

文章编号:1009-3850(2016)02-0081-06

辽东湾地区辽中凹陷东营组烃源岩评价

黄雪峰¹, 吴伟¹, 冯磊¹, 孔保平², 李宣霖³

(1. 河南理工大学, 河南 焦作 454003; 2. 郑煤集团超化煤矿, 河南 郑州 450000; 3 内蒙古包头鑫达黄金矿业有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

摘要:依据烃源岩地球化学实验手段和油气地化理论,对辽东湾地区辽中凹陷东营组东二段(Ed^2)和东三段(Ed^3)地层进行了有机地化分析。在实验获取总有机碳(TOC)、生烃潜量($S_1 + S_2$)、氢指数(I_H)、氢碳比(H/C)、氧碳比(O/C)、最大热解峰温(T_{max})、镜质体反射率(Ro)等有机地化参数的基础上,对有机质丰度、类型、成熟度等进行了系统分析,同时对东营组烃源岩进行了综合评价。研究表明,东二段 $S_1 + S_2$ 集中在 $0 \sim 3 \text{ mg/g}$, TOC集中在 $0\% \sim 1.5\%$;东三段 $S_1 + S_2$ 集中分布在 $4 \sim 9 \text{ mg/g}$ 之间, TOC集中分布在 $1\% \sim 1.25\%$ 。东二段有机质类型主要是III型,东三段有机质类型为II₁、II₂型。东二段 $Ro < 0.5$,东三段 $Ro > 0.5$,并且随着深度的增加东三段烃源岩 Ro 相应的增加。 T_{max} 随着深度的增加呈现出先增加后减少的异常现象,该种异常现象出现的原因与烃源岩有机质类型和有机质丰度之间存在很大关联。

关键词:烃源岩;有机质丰度;有机质类型;成熟度

中图分类号:TE121.1⁺.12

文献标识码:A

引言

辽东湾地区地层自下而上发育古近系孔店组、沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组,以及第四系平原组。前人研究成果表明,辽东湾地区存在多套烃源岩,包括沙河街组(沙一段-沙二段、沙三段)和东营组(东二段、东三段)以及尚未确定的沙四段-孔店组^[1-4]。沙三段烃源岩以暗色泥岩、页岩和褐色油页岩为主;沙一段烃源岩类型有暗色泥岩、灰褐色油页岩、钙质页岩、泥灰岩及生物碎屑灰岩;东二、三段烃源岩主要为暗色泥岩^[4,5]。

辽中凹陷的沉降经历两个主要构造沉降期:沙三段沉积时期的快速断陷和东三段沉积时期的快速断陷。沙三段沉积期辽中凹陷以浅湖、半深湖为主。沙二段-沙一段沉积时期为稳定的热沉降阶段,湖盆范围扩大,但水体变浅。沉积以滨浅湖相、浅湖相为主。东三段沉积时期以滨浅湖、浅湖、半深

湖为主,沉积巨厚的暗色泥岩。东二段沉积时期主要以三角洲沉积为主,也发育有厚层暗色泥岩^[2,5]。前人研究结果表明,沙河街组烃源岩以及东三段烃源岩有机质含量高、成熟度高,在研究区对于油气成藏的贡献已经得到证实。东二段暗色泥岩是否是烃源岩,在多期成藏过程中贡献如何等问题仍然存在很大争议。笔者利用岩石热解、有机碳分析、元素分析等有机地球化学手段对东营组烃源岩进行综合评价。

1 区域地质条件

辽东湾地区指渤海东北部海域,是下辽河盆地向渤海海域的自然延伸,面积为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,为渤海湾盆地的一个次级构造单元。辽东湾地区古近系划分为三凹两凸共5个次级构造单元,自西向东依次是辽西凹陷、辽西低凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷,各构造单元均呈北东-南西向展布(图

