

文章编号:1009-2722(2012)07-0024-06

# 西湖凹陷输导体系特征及其对油气成藏的控制作用

徐 发, 张建培, 张 田, 张绍亮, 余逸凡, 唐贤君

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200030)

**摘 要:** 输导体系是东海西湖凹陷油气勘探研究中的重要内容之一。断裂、砂岩层和不整合面作为西湖凹陷输导体系的基本要素, 共同构成了盆地各成藏单元流体纵、横向运移的复杂输导网络系统。根据断裂、砂岩层、不整合面等输导要素在空间和时间上的组合关系, 总结出顺向断层阶梯型、反转断层丘型、调节断层“Y”型和“T”型 4 种典型输导体系样式。输导体系对油气成藏的控制作用主要表现为: 输导体系类型及分布样式决定着油气藏层位的分布; 输导体系组成地质要素控制着油气藏类型的分布。

**关键词:** 西湖凹陷; 输导体系; 油气藏; 东海陆架

中图分类号: P618.13 文献标识码: A

西湖凹陷位于东海陆架盆地的东北部, 呈 NNE 向展布, 南北长约 500 km, 东西平均宽约 130 km, 面积约  $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是东海陆架盆地中规模最大的新生代含油气盆地。西面自北而南与虎皮礁隆起、长江拗陷、海礁隆起、钱塘凹陷及渔山东隆起 5 个构造单元相接, 东邻钓鱼岛褶皱带, 南北以低凸起与钓北凹陷、福江凹陷相邻。西湖凹陷总体上可划分出 3 个构造带, 即西部斜坡带、中央洼陷—反转构造带和东缘陡坡断隆带(图 1)。西湖凹陷是在晚白垩世末期构造背景上发育起来的新生代沉积凹陷, 研究区新生代沉积地层自下而上主要由始新统平湖组以下地层(由于缺少钻井、测井、同位素、古生物等资料, 地层属性尚难确定——古新统?)、始新统平湖组、渐新统花港组、中新统龙井组、玉泉组和柳浪组、上新统三潭组及第四系东海群组成。

西湖凹陷蕴藏着巨大的油气资源潜力, 同时

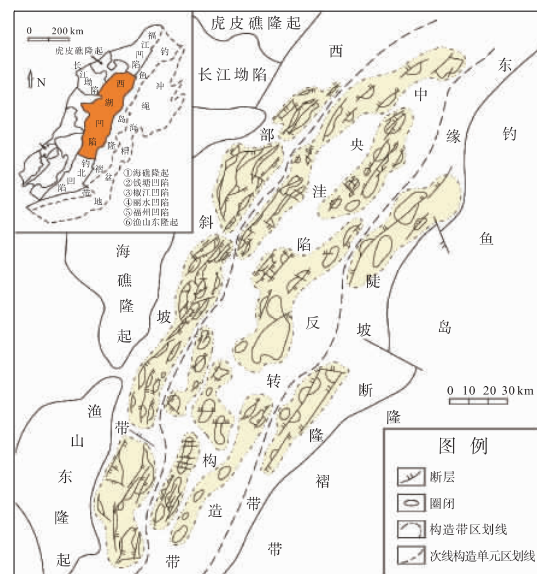


图 1 西湖凹陷构造区划示意图(据文献[1], 略有修改)

Fig. 1 Schematic tectonic map of Xihu Sag  
(modified from reference [1])

收稿日期: 2012-05-04

作者简介: 徐 发(1960—), 男, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。E-mail: xufa@cnooc.com.cn

因其特殊的地理位置及优越的地质条件, 备受中外石油地质学家的关注。输导体系是西湖凹陷油气勘探研究中的重要内容之一, 是连接烃源岩和

油气藏的枢纽,制约着油气运移,控制着油气成藏。断裂、不整合面和砂岩层作为西湖凹陷输导体系的基本要素,共同构成了各成藏单元流体纵、横向运移的复杂输导网络系统。目前,关于西湖凹陷输导体系研究相对薄弱,特别是对成藏关键时期的油气运移条件及成藏主控因素有待深入分析。因此,本文通过系统厘清西湖凹陷输导体系典型样式和分布特征,明确其对油气成藏的控制作用,从而为西湖凹陷油气勘探选区评价和增储挖潜提供科学依据。

