



# 海洋地质与第四纪地质

MARINE GEOLOGY & QUATERNARY GEOLOGY

## 东海西湖凹陷中新世中晚期断裂活动特征及中浅层勘探启示

何新建, 唐贤君, 蒋一鸣, 龚瑞雪, 朱虹浩

**Middle-late Miocene fault activity and its petroleum exploration significance of middle-shallow layers in the Xihu Sag, East China Sea**

HE Xinjian, TANG Xianjun, JIANG Yiming, GONG Ruixue, and ZHU Honghao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022092901>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 东海陆架盆地西湖凹陷Y构造油气成藏过程及勘探启示

Hydrocarbon accumulation process in the Structure Y of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin and its implications for feature exploration

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 159

#### 西湖凹陷Y构造花岗岩气藏特征及成藏主控因素

Characteristics of gas reservoir and controlling factors for gas accumulation in the Huagang Formation in Y Structure, Xihu Sag  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 174

#### 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

Characteristics of the structural transfer zone of northern Tiantai slope in Xihu Sag of the East China Sea Basin and their petroleum geological significances

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(6): 93

#### 东海陆架盆地西湖凹陷孔雀亭区油气来源及运移方向

Source and migration direction of oil and gas in Kongqueting area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 156

#### 东海西湖凹陷中央背斜带花岗岩成藏条件及主控因素分析—以H3气藏为例

Analysis of reservoir-forming conditions and key controlling factors of Huagang Formation in the central anticlinal belt of Xihu Sag of East China Sea—Taking the reservoir H3 for example

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(5): 127

#### 南黄海盆地北部坳陷北凹断裂特征与构造演化

Characteristics and tectonic evolution of the fault system in the north sag of Northern Depression of South Yellow Sea basin

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 75



关注微信公众号，获得更多资讯信息

何新建, 唐贤君, 蒋一鸣, 等. 东海西湖凹陷中新世中晚期断裂活动特征及中浅层勘探启示 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(3): 167-174.  
HE Xinjian, TANG Xianjun, JIANG Yiming, et al. Middle-late Miocene fault activity and its petroleum exploration significance of middle-shallow layers in the Xihu Sag, East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(3): 167-174.

# 东海西湖凹陷中新世中晚期断裂活动特征及中浅层勘探启示

何新建, 唐贤君, 蒋一鸣, 龚瑞雪, 朱虹浩

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

**摘要:**西湖凹陷中新世中晚期经历了强烈的挤压反转,发育了大量晚期活动断层。然而目前对中新世中晚期活动断裂类型、分布及性质的系统性认识不足,制约了浅部新层系油气勘探的进展。本文基于近年来西湖凹陷中西部地区三维连片地震解释成果,系统分析了西湖凹陷中西部中新世中晚期活动断裂的类型、分布及其性质,并在此基础上探讨断裂活动对中浅层油气勘探的指示意义。结果表明,该时期断裂在中浅层具有集中成带发育特征,受刚性基底差异分布所引起的局部应力场影响,不同区带断裂样式及性质呈现出明显多样性。其中,中央反转背斜带主要发育压性通源断裂,同时背斜核部伴生张性、张扭性悬挂断裂;西部斜坡带北段高带以发育张性通源断裂为主,南段发育压性通源断裂;西次凹局部发育具弱走滑特征的悬挂断裂。基于以上认识,认为凹陷北段中浅层具有较好的油气勘探前景,中央反转背斜带北段在压性通源断裂发育背景下,通过深层超压驱动,并经由悬挂断裂“接力中转”,利于油气在中浅层聚集成藏;西部斜坡带北段在张性通源断裂侧向封堵能力有限的条件下,西缘海礁隆起区潜山及上覆层系具备富集油气的有利条件。

**关键词:**断裂体系;通源断裂;晚期成藏;中浅层;中新世中晚期;西湖凹陷

中图分类号:P736 文献标识码:A DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022092901

## Middle-late Miocene fault activity and its petroleum exploration significance of middle-shallow layers in the Xihu Sag, East China Sea

HE Xinjian, TANG Xianjun, JIANG Yiming, GONG Ruixue, ZHU Honghao

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

**Abstract:** The Xihu Sag experienced strong compression inversion in the middle-late Miocene, and developed a large number of late active faults. However, the lack of systematic understanding of the type, distribution and properties of active fault in the middle-late Miocene has restricted the progress of oil and gas exploration in shallow and new strata. The type, distribution and property of the middle-late Miocene active fault in the central and western part of the Xihu Sag were systematically analyzed, based on which the fault activity significance of petroleum exploration in the middle-shallow layers was discussed. Results show that the fault is characteristic of concentrated zonation in this period, the fault properties and combination patterns in different zones show obvious diversity due to the change of local stress field caused by the distribution of rigid basement rock. Among them, the central inversion belt is dominated by compressional oil-source fracture, and the associated anticline core is mostly dominated by tension and torsion hanging fracture. The high belt of the western slope is dominated by tensional oil-source fracture in the northern section, and the southern section of the slope is dominated by compressional oil-source fracture. The western subsag is dominated by local hanging fracture, which has weak strike slip characteristics. Based on the above understanding, we considered that the middle-shallow layers in the northern section of the Xihu Sag are the replacement areas worthy of future exploration. In the northern section of the Central Inversion Belt, under the background of development of compressional oil-source fracture, driven by deep overpressure and "relay-transfer" through the hanging fracture, which is favorable for oil and gas accumulation in the middle-shallow layers. In the northern section of the western slope belt, under the condition of limited lateral sealing ability of tensional oil-source fracture, the buried hill and overlying strata in the convex area of the western margin have the conditions to capture hydrocarbon.

