

东海陆架盆地西湖凹陷宁波构造带反转背斜分段差异变形及其油气地质意义

唐贤君¹, 朱虹浩¹, 李 宁¹, 余一欣^{2,3}, 钟荣全¹, 余 浪^{2,3}

[1. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249]

摘要:西湖凹陷宁波构造带Y背斜是近些年东海陆架盆地油气勘探评价的热点区域, 但该构造油气差异富集主控因素及有利勘探方向仍不十分明确。通过对宁波构造带Y背斜进行精细构造解析, 研究了背斜分段差异变形特征及其主控因素, 探讨了其油气地质意义。研究表明: 根据构造形态差异, 可将Y背斜划分为南、中、北3段, 各段次级背斜受控于不同的反转断裂, 中段挤压抬升幅度最大。控制Y背斜南、北分段差异变形的主要因素为区域挤压应力作用、先存控洼断裂差异以及刚性基底导致的局部应力集中等。相对于Y背斜南、北段, 中段的强烈挤压收缩过程引发整体抬升, 将原本独立发育的南、北段次级背斜卷入变形, 进而形成南、北差异的大型复式背斜。南北差异变形及不同期次叠加变形导致Y背斜不同部位油气差异富集。据此提出了花港组和龙井组多个有利勘探领域, 为该地区的天然气勘探提供了重要方向。

关键词:分段性; 差异变形; 油气差异聚集; 反转背斜; 宁波构造带; 西湖凹陷; 东海陆架盆地

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Segmented differential deformation of inverted anticlines and its significance on hydrocarbon accumulation in the Ningbo structural zone, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

TANG Xianjun¹, ZHU Honghao¹, LI Ning¹, YU Yixin^{2,3}, ZHONG Rongquan¹, YU Lang^{2,3}

[1. Research Institute of Shanghai Branch of CNOOC (China) Limited, Shanghai 200335, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: The Y-shaped anticline, situated in the Ningbo structural zone, Xihu Sag, has emerged as a focal point in hydrocarbon exploration and assessment in the East China Sea Shelf Basin in recent years. However, the dominant factors controlling the differential hydrocarbon accumulation and favorable exploration targets in this anticline are yet to be clarified. Through fine structural analysis, we investigate the segmented differential deformation of the Y-shaped anticline and controlling factors, as well as its significance on hydrocarbon accumulation. The results indicate that the Y-shaped anticline can be divided into southern, central, and northern segments based on the differences in structural morphology. The secondary anticlines in these segments are governed by various inverted faults, with the central segment exhibiting the most significant compressional uplift. The main factors controlling the differential deformation in the southern and northern segments include regional compressive stress, differences in pre-existing sub-sag-controlling faults, and localized stress concentration induced by rigid basement. In contrast, the central segment experienced uplift overall driven by intense compression and contraction. Consequently, the originally separated secondary anticlines in the southern and northern segments underwent deformation, eventually forming a large anticlinorium featuring disparities

收稿日期: 2024-05-20; 修回日期: 2024-07-24。

第一作者简介: 唐贤君(1985—), 男, 高级工程师, 含油气盆地构造地质学。E-mail: tangxj4@cnooc.com.cn。

通信作者简介: 余一欣(1977—), 男, 博士、教授, 含油气盆地构造地质学。E-mail: yuxin0707@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(42072149); 中国海洋石油有限公司综合科研项目(KJZH-2023-2103)。

in the southern and northern parts. The differential deformation of the southern and northern segments, coupled with the multistage superimposed deformation, results in differential hydrocarbon accumulation in different parts of the Y-shaped anticline. It can be concluded from these findings that the Huagang and Longjing formations contain multiple favorable exploration targets, which will be of great help to gas exploration in the Xihu Sag.

Key words: segmentation, differential deformation, differential hydrocarbon accumulation, inverted anticline, Ningbo structural zone, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

引用格式:唐贤君,朱虹浩,李宁,等. 东海陆架盆地西湖凹陷宁波构造带反转背斜分段差异变形及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2025, 46(1): 167–177. DOI: 10. 11743/ogg20250112.

TANG Xianjun, ZHU Honghao, LI Ning, et al. Segmented differential deformation of inverted anticlines and its significance on hydrocarbon accumulation in the Ningbo structural zone, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2025, 46(1): 167–177. DOI: 10. 11743/ogg20250112.

反转构造是指构造变形发生反向变化所产生的与前期构造性质相反的一种叠加构造,可根据不同性质的构造叠置顺序将其划分为正反转构造和负反转构造^[1-3]。含油气盆地内反转构造是一类重要的叠加构造样式,尤其是那些受后期挤压应力作用而反转形成的背斜构造,不仅为油气聚集提供了圈闭条件,而且反转背斜中的反转断层也为油气运移提供了通道。勘探实践已证实,反转背斜是东海陆架盆地西湖凹陷内一类比较常见的重要含油气构造^[4-6]。

东海陆架盆地西湖凹陷反转背斜规模大、类型多,在中国东部中、新生代盆地中具有一定特殊性,尤其是中央洼陷反转带上的背斜构造已成为目前油气勘探研究的热点领域^[7-11]。前人针对西湖凹陷反转背斜的构造样式、分布规律及其成因机制等开展了相关研究^[7,14-19],划分了反转构造类型,利用反转率、剖面缩短率、反转断层断距和褶皱波幅等参数计算了反转强度^[15,17,20],并认为中央洼陷反转带背斜的挤压变形强度存在明显的南北差异,总体具有“北强南弱”的特点^[18]。但是,前人关于西湖凹陷中央洼陷反转带背斜南北差异的研究多局限在整个构造带的区域对比分析上,目前仍缺少对同一构造带内部差异变形的精细分析。另外,西湖凹陷中央洼陷反转带内各背斜构造普遍揭示油气层系,但不同背斜构造的油气富集程度存在显著差异,表现在各背斜构造中油气富集部位和层段以及主要油气藏类型和规模的不同^[21-22],而目前关于这种油气差异富集的主控因素仍不明确。因此,偏宏观的反转背斜发育特征研究已经不能满足西湖凹陷中央洼陷反转带油气成藏研究及资源潜力评价的需要,有必要针对反转背斜进行更为精细的构造解析。本文通过对三维地震资料的精细解释,对西湖凹陷宁波构造带大型Y背斜开展精细构造解析,分析背斜南北差异变形特征,并探讨南北差异变形对油气聚集的影

响,以为进一步明确该区油气勘探方向提供科学依据。

1 区域地质背景

西湖凹陷位于东海陆架盆地中部,整体呈NNE向延伸(图1a)。西湖凹陷在断陷及挤压反转共同影响下表现出“东西分带”特征,自西向东可划分为西部斜坡带、中央-洼陷反转带和东部断阶带等次级构造单元^[18](图1a)。西湖凹陷自下而上依次发育始新统八角亭组、宝石组、平湖组,渐新统花港组,中新统龙井组、玉泉组、柳浪组,上新统三潭组和第四系东海群,推测深层局部地区还可能存在古新统^[5](图2)。自晚白垩世以来,西湖凹陷先后经历了晚白垩世初始裂陷、古新世一早-中始新世断陷、中-晚始新世断-拗转换、渐新世—中新世拗陷-反转和上新世以来区域沉降等演化阶段,其中拗陷-反转阶段先后发生了玉泉运动、花港运动和龙井运动^[5]。发生在中新世末期的龙井运动挤压反转作用相对更为强烈,对中央洼陷反转带大型反转背斜构造带的形成有明显控制作用^[16]。

