭地区突泉盆地侏罗系充填序列及暗色泥岩发育特征[J]. 地质与资源, 2010, 19(3): 203—207.