

余逸凡, 张建培, 程超, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏主控因素及成藏模式[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(7): 40-47.

YU Yifan, ZHANG Jianpei, CHENG Chao, et al. Main controlling factors and reservoir forming model for hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag, the East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7): 40-47.

# 东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏主控因素 及成藏模式

余逸凡, 张建培, 程超, 唐贤君, 许怀智

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

**摘要:**以现代石油地质理论和油气复式成藏理论为指导, 总结西湖凹陷已发现油气分布规律, 认为西湖凹陷具有油气规模“深大浅小”、油气类型“上油下气”、油气富集“近源近断”的特征。分析了油气成藏主控因素, 从而建立了特色的西湖凹陷“塔”式成藏模式。研究表明, 中浅层花港组由于泥岩盖层条件相对较差以及晚期近 EW 向断裂对早期油气藏的破坏和改造作用, 油气成藏条件不是非常有利; 而深层-超深层具有形成大型油气田的有利地质条件: 烃源岩持续生烃提供了充足的油气源, 深层-超深层砂岩储集性能依然保持较好, 异常高压改善了储层物性并提供油气运移的动力, “千层饼”式储盖组合和早期烃源断裂控制了油气纵向展布。因此, 西湖凹陷深层-超深层砂岩气资源潜力较大, 具有良好的勘探前景。

**关键词:**油气成藏; 主控因素; 异常高压; 成藏模式; 西湖凹陷; 东海陆架盆地

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.257

## 0 引言

东海陆架盆地是中国近海面积最大的中、新生代沉积盆地之一, 以其丰富的油气资源蕴藏量、复杂的石油地质条件和重要的战略地位一直备受国内外众多石油勘探学家的关注<sup>[1-2]</sup>。西湖凹陷作为东海陆架盆地内目前勘探程度最高的含油气凹陷, 是盆地内最重要的勘探战场和最主要的油气生产区<sup>[3]</sup>。大量的油气勘探实践表明, 西湖凹陷具有良好的石油地质条件, 是一个已经证实的富生烃凹陷。关于西湖凹陷油气成藏和聚集规律的认识大体经历了如下几个阶段: 1996 年之前处于百花齐放的认识格局; 20 世纪末至 21 世纪初, 形成“大构造、小油藏”的油气分布观点<sup>[4-5]</sup>; 再后来, 一些学者提出“金豆子”式油气聚集成藏的观点。上述几个阶段,

对中深层油气分布特征有了一定程度的总结和认识, 但受限于钻井、地震等资料, 对深层-超深层的油气聚集规律、成藏机理及主控因素等方面的研究仍缺乏深入的认识, 制约着油气勘探的进程。

本文结合近年来西湖凹陷勘探成果, 通过总结剖析已发现油气分布规律, 建立了具有西湖凹陷特色的油气“塔”式成藏模式, 分析了这种模式的成因机制, 并探讨了西湖凹陷大型油气田的勘探前景。

## 1 区域概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部, 呈 NNE 向展布, 长约 500 km, 宽约 130 km, 面积约 5.9 km<sup>2</sup>, 是东海陆架盆地中规模最大的新生代含油气凹陷。自北而南依次与虎皮礁隆起、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、北分别与钓北凹陷、福江凹陷相邻。西湖凹陷构造上具有“东西分带、南北分块”的特点<sup>[6]</sup>, 自西向东依次划分为西部斜坡带、西次凹、中央反转构造带、东次凹和东部断阶带 5 个次级构造单元(图 1)。

收稿日期: 2021-09-29

资助项目: 中国海洋石油集团有限公司重大项目“西湖凹陷西部地区勘探开发关键技术研究”(CNOOC-KJ 135 ZDXM 39 SH01)

作者简介: 余逸凡(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质综合研究、储量评估及管理方面的工作。E-mail: yyfmp@126.com