## 1 输导体系基本要素

油气运移并非作三维空间等效发散运移,而是被限制在一定的路径上进行运移聚集,存在油气运移主干道,这就是油气运聚的输导体系。输导体系是指连接烃源岩与圈闭的油气运移通道的空间组合体,其静态要素主要包括:断层(含裂缝)、骨架砂体(储集层)和不整合面(层序界面)<sup>[2-6]</sup>。

### 1.1 断层(含裂缝)

断裂对油气成藏和分布有着非常重要的作用,它不仅可以作为油气聚集的遮挡物,还可成为有利的输导体。断裂输导油气的特点是效率高和距离长,致使油气运聚成藏的空间范围相对较大。断裂输导体系可以分为断层、裂缝等。其中对断层的研究最多,研究难度也最大。断层既可以作为油气输导的通道,又可以作为油气输导的封堵面,这主要取决于断层的封闭性。影响断层封闭性的因素很多,包括断层的力学性质、断层产状、断距、断裂充填物的性质、断层两盘对置的岩性、断层面的泥岩涂抹、断层流体压力、断层内流体的性质、断层年龄、净厚度与毛厚度比率、断层埋深、断层的同生性、断层中裂缝的发育程度、断层活动时期、断面的紧闭程度、断层的组合形式、断层密度等<sup>[7]</sup>。断层对流体运移的作用十分复杂,同一条断层在不同的地质历史时期所起的作用不一样,在演化过程中其性质可能会变化<sup>[8]</sup>,一开始起封闭作用的断层后来可以在一定的触发机制下发生幕式开启,从而成为有效的垂向运移通道。断面的开启机制是:当地下应力变化和流体注入量

增加时,断面附近的流体压力上升,同时造成有效应力降低,在流体压力的不断积累升高过程中,一些裂隙和断层就会张开,导致储集体侧面上覆封闭层断裂形成流体向上运移的通道。而原先开启性断层后来可能由于泥岩涂抹、沥青胶结封闭等作用变为封闭性断层。裂缝输导体系规模较小,且集中发育,一般呈条带状产出。根据裂缝的发育特征,裂缝输导体系又可分为显裂缝和隐裂缝。显裂缝是指在地下裂缝的状态是开启的,这对于油气的运移最为有利,可以形成优势运移通道;而隐裂缝是指裂缝在地下是闭合的,只有在外界影响或地层温度和压力升高等情况下才张开的裂缝,其输导能力要弱于前者<sup>[9]</sup>。

西湖凹陷形成于太平洋板块俯冲产生的弧后伸展环境,是由弧后深部物质上涌和软流圈上升造成拉伸形成的裂谷盆地<sup>[10-12]</sup>,大体上经历了“裂陷→拗陷→区域沉降”的演化过程,以及基隆、玉泉、花港和龙井等多次构造运动,形成众多不同性质的断裂构造,如拉张性正断层、挤压性逆断层和剪切平移断层等。不同期次和性质的断层在凹陷油气运移、聚集过程中所起的作用不一样:裂陷期(古新世—始新世)在区域引张应力场控制下,发育的 NE—SW 到 NNE—SWW 向正断层,对古新统(?)、始新统烃源岩生成的油气向上运聚成藏起了重要的输导作用,是凹陷油气纵向运移的主要通道。拗陷期(渐新世—中新世),区域应力场由引张变为挤压,发育 NE—SW 向逆冲断层,断面由张性变为压性,此时断裂的封堵作用有利于油气的成藏及保存。区域沉降期(上新世至今),发育的近 E—W 向剪切断层,虽然规模较小,但对早期形成的原生油气藏起到一定程度的破坏和改造作用。

### 1.2 骨架砂体

骨架砂体(储集层)是沉积盆地内发育的同沉积输导体系。影响骨架砂体输导的主要因素有:砂体的孔隙结构、孔隙度、渗透率、厚度、平面分布、侧向连通性、围岩封闭性、古产状等,其中骨架砂体的孔隙是油气二次运移的基本通道,如河道骨架砂体、三角洲骨架砂体等。正是由于骨架砂体具有孔隙空间,烃类才能从烃源岩进入骨架砂体,然后沿骨架砂体输导体系向低势区圈闭运移

