

Experimental Evaluation of Hydrocarbon Source Rocks in the Third Member of Shahejie Formation, Beitang Depression

Aiying Yang

College of Earth Sciences, Yangtze University, Jinzhou Hubei
Email: 746672140@qq.com

Received: May 1st, 2019; accepted: May 15th, 2019; published: May 22nd, 2019

Abstract

According to the source rock samples of the Third Member of Shahejie formation in Beitang Depression, the organic matter abundance, types and maturity were discussed. The organic geochemical characteristics of source rocks in the Third Member of Shahejie formation were systematically analyzed through effectively determining the paralytic of rocks, organic carbon, chloroform asphalt "A", vitrinite reflectance of sedimentary rocks, kerogen macerals and types. The results show that the thickness of source rocks in the Third Member of Shahejie formation is relatively large with nearly 1000 - 1500 m. The TOC content is 0.4% - 2.0%, and the total content of source rocks is relatively high. The main types of source rocks are type I and type II kerogen, and the organic matter type is better. The lower part of the Third Member of Shahejie formation is the main source rock in Beitang Sag, with high organic matter abundance and ideal conversion efficiency. The content of sapropelic and crustal formations is positively correlated with hydrocarbon generation potential of source rocks, while vitrinite content is inversely correlated with hydrocarbon generation capacity of source rocks. It is further verified that the main source rocks are sapropelic and crustal formations. The main sags of source rocks in the Third Member of Shahejie formation belong to late hydrocarbon expulsion with large hydrocarbon expulsion and good prospects for exploration and development.

Keywords

Beitang Depression, Third Member of Shahejie Formation, Organic Matter Abundance, Organic Matter Type, Source Rock

北塘凹陷沙三段烃源岩特征实验评价

杨爱英

长江大学地球科学学院, 湖北 荆州

摘要

针对北塘凹陷沙三段烃源岩岩样, 从有机质丰度、有机质类型及有机质成熟度三方面, 对岩石热解和有机碳、氯仿沥青“A”、沉积岩镜质体反射率、干酪根显微组分及类型等进行了有效测定, 系统分析了沙三段烃源岩的有机地化特征。研究表明, 沙三段烃源岩厚度可达1000~1500 m, 厚度较大, 有机碳含量(TOC)为0.4%~2.0%, 含量总体较高, 且主要以I、II型干酪根为主, 有机质类型较好。此外, 沙三段下部地层为北塘凹陷的主要生油层, 其有机质丰度较高、转化效率较理想, 腐泥质组和壳质组含量与烃源岩生烃潜力呈正相关, 而镜质组含量和烃源岩的生烃能力呈反相关, 进一步验证主要生烃母岩为腐泥组和壳质组。沙三段烃源岩主要凹陷属于晚期排烃, 且排烃量大, 勘探开发前景良好。

关键词

北塘凹陷, 沙三段, 有机质丰度, 有机质类型, 烃源岩

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

烃源岩评价分析一直是盆地或凹陷油气勘探前景的一项重要工作, 烃源岩生烃能力的差异主要受基底断裂分布和控盆断层活动强度及活动时间的控制, 不同断陷盆地烃源岩的发育还受埋深的影响[1]。

北塘凹陷构造带地理位置上属于渤海湾盆地的黄骅拗陷北部, 其主要烃源岩层位于沙三段(Es3) [2]。该区块勘探开发时期较早, 但由于其地质地化特征及排烃特征等基础研究较匮乏, 目前的探明储量不足总油气资源总量的 20% [3]。

2. 研究区块地质概况

北塘凹陷属于黄骅拗陷的主要油气组成区域, 包括沧县隆起以东、汉沽断裂以南、长芦断裂以北等部分区域[4]。该地区目前临近陆地部分已勘探开发形成了塘沽、北堡等油田, 陆地部分油气勘探开发程度相对较高, 而近海油气勘探开发相关研究较少。

2.1. 构造特征

该地区主要包括三个次级构造单元(北区、中区、南区), 含有汉沽断裂、茶淀 - 新河村断裂、海河断裂及长芦断裂四条主要断裂带[5]。大断裂将每个次级构造单元分开, 界限明显。研究目标工区为北塘凹陷中东部的一级滩海部分, 含有新港、大神堂、蔡家堡等四个正向构造带, 总面积约为 870 km² [6]。工区的构造特征初步分析结果表明, 大断裂对次级构造单元的影响较大, 特别是能够明显影响区域性的沉积作用, 从而通过影响沉积环境、沉积厚度、烃源岩的演化生烃及运移等, 最终主导了该区域的油气成藏及储存[7]。其次, 从局部构造角度分析, 目标工区的塘沽鼻状构造位于北塘与板桥凹陷之间, 发育于

