

王军, 张晓庆, 赵洪, 等. 东海盆地西湖凹陷南部火成岩发育区 G 构造油气成藏特征[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(1): 1-10.

WANG Jun, ZHANG Xiaoqing, ZHAO Hong, et al. Oil and gas accumulation characteristics of Structure G in the igneous rock area south of Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(1): 1-10.

东海盆地西湖凹陷南部火成岩发育区 G 构造油气成藏特征

王军¹, 张晓庆², 赵洪^{1*}, 许怀智¹, 钟荣全¹

(1 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335; 2 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: G 构造是一个大型挤压反转背斜, 位于西湖凹陷西南角的天台斜坡带火成岩发育区。由于目前对该区火山活动规律及后期油气保存等成藏演化条件认识不清, 严重限制了天台斜坡带的油气勘探进程。通过对研究区地震资料进行解释, 研究了 G 构造区火成岩的岩石学、年代学和时空分布特征, 重建了火山活动、圈闭形成与油气成藏过程的关系。结果表明, G 构造范围内发育的火成岩为中新世中期的浅层侵入岩、溢流相喷出岩和通道相火成岩, 该火成岩的发育使得平湖组 and 花港组的地层碎裂化, 由于该背斜核部存在早期火山通道, 后期挤压形成的圈闭有效性差。龙井运动(中新世末期, 5.3 Ma)至上新世三潭组沉积期, 该背斜转折端发育了一系列近 EW 向次级断层, 进一步破坏了圈闭的完整性。由于背斜翼部未受火成岩影响, 该处的构造-岩性圈闭应该是下一步勘探的重要方向。

关键词: 龙井运动; 反转背斜; 岩浆活动; 西湖凹陷; 东海盆地

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.094

0 引言

西湖凹陷中南部是火山岩最为发育的地区, 由于火山活动规律及后期油气保存等成藏演化条件不清, 导致目前仍未有实质性的突破, 严重限制了天台斜坡带及中央反转构造带中南部的油气勘探。G 构造所在的天台斜坡带也是火成岩最为发育的地区, 作为天台斜坡带唯一的大型挤压反转背斜, 近 SN 向展布的背斜圈闭, 面积约 40~100 km²。

1986—2013 年在 G 构造钻探了 3 口探井, 油气显示非常活跃, 但厚层多为含气水层和气水同层, 薄层为气层, 最厚的气层仅为 5 m, 勘探效果不佳,

而周边其他挤压反转背斜均取得了较好的勘探效果。G 构造勘探失利的原因一直困扰着研究人员, 故近十年来未再钻探新井。笔者近几年的研究发现, G 构造与其他背斜最大的不同就是火山活动较为发育, 尤其是背斜核部发育多条火山通道。前人针对其火山活动研究较为薄弱, 尚未开展火山活动与油气成藏关系的研究。当前亟需研究火山活动、挤压背斜形成与油气成藏之间的关系, 但火山岩平面和剖面的刻画难度大, 而且圈闭形成及油气成藏时间和火山活动之间的时空耦合关系尚未理清。

本文从 G 构造火山岩发育特征及其形成机制入手, 开展构造演化与火山活动的耦合关系以及成藏过程研究, 梳理火山活动、圈闭形成与油气成藏过程的时空耦合关系, 总结火成岩发育对油气成藏过程的影响, 以期为 G 构造挤压反转背斜的勘探潜力评价和下一步勘探方向提供支撑。