聚集。地下油气运移方向明显受油气运移时所通过岩石的水平渗透率控制,从而断陷盆地主力沉积体系主流向成为骨架砂体输导体系的优势方向。

西湖凹陷自盆地开始形成到中新统沉积了巨厚的砂泥岩,砂岩层具有层数多、分布广等特点,构成了凹陷油气横向输导的基本通道。统计分析表明,始新统平湖组砂质岩占其总厚度的 17.8%~59.9%,渐新统花港组为 38.5%~82.1%,中新统龙井组为 33.6%~87.6%,中新统玉泉组为 39.2%~79.9%,各组均具有较高的砂质岩比例,构成众多类型的骨架砂体。

### 1.3 地层不整合面

地层不整合面也是油气运移的重要通道。由于地层不整合面通常受到风化、地表水淋滤和地下水溶蚀等作用的改造,从而改善其岩石物性,提高了岩石的孔隙度与渗透性,可形成区域性稳定分布的高孔高渗古风化壳或古岩溶带,不仅使之成为有利的油气运移通道,而且对油气聚集成藏也十分有益<sup>[13,14]</sup>。受基隆、玉泉、花港和龙井等构造运动的影响,西湖凹陷发育 Tg、T40、T30、T20、T10 及 T0 等区域性和局部不整合界面,其在不同时期可成为油气运移的良好通道。

## 2 输导体系典型样式及其分布特征

西湖凹陷油气从烃源岩到圈闭的过程中可能先后经历过不同类型的输导体系,它们之间的每一个输导体系构成要素都可以多次与其他构成要素进行任意组合,形成更复杂的油气运移的立体输导网络,使油气能在地层中向不同方向、以不同方式进行立体运移。研究西湖凹陷输导体系空间模式及其分布规律,就能从成因角度深刻剖析其对油气藏形成及分布的控制作用。本次研究根据西湖凹陷发育的断层、砂岩层、不整合面等输导要素在空间和时间上的组合关系,总结出如下 4 种典型输导体系样式:顺向断层阶梯型、反转断层丘型、调节断层“Y”型和“T”型输导体系(图 2)。

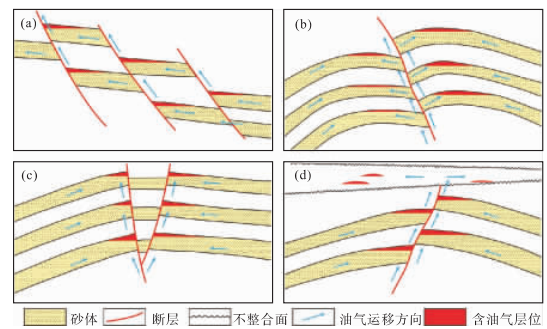


图 2 西湖凹陷典型输导体系模式  
Fig. 2 Typical migration systems in Xihu Sag

### 2.1 顺向断层阶梯型输导体系

阶梯型输导体系是由断层和骨架砂体组成的油气由高势区向低势区运移的连续输导系统(图 2a)。由于断裂活动造成两盘不同岩性的地层对置,使油气发生横穿断层面和沿断层面的运移,形成了油气呈“阶梯状”运移的模式。阶梯型输导体系广泛分布于西湖凹陷的缓坡带,在靠近洼陷部位表现为断层与骨架砂体的组合形式,如西湖凹陷西部斜坡带中部输导体系(图 3);在盆地边缘部位则表现为断层与骨架砂体及不整合面的复合组合形式,如西湖凹陷西部斜坡带北部输导体系(图 4)。

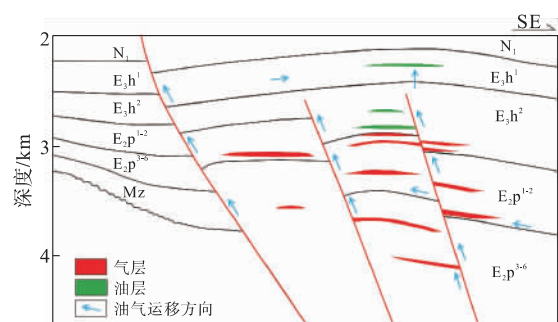


图 3 西湖凹陷西部斜坡带中部顺向断层阶梯型输导体系

Fig. 3 Forward fault terrace-type migration system in middle part of west slope belt, Xihu Sag

