

应用定量颗粒荧光技术研究 宝岛 13-1 气田油气成藏特征

马 剑¹, 黄志龙¹, 范彩伟², 张新顺¹, 朱建成²

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要:琼东南盆地宝岛北坡宝岛 13-1 气田天然气(含油)丰度低,低丰度油气藏的原因目前仍不明确。通过尝试应用定量颗粒荧光技术(QGF 和 QGF-E)研究宝岛 13-1 气田低丰度油气藏的成因及成藏特征。结果表明:宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层 QGF 指数很低、QGF-E 强度很高,而位于同一构造带南部下倾方向的宝岛 19-2 区陵水组储层 QGF 指数很高、QGF-E 强度却很低;这反映了宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层中油气聚集时间很晚,油气充注时间晚造成了颗粒内包裹体丰度非常低,颗粒表面吸附烃类相对较高;而宝岛 19-2 区陵水组成藏时间相对较早,从而使储层砂岩颗粒内形成了较多的烃类包裹体;综合其他成藏条件分析认为宝岛 13-1 区油气主要来自本地深部烃源岩的贡献,而不是来自生烃条件相对较好的宝岛凹陷,远距离和供烃不足是其油气低丰度的主要原因。

关键词:琼东南盆地;宝岛 13-1;定量颗粒荧光;成藏期

中图分类号: TE122.3+1

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2014)08-1188-09

引用格式: Ma Jian, Huang Zhilong, Fan Caiwei, *et al.* The application of quantitative grain fluorescence technique to study hydrocarbon accumulation characteristics of BD13-1, Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1188-1196. [马剑, 黄志龙, 范彩伟, 等. 应用定量颗粒荧光技术研究宝岛 13-1 气田油气成藏特征[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1188-1196.]

0 引言

定量颗粒荧光技术最初主要应用于储层油气运移通道与古油水界面的研究^[1-2],该技术包括 2 方面的分析测试,颗粒包裹烃定量荧光分析 QGF(Quantitative Grain Fluorescence)和储层颗粒吸附烃和非烃定量荧光分析 QGF-E(Quantitative Grain Fluorescence on Extract),分别通过检测储层岩石颗粒和二氯甲烷(DEM)抽提溶液的荧光响应来识别古油层和残余油层^[3-6]。QGF 光谱是对颗粒中群体石油包裹体的荧光响应,主要分析参数有 QGF 指数、QGF 强度、最大荧光强度波长(λ_{\max})和光谱半高宽($\Delta\lambda$)。QGF-E 光谱是对储层颗粒表面吸附油的荧

光响应,主要分析参数有 QGF-E 强度和 $\lambda_{\text{QGF-E}}$ 。

琼东南盆地宝岛北坡宝岛 13-1 区探井仅有 BD13-1-1 井,测试日产气超过 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,天然气(含油)丰度低,储层含气饱和度平均约为 25%,气柱高度也不大。然而梅山组—三亚组储层孔隙度主要分布在 17%~28%之间,渗透率分布在 $(0.1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,整体上属于中孔中低渗储层。天然气丰度低到底是什么原因造成的呢?是早期成藏后期被破坏,还是晚期成藏本身气源不足?这是一直困扰大家的问题。由于宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层颗粒内含烃级别非常低,镜下找到好的烃类包裹体非常困难,这给利用流体包裹体均一温度研究成藏期带来很大的困难,并且前人利用该方

收稿日期:2013-10-14;修回日期:2014-02-05.

基金项目:国家科技重大专项项目(编号:2011ZX05023-004-008)资助.

作者简介:马剑(1987-),女,河南南阳人,博士研究生,主要从事油气藏形成与分布研究. E-mail:202majian@163.com.

法研究成藏期也存在争议^[7]。宝岛 13-1 区气藏中普遍含有凝析油,缺乏取心资料。而定量颗粒荧光技术灵敏度比较高,能够识别隐蔽输导通道,并且 QGF-E 和 QGF 对现今油气藏和古油气藏有不同的荧光响应,因此,本文尝试用该方法研究油气成藏特征,并解释含油气丰度低的原因。

1 研究区概况

宝岛北斜坡位于南海北部大陆架琼东南盆地东部,处于琼东南盆地与珠江口盆地结合部,西侧与松

东凹陷相连,南面为中央坳陷的松南宝岛凹陷,迄今已在该区钻探发现了 5 个气藏,宝岛 13-1 气藏是其中之一^[8-9](图 1)。琼东南盆地是在南海扩张背景下形成的新生代盆地,盆地内主要沉积新近系和第四系,自下而上分别是始新统,渐新统的崖城组和陵水组,中新统的三亚组、梅山组和黄流组,上新统的莺歌海组以及第四系。前人研究认为,凹陷内有 4 套烃源岩,分别是始新统湖相烃源岩、渐新统海陆过渡相烃源岩、渐新统海相烃源岩以及中新统海相烃源岩,均处于成熟阶段及成熟阶段以上;斜坡带缺失

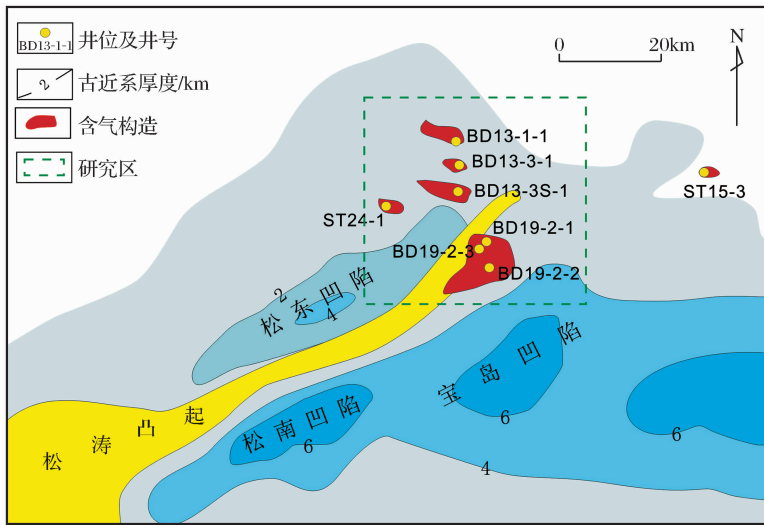


图 1 研究区位置^[8]