**Key words:** fracture system; oil-source fracture; late-stage accumulation; middle-shallow layer; middle-late Miocene; Xihu Sag

资助项目:中国海油“十四五”重大科技项目子课题“弧后盆地深层/超深层油气成藏条件与成藏机制研究—西湖凹陷”(KJGG2022-0402)

作者简介:何新建(1987—),男,硕士,工程师,主要从事油气地质综合研究工作, E-mail: hexj9@cnooc.com.cn

收稿日期:2022-09-29; 改回日期:2023-03-02. 周立君编辑

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带中段,是中国近海最大含油气凹陷<sup>[1]</sup>,南北长约500 km,东西平均宽约130 km,总面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。

西湖凹陷自晚白垩世裂陷以来,经历了多期断裂活动,总体可分为古新世—始新世断陷、渐新世—中新世拗陷-反转和上新世区域沉降三期<sup>[2]</sup>。其中,发生在中新世中晚期的龙井运动是西湖凹陷内挤压最强、影响最广泛的一期构造运动,在诱发断裂强烈活动同时,也控制了一系列巨型反转背斜发育,形成多个角度不整合界面<sup>[1,3-4]</sup>。根据不整合界面相对地层年代推算,龙井运动大致发生在13~5.3 MaBP。已有研究表明西湖凹陷具有晚期成藏特征,中新世中晚期是平湖组烃源岩生成的油气大量运移、聚集的重要阶段<sup>[5-8]</sup>。

目前,西湖凹陷的油气发现主要集中在平湖组、花港组这两套地层中,这些地层普遍具有埋藏深、储层物性较差、勘探-开发难度较大的特点<sup>[6]</sup>,

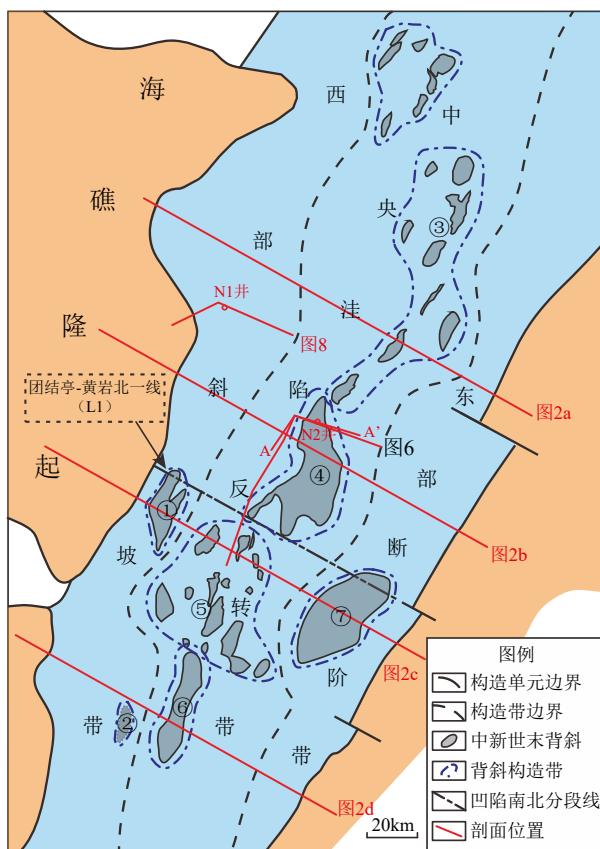


图1 西湖凹陷构造格架略图

①平湖构造带,②宝石构造带,③嘉兴构造带,④宁波构造带,⑤黄岩构造带,⑥天台构造带,⑦黄岩东构造带。

Fig.1 Regional tectonic characteristics of the Xihu Sag

① Pinghu tectonic belt, ② Baoshi tectonic belt, ③ Jiaxing tectonic belt, ④ Ningbo tectonic belt, ⑤ Huangyan tectonic belt, ⑥ Tiantai tectonic belt, ⑦ Huangyan East tectonic belt.

要突破储层物性的瓶颈,只有向花港组以上的中浅层拓展勘探新层系。由于中浅层尚未发现区域性有效烃源岩,早期在“源控论”的勘探指导方针下,距平湖组烃源岩相对较远的中浅层“源外”长期以来一直是勘探“禁区”。近年来,在部分区带的中浅层内揭示了油气藏,这些油气藏与龙井运动作用下通源断裂晚期活化有关<sup>[6]</sup>。前人对中新世中晚期龙井运动构造作用研究以中央-洼陷反转带背斜形成期次<sup>[9]</sup>、样式<sup>[10-11]</sup>、反转强度<sup>[12-13]</sup>与形成机制<sup>[10,13-14]</sup>等分析为主,而忽视了对中浅层成藏影响更为重要的断裂方面研究。对中新世中晚期活动断裂类型、分布及性质的系统性认识不足,制约了浅部新层系油气勘探的进展。本文基于近年来西湖凹陷中西部地区三维连片地震解释成果,系统分析了中新世中晚期活动断裂类型、分布及性质,并在此基础上探讨断裂活动对中浅层油气勘探的指示意义。

