

# 西湖凹陷西部斜坡带油气成藏主控因素与勘探新领域

刘志峰<sup>1,2</sup>, 李林致<sup>1,2</sup>, 李峰<sup>1,2</sup>, 廖计华<sup>1,2</sup>, 祁鹏<sup>1,2</sup>

1 中海油研究总院有限责任公司; 2 海洋油气勘探国家工程研究中心

**摘要** 西湖凹陷西部斜坡带油气藏整体呈现“小、断、贫、散”的特征,综合利用录井、测井、地震、生产等多种资料,分析总结西部斜坡带已发现油气的分布规律,提出西部斜坡带具有“南北分区、上下分层、近源富集”的油气分布特点。通过西部斜坡带典型油气藏解剖和失利井地质原因分析,认为圈闭和运移是油气成藏的主控因素。构造样式决定圈闭的类型和有效性,进而控制了不同区域的油气藏类型和差异富集;不同油气运移模式和两期充注、蒸发分馏作用控制了研究区近源成藏和“上油下气”的特征。通过成藏条件分析,指出平湖斜坡潜山、天台斜坡北段和杭州斜坡迎翠轩断裂带具有较好的圈闭和运移条件,是西湖凹陷西部斜坡带的勘探新领域。

**关键词** 油气成藏; 圈闭类型; 主控因素; 勘探领域; 西部斜坡带; 西湖凹陷

**中图分类号**: TE122.3 **文献标识码**: A

**引用**: 刘志峰, 李林致, 李峰, 等. 西湖凹陷西部斜坡带油气成藏主控因素与勘探新领域[J]. 海相油气地质, 2025, 30(1): 71-81.

LIU Zhifeng, LI Linzhi, LI Feng, et al. Main controlling factors of oil and gas accumulation and new exploration fields in the western slope zone of Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(1): 71-81.

## 0 前言

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带,是盆地内最重要的勘探战场和最主要的油气生产区<sup>[1]</sup>。西湖凹陷面积约为 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,沉积地层厚度最大达15 km,以新生代碎屑岩为主。大量油气勘探实践表明,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<sup>[2]</sup>。西部斜坡带是西湖凹陷最重要的勘探区带,40余年来经历了构造油气藏勘探阶段和岩性油气藏勘探阶段,已发现的油气田主要位于西部斜坡带中部的平湖斜坡,但多呈现“小、断、贫、散”的特征<sup>[3]</sup>,而西部斜坡带北部的杭州斜坡和南部的天台斜坡勘探程度低。当前,西部斜坡带面临着勘探成熟区勘探成效低和勘探新区勘探方向不明的两大挑战:西部斜坡带的平湖斜坡具有较为优越的油气成藏地质条件,但圈闭规模小、断裂密集发育、控藏因素复杂,导致整体储量规模小,勘探成效低;西部斜坡带的杭州斜坡和天台斜坡目前仅有5口探井,基础油气地质条件不明确,制约了油气勘探进程。为了寻找新的储量增长点,迫切需要

转变勘探思路与拓展勘探领域<sup>[1]</sup>。本文通过对勘探程度相对较高的平湖斜坡开展分区带、分层位的精细解剖,明确典型油气藏的富集特征和成藏主控因素,在此基础上探讨了西部斜坡带勘探新领域,以期为西湖凹陷西部斜坡带的整体勘探部署提供地质依据。

## 1 区域地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带,呈NNE向展布(图1a),西侧紧邻海礁隆起和渔山低隆起,东缘相接于钓鱼岛隆褶带,南、北分别与钓北凹陷、福江凹陷相邻,是东海陆架盆地中规模最大的新生代含油气凹陷。西湖凹陷总体具有“东西分带、南北分块”的特点<sup>[4-5]</sup>,自东向西分为东部断阶带、中央反转带和西部斜坡带。本文研究区位于西湖凹陷的西部斜坡带,其自北向南分为杭州斜坡、平湖斜坡和天台斜坡。西部斜坡带的地层自下而上划分为上白垩统石门潭组,古新统,始新统八角亭组、宝石组、平湖组,渐新统花港组,中新统龙井组、玉泉组、柳浪组,上新统三潭组和第四系东海群<sup>[6-8]</sup>(图1b)。

收稿日期: 2024-05-06; 改回日期: 2024-10-12; 网络出版日期: 2025-01-21

本文受国家重点研发计划课题“板块俯冲驱动下的流体循环机制及其效应”(编号: 2022YFF0800403)和自然资源部部委重大课题“资源评价方法与资源潜力综合研究”(编号: 2022-KK-01)联合资助

**第一作者**: 刘志峰, 硕士, 现为中海油研究总院有限责任公司青年技术专家、高级工程师, 主要从事中国近海新区新领域油气勘探研究工作。通信地址: 100028 北京市朝阳区太阳宫南街6号院中海油大厦A座; E-mail: zhifeng0000@126.com

