

刘亚茹,高顺莉,周平,等. 西湖凹陷转换断裂发育特征及其油气地质意义[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(10): 42-49.

西湖凹陷转换断裂发育特征及其油气地质意义

刘亚茹,高顺莉,周平,唐贤君

(中海石油(中国)有限公司上海分公司,上海 200335)

摘要: 西湖凹陷油气资源丰富, 凹陷中部存在大量的挤压反转和转换断裂痕迹, 转换断裂对油气的聚集与分布有着密切的关系。基于三维地震资料、重磁场特征及地层厚度, 对凹陷内断裂类型和平面剖面特征进行了系统分析, 在此基础上识别出 3 组大型转换断裂带。西湖凹陷平面上主要发育 NE-NNE 向断裂, 主发育期主要位于古新世早期至始新世平湖组沉积期, 可分为上、中、下 3 期断裂体系, 转换断裂主要发育在上部断裂体系内。在“南北分区”大背景下, 凹陷存在 3 组主要的大型转换断裂带: 舟山-国头转换断裂带、海礁湾南缘转换断裂带和海礁湾北缘转换断裂带。大型转换断裂带对西湖凹陷具有重要的控圈和控藏作用, 在其背景下发育多种构造样式和圈闭类型, 包括扭动分叉“Y”型圈闭、扭动转换“H”型圈闭和扭动改造“Y”型圈闭等。同时, 结合海礁湾南缘转换断裂带上已成藏油气田解剖, 分析了转换断裂作为运移通道对油气的二次运移的重要意义。

关键词: 西湖凹陷; 断裂分布; 转换断裂; 控圈作用; 二次运移

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.032

0 引言

近年来的勘探成果表明, 东海陆架盆地西湖凹陷油气资源丰富, 凹陷内物质基础优越, 具备形成大中型油气田的良好地质条件^[1-2]。新生代西湖凹陷构造演化过程复杂, 所在盆地应力场经历了数次伸展-挤压的转换, 使西湖凹陷不同构造区发育明显的正反转构造及转换断裂带^[3], 进而造成油气分布在平面上存在差异。研究认为, 始新世末期的玉泉运动、渐新世末期的花港运动以及中新世晚期的龙井运动所产生的挤压力分别使西湖凹陷内产生强度不同的反转构造。转换断裂是为保持构造变形守恒而产生的具有调节作用的断裂, 在西湖凹陷具体表现为由基底先存断裂分隔的多个相对独立的微地块, 在不同时期受到不同水平应力和差异运动

的影响, 形成凹陷内相对舒张和相对挤压区带之间的过渡带。转换断裂在断裂系统活动中有着特殊作用, 如渤海东部走滑转换断裂带^[4]、四川盆地渝东南盆缘转换断裂带^[5]、土耳其 Karasu 裂谷中部和东缘转换断裂带^[6]、美国阿拉斯加南部转换断裂带^[7] 等均有研究表明其对油气的运移聚集条件有着重要的控制作用。

西湖凹陷存在多组转换断裂带, 凹陷内已发现的油气田与转换断裂带关系密切。由于西湖凹陷断裂多表现为 NE—WS 走向, 因此, 前人多据此特征定义为“东西分带”^[8-11], 而对其存在的“南北分区”特征鲜有论及。郭真等^[12] 依据数条近 EW 向的构造剖面特征大致将西湖凹陷划分出了南、中、北 3 区。随着地震资料不断丰富, 发现除了一般地震剖面上明显可见的断裂外, 还存在地震剖面上并不明显但对构造特征及油气运移存在一定控制作用的隐性断裂(即转换断裂)。刘晓晨^[13] 在研究西湖凹陷平湖斜坡带时认为, 转换断裂带主要发育在平中、平南地区, 但并未指出转换断裂的具体发育位置; 侯国伟等^[14] 结合构造平面特征和剖面特征在西湖凹陷平北区识别出叠覆型、趋近型、反向型

收稿日期: 2020-03-31

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“东海盆地结构和构造演化特征研究”(2016ZX05027-001-001)

作者简介: 刘亚茹(1980—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质勘探研究工作. E-mail: liuyr@cnooc.com.cn

和传递型 4 种转换断裂带, 同样并未指出平面上转换断裂的发育位置及其对油气的控制作用。随着三维地震资料的连片覆盖, 客观上为认识西湖凹陷断裂转换带奠定了资料基础。本文通过大量的构造剖面图和构造平面图, 从西湖凹陷区域断裂特征入手, 结合重磁场资料、地层厚度资料, 精细识别出西湖凹陷近 SN 向上 3 组大的区域性转换断裂带, 并初步分析了转换断裂带对西湖凹陷孔雀亭构造的控圈作用, 初步探讨了发育转换断裂的油气地质意义。

