



西湖凹陷玉泉构造油气成藏时空匹配关系研究

周平, 孙鹏, 刘春锋, 熊志武

On time-space matching of hydrocarbon accumulation in the Yuquan Structure, Xihu Sag

ZHOU Ping, SUN Peng, LIU Chunfeng, and XIONG Zhiwu

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023031301>

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): 159-168

西湖凹陷中北部反转构造动力学机制的数值模拟

NUMERICAL DYNAMIC MODELING OF TECTONIC INVERSION IN THE NORTHEASTERN XIHU SAG

海洋地质与第四纪地质. 2017, 37(4): 151-166

西湖凹陷Y构造花港组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): 174-182

东海西湖凹陷中央背斜带花港组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): 127-135

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): 93-105

东海西部台北坳陷中生界油气成藏模式研究

Hydrocarbon accumulation model of the Mesozoic in Taibei Depression, western East China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 150-158



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周平, 孙鹏, 刘春锋, 等. 西湖凹陷玉泉构造油气成藏时空匹配关系研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(1): 121-129.

ZHOU Ping, SUN Peng, LIU Chunfeng, et al. On time-space matching of hydrocarbon accumulation in the Yuquan Structure, Xihu Sag[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(1): 121-129.

西湖凹陷玉泉构造油气成藏时空匹配关系研究

周平, 孙鹏, 刘春锋, 熊志武

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要:以地质录井资料为基础, 结合流体包裹体、自生伊利石同位素等地球化学资料, 运用平衡剖面、盆地模拟技术, 研究玉泉构造断裂演化史、圈闭发育史、埋藏史、成岩史、生烃史、油气成藏史及其时空匹配关系。研究表明: 玉泉构造经历了前挤压反转期、挤压反转早期和挤压反转晚期 3 个阶段, 其中挤压反转早期和晚期为 NWW 向调节断层和圈闭发育、定型的关键阶段; 花港组下段 H6—H7 自 13.0 Ma 以来油气持续充注成藏至今, 储层物性较差, 花港组上段为 13.0~11.4 Ma 和 4.2 Ma 至今两期油气充注成藏, 且第二期为主要油气成藏期, 储层物性较好, 龙井组为 3.4 Ma 至今一期充注成藏, 储层物性好。总结出玉泉构造寻找有利勘探目标的关键条件为: 以花港组上段为勘探主要目的层, 靠近早期发育的 NNE 油源断层, 避开晚期 NWW 向调节断层, 指出玉泉 3 井区北部、玉泉 1 井区北部花港组上段以及玉泉 3 井区 NWW 向断层上盘龙井组、玉泉 1 井区龙井组上段为有利勘探区。

关键词: 挤压反转; NWW 向调节断层; 油气成藏史; 时空匹配; 中央反转构造带; 西湖凹陷

中图分类号: P736, TE122.1

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2023031301

On time-space matching of hydrocarbon accumulation in the Yuquan Structure, Xihu Sag

ZHOU Ping, SUN Peng, LIU Chunfeng, XIONG Zhiwu

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: Based on well logging and geochemical data including fluid inclusions and authigenic illite isotopes, geological evolution in faults, trapping, burial, diagenesis, hydrocarbon generation, oil and gas accumulation, and their spatio-temporal matching in the Yuquan Structure, Xihu Sag was studied using balanced profiling and basin modeling technology. Result shows that the Yuquan Structure experienced three stages in geological evolution: pre-compression inversion stage, early compression inversion stage, and late compression inversion stage, of which the early and late compression inversion stages are the key stages for the development and finalization of NWW regulating faults and traps. The lower member (H6-H7) of the Huagang Formation has been continuously filled with oil and gas since 13.0 Ma, and the reservoir physical properties are poor. The upper member of the Huagang Formation has been filled with oil and gas in 13.0 Ma to 11.4 Ma, and 4.2 Ma to the present. The second stage is the main oil and gas accumulation period, and the reservoir physical properties are good. The Longjing Formation has been filled with oil and gas from 3.4Ma to the current stage, and the reservoir physical properties are the best. The key points of finding favorable exploration targets for the Yuquan Structure include that the upper part of the Huagang Formation shall be taken as the main exploration target layer near the early-developed NNE oil-source fault, and the late NWW regulating fault shall be avoided. It is pointed out that the upper part of the Huagang Formation in the northern part of YQ-3 well block and the northern part of YQ-1 well block, the Longjing Formation in the hanging wall of NWW fault in YQ-3 well block, and the upper part of the Longjing Formation in YQ-1 well block are favorable exploration areas.

Key words: compression inversion; NWW regulating fault; hydrocarbon accumulation history; time-space matching; central inversion structural belt; Xihu Sag

东海盆地西湖凹陷历经 40 年的勘探, 目前已钻探井 100 余口, 天然气探明储量达数千亿方, 证实了该凹陷巨大的勘探潜力^[1]。西湖凹陷油气分布总

体呈现西部斜坡带圈闭“小而散”^[2]、中央反转构造带“大构造、小油气藏”^[3]的特点, 油气分布规律复杂, 勘探难度较大。目前凹陷内已发现的大中型油

资助项目: “十四五”国家科技重大专项“海上深层/超深层油气勘探技术”(KJGG2022-0402)

作者简介: 周平(1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事油气成藏综合研究, E-mail: zhouping15@cnooc.com.cn

收稿日期: 2023-03-13; 改回日期: 2023-04-08. 周立君编辑

气田较少,大中型油气田储量占整个凹陷总储量的四分之三以上,且主要分布在中央反转构造带。因此,在中央反转构造带上寻找大中型油气田是当前东海地区增储上产、建设华东地区清洁能源基地的重要保障。玉泉构造位于中央反转构造带中部,是东海盆地已发现的最大背斜构造,面积超过 500 km²,是西湖凹陷寻找大中型油气田的最有利区带之一。自 1985 年至今,玉泉构造共钻探井 5 口,揭示天然气三级地质储量超 2500 亿 m³,但探明程度不到 5%^[3]。究其原因,是因为对该构造的油气成藏关键要素认识不够全面,对油气成藏关键要素间的动态时空匹配关系研究不够深入,从而制约了有利勘探目标的精准定位。

