

西湖凹陷杭州斜坡带北段断裂系统特征及其对圈闭的控制

刘亚茹, 唐贤君

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海
Email: 910336519@qq.com

收稿日期: 2020年8月25日; 录用日期: 2020年9月4日; 发布日期: 2020年9月11日

摘要

本文在新三维地震资料解释基础上, 分析杭州斜坡带北段断裂系统特征, 探讨断裂对圈闭的控制作用。研究表明: 在斜坡结构上, 杭州斜坡带受杭州35古隆起分隔影响, 具有“南北分块”特征, 其中北段处于古隆起东北缘, 受控于迎翠轩主断裂。在断裂系统特征上, 北段断裂系统在垂向上可明显的分为下部断陷构造层、中部断拗转换构造层和上部拗陷-反转构造层。在断裂控圈特征上, 杭州斜坡带北段构造圈闭主要发育于断-拗转换构造层平湖组地层内, 受迎翠轩主断裂活动下的NNE-NE向断裂控制, 具有一定的牵引背斜形态, 总体定型于平湖组沉积末期的玉泉运动时期。根据断裂及背斜组合样式, 区内构造圈闭多与扭动构造样式有关, 圈闭类型可划分为断鼻构造圈闭群、帚状构造圈闭群和似花状构造圈闭群。最终, 本文综合区域地质条件认为, 迎翠轩主断裂后期活化与大规模生烃作用匹配较好, 处于迎翠轩主断裂下降盘的帚状、似花状构造圈闭易于俘获油气, 是值得进一步勘探的有利目标。

关键词

斜坡结构, 断裂体系, 断层控圈, 杭州斜坡带, 西湖凹陷

The Characteristics of Fault System and Its Control on Traps in the North Part of Hangzhou Slope Zone, Xihu Depression

Yaru Liu, Xianjun Tang

CNOOC China Limited, Shanghai Branch, Shanghai
Email: 910336519@qq.com

Received: Aug. 25th, 2020; accepted: Sep. 4th, 2020; published: Sep. 11th, 2020

Abstract

Based on the interpretation of 3D seismic data, this paper analyzes the characteristics of the fault system in the northern part of Hangzhou slope zone, and discusses the controlling effect of faults on traps. The results show that: in the slope structure, the Hangzhou slope zone is affected by the 35 ancient uplift of Hangzhou, which has the characteristics of "North-South block". The north section which located in the northeast margin of the ancient uplift, is controlled by the main fault of Yingcuixuan. In terms of the characteristics of fault system, the northern fault system can be vertically divided into the lower fault depression structure layer, the middle fault depression transformation structure layer and the upper depression inversion structure layer. The structural traps in the northern part of Hangzhou slope zone are mainly developed in Pinghu Formation of fault depression transition structural layer, controlled by NNE-NE faults under the main fault activity of Yingcuixuan, with certain traction anticline shape, and generally formed in the Yuquan movement period at the end of Pinghu Formation deposition. According to the combination pattern of faults and anticlines, the structural traps in the area are mostly related to the twisting structural pattern. The trap types can be divided into fault nose structural trap group, broom structural trap group and flower like structural trap group. According to the comprehensive regional geological conditions, the late activation of Yingcuixuan main fault is well matched with large-scale hydrocarbon generation, and the broom like and flower like structural traps in the descending plate of Yingcuixuan main fault are easy to capture oil and gas, which are worthy of further exploration.

Keywords

Slope Structure, Fault System, Fault Control Traps, Hangzhou Slope Zone, Xihu Depression

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

含油气盆地普遍经历多期构造作用叠加, 在区域上盆地的结构形态、断裂的组合样式及构造活动规律对油气运移与保存至关重要[1] [2] [3] [4]。西湖凹陷西部斜坡带是东海陆架盆地内重要的油气勘探区带[5] [6], 已发现平湖等多个商业油气田, 含油气圈闭以断鼻、断块及断背斜为主, 构造对斜坡区成藏控制作用显著。西部斜坡目前油气勘探发现主要集中在中段的平湖斜坡带, 以平湖油气田和平北油气田群为主。位于平北油气田群北侧的杭州斜坡带探井稀少, 目前仍处于勘探早期阶段, 地质基础研究亦相对薄弱。受西部斜坡带勘探程度的南北差异, 前人对该区断裂系统的研究也多以平湖斜坡带的为主, 且多认为杭州斜坡带断裂特征与之相似[7]-[12]。但是, 由于西湖凹陷整体在“东西分带”基础上还具有显著的“南北分块”特征[13] [14], 杭州斜坡带与平湖斜坡带处于南北不同的位置, 斜坡结构及断裂系统特征必然存在差异, 对油气成藏的控制作用也会明显不同。本文认为平湖斜坡带构造特征并不能代表整个西部斜坡带, 对于杭州斜坡带这一勘探新区构造特征的认识在石油地质基础研究中显得尤为重要。

近年来, 随着三维地震资料的连片覆盖, 客观上为认识杭州斜坡带断裂系统特征奠定了资料基础。本文在地震资料解释分析基础上, 结合周边构造单元结构演化特征认识, 梳理杭州斜坡带北段构造特征, 探讨断裂对圈闭的控制作用, 以探索该区油气勘探潜力。

