

琼海凸起新近系低幅-低阻油藏形成条件及成藏模式

甘 军,张迎朝,邓广君,陆 江,郑榕芬

[中海石油(中国)有限公司 湛江分公司 勘探开发研究院,广东 湛江 524057]

摘要:综合应用油气地球化学、储层沉积学及成藏综合研究方法,剖析了琼海凸起文昌13区珠江组一段低幅-低阻油藏的油气来源、运移及成藏特征,深化了该区高阻、低阻油层成藏过程及运聚规律的认识。研究表明:1)文昌13-X珠江组一段低阻油层的原油主要来自文昌A凹陷恩平组浅湖相泥岩,该套烃源岩是文昌凹陷除文昌组中深湖泥岩之外的另一套优质生油岩。2)文昌13区珠江组一段低阻油层具备发育在低幅度披覆背斜上的构造+岩性成藏模式,储层类型为浅海低能环境下发育的滨外砂坝泥质粉砂岩,储层岩性细、泥质含量高是低阻油层形成的主要原因。3)本区低阻油藏具备圈闭低幅度、储层低渗的特征,油气运移进入圈闭需要克服较大的毛细管阻力。4)本区珠江组一段低阻油层是其下覆高阻油层的次生油藏,形成纵向上高阻、低阻油层叠置伴生的油气富集带;低幅-低阻油藏勘探开发潜力大,是成熟区挖潜的重要领域。

关键词:低幅构造;低阻油层;恩平组;琼海凸起

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Forming conditions and hydrocarbon accumulation patterns of the Neogene low resistivity reservoirs in low-amplitude structure of Qionghai Salient

Gan Jun, Zhang Yingzhao, Deng Guangjun, Lu Jiang, Zheng Rongfen

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Zhanjiang Branch of CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: Using geochemical, sedimentary and hydrocarbon accumulation analysis methods, this paper studied the characteristics of source rocks, hydrocarbon migration and accumulation of the low resistivity reservoirs of the 1st Member of Zhujiang Formation (Zhu1) in the low-amplitude structure of Qionghai salient in Wenchang-13 block, Qionghai salient. The following results were obtained. The oil of the Zhu1 low resistivity reservoir in Wenchang 13-X is mainly sourced from the shallow lacustrine mudstone of Enping Formation in Wenchang sag, which is another high quality source rock in addition to the Wenchang Formation mudstone of mid-deep lacustrine facies. The low resistivity reservoirs of Zhu1 in Wenchang 13 block are of structural-lithologic composite type developed in the low amplitude drape anticlines. The main reservoir consists of offshore fine muddy siltstone with fine grain and high mud content, which are the main causes of the low resistivity. The low resistivity reservoirs area characterized by low amplitude structure and low permeability. The low resistivity reservoirs are secondary accumulation with hydrocarbons sourced from the underlying high resistivity reservoir. The low resistivity and high resistivity reservoirs superimpose vertically to form a hydrocarbon enrichment zone. The low resistivity reservoirs in low amplitude structure are important targets for potential-tapping in mature area.

Key words: low amplitude structure, low-resistivity oil layer, Enping Formation, Qionghai salient

珠江口盆地琼海凸起是南海西部海域重要原油生产基地,该区已钻井22口,发现文昌13-1、文昌13-2等一批油田(图1),建成了年产 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的原油产能。目前琼海凸起发现的油田主要是新近系披覆背斜油藏,主力油层珠江组滨海砂岩埋深浅、产能高但产量递减很快。随着勘探程度的加深,凸起上的构造圈闭越来越少,在油田周边寻找接替储量也越来越紧迫。

近年来,通过精细落实低幅度圈闭和成藏综合研究确定有利勘探目标,相继在琼海凸起东区成功发现了文昌13-X、文昌13-Y等一批珠江组大中型低阻油藏。同时老井复查在文昌13-1、13-2油田也新解释出大量低阻油层,大幅增加了储量和产量,取得较好的经济效益。搞清低阻油层的油气来源、成藏特征是进一步挖掘该区勘探潜力的关键问题。在烃源岩方面前人研究

收稿日期:2013-06-03;修订日期:2014-05-10。

第一作者简介:甘军(1971—),硕士、高级工程师,油气勘探综合地质。E-mail: ganj@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05023-001-007)。

