

广西北部湾盆地北缘晚古生代—中生代 碳酸盐岩烃源岩特征

毛治超¹, 黄文魁¹, 王新宇², 邹贤利¹, 周怀玲², 孙春叶¹

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100;

2. 广西壮族自治区地质调查院, 广西南宁 530023)

摘要:通过野外剖面勘测采样、室内岩石薄片观察、烃源岩地球化学及生物标志物分析、碳同位素测试等方法,对广西北部湾盆地北缘晚古生代—中生代碳酸盐岩烃源岩特征进行研究。结果表明:研究区碳酸盐岩有机质丰度普遍较高,有机碳含量为0.29%~1.93%,平均含量为0.73%,均超过生烃门限;有机质类型主要以I型为主,II型较少;镜质组反射率为1.35%~4.78%,有机质热演化处于高成熟—过成熟阶段。生烃潜量、氯仿沥青“A”和总烃含量普遍较低;氯仿沥青“A”中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-30.24‰~-23.44‰,地层由老到新, $\delta^{13}\text{C}$ 值由轻变重,再变轻;正构烷烃分布呈现出由单峰型到双峰型,再到单峰型的变化规律,这均表明沉积环境由海相到海陆过渡相再到湖相的演变。姥鲨烷与植烷比值、甾烷、萜烷等生物标志物参数指示了有机质来源以低等水生生物为主,含少量陆源有机质,沉积环境为微咸水的还原环境。

关键词:碳酸盐岩烃源岩 晚古生代—中生代 地球化学 生物标志物 广西北部湾盆地北缘

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)04-0053-06

Characteristics of carbonate source rocks of late Paleozoic–Mesozoic in the northern margin of Beibu Gulf in Guangxi

Mao Zhichao¹, Huang Wenkui¹, Wang Xinyu², Zou Xianli¹, Zhou Huailing², Sun Chunye¹

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan City,

Hubei Province, 430100, China; 2. Guangxi Institute of Geological Survey, Nanning City,

Guangxi Zhuang Autonomous Region, 530023, China)

Abstract: By means of field geological survey, indoor rock slice observation, hydrocarbon source rock geochemical analysis and carbon isotope test, the characteristics of carbonate source rocks of late Paleozoic–Mesozoic in the northern margin of Beibu Gulf in Guangxi were studied in this paper. The results show that the abundance of organic matter in carbonate is generally high in the northern margin of Beibu Gulf in Guangxi, and its TOC ranges from 0.29% to 1.93% with mean value of 0.73%, which is above the hydrocarbon generation threshold. The type of organic matter is mainly type I and a few of type II. The thermal evolution of organic matter is in high maturity–over mature stage with R_o values ranging from 1.35% to 4.78%. The abundance of organic matter is characterized by low values of hydrocarbon generating potential, chloroform bitumen “A” content and total hydrocarbon content. The $\delta^{13}\text{C}$ value of chloroform bitumen “A” ranges from -30.24‰ to -23.44‰, varying from light to heavy and then to light with the decreasing of stratigraphic age. And the distribution of normal paraffins also changes from unimodal to bimodal and then to unimodal, which suggests that the evolution of depositional environment is from marine facies to transitional facies and then to lake facies. The biomarker parameters such as Pr/Ph ratio, sterane and terpane indicate that lower aquatic organisms mainly contribute to the organic matter with some terrestrial organic matter and they were deposited in reducing environment of brackish water.

Key words: carbonate source rocks; late Paleozoic–Mesozoic; geochemistry; biomarker compounds; northern margin of Bei-

收稿日期:2016-03-29。

作者简介:毛治超(1962—),男,湖北天门人,高级工程师,博士,从事石油地质学方面的教学与科研工作。联系电话:13972121687, E-mail:maozhichao@163.com。

bu Gulf in Guangxi

广西北部湾是位于中国大陆南部的一个半封闭海湾,北部湾盆地是以古近系为主的中新生代沉积盆地,其基底为下古生界变质岩,晚古生代发育一套海相碳酸盐岩地层,中生代以上升剥蚀为主^[1-2]。盆地内油气资源丰富,储层发育,生、储、盖配置良好,已发现多种类型的油气藏^[3-4]。研究区处于北部湾盆地北缘,西起中越边境线,东至两广交界处,北起南宁,南达海岸线。研究区的十万大山盆地、合浦盆地、百色盆地、桂中坳陷等地区均显示出良好的油气勘探前景^[5-15],在晚古生代—中生代海相碳酸盐岩中发现了沥青脉、油气苗等多种油气显示,表明碳酸盐岩也具有很好的油气勘探前景。通过对研究区海相碳酸盐岩烃源岩特征的研究,探讨其物质来源、演化过程和沉积环境,以期为广西北部湾盆地油气勘探提供理论依据。

