

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020042102

坡折带对油气圈闭发育的约束效应 ——以平湖斜坡带孔雀亭区平湖组为例

李峻颀, 蒋一鸣, 侯国伟, 谢晶晶, 姜雪

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要:坡折带对复合岩性圈闭的发育具有重要控制作用。平湖斜坡带孔雀亭地区具备坡折带发育的古地貌背景,研究其类型和对沉积砂体、相带发育及成圈模式的控制,对下一步勘探开发具有重要意义。根据研究区坡折带发育的构造位置及与洼陷的匹配关系,可将研究区划分为高区坡折带、中区坡折带与低区坡折带。按成因机制不同,可在坡折区内进一步细分出三种类型,即断裂坡折、挠曲坡折和侵蚀坡折。高区坡折带以发育侵蚀坡折为主,控制辫状河三角洲平原沉积体系,形成侵蚀沟谷圈闭;中区坡折带以发育断裂坡折和挠曲坡折为主,控制辫状河三角洲平原与前缘沉积体系,发育辫状河道与扇体,形成断块-河道侧向尖灭复合岩性圈闭;低区坡折带发育断裂坡折,控制复合砂坝,形成断块-砂坝复合岩性圈闭。

关键词:坡折带;沉积相;岩性圈闭;平湖组;孔雀亭

中图分类号:TE51

文献标识码:A

Constraints of slope break belt on oil and gas trapping—An example from the Pinghu Formation in the Kongqueting area of Pinghu Slope

LI Junjie, JIANG Yiming, HOU Guowei, XIE Jingjing, JIANG Xue

CNOOC China Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: Slope break belt plays critical controlling roles in the formation of complex lithologic traps. The Kongqueting area on the Pinghu slope was a typical slope break belt in terms of paleogeomorphology. To reveal the tectonic type of the slope break and its control over sand body sedimentation, depositional facies and trapping formation process is very important for the next cycle of oil and gas exploration of the region. According to the structural position of the slope break belt and its matching relationship with depressions, there are three types of slope break belts in the study area including the high stand slope break, the middle stand slope break and the low stand slope break. According to the genetic mechanism, it can be subdivided into faulting slope-break, flexure slope break and erosional slope break. In the high stand slope breaks, the erosional one dominates, which controls the formation of depositional systems of braided river and deltaic plain as well as the erosional valley traps. The middle slope break is dominated by fault slope break and flexure slope break, which controls the formation of the depositional systems of braided river, deltaic plain and deltaic front, and the compound lithologic traps such as braided river channels and fan bodies, and the fault block-river channel laterally pinched sandbodies. The low slope break is developed along the fault steps, where composite sand bar deposits occur, forming the fault block-sand bar composite lithologic traps.

Key words: slope break belt; sedimentary facies; lithologic trap; Pinghu Formation; Kongqueting area

平湖斜坡带位于东海某凹陷西部斜坡区之内,勘探面积约 5 000 km²,目前探明储量约占整个凹陷的 50% 以上,是东海某凹陷目前最重要的油气勘探和开发区域之一。近 30 年的勘探实践表明,在高成本、高风险和区块受限等因素的制约下,构造油气藏的勘探难度不断加大,储量替代率严重不足^[1-2]。2017 年以来,在平湖斜坡带中部地区,陆续部署了

5 口以勘探岩性油气藏为目的的探井,相继在平湖组取得了重大发现和商业收获,揭开了平湖斜坡带岩性油气藏勘探的序幕。尽管孔雀亭地区岩性油气藏勘探程度较低,但从地质条件发育来看,认为研究区岩性油气藏勘探潜力巨大。但是由于长期受到构造油气藏勘探思路的禁锢与束缚,研究区缺乏系统的岩性油气藏勘探思路,已成为当下制约该

资助项目:国家科技重大专项“东海深层大型气田勘探评价技术”(2016ZX05027-002-009);有限公司科研项目“西湖凹陷西部地区勘探开发关键技术研究”(CNOOC-KJ 135 ZDXM 39 SH01)

作者简介:李峻颀(1988—),男,硕士,工程师,从事沉积储层研究, E-mail: lij68@cnooc.com.cn

收稿日期:2020-04-21; 改回日期:2020-05-26。 周立君编辑

区油气藏勘探的重难点问题。通过调研认为,坡折带对岩性油气藏的发育和形成起至关重要的控制作用^[3-4],因此,针对孔雀亭地区开展坡折带研究具有重要意义。

坡折带一词源于海相盆地陆架坡折的概念,指在沉积盆地或剥蚀区中,地形陡缓程度发生剧烈变化的位置^[5]。坡折带这一概念最初在国外多被运用于陆架陆棚的研究,随后延伸拓展至油气勘探领域^[6]。90年代以来,国内学者开始大量关注坡折带的研究,例如王英民等厘清了断陷湖盆多级坡折带的三种成因类型^[7];李相博等划分了深水与浅水坡折,并总结了不同类型坡折对沉积砂体的控制作用^[8];黄胜兵等梳理了坡折带类型在基准面旋回变化中对沉积体系和储层发育的影响^[9];冉怀江等分析了坡折带对体系域的控制,并总结了两种复合岩性圈闭类型^[10]。这些研究表明,坡折带控制着三角洲、水下扇、坡积扇、浊积扇和复合砂坝等沉积体的发育,是岩性油气藏发育的有利区。同时,这些研究理论也有利地推动了渤海湾盆地、莺歌海盆地和珠江口盆地等地区的多个大型整装岩性油气藏的勘探工作持续走向深入^[11-12]。

截止目前,关于东海某凹陷坡折带研究内容较少,而针对孔雀亭地区坡折带控相成圈的研究则更少^[13-15],这严重限制了东海岩性油气藏的勘探进程,给华东地区能源安全带来一定挑战。因此,本文以平湖斜坡孔雀亭地区平湖组为例,基于坡折带的理