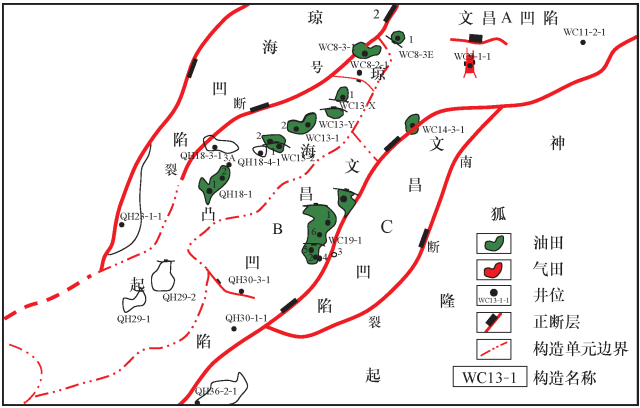


图 1 珠三拗陷西部构造区划示意图

Fig. 1 Structure outline of the western part of ZhuIII Depression

主要认为琼海凸起西区的原油主要来自文昌 B 凹陷文昌组湖相源岩,而凸起东区原油主要来自文昌 A 凹陷文昌组湖相源岩^[1-4]。储层岩性细、泥质含量高及高束缚水饱和度是本区低阻油层的主要成因^[5-6],而有关本区低阻油层形成的地质背景及成藏机制方面的研究较少。本中通过分析本区油气来源及运聚条件,总结了低阻油层的成藏动力及成藏模式,以期为本步勘探提供借鉴。

1 区域地质背景

珠江口盆地是一个位于南海北部大陆架以新生代沉积为主的裂谷盆地,印支-燕山运动以后,盆地西区上升为陆,一直处于长期隆起的剥蚀状态,直至古近纪,由于南海扩张及盆地边界断裂的活动,本区开始凹陷的演化过程。本区古近纪以来主要经历了 3 次张裂和裂后构造沉降阶段^[7]:1) 古新世初始裂陷阶段。2) 始新世第二期张裂,湖盆发育处于鼎盛期,文昌 A、B 和 C 凹陷作为一个统一的深水湖盆,沉积了一套厚层的文昌组泥岩,形成盆地第一套优质烃源岩。3) 早渐新世第三次张裂期,由于区域应力场转变为南北向拉伸,珠三南断裂东段继续伸展而西段基本停止活动,沉降中心向东迁移到文昌 A 凹陷,充填了一套厚层的恩平组浅海相、河沼相泥岩,形成盆地第二套优质烃源岩。

至晚渐新世,神狐隆起以南广海开始向北侵入,沉积环境由“断陷湖”转变为“泻湖/潮坪”,除南断裂下降盘有近源的扇三角洲粗碎屑沉积。本区广泛发育潮下坪潮道、砂坝及泥坪沉积,在纵向上形成多套有利的储盖组合。琼海凸起至早中新世以后才完全被海水淹没,凸起上主要发育新近统地层,珠江组二段—一段下部主要为滨海-潮坪环境,潮道、砂坝等海相砂岩物性好,分布稳定。到了早中新世晚期以后,随海水深度加大,由滨海过渡到浅海,主要发育珠江组上部—韩江组巨厚泥岩,可作为本区良好的区域盖层。

2 低幅-低阻油藏特征

2.1 油藏分布特征

琼海凸起文昌 13 区发现的主要是珠江组披覆背斜油藏,圈闭幅度主要介于 10 ~ 25 m,属低幅圈闭。按其储层、流体特征又可分为高阻、低阻两类油藏,高阻油藏主要分布在珠江组一段下部—珠江组二段;低阻油藏主要分布在珠江组一段上部。从珠江组二段到珠江组一段上部,圈闭幅度降低,油层性质从高阻变为低阻。文昌 13 区整体表现为珠江组高阻、低阻油层纵向叠置、横向连片,储量丰度达到 $428 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,为一个含油层系多、储量丰度高的油气富集带,其中文昌 13-X 珠江组一段低阻油层的储量占到整个油藏的 90% 以上,而文昌 13-1 和 13-2 低阻油层的储量占到整个油藏的 30% 左右。

文昌 13-X 低阻油藏,珠江组一段上部储层主要为滨外砂坝泥质粉砂岩,埋深 1 100 ~ 1 200 m,孔隙度为 20% ~ 24%,渗透率为 $14 \times 10^{-3} \sim 60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中孔、低渗储层。WC13-X-1 井 ZJ1-III 低阻油层电阻率 $1.2 \sim 1.8 \Omega \cdot \text{m}$ (图 2),油层厚度合计 34.2 m,直井 DST 测试原油产量 $55.3 \text{ m}^3/\text{d}$,原油地面密度