目前针对西湖凹陷整体油气成藏规律研究主要存在塔式成藏^[4]、超压控藏^[5]、“储保耦合”控藏^[2]等成藏理论,但缺乏对油气成藏关键要素发育史及其时空匹配关系的深入研究。对于西湖凹陷中央反转构造带油气成藏要素演化史,前人在反转背斜成因演变^[6]、圈闭的递进式演变史^[7]、生烃演化历史^[8]等方面有一定的研究,对于油气充注史分析主要存在两种观点:一种认为中央反转构造带存在三期油气充注^[9-10]且以后两期油气充注为主;另一种认为中央反转构造带存在两期油气充注^[11-12],但该两期的油气充注主次关系未明确。鉴于玉泉构造油气成藏要素演化史特别是油气充注史研究的薄弱,再

加上各油气成藏要素间的联系不够密切,本文在西湖凹陷中央反转构造带挤压反转背景下,研究了玉泉构造演化史、断裂发育史、圈闭发育史、成岩史、生烃史与油气充注史的时空匹配关系并据此指出有利勘探方向,以期为进一步钻探评价及决策提供依据。

1 区域地质背景

1.1 区域构造地层特征

西湖凹陷位于东海盆地东部大陆架东缘,呈 NNE 展布,南北长约 400 km,东西宽约 100 km,面积约为 5.18×10⁴ km²^[13]。西湖凹陷东部为钓鱼岛隆褶带,西部由北向南依次为长江凹陷、海礁隆起、钱塘凹陷和渔山东低隆起,南临钓北凹陷,凹陷自西向东依次可分为西部斜坡带、中央反转构造带和东部断阶带^[14]。其中,中央反转构造带发育一系列反转背斜构造,其由北向南进一步划分为嘉兴反转带、宁波反转带和天台反转带,玉泉构造位于宁波反转带,与北部古珍构造均发育大型反转背斜构造样式,西侧紧邻印月构造(图 1)。

参考前人地震层序划分^[6-13,15],西湖凹陷主要划分出 8 个不同级别的地震反射界面(T₀、T₁⁰、T₂⁰、T₃⁰、T₄⁰、T₅⁰、T₁₀⁰、T_g),分别代表着发育较齐全 of 西湖凹陷新生界,由老至新分别为:古新统(具体组

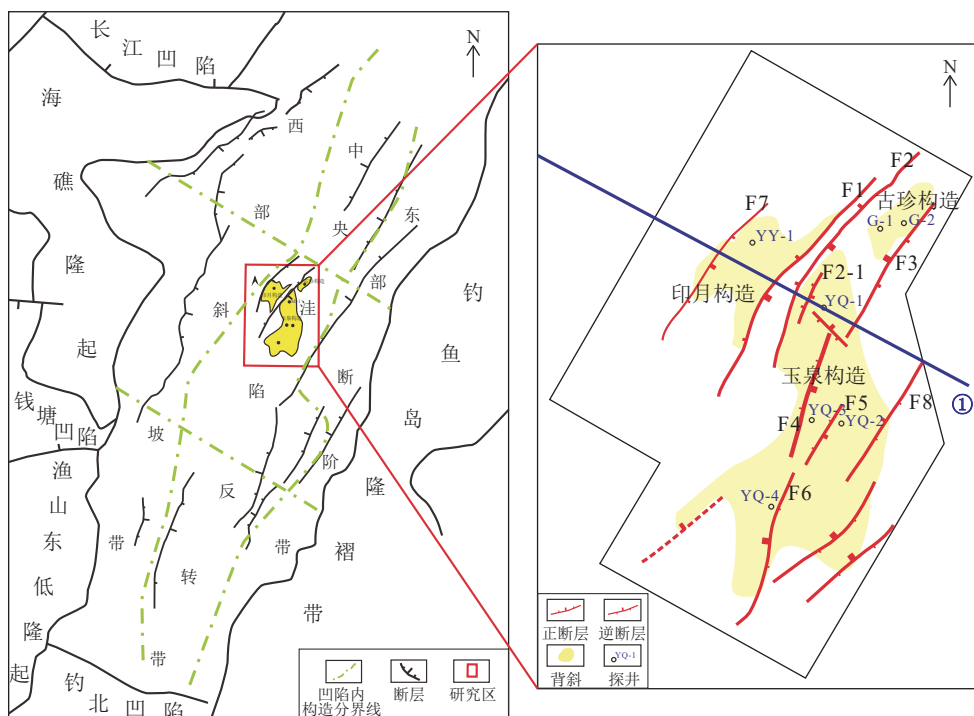


图 1 西湖凹陷玉泉构造位置图

Fig.1 The tectonic setting of the Yuquan Structure in Xihu Sag

段不详), 始新统宝石组、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, 第四系东海群(图 2)。本文研究主要目的层为龙井组和

花港组, 龙井组以 T_1^7 地震反射界面为界分为龙井组上段和龙井组下段, 花港组以 T_2^1 地震界面为界分为上、下两段, 花港组上段分为 H1—H5 五个砂层组, 花港组下段分为 H6—H10 五个砂层组。

地层系统				年代 /Ma	反射界面	
系	统	组	段			
第四系	更新统	东海群 Q_0 dh		2.6	T_0	
新近系	上新统	三潭组 N_{2s}		5.3	T_1^0	
		中新统	柳浪组 N_{1^3l}		13.0	T_1^2
	玉泉组 N_{1^2y}		上段		16.4	T_1^6
			中段			T_1^7
	龙井组 N_{1^1l}	下段		T_2^0		
	古近系	渐新统	花港组 E_3h	上段		23.3
下段					32.0	T_3^0
始新统		平湖组 E_{2p}	上段		43.0	T_3^2
			中段			T_3^4
			下段			T_4^0
古新统		宝石组 E_{2b}			T_5^0	
	?			66.0	T_{10}^0	
白垩系	上白垩统	?		100	T_g 基底	