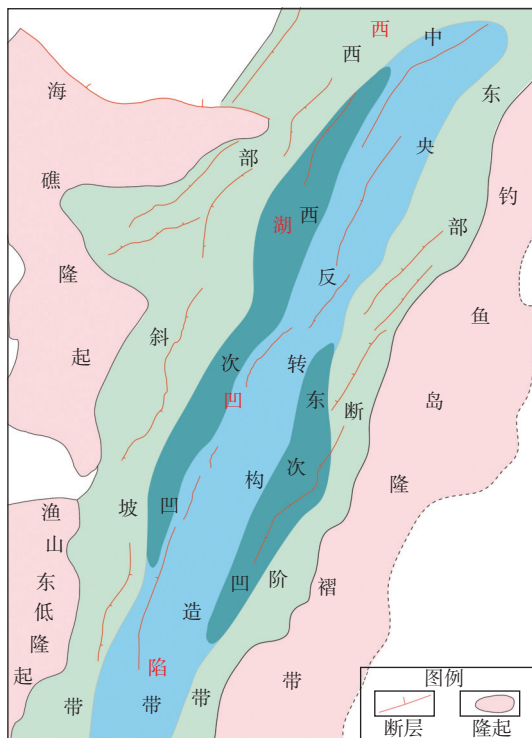


图 1 西湖凹陷构造区划示意图  
Fig.1 Sketch map of the Xihu Sag

西湖凹陷是在晚白垩世末期的构造背景下发育起来的沉积凹陷, 新生代沉积地层自下而上主要由始新统平湖组以下地层, 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>[7-8]</sup>。西湖凹陷大体经历了古新世裂陷期、始新世裂陷-断陷期、渐新世-中新世中晚期拗陷期和上新世晚期-第四纪区域沉降期 4 个构造演化阶段<sup>[9]</sup>。

## 2 西湖凹陷已发现油气分布特征

垂向上始新统平湖组和渐新统花港组砂岩储层是油气聚集主要空间, 平面上不同构造带油气相态、丰度和产量不同, 且同一地区不同层位油气藏类型与油气分布特征也存在较大差异。如西湖凹陷西部斜坡带有油有气, 其中花港组主要为油藏, 平湖组主要为凝析气藏; 中央反转构造带油气以凝析气藏为主, 主要分布于花港组内, 平湖组也存在凝析气藏(表 1)。

从花港组到平湖组, 砂地比降低, 含煤含泥增加, 封盖及生烃能力增强, 断层充当纵向运移通道, 构成了西湖凹陷特色的油气聚集, 具有成藏规模“深大浅小”、油气类型“上油下气”、油气富集“近源近断”的特征, 尤其是在高压界面以下地层, “千层饼”式盖层封盖能力显著增强, 圈闭油气充满度明显增大。

表 1 西湖凹陷西部斜坡带和中央反转构造带油气分布特征

Table 1 Hydrocarbon distribution properties of the central structural inversion belt and the western slope belt of the Xihu Sag

	西部斜坡带	中央反转构造带(包括西次凹)
油气富集层位	平湖组、花港组	花港组、平湖组、龙井组
油气类型	平湖组以凝析气为主; 花港组以原油为主	花港组以凝析气为主, 部分为原油; 平湖组以凝析气为主
油气纵向分布	原油富集在中深层, 深层富气	原油富集在中深层, 深层富气

西湖凹陷油气纵向区带性显著(图 2), 具体特征如下:

(1) 常规中高渗气藏 渗透率 $\geq 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 主要分布深度为 2 500~3 800 m, 位于中新统一渐

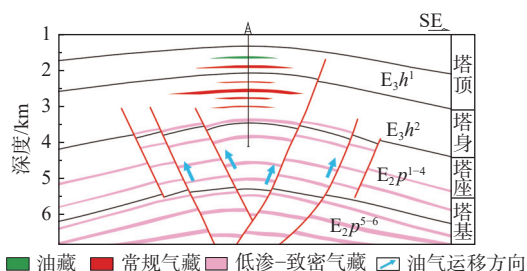


图 2 西湖凹陷油气分布特征

Fig.2 Hydrocarbon distribution features in the Xihu Sag

新统花港组, 地层为常压, 圈闭油气充满度低( $< 20\%$ ), 上部为油, 下部油气并存, 储量规模小, 但产能高。

(2) 低渗气藏 渗透率为 $(1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 主要分布深度为 3 200~4 500 m, 位于渐新统花港组-始新统平湖组上段, 地层压力为常压-高压, 圈闭油气充满度中等(30%~50%), 以气为主, 储量规模中等, 中低产能。

(3) 特低渗气藏 渗透率为 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 主要分布深度为 4 500~5 500 m, 位于始新统平湖组, 普遍具异常高压, 圈闭气充满度高, 部分可达 100%, 储量规模大。

(4) 致密气藏 渗透率 $< 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 主要

分布于 5 000 m 以下超深层,发育异常高压,气充满度高,甚至超出构造圈闭范围,气藏叠合连片,储量规模大。

整体上,西湖凹陷中浅部地层发育规模较小的常规油(气)藏,深层发育规模较大的低渗-致密砂岩气藏,超深层具有发育大型-特大型大规模叠合连片分布的原生致密砂岩气藏的地质条件,油气分布由上而下显示出“塔”式的聚集特征,深层-超深层油气可成为未来勘探的重要领域。

