

东海西湖凹陷西斜坡断层—岩性油气藏 富集评价体系与勘探方向

周荔青, 江东辉, 周兴海, 李 昆, 庄建建, 刘 闯

中国石化 上海海洋油气分公司, 上海 200120

摘要:近年来,东海陆架盆地西湖凹陷西斜坡随着勘探程度的不断提高,勘探思路逐步由构造油气藏转向构造—岩性复合油气藏。通过系统地开展煤系烃源岩生烃潜力评价,明确煤层及暗色泥岩是斜坡带主力烃源岩。通过“源—渠—汇”系统的沉积体系精细研究,明确了西斜坡共发育8种构造—岩性复合圈闭类型;通过油气成藏条件及油气分布规律研究,理清了始新统平湖组中—上段圈闭有效性是油气成藏主控因素,平湖组下段供烃能力及储层物性为主控因素,并建立了西斜坡油气藏综合评价体系。研究认为,西湖凹陷西斜坡北段迎翠轩地区始新统一古新统三角洲和平南、初阳—宝石地区始新统潮坪—三角洲及平湖斜坡内带为构造—岩性规模储量发育区,是下步有利的勘探方向。

关键词:复合圈闭;控砂模式;主控因素;评价体系;西斜坡;西湖凹陷;东海陆架盆地

中图分类号: TE122.35

文献标识码: A

Evaluation system and exploration optimization for fault–lithologic reservoir on the western slope of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHOU Xinghai, LI Kun, ZHUANG Jianjian, LIU Chuang

SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China

Abstract: With continued progress of exploration degree on the western slope of Xihu Sag of East China Sea Shelf Basin, exploration strategy has gradually changed from structural reservoirs to structural–lithological composite ones. Through the systematic evaluation of the hydrocarbon-generating potential of coal-measure source rocks, it was concluded that coal seams and carbonaceous mudstone are the main source rocks in this area. According to the study of sedimentary system based on the “Source-to-Sink” system, 8 types of structural–lithological composite trap were proposed. Furthermore, the accumulation conditions and distribution characteristics of oil and gas were studied, it is then confirmed that effectiveness of trap is the main controlling factor for oil-and-gas accumulation in the upper and middle members of Pinghu Formation, while the hydrocarbon-supplying capacity and physical properties of reservoir are the main controlling factor in the lower member of Pinghu Formation. Consequently, a comprehensive evaluation system was established. By the means of the comprehensive evaluation of structural–lithological composite reservoirs, the Eocene–Paleocene delta in Yingcuixuan area of the northern segment of the western slope belt, the Eocene tidal flat–delta in Pingnan, Chuyang and Baoshi areas, and the inner zone of Pinghu slope are large-scale reserve areas, which is valuable and favorable for further exploration.

Key words: composite trap; sand-controlling models; main controlling factor; evaluation system; western slope; Xihu Sag; East China Sea Shelf Basin

1 区域地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部拗陷带中段,东侧紧邻钓鱼岛隆褶带,西侧通过西斜坡与渔山凸起、钱塘凹陷、海礁凸起、长江凹陷及虎皮礁凸起相

接,南北两侧分别与钓北凹陷和福江凹陷相连^[1-2](图1)。晚中生代以来,受控于太平洋板块和随后新生的菲律宾板块的直接影响,以及印度—欧亚板块碰撞的远程效应,东海陆架盆地所处的区域应力场发生了多次改变,最终形成了“东西分带,南北