论研究,根据不同沉积时期古地貌的变化特点,系统阐述了坡折带对沉积砂体、相带发育和岩性圈闭分布的控制作用。

1 区域地质概况

孔雀亭地区位于平湖斜坡带内北部,西部紧临海礁隆起,东抵西次凹,北毗临杭州构造带,南以宝云亭地区为界,面积约360 km²(图1)。研究区平湖组沉积时期主要受平湖运动影响,发育顺向断阶和次级洼隆的构造形态,整体上地形突变显著,具备坡折发育的古地貌背景(图2)。孔雀亭地区在始新世早期也就是宝石组与平湖组早期,断陷系统发育到鼎盛阶段,沉积形成宝石组和平湖组五、六段地层;始新世中晚期,裂陷作用逐渐减弱,平湖组进入断-拗转换时期,沉积形成平湖组三、四段和平湖组一、二段地层。渐新世时期,也就是花港组时期,由于欧亚板块大陆边缘蠕散终止,张应力减弱,盆地进入拗陷阶段。通过井震结合分析认为,平湖组的底界面T40与顶界面T30是两个区域不整合面,分别是宝石组与平湖组、平湖组与花港组的分界面;T34与T32分别是平湖组五段至一段的分界面。同时,以上四个界面可以将平湖组划分为一个二级层序和三个三级层序(E_{2p}SQ1、E_{2p}SQ2、E_{2p}SQ3)(表1)。平湖组主要发育受潮汐影响的辫状河三角洲沉积体系^[16]。E_{2p}SQ1时期,水体较浅,发育潮河

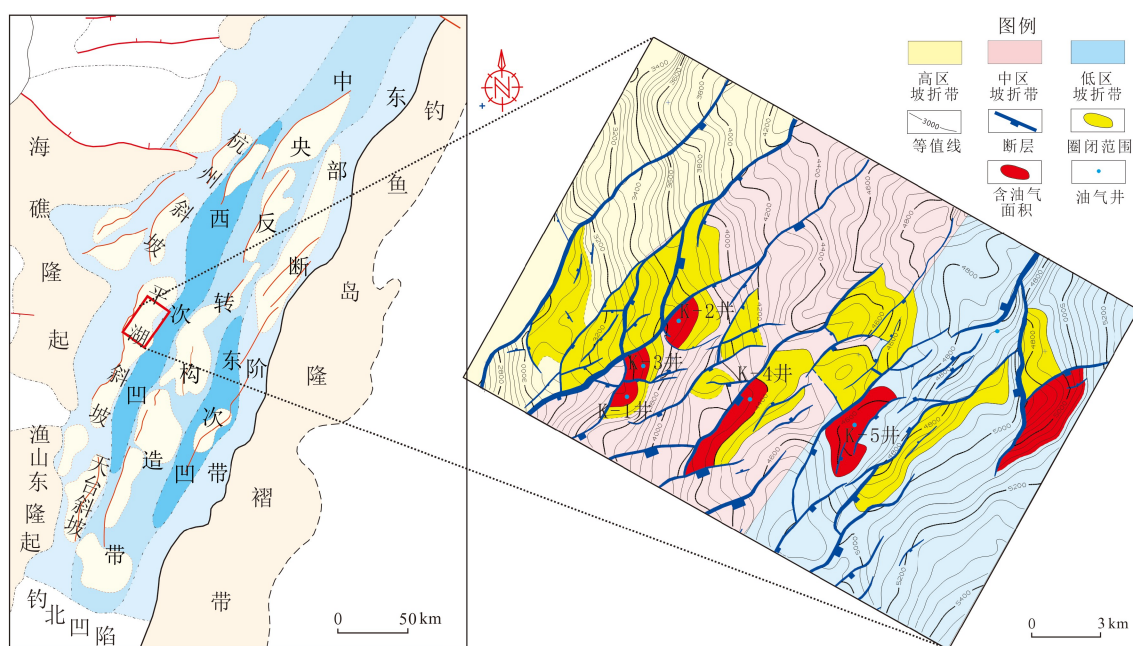


图1 孔雀亭地区平湖组构造位置及构造纲要图

Fig.1 Tectonic location and outline of Pinghu structure in Kongqueting area

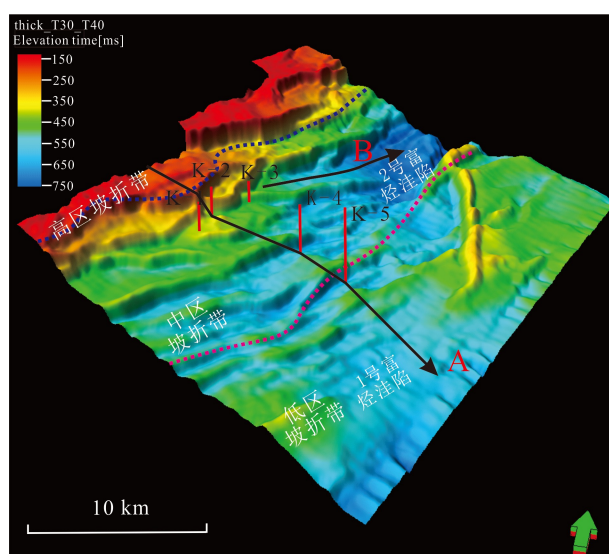


图2 孔雀亭地区平湖组古地貌与坡折带划分图

Fig.2 Paleotopography of Pinghu Formation in Kongqueting area

联控的辫状河三角洲沉积体系; E₂pSQ2 时期, 水体快速上升, 发育海侵背景下潮汐影响的辫状河三角洲沉积体系; E₂pSQ3 时期, 水体快速退却, 发育辫状河三角洲沉积体系^[17]。

2 坡折带类型与特征

平湖斜坡孔雀亭地区具有典型的构造成坡特点。早始新世沉积期已形成斜坡,各时期地层均向斜坡西部的高处超覆、减薄,且受晚期构造抬升影

响,斜坡顶部遭受风化剥蚀。平湖组沉积时期,一系列 NE-NNE 向正断裂和 NW-NWW 向隐伏断裂的发育^[18],控制研究区地貌在东西、南北两个方向上出现多次剧烈转折,这些发生突变的部位称为坡折带^[15]。沿坡折带上倾和下倾方向坡度均减缓,转折处坡度变化最大。孔雀亭区在同沉积断裂影响下,地形上出现坡度多次变化,使先存斜坡这个主体自西向东构成一个顺向多级断阶坡折带(图 2)。这种顺向多级断阶坡折影响了水体深浅、水系聚散和地层厚薄,同时控制了体系域的分布,进而制约了岩性复合圈闭的发育。