### 3 成藏主控因素

西湖凹陷已发现油气分布特征表明,油气具有多层系分布特征,上部以油为主,下部以气为主,并且下部超压低渗-致密气藏的储量规模要远大于上部常规油气的规模。不同构造单元油气藏类型、含油气层深度等有所不同,但整体上油气分布特征是相似的。烃源岩广覆式持续生烃、深层砂体仍具较好的储集性能、深部有利的“千层饼”式生储盖组合、深部烃源断裂等因素对西湖凹陷油气成藏起着重要的控制作用。

#### 3.1 烃源岩持续生烃提供充足的油气源

西湖凹陷主要发育始新统平湖组和渐新统花港组烃源岩层系<sup>[10]</sup>。平湖组为半封闭海湾背景下的陆表海、沼泽相沉积,发育煤系烃源岩,从岩性上分为暗色泥岩(TOC>1%)、炭质泥岩和煤。暗色泥岩厚度为 130~740 m,总体围绕凹陷中心呈环带分布,凹陷中心处厚度大,向隆起和斜坡区呈环带状减薄的总体趋势;平面上具有明显的分区性,南部厚度整体上大于北部,东部厚度大于西部(图 3)。炭质泥岩和煤层分布与暗色泥岩不同,在凹陷中心分布较薄,边缘区相对厚度较大,累计厚度一般为 30~50 m。在西部斜坡带和中央反转构造带南部地区煤层和炭质泥岩累计厚度可达 50 m,在凹陷中心和凹陷东部地区分布较薄(图 4)。渐新统花港组形成于湖泊-三角洲沉积环境,下段暗色泥岩厚度达到 40~200 m,煤层及炭质泥岩累计厚度 5~28 m;上段暗色泥岩累计厚度 30~270 m,煤层和炭质泥岩累计厚度 2.7~9.7 m。

平湖组烃源岩有机质丰度较高,总体属中等一好的烃源岩,从其生烃演化剖面看,埋深 2 800 m 以下  $R_o$  值超过 0.5%,氯仿沥青“A”与氯仿沥青“A”/TOC 比值随深度增加缓慢增大,烃源岩开始大量生

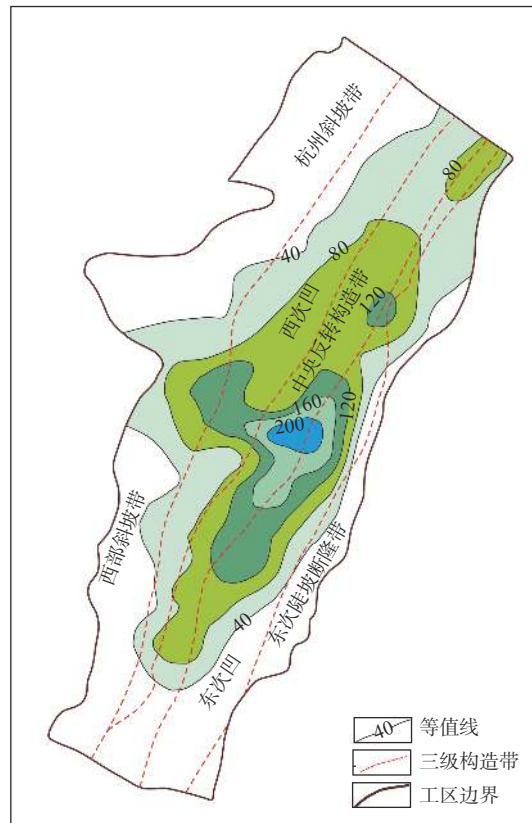


图 3 西湖凹陷平湖组三四段暗色泥岩等厚图

Fig.3 Isopach map of dark mudstone in the third and fourth members of Pinghu Formation, Xihu Sag

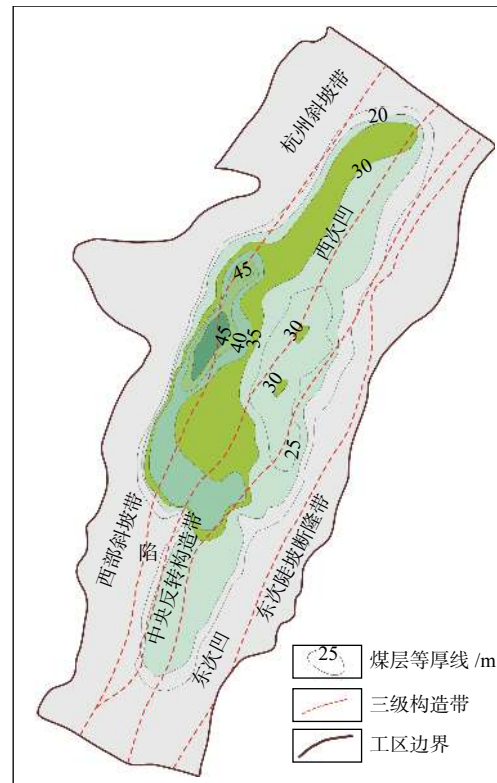


图 4 西湖凹陷平湖组炭质泥岩和煤层等厚图

Fig.4 Isopach map of carbonaceous mudstone coal seam in Pinghu Formation, Xihu Sag



