

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019070601

东海陆架盆地西湖凹陷 Y 构造油气成藏过程及勘探启示

覃军, 蒋一鸣, 李宁, 常吟善, 赵洪, 廖凯飞

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要: 为了给 Y 构造下一步评价决策提供成藏支撑, 打破勘探瓶颈, 本文利用已钻井油气分布特征, 综合平衡剖面、多指标油气源综合对比、流体包裹体、盆地模拟等技术研究了 Y 构造成藏过程。结果表明: Y 构造 23 Ma—现今共经历 3 期成藏, 最终导致花港组下段聚集规模最大, 中间的花港组上段为“过路成藏”, 而龙井组以上油气藏小而散; “北强南弱”的挤压机制控制了油气“北富南贫”的总体格局; 龙井运动形成的横张断层是控制花港组上段及以上油气纵向分布格局的关键; 第一个成藏期内构造中北部花港组下段发育古油藏的局部构造是寻找甜点的有利方向。

关键词: 3 期成藏; 过路成藏; 北富南贫; 横张断层; 古油藏; Y 构造; 西湖凹陷

中图分类号: P736.1 文献标识码: A

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

QIN Jun, JIANG Yiming, LI Ning, CHANG Yinshan, ZHAO Hong, LIAO Kaifei

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: In order to support the next cycle of hydrocarbon resource evaluation and decision making process for the structure Y in the East China Sea Shelf Basin so as to break the bottleneck of future exploration, the hydrocarbon accumulation process of the structure Y was studied by means of balanced sections, multi-index comprehensive correlation of oil and gas sources, fluid inclusions and basin simulation. Results show that the structure has suffered three stages of hydrocarbon accumulation since 23 Ma, which eventually leads to the largest accumulation of hydrocarbon in the lower part of the Huagang Formation. The upper part of the Middle Huagang Formation only has hydrocarbon accumulated while it passes by the structure, and the reservoirs above the Longjing Formation are small and occasionally filled by oil and gas. The compression framework, which is “strong in north and weak in south”, controls the overall distribution pattern which is “rich in north and poor in south”; the transverse tensional fault formed by the Longjing movement is the key to control the vertical distribution pattern of oil and gas in the sequence of the upper Huagang Formation and above. Paleo-reservoirs in the lower part of Huagang Formation formed during the first reservoir forming period are the favorable direction for finding new sweet spots.

Key words: three stages of hydrocarbon accumulation; passing by hydrocarbon accumulation; hydrocarbon rich in north and poor in south; transverse tensional fault; paleo-reservoirs; Structure Y; the Xihu Sag

Y 构造是东海陆架盆地迄今为止已发现的最大背斜构造, 面积逾 500 km²。自 1985 年至 2015 年, 该构造共钻探井 4 口, 揭示三级地质储量超 2 亿吨油当量, 但探明程度不到 5%, 勘探陷入瓶颈。已钻井揭示从 1 800 m 到 4 400 m、纵向上从中新统上部到渐新统底部都有油气显示; 而已钻 4 口井油气层对比关系较差、揭示出横向上油气分布的非均质性。前人对 Y 构造的成藏研究较少, 仅有学者从油

气侧向运移的角度讨论过本构造南部渐新统花港组的勘探潜力^[1]。近年的勘探实践中总结发现, 多期构造演化与不同性质断裂发育的背景控制 Y 构造的成藏过程多期性与复杂性, 并且这种复杂性显示出构造不同部位油气分布存在差异性, 制约了该构造下一步钻探评价决策。本文从已钻油气分布特征出发, 结合平衡剖面、多指标油气源综合对比、流体包裹体、盆地模拟等技术研究了 Y 构造成

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“东海盆地天然气资源潜力评价”(2016ZX05027-001)

作者简介: 覃军(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海洋石油勘探地质综合研究, E-mail: qinjun2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2019-07-06; 改回日期: 2019-08-15. 蔡秋蓉编辑

藏过程,分析了该构造成藏关键要素,并指出不同期次油气藏的勘探方向,为下一步钻探评价决策提供依据。

1 研究区概况

西湖凹陷是东海陆架盆地内规模较大的新生代含油气凹陷,位于浙东拗陷东部。西湖凹陷新生代经历了断陷—拗陷—区域沉降3大期演化阶段,目前揭示的沉积地层主要为始新统宝石组—第四

系(图1)。其内部可进一步划分为西部斜坡带、中央洼陷带、东部断阶带3大次级构造带(图1)。其中中央洼陷带发育一系列反转背斜构造,Y构造属于其中之一,位于中央洼陷带中部,为轴线近北北东向的大型挤压背斜,北窄南宽、北陡南缓,平面上轴线略成“S”型,自三潭组底界到花港组底界继承性发育圈闭,内部发育多个局部高点,局部高点附近共钻4口探井(图1),中部高点的Y2井和北部高点Y4井测试获得高产油气流。

