

西湖凹陷PH斜坡超覆带源-汇特征 及岩性地层圈闭模式

徐东浩, 秦兰芝, 何新建, 张书平, 袁悦

中海石油(中国)有限公司上海分公司研究院

摘要 通过钻井、测井及三维地震等资料的分析,对西湖凹陷PH斜坡带平湖大断裂上升盘超覆带的层序地层构成、源-汇系统差异及沉积演化、控砂机制和岩性地层圈闭发育模式进行了综合研究。研究认为:(1)PH斜坡平湖组自下而上划分为3个三级层序(SQ1、SQ2、SQ3)。SQ1层序分布范围局限,受控于挠曲成因的陡坡坡折,低位体系域发育,沉积了近源的以中生界岩浆岩基底物源为主的“沟-坡-扇”耦合的扇三角洲体系;SQ2和SQ3层序分布范围较广,受控于侵蚀成因的缓坡坡折,海侵体系域和高位体系域发育,沉积了远源的以元古宇变质岩基底物源为主的三角洲体系。(2)在体系域和坡折的控制下,发育3种岩性地层圈闭模式:低位期主要在挠曲坡折之下发育受基岩和扇根物性封堵的扇三角洲前缘砂体超覆型地层圈闭,海侵期主要发育受海泛期泥岩遮挡的潮汐砂坝和潮道侧向尖灭型岩性圈闭,高位期主要发育受侵蚀坡折控制的上倾尖灭和侧向尖灭的三角洲平原分流河道岩性圈闭。

关键词 超覆带;坡折;体系域;源-汇耦合差异;岩性地层圈闭;西湖凹陷

中图分类号:TE121.3 文献标识码:A

0 前言

PH斜坡带是西湖凹陷目前重要的油气勘探区之一,随着构造油气藏勘探程度的不断提高,如何寻找接替储量的问题迫在眉睫。近年来,随着勘探思路的转变,在PH斜坡中、低带地区的岩性及构造-岩性复合油气藏勘探^[1-3]取得了重大发现,拉开了PH斜坡带岩性勘探的序幕,构造-岩性复合圈闭目前已成为PH斜坡带油气储量增长的重要接替领域。PH斜坡中、低带的岩性圈闭复杂隐蔽,主要受控于转换断层形成的断裂坡折和挠曲坡折^[4],坡折的识别难度较大。虽然中、低带岩性圈闭紧邻主洼和次洼,成藏条件好,但目的层埋深大,普遍超过4 000 m,常规储层勘探窗口小,主要以低渗储层为主,产能低;而PH斜坡高带的储层埋深普遍在4 000 m以浅,储层条件好。因此,西湖凹陷的勘探领域向PH斜坡高带的超覆区拓展势在必行。

超覆带是由于早期形成的地层因构造运动而发生褶皱、隆起、剥蚀,后续沉积地层在该凸起层层

超覆而形成,在地震剖面上以下伏地层顶界削蚀和上覆地层底界上超为识别标志^[5]。超覆带受地层超覆尖灭、坡折及沉积相带控制,是岩性和地层-岩性圈闭发育的有利场所^[6-8],圈闭类型在纵向上的分布受层序格架下的不同体系域及层序界面控制,在横向上受盆地构造格局和沉积体系的控制^[9-11]。低位体系域往往发育大规模的低位扇和下切谷沉积,形成大型的砂岩透镜体和上倾尖灭岩性体。盆缘超覆带存在挠曲、沉积和侵蚀等不同成因类型的坡折,对层序、沉积及地层-岩性圈闭的发育起着重要的控制作用^[12-15]:坡折带下方往往发育低位扇和地层超覆圈闭,坡折之上往往控制深切谷的发育并形成深切谷圈闭。另外,坡折带本身也有一定的地形起伏,又由于断裂组合的叠加,也有利于形成构造-岩性复合圈闭。

PH斜坡超覆带位于平湖大断裂上升盘,紧邻大断裂下降盘的富烃洼陷为绍兴36洼,具备优越的烃源基础和油气运移条件,钻井已证实油气可运移至平湖大断裂上升盘。但是,已钻的几口井由于岩性圈闭不落实或位于砂体的边缘部位,总体油气显示

收稿日期:2021-12-29;改回日期:2022-11-12;网络出版日期:2023-04-24

本文受中海石油(中国)有限公司科技重大专项“西湖凹陷西部地区勘探开发关键技术研究”(CNOOC-KJ135ZDXM39SH01)资助

第一作者: 徐东浩, 硕士,工程师,主要从事沉积储层研究工作。通信地址:200335 上海市长宁区通协路388号中海油大厦A618室;E-mail:xudh6@cnooc.com.cn

较差。本次研究从层序地层分析入手,梳理了不同层序及成因坡折控制下的源-汇系统差异,总结了“层序-坡折-物源”三元耦合的控砂机制和不同体系域下的岩性地层圈闭发育模式,这对推动斜坡超覆带的岩性地层勘探具有实践启示意义。

1 区域地质概况

PH斜坡带西侧为海礁隆起,东侧为西次凹,北部靠近宝云亭地区,南部紧邻平湖油气田,PH斜坡超覆带位于PH斜坡带中部的平湖大断裂上升盘(图1a)。PH斜坡带内裂陷作用可以划分3个阶段(图1b):①断陷阶段。受白垩纪末期雁荡运动背景下拉张应力的作用,古新世一早始新世以断陷作用为主,断裂活动强,发育主要由平湖大断裂形成的

陡坡坡折带,坡折带之上为物源剥蚀区,超覆带不发育;隆洼相间的格局明显,沉积了宝石组。②断-拗转换阶段。受中晚始新世平湖运动的影响^[16],断裂活动逐步减弱,以断-拗转换为主,地层逐步填平补齐,以宽缓斜坡为特征,沉积了平湖组;该时期发育由平湖大断裂形成的断裂坡折和平湖大断裂上升盘受先存古隆影响形成的挠曲和侵蚀坡折带,超覆带主要发育在平湖大断裂上升盘。③拗陷阶段。受早渐新世玉泉运动的影响,断裂基本不活动,进入拗陷阶段,沉积了花港组;坡折带在该时期停止发育,超覆带也不发育。平湖组沉积时期以西侧海礁隆起物源为主,海礁隆起基底物源呈现出南北两端以变质岩为主,中部以火成岩为主,夹杂少量砂卡岩的特征^[17]。