成液态烃, 2 800 m 为平湖组烃源岩生烃门限值。西湖凹陷平湖组烃源岩在 2 800~3 500 m 和 3 500~4 200 m 2 个深度段, 出现 2 次生油高峰, 且第 2 个深度段生油强度更大,  $R_0$  值和氯仿沥青“*A*”等值逐渐变大, 表明烃源岩达到了生油高峰阶段。4 200 m 以下地层中,  $R_0$  值 > 1.2%, 并随着埋深增加进一步增大, 烃源岩进入成熟晚期, 液态烃含量逐渐降低, 过渡到以生凝析气为主的高成熟演化阶段。西湖凹陷深层烃源岩分布广、厚度大, 目前进入到以生气为主的演化阶段。

西湖凹陷烃源岩以高等植物为来源的腐植型为主, 因而烃源岩以生气为主要特点, 广覆式分布, 生气能力强, 总生气量大, 且烃源岩有机质是“全天候”的优质烃源岩, 在距今约 44 Ma 时开始大量生烃, 至今仍在生排烃<sup>[11]</sup>。西湖凹陷属于晚期仍继续大量生排烃的富生烃凹陷, 烃源岩大量持续供烃为油气成藏提供了充足的油气源。

### 3.2 深层-超深层砂岩储集性能保持较好

勘探实践证明, 大型油气田应以具有良好的储层为前提<sup>[12]</sup>。西湖凹陷深部大面积储层在次生孔隙的发育下, 依然能保持较好的物性, 成为勘探的主要对象。深部砂岩储层依然保持较好物性主要机制包括早期原油聚集、有机酸引起的溶解作用和次生孔隙发育、早期超压引起的原生孔隙保存及超压流体周期性排放引起的深层淋滤等<sup>[13]</sup>。

西湖凹陷始新世沉积时期, 呈双向物源、河流与潮汐共同作用下多期三角洲复合体的沉积特征<sup>[14]</sup>。平湖组发育潮控三角洲、浅水三角洲、辫状河三角洲等沉积体, 形成了大面积退积型砂体, 横向连片展布, 垂向多期叠置。平湖组中厚层砂岩约占总砂岩厚度的 55%, 平均单层厚度约为 15 m, 部分层厚可 > 40 m; 储层以细粒砂岩为主, 约占 60%~65%, 分选好, 成分成熟度高, 泥质填隙物少, 有较好的储集性能。

渐新世花港组主要储集体为三角洲和辫状河砂体, 河道发育, 多期河道砂体叠置, 花港组中厚层砂岩约占总砂岩厚度的 65%~80%, 平均单层厚度约为 30 m, 部分层厚可 > 50 m; 储层以细砂岩为主, 约占 75%, 储集物性较平湖组好, 多为中高孔、中高渗储层。

整体上, 西湖凹陷有效储集层埋深较大, 目前钻遇的储层大多在 3 000 m 以内, 更深的可以达到 5 500 m。储层物性大约在埋深 3 500~4 200 m 有

转折现象, 其上储层压实作用占主导地位, 物性随埋深增加而下降; 其下埋深对物性影响变小, 尤其是进入高压界面地层后, 岩芯分析孔隙度基本保持在 8%~12%, 渗透率大多为  $(1\sim 8)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 依然能保持较好的储集性能。

长石等铝硅酸盐岩的溶解作用是有效储层形成的关键因素之一, 西湖凹陷内的长石等铝硅酸盐岩溶解作用比较明显, 溶解介质主要为有机酸和大气降水<sup>[15]</sup>。平湖组烃源岩相比花港组具有较高的热演化程度, 有机酸对平湖组地层尤其下部地层次生孔隙的发育影响更大, 能改善物性。烃类早期充注, 易在岩石矿物表面形成保护“烃膜”, 对储层成岩作用具有一定的抑制作用。平湖组储层和烃源岩相互叠置, 油气一经生成, 就近进入相邻储层, 抑制岩石颗粒进一步胶结。因此, 深部有效储层的发育为形成大型油气田的良好储集场所。

### 3.3 异常高压有利于油气运移和聚集

#### 3.3.1 储层改善作用

异常高压对储层储集物性的影响主要体现在<sup>[16-17]</sup>: ①减缓压实作用, 有助于砂体原生孔隙的保存; ②增强溶解作用, 促进次生孔隙的发育; ③异常压力导致岩石产生微裂缝, 改善渗透性。