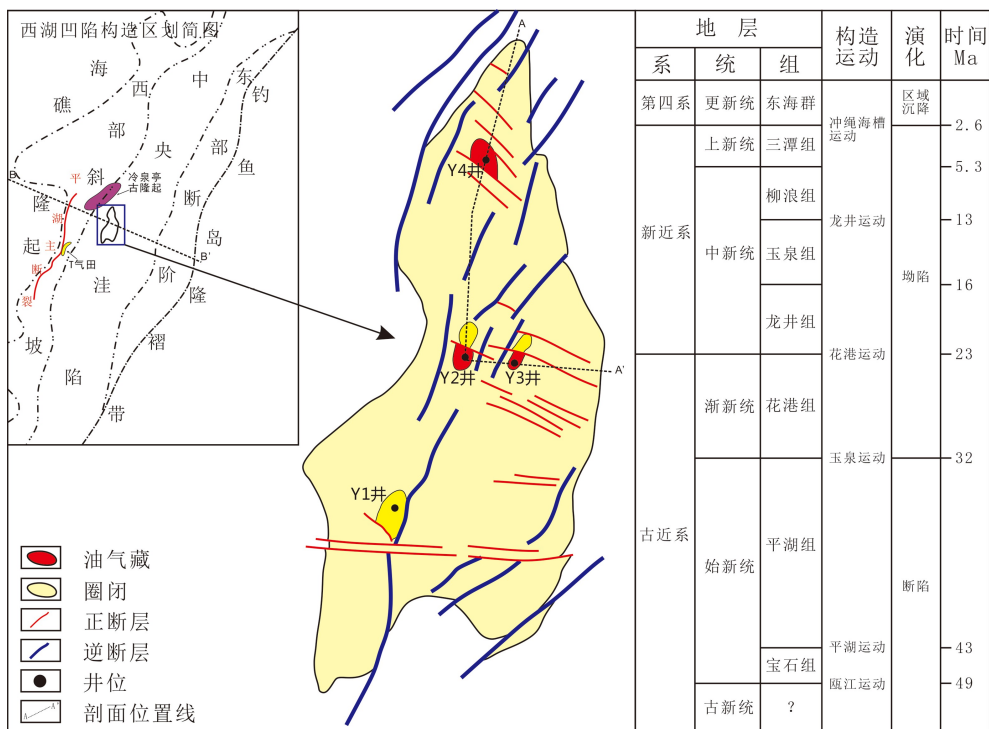


图1 Y构造区划图与地层简表

Fig.1 Tectonic map of the study area and stratigraphic chart

2 油气分布与来源

2.1 油气分布特征

Y构造已钻4口探井均发现油气,整体以气为主。纵向上,油气主要分布在花港组、龙井组,龙井组以上缺乏测录井资料。其中花港组下段(从上往下包含H6—H10共5个砂层组)以低渗—致密气藏为主,4口探井揭示花下段都未见水,若非气层则为干层;花港组上段以常规—低渗气藏为主,除个别薄气层外,花港组上段(从上往下包含H1—H5共5个砂层组)中厚层多数见水;龙井组钻揭常规油气藏。横向上,已揭示油气主要分布在中部和北部

(图2),南部已揭示成藏规模相对较小。

此外,近两年通过解剖本构造Y4井龙井组已钻遇气层的地球物理响应特征,在龙井组上部、玉泉组、柳浪组甚至三潭组等浅部层系内识别出一系列类似的异常区;即同时具有常规振幅异常(图3A)、3类AVO特征(图3C),并且平面上地震异常范围和构造圈闭线叠合良好(图3B);这些浅部层系的地球物理异常区极大可能是油气藏。

2.2 油气来源分析

2.2.1 天然气成因来源

Y4井花港组上段上部和花港组下段上部DST测试取得天然气样品的乙烷碳同位素($\delta^{13}C_2$)为-23.9‰~-23.6‰,同位素较重;且天然气样品

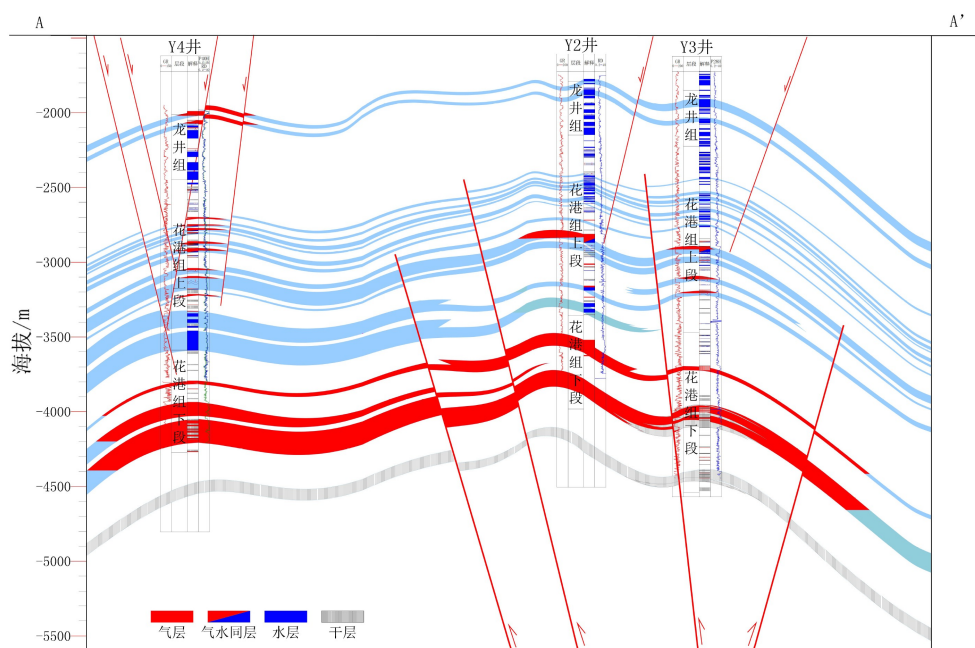


图 2 Y 构造气藏剖面图 (剖面位置见图 1)

Fig.2 A profile of the oil and gas accumulation in Structure Y

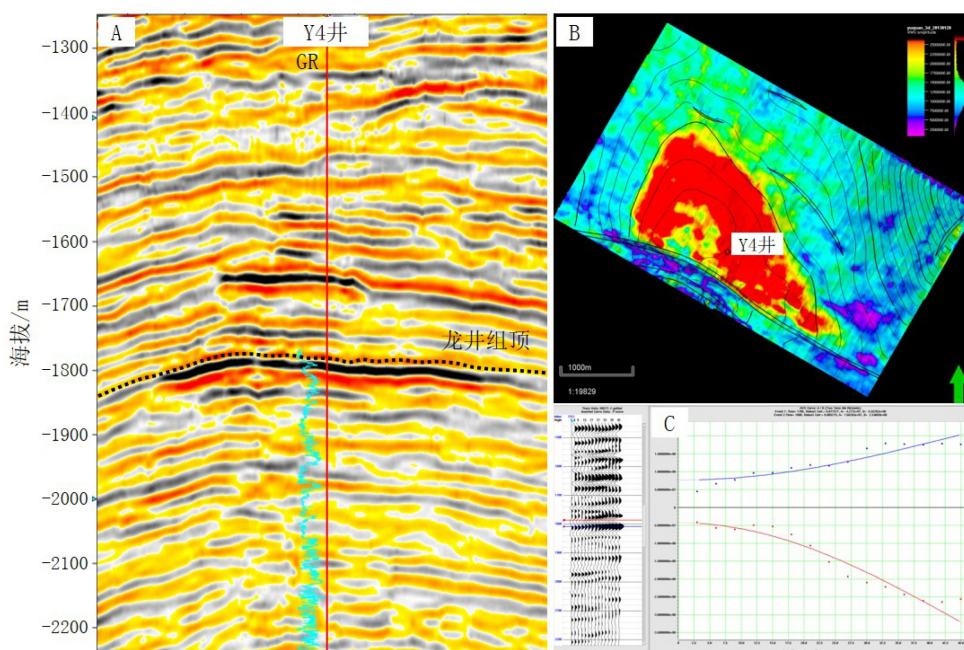


图 3 Y 构造浅部层系待证实油气藏地球物理响应特征

A. 常规地震剖面, B. 均方根振幅属性与构造等值线叠合图, C. 叠前道集 AVO 特征曲线

Fig.3 Geophysical response characteristics of oil and gas reservoirs to be confirmed in the structure Y

A. conventional seismic profiles, B. overlapping maps of RMS amplitude attributes and tectonic isolines, C. AVO characteristic curves of prestack gathers