为更好地研究这种顺向多级断阶坡折带对砂体汇聚、相带发育和圈闭形成的控制作用,根据坡折带发育的构造位置及与洼陷的匹配关系,将顺向多级断阶坡折带划分为“高区坡折带、中区坡折带、低区坡折带”(图 3)。不同区带内会形成不同成因的坡折类型。根据成因机制的差异,可进一步细分为 3 种类型,分别是断裂坡折、挠曲坡折与侵蚀坡折。

2.1 断裂坡折

断裂坡折是因持续的 NE-NNE 向同沉积断裂活动导致断层两盘差异升降和地形地貌产生突变的构造枢纽带^[19]。识别该类型坡折的主要标志是断层下盘沉积厚度明显大于上盘,且断层生长指数多数为 1.4~2.0^[7]。由于同沉积断裂广泛发育,断裂

表 1 孔雀亭区古近系地层发育特征
Table 1 Paleogene stratigraphy in Kongqueting area

地层				地震 反射 底界	岩性特征	盆地 演化 阶段	沉积 相 类型	序列 格 架	区域 构造
系	统	组（段）							
古近系	渐新统	花港组 E _{3h}	上段	T21	上部：杂色泥岩与灰白色粉砂岩互层 下部：灰白色粉砂、细砂岩为主，夹泥岩	拗陷阶段	辫状河		玉泉运动
			下段	T30	上部：灰色泥岩为主，层状粉砂岩、灰或白色粉砂岩、细砂岩夹泥岩				
	始新统	平湖组 E _{2p}	一二段	T32	深灰色泥岩、浅灰色泥粉砂岩、细砂岩互层，夹炭质泥岩及沥青质煤	拗陷 转折阶段	受潮汐影响的 辫状河三角洲	E _{2p} SQ3	平湖运动
			三四段	T34	深灰色泥岩与浅灰色泥质粉砂岩、细砂岩互层			E _{2p} SQ2	
			五段	T40	灰质泥岩与粉砂岩、白云质泥岩呈薄互层			E _{2p} SQ1	
			宝石组 E _{2b}	T100	浅灰色泥岩，粉砂质泥岩夹薄层灰岩、细砂岩、棕黄色泥岩与砂岩互层	断陷阶段	辫状河三角洲		

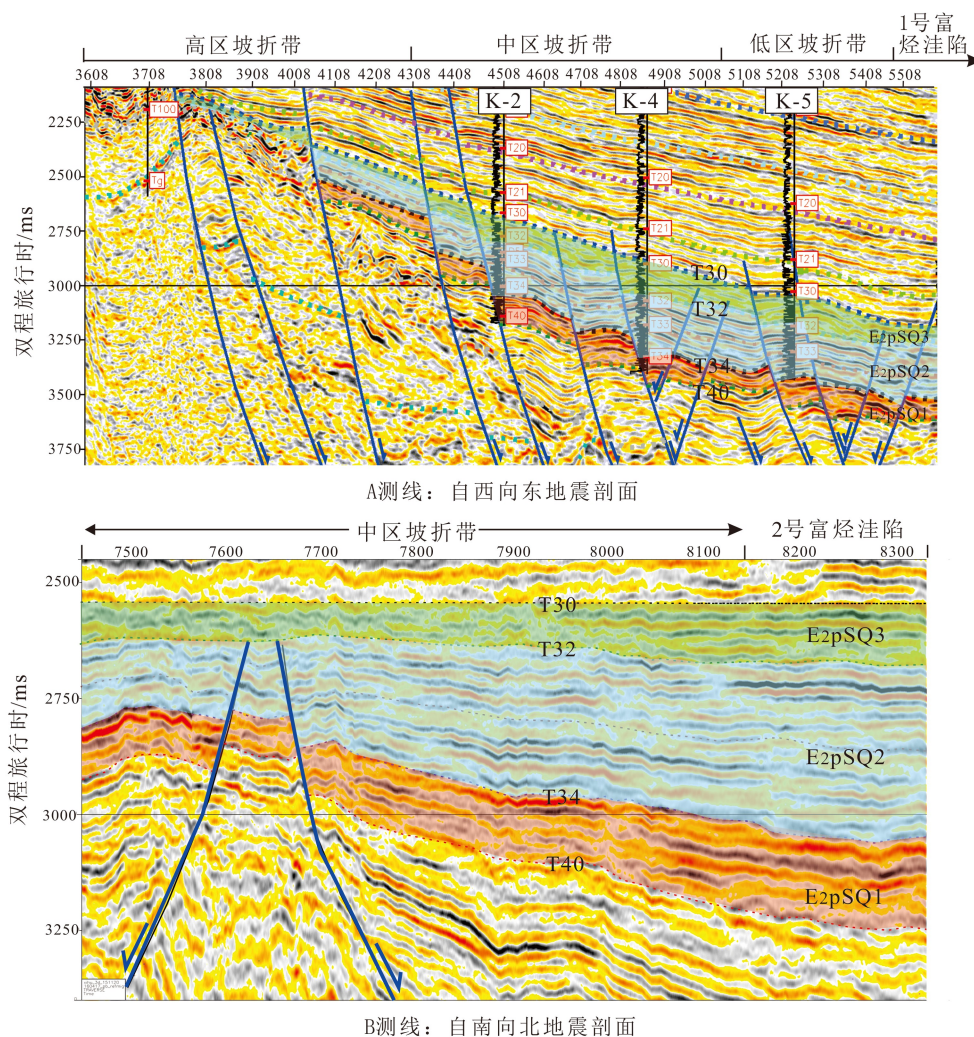


图3 孔雀亭坡折带地震剖面特征

Fig.3 A seismic section showing the slope break zone in Kongqueting area

坡折在孔雀亭地区最常见。这种坡折在其下延方向可容纳空间迅速增大,成为沉积砂体有利的汇聚富集区,产生的裂缝可为油气运移提供良好通道。在E₂pSQ1与E₂pSQ2时期,这类坡折发育在1号洼陷西侧、K-1至K-5井一线南侧、以及2号洼陷以西地区,控制了辫状河三角洲平原上坡积扇体和前缘水下扇体的发育。在E₂pSQ3时期,断裂坡折在K-4井上倾方向控制平原上的坡积扇体发育,在K-4井下倾方向则控制辫状河三角洲前缘水下扇体和复合砂坝体的发育。由此构成了断裂坡折控制下的辫状河三角洲扇体与复合坝体尖灭的沉积模式(图4)。