海河断裂上升盘, 构造面积约 70 km², 是长芦 - 北塘地区勘探程度相对较高的主要含油气构造[8]。

2.2. 沉积特征

经过多个阶段的地质沉积作用, 北塘凹陷最终发育形成了三种沉积体系, 包括早期沙三段冲积-浊积沉积体系, 中期沙二、沙一段冲积扇、砂砾滩 - 重力流水道沉积体系, 晚期东营组三角洲沉积体系[9]。从沉积学角度分析, 目标工区的沉积特征具有高低不平、错落起伏的古地形特征, 且由于北塘凹陷紧临黄骅拗陷的主要物源区, 地理优势明显, 沉积沙体发育良好, 形成了“满盆砂”[10]的沉积特点。北塘凹陷的烃源岩主要为古近系的沙三段烃源岩, 且沙三段主要为较深湖 - 深湖相沉积, 岩性以深色泥岩, 粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和砂岩为主, 沉积厚度较大, 一般达 1000~1500 m, 为油气形成的有利区带。对该地区主力烃源岩的系统评价, 对该地区油气藏和油气分布规律的研究具有一定的现实意义。

3. 烃源岩特征实验评价及分析

烃源岩通常是指具有生成油气资源或者已经生成油气的岩石[11], 因此, 对目标区块烃源岩地质化及排烃特征的系统研究具有重要的意义。基于北塘凹陷沙三段获取的岩样及地质勘探等资料, 从有机质丰度、有机质类型及有机质成熟度三个主要方面, 并通过运用 H/C 实验方法对目标工区的烃源岩特征进行了系统的分析。

3.1. 有机质丰度

有机质是烃源岩最终形成油气的物质基础, 一般认为有机质丰度与烃源岩的有效体积的有效乘积看作有机质的有效含量[12]。因此, 有机质丰度被看作是烃源岩评价的最基本的参数之一, 主要通过氯仿沥青“A”、有机碳含量(TOC)、热解生烃潜量等一系列参数进行评价。

1) TOC 含量测定

北塘凹陷沙三段烃源岩样品的 TOC 含量分布频率(图 1)。从图中结果可看出, 研究目标烃源岩的 TOC 含量相对较高, 为 0.4%~2.0%, 其中 TOC 大于 1.0%部分占比约为 62%, 0.6~1.0%部分占比为 26%。此外, 纵向上看, Es₂³、Es₄³和 Es₅³的 TOC 较高, 且 TOC 大于 1%的样品的比例明显较高, Es₁³和 Es₃³明显较低, 表现出了较强的规律性。

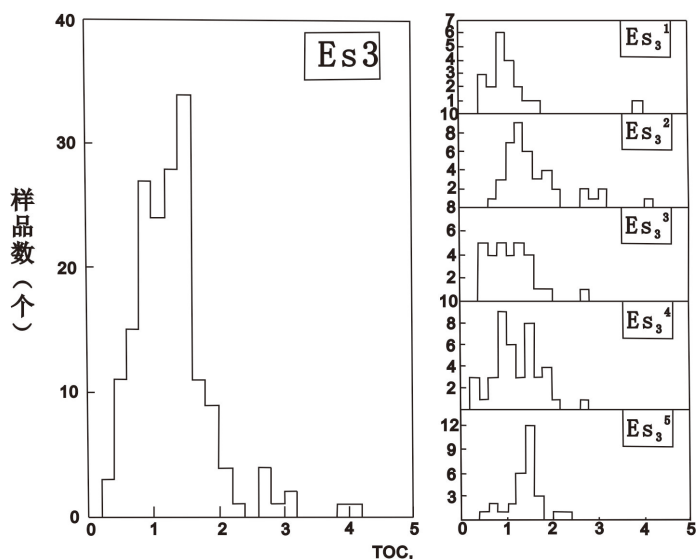


Figure 1. Frequency chart of organic carbon content in source rocks of Shahejie formation, Beitang depression
图 1. 北塘凹陷沙三段烃源岩有机碳含量分布频率图