Fig. 1 Location of the study area

始新统源岩,中新统均处于未成熟阶段,只存在渐新统源岩可以生成油气^[10-13]。目前,宝岛 13-1 区已发现天然气(含油)主要分布在梅山组和三亚组,宝岛 19-2 区天然气主要分布在陵水组,梅山组和三亚组也有少量分布。

2 样品与实验

本文实验在中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室进行,实验用到的主要设备为 Varian 荧光分光光度计和电子天平。实验选取宝岛北坡地区 6 口井的样品共 46 件,主要分布在宝岛 13 区和宝岛 19 区。由于缺少岩心样品,以岩屑样品为主,岩性主要是粉砂岩。

样品按照标准化流程进行制备。首先,将岩屑研磨成单一矿物颗粒,筛选其中直径为 0.18~0.425mm 的颗粒,并用电磁分选筛掉含有磁性矿物的泥岩;取 1~2g 样品放入 20mL 二氯甲烷(DEM)中浸泡,用超声波抽提 10min,倒掉溶剂,待样品中

溶剂在通风橱中挥发干后,加入 40mL 浓度 10% 的双氧水(H_2O_2)超声洗 10min,静置 40min,再超声洗 10min,之后用 40mL 浓度为 3.6% 的盐酸浸泡 10min,期间用玻璃棒不时搅拌,然后用蒸馏水洗净,之后在 60℃ 恒温箱中烘干;显微镜下观察样品是否为单个粒径适中的颗粒,进行选择后,再次浸入 20mL DEM 中,超声抽提 10min。对抽提溶液做 QGF-E 分析,固体颗粒挥发干后做 QGF 分析。QGF 和 QGF-E 分析均在高灵敏度 Varian Cary-Eclipse 荧光光度计中进行,QGF 激发波长 254nm, QGF-E 激发波长 260nm,并分别记录 300~600nm 连续的发射光谱。

3 实验结果与讨论

3.1 QGF 与 QGF-E 实验结果

定量颗粒荧光技术可以直观地反映各井的 QGF 与 QGF-E 荧光响应特征(图 2,图 3),主要参数结果见表 1。宝岛 13 区和宝岛 19 区梅山组一三

亚组 QGF 指数分布在 0.6~1.4 之间, λ_{\max} 值主要分布在 326~336nm 之间, QGF-E 强度主要分布在 40 以上, $\lambda_{\text{QGF-E}}$ 值主要分布在 300~370nm 之间。宝岛 19 区陵水组 QGF 指数基本都大于 4, λ_{\max} 值主要

分布在 400~450nm 之间, QGF-E 强度主要分布在 5~53 之间, 其中大于 40 的较少, $\lambda_{\text{QGF-E}}$ 值主要分布在 360~413nm 之间。这种分布特征与其油气充注时间早晚有很大的关系。

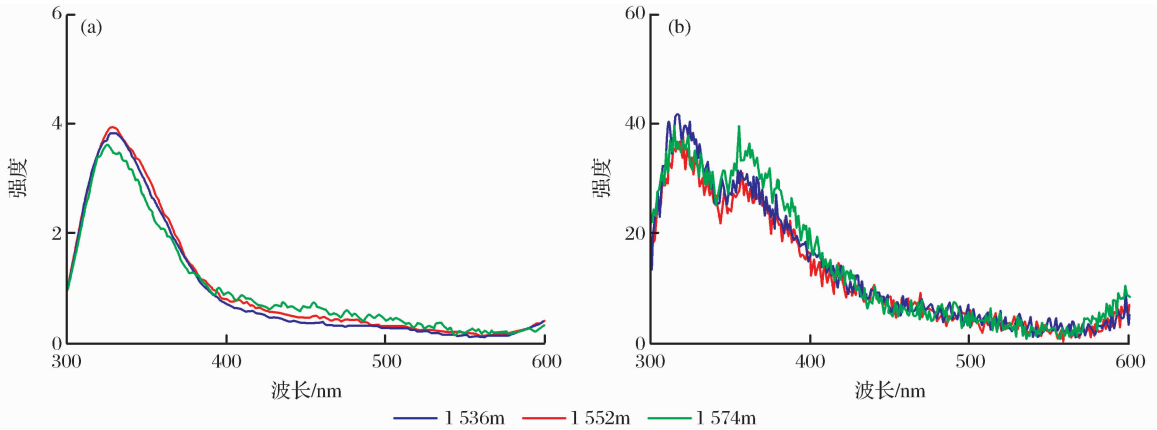


图 2 BD13-1-1 井梅山组一三亚组 QGF(a)和 QGF-E(b) 荧光光谱

Fig. 2 QGF (a) and QGF-E (b) fluorescence spectrum of well BD13-1-1 $N_1 s-N_1 m$