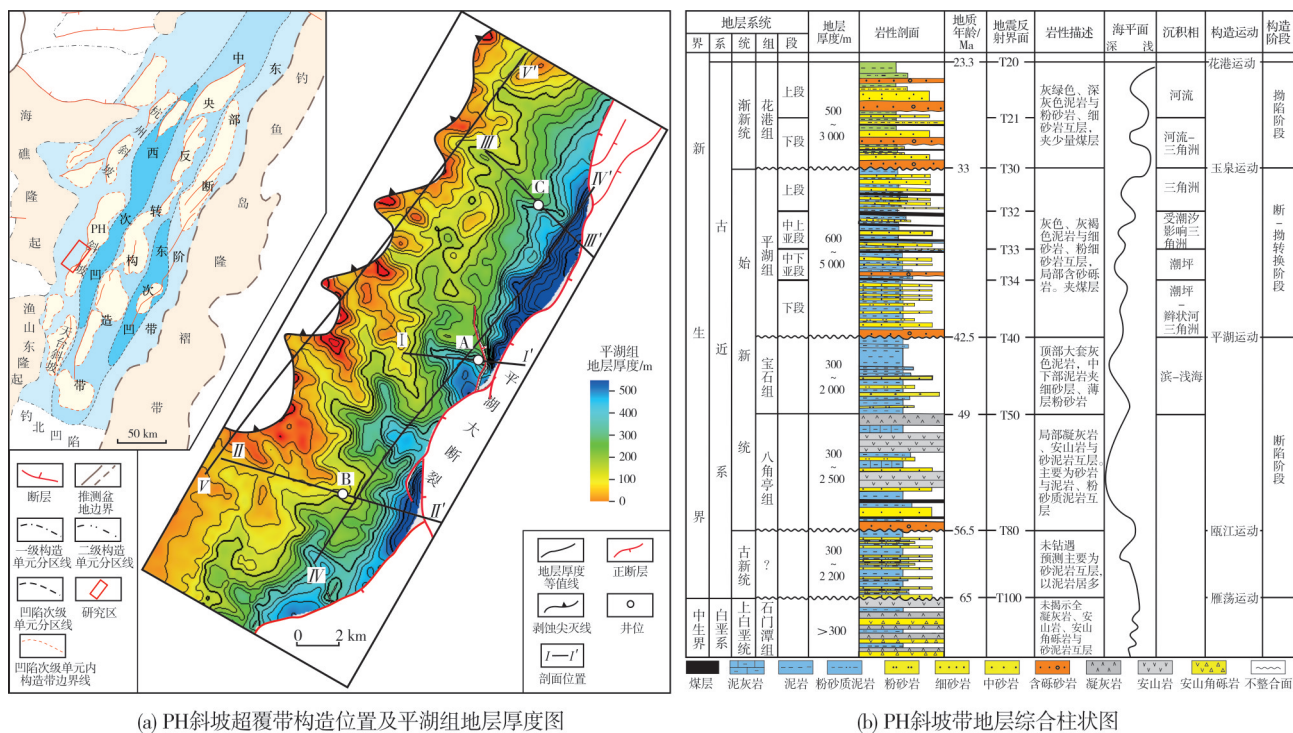


图1 西湖凹陷PH斜坡超覆带构造位置及地层综合柱状图

Fig. 1 Tectonic location and comprehensive stratigraphic column in PH slope overlap belt in Xihu Sag

刘金水等^[18]通过测井、地震、古生物分析,认为PH斜坡带平湖组可划分为3个三级层序(图1b),自上而下依次对应层序界面T30、T32、T34和T40之间限定的地层。T30和T40分别对应于平湖组顶界面和底部大范围的不整合界面,T32和T34分别对应于平湖组内部2个小型的不整合界面,T33界面为平

湖组内部的最大海泛面。PH斜坡带整体为震荡式海退背景下沉积的一套潮坪—三角洲沉积体系(受潮汐影响)^[19],其中,平湖组下段为限制性地貌控制下的辫状河三角洲体系,平湖组中段为海侵期发育的潮坪体系和海退早期受潮汐影响的三角洲,平湖组上段为海退期发育的进积三角洲体系。

2 层序地层发育特征

2.1 单井层序特征

平湖大断裂上升盘超覆带地层与下降盘地层可对比,下降盘钻井已揭示平湖组可划分为3个三级层序,自下而上,平湖组的下段、中段、上段分别对应SQ1层序、SQ2层序、SQ3层序^[20]。在平湖大断裂上升盘超覆带目前仅钻探了3口井(A井、B井、C井,位置见图1a),基于测录井资料,根据层序界面处岩相突变、INPEFA曲线(频率趋势曲线)和小波能谱等特征进行了层序划分。

A井平湖组底界T40(与已钻井T34界面重合)、顶界T30界面上下岩相发生突变(图2):T40界面之下为英安岩、火山角砾岩,界面之上为含砾中砂岩;T30界面之上为厚层砂砾岩,界面之下为含煤泥岩。

这反映了层序界面处沉积环境发生明显变化。层序界面位于INPEFA曲线从负向趋势变为正向趋势的拐点处,海泛面T33位于INPEFA曲线从正向趋势变为负向趋势的拐点处^[21]。

不同准层序组的叠加样式下,小波时频能谱中局部能量团随深度的变化不同^[22]。从A井的时频能谱图中可以看到(图2):高位体系域为进积式准层序组,局部能量团随深度增加逐渐增强,且向大尺度移动;海侵体系域为退积式准层序组,局部能量团随深度增加逐渐减弱,且向小尺度移动;低位体系域为加积式准层序组,局部能量团随深度变化不大。

3口井均钻在超覆带平湖组厚度较薄的位置,揭示的平湖组层序地层不完整,以SQ2、SQ3层序为主。在超覆带平湖组厚度较大的位置,从井震对比及地震反射特征来看,推测存在SQ1层序(图3)。层序界面