图 2 西湖凹陷玉泉构造地层划分

Fig.2 Chronostratigraphic division of the Yuquan Structure in Xihu Sag

1.2 区域构造演化特征

运用平衡剖面技术结合地震剖面特征研究发现, 西湖凹陷主要经历了古新统至宝石组沉积末期(约 43.0 Ma)的断陷期、宝石组沉积末期至平湖组沉积末期(约 32.0 Ma)的断拗转换期、平湖组沉积末期至龙井组沉积末期(约 16.4 Ma)的拗陷期、龙井组沉积末期至玉泉组沉积末期(约 13.0 Ma)的强反转期、玉泉组沉积末期至柳浪组沉积末期(约 5.3 Ma)的弱反转期(拗陷-区域沉降转换)和柳浪组沉积末期至今的区域沉降期(图 3), 中央构造带于龙井运动时期经历了强烈构造反转, 形成玉泉、古珍等背斜构造, 同时, 花港组上段及以浅层系晚期 NWW 向断层伴生背斜发育, 表现为横张弱扭性质。

2 油气成藏关键要素发育史

在西湖凹陷中央构造带挤压反转背景下, 以区域构造演化为基础, 对玉泉构造断裂发育史、圈闭发育史、生烃史、油气充注史及成岩阶段进行综合

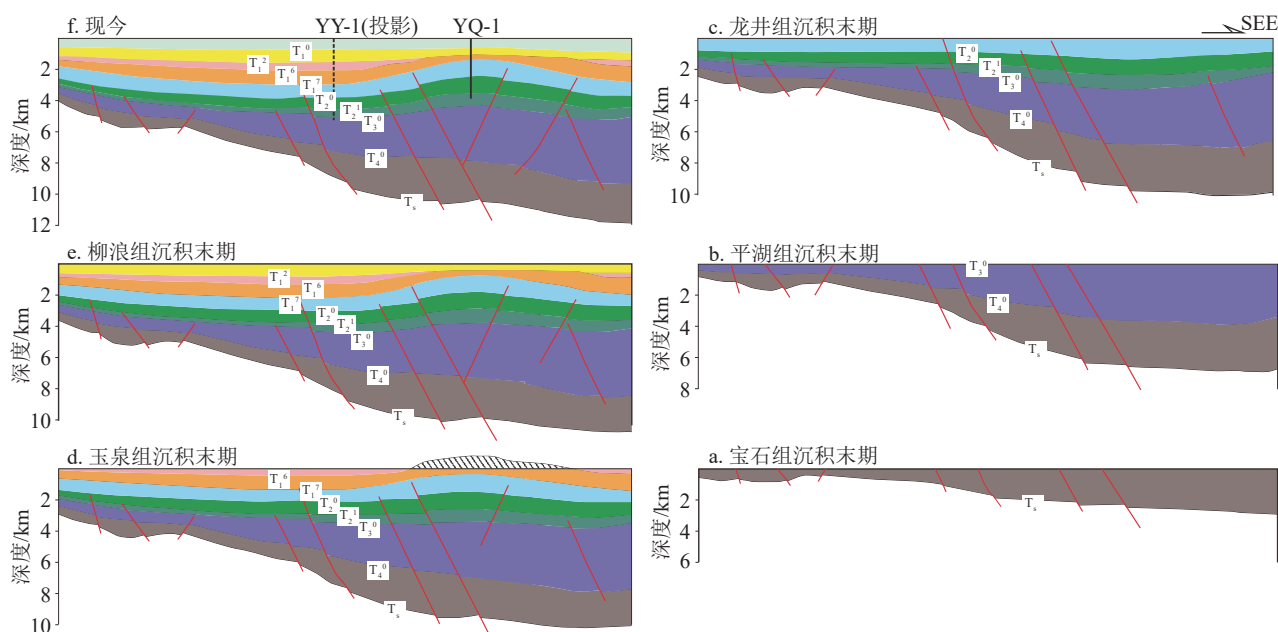


图 3 西湖凹陷中部构造演化剖面图
剖面位置见图 1①。

Fig.3 Structural evolution profile in the middle of the Xihu Sag

See Fig.1① for profile location.

分析,研究其油气成藏要素时空匹配关系,挖掘该构造的勘探潜力。

2.1 断裂演化阶段

玉泉构造断裂发育主要经历了3个阶段:前挤压反转期(龙井运动前)、挤压反转早期和挤压反转晚期(图4)。

前挤压反转期:以花港组沉积末期(约23.3 Ma)为例,该期断裂活动弱,仅F1—F7断裂持续活动,多为NE—NNE,且F2、F6等断裂南北不连续(图4a)。

挤压反转早期:约玉泉组沉积末(约13.0 Ma),NWW向构造应力挤压与NE—NNE向断层南北活动差异背景下,构造开始发生反转,并在应力更强的中北区局部高点发育Ft1—Ft4等NWW向调节断层,向下延伸至 T_2^1 界面附近,同时,油源断裂F1、F2南北连接,F3断层向南延伸(图4b)。

挤压反转晚期:约柳浪组沉积末期(约5.3 Ma),构造反转后地层沉降趋于稳定,Ft1—Ft4等NWW向调节断层大量发育于玉泉构造中北部局部高点。挤压反转晚期形成的EW向断层(向上断至玉泉组,向下多断至 T_2^0 界面)发育于玉泉构造南部(图4c),该期构造总体断裂组合样式基本定型。

2.2 圈闭发育史

在上文断裂发育演化背景下,玉泉构造同样经历了前挤压反转期(龙井运动前)、挤压反转早期和

挤压反转晚期3个圈闭发育阶段(图5)。

前挤压反转期:花港组沉积末期(约23.3 Ma),多条断层控制,南北连续性差。断层形态受到刚性基底边界影响(刚性地层相对塑性地层而言不易变形,盆地内 T_g 界面以上地层普遍相对较软,挤压力主要通过相对刚性盆地基底向上传递^[6])。该期圈闭基本不发育(图5a),但不排除局部背斜圈闭的形成,花港组在玉泉构造及周边构造普遍沉积。

