

北部湾盆地涠西南凹陷油气成藏条件分析

郭飞飞, 王韶华, 孙建峰, 陆俊泽, 王修平

(中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

摘要: 涠西南凹陷位于北部湾盆地西南部, 发育有多个油气田(含油气构造)。以油气地质理论为指导, 在构造和沉积地层特征研究的基础上, 重点分析了烃源岩、储集层、圈闭及输导介质等油气成藏的基本要素, 认为涠西南凹陷拥有较好的烃源岩、发育多套储集层、多种类型圈闭和复合的输导介质, 具备油气藏形成的基本条件, 具有广阔的油气勘探前景。

关键词: 烃源岩; 储集层; 圈闭; 输导条件; 涠西南凹陷

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2009)03-0093-06

涠西南凹陷地处北部湾盆地西南部, 是在古新世神狐运动晚期发育起来的北断南超的箕状断陷, 凹陷总体呈 NE 向展布, 面积约 3 000 km², 是北部湾盆地内油气勘探程度相对较高的构造单元^[1] (图 1)。该凹陷内目前已发现涠 10-3、涠 11-4 等油气田(含油气构造), 是已被证实的富生烃凹陷。本文从油气地质理论出发, 重点讨论烃源岩、储集岩及输导介质等油气藏形成的条件及特征, 为研究区的油气勘探服务。

1 构造与地层特征

北部湾盆地的形成和演化可分为 3 个阶段: 古新世—始新世断陷阶段、渐新世断拗过渡阶段及中新世以后(包括中新世)区域沉降阶段(图 2)。受古太平洋板块消减及南海扩张的影响, 北部湾盆地经历了古新世早期第 1 期张裂、古新世末期第 2 期张裂、始新世末期第 3 次张裂、渐新世末期第 1 次海底扩张、中新世中期第 2 次海底扩张、中新世末期反转运动等多期构造运动的改造, 形成了多个呈 NE 向展布的凸凹相间的次级构造单元, 涠西南凹陷就是位于北部坳陷东北部的一个三级单元, 其北接涠西南大断层, 南靠海中凹陷及企西隆起, 东临涠洲岛, 是一典型的东北深、西南浅的箕状断陷^[2]。

涠西南凹陷以新生代沉积为主, 其基底为中、古生界碳酸盐岩和变质岩, 沉积盖层由古近系、新近

系及第四系组成, 总厚度 1 500~7 000 m, 自下而上依次为古近系古新统长流组(E_{1ch})、始新统流沙港组(E_{2l1})、渐新统涠洲组(E_{3w}), 新近系中新统下洋组(N_{1x})、角尾组(N_{1j})、灯楼角组(N_{1d})、上新统望楼港组(N_{2w})和第四系(Q)^[3]。其中, 流沙港组是涠西南凹陷油气勘探的主要目的层。流沙港组以湖相、三角洲相沉积为主, 岩性以深灰色、褐灰色泥岩、页岩为主, 夹有灰白色砂岩、粉砂岩, 具有粗-细-粗的旋回, 自下而上可进一步分为流三段(E_{2l3})、流二段(E_{2l2})和流一段(E_{2l1}), 其中流二段是该区的主力烃源岩。

2 油气藏形成条件

2.1 烃源岩

烃源岩是油气藏存在和形成的第一要素。综合分析表明, 涠西南凹陷存在流沙港组烃源岩。始新世的张裂活动使北部湾盆地在欠补偿条件下接受了大范围的流沙港组沉积^[4]。现有资料证实, 流沙港组半深湖—深湖相暗色泥岩是盆地范围内的主力烃源岩系, 这套地层在涠西南凹陷广泛发育且厚度大(最厚可达 2 500 m), 其中暗色泥岩占该组段的 50% 以上。据涠 1 井揭示, 流二段泥质岩发育, 累计厚度达 321 m, 为本段地层厚度的 100%。

流沙港组烃源岩有机碳含量 0.65%~4.69%, 氯仿沥青“*A*”为 $(378 \sim 2 391) \times 10^{-6}$, 总烃含量为 $(221 \sim 938) \times 10^{-6}$, 有机质类型以 I、II 型为主(表 1)。