2.2 挠曲坡折

挠曲坡折发育在构造活动相对偏弱区域。该坡折是由于同沉积时期深层NW-NWW向隐伏断裂活动而导致浅地层发生的挠曲变形,或是同沉积褶皱所形成断鼻构造两翼的挠曲变形,亦或是先存古

隆之上披覆作用而形成的。该型坡折由于成因机制上的差异,也造成了其发育规模的不同。这类坡折的主要标志为坡折之下的沉积地层明显增厚,且可识别典型的上超现象^[13]。以E₂pSQ1时期K-1井区为例,该时期井区地形受挠曲坡折影响明显,自南向北延坡折方向地层明显增厚,沉积的楔形体上部可见向南发育的上超现象。研究区该型坡折主要控制辫状河三角洲前缘沉积发育,前缘水下扇体在坡折之下汇聚,平面朵叶体形态限制性展布,整体构成辫状河三角洲前缘朵叶体在上倾坡折点处尖灭的沉积模式(图5)。

2.3 侵蚀坡折

侵蚀坡折带主要是由于侵蚀风化等外部地质动力持续作用导致地形发生突变而形成。其主要发育在区域不整合面之上,且有下切侵蚀产生负向地貌的部位^[7]。通过三维地震资料的识别,发现这

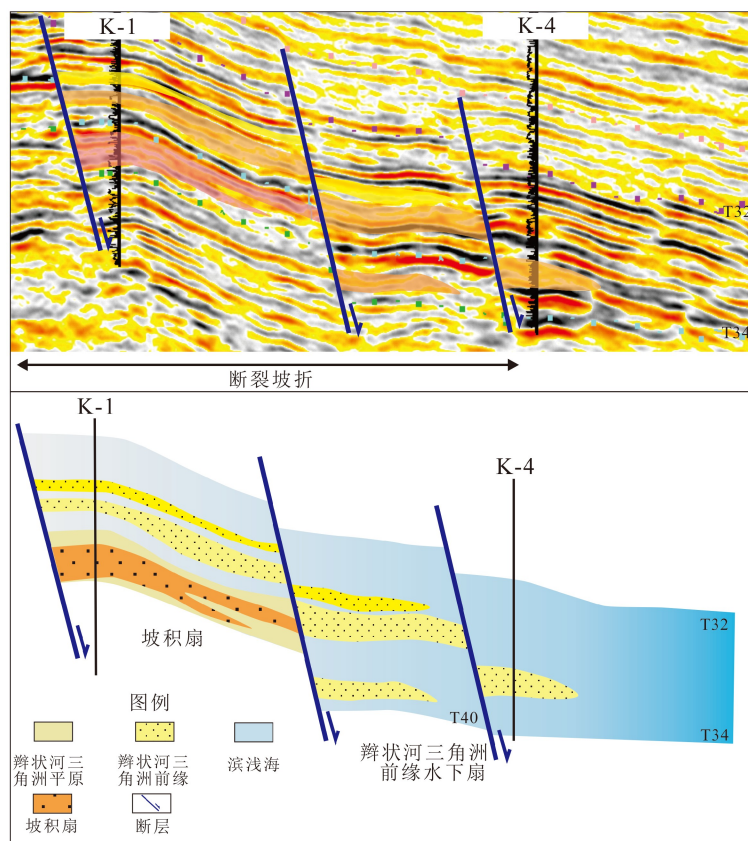


图 4 孔雀亭断裂坡折发育模式

Fig.4 Development of fault slope-break in kongqueting area

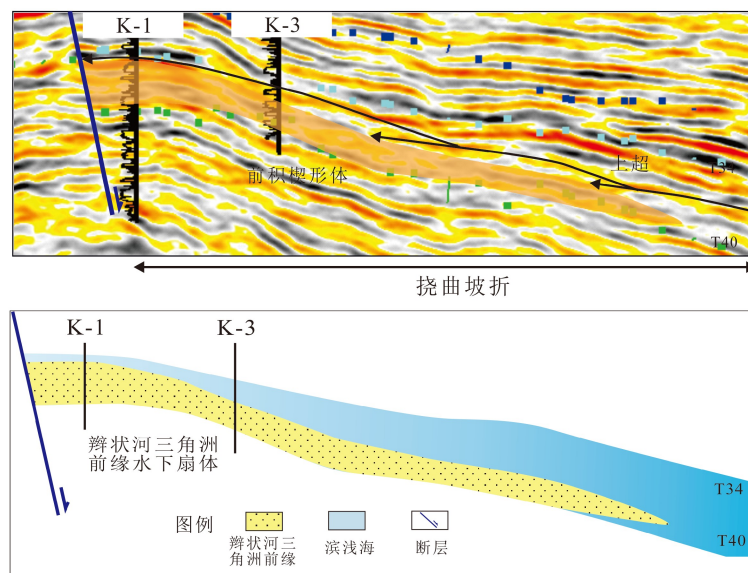


图 5 孔雀亭挠曲坡折发育模式

Fig.5 Development of flexure slope break in Kongqueting area

种类型的坡折主要发育在孔雀亭西部高带地区,其表现出孤立发育且横向限制性展布的特征。这主要是由于平湖构造运动导致西部高带地层抬升后遭受风化剥蚀所致,其形成的下切沟谷为孔雀亭地区提供了充足物源(图 6)。