挤压反转早期:玉泉组沉积末(约13.0 Ma),挤压反转过程中,多条断层控制多个背斜发育,背斜轴迹延伸方向多与断层走向平行,同时形成几个构造鞍部,由于SEE向应力的影响,断层伴生背斜之间多以NWW向的鞍部分隔(图5b)。该期花港组埋深约在1500~3400 m,龙井组下段埋深在400~1500 m,龙井组上段顶部及玉泉组被剥蚀(图3d)。

挤压反转晚期:柳浪组沉积末(约5.3 Ma),刚性基底嵌入段挤压持续增强,中块背斜持续抬高,分隔中-北块、中-南块的鞍部被抬高,多条断层伴生背斜连结形成巨型背斜,该期圈闭基本定型(图5c)。玉泉构造西北部两条通源断层F1、F2的分割使其与印月构造并未连结,刚性基底在构造北部的缺失导致玉泉构造北区的构造鞍部抬升并不明显,使古珍与玉泉构造分隔。该期花港组埋深1900~3800 m,龙井组下段深度约为800~1900 m,龙井组上段顶部被剥蚀后埋深约为350~800 m,柳浪组稳定沉积(图3e)。

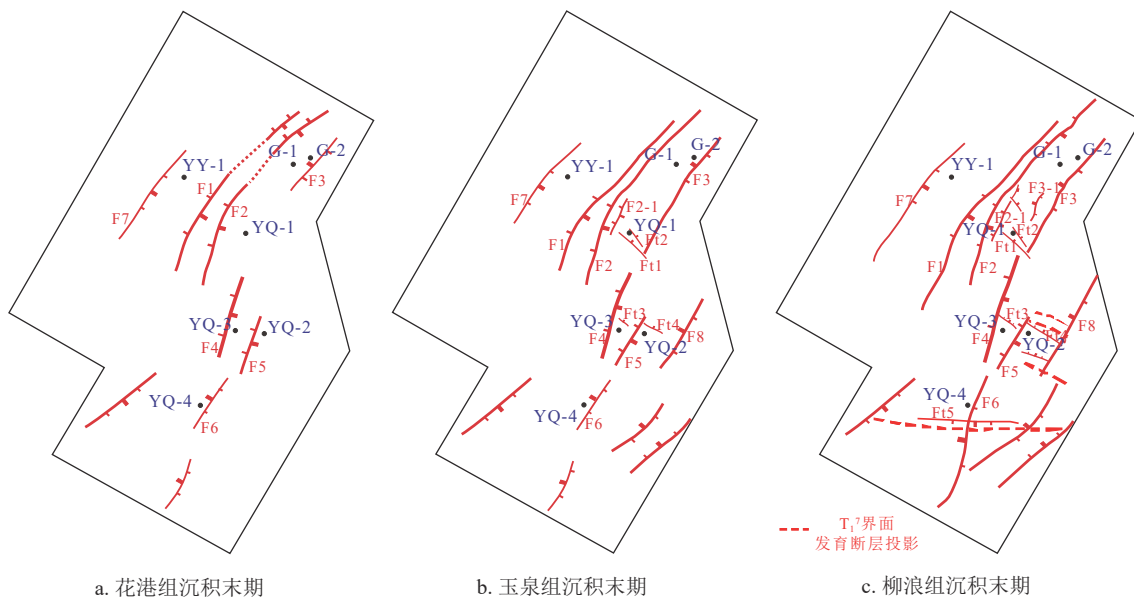


图4 西湖凹陷玉泉构造断裂演化特征

底图为H3断裂平面分布纲要图。

Fig.4 Evolution characteristics of the faults of the Yuquan structure in Xihu Sag

The background map is the outline of the H3 fault plane distribution.