胡忠良研究认为: 当 *Ro* 为 0.6% 时, 涠西南凹陷烃源岩开始成熟, 门限深度为 2 400 m, 涠 1 井所取的烃源岩样品有机质成熟度 *Ro* 为 0.42%~0.57%,

基金项目: 国家自然科学基金项目(40238060)

作者简介: 郭飞飞(1981—), 男, 博士生, 主要从事构造地质和油气成藏机理研究, E-mail: yigehao ren99999@163.com

收稿日期: 2009-02-10; 改回日期: 2009-04-17。文凤英编辑

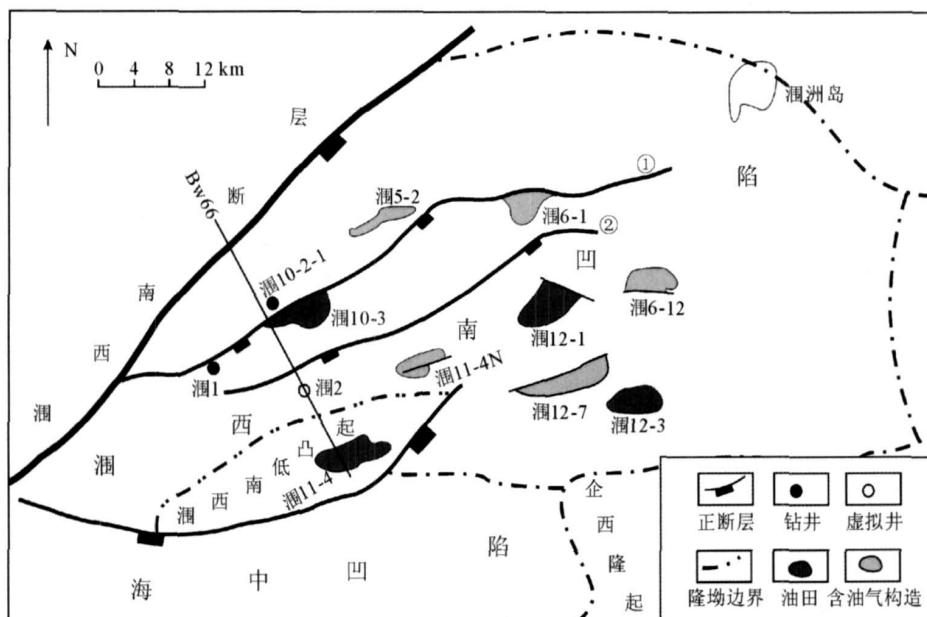


图 1 涠西南凹陷地理位置及地质背景

Fig. 1 Geological map and the location of Weixinan sag

界	系	统	组	段	代号	年代 /Ma	地层厚度 /m	构造阶段	构造活动事件			
					Q							
新近系	上新统	望楼港组			N ₂ W	2.4	100~500	区域沉降阶段	反转构造运动			
		灯楼角组			N ₁ d				第2次海底扩张			
		角尾组			N ₁ j	10.4	400~800		第1次海底扩张, 张裂作用停止, 全区转入热沉降			
		下洋洋组			N ₁ x							
	中新统	涠洲组	一段	E ₃ W ₁		23.3	100~300					
新生界	渐新统		二段	E ₃ W ₂			断拗过渡阶段	第3期张裂, 形成近EW向裂陷, 基性岩浆活动开始。渐新世末斯地层抬升, 涠洲组顶部遭受剥蚀				
			三段	E ₃ W ₃								
	古近系	流沙港组	一段	E ₂ l ₁								
			二段	E ₂ l ₂		35.4			100~500			
			三段	E ₂ l ₃								
	古新统	长流组			E ₁ ch	50	200~1500	断陷阶段	第2期张裂, 形成NE-NEE向裂陷			
前新生界基底						56.5	200~500					
						65.5	0~1500					