1 区域地质概况

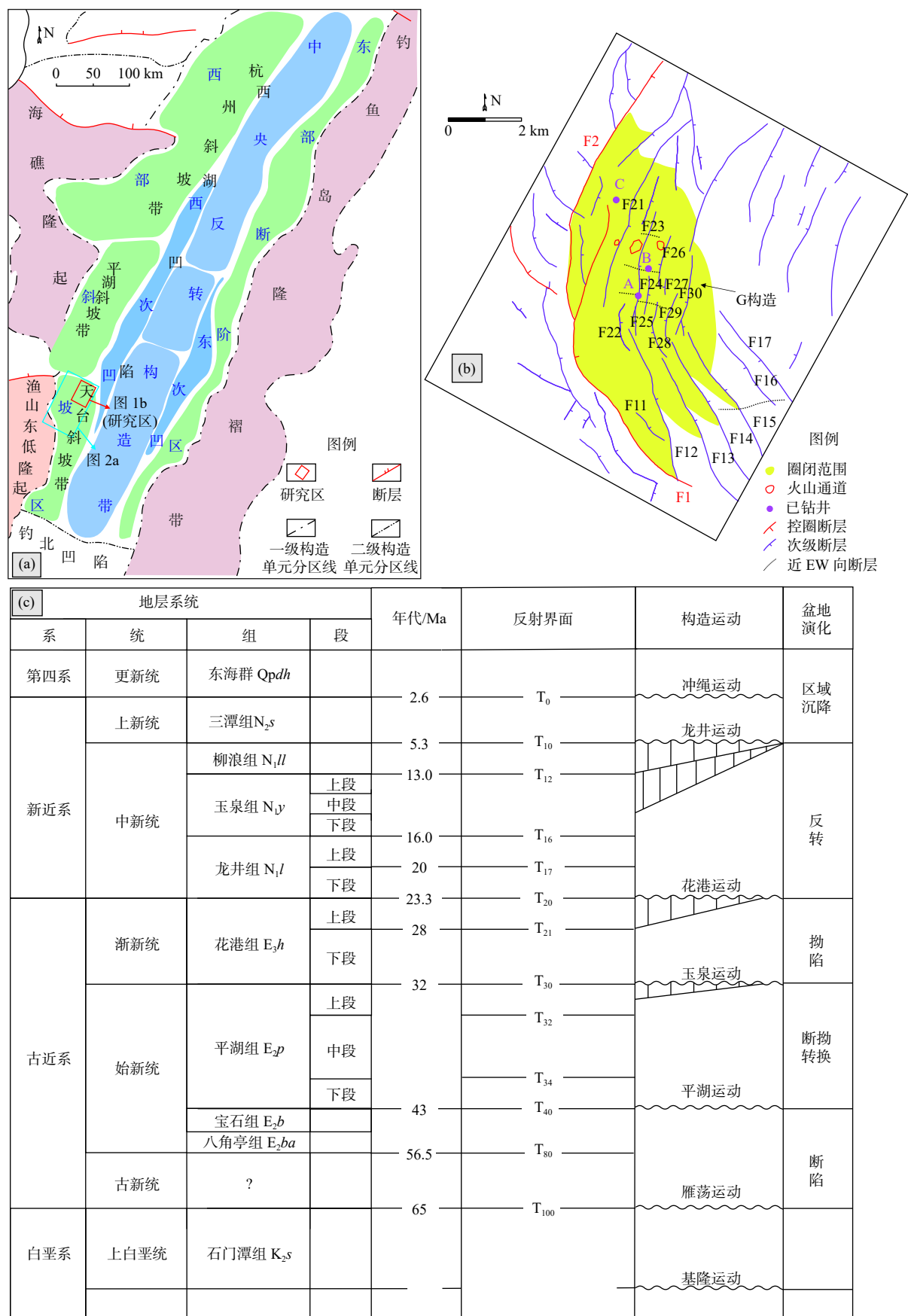
西湖凹陷可划分为 5 个构造带(图 1a): 西部斜

收稿日期: 2023-04-03

资助项目: “十三五”国家重大科技专项“东海深层大型气田勘探评价技术”(2016ZX05027-002); 中海油“十四五”重大科技项目 3 课题 2 “潜山油气成藏理论与勘探关键技术”(KJGG2022-0302)

第一作者: 王军(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事综合地质方面的研究工作. E-mail: wangjun83@cnoc.com.cn

* 通讯作者: 赵洪(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事综合地质方面的研究工作. E-mail: zhaohong14@cnoc.com.cn



(a) 西湖凹陷构造区划; (b) G 构造断裂纲要与构造圈闭叠合图; (c) 西湖凹陷地层年代表

图 1 研究区构造位置及地层格架

Fig.1 Tectonic position and stratigraphic framework of the study area

坡区、西次凹、中央反转构造带、东次凹和东部断阶区。中央反转构造带伴生一系列SN向的背斜及向斜构造,略呈斜列式,反映了右行扭应力作用^[1-4]。西部斜坡区的沉积边界地层厚度急剧变化,伴生正断层,局部伴生背斜构造,斜坡上发育的很多河道可构成岩性油气藏。东部断阶区是凹陷与钓鱼岛隆褶带的过渡带,断阶带地层较薄,有平缓的背向斜^[5-8]。研究区位于西部斜坡区南部的天台斜坡带,构造位置相对独特,恰处于强烈的NW向基底大型断裂带上,导致斜坡区内相当大范围卷入了显性NW向构造体系(图1a、b)。正是因为受到NW向基底断裂扭动作用影响,斜坡区内的NE向构造体系连续性较差,NE向断裂规模有限,以小断层为主,火山相对较为发育。

钻井揭示,西湖凹陷地层自上而下依次为东海群(Qpdh)、三潭组(N₂s)、柳浪组(N₁l)、玉泉组(N₁y)、龙井组(N₁l)、花港组(E₃h)、平湖组(E₂p)和宝石组(E₂b)^[9-10]。其中,平湖组为主力烃源岩^[11-16],平湖组内中段和下段烃源岩最为重要,平湖组上段和花港组为主要目的层系(图1c)。

前人研究认为,平湖组下段以长期基准面上升半旋回早期为主,底部发育厚层砂岩,顶部发育泥岩盖层;平湖组中段以长期基准面上升半旋回晚期一下降半旋回早期为主,水体先上升后缓慢下降,发育以潮坪沉积为主的潮间带泥坪及潮汐砂坝沉积微相^[17-19];平湖组上段为长期基准面旋回下降时期,为在双向物源联合供源背景下高位晚期发育的受潮汐影响的三角洲沉积;花港组下段(H6—H12)主要发育三角洲沉积相,主要发育三角洲平原与三角洲前缘水下分流河道砂。花港组上段(H1—H5)

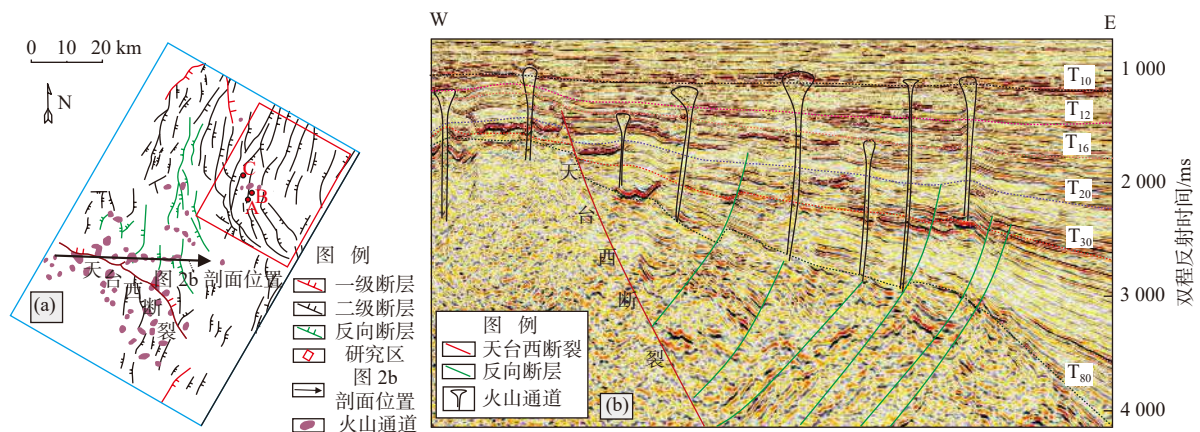
为三角洲平原-河流相沉积^[17-19],由H3—H4储层及H1—H2湖泛泥岩盖层组成。

2 火成岩发育特征及其形成机制

2.1 西湖凹陷及研究区岩浆活动特征

西湖凹陷经历了早期被动大陆边缘、弧前盆地、走滑拉分盆地及弧后裂谷盆地等多个阶段的盆地构造演化阶段^[20],岩浆活动频繁,期间共经历了燕山期—四川期—华北期—喜马拉雅期4次岩浆强烈喷发时期^[21],其中以喜山期弧后盆地阶段岩浆活动最为强烈。受基底断裂控制,西湖凹陷岩浆活动在空间上的分布具有明显的带状分布的特点;同时也受断裂活动影响,西湖凹陷发育的NE、NW向2个方向的断裂控制着岩浆以点状分布。在断裂环境下,岩浆容易沿着浅地表断裂运移,特别是在断裂相交处更易发育^[22]。从区域上看,岩浆活动分布位置主要位于天台斜坡带,斜坡带岩浆岩的发育在钻井和地震资料上均有充分的证据(图2)。