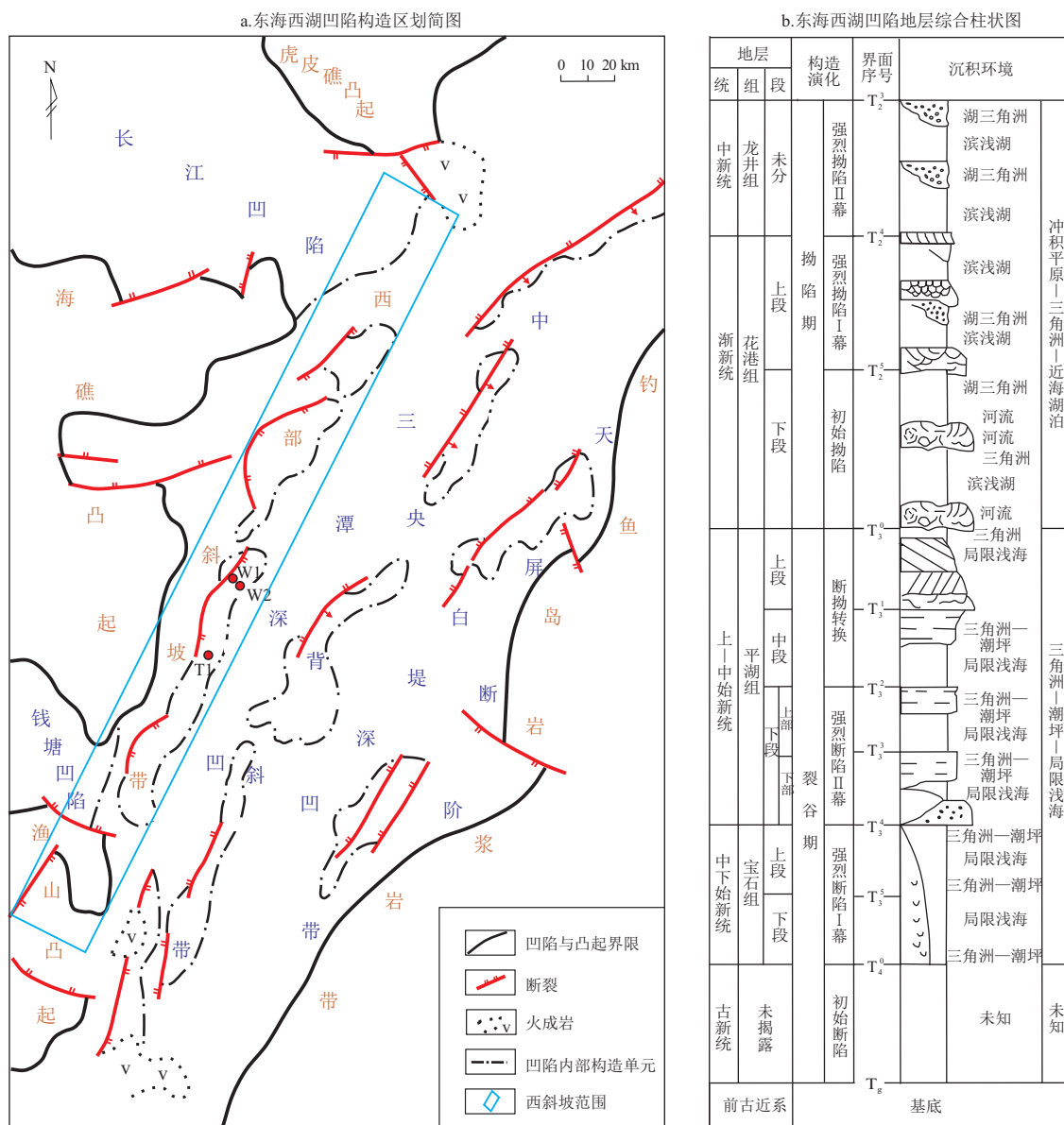


图 1 东海西湖凹陷构造区划及地层发育特征

据文献[1]修改。

Fig.1 Structural division and stratigraphic characteristics of Xihu Sag, East China Sea

分块”的盆地构造格局,西湖凹陷内部由西向东划分为西部斜坡带、三潭深凹、中央背斜带、白堤深凹和天屏断阶带 5 个次级构造单元^[3-4]。根据主要断裂发育特征,西部斜坡带在南北方向上可进一步划分为 3 个次级构造带,由南向北依次为初阳—宝石构造带、平湖构造带、木广迎构造带^[5-6];在东西方向上自西向东可进一步划分为斜坡高带、斜坡中带及斜坡内带。西部斜坡带主要沉积期为古近纪,地层从老至新依次发育古新统、中—下始新统宝石组、中—上始新统平湖组、渐新统花港组及中新统龙井组^[7-9];勘探主要目的层系为始新统,发育潮坪—三角洲共生沉积体系,沉积展布受坡折带控制,呈现东西分带、南北分区的特征^[10]。

2 石油地质条件

2.1 烃源岩条件

钻井证实,西湖凹陷主力烃源岩层系是始新统宝石组、平湖组的煤和暗色泥岩,西部斜坡带具有本地烃源和三潭深凹烃源双源供烃的有利条件。对于斜坡带烃源岩而言,煤层数量多、分布广,单井累积厚度最大 85 m;暗色泥岩也具有厚度大、分布广的特点,单井累积厚度最大 450 m,从斜坡高带到低带,泥岩厚度逐渐增大。斜坡带还发育多个次洼,次洼内烃源岩发育,厚度较大,如北部过溪次洼的宝石组、平湖组暗色泥岩厚度分别可达 600 m 和 400 m,煤层累计厚度可达 30~50 m。对于紧靠斜

坡带的三潭深凹而言, 宝石组、平湖组烃源岩厚度分别可达 1 400 m 和 1 200 m。从烃源岩类型看, 煤和暗色泥岩主要为 II₂—III 型^[1], 有机质丰度以中等或好烃源岩为主。平湖组上段和中段有效烃源岩有机碳含量 (TOC) 平均值分别为 5.06% 和 3.92%, 属于较高丰度; 平湖组下段有效烃源岩 TOC 平均值为 2.86%, 属于中等丰度; 宝石组上段和下段揭示有效烃源岩 TOC 平均分别为 3.35% 和 0.65%, 属于中等丰度。整体来看, 西湖凹陷斜坡带平湖组烃源岩多数已进入排烃门限, 各层段镜质体反射率 (R_o) 分布在 0.5%~1.3% 之间, 整体处于成熟—高成熟阶段。三潭深凹平湖组、宝石组烃源岩也均达到成熟—高成熟阶段, 其中 R_o 大于 0.7% 的有效烃源岩分布面积大约 2 863 km², 具有满坡分布的特征。总体而言, 斜坡带紧邻三潭深凹富生烃洼陷, 且自北向南发育一系列的生烃次洼, 具有双源供烃的特点, 烃源条件非常好。

2.2 沉积体系

西湖凹陷西斜坡整体上表现为继承性西高东低的古地貌特征, 物源来自于斜坡带西部的海礁凸起和渔山凸起, 自南向北依次发育 4 个主物源区 (图 2)。现有研究表明, 斜坡带始新世是有河流注入的半封闭海湾沉积环境, 发育了潮坪—三角洲共生的沉积体系^[4]。

始新世西斜坡经历了海进—海退的海平面变化旋回, 其中宝石组—平下段为海进期沉积, 海平面震荡升高, 潮汐作用较强, 为潮控三角洲—局限海湾沉积; 平湖组中—上段为海退期沉积, 潮汐作用减弱, 河流作用增强, 主要发育潮坪—受潮汐影响的三角洲沉积。