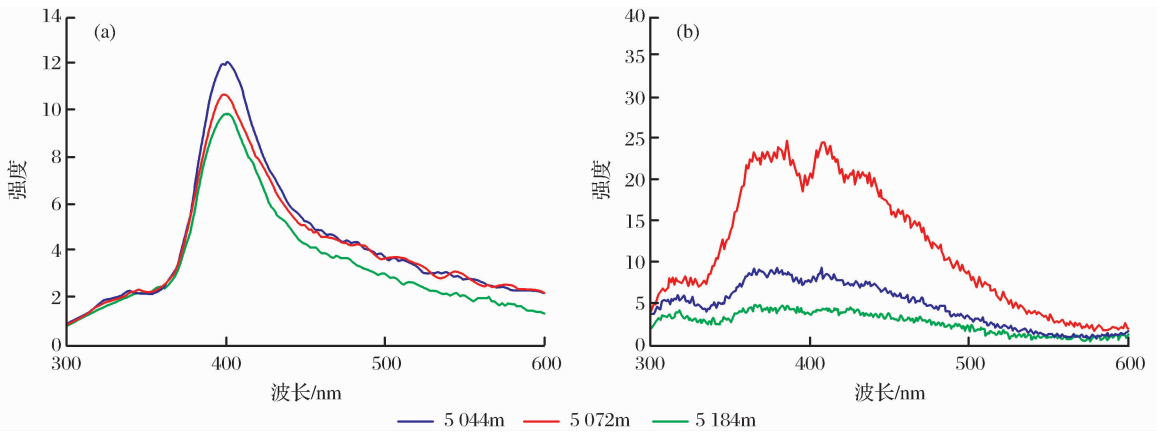


图 3 BD19-2-3 井陵水组 QGF(a)和 QGF-E(b) 荧光光谱

Fig. 3 QGF (a) and QGF-E (b) fluorescence spectrum of well BD19-2-3 $E_3 l$

3.2 讨论

首先对本文实验所用到的主要参数的含义进行介绍。QGF 指数为 375~475nm 的平均光谱强度与 300nm 处光谱强度的比值, QGF 强度是光谱面积与 300nm 处光谱强度的比值, λ_{\max} 是对应最大光谱强度 (I_{\max}) 的波长, $\Delta\lambda$ 为最大光谱强度一半所对应的宽度。QGF-E 强度是归一化到 1g 样品 20mL DEM 溶液的最大光谱强度, $\lambda_{\text{QGF-E}}$ 是最大光谱强度对应的波长^[3-6]。众多样品分析结果统计表明, 古油层具有非常强的 QGF 光谱, 分布在 400~600nm 波长范围内, QGF 指数通常大于 4, λ_{\max} 值约为 375~475nm, 而水层光谱平缓近于基线, QGF 指数一般小于 4。残余油层和现今油层具有很强的 QGF-E

光谱, QGF-E 强度通常超过 40, λ_{\max} 通常出现在 370nm 附近, 而水层的 QGF-E 强度一般为 4~21, λ_{\max} 值为 300~500nm^[3-6, 14-16]。

从表 1、图 4 可以看出, 宝岛 19-2 区陵水组 (深度 > 3 213m) 储层 QGF 指数较大, 大都大于 4, λ_{\max} 值主要为 380~450nm, 是典型的古油藏荧光响应特征; 而宝岛 13-1 区梅山组一三亚组储层 QGF 指数较少, 主要分布在 1 附近, λ_{\max} 值小于 350nm, 不符合古油藏的荧光响应特征。

进一步分析认为宝岛北坡已钻遇气层 (含解释气层) QGF-E 强度明显偏高, 主要分布在 41.1~52.3 之间, 中值为 45.5; 解释水层 QGF-E 强度主要分布在 7.3~44 之间, 中值为 14.5; 解释干层 QGF-

表 1 宝岛北坡定量荧光实验 QGF 和 QGF-E 检测结果
Table 1 QGF and QGF-E results at Baodao northern slope

样品 编号	井名	深度 /m	QGF 指数	λ_{max} /nm	QGF-E 强度	λ_{QGF-E} /nm	样品 编号	井名	深度 /m	QGF 指数	λ_{max} /nm	QGF-E 强度	λ_{QGF-E} /nm
1	BD13-1-1	1 302	0.8	327	48.9	319	24	BD19-2-1	2 487	0.9	326	126.9	411
2	BD13-1-1	1 406	1.1	336	44.6	322	25	BD19-2-1	2 560	0.8	331	9.0	360
3	BD13-1-1	1 448	1.1	326	40.7	320	26	BD19-2-1	2 588	0.7	327	11.3	317
4	BD13-1-1	1 520	0.6	329	44.3	316	27	BD19-2-2	2 618	0.8	330	44.0	380
5	BD13-1-1	1 536	0.8	329	49.8	316	28	BD19-2-2	2 664	0.6	329	36.6	319
6	BD13-1-1	1 552	0.9	328	45.3	320	29	BD19-2-2	3 056	0.8	330	80.9	370
7	BD13-1-1	1 574	1.0	329	47.8	314	30	BD19-2-2	3 080	0.7	329	42.8	367
8	BD13-1-1	1 654	1.0	327	45.0	321	31	BD19-2-2	3 104	0.9	331	23.0	369
9	BD13-1-1	1 700	1.4	329	41.0	322	32	BD19-2-2	3 218	1.2	327	141.5	377
10	BD13-1-1	1 792	0.9	333	17.2	370	33	BD19-2-3	1 732	1.0	331	27.8	303
11	BD13-3-1	1 686	0.8	330	52.2	315	34	BD19-2-3	3 440	0.7	329	35.9	371
12	BD13-3-1	1 754	1.0	328	43.0	318	35	BD19-2-3	3 534	0.8	328	9.8	380
13	BD13-3-1	1 782	1.0	335	44.0	311	36	BD19-2-3	3 932	4.9	402	7.4	363
14	BD13-3-1	1 832	1.4	334	43.3	326	37	BD19-2-3	4 070	4.3	382	53.4	367
15	BD13-3-1	1 904	0.8	333	5.6	316	38	BD19-2-3	4 110	7.5	432	15.9	366
16	BD13-3S-1	1 694	1.0	336	43.4	321	39	BD19-2-3	4 282	2.8	427	26.2	377
17	BD13-3S-1	1 706	0.9	330	36.8	367	40	BD19-2-3	4 422	3.7	439	47.3	382
18	BD13-3S-1	1 886	0.9	328	26.3	314	41	BD19-2-3	5 010	3.7	434	30.4	361
19	BD13-3S-1	1 940	1.1	329	26.7	309	42	BD19-2-3	5 038	7.5	400	6.1	363
20	BD13-3S-1	1 962	1.0	327	49.4	358	43	BD19-2-3	5 044	7.1	402	11.4	407
21	BD13-3S-1	2 048	0.8	329	35.3	315	44	BD19-2-3	5 072	6.6	403	29.9	385
22	BD19-2-1	2 422	0.8	331	126.0	435	45	BD19-2-3	5 092	5.8	448	28.9	413
23	BD19-2-1	2 472	0.9	332	270.5	429	46	BD19-2-3	5 184	6.3	401	5.9	368