2) 氯仿沥青“A”和总烃含量

基于现场获取的多个烃源岩原样，采用氯仿抽提法，进行了氯仿沥青“A”测试，氯仿沥青“A”含量及其族组成特征分析结果(表 1)。

Table 1. The mean distribution of the composition of chloroform asphaltenes in source rocks of each member of Shahejie formation, Beitang depression

表 1. 北塘凹陷沙三段各层段烃源岩氯仿沥青族组成均值分布

层位	沥青“A” (%)	总烃含量 (ppm)	平均族组成, %				饱/芳	非/沥	A/TOC	总烃/ 非 + 沥
			饱和烃	芳烃	非烃	沥青质				
Es ₃ ¹	0.1070 (2)	459.6	28.45	14.50	37.65	13.10	1.9	3.3	4.21	0.94
Es ₃ ²	0.1347 (9)	681.7	35.64	14.97	29.76	15.57	2.4	2.1	5.44	1.21
Es ₃ ³	0.0650 (8)	320.3	34.96	14.32	25.26	21.55	2.5	1.6	5.09	1.10
Es ₃ ⁴	0.0703 (14)	391.8	37.91	17.82	25.60	13.56	2.4	2.6	5.38	1.50
Es ₃ ⁵	0.2153 (9)	1318.1	46.62	14.60	27.19	9.28	3.3	3.5	12.90	1.77

注：括号中的数字为样品数；其它各列数据平均值的样样品数相同。

从表 1 中的结果可看出，北塘凹陷沙三段烃源岩的氯仿沥青“A”的含量总体都较高，且大部分烃源岩的氯仿沥青“A”含量均超过了湖相烃源岩的下限标准(0.015%)，总烃含量大多大于 100^{-6} 。因此，可判断沙三段烃源岩属于好 - 较好烃源岩类型。而从氯仿沥青“A”转化率的分布来看，其转化率自上而下呈现出逐渐升高的趋势，应该是由于烃源岩成熟度自上而下逐渐增加特征引起的。

3) 热解生烃潜量(PG)

北塘凹陷沙三段烃源岩的热解生烃潜量分析结果(图 2)。

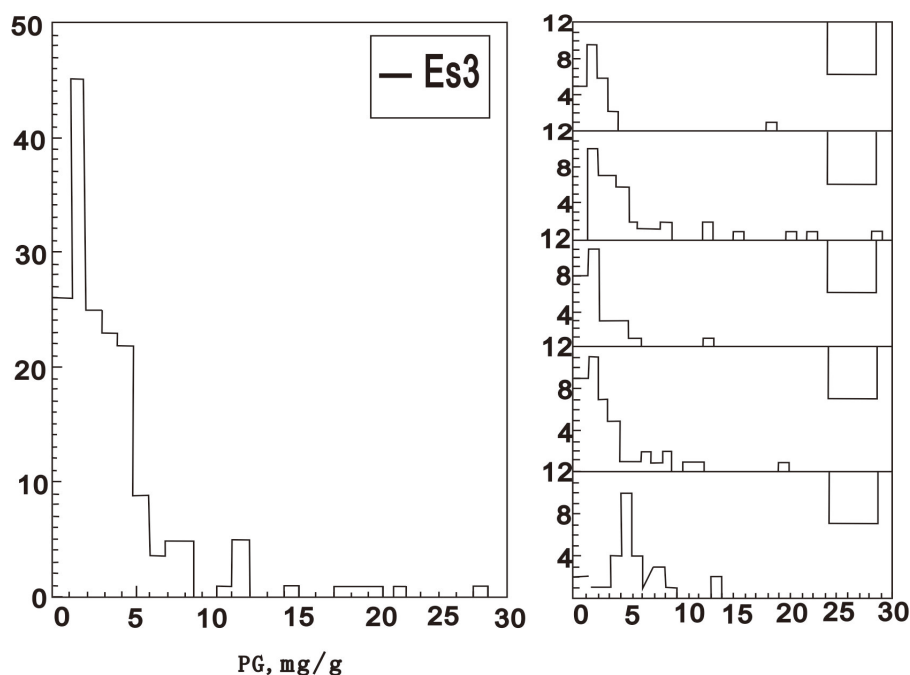


Figure 2. Distribution frequency chart of potential hydrocarbon generation in source rocks of Shahejie formation, Beitang depression