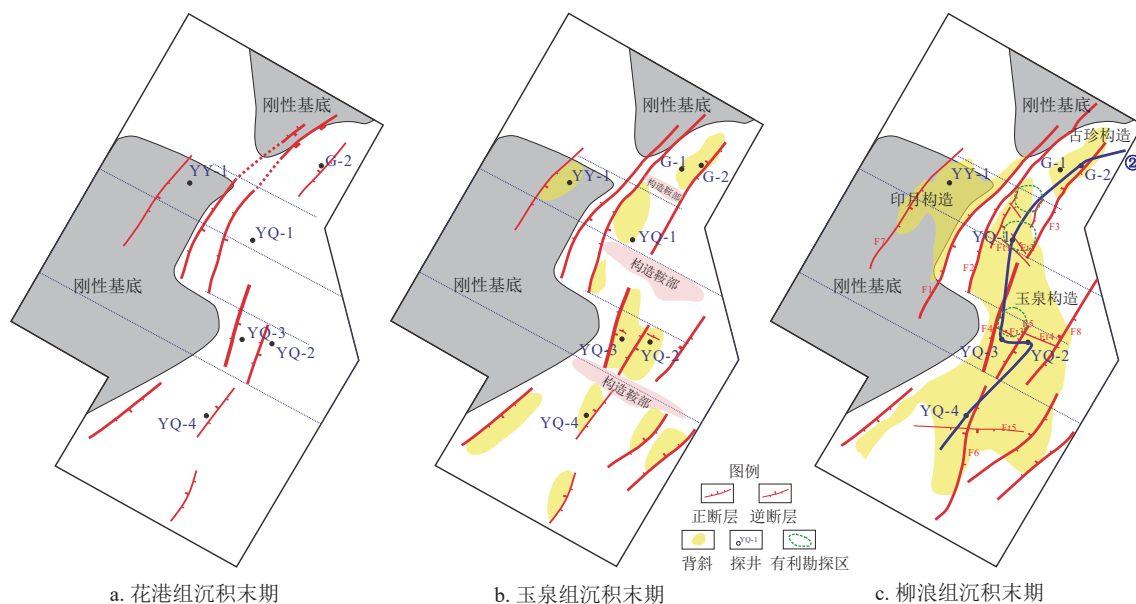


图 5 西湖凹陷玉泉构造圈闭演化特征

Fig.5 Evolution characteristics of traps in the Yuquan structure in Xihu Sag

2.3 生烃演化史

西湖凹陷中央反转构造带钻遇气层普遍为干气, 始新统平湖组烃源岩在凹陷范围内大面积分布, 且沉积厚度大, 为西湖凹陷的主力烃源岩层系^[16-19]。通过已钻井揭示的玉泉构造烃源岩厚度、埋深以及有机质丰度、氢指数、地温梯度等参数, 利用 Trinity 软件进行模拟, 认为该洼主要经历了两期大规模生烃期: 第一期大规模生烃发生在约 20~9 Ma, 对应龙井组沉积中期至柳浪组沉积中期, 从生排烃曲线斜率来看, 该期生排烃强度最大; 第二期大规模生烃发生在约 5 Ma 至今, 对应柳浪组沉积末期至今, 该期生排烃强度相对第一次较弱(图 6)。值得注意的是, 中央洼陷总排烃量为 18.4 万亿方天然气(换

算石油约 147 亿 t), 相对总生烃量 68.0 万亿方天然气(换算石油约 542 亿 t)来说排烃率仅为 27%, 这与平湖组泥岩厚度大及地层致密有较大的关系。

2.4 油气成藏史

由于玉泉构造样品分析化验资料较少, 该构造已有的资料无法支撑准确厘定油气成藏史。而紧邻玉泉构造北部的古珍构造录井并化验资料丰富, 与玉泉构造在断裂发育史、圈闭发育史上相似度高, 且二者均由中央洼陷平湖组供烃, 古珍构造的油气充注史可以与玉泉构造进行有效类比。周心怀等^[10]通过对古珍构造花港组盐包裹体的研究, 结合储层自生伊利石同位素测年技术, 明确古珍构造油气有效成藏期次为两期: 12~9 Ma 和 3 Ma 至

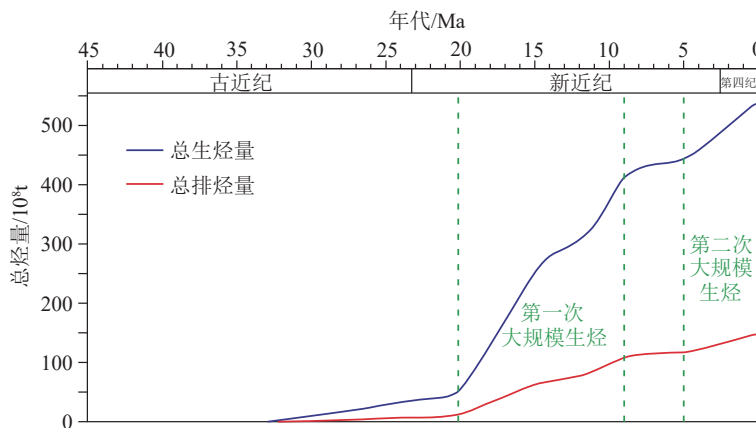


图 6 西湖凹陷中央洼陷生排烃量统计

Fig.6 Statistics of hydrocarbon generation and expulsion in central depression of Xihu Sag

今。第一期成藏对应龙井运动时期,为构造大规模挤压抬升期,且处于第一次大规模生排烃期内,该期H7已经致密,H3孔隙演化基本定型;第二期成藏对应冲绳运动时期,表现为大面积的区域沉降和海水侵入,处于第二次大规模生排烃期内,该期H5砂层组以下普遍致密。据此认为玉泉构造同样经历了龙井运动时期和上新世以来的两次油气充注期,下面依据玉泉构造唯一具有包裹体资料的YQ-1井盐水包裹体均一温度结合埋藏地温史准确厘定玉泉构造的油气充注时间。

玉泉构造流体包裹体主要集中在H7、H3和龙井组下段,H1层存在少量流体包裹体,鉴于各层捕获包裹体深度差异较大,反映的均一温度不集中,取各层内具有代表性深度段(小于80 m)内的盐水包裹体统计其均一温度,结果表明H7均一温度主要在145~165℃之间,H3均一温度主要为114~133℃,龙井组下段均一温度主要为83~94℃。结合埋藏地温史分析玉泉构造各层油气充注时间,H7自17.9 Ma以来基本一直处于油气充注期内,可能与H7砂层组靠近平湖组烃源岩且上覆H6为一套巨厚泥岩层有关,该层成藏时间为13.0 Ma至今;H3主要经历了14.6~11.4 Ma和4.2 Ma至今两期油气

充注,成藏时间为13.0~11.4 Ma和4.2 Ma至今两期;龙井组下段则为3.4 Ma至今晚期一期充注成藏(图7)。

3 油气成藏要素时空匹配关系

对油气聚集成藏要素进行“六史”综合分析,能够明确成藏要素时空匹配关系、有效性及油气聚集程度。前文已分析在两次油气成藏期内H7砂层组埋深两次至3820 m以下处于致密状态,从现今成岩阶段来看,深度3820 m刚好处于中成岩A₂期向中成岩B期转化的界线附近,3820 m以下为碱性成岩环境,原生孔大量减少,仅剩少量次生溶孔,深部储层致密后有利于油气向浅层运移。第一次大规模生烃阶段刚好处于玉泉构造挤压反转早期,NWW向断层于该期大量形成,背斜大量发育,对应油气第一期成藏;第二次大规模生排烃时期对应冲绳海槽运动期,为区域较稳定沉降期,该期断裂组合样式和圈闭基本定型,对应油气第二期成藏,玉泉构造油气成藏史与构造演化史、成岩史、生烃史、埋藏史、圈闭发育史“六史”耦合关系良好(图8)。