3 坡折带对相带发育的控制作用

孔雀亭平湖组从 E_2pSQ1 到 E_2pSQ3 时期,随着构造运动不断减弱^[20],坡折带的组合样式表现出一

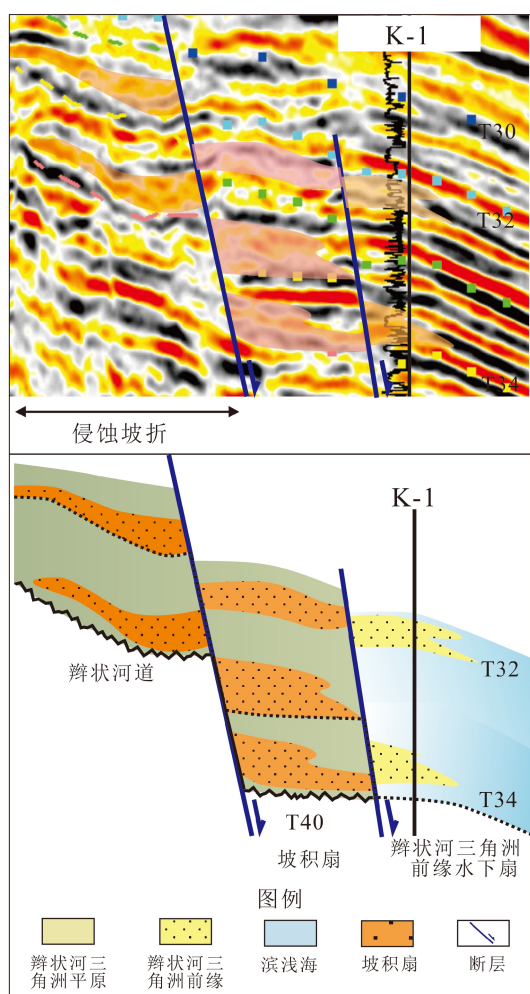


图6 孔雀亭侵蚀坡折发育模式

Fig.6 Development model of erosion slope break in Kongqueting area

定差异,导致各时期地形地貌形态不同,因而造成古水流方向、可容纳空间以及沉积卸载区的不同,使得差异化富集的沉积砂体发育形成不同的相带类型。其中断裂坡折和挠曲坡折控沉积作用较强,而侵蚀坡折控沉积作用较弱。

E₂pSQ1 时期,断裂活动强烈,断裂坡折和挠曲坡折控制了洼隆相间且坡度较大的古地貌,辫状河道只能推进至 K-3 井附近的岸线地区,构造坡折(断裂阶坡折和挠曲坡折)控制了小型低位扇体发育。研究区南部自西向东沿断裂坡折发育辫状河三角洲前缘水下扇体;北部挠曲坡折控制的斜坡引导水下分流河道携带陆源碎屑岩沿断层根部汇入 2 号洼地,形成限制性前缘水下扇朵叶体(图 7A,图 8)。侵蚀坡折在西部高区坡折带内,控制辫状河道或坡积扇的发育。E₂pSQ2 时期,断裂活动强度中等,坡折带控制古地貌表现出填平补齐特征,坡度有所减弱。在水体大规模快速上升的背景下,孔雀亭 K-5

井以东地区水体深且受潮汐作用影响强烈,断裂坡折引起的地层突变处起到遮挡作用,使得复合型砂坝在坡折带之下发育(图 7B,图 8)。E₂pSQ3 时期,断裂活动进一步减弱,研究区以发育断裂坡折为主,控制宽缓斜坡的古地貌特征。由于该时期坡折带的坡降减缓,水体快速下降,断裂坡折通过引导水系的汇聚方向,控制向洼地推进的辫状河三角洲扇体顺坡发育(图 7C,图 8)。

4 坡折带对圈闭的控制作用

不同的坡折带类型控制着不同的构造古地貌,同时约束着沉积砂体和沉积相带的发育,进而控制着不同类型复合岩性圈闭的形成。高区坡折带位于研究区西部,地势高,下切沟谷发育且地层往往遭受风化剥蚀易形成侵蚀坡折,该类坡折又控制着侵蚀沟谷岩性圈闭的发育。中区坡折带坡度变陡,坡降增大,NE-NNE 向同沉积正断层控制断块-岩性复合圈闭发育,而深层 NW-NWW 向隐伏断裂的活动控制挠曲-岩性复合圈闭形成^[20]。低区坡折带靠近洼陷,主要受单向同沉积正断层控制,坡降较中带有所降低,主要发育断块-透镜体岩性复合圈闭。

4.1 高区坡折带

高区坡折带处于平湖斜坡边缘,靠近西部海礁隆起物源区。由于长期处于暴露环境,侵蚀风化作用强烈,是侵蚀坡折发育的有利区域。平湖组时期,这类坡折主要控制辫状河三角洲平原亚相体系的发育。在低水位期,下切沟谷控制辫状河道砂体的沉积与充填;在高水位时期,泥岩披覆在辫状河道砂体之上即可形成侵蚀沟谷圈闭。然而晚期的构造抬升运动多会导致这类圈闭被破坏导致油气难以富集。目前,在海上少井背景下,这类圈闭的实例研究甚少,仅能依靠二维或三维地震资料识别。高带坡折区由于远离 1、2 号富烃洼陷,油气运移距离较远,晚期构造运动破坏严重,储盖组合差,因此认为该区域虽然物源供给充足,但油气圈闭很难规模性形成,油气勘探潜力低(图 9)。

4.2 中区坡折带

中区坡折带紧邻 2 号洼陷,是断裂坡折和挠曲坡折发育的主要区域。E₂pSQ1 时期与 E₂pSQ2 早期,该区水体浅且物源供给强,但古地貌洼隆相间,地势高差大。中区坡折带以南,断裂坡折控制辫状