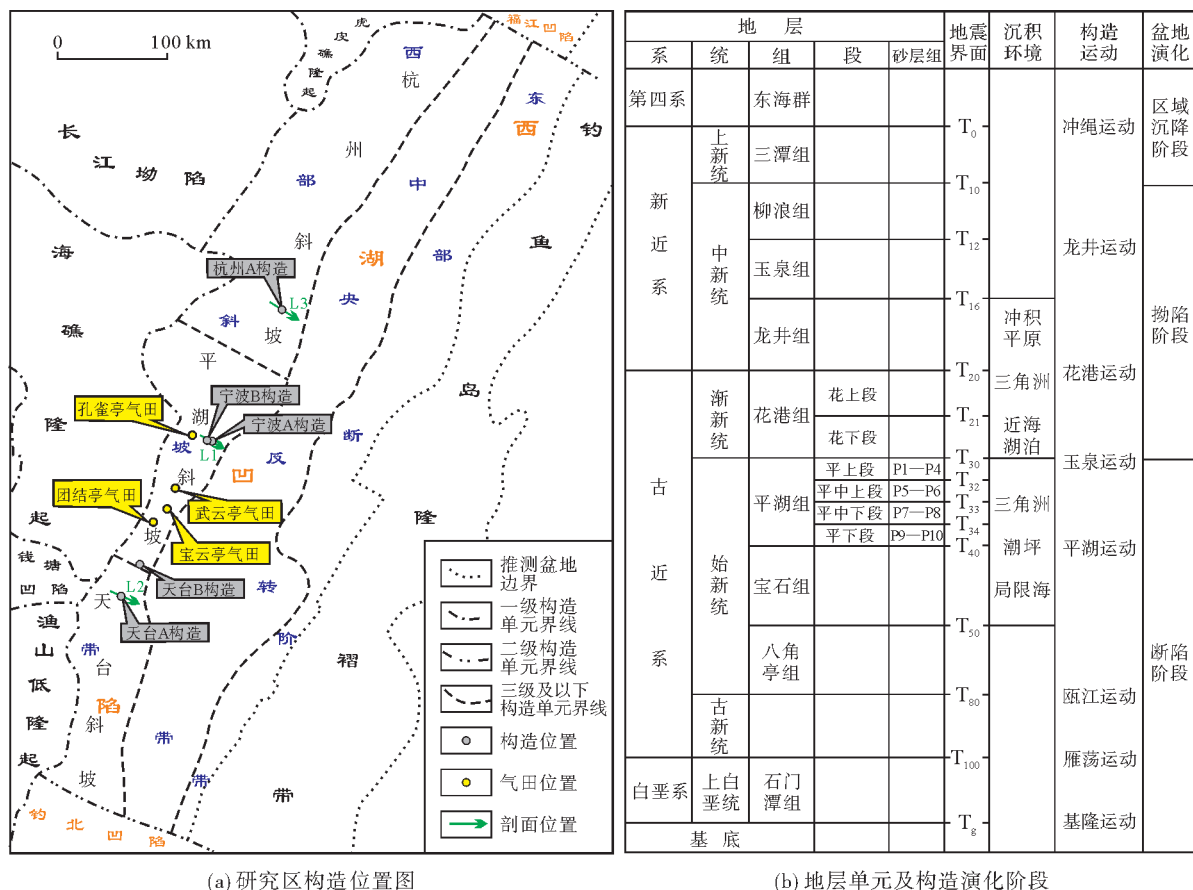


图1 研究区构造位置及地层单元

Fig. 1 Tectonic location and stratigraphic units of the study area

西湖凹陷西部斜坡带平湖组主要为半封闭海湾背景下的三角洲—潮坪—滨浅海沉积,发育灰色泥岩、细砂岩和沥青质煤,是西湖凹陷主力烃源岩层和油气富集层<sup>[9-11]</sup>。油气来源分析揭示西部斜坡带的油气主要来源于嘉兴25洼、宁波27洼、宁波19洼和绍兴36洼等4个生烃主洼的平湖组煤系烃源岩。平湖组分为4个地层段和P1—P10共10个砂层组,自上而下分别为平上段(P1—P4砂层组)、平中上段(P5—P6砂层组)、平中下段(P7—P8砂层组)和平下段(P9—P10砂层组)。花港组与下伏平湖组呈不整合接触,主要为陆相河流—三角洲—湖泊沉积,物源供应充足,砂体规模发育,具备优越的储层条件。花港组自上而下划分为花上段、花下段。西部斜坡带在平湖组、花港组沉积时期处于弧后弱伸展作用下的断—拗转换阶段,具有洼隆相间的基底结构,发育背斜/断背斜、断鼻、断块和构造—岩性等多种类型圈闭,且断裂密集发育,良好的断—砂耦合关系下具有很好的油气侧向运移条件;油气充注主要为中新世中晚期的原油充注和上新世以来的天

然气充注,而构造定型于早渐新世,有利于油气多期充注聚集。总体上,西部斜坡带的多种类型圈闭均具有较好的油气成藏背景。

## 2 平湖斜坡油气富集特征

平湖斜坡位于西湖凹陷西部斜坡带中部,整体表现为西高东低的斜坡背景<sup>[12-13]</sup>。作为西湖凹陷勘探相对成熟区,平湖斜坡油气较为富集,油气具有“南北分区、上下分层、近源富集”的分布特征。

### 2.1 南北分区

受构造活动影响,平湖斜坡断层较为发育<sup>[14]</sup>,主要为NE—NNE向与NW向正断层,其中NE—NNE向断层是主控断层。由于NE—NNE向断层与NW向断层相交接,并被次一级断层复杂化,因此形成众多小断块组成的规模较大的断块、断鼻构造,导致平湖斜坡自北向南形成了孔雀亭顺向断阶区、宝武反向断槽区和团结亭陡坡区(图2)。

孔雀亭顺向断阶区位于平湖斜坡北部,发育多

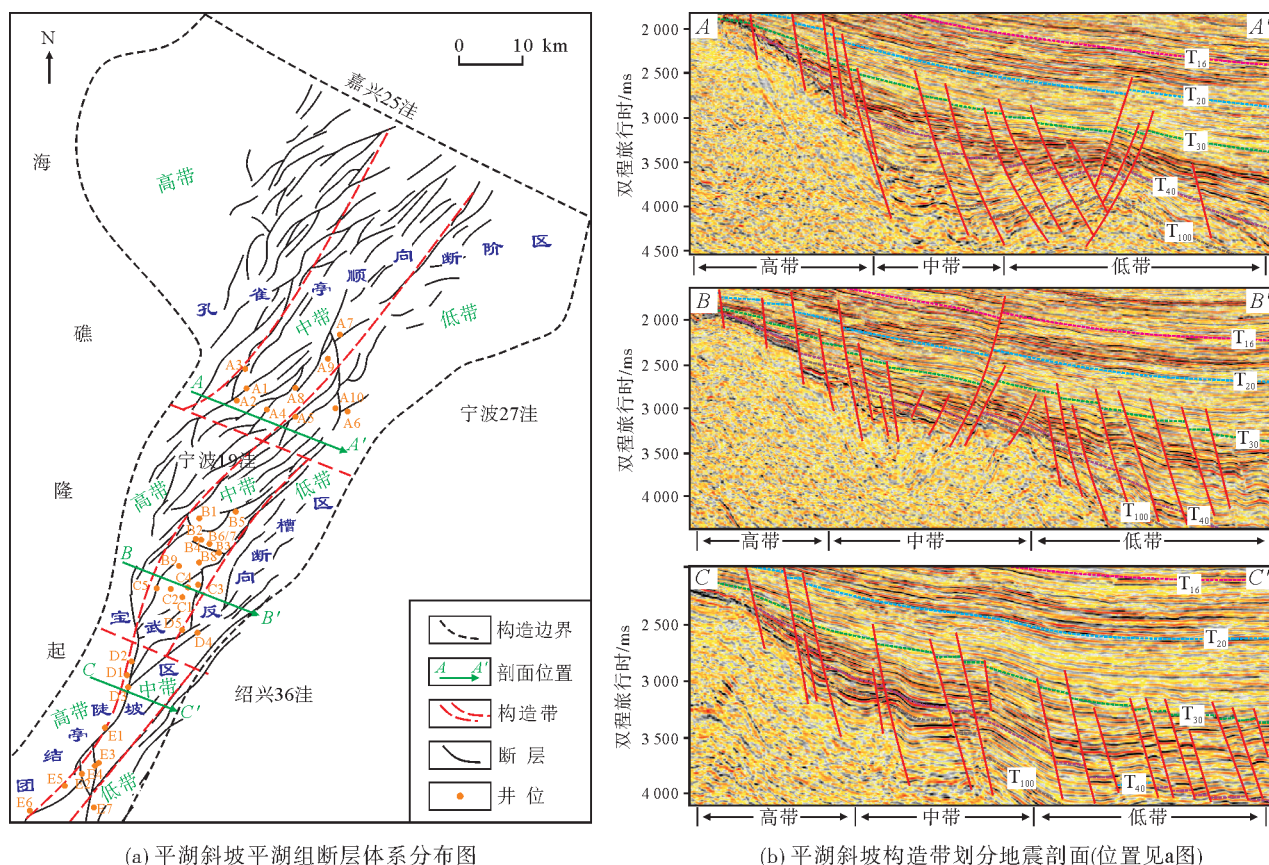


图2 西湖凹陷平湖斜坡平湖组断层体系分布及构造区带划分图

Fig. 2 Fault system distribution and structural play division of Pinghu Formation in Pinghu slope of Xihu Sag