图 2 涠西南凹陷综合地质柱状图

Fig. 2 Generalized geological section of Weixinan sag

表1 涠1井有机质丰度统计

Table 1 Statistical abundance of organic matter in Wei-1 well

组段	有机碳(TOC) /%	氯仿沥青“ <i>A</i> ” / (μg/g)	总烃/ (μg/g)	<i>S₁</i> + <i>S₂</i> /(mg/g)
流一段	0.65(1)	836(1)	556(1)	1.5(1)
流沙港组二段	1.34 ~ 4.69 (2.47/4)	378 ~ 2 391 (1003/4)	221 ~ 938 (445.5/4)	3.26 ~ 30.22 (11.9/4)

注: 括号中前一项表示均值, 后一项表示测试个数。

均未达到成熟阶段^[5]。利用IES软件对涠1井进行模拟, 其中地史模型选取指数压实模型, 热史模拟选取瞬时热流模型, 成熟度史模拟选取LLNL-Easy *Ro*模型, 结果显示流三段底部烃源岩 *Ro* 大于0.6%, 表明流沙港组烃源岩基本没有达到成熟门限, 不具备大量生烃的能力, 即涠1井地区烃源岩本身不具备供油条件, 油气藏的形成只能从邻近的生烃灶运移而来, 这也是涠1井钻探失利的一个重要原因(图3)。基于地震资料在涠西南凹陷BW66测线最大埋深处建立一口虚拟井涠2井, 模拟结果表明流一段中部烃源岩埋深大于2 400 m, 进入油气生成阶段, 长流组顶部的 *Ro* 已经大于1.3%, 达到中高成熟阶段(图4)。因此, 认为凹陷中心处流沙港组烃源岩的有机质丰度和成熟度较高, 具有较强的生烃能力(图5), 可为凹陷油气藏的形成提供充足的烃源。

2.2 储盖条件

作为油气藏的基本要素之一的储集层, 既为油气圈闭中的烃类提供了充足的储集空间, 也为油气运移准备了必要的运移通道或输导层; 储集层发育, 与泥质岩盖层构成有利的储盖组合, 是油气藏存在的必要条件。钻井资料揭示, 涠西南凹陷主要储集岩有前新生界基底碳酸盐岩风化壳和长流组、流沙

港组、涠洲组砂岩。储层的储集性能总体上受沉积环境、成岩作用和后期构造运动改造的共同制约, 其中沉积环境与沉积条件控制着砂体的发育程度、空间分布状况和内部结构特征, 各微相的岩性、粒度、分选、填隙物特征及砂体的岩相组合时空展布特征各不相同, 导致不同微相砂体的物性及储集性能存在较大差别^[6,7]。

(1) 前新生界碳酸盐岩风化壳

基底碳酸盐岩风化壳储层岩性为古生界石炭系灰岩、白云质灰岩, 以缝、洞及风化淋滤带的孔缝为主要储集空间。据①号潜山断裂带钻井揭示, 其孔隙度一般为1%, 最高可达20%, 渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。涠1井测井解释该层孔隙度为7.11%, 渗透率为 $1.24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储集空间为孔隙-裂隙(缝)双重介质。

(2) 长流组

主要发育河流相-洪积相沉积, 岩性以含砾砂岩为主, 反映近物源特征, 物性较差。据涠1井揭示长流组孔隙度为3.34% ~ 12.69%, 平均为7.7%, 渗透率为 $(0.11 \sim 17.28) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $3.85 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属低孔低渗储层。

(3) 流沙港组

流沙港组砂岩储层主要发育在流三段和流一段。流三段以滨浅湖相沉积为主, 流一段以滨浅湖相、扇三角洲相沉积为主。据涠1井揭示, 流三段砂岩最大单层厚度一般大于20 m, 累计厚度94 m, 占该段地层厚度的56.3%, 岩性主要为粗砂岩、砂砾岩。孔隙度为5.16% ~ 25.21%, 平均为9.96%, 渗透率为 $(0.3 \sim 330.71) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $44.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 总体属低孔低渗储层。流一段砂岩最大单层厚度大于40 m, 累计厚度219 m, 占本段地层