1 样品采集

野外踏勘路线与样品采集范围覆盖了广西北部湾盆地北缘的那龙、那阳镇、广平村、捻子坪、板利、驮龙和板汪村等地区(图1),上泥盆统—下三叠统由老到新发育额头村组(D_{3et})、英塘组(C_{1yt})、黄金组(C_{1h})、寺门组(C_{1s})、栖霞组(P_{2q})、合山组(P_{3h})和罗楼组(T_1l)共7套地层。烃源岩为海相碳酸盐

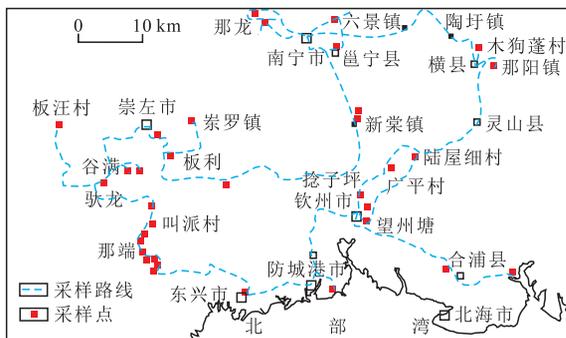


图1 野外踏勘路线及采样点分布示意

Fig.1 Route of field geologic survey and sampling position

岩,主要包括灰色、深灰色、黑色泥晶灰岩,含生物碎屑灰岩、泥灰岩和泥质灰岩。

2 烃源岩特征

通过对碳酸盐岩采集样品中有机碳含量(TOC)、镜质组反射率(R_o)、全岩显微组分、氯仿沥青“ A ”及其族组分碳同位素进行分析,研究广西北部湾盆地北缘晚古生代—中生代碳酸盐岩烃源岩特征。

2.1 有机质丰度

研究区碳酸盐岩 TOC 值为 0.29% ~ 1.93%, 平均为 0.73%。按照碳酸盐岩烃源岩生烃门限 TOC 值为 0.2% 的标准^[16-17], 研究区 7 套地层的 TOC 值均超过生烃门限(表 1)。其中 P_{3h} 的黑灰色泥灰岩样品来自该盆地的广龙煤矿、新东煤矿, 为新鲜岩样, TOC 值平均为 1.93%, 平均生烃潜量为 0.38 mg/g; 氯仿沥青“ A ”含量为 0.018 4%; 总烃含量为 108.85×10^{-6} , 具备良好的生烃潜力。其他地层样品均为野外露头采集, 可溶有机组分含量偏低, 长期风化作用是造成样品中可溶有机组分流失的重要因素^[18]; 平均生烃潜量小于 0.04 mg/g, 氯仿沥青“ A ”含量小于 0.01%, 有效生烃能力有限。

2.2 有机质类型

采用三类五分法^[16]对有机质进行分类, 研究区碳酸盐岩烃源岩有机质类型主要以 I 型(标准腐泥型 I_1 或含腐殖腐泥型 I_2) 为主, II 型较少。有机质类型与沉积时期有关, 在上泥盆统的石炭系碳酸盐岩烃源岩显微组分中, 腐泥组 + 壳质组 + 无定形有机质含量为 67.19% ~ 100%, 镜质组分含量为 0 ~ 26%, 惰性组分含量少于 7%, 有机质类型多为 I 型; 二叠系有机质类型以 I 型和 II 型为主; 三叠系有机质类型为 I 型。表明沉积环境由海相向海陆过渡相变迁是造成有机质组成和来源不同的主要原因。