## 1 区域地质概况

### 1.1 西湖凹陷地质概况

西湖凹陷以新生代碎屑沉积为主,地层最大厚度约15 km。自下而上依次发育古新统,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,上新统三潭组以及第四系东海群。西湖凹陷在结构上具有垂向分层、平面分带特征(图2)。在垂向上,始新统及以下断陷为主的构造层系总体呈东断西超箕状结构,地层厚度变化受断裂控制;渐新统—中新统拗陷-反转构造层受挤压作用影响,发育一系列背斜、向斜褶皱弯曲带,残存地层厚度多受控于地层挠曲;上新统—第四系为区域沉降层<sup>[1]</sup>。在平面上,西湖凹陷总体可划分出3个次级构造单元:西部斜坡带、中央洼陷-反转带(含中央反转背斜带和东、西次凹)和东部断阶带。其中,西部斜坡带以同向断阶断裂组合样式为主,局部存在反向断阶;中央洼陷-反转带总体上以高角度基底卷入式挤压反转背斜为主,两翼东、西次凹不同程度地发育向斜构造;东部断阶带同向、反向断阶交替发育,地层翘倾显著,同时受到强烈的后期岩浆改造,剖面上边界大断裂形态不明显。

### 1.2 中新世中晚期应力背景

中新世以来,随着菲律宾海板块向北移动,太平洋板块向西俯冲的挤压作用直接传递到东海地区,导致该区发生东西向挤压<sup>[1]</sup>。区域挤压背景下,

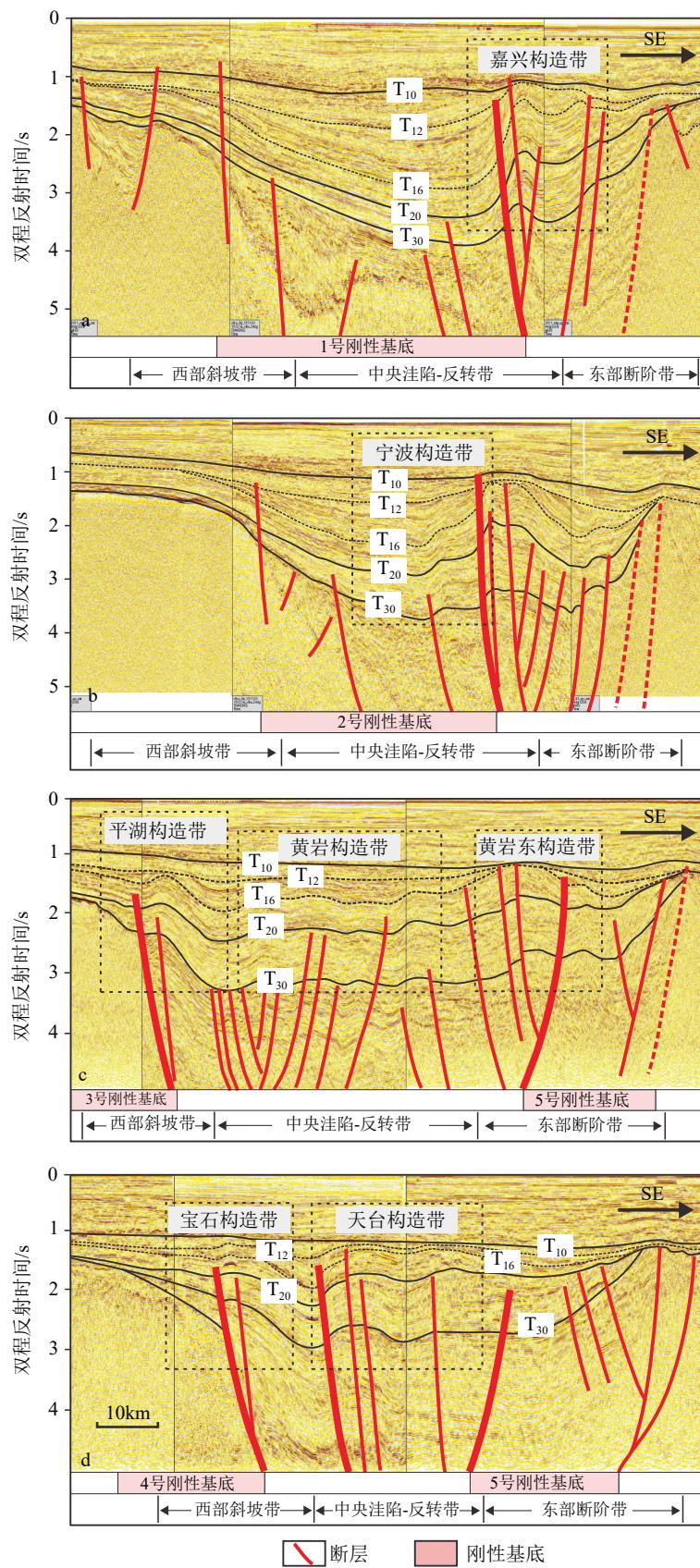


图 2 西湖凹陷盆地结构剖面

剖面位置见图 1。

Fig.2 Basin structural profile of the Xihu Sag

See Fig. 1 for profile location.