级顺向正断层,形成阶梯状构造<sup>[15]</sup>;已发现油气藏以断块型为主,其次为断背斜型和构造-岩性型。宝武反向断槽区位于平湖斜坡中段,发育反向断槽构造,受反向断层的遮挡<sup>[16]</sup>;该区已实现构造-岩性油气藏勘探的突破,发现油气藏主要为构造-岩性型,其次为断块型、断鼻型。团结亭陡坡区位于平湖斜坡南部,主要发育顺向断层;该区断层发育数量较少,但断层规模较大<sup>[17]</sup>,已发现的油气藏以断鼻型、断块型和断背斜型为主。

## 2.2 上下分层

平湖斜坡纵向上具有“上下分层”的油气分布特征。已发现油气主要分布在始新统平湖组,多为成熟度较高的凝析气;其次分布在渐新统花港组,多为成熟度较低的轻质油。

油气“上下分层”的分布特征与花港组和平湖组直接盖层条件的差异以及油气垂向差异聚集有关。一方面,平湖组主要发育潮坪、受潮汐影响的三角洲沉积,泥岩较发育且厚度大;花港组以辫状

河三角洲沉积为主,砂岩较发育而泥岩层较薄。与平湖组相比,花港组储层的直接泥岩盖层对天然气的封盖能力明显减弱,导致上部花港组圈闭中的天然气较易散失,以富集石油为主,而下部平湖组圈闭可富集天然气。另一方面,研究区具有早油晚气、晚期为主的油气充注特征<sup>[18]</sup>,由于油气垂向上的差异聚集效应,平湖组圈闭中早期充注的原油被天然气不断地排替<sup>[19]</sup>,直至圈闭充满天然气,最终形成“上下分层”的垂向分布格局。

## 2.3 近源富集

平湖斜坡按照距离主注的远近和构造特征,自西向东可分成高、中、低三个带。整体而言,平湖斜坡高、中、低三带均能成藏,但油气富集层位与富集程度具有较大差异。自斜坡高带至低带,主要含油气层系逐渐变浅:高带主要含油气层系为平下段和宝石组,中带主要为平中段和平上段,低带主要为平上段和花下段。同时,自斜坡高带至低带,油气层厚度具有增大的趋势。



如图3所示的6口井的油气层厚度,位于低带上的D5井和D4井的气层厚度明显较大,尤其是距绍兴36洼最近的D4井的气层厚度约为100 m,显示出越靠近洼陷,油气富集程度越高。因此,油气具有近源富集的特征。

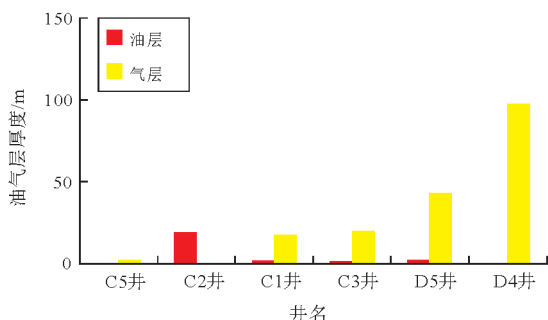


图3 西湖凹陷平湖斜坡6口井的油气层厚度直方图  
Fig. 3 Histogram of oil and gas layer thickness for six wells in Pinghu slope of Xihu Sag

### 3 平湖斜坡油气成藏主控因素

油气藏形成及油气富集是受多种地质因素综合影响的结果<sup>[20]</sup>,烃源岩、储层、盖层、圈闭、运移和聚集、保存等因素均对油气成藏具有重要的控制作用。西湖凹陷平湖斜坡也不例外,其油气成藏、富集及分布受多种因素的综合影响与控制。平湖斜

坡截至目前共有64口探井,其中近40%的探井未获得商业发现。对平湖斜坡失利探井进行统计分析发现,圈闭有效性差及油气运移不畅是勘探失利的主要原因,说明圈闭条件和运移条件对平湖斜坡油气成藏起着重要的控制作用。

#### 3.1 圈闭类型对油气成藏的控制作用

平湖斜坡油气藏主要发育5种圈闭类型,分别是背斜/断背斜型(图4a)、反向断鼻/断块型(图4b)、构造-岩性/岩性型(图4c)、顺向断鼻型(图4d)和顺向断块型(图4e),各种圈闭类型均可成藏,仅少数钻遇顺向断层控制的圈闭的井无显示(占3%)。对33口井的圈闭类型及气柱高度进行统计(图5),结果表明:背斜/断背斜型圈闭油气富集程度最高,气柱高度范围为80~280 m,平均值为161 m;反向断鼻/断块型次之,气柱高度范围为50~200 m,平均值为106 m;构造-岩性/岩性型位居第三,气柱高度范围为15~180 m,平均值为60 m;顺向断鼻型和顺向断块型较低,顺向断鼻型气柱高度范围为35~80 m、平均值为58 m,顺向断块型气柱高度范围为3~60 m、平均值为34 m。同时,相同圈闭条件下的油气富集程度也存在明显差异。总的来看,不同圈闭类型影响了油气富集程度。

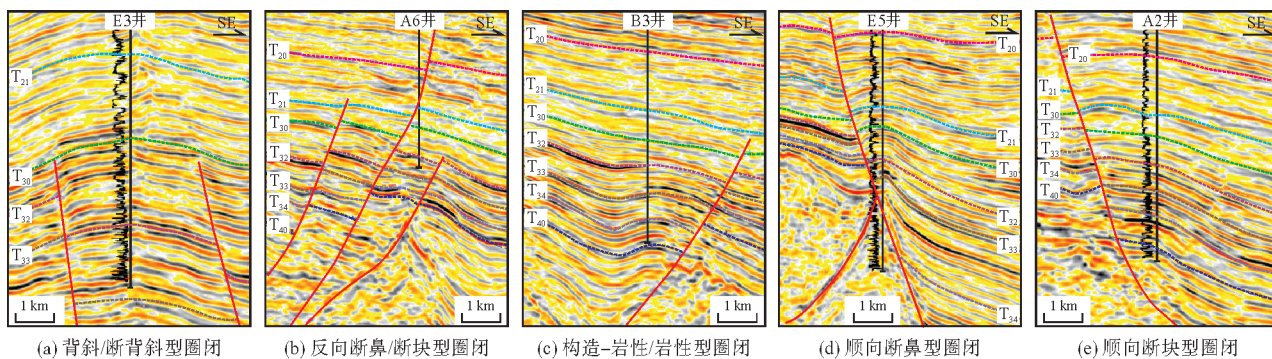


图4 西湖凹陷平湖斜坡不同圈闭样式地震剖面  
Fig. 4 Seismic profiles showing different trap styles in the Pinghu slope of Xihu Sag