收稿日期:2014-10-17; 改回日期:2015-10-10

作者简介:黄雪峰(1989-),男,硕士研究生,主要从事油气地质和含油气盆地分析的综合研究。E-mail:hpu_10@163.com

1)。其中辽中凹陷面积最广、古近系厚度最大、埋藏最深,为3个凹陷中规模最大者^[6-8]。古近系东营组时期,东部以陡坡断裂坡折带与辽东凸起相连,西部以同沉积缓坡坡折带与辽西凸起过渡,辽中凹陷长约200km,宽约30km,其古近系沉积厚度达6000m。凹陷受断层影响可分为北、中、南3个次级洼陷,北洼和中洼为东大断西超的半地堑,而南洼为双向上超的凹陷。其中南洼以生油为主,北洼则以生气为主^[9-11]。

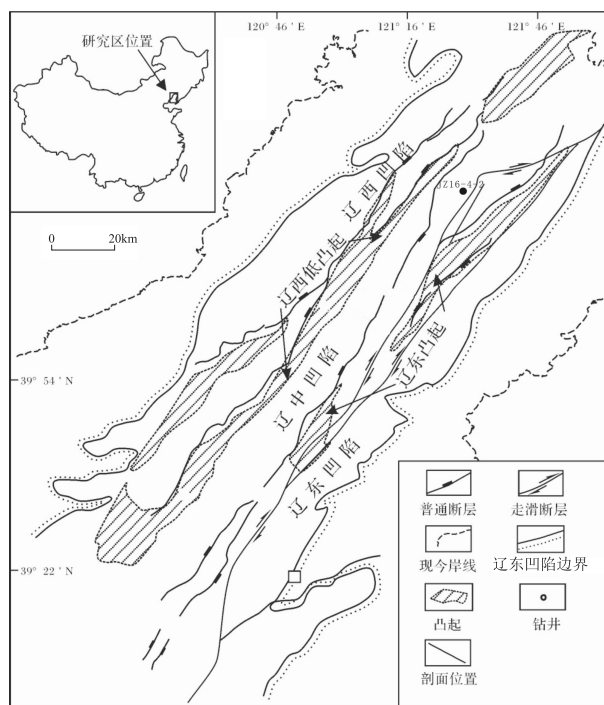


图1 辽东湾拗陷区域构造图

Fig.1 Tectonic setting of the Liaozhong depression, Liaodong Bay

2 实验方法和样品采集

从JZ16-4-2井取得43块泥岩样品。根据实验需求按照国标对所有样品进行集中处理^[12-15]。按照岩石热解分析、总有机碳分析等对样品粒度的要求,对样品研磨后先过80目筛,得到粒径小于0.2mm能够用于有机碳分析的样品。再将剩余的样品过50目筛,得到粒径小于0.5mm用于岩石热解分析的颗粒。元素分析对粒径的要求比较小,可以把剩余的样品混合均匀之后用于该实验。进行镜质体反射率实验之前先对样品进行切片、抛光。

2.1 岩石热解分析

在实验前先分析两个约100g的同一标样,前期处理的样品装入干锅,放入岩石热解分析仪中,实

验仪器为中石油勘探开发研究院新研制的OGE-VI型热解仪。样品在氮气流加热过程中,排出游离的气态烃、液态烃和热解烃,由氢火焰离子化鉴定器检测,用热导鉴定器检测排出的CO₂,热解后的残余的有机质加热氧化生成的CO₂,也由热导鉴定器检测^[12]。然后得到各种我们需要的热解参数,分别是S₁、S₂、S₃和T_{max}等。

2.2 镜质体反射率测定

测定前选用一块反射率值接近于待测样品的标样来对仪器进行标定,将光片放在MPV-SP型显微光度计的载物台上,对准焦距,用机械移动尺的移动光片在油浸条件下来进行测定。测量的点在光片上会尽可能的均匀分布,测点数在20个以上^[13]。

2.3 总有机碳分析

采用美国力可(LECO)公司生产的CS-400碳硫测定仪分析烃源岩样品中总有机碳含量。前期处理的样品用盐酸除去岩样中的无机碳,在高温氧气流中燃烧,使总有机碳转化成CO₂,经红外检测器检测并给出总有机碳的含量^[14]。