在斜坡区北部,钻井钻遇了中性钙碱性安山岩、酸性花岗岩和凝灰岩等岩浆岩类型。在斜坡区南部,地震剖面可清晰见到侵入和岩层刺穿现象,斜坡区南部天台斜坡带的岩浆活动最为强烈(图2)。在花港组沉积末期,由于太平洋板块快速向欧亚板块俯冲,盆地经历了花港运动并发生了强烈挤压活动,且伴随有强烈的岩浆活动^[5,10],天台斜坡带岩浆活动的侵入作用和喷出作用均较为发育,喷出作用强度在三潭组早期达到峰值,侵入岩也较为发育,多发育顺层型、碟型和刺穿型。



(a) 天台斜坡带 T₃₀ 断裂纲要与火山通道叠合图; (b) G 构造过火成岩体典型地震剖面

图2 西湖凹陷西部斜坡区南段火成岩剖面特征

Fig.2 Seismic profile of igneous rocks to the south of the Western Slope Zone of the Xihu Sag

侵入岩主要分布在天台斜坡带和中央背斜带南部,赋存于渐新世以来的多个层位,多发育于花港组。东部断阶带的岩浆活动主要位于凹陷北部,地层反射轴较为杂乱,基底面反射不清晰,其深部岩浆活动对早期沉积岩层具有一定的改造作用^[10]。西湖凹陷岩浆活动对油气成藏要素等具有较强的控制,致密岩体对油气运移起着重要的遮挡作用,形成良好的圈闭;同时,岩浆活动会升高周围围岩的温度,一方面能加快烃岩源的成熟,另一方面会使围岩中流体活动性增强,增强储层改造作用,但在岩浆岩活动过程中,也会对早期形成的油气藏有破坏作用,对原有的断鼻圈闭进行改造^[23-24]。

2.2 G 构造火成岩发育特征

G 构造岩浆岩体空间分布特征具有较强的不规则性,对其发育特征刻画带来了较大的难度。本文结合相干切片与常规地震剖面解释,综合对岩浆岩相进行识别。侵入体平面几何形态主要呈圆形(图 3c、d),地震反射特征为低频强振幅,上部岩层

发生强制变形(图 4a)。溢流相平面形态呈长条状不规则形态(图 3c),地震反射特征为低频强振幅(图 4b)。火山通道在相干切片上呈斑点状,在地震剖面上呈杂乱反射,火山通道顶部呈倒三角形态。

龙井组沉积期 G 构造岩浆强烈活动,发育 3 座强烈喷发的火山(图 3b、4a),分布于研究区西侧、南侧和东侧。火山通道平面上呈圆形、椭圆形,西侧和东侧通道走向近 SN 向,南侧通道走向近 NEE 向(图 3b、c、d)。3 座火山均伴有侵入作用,其中,西侧(侵入体 1)和东侧(侵入体 3)侵入作用较弱(图 3b、c);南侧(侵入体 2)侵入活动较强,平面上呈圆形的大型侵入体(图 3d),侵入体位于花港组顶部(T20 附近),上部岩层发生变形卷入地层至 T₁₆(图 4a)。东侧火山岩浆喷发活动具有多幕次,火山通道顶部形成时期晚于岩浆溢流时期。东侧岩浆岩体早期顶部有大规模溢流作用,自东北向西南溢流(图 3c),在 A 井发现有岩浆溢流活动(图 4b),岩浆溢流未经过 B 井;之后,经过一段稳定沉积时期,晚期火山继续喷发,岩浆活动仅分布于火山喷

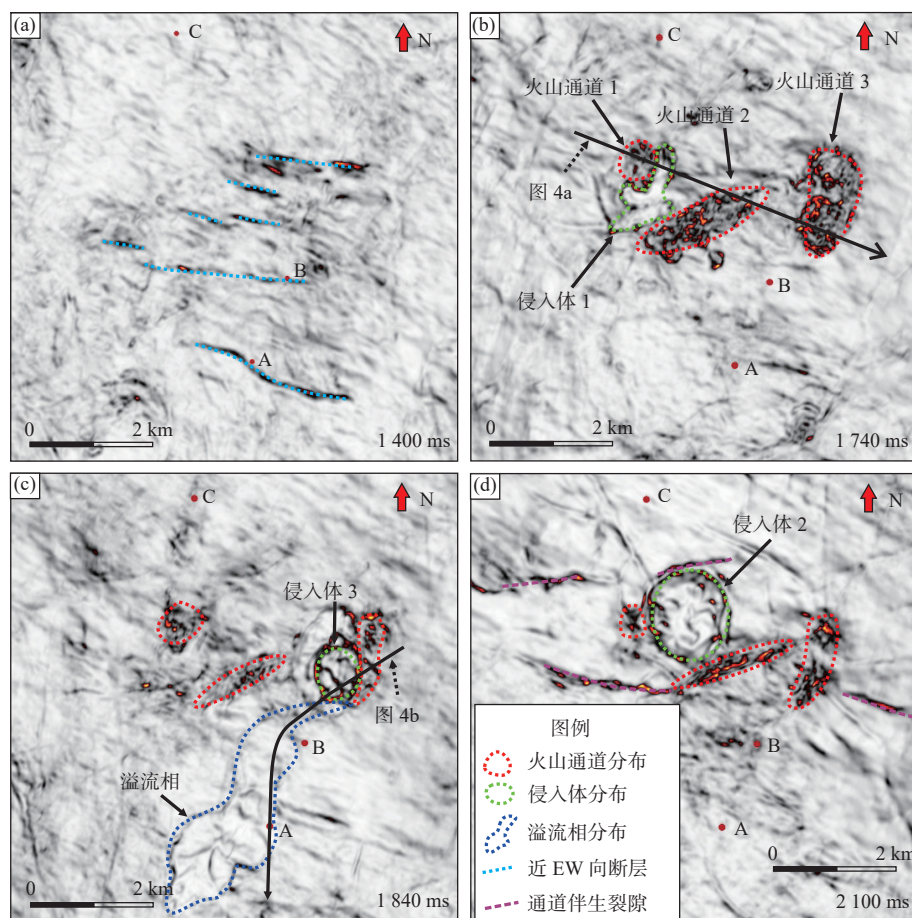
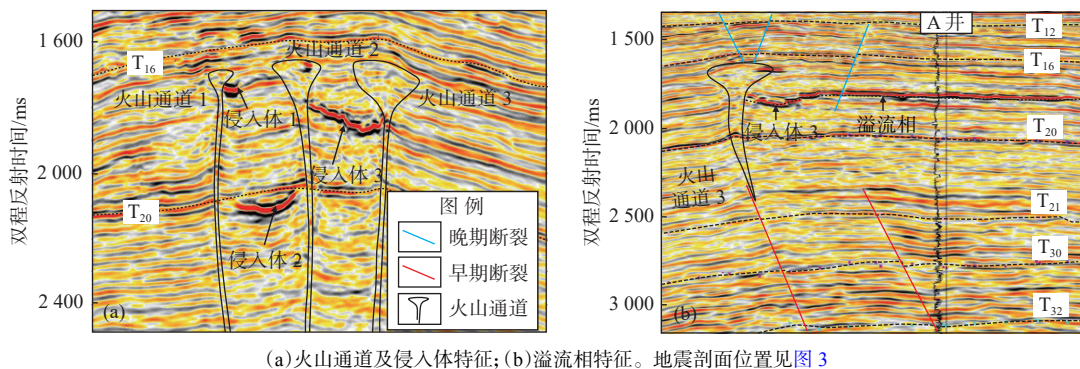