图 2. 北塘凹陷沙三段烃源岩生烃潜量分布频率图

从图 2 结果可看出, 总体上生烃潜量的分布呈现比较离散的特点, 但从纵向上看各层段的分布仍然具有一定的规律, 可概括为以下几点: a) 与烃源岩有机碳含量等的分布特征一样, Es_3^1 、 Es_3^2 的 PG 值较低, 而 Es_3^3 、 Es_3^4 、 Es_3^5 较高; b) Es_3^2 、 Es_3^4 与 Es_3^5 烃源岩的重要差别在于其 PG 值分布的值域范围大, 而 Es_3^5 烃源岩 PG 值的众数范围在 4~6 mg/g, 明显高于 Es_3^1 ~ Es_3^4 烃源岩; c) PG 值与总有机碳间具有一定的正相关关系, 但不同层段其相关性有较大差别: Es_3^2 、 Es_3^3 烃源岩, PG 与 TOC 关系相对离散, 说明同层段有机质的结构特征存在一定差异。而 Es_3^{4+5} 与 TOC 关系较好, 说明区域上其有机质的有机组成较为相似, 横向上具有较好的可比性; d) 平面上, PG 值的分布与其它地球化学参数的分布一样具有明确的环带分布现象, 反映了北塘凹陷烃源岩有机质的分布和富集特征。

4) 烃源岩显微组份含量

北塘凹陷烃源岩显微组分的分类及各显微组分的分布频率分析结果(表 2), 不同层段显微组份平均含量特征(图 3)。

从表 2 及图 3 结果可看出, 北塘凹陷烃源岩显微组份组成同样具有较强的规律性: 1) Es_3^1 ~ Es_3^2 烃源岩的镜质组含量相对较高, 且 Es_3^5 烃源岩, 镜质组相对丰度均不足形态显微态组分含量(TMC)的 40%; 2) 惰性组(I)含量均较低, 一般不足显微组份组成的 10%, 各层段烃源岩差异甚小; 3) 在镜质组丰度相对较低的 Es_3^4 和 Es_3^5 (Es_3^3 下) 烃源岩中, 主要以腐泥组含量>壳质组为特征, 以 Es_3^5 烃源岩的分布尤为典型; 4) 矿物沥青基质的含量分布与 TMC 组成的对应关系良好, 说明矿物沥青基质的形成与有机质的生源输入特征和沉积环境特征有关。

Table 2. Maceral classification and distribution of source rocks in Beitang depression

表 2. 北塘凹陷烃源岩显微组分分类及其分布

显微组分分类		成因	北塘凹陷烃源岩中 显微组分出现频率
组	组分		
镜质组	结构镜质体	高等植物木质纤维 组织凝胶化作用产物	+
	无结构镜质体		+++
	镜屑体		++
壳质组	孢子体	高等植物类脂物质和分泌物	+++
	树脂体		+
	角质体		+
	木栓质体		-
	壳屑体		++
腐泥组	藻类体 A	低等水生生物 及其降解产物	++
	藻类体 B		+++
	沥青质体		+
	矿物沥青基质	有机-无机混合物	+++
惰性组	丝质体	高等植物本质纤维 组织碳化作用的产物	+
	半丝质体		+
	粗粒体		-
	菌类体		-
	惰屑体		+

注: +++主要显微组分; ++常见显微组分; +少见显微组分; -未见或罕见显微组分。

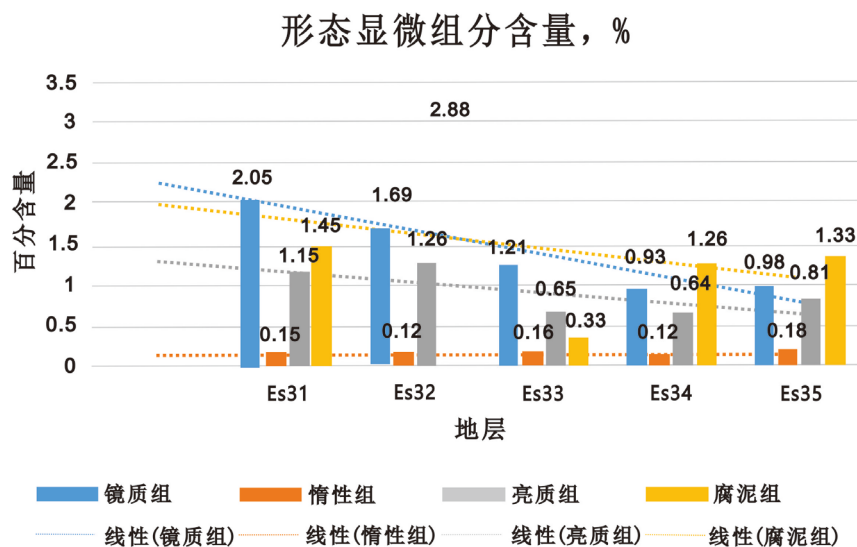


Figure 3. Relationship of relative maceral composition in source rocks of Shahejie formation, Beitang depression
图 3. 北塘凹陷沙三段烃源岩显微组分相对组成的关系