西湖凹陷异常高压主要分布在西部斜坡带、西次凹和中央反转构造带<sup>[18]</sup>。测井资料揭示, 不同构造部位异常高压发育层段内储层孔隙度、渗透率明显偏离正常的变化趋势线, 并有增大的趋势, 如图 5 异常压力界面(4 200 m)之上, 储层物性随深度增加而逐渐变差, 超过该界面物性明显偏离正常的变化趋势线而向孔渗增大方向变化, 表明异常压力对深部储层物性具有明显的改善作用。

#### 3.3.2 油气运移动力作用

深层、超深层异常高压发育的主要机制是生烃作用和泥岩欠压实作用, 部分叠加有构造作用。研究表明, 西湖凹陷深层、超深层泥岩欠压实, 区域封盖能力较强, 并且花港组下段及平湖组的烃源岩进入生、排烃高峰阶段, 大量的油气充注到地层中, 形成地层孔隙压力异常。当地层孔隙压力大于突破压力时, 超压流体通过裂隙排出、幕式排放和穿层运移, 油气向上运移至上部圈闭聚集; 当地层孔隙压力小于突破压力时, 在泄压断裂附近压力相对较低, 在压差作用下油气不断的向断裂附近运移并聚集<sup>[19-20]</sup>。

根据钻井试油压力数值及声波时差数据计算,

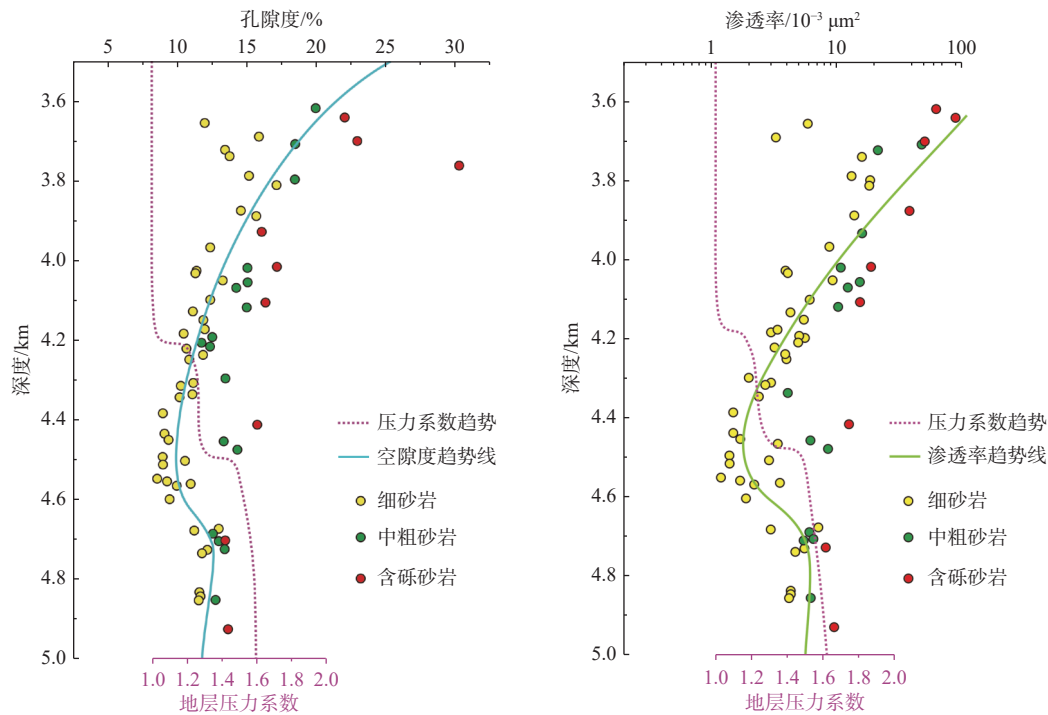


图5 西湖凹陷物性与异常压力关系

Fig.5 The relationship between reservoir physical properties and abnormal pressure in the Xihu Sag

西湖凹陷不同深度段和不同构造带具有不同的压力特征,但总体上表现为:花港组及以上浅部地层属正常压力层段,平湖组及以下地层普遍发育异常高压。西湖凹陷西斜坡曾发生2次油气充注过程,分别为中新世中晚期和上新世—第四纪,在油气运移成藏过程中,地层中压力系统也发生着有规律的变化,这体现在剩余压力的数值上,油源区与构造圈闭带之间的压力差,作为油气运移的动力,控制着油气运移的方向,最终控制着油气纵横向上的分布情况。中新世中晚期受龙井运动影响,曾发生超压的调整和释放。随着上覆地层的沉积与烃类的生成,超压继承性积聚,并伴随着油气的运移,超压积聚和释放与油气运移成藏两者具有良好的匹配关系<sup>[21-22]</sup>。