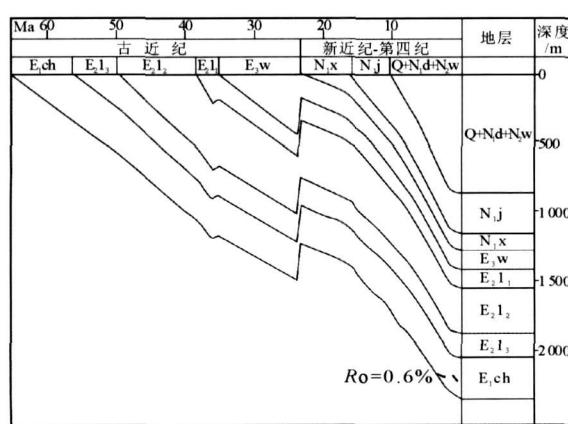


图3 涠1井成熟度史

Fig. 3 Map showing the maturity history in Wei-1 well

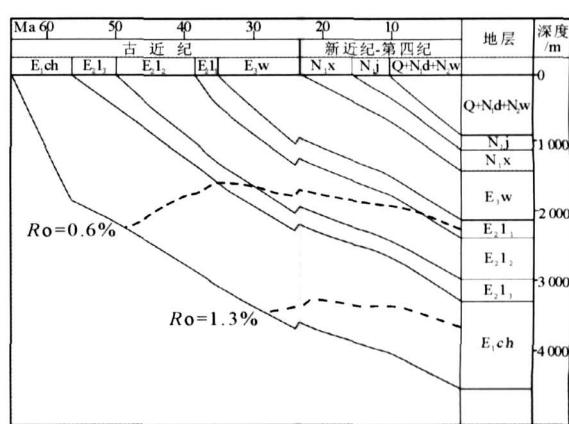


图4 虚拟井涠2井成熟度史

Fig. 4 Map showing the maturity history in pseudo Wei-2 well

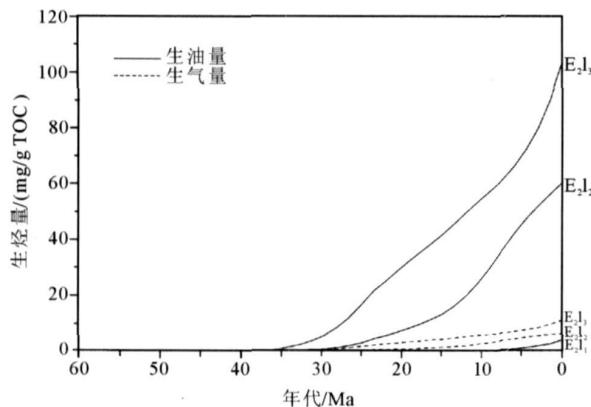


图 5 虚拟井涠 2 井流沙港组生烃史

Fig. 5 Map showing the hydrocarbon generation history of Liushagang Formation in pseudo Wei-2 well

厚度的 82.6%，孔隙度为 26.65%~29.74%，平均为 28%，渗透率为 $(423.09 \sim 673.08) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $534.32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属高孔高渗储层。

(4) 涠洲组

主要发育辫状河三角洲前缘、三角洲平原相沉积，最大单层厚度一般大于 30 m，累计厚 85.8 m，占该段地层厚度的 61.3%。孔隙度范围为 23.32%~30%，平均为 27.5%；渗透率变化范围为 $(234.7 \sim 689.11) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $511 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，总体属高孔高渗储层。

另外，涠西南凹陷主要发育流二段、涠二段和角尾组三套泥岩区域盖层，其分布广，横向连续性好，封闭条件优越。这些泥质岩盖层与上述砂岩储层共同构成了涠西南凹陷有利的储盖组合。

2.3 圈闭条件

圈闭是油气赋存的场所，其形成条件决定着油气藏的基本特征。涠西南凹陷多期次构造运动、多种沉积类型组合形成了众多构造、地层圈闭。

(1) 构造圈闭

构造圈闭包括背斜圈闭和断层圈闭两种类型，主要形成于古新世—渐新世的构造运动。渐新世末期构造基本定型，特别是古新世末期与始新世末期的张裂运动在研究区内表现强烈，为一系列构造圈闭的形成奠定了基础。涠西南凹陷主要局部构造（圈闭）多形成于渐新世或更早，如位于①号断裂下降盘的涠 10-3 构造定型于始新世末期，位于②号断裂和涠西南低凸起之间的涠 11-4N 构造定型于渐新世末期。流沙港组烃源岩生烃高峰期在渐新世之后，从构造形成期与烃源岩生烃史上看，二者具有较好的配置关系。