的 C_7 同系物中甲基环己烷 ($MCyC_6$)—二甲基环戊烷 ($\Sigma DMCyC_5$)—正庚烷 (nC_7) 三者的相对百分含量中甲基环己烷占 57.89%~61.76%, 说明本区天然气的母质来源应主要为陆源高等植物^[2-3], 母源有机质类型属于腐殖型、沉积环境偏氧化。天然气干燥系数 ($C_1/\Sigma C_1-C_5$) 为 0.96~0.97, 属于典型的干气; 甲

烷碳同位素 ($\delta^{13}C_1$) 为 -29.6‰~-22.6‰, 根据刘文汇的腐殖型天然气甲烷碳同位素演化二阶段分馏模式计算对应的 Ro 值为 1.7%~3.5%^[4], 属于典型的高—过成熟气。Y4 井龙井组的 MDT 天然气样品组分特征与花港组极为相似, 干燥系数 0.96。

Y2 井区 3 408 m 实测 Ro 值为 1.07%, 在此基础

上利用 PetroMod 盆地模拟求得 Y 构造花港组下段底部成熟度至今未达 2.0%, 从天然气成因环境和热演化分析来看, Y 构造已钻获的天然气应来自平湖组及以下。

2.2.2 油源对比

Y 构造的油究竟是否来自平湖组, 至今没有达成共识。从原先的圈闭发育认识与热史分析来看, 油不太可能来自平湖及以下的层位, 原先认为圈闭的形成时期(龙井运动期)平湖组及以下的烃源岩早已过了生油窗、甚至已达到过成熟裂解干气的阶

段。本文认为, Y 构造的油应以平湖组来源为主, 只是成藏过程曲折。

由于本构造没有钻揭平湖组, 油源对比选取西部斜坡带 T 气田(图 1)平湖组自生自储的确定性油样以及烃源岩样品进行对比^[5]。该气田虽处斜坡带, 但平湖组时期属于局部洼陷背景, 烃源岩地球化学特征与中央洼陷差异相对较小。综合来看, Y 构造已钻获的油与 T 气田平湖组更具亲缘关系(表 1, 图 4), 而与自身花港组烃源岩存在较为明显的差异: Y4 井花港组原油和 T 气田平湖组油样中

表 1 Y 构造综合油源对比
Table 1 Comprehensive oil source correlation for structure Y

井号	层位	样品类型	二萜含量	γ 蜡烷指数	Ts/Tm	C ₂₇ -C ₂₈ -C ₂₉ 分布型式	Pr/Ph
Y4井	花港组	泥岩	低	0.34	1.22	“L”型	0.16
Y4井	花港组	油	高	0.45	0.55	反“L”型	4.7
Y4井	花港组	油	高	0.48	0.61	反“L”型	5.2
T气田	平湖组	油	高	0	0.37	反“L”型	5.5
T气田	平湖组	泥岩	高	0.17~0.38	0.33~0.43	反“L”型	3.02~6.29

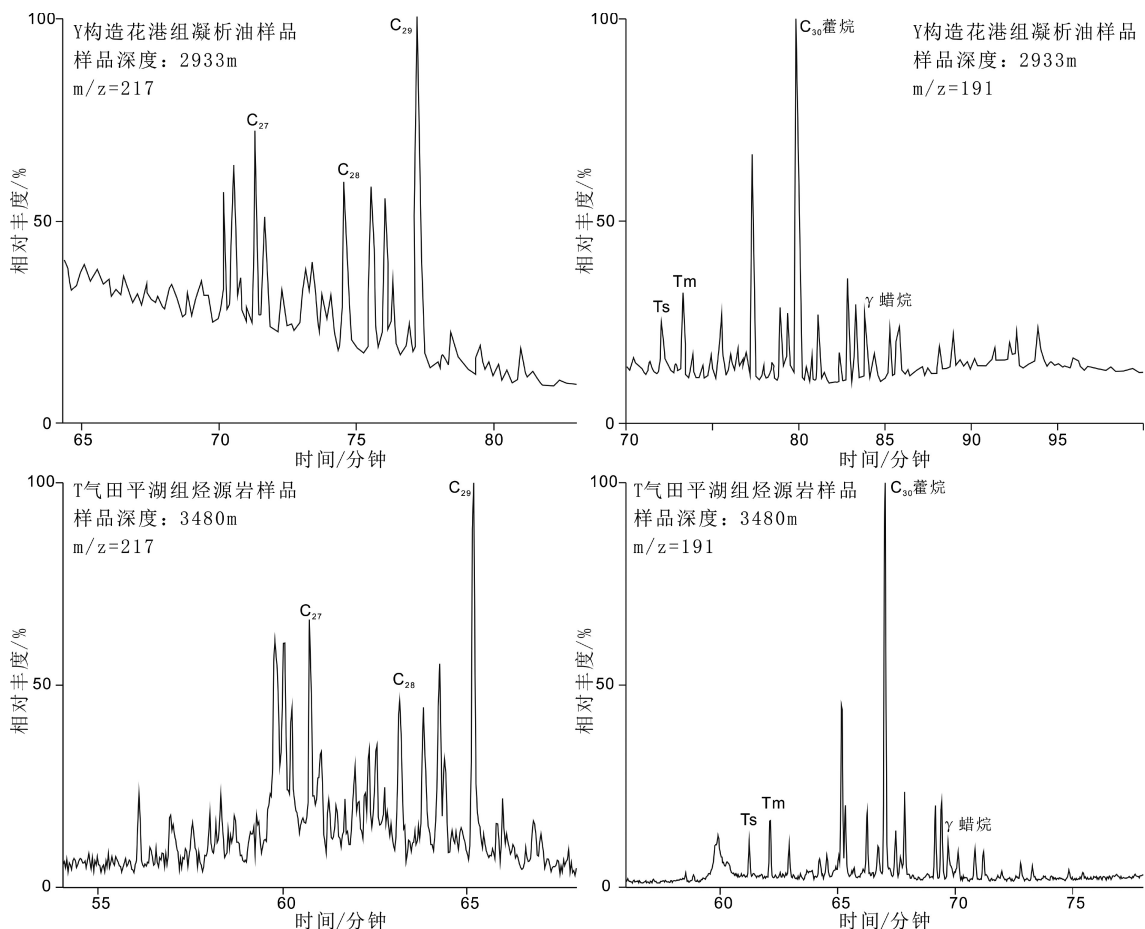


图 4 Y 构造凝析油与 T 气田烃源岩质量色谱图对比

Fig. 4 Comparison of quality chromatograms of source rocks of the condensate oil between Structure Y and T gas field