第一期油气成藏期虽然供烃洼陷生排烃强度较大,但玉泉构造正经历构造反转期,背斜尚处于

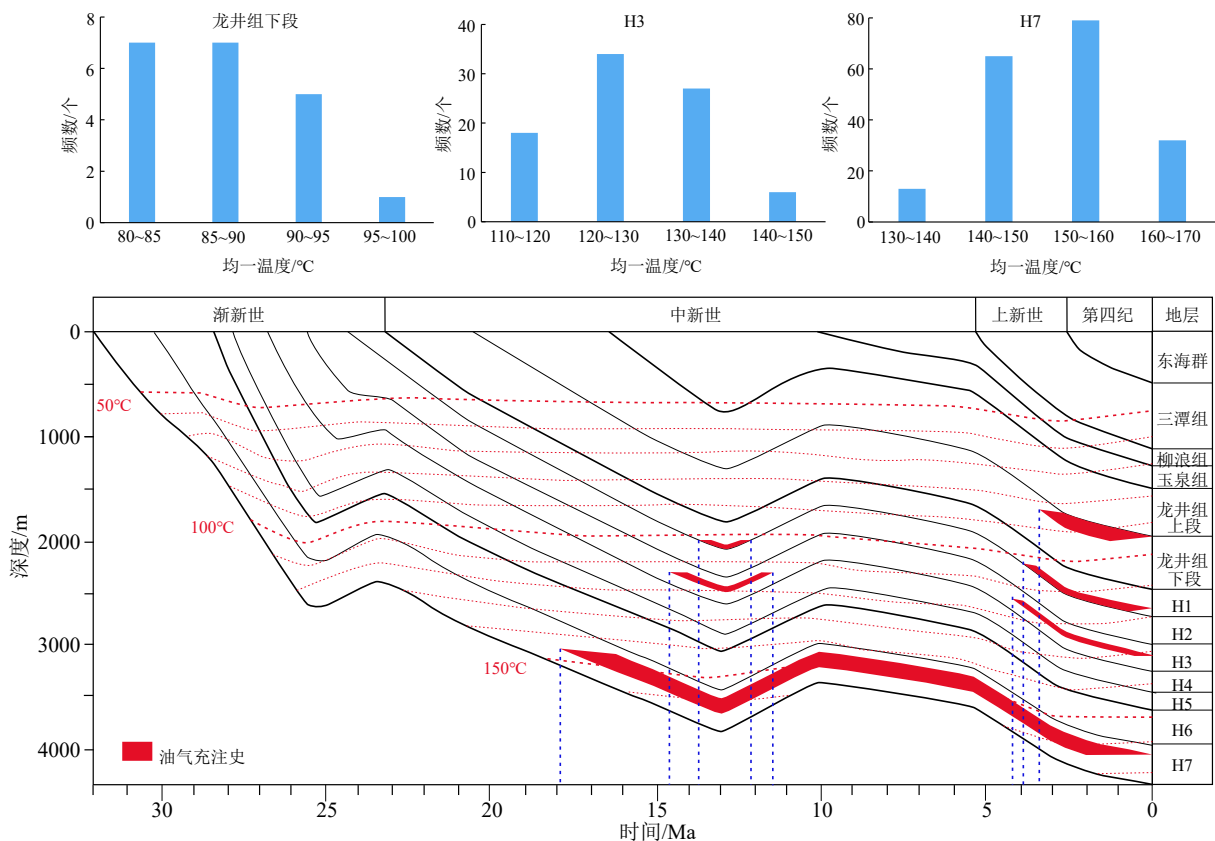


图7 西湖凹陷玉泉构造盐水包裹体均一温度分布及油气充注史分析图

Fig.7 Distribution of homogeneous temperature of the brine inclusion and analysis of hydrocarbon filling history in the Yuquan Structure

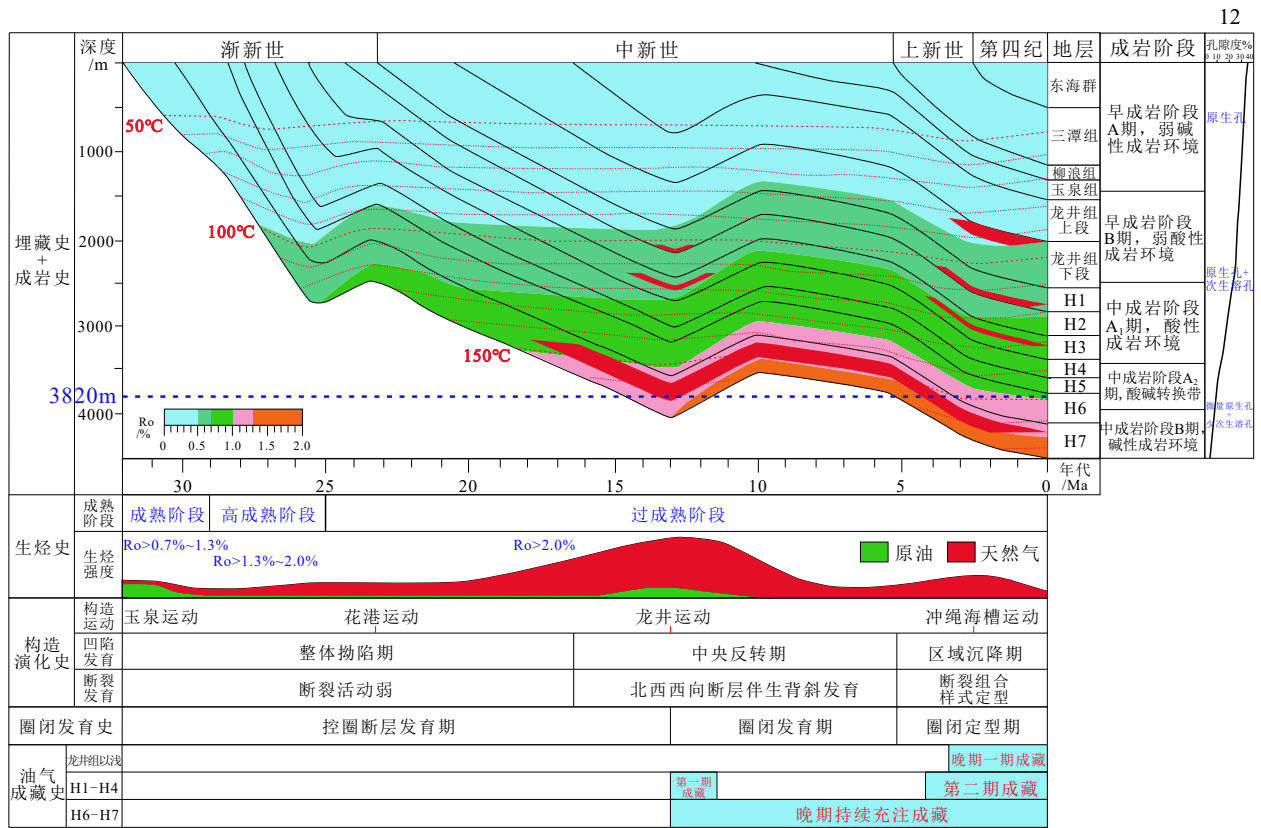


图 8 西湖凹陷玉泉构造“六史”综合演化示意图

Fig.8 Schematic diagram of geological evolution of the Yuquan structure, Xihu Sag