1 区域地质背景

西湖凹陷属于东海陆架盆地东部坳陷内的一个二级构造单元, 其东侧为钓鱼岛隆褶带, 西侧主体接壤海礁隆起, 受周缘隆起分布特征的影响, 凹陷呈现 NNE 向长条形的展布特征。西湖凹陷自古新世开始接受沉积, 总体上经历了早期裂陷、断陷和坳陷, 后期多次挤压隆起的地质演化过程^[15-16]。从结构上看, 前平湖组早期, 凹陷整体呈现西断东超的半地堑构造特征, 西部斜坡(断阶)带、中央洼陷带、东部断阶带三分格局形成(图 1)。始新世末期的玉泉运动以及渐新世末期的花港运动是凹陷内 2 次以隆升为主、局部挤压反转的构造事件, 尤其是在花港运动作用下中央洼陷带南部反转形成天台和黄岩构造带。中新世末期的龙井运动是又一次强烈的挤压构造运动, 中央洼陷反转构造带最终成型, 基本奠定了西湖凹陷现今的构造格局^[17]。自晚白垩世至渐新世末, 东海陆架盆地处于右行张扭的应力背景; 渐新世至今, 处于左行压扭应力背景。基底 NWW 向断裂是古太平洋板块向西北俯冲消亡过程中水平应力调整和差异运动的产物^[18], 在西湖凹陷成凹演化过程中, 基底性质的差异引起上覆构造层产生不同的构造样式, 刚性基底大多发育正冲断层, 而塑性基底可以促使反冲断层发育^[19-20], 从而造成西湖凹陷斜坡带和中央洼陷反转构造带断裂性质差异——东西分带, 同时, NWW 向基底断层的持续活化, 形成了 3 组“转换断裂带”。这 3 组“转换断裂带”将西湖凹陷南北分隔成多个相对独立的微地块, 多个微地块间的相对旋转, 造成凹陷内的相对舒张和相对挤压, 形成多个帚状断裂系(图 1)。

根据西湖凹陷的演化过程, 自下而上分别沉积

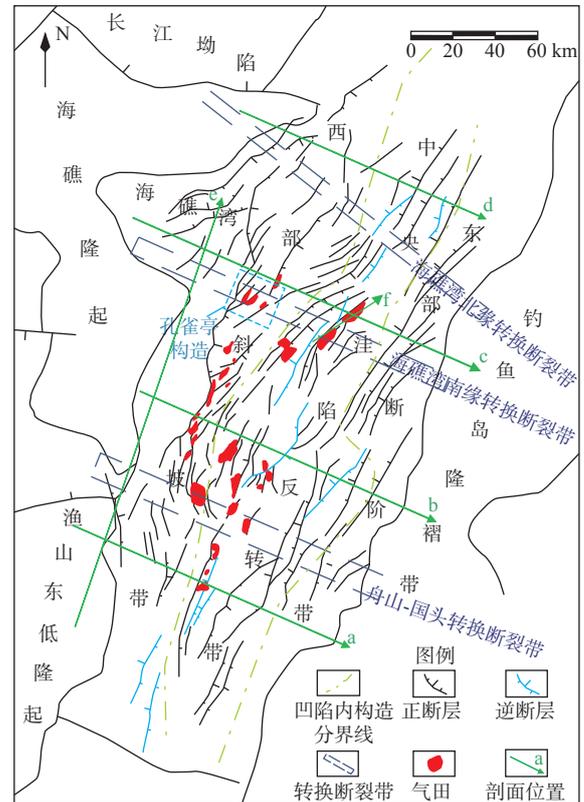


图 1 西湖凹陷 T40 构造示意图

Fig.1 Location map of Structure T40 in the Xihu Sag

了古新统至下始新统宝石组(E_2b), 中上始新统平湖组, 渐新统花港组(E_3h)、中新统龙井组(N_1^1)、玉泉组(N_1^2y)和柳浪组(N_1^3l), 上新统三潭组(N_2s)及第四系东海群(Q_4dh)地层(表 1)。

2 断裂分布特征

西湖凹陷处于太平洋板块与欧亚板块交接处, 构造活动强, 断裂十分发育。凹陷经历多个演化阶段, 断裂演化与凹陷演化阶段密切相关, 不同地质时期应力场决定了断裂系统的性质。西湖凹陷主要发育正断层, 所占比例达 90% 以上, 广泛分布于西部斜坡带和中央洼陷反转带, 绝大部分发育于古近纪—早中新世的裂陷期及坳陷期; 逆断层则主要分布在中央洼陷反转带核部附近, 为中新世晚期龙井运动所产生的应力挤压反转形成。