检测到二萜类化合物很高的含量、伽马蜡烷含量较低或者未检测到伽马蜡烷、藿烷系列绝对的 Tm 优势、规则甾烷绝对的 C₂₉ 优势、很高的姥植比, 表明原油的母质来源应以陆生高等植物为主、母质沉积环境偏氧化, 但前者比后者得沉积环境相对偏还原。而 Y4 井花港组的泥岩样品中检测到较少的二萜类化合物、伽马蜡烷含量较低、藿烷系列绝对的 Ts 优势、规则甾烷绝对的 C₂₇ 优势、极低的姥植比, 反映水生生物的有明显的贡献、母质沉积环境偏还原。

3 成藏过程

3.1 圈闭与断裂发育

3.1.1 挤压过程与圈闭发育史

Y 构造是受西侧冷泉亭古隆起刚性约束形成的挤压背斜群中的主体背斜, 由于冷泉亭古隆起的主体更靠近 Y 构造北部, 导致北部形变空间更小且形

变更强烈, 整个构造呈现出北陡南缓、北窄南宽的近“S”型格局。该构造经历 3 期挤压^[6-11], 第 1 期挤压发生在始新世晚期—渐新世早期, 即平湖组沉积后受玉泉运动的影响具弱挤压性质, 西湖凹陷发生局部抬升反转, 此次反转主要发生在西部斜坡带, 中央洼陷带的强度较小, 反转主要是改造或者强化了断陷期形成的滚动背斜, Y 构造区在该时期形成幅度微弱的背斜; 第 2 期挤压发生在花港组沉积末期, 受花港运动的影响具有相对较强的挤压性质, 该期挤压主要在东部陡断带较为强烈, 断陷期形成的大型西倾陡断层发生反转, 形成系列大型反冲叠瓦构造; 自东向西构造响应逐渐减弱, Y 构造在该时期发育低幅背斜; 第 3 期挤压发生在中中新世末, 受龙井运动的影响西湖凹陷遭受强烈的水平挤压, 反转在西湖凹陷全凹性发育, 众多局部构造经过这次的运动得到加强。该期反转在中央洼陷带表现最为强烈, Y 构造的形成主要依靠龙井运动的这期挤压(图 5)。

龙井运动在本构造的构造响应起于玉泉组上

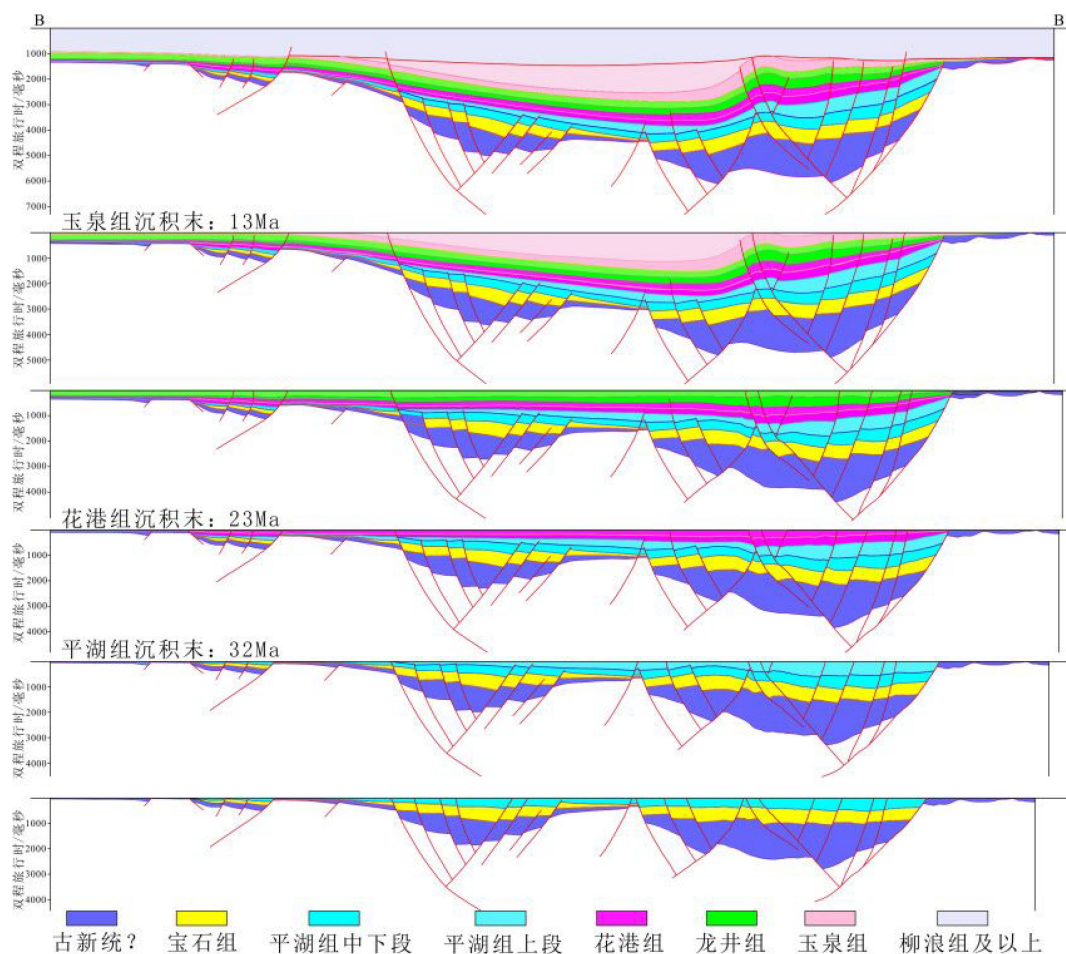


图 5 过 Y 构造并横跨西湖凹陷平衡地质剖面 (剖面位置见图 1)

Fig.5 Balanced section across Structure Y and the Xihu Sag

段沉积时期、终于三潭组沉积早期,可划分为3个阶段:①玉泉组上段沉积时期为龙井运动鼎盛时期,背斜顶部露出沉积基准面遭受强烈剥蚀、而向斜部位仍有地层沉积,地震剖面上背斜翼部上超特征明显,Y构造主要在该时期发育;②柳浪组沉积时期,盆地发展开始从坳陷向区域沉降转换,水平挤压推力显著减弱但仍然存在、发育同沉积褶皱,背斜顶部厚度小、翼部厚大,Y构造在该时期持续蠕动、背斜幅度有一定程度增大;③柳浪组沉积末期到三潭组沉积早期,西湖凹陷坳陷演化基本结束,进入稳定的区域沉降阶段,至三潭组中期,Y构造完全定型。