图 3 G 构造不同深度等时方差切片

Fig.3 Isochronous variance slices at different depths of Structure G



(a) 火山通道及侵入体特征; (b) 溢流相特征。地震剖面位置见图 3

图 4 G 构造火成岩发育特征

Fig.4 Development characteristics of igneous rocks in Structure G

口附近。岩浆活动过程中在火山通道周缘也会有伴生裂隙发育(图 3d), 上部新近系发育多条近 EW 向断裂(图 3a), 火山通道及其伴生裂隙沟通了下部早期断裂及上部新近系近 EW 向断裂(图 4b)。

2.3 G 构造火成岩形成机制

G 构造岩浆作用过程复杂, 在区域岩浆活动背景下, 主要受区域基底断裂和盖层断层发育的影响。

(1) 区域基底断裂发育影响

G 构造岩浆活动时间在龙井组沉积末期(约 16 Ma), 此时深部的岩浆房初步形成, G 构造具备岩浆活动的基础。G 构造深部为堑垒构造, 发育反向和顺向基底断裂, 基底断裂延伸至沉积盖层, 基底断裂有效沟通深部岩浆房, 成为深部岩浆向上运移的重要通道。在 A 井 1 995~2 012 m 遇钻溢流相的玄武岩, 证实了溢流岩浆来自于深部。

(2) 盖层断层发育影响

在研究区岩浆活动之前, 该区主要经历了断陷期(平湖组及之前)、断拗转换期(花港组)和拗陷期(龙井组)。断陷期, G 构造位于弧形构造部位, 断裂活动发育, 似花状构造发育, 次级断裂密集发育, 该区域为应力释压区; 断拗转换期, 花下段沉积期断裂活动基本结束; 拗陷期, 龙井组沉积期盖层稳定沉积, 断裂体系不发育。早期强烈的断裂体系为岩浆运移提供一个重要的通道, 龙井组沉积末期火山活动活跃, 岩浆运移至盖层中沿着早期活动断裂向上运移, 该时期岩浆活动具有较大的能量突破盖层喷发至地表, 对上部地层进行改造, 在火山通道周缘的花上段—龙井组地层中产生放射状裂隙。岩浆在断裂中快速通过, 未对下部地层进行破坏改造, 花下段及之下断层发育, 区域地震剖面反射未有明显变化。花下段之上断层不发育, 区域地震剖面反射特征呈现出杂乱反射, 可清晰见到岩浆体位置,

岩浆在突破地层的过程中, 对地层产生了较强的破坏作用。

3 构造演化与油气成藏特征

3.1 构造演化过程

构造演化剖面显示(图 5), 在新生代前平湖组沉积期, G 构造及邻区在断层的控制下形成了堑垒相间的斜坡形态; 平湖组沉积期 F1 断层上盘开始发育了一系列次级断层, 至平上段沉积期这些次级断层相互搭接, 与 F1 断层组合形成了似花状构造样式; 花上段沉积早期, 断层活动性整体较弱, 仅个别断层持续活动; 龙井组沉积期断层停止活动, 与此同时, 岩浆岩发生侵入或喷出; 龙井运动时期, 在来自东南侧的挤压作用下, 玉泉组地层大规模隆升剥蚀, F1 断层上盘以及断层未错断的浅部层系形成了挤压背斜, 控制了断背斜圈闭以及背斜圈闭的形成, 圈闭定型于龙井运动最强的一幕(13 Ma); 龙井运动后 G 构造背斜转折端发育了一系列近于平行的近 EW 向断层, 部分次级断层向下可错断花港组至 T₂₁ 界面, 向上可错断上新统下部, 对断背斜及背斜圈闭具有破坏作用。

综合火山活动以及圈闭形成过程分析认为, G 构造的构造演化阶段可归结为: ①古新世至宝石组沉积期边界断层 F1 最先开始活动; ②平湖组沉积期边界断层 F2 及次级断层开始发育, 在主控断层的上盘形成了似花状构造; ③花港组沉积期, 次级断层持续增多, 至花港组沉积末期, 断层大多停止活动; ④龙井组沉积期, 来自深部的岩浆沿着裂隙等火山通道发生侵入或喷出, 形成了呈 SN 向展布的 3 处侵入岩和 1 处自东北向西南溢流的喷出岩; ⑤玉泉组沉积末期, 在龙井运动的强挤压作用下,