(2) 地层及岩性圈闭

地层圈闭包括不整合圈闭、地层超覆圈闭和古潜山圈闭。渐新世末期地层的抬升、剥蚀形成了以不整合为遮挡的地层圈闭，为油气富集提供了有利的场所。此外在涠西南凹陷还发现少量以断层—岩性圈闭为主的复合圈闭^[8]。

2.4 运聚条件

输导条件是油气藏形成的重要因素之一，其质量的好坏直接决定了油气系统的运移方式和聚集效率。涠西南凹陷的油气输导体系由砂岩、不整合面及各级次断裂共同组成。

(1) 以受断层控制的垂向运移为主

涠西南凹陷在发展演化史上经历了多期次构造活动，发育了多类型、不同性质及规模的断层，这些断层对油气运聚有明显的控制作用，其中，始新世末的张裂运动形成的众多北东向断层一方面连通了流沙港组烃源岩和涠洲组储集层，使得渐新世末排出的烃类及时运移到上覆储层，另一方面断层沟通了不同深度、不同层位的砂体和圈闭，使油气沿砂体—断层—砂体呈总体向上的“阶梯”状运移，从而保证了排出的油气能够聚集成藏，正是有了这些油源断裂的长期活动，才使流沙港组排出的油气能够向上运移数千米到涠洲组中聚集成藏^[9]。

(2) 流体势差为油气运移提供动力

主导油气运移方向的是输导系统内部的能量差，自然界流体总是由高势能区运移到低势能区^[10]，因此，研究流体势的状态可以预测油气的运聚方向及其主导因素。从 BW66 测线剖面现今油势分布图及地震剖面图可以看出（图 6、图 7），灯楼角组及以上地层的等势线大致与等高（深）线相平行，油气运移主要受重力流驱动；而深部变化则较为复杂，深凹部位的流沙港组二段发育高流体势，两侧的陡坡带和缓坡带为相对低势区，深凹部位流沙港组主力烃源岩生成的油气在势能差的作用下纵向上向上、横向向两侧斜坡运移。

总之，长时间活动的断层和流体势差为油气运移提供了输导条件。

3 结论

(1) 涠西南凹陷具备油气藏形成的基本条件，流沙港组半深湖—深湖相暗色泥岩是该区主力烃源岩，其分布广，厚度大，丰度高，成熟度适中，具有较强的生烃能力；前新生界基底碳酸盐岩风化壳和长

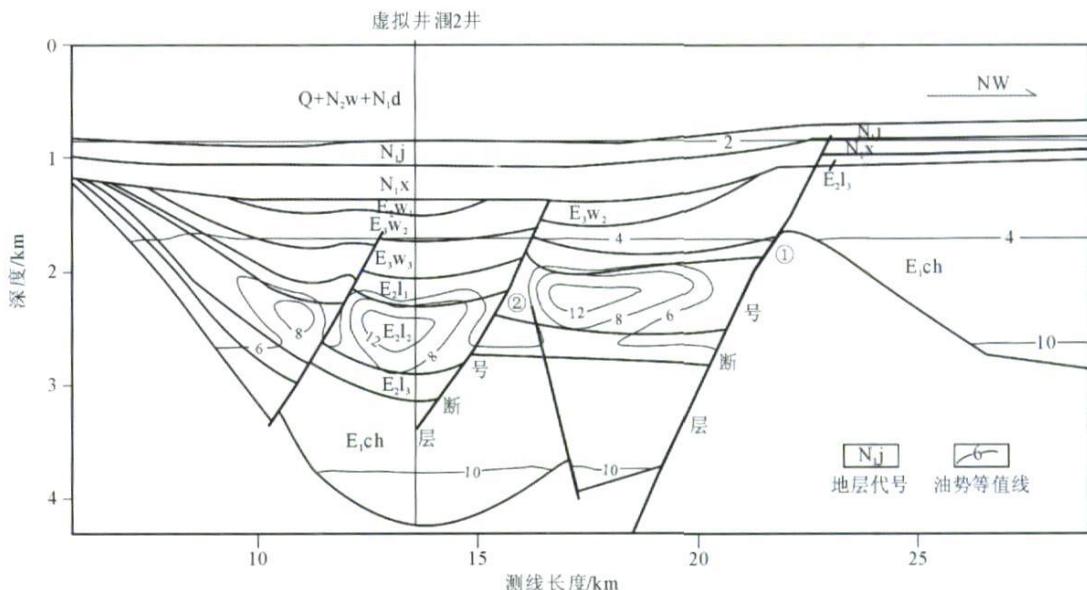


图6 涠西南凹陷BW66测线现今油势分布图(流体势单位:kJ)