表1 碳酸盐岩烃源岩地球化学参数

Table1 Geochemical parameters of carbonate source rocks

地层	岩性	$TOC, \%$	平均生烃潜量/($mg \cdot g^{-1}$)	氯仿沥青“ A ”含量, %	总烃含量/ 10^{-6}	有机质类型	$R_o, \%$
T_1l	灰岩	0.36	0.03	0.002 0	7.02	I_1	1.35
P_{3h}	泥灰岩	1.93	0.38	0.018 4	108.85	II, 少量 I_2	1.44
P_{2q}	灰岩	1.25	0.04	0.001 0	3.90	I_1	4.78
C_{1s}	泥灰岩	0.51	0.04	0.009 5	10.64	I_2 , 少量 I_1	3.78
C_{1h}	灰岩	0.29	0.02	0.003 6	13.66	I_1	3.86
C_{1yt}	灰岩	0.33	0.02	0.001 9	5.17	I_1	4.09
D_{3et}	灰岩	0.42	0.02	0.002 3	4.86	I_1	4.26

2.3 有机质成熟度

研究区碳酸盐岩烃源岩有机质热演化程度较高。由表1可以看出, R_o 值为 1.35% ~ 4.78%, P_{2q} 样品的成熟度最高, T_{1l} 样品的最低, 有机质均处于高成熟—过成熟阶段。其中, 除 T_{1l} 部分样品与 P_{3h} 样品处在高成熟阶段以外, 其他样品均处于过成熟阶段。在低成熟阶段到高成熟阶段热演化过程中, 大量可溶有机质生烃后被运移, 导致碳酸盐岩总烃含量极低, 仅为 $3.90 \times 10^{-6} \sim 108.85 \times 10^{-6}$ 。由于海相地层经受了长期且复杂的热力作用, 使海相碳酸盐岩有机质多进入高成熟—过成熟阶段^[19]。

2.4 碳同位素

氯仿沥青“A”及其族组分碳同位素分析数据显示: 氯仿沥青“A”的 $\delta^{13}C$ 值为 $-30.24\% \sim -23.44\%$; 饱和烃的 $\delta^{13}C$ 值为 $-30.32\% \sim -23.34\%$; 芳烃的 $\delta^{13}C$ 值为 $-32.26\% \sim -23.28\%$; 非烃的 $\delta^{13}C$ 值为 $-34.1\% \sim -23.94\%$; 沥青质的 $\delta^{13}C$ 值为 $-31.68\% \sim -23.84\%$ 。 D_{3et} , C_{1yt} , C_{1h} , C_{1s} , P_{3h} 和 T_{1l} 中氯仿沥青“A”的 $\delta^{13}C$ 平均值分别为 -28.62% , -28.87% , -28.11% , -28.08% , -25.02% 和 -27.67% , 表现出由轻变重再变轻的规律(图2)。

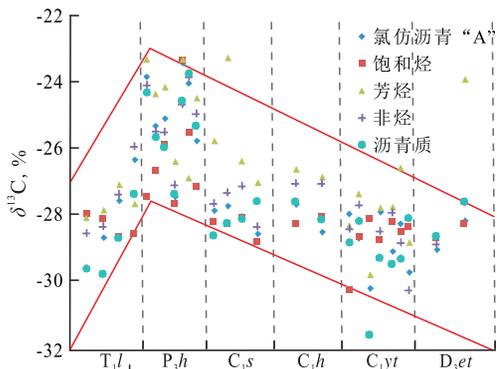


图2 碳酸盐岩氯仿抽提物的碳同位素分布

Fig.2 Carbon isotope distribution of chloroform extract of carbonate source rocks

稳定碳同位素值的变化与有机质类型的改变关系密切, 随着 $\delta^{13}C$ 值变重, 有机质变差, 表明沉积环境从海相向陆相演变以及陆源有机质输入逐渐增加; 到 P_{3h} , $\delta^{13}C$ 值最重, 之后 $\delta^{13}C$ 值依次变轻, 表明沉积环境从海陆过渡相向湖相演变, 同时陆源有机质输入逐渐减少, 菌藻类及水生浮游生物增加, 有机质也逐渐变好。该变化过程与华南地区沉积环境的演变一致。