平面上看, 沉积体系呈现明显的东西分带、南北分区的特征。东西向受坡折控制及潮汐对沉积体系影响程度的不同, 发育不同的沉积亚相。其中高带位于平均高位坡折及平均高潮线之上, 受潮汐影响较弱, 发育潮上带及三角洲平原亚相, 砂体类型主要为平原分支河道砂; 中带位于高位坡折与低位坡折之间 (平均高潮线与平均低潮线之间), 三角洲受一定程度的潮汐影响, 主要发育潮间带及三角洲前缘水下分支河道亚相, 砂体类型有前缘分支河道砂、河口坝砂和潮坪砂; 低带位于低位坡折及平均低潮线之下, 潮汐作用较强, 砂体被改造强烈, 主要类型为潮汐水道砂和潮汐砂坝。南北方向, 斜坡带沉积体系具有明显差异性。南部受潮汐作用影响较大, 北部影响较小, 整体呈现南海北陆的特点。南部砂体类型主要表现为受潮汐作用控制的

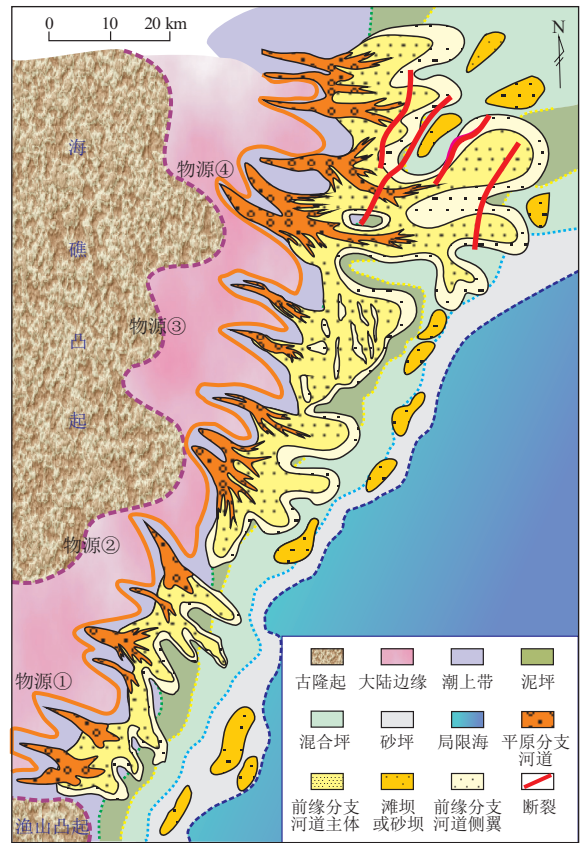


图 2 东海西湖凹陷西斜坡始新统平湖组中—上段沉积相

Fig.2 Sedimentary facies of the middle and upper members of Eocene Pinghu Formation on the western slope of Xihu Sag, East China Sea

潮汐砂坝、潮坪砂; 中部主要表现为潮汐砂体和三角洲砂体共生, 类型多样; 北部主要表现为三角洲前缘分支河道砂体, 分布较广, 连续性较好。

斜坡带中浅层 (3 500 m 以上) 以中孔、中—低渗储层为主, 孔隙度多介于 13%~22%, 渗透率一般在 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上; 深层 (3 500 m 以下) 主要发育低孔、低渗—特低孔、特低渗储层, 孔隙度多小于 12%, 渗透率多小于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 但局部仍出现“甜点”储层。目的层平湖组以砂泥岩互层为主, 砂地比为 30% 左右, 具备形成岩性圈闭的有利条件。平湖组下段中部最大海泛面附近发育一套区域性泥岩盖层, 对下伏油气具有较好的保存作用; 平湖组中—上段发育多套局部泥岩盖层, 也有利于形成多套砂—泥储盖组合。

2.3 控砂机制及圈闭模式

西湖凹陷西斜坡平湖组沉积早中期断陷活动强烈, 地貌呈现明显的隆洼相间的特征, 砂体主要受北东向断裂坡折及北西向挠曲坡折共同控制^[11-12]。断坡控砂表现为断裂坡折带下降盘地貌低洼区富砂, 在断裂坡折带附近, 由于断裂拖曳作

用,上盘地层形成上翘,砂体向断层方向尖灭。例如,团结亭地区砂体在断裂坡折带之下地貌低洼区大量卸载堆积,而靠近断裂坡折带处,受断层的拖拽,砂体侧向尖灭。另外,受古隆起和基底断层的影响,形成了一系列近东西向的挠曲坡折带,砂体向坡折带高部位呈现明显减薄尖灭,其中平下段受挠曲坡折控制作用明显。例如,武云亭地区平下段发育北西—南东走向的挠曲坡折带,在垂直于坡折带方向上,上覆地层逐级减薄。平湖组沉积晚期断陷活动减弱,斜坡带整体呈现为西高东低的宽缓斜坡,砂体沿斜坡由西向东推进,具斜坡控砂特点。

结合西斜坡的构造样式,断控期(即宝石组和平下段沉积期)在不同的构造部位可归纳出 5 种控砂模式,即单断坡带型、多断坡带型、断垒坡折型、弯折带型和转换带型。坡控期(即平湖组中—上段沉积期)有 3 种控砂模式,即缓坡型、陡坡型和多级斜坡型。砂岩尖灭与构造配合形成 8 种类型的构造—岩性复合圈闭(图 3):①主断裂上升盘古冲沟内地层超覆圈闭;②主断裂下降盘砂岩上倾尖灭—断层侧翼封堵圈闭;③反向断层下降盘断槽砂岩上倾尖灭—断层侧翼封堵岩性圈闭;④反向断