盆地基底构成对上覆地层变形影响较为显著<sup>[15-16]</sup>, 挤压应力从基底经由深断裂向上覆地层中传递, 这在挤压前陆盆地中表现较为典型<sup>[17]</sup>。已有研究表明西湖凹陷中新世中晚期龙井运动与来自凹陷东缘区域挤压压力增强有关<sup>[1]</sup>, 凹陷内部挤压反转背斜差异分布与刚性花岗岩基底引起的局部应力场改变有关<sup>[18-19]</sup>, 刚性花岗岩基底面向挤压应力源一侧的边缘易诱发挤压应力集中释放, 并导致反转背斜发育。因此, 反转背斜在一定程度上反映凹陷内部挤压应力作用的分布。西湖凹陷中新世中晚期挤压应力背景以团结亭-黄岩北一线(图1)为界, 表现出明显的南北差异。其中, 凹陷北段反转背斜主要分布在中央洼陷-反转带及其以东的位置; 凹陷南段反转背斜在全凹陷广泛分布, 反映挤压应力作用在整个西湖凹陷南段广泛存在。

## 2 中新世中晚期活动断裂特征

### 2.1 活动断裂类型

中新世中晚期, 西湖凹陷在整体挤压背景下发生了显著断裂活动。断裂在平面和垂向上断穿层位有所差异。对于中浅层油气成藏, 下断至深层平湖组烃源岩层的通源断裂是决定油气垂向运移的关键, 根据断裂错断层位, 本文将中新世中晚期活动断裂分为两类, 包括断陷期断裂后期再活化而成的通源型断裂和中新世中晚期在中浅层新生的悬挂型断裂。

### 2.2 活动断裂特征与分布规律

在西湖凹陷三期断裂活动中, 早期断陷期断裂仅上断至花港组下段, 更晚期的区域沉降期断裂多表现局部微弱的断裂活动; 而拗陷-反转期断裂活动多表现为花港组上段至中新统不同程度地错断, 活动断裂最浅上断界面在T20至T10之间。因此, 本文根据西湖凹陷中西部地区T20、T12界面断裂叠合得出中新世中晚期活动断裂平面分布(图3)。活动断裂在平面上表现出集中成带的分布特征, 主要发育在西部斜坡带高带和中央反转背斜带内, 各次级区带内断裂分布又呈现出明显南北差异(图3)。

#### (1) 中央反转背斜带

以发育近E-W向(含NWW向)悬挂断裂及NE-NNE向通源断裂为主, 分别集中分布在背斜带核部及翼部。其中, NE-NNE向通源断裂剖面上有明显

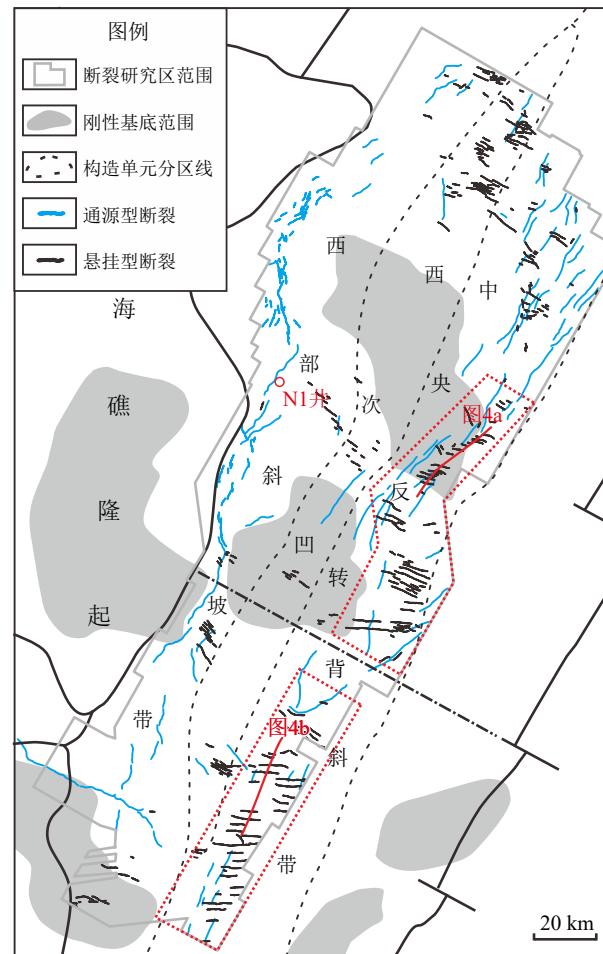


图3 西湖凹陷中新世中晚期活化断裂分布

Fig.3 Distribution of the middle-late Miocene active fault in the Xihu Sag

的“下正上逆”特征, 断层多向上终止于中新统中下部龙井、玉泉组中, 但断裂控制的背斜持续影响至中新统上部(图2a-d)。背斜核部近E-W向悬挂断裂剖面上表现为正断层, 悬于中新统内, 断裂控沉积作用弱, 断距最大值位于玉泉组、柳浪组。这些近E-W向断裂呈现出明显的南北差异分布, 北段断裂平面延伸以NWW向为主, 剖面上表现为多个断裂斜列, 向上终止于T10界面(图3、4a)。南段断裂平面延伸以E-W向为主, 剖面上表现为共轭断裂, 控制局部地堑, 显著错断至T10界面以上(图3、4b)。

#### (2) 西部斜坡带

活动断裂主要分布在斜坡带, 邻近西缘隆起区, 断裂类型以通源断裂为主, 局部零星发育悬挂断裂。通源断裂平面延伸以NE-NNE向为主, 在斜坡带南北表现出显著差异。西部斜坡带北段断裂表现为正断层, 多向上错断至T12界面以上, 断裂两侧地层牵引现象不明显, 并未表现出控制反转背斜的特征(图2a-b)。西部斜坡带南段断裂向上错