雏形和发育阶段, 油气成藏规模并未成型, 而第二次成藏期内断裂组合样式与圈闭均已定型且区域较稳定沉降, 再加上现今油气分布以干气为主, 与第二次大规模生烃期排烃类型相符, 因此, 晚期 4.2 Ma 以来的油气充注最为有利。综合来看, 花港组下段 H6—H7 为晚期油气持续充注成藏, 但储层物性较差; 花港组上段为两期油气充注成藏且第二期为主要油气成藏期, 成藏时间与两次大规模生烃期、挤压反转早期和晚期、中成岩阶段 A 期时空匹配关系良好, 储层物性较好; 龙井组及更浅层位整体为晚期一期规模成藏, 与第二次大规模生烃期、挤压反转晚期、早成岩阶段 B 期时空匹配关系良好, 储层物性最好。

4 有利勘探方向预测

根据前文玉泉构造“六史”分析及其时空匹配关系研究, 早期发育的 NE 向断层 F1、F2、F3 持续活动, 沟通烃源岩, 玉泉构造北部、古珍双向持续供烃, 油气藏规模明显大于其他地区(图 9)。晚期发育的 NWW 向断层多下断至花港组上段底部的 H5 砂层组, 其活动时间与构造反转期、圈闭形成期

及第一期油气充注时间相似, 不利于油气的保存, 对花港组上段气藏有较大的破坏作用, 这是玉泉构造各井区花港组上段油气充满度明显低于古珍油气充满度的主要原因。同时, 应该注意到, 晚期发育的 NWW 向断层在破坏花港组上段油气藏的同时, 油气沿断层运移至龙井组及更浅层位, 在龙井组有利圈闭聚集成藏, 如 YQ-1 井区龙井组下段顶部, 探明天然气储量达 30 亿 m³。另外, 花港组下段虽然自 13.0 Ma 以来油气持续充注, 油气成藏期与两次大规模生烃期及圈闭发育期耦合良好, 但由于经历过深埋, 处于中成岩阶段 B 期, 储层物性较差, 以当前技术水平来看, 该段基本不具有经济开发价值。

由此总结出玉泉构造乃至整个中央反转构造带寻找有利勘探目标的关键条件, 对于花港组目标应具备以下条件: ① 靠近早期发育的 NNE 油源断层; ② 避开晚期 NWW 向调节断层; ③ 以花港组上段为勘探主要目的层。对于龙井组及以浅层位的目标应具备条件: ① 紧邻晚期 NWW 向调节断层; ② NWW 向调节断层向下切穿花港组 H3—H5 储层。

综上, 认为 YQ-3 井区北部、YQ-1 井区北部花港组上段与 YQ-3 井区 NWW 向断层上盘龙井组、YQ-1 井区龙井组上段为有利勘探区(图 5c、图 9)。

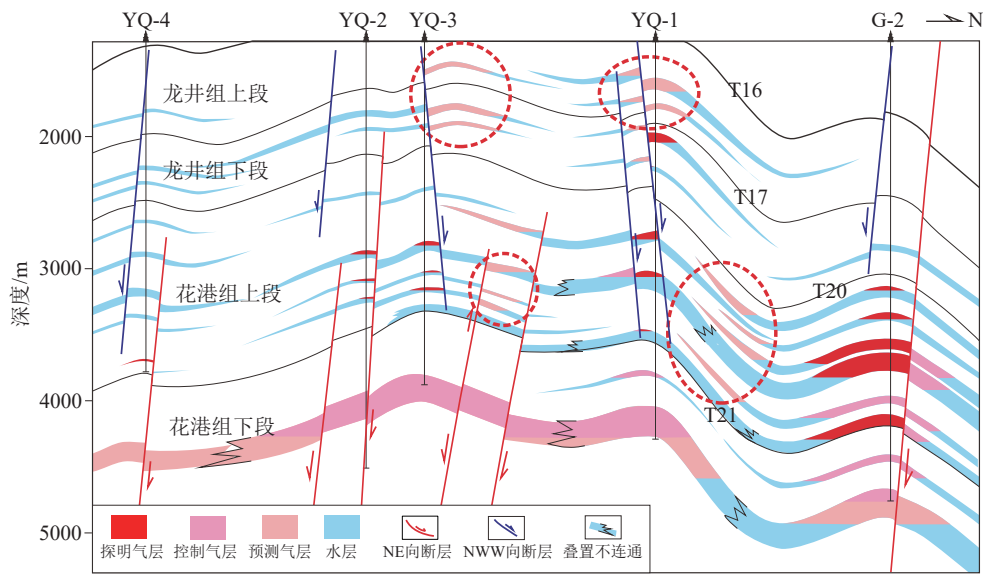


图9 西湖凹陷玉泉构造近南北向气藏剖面图

剖面位置见图5c②。

Fig.9 The near N-S gas reservoir profile of Yuquan structure in Xihu Sag

See Fig. 5c② for profile location.