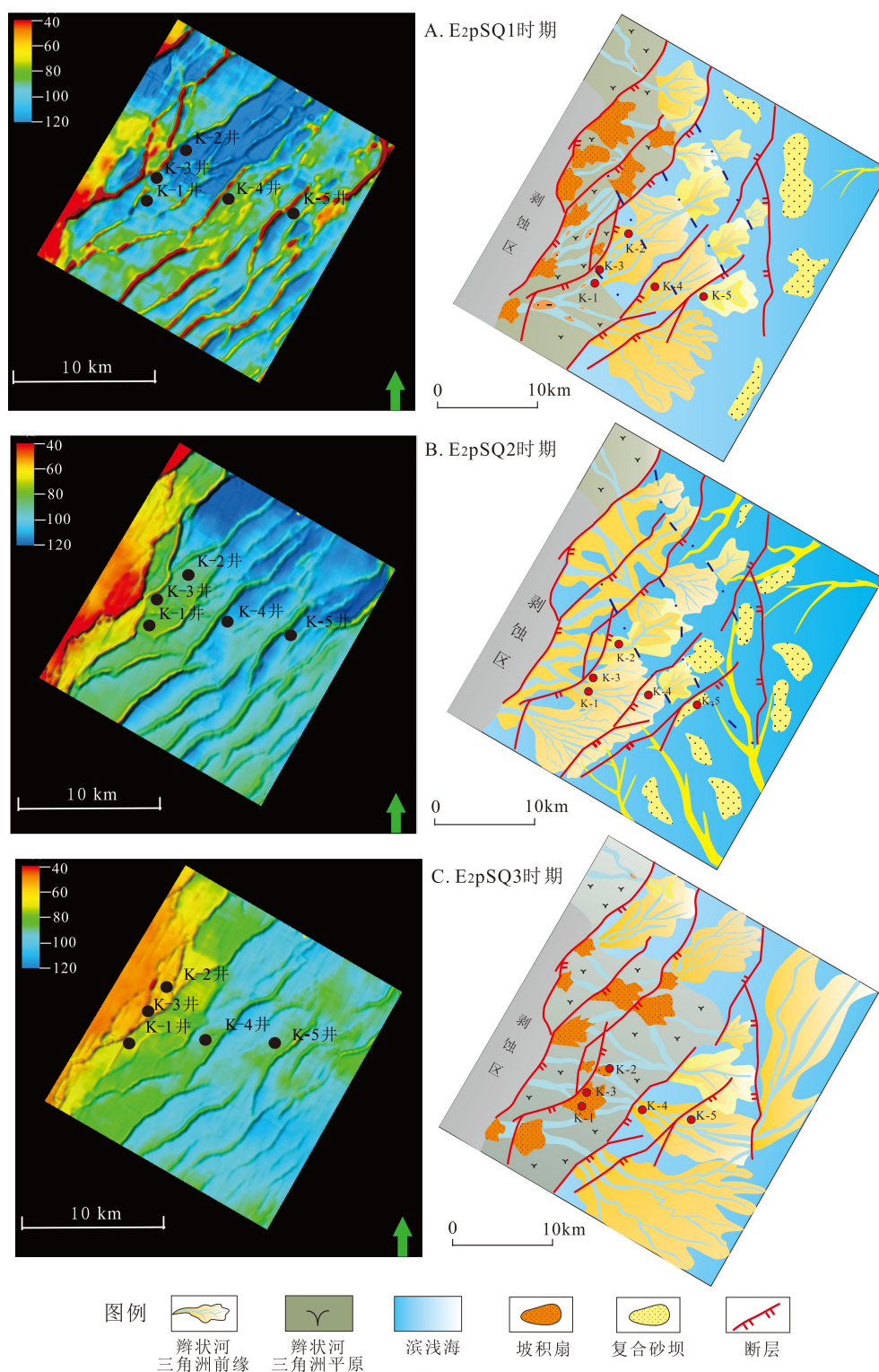


图 7 孔雀亭地区平湖组古地貌与沉积相图

Fig.7 Paleotopography and depositional facies of Pinghu Formation in Kongqueying area

河三角洲平原辫状河道、坡积扇和前缘水下分流河道侧向尖灭型岩性体发育;中区坡折带以北,挠曲坡折主要控制前缘水下分流河道侧向尖灭岩性体发育。 E_2pSQ2 中期至 E_2pSQ3 早期,在规模性海侵背景下,中区坡折带内多形成水下分流河道侧向尖

灭型或泥岩包裹复合砂坝透镜体型岩性体。上述岩性体与断层有机耦合后可形成断块-岩性体复合圈闭。孔雀亭中带坡折区整体临近富烃洼陷,油源断层发育,储盖组合优越,岩性油气藏勘探潜力巨大(图9)。