上述研究结果表明,原始生源输入特征和沉积环境特征是制约烃源岩显微组分组成的重要客观因素,烃源岩其它表征参数的差异,均与显微组分组成的不同有关。显微组分的分布特点在另一侧面反映的北塘凹陷烃源岩的有机质的分布特征和富集特点,各层段烃源岩显微组份的含量特征直接反映了它们在有机质丰度特征上的差异。

3.2. 有机质类型

烃源岩质量的评价指标还包括有机质类型,有机质种类不一样,它所具有的生烃潜力也不一样,且最终生成的产物组成也有所差别。导致这些差别的核心原因就是由于有机质的化学结构性质有关,因此有必要展开有机质类型研究[13]。有机质类型研究一般包括几个方面:元素组成、降解率及氢指数分布等。

1) 元素组成

依据元素组成分析结果,可以依据 H/C 和 O/C 原子比的变化过程来区分 I、II、III 型干酪根。北塘凹陷沙三段烃源岩样品的元素组成分析结果(图 4)。从图中结果可看出,沙三段烃源岩的 H/C 原子比为 0.60%~1.50%,众数分布范围为 1.0%~1.40%,O/C 原子比的众数分布范围为 0.08%~0.16%。依据范式的有机质分类方法,可以将其主要类型界定为 II 型有机质。

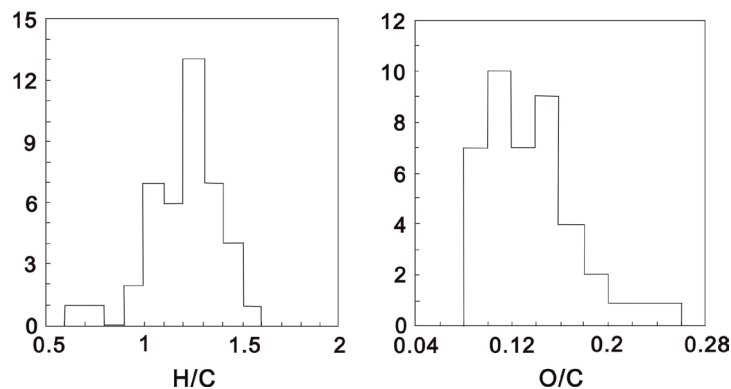


Figure 4. H/C, O/C distribution frequency diagram in source rocks of Shahejie formation, Beitang depression
图 4. 北塘凹陷沙三段烃源岩的 H/C、O/C 分布频率图

2) 降解率、氢指数分布

降解率(D)、氢指数(HI)是反映烃源岩有机质生烃属性的参数,与有机质类型和成熟度有关[14],分析结果如图5所示。结果表明,它们的总体分布特征与H/C原子比相似,且D、HI与H/C值具有较好的相关关系,进一步表明其在表述烃源岩有机质类型时的适用性。此外,实验用烃源岩样品的D值在20~60范围内,总体较高,表现出良好的生烃潜力。