5 结论

(1) 玉泉构造断裂发育主要经历了前挤压反转期、挤压反转早期和挤压反转晚期3个阶段, NWW向调节断层在挤压反转早期发育于构造局部高点, 在挤压反转晚期断层活动趋于稳定, 同时挤压反转早期和挤压反转晚期也是圈闭发育和圈闭定型的重要阶段。

(2) 玉泉构造花港组下段H6—H7自13.0 Ma以来油气持续充注成藏至今, 但储层物性较差; 花港组上段为13.0~11.4 Ma和4.2 Ma至今两期油气充注成藏且第二期为主要油气成藏期, 成藏时间与两次大规模生烃期、挤压反转早期和晚期、中成岩阶段A期时空匹配关系良好, 储层物性较好; 龙井组及更浅层位整体为3.4 Ma至今一期充注成藏, 与第二次大规模生烃期、挤压反转晚期、早成岩阶段B期时空匹配关系良好, 储层物性最好。

(3) 玉泉3井区北部、玉泉1井区北部花港组上段与玉泉3井区NWW向断层北翼龙井组、玉泉1井区龙井组上段为玉泉构造的有利勘探区。

参考文献 (References)

[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] 刘金水, 邹玮, 李宁, 等. “储保耦合”控藏机制与西湖凹陷大中型油气田勘探实践[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 11-19. [LIU Jinshui, ZOU Wei, LI Ning, et al. Hydrocarbon accumulation control mechanism of reservoir-conservation coupling and its large and medium-sized fields exploration practice in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2019, 31(3): 11-19.]
- [3] 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.]
- [4] 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. [ZHANG Guohua. Origin mechanism of high formation pressure and its influence on hydrocarbon accumulation in Xihu Sag [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(2): 1-8.]
- [5] 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. [CHEN Zhiyuan, XU Zhixing, XU Guosheng, et al. Coupling relationship between abnormal overpressure and hydrocarbon accumulation in a central overturned structural belt, Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(3): 570-581.]
- [6] 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.]

- [7] 邹玮, 余一欣, 刘金水, 等. 东海盆地西湖凹陷中央反转构造带发育主控因素及宁波背斜形成过程[J]. 石油学报, 2021, 42(2): 176-185. [ZOU Wei, YU Yixin, LIU Jinshui, et al. Main controlling factors of the central inversional structure belt and the development of Ningbo anticline in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2021, 42(2): 176-185.]
- [8] 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, 1218. [LIU Jinshui, LI Shuxia, QIN Lanzhi, et al. Hydrocarbon generation kinetics of Paleogene coal in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2020, 41(10): 1174-1187, 1218.]
- [9] 苏奥. 东海盆地西湖凹陷中央反转构造带油气成藏控制因素[D]. 中国地质大学硕士学位论文, 2014. [SU Ao. Controlling factors of oil and gas accumulation of central inversion tectonic belt in Xihu Depression, East China Sea Basin[D]. Master Dissertation of China University of Geosciences, 2014.]
- [10] 周心怀, 徐国盛, 崔恒远, 等. 东海西湖凹陷中央反转构造带古近系花港组致密砂岩储集层裂缝发育特征与油气成藏关系[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(3): 462-475. [ZHOU Xinhui, XU Guosheng, CUI Hengyuan, et al. Fracture development and hydrocarbon accumulation in tight sandstone reservoirs of the Paleogene Huagang formation in the central reversal tectonic belt of the Xihu Sag, East China Sea [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(3): 462-475.]
- [11] 陈智远, 徐志星, 陈飞, 等. 异常高压与油气充注的耦合性: 以东海陆架盆地西湖凹陷花港组和平湖组为例[J]. 石油实验地质, 2017, 39(2): 186-194. [CHEN Zhiyuan, XU Zhixing, CHEN Fei, et al. Coupling of abnormal overpressure and hydrocarbon charging: a case from the Huagang and Pinghu formations of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(2): 186-194.]
- [12] 徐陈杰, 叶加仁, 刘金水, 等. 东海西湖凹陷天然气成藏时期的关键证据: 气烃包裹体[J]. 天然气工业, 2021, 41(11): 64-73. [XU Chenjie, YE Jiaren, LIU Jinshui, et al. Key evidence of gas accumulation period in Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin: gas hydrocarbon inclusion [J]. *Natural Gas Industry*, 2021, 41(11): 64-73.]
- [13] 张绍亮, 张建培, 唐贤君, 等. 东海西湖凹陷断裂系统几何学特征及其成因机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 87-94. [ZHANG Shaoliang, ZHANG Jianpei, TANG Xianjun, et al. Geometry characteristic of the fault system in Xihu Sag in East China Sea and its formation mechanism [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(1): 87-94.]
- [14] 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.]
- [15] 李祥权, 刘金水, 陆永潮, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷花港组原型盆地性质厘定[J]. 地球科学, 2018, 43(2): 502-513. [LI Xiangquan, LIU Jinshui, LU Yongchao, et al. Prototype basin characterization of Huagang formation of Xihu Depression, East China Sea Shelf Basin [J]. *Earth Science*, 2018, 43(2): 502-513.]
- [16] 魏恒飞, 陈践发, 陈晓东, 等. 西湖凹陷平湖组滨海型煤系烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 487-497. [WEI Hengfei, CHEN Jianfa, CHEN Xiaodong, et al. The controlling factors and sedimentary environment for developing coastal coal-bearing source rock of Pinghu formation in Xihu Depression [J]. *Geology in China*, 2013, 40(2): 487-497.]
- [17] Kang S L, Shao L Y, Qin L Z, et al. Hydrocarbon generation potential and depositional setting of Eocene oil-prone coaly source rocks in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. *ACS Omega*, 2020, 5(50): 32267-32285.
- [18] 徐陈杰, 叶加仁, 刘金水, 等. 东海西湖凹陷平湖组III型干酪根暗色泥岩生排烃模拟[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(2): 359-366. [XU Chenjie, YE Jiaren, LIU Jinshui, et al. Simulation of hydrocarbon generation and expulsion for the dark mudstone with type-III kerogen in the Pinghu formation of Xihu Sag in East China Sea Shelf Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(2): 359-366.]
- [19] Wang Y X, Chen J F, Pang X Q, et al. Hydrocarbon generation and expulsion of tertiary coaly source rocks and hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2022, 229: 105170.