2.4 碳、氢、氧元素分析

利用元素分析仪(VARIO EL III)对样品进行碳、氢、氧元素的测定。在通入氧气的高温燃烧管中,样品有机质中的碳、氢、氮充分催化氧化燃烧分解。除去非检测性气体,含氧分子与裂解管中活性炭接触转换成一氧化碳。被检测的气体由色谱柱或硅胶柱分离,热导检测器检测。有机质中的氧在裂解管中高温裂解反应生成一氧化碳,由热导检测器或红外检测器检测^[15]。

JZ16-4-2井所取的泥岩样测试统计结果包括所测项目在某一层位的最大值和最小值以及在该层位的平均值,统计结果如表1。

3 烃源岩评价

烃源岩评价主要从3个方面进行:有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度。有机质类型决定了烃源岩的成烃能力和性质,控制着烃源岩产物的组成成分。有机质的丰度和生烃潜量能够反映出烃源岩内的有机质多少,显示出烃源岩的潜在生烃能力。有机质丰度和类型只能代表生成油气的物质基础的好坏,不等于生成油气;有机质只有达到一定的热演化程度后才会大规模地生成烃类^[16-17]。

3.1 有机质丰度

辽中凹陷东二下段生烃潜量(S₁ + S₂)集中分布

表 1 样品测试结果统计

Table 1 Statistics of the analytical results of the organic geochemical parameters for the mudstone samples from the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

层位	总有机 碳含量 TOC (%)		游离烃 S ₁ (mg/g)	热解烃 S ₂ (mg/g)	S ₁ + S ₂ (mg/g)	氢指数 I _H (%)	最大热 解峰温 T _{max} (°C)	镜质体 反射率 Ro (%)	氢碳比 H/C	氧碳比 O/C
东二 上段	范围	0.26 ~ 1.27	0.02 ~ 0.13	0.10 ~ 1.82	0.12 ~ 1.94	38.46 ~ 143.3	405 ~ 435	0.44 ~ 0.48	0.82 ~ 0.95	0.16 ~ 0.2
	平均	0.63	0.06	0.58	0.64	77.8	422.1	0.46	0.89	0.16
东二 下段	范围	0.61 ~ 1.66	0.11 ~ 0.50	0.83 ~ 7.17	1 ~ 7.61	92.7 ~ 343.06	429 ~ 438	0.38 ~ 0.64	0.83 ~ 1.17	0.1 ~ 0.17
	平均	1.14	0.28	0.43	2.72	190.2	432.4	0.48	0.14	0.14
东三 段	范围	0.84 ~ 2.35	0.38 ~ 4.33	1.91 ~ 7.90	2.29 ~ 11.27	137.8 ~ 427.0	427 ~ 443	0.4 ~ 0.73	0.69 ~ 1.27	0.08 ~ 0.17
	平均	1.67	1.91	4.75	6.67	287.5	435.3	0.54	1.04	0.12

在 0~3mg/g 之间,东三段生烃潜量(S₁ + S₂)集中分布在 4~9mg/g 之间;东二下段总有机碳(TOC)集中分布在 0%~1.5% 之间,东三段总有机碳(TOC)集中分布在 1%~2.5% 之间。根据中国陆相烃源岩有机质丰度评价标准^[18]可知,东二下段烃源岩主要为差烃源岩,部分层位存在好烃源岩(图 2A),东三段主要是好烃源岩以及最好烃源岩(图 2B)。根据生烃潜量和总有机碳的相对关系,总体评价为东三段有机质丰度比东二下段好(图 3)。

3.2 有机质类型

辽中凹陷有机质类型的划分依靠热解氢指数(I_H)和最高热解峰温(T_{max})两个参数之间的相互关系,同时结合氢指数和氧指数彼此之间的关系来进行。利用 I₀ - I_H图(图 4A)和 T_{max} - I_H图版(图 4B)进行有机质类型的分析,从图 4 中可知辽中凹陷东二下段有机质类型主要为 III 和 II₂ 型,东三段有机质类型主要为 II₁ 和 II₂ 型。总体来看,东三段有机