中央洼陷反转带内反转背斜的形成主要受控于正反转断层,断层剖面组合样式主要有“y”型、反“y”型、复合“y”型和多米诺式等。根据反转背斜形态的变化,中央洼陷反转带自北向南可进一步划分为嘉兴构造带、宁波构造带、黄岩构造带和天台构造带等^[23](图1a)。在中新世末龙井运动挤压作用影响下,反转背斜的挤压变形强度表现出“北强南弱”的特点^[18],其中宁波构造带挤压变形最强^[15,17],其背斜规模和地层剥蚀厚度都比较突出。

中央洼陷反转带内勘探目的层系以渐新统花港组为主,局部包含中新统龙井组及始新统平湖组上段等层系。区带内圈闭多与龙井运动挤压作用下形成的反转背斜有关,圈闭类型包括背斜、断背斜圈闭以及背斜

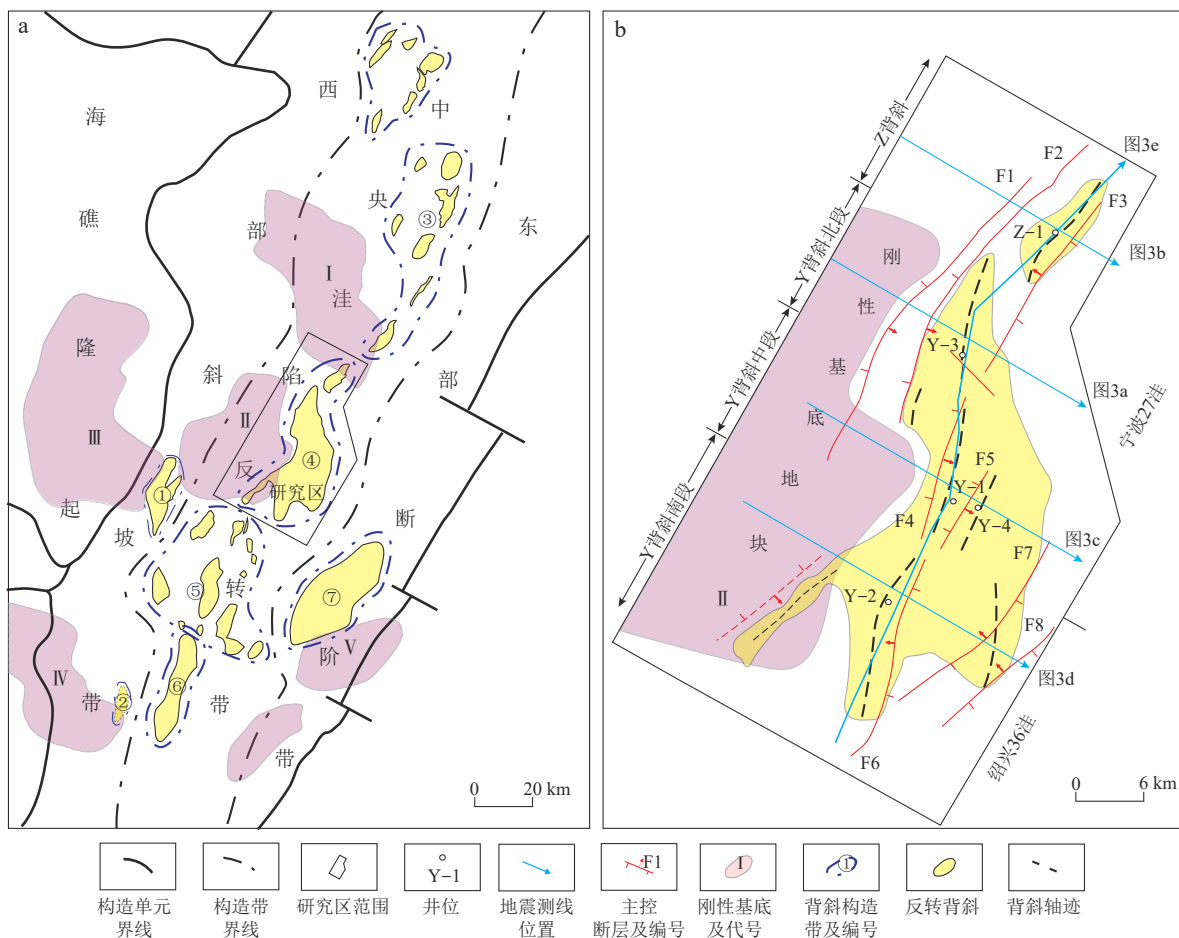


图1 西湖凹陷反转背斜分布(a)和宁波反转背斜带主要构造特征(b)(据文献[18-19]修改)

Fig. 1 Map showing the inverted anticline distribution in the Xihu Sag (a) and the schematic diagram showing the main structural characteristics of the Ningbo inverted anticline zone (b) (modified after references [18–19])

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
(I—V是根据重磁资料推测的刚性基底。)

背景上的构造-岩性复合圈闭等^[6]。区带内油气充注时间较晚,主要发生在中新世末之后,源自平湖组煤系烃源岩的油气通过反转断层垂向运移至相关圈闭中成藏^[23, 24]。

2 分段差异变形特征

宁波构造带主要由规模大小不一的2个背斜构成,为便于区分,本文将位于南部的大背斜称为“Y背斜”,北部相对较小的背斜称为“Z背斜”,2个反转背斜的轴迹延伸方向与中央注陷反转带其他背斜基本一致,均为NE向。其中,Y背斜面积超过500 km²,背斜轴迹延伸长度约是Z背斜的3倍(图1b)。从地震剖面上的主控断层、反转背斜样式(图3)以及挤压变形强度来看,Y背斜具有南北分段差异变形的特点,以Y背斜内局部的向斜鞍部为分界线,可分为北段、中段和南

段(图 1b,图 3e)。

2.1 主控断层及背斜形态差异

Y背斜北段受控于东倾断层F1和F2,与西倾次级断层F3构成反“y”型组合样式,背斜轴迹更靠近东倾断层F2,褶皱紧闭程度较高(图3a)。值得注意的是,Z背斜与Y背斜北段之间虽存在明显的向斜分隔,但两处背斜均受到F2和F3断层控制(图1b,图3a,b)。

Y背斜中段主要受东倾断层F4和F5控制,虽然在倾向上与北段断层F1和F2相同,但其深层受西倾断层F7控制作用更强,且断层F5向深部终止于断层F7,因此中段背斜构造样式总体为复合“y”型(图3c)。该段背斜轴迹相对于北段明显向东偏移,且背斜褶皱分布范围明显加宽。

