

文章编号: 0253-9985(2009)02-0210-05

北部湾盆地迈陈凹陷东部地区油气成藏特征

苏永进^{1,2}, 唐跃刚¹, 石胜群³, 房新娜⁴

(1 中国矿业大学, 北京 100083; 2 中国石油化工股份有限公司, 北京 100728)

3 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司物探技术研究院, 江苏 南京 257000

4 中国石油化工股份有限公司 石油化工管理干部学院, 北京 100012)

摘要: 在区域构造演化、构造单元划分及地层发育特征分析的基础上, 对北部湾盆地迈陈凹陷东部地区, 重点开展了储集层、油气成藏条件和主控因素研究, 建立起研究区油气成藏模式。分析认为, 古近系流沙港组、涠洲组是主要含油层系, 包括 4 套储盖组合; 主要烃源岩为流二段和流三段上部暗色泥岩, 2 套重要的砂岩储层是流三段和涠洲组; 圈闭类型以断鼻、断块及地层超覆型为主, 时间、空间上配置较好; 成熟烃源岩、储层发育、断层特征、盖层条件和圈闭形态及落实程度是油气成藏的主控因素; 研究区包括深凹带内斜坡带、南部断阶带和外斜坡、远斜坡带三种成藏模式, 内斜坡带西部地区为勘探最有利的区带。

关键词: 储集层; 成藏特征; 主控因素; 迈陈凹陷; 北部湾盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Characteristics of hydrocarbon pooling in the east of the Maichen sag of the Beibu Gulf Basin

Su Yongjin^{1,2}, Tang Yuegang¹, Shi Shengqun³, Fang Xinna⁴

(1 China University of Mining and Technology, Beijing 100083 China; 2 China Petroleum & Chemical Corporation,

Beijing 100728 China; 3 Research Institute of Geophysical Technologies, Sinopec Jiangsu Oilfield Company,

Nanjing, Jiangsu 210046 China; 4 Sinopec Management Institute, Beijing 100012 China)

Abstract Based on the analysis of regional tectonic evolution, structural unit division and characteristics of strata development, the reservoirs, hydrocarbon pooling conditions and main controlling factors were studied to set up pool-forming models in the east of the Maichen Sag of the Beibu Gulf Basin. The Paleogene Liushagang and Weizhou formations (E_1 and E_2 respectively) are the dominant oil-bearing formations which include four sets of reservoir-seal combinations; the dark mudstone in the E_2 and the upper E_1 are the main source rocks; the E_1 and E_2 are two important sandstone reservoirs. The traps are mainly faulted nose, faulted block and stratigraphic overlap traps with good timing and spatial configurations. The predominant factors controlling pool-forming could be mature source rocks, reservoirs development, fault features, sealing conditions, configuration of traps and their workable degree. There are three hydrocarbon pooling models, including the inner-slope zone in the deep sag, fault bench in the south, outer-slope and far slope zone. The western part of inner slope zone is the most favorable area for further exploration.

Key words reservoir; pool-forming characteristics; main controlling factor; Maichen sag; Beibu Gulf Basin