质类型比东二下段要好,生油潜能高。

3.3 有机质成熟度

烃源岩热演化程度的评价,主要采用镜质体反射率(Ro,%)法和岩石热解峰温(T_{max},°C)法。根据镜质体反射率(Ro)和深度的相互关系得出,东二下段 Ro 主要小于 0.5%,还未进入成熟阶段。东三段随着深度的增加 Ro 也随着增加,3300m 以下的层位全部进入成熟阶段,如图 5A 所示。根据最大热解峰温和深度的关系图可知,东二下段 T_{max} 大于 435℃ 的样品占 17%,表明只有少量样品进入成熟阶段。东三段 T_{max} 大于 435℃ 的样品占 55%,超过一半的测试样品进入成熟阶段,没有进入高成熟阶段的样品(图 5)。

本文利用 IES 软件对取样井进行盆地模拟得出了与上面类似的结果。东三段烃源岩大部分已经进入成熟阶段,部分层位进入高成熟阶段;东二下段整体都处于未成熟阶段(图 6)。

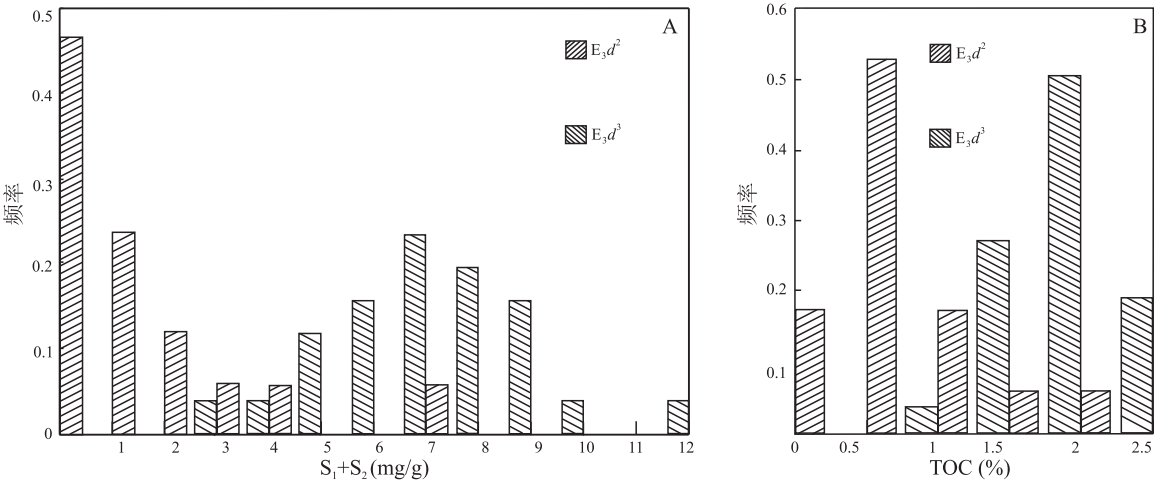


图 2 辽中凹陷 JZ16-4-2 井东二下段、东三段 S₁ + S₂ 和 TOC 频率分布直方图

Fig. 2 Frequency histograms of S₁ + S₂ and TOC for the mudstone samples from the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

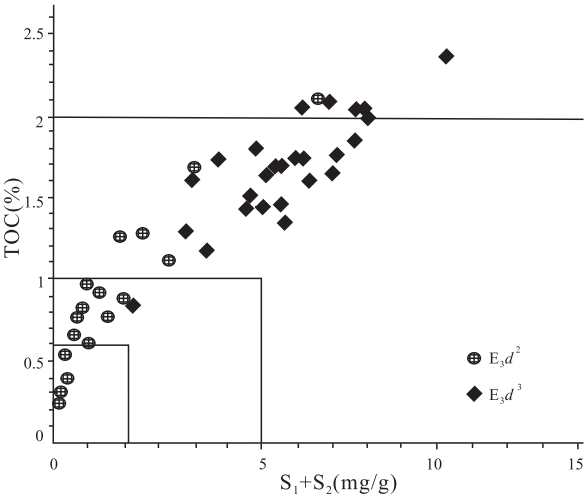


图3 辽中凹陷 JZ16-4-2 井东二段、东三段 $S_1 + S_2$ 和 TOC 关系图

Fig. 3 TOC vs. $S_1 + S_2$ for the mudstone samples from the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