层上升盘高部位断层封堵—侧翼砂岩尖灭圈闭;⑤地层上超圈闭;⑥潮汐—砂坝岩性圈闭;⑦基岩侧向封堵圈闭;⑧顺向断阶砂岩侧翼尖灭圈闭。

3 油气成藏富集控制因素

3.1 西斜坡油气分布特征

西湖凹陷西斜坡油气勘探显示,北部的木广迎区带、中部的平湖区带及南部的初阳—宝石区带均为油气发育区。其中平湖区带钻井较多,勘探程度较高,已发现了孔雀亭、武云亭、宝云亭及团结亭等油气田。整体而言,斜坡带高、中、低三带均能成藏,平面上,由斜坡高带到斜坡低带勘探目的层系逐渐变浅,高带主要含油气层系为平下段及宝石组,中带为平湖组中—上段,低带为平湖组上段及花港组下段,并且由高带到低带油气富集程度逐渐增加。高带以油为主,低带以气为主,中带油和气均有发现。纵向上,油气主要富集在平湖组,其次为宝石组 and 花港组,且油气藏呈现上油下气的特点。

3.2 成藏主控因素

西斜坡钻井揭示,油气主要集中在始新统平湖组,平湖组中—上段主要发育断层相关的断鼻、断块圈闭以及受断层和河道砂共同控制形成的断层—岩性复合圈闭。圈闭有效性是成藏主控因素,主要包括断层封堵性和岩性尖灭封堵 2 个方面。对于砂岩上倾尖灭—断层侧翼封堵型复合圈闭,砂体在高部位受古地貌和坡折控制形成上倾尖灭,其岩性尖灭可靠程度决定了圈闭有效性;对于上倾断层封堵—侧翼砂岩尖灭型复合圈闭,其上倾部位断层的封堵性决定了油气能否成藏。

西斜坡武云亭地区油气较为富集,W3 井钻揭平湖组上、中、下段砂岩发育,为多期北西—南东向展布的三角洲前缘水下分支河道砂,河道西南侧翼受坡折带控制形成上倾尖灭,在西北侧高部位受断层封挡。平面上同一时期发育多条水下分支河道,每条河道独立形成圈闭,构成纵向叠置、横向连片的断层—岩性复合圈闭群(图 4)。因此,圈闭是否有效取决于上倾方向断层的封堵性与侧翼砂岩尖灭封堵的可靠性。同时,断层的封堵能力决定了封堵的油气柱高度。W3 井上倾方向断层由于在平湖组中—上段断距较小,一般在 20~30 m 左右,断层的侧向封堵能力有限,因此该井虽然纵向揭示多套砂体成藏,但油气烃柱高度有限。基于对 W3 井控圈断层断距、直接盖层厚度的统计数据显示,当直接盖层厚度>断距>储层厚度时,井上的含油气情况最好,此时圈闭的保存条件最佳。

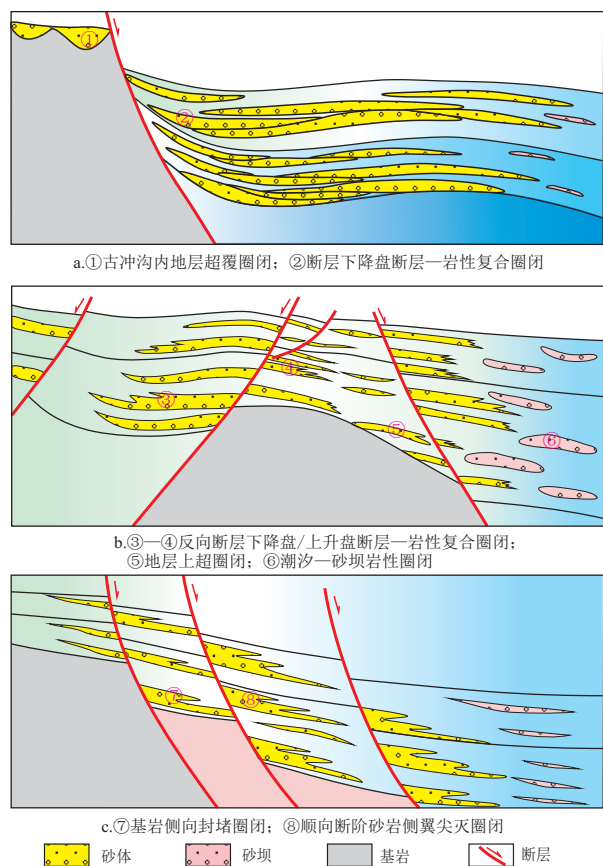


图 3 东海西湖凹陷西斜坡构造—岩性复合圈闭模式
Fig.3 Model of structural-lithological composite traps
on the western slope of Xihu Sag, East China Sea