### 2.2 反转断层丘型输导体系

反转断层丘型输导体系是由反转断层和骨架砂体组成的油气由高势区向低势区运移的输导系

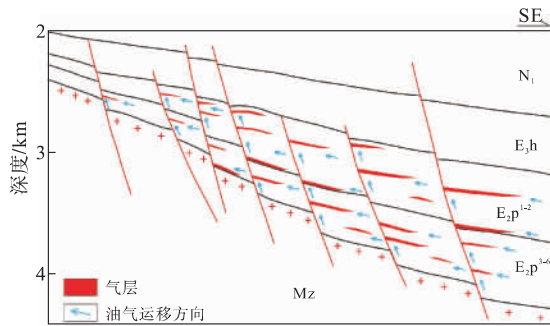


图 4 西湖凹陷西部斜坡带北部顺向断层阶梯型输导体系  
Fig. 4 Forward fault terrace-type migration system in northern part of west slope belt, Xihu Sag

统。在挤压反转背斜和断背斜的背景下,多幕式的构造运动使断层呈现脉冲式活动而成为油气纵向运移的通道,与反转挤压作用下的砂体配合形成反转断层丘型油气运移的模式(图 2b)。西湖凹陷中央洼陷—反转构造带总体上呈一组 NNE 向雁列式展布的背斜构造带<sup>[15,16]</sup>,受晚期断层切割,背斜和断背斜是主要圈闭类型,广泛分布反转断层丘型输导体系(图 5)。

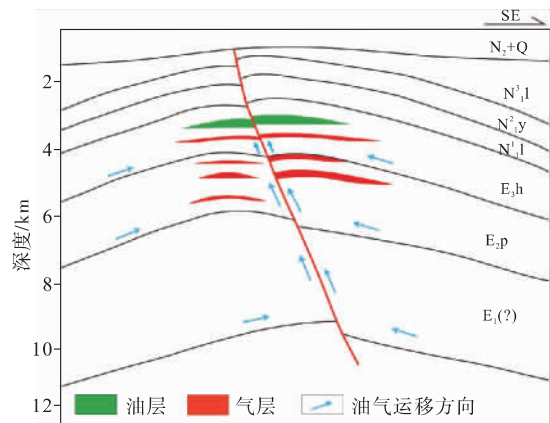


图 5 西湖凹陷中央洼陷—反转构造带反转断层丘型输导体系

Fig. 5 Reversed fault dome-like migration system in central depression and inversion belt, Xihu Sag

### 2.3 调节断层“Y”型输导体系

调节断层“Y”型输导体系是由反转断层与晚期调节断层组成的“Y”型断层配以骨架砂体组成的油气由高势区向低势区运移的输导系统。在反转构造带上,普遍发育伴随反转断层的晚期调节

断层,形成“Y”型断层组合样式,多幕式的构造运动使这类“Y”型断层与相连的砂体配合成为油气纵向运移的通道,形成调节断层“Y”型油气运移的模式(图 2c)。调节断层“Y”型输导体系广泛分布于西湖凹陷中央洼陷—反转构造带,反转断层与晚期调节断层配合形成众多的“Y”型断层组合样式,断背斜是主要圈闭类型(图 6)。

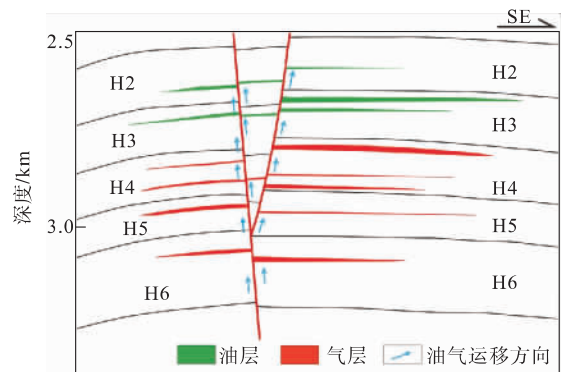


图 6 西湖凹陷中央洼陷—反转构造带调节断层“Y”型输导体系

Fig. 6 “Y”-type migration system related to adjustment fault in central depression and inversion belt, Xihu Sag