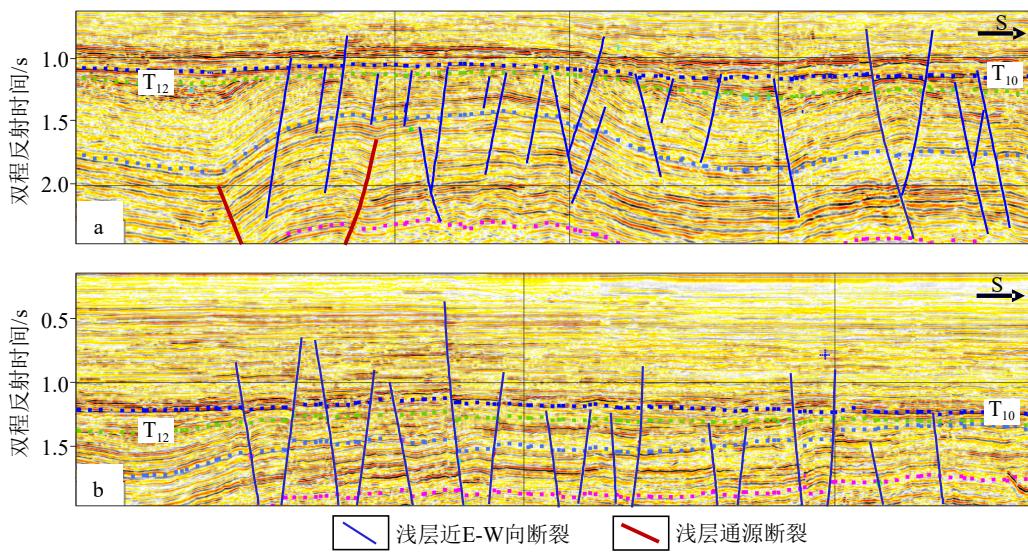


图 4 中央反转背斜带浅层近 E-W 向断裂地震剖面

剖面位置见图 3; a: 北段, b: 南段。

Fig.4 Seismic profile of the near E-W trending faults in the central inversion belt

See Fig. 3 for profile location. a: the northern section seismic profile of the central inversion belt; b: the southern section seismic profile of the central inversion belt.

断较弱, 多终止于 T20 界面附近, 但断裂在剖面上表现出一定“下正上逆”的现象, 且伴生显著反转背斜发育(图 2c)。此外, 南段天台斜坡带内可见 NWW 向延伸、沿渔山低隆起北缘分布的活动断裂带。

### (3) 西次凹

西次凹范围内悬挂断裂平面呈条带状分布, 个别断裂与下伏平湖组内断层相交接, 剖面上表现出一定的花状断裂组合特征(图 2c)。

## 3 中浅层勘探启示

### 3.1 活动断裂性质与控制因素

从西湖凹陷中新世中晚期活化断裂分布图可以看出(图 3), 西湖凹陷中西部活动断裂的成带特征与盆地刚性基底分布, 表明龙井运动期挤压背斜及活动断裂发育均与刚性基底影响下的挤压应力背景有关, 这与蒋一鸣等论述的挤压反转背斜分布与刚性基底关联相似<sup>[19]</sup>。因此, 本文在已有的刚性基底相关认识基础上, 结合活动断裂上断层位、断裂两盘地层错移、断裂一侧伴生中新统背斜发育情况综合判定各次级区带内活动断裂性质(图 5)。

### (1) 中央反转背斜带

中新世中晚期在龙井运动挤压作用下, 中央反转背斜带内形成了受 NE-NNE 向通源断裂控制的

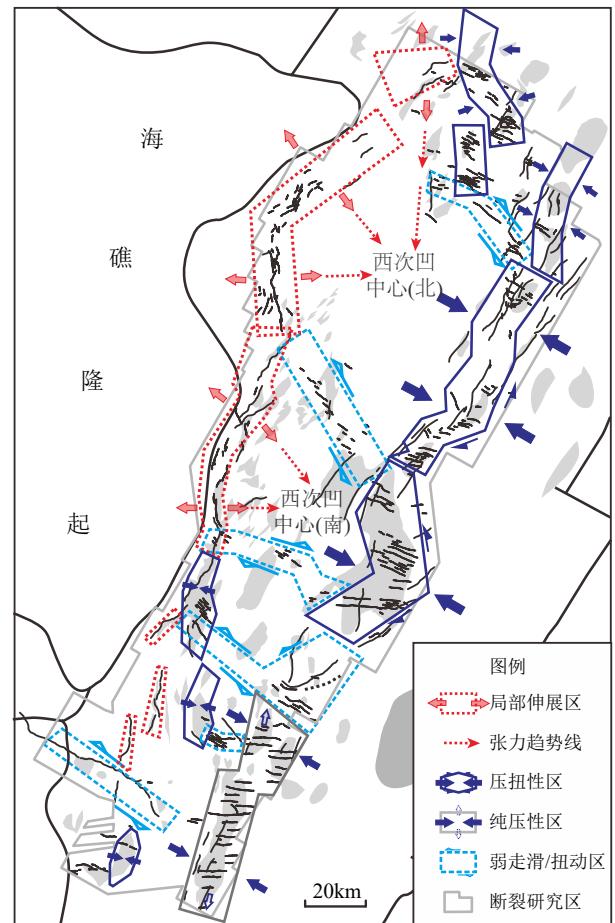


图 5 西湖凹陷中新世中晚期活动断裂力学性质

Fig.5 Mechanical properties of active faults in the middle and late Miocene in the Xihu Sag