3.1.2 断裂发育期次与机制

Y构造主要发育北北东向和南东东向2组断层(图1)。北北东向断层属于深大断裂,向下可能切入基底;向上主要消失于龙井组下部、个别可切入玉泉组;普遍具有“下正上逆”的特征,零断距点主要分布在平湖组顶部附近。北北东向断层的发育样式存在差异性:构造中部和北部以东倾主控、西倾调节的反“Y”字型组合为主,且断裂发育整体较多、逆断距较大;而构造南部以西倾阶梯状型组合为主,且断裂发育整体较少、逆断距较小。北北东向断裂最早为断陷期在平湖组及以下地层中发育的正断层,在3期挤压的过程中逐渐反转,花港组及以上沿先存破裂面发育逆断层及其伴生调节断层。其活动期次主要有3期,第1期为平湖组及以前的正断层,为控制洼陷中心沉积的生长断层;第2期为花港运动时期,先期的正断层发生反转,但由于东部陡断带该时期消耗了大部分反转能量导致活动有限,向下仅切入花港组下段为主,均未切出古地表;第3期为龙井运动强烈反转期,先存断裂面再次复活向上切入龙井组,在构造北部应力较强的区域甚至切入玉泉组,由于强烈挤压形成反“Y”字型背冲样式,但整体上由于龙井运动的逆冲强度有限,鲜有我国西部前陆盆地逆冲推覆带发育的切出古地表的“通天断层”。

南东东向断层均为“无根”的层间正断层,向下普遍消失于花港组上段中下部主力厚砂层,个别可切入花港组下段,向上普遍消失于三潭组。该类断层一般成对发育,倾向相反对掉而形成局部小地堑。西湖凹陷区域上,这类断层主要发育在中央反转构造带的背斜内,从南往北所有的背斜均发育这类断层,而西部斜坡带几乎不发育。关于这类断层的成因机制,目前没有统一认识^[12-13],本文认为由于目前只在背斜中发现这类断层,应属于纵弯褶皱外

弯层的横张,但又伴随微弱的压剪性左行走滑。当背斜发生倾伏时,沿枢纽方向引起局部拉伸,在外弯层形成垂直于背斜枢纽方向的横张断层,其开始的破裂面一般是一对共轭的扭裂面,导致形成一对倾向相反的正断层。总体上而言,北北东向断层和南东东向断层都属于挤压机制下形成,南东东向断层的主要活动期与龙井运动挤压逆断层的主活动期应基本一致,并且在龙井运动时期横张断层向上一一般都断出古地表。值得注意的是,前文已经分析过龙井运动从玉泉组上段沉积时期持续到三潭组沉积早期,虽然后期挤压应力大幅度减弱,但应力相对松弛之后背斜轴向拉伸仍然存在,所以与龙井运动鼎盛时期同期发育的横张断层在三潭组沉积早期甚至更晚仍有明显活动。即横张断层的发育也具有阶段性,只是相对龙井运动而言有一定的迟滞效应。

3.2 成藏过程分析

西湖凹陷已证实的区域性有效烃源层系主要为始新统宝石组和平湖组,这两套烃源岩区域上发育多个生烃中心,Y构造区域上处在宝石组和平湖组的中部生烃中心,前文已论述本构造已发现并取得地球化学资料的油气主要来源于平湖组。Y构造区平湖组中下部烃源岩在花港组沉积末期约23 Ma以生液态烃为主;玉泉组沉积末期约13 Ma平湖组整体进入生湿气(凝析气)高峰,约5 Ma进入大量干气阶段并持续至今。结合前述圈闭演化、断层活动、包裹体及油气来源分析,Y构造花港组及以上地层经历3期油气成藏(图6,图7)。

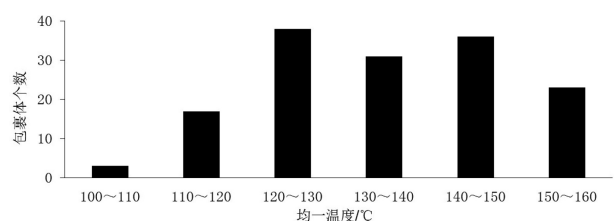


图6 Y3井花港组下段流体包裹体均一温度

Fig.6 Homogenization temperature of fluid inclusions in the lower Huagang Formation of Well Y3

3.2.1 23 Ma: 花港组下段第1期油藏

花港运动时期(花港组沉积末—龙井组沉积早期,约25~23 Ma),根据盆地模拟结果,平湖组中下部的烃源岩进入生液态烃高峰;Y构造此时受第2期挤压反转的控制花港组形成了宽缓的低幅度背斜圈闭;同时先存的北北东向断裂受弱挤压影响而

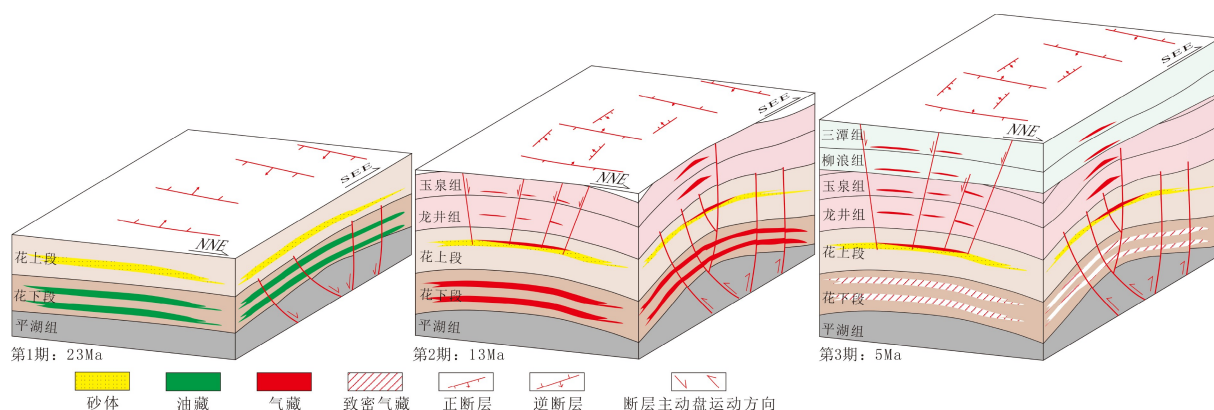


图 7 Y 构造成藏演化模式

Fig.7 Reservoir evolution in Structure Y

复活, 向上断入花港组下段中上部、未能断穿花港组下段, 为油气运移提供了输导通道; 原油沿着北北东向断层向上运移至花港组下段的低幅度背斜圈闭中聚集成藏, 但成藏规模较小、并且以油藏为主。Y 构造花港组目前所测得流体包裹体在紫外光照射下普遍未见荧光显示, 但 Y3 井花港组下段底部的 H10 砂层中的包裹体偶尔能见到弱荧光, 伴生盐水包裹体均一温度 120~130 °C, 对应该层约在 23 Ma 的古地温; 结合前述基于盆地模拟的生烃史以及基于平衡剖面的圈闭演化史, 综合推断 Y 构造花港组下段的低幅度古背斜约在 23 Ma 形成过古油藏。