3 生物标志物特征

通过对碳酸盐岩样品中饱和烃色谱和色质的

生物标志物特征进行分析, 研究其有机质来源及沉积环境。

3.1 正构烷烃

饱和烃色谱分析结果表明: 研究区7套地层中有机质正构烷烃的分布形态既有单峰型, 又有双峰型, $\Sigma C_{21} / \Sigma C_{22+}$ 值小于1的占52%, 大于1的占48% (表2), 表现出正构烷烃分布的复杂性。研究表明, C_{1yt} , C_{1s} 处于过成熟阶段的碳酸盐岩烃源岩样品中, 双峰型样品分别以 C_{18} 和 C_{25} 为主峰, 且表现为后峰 ($>nC_{21}$) 高于前峰 ($<nC_{21}$) (图3), 这与高成熟—过成熟阶段向低碳数演化趋势相反, 表明有低碳数的水生生物与高碳数的陆源有机质2种不同的物源输入^[20]。 T_{1l} , P_{3h} , P_{2q} 和 D_{3et} 正构烷烃分布为单峰型, 主峰碳数均为 C_{18} , 母质来源主要是低碳数脂肪链结构的菌藻类^[21]。

3.2 类异戊二稀烷烃

生物标志物参数 Pr/Ph 值小于1通常指示弱还原的沉积环境^[22-23]。研究区碳酸盐岩烃源岩样品中检测出丰富的 Pr 和 Ph , Pr/Ph 值为 0.41 ~ 1.26, 且绝大多数小于1 (表2), 表明该区碳酸盐岩烃源岩沉积环境为弱还原的沉积环境。

3.3 萜烷

研究区碳酸盐岩烃源岩样品中三环萜烷分布齐全(图4), C_{19} — C_{26} 均有分布, 且以 C_{23} 三环萜烷和 C_{21} 三环萜烷为主峰, 表明有机质来源以低等生物为主。 C_{24} 四环萜烷含量很低, 表明陆源有机质输入有限。在各类降萜烷类化合物中, $17\alpha(H)-22, 29, 30$ -三降萜烷(Tm)和 $18\alpha(H)-22, 29, 30$ -三降萜烷(Ts)含量均不高, $Ts/(Ts+Tm)$ 值为 0.37 ~ 0.51; C_{30} 萜烷含量最高, 其次是 C_{29} 萜烷, 部分样品中 C_{31} 萜烷含量也很高, 其他升萜烷含量均非常低, 其中伽马蜡烷含量较高, 研究区7套地层由老到新伽马蜡烷/ C_{30} 萜烷的平均值分别为 0.24, 0.15, 0.16, 0.18, 0.16, 0.18 和 0.15, 均揭示碳酸盐岩烃源岩的发育从泥盆纪开始由海相向陆相迁移的微咸水沉积环境^[24]。 $C_{31}22S/(22S+22R)$ 值为 0.13 ~ 0.60, 平均值为 0.43, 其值离平衡终点 0.60 较远, 可能与碳酸盐岩缺乏粘土矿物导致有机质成熟度偏低有关^[25-26]。

3.4 甾烷

研究区碳酸盐岩烃源岩样品中甾烷呈正“L”型分布, C_{27} 甾烷含量最高, 其次是 C_{29} 甾烷, C_{28} 甾烷含量最低(图4)。通常认为, C_{27} 甾烷为菌藻类, C_{28} 甾烷主要与硅藻类有关, C_{29} 甾烷既可能是菌藻类也可能是陆源有机质^[27], 这均表明有机质来源中低等水生物的贡献较大。甾烷中 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 的平