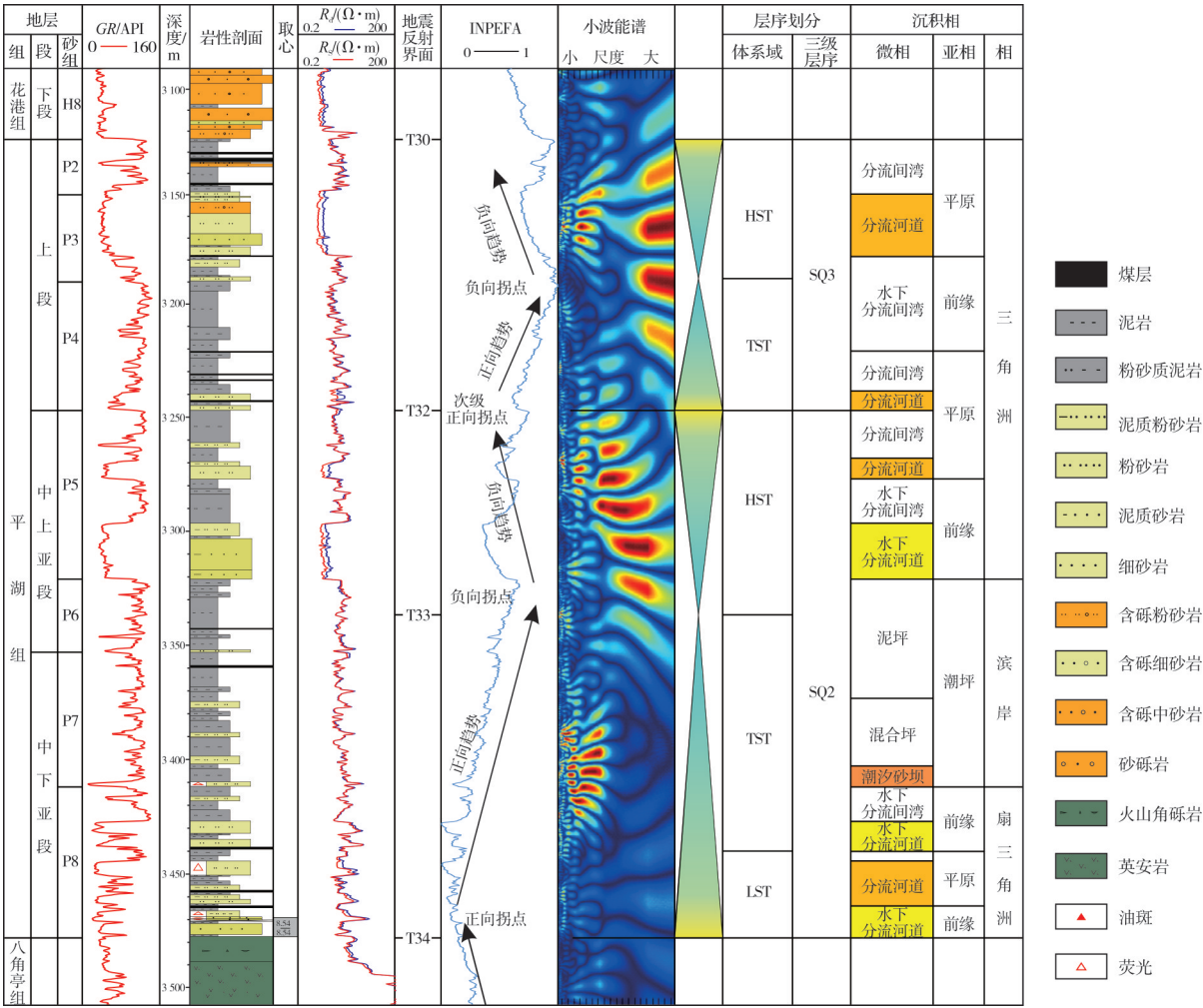


图2 西湖凹陷PH斜坡超覆带A井平湖组层序划分

Fig. 2 Sequence division of Pinghu Formation of Well A in PH slope overlap belt of Xihu Sag

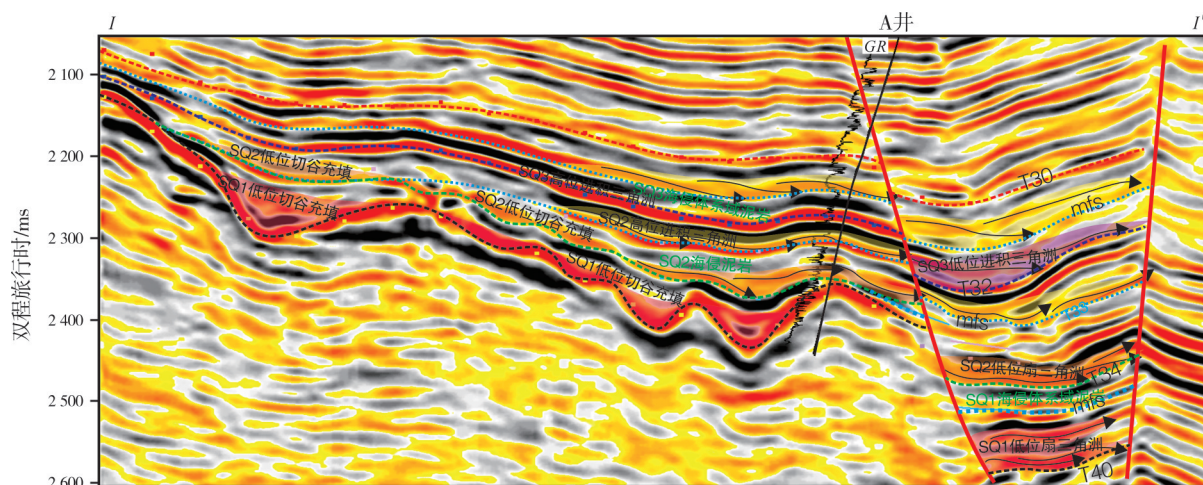


图3 西湖凹陷PH斜坡超覆带过A井地震剖面层序结构图(剖面位置见图1a)

Fig. 3 Sequence structure in seismic section across Well A in PH slope overlap belt of Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)

T40之上发育下切谷,内部具充填反射,往凹陷方向可见下超反射;层序界面之下可见削截反射。最大海泛面(mfs)附近广泛分布的一套泥岩沉积,其地震反射特征表现为层序内部凹陷至斜坡的稳定、连续的同相轴。SQ1层序在断裂坡折之下局限分布,以低位域为主,A井位于SQ1层序的过路沉积区,上倾方向为SQ1低位域的下切谷;SQ2层序以海侵和高位体系域为主,低位体系域局限分布,A井钻遇低位域砂体的侧缘,揭示的岩性主要为薄层的含砾砂岩、细砂岩;SQ3层序以海侵和高位体系域为主,最大海泛面之上的高位砂体进积发育,可见明显前积反射。

2.2 连井层序格架特征

选取垂直物源方向的A井—B井—C井连井层序格架剖面进行对比可知,超覆带SQ2层序低位体系域局限分布,SQ2层序海侵及高位体系域与SQ3层序海侵及高位体系域分布较广,形成区域上2套较为有利的储盖组合(图4):一套为SQ2层序低位域及SQ1层序低位域加积砂体与SQ2层序海侵体系域区域分布的厚层泥岩形成的有利区域储盖组合;另一套为SQ2层序高位域进积砂体与SQ3层序局部海侵泥岩形成的有利局部储盖组合。