4 讨论

根据陆相烃源岩有机质丰度评价标准,东二段主要是差烃源岩和较好烃源岩,东三段是好烃源岩和最好烃源岩。依据镜质体反射率(R_o)和深度的相互关系,东二段烃源岩还未进入成熟阶段,东三段部分层位已经进入成熟阶段, R_o 随着深度的增加而增大。最大热解峰温(T_{max})也是用以评价烃

源岩成熟度的指标,但该井所取样品测试结果表明,随着深度的增加, T_{max} 先增大后减小。这与理论上“随着深度的增加 T_{max} 增大”是不一致的。

根据图 2、图 3 分析认为, T_{max} 在东三段减小可能与有机质类型以及有机质的丰度之间存在一定的联系。东三段有机质类型主要为 II_1 、 II_2 型,东二下段为 III 型,同时东三段有机质丰度比东二下段高。 T_{max} 代表的是干酪根热解 S_2 峰的最大热解生烃强度处所对应的温度。相同成熟度的烃源岩,不同类型有机质显微组分的生烃能力有差别。 II 型有机质中树脂体生烃潜力大,成烃门限和成烃高峰温度均较低,这与东三段高有机质丰度、低 T_{max} 值相符; III 型干酪根中惰质体成烃高峰温度较高,这与东二下段低有机质丰度、高 T_{max} 值相符。综上所述,取样井 T_{max} 值先增大后减小的异常现象可能与有机质类型和丰度有关。

5 结论

本文通过对辽中凹陷东营组烃源岩地球化学分析,主要得出以下结论:

(1)东二下段总有机碳 (TOC) 含量主要分布在 $0\% \sim 1.5\%$ 之间,生烃潜量($S_1 + S_2$) 主要集中在 $0 \sim 3\text{mg/g}$ 之间,表现出中等烃源岩特征。但东二下段 $R_o < 0.5\%$,处于未成熟阶段,最终评价为差烃源岩;