### 2.4 “T”型输导体系

“T”型为主的油气输导体系主要指烃源岩、骨架砂体、不整合面和活动性断层通过有效的时空配置构成的“T”型输导体系样式(图 2d)。“T”型输导体系是油气进入大中型地层圈闭的主要方式,广泛存在于斜坡边缘与不整合面有关的地层油气藏成藏过程中,包括盐岩刺穿油气藏也是依靠该类输导体系成藏。如前所述,不整合面由于受到风化、地表水淋滤和地下水溶蚀等作用的改造,可形成区域性稳定分布的高孔高渗古风化壳或古岩溶带,可以成为有利的油气运移通道。西湖凹陷经历基隆、玉泉、花港和龙井等多次构造运动,其中渐新世末的花港运动和中新世末的龙井运动在西湖凹陷内形成 2 个明显的区域性不整合界面,结合凹陷内较为发育的断裂系统,形成典型的“T”型输导体系样式,这一输导体系类型在西湖凹陷西部斜坡带边缘和东缘陡坡断隆带广泛发育(图 7)。

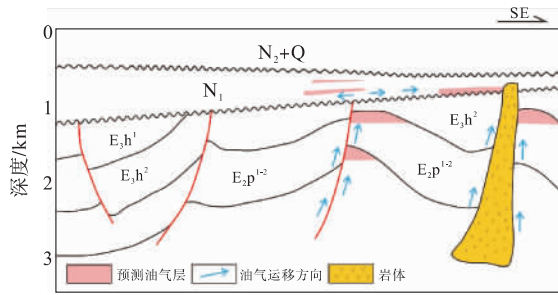


图7 西湖凹陷东缘陡坡断隆带“T”型输导体系  
Fig. 7 “T”-type migration system in fault-uprising belt on east steep slope, Xihu Sag

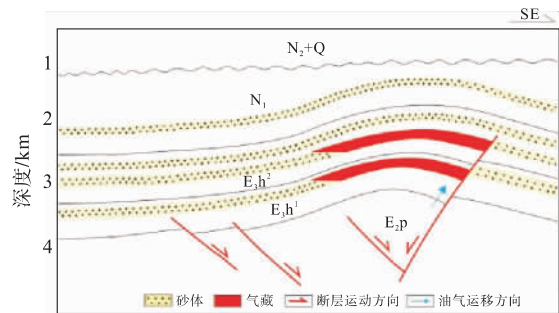


图8 西湖凹陷中央洼陷一反转构造带南部某油气藏输导体系特征  
Fig. 8 Features of migration system of certain reservoir in southern part of central depression inversion belt, Xihu Sag

### 3 输导体系对油气成藏的控制作用

作为盆地油气运移主要通道的组成部分,断层往往是油气垂向运移的重要通道,而具连通孔隙的砂岩层和不整合面往往是油气侧向运移的重要通道。它们共同构筑了西湖凹陷油气成藏的复式输导体系,并控制着油气藏分布层位、分布类型。

#### 3.1 输导体系类型及分布样式决定着油气藏层位的分布

输导体系连接烃源岩与圈闭,对油气藏分布空间的控制作用表现为输导体系所在的层位均具有成藏的可能性。油气藏分布的层位实际是由盆地输导体系类型及分布样式所决定的。作为沟通烃源岩和圈闭的烃源断层,其所断达层位往往是油气的富集层位;而烃源断层没有断达的层位,油气不能进一步向上运移,难以聚集成藏。如西湖凹陷中央洼陷一反转构造带南部某油气藏,断层断达的层位油气较为富集,而上部地层由于缺少断层输导,油气无法向上运移聚集,油气显示情况较差(图8)。

西湖凹陷的油气藏层位分布特点具有分带性。①洼陷带已发现的油气藏主要分布在烃源岩发育层位(如西湖凹陷的平湖组、花港组),整体表现为油气的“近源”分布特征;②断裂带以断层作为主要输导体系类型,油气以垂向运移为主,含油气层系(断层断至层位,即为含油气层位)基本包含盆地中所有层位;③边缘斜坡带以不整合作为主要输导体系,含油气层系分布较为局限,以侧向