迈陈凹陷位于广东省雷州半岛南部, 构造上位于北部湾盆地中南部雷-琼坳陷区, 是一个由若

干凹陷及凸起组成的新生代断陷盆地(图 1)。凹陷主体部位向西倾没于海区, 研究区位于凹陷向

收稿日期: 2009-01-03。

第一作者简介: 苏永进(1969—), 男, 副教授、博士研究生, 油气成藏。

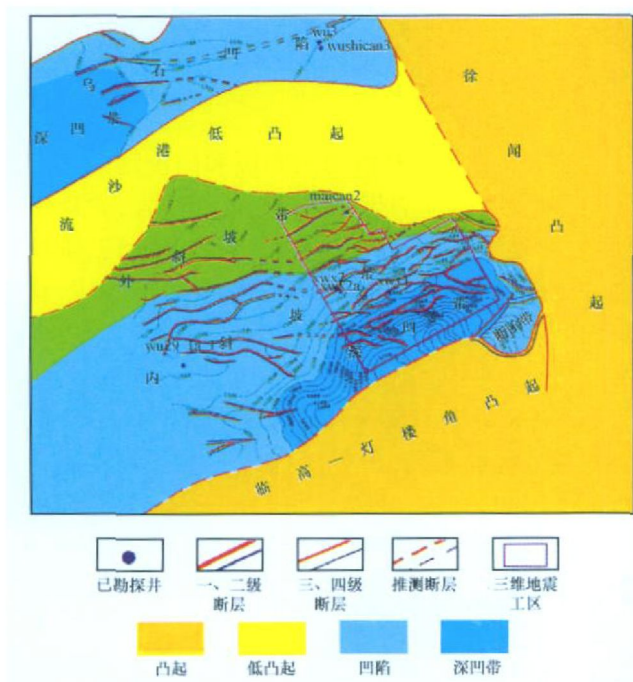


图 1 迈陈凹陷东部地区构造区划

Fig. 1 Stratigraphic column in the east of the Maichen sag

东抬起的陆上部分, 南北两侧为断层所夹持, 东侧遭断层封挡。迈陈凹陷总面积约 $2\ 600\text{ km}^2$, 研究区面积约为 400 km^2 。2005年 5 月完钻的徐闻 X1 井获得了油气突破, 展示了该区良好的勘探前景。但是该区勘探程度较低, 地表条件及地下构造复杂, 圈闭类型多样, 且主要储集层古近系流沙港组三段物性变化对油气富集起着重要的控制作用, 导致进一步勘探的难度较大。因此, 开展地层、构造(断裂)、沉积相和储层预测研究, 分析油气成藏条件和主控因素, 建立迈陈凹陷东部地区油气成藏模式, 对下一步勘探工作具有重要的指导意义。

1 地质特征

1.1 区域构造演化

北部湾盆地是一个北东与北西向复合断陷的裂谷盆地, 为南海北部裂谷系中诸盆地之一(譙汉生, 1999)。该盆地属过渡型地壳, 主要成盆期为古近纪, 为典型的大陆边缘盆地的特征^[1, 2]。中生代及以前, 由于盆地所在区域受加里东、印支和燕山运动多次以褶皱为主伴有断裂活动的影响, 构造格局十分复杂, 基底面貌不甚清晰。晚中生代以来经历了伸展张裂和张裂后

两大演化阶段^[3]。

1) 伸展张裂阶段: 晚白垩世末—古近纪初, 由于印度—澳大利亚板块向北东方向俯冲, 使得中国东南部陆块向南引张挤出, 地壳减薄, 地幔被动上拱, 形成一系列北东向的伸展张裂, 发展形成一系列断陷凹陷。本阶段又可细划为初始断陷(裂陷 I 幕)、强烈断陷(裂陷 II 幕)和稳定沉降(裂陷 III 幕) 3 个亚阶段。

2) 裂后阶段: 进入新近纪以来, 由于张裂阶段热力的逐渐释放, 经南海事件(N/E)的解体不整合, 转换成热收缩(或热沉降), 并伴随有火山喷发, 由断陷转变为坳陷阶段。该时期断裂活动微弱, 断层不发育, 形成新近系的披覆层。由于南海的扩张, 海水侵入, 其沉积环境也由古近纪的陆相变为滨浅海相沉积, 区域地层表现为简单披盖式结构。第四纪以来, 盆地经历了强烈的火山喷发, 形成大面积的玄武岩分布。