巨型挤压反转背斜。因此,这些 NE-NNE 向断裂多为断陷期断裂压性再活化,断裂“下正上逆”,在北段刚性基底东缘发育的断裂压性特征尤为显著。此外,背斜核部密集发育的近 E-W 向悬挂断裂形成于 E-W 向挤压、N-S 向相对弱伸展环境,这种与主挤压应力背景方向近平行的张性断裂在青藏高原隆升过程中较为常见<sup>[20-21]</sup>。受刚性基底差异发育影响,这种悬挂断裂在中央反转背斜带南北表现出明显差异。南段 E-W 向断裂形成于 E-W 向挤压、N-S 向弱伸展环境,发育共轭的横张断裂(图 4b)。北段断裂走向偏 NWW 向,在近 E-W 向区域挤压背景下,受刚性岩基底边缘曲折形态影响,存在近 N-S 向局部扭动,嘉兴构造带背斜左阶斜列、宁波构造带大背斜“S”型曲折形态(图 1)均与该扭动背景有关,因此,中央反转背斜带北段的这些悬挂断裂兼具扭动特征,剖面上多表现为斜列发育(图 4a)。

### (2) 西部斜坡带

西部斜坡带北段高带通源断裂剖面上表现为正断层(图 2a-b),且不伴生反转背斜,因此区内通源断裂是张性活化断裂。这种张性断裂发育与其特殊的位置有关,西部斜坡带北段挤压压力被凹陷中央刚性基底阻挡并顺其东侧边缘释放,而中央刚性基底之上及其以西区域则构成挤压收缩下陷的“前渊地带”,加之凹陷西缘海礁隆起区相对抬升,重力失衡和局部伸展作用叠加,在西部斜坡带北段高带诱发断陷期 NE-NNE 向断裂的局部张性活化,这种与“前渊地带”相关的张性构造在挤压前陆盆地区多有报道<sup>[22-23]</sup>。西部斜坡带南段由于不存在刚性基底阻挡,包括西部斜坡带南段在内的凹陷南部整体卷入挤压为主的环境,因此,西部斜坡带南段的通源断裂性质与中央反转背斜带南段一致,为压性断裂,并伴生显著的反转背斜。

### (3) 西次凹

西次凹内发育的悬挂断裂条带明显受到刚性基底南北边缘扭动调节影响(图 3、图 5),考虑到局部花状构造形态,本文认为该断裂条带是具有弱走滑性质的扭动破碎带。

## 3.2 中新世中晚期断裂活动对中浅层勘探的启示

近年来,通过重新认识西湖凹陷晚期成藏的基本地质条件,进一步明确了中浅层具备成藏的物质基础。在油气来源方面,平湖组煤系烃源岩自 13 MaBP 开始大量生烃,5 MaBP 以来仍处于持续生烃阶段,且根据  $R_o$  成熟度数据,凹陷西部斜坡带烃源岩正处于生烃高峰,中浅层存在源源不断的物质

来源<sup>[24]</sup>。在油气成藏动力方面,在 3500 m 以下的深层受生烃影响普遍发育地层超压,这也为油气向中浅层压力低势区运移提供了动力<sup>[25]</sup>。在油气充注方面,包裹体分析表明中央反转背斜带油气具有多期充注特征,已发现气田天然气组分除了干酪根裂解成分外,还存在原油裂解,现存原油也有明显的蚀变特征,表明油和气经历深埋、裂解,深层大规模低渗-致密气藏可作为“油气中转站”晚期向中浅层运移<sup>[26]</sup>。因此,西湖凹陷中浅层在烃源岩持续富生烃、超压驱动背景下,具备接受下伏平湖组烃源岩晚期生烃和深层“油气中转站”垂向供给的物质基础,但这只是必要成藏条件。西湖凹陷中浅层要形成油气大量富集还需有通源断裂向上错断或者其与中浅层悬挂断裂“接力”,为油气垂向运移提供通道,且这些浅层断裂不能断至浅表海底,使油气逸散。因此,中新世中晚期龙井运动影响下的活动断裂向上错断,是决定中浅层油气成藏的关键。根据断裂活动特征并结合已钻井认识,本文提出西湖凹陷北段中浅层是值得进一步探索的油气勘探新领域。

### (1) 中央反转背斜带

NE-NNE 向通源断裂普遍向上错断至中新统龙井组,浅层近 E-W 向悬挂断裂普遍从中新统顶界向下错断至龙井组甚至花港组上段,两类断裂在垂向上“接力”,可使整个中上新统浅部地层均具备接受深部油气来源的条件。早期观点认为这些近 E-W 向悬挂断裂对背斜型油气藏具有明显破坏作用,导致油气向海底逸散<sup>[10, 26]</sup>。在此,本文着重强调破坏作用观点是基于中央反转背斜带南段早期勘探认识提出的,该段中新统薄,目的层平湖组埋藏浅,近 E-W 向横张断裂普遍下断至平湖组,向上错断至上新统,当时观点认为这些破坏性断裂形成于龙井运动之后的上新世时期,加之中新统盖层条件不佳,导致油气大量向浅表海底逸散<sup>[10]</sup>,背斜构造上多呈现出“大构造、小油藏”特征。而中央反转背斜带北段 NWW 向断裂与南段近 E-W 断裂在发育条件上存在差异,NWW 向断裂大多仅下断至花港组顶面附近,向上错断上新统情况较少。另外,北段中新统厚,平湖组烃源岩埋藏深。根据断裂落差分析,NWW 向断裂主要活动于中新世中晚期,龙井运动结束后断裂向上破坏能力有限,同时较厚的中新统中局部存在良好储盖条件,利于下伏平湖组早期充注及后期生成的油气向上运移至花港组上段及中上新统聚集并保存。因此,中央反转背斜带北段 NWW 向断裂相对于南段近 E-W 断裂而言并不