##### 3.1.1 背斜/断背斜型圈闭

在相似的充注条件下,背斜/断背斜型圈闭油气富集程度与其规模呈正相关。对比平湖斜坡南部的放鹤亭构造和天台B构造2个典型的背斜/断背斜圈闭,放鹤亭构造平湖组P8砂层组的圈闭面积和幅度均明显大于天台B构造平湖组P8砂层组的圈闭,钻探揭示放鹤亭构造探明天然气储量是

天台B构造的近十倍,表明在背斜/断背斜的发育背景下,圈闭规模是油气富集的关键因素。

##### 3.1.2 反向断鼻/断块型圈闭

对比典型受反向断层控制的A6井和A10井,发现二者位置相邻且同样受反向控圈断层的影响,但油气富集程度存在差异。A6井测井解释的花港组油气层有205.8 m/32层、平湖组油气层有

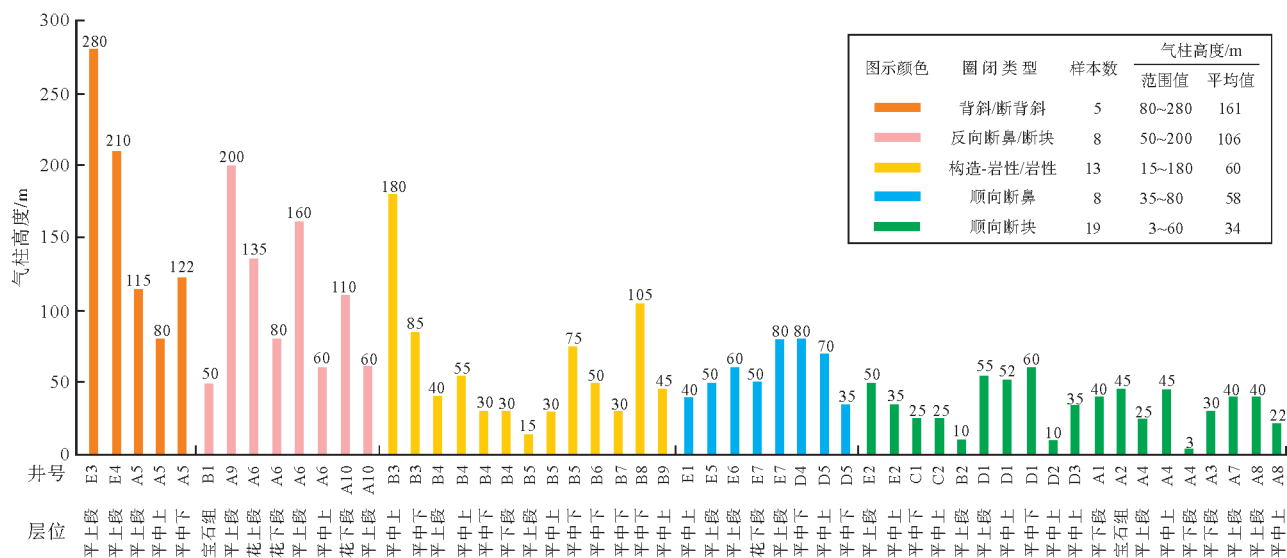


图5 西湖凹陷平湖斜坡不同圈闭类型气柱高度分布  
Fig. 5 Bar chart of gas column heights of different trap types in Pinghu slope of Xihu Sag

68.8 m/9层,而A10井测井解释花港组油气层有120.1 m/25层。对二者的反向控圈断层的研究表明,A6井所钻宁波A构造的控圈断层比A10井所钻宁波B构造的控圈断层活动时间更长,多期强活动使断层泥碾磨更充分,遮挡条件更好,油气富集程度也更高。综合分析,认为反向断层控圈背景下,断层“多期强活动,形成好遮挡”是油气富集的关键因素。

3.1.3 构造-岩性/岩性型圈闭

构造-岩性/岩性型圈闭主要发育在平湖斜坡北部,以武云亭油气田最为典型。单井分析表明,B3井、B4井的油气层数和厚度要远大于B6井和B1井。B3井、B4井钻探在具有构造背景的构造-岩性复合型圈闭内,而B6井和B1井钻探于纯岩性型圈闭,说明前一类型要优于后一类型。同时,对宝云

亭、武云亭和孔雀亭3大油气区18口已钻井的120个油气层与水层的单砂体厚度统计显示,单砂层厚度小于20 m时,油气层的概率为62%,而单砂层厚度大于20 m时,油气层的概率仅为24%。对平湖斜坡构造-岩性/岩性型圈闭发育的砂体厚度和断距的分析表明,平湖斜坡断层的断距在10~20 m之间,当砂体厚度大于等于20 m时,断层无法有效侧封而发育水层;当砂体厚度小于断距时,断层封堵能力强而发育油气层(表1)。这说明在构造-岩性/岩性型圈闭发育背景下,“构造背景、薄砂控藏”是油气富集的关键因素。

3.1.4 顺向断鼻型、顺向断块型圈闭

在顺向断鼻型、顺向断块型圈闭发育的平湖油气田中,对E3井、E5井和E7井的气柱高度和油气充满度的统计显示,这3口井的顺序是E3井>E7井>

表1 西湖凹陷平湖斜坡宝云亭井区砂体厚度、断距与含油气性  
Table 1 Sandstone body thickness, fault displacement and hydrocarbon potential of Baoyunting well block in Pinghu slope of Xihu Sag

平湖组 砂层组	主断层 断距/m	C3井		C4井	
		砂体厚度/m	测井解释结果	砂体厚度/m	测井解释结果
P5	5	32.0	水层	26	水层
P6	6	11.2	水层	22	水层
P7	8	—	—	6	气层(侧封)
P8	10	10.0	气层(尖灭)	—	—
P9	10	26.5	水层	30	水层
P10	12	26.4	水层	28	水层

E5井。分析表明,E3井控圈断层没有突破花下段,E7井控圈断层突破了花上段,E5井控圈断层突破了龙井组,说明控圈断层向上突破幅度越低,圈闭有效性越好,充满度越大,气柱高度越高。中新统龙井组的砂地比(72%~75%)大于渐新统花港组(44%~64%)。可见,当控圈断层突破到富砂的龙井组,油气更易散失,圈闭充满度低;控圈断层仅突破至花上段时,油气容易被保存,充满度高。因此,顺向断层控圈背景下,断层“向上突破幅度低”是油气富集的关键因素。

### 3.2 不同运移路径和模式对油气成藏的控制作用

平湖斜坡已经发现油气藏大多与断层密切相关,断层控制着圈闭的发育,也是油气垂向运移的重要通道<sup>[2]</sup>。平湖斜坡孔雀亭顺向断阶区、宝武反向断槽区和团结亭陡坡区的断层发育及组合特征不同,导致油气运聚成藏模式具有较大的差异性。