2. 区域地质背景

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部, 西邻长江拗陷、海礁隆起、渔山东低隆起等, 东侧与钓鱼岛褶皱带相邻, 北部和南部分别与福江凹陷和钓北凹陷以低隆起相分隔。凹陷整体呈北北东向展布, 为一“东断西超”的箕状断陷, 自西向东可分为西部斜坡带、中央洼陷-反转带和东部断阶带三个次级构造带。其中, 西部斜坡带自南向北可进一步分为天台斜坡带、平湖斜坡带、杭州斜坡带。杭州斜坡带向南与平湖斜坡带以 NWW 向的舟山-国头断裂北部分支断裂为界, 向北可延伸至虎皮礁隆起东南缘(图 1)。

西湖凹陷在演化阶段上大体经历了断陷、断-拗转换、拗陷-反转和区域沉降 4 期[15] [16]。其中, 古新统至下始新统宝石组(E_{2b})为断陷期沉积地层, 中上始新统平湖组为断-拗转换期沉积地层, 渐新统花港组(E_{3h})、中新统龙井组(N₁¹l)、玉泉组(N₁²y)和柳浪组(N₁³l)为拗陷-反转期沉积地层, 上新统三潭组(N₂s)及第四系东海群(Q_{pdh})为区域沉降期沉积地层(图 1)。杭州斜坡带作为凹陷西部斜坡带的一部分, 经历了凹陷主要的构造演化阶段, 沉积了一套以新生界为主的地层。

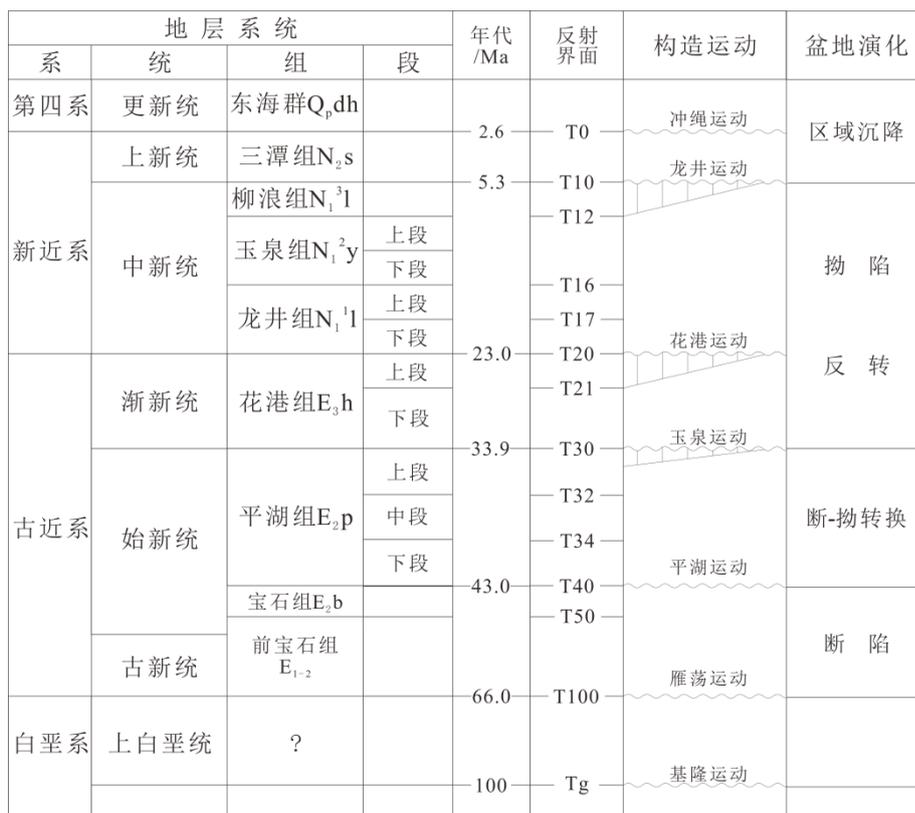


Figure 1. Summary of stratigraphic development and tectonic evolution in Xihu Depression
图 1. 西湖凹陷构造演化简表

杭州斜坡带新生界地层在总体西薄东厚的背景下, 西侧受海礁隆起东北缘向斜坡带中段嵌入影响, 表现出中段薄, 南北两段加厚的现象, 这种“南北分块”差异在盆地基底结构图上尤其显著(图 2)。其中, 海礁隆起东北缘嵌入效应引起的正向单元在杭州斜坡带中段为杭州 35 古隆起, 始新世前具有继承性发育特征[17], 南北分隔作用明显。杭州 35 古隆起南、北两段为典型的斜坡区, 北段斜坡区紧邻西侧长江拗陷, 受控于 NNE 向迎翠轩主断裂; 南段斜坡区紧邻海礁隆起北块, 受控于 NE 向断裂。在结构上, 杭州斜坡带北、中、南三段呈现出显著的差异(图 3)。