2.1 断裂类型

从断层类型来看, 凹陷内均存在正断层、逆断层和平移断层 3 种类型。

表1 西湖凹陷地层发育及构造演化简表

Table 1 Stratigraphic and tectonic evolution of the Xihu Sag

地层系统				年代 /Ma	反射 界面	构造运动	盆地演化
系	统	组	段				
第四系	更新系	东海群 Q ₄ dh		2.6	T0	冲绳运动	区域沉降
新近系	上新统	三潭组 N ₂ s		5.3	T10	龙井运动	拗陷
			柳浪组 N ₁ ³ l		T12		
	中新统	玉泉组 N ₁ ² y	上段		T16		
			下段		T17		
		龙井组 N ₁ ¹ l	上段		T20	花港运动	
			下段		T21		
古近系	渐新统	花港组 E ₃ h	上段	23.0	T21		反转
			下段		T30	玉泉运动	
	始新统	平湖组 E ₂ p	上段	33.9	T32		
			中段		T34		
			下段		T40	平湖运动	
				43.0	T50		
	古新统	前宝石组 E ₁₋₂		66.0	T100	雁荡运动	断陷
白垩系	上白垩统	?		100	Tg	基降运动	

(1)正断层多发育在盆地拉张期的平湖组地层内,在西部斜坡带有些断层后期持续活动,其活动期为始新世,有些可延续到中新世。断层大多属于生长断层,对地层沉积的控制作用明显(图2)。

(2)逆断层多断穿 T16—T30 界面,为连通深层(T30 以下)和浅层(T30 以上)的断层,推测此类断层与中央洼陷反转带浅层的油气运聚有关。该类断层基本分布于中央洼陷反转带内。中央洼陷反转带北部逆断层断距沿断层面面向下呈减小的趋势(图 2c-d);其南部逆断层则存在沿断面向上从断距减小到呈正-逆断层变化的趋势(图 2a-b、f)。中央洼陷反转带逆断层多呈弧形,其南部天台构造带逆断层为雁列排列(图 2a),平面上呈弱“S”型(图 1)。

(3)平移断层分布范围小,主要发育于西湖凹陷北段西部斜坡带和中央洼陷反转带的交接部位,主要是在大断层剪切滑动诱导的扭动力作用下形成的若干小规模弧形断层组合,剖面组合样式表现为“Y”字形和反“Y”,平面上几何特征为一端收敛,一端散开(图 1)。

2.2 断裂平面特征

依据断裂走向,西湖凹陷平面上主要发育 NE—NNE 向断裂(图 1),该组断裂是西湖凹陷内数量最多、分布范围最广的一组断裂,其走向与区域

构造走向一致,平面上多呈向东突出的弧形展布,构成了东海海区内区域构造的主要构架,对各构造单元的形成起主导作用。该组断裂既是划分区域构造单元的边界,同时又对盆地沉积层分布和局部构造形成起着控制作用。此组断裂在凹陷边缘和凹陷内部均有发育,在西部斜坡带和中央背斜带尤为发育。

区内还发育少量的 NW 向断裂和近 EW 向断裂: NW 向断裂与构造走向接近垂直,为发育于古老基底或基础层内部的断裂,在新生代期间复活。该类断裂比较隐蔽,在地震资料中不易发现,但在重磁资料中有所反映。该组断裂主要分布于西湖凹陷西部斜坡带北部的 NNE 向雁行排列断裂之间或作为 NNE 向主断裂的派生断裂出现。近 EW 向断裂为凹陷内较年轻的断裂系统,断层规模小,主要集中在西湖凹陷中央洼陷反转带北部,断层延伸方向近垂直于背斜长轴方向,属于调节局部应力性质的断裂。

2.3 断裂纵向分布特征

在剖面上以始新统平湖组顶界面 T30 和古新统底界面 T100 为界,西湖凹陷的断裂系统大致可分为上、中、下 3 个断裂体系:

(1)上部断裂体系:晚期形成断裂,为 NW 或 NWW 走向的正断层,断开层浅,特点是断开层位浅、

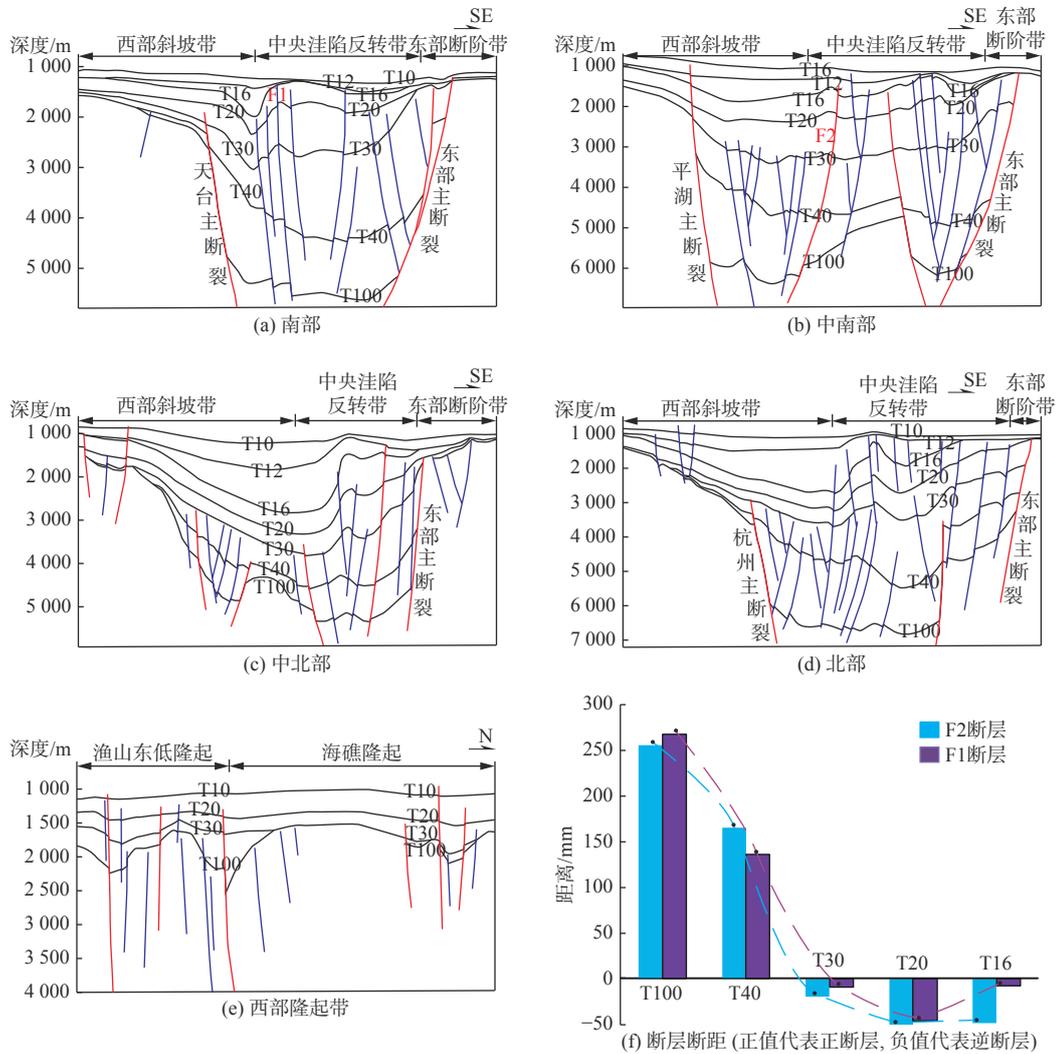


图 2 西湖凹陷构造剖面图及断层断距 (剖面位置见图 1)

Fig.2 Tectonic sections of the Xihu Sag (see Fig. 1 for location)

延伸距离短,有的在中央洼陷反转构造带背斜顶部,有的切割 NE 向断层,使之错断(图 2b-d)。主要分布在中央洼陷反转构造带,垂直于背斜长轴方向,在中央洼陷反转带南部断层向下最多延伸到渐新统花港组底部(图 2b),在中央洼陷反转构造带北部,断层向下延伸最深到中新统龙井组(图 2d),转换断裂主要发育在该体系内。

(2)中部断裂体系:为盆地拉张断陷期产物,断裂发育早,活动期长,走向为 NE—NNE 向,多数断层具有同生性质,对构造、沉积具有控制作用。

(3)下部断裂或通源断裂体系:为古老的基底断裂,走向主要为 NWW 向,在新生代期间复活,多数沿断面向上延伸至渐新统花港组及以上(图 2),为直接沟通烃源岩的断裂,对油气的运移和聚集有着重要影响。

3 转换断裂的识别及发育特征

3.1 转换断裂发育背景

西湖凹陷南北分块主要受基底 NWW 向断层所控制,而基底 NWW 向断层具有剪切调节性质,控制着西湖凹陷内转换断裂带的发育。受资料所限,NWW 向断裂在大部分地震资料上比较隐蔽,除依据上覆地层构造特征、断裂变化特征来识别外,还可以借助重磁资料来识别。