#### 3.2.1 孔雀亭顺向断阶区

孔雀亭顺向断阶区为西抬东倾斜坡背景下的多级顺向逐级下掉断阶,自斜坡高带至低带,可分为四级断阶带。第一级断阶带以顺向东倾基底断层为主,可上断至花港组及以上地层,平湖组多发育回倾;第二、三级断阶带以断穿基底的顺向东倾断层为主,深部断距较大、地层掀斜,平湖组断距较小、地层平缓;第四级断阶带发育顺向东倾断层控制的似花状断层组合,基底具有低幅古隆背景,平湖组表现为披覆背斜特征。

该区油气主要分布在平湖组区域性盖层P3层之下,多分布在平湖组P4—P5层。研究区油气以外源为主,主要来自斜坡低带向洼方向的宁波27洼,热演化程度高,以天然气、凝析油充注为主。油气主要沿大断阶断面侧向汇聚成藏(图6),油气富集程度与断层规模密切相关。研究区发育多级断层,其中规模较大的断层汲烃面积较大,沟通油气源能力较强,对油气富集起积极作用。

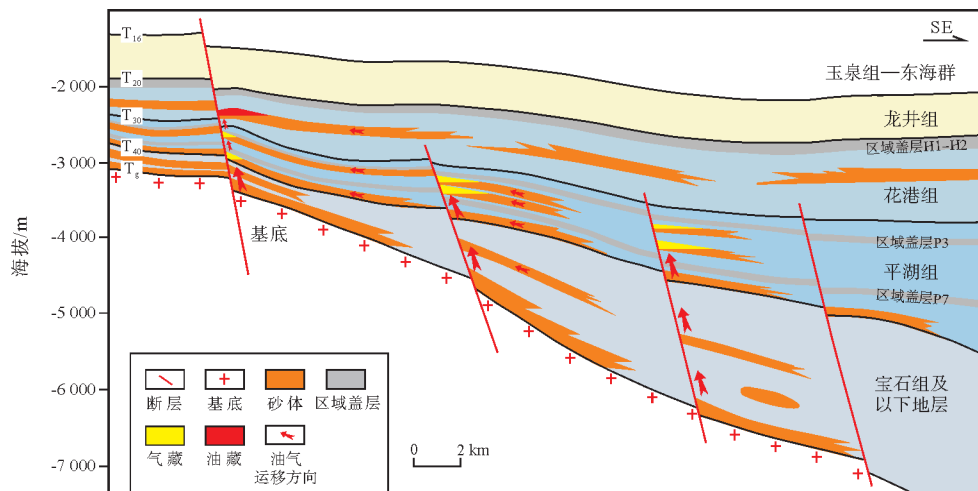


图6 西湖凹陷平湖斜坡顺向断阶区油气运聚成藏模式

Fig. 6 Hydrocarbon migration and accumulation pattern of the forward fault terrace zone in Pinghu slope of Xihu Sag

#### 3.2.2 宝武反向断槽区

宝武反向断槽区发育隆洼相间的反向断槽构造,顺向断层和反向断层均较为发育。在反向断槽内部,受宝武反向断阶控制,区内总体呈现西南高、东北低的古地形特征。受宝云亭古隆起影响,在相对较弱的侧向挤压应力下,反向断槽根部发育局部北东东走向的次级构造,且具有微弱地层回倾。

该区油气具有双源特征,即本地的宁波19洼、斜坡低带向洼方向的宁波27洼均可供烃。根据烃

源岩热演化程度分析,宁波19洼以原油充注为主,宁波27洼以天然气充注为主。油气主要分布在平湖组区域性盖层P3、P7层之下,主要目的层为上组合的P5、P6层及下组合的P8、P10层。油气沿控槽大断面运移(图7),在合适的圈闭中聚集成藏,形成断块型、断鼻型和构造-岩性型油气藏。

#### 3.2.3 团结亭陡坡区

团结亭陡坡区为受平湖大断裂控制的单断型陡坡带,除边界的平湖大断裂以外,主要发育一系



列向洼内下倾的断层,断层走向以NNE、NE向为主,多断至花港组顶界面或上部层系。

该区油气以自源为主,供烃洼陷主要为绍兴36洼。绍兴36洼煤层较为发育,具有“早油晚气、晚期

为主”的油气充注特征。油气主要沿着边界大断面脊运移汇聚(图8),油气优先充注高部位断鼻构造。油气主要分布在平湖组区域性盖层P3层之下,多分布在平湖组P5、P6层。

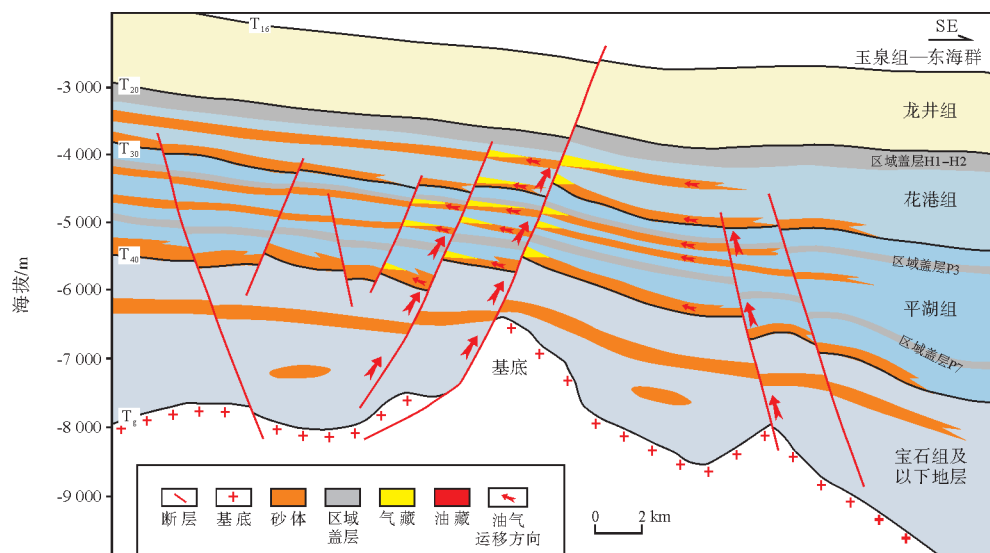


图7 西湖凹陷平湖斜坡宝武反向断槽区油气运聚成藏模式

Fig. 7 Hydrocarbon migration and accumulation pattern of Baowu reverse fault trough zone in Pinghu slope of Xihu Sag