Y背斜南段主要受到西倾断层控制,东、西两翼分别表现为多米诺式和“v”型特征(图3d)。背斜轴迹及

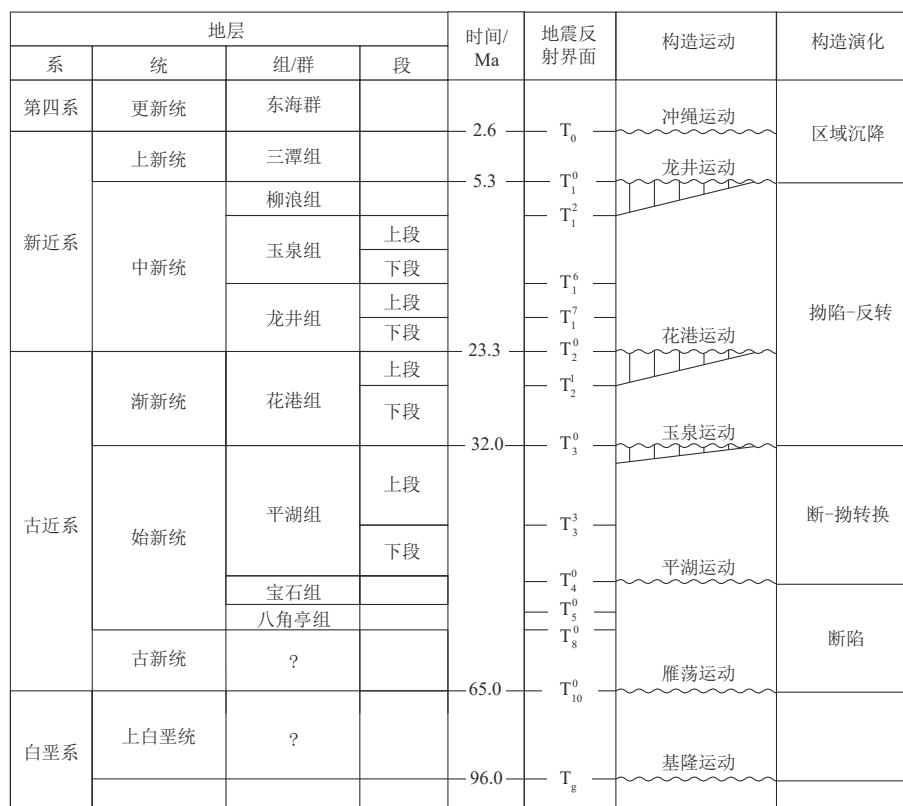


图2 西湖凹陷地层及构造演化(据文献[5]修改)

Fig. 2 Column showing the stratigraphic and structural evolution of the Xihu Sag (modified after reference [5])

高点主要沿断层F6分布。此外,该段背斜内部的西倾正断层F7和F8也对背斜形态起一定控制作用,背斜的紧闭程度弱于中段和北段。

2.2 背斜反转强度差异

本文主要通过褶皱波幅比、反转背斜主控断层的逆断距以及背斜主控断层反转前的规模大小等参数来表征Y背斜不同部位挤压反转变形强度的差异。

背斜褶皱波幅比即背斜幅度与宽度之比,即通过褶皱的紧闭程度来反映挤压作用强度^[25]。根据图4b可以看出Y背斜中段波幅比略大于北段,显著强于南段,反映中段背斜褶皱作用强烈。Z背斜总体规模虽不及Y背斜,但其波幅比明显大于邻近的Y背斜北段,与Y背斜中段相当。总体反映宁波构造带内受东倾断层控制的区域褶皱变形强度显著高于受西倾断层控制的区域(图4b)。

主控断层逆断距主要参考 T_2^0 和 T_3^0 界面。由于 T_2^0 界面在反转前并未受到正断层影响,界面附近逆断距直接反映挤压反转强弱。 T_2^0 界面逆断距最大值处于Y背斜北段邻近中段的部位,F2的逆断距最大可达200 m以上(图4c)。由该部位向背斜南段和北段,主控断层F2,F4和F6的逆断距均明显减弱,反映反转

断层活动减弱。 T_3^0 界面在反转前已经受到正断层影响,因此,从断距柱状图上可见正断距与逆断距同时存在(图4c)。在背斜中段断层F4逆断距最大,在100~180 m;北段断层F2次之,逆断距在50~110 m,并向北明显减弱;南段断层F6和Z背斜断层F2在 T_3^0 界面仍表现为正断距。 T_2^0 和 T_3^0 界面逆断距在中段和北段集中的特征反映Y背斜南段断层反转作用强度不及中段和北段主控断层。

断层两侧原始地层厚度可以反映反转前断层的规模。由于花港组下段受到早期伸展作用影响, T_2^0 和 T_3^0 界面之间的古落差大小可以反映反转前断层的规模。根据花港组古落差数据可以看出,Z背斜及Y背斜北段主控断层F2古落差最大可达200 m以上,且向Y背斜中段逐步减小,反映断层F2规模由北向南减弱(图4d)。Y背斜南段主控断层F6规模与北段断层F2相当,古落差最大接近250 m。而Y背斜中段断层F4较为特殊,该断层的 T_2^0 和 T_3^0 界面逆断距基本相当(图4c),花港组古落差接近于零(图4d),反映断层在龙井运动挤压反转前并未发育。因此,在Y背斜内部,反转前背斜主控断层规模表现出“南、北强-中段弱”的特征,这与反转褶皱波幅比和主控断层逆断距的强弱关系相反。