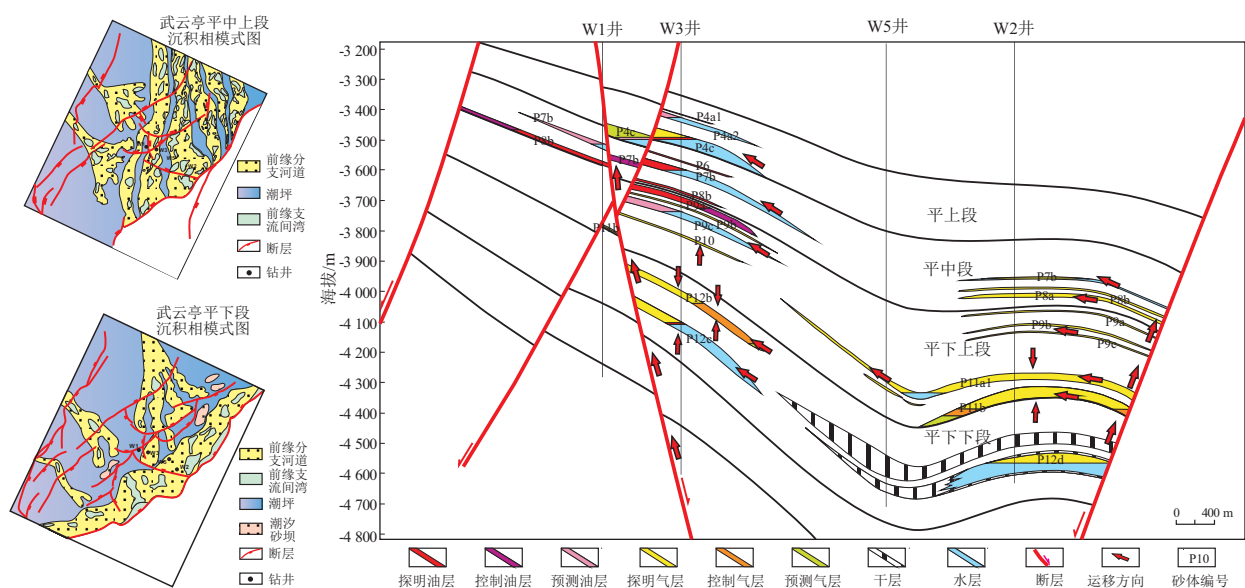


图 4 东海西湖凹陷西斜坡武云亭地区平湖组中—上段、平下段成藏模式
 Fig.4 Hydrocarbon accumulation model of lower, middle and upper members of Pinghu Formation, Wuyunting area, western slope of Xihu Sag, East China Sea

对于平下段而言,烃源充注能力及储层物性是油气成藏的关键。图 4 中从高部位的 W1 井到中部的 W3 井再到低部位的 W2 井,距离三潭深凹生烃中心越近,烃源的供烃能力越强,油气充满度及饱和度越高,油气越富集。另外,平下段埋深普遍大于 4 000 m,在强烈的压实作用下,储层物性急剧变差,在有利沉积相带及酸性溶蚀作用发育区,储层物性相对较好,形成“甜点”油气藏。因此,烃源充注能力以及储层物性共同决定了平下段油气成藏。

西斜坡团结亭地区油气也较为富集,以 T1 井

为例,西北向物源在宝团断裂下降盘形成了三角洲前缘水下分支河道(图 5a)。受断层及河道体系控制,T1 井为上倾方向断层封堵—侧翼砂岩尖灭型的构造—岩性复合油气藏,圈闭的有效性由断层和砂岩两方面因素控制。

对于平湖组中—上段,砂体厚度大,断距整体较小,断层两盘砂—砂对置较多,断层封堵性较差,因此水层较多。对于平下段,一方面砂体厚度较薄,断距较大,砂体大多被断层完全错开,形成砂—泥对置,因此断层封堵性较好;另一方面,平下段普

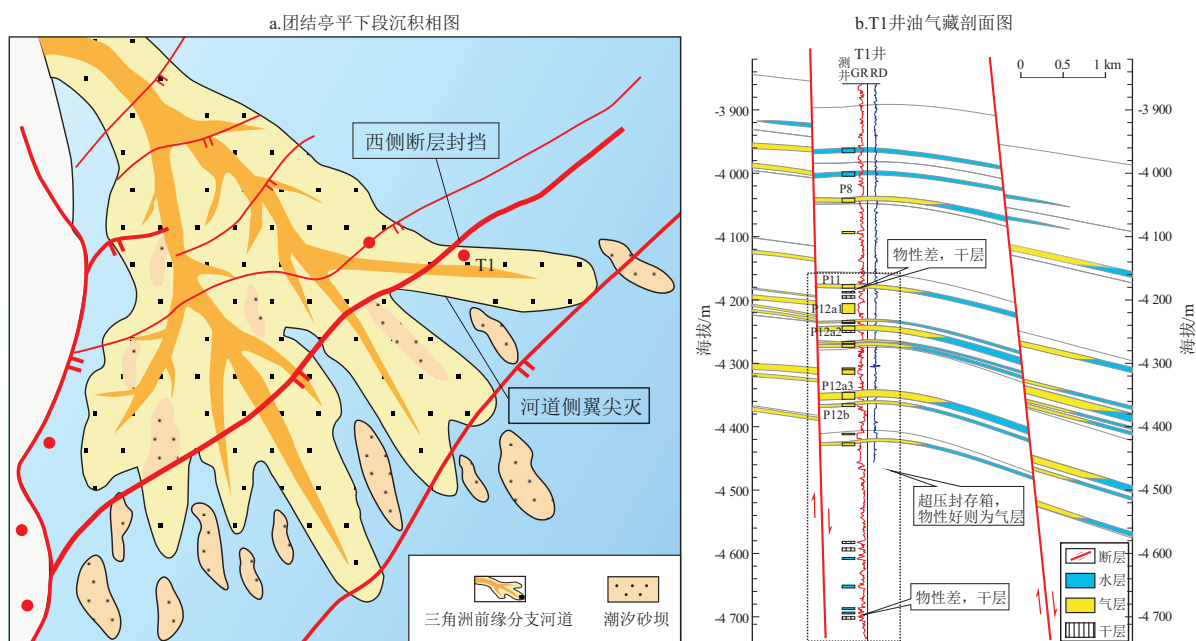


图 5 东海西湖凹陷西斜坡团结亭地区沉积相模式 (a) 和油气藏剖面图 (b)

Fig.5 Sedimentary facies model (a) and reservoir profile (b) of Tuanjietao area, western slope of Xihu Sag, East China Sea

遍发育超压(压力系数 1.53~1.56),地层处于高压流体封存箱内(图 5b)^[13-15],高压对储层物性有一定的保护作用。在高压封存箱内,部分砂体受后期次生溶蚀作用改造后物性较好,则易富集油气,例如 P12a3—P12b 砂体,埋深达 4 400 m,其孔隙度仍可达 15%,渗透率达 $11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测试也具备一定产能。