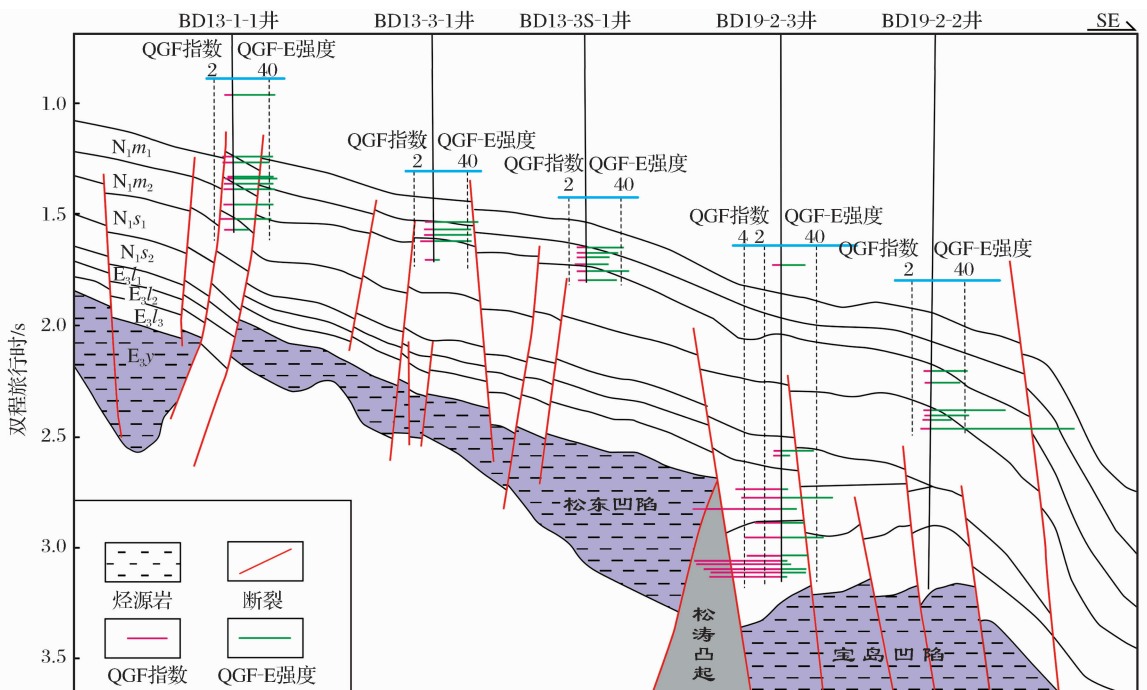


图 4 宝岛北坡 QGF 指数与 QGF-E 强度分布特征

Fig. 4 Distribution of QGF index and QGF-E index at Baodao northern slope

E强度主要分布在7.4~43.4之间,中值为20.9。前人^[3-6]研究认为QGF-E强度大于40为残余油层和现今油层,可见该标准在研究区也是基本适用的。

BD13-1-1井实验数据表明,梅山组和三亚组储层的QGF-E强度普遍大于40,且谱图中波长350nm之后均有峰值,说明该区现今储层中含有一定的油气,到三亚组1700m以深QGF-E强度明显下降,且谱图上基本没有峰值,代表了水层的典型特

征(图5)。依据BD13-1-1井测井解释结果,该井1573~1580m为气层,这与实验结果吻合,该井其他几处测井解释气层也均与实验结果吻合。整个宝岛北坡浅层梅山组—三亚组储层的QGF-E强度基本上都大于40,但QGF-E强度值大于60的较少,这也体现了该地区以气藏为主,伴生凝析油的特征。另外,储层砂体下部均出现低QGF-E强度现象,这说明了砂体下部含油气丰度变低的特征。