3.2.2 13 Ma: 花港组与中下中新统第 2 期油气藏

龙井运动的鼎盛时期(玉泉组上段沉积时期、约 14~13 Ma), Y 构造发生第 3 期最强烈的构造反转, 强烈的水平挤压褶皱形成巨大背斜构造, 先存断裂强烈活动向上可断入玉泉组, 并且在外弯层发育与之走向垂直的横张断层。与此同时, 平湖组烃源岩演化进入大量生湿气阶段, 天然气沿深大断层向上运移至龙井组和玉泉组; 第 2 期反转在花港组下段形成的早期油藏此时被气侵后继续向上运移到上部层系中聚集成藏, 所以在 H2 层中取到油样

普遍具有后峰损失的现象, 就是由于 H2 层的油是花下段的早期油藏被气侵带走轻组分而形成, 前文述及 T 气田平湖组自生自储的油样则这不具备这种特征(图 8)。

这一期的运聚过程中, 花港组上段 H3—H4 砂层组圈闭在充注时期已多数被横张断层所切, 基本上只起到过路作用, 在成藏历史上聚集规模一直就较小。原先我们一直认为, H3 气藏之所以见水, 主要是因为被晚期断层破坏导致油气向浅层逸散。但从 Y4 井的 QGF 资料来看, 在 3 140 m 附近 QGF 指数约 5 突降到约 2(图 9), 而 3 140 m 是现今气水界面, 因此从现有资料来看 H3 层不具有比现今更大的古油藏特征^[14], 亦说明该层并不是“先成藏、后破坏”, 它只是 Y 构造纵向大跨度成藏的一个“过路成藏”。油气从该层系沿南东东向横张断层向上运移在浅部层系中聚集成藏, 但由于这一期成藏过程中, 是横张断层开始发育的主要时期, 多数是断出古地表的, 所以整体逸散较强, 浅部古油气藏主要保存在横张断层对掉形成小地堑内的和下降盘的局部自圈中, 或者在横张断层上升盘(被动盘)的断鼻内聚集成藏。

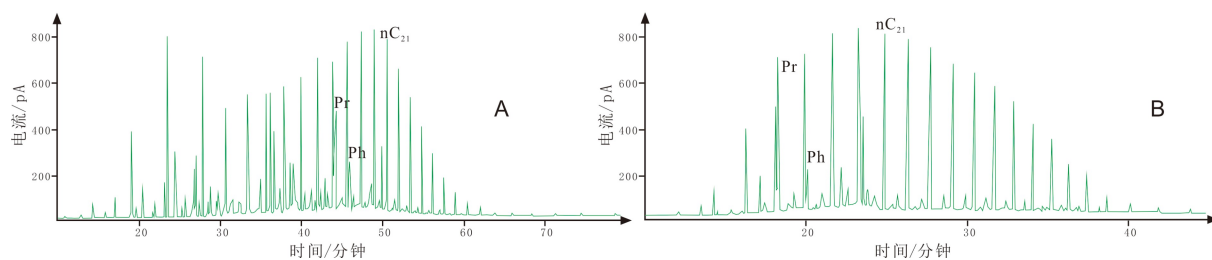


图 8 Y 构造花港组 (A) 与 T 气田平湖组 (B) 油样饱和烃色谱对比

Fig.8 Comparison of saturated hydrocarbon chromatogram between Huagang Formation of Structure Y(A) and Pinghu Formation of Tuanjieting field(B)

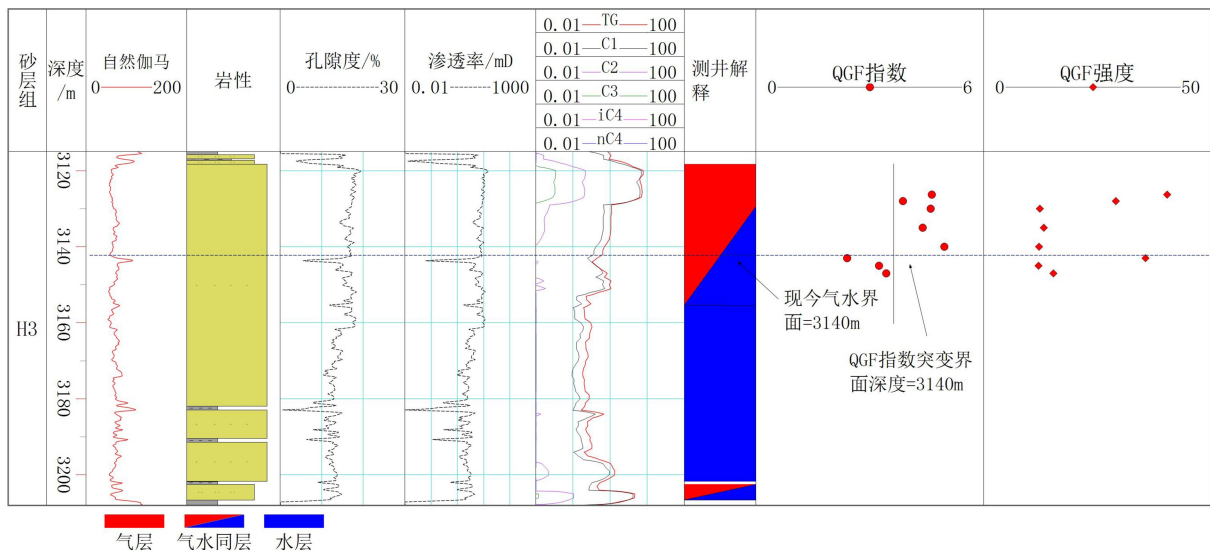


图9 Y构造Y4井H3砂层组QGF指数剖面

Fig.9 QGF index profile of H3 Sand Formation in Well Y4, Structure Y

3.2.3 5 Ma—现今：干气大量充注的第3期成藏

龙井运动的减弱期到结束期(三潭组沉积早期、约5 Ma), Y构造龙井组及以下背斜幅度有一定程度的增大, 而柳浪组和三潭组发育同沉积褶皱形成的低幅度背斜; 南东东向横张断层继续活动向上切出古地表(相当于现今的三潭组下部), 但相对第2期充注时期而言, 横张断层的活动性已大幅减弱, 只是沿先存破裂面的蠕动。此时平湖组烃源岩进入大量生气阶段, 干酪根裂解生成的大量天然气首先沿北北东向断层进入花港组, 花港组下段的优质储层优先充注形成大型气藏并保存至今, 而致密层则充注难度较大、部分为干层。花港组上段此时仍然主要起“过路成藏”作用为主, 成藏规模小, 其气柱高度取决于横张断层下部的封堵能力, 至今仍处在边充注边逸散的动态成藏过程中。由于横张断层活动减弱, 该期成藏过程中浅部保存条件相对变好、而运移条件相对变差, 即龙井组、玉泉组先期发育的油气藏规模开始动态增大。柳浪组和三潭组下部在该时期开始接受充注并形成气藏, 但规模较龙井组和玉泉组要更小, 气藏分布主要也是受控于横张断层, 主要保存在地堑和下降盘的自圈以及上升盘的断鼻内。