1.2 地层发育特征

研究区钻遇的地层包括第四系、新近系、古近系、白垩系及基底地层等(图 2)。徐闻 X1 井、徐闻 X2a 井揭示研究区古近系流沙港组一段(E_2^1)和流沙港组二段(E_2^2)上部地层沉积缺失, 新生界地层发育齐全, 地层由新至老分别为第四系(Q), 新近系望楼港组(N_{2w})、灯楼角组(N_{1d})、角尾组(N_{1j})和下洋组(N_{1x}), 古近系涠洲组(E_{3w})、流沙港组(E_2^1)和长流组(E_{1ch})地层^[4](图 2)。区域勘探成果表明, 迈陈凹陷东部地区主要含油层系为古近系流沙港组和涠洲组。

流沙港组主要发育流三段、流二段两段地层。流三段地层为湖相碎屑岩沉积, 主要岩性为深灰、灰、灰黑色泥岩与浅灰色砂岩、含砾砂岩互层, 沉降中心位于南部深凹带邻近陡坡带一侧, 自南西(SW)向北东(NE)方向, 地层厚度逐渐减小; 流二段地层为湖相泥岩沉积, 凹陷斜坡及凸起部位由于抬升较高遭受剥蚀, 造成流一段地层的严重剥蚀及局部流二段上部地层缺失。涠洲组分为三段地层, 残留厚度自南向北依次减薄。

1.3 构造单元划分

迈陈凹陷主体部位除南部的灯楼角控凹断层外, 大体上以迈①断层、迈③断层、迈⑤断层为界,

地层				底深/ m	岩性剖面	主要岩性
系	统	组	段			
Q						未录井
N	N ₁	N ₁ aw				
		N ₁ af		527		为灰黄色、灰绿色含砾砂岩、中粗砂岩与灰色、灰绿色砂质泥岩、泥岩不等厚互层
		N ₁ lj		1 029		浅灰色、灰绿色中砂岩、含砾砂岩与灰色、灰绿色砂质泥岩、泥岩不等厚互层
		N ₁ x		1 663		大套灰黄色、浅灰色砾岩、砂砂岩、含砾砂岩夹灰色砂质泥岩、泥岩
E	E ₁	E ₁ w ¹		1 888		浅灰色含砾砂岩与棕色泥岩不等厚互层
		E ₁ w ²		2 776		浅灰色、灰白色细砂岩与棕色、紫色、灰色泥岩互层
		E ₁ w ³		3 483		浅灰色、灰白色含砾砂岩与棕色、紫色泥岩互层
	E ₂	E ₂ f ²		3 673		灰黑色泥岩
		E ₂ f ³		4 233		中上部为灰黑、深灰、灰色泥岩夹浅灰色细砂岩、灰质砂岩、泥质粉砂岩、灰黑色碳质泥岩、棕红色泥岩斑块 下部为浅灰、灰白色砂岩、含砾砂岩与暗绿灰、灰黑色泥岩不等厚互层，夹棕红色泥岩斑块
E ₁	E ₁ ch			4 376.74		棕红色泥岩，夹暗棕色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和浅灰色细砂岩、灰质粉砂岩

图 2 迈陈凹陷东部地区地层柱状图

Fig. 2 Map showing the division of structural units in the east of the Maichen sag

自南向北划分为南部断阶带、深凹带、内斜坡带、外斜坡带，凹陷东端与徐闻凸起接壤部位为地层上倾超覆带(图 1)。

1.4 储层发育特征

研究区目前有探井 5 口(徐闻 X1、徐闻 X2a、迈参 2、徐 4 和乌 29-1a-1 井)钻达流沙港组地层，迈参 1 井和凹陷周边的乌 1、2、3 井钻达涠洲组地层。徐闻 X1 和徐闻 X2 井揭示了流沙港组和涠洲组为研究区两套重要的砂岩储层。

徐闻 X1、徐闻 X2a 钻遇的流沙港储层以流三段砂岩储层为主，储集类型主要为孔隙型。根据岩性特征，流三段可分为 $E_2f_1^1$ 、 $E_2f_1^2$ 、 $E_2f_1^3$ 和 $E_2f_1^4$ 4 个亚段，发育有湖底扇、三角洲前缘河口坝、远砂坝、水下分流河道等砂体。岩心分析表明，流三段