Fig. 6 Map showing oil potential distribution at present in line BW66 of Weixinan sag(unit of oil potential:kJ)

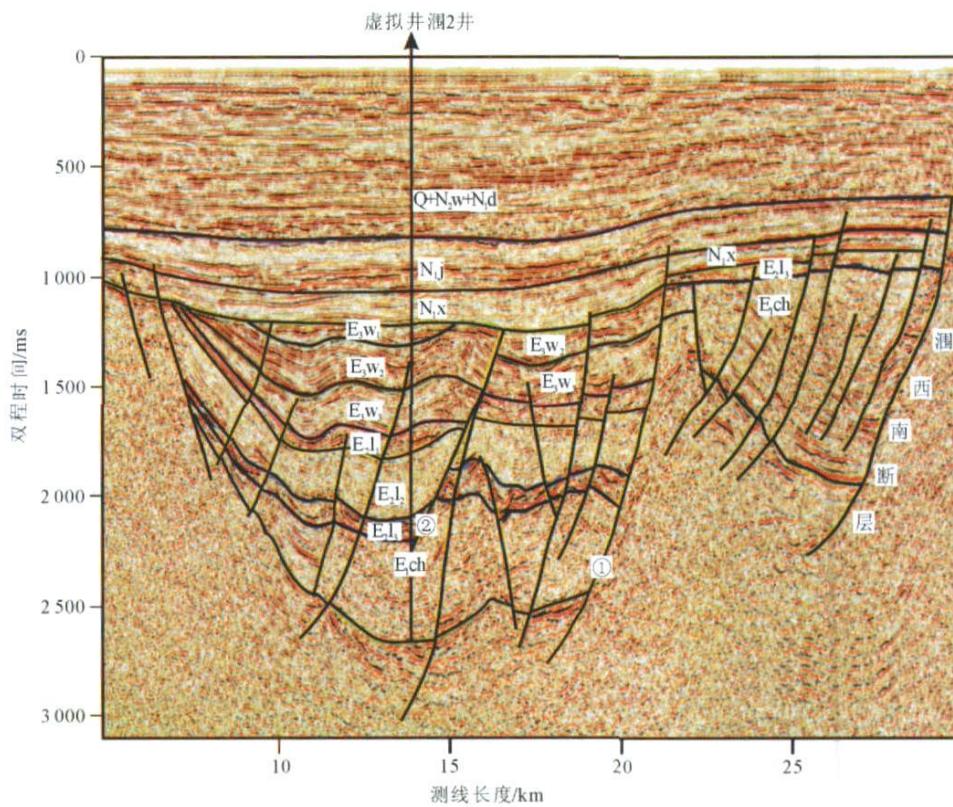


图7 涠西南凹陷BW66测线地震波组特征(据中石化上海海洋油气分公司,2006)

Fig. 7 Characteristics of seismic wave reflections in Weixinan sag (line BW66)

流组、流沙港组、涠洲组砂岩为主要储层,且涠洲组储层的储集性能较为优越;多种类型圈闭的发育及良好的输导条件为涠西南凹陷油气系统的形成创造了必要条件。

(2)涠西南凹陷油气成藏主要受有效烃源岩、输导条件及优势运移方向等多因素的联合控制。涠

井区流沙港组烃源岩虽然有机质丰度较高,但演化程度较低,目前没有达到成熟门限,不具备大量生烃能力,加之勘探主要目的层流沙港组储集层单层厚度较小,横向连通性较差,不利于邻近生烃灶向该井区供烃,从而导致涠1井钻探的失利。综合现有勘探成果及地质认识,涠西南凹陷乃至整个北部湾盆