3.3 油气富集控制因素

3.3.1 优势输导体系控制油气平面分布

西斜坡广泛发育的大型顺向断层(迎翠轩、孔雀亭、宝云亭、团结亭、平南)及反向断层(武云亭),与不同时期具有一定连续性的砂体耦合形成“网毯式”的立体输导体系。对于平湖组中—上段,砂体广泛发育,砂地比高、有效通道空间系数高^[16](图 6a),且砂体与断层接触面积大,油气输导效率高,优势输导体系发育,因此,平湖组中—上段具有“满坡运移”的特点(图 6b)。在有效的圈闭条件下,油气藏普遍发育,目前从平湖组中—上段勘探的结果也证实,有效的圈闭基本都发育油气藏。而平下段砂体主要为潮坪—潮控三角洲沉积体系,表现为潮汐水道和潮汐砂坝。平面上具有一定分布范围且物性相对较好的砂体与断层组合形成了高效输导体系,位于高效输导体系上的有利圈闭油气富集程度相对较高。

3.3.2 高效储盖组合控制油气富集层位

斜坡带主要目的层始新统平湖组发育多套储盖组合,其中,平下段中部、平上段发育区域性稳定泥岩盖层,与下伏砂岩形成有利储盖组合。勘探实践证明,稳定的厚层泥岩盖层与物性较好砂岩易形成高效储盖组合,控制了油气的纵向富集层位。

对于平上段,砂体厚度普遍较大,且埋深浅,物性较好,但泥岩整体不太发育,泥地比一般小于 65%,因此储盖组合配置相对较差,油气富集程度

不高。对于平湖组中—下段,上覆泥岩盖层发育,泥地比大于 65%,且砂体厚度适中,在优势沉积相带上发育“甜点”储层,因此储盖组合配置有利,油气富集程度较高。

4 油气富集评价体系

为了明确西斜坡油气有利发育区,本文结合砂体展布规律和成藏特征研究,对不同区带岩性油气藏的形成条件和分布规律进行了总结,认为斜坡带“紧邻富生烃洼陷,发育多期叠置的规模储集体及多类型构造—岩性复合圈闭,具有良好的垂向封盖条件以及发育网毯式高效输导体系”等多种有利要素叠合区为大中型油气田发育区。在此认识基础上,进一步深化研究西斜坡油气富集规律,提出了具体的油气富集评价体系和方法(图 7)。

该评价体系主要概括为充注、输导、圈闭及保存条件“四元”耦合综合评价方法。对于油气充注能力的评价,聚焦其生烃物质基础(烃源岩生烃能力)、距生烃灶距离(有效烃源岩范围)及烃源动态演化过程(排烃期/量及排烃强度)。对于输导能力评价,主要从砂体侧向输导及断层垂向输导能力 2 个维度衡量。其中砂体输导能力可通过砂地比、有效通道空间系数、物性等参数判断;断层输导能力分析需在明确导油断层的基础上,结合具体井区纵向上油气藏特征参数的变化,判断是否存在油气垂向运移。对于圈闭条件,重点在于明确其岩性尖灭边界。主要从坡折带识别入手,结合精细砂体描述手段刻画出砂体展布范围,再根据 P 波速度和 S 波速度比值(V_p/V_s)、地震相、波形变化特征等多种方法共同识别岩性边界。对于保存条件,关键在于分析断层的侧向封堵性及泥岩盖层的顶封性能。其中断层封闭性除了传统的断—砂对置、断层活动性分析(定性)及 SGR 泥岩涂抹方法(半定量)外,

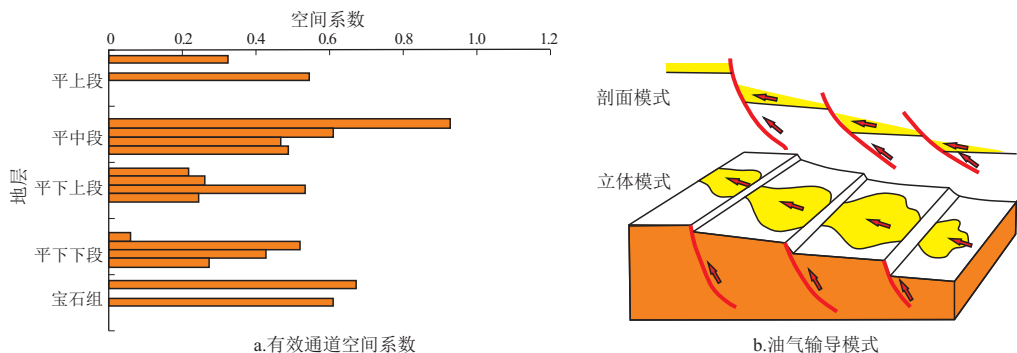


图 6 东海西湖凹陷西部斜坡带平湖组中—上段砂体有效通道空间系数(a)和油气输导模式(b)

Fig.6 Effective channel space coefficients (a) and hydrocarbon transportation model (b) of middle and upper members of Pinghu Formation, western slope of Xihu Sag, East China Sea