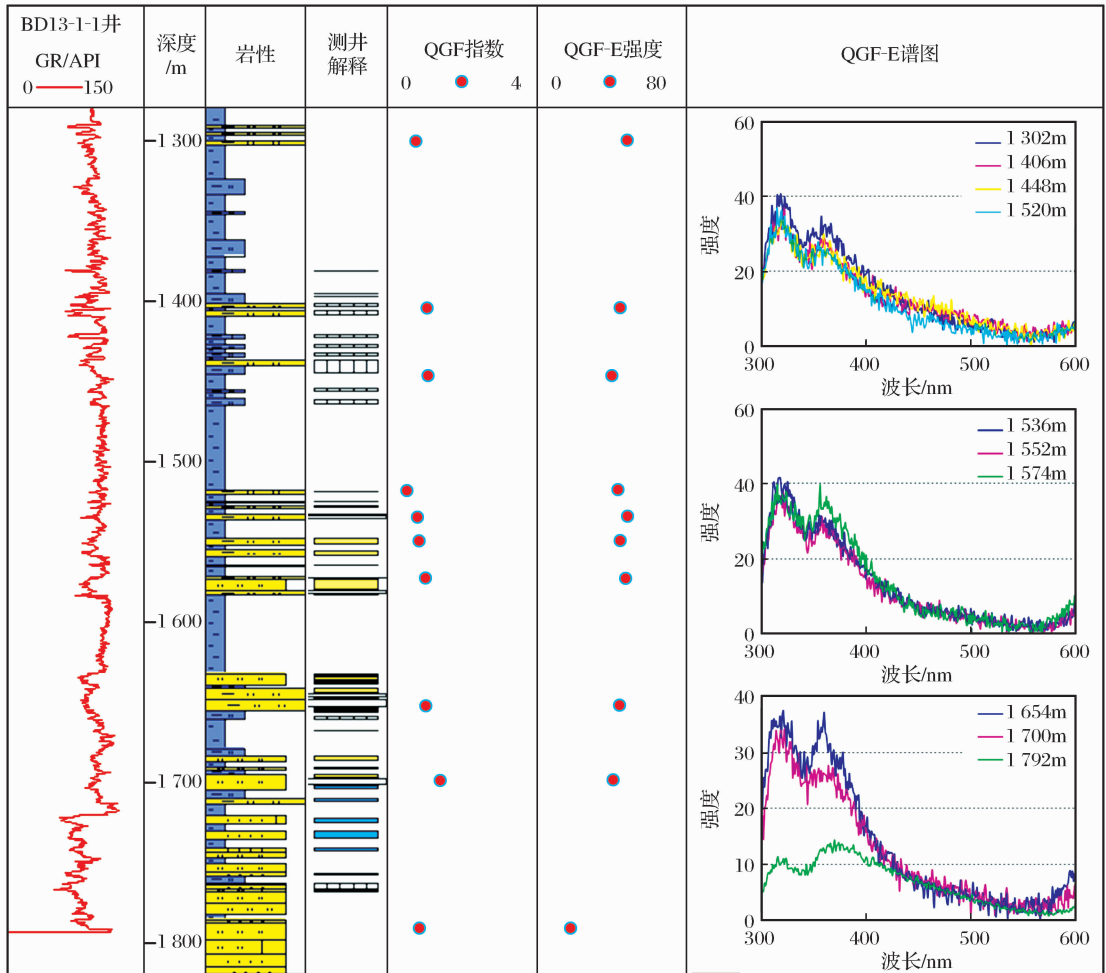


图5 BD13-1-1井定量颗粒荧光实验结果

Fig. 5 QGF experiment result of well BD13-1-1

通过对定量颗粒荧光实验结果进行综合分析后还发现,宝岛13-1区梅山组—三亚组储层QGF指数很低,而QGF-E强度很高;宝岛19-2区陵水组储层QGF指数很高,而QGF-E强度很低。这说明宝岛19-2区陵水组储层曾聚集过油气,并形成过一定的油气藏,使得储层砂体颗粒内形成了较多的烃类包裹体,但由于晚期断裂活动强烈^[17],后期的断裂活动造成油气大量散失,从而导致现今含油气丰度较低;而宝岛13-1区梅山组—三亚组储层中油气聚

集时间很晚,油气充注时期晚造成了颗粒内包裹体丰度非常低,而颗粒表面吸附烃类相对较高。所以2个地区的成藏时间和成藏过程是不一样的,宝岛13-1区是晚期成藏,宝岛19-2区是早期成藏,后期破坏。

4 油气成藏特征分析

4.1 成藏期分析

采用常规方法流体包裹体均一温度分析成藏期

时,通过对目的层砂岩储层薄片进行观察,发现含烃包裹体数量非常少,利用定量颗粒荧光技术分析表明宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层 QGF 指数很低、QGF-E 强度较高,这也反映了宝岛 13-1 区油气充注时间非常晚,未能在储层颗粒内形成大量的含烃包裹体,只是在颗粒表面有一些吸附烃存在。测得的 BD13 区比较可信的与含烃包裹体伴生盐水包

裹体均一温度在 80~90℃ 之间^[8],与现今地层温度基本一致,按照这一温度结合 BD13-1-1 井埋藏史与热演化史分析宝岛 13 区油气成藏期很晚,成藏时间小于 2Ma(图 6)。而宝岛凹陷主要煤系烃源岩(崖城组)约在 25~18Ma 时已进入成熟演化阶段,生烃期很早,所以宝岛 19-2 区陵水组成藏较早(图 7)。这与利用定量颗粒荧光技术分析结果一致。