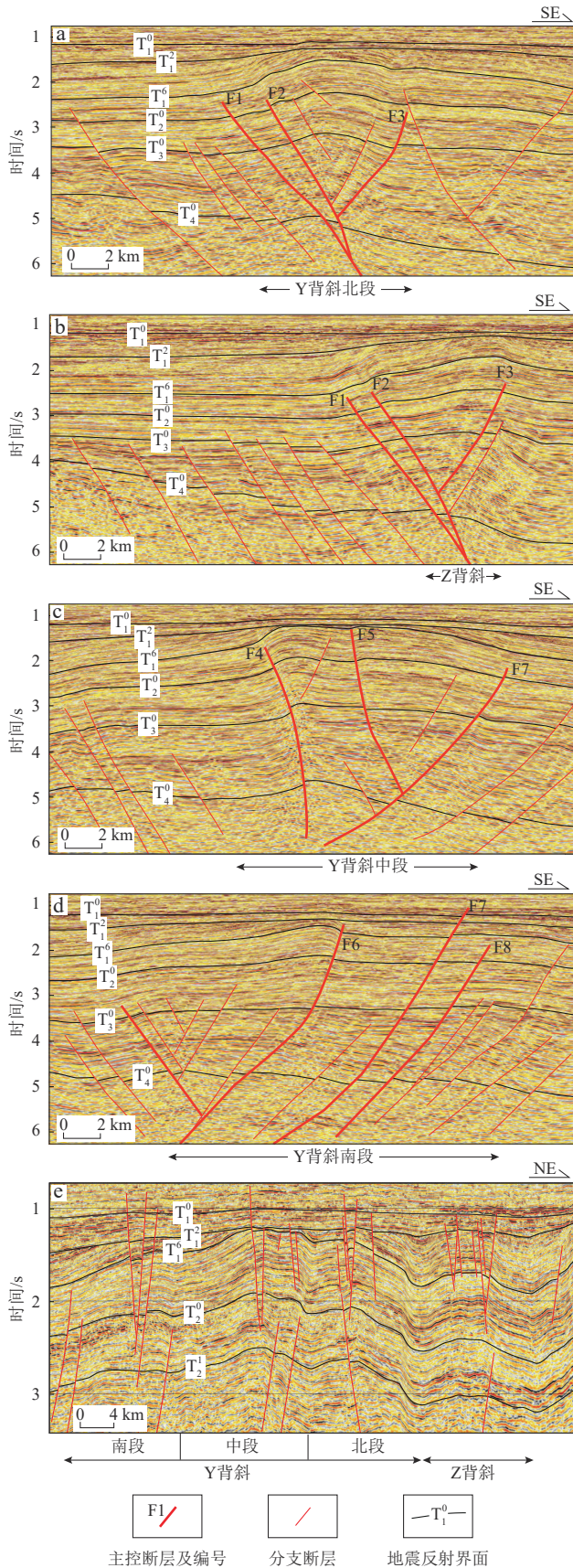


图3 西湖凹陷宁波构造带典型地震剖面(剖面位置见图1b)
Fig. 3 Typical seismic sections of the Ningbo structural zone, Xihu Sag (see Fig. 1b for the section locations)

综上所述,受不同反转断层活动控制,宁波构造带Y背斜表现出明显的南北分段差异变形特征,且与相邻的Z背斜相比,亦表现出一定特殊性。宁波构造带北部相对独立的Z背斜主要受控于东倾断层F2,该背斜的形成与前人普遍认为的先存伸展正断层反转主控相吻合^[7,26-27]。在Y背斜区南、北不同段均表现出受先存伸展正断层反转的控制(图3a,c—d),但与南段和北段相比,中段褶皱波幅比最大、抬升最强,有可能存在断层反转以外的其他控制因素。

3 南、北分段差异变形机制

与南段和北段相比,Y背斜中段更为特殊,其高点明显高于邻近的南、北两段,与南、北两段的局部高点之间存在明显的向斜鞍部相分隔(图3e)。据此,本文推断Y背斜中段在原有F4断层控制的局部独立背斜基础上被整体抬升,导致其南、北起分隔作用的向斜鞍部被弱化,并带动相邻的南段和北段独立背斜抬升,从而形成大型Y背斜。推断的主要依据包括:①Y背斜南段、中段和北段主控断层及构造样式不同,且各段主控断层及背斜轴迹存在显著偏差(图1b),反映各段早期可能为相对独立的局部背斜;②中段背斜核部近EW向、偏张性的无根横断层发育密度及规模显著高于南段和北段,这种浅层断层与反转背斜同期形成,是反转背斜抬升过程中顺轴向倾伏、沿背斜轴迹方向局部拉伸背景下形成的^[24]。这些无根横断层的发育密度可以间接反映背斜在挤压变形中抬升的强度,因此Y背斜中段经历的抬升作用应更强于南段和北段(图5a)。

本文基于上述推测恢复Y背斜中段整体抬升作用前的形态,将通过宁波构造带背斜轴迹剖面(图3e)中 T_1^6 、 T_2^0 和 T_2^1 界面作为背斜形态的参考线(图5b),发现Y背斜南、北段局部高点(图5b中B点和D点)具有由深层到浅层逐步向背斜中段(图5b中C点)偏移的现象。如果将Y背斜中起分隔作用的向斜鞍部(图5b中E点和F点)下移到Z背斜南侧向斜(图5b中G点)同样的深度,即消除了Y背斜中段整体抬升的影响(整体抬升量即为图5b中灰色梯形区域)。整体抬升消除后的界面形态即为图5c,图中可见Y背斜南、中段和北各段高点基本与Z背斜高点接近,反映宁波构造带包含Z背斜在内的4个早期的局部独立背斜形态相似,即Y背斜在经历中段整体抬升前,其南段和北各段与邻近的Z背斜规模大体相当。而对于Y背斜中段为何经历了更强的整体抬升,则需要结合区域构造条件及应力背景进一步加以分析。

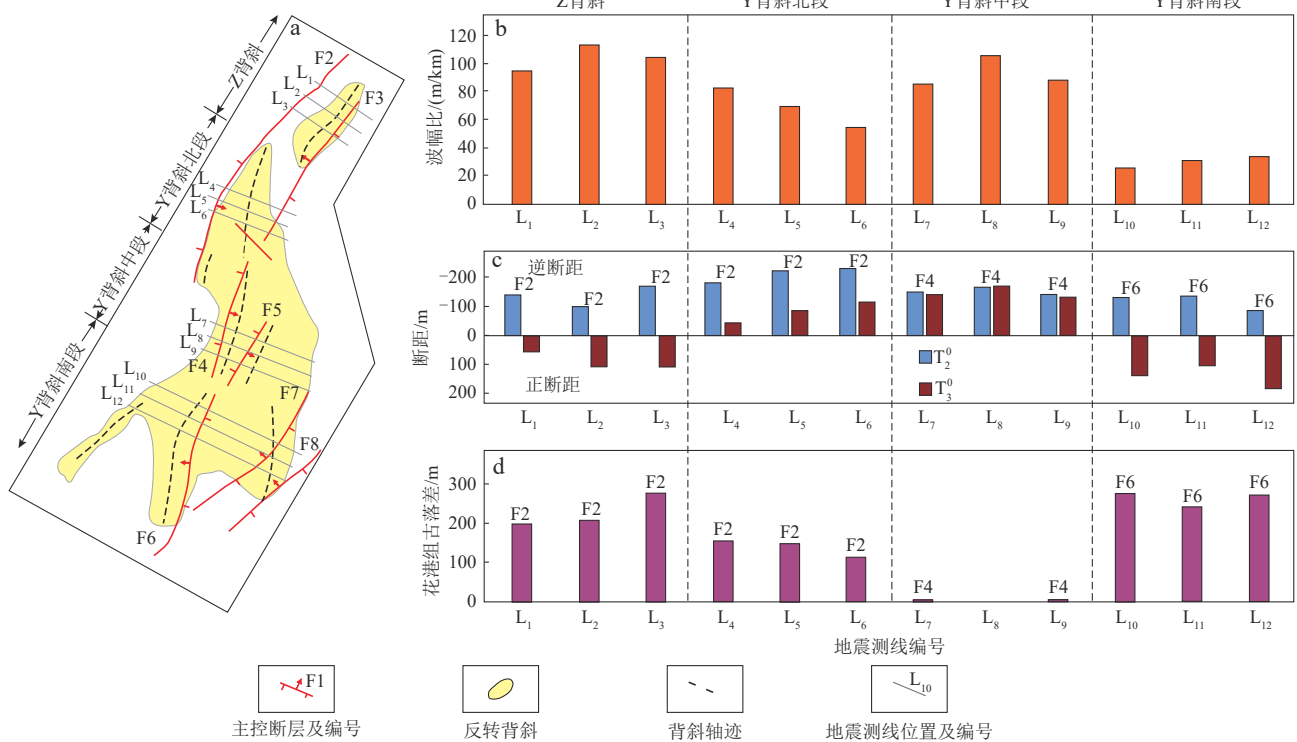


图4 西湖凹陷宁波构造带不同段背斜反转强度对比

Fig. 4 Comparison of the anticline inversion intensities of the different segments in the Ningbo structural zone, Xihu Sag