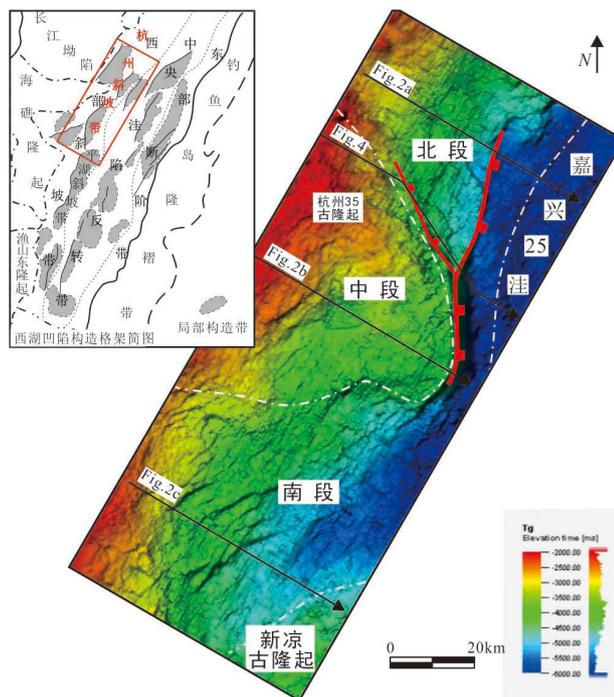


Figure 2. Structural situation and basement (Tg plane) structural map of Hangzhou slope zone in Xihu Depression
图 2. 西湖凹陷杭州斜坡带构造位置图及基底(Tg 面)结构图

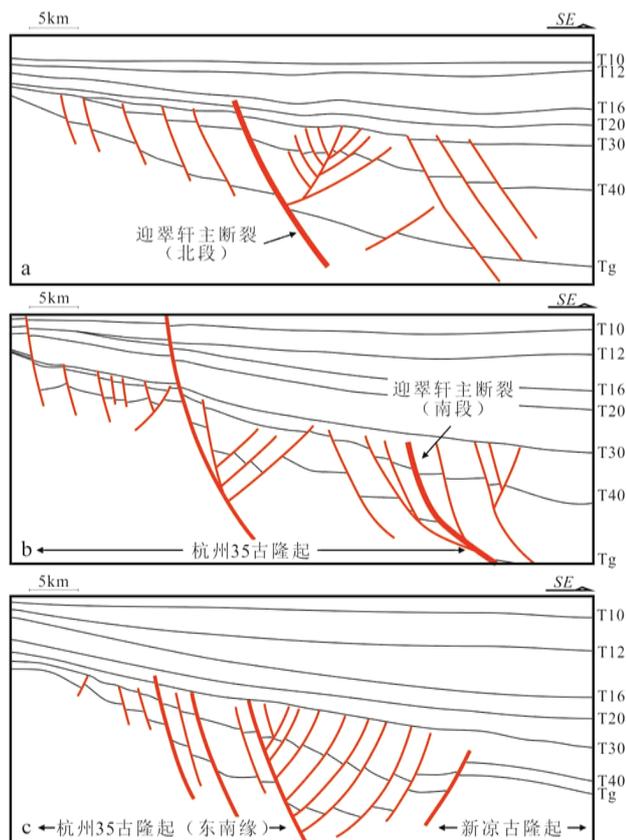


Figure 3. Typical structural profiles of Hangzhou slope zone
图 3. 杭州斜坡带典型结构剖面

1) 杭州斜坡带北段。该段为同向断阶斜坡结构, 西邻长江拗陷东缘隆升剥蚀区, 东侧面向嘉兴 25 洼, 受控于迎翠轩主断裂及其派生断裂, 断裂总体向东逐级下掉, 构成同向断阶, T40~T30 界面之间的中上始新统地层受同向断阶控制较为显著。此外, 受南缘杭州 35 古隆起嵌入影响, 迎翠轩主断裂(北段)两盘存在相对扭动, 在断裂下降盘一侧局部发育中等规模的扭动似花状背斜群(图 3(a))。

2) 杭州斜坡带中段。该段主体为杭州 35 古隆起, 古隆起北、东、南缘分别受到 NWW 向、近 SN 向和 NE 向三组倾向外侧的基底断裂所围限, 形成中部高, 周缘低的古隆起形态。古隆内部主要受控于古老的古新世 NE 向基底断裂, 断裂东倾为主, 局部西倾(图 3(b))。此外, 杭州 35 古隆起明显受到 NWW 向岩浆侵入作用改造, 根据火成岩体与地层接触关系及邻区火成岩年代, 推断岩浆改造作用发生在古新世末至早始新世。

3) 杭州斜坡带南段。该段夹持于杭州 35 古隆起(东南缘)和新凉古隆起之间, 总体表现为同向和反向断层控制的地堑结构, 斜坡中央发育局部次洼, 构成复合断阶斜坡(图 3(c))。次洼区内主要发育 NE 向断裂, 受北缘杭州 35 古隆起向东嵌入影响, 这些 NE 向断层表现出一定的扭动特征, 并控制似花状背斜群的发育。似花状背斜的形态及不整合面特征反映其主要定型于始新世末玉泉运动时期。

3. 杭州斜坡带北段断裂展布特征

3.1. 断裂总体特征

根据杭州斜坡带结构及控坡断裂的相对分布, 杭州斜坡带北段断裂主要包括迎翠轩主断裂北段两侧及主断裂南段东侧的断裂。区内多数断裂发育于古新世、始新世时期。根据断裂切割层位, 可分为基底隐伏断裂、基底长期活化断裂、盖层内派生断裂、悬挂次级断裂等; 根据断裂走向, 大致存在 NNE-NE、NWW、近 E-W 向 3 组断裂; 根据断裂规模及其影响范围, 有区域性一级断裂、二级控带断裂及三级构造复杂化断裂(图 4(a)):