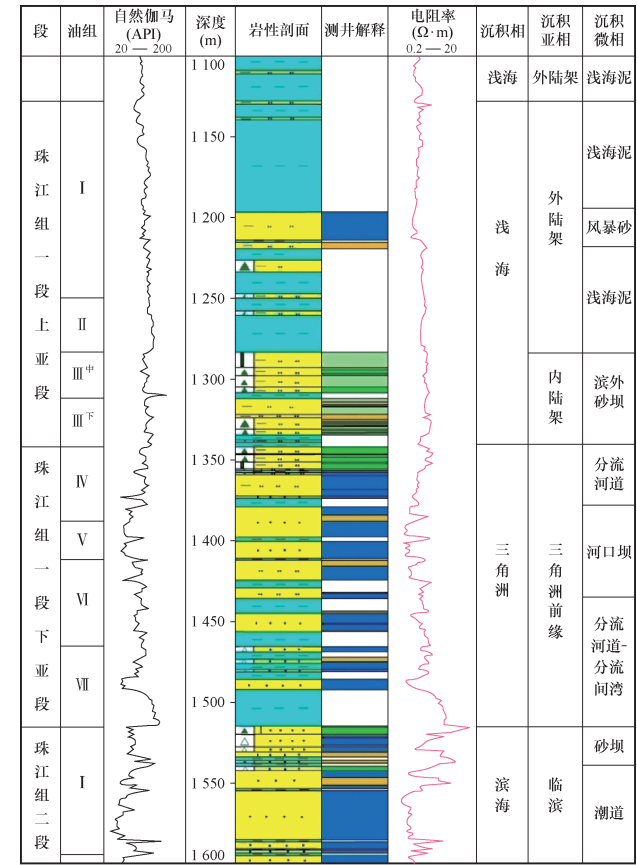


图 2 WC13-X-1 井珠江组油层柱状图

Fig. 2 Histogram showing Zhujiang Formation oil layers in Well WC13-X-1

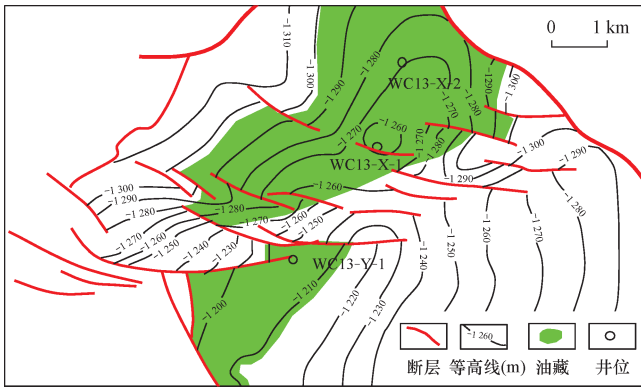


图3 文昌13-X构造珠江组一段Ⅲ油组含油面积

Fig. 3 Oil-bearing area of the 3rd oil layer of Zhu1 in WC13-X block

0.75 g/cm³, 粘度 1.24 mPa·s, 含蜡量 5%。溶解气油比 40.3 m³/m³, 为正常轻质油藏。文昌13-X珠江组一段背斜面积仅 1.6 km², 圈闭幅度仅 10 m 左右, ZJ1-Ⅲ油组油柱高度大于 40 m, 含油面积大大超出背斜范围, 为低幅构造背景上的岩性油藏(图3)。另外该低阻油层下方在 ZJ1-Ⅳ和 ZJ2-I 发现了薄层的高阻油层, 高阻油层孔、渗条件明显优于低阻油层, 为高孔、高渗储层, 但含油范围严格受背斜控制, 储量规模较小。

2.2 储层特征

低阻油层是一个相对术语, 欧阳健等把与水层的测井电阻率比值小于 2, 甚至与水层电阻率相同的油层定义为低电阻率油层^[8]。低电阻油层由于其岩性、电性的隐蔽性往往不易被识别。各个地区低阻油层没有统一的划分标准, 目前较为公认的是用电阻率增大系数判别 $I(I = R_o/R_w$: 油层和邻近水层的电阻率之比), I 小于 2.5~3.0 为低阻油层。