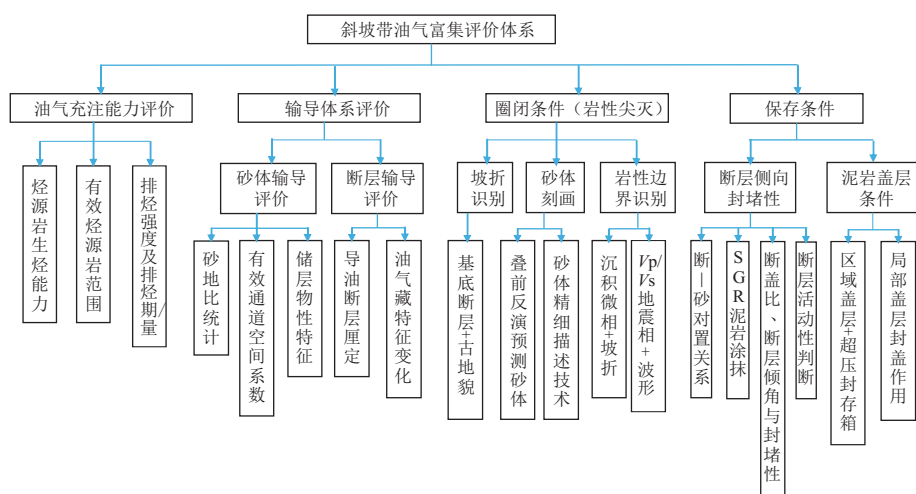


图7 东海西湖凹陷西斜坡油气富集评价体系

Fig.7 Evaluation system for oil and gas enrichment in western slope of Xihu Sag, East China Sea

还借鉴了断/盖比分析、断层倾角与封堵性关系分析等定量化分析方法;泥岩盖层保存能力的研究,一方面分析区域盖层配合煤系地层的生烃增压形成超压封存箱,对油气具有较好保存作用,另一方面也需考虑到局部泥岩盖层对油气的封盖作用。

基于以上评价体系的指导,近两年在西湖凹陷斜坡带落实了多个有利油气富集区,包括北部的迎翠轩区带、中部的平湖区带以及南部的初阳—宝石区带。通过综合评价,在平湖区带的武云亭、孔雀亭南翼优先进行了勘探部署。

5 近期勘探突破与勘探方向优选

采用集束勘探、整体评价的方法,在武云亭及孔雀亭地区均获得了构造—岩性复合油气藏勘探的重大突破。

2019—2020年在武云亭断槽区获构造—岩性复合油气藏勘探重大突破,探明一个中等规模的构造—岩性复合油气藏群,证实了斜坡带“煤系烃源岩—平下段断槽砂岩上倾尖灭+平上段断层—岩性复合圈闭—优质储层—优势输导体系”的复合油气藏发育模式,在储层埋深超3 500 m的情况下依然发育有较好储集物性的油气藏,在4 600 m深度单层测试获自然产能,日产气超 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,刷新了西湖凹陷相同埋深测试产能记录。

2021年在孔雀亭古隆起南翼再次获得构造—岩性复合油气藏勘探突破。证实了大断裂与挠曲坡折带控制的砂岩尖灭型构造—岩性复合圈闭发育模式,首次在斜坡带古隆起翼部探明一个中等规模的构造—岩性复合油气藏群,具有较大的领域性带动意义。同时,该地区在4 300 m埋深单层测试

获日产气 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 高产油气流,证实了深层构造—岩性复合油气藏勘探的潜力。

在武云亭、孔雀亭构造—岩性复合油气藏勘探突破的启示下,通过不断深化岩性油气藏成藏地质认识及完善勘探技术体系,近期在斜坡带又刻画了一大批集群式勘探目标,主要包括2个方向:①西斜坡内带勘探空白区。该区域临近三潭生烃洼陷,供烃条件优越;为三角洲前缘有利沉积相带,发育多类型砂体,且砂地比适中,具备形成岩性圈闭的条件;发育大型导油断裂,断—砂耦合形成立体输导体系,总体成藏条件好。②西斜坡北段迎翠轩地区大断裂下降盘及西斜坡南段平南—初阳、宝石地区。这2个地区具备古隆起构造背景,是油气长期运聚指向区;始新统均为潮坪—三角洲沉积有利相带,河道砂与断裂耦合易发育构造—岩性复合圈闭,成藏条件也较为优越。另外,根据岩性油气藏勘探思路,初步估算西斜坡资源潜力超过 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,勘探前景广阔。

6 结论

(1)西斜坡具有本地烃源和三潭深凹双源供烃特征。始新统煤和暗色泥岩为主要烃源岩,厚度大,有机质类型主要为 II_2 — III 型;有机质丰度以中等—好为主,烃源岩已达成熟—高成熟阶段。西斜坡宝石组—平下段为潮控三角洲—局限海湾沉积,平湖组中—上段为潮坪—受潮汐影响的三角洲沉积,纵向发育多套砂泥储盖组合。断控期发育5种控砂模式,坡控期发育3种控砂模式,砂岩尖灭与构造配合形成8种类型的构造—岩性复合圈闭。

(2)实钻井解剖表明,对于西斜坡平湖组中—

上段,圈闭有效性是成藏主控因素,而圈闭有效性取决于上倾方向断层的封堵性与侧翼砂岩尖灭封堵的可靠性;对于平下段,烃源充注能力及储层物性是油气成藏的关键。油气富集因素主要有两点:①优势输导体系控制油气平面分布,位于断—砂耦合形成的“网毯式”立体输导路径上的圈闭油气富集程度较高;②高效储盖组合控制油气富集层位,即稳定的厚层泥岩盖层与物性较好的砂岩易形成高效储盖组合,控制油气的纵向富集层位。

(3)提出了“充注、输导、圈闭、保存”四元耦合油气富集评价体系,并基于该体系的指导在西斜坡武云亭、孔雀亭南翼进行部署,获得了构造—岩性油气藏勘探重大突破,同时在西斜坡提出了一批有利勘探区带。

参考文献:

- [1] 周荔青,江东辉,张尚虎,等.东海西湖凹陷大中型油气田形成条件及勘探方向[J].石油实验地质,2020,42(5):803-812.
ZHOU Liqing,JIANG Donghui,ZHANG Shanghu, et al. Formation conditions and exploration direction of large and medium oil and gas reservoirs in Xihu Sag, East China Sea[J].Petroleum Geology & Experiment,2020,42(5):803-812.
- [2] 王鹏,赵志刚,张功成,等.东海盆地钓鱼岛隆褶带构造演化分析及对西湖凹陷油气勘探的意义[J].地质科技情报,2011,30(4):65-72.
WANG Peng,ZHAO Zhigang,ZHANG Gongcheng, et al. Analysis on structural evolution in Diaoyu islands folded-uplift belt, East China Sea Basin and its impact on the hydrocarbon exploration in Xihu Sag[J].Geological Science and Technology Information,2011,30(4):65-72.
- [3] 杨长清,杨传胜,李刚,等.东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(3):105-111.
YANG Changqing,YANG Chuansheng,LI Gang, et al. Mesozoic tectonic evolution and prototype basin characters in the southern East China Sea Shelf Basin[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2012,32(3):105-111.
- [4] 周心怀,蒋一鸣,唐贤君.西湖凹陷成盆背景、原型盆地演化及勘探启示[J].中国海上油气,2019,31(3):1-10.
ZHOU Xinhuai,JIANG Yiming,TANG Xianjun. Tectonic setting, prototype basin evolution and exploration enlightenment of Xihu Sag in East China Sea Basin[J].China Offshore Oil and Gas,2019,31(3):1-10.
- [5] 杨彩虹,曾广东,李上卿,等.东海西湖凹陷平北地区断裂发育特征与油气聚集[J].石油实验地质,2014,36(1):64-69.
YANG Caihong,ZENG Guangdong,LI Shangqing, et al. Fault development characteristics and hydrocarbon accumulation in Pingbei area of Xihu Sag,East China Sea[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):64-69.
- [6] 徐发.东海陆架盆地新生界结构特征及迁移规律[J].石油天然气学报,2012,34(6):1-7.
XU Fa.Characteristics of Cenozoic structure and tectonic migration of the East China Sea Shelf Basin[J].Journal of Oil and Gas Technology,2012,34(6):1-7.
- [7] 张国华,张建培.东海陆架盆地构造反转特征及成因机制探讨[J].地学前缘,2015,22(1):260-270.
ZHANG Guohua,ZHANG Jianpei. A discussion on the tectonic inversion and its genetic mechanism in the East China Sea Shelf Basin[J].Earth Science Frontiers,2015,22(1):260-270.
- [8] 蔡华,张建培,唐贤君.西湖凹陷断裂系统特征及其控藏机制[J].天然气工业,2014,34(10):18-26.
CAI Hua,ZHANG Jianpei,TANG Xianjun. Characteristics of the fault systems and their control on hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag,East China Sea Shelf Basin[J].Natural Gas Industry,2014,34(10):18-26.
- [9] 高伟中,杨彩虹,赵洪.东海盆地西湖凹陷热事件对储层的改造及其机理探讨[J].石油实验地质,2015,37(5):548-554.
GAO Weizhong,YANG Caihong,ZHAO Hong. Reservoir formation and modification controlled by thermal events in the Xihu Sag,East China Sea Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2015,37(5):548-554.
- [10] 杨彩虹,高兆红,蒋一鸣,等.西湖凹陷平湖斜坡带始新统平湖组碎屑沉积体系再认识[J].石油天然气学报,2013,35(9):11-14.
YANG Caihong,GAO Zhaohong,JIANG Yiming, et al. Reunderstanding of clastic rock sedimentary facies of Eocene Pinghu Formation in Pinghu slope of Xihu Sag[J].Journal of Oil and Gas Technology,2013,35(9):11-14.
- [11] 李昆,周兴海,丁峰,等.西湖凹陷保俶斜坡带平北地区平湖组“多元控砂”机制分析[J].海洋地质与第四纪地质,2019,39(6):115-123.
LI Kun,ZHOU Xinghai,DING Feng, et al. “Multi-factor control of sandboies distribution” in the Pinghu Formation, Pingbei region of Baochu slop, the Xihu Sag[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2019,39(6):115-123.
- [12] 侯国伟,李帅,秦兰芝,等.西湖凹陷西部斜坡带平湖组源—汇体系特征[J].中国海上油气,2019,31(3):29-39.
HOU Guowei,LI Shuai,QIN Lanzhi, et al. Source-to-Sink system of Pinghu Formation in west slope belt of Xihu Sag, East China Sea Basin[J].China Offshore Oil and Gas,2019,31(3):29-39.
- [13] 庄建建,李喆,巩兴会,等.西湖凹陷 WBT 地区平湖组下段有利储层预测[J].海洋石油,2021,41(1):8-14.
ZHUANG Jianjian,LI Zhe,GONG Xinghui, et al. Favorable reservoir prediction of the Lower Pinghu Formation in WBT area of Xihu Sag[J].Offshore Oil,2021,41(1):8-14.
- [14] HUNT J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J].The American Association of Petroleum Geologists Bulletin,1990,74(1):1-12.
- [15] 李斌,杨鹏程,蒋彦,等.西湖凹陷西斜坡 W 构造异常高压特征及对油气成藏的影响[J].海洋石油,2021,41(2):11-19.
LI Bin,YANG Pengcheng,JIANG Yan, et al. Overpressure features and its influences on hydrocarbon accumulation in the W structure of west slope of Xihu Sag[J].Offshore Oil,2021,41(2):11-19.
- [16] 李明诚.油气运移基础理论与油气勘探[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(4):379-383.
LI Mingcheng. Basic principles of migration and hydrocarbon exploration[J].Earth Science (Journal of China University of Geosciences),2004,29(4):379-383.