物性较差，孔隙度 5.1% ~ 11.3%，平均为 7.5%；渗透率 $0.244 \times 10^{-3} \sim 1.780 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $0.73 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

涠洲组主要为辫状河三角洲和曲流河三角洲沉积，储集层岩性为砾状砂岩、含砾砂岩、含砾细砂岩、粉砂岩、细砂岩等。涠一、涠二和涠三段砂岩均比较发育。涠洲组物性要好于流沙港组，雷琼地区古近系 11 口井 173 个涠洲组第二段的样品分析，涠洲组砂岩孔隙度范围一般 15% ~ 25%，渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 760 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于地层埋深、沉积相带等的不同，研究区内各凹陷的物性特征也不尽相同。

2 油气成藏特征

2.1 油源条件

迈陈凹陷主要烃源岩古近纪流二段、流三段上部暗色泥岩，分布于迈陈凹陷东部的大部分区域，且有机质丰度高、类型好。油源对比表明徐闻 X1 井流三段所产原油来源于流沙港组烃源岩^[5,6]。

2.2 储盖条件

研究区凹陷较深部位包括 4 套储盖组合，发育有流三段、涠洲组、下洋组和角尾组等砂岩储层和流沙港组、涠洲组下部、角尾组泥岩段区域性盖层。流沙港组、涠洲组盖层在凹陷较深部位保存完好，向斜坡高部位相变、减薄；而角尾组盖层在全区分布稳定。

2.3 圈闭及配套条件

迈陈凹陷东部地区圈闭发育，圈闭类型以断鼻、断块及地层超覆型为主。迈陈凹陷主体部位断裂发育，断层以 NEE 向为主，断层主活动期古近纪长流期至新近纪下洋期(E_1ch-N_1x)，断层与倾斜地层配置形成的断鼻、断块圈闭发育，其中尤以深凹带和内斜坡带最为发育。凹陷东缘与徐闻凸起接壤部位，古近系流沙港组、涠洲组地层向上倾方向超覆可形成地层超覆圈闭。

本区圈闭发育定型期为古近纪涠洲组期至新近纪下洋期，而流沙港组烃源岩大量生排烃期为 E_3w-N ，圈闭发育形成期早于或同步于油气生排烃期，时间配套有利。此外，本区流三段上部储层

紧邻或穿插于流沙港组烃源岩中, 流三段中下部储层位于烃源岩以下, 涸三段储层紧邻烃源岩之上, 油气在初次运移进入储集层后主要靠侧向运移到圈闭中聚集成藏, 空间配套较为有利; 涸二段中部、下洋组一角尾组储层分别位于流沙港组烃源岩以上, 两者通过断层或其派生的裂缝相沟通, 垂向运移到各圈闭中聚集成藏, 空间配套条件一般。

2.4 成藏主控因素

油气成藏的过程, 就是在各种因素的作用下, 油气从分散到集中的转化过程。主要决定于是否具备良好的生油层、储集层、盖层和运移、圈闭、保存条件的配置^[7]。通过对迈 8 块油气藏的解剖, 结合区内石油地质条件的综合分析, 参考北部湾盆地油气富集凹陷成藏主控因素, 分析认为迈陈凹陷东部地区能否成藏主要取决于以下几个方面:

1) 成熟烃源岩控制着油气的形成和分布

烃源岩研究表明, 迈陈凹陷烃源岩以流二段发育最好, 流三段中上部烃源岩也较发育, 是本区最重要的主力生烃层段。有机质成熟度参数表明, 徐闻 X1 井流沙港组烃源岩已进入成熟阶段, 但对于徐闻 X1 井往北的斜坡带, 烃源岩是否也已达到成熟阶段, 以及成熟生油岩的分布范围到底有多大还有待钻井证实及更深入的研究, 成熟烃源岩的分布范围决定了本区油气潜力。