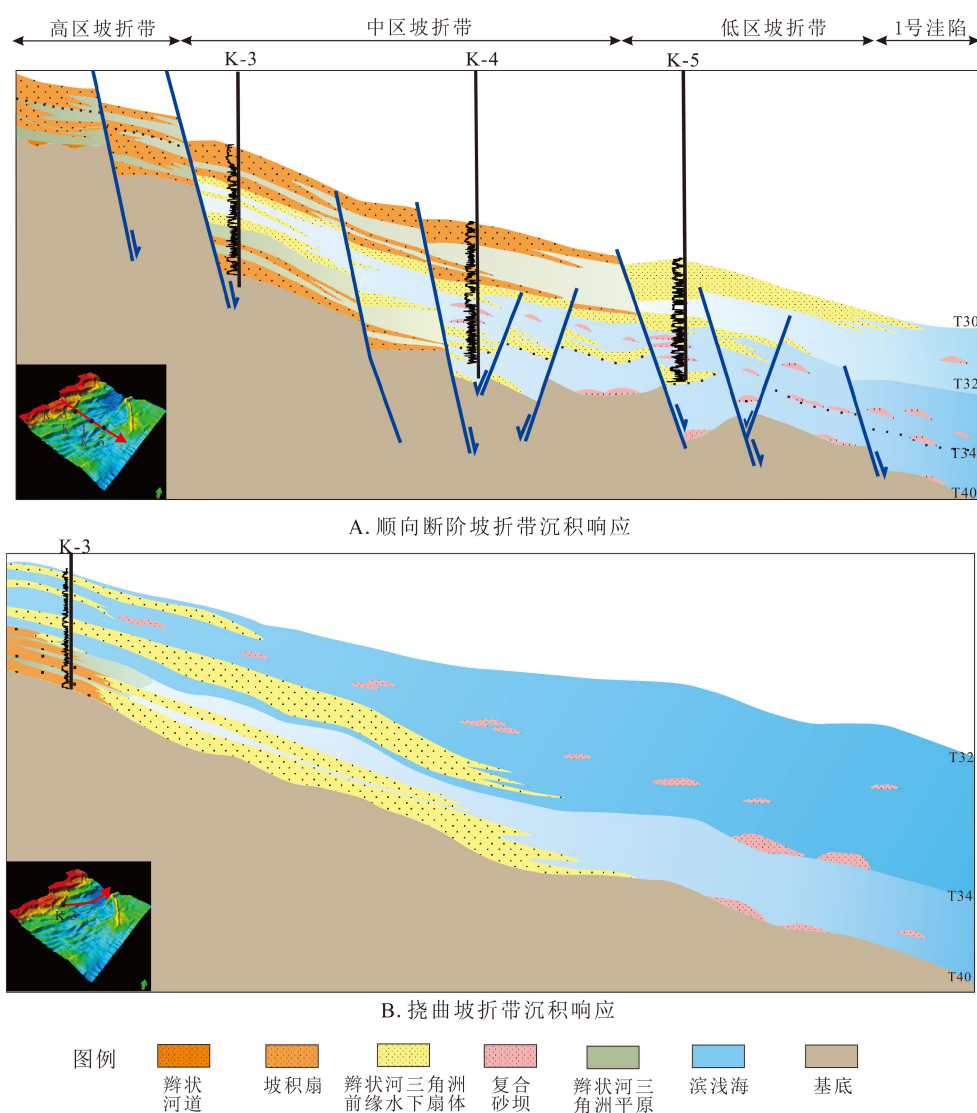


图8 孔雀亭构造坡折带沉积响应特征

Fig.8 Sedimentary responses of structural slope break zone in Kongqueting area

4.3 低区坡折带

低区坡折带距1号洼陷距离最近,主要发育顺向断阶坡折。平湖组时期,该区域处于水下沉积环境,在此环境中断裂坡折控制了辫状河三角洲前缘扇体和复合砂坝的发育。 E_2pSQ1 时期,洼陷相间的地形限制了辫状河三角洲前缘向东的推进范围,表现出“有坡少砂”特征; E_2pSQ2 时期,在填平补齐规模性海侵背景下,同沉积正断层控制的断裂坡折起到了遮挡作用,形成了泥岩包裹、底平顶凸的断块-砂坝复合型岩性圈闭; E_2pSQ3 时期,在宽缓斜坡快速海退背景下,发育前缘水下分流河道侧向尖灭型岩性圈闭。低区坡折带坐拥1号富烃洼陷,运移距离近,利于油气成藏。但是该区也存在一定不利因素:一方面其埋深较大, E_2pSQ1 时期受压实作用影

响储层已经超过4700 m下限^[20],易探不易得;另一方面, E_2pSQ3 晚期低带断裂活动相对较弱,砂砂对接概率较大,断层封堵存在一定风险。综上所述,低区坡折带岩性勘探潜力不如中区坡折带,但仍为孔雀亭地区今后重要的勘探区域之一(图9)。

4.4 顺向多级断阶坡折带对圈闭的控制作用

平湖斜坡孔雀亭区顺向多级断阶坡折带控制着岩性复合圈闭的分布和规模。高区坡折带位于斜坡西部构造高部位,侵蚀坡折发育,控制规模小、分布局限的侵蚀沟谷型岩性圈闭。但其远离富烃洼陷,后期破坏严重,难以形成商业性油气圈闭。低区坡折带位于斜坡东部构造低部位,断裂坡折发育,控制复合砂坝发育,形成规模中等、分布局限的断块-透镜体型复合岩性圈闭。其油气运保效率高,

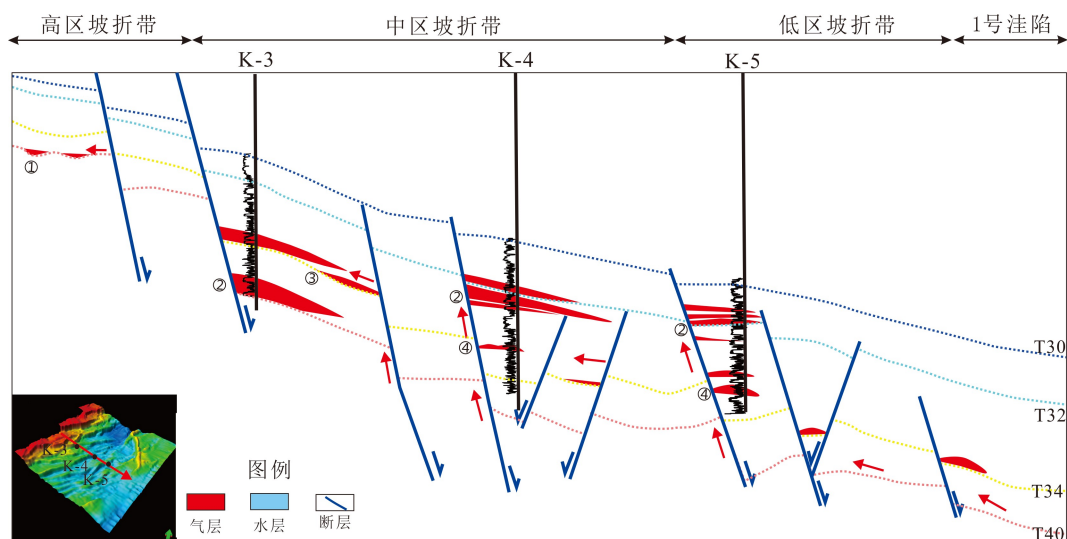


图 9 孔雀亭区平湖组构造-岩性复合圈闭发育模式

①侵蚀沟谷型油气圈闭, ②断块-河道侧向尖灭型油气圈闭, ③挠曲-河道侧向尖灭型油气圈闭, ④断块-透镜体型复合油气圈闭。

Fig.9 Development model of structural-lithologic traps in Pinghu Formation of Kongqueting area

① The oil and gas trap of river valley, ② The oil and gas trap of fault block-river pinchout type, ③ The oil and gas trap of flexure-river pinchout type, ④ The oil and gas trap of fault block-lenses type.

但储层埋深大, 物性差, 采收率低。中区坡折带位于高区和低区之间, 断裂坡折和挠曲坡折发育, 控制多种类型沉积砂体, 形成规模大、分布广的断块-河道侧向尖灭和挠曲-河道侧向尖灭型复合圈闭。其接受两个富烃洼陷供给, 运保高效, 生储盖配置优越, 为油气汇聚优势区。从区域构造图上圈闭统计结果来看, 中区坡折带圈闭数量最多, 面积最大(图 1)。

5 结论

(1) 根据成因机制的差异, 孔雀亭地区平湖组共可识别出 3 种坡折带类型, 即断裂坡折、挠曲坡折与侵蚀坡折。同沉积断裂体系的发育对研究区坡折带的形成起到至关重要的作用, 构造坡折为该区域主要坡折发育类型。

(2) 孔雀亭区整体为顺向多级断阶坡折带发育区。根据坡折带发育的构造位置与洼陷匹配关系, 可将研究区划分为高区坡折带、中区坡折带、低区坡折带。高区坡折带以发育侵蚀坡折为主, 控制辫状河三角洲平原沉积体系; 中区坡折带以发育断裂坡折和挠曲坡折为主, 早期控制辫状河三角洲前缘沉积体系, 晚期控制辫状河三角洲平原沉积体系, 形成诸如辫状河道、坡积扇等微相; 低区坡折带以发育辫状河三角洲前缘沉积体系为主, 控制水下分流河道和复合砂坝微相的发育。