1) 一级断裂在区内最典型的即为迎翠轩主断裂, 平面近南北向展布, 延伸 50 公里, 为切割基底的长期活化断裂, 活动时期从晚白垩世一直持续到中新世, 断层落差数据显示, 该断裂在基底面(Tg)上表现出明显的“南强北弱”差异发育特征, 南段断距普遍在 3500 m 以上, 北段断距多小于 1000 m, 且分隔南、北段的基底位置为杭州 35 古隆北缘 NWW 向断裂; 随着上覆层系界面断距的逐步减弱, 这种“南强北弱”的分段差异发育特征 T40 界面之后明显弱化, 平湖组沉积时期南、北段断距总体在 150 m 左右(图 4(b))。这种断裂活动差异演变反映迎翠轩主断裂发育过程中具有明显的早期分段特征, 到始新世中晚期 NWW 向断裂基本停止活动后, 南北两条走向不同的断裂才逐步硬链接形成一条贯通的大断裂(图 4(c))。大断裂西侧的上升盘为海礁隆起向西湖凹陷的延伸, 东侧下降盘为凹陷北部最大生烃洼陷——嘉兴 25 洼。此外, 对迎翠轩主断裂起早期分隔作用的杭州 35 古隆北缘 NWW 向断裂也是一级大断裂, 平面延伸 30 公里, 发育于晚白垩-始新世平湖组早期, 为基底隐伏断裂, 始新世后活化较弱。

2) 二级断裂多为区域伸展背景下受迎翠轩主断裂活动影响的派生断裂, 具有生长正断层性质, 走向 NNE-NE 向, 平面延伸小于 10 公里, 控制局部构造和沉积。这些断裂在杭州斜坡带北段以迎翠轩主断裂为界, 西侧上升盘一侧主要发育近平行 NE 走向二级断裂, 受早期 NWW 向断层的影响, NE 走向断裂局部发生 NWW 向弯折; 东侧下降盘主要发育 NNE-NE 走向二级断裂, 受平行于迎翠轩主断裂南段近南北向构造形迹控制, NNE-NE 向断裂多顺近南北向弯折或集体尖灭。

3) 三级断裂主要是一二级断裂的次生断裂, 起重力、局部应力平衡调节作用。平面上表现为 NE 走向和 EW 走向, 延伸小于 3 公里, 主要分布在局部构造核部和西部斜坡高带, 对局部构造及油气起改造作用。

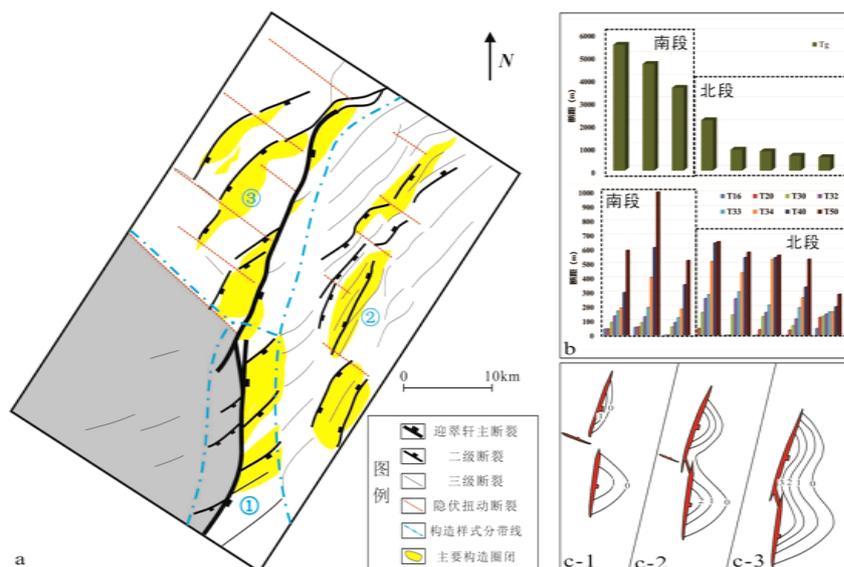


Figure 4. Plane distribution of fault system in the northern part of Hangzhou slope zone
图 4. 杭州斜斜坡带北段断裂系统平面分布图

3.2. 断裂垂向分布特征

杭州斜坡带北段断裂系统在迎翠轩主断裂主控、总体同向东倾的结构背景下, 呈现出明显的“垂向分层”特征, 自下而上, 依次发育下部断陷构造层(Tg~T40)断裂体系、中部断 - 拗转换构造层(T40~T30)断裂体系和上部拗陷 - 反转构造层(T30~T10)断裂体系, 三组断裂体系呈现出明显的差异性(图 5)。

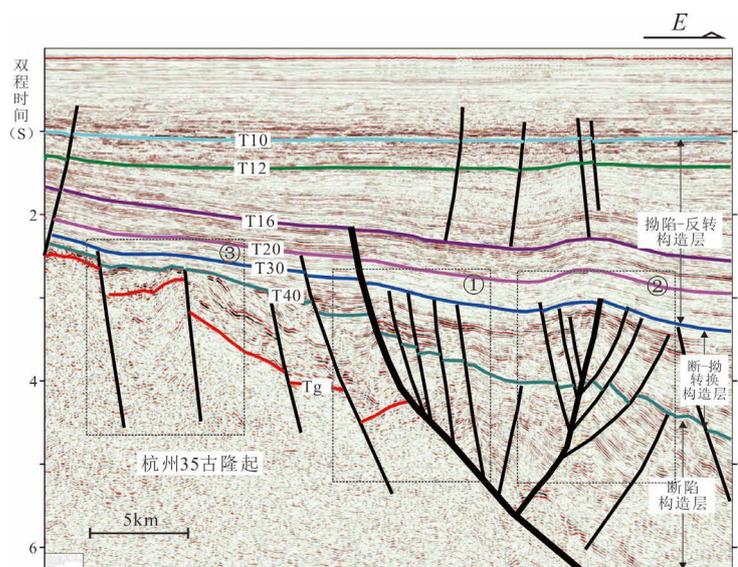


Figure 5. Vertical stratified profiles samples of fault system in the northern part of Hangzhou slope zone. ① broom fault assemblage; ② Flower like fault assemblage; ③ Twisting fault assemblage