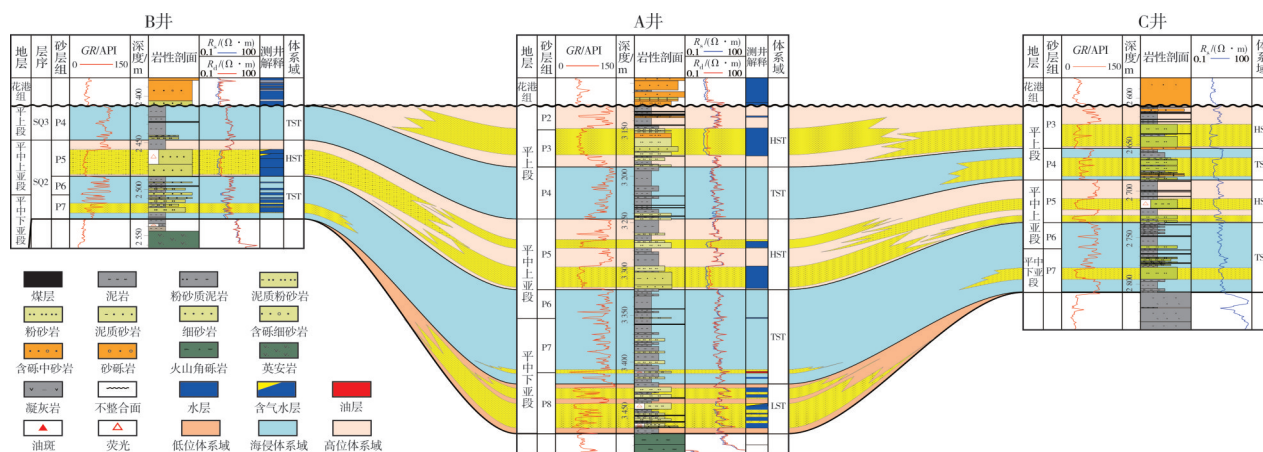


图4 西湖凹陷PH斜坡超覆带A井—B井—C井连井层序地层格架

Fig. 4 Inter-well sequence stratigraphic framework in PH slope overlap belt of Xihu Sag

2.3 坡折识别及其对层序发育的控制

PH斜坡超覆带坡折成因上存在挠曲和侵蚀2种

类型,空间尺度上可划分为三阶坡折带,控制了不同层序单元的发育。挠曲坡折带是由于深部断裂活动形成的古断凸使浅部地层发生挠曲变形而形成,坡

度突变,坡折带之下有明显的超覆和地层加厚特征;侵蚀坡折带是由于风化侵蚀等外动力地质作用造成不整合面之上发生坡度变化而形成,界面之下表现为地层削蚀,界面之上表现为地层超覆特征。

空间上,一阶坡折为挠曲成因,主要受先存构造背景及平湖大断裂持续活动对上升盘的牵引作

用而形成,表现为地层明显的增厚(图5),控制了SQ1层序的局限分布;二阶、三阶坡折为侵蚀成因,主要受控于先存基底持续暴露叠加火山作用形成的沟壑纵横的地貌,分别控制了SQ2、SQ3层序的分布,坡度较缓,地层厚度变化不显著,坡折点之下表现为地层超覆,坡折点之上表现为下切谷发育。

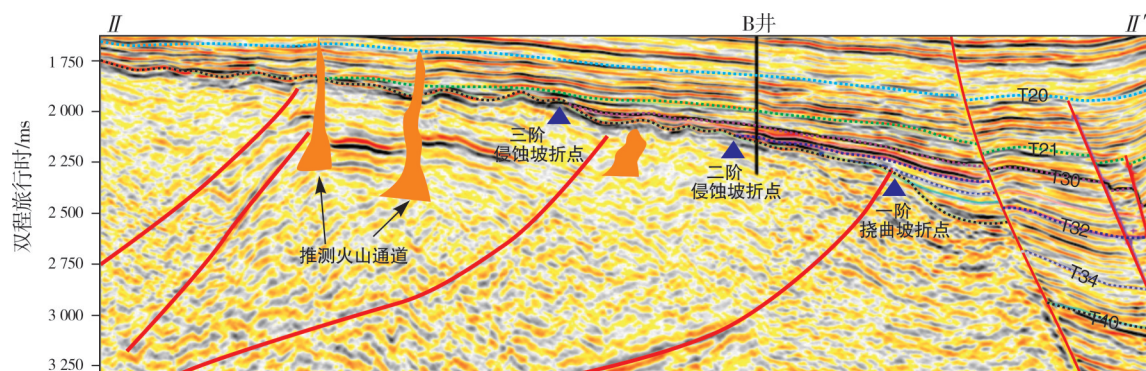


图5 西湖凹陷PH斜坡超覆带坡折类型及剖面特征(剖面位置见图1a)

Fig. 5 Slope break types and seismic characteristics of PH slope overlap belt in Xihu Sag(location is shown in Fig. 1a)

3 源-汇系统差异耦合下的沉积特征

源-汇系统分析,就是将物源区的构造、剥蚀作用,沉积物的搬运方式,以及最终的沉积样式作为一个完整的系统,对控制该系统的内、外因之间的相互作用及其产生的结果进行综合分析,进而指导相应地质事件的预测^[23-25]。通过物源区沟谷特征、基底岩性特征及沉积区的沉积响应分析,认为PH斜坡超覆带平湖组沉积早期和中晚期分属不同的源-汇系统,沉积体系亦存在显著差异。

3.1 物源组成与海平面变化

沉积区的物质组成由物源区的母岩类型决定,

不同岩性基岩的风化和剥蚀作用存在明显差异,在一定程度上决定了汇水区发育的沉积体规模和沉积物总量。在同等条件下,变质岩基底抗风化能力较低,岩浆岩基底的抗风化能力强,因此,变质岩基底的物源供给能力强于岩浆岩基底,形成的沉积物规模也较大。

平湖组下伏地层岩性复杂,位于超覆带上的C井2 809~3 204 m井段为一套溢流相的安山岩、安山角砾岩,局部裂缝发育,被方解石和棕红色泥质岩充填。安山岩同位素年龄约为45.9~42.5 Ma,属始新统下部八角亭组,这套火山岩层在地震剖面上表现为低频-中等连续-中强振幅反射(图6),分布范围有限。该火成岩之下为元古宇变质岩基底^[26-27],地震

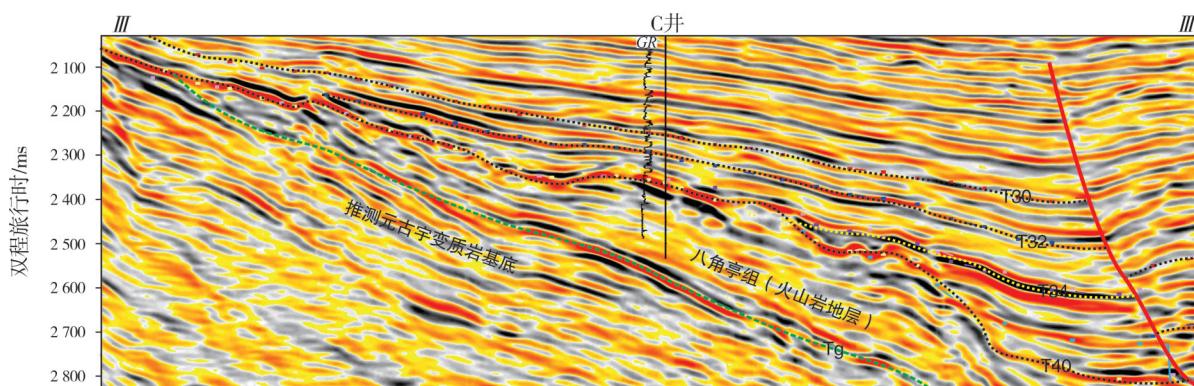


图6 西湖凹陷PH斜坡超覆带前平湖组岩性及地震剖面特征(剖面位置见图1a)