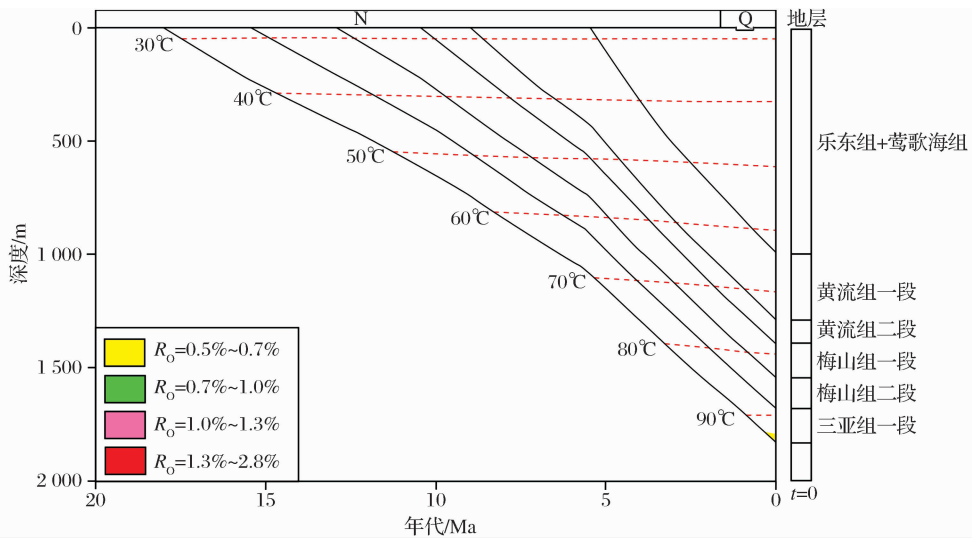


图 6 BD13-1-1 井埋藏史及生烃史

Fig. 6 Burial and hydrocarbon generation history of BD13-1-1

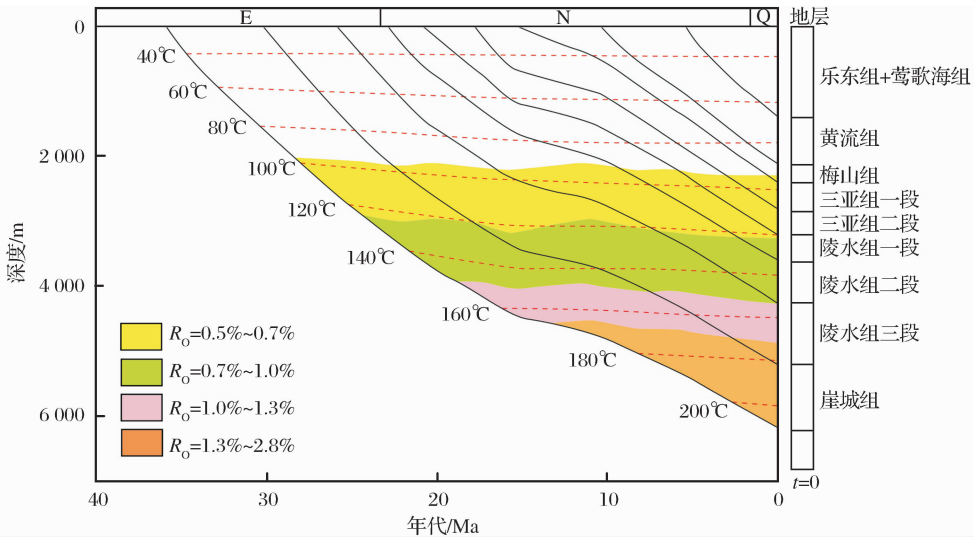


图 7 BD19-2-3 井埋藏史及生烃史

Fig. 7 Burial and hydrocarbon generation history of BD19-2-3

4.2 油气来源与成藏过程分析

从油气类型上分析,宝岛 13-1 区油气与同一构造带南部下倾方向宝岛 19-2 区的油气有明显的不同。宝岛 13-1 区梅山组和三亚组的天然气中甲烷相对含量高、非烃少,干燥系数在 0.88~0.92 之间,

而宝岛 19-2 区陵水组天然气干燥系数基本上在 0.94 以上,以干气为主(图 8)。宝岛 13-1 区天然气中甲烷同位素值主要分布在 -44‰~-45‰ 之间,乙烷碳同位素值主要分布在 -30.92‰~-27.45‰ 之间^[8],这属于油型气的特点。

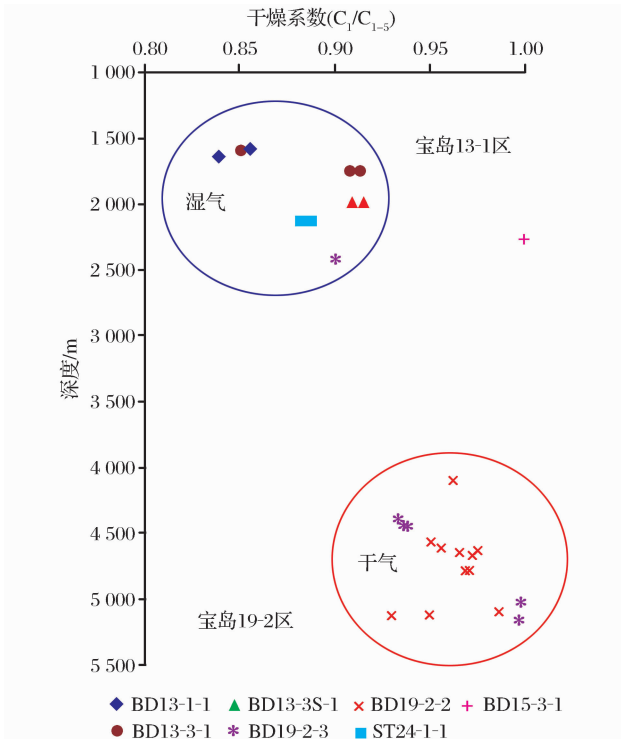


图 8 琼东南盆地宝岛北坡天然气干燥系数分布特征
Fig. 8 Dry coefficient of natural gas at Baodao northern slope in Qiongdongnan Basin

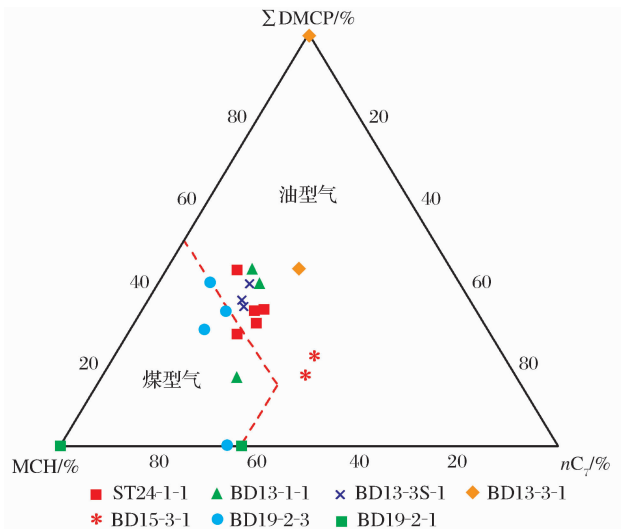


图 9 琼东南盆地宝岛北坡原油和天然气中 C₇ 轻烃三角图^[17]

Fig. 9 Ternary diagram of C₇ light hydrocarbon from oil and natural gas of Baodao northern^[17]

从轻烃组成来看,以二甲基环戊烷(ΣDMCP)、甲基环己烷(MCH)、正庚烷(nC₇)相对含量为划分标准,也同样可以看出宝岛 13-1 区的天然气为偏腐泥型气,宝岛 19-2 区天然气为偏腐殖型气(图

9)^[17]。结合石蜡指数和庚烷值分布特征,可以看出宝岛 13-1 区石蜡指数小于 1,庚烷值小于 20%,反映油气成熟度较低,处于低熟演化阶段,而靠近宝岛凹陷的宝岛 15-3 区油气成熟度相对较高,处于成熟演化阶段(图 10)。