图 5. 杭州斜坡带北段断裂系统垂向分层级剖面样式。① 帚状断裂组合; ② 似花状断裂组合; ③ 扭动阶梯式断裂组合

1) 断陷构造层(Tg~T40)断裂体系。主要发育在下始新统及以下地层中, 为广泛的基底卷入型张性正断层, 断层规模较大, 断层走向的分带差异性显著, 以 NWW 和 NNE-NE 向为主, 其中, NWW 向基

底断裂主要分布在杭州 35 古隆的北缘, NNE-NE 向基底断裂主要分布在杭州 35 古隆的东缘, 两组走向的断裂对沉积均具有明显的控制作用, 导致该区围绕杭州 35 古隆起北部和东部的局部沉积中心的分割性较强。

2) 断-拗转换构造层(T40~T30)断裂体系。主要发育在始新统平湖组地层中, 走向以 NNE-NE 向断层为主, 多为下部断陷构造层 NNE-NE 向断层的继承性上延, 由于 NWW 向基底断裂未明显上断至该构造层内, 杭州 35 古隆起的分割性作用已明显减弱, 西高东低的统一斜坡背景逐步成型。同时, 迎翠轩主断裂断距分析结果显示, 相对与断陷期断层控沉积作用已明显减弱(图 4(b))。该层系内统一斜坡背景的形成以及断层活动强度的明显减弱, 反映该区在平湖组沉积时期已进入断-拗转换阶段。

3) 拗陷-反转构造层(T30~T10)断裂体系。主要发育于渐新统、中新统地层中。由于中新世龙井运动作用导致的断陷期伸展断裂挤压反转主要发生在凹陷中央洼陷-反转带及平湖斜坡带, 该区断裂活动明显较弱。局部发育的断裂走向以 NE 和 EW 向为主, 不控制沉积。其中 NE 走向的活动断裂多位于斜坡带西部、凹陷边缘的位置以及迎翠轩主断裂南段; EW 走向断裂主要为晚期横张断裂, 发育于迎翠轩主断裂下降盘背斜顶部, 为只断开中新统地层的悬挂断层, 规模有限。

3.3. 断裂组合样式

杭州斜坡带北段以发育张扭性断裂组合样式为主, 但在不同的地区具体构造样式存在显著差异, 主要包括帚状断裂组合、似花状断裂组合和扭动阶梯式断裂组合样式等(图 5, 图 6)。

断裂组合		平面特征	剖面特征		发育位置	圈闭类型
①	帚状断裂组合		受控迎翠轩主断裂南段, 下降盘地层回倾显著, 同向下降, 掉次级断层发育, 形成帚状断裂组合。		分布于迎翠轩主断裂南段。	帚状构造圈闭
②	似花状断裂组合		受控于隐伏的反向断裂, 至平湖组地层在上、下两盘羽状发散, 并呈现出显著的背斜构造形态, 呈似花状构造形态。		分布于迎翠轩主断裂下降盘。	似花状构造圈闭
③	扭动阶梯式断裂组合		受控迎翠轩主断裂上盘同向下降, 次级断裂下降盘地层回倾显著。		分布于迎翠轩主断裂北段上升盘。	断鼻构造圈闭

Figure 6. Major fault assemblage patterns and characteristics of fault control traps in the northern part of Hangzhou slope zone
图 6. 杭州斜坡带北段主要断裂组合样式及控圈特征

1) 帚状断裂组合。剖面上表现为一系列倾向相同的断层向深部收敛于一条主断裂, 平面上这些向深部收敛的断层也均交于主断裂上。该类断裂组合主要见于迎翠轩主断裂南段(图 4(a)), 由迎翠轩主断裂南段及其 NE-NNE 走向的派生断裂构成, 分布层位主要为始新统平湖组地层, 反映迎翠轩主断裂南段在平湖组沉积时期具有明显的扭动特征。

2) 似花状断裂组合。剖面形态与花状构造相似, 一系列同向、反向的次级断层向深部收敛于一条主断裂, 但主断裂断面上陡下缓, 为明显的张性断层。该类断裂组合主要见于迎翠轩主断裂下降盘(图 4(a)), 受控于西倾的主断裂, 平面上主断裂轴迹两侧一系列 NNE-NE 走向的雁列式断层围绕分布, 平湖组地层有明显的背斜形态。

3) 扭动阶梯式断裂组合。剖面上表现为一系列与地层倾向相同的同向断层发育, 并逐步向凹陷方向下掉, 构成阶梯式断裂组合。该类断裂组合主要见于迎翠轩主断裂上升盘(图 4(a)), 受控于一系列 NNE 走向与迎翠轩主断裂同向下掉的次级断裂, 由于受到 NWW 向断层扭动活化影响, 平面上 NNE 向断裂体系在断层尾部多发生弯折, 形成具有明显 NWW 向扭动影响的阶梯式断裂组合。