2) 储层相带、物性差异影响着圈闭成藏及富集程度

徐闻 X1 井在流三段见到油流, 虽然证实了本区存在储层, 但由于埋藏深、成岩作用强烈, 其储集性能普遍较差, 储层评价属于低孔、特低渗储层和特低孔、超低渗储层, 且流三段中上部砂岩储层大多以薄层状为主, 单层厚度通常 1~3 m, 不利于形成规模较大的油藏。地层及储层预测研究认为, 流沙港组在徐闻 X1 井往北及往西方向应该发育有储集性能相对较好的砂体, 可能成为寻找油气藏的有利目标区。

3) 断层控制着油气的聚集成藏

北部湾盆地已发现的 20 个油气藏中, 由断层作侧封的油气田和含油气构造有 13 个^[8,9]。区内断层较发育, 在中新世以后, 由于构造活动微弱, 区内控制圈闭的断层基本不活动或活动微弱, 断

层对油气的封挡作用主要取决于其侧向封挡的能力。侧向上断距的大小决定了断层两侧岩性的配置情况, 只有合适的断距才能使得流三段砂岩与对盘的泥岩对接。

4) 盖层条件影响着圈闭成藏

区内流三段上部一流二段泥岩在内斜坡及深凹带具有一定的规模, 但在外斜坡及凹陷边缘, 随着流二段被剥蚀、流三段上部被剥蚀或相变为砂岩, 使得流三段砂岩缺少有效的盖层, 而直接与上覆涸洲组砂砾岩地层接触, 将会导致油气的逸散。涸洲组砂岩较流沙港组更发育, 但缺乏区域盖层, 局部盖层的规模成为其油气成藏的重要控制因素。

5) 圈闭形态及落实程度是影响油气成藏的关键因素

构造圈闭面积较大, 幅度较高, 有利于油气成藏, 迈 6 块钻探失利的关键因素是圈闭幅度低、圈闭不落实。另外, 迈陈凹陷东部地区海域二维区测线较稀, 资料品质较差, 所发现的局部构造落实程度一般; 陆上三维工区西部地震品质较差, 使得所发现和落实的圈闭主要集中在中西部, 中西部三维资料品质相对较好, 构造圈闭较落实, 是下步油气藏勘探的有利区。

2.5 油气成藏模式

依据成藏动力学系统的定义和类型和划分原则, 北部湾盆地成藏动力系统可划为自源封闭成藏动力系统和它源开放型成藏动力学系统^[10~14], 其界面为流二段孔隙流体异常高压带顶面或流沙港组地层顶面。根据断裂发育及成藏体系的划分, 研究区主要包括深凹带内斜坡带、南部断阶带和外斜坡、远斜坡带三种成藏模式。前两种成藏模式包括自生自储型、下生上储型两种类型。

自生自储型: 深凹、内斜坡带流沙港组烃源岩已成熟, 流二一流三段上部泥岩段为生油层、盖层, 流三段砂岩为储集层, 烃源通过初次运移至储集层于高部位聚集成藏。

下生上储型: 以流二段一流三段上部泥岩段为生油层、盖层, 涸三段砂岩为储集层, 涸二段泥岩发育段为盖层, 烃源通过断层垂向运移、侧向运移至储集层于高部位聚集成藏。

2.6 有利区带优选

迈陈凹陷东部具有形成油藏的油源条件, 圈闭形成时间早, 保存条件好, 为油气富集的可利区带。就局部构造而言, 因其所处构造部位和具体地质背景不同, 成藏条件亦有较大差异。通过储层预测研究、成熟生油岩分布特征、保存条件、断裂发育及构造背景、局部圈闭发育落实等条件, 综合评判徐闻三维区临深凹的内斜坡带西部地区为下步勘探最有利的区带。