### 3.4 “千层饼”式储盖组合封盖条件较好

西湖凹陷在纵向上发育多套泥岩盖层。深层盖层主要发育于平湖组三、四段海侵体系域,盖层厚度大,分布范围广,封盖性好,是很好的区域性盖层;而中部盖层为花港组下段高位体系域发育的泥岩,该套盖层主要发育在中央反转构造带中南部,厚度介于150~200 m,可以形成较好的局部盖层;上部以花港组上段高位体系域泥岩盖层较为发育,厚度不大,在中央反转构造带中南部、宁波构造带

以及西部斜坡带中北部等地区较发育。

平湖组整体上呈“泥包砂”的岩性组合模式,封盖条件较好,砂岩和泥岩频繁互层,形成“千层饼”式储盖组合<sup>[23]</sup>,平湖组泥岩生成的油气就近运移至相邻的砂岩层内聚集,有利于形成自生自储的岩性油气藏。花港组砂岩比较发育,单层厚度也较大,叠置频率较高,物性较平湖组的好。但花港组只存在局部盖层,封盖条件较差,难以封堵大规模的油气聚集。以产气为主的西湖凹陷,对盖层的封堵能力要求高过原油,因此,盖层质量成为衡量油气能否富集的一个关键因素<sup>[24]</sup>。中浅层因盖层质量差,缺乏有利的区域性盖层,对油气保存不利,因此形成上部“大构造、小油藏”的油气分布特征。钻探表明,随着埋深的增加,深层-超深层的泥岩与煤层压实程度增高,有机质生排气进入高峰,地层广泛发育有异常高的地层压力,封盖能力明显增强,可构成较好区域盖层,具备较强的封盖能力并构成西湖凹陷巨厚的源储盖交互成藏体,有利于形成规模较大的油气藏。

### 3.5 多期断裂控制油气富聚及分布

#### 3.5.1 早期断裂成为油气运移的良好通道

西湖凹陷经历基隆、玉泉、花港、龙井等多次构造运动,在深部形成众多的正断层,与砂体、不整

合面相互联系, 构成了油气运移的输导体系, 控制着油气藏分布层位、分布类型<sup>[25]</sup>。发育数量众多的烃源断层, 搭建起油气从烃源到圈闭运移的立体输导格局, 控制着油气富集层位和油气藏类型。断层控制着油气藏层位的分布, 通常断层断至烃源岩层位, 圈闭充满度较高, 油气聚集成藏; 断层未断至烃源岩层位, 在生排烃高峰期因缺乏运移通道, 油气无法向上运移, 圈闭充满度低。

西湖凹陷斜坡带中部在平湖主断裂控制下发育众多同向或反向断裂带, 主要发育伸展构造样式, 正断层控制的圈闭类型一般为断块或者断背斜, 油气藏类型以断块或断背斜油气藏为主<sup>[26]</sup>。断层作为主要输导通道, 油气以垂向运移为主, 已发现含油气层包括花港组和平湖组在内的储集层, 表现为断裂垂向运移通道所在的层位均成藏或者具有成藏的可能。

### 3.5.2 晚期断层对油气藏的改造与破坏作用

西湖凹陷中央反转构造带发育一系列大型挤压背斜构造, 这些构造不同程度地被中新世末期发育的近 EW 向剪切平移断层切割破坏。南部构造抬升幅度大, 挤压作用强烈, 晚期近 EW 向断层发育, 几个油气田浅层油气充满度低, 浅层油气仅在构造高点富集, 表现为“大构造、小圈闭、小油藏”的特征, 是成藏过程中“散大于供”的结果。中央反转构造带裙边发育的系列低伏背斜构造, 因晚期近 EW 向断层不发育, 圈闭形态相对完整, 油气近乎全

充满, 是成藏过程中“供大于散”的结果。中央反转构造带北部晚期近 EW 向断层基本不发育, 油气保存条件较好, 成藏过程中“供大于散”, 有利于形成规模较大的油气藏。因此, 这种晚期近 EW 向断层的发育对油气藏的保存起到了决定性作用, 主要表现为对早期已形成油气藏的破坏和改造。

## 4 油气成藏模式及勘探前景

### 4.1 油气成藏模式及特点

根据西湖凹陷成藏地质条件, 浅层埋深较浅, 烃源岩热演化程度较低, 生烃能力较差, 储层物性较好, 但盖层封闭能力差, 压力较低, 造成油气充注“散大于供”, 成藏条件较差, 油气藏规模较小。