琼海凸起文昌13-X等油田发现的低电阻率油层电阻率一般在 1~2 Ω·m, 表现为高束缚水饱和度的特征。珠江组一段上部($T_4^0-T_4^1$)低电阻率油层储层类型为一套区域海侵背景、浅海低能环境下发育的滨外砂坝, 储层分布主要受基底隆起的控制, 在古构造高处, 常发育滨外砂坝储层。该类储层岩心及电成像测井常见平行纹层、块状层理而不见交错层理^[9], 岩性为泥质粉砂岩, 岩石类型为石英砂岩和长石石英砂岩, 石英含量 50.0%~55.4%, 成分成熟度较高; 填隙物以泥质为主, 泥质含量 12.2%~28.5%, 表现为岩性细、泥质重的特征, 镜下观察孔隙结构主要为粘土杂基支撑, 颗粒呈游离、点接触, 喉道半径主要集中在 0~0.5 μm, 少部分为 0.5~5 μm, 表现为中孔、微细喉的特征(图4), 压汞曲线表现为启动压力较高、平台段短的特征, 综合评价为Ⅲ类差储层。本区低阻油层埋藏浅, 储层压实和胶结作用均较弱, 物性差的原因主要是泥质杂基堵塞喉道造成渗透率下降, 这和东海盆地西湖凹陷深埋储层的孔隙结构明显不同^[10]。

3 烃源及运聚特征

琼海凸起位于文昌B凹陷、文昌A凹陷及琼海凹陷包围之中, 勘探实践证实文昌A、B主要发育文昌组、恩平组两套烃源岩, 烃源条件优越, 具备较大的生油潜力; 而琼海凹陷规模小、埋深浅, 生烃能力有限。琼海凸起是一基底继承性古隆起, 总体呈西高东低、自西南向东北逐渐倾没的格局, 其东北倾没端一直延伸到文昌A凹陷。由于琼海凸起本身不具备生烃条件, 其油源主要来自文昌A和B凹陷。

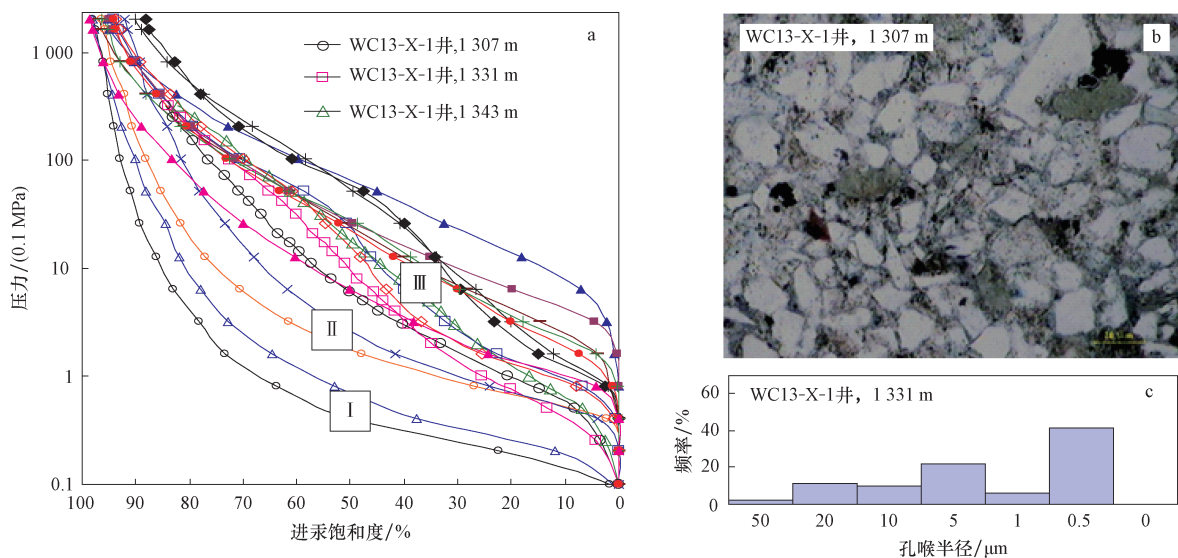


图4 琼海凸起珠江组储层压汞曲线(a)和珠江组一段低阻油层孔隙结构(b)、喉道分布(c)

Fig. 4 Mercury penetration curves of the Zhujiang Formation(a), pore texture (b) and throat distribution(c) of Zhu1 low resistivity reservoir in Qionghai Salient