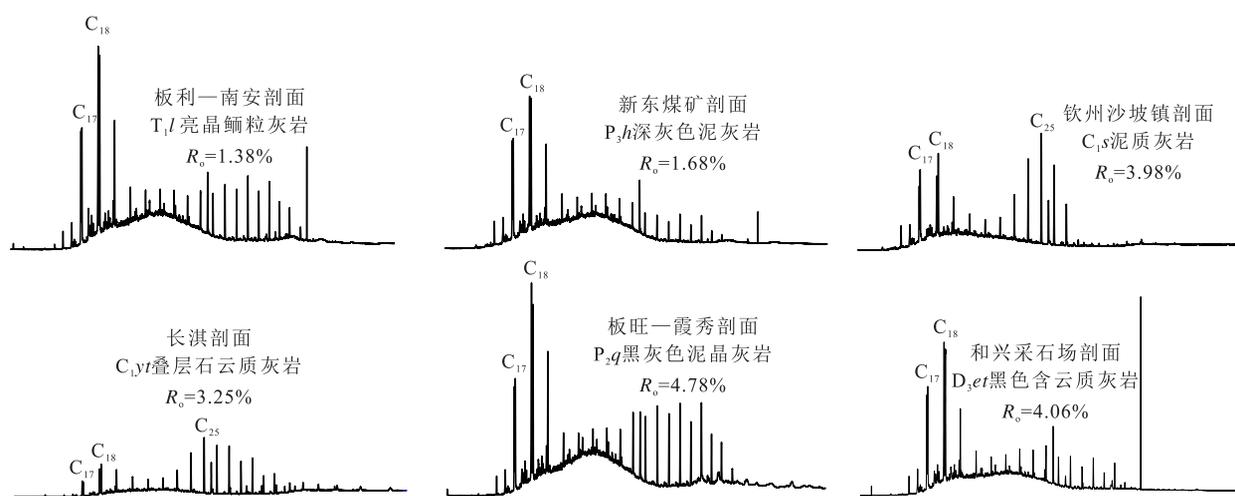


图3 碳酸盐岩烃源岩饱和烃色谱

Fig.3 Saturated hydrocarbon chromatograms of carbonate source rocks

表2 碳酸盐岩烃源岩生物标志物参数

Table2 Biomarker parameters of carbonate source rocks

样品 编号	地层	$\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$	主峰碳	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	OEP	伽马蜡烷/ C ₃₀ 藿烷	Ts/ (Tm+Ts)	C ₃₁ 22S/ (22S+22R)	C ₂₉ 20S/ (20S+20R)	C ₂₉ ββ/ (αα+ββ)
1	T _{1l}	1.67	C ₁₈	0.52	0.94	1.08	0.73	0.17	0.50	0.47	0.47	0.41
2	T _{1l}	0.93	C ₁₈	0.60	1.14	1.08	0.69	0.11	0.44	0.55	0.36	0.33
3	T _{1l}	1.25	C ₁₈	0.58	1.12	1.23	0.75	0.17	0.50	0.47	0.44	0.39
4	T _{1l}	1.15	C ₁₈	0.58	1.05	1.06	0.74	0.16	0.49	0.40	0.46	0.41
5	P _{3h}	1.56	C ₁₈	0.66	1.08	1.15	0.78	0.12	0.50	0.50	0.45	0.39
6	P _{3h}	1.04	C ₁₈	0.76	1.04	1.22	0.88	0.15	0.49	0.44	0.45	0.40
7	P _{3h}	1.30	C ₁₇	0.95	0.55	0.69	1.03	0.26	0.43	0.13	0.40	0.35
8	P _{3h}	1.13	C ₁₈	0.82	1.02	1.06	0.86	0.34	0.46	0.55	0.46	0.39
9	P _{3h}	4.15	C ₁₇	1.26	0.81	0.67	0.97	0.16	0.50	0.42	0.45	0.44
10	P _{3h}	5.77	C ₁₇	0.88	1.17	1.44	1.07	0.10	0.37	0.57	0.37	0.32
11	P _{3h}	1.21	C ₁₈	0.86	1.13	1.04	0.78	0.14	0.50	0.54	0.44	0.38
12	P _{2q}	0.71	C ₁₈	0.57	1.18	1.00	0.66	0.16	0.50	0.39	0.43	0.39
13	C _{1s}	1.27	C ₁₈	0.67	1.44	1.68	0.85	0.19	0.49	0.40	0.41	0.37
14	C _{1s}	0.61	C ₂₅	0.89	1.07	1.26	1.12	0.16	0.51	0.35	0.44	0.38
15	C _{1s}	0.53	C ₂₅	0.78	1.47	1.69	1.13	0.18	0.50	0.46	0.43	0.39
16	C _{1s}	0.57	C ₂₅	0.72	1.61	1.82	2.52	0.20	0.44	0.16	0.50	0.32
17	C _{1h}	0.20	C ₂₅	0.81	1.19	1.40	1.23	0.14	0.49	0.51	0.49	0.41
18	C _{1h}	0.37	C ₂₅	0.98	1.26	1.26	1.23	0.17	0.49	0.18	0.44	0.39
19	C _{1yt}	0.26	C ₂₅	0.43	1.09	1.35	1.17	0.22	0.45	0.33	0.42	0.38
20	C _{1yt}	0.92	C ₁₈	0.53	1.21	1.28	0.70	0.14	0.42	0.38	0.41	0.37
21	C _{1yt}	0.48	C ₂₅	0.83	1.16	1.16	1.21	0.14	0.48	0.54	0.47	0.43
22	C _{1yt}	0.47	C ₁₈	0.64	1.12	1.00	0.67	0.14	0.47	0.54	0.40	0.37
23	C _{1yt}	0.28	C ₂₅	0.41	1.25	1.26	1.20	0.14	0.51	0.52	0.44	0.39
24	C _{1yt}	1.08	C ₁₈	0.66	1.22	1.14	0.73	0.14	0.50	0.51	0.44	0.40
25	C _{1yt}	0.72	C ₁₈	0.72	1.28	1.25	0.77	0.14	0.47	0.51	0.28	0.31
26	D _{3et}	1.45	C ₁₈	0.69	1.22	1.10	0.67	0.19	0.45	0.60	0.41	0.39
27	D _{3et}	0.96	C ₂₅	0.45	1.33	1.48	1.59	0.28	0.45	0.29	0.37	0.41