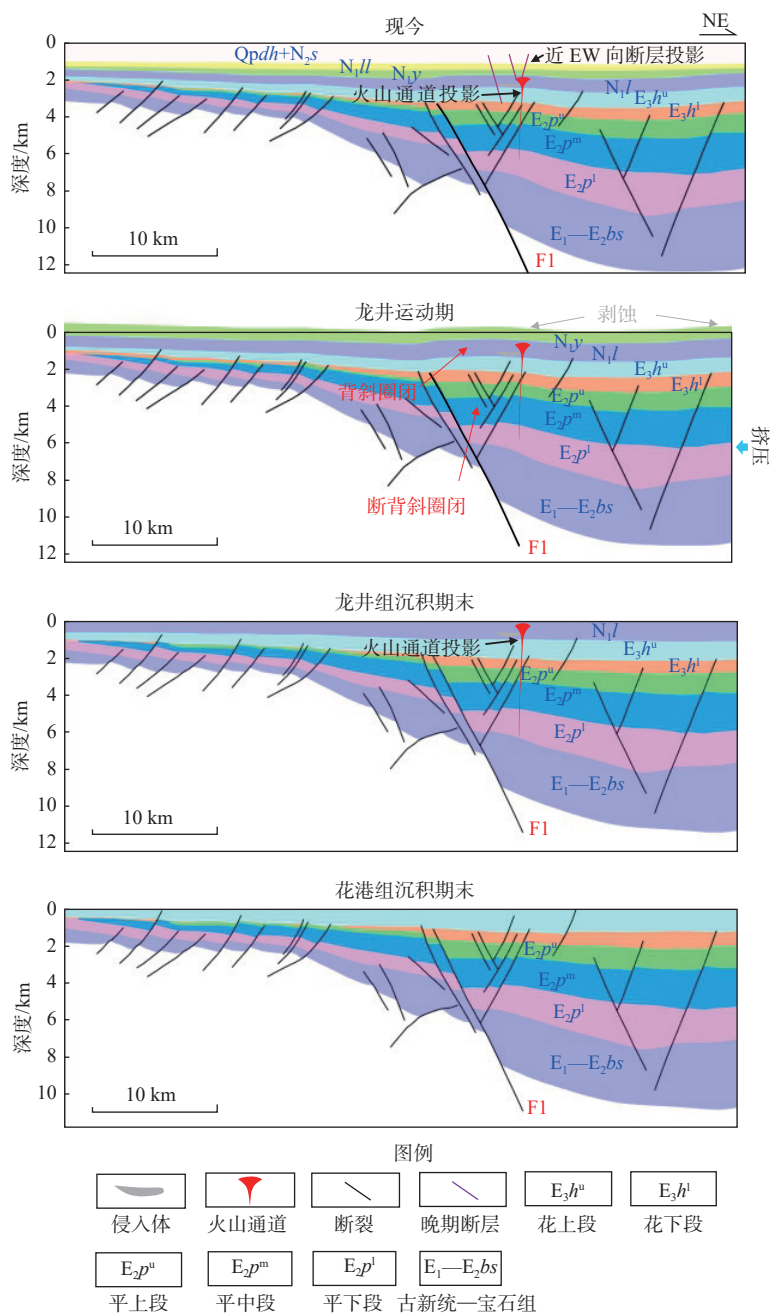


图5 G构造新生代构造演化过程

Fig.5 Tectonic evolution of Structure G in the Cenozoic

边界断层上盘发育背斜褶皱从而控制了背斜和断背斜圈闭的形成;⑥龙井运动末期至三潭组沉积期,背斜转折端发育了一系列近 EW 向次级断层,向下最深错断了 T_{21} 界面。

3.2 油气成藏特征

自 20 世纪 80 年代以来, G 构造内已钻探 3 口井, 其中位于背斜高点的 A 井和 B 井具有活跃的气测异常和荧光显示, 展示了本区良好的勘探前景, 但未能取得商业性油气发现。C 井位于 G 构造的北翼, 油气显示及油气层厚度均不及 A 井和 B 井。

基于现有勘探资料, 对 G 构造油气成藏特征的认识主要有 2 点: ①下生上储、断裂输导; ②上油下气、高点失利。

3.2.1 下生上储

西湖凹陷主力烃源岩层位为平湖组中段和下段, 其次为宝石组, 源岩类型主要为煤系和泥岩; 主力储层在斜坡带为平湖组和花港组, 在中央反转带为花港组和龙井组, 整体为下生上储, 通过断裂垂向运移。基于油源对比发现, G 构造与西湖凹陷其他构造特征一致, 具有平湖组生烃、平湖组上段和