a. 宁波反转背斜构造纲要;b. 背斜褶皱波幅比;c. 主控断层T₂⁰和T₃⁰界面反转逆断距;d. 主控断层花港组古落差

西湖凹陷中央洼陷反转带大-中型背斜群是在中新世末期龙井运动作用背景下形成的^[9, 23],而宁波构造带复杂的Y背斜是在该时期多种因素共同影响下形成的,这些因素包括挤压为主的区域应力作用、基底控洼断裂南北差异及高磁性刚性基底的局部应力集中,其中后两个因素是控制Y背斜形成及发生南、北分段差异变形的主要因素。

3.1 整体挤压为主的应力作用

西湖凹陷自始新世末期以来,经历了多期挤压反转作用,其中,中新世末期龙井运动引发的挤压作用控制了中央洼陷反转带延伸长度超300 km,形成了呈条带状延伸的大-中型背斜群。该时期,随着菲律宾海板块整体停止扩张并向北移动,东亚陆缘中段以东成为菲律宾海板块俯冲带的一部分,板块向西俯冲的挤压应力直接传递到东海陆架盆地,导致该区发生强烈的近EW向挤压^[5, 28]。前人研究也表明,在西湖凹陷西部斜坡带和东部断阶带也发育一定规模的反转背斜,东部断阶带及中央洼陷反转带构造反转强度总体上有此消彼长、强弱互补的现象,反映龙井运动时期反转背斜是西湖凹陷整体受近EW向挤压应力作用的结果^[17]。

3.2 背斜南段和北段先存基底控洼断裂的差异

西湖凹陷大-中型背斜的形成多受控于断陷期伸展断层的反转活化,如Y背斜北段主控断层F1和F2,以及南段主控断层F6、F7和F8等均为断陷期同沉积断层。Y背斜处于绍兴36洼和宁波27洼南北过渡部位,南、北两个洼陷的基底控洼断裂在走向和倾向上均存在明显差异。其中,北段主控断层F1和F2在深部为宁波27洼西缘断裂的次级断层,断面东倾,走向NE—NNE;南段主控断层F6等为绍兴36洼东缘断裂的向北延伸段,断面西倾,走向NNE(图6)。这种控洼断裂的南北差异可能与东海陆架盆地西湖凹陷深层发育的NWW向基底深断裂存在一定联系^[29-30]。受深部构造格局南北差异影响,Y背斜南段主控断层F6和北段主控断层F1和F2平面上的左阶雁列式分布恰好控制了其特有的“S”型背斜轴迹形态(图6)。因此,先存基底控洼断裂南、北差异发育的背景决定了Y背斜的复杂形态。

3.3 中段高磁性刚性基底局部应力集中

对于Y背斜中段整体抬升幅度强于南、北两段,并控制背斜发育规模这一现象,本文认为还受到了高磁

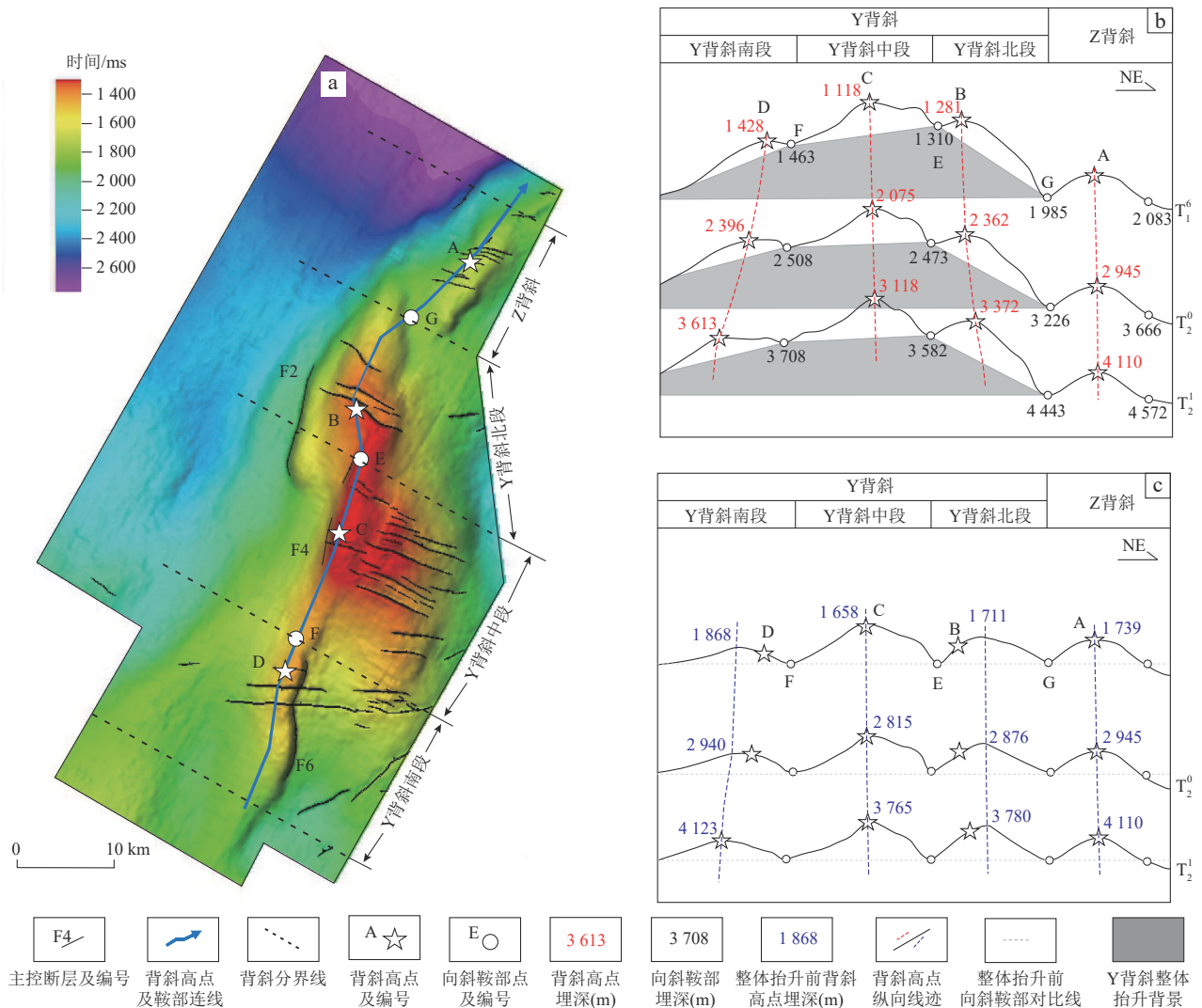


图5 西湖凹陷宁波构造带Y背斜南、北分段发育特征

Fig. 5 Developmental characteristics of the northern and southern segments of the Y-shaped anticline in the Ningbo structural zone, Xihu Sag