4. 杭州斜坡带北段断裂活动期次

根据杭州斜坡带北段断裂体系垂向分层及各层系的断裂组合样式, 杭州斜坡带北段主要断裂活动期可分为断陷、断-拗转换和拗陷-反转三期, 分别为凹陷断陷、断-拗转换、拗陷-反转演化阶段的断裂响应。由于拗陷-反转期断裂强烈活动于杭州斜坡带北段以东的中央-洼陷反转带内, 区内该期断裂活动总体较弱。因此, 三期断裂活动总体表现出由强逐步减弱的特征(图 7、图 8)。

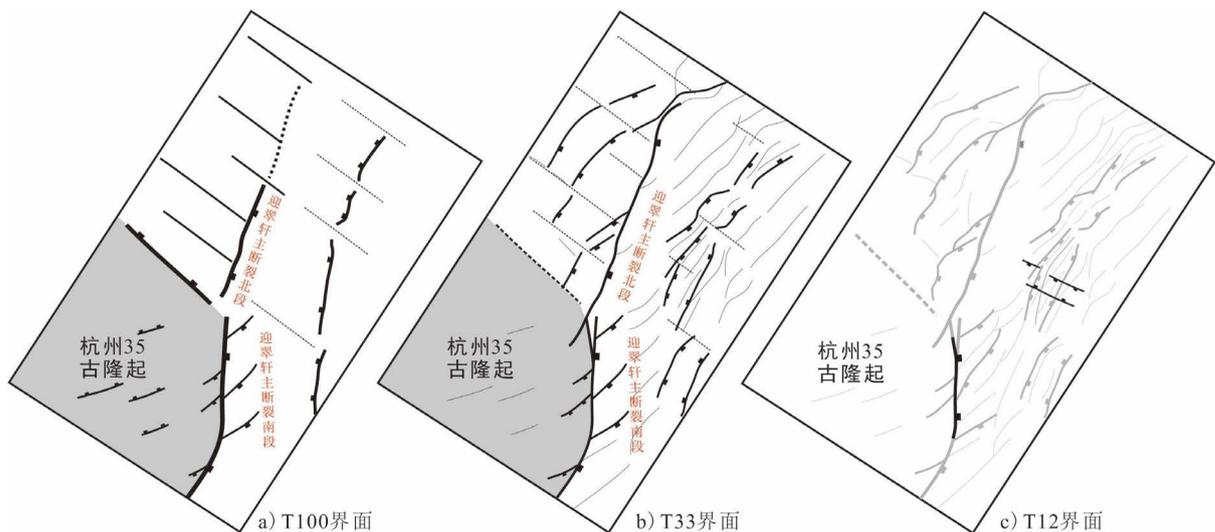


Figure 7. Active periods of faults in the northern part of Hangzhou slope zone

图 7. 杭州斜坡带北段断裂活动期次图

1) 断陷期断裂(T100~T40)。古新世-早始新世时期中国东部陆缘由于受到太平洋板块俯冲后撤影响, 整体处于相对伸展环境, 形成一系列小型局部断陷盆地, 当时的杭州斜坡带北段受杭州 35 古隆起活动影响, 具有明显的分割性, 在古隆起北缘和东缘分别发育走向与之平行的 NWW 向和 NNE 向断陷期张性断裂(图 7(a))。这些断裂普遍具有下切基底, 控制沉积层厚等特征, 是典型的断陷期断裂。其中, 古新世时期, 基底张性断裂活动性强, 对沉积控制作用较明显, 反映该时期为初始断陷(图 8(a)); 进入早始新世时期, 基底张性断裂持续活动, 局部派生次级断层, 单条断层对沉积的控制作用逐步减弱, 但沉积地层分布较稳定, 反映该时期为稳定断陷期(图 8(b))。整个断陷演变阶段, 在古隆起北缘和东缘受 NWW 向和 NNE 向一级断裂控制, 各存在一早期沉积洼陷。早始新世末, 受整体近东西向整体伸展背景控制, 杭州 35 古隆起北缘 NWW 向断裂伸展作用减弱, 并逐步转为扭动特征; 同时杭州 35 古隆起东缘迎翠轩主断裂南段在持续伸展过程中亦发生扭动转向, 控制两侧 NNE-NE 向次级断裂发育。

2) 断-拗转换期断裂(T40~T30)。中始新世, 受太平洋板块俯冲转向影响, 伸展应力背景减弱, 杭州斜坡带所处的西湖凹陷由早期分隔断陷向统一东断西超盆地转变, 在杭州斜坡带北段表现为杭州 35 古隆起北缘 NWW 向断层完全停止活动, 迎翠轩主断裂南、北段硬链接成为一条统一的控坡断裂, 斜坡整体受到 NNE-NE 向断裂体系的控制(图 7(b))。受早期杭州 35 古隆起边界形态影响, 区内断裂活动明显受到区域扭动作用影响。由于断裂对平湖组沉积的控制作用总体较弱, 该期断裂在张扭性背景下具有明显

的断-拗转换特征。断裂剖面演变特征显示, 中上始新统平湖组沉积时期, 断裂发育密度明显增大, 受扭动背景影响断裂组合形态复杂化, 帚状、似花状等扭动断裂组合逐步发育(图 8(c))。平湖组沉积末期, 受杭州 35 古隆起挤压抬升影响, 迎翠轩主断裂等大断裂弱挤压反转, 控制了局部微弱的背斜形态, 帚状、似花状等扭动断裂组合在该时期大致定型。