3.2 转换断裂带的识别

利用重磁异常可以有效的划分断裂体系^[21-24]。

断层两侧的地层造成磁性与密度上的横向差异,必然在重、磁力异常上有所体现,这是利用重、磁异常确定断裂的走向及平面位置的地球物理基础^[22]。

断裂在重磁异常中表现是多种多样的,多数表现为呈串珠状分布、异常轴线错动和等值线同形扭曲的三度体异常图(图 3b-d)。基于三维地震资料,结合重磁、地层厚度及断裂平面分布特征,西湖凹陷由南向北可识别出 3 组转换断裂带:舟山-国头转换断裂带、海礁湾南缘转换断裂带和海礁湾北缘转换断裂带,将西湖凹陷分隔为 4 个部分(图 3a)。其中,舟山-国头转换断裂带重磁异常的标志主要为串珠状分布和等值线同形扭曲(图 3b、d);海礁湾南缘和北缘转换断裂带重磁异常的主要标志均为串珠状分布和异常轴线错动(图 3b-c)。

3.3 转换断裂带发育特征

结合前文对研究区断裂基本特征的分析认为此 3 组转换断裂带存在以下特征:

(1)第 1 组转换断裂带(舟山-国头转换断裂带)断裂南北差异最明显,南侧仅有几条断裂,而北侧断裂数量急剧增加,数量差异明显。南侧断裂走向

为近 SN 向,北侧断裂则以 NE 向为主,构造走向发生明显转变(图 1),还发育 NNE—NE 向断裂,同时伴有少量 NW 向断裂,断裂走向上差异较大。从地层厚度上也可以看到,南侧新生代地层厚度约为 3 000 m,而北侧地层加厚明显,达 4 000 m 以上(图 4)。

(2)第 2 组转换断裂带(海礁湾南缘转换断裂带)断裂以海礁隆起南部断裂为界,该组转换断裂南北差异相对较小,但是断裂走向及疏密程度有明显变化(图 1)。北侧断裂走向以 NE 向为主,西部斜坡高带局部发育 NW 及 EW 向断裂,从剖面上看,南侧以顺向断裂为主,而北侧中深层多发育反向正断层(图 2b-c);地层厚度变化明显,北块西部是嘉兴 25 洼向南倾末端,中西部发育新凉潜山,主洼槽由西向东迁移,形成两洼夹一隆的格局(图 3a)。

(3)第 3 组转换断裂带(海礁湾北缘转换断裂带)断裂大致以海礁隆起北部断裂为界,该组转换断裂南北差异较大,受海礁隆起向西湖凹陷的倾末端向东嵌入影响,北侧发育近 SN—NE 向断裂,控制嘉兴 25 洼主洼槽,南侧主要发育 NE 向断裂,受转换带的影响这些 NE 向断层表现出一定的扭动特