Fig. 6 Lithology and seismic characteristics of Pre-Pinghu Formation in PH slope overlap belt of Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)

剖面上表现为基底连续反射之下的中高频-差连续-强振幅反射,分布范围广。八角亭组火山岩母岩分布范围局限,且先期遭受剥蚀,在平湖组沉积早期被剥蚀提供物源;元古宇变质母岩分布范围广,在平湖组沉积中晚期被剥蚀提供物源。这两套母岩类型的差异造成了超覆带平湖组沉积早期和中晚期的源-汇系统及其沉积响应的差异。

同时,气候和海平面变化控制风化和剥蚀作用,影响沉积充填垂向演化。SQ1层序及SQ2低位期气候较干燥,海平面低,沉积物近源堆积;SQ2、SQ3层序海侵期气候湿润、海平面升高,物源供给减弱,沉积体向源区萎缩,泥质含量升高;SQ2、SQ3层序高位期气候由湿润转向干旱,海平面降低,物源供给显著增强,沉积物向盆地中心方向推进,沉积体范围增大。

3.2 物源通道与搬运通量

平湖斜坡超覆带物源通道主要为古沟谷,一般沿层序界面附近发育,是沉积物从源区向汇区内搬运、输导或堆积的通道。搬运通量与物源通道的截面积和下切深度(宽深比)密切相关:一般物源通道的截面积越大,则单位时间内沉积物可搬运量越大;下切深度越大,水动力条件越强,搬运能力越强。

不同层序地层坡折之上沟谷的规模和形态差异较大。SQ1层序之上发育U型沟谷(图7a)。U型沟谷一般为古水系发育初期由于沟谷频繁迁移、摆动造成,宽深比值小,搬运通量大,反映了距离物源区近、物源供给能力强、单个沟谷对应单个扇体的“沟-坡-扇”耦合特征,表现为单点物源供给,砂体局限分布。

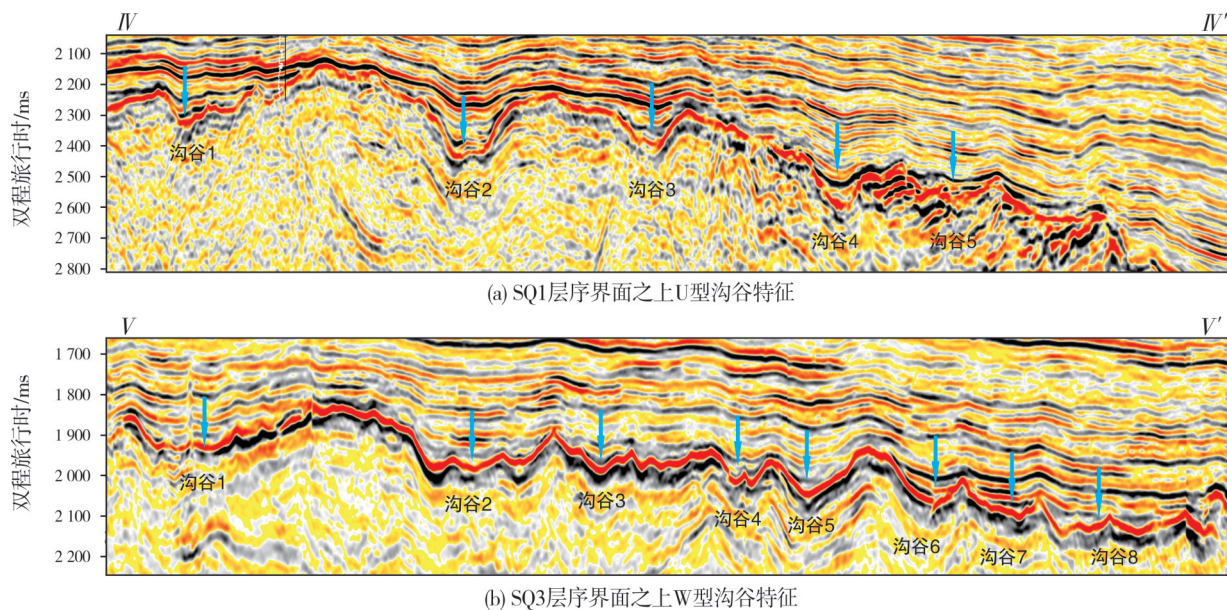


图7 西湖凹陷PH斜坡超覆带物源区沟谷类型(剖面位置见图1a)

Fig. 7 Gully types in provenance area of PH slope overlap belt in Xihu Sag (location is shown in Fig. 1a)

SQ2、SQ3层序之上的沟谷为W复合型沟谷(图7b)。W复合型沟谷一般为古水系发育晚期因水道分叉、水动力相对减弱造成,宽深比值大,输导、搬运砂体能力相对减弱,靠近沉积卸载区,反映了距物源区有一定的搬运距离。因具有变质岩基底物源供给强的特征,在多点物源叠加下,沉积卸载区也容易形成大规模砂体。

3.3 沉积响应特征差异

不同构造活动以及物源区母岩类型、搬运通道

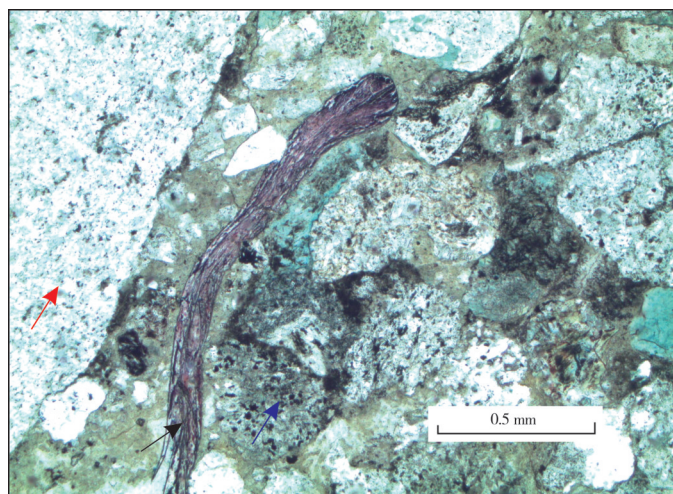
等因素的差异,造成了PH斜坡超覆带平湖组不同时期源-汇系统下沉积响应的差异。

3.3.1 平湖组沉积早期近源岩浆岩供给下的扇三角洲沉积体系

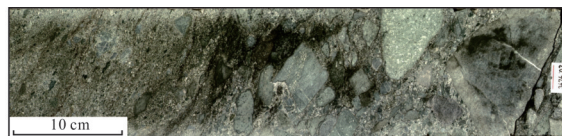
平湖组沉积早期,以断陷阶段为主,断裂活动强,控制了SQ1层序和SQ2层序低位体系域的发育。低位体系域沉积主要分布在超覆带地貌低洼区,该时期沉积基准面较低,可容纳空间有限,沉积砂体的频次高。物源区古沟谷类型为U型,以较强的单