随着深层的增加, 烃源岩生烃能力逐渐增强, 在埋深 3 500~4 200 m 处开始进入生烃高峰。虽然砂岩储层渗透率随着深度增加而减小, 但递减速率降低, 部分层段还出现渗透率增大的特征, 在深层 5 000 m 处依然能保持较好的储集性能。在 3 500~4 200 m 层段盖层突破压力显著升高, 且向深处盖层封闭能力继续增强; 在 3 500~4 200 m 压力系数达 1.2 以上, 进入异常高压界面, 油气充注“供大于散”, 油气成藏条件较好, 油气藏规模较大, 进而形成了“深大浅小、上油下气、近源近断、近压富集”的油气“塔”式成藏特征(图 6)。

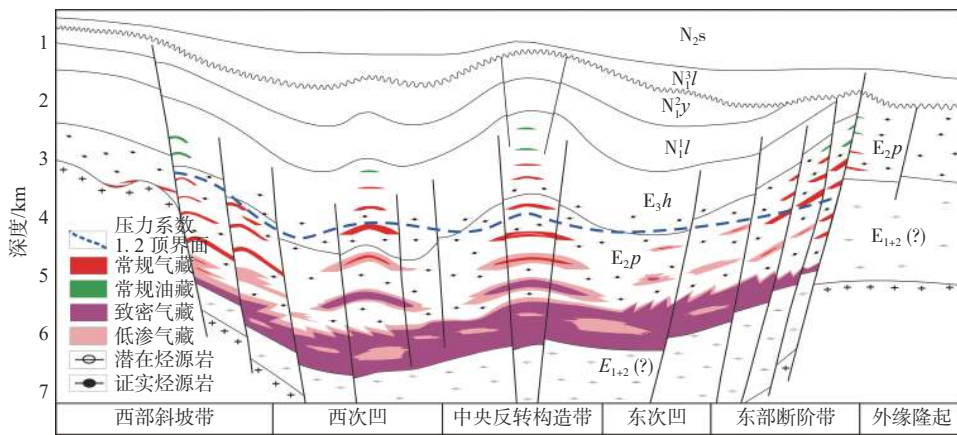


图 6 西湖凹陷油气“塔”式聚集模式分布示意图

Fig.6 “Tower-shaped” hydrocarbon accumulation model in the Xihu Sag

### 4.2 大中型油气田勘探前景

西湖凹陷油气成藏模式的建立, 为油气勘探奠定了坚实的理论基础, 同时也为下一步的勘探选区与选层指明了方向。已有的油气勘探成果证实西

湖凹陷中浅层油气以原油为主, 构造圈闭已基本落实, 但效果欠佳, 油气探明储量规模较小, 增储目标很难实现, 寻找新的勘探层系和勘探领域显得极为紧迫。“塔”式成藏模式关于油气纵向分布特征的描述和预测对未来的油气勘探具有重大的指导意义。



依据“塔”式成藏模式,西湖凹陷深层-超深层具有形成大中型油气田的条件:烃源岩以高等植物为来源的腐植型为主,广覆式分布于凹陷,多套烃源岩进入成熟-过成熟阶段,生烃强度高,总生气量大,且烃源岩有机质是“全天候”的优质烃源岩,晚期仍继续大量生排烃。平湖组 and 花港组发育的洁净砂岩横向上连片分布,纵向上多期叠置,厚层储集体广泛发育,砂岩分选好、成分成熟度高。在埋深进入高压界面后,埋深对物性影响变小,在深埋条件下依然能保持较好的储集性能,临近烃源岩具有“近水楼台先得月”的优势。油气分布已不受构造控制,油气藏类型以岩性油气藏或非常规的低渗-致密砂岩气为主;异常高压系统内的油气充满度极高,油气规模巨大,具有较好的勘探前景。

## 5 结论

(1)西湖凹陷已发现油气垂向上具有油气类型“上油下气”、成藏规模“深大浅小”、油气富集“近源近断”的特征;平面上具有“成群成带”分布特征。

(2)西湖凹陷中浅层油气藏保存条件较差,且遭受晚期近EW向断裂的破坏和改造作用,不利于浅层油气的富集和保存;深层-超深层发育“千层饼”式生储盖组合,保存条件好,广泛发育早期近NE向的烃源断裂,延深至下部生油层系内,可为油气运移提供良好通道,异常高压改善储层并为油气运移提供动力。