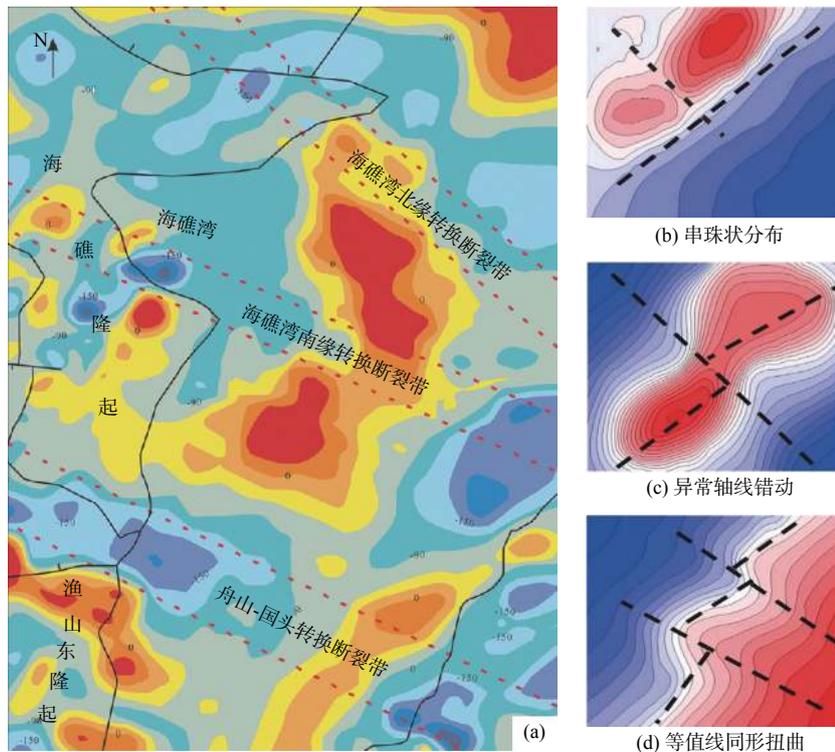


图 3 西湖凹陷重磁场分布及其识别转换断裂的主要标志

Fig.3 Gravity and magnetic field map of the Xihu Sag and main transform faults

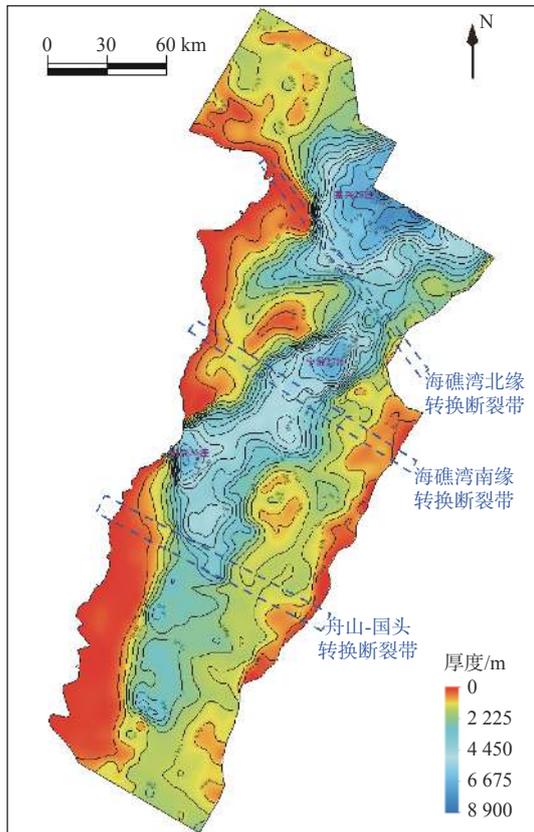


图 4 西湖凹陷前平湖组地层厚度图

Fig.4 Isopach map of Pre-Pinghu Formation in the Xihu Sag

征(图 1); 从地层厚度上可见, 南侧地层厚度约 3 000~4 000 m, 而北侧地层增厚至 5 000 m 以上(图 4)。

4 转换断裂的油气地质意义

西湖凹陷已有油气藏和断裂分布(图 1)有较好

的叠合关系, 表明西湖凹陷转换断裂带是油气聚集的有利区带。下面以位于海礁湾南缘转换断裂带上的转换断裂为例, 分析转换断裂的油气地质意义。

4.1 转换断裂带对圈闭的控制作用

通过对西湖凹陷西部斜坡带剖面结构、断层分布及重磁异常的分析, 位于海礁湾南缘转换断裂带上的孔雀亭构造具有明显的南北三分的特征(图 5a)。在剖面结构上, 南、中、北 3 段结构大体均表现出相对下掉的地堑结构, 中段较破碎, 调节断层众多; 在断裂走向上, 北段、南段断层走向分布相对集中, 中段断层走向相对分散, NE 向断层发育早期, 具有“南北分段”特征, 断陷中晚期才逐步联接。孔雀亭构造断陷期在局部扭动的背景下, NE—NNE 向控带断层早期分段、雁行发育, 具有扭动特征, 后期逐步硬联接, 并在硬联接部位逐步派生 NE—近 EW 向转换调节断层。

通过对海礁湾南缘转换断裂带上孔雀亭构造的拾取, 重新认识转换带小断层的发育模式, 圈闭多受近 NNE—NE 向和 NEE—EW 向转换断裂共同控制, 形成类型多样的构造圈闭, 主要为扭动分叉“Y”字型圈闭、扭动转换“H”字型圈闭和扭动改造型“Y”字型圈闭(图 5b), 这些圈闭形成于始新统平湖组, 后期在玉泉运动区域挤压作用下, NE—NNE 向控带断层与 NEE—近 EW 向小断层之间易于形成局部应力集中, 控制回倾形态, 进一步优化了圈闭形态。

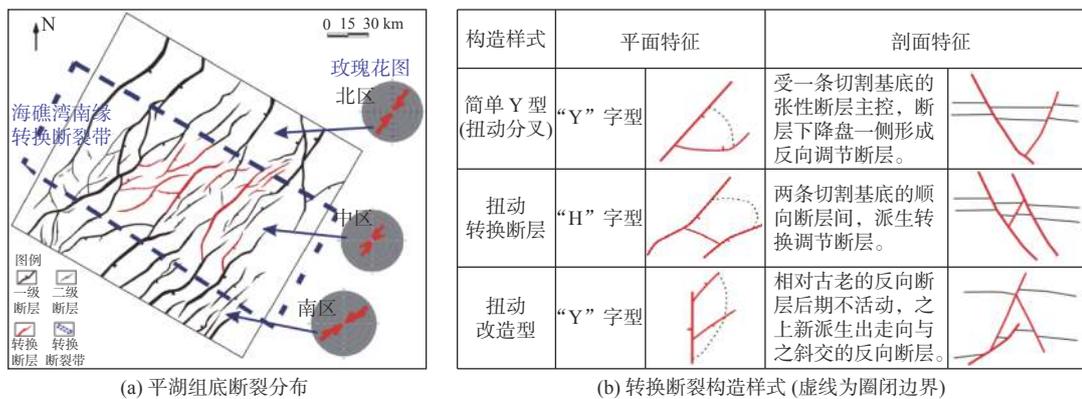


图 5 西湖凹陷孔雀亭构造平湖组底断裂分布及西斜坡转换断裂构造样式(构造位置见图 1)