运移为主,含油气层系向某些层位收敛,沿区域不整合面上下地层分布。

#### 3.2 输导体系组成地质要素控制着油气藏类型的分布

西湖凹陷圈闭类型与输导体系组成地质要素存在密切的成因联系,如断裂控制的圈闭一般为断块或逆牵引背斜型,不整合控制地层型圈闭,砂体的展布和形态特征(尖灭、超覆)控制着岩性圈闭发育。在某种意义上,圈闭本身可以看作是输导体系格架上的“结点”;与此同时,只有与输导体系联系的圈闭才可能成为油气藏。因此,输导体系样式对于油气藏类型控制作用就从静态成因、动态成藏2个方面得到保证。作为新生代陆相断陷盆地,西湖凹陷构造—沉积特征决定了输导体系的分布特征,从而决定了油气藏类型的变化特征:西部斜坡带发育阶梯型输导体系,形成以断块或断背斜油气藏为主的构造油气藏;西部斜坡带边缘和东部陡坡断隆带发育“T”型输导体系,主要以地层油气藏为主;中央洼陷一反转构造带发育反转断层丘型或“Y”型输导体系,形成以挤压背斜油气藏和断背斜油气藏为主的构造油气藏或岩性—构造油气藏(图9)。综合西湖凹陷输导体系和油气藏类型的配置关系研究可以看出,油气藏类型的变化不仅仅是遮挡或圈闭因素,从油气运移、聚集的角度还切实反映了输导体系类型和油气运移方式的差异。

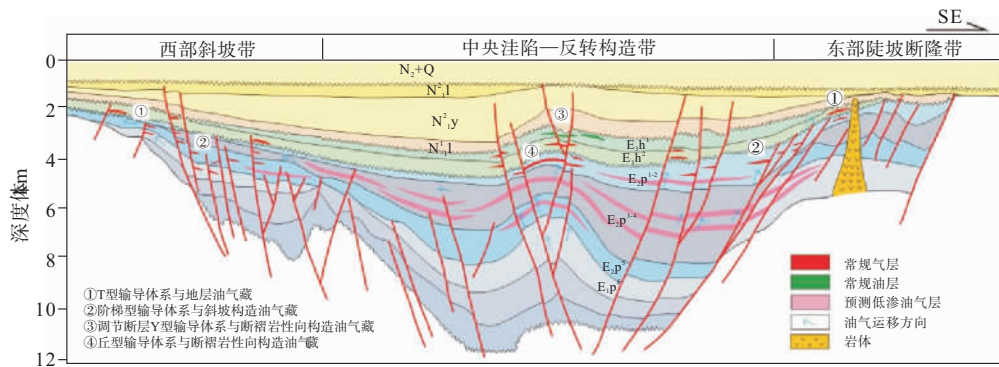


图 9 西湖凹陷输导体系与油气成藏关系示意图

Fig. 9 Schematic diagram of relationship between passage system and hydrocarbon accumulation in Xihu Sag

## 4 结论

西湖凹陷发育多种成因类型的输导体系,断裂、砂体和整合面共同构成了西湖凹陷流体纵、横向运移的复杂输导网络系统。西湖凹陷输导体系可概括为 4 种典型样式:顺向断层阶梯型、反转断层丘型、调节断层“Y”型和“T”型输导体系。输导体系对油气成藏的控制作用主要表现为:输导体系类型及分布样式决定着油气藏层位的分布;输导体系组成地质要素控制着油气藏类型的分布。

### 参考文献:

- [1] 贾健谊,顾惠荣. 东海西湖凹陷含油气系统与油气资源评价[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [2] 卓勤功,宁方兴,荣娜. 断陷盆地输导体系类型及控藏机制[J]. 地质论评,2005,51(4):416-422.
- [3] 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质,2000,21(2):133-135.
- [4] 张卫海,查明,曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质,2003,24(2):118-121.
- [5] 赵忠新,王华,郭齐军,等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质,2002,24(6):527-532.
- [6] 杨德彬,朱光有,苏劲,等. 中国含油气盆地输导体系类型

及其有效性评价[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2011,33(3):8-17.