点物源供给为主,易形成近源快速堆积、局限分布的扇三角洲砂体。A井SQ2低位体系域地层岩矿特征表现为以细砾岩为主,多见颗粒支撑,分选差,磨

圆为棱角一次棱状,混杂堆积(图8)。碎屑颗粒以喷出岩岩屑为主,占82%(图8a),反映物源区以火山岩母岩为主。



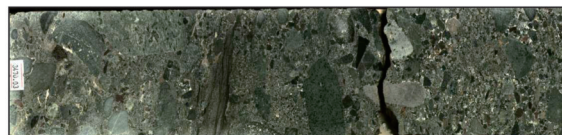
(a) 含生物碎屑岩屑砂岩。岩石粒径大多 >2.00 mm,砾石含量占70%,砾石成分主要为喷出岩岩屑(红色箭头所指);砂质碎屑颗粒成分主要为喷出岩岩屑(蓝色箭头所指),喷出岩岩屑蚀变强烈;见个别盆内碎屑,如腕足碎屑(黑色箭头所指);填隙物主要黏土矿物,星点-鳞片状结构,结晶较差,孔隙不发育,主要为砾石间的碎屑颗粒间孔,连通性较差。3 469.87 m,铸体薄片,单偏光



(b) 灰色含砾砂岩-中砾岩。砾石成分以火成岩岩块为主,少量泥砾,砾石分选差,磨圆为次棱-次圆,见少量生物碎屑,扇三角洲平原辫状河道沉积。3 475.53~3 476.03 m,岩心



(c) 灰色含砾砂岩-粗砂岩。粒序层理砂岩相,可见泥砾和少量生物碎屑,自下而上可见多个由粗变细的正粒序层理构造,颗粒分选、磨圆均较好,反映较强水动力条件下的扇三角洲前缘水下分流河道沉积。3 471.1~3 471.6 m,岩心



(d) 绿灰色含中砾细砾岩。杂基支撑岩相,砾石成分为火山岩,分选差,磨圆为次棱-次圆,基质为灰质和生物碎屑,扇三角洲前缘砾质碎屑流。3 469.53~3 470.03 m,岩心

图8 西湖凹陷PH斜坡超覆带A井SQ2层序低位域取心段岩心和薄片特征

Fig. 8 Core and thin section characteristics of the SQ2 lowstand system tract of Well A in PH slope overlap belt of Xihu Sag

从超覆带仅有的A井SQ2低位域的取心段来看,其表现为平原辫状河道—前缘水下分流河道—前缘砾质碎屑流的水进型扇三角洲的超短期旋回序列,下部为绿灰色含砾砂岩—中砾岩,砾石成分以火成岩岩块为主,分选差,磨圆为次棱—次圆状,砾石可见定向排列,为扇三角洲平原辫状河道沉积(图8b);中部为灰色含砾砂岩—粗砂岩,可见多个正粒序递变层理,颗粒分选、磨圆均较好,反映扇三角洲前缘水下分流河道沉积(图8c);上部为绿灰色含中砾细砾岩,杂基支撑砾岩相,分选差,磨圆为次圆状,基质为灰质和生物碎屑,反映扇三角洲前缘的砾质碎屑流沉积(图8d)。

平湖组沉积早期,扇三角洲的展布主要受控于一阶挠曲坡折。挠曲坡折为陡坡类型,坡度大,坡折之下的坡折槽是地形由陡变缓的转折点连线,为下凹的槽,限制性地貌下形成快速卸载的扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝沉积(图9a),北西向南东方向地震剖面见逐层超覆的前积反射(图9b剖面1)。扇根部位与SQ1时期沟谷相对应,以扇根的平原辫状河道为主,地震剖面上表现为

中一强负振幅下切充填反射(图9b剖面2);由于卸载区分布范围有限,前缘河口坝相互叠置,叠合连片,在横切物源方向地震剖面上表现为强负振幅连续反射(图9b剖面3)。

3.3.2 平湖组沉积中晚期远源变质岩供给下的潮坪—三角洲沉积体系

平湖组沉积中晚期以断—拗转换阶段为主,断裂活动弱,超覆带低位域不发育,形成了SQ2和SQ3层序海侵体系域潮坪沉积体系和高位体系域三角洲沉积体系。海侵体系域基准面较高,可容纳空间大,物源供给相对较弱,沉积的砂体频次低;高位体系域基准面下降,导致可容纳空间减少,物源供给相对充足,沉积的砂体频次也相对高。物源区古沟谷类型为W型,以多点物源供给为主,易形成连片的三角洲砂体。从B井SQ2高位体系域地层样品岩矿特征来看,岩性以中粒长石岩屑砂岩为主,石英、长石与岩屑的含量分别为30%、20%、50%,岩屑主要为石英岩和结晶岩屑,少量为中酸性喷出岩岩屑,分选中等,磨圆为次棱—次圆状,反映有一定的搬运距离,为较远源的变质岩物源供给。

海侵体系域,PH斜坡超覆带主要为潮坪沉积,区别于北西向物源三角洲体系,主要受南东向的潮流控制,形成潮道、潮汐砂坝等微相,其展布主要受控于二阶侵蚀坡折。二阶侵蚀坡折为缓坡类型,坡度小,坡折之下沉积空间范围大。整体以泥岩沉积为主,相对有利砂体为潮间带的潮汐砂坝、潮道和砂坪微相(图10a)。其中,潮道岩性以细砂岩为主,

在地震剖面上主要表现为顶平底凹的中—强负振幅短轴状下切反射(图10b剖面1),测井相表现为指状、钟形特征;潮汐砂坝岩性以细砂岩、粉砂岩为主,在地震剖面上表现为底平顶凸的强负振幅反射(图10b剖面1),测井相表现为漏斗形特征;砂坪岩性以粉砂岩为主,在地震剖面上表现为连续的弱负振幅反射(图10b剖面2)。