4 勘探启示

4.1 北北东向复活断裂控制油气分布总体格局

北北东向复活断裂是直接切入平湖组烃源岩层系的、Y构造第1层次的油源断裂。受冷泉亭古

隆起约束的影响, Y构造挤压应力场“北强南弱”, 平面上构造中北部发育的北北东向断裂在3期成藏历史上活动性相对强、逆断距大、破碎带更发育, 而南部的北北东向断裂在3期成藏历史上活动性一直都相对更弱; 而成藏期内, 油源断层的活动性越好、垂向沟通油气的能力就越好, 反之越差。作为直接沟通烃源岩层的、第1层次的油源断裂, 北北东向断裂复活期活动强度在平面上的差异性控制了Y构造油气分布的总体面貌, 是Y构造横向上差异成藏的最根本因素, 它导致了Y构造整体上呈现相对“北富南贫”的油气分布特征, 中北部的Y2、Y3、Y4井揭示的油气显示比南部的Y1井要丰富得多。所以宏观来看, 该构造的继续评价应先从中北部下手、落实之后再逐渐往南推。

4.2 南东东向横张断层控制中浅层油气分布

龙井运动时期开始发育的、并且下切入花港组的南东东向横张断层是Y构造内第2层次的油源断层, 第2期成藏以来对Y构造油气分布的纵向格局起关键控制作用。它们是促使花港组上段“过路成藏”并且将油气导入玉泉组及以上圈闭的主要通道, 同时也是浅部局部圈发育的控圈断层, 对浅部成藏具有双重意义。断层具有3层结构, 即中间的断层岩带和两侧的诱导裂缝带。断层岩带主要起封堵作用, 泥质涂抹强度和成岩强度决定封堵能力。两侧的诱导裂缝带发育存在差异, 横张断层而言, 下降盘发育诱导裂缝多, 主要起输导作用; 而上升盘发育诱导裂缝少, 当断层岩带同时具有封堵能力(横张断层的成岩强度非常弱、主要取决于涂抹

强度)时可以控制形成有效的断鼻圈闭,所以Y构造目前刻画的浅部“待证实油气藏”主要分布地堑内的自圈、下降盘的自圈以及上升盘的断鼻中,地堑和下降盘目前极少见到断封成藏。受控“北强南弱”的挤压作用,横张断层的发育也是“北多南少”,加之南部第1层次北北东向的复活断层输导能力相对又差,所以Y构造中浅层油气也主要发育在构造的中北部,南部规模相对更小;但在南部整个相对缓坡的背景下,岩性圈闭勘探可以作为中长期攻关方向。

4.3 第1期古油藏影响花港组下段甜点发育

从整体成藏格局来看,由于近源接受多期充注、并且没有受到横张断层切割,纵向上花港下段的成藏规模是最大的,4口探井均揭示多个气层并未见水。目前的问题在于,由于Y构造整体地温较高,平均梯度达3.5℃/100m以上,花港组下段成岩演化已到中成岩B期的中后期^[15-17],黏土矿物转化强烈,伊蒙混层中的伊利石含量高达75%~85%、伊利石含量高达45%~55%,这些丝片状、毛发状的伊利石极大的降低了储层渗透性,导致第3个成藏内天然气大规模生成时充注困难,寻找能够有效开发动用的甜点是花港组下段当前勘探的关键。前文已经述及,花港组下段第1期成藏是液态烃为主,目前来看第1期成藏对花港组下段的储层起保护作用,利于甜点发育。主要表现在两个方面:一方面液态烃类进入储层以后破坏了水介质的碱性环境^[18-22],进而抑制了伊利石的形成,气层伊利石含量相对低、而干层相对高。另一方面,由于整体地温较高,第1成藏形成的古油藏在后期埋藏过程中达到一定温度后(约140℃)开始规模性裂解(前文述及的饱和烃色谱后峰损失不排除裂解因素),过程中释放的有机酸有利于溶蚀扩大孔隙,同时也加强了超压环境进而保护储层。值得注意的是,原油裂解是一把双刃剑,过程中残余的沥青对储层的伤害也会是显著的。目前Y构造尚缺乏资料证明这一推测,未来对于花港组下段的勘探应加强第一期成藏的古油藏研究,对于寻找甜点应是具有积极意义的。

5 结论

(1)Y构造自渐新世末期开始进入成藏期,至今共经历3期成藏。花港组沉积末期的第1个成藏期以花港组下段油藏为主;玉泉组上段沉积时期的第

2个成藏期为主成藏期,此时花港组下段古油藏开始裂解、伴随干气的大量充注花港组上段、龙井组以及玉泉组形成气藏,其中由于花港组上段顶盖被南东东向的正断层切割而沦为“过路成藏”;三潭组沉积时期进入第3个成藏期,下层系油气继续沿南东东向正断层往浅部垂向运移,在柳浪组和三潭组下部成藏,油气主要分布在南东东向正断层伴生的局部构造圈闭内。

(2)北北东向反反复活逆断层的活动强度决定Y构造整体油气格局,由于构造中北部断层活动强度大于南部、油气垂向运移更活跃,因此,中北部的油气富集程度高于南部。南东东向正断层,控制花港组上段及以上层系的油气分布,由于南东东向正断层也是中北部多于南部,所以Y构造龙井组及以上层系的油气也主要发育在构造的中北部。成藏规模最大的花港组下段的关键问题是寻找甜点,而发育古油藏的位置则是寻找甜点的有利方向。

参考文献 (References)