a. T_1^0 界面等 T_0 构造图; b. 不同界面高点埋深; c. Y背斜中段整体抬升前各界面高点埋深

性刚性基底的影响。前期研究已经证实,西湖凹陷中北部刚性基底对大-中型反转背斜发育有显著控制作用^[18]。西湖凹陷中部刚性基底地块Ⅱ形态与Y背斜吻合度较好(图1b),主要表现在3个方面:①刚性基底地块Ⅱ南北向延伸40~45 km,与Y背斜南北向延展范围基本吻合;②刚性基底地块Ⅱ东边界形态与Y背斜西缘边界形态吻合且位置基本一致,Y背斜中紧邻刚性基底的受东倾断层控制的区域褶皱变形强度显著高于受西倾断层控制的区域;③刚性基底地块Ⅱ向东突出部位与Y背斜中段反转期新生逆断层F4发育位置吻合。这些现象均反映出Y背斜形态与其西侧刚性基底地块作用关系密切,且能解释Y背斜中反转前主控断层规模较小的中段褶皱变形强度显著高于南段和北段的现象。

然而,在西湖凹陷北部刚性基底地块Ⅰ东侧并未形成同等规模背斜,本文认为这主要和刚性基底走向

与区域应力方向的夹角不同有关(图7)。北部刚性基底地块Ⅰ长轴延伸方向为NNW向,与龙井运动时期NW-SEE向挤压的应力方向斜交(图7b),挤压应力难以集中。而刚性基底地块Ⅱ长轴延伸方向为NE向,与龙井运动时期挤压应力方向近于垂直(图7a),应力更易集中,同时刚性基底地块Ⅱ向东的凸出部位正好对应Y背斜中段,使得Y背斜中段发生更强烈的褶皱变形及整体抬升作用,并带动南、北段背斜抬升,最终控制原南、中、北3段独立背斜组合形成一个大型复式背斜。

4 分段差异变形对油气聚集的影响

中央洼陷反转带背斜区发育上、下两套断裂体系,除了NNE向“先正后逆”的反转断层外,反转背斜核部

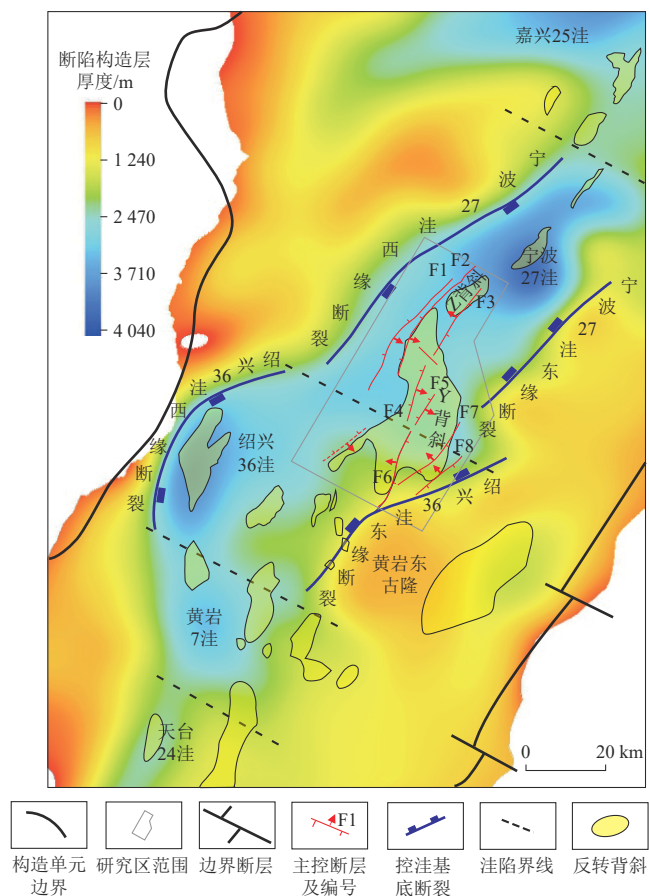


图6 西湖凹陷反转背斜与洼陷结构叠合图

Fig. 6 Inverted anticlines superimposed on the sub-sag demarcation map in the Xihu Sag

中-浅层还普遍发育近EW向无根横断层。前人研究表明,这些断层虽然单个规模小,但对油气藏具有显著破坏作用^[24]。宁波构造带Z背斜钻井揭示,油气主要在 T_2^0 界面之下的花港组上段富集,但Y背斜各高点油气显示层位以及聚集丰度均与Z背斜不同,主力目的层系花港组的成藏规模远不及Z背斜。其主要原因是以Y背斜中段为中心的反转抬升幅度过大,近EW向无根横断层向下切穿 T_2^0 界面之下H1-H2区域盖层(图8),破坏了花港组圈闭,致使油气顺反转背斜主控断层(即通源断裂)垂向输导至花港组上段后,又进一步通过近EW向无根横断层调整至浅层乃至海底发生逸散。因此,Y背斜虽然规模巨大,反转抬升幅度最高,但其油气成藏受浅层大量发育的无根横断层影响,表现出局部聚集的特点(图9),应针对Y背斜上、下不同层系(花港组和龙井组)及南段和北段不同部位寻找有利的局部油气富集带。

4.1 花港组目的层系

由于Y背斜各段主控断层活动性及油气运移条件与Z背斜相似,仅圈闭有效性较差,可以探索Y背斜南、北各段内部未受浅层断层影响的局部背斜圈闭;同时,由于受Y背斜中段整体抬升影响,背斜南段和北段花港组内局部较薄的砂体存在向中段上倾尖灭的可能,因此,也可探索花港组岩性圈闭的勘探潜力,特别