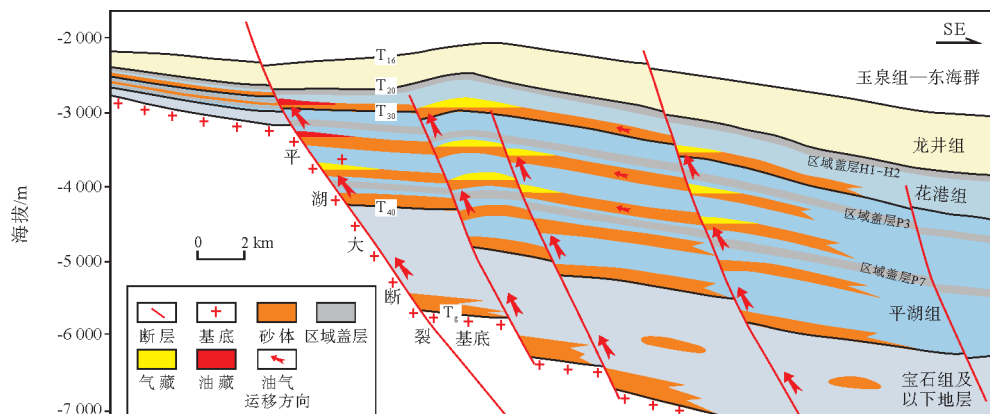


图8 西湖凹陷平湖斜坡团结亭陡坡区油气运聚成藏模式

Fig. 8 Hydrocarbon migration and accumulation pattern of Tuanjieling steep slope zone in Pinghu slope of Xihu Sag

## 4 西部斜坡带勘探新领域

西湖凹陷西部斜坡带油气成藏主要受圈闭和油气运移的共同控制。其中,构造样式的差异导致圈闭类型和有效性具有差异性,控制了研究区不同区域的油气藏类型和差异富集;油气运移和两期充注、蒸发分馏作用控制了研究区近源成藏和“上油下气”的特征。聚焦圈闭和运移两大成藏要素,指出西部斜坡带的平湖斜坡潜山、天台斜坡北段、杭州斜坡迎翠轩断

裂带3大领域为西部斜坡带勘探突破的新方向。

### 4.1 平湖斜坡潜山领域

西湖凹陷西部斜坡带目前共有3口井钻遇了潜山基底,这些井均位于平湖斜坡的宝云亭气田区,见油气显示。但由于海上探井少、钻探成本高、潜山评价难度大,西湖凹陷潜山领域至今尚未取得勘探突破。综合圈闭和运移两大成藏主控因素,在平湖斜坡优选出了宁波A潜山构造(图9)。该潜

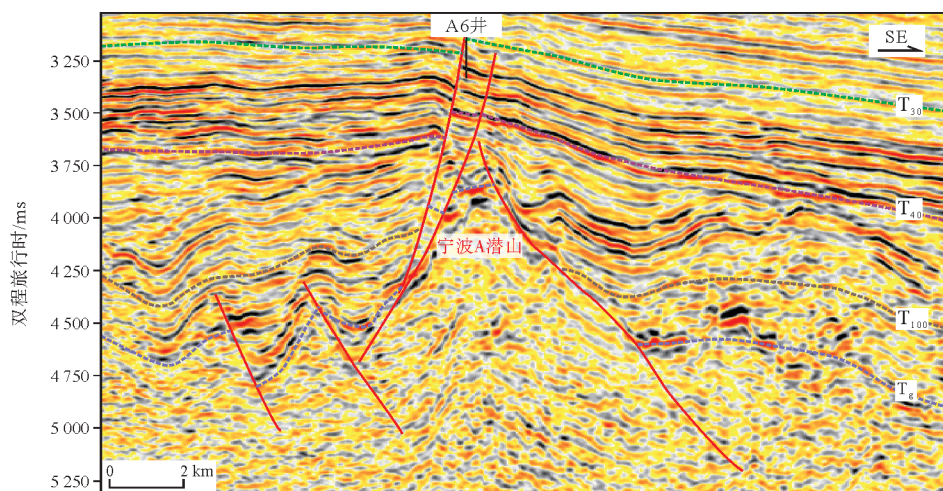


图9 西湖凹陷平湖斜坡过宁波A构造的地震剖面L1 (位置见图1a)

Fig. 9 Seismic profile L1 crossing Ningbo A structure in Pinghu slope of Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)

山成藏条件优越:①圈闭类型为断背斜,圈闭规模约20 km<sup>2</sup>,圈闭有效性高;②位于平湖斜坡中低带,紧邻宁波27洼,油气运移条件有利。

## 4.2 天台斜坡北段

天台斜坡位于西部斜坡带南部(图1a),分为北段、中段和南段,其中天台斜坡北段具有优越的成藏条件:①天台斜坡北段紧邻绍兴36洼,绍兴36洼发育平湖组煤系烃源岩,烃源岩厚度大、范围广、生烃指标好,且目前仍处于生油窗范围内,生烃强度大,具有较好的资源潜力。②天台斜坡北段发育花下段、平上段两套储盖组合,其中花下段以受潮汐影响的三角洲潮汐砂坝砂体为储层,以海相泥岩为直接盖层;平上段以潮坪体系的潮道、砂坪和潮汐

砂坝砂体为储层,以泥坪泥岩为直接盖层。③天台斜坡北段整体坡度大,受平湖断裂带、绍兴断裂带及其派生断层的控制,发育压扭背景下的断鼻、断块、断背斜等构造,同时具备构造-岩性圈闭发育条件。④天台斜坡北段断层发育,断层与砂体具有较好的匹配关系,有利于绍兴36洼及其周缘生成的油气向研究区运移。

天台A构造是天台斜坡北段的有利勘探目标,受反向断层控制(图10),圈闭类型为构造-岩性圈闭,主要目的层为花下段和平上段。天台A目标成藏条件优越:①圈闭西侧边界为相互连接的3条反向断层,东侧边界为砂体尖灭线,圈闭整体落实可靠;②储层主要为受潮汐影响的三角洲潮汐砂坝砂体以及潮坪沉积的潮道、砂坪、潮汐砂坝砂体,结合

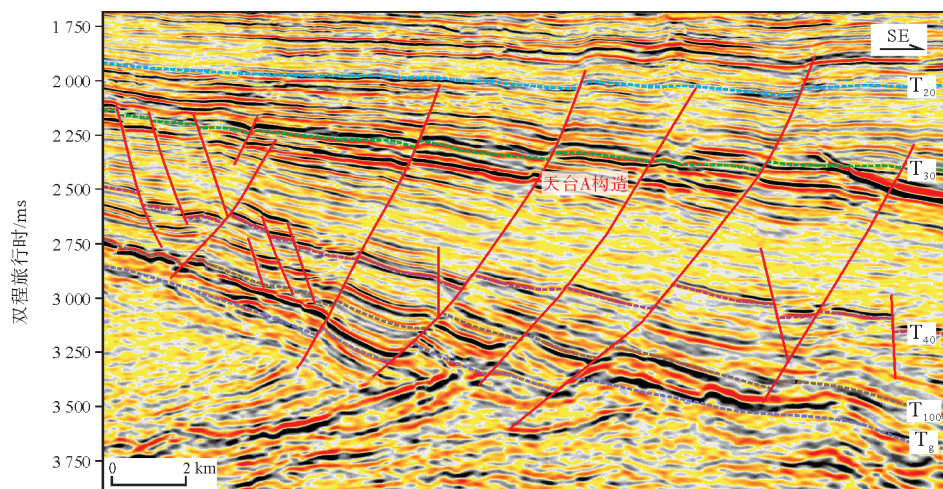


图10 西湖凹陷天台斜坡过天台A构造地震剖面L2 (位置见图1a)