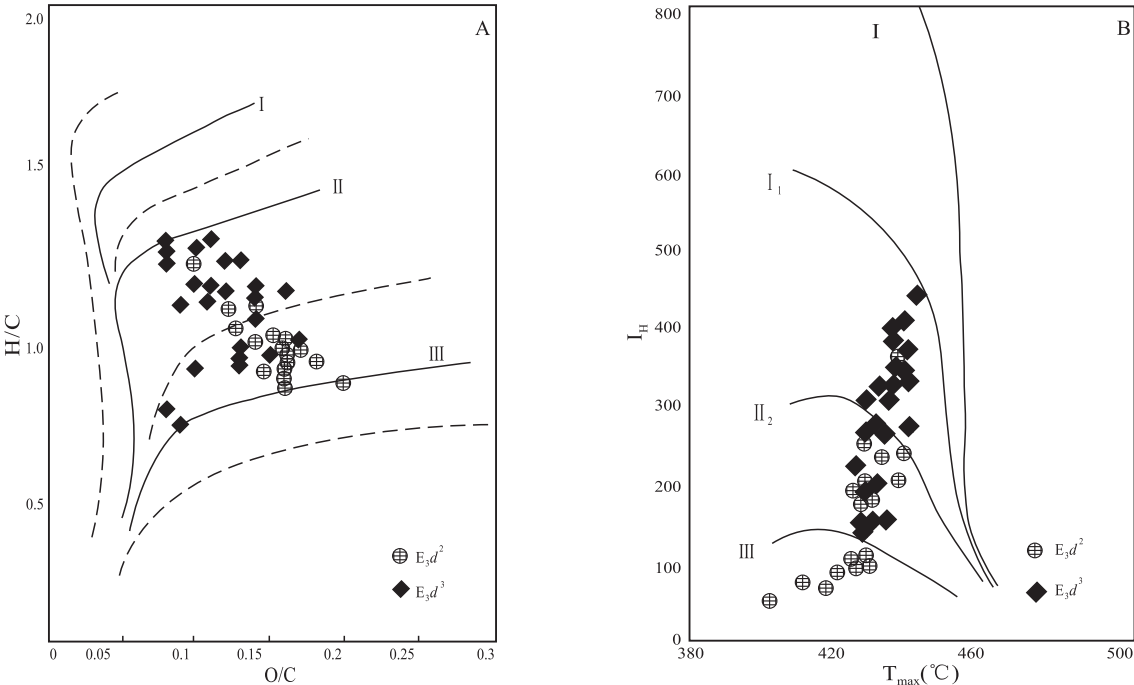


图4 辽中凹陷 JZ16-4-2 井东二段、东三段烃源岩有机质类型划分

Fig. 4 Organic matter types in the mudstone samples from the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

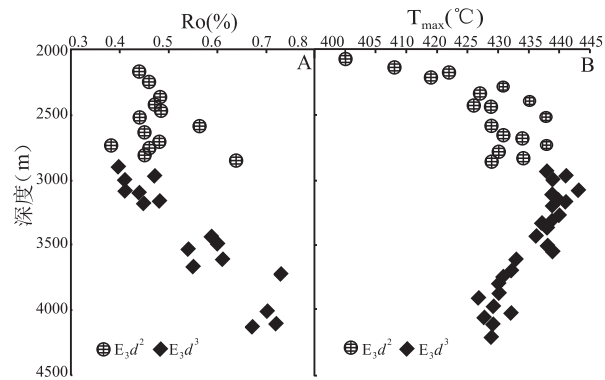


图 5 辽中凹陷 JZ16-4-2 井东二段、东三段 R_o 、 T_{max} 值随深度变化图

Fig. 5 Variations in R_o and T_{max} values as the function of depths of the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

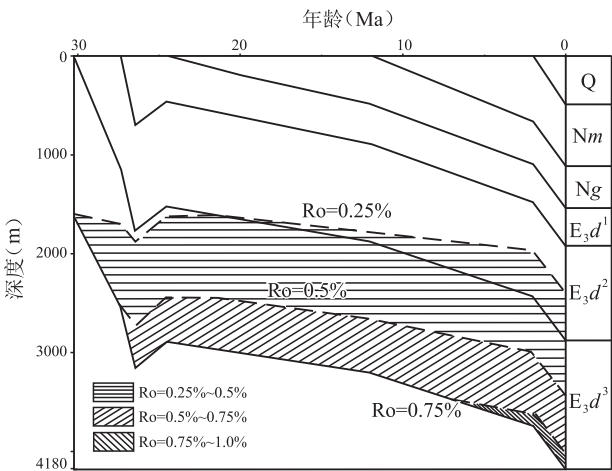


图 6 辽中凹陷 JZ16-4-2 井烃源岩热演化模拟

Fig. 6 Model showing the thermal evolution of the source rocks from the JZ16-4-2 well in the Liaozhong depression

东三段总有机碳(TOC)含量主要集中在1%~2.5%之间,生烃潜量($S_1 + S_2$)集中分布在4~9mg/g范围内,并且 $R_o > 0.5\%$,进入成熟阶段,表明东三段主要是好烃源岩。

(2)根据热解氢指数(I_H)和最高热解峰温(T_{max})两个参数以及氢指数(I_H)和氧指数(I_O)之间的关系,东二段有机质类型为III、II₂型,东三段有机质类型主要为II₁、II₂型,干酪根显微组分中以壳质组含量最高,生油潜能大。

(3)对辽中凹陷东营组有机质丰度、类型、成熟度等综合分析认为,东三段烃源岩为好烃源岩,成熟度比较高。东二段为差烃源岩。

(4) T_{max} 值先增大后减小的异常现象可能与有

机质类型和丰度有关。

参考文献:

[1] 梁建设,张功成,苗顺德,等.辽东湾辽西凹陷沙河街组烃源岩评价及油源研究[J].沉积学报,2012,30(4):739-746.

[2] 姜雪,邹华耀,庄新兵,等.辽东湾地区烃源岩特征及其主控因素[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(2):31-37.