3) 拗陷-反转期断裂(T30~T10)。渐新世以后, NE-NNE 东向断裂活动基本停止, 但杭州 35 古隆东缘迎翠轩主断裂南段仍有较为明显的局部活动特征, 同时, 在迎翠轩主断裂下降盘似花状构造背斜核部, 局部可见 EW 向横张断层发育(图 7(c))。该现象反映在经历拗陷阶段断裂活动平静期后, 中新世时期受龙井运动影响, 杭州 35 古隆相对于嘉兴 25 洼仍存在一定的垂向抬升作用(图 8(d))。迎翠轩主断裂发生局部晚期活化, 向上刺穿渐新统、中新统地层, 帚状构造、似花状构造背斜形态在渐-中新统地层中进一步强化, 并最终定。

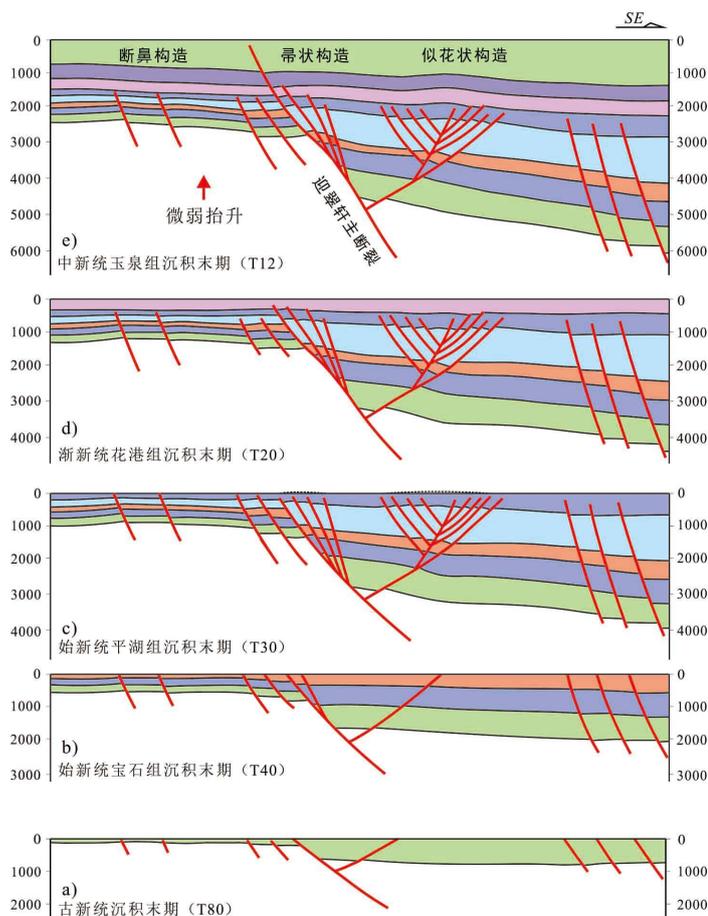


Figure 8. Fault evolution map in the northern part of Hangzhou slope zone (Profiles situation is the same as Figure 2(a))
图 8. 杭州斜坡带北段断裂演化图(剖面位置同图 2(a))

5. 断裂对圈闭的控制

杭州斜坡带北段断裂主要定型于断-拗转换阶段的平湖组沉积期, 拗陷-反转期断裂分布及影响有限, 因此, 中上始新统断-拗转换构造层为区内的主要圈闭分布层系。从该构造层平面特征看, 圈闭多受近 NNE-NE 向断裂控制, 根据断裂组合样式, 区内局部构造可划分为帚状构造圈闭群、似花状构造圈闭群和断鼻构造圈闭群(图 6、图 4(a))。

1) 帚状构造圈闭群: 主要发育于迎翠轩主断裂南段两侧, 受控于帚状断裂组合。受断-拗转换期张扭影响, 在迎翠轩主断裂南段两侧派生一系列 NE-NNE 向断裂, 平面形成帚状断裂组合形态, 后期受玉泉运动影响, 在杭州 35 古隆起约束背景下发育一系列鼻状构造, 主要受主断裂及次级 NE-NNE 向断裂共同控制, 这些构造从西向东由高到低逐级排列, 圈闭面积 60~70 km², 幅度在 180~600 m。

2) 似花状构造圈闭群: 主要发育于迎翠轩主断裂北段下降盘, 受控于似花状扭动断裂组合, “花心”平湖组地层背斜轴迹沿此断裂分布, 轴迹两侧被一系列 NNE-NE 走向的雁列式断层围绕并进一步复杂化。受后期来自东侧龙井运动挤压叠加控制, “花心”构造幅度进一步增大, 圈闭面积 10~25 km², 幅度在 120~300 m。

3) 断鼻构造圈闭群: 主要发育于迎翠轩主断裂北段上升盘, 受控于扭动阶梯式断裂组合, 断层对平湖组沉积地层具有一定的控制作用, 受断-拗转换末期玉泉运动影响, 断裂下降盘地层牵引背斜形态较明显, 由断层和地层回倾共同控制圈闭形态。这些断鼻圈闭面积在 7~30 km², 幅度在 60~260 m。