是完全破坏性的张性断裂, 不会导致油气大规模向浅表海底面逸散, 油气聚集于花港组上段及中上新统的常规-低渗砂岩储层中, 得以保存不被破坏, 具有良好的成藏条件。

### (2) 西部斜坡带周缘

在西部斜坡北段高带, 通源断裂下降盘一侧平湖组较薄, 加之埋藏浅, 生烃能力较差, 但由于高带平湖组内发育相对较多的粗相带砂体及局部不整合面能起到良好的侧向输导作用, 接受来自较深洼陷带排出烃类气, 并最终通过断-砂耦合向上运移至浅部层系。斜坡高带 N1 井钻探结果表明, 浅层花港组及以上地层中虽有一定油气显示, 但由于 NE-NNE 向断裂封堵能力较差, 并未大量聚集成藏(内部报告)。虽存在部分油气沿断裂向浅表海底逸散的情况, 但大量的油气很可能在区域盖层之下稳定分布的砂层中向斜坡高带西侧的凸起区侧向运移。已有研究成果显示, 凸起区并不是结构单一的隆起, 亦存在明显的洼-隆结构, 利于局部潜山发育。埋藏较浅的海礁隆起区东缘局部潜山邻近 NE-NNE 向通源断裂上升盘一侧, 易于俘获经斜坡高带运移的油气, 因此, 海礁隆起区北块东缘潜山及上覆层系是下一步勘探探索的新区带、新领域。

## 4 结论

(1) 西湖凹陷中新世中晚期龙井运动导致断裂显著活化, 成藏期断裂活动并向上错断是中浅层油气富集的关键。各次级构造带中浅层活动断裂类型、分布及性质呈现出显著差异。其中, 中央反转背斜带主要发育压性通源断裂, 上断至中新统中下部, 断背斜核部伴生张性、张扭性悬挂断裂, 这些断裂普遍上断至中新统顶界; 西部斜坡带北段高带以发育张性通源断裂为主, 最浅向上断穿中新统顶界, 斜坡带南段发育压性通源断裂, 仅上断至花港组上部。

(2) 西湖凹陷中西部地区中新世中晚期断裂发育特征及分布规律受龙井运动挤压背景下刚性基底差异分布的控制。

(3) 西湖凹陷北段及邻近区带中浅层是值得进一步探索的油气勘探新领域、新层系。其中, 中央反转背斜带北段在超压驱动背景下, 油气通过深层通源断裂、浅层 NWW 向断裂“接力中转”, 向中浅层富集; 西部斜坡带北段张性通源断裂显著活化, 钻井资料证实油气向上运移至浅层, 并具有侧向运移的有利条件, 因此, 断裂上升盘侧潜山及上覆层

系具有一定的勘探潜力。

## 参考文献 (References)

- [1] 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 Xinhua, 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.]
- [2] 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.]
- [3] 熊斌辉, 王春红, 张锦伟, 等. 西湖凹陷龙井运动特征 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(2): 77-81. [XIONG Binhui, WANG Chunhong, ZHANG Jinwei, et al. Longjing movement characteristics in Xihu Sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(2): 77-81.]
- [4] 郭真, 刘池洋, 田建锋. 东海陆架盆地龙井运动构造影响及其发育背景 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2015, 45(5): 801-810. [GUO Zhen, LIU Chiyan, TIAN Jianfeng. Longjing movement structural effect and developmental background in East China Sea Basin [J]. Journal of Northwest University:Natural Science Edition, 2015, 45(5): 801-810.]
- [5] 叶加仁, 陈海红, 陈景阳, 等. 东海西湖凹陷成藏流体历史分析 [J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 40-43. [YE Jiaren, CHEN Haihong, CHEN Jingyang, et al. Fluid history analysis in the Xihu Depression, East China Sea [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(9): 40-43.]
- [6] 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 Xinhua. 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.]
- [7] 雷闯, 叶加仁, 吴景富, 等. 低勘探程度盆地成藏动力学过程: 以西湖凹陷中部地区为例 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2014, 39(7): 837-847. [LEI Chuang, YE Jiaren, WU Jingfu, et al. Dynamic process of hydrocarbon accumulation in low-exploration Basins: a case study of Xihu Depression [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(7): 837-847.]
- [8] 高伟中, 谭思哲, 田超, 等. 西湖凹陷中央反转构造带圈闭油气充满度差异性原因分析 [J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 20-28. [GAO Weizhong, TAN Sizhe, TIAN Chao, et al. Analysis on the oil and gas fullness difference of the Central Inversion Tectonic belt of Xihu Sag in East China Sea Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(3): 20-28.]
- [9] 陈志勇, 葛和平. 西湖凹陷反转构造与油气聚集 [J]. 中国海上油气, 2003, 17(1): 20-24. [CHEN Zhiyong, GE Heping. Inversion structures and hydrocarbon accumulation in Xihu Sag, east China sea Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2003, 17(1): 20-24.]
- [10] 张敏强, 钟志洪, 夏斌, 等. 东海西湖凹陷中南部中新世构造反转与油气运聚 [J]. 中国海上油气, 2005, 17(2): 73-79. [ZHANG Minqiang, ZHONG Zihong, XIA Bin, et al. Late Miocene tectonic inver-