[3] 左银辉,邱楠生,李建平,等.渤海盆地辽东湾地区古近系烃源岩成熟演化模拟[J].现代地质,2009,23(4):746-754.

[4] 庞雄奇,郭永华,姜福杰,等.渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J].石油与天然气地质,2009,30(4):393-397.

[5] 周心怀,刘震.辽东湾断陷油气成藏机理[M].北京:石油工业出版社,2009.4-11.

[6] 朱筱敏,董艳蕾,杨俊生,等.辽东湾地区古近系层序地层格架与沉积体系分布[J].中国科学(D辑:地球科学),2008,S1:1-10.

[7] 吴伟,林杨松,周心怀,等.辽中凹陷古近系东营组高精度层序地层及沉积体系分析[J].地质科技情报,2011,30(1):63-70.

[8] 刘恩然,辛仁臣,李建平.辽东湾西北部A区沙一、二段钻井层序地层和沉积相分析[J].沉积与特提斯地质,2014,34(2):9-17.

[9] 朱伟林,米立军,龚再生,等.渤海海域油气成藏与勘探[M].北京:科学出版社,2009.7-10.

[10] 吴小红,吕修祥,加东辉,等.辽中凹陷东营组重力流发育机制及沉积构成[J].西南石油大学学报(自然科学版),2009,31(4):18-23.

[11] 蒋恕,蔡东升,朱筱敏,等.辽中凹陷中深层储层主控因素研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(5):35-37.

[12] 郭立言,张振苓,等. GB/T18602-2012,岩石热解分析[S].中国国家标准化管理委员会,2012.

[13] 中国石油勘探开发研究院,等. SY/T 5124-2012,沉积岩中镜质体反射率测定方法[S].石油标准(SY),2012.

[14] 中国石油勘探开发研究院. GB/T 19145-2003,沉积岩中总有机碳的测定[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2003.

[15] 中国石油勘探开发研究院实验中心. GB/T 19143-2003,岩石有机质中碳、氢、氧元素分析方法[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2003.

[16] BEER R F. Radioactivity and organic content of some Paleozoic shale [J]. AAPG Bulletin,1979,29(1):1-22.

[17] 逯向阳. 大民屯凹陷烃源岩有机质丰度的恢复[J].沉积与特提斯地质,2008,28(4):14-17.

[18] 黄第藩,李晋超,周翥虹,等. 陆相有机质演化和成烃机理[M].北京:石油工业出版社,1984.82-94.

Assessment of the source rocks from the Dongying Formation in the Liaozhong depression, Liaodong Bay

HUANG Xue-feng¹, WU Wei¹, Feng Lei¹, KONG Bao-ping², LI Xuan-lin³

(1. *Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, Henan, China*; 2. *Zhengzhou Coal Industry (Group) Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China*; 3. *Xinda Gold Mining Industry Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia, China*)

Abstract: The present paper deals with the organic geochemical analysis and assessment of the source rocks from the lower submember of the 2nd member of the Dongying Formation (Ed^{2-1}) and the 3rd member of the Dongying Formation (Ed^3) in the Liaozhong depression, Liaodong Bay, with the emphasis on organic matter abundance, type and maturity based on the organic geochemical parameters such as total organic carbon (TOC), hydrocarbon potential ($S_1 + S_2$), hydrogen index (I_H), hydrogen/carbon ratios (H/C), oxygen/carbon ratios (O/C), maximum temperatures of thermolysis (T_{max}) and vitrinite reflectance (Ro). The analytical results indicate that the source rocks from the lower submember of the 2nd member of the Dongying Formation (Ed^{2-1}) display 0 to 3 mg/g for $S_1 + S_2$, 0% to 1.5% for TOC, $Ro < 0.5\%$ and III to II₂ types of organic matter, indicating immature or poor source rocks. The source rocks from the 3rd member of the Dongying Formation (Ed^3) display 4 to 9 mg/g for $S_1 + S_2$, 1% to 1.25% for TOC, $Ro < 0.5$ and II₁ to II₂ types of organic matter, indicating mature or better source rocks.

Key words: source rock; organic matter abundance; organic matter type; maturity