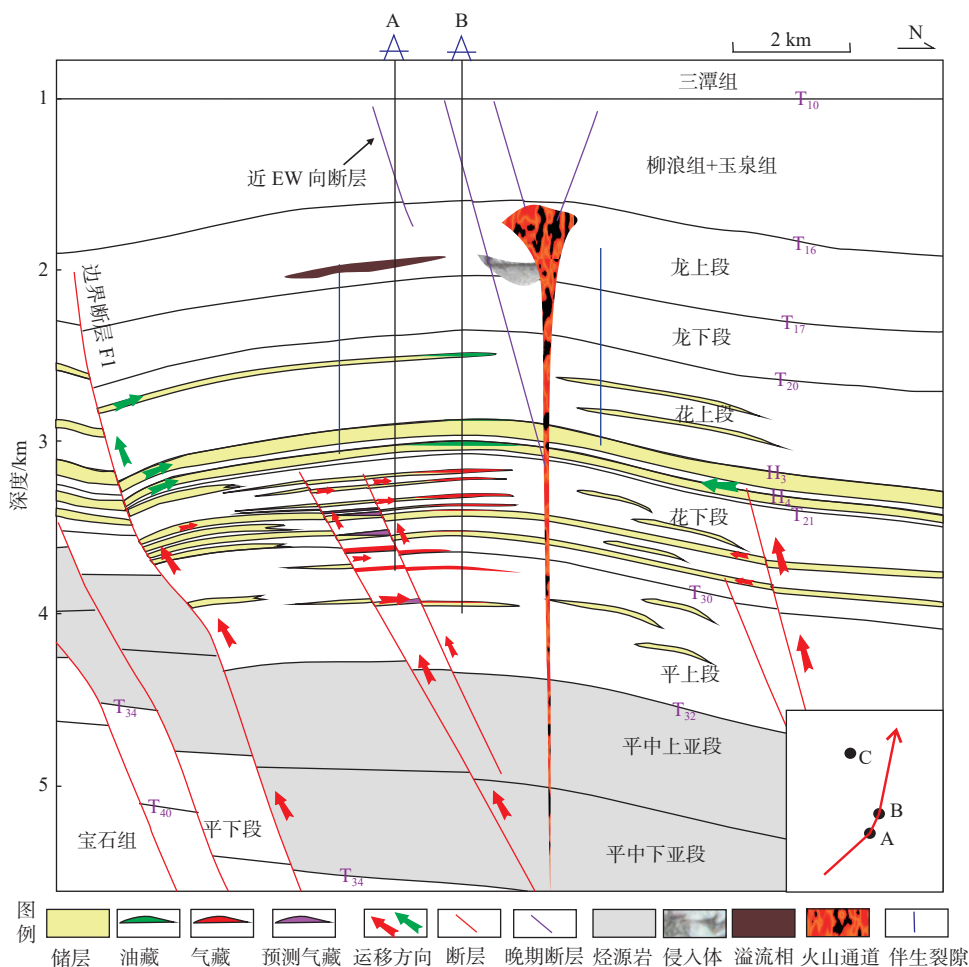


图 6 G 构造成藏模式

Fig.6 Model of reservoir formation in Structure G

花港组成储的下生上储、断裂输导特征(图 6)。

就油气来源而言,已钻井获得的花港组上段油样显示原油甾烷 C_{27} — C_{29} 形态呈近“L”字形(图 7a),这与 G 构造下部平湖组烃源岩和相邻已经证实的主力生烃洼陷内的烃源岩形态一致(图 7e)^[25-27],表明上部油气来自下部平湖组烃源岩。

3.2.2 上油下气

已钻井地层测试和测井综合解释表明,大约以 3 100 m 为界,之上的花上段以油藏为主,之下的花下段及平湖组以凝析气藏为主,油气主要汇聚于薄砂层,厚砂层未能成藏,探明储量低未获得商业性油气发现(图 6)。

花上段某典型油层厚 3.5 m,平均孔隙度为 18.6%,平均渗透率为 $16.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测试原油密度为 0.827 g/cm^3 ,含蜡量 3.98%(表 1),压力系数 1.0,温度为 121°C 。平湖组某典型凝析气层厚 5.7 m,平均孔隙度为 9.8%,渗透率 $2.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测试油密度 0.803 g/cm^3 ,含蜡量 3.72%,压力系数 1.475,温

度 155°C 。通过对比花上段原油及平上段凝析油油样发现,甾烷 C_{27} — C_{29} 形态均呈近“L”字型,异海松烷占优势(图 7a—d),表明上部油和下部凝析气同源,而且二者由金刚烷计算的成熟度相近(表 2),表明上部原油为凝析气相态分异的结果。

统计已成藏的储层厚度表明,测井解释达到油水同层或气水同层以上级别的层厚几乎都 $< 10 \text{ m}$,同时上覆 $> 20 \text{ m}$ 的盖层,油气显示主要集中在薄砂中。仅少数厚砂层在上覆 30 m 以上的盖层时,砂顶可能形成 10 m 以下的薄油气层。在 G 构造背斜高点已钻的 2 口探井中,地层测试仅在平上段获得 1 层商业产能,但因薄层成藏,井控面积小,探明储量少,不具备开发价值,钻探失利。

4 油气成藏过程分析

西湖凹陷龙井运动(16~5 Ma)主要有 3 幕^[1,4-5],即玉泉组沉积早期、玉泉组沉积末期、柳浪组沉积

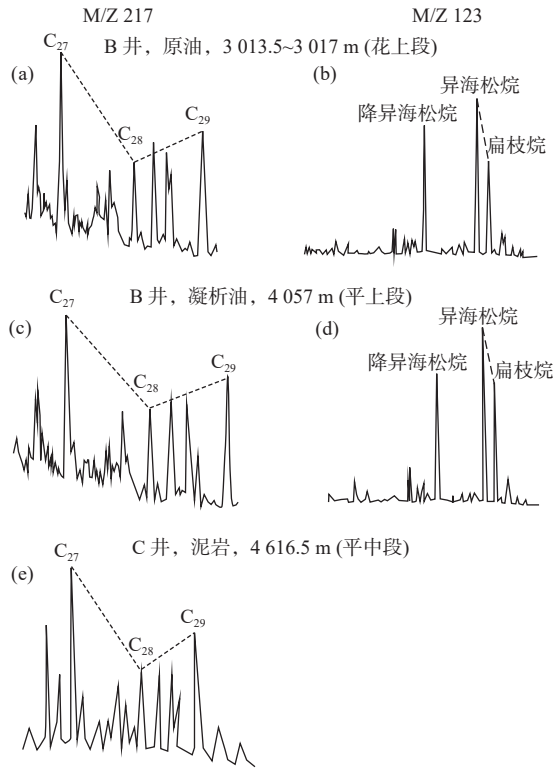


图 7 B 井花上段 (E₃h^u) 原油、平上段 (E₂p^u) 凝析油和 C 井平中段 (E₂p^m) 烃源岩甾烷、二萜类特征对比

Fig.7 Comparison in characteristics of steranes and diterpenes in source rocks in E₃h^u and E₂p^u of Well B and E₂p^m of Well C

末期。前人研究认为,西部斜坡带以晚期成藏为主(5 Ma 至今)^[28-30],龙井运动期成藏为辅(16~5 Ma);火山活动主要在龙井组沉积期,圈闭主要形成于龙井运动第 2 幕玉泉组沉积末期时间约 13 Ma,火山活动时间早于圈闭形成时间,圈闭形成时间早于主成藏期。因此,G 构造油气成藏过程可以总结为:①23.5 Ma 之前(拉平 T₂₀),地层接受正常沉积(图 8a)。②23.5~16 Ma(拉平 T₁₆),龙井组沉积期有多期火山活动,构造范围内发育中新世中期(对应 T₂₀—T₁₆)的浅层侵入岩、溢流相喷出岩和通道相火成岩,使得平湖组和花港组的地层碎裂化,同时岩浆上涌造成原有地层力学性质发生改变,易形成众多的放射性裂缝,破坏了地层的完整性(图 8b)。③16~5 Ma(龙井运动期),圈闭主要在龙井运动时期形成,并最终定型,由于背斜核部存在早期的火山通道,后期挤压形成的圈闭有效性差;受圈闭形成期龙井运动强烈挤压,G 背斜构造发育多条层间断裂;龙井运动末期至中新世三潭组沉积期,背斜转折端发育了一系列近 EW 向次级断层,向下最深错断了 T₂₁ 界面,进一步破坏了圈闭的完整性,末期发生一起小规模的运移(图 8c)。④油气成藏主要发生在龙井运动之后(图 8d),三潭组沉积期(5 Ma 至今)。