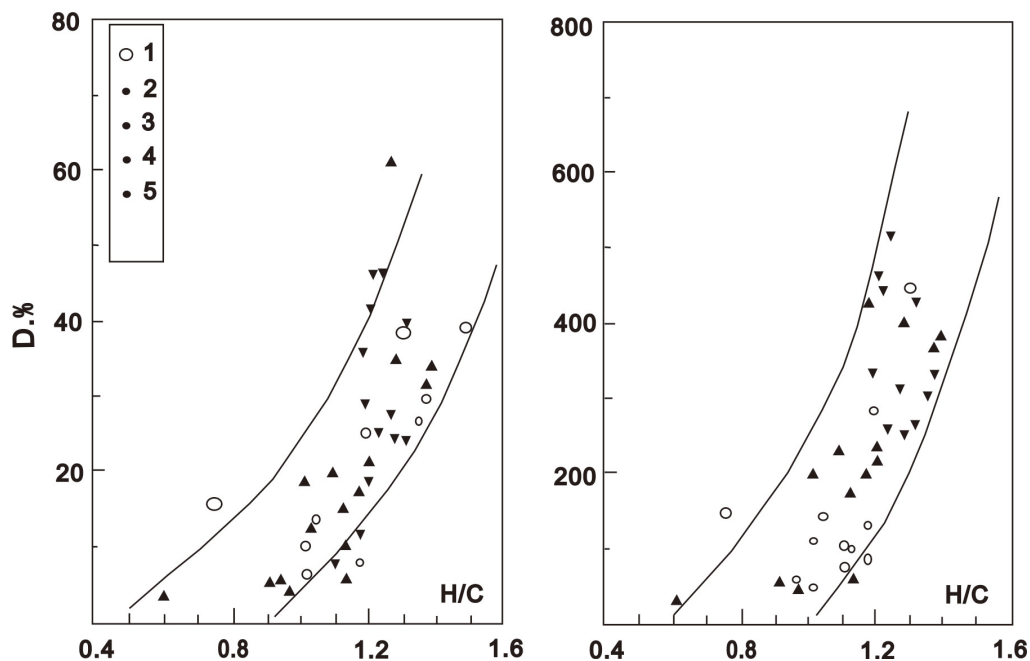


Figure 5. Degradation rate (D), hydrogen index (HI) and H/C value

图5. 降解率(D)、氢指数(HI)与H/C值关系图

3.3. 有机质成熟度

北塘凹陷沙三段烃源岩的有机质成熟度分析结果如表3所示,结果可看出北塘凹陷沙三段烃源岩的有机质成熟度跨越范围较大,从低成熟度到成熟阶段均有体现。

Table 3. Table of thermal evolution parameters of organic matter in hydrocarbon source rocks of Shahejie formation, Beitang depression

表3. 北塘凹陷沙三段烃源岩有机质热演化参数表

井号	井深 m	Ro, %	T _{max} °C	藿烷参数		甾烷参数	MPR
				I1	I2		
塘 34-2	4150.00	1.07	437	0.59	0.60	0.49	--
塘 38	2510.40	0.53	430	0.37	0.37	0.03	0.42
板深 51	3492.00	0.70	438	0.58	0.58	0.37	0.69
板深 51	3709.00	0.70	442	--	--	--	--
塘 20-1	3090.55	0.62	443	0.51	0.49	0.12	0.85
塘 20-1	3104.00	0.62	439	0.50	0.49	0.12	0.91
塘 20-1	3118.00	0.62	444	0.52	0.49	0.14	--

Continued

塘 20-1	3122.53	0.63	440	0.49	0.49	0.14	--
塘 38	2947.00	0.59	433	0.47	0.43	0.10	0.47
塘 38	3093.02	0.62	440	0.54	0.51	0.17	0.63
塘 40	3240.00	0.68	435	--	--	--	1.06
塘 21	3129.00	0.61	438	--	--	--	--
塘 31	3009.80	0.61	432	0.35	0.34	0.11	--
塘 31	3068.70	0.62	441	0.40	0.45	0.12	--
塘 32	3434.00	0.73	437	0.59	0.54	0.27	0.80
塘 38-2	3330.00	0.71	431	--	--	--	--
塘 40	3558.00	0.76	440	0.58	0.53	0.26	0.97
塘 42	3189.90	0.65	428	0.52	0.49	0.19	0.89
塘 42-1	3669.60	0.81	441	--	--	--	--
塘 20	2918.00	0.51	437	--	--	--	--
塘 20	2919.80	0.59	434	0.50	0.47	0.09	0.80
塘 21	3424.00	0.70	441	0.56	0.52	0.36	0.90
塘 21	3426.00	0.71	442	--	--	--	--
塘 30	3461.00	0.74	439	0.55	0.54	0.34	0.61
塘 30	3470.00	0.72	440	0.56	0.55	0.27	--
塘 31	3165.00	0.63	440	0.54	0.59	0.06	0.75
塘 32	3635.00	0.77	443	0.57	0.52	0.41	--
塘 32	3770.00	0.89	441	--	--	--	--
塘 38-2	3650.00	0.77	441	--	--	--	1.25
塘 38-2	3913.00	1.01	444	--	--	--	1.34
塘 40	3655.00	0.79	441	0.54	0.50	0.39	1.19
塘 43	3674.10	0.80	442	0.57	0.60	0.41	1.10
塘 62	3500.78	0.72	--	0.56	0.54	0.39	0.68
塘 62	3503.89	0.72	--	0.58	0.59	0.37	0.69
塘 62	3505.00	0.73	439	0.54	0.58	0.26	0.65
塘 32	3840.00	0.93	445	0.59	0.55	0.41	1.33
塘 32	3915.00	1.02	444	--	--	--	--
塘 32	3995.00	1.04	443	0.59	0.53	0.41	1.22
塘 39-2	3560.00	0.75	439	0.56	0.55	0.35	1.27
塘 39-2	3750.00	0.87	444	--	--	--	--
塘 40	3739.00	0.85	441	0.57	0.55	--	1.37
塘 40	3850.00	0.95	441	0.55	0.54	--	1.18
塘 42-1	3813.00	0.92	441	--	--	--	--