- sion and hydrocarbon migration and accumulation in central and southern Xihu Sag, East China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(2): 73-79.]
- [11] 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. [ZHANG Jianpei, ZHANG Tao, LIU Jingyan, et al. Distribution and style of inverted structures in Xihu Depression [J]. *Offshore Oil*, 2008, 28(4): 14-20.]
- [12] 杨凤丽, 王敏雪, 庄建建, 等. 西湖凹陷反转构造定量运动学过程及对油气的控制作用[J]. *石油学报*, 2010, 31(4): 596-601. [YANG Fengli, WANG Minxue, ZHUANG Jianjian, et al. Kinematical processes of inversion structure and its contribution to hydrocarbon accumulation in Xihu Depression of East China Sea Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(4): 596-601.]
- [13] 郭真, 刘池洋, 田建锋. 东海盆地西湖凹陷反转构造特征及其形成的动力环境[J]. *地学前缘*, 2015, 22(3): 59-67. [GUO Zhen, LIU Chiyan, TIAN Jianfeng. Structural characteristics and main controlling factors of inversion structures in Xihu Depression in Donghai Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 59-67.]
- [14] 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.]
- [15] 邓军, 王庆飞, 黄定华, 等. 鄂尔多斯盆地基底演化及其对盖层控制作用[J]. *地学前缘*, 2005, 12(3): 91-99. [DENG Jun, WANG Qingfei, HUANG Dinghua, et al. Basement evolution of the Ordos Basin and its constraint on cap rock [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 91-99.]
- [16] 包洪平, 邵东波, 郝松立, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构及早期沉积盖层演化[J]. *地学前缘*, 2019, 26(1): 33-43. [BAO Hongping, SHAO Dongbo, HAO Songli, et al. Basement structure and evolution of early sedimentary cover of the Ordos Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(1): 33-43.]
- [17] 贾东, 陈竹新, 贾承造, 等. 龙门山前陆褶皱冲断带构造解析与川西前陆盆地的发育[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(3): 402-410. [JIA Dong, CHEN Zhuxin, JIA Chengzao, et al. Structural features of the Longmen Shan fold and thrust belt and Development of the western Sichuan foreland Basin, Central China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(3): 402-410.]
- [18] 蒋一鸣, 何新建, 唐贤君, 等. 钓鱼岛隆褶带物质构成及东海西湖凹陷原型盆地东边界再认识[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 773-783. [JIANG Yiming, HE Xinjian, TANG Xianjun, et al. Material composition of Diaoyu Islands folded zone and reanalysis of eastern boundary of prototype Basin of Xihu Sag in East China Sea [J]. *Earth Science*, 2019, 44(3): 773-783.]
- [19] 蒋一鸣, 邹玮, 刘金水, 等. 东海西湖凹陷中新世末反转背斜构造成因机制: 来自基底结构差异的新认识[J]. 地球科学, 2020, 45(3): 968-979. [JIANG Yiming, ZOU Wei, LIU Jinshui, et al. Genetic mechanism of inversion anticline structure at the end of Miocene in Xihu Sag, East China Sea: a new understanding of basement structure difference [J]. *Earth Science*, 2020, 45(3): 968-979.]
- [20] 张进江, 丁林. 青藏高原东西向伸展及其地质意义[J]. *地质科学*, 2003, 38(2): 179-189. [ZHANG Jinjiang, DING Lin. East-West extension in Tibetan Plateau and its significance to tectonic evolution [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(2): 179-189.]
- [21] 潘裕生, 钟嘉猷, 周勇. 青藏高原南北向地堑系的实验研究[J]. *地质科学*, 2003, 38(2): 172-178, 213. [PAN Yusheng, ZHONG Jiayou, ZHOU Yong. Mechanism of N-S trending graben system in Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(2): 172-178, 213.]
- [22] 严俊君, 黄太柱. 塔里木盆地北部构造样式[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1995, 20(3): 264-270. [YAN Junjun, HUANG Taizhu. Structural styles of northern Tarim Basin, Xinjiang [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1995, 20(3): 264-270.]
- [23] 王燮培, 严俊君. 塔里木盆地北部断裂格架分析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1995, 20(3): 237-242. [WANG Xiepei, YAN Junjun. Structural framework of major faults in northern Tarim Basin, Xinjiang [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1995, 20(3): 237-242.]
- [24] 蒋一鸣, 刁慧, 曾文倩. 东海盆地西湖凹陷平湖组煤系烃源岩条件及成烃模式[J]. 地质科技通报, 2020, 39(3): 30-39. [JIANG Yiming, DIAO Hui, ZENG Wenqian. Coal source rock conditions and hydrocarbon generation model of Pinghu Formation in Xihu Depression, East China Sea Basin [J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2020, 39(3): 30-39.]
- [25] 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]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(3): 93-97. [ZHANG Xianping, ZHANG Shulin, CHEN Haihong, et al. Abnormal pressure and related reservoir Formation in the Pinghu structural belts of Xihu Depression, East China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(3): 93-97.]
- [26] 覃军, 蒋一鸣, 李宁, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷Y构造油气成藏过程及勘探启示[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(6): 159-168. [QIN Jun, JIANG Yiming, LI Ning, et al. Hydrocarbon accumulation process in the structure Y of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin and its implications for feature exploration [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 159-168.]