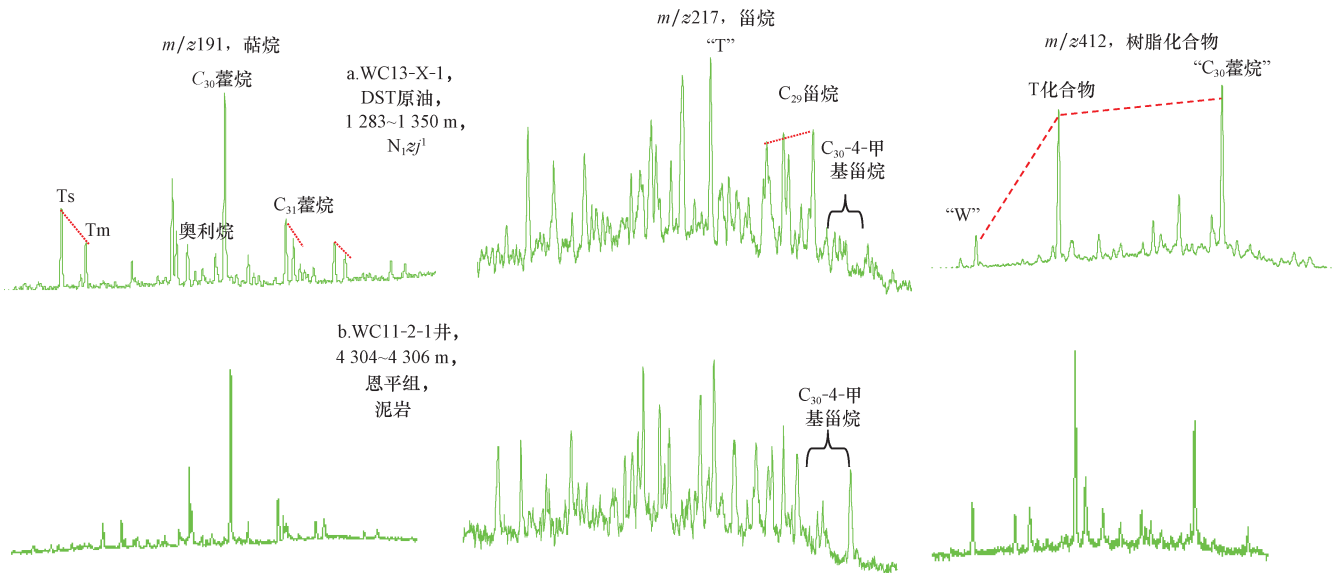


图5 WC13-X-1井低阻油层与WC11-2-1井恩平组浅湖相源岩甾、萜烷对比

Fig. 5 Correlation of sterane and terpane distribution between low resistivity layers in Well WC13-X-1 and shallow lacustrine mudstone of the Enping Formation in Well WC11-2-1

3.1 油-源对比

油-岩精细对比表明,文昌13-X低阻油藏原油4-甲基甾烷含量较低,4-甲基甾烷指数为0.28(图5),而反映陆源物质输入的双杜松烷、T化合物含量相对较高,姥鲛烷/植烷(Pr/Ph)比值大于3,全油碳同位素值范围介于-28.1‰~-29.3‰,上述特征与文昌A凹陷WC11-2-1井恩平组浅湖相泥岩的生标特征及碳同位素组成相似,而与文昌B凹陷WC19-1-3井文昌组深湖相泥岩明显不同,后者以高含4-甲基甾烷、基本不含T化合物及碳同位素异常重为特征^[11-13]。另外从琼海凸起从东到西发现的原油地化特征分析(表1),文昌13-X低阻油藏原油性质更接近于凸起东部的文昌8-3E油田,而与凸起西部的琼海18-1、文昌13-2油田的原油差别较大。综合分析文昌13-X的原油应主要来自文昌A凹陷恩平组浅湖相烃源岩。

3.2 浅湖相泥岩生烃特征

目前文昌A和B凹陷揭露文昌组浅湖相泥岩的

钻井仅有1口且分布在凹陷边缘,其生烃特征不具代表性(表2)。而恩平组浅湖相泥岩在文昌A凹陷的WC11-2-1和WC9-6-1等多口井钻遇。其中WC11-2-1揭露了恩平组一段400m(4300~4700m)浅湖相暗色泥岩,该井恩平组泥岩显微组分既有腐泥组,亦有腐殖组,为高等植物与水生生物的混合及其菌解产物,小孢子体等壳质组为特征组分,属于Ⅱ₁-Ⅱ₂型干酪根,干酪根碳同位素为-28.2‰,Pr/Ph比值介于2~4之间,表明该套泥岩是一套弱氧化-弱还原环境下发育的烃源岩;WC11-2-1井恩平组泥岩有机碳含量(TOC)介于1.1%~2.9%,氢指数(HI)介于180~250mg/g,C₃₀-4-甲基甾烷指数介于0.3~0.4,生油门限(镜质体反射率R₀=0.6%)约为2800m,表明该套泥岩为中等-好的生油岩;另外该井恩平组泥岩单体烃碳同位素值介于-25‰~-31‰,且有随深度加大碳同位素值变重、T/C₃₀甾烷及Pr/Ph比值变小的趋势,表明恩平组深部的烃源岩母质类型更好。