(3) 高区坡折带控制少量侵蚀沟谷型圈闭, 受晚期构造运动的严重破坏, 且远离富烃洼陷, 该区油气勘探潜力低; 中区坡折带发育断块和挠曲岩性复合圈闭, 其紧邻富烃洼陷, 运移保存条件好, 为平湖组岩性油气藏勘探的最有利区域; 低区坡折带虽受储层下限和断层封堵性影响, 但断块-透镜体复合岩性圈闭发育, 仍为岩性油气藏勘探的重点区域之一。

参考文献 (References)

- [1] 周祥林, 高伟中, 张建培, 等. 东海西湖凹陷平北断裂特征及其对油气成藏的控制[J]. 上海国土资源, 2014(4): 54-57. [ZHOU Xianglin, GAO Weizhong, ZHANG Jianpei, et al. Fractures in the Pingbei area and their control on hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag of the East China Sea [J]. Shanghai Land and Resource, 2014(4): 54-57.]
- [2] 张国华, 刘金水, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷渐新统花港组大型辫状河沉积体系特征[J]. 中国海上油气, 2018, 30(3): 10-18. [ZHANG Guohua, LIU Jinshui, QIN Lanzhi, et al. Characteristics of the large braided river depositional system of the Oligocene Huagang Formation in the Xihu sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2018, 30(3): 10-18.]
- [3] 舒志国, 何希鹏, 邓世新. 塔里木盆地塔中隆起南坡上奥陶统礁滩相带的发现及油气勘探意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(6): 80-85. [SHU Zhiguo, HE Xipeng, DENG Shixin. Discovery of Ordovician reef flat belt and significant for hydrocarbon exploration in the southern slope of the Tazhong Uplift of Tarim Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(6): 80-85.]

- [4] 杜学斌, 解习农, 任建业, 等. 松辽拗陷湖盆环状坡折带发育特征及对沉积过程控制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 163-170. [DU Xuebin, XIE Xinong, REN Jianye, et al. Characteristics of double-circular slope break and the control on sedimentary process in the Songliao Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(4): 163-170.]
- [5] Vail P R. Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy Part I: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure[M]. 1987.
- [6] 陈启林. 大型咸化湖盆地层岩性油气藏有利条件与勘探方向——以柴达木盆地柴西南古近纪为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 46-51. [CHEN Qilin. Favorable condition and exploration prospecting of lithologic hydrocarbon reservoir in large-scale saline basin—Case study on the Eogene in the Southwest of Qaidam Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 46-51.]
- [7] 王英民, 金武弟, 刘书会, 等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 5-9, 20. [WANG Yingmin, JIN Wudi, LIU Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration signification of multistage slope breaks in rift lacustrine basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 5-9, 20.]
- [8] 李相博, 刘化清, 陈启林, 等. 大型拗陷湖盆沉积坡折带特征及其对砂体与油气的控制作用——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 75-87. [LI Xiangbo, LIU Huaqing, CHEN Qilin, et al. Characteristics of slope break belt in large depression lacustrine basin and its controlling effect on sandbody and petroleum: taking the triassic yanchang formation in the ordos basin as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 75-87.]
- [9] 黄胜兵, 叶加仁, 朱红涛, 等. 渤中西环古沟谷与坡折带特征及其对储层的控制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(1): 119-124. [HUANG Shengbin, YE Jiaren, ZHU Hongtao, et al. Characteristics of valley-slope break zone in the western circle of the Bozhong Depression and its control over reservoir distribution [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(1): 119-124.]
- [10] 冉怀江, 林畅松, 代一丁, 等. 陆架坡折带识别及其对沉积层序的控制作用[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(A1): 125-128. [RAN Huaijiang, LIN Changsong, DAI Yiding, et al. Shelf break zone identification and its control on sedimentary sequence formations [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(A1): 125-128.]
- [11] 施和生, 柳保军, 颜承志, 等. 珠江口盆地白云-荔湾深水区油气成藏条件与勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2010, 22(6): 19-24. [SHI Heshen, LIU Baojun, YAN Chengzhi, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential in Baiyun-Liwan deepwater area, Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6): 19-24.]
- [12] 谢玉洪, 王振峰, 解习农, 等. 莺歌海盆地坡折带特征及其对沉积体系的控制[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2004, 29(5): 569-574. [XIE Yuhong, WANG Zhenfeng, XIE Xinong, et al. Patterns of slope-break zone and their depositional models in the Yinggehai Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 569-574.]
- [13] 胡望水, 胡芳, 李瑞生, 等. 东海盆地西湖凹陷平湖斜坡区坡折带发育及特征研究[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(3): 5, 11-14. [HU Wangshui, HU Fang, LI Ruisheng, et al. Slope break zone development and characteristics in Pinghu Slope zone around Xihu Sag of East China Sea Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010, 24(3): 5, 11-14.]
- [14] 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): 94-98. [ZHAO Hong, JIANG Yiming, CHANG Yinshan, et al. Study on sedimentary characteristics of the Pinghu Formation based on sedimentary facies markers in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. Shanghai Land and Resources, 2018, 39(1): 94-98.]
- [15] 周心怀, 高顺利, 高伟中, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷平北斜坡带海陆过渡型岩性油气藏形成与分布预测[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(2): 153-164. [ZHOU Xinhui, GAO Shunli, GAO Weizhong, et al. Formation and distribution of marine- continental transitional lithologic reservoirs in Pingbei slope belt, Xihu sag, East China Sea Shelf Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(2): 153-164.]
- [16] 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. [LIU Jinshui, XU Huaizhi, JIANG Yiming, et al. Mesozoic and Cenozoic Basin structure and tectonic evolution in the East China Sea Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(3): 675-691.]
- [17] 蔡华, 秦兰芝, 刘英辉. 西湖凹陷平北斜坡带海陆过渡相源-汇系统差异性及其耦合模式[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 880-897. [CAI Hua, QIN Lanzhi, LIU Yinghui, et al. Differentiation and coupling model of source-to-sink systems with transitional facies in Pingbei Slope of Xihu Sag [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2019, 44(3): 880-897.]
- [18] 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.]
- [19] 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.]
- [20] 刘金水, 赵洪. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖斜坡带差异性气侵的成藏模式[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2019, 46(4): 487-496. [LIU Jinshui, ZHAO Hong. Characteristics of differential gas invasion on Pinghu Slope of Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2019, 46(4): 487-496.]