- [1] 杨丽娜,陈琳琳,汤健,等.东海西湖凹陷玉泉构造成藏分析[J].*海洋石油*,2013,33(2):54-58.[YANG Lina, CHEN Linlin, TANG Jian, et al. Analysis of HC accumulation in Yuquan structure of Xihu Depression at East China Sea [J]. *Offshore Oil*, 2013, 33(2): 54-58.]
- [2] 苏奥,陈红汉,王存武,等.东海盆地西湖凹陷油气成因及成熟度判别[J].*石油勘探与开发*,2013,40(5):521-527.[SU Ao, CHEN Honghan, WANG Cunwu, et al. Genesis and maturity identification of oil and gas in the Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(5): 521-527.]
- [3] 刘建,张文慧,高翠欣,等.淮南霍玛吐背斜带天然气成因类型及来源[J].*海洋地质与第四纪地质*,2016,36(3):135-141.[LIU Jian, ZHANG Wenhui, GAO Cuixin, et al. Genetic type and source of the natural gas in HUO-MA-TUO anticline zone in the southern Junggar Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2016, 36(3): 135-141.]
- [4] 刘文汇,徐永昌.煤型气碳同位素演化二阶段分馏模式及机理[J].*地球化学*,1997,28(4):359-366.[LIU Wenhui, XU Yongchang. A two-stage model of carbon isotopic fractionation in coal-gas [J]. *Geochimica*, 1997, 28(4): 359-366.]
- [5] 李宁,覃军,江瀚,等.西湖凹陷T气田油气分布特征与主控因素[J].*断块油气田*,2017,24(3):329-332.[LI Ning, QIN Jun, JIANG Han, et al. Hydrocarbon distribution features and its main controlling factors of T gas field, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2017, 24(3): 329-332.]
- [6] 李居云,姜波,屈争辉,等.东海西湖凹陷构造演化及控煤作用[J].*煤田地质与勘探*,2016,44(5):22-27.[LI Juyun, JIANG Bo, QU Zhenghui, et al. Tectonic evolution and control of coal in Donghai Xihu Sag [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2016, 44(5): 22-27.]
- [7] 张远兴,叶加仁,苏克露,等.东海西湖凹陷沉降史与构造演化[J].

- 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 215-223. [ZHANG Yuanxing, YE Jiaren, SU Kelu, et al. The burial history and evolution of Xihu Depression [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(2): 215-223.]
- [8] 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 Chiyang, TIAN Jianfeng. Structural characteristics and main controlling factors of inversion structures in Donghai Xihu Depression [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 59-67.]
- [9] 胡梦颖, 李三忠, 戴黎明, 等. 西湖凹陷中北部反转构造动力学机制的数值模拟[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(4): 151-166. [HU Mengying, LI Sanzhong, DAI Liming, et al. Numerical dynamic modeling of tectonic inversion in the northeastern Xihu Sag [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017, 37(4): 151-166.]
- [10] 何将启. 东海西湖凹陷构造-热历史分析[D]. 同济大学博士学位论文, 2004. [HE Jiangqi. Tectono-thermal history of Xihu Depression, East China Sea[D]. Doctor Dissertation of Tongji University, 2004.]
- [11] 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.]
- [12] 谢月芳, 陈敏娟, 王坚勇. 东海西湖凹陷浙东中央背斜带中南部油气成藏规律与晚期剪切断层的关系统探讨[J]. 海洋石油, 2002(2): 8-13. [XIE Yuefang, CHEN Minjuan, WANG Jianyong. Pattern of oil and gas accumulation in the south and middle part of Zhedong Central Anticline area [J]. *Offshore Oil*, 2002(2): 8-13.]
- [13] 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.]
- [14] 刘可禹, 鲁雪松, 桂丽黎, 等. 储层定量荧光技术及其在油气成藏研究中的应用[J]. 地球科学, 2016, 41(3): 373-384. [LIU Keyu, LU Xuesong, GUI Lili, et al. Quantitative fluorescence techniques and their applications in hydrocarbon accumulation studies [J]. *Earth Science*, 2016, 41(3): 373-384.]
- [15] 刘金水, 唐健程. 西湖凹陷低渗透层微观孔隙结构与渗流特征及其地质意义--以HY构造花港组为例[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 18-23. [LIU Jinshui, TANG Jiancheng. Microscopic pore texture and percolation features in the low permeability reservoirs and their geological significance in Xihu Sag: A case of Huagang Formation in HY structure [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(2): 18-23.]
- [16] 张武, 徐发, 徐国盛, 等. 西湖凹陷某构造花港组致密砂岩储层成岩作用与孔隙演化[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2012, 39(2): 122-129. [ZHANG Wu, XU Fa, XU Guosheng, et al. Diagenesis and pore evolution of Huagang Formation tight sandstone reservoirs in a structure of Xihu Depression in East China Sea Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2012, 39(2): 122-129.]
- [17] 孙相灿, 杨传胜, 于兴河, 等. 冀中坳陷深县凹陷古近系碎屑岩储层成岩作用及成岩演化序列分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(2): 135-142. [SUN Xiangcan, YANG Chuansheng, YU Xinghe, et al. Diagenesis and diagenetic sequence of Paleogene sandstone reservoir in Shenxian Depression, Jizhong Sub-Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(2): 135-142.]
- [18] 纪友亮, 高崇龙, 刘玉瑞, 等. 高邮凹陷阜一段油气充注对储层物性演化的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2015, 43(1): 133-139. [JI Youliang, GAO Chonglong, LIU Yurui, et al. Influence of hydrocarbon charging to the reservoir property in 1st member of funning formation in Gaoyou Depression [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2015, 43(1): 133-139.]
- [19] 宋世骏, 柳益群, 郑庆华, 等. 含凝灰质致密油层成岩作用与原油充注特点: 以鄂尔多斯盆地西北部长4+5段为例[J]. 地质科技情报, 2018, 37(5): 54-62. [SONG Shijun, LIU Yiqun, ZHENG Qinghua, et al. Diagenesis and oil filling characteristics of tuffaceous tight reservoir: a case study of Chang 4+5 member in Northwest of Ordos Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2018, 37(5): 54-62.]
- [20] 孟元林, 潘雪梅, 吴河勇, 等. 松辽盆地北部中浅层含油饱和度和孔隙度的关系与油气侵位对成岩作用的抑制[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(1): 11-16. [MENG Yuanlin, PAN Xuemei, WU Heyong, et al. Porosity and oil saturation correlation and diagenetic retardation of sandstone by hydrocarbon emplacement in the Shallow-Middle strata of the Northern Songliao Basin [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2010, 29(1): 11-16.]
- [21] 张守鹏, 李博. 渤海湾盆地东营凹陷示烃成岩作用及其演化特征[J]. 古地理学报, 2018, 20(6): 1043-1052. [ZHANG Shoupeng, LI Bo. Diagenesis and evolution characteristics of hydrocarbon-traced minerals in Dongying Sag, Bohai Bay basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2018, 20(6): 1043-1052.]
- [22] 夏青松, 黄成刚, 陆江. 沉积盆地中油气充注与储集层成岩作用的响应关系[J]. 地球科学与环境学报, 2019, 41(2): 185-196. [XIA Qingsong, HUANG Chenggang, LU Jiang. Response relationship between hydrocarbon charging and diagenesis of reservoirs in sedimentary basin [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2019, 41(2): 185-196.]