Fig.5 Fault distribution pattern on the bottom of Pinghu Formation in Kongqingting zone and transform fault structure pattern on Western Slope, Xihu Sag (see Fig.1 for location)

4.2 转换断裂带对油气二次运移的控制作用

转换断裂带附近由于应力转换,发育与主断裂不同方向的转换断裂及裂缝,有利于改造储集层物性,是同一层序的储集层在转换带上优于构造其他部位^[25-28]。同时,转换断裂带小断层渗透性一般较高,是好的渗流通道,当烃类顺油源断裂运移到转换断层时,可以顺着转换断层穿层进行垂向上的运移^[29],由此实现二次运移,因此在转换断裂带附近,油气运聚更加活跃。

中央洼陷反转构造带是多期挤压反转构造的叠合,其发育分布、构造特点受控于早期的反转构造背景^[2]。其中,宁波构造位于海礁湾南缘转换断裂带上,构造平面上总体NE走向,受转换带影响,局部呈“S”型。从剖面结构上看,宁波构造为受下正-上逆的主断层控制的背斜构造,主断裂自基底开始发育且向上断至龙井组,是该构造的通源主断裂(图2c)。同时,通过对构造内断裂研究,在宁波构造内部还识别出了多条NW向或近NW向的近直立的转换断裂,具有成群成带发育的特点,这些断裂开浅部层位,局部最多延伸到花港组下段,这些断裂向下切入到主力目的层段,对构造圈闭油气成藏有再分配作用。如位于海礁湾南缘转换断裂带上宁波构造内的某气田,来自平湖组和花港组下段烃源岩的油气沿通源断层初次运移进入该油田主要目的层H3、H4段成藏,花港运动及龙井运动时期形成的转换断裂使H3段的油气沿断层二次运移至H1、H2段及上覆地层再次聚集成藏(图6)。因此,认为此3组转换断裂带对油气的二

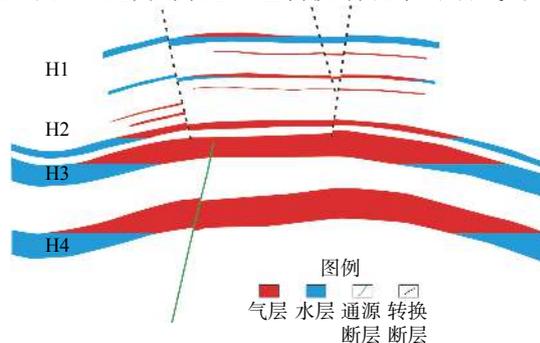


图6 西湖凹陷宁波构造某油田油气运移示意图
(剖面位置见图1f)

Fig.6 Schematic diagram of an oilfield in the Ningbo structure of Xihu Sag showing oil and gas migration (see Fig.1f for profile location)

次运移具有重要意义。

5 结论

(1)西湖凹陷中部存在挤压反转和大量的转换断裂痕迹,基于三维地震资料、重磁场特征及地层厚度等方法,对凹陷内断裂类型和平面剖面特征进行了系统的分析,在此基础上识别出3组大型转换断裂带。

(2)西湖凹陷平面上主要发育NE—NNE向断裂,主发育期多位于古新统早期—始新统平湖组时期,可分为上、中、下3期断裂体系,转换断裂主要发育在上部断裂体系内。在“南北分区”大背景下凹陷存在3组主要的大型转换断裂带:舟山-国头转换断裂带、海礁湾南缘转换断裂带和海礁湾北缘转换断裂带。

(3)西湖凹陷转换断裂带是油气聚集的有利区带,转换断裂对圈闭及油气运聚有明显的控制作用。转换断裂背景下主要发育扭动分叉“Y”字型圈闭、扭动转换“H”字型圈闭和扭动改造型“Y”字型圈闭,同时,转换断裂也可作为运移通道直接控制油气的二次运移。

参考文献:

- [1] 黄志超,叶加仁. 东海海域油气资源与选区评价[J]. 地质科技情报, 2010, 134(5): 51-55.
- [2] 徐志星. 西湖凹陷异常地层压力特征及其与油气成藏的关系[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [3] 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, 111(1): 260-270.
- [4] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1548-1559.
- [5] 何希鹏, 何贵松, 高玉巧. 渝东南盆缘转换带常压页岩气地质特征及富集高产规律[J]. 地质勘探, 2018, 38(12): 1-13.
- [6] Rojay B, Heimann A, Toprak V. Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): the transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone[J]. Geodinamica Acta, 2001, 14(1/3): 197-212.
- [7] Christeson G L, Gulick S P S, van Avendonk H J A, et al. The Yakutat terrane: Dramatic change in crustal thickness across the Transition fault, Alaska[J]. Geology, 2010, 38(10): 895-898.
- [8] 陈志勇, 葛和平. 西湖凹陷反转构造与油气聚集[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 15(1): 22-26.
- [9] 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, 139(4): 14-20.

- [10] 李云波, 姜波, 赵志刚, 等. 西湖凹陷构造发育及其对平湖组煤系的控制: 与黄县盆地对比分析[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 198(3): 432-441.
- [11] 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.
- [12] 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, 113(3): 59-67.
- [13] 刘晓晨. 西湖凹陷平湖斜坡带平湖组砂体精细刻画及时空演化研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2018.
- [14] 侯国伟, 李帅, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷西部斜坡带平湖组源-汇体系特征[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 29-39.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 任建业. 中国近海海域新生代成盆动力机制分析[J]. 地球科学, 2018, 43(10): 3337-3361.
- [18] 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.
- [19] 宁飞, 汤良杰, 朱传玲, 等. 挤压区局部构造转换带类型及石油地质意义[J]. 现代地质, 2009, 23(3): 394-400.
- [20] 梅庆华. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起构造演化及其成因机制[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [21] 高玲举, 张健, 董森. 川西高原重磁异常特征与构造背景分析[J]. 地球物理学报, 2015, 58(8): 2996-3008.
- [22] 马国庆, 明彦伯, 黄大年. 基于重磁异常的新生代丽水—椒江凹陷基底分布特征研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(5): 1493-1500.
- [23] 张功成, 贾庆军, 王万银, 等. 南海构造格局及其演化[J]. 地球物理学报, 2018, 61(10): 4194-4215.
- [24] 张菲菲, 孟祥君, 韩波, 等. 辽东湾地区重、磁异常特征及其区域构造分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 179(3): 104-112.
- [25] Gutscher M, Klaeschen D, Flueh E, et al. Non Coulomb wedges, wrong-way thrusting, and natural hazards in Cascadia[J]. *Geology*, 2001, 29(5): 379-382.
- [26] Thoma W A, Bayona G. Palinspastic restoration of the Anniston transverse zone in the Appalachian thrust belt, Alabama[J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24(1): 797-826.
- [27] 周荔青. 深大断裂与中国东部新生代盆地油气资源分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [28] 鲍志东, 赵艳军, 祁利祺, 等. 构造转换带储集体发育的主控因素: 以准噶尔盆地腹部侏罗系为例[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 867-877.
- [29] 孙阳, 任建业. 东营凹陷北带转换带构造与储集体分布[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 21-23.

CHARACTERISTICS OF TRANSFORM FAULTS IN THE XIHU SAG AND THEIR SIGNIFICANCE TO HYDROCARBON ACCUMULATION

LIU Yaru, GAO Shunli, ZHOU Ping, TANG Xianjun

(Shanghai Branch of CNOOC China Limited, Shanghai 200335, China)

Abstract: There are many reversed compressional and transform faults in the middle of the Xihu Sag. The transform faults are the ones controlling the accumulation and distribution of oil and gas. Based on 3D seismic data, gravity data, and stratigraphic thickness changes, the types and distribution patterns of faults in planes and vertical sections are studied in this paper. The sag is dominated by NE-NNE faults formed in the Pinghu stage of early Paleocene to Eocene. The faults may be roughly grouped into three fault systems: upper, middle, and lower, and the transform fault is mainly developed in the upper system. Three groups of transform faults, i.e. the Zhoushan-Guotou fault zone, the Southern Haijiao Bay fault zone, and the Northern Haijiao Bay fault zone are identified. Large transform fault zones play significant roles in trap formation and hydrocarbon accumulation. Many types of structures and trap types, such as the twisted and bifurcated “Y” shaped traps, the twisted and transformed “H” shaped traps and the twisted and reformed “Y” shaped traps are mainly developed on the background of the transform fault zone. In combination with the case analysis of oil and gas fields in the transform fault zones of Southern Haijiao Bay, it is concluded that the transform faults, as a migration channel, is of critical significance to the secondary migration of oil and gas.

Key words: Xihu Sag; fault distribution; transform fault; trap-controlling process; secondary migration