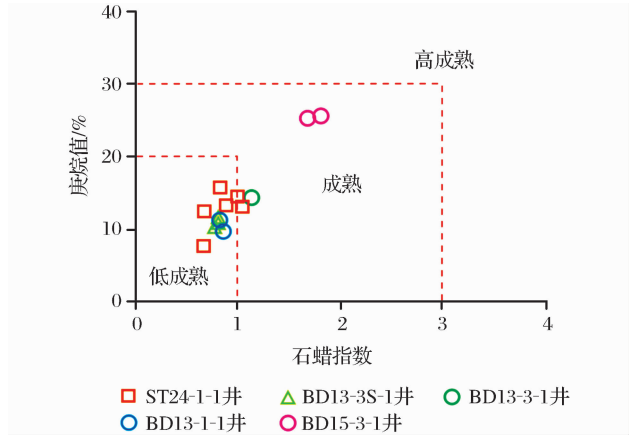


图 10 琼东南盆地宝岛北坡天然气石蜡指数与庚烷值交会特征

Fig. 10 Crossplot of paraffin index and heptane value of natural gas at Baodao northern slope in Qiongdongnan Basin

从生物标志化合物特征来看,BD13-1-1 井原油 Pr/Ph 值为 2.69,原油中芳烃含量较低,奥利烷指数很低且不含双杜松烷,反映其源岩可能以水生低等生物输入为主,陆源输入相对较少。而宝岛 13-1 区东部的崖城区的原油 Pr/Ph 值分布在 5.67~8.78 之间,芳烃含量非常高,奥利烷指数较高并含有一定量双杜松烷系列化合物,具有以煤系陆源输入为主的特征^[18-19]。另外,BD13-1-1 井的原油甾烷成熟度参数 C₂₉22S/(22S+22R)值为 0.22,反映了成熟度相对较低。并且,宝岛 13-1 区原油中 C₃₀-4 甲基甾烷含量非常低,也说明了始新统湖相成熟源岩对宝岛 13-1 区贡献较小^[7,19]。因此,从生烃母质及成熟度参数来看,宝岛 13-1 区的原油应该是来自邻近渐新统低熟烃源岩。

从与天然气伴生的凝析油物性来看,宝岛北坡的凝析油与琼东南其他地区井的凝析油和原油也有很大的不同。宝岛 13-1 区凝析油具有密度低、含蜡量低、凝固点低、胶质和沥青质低和初馏点低“五低”的特征^[8],而琼东南其他地区煤型油的特点是密度较大、含蜡量较高、凝固点较高。所以,综合分析认为宝岛 13-1 区梅山组—三亚组天然气为油型气或者以油型气为主,原油以低熟凝析油为主,这与宝岛 13-1 区渐新统低熟烃源岩(本地缺失始新统烃源岩)相吻合。而宝岛 19-2 区除了浅层三亚组的气体

甲烷碳同位素组成非常轻,属于生物气或亚生物气^[18],宝岛 19-2 区深层陵水组天然气则以煤型气为主^[8],这与宝岛凹陷演化程度较高的煤系烃源岩相吻合。

因此,宝岛北坡宝岛 13-1 区的油气是晚期成藏的,天然气主要为油型气,凝析油成熟度低,油气主要来自邻近渐新统源岩,而宝岛 19-2 区油气主要来自宝岛凹陷。晚期成藏且距离主要生烃中心宝岛凹陷太远,油气源不足是导致宝岛 13-1 区油气丰度低的主要原因。

5 结论

(1)定量颗粒荧光实验表明,宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层 QGF 指数很低,而 QGF-E 强度很高;宝岛 19-2 区陵水组储层 QGF 指数很高,而 QGF-E 强度很低。这说明宝岛 13-1 区梅山组—三亚组储层中油气聚集时间很晚,油气充注时间很晚造成了颗粒内包裹体丰度非常低,颗粒表面吸附烃类相对较高;而宝岛 19-2 区陵水组储层早期曾聚集过油气,并形成过一定规模的油气藏,从而使储层砂岩颗粒内形成了较多的烃类包裹体。

(2)宝岛 13-1 气田的油气是晚期成藏的,油气主要来自本地烃源岩的贡献,而不是生烃条件较好的宝岛凹陷,远距离和供烃不足是其低丰度的主要原因。

参考文献 (References):