衡终点为0.50~0.55,样品中C₂₉20S/(20S+20R)值为0.28~0.50,平均值为0.43;C₂₉ββ/(αα+ββ)的平衡

终点为0.80,样品中C₂₉ββ/(αα+ββ)值为0.31~0.44,平均值为0.38。这些参数离平衡终点较远也可能与碳酸盐岩缺乏粘土矿物导致有机质成熟度偏低有关。

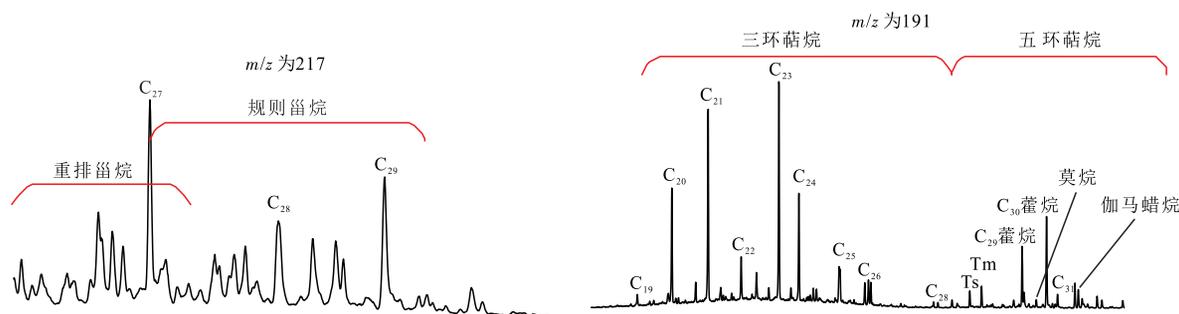


图4 碳酸盐岩饱和烃色谱

Fig.4 Saturated hydrocarbon gas chromatogram-mass spectrums of carbonate source rocks

4 结论

由广西北部湾盆地北缘晚古生代—中生代碳酸盐岩样品的地球化学特征分析结果表明,其有机质丰度均超过了生烃门限, TOC 值为 0.29% ~ 1.93%, 平均为 0.73%; 有机质类型以 I 型为主, 含少量 II 型; R_o 值为 1.35% ~ 4.78%, 有机质热演化处于高成熟—过成熟阶段。氯仿沥青“A”的 $\delta^{13}C$ 值为 -30.24‰ ~ -23.44‰ , 地层由老到新 $\delta^{13}C$ 值由轻变重, 再变轻; 有机质类型也呈现由好变差再变好的规律。这均表明了沉积环境的变化和不同类型有机质的输入。Pr/Ph 值绝大多数小于 1; 三环萜烷以 C_{23} 为主峰, 其次是 C_{21} 萜烷; 藿烷以 C_{30} 藿烷含量最高, 其次是 C_{29} 藿烷, 各地层中伽马蜡烷含量较高; 甾烷呈正“L”型分布, C_{27} 甾烷含量最高, 其次是 C_{29} 甾烷。以上生物标志物特征均表明有机质来源主要为低等水生生物, 烃源岩沉积环境为微咸水的还原环境。