(3)根据建立的西湖凹陷“塔”式成藏模式,西湖凹陷深层-超深层具有形成大中型油气田的有利地质条件,勘探前景良好。

### 参考文献:

- [1] 叶加仁,顾惠荣,贾健谊. 东海西湖凹陷油气地质条件及其勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(4): 111-115.
- [2] 陶士振,邹才能. 东海盆地西湖凹陷天然气成藏及分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 104-109.
- [3] 周心怀. 西湖凹陷地质认识创新与油气勘探领域突破[J]. 中国海上油气, 2020, 32(1): 1-12.
- [4] 仝志刚,贺清,赵志刚,等. 从油气赋存状态分析油气充注能力[J]. 中国海上油气, 2011, 23(3): 154-157.
- [5] 熊斌辉,张喜林,张锦伟,等. 西湖凹陷油气成藏的主控因素[J]. 海洋石油, 2008, 28(2): 14-24.
- [6] 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.
- [7] 赵金海. 东海中生代盆地成因机制和演化(下)[J]. 海洋石油, 2005, 25(1): 1-9.
- [8] 钟锴,朱伟林,高顺莉. 东海陆架盆地形成演化及油气成藏关键地质问题[J]. 地球科学, 2018, 43(10): 3485-3497.
- [9] 刘书会,王宝言,刘成鑫. 西湖凹陷平湖地区平湖组沉积相的再认识[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 1-4.
- [10] 刘金水,李树霞,秦兰芝,等. 东海盆地西湖凹陷古近系煤的生烃动力学[J]. 石油学报, 2020, 41(10): 1174-1187.
- [11] 连小翠. 东海西湖凹陷深层低渗-致密砂岩气成藏的地质条件与模式[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(2): 21-30.
- [12] 张水昌,汪泽成. 中国海相油气成藏特征与富集主控因素[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 5-11.
- [13] 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): 610-614.
- [14] 张建培,徐发,钟韬,等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组-花港组层序地层模式及沉积演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 35-41.
- [15] 张建培,葛和平,张涛,等. 西湖凹陷古近系及新近系储层砂岩自生高岭石分布特征及形成机制[J]. 中国海上油气, 2008, 20(6): 362-366.
- [16] 张先平,张树林,陈海红,等. 东海西湖凹陷平湖构造带异常压力与油气成藏[J]. 海洋质与第四纪地质, 2007, 27(3): 93-96.
- [17] 马晓鸣,赵振宇,刘昊伟. 山东车西洼陷异常高压对特低渗储层的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(8): 2507-2512.
- [18] 张国华. 西湖凹陷高压形成机制及其对油气成藏的影响[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 1-8.
- [19] 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.
- [20] 孙同文,吕廷防,刘宗堡,等. 大庆长垣以东地区扶余层油气运移与富集[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 700-708.
- [21] 陈智远,徐志星,徐国盛,等. 东海盆地西湖凹陷中央反转构造带异常高压与油气成藏的耦合关系[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(3): 570-581.
- [22] HUNT J M. Generation and migration of petroleum from abnormal high pore pressure in shales[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1-12.
- [23] 赵洪,秦兰芝,王辉,等. 砂岩在西湖凹陷花港组交互式盖层中的作用初探[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(3): 43-50.
- [24] 刘峰,黄苏卫,杨鹏程,等. 西湖凹陷Y构造花港组气藏特征及成藏主控因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(6): 174-182.
- [25] 梅啸寒,吴欣松,赵家宏. 断裂密集样式及其对油气成藏的控制作用[J]. 断块油气田, 2020, 27(1): 1-6.
- [26] 徐发,张建培,张田,等. 西湖凹陷输导体系特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 24-29.

## Main controlling factors and reservoir forming model for hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag, the East China Sea Shelf Basin

YU Yifan, ZHANG Jianpei, CHENG Chao, TANG Xianjun, XU Huaizhi  
(Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Under the guidance of modern petroleum geological and hydrocarbon accumulation theory, we summarized the distribution law of discovered oil and gas in Xihu Sag, and holds that the sag is characteristic of "large in deep and small in shallow" on scale, "upper oil and lower gas" in type, and oil and gas enrichment "near source and near fault". The main controlling factors of oil and gas accumulation were analyzed, and the characteristic "tower-shaped" reservoir forming model of the Xihu Sag was established. Result shows that the conditions of oil and gas accumulation in the middle and shallow Huagang Formation are not very favorable due to the relatively poor mudstone capping and the transformation and destruction of early oil and gas reservoirs by later near-EW trending faults. The deep to ultra-deep layer have favorable geological conditions for the formation of large oil and gas fields. Continuous hydrocarbon generation from source rocks provides sufficient oil and gas sources. The reservoir performance of deep to ultra-deep sandstone remains good. The abnormal high pressure improved the reservoir physical properties and provides a driving force for oil and gas migration; and the lasagna-like intercalation of reservoir and cap and early faulting across the source area controlled the vertical distribution of oil and gas. Therefore, the deep and ultra-deep sandstone gas resources in the Xihu Sag have great potential and good exploration prospects.

**Key words:** hydrocarbon accumulation; main controlling factors; abnormal high pressure; reservoir forming mode; Xihu Sag; East China Sea Shelf Basin