根据琼海凸起油源对比结果及周边凹陷烃源岩发育特征分析,认为琼海凸起东端文昌8-3E、文昌13-

表1 琼海凸起珠江组原油地球化学特征

Table 1 Geochemistry characteristics of oil from the Zhujiang Formation on Qionghai salient

构造单元	位置	井名	油层层位	原油地球化学特征				油源分析
				$\Sigma C_{30-4} / \Sigma C_{29}$ 甾烷	T/H ₃₀ 藿烷	Pr/Ph	全油碳同位素含量/‰	
琼海凸起	东部	WC8-3E-1	N ₁ z ¹	0.29	4.09	3.60	-29.4	文昌A凹陷恩平组浅湖泥岩为主,可能有文昌组浅湖泥岩的贡献
	中部	WC13-X-1	N ₁ z ¹	0.28	5.46	3.40	-29.3	文昌A凹陷恩平组浅湖泥岩为主,可能有文昌组浅湖泥岩的贡献
		WC13-1-1	N ₁ z ¹	0.37	1.32	2.76	-28.1	文昌B凹陷文昌组浅湖泥岩为主
		WC13-2-1	N ₁ z ¹	0.39	1.90	2.61	-28.9	文昌B凹陷文昌组浅湖泥岩为主
	西部	QH18-1-2	N ₁ z ¹	0.41	4.78	2.08	-27.5	文昌B凹陷文昌组浅湖泥岩为主,可能有恩平组浅湖泥岩的贡献

表 2 文昌凹陷文昌组和恩平组烃源岩评价

Table 2 Source rock evaluation of the Wenchang and Enping Formations in Wenchang Sag

层位	相带	TOC/%	A/%	$(S_1 + S_2)/(mg \cdot g^{-1})$	HI/($mg \cdot g^{-1}$)	评价级别	代表井
恩平组一段	浅湖	0.48 ~ 3.02 1.15(58)	0.031 2 ~ 1.089 1 0.207 0(27)	0.32 ~ 12.95 2.86(52)	42.86 ~ 574.07 154.52(52)	中等-好	WC11-2-1
	河沼相	0.42 ~ 12.31 1.80(46)	0.009 5 ~ 0.929 0 0.140 0(27)	0.07 ~ 28.80 2.89(39)	13.56 ~ 228.00 96.31(39)	中等	YJ36-1-1
文昌组二段	中深湖	1.75 ~ 4.02 2.93(23)	0.193 4 ~ 0.705 5 0.456 1(9)	7.18 ~ 25.63 15.79(23)	332.34 ~ 682.58 470.95(23)	好-最好	WC19-1M-1
	浅湖	0.43 ~ 1.01 0.72(4)	0.036 9 ~ 0.142 3 0.075 8(3)	0.53 ~ 1.39 0.89(4)	79.25 ~ 111.88 91.56(4)	中等	WC2-1-1
文昌组三段	中深湖	0.66 ~ 2.41 1.55(3)	0.058 2 ~ 0.204 4 0.115 8(3)	1.66 ~ 19.29 9.72(3)	250.00 ~ 790.46 518.58(3)	好	WC19-1-3

注:表中数据为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。TOC 为有机碳含量;A 为氯仿沥青“A”含量; $S_1 + S_2$ 为生烃潜量;HI 为氢指数。

X 等油藏的原油主要来自文昌 A 凹陷恩平组浅湖泥岩。该套烃源岩生成的油气可运移到较远的凸起区成藏,即沿凹陷-斜坡上发育的油源断层垂向运移至珠江组,然后再沿珠江组砂岩输导层自东北向西南运移形成文昌 8-3E、文昌 13-X 等一系列油藏。

3.3 油气充注期次

琼海凸起发现的珠江组油藏储层孔隙中普遍发现碳质沥青、沥青包裹体、石油包裹体和含烃盐水包裹体,包裹体均一温度较高,盐水与烃类流体的混溶现象比较明显,珠江口盆地东部的番禺低隆起也具有类似特征^[14]。文昌 13-X、琼海 18-1 珠江组油层中都发现了均一温度高达 130~160℃的盐水包裹体,以地温梯度 38℃/km 计算,现今储层约为 61℃,远低于所测包裹体温度,表明热流体活动的存在。从包裹体的赋存方式、捕获温度与压力及储层沥青等数据来看,认为琼海凸起存在两期烃类流体运移,第一期烃类充注发生在 16 Ma 左右,该期文昌组浅湖相烃源岩已成熟并开始排烃,运移到凸起上形成的油藏被后期断裂或热流体活动破坏,形成了较多低反射率沥青;第二期烃类充注发生在 5 Ma 以后,该期文昌组和恩平组浅湖相烃源岩已处于生排烃高峰期,油气充注强度大,同时伴随有热流体活动,是主要的油藏形成期。