表 1 B 井原油物性统计

Table 1 Statistics of physical properties of crude oil from Well B

井号	层位	井段/m	流体性质	密度/(g/cm ³)	含蜡量/%	含硫/%	胶质/%	沥青质/%	凝固点/℃
B井	花上段	3 013.5~3 017	原油	0.827	3.98	0.02	3.79	/	11
B井	平上段	4 057	凝析油(凝析气到地表反凝析出的原油)	0.803	3.72	0.02	2.64	/	11

表 2 B 井原油金刚烷指数计算相对 R_o 成熟度

Table 2 Calculation of relative R_o maturity of crude oil adamantane index from Well B

井号	层位	井段/m	流体性质	IMA	IMD	4-MD/3-MD	4,9-DMD/3,4-DMD	计算R _o
B井	花上段	3 013.5~3 017	原油	67.2	42	1.8	0.6	1.37
B井	平上段	4 057	凝析油(凝析气到地表反凝析出的原油)	66.2	48	107	0.58	1.5

注: IMA(甲基金刚烷指数)=1-甲基金刚烷/(1-甲基金刚烷+2-甲基金刚烷); IMD(甲基双金刚烷指数)=4-甲基双金刚烷/(1-甲基双金刚烷+3-甲基双金刚烷+4-甲基双金刚烷); 4-MD/3-MD=4-甲基双金刚烷/3-甲基双金刚烷; 4,9-DMD/3,4-DMD=4,9-二甲基双金刚烷/3,4-二甲基双金刚烷。

本文通过 G 构造岩浆活动-构造运动-油气充注之间的关系论证,明确了背斜核部破坏-翼部保存的成藏规律,建立了 G 构造翼部成藏新模式。G 构造背斜翼部火成岩不发育,通源断裂的规模大于核部,在背斜翼部刻画有效圈闭,其成藏的可能性较大。G 构造油气成藏过程研究明确了背斜翼部不受火成岩影响的构造-岩性圈闭或是下一步勘探的重要方向。

5 结论

(1)G 构造岩浆强烈活动,发育 3 座强烈喷发的火山,分布于研究区西侧、南侧和东侧。西侧和东侧火山通道平面上呈圆形,南侧火山通道平面上呈长条状,走向近 NEE 向。3 座火山均伴随有侵入作用,其中,西侧和东侧侵入作用较弱,南侧侵入活

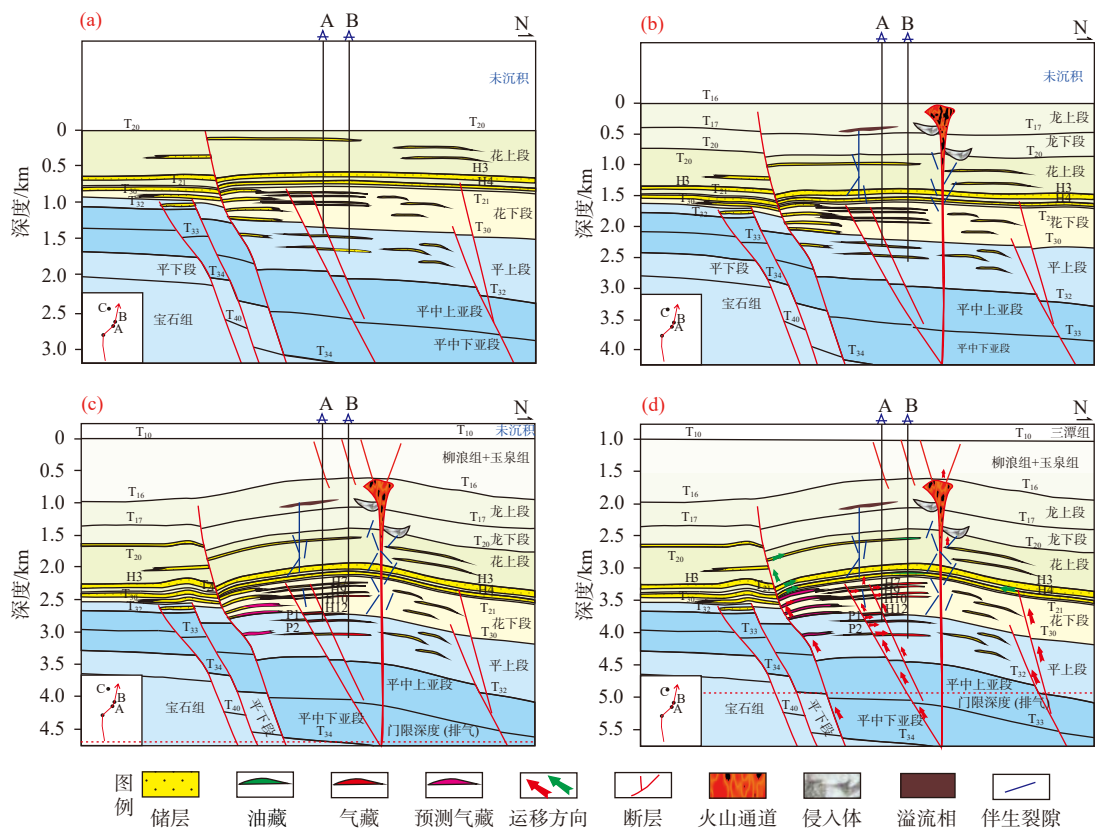


图 8 G 构造成藏特征

Fig.8 Oil and gas accumulation process in Structure G

动较强,发育一平面上呈圆形的大型侵入体,侵入体位于花港组顶部,上部岩层发生变形卷入地层至T₁₆。岩浆活动过程中伴生裂隙也十分发育,裂隙沟通了下部花港组断裂及上部新近系近EW向断裂,对G构造具有明显的改造作用,3处火山口伴生大量裂隙,呈放射状分布在火山通道周缘,紧邻火山通道呈不规则走向。

(2)龙井运动时期,在来自东南侧的挤压作用下,玉泉组地层大规模隆升剥蚀,F1断层上盘以及断层未错断的浅部层系形成了挤压背斜,控制了断背斜圈闭以及背斜圈闭的形成,圈闭定型于龙井运动最强的一幕(13 Ma);龙井运动后G构造背斜转折端发育了一系列近于平行的近EW向断层,部分次级断层向下可错断花港组至T₂₁界面,向上可错断上新统下部,对断背斜及背斜圈闭具有破坏作用。