参考文献:

- [1] 陈国威. 南海北部油气盆地的地质特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1989, 9(3): 63-72.
Chen Guowei. Geological characteristics of the hydrocarbon basin in north part of the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1989, 9(3): 63-72.
- [2] 张启明, 苏厚熙. 北部湾盆地石油地质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1989, 9(3): 73-82.
Zhang Qiming, Su Houxi. Petroleum geology of the Beibu Gulf basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1989, 9(3): 73-82.
- [3] 刘明全. 北部湾盆地天然气成藏系统构想[J]. 中国海上油气, 2004, 16(2): 93-97.
Liu Mingquan. The assumed gas accumulation systems in Beibuwan basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(2): 93-97.
- [4] 黄保家, 黄合庭, 吴国璋, 等. 北部湾盆地始新统湖相富有机质

页岩特征及成因机制[J]. 石油学报, 2012, 33(1): 25-31.

Huang Baojia, Huang Heting, Wu Guoxuan, et al. Geochemical characteristics and formation mechanism of Eocene lacustrine organic-rich shales in the Beibuwan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(1): 25-31.

- [5] 曾辉. 广西十万大山盆地早三叠世深水碳酸盐岩的沉积作用及油气潜力[J]. 石油实验地质, 1984, 6(2): 95-99.
Zeng Hui. Sedimentation and hydrocarbon potential of early Triassic carbonate rocks of Shiwandashan Basin in Guangxi[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1984, 6(2): 95-99.
- [6] 高志龙, 何生, 陈建渝. 合浦盆地生油岩有机地球化学特征[J]. 地球科学, 1995, 20(1): 101-106.
Gao Zhilong, He Sheng, Chen Jianyu. Organic geochemical characters of source rocks in Hepu basin[J]. Earth Science, 1995, 20(1): 101-106.
- [7] 高志龙, 陈建渝, 何生, 等. 合浦盆地的油气远景评价与研究[J]. 广西地质, 1997, 10(4): 41-45.
Gao Zhilong, Chen Jianyu, He Sheng, et al. Study and prospective evaluation on oil and gas in Hepu basin[J]. Guangxi Geology, 1997, 10(4): 41-45.
- [8] 刘洛夫, 赵素平, 杜振川, 等. 百色盆地东部坳陷古近系那读组烃源岩的地质及地球化学特征[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 113-123.
Liu Luofu, Zhao Suping, Du Zhenchuan, et al. Geological and geochemical characteristics of source rocks in the Nadu Formation of Paleogene of Eastern Depression, Baise Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 113-123.
- [9] 毛治超, 杜远生, 张敏, 等. 广西桂中地区泥盆系沉积环境及沉积有机质特征[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2008, 38(增刊 II): 80-86.
Mao Zhichao, Du Yuansheng, Zhang Min, et al. Organic geochemical characterization and depositional paleoenvironments of the Devonian Strata in Guizhong Region, Guangxi, China[J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 2008, 38(Supplement II): 80-86.
- [10] 曾芳, 毛治超, 卢碧林. 桂中坳陷泥盆系碳酸盐岩烃源岩特征[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(3): 51-53.
Zeng Fang, Mao Zhichao, Lu Bilin. Characteristics of carbonate source rocks of the Devonian strata in Guizhong depression, Guangxi, China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(3): 51-53.