4 成藏动力及成藏模式

4.1 低幅-低阻油藏石油运移动力和阻力

文昌 13 区珠江组一段低阻油藏岩性主要为泥质粉砂岩,由于储层喉道细小,毛细管阻力较大,即油气充注的阻力较大。从运移动力考虑,低幅度构造的石油上浮力也较小,只有在上浮力大于毛细管力的情况下,即石油在储层中必须聚集到一定的油柱高度后才能开始向上运移^[15]。据真丙钦次(1978)研究,轻质油

在粉砂岩中向上运移的最小临界油柱高度为 6~8 m^[16]。文昌 13 区珠江组一段低幅构造幅度基本上和该临界油柱高度比较接近甚至更小,按常规油气运移原理分析,油气难以进入低幅构造中的泥质粉砂岩中并形成较大规模的油藏。但 WC13-X 和 WC13-Y 低阻油藏的成功发现表明珠江组一段上部低幅小构造的细粒储层也可以形成大中型油田,这也进一步证实琼海凸起文昌 13 区具备油源充足的有利条件。

4.2 成藏过程及成藏模式

琼海凸起文昌 13 区珠江组成藏组合表现为纵向上高阻、低阻油层叠置伴生的特点,储层物性和储盖组合控制了油气侧向运移的优势通道。本区 T_3^0 和 T_4^1 等高孔渗储层之上均有一套分布稳定的泥岩盖层,在储层连续分布的条件下,位于盖层之下的第一套砂岩是油气侧向运移的优势通道。文昌凹陷文昌组或恩平组浅湖泥岩生成的油气先通过油源断层运移至珠江组,再沿这些高渗储层侧向运移至凸起上的背斜圈闭,形成文昌 13 区高阻油藏(图 6)^[17]。

文昌 13 区珠江一段上部($T_4^0-T_4^1$)低阻油层的储

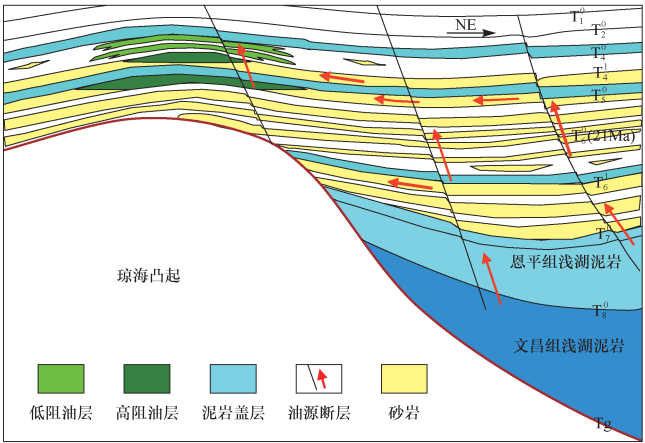


图 6 琼海凸起珠江组油气成藏模式

Fig. 6 Hydrocarbon accumulation pattern of the Zhujiang Formation on Qionghai Salient

层特征与下覆的高阻油层差异明显。珠江一段上部浅海环境里的储层横向变化较大且以低渗为主,储层分布主要受基底古隆起控制,在构造高部位可发育厚层的滨外砂坝,而低部位则以厚层泥岩为主。因此分布局限的珠江一段上部储层不能作为油气长距离侧向运移的优势通道,低阻油藏的油气应主要通过垂向运移而来。区域构造演化表明,南海北部中新世发生的东沙运动在文昌13区形成了大量的北西向断裂,可作为油气垂向运移的通道^[18-20]。即油气沿 T_5^0 和 T_4^1 高孔渗的砂岩侧向运移至背斜圈闭形成高阻油藏后,由于油源充足,油气溢出再通过 NW 向断层向上运移到珠江一段上部形成低阻油藏。因此从成藏过程分析,低阻油层实际上是下覆高阻油层的次生油藏,二者的差异主要是由于储层岩相及物性的差异造成的。

近期琼海凸起文昌13区和文昌8区的勘探实践在珠江组发现了大量的低阻油层和高阻油层,低阻油层都分布在珠江组一段上部,其下覆珠江组一段下、珠江组二段都伴生有高阻油层。文昌13-1和13-2的开发实践已证实珠江组一段低阻油藏储量潜力大且水平井产能较高,是下步开发的重点领域。