- [1] Liu K, Eadington P. A new method for identifying secondary oil migration pathways[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2003, (78/79): 389-394.
- [2] Jiang Zhenxue, Wang Xiandong, Pang Xiongqi, *et al.* Paleohydrocarbon water contact restoration of typical Silurian oil and gas reservoirs in the northern Tarim Basin[J]. *Earth Science*, 2006, 31(2): 201-208. [姜振学, 王显东, 庞雄奇, 等. 塔北地区志留系典型油气藏古油水界面恢复[J]. *地球科学*, 2006, 31(2): 201-208.]
- [3] Liu K, Eadington P J. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history[J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36: 1023-1036.
- [4] Liu K, Eadington P J, Middleton H, *et al.* Applying quantitative fluorescence techniques to investigate petroleum charge history of sedimentary basins in Australia and Papuan New Guinea[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2007, 57: 139-151.
- [5] Chen Dongxia, Pang Xiongqi, Zhang Jun, *et al.* Application of quantitative grain fluorescence techniques to study of Subtle oil migration pathway of lithological pool[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 250-256. [陈冬霞, 庞雄奇, 张俊, 等. 应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的隐蔽输导通道[J]. *地质学报*, 2007, 81(2): 250-256.]
- [6] Li Zhuo, Jiang Zhenxue, Li Feng. The application of quantitative grain fluorescence technique to restore the hydrocarbon charge history of Carboniferous reservoirs in Tazhong area, Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(3): 427-434. [李卓, 姜振学, 李峰. 应用定量颗粒荧光技术恢复塔中地区石炭系油气充注历史[J]. *石油学报*, 2013, 34(3): 427-434.]
- [7] Liu Zhenghua, Chen Honghan. Hydrocarbon charging orders and times in the eastern area of Qiongdongnan Basin[J]. *Geoscience*, 2011, 25(2): 279-288. [刘正华, 陈红汉. 琼东南盆地东部地区油气形成期次和时期[J]. *现代地质*, 2011, 25(2): 279-288.]
- [8] Huang Baojia, Li Li, Huang Heting. Origin and accumulation mechanism of shallow gas in the north Baodao slope, Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(5): 530-536. [黄保家, 李里, 黄合庭. 琼东南盆地宝岛北坡浅层天然气成因与成藏机制[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(5): 530-536.]
- [9] Han Guangming, Li Xushen, Wang Lifeng, *et al.* New explanation of fault system in Baodao Sag's northern slope of Qiongdongnan Basin and its affect for natural gas accumulation [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(2): 352-355. [韩光明, 李绪深, 王立锋, 等. 琼东南盆地宝岛凹陷北坡断裂体系新认识及与天然气成藏关系[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(2): 352-355.]
- [10] Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Li Youchuan, *et al.* Geochemical characteristics and hydrocarbon generation of Paleogene Oligocene source rocks in Qiongdongnan Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(4): 701-708. [李文浩, 张枝焕, 李友川, 等. 琼东南盆地古近系渐新统烃源岩地球化学特征及生烃潜力分析[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(4): 701-708.]
- [11] Wang Zhenfeng, Li Xushen, Sun Zhipeng, *et al.* Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential in the deep water region, Qiongdongnan Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2011, 23(1): 7-13. [王振峰, 李绪深, 孙志鹏, 等. 琼东南盆地深水区油气成藏条件和勘探潜力[J]. *中国海上油气* 2011, 23(1): 7-13.]
- [12] Liu Zhenghua, Chen Honghan. Origin mechanism and sourcerock for natural gas in Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(6): 639-644. [刘正华, 陈红汉. 琼东南盆地天然气成因类型及其烃源探讨[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(6): 639-644.]
- [13] Li Youchuan, Deng Yunhua, Zhang Gongcheng. Zoned distribution of source rocks and hydrocarbon offshore China[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2012, 24(1): 6-12. [李友川, 邓运华, 张功成. 中国近海海域烃源岩和油气的分带性[J]. *中国海上油气*, 2012, 24(1): 6-12.]
- [14] Cao Xudi, Fang Shihu, Gui Lili, *et al.* Application of quantitative grain fluorescence techniques in analysis of characteristics of hydrocarbon adjustment in Yingdong western Qaidam Ba-

- sin[J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, 13(10): 2785-2790. [曹许迪, 方世虎, 桂丽黎, 等. 利用定量颗粒荧光技术分析柴西英东地区油气调整特征[J]. *科学技术与工程*, 2013, 13(10): 2785-2790.]
- [15] Li Shuangwen, Liu Luofu, Li Chao, *et al.* Application of quantitative grain fluorescence technique in study of Silurian palaeo-oil pools distribution in the center Tarim Basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2006, 36(5): 813-819. [李双文, 刘洛夫, 李超, 等. 应用定量颗粒荧光技术研究塔中地区志留系古油藏分布特征[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2006, 36(5): 813-819.]
- [16] Gao Jianbo, Zhang Houhe, Pang Xiongqi, *et al.* Application of quantitative grain fluorescence (QGF) analysis in low permeability sandstone reservoirs: A case study of Chang4+5 oil Formation in Ordos Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(10): 1-5. [高剑波, 张厚和, 庞雄奇, 等. 定量颗粒荧光技术在低渗透致密砂岩油藏研究中的应用[J]. *石油天然气学报*, 2011, 33(10): 1-5.]
- [17] Zhang Xinshun, Huang Zhilong, Fan Caiwei, *et al.* Fault sealing capacity and relationship with oil-gas accumulation at Baodao Northern slope[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(2): 356-364. [张新顺, 黄志龙, 范彩伟, 等. 宝岛北坡断层封闭性与油气运聚关系[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(2): 356-364.]
- [18] He Jiaxiong, Wu Wenhai, Zhu Youhai, *et al.* Genetic types, migration and accumulation of oil and gas and exploration proposal in north marginal basins, South China Sea [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(1): 7-17. [何家雄, 吴文海, 祝有海, 等. 南海北部边缘盆地油气成因及运聚规律与勘探方向[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(1): 7-17.]
- [19] Xie Yuhong, Wang Zhenfeng, Tong Chuanxin. Petroleum geology of Yacheng 13-1, the largest gas field in China's offshore region [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2008, 25(8): 433-444.

The Application of Quantitative Grain Fluorescence Technique to Study Hydrocarbon Accumulation Characteristics of BD13-1, Qiongdongnan Basin

MA Jian¹, HUANG Zhi-long¹, FAN Cai-wei², ZHANG Xin-shun¹, ZHU Jian-cheng²

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The natural gas and oil is of low abundance and the reason of that is still not clear in BD13-1, Qiongdongnan Basin. Based on quantitative grain fluorescence technique (QGF and QGF-E), origin and accumulation characteristics of BD13-1 low abundance reservoirs are investigated in this paper. The results show that the QGF index is low and QGF-E index is high in Meishan-Sanya Formation reservoirs of BD13-1. However, the QGF index is high and QGF-E index is low in Lingshui Formation reservoirs of BD19-2 which locates downdip direction of the same structural belt. The characteristics indicate that the hydrocarbon accumulation period is very late which lead to low hydrocarbon content in particle inclusions and relatively high adsorption hydrocarbon content on particle surface. But there is more hydrocarbon in particles of Lingshui Formation reservoirs of BD19-2 which indicates early hydrocarbon charging. Based on the analysis of other accumulation conditions, the oil and natural gas of BD13-1 are from local deep hydrocarbon source rocks rather than Baodao sag with better hydrocarbon generation conditions. So the main reason of low abundance accumulation is lack of hydrocarbons and it is far from the hydrocarbon-generating sag.

Key words: Qiongdongnan Basin; BD13-1; Quantitative grain fluorescence; Hydrocarbon accumulation period