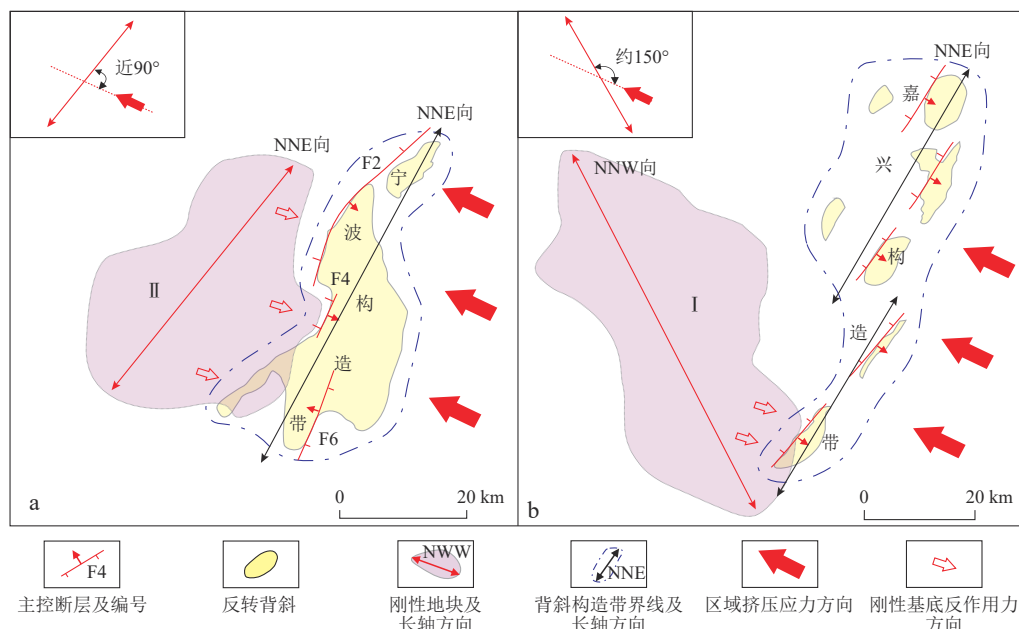


图7 西湖凹陷Y背斜及邻区刚性基底分布与挤压应力、背斜形态关系示意图(刚性基底位置据文献[18])

Fig. 7 Schematic diagrams showing the relationships of the rigid basement zone in the Y-shaped anticline, Xihu Sag and its adjacent areas with compressive stress and the anticline morphology (locations of the rigid basements after reference [18])

a. 宁波构造带;b. 嘉兴构造带

(I和II为推测的刚性基底地块编号。)

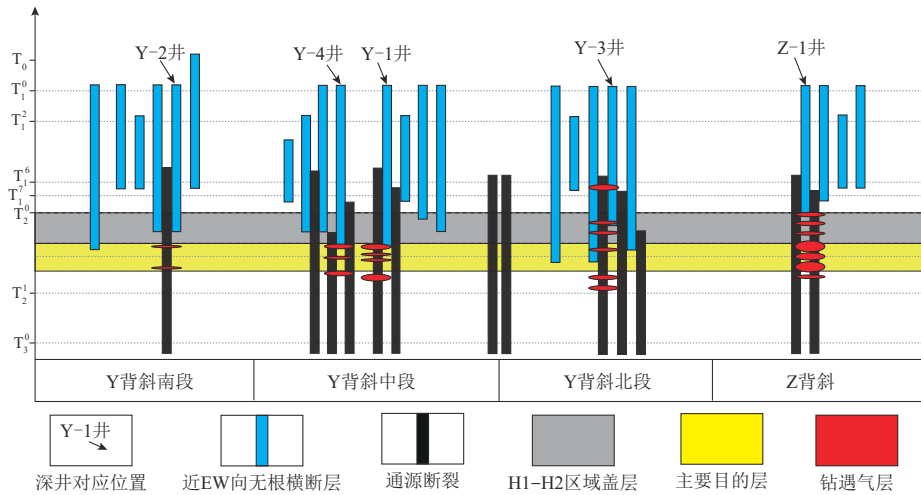


图8 西湖凹陷宁波构造带近EW向无根横断层与反转背斜主控断层垂向耦合关系

Fig. 8 Vertical coupling relationship between nearly EW-trending rootless transverse faults and source-connecting faults along the inverted anticline in the Ningbo structural zone, Xihu Sag

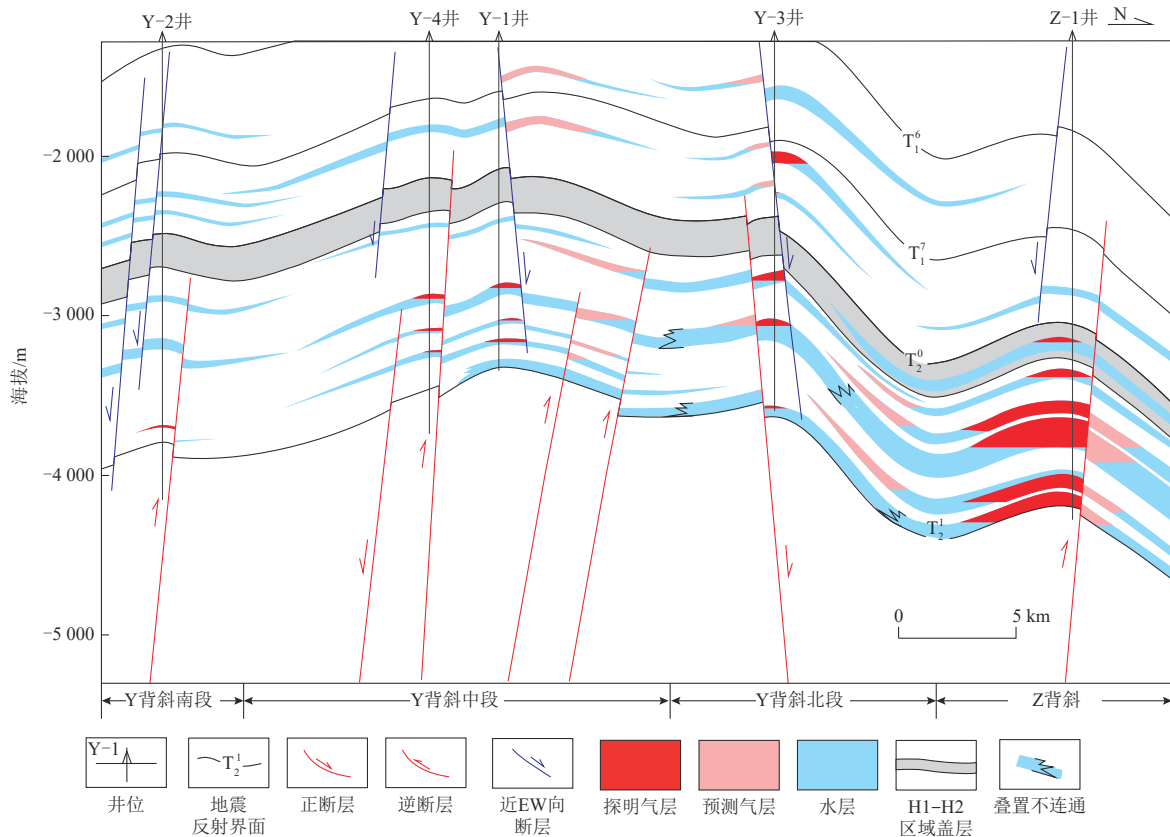


图9 西湖凹陷宁波构造带花港组及龙井组油气差异聚集模式

Fig. 9 Differential hydrocarbon accumulation model for the Huagang and the Longjing formations in the Ningbo structural zone, Xihu Sag