5 结论

1) 烃源岩特征及油源对比结果表明,文昌A凹陷发育的恩平组厚层浅湖泥岩显微组分既有腐泥组,亦有腐殖组,属于 II_1-II_2 型干酪根,HI 介于 180~250 mg/g,含有一定含量的 $C_{30}-4$ -甲基甾烷,为中等-好的生油岩;琼海凸起东部文昌8-3E、文昌13-X等珠江组原油生标特征、同位素组成与文昌A凹陷恩平组浅湖泥岩类似,综合判断文昌13-X的原油应主要来自文昌A凹陷恩平组浅湖泥岩。

2) 琼海凸起文昌13区珠江组一段上部低阻油层是发育在低幅度披覆背斜上的岩性油藏,储层类型为发育在浅海低能环境下的滨外砂坝泥质粉砂岩,表现为中孔、低渗的特征。储层岩性细、泥质含量高是本区低阻油层形成的主要原因。

3) 琼海凸起文昌13区珠江组高阻、低阻油层呈现纵向叠置、横向连片的分布特征。珠江组一段上部低阻油层往往依附于下覆高阻油层而存在,即油气先充注珠江组二段及珠江组一段下部的高渗储层形成高阻油藏,高阻油藏充满后溢出的原油通过北西向的断裂向上运移至珠江组一段上部低渗储层形成低阻油藏,充足的油源供应、复合输导体系及多套储盖组合的发育是该区大中型油田形成的主控因素。

4) 琼海凸起文昌13区勘探开发实践表明,珠江组一段上部低阻-低阻油藏储量潜力大且水平井产能

高,是成熟区勘探开发挖潜的重点领域。

致谢:研究成果得到了中海石油(中国)有限公司湛江分公司研究院黄保家高级工程师、徐新德高级工程师、尤丽工程师及中科院广州地化所田辉副研究员的大力支持和帮助,在此一并向他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 朱伟林,黎明碧,吴培康. 珠江口盆地珠三拗陷石油体系[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):21-26.
Zhu Weilin, Li Mingbi, Wu Peikang. Petroleum system in Zhu - III depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(6): 21-26.
- [2] 周雯雯,张伙兰. 珠三拗陷有机包裹体应用研究[J]. 岩石学报,2000,16(4):677-686.
Zhou Wenwen, Zhang Huolan. Study on application of organic inclusions in Zhu - III depression [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 677-686.
- [3] 徐新德,黄保家. 珠三拗陷琼海凸起油气运聚研究[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):41-44.
Xu Xinde, Huang Baojia, et al. Research of hydrocarbon migration and accumulation on Qionghai uplift in Zhu-III depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 41-44.
- [4] 龚再升,李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京:科学出版社,2004:289-298.
Gong Zaisheng, Li Sitian. Hydrocarbon accumulation dynamics research of continental margin basins in the north of South China Sea. [M]. Beijing: Science Press, 2004: 289-298.
- [5] 何胜林. 南海西部海域文昌A-B油田低阻成因分析[J]. 世界地质,2011,30(3):404-409.
He shenglin. Analysis on low-resistivity origin of Wenchang A and B oilfields in western South China Sea [J]. World Geology, 2011, 30(3): 404-409.
- [6] 尤丽,李才,刘景环等. 琼海凸起珠江组一段低电阻率油层的储层微观成因机理分析[J]. 世界地质,2011,30(1).
You li, Li cai, Liu jinghuan, et al. Analysis on micro-geological causes of low-resistivity oil layers from member 1 of zhujiang formation in qionghai uplift [J]. World Geology, 2011, 30(1).
- [7] 龚再升,李思田,谢泰俊,等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京:科学出版社,1997:65-74.
Gong Zaisheng, Li Sitian, Xie Taijun, et al. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the Northern of South China Sea. [M]. Beijing: Science Press, 1997: 65-74.
- [8] 欧阳健. 油藏中饱和度-电阻率分布规律研究——深入分析低阻油层基本成因[J]. 石油勘探与开发,2002,29(3):44-47.
Ouyang Jian. A study on saturation-resistivity distribution pattern of reservoirs—An in-depth analysis for the basic origin of low resistivity reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(3): 44-47.
- [9] 杨玉卿,崔维平,李俊良,等. 电成像测井在珠江口盆地西部低阻油层研究中的应用[J]. 中国海上油气,2011,23(6):369-373.
Yang yuqing. Cui weiping. Li junliang, et al. An application of electric imaging logging to research low-resistivity oil intervals in the western Pearl River Mouth Basin. [J]. China offshore Oil and Gas, 2011, 23(6): 369-373.

(下转第349页)