(3)G构造范围内发育中新世中期的浅层侵入岩、溢流相喷出岩和通道相火成岩,使得平湖组和花港组的地层碎裂化,由于背斜核部存在早期火山通道,后期挤压形成的圈闭有效性差;同时,龙井运动末期至中新世三潭组沉积期,背斜转折端发育了一系列近EW向次级断层,进一步破坏了圈闭的完

整性。G构造油气成藏过程研究表明,背斜翼部不受火成岩影响的构造-岩性圈闭可能是下一步勘探的重要方向。

参考文献:

- [1] 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.
- [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.
- [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] 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.
- [5] 刘金水,许怀智,蒋一鸣,等.东海盆地中、新生代盆架结构与构造演化[J].地质学报,2020,94(3):675-691.
- [6] CUKUR D, HOROZAL S, LEE G, et al. Timing of trap formation and petroleum generation in the northern East China Sea Shelf Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 36(1): 154-163.
- [7] LI C F, ZHOU Z Y, GE H P, et al. Rifting process of the Xihu Depression, East China Sea Basin[J]. Tectonophysics, 2009, 472(1/4): 135-147.
- [8] ZHU W L, ZHONG K, FU X W, et al. The formation and evolu-

- tion of the East China Sea Shelf Basin: a new view[J]. *Earth-Science Reviews*, 2019, 190: 89-111.
- [9] SU A, CHEN H H, LEI M Z, et al. Paleo-pressure evolution and its origin in the Pinghu slope belt of the Xihu Depression, East China Sea Basin[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 107: 198-213.
- [10] 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.
- [11] 傅宁, 李友川, 陈桂华, 等. 东海平湖油气田油藏地球化学研究[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 240-244.
- [12] 陈敬轶, 王飞宇, 刘晓. 东海平湖油气田烃源岩特征与油气生成[J]. 地质科技情报, 2010, 29(6): 80-83.
- [13] 刘金水, 赵洪. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖斜坡带异常性气侵的成藏模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(4): 487-496.
- [14] 朱扬明, 周洁, 顾圣啸, 等. 西湖凹陷始新统平湖组煤系烃源岩分子特征[J]. 石油学报, 2012, 33(1): 32-39.
- [15] 贾健谊, 须雪豪, 孙伯强. 东海西湖凹陷原油与天然气的地球化学特征[J]. 海洋石油, 2000, 20(2): 1-7.
- [16] 曹倩, 宋在超, 周小进, 等. 东海盆地西湖凹陷原油地化特征及来源分析[J]. 石油实验地质, 2019, 41(2): 251-259.
- [17] 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.
- [18] 张彦振, 刘金水, 覃军, 等. 西湖凹陷中央洼陷带中部花港组岩性油气藏主控因素及形成模式[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 36-46.
- [19] 赵洪, 蒋一鸣, 常吟善, 等. 西湖凹陷平湖组基于沉积相标志的沉积特征研究[J]. 上海国土资源, 2018, 39(1): 88-92.
- [20] 杨长清, 杨传胜, 李刚, 等. 东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 105-111.
- [21] 杨传胜, 李刚, 杨长清, 等. 东海陆架盆地及其邻域岩浆岩时空分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 125-133.
- [22] 孟祥君, 张训华, 刘展, 等. 东海西湖凹陷北部基底构造特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(2): 61-64.
- [23] 高伟中, 杨彩虹, 赵洪. 东海盆地西湖凹陷热事件对储层的改造及其机理探讨[J]. 石油实验地质, 2015, 37(5): 548-554.
- [24] 周静毅, 段文豪, 刘明阳, 等. 西湖凹陷天台西地区火成岩的识别及其在勘探中的应用[J]. 海洋石油, 2017, 37(4): 35-44.
- [25] 王伟, 张丽艳, 李响. 平湖油气田油气成藏新模式[J]. 海相油气地质, 2011, 16(1): 51-55.
- [26] 陈桂华, 李友川, 付宁, 等. 平湖地区油气分布主控因素分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(3): 164-167.
- [27] 傅宁, 李友川, 刘东, 等. 东海平湖气田天然气运移地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 34-37.
- [28] 张迎朝, 胡森清, 刘金水, 等. 东海盆地X凹陷天然气成藏条件与成藏模式[J]. 中国海上油气, 2022, 34(1): 27-35.
- [29] 李天军, 黄志龙, 郭小波, 等. 东海盆地西湖凹陷平北斜坡带平湖组煤系原油地球化学特征与油-源精细对比[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(2): 432-444.
- [30] YANG F L, XU X, ZHAO W F, et al. Petroleum accumulations and inversion structures in the Xihu Depression, East China Sea Basin[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2011, 34(4): 429-440.

Oil and gas accumulation characteristics of Structure G in the igneous rock area south of Xihu Sag, East China Sea Basin

WANG Jun¹, ZHANG Xiaoqing², ZHAO Hong^{1*}, XU Huaizhi¹, ZHONG Rongquan¹

(1 Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China; 2 CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Structure G is a large compressional inversion anticline located in the igneous rock development area of the Tiantai Slope Zone in the southwest corner of the Xihu Sag. Due to the lack of understanding of the volcanic activity and later oil-gas preservation and accumulation evolution conditions in this area, the oil-gas exploration process in the Tiantai Slope Zone is severely restricted. Therefore, we interpreted the seismic sounding data in this area, studied the petrology, chronology, and temporal and spatial distribution characteristics of igneous rocks in Structure G, and reconstructed the interrelationship among volcanic activity, trap formation, and hydrocarbon accumulation. Results show that the igneous rocks developed in Structure G are shallow intrusive rocks, effusive extrusive rocks, and channel igneous rocks in the middle Miocene. The development of the igneous rocks fragmented the strata of the Pinghu Formation and Huagang Formation. Due to the existence of early volcanic channels in the core of the Structure G anticline, the traps formed by later extrusion are less effective. From the Longjing Movement (late Miocene, 5.3 Ma) to the depositional period of the Santan Formation (Pliocene), a series of nearly EW-trending secondary faults developed at the turning end of the anticline, further destroying the integrity of the trap. We believe that since the anticline wing is not affected by igneous rocks, the structural-lithological traps there should be an important direction for further exploration.

Key words: Longjing Movement; inversion anticline; magmatic activity; Xihu Sag; East China Sea Basin