是北段靠近Z背斜的区域,近EW向张性横断层发育少,破坏作用有限,是潜在的有利勘探区带。

4.2 浅层龙井组目的层系

钻井已证实Y背斜北段浅层龙井组存在规模性气层,显示该层段具有较好的勘探潜力。龙井组具有

埋深浅、砂体发育和储层物性好等有利条件,而且Y背斜南、中、北各段局部高点均密集发育无根横断层,若龙井组能形成局部构造圈闭,且能与沟通花港组圈闭的近EW向张性横断层形成良好耦合条件,则可形成一定规模性的油气藏,因此Y背斜南、中、北各段浅层龙井组也可作为潜在的有利勘探目的层系。

5 结论

1) 西湖凹陷宁波构造带Y背斜由北、中、南3段次级背斜构成,各段分别受控于不同的反转断裂,而且中段挤压抬升幅度最大。

2) Y背斜的形成及其南北差异变形主要受控于先存基底控洼断裂差异及高磁性刚性基底引起的局部应力集中,导致中段强烈抬升,并带动原本独立的南段和北段卷入变形。

3) Y背斜油气局部差异聚集特征明显,背斜各分段中花港组层系的构造-岩性圈闭、局部背斜圈闭,以及浅层龙井组层系中与下伏花港组存在断层沟通的构造圈闭,均是有利勘探领域。

参 考 文 献

- [1] 王燮培, 严俊君, 林军. 反转构造及其石油地质意义[J]. 地球科学, 1989, 14(1): 101-108.
WANG Xiepei, YAN Junjun, LIN Jun. The inverted structure and its significance in petroleum geology [J]. Earth Science, 1989, 14(1): 101-108.
- [2] MITRA S. Geometry and kinematic evolution of inversion structures[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7): 1159-1191.
- [3] 胡望水, 刘学锋, 吕新华, 等. 论正反转构造的分类[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1): 5-8.
HU Wangshui, LIU Xuefeng, LYU Xinhua, et al. On the classifications of positive reversed structures [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1): 5-8.
- [4] 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意度差异性原因分析[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.
- [5] 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 Xinhui, 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.
- [6] 张宙, 何新建, 唐贤君, 等. 东海盆地西湖凹陷构造圈闭特征及其油气藏类型[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(3): 27-35.
ZHANG Zhou, HE Xinjian, TANG Xianjun, et al. Structural trap characteristics and reservoir types in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(3): 27-35.
- [7] 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 inversed structures in Xihu Depression [J]. Offshore Oil, 2008, 28(4): 14-20.
- [8] DAI Liming, LI Sanzhong, LOU Da, et al. Numerical modeling of Late Miocene tectonic inversion in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 86: 25-37.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 徐昉昊, 徐国盛, 刘勇, 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控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 98-109.
XU Fanghao, XU Guosheng, LIU Yong, et al. Factors controlling the development of tight sandstone reservoirs in the Huagang Formation of the central inverted structural belt in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(1): 98-109.
- [12] 张迎朝, 邹玮, 陈忠云, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷中央反转构造带古近系花港组气藏“先汇后聚”机制及地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(5): 1256-1269.
ZHANG Yingzhao, ZOU Wei, CHEN Zhongyun, et al. The mechanism of “convergence ahead of accumulation” and its geological significance for gas reservoirs in Paleogene Huagang Formation across the central inverted structural zone of Xihu Depression, East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(5): 1256-1269.
- [13] 刘贤, 葛家旺, 赵晓明, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷渐新统花港组年代标尺及层序界面定量识别[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 990-1004.
LIU Xian, GE Jiawang, ZHAO Xiaoming, et al. Time scale and quantitative identification of sequence boundaries for the Oligocene Huagang Formation in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 990-1004.
- [14] 张敏强, 钟志洪, 夏斌, 等. 东海西湖凹陷中南部晚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 Zhihong, XIA Bin, et al. Late Miocene tectonic inversion 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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 Xihu Depression in Donghai Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 59-67.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 刘卫红, 林畅松, 郭泽清, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷新生代反转构造样式及其形成机制初探[J]. 地质科学, 2009, 44(1): 74-87.
- LIU Weihong, LIN Changsong, GUO Zeqing, et al. Styles of inversion structures and their mechanisms of the Cenozoic Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 44(1): 74-87.
- [21] 余逸凡, 张建培, 程超, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏主控因素及成藏模式[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(7): 40-47.
- YU Yifan, ZHANG Jianpei, CHENG Chao, et al. Main controlling factors and reservoir forming model for hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag, the East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7): 40-47.
- [22] 张迎朝, 陈忠云, 刁慧, 等. 东海盆地X凹陷油气成藏模式与勘探突破[J]. 中国海上油气, 2024, 36(2): 1-12.
- ZHANG Yingchao, CHEN Zhongyun, DIAO Hui, et al. Reservoir-forming models and exploration breakthroughs in X Sag of East China Sea Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2024, 36(2): 1-12.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 刘世宝, 范文科, 李永红, 等. 中祁连陆块三叠纪-侏罗纪地层变形特征[J]. 现代地质, 2015, 29(5): 1103-1109.
- LIU Shibao, FAN Wenke, LI Yonghong, et al. Deformation features of Triassic and Jurassic strata in mid-Qilian orogenic belt [J]. Geoscience, 2015, 29(5): 1103-1109.
- [26] 刘景彦, 林畅松, 姜亮, 等. 东海西湖凹陷第三系反转构造及其对油气聚集的影响[J]. 地球学报, 2000, 21(4): 350-355.
- LIU Jingyan, LIN Changsong, JIANG Liang, et al. Characteristics of tertiary inversion structures and their influence on oil-gas accumulation in Xihu trough, East China Sea[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2000, 21(4): 350-355.
- [27] 孙倩倩, 刘志娜, 余一欣, 等. 先存断层产状及其组合关系对反转构造变形影响的离散元数值模拟研究[J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(1): 22-35.
- SUN Qianqian, LIU Zhina, YU Yixin, et al. Discrete element modelling of the Impacts of attitudes and geometric parameters of pre-existing faults on inversion structures [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2022, 46(1): 22-35.
- [28] 李三忠, 余珊, 赵淑娟, 等. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(3): 65-94.
- LI Sanzhong, YU Shan, ZHAO Shujuan, et al. Tectonic transition and plate reconstructions of the East Asian continental margin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(3): 65-94.
- [29] CHENG Yanjun, WU Zhiping, XU Bin, et al. The Mesozoic tectonic evolution of the East China Sea Basin: New insights from 3D seismic reflection data [J]. Tectonophysics, 2023, 848: 229717.
- [30] 余浪, 余一欣, 蒋一鸣, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷天台斜坡构造变换带发育特征及形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(3): 753-763.
- YU Lang, YU Yixin, JIANG Yiming, et al. Characteristics and forming mechanisms of transform zone in the Tiantai slope, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(3): 753-763.

(编辑 张玉银)