Fig. 10 Seismic profile L2 crossing Tiantai A structure in Tiantai slope of Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)



周边钻井综合分析,推测目标岩性以细砂岩为主,且成分和结构成熟度高,储层较为发育;③主要目的层埋深为2 760~3 070 m,以发育常规储层为主,储层物性条件好;④构造在花港组沉积末期(23 Ma)定型,早于油气成藏期(5 Ma),成藏匹配关系好,而且研究区断砂配置好,有利于油气由绍兴36洼向目标区运聚成藏。

### 4.3 杭州斜坡迎翠轩断裂带

杭州斜坡位于西部斜坡带北部(图1a),面积约7 300 km<sup>2</sup>,仅钻探3口探井,勘探程度较低。杭州斜坡整体上受迎翠轩断裂控制,发育多级顺向断层。迎翠轩断裂带成藏条件优越:①迎翠轩断裂下降盘紧邻嘉兴25洼,嘉兴25洼是西湖凹陷已证实的最大生烃次洼,平湖组为好烃源岩,处于生烃高峰,至今持续生烃,总体上烃源条件好;②根据已钻井和

地震相分析,推测迎翠轩断裂下降盘为三角洲前缘亚相和潮坪-潟湖亚相沉积,发育多套有利储盖组合;③在NE、NEE向断层的切割下,发育NNW向展布的圈闭群,断鼻、断块圈闭成带分布,圈闭规模大、形态好;④发育杭州35古鼻隆,古鼻隆长期活动,有利于油气汇聚。

杭州A构造是迎翠轩断裂带的有利目标(图11),成藏条件优越:①构造为发育于似花状构造背景之上的断块圈闭,圈闭面积大于10 km<sup>2</sup>,叠合性好,圈闭条件有利;②迎翠轩断裂对沉积控制作用明显,下降盘沉积地层厚度明显增大,根据地震相分析,下降盘具有良好的储盖配置;③结合周边已钻井分析,推测目标区发育三角洲前缘和潮汐砂坝的砂体,砂岩结构成熟度高,富含长英质,储层发育条件好;④目标区直面嘉兴25洼,处于油气运移优势区,有利于油气汇聚。

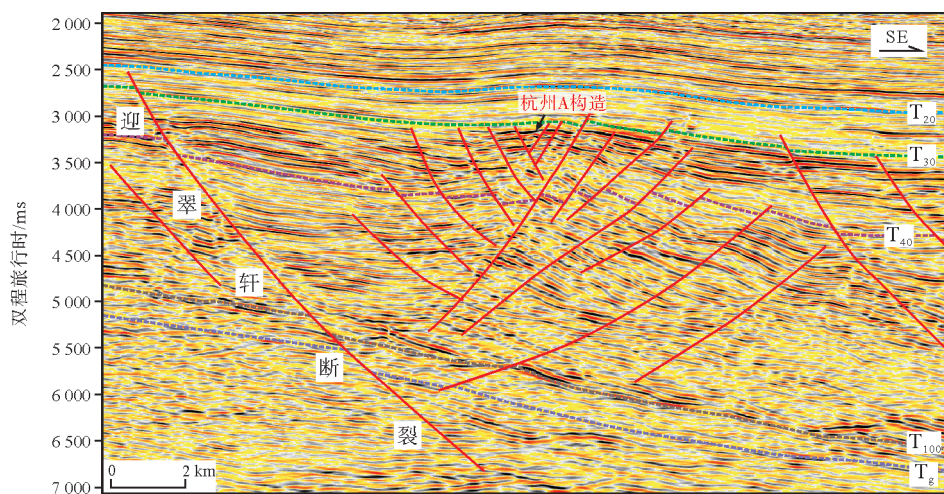


图11 西湖凹陷杭州斜坡过杭州A构造地震剖面L3(位置见图1a)

Fig. 11 Seismic profile L3 crossing Hangzhou A structure in Hangzhou slope of Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)

## 5 结论

(1)西湖凹陷平湖斜坡整体具有“南北分区、上下分层、近源富集”的油气分布规律。

(2)平湖斜坡油气成藏主要受圈闭和油气运移的控制。不同圈闭类型的成藏主控因素存在差异:背斜/断背斜发育背景下,圈闭规模是油气富集的关键因素;反向断层控圈背景下,断层“多期强活动,形成好遮挡”是油气富集的关键因素;构造-岩性/岩性型圈闭发育背景下,“构造背景、薄砂控藏”是油气富集的关键因素;顺向断层控圈背景下,断层“向上突破幅度低”是油气富集的关键因素。

(3)基于成藏主控因素的分析结果,指出西湖凹陷平湖斜坡潜山领域、天台斜坡北段、杭州斜坡迎翠轩断裂带是新领域有利勘探方向,代表目标有宁波A构造、天台A构造、杭州A构造等圈闭。