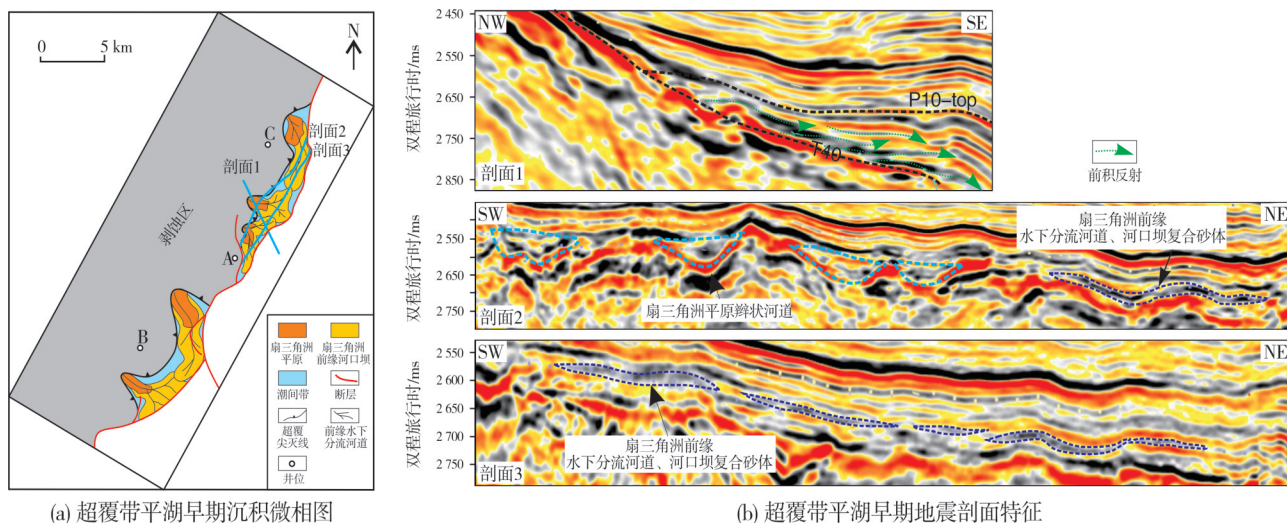


图9 西湖凹陷PH斜坡超覆带平湖早期沉积微相及地震剖面特征

Fig. 9 Sedimentary microfacies and seismic characteristics of Early Pinghu in PH slope overlap belt of Xihu Sag

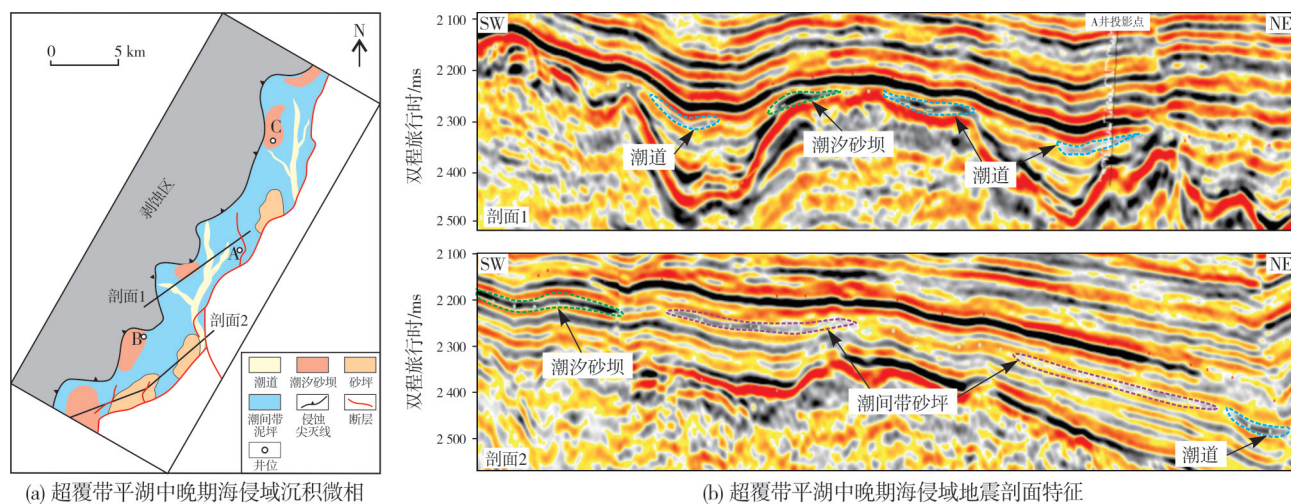


图10 西湖凹陷PH斜坡超覆带平湖中晚期海侵域沉积微相及地震剖面特征

Fig. 10 Sedimentary microfacies and seismic characteristics of transgressive system of the middle to late stage of Pinghu in PH slope overlap belt of Xihu Sag

高位体系域,PH斜坡超覆带为三角洲沉积(图11a),主要受控于三阶侵蚀坡折。三阶侵蚀坡折坡度小,低洼区控制了古岸线的分布。岸线之上为三角洲平原分流河道透镜状砂体发育区,地震剖

面上表现为中—强负振幅、顶平底凹的透镜状反射(图11b剖面1);岸线之下为高位三角洲前缘砂体的卸载区,受物源供给充足、分布范围有限的影响,低洼区为多支平原分流河道的共同卸载区,形成了将