此外, 断陷期断裂对平湖组内的圈闭亦产生一定的影响, 在迎翠轩主断裂北段上升盘断鼻构造圈闭群中的 NNE-NE 向主控断裂多受到下伏 NWW 向断裂扭动调节的影响, 具有局部弧状弯折的特征, 优化了圈闭形态。拗陷-反转期是斜坡带油气成藏的关键时期, 该时期断裂在区内对平湖组地层中圈闭的改造作用相对较弱, 表现为断裂并没有向上断至花港组上段区域性盖层(图 3), 因此, 油气主要在断层所错断的平湖组构造圈闭内成藏。同时, 在挤压反转背景下, 这些圈闭主控断裂表现为压性, 能起到良好的侧向封闭作用, 来自深洼带的油气在断层下降盘一侧圈闭群内富集, 挤压过程中背斜形态强化(图 8(e)), 增大了油气富集规模。

6. 结论

1) 杭州斜坡带具有“南北分块”特征, 其中中部发育杭州 35 古隆起, 始新世前具有继承性发育特征, 起明显的分隔作用: 以杭州 35 古隆起及其东部延伸为界, 可分为南、中、北三段。其中, 中段为斜坡杭州 35 古隆起分布区, 南、北两段为稳定的斜坡区。北段斜坡区受杭州 35 古隆起约束, 主要受控于 NNE 向迎翠轩主断裂。

2) 杭州斜坡带北段多数断裂发育于始新统及以下地层, 多见于断陷构造层(Tg~T40)和断-拗转换构造层(T40~T30)。断陷构造层(Tg~T40)断裂规模较大, 存在 NNE-NE 和 NWW 两组走向的断裂, 控沉积作用明显。断-拗转换构造层(T40~T30)断裂以 NNE-NE 走向为主, 控沉积作用相对较弱。

3) 受断裂活动期次影响, 杭州斜坡带北段圈闭主要发育于断-拗转换构造层(T40~T30)平湖组地层内, 圈闭受 NNE-NE 向断裂控制, 受玉泉运动及后期龙井运动叠加改造影响, 牵引背斜形态较显著。根据断裂及背斜组合样式, 区内构造圈闭可划分为断鼻构造圈闭群、帚状构造圈闭群和似花状构造圈闭群。

4) 在油气地质意义方面, 杭州斜坡带北段成藏条件优越, 处于杭州 35 古隆起倾没端及翼部, 是嘉兴 25 洼生成油气运聚的有利低势区。同时在中新世中晚期平湖组烃源岩大规模生排烃期, 该区迎翠轩控带断裂又处于拗陷-反转的活化阶段, 形成良好的油气输导高速通道, 利于油气向周边玉泉运动形成的圈闭中聚集成藏。因此, 研究认为迎翠轩主断裂下降盘帚状、似花状构造圈闭是值得进一步勘探的有利目标区带。

基金项目

国家重大科技专项“东海盆地结构和构造演化特征研究”(No. 2016ZX05027-001-001)。

参考文献

[1] 吴孔友, 秦磊, 谭明友, 王玥阳. 构造对东营凹陷深层砂体发育的控制作用[J]. 沉积学报, 2014, 32(5): 893-900.

-
- [2] 陈晓红, 何文渊, 冯子辉. 松辽盆地徐家围子断陷主要断裂对气藏的控制作用[J]. 天然气工业, 2012, 32(3): 53-56.
- [3] 姚超, 焦贵浩, 王同和, 等. 中国含油气构造样式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [4] 朱伟林, 王国纯. 中国近海前新生代油气勘探新领域探索[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 215-226.
- [5] 蒋一鸣. 西湖凹陷平湖斜坡带平湖组碎屑锆石 U-Pb 年龄及米兰科维奇旋回: 对源-汇系统及沉积演化的约束[J]. 地质科技情报, 2019, 38(6): 133-140.
- [6] 唐贤君, 蒋一鸣, 张绍亮. 平湖斜坡带火山岩层发育构造环境及油气地质意义[J]. 地质科技情报, 2018, 37(1): 27-36.
- [7] 沈伟峰, 零克钢. 西湖凹陷断裂系统与油气分布关系[C]//第五次东海石油地质研讨会论文集. 上海: 上海市石油学会, 2004.
- [8] 杨丽娜, 王丽顺. 西湖凹陷保斜坡断裂特征及与油气成藏的关系[J]. 海洋石油, 2007, 27(1): 19-24.
- [9] 蔡华, 张建培. 东海西湖凹陷平湖斜坡带断层特征及其封闭性[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(4): 20-26.
- [10] 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.
- [11] 张建培. 东海西湖凹陷平湖斜坡带断裂系统特征及成因机制探讨[J]. 地质科学, 2013, 48(1): 291-303.
- [12] 唐贤君, 蒋一鸣, 张建培, 等. 东海盆地西湖凹陷平北区断陷层断裂特征及其对圈闭的控制[J]. 海洋地质前沿, 2019(8): 34-43.
- [13] 刘金水, 廖宗廷, 贾健谊, 等. 东海陆架盆地地质结构及构造演化[J]. 上海地质, 2003(3): 1-6.
- [14] 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): 91-98.
- [15] Zhu, W.L., Zhong, K., Fu, X.W., Chen, C.F., Zhang, M.Q. and Gao, S.L. (2019) The Formation and Evolution of the East China Sea Shelf Basin: A New View. *Earth-Science Reviews*, **190**, 89-111. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.009>
- [16] 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[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 1-10.
- [17] 孟祥君, 张训华. 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): 61-63.