### 参考文献

- [1] 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.  
ZHOU Xinhui. Geological understanding and innovation in Xihu Sag and breakthroughs in oil and gas exploration [J]. China offshore oil and gas, 2020, 32(1): 1-12.
- [2] 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.
- [3] 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 and experiment*, 2020, 42(5): 803-812.
- [4] 魏恒飞, 陈践发, 陈晓东. 东海盆地西湖凹陷凝析气藏成藏特征及分布控制因素[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2019, 49(6): 1507-1517.
- WEI Hengfei, CHEN Jianfa, CHEN Xiaodong. Characteristics and controlling factors of condensate reservoir accumulation in Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. *Journal of Jilin University (earth science edition)*, 2019, 49(6): 1507-1517.
- [5] 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.
- [6] 张兵. 东海平湖油气田放鹤亭平湖组P11层低渗透层成藏特征[J]. *海洋石油*, 2020, 40(2): 28-33.
- ZHANG Bing. The accumulation characteristics of P11 low-permeability reservoir in Pinghu oil and gas field, the East China sea[J]. *Offshore oil*, 2020, 40(2): 28-33.
- [7] 胡芬, 叶加仁, 刘俊海. 东海西湖凹陷平湖构造带油气运聚特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(1): 95-102.
- HU Fen, YE Jiaren, LIU Junhai. Characteristics of oil and gas migration and accumulation in the Pinghu structural belt, Xihu Depression, East China Sea[J]. *Marine geology & Quaternary geology*, 2003, 23(1): 95-102.
- [8] 王超, 唐贤君, 蒋一鸣, 等. 西湖凹陷天台斜坡带北部构造变换带特征及油气地质意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2020, 40(6): 93-105.
- WANG Chao, TANG Xianjun, JIANG Yiming, et al. Characteristics of the structural transfer zone of northern Tiantai slope in Xihu Sag of the East China Sea Basin and their petroleum geological significances[J]. *Marine geology & Quaternary geology*, 2020, 40(6): 93-105.
- [9] 何玉平. 东海盆地西湖凹陷天台区始新世平湖组风暴岩的发现及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2020, 50(2): 500-508.
- HE Yuping. Discovery and geological significance of Eocene Pinghu Formation tempestites in Tiantai area, Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. *Journal of Jilin University(earth science edition)*, 2020, 50(2): 500-508.
- [10] 许红, 马惠福, 蒲庆南, 等. 东海陆架盆地新生代地层特征及其含油气性[J]. *海洋地质前沿*, 2003, 19(4): 22-25.
- XU Hong, MA Huifu, PU Qingnan, et al. Characteristics and oil and gas potential of Cenozoic Strata in the East China Sea Shelf Basin[J]. *Marine geology frontiers*, 2003, 19(4): 22-25.
- [11] 薛丹, 胡明毅, 邓猛. 西湖凹陷Y气田平湖组上段沉积相特征及有利砂体预测[J]. *科学技术与工程*, 2014, 14(24): 40-47.
- XUE Dan, HU Mingyi, DENG Meng. Sedimentary facies characteristics and sandstone body prediction of the upper part of Pinghu Formation, Y gas field[J]. *Science technology and engineering*, 2014, 14(24): 40-47.
- [12] 周心怀, 高顺莉, 高伟中, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷平北斜坡带海陆过渡型岩性油气藏形成与分布预测[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(2): 153-164.
- ZHOU Xinhui, GAO Shunli, GAO Weizhong, et al. Formation and distribution of marine-continental transitional lithologic reservoirs in Pingbei slope belt, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. *China petroleum exploration*, 2019, 24(2): 153-164.
- [13] 江东辉, 蒲仁海, 苏思羽, 等. 断陷盆地斜坡带大型油气田成藏条件: 西湖凹陷平北缓坡断裂与岩性控藏有利区[J]. *天然气工业*, 2021, 41(11): 33-42.
- JIANG Donghui, PU Renhai, SU Siyu, et al. Conditions for the formation of large oil and gas reservoirs in the slope belts of rift basins: fault-and lithology-controlled accumulation zones in the Pingbei slope of Xihu Sag[J]. *Natural gas industry*, 2021, 41(11): 33-42.
- [14] 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.
- [15] 单超, 叶加仁, 曹强, 等. 西湖凹陷孔雀亭气田成藏主控因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2015, 35(1): 135-144.
- SHAN Chao, YE Jiaren, CAO Qiang, et al. Controlling factors for gas accumulation in Kongqueting gas field of Xihu Sag[J]. *Marine geology & Quaternary geology*, 2015, 35(1): 135-144.
- [16] 刁慧, 邹玮, 李宁, 等. 东海盆地西湖凹陷武云亭构造油气来源与成藏模式[J]. *地质科技通报*, 2020, 39(3): 110-119.
- DIAO Hui, ZOU Wei, LI Ning, et al. Hydrocarbon origin and reservoir forming model of Wuyunting structure in Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. *Bulletin of geological science and technology*, 2020, 39(3): 110-119.
- [17] 张宙, 王勇刚, 唐贤君. 东海陆架盆地西湖凹陷油气分布特征及成藏规律[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2020, 17(1): 9-15.

- ZHANG Zhou, WANG Yonggang, TANG Xianjun. Distribution characteristics and reservoir rules of petroleum in Xihu Sag in the East China Sea Shelf Basin[J]. Journal of Yangtze University (natural science edition), 2020, 17(1): 9–15.
- [18] 倪智勇, 张紫东, 李思澎, 等. 西湖凹陷平湖斜坡构造带油气成藏期次厘定[J]. 石油科学通报, 2022, 7(3): 281–293.
- NI Zhiyong, ZHANG Zidong, LI Sipeng, et al. The oil accumulation period in the Pinghu slope tectonic belt of the Xihu Sag[J]. Petroleum science bulletin, 2022, 7(3): 281–293.
- [19] 刘金水, 赵洪. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖斜坡带异性气侵的成藏模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(4): 487–496.
- LIU Jinshui, ZHAO Hong. Characteristics of differential gas invasion on Pinghu slope of Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (science & technology edition), 2019, 46(4): 487–496.
- [20] 刘震, 赵阳, 杜金虎, 等. 陆相断陷盆地岩性油气藏形成与分布的“多元控油-主元成藏”特征[J]. 地质科学, 2006, 41(4): 612–635.
- LIU Zhen, ZHAO Yang, DU Jinhu, et al. Characteristics of "multi-factor controlling and key factor entrapping" of formation and distribution of lithologic petroleum reservoirs in continental rift basin [J]. Chinese journal of geology, 2006, 41(4): 612–635.

编辑: 黄革萍

## Main controlling factors of oil and gas accumulation and new exploration fields in the western slope zone of Xihu Sag, East China Sea Basin

LIU Zhifeng<sup>1,2</sup>, LI Linzhi<sup>1,2</sup>, LI Feng<sup>1,2</sup>, LIAO Jihua<sup>1,2</sup>, QI Peng<sup>1,2</sup>

1. Research Center of China National Offshore Oil Corp.;

2. China National Engineering Research Center for Offshore Oil and Gas Exploration

**Abstract:** The western slope zone of Xihu Sag is characterized by "small, faulted, poor and scattered". A comprehensive utilization of various data such as geological logging, well logging, seismic and production has been conducted to summarize the distribution patterns of oil and gas discovered in the western slope zone. It is believed that the western slope zone has the characteristics of oil and gas distribution of "north-south zoning, upper-lower stratification, near source enrichment". By dissecting typical oil and gas reservoirs and analyzing the geological reasons of the failed wells in the western slope zone, it is believed that traps and migration are the main controlling factors for oil and gas accumulation. Structural styles determine the type and effectiveness of the trap, and control the types of oil-gas reservoir and differential enrichment in different zones. The different migration of oil and gas, as well as the two-stage filling and evaporation fractionation, control the characteristics of near source accumulation and upper oil and lower gas in the study area. By analysis of reservoir forming condition, it is pointed out that buried hill of Pinghu slope, north section of Tiantai slope and Yingcuixuan fault belt of Hangzhou slope have better trap and migration conditions, which are new exploration directions of the western slope zone in Xihu Sag.

**Key words:** hydrocarbon accumulation; trap type; main controlling factors; exploration field; western slope zone; Xihu Sag

**LIU Zhifeng**, First author: MSc, a young technical expert and senior engineer at CNOOC Research Institute Co., Ltd, mainly engaged in research on oil and gas exploration in Chinese offshore new fields. Add: China National Offshore Oil Corporation Building, No. 6 Taiyanggong South Street, Chaoyang District, Beijing 100028, China. E-mail: zhifeng0000@126.com