1) 位于生油岩成熟区, 区内徐闻 X2a、徐闻 X1 井生油岩均达生油门限。

2) 流沙港储层发育, 沉积相带有利。

3) 处于整体构造高带, 圈闭发育, 构造位置相对有利, 是油气运移、聚集的可利地区。

4) 流二段盖层厚度 200~400 m, 流沙港组盖层条件有利; 徐闻 X2a 涠洲组泥岩厚于徐闻 X1 井, 涠洲组局部盖层发育。

5) 徐闻 3D inline54 线构造发育史表明, 圈闭的空间和时间配套条件有利。

3 结语

1) 迈陈凹陷东部地区钻遇地层为第四系, 新近系望楼港组、灯楼角组、角尾组和下洋组, 古近系涠洲组、流沙港组和长流组地层。主要含油层系是古近系流沙港组和涠洲组。

研究区断裂发育, 主要包括南部断阶带、深凹带、内斜坡带、外斜坡带和地层上倾超覆带等 5 个构造单元。

2) 流沙港组和涠洲组为研究区两套重要的砂岩储层。流沙港储层以流三段砂岩储层为主, 主要发育有湖底扇、三角洲前缘河口坝、远砂坝、水下分流河道等砂体; 涠洲组主要为辫状河三角洲和曲流河三角洲沉积, 涠一—涠三 3 个层段砂岩均比较发育。涠洲组物性要好于流沙港组。

3) 研究区主要烃源岩为流二段和流三段上部暗色泥岩; 包括 4 套储盖组合; 圈闭发育, 圈闭类型以断鼻、断块及地层超覆型为主, 时间、空间配置较好。成熟烃源岩、储层发育、断层特征、盖

层条件和圈闭形态及落实程度是控制油气成藏的主要因素。

4) 研究区包括深凹带内斜坡带、南部断阶带和外斜坡、远斜坡带 3 种成藏模式; 以流二段孔隙流体异常高压带顶面或流沙港组地层顶面为界, 可划分出自生自储型、下生上储型两种类型的成藏动力学系统。内斜坡带西部地区为下步勘探最有利的区带。

参 考 文 献

- 1 沿海大陆架及比邻海域油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992 16 341~478
- 2 江文荣. 北部湾盆地幕式裂陷作用与油气 [A]. 张功成, 徐宏, 王同和, 等. 中国含油气盆地构造 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1999 42~52
- 3 朱伟林, 江文荣. 北部湾盆地涠西南凹陷断裂与油气藏 [J]. 石油学报, 1998 19(3): 6~10
- 4 康西栋, 赵文翠, 潘治贵, 等. 北部湾盆地层序地层格架及其内部构成 [J]. 中国地质大学学报, 1994 19(4): 493~502
- 5 康西栋, 李思田, 李雨梁, 等. 北部湾盆地今古地温场特征及热史演化 [J]. 长春地质学院学报, 1995 25(2): 173~177
- 6 朱伟林, 吴国喧, 黎明碧. 南海北部陆架北部湾盆地古湖泊与烃源条件 [J]. 海洋与湖沼, 2004 35(1): 8~14
- 7 蒋有录. 石油天然气地质与勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006
- 8 杜振川, 魏魁生. 北部湾盆地涠洲组复合扇体特征及油气勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2002 23(3): 274~278
- 9 王红波. 北部湾盆地碳酸盐岩古潜山油气藏地质录井体会浅谈 [J]. 中国海上油气 (地质), 1996 10(5): 346~348
- 10 郝芳, 邹华耀, 倪建华, 等. 沉积盆地超压系统演化与深层油气成藏条件 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002 27(5): 610~615
- 11 李美俊, 王铁冠, 刘菊, 等. 由流体包裹体均一温度和埋藏史确定油气成藏时间的几个问题——以北部湾盆地福山凹陷为例 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(2): 151~158
- 12 赵振宇, 周瑶琪, 马晓鸣, 等. 含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(2): 299~308
- 13 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~106
- 14 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 油气成藏期研究新进展 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 271~276

(编辑 陈喜禄)