- [11] 王新宇,毛治超,周怀玲,等.广西北部湾北缘晚古生代—新生代油气资源潜力探讨[J].华南地质与矿产,2013,29(4):327-334.
Wang Xinyu, Mao Zhichao, Zhou Huailing, et al. Study of oil and gas potential resources of the late Paleozoic to Cenozoic strata in the north of Beibu Gulf, Guangxi [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2013, 29(4): 327-334.
- [12] 陈善斌,甘华军,时阳,等.北部湾盆地福山凹陷烃源岩地球化学特征及地质意义[J].油气地质与采收率,2015,22(1):14-19,25.
Chen Shanbin, Gan Huajun, Shi Yang, et al. Geochemical features and geologic significance of source rocks in Fushan sag, Beibuwan basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 14-19, 25.
- [13] 徐政语,俞广,吴炜强,等.北部湾盆地东南部构造特征及控油作用分析[J].石油实验地质,2014,36(2):144-152.
Xu Zhengyu, Yu Guang, Wu Weiqiang, et al. Structural features and controlling on oils in southeastern Beibu Gulf Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 144-152.
- [14] 范蕊,李水福,何生,等.涠西南凹陷烃源岩地球化学特征及油源对比[J].石油实验地质,2014,36(2):238-244.
Fan Rui, Li Shuifu, He Sheng, et al. Geochemical characteristics of source rocks and oil-source correlation in Weixinan Sag, Beibuwan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 238-244.
- [15] 吴健,胡向阳,梁玉楠,等.北部湾盆地高放射性储层地质成因分析与评价[J].特种油气藏,2015,22(1):79-83.
Wu Jian, Hu Xiangyang, Liang Yu'nan, et al. Geological origin analysis and evaluation on high-radioactive reservoirs in the Beibuwan Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(1): 79-83.
- [16] 卢双舫,张敏.油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2008:177-178,205-211.
Lu Shuangfang, Zhang Min. Oil and gas geochemistry [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 177-178, 205-211.
- [17] 陈迎宾,胡焯,王彦青.柴达木盆地德令哈坳陷石炭系烃源岩评价[J].特种油气藏,2014,21(5):43-47.
Chen Yingbin, Hu Ye, Wang Yanqing. Evaluation on Carboniferous source rock in Delingha Depression of Qaidam Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5): 43-47.
- [18] 张君峰,王东良,秦建中,等.青藏高原地面露头样品风化校正研究[J].石油地质实验,2001,23(3):297-300.
Zhang Junfeng, Wang Dongliang, Qin Jianzhong, et al. Study on the weathering correction of surface outcrop samples from the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(3): 297-300.
- [19] 田春桃,马素萍,杨燕,等.湖相与海相碳酸盐岩烃源岩生烃条件对比[J].石油与天然气地质,2014,35(3):336-341.
Tian Chuntao, Ma Suping, Yang Yan, et al. Comparison of hydrocarbon generation conditions between lacustrine and marine carbonate source rocks [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 336-341.
- [20] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标志化合物指南—古代沉积物与石油中分子化石的解释[M].北京:石油工业出版社,1995:106.
Peters K E, Moldowan J M. The biomarker compounds guide—the interpretation of molecular fossils in ancient sediments and oil [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 106.
- [21] 任拥军,杜雨佳,郭潇潇,等.渤中凹陷古近系优质烃源岩特征及分布[J].油气地质与采收率,2015,22(1):5-13.
Ren Yongjun, Du Yujia, Guo Xiaoxiao, et al. Characteristics and distribution of Paleogene high-quality source rocks in Bozhong sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 5-13.
- [22] Powell T, Mckirdy D M. Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environments in Australia [J]. Nature, 1973, 243(124): 37-39.
- [23] 傅家谟,盛国英,许家友,等.应用生物标志化合物参数判别古沉积环境[J].地球化学,1991,20(1):1-12.
Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments [J]. Geochimica, 1991, 20(1): 1-12.
- [24] 刁帆,邹华耀,郝芳,等.渤海湾盆地廊固凹陷烃源岩特征及其发育模式[J].石油与天然气地质,2014,35(3):326-335.
Diao Fan, Zou Huayao, Hao Fang, et al. Characteristics and depositional models of source rocks in Langgu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 326-335.
- [25] 陈建平,黄第藩.酒东盆地油气生成和运移[M].北京:石油工业出版社,1996:100-106.
Chen Jianping, Huang Difan. Petroleum generation and migration in the Eastern Jiuquan basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 100-106.
- [26] 杨平,谢渊,汪正江,等.金沙岩孔灯影组古油藏沥青有机地球化学特征及油源分析[J].地球化学,2012,41(5):452-465.
Yang Ping, Xie Yuan, Wang Zhengjiang, et al. Geochemical characteristics and oil source correlation of Dengying formation paleo-reservoir in Jinsha [J]. Geochimica, 2012, 41(5): 452-465.
- [27] Volkman J K. Biological marker compounds as indicators of the depositional environments of petroleum source rocks [J]. Geological Society London Special Publications, 1988, 40(1): 103-122.

编辑 单体珍