地的油气成藏有利区带应具备“近源”、“输导介质发育”、“位于运移主通道上”等条件,因此,对涠西南凹陷而言,其有利勘探区带为东北部斜坡带。

参考文献(References)

- [1] 陈亮, 甘华军, 祝春荣, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷沉降史研究 [J]. 新疆石油学院学报, 2002, 14(4): 12-17. [CHEN Liang, GAN Huajun, ZHU Chunrong, et al. Study on subsidence history of Weixinan depression in Beibuwan Basin [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2002, 14(4): 12-17.]
- [2] 卢林, 王企浩, 黄建军. 北部湾盆地涠西南和海中凹陷新生代局部构造演化史 [J]. 海洋石油, 2007, 27(1): 25-29. [LU Lin, WANG Qiaho, HUANG Jianjun. Structural evolution history of Weixinan and Haizhong depressions in Beibuwan Basin during Cenozoic Era [J]. Offshore Oil, 2007, 27(1): 25-29.]
- [3] 肖军, 王华, 马丽娟, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷 W61 潜山油气成藏条件分析 [J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(4): 30-37. [XIAO Jun, WANG Hua, MA Lijuan, et al. Characteristics of buried hill oil pool of W61 area in Weixinan depression, Beibuwan Basin [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(4): 30-37.]
- [4] 董贵能. 涠西南凹陷流一段扇三角洲沉积特征及其对隐蔽油气藏形成的控制作用 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(5): 298-301. [Dong Guineng. Fan delta sedimentary features and its controls over subtle hydrocarbon reservoirs of Liu-1 member in Weixinan Sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(5): 298-301.]
- [5] 胡忠良. 北部湾盆地涠西南凹陷超压系统与油气运移 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 73-80. [HU Zhongling. Overpressure system and migration of hydrocarbon in Weixinan depression in Beibuwan Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 73-80.]
- [6] 孙建峰, 须雪豪, 席敏红. 北部湾盆地海中凹陷油气成藏条件分析 [J]. 海洋石油, 2008, 28(2): 36-39. [SUN Jianfeng, XU Xuehao, XI Minhong. A nlysis of oil accumulation in Haizhong depression, Beibuwan Basin [J]. Offshore Oil, 2008, 28(2): 36-39.]
- [7] 刘飞, 周文, 邓礼正, 等. 塔西南上古生界碎屑岩储层物性影响因素分析 [J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(4): 317-321. [LIU Fei, ZHOU Wen, DENG Lizheng, et al. Influential factors on physical property parameters of Paleozoic clastic reservoirs in the southwest of Tahe oil field [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29(4): 317-321.]
- [8] 刘震, 谭卓, 蔡东升, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷流沙港组岩性圈闭形成条件 [J]. 现代地质, 2008, 22(2): 239-246. [LIU Zhen, TAN Zhuo, CAI Dongsheng, et al. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang formation, Weixinan Sag of Baibuwan Basin [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 239-246.]
- [9] 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. [ZHU Weilin, JIANG Wenrong. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang formation, Weixinan Sag of Baibuwan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(3): 6-10.]
- [10] 李明诚. 石油与天然气运移 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987: 6-10. [LI Mingcheng. Hydrocarbon Migration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 6-10.]

ANALYSIS ON THE CONDITIONS OF PETROLEUM ACCUMULATION IN WEIXINAN SAG, BEIBUWAN BASIN

GUO Feifei, WANG Shaohua, SUN Jianfeng, LU Junze, WANG Xiuping

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Many oil and gas fields or hydrocarbon-bearing structures have been discovered in Weixinan sag which is located in the southwest of Beibuwan basin. After we studied characteristics of the structures and sedimentary layers with the theory of petroleum geology, we gave our analysis results with the emphasis put upon oil accumulation elements such as source rocks, reservoir formations, traps, and transport media, and came to the conclusion that Weixinan sag has good source rocks, series of oil and reservoir formations, and abundant traps and transport media, and thus the sag possesses basic conditions for forming petroleum reservoirs and has cheerful prospect.

Key words: oil source rocks; reservoir formations; trap; transport condition; Weixinan sag