注: I1: C₃₁-藿烷 22S/(22S + 20R); I2: C₃₂-藿烷 22S/(22S + 20R); 甾烷参数: C₂₉-*aaa* 甾烷 20S/(20S + 20R)。

对沙三段烃源岩有机质成熟度主要参数进行深入分析, 可知:

1) 现今埋深基本决定了镜质组反射率(Ro)。随着北塘凹陷烃源岩埋深的增加, 其 Ro 呈连续增加的变化趋势(表 3), 未见明显的转折拐点, 反映了有机质演化程度主要受现今埋藏深度的影响。当埋深 3000 m~3700 m 时, Ro 增加幅度逐渐变小, 仅为 0.15%~0.20%。

2) 现今埋深基本决定了最高热解峰温(T_{\max})。最高热解峰温 T_{\max} 是有机质成熟度指标的基础因素。随着烃源岩埋深的增加(2500 m~4150 m), T_{\max} 值呈现连续性的增大趋势, 未见明显转折点(表 3)。

综合上述分析结果表明, 北塘凹陷沙三段烃源岩有机质的演化程度总体上未达到成熟演化阶段。

4. 结论

1) 北塘凹陷沙三段为该区块主力生烃层位, 具有发育厚度大、有机质丰度高、有机质类型较好的显著特点。同时, I、II 和 III 型有机质的排烃特征具有明显的差别, 且有机质类型越好, 排烃越早、数量越大、效率越高。

2) 北塘凹陷沙三段烃源岩的氯仿沥青“A”含量、有机碳含量、热解生烃潜量等均较高, 整体可归于好-较好烃源岩类型。同时, 目标区块烃源岩属于 II 类烃源岩, 其生烃潜力较好, 有机质的演化程度总体上未超越烃源岩的成熟演化阶段, 且逐渐趋向成熟方向演化。

参考文献

- [1] 吴亚生, 钟大康, 邱楠生, 等. 松南地区断陷层烃源岩生烃能力及主控因素分析[J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 39-43.
- [2] 马杰, 高勇, 邓荣敬, 等. 北塘凹陷沙三段储集层评价及有利相带预测[J]. 石油勘探与开发, 1999(6): 36-38.
- [3] 曲长伟, 林春明, 蔡明俊, 等. 渤海湾盆地北塘凹陷古近系沙河街组三段白云岩储层特征[J]. 地质学报, 2014, 88(8): 1588-1602.
- [4] 柴公权, 杨桦, 鲁凤婷, 等. 北塘凹陷第三系油气藏形成条件与油气分布[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 27-29.
- [5] 成洪文, 王宝娥, 戴尽辉, 等. 北塘凹陷沙三段碎屑岩储集层成岩特征[J]. 录井技术文集, 2004(4): 56-59.
- [6] 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 93-99.
- [7] 朱伟林, 葛建党. 渤海海域天然气勘探前景分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 8-13.
- [8] 朱伟林, 王国纯, 周毅. 渤海油气资源浅析[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 1-7.
- [9] 胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海海域盆地热历史及油气资源潜力[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 14(5): 306-314.
- [10] 雄奇, 邱楠生, 姜振学. 油气成藏定量模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 7.
- [11] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1-4.
- [12] 庞雄奇, 邱楠生, 姜振学. 油气成藏定量模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 7.
- [13] 卢双舫, 刘晓艳. 干酪根类型数值化的再探讨[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(增刊): 29-33.
- [14] 庞雄奇. 排烃门限控油气理论与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org