- [7] 沈朴,张善文,林会喜,等. 油气输导体系研究综述[J]. 油气地质与采收率,2010,17(4):4-8.
- [8] Wilson M E, Evans M J, Oxtoby N H, et al. Reservoir quality, textural evolution, and origin of fault-associated dolomites[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(9):1 247-1 272.
- [9] 陈欢庆,朱筱敏,张琴,等. 输导体系研究进展[J]. 地质论评,2009,55(2):269-276.
- [10] 赵金海. 东海中、新生代盆地成因机制和演化(上)[J]. 海洋石油,2004,24(4):6-14.
- [11] 赵金海. 东海中、新生代盆地成因机制和演化(下)[J]. 海洋石油,2005,25(1):1-9.
- [12] 郑求根,周祖翼,蔡立国,等. 东海陆架盆地中生代构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):197-201.
- [13] 陈欢庆,朱筱敏,张亚雄,等. 不整合面输导体系研究——以中国南海 Q 盆地深水区古近系 L 组为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(3):10-14.
- [14] 陈中红,吴孔友,查明,等. 准噶尔盆地陆梁地区断裂—不整合面输导体系与油气运聚[J]. 地球学报,2006,27(1):63-68.
- [15] 张建培,张涛,刘景彦,等. 西湖凹陷反转构造分布与样式[J]. 海洋石油,2008,28(4):14-20.
- [16] 张敏强,钟志洪,夏斌,等. 东海西湖凹陷中南部晚中新世构造反转与油气运聚[J]. 中国海上油气,2005,17(2):73-79.

(下转第 43 页)

## HYDROCARBON GEOLOGY IN NW SABAH BASIN AND CONTROLLING FACTORS ON HYDROCARBON ACCUMULATION

MA Liangtao<sup>1</sup>, WANG Chunxiu<sup>2</sup>, NIU Jiayu<sup>1</sup>, ZHENG Qiugen<sup>3</sup>, LEI Baohua<sup>4</sup>

(1 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China;

2 Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China; 3 College of Ocean Science, China University

of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The NW Sabah Basin is one of the major exploration targets in Southeast Asia. With hydrocarbon geological theory as the guide, the distribution and maturity of source rocks, reservoirs, cap rocks and traps in different tectonic zones are studied, and the main controlling factors on hydrocarbon accumulation also discussed in this paper, on the basis of structural and stratigraphic studies. It is proved that the mudstones and shale in the Stage IV are the main source rocks and the main clastic reservoirs are provided by the Lower Sandstone Unit of Stage IV A, the Upper Sandstone Unit of Stage IV C and IV D, and the turbidites of Stage IV C and IV D. Three reservoir-seal combinations, i. e. the lower, upper, and deep-water turbidite fan combinations, have been identified, and the lower one is best among the three. Source rocks and reservoirs are distributed in different tectonic areas under the control of tectonics and palaeogeography. Various traps are developed in different tectonic areas by the distinct deformation effect, which controls as well the formation and distribution of oil accumulation in the basin.

**Key words:** NW Sabah Basin; hydrocarbon properties; reservoir-seal combination; controlling factors

—————  
(上接第 29 页)

## FEATURES OF MIGRATION SYSTEM IN XIHU SAG AND ITS CONTROL ON HYDROCARBON ACCUMULATION

XU Fa, ZHANG Jianpei, ZHANG Tian, ZHANG Shaoliang, YU Yifan, TANG Xianjun

(Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200030, China)

**Abstract:** The migration system, as one of the key research targets in oil and gas exploration, has been studied in the Xihu Sag, the East China Sea Shelf Basin. Fault, sandstone and unconformity, the basic types of migration system in the Xihu Sag, always work together vertically and laterally to form the migration network for a hydrocarbon accumulation. According to the spatial and temporal relations of the basic elements of fault, sandstone and unconformity, 4 kinds of migration system are recognized in the Xihu Sag. They are the terrace-like migration system along a forward fault; dome-like migration system along a reversed fault, “Y”-type and “T”-type of migration systems along an adjustment fault. The migration system is a controlling factor on hydrocarbon accumulation. Firstly, it will decide the distribution patterns of hydrocarbon accumulation strata. Secondly, the geological factors of the migration system will control over the distribution pattern of hydrocarbon accumulations.

**Key words:** Xihu Sag; migration system; reservoir; East China Sea shelf