低洼区基本全覆盖的三角洲前缘水下分流河道和河口坝复合砂体,岩性以细砂岩、粉—细砂岩为主,测

井相表现为箱形、钟形-漏斗形复合特征,地震剖面上表现为强负振幅、连续反射(图11b剖面2)。

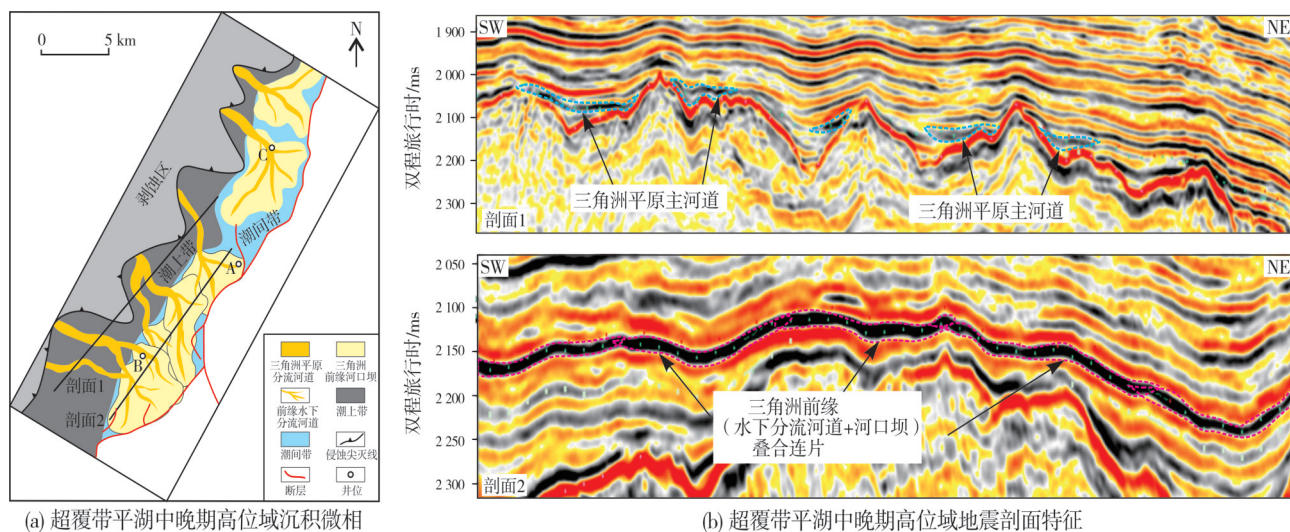


图11 西湖凹陷PH斜坡超覆带平湖中晚期高位域沉积微相及地震剖面特征

Fig. 11 Sedimentary microfacies and seismic characteristics of highstand system of the middle to late stage of Pinghu in PH slope overlap belt of Xihu Sag

4 岩性地层圈闭模式

基于源-汇系统耦合下沉积响应的差异,PH斜坡超覆带平湖组沉积受坡折控制,不同时期具备发育不同的岩性地层圈闭条件。平湖组沉积早期,低位体系域地层逐级上超,易形成受一阶挠曲坡折控制的地层-岩性圈闭;平湖组沉积中晚期,海侵体系域潮间带泥岩背景下发育的孤立砂体易形成岩性圈闭,高位体系域受三阶侵蚀坡折控制的河道砂体易形成上倾和侧向尖灭的岩性圈闭。

4.1 岩性地层圈闭控制因素

平湖组沉积早期的岩性地层圈闭受控于地层超覆线,圈闭形成的关键是规模性砂体的顶、底板的封堵能力。顶板主要为平湖组最大海泛面T33附近的厚层泥岩,其分布范围广,已钻井揭示该套泥岩厚度约为60~93 m,单层厚度大于20 m,封盖条件好;底板主要为八角亭组安山岩、安山角砾岩,上部黏土化强烈,孔隙及裂缝不发育,整体物性差,具有有效封堵条件。A井SQ2层序低位体系域即为此类圈闭,但由于A井位于低位域扇三角洲的边部,砂体相对不发育。

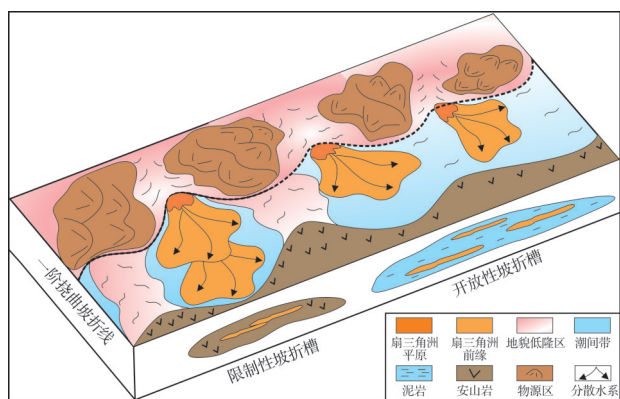
平湖组沉积中晚期海侵体系域和高位体系域以岩性圈闭为主,圈闭形成的关键是砂体的上倾

方向和侧向的尖灭。A井SQ2层序海侵体系域砂体即为此类圈闭,由于没有位于潮汐砂坝等有利砂体发育区,薄层砂体虽成藏但没有形成规模。B井SQ2层序高位体系域砂体发育,没有形成上倾尖灭,未成藏。

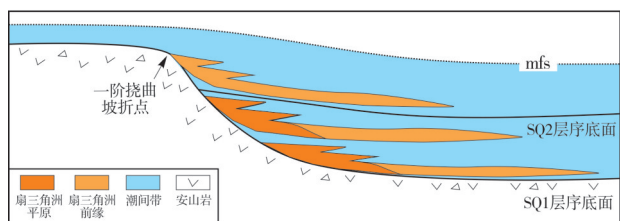
4.2 圈闭发育模式

低位体系域,在挠曲坡折之下发育受基岩和扇三角洲扇根物性遮挡的岩性地层圈闭(图12)。其中,上倾方向受挠曲坡折控制,逐层超覆,形成多个超覆尖灭点。超覆尖灭分2类(图12a):一类是扇三角洲前缘砂体直接与基岩接触,基岩为火成岩,具凝灰结构或角砾岩充填凝灰质,物性差,可以形成封堵;另一类是扇三角洲前缘砂体受扇根粗相带形成的物性封堵。侧向上受基岩和前三角洲泥岩遮挡形成封堵(图12a):扇三角洲前缘位于限制性坡折槽内,侧向主要受基岩的物性封堵;扇三角洲前缘位于开放性坡折槽内,侧向受前三角洲泥岩遮挡,形成岩性地层圈闭。

海侵期主要形成受厚层泥岩遮挡的潮汐砂坝或潮道砂体侧向尖灭岩性体(图13a)。潮汐砂坝在受早期坡折影响形成的水下低隆处堆积,形成孤立岩性体,或沿低洼区向二阶侵蚀坡折区形成上倾尖灭(图13b)。



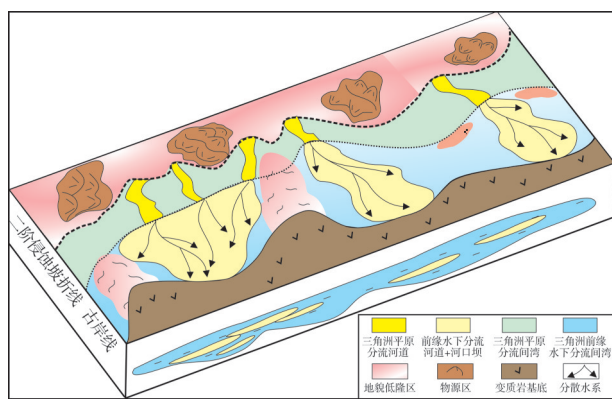
(a) 低位域沉积模式



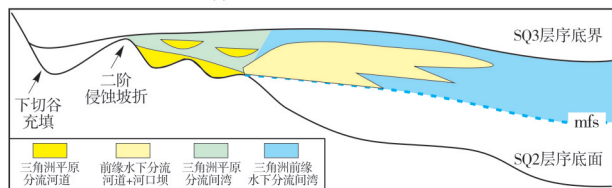
(b) 低位域地层-岩性圈闭模式

图 12 超覆带低位体系域岩性地层圈闭发育模式

Fig. 12 Lithologic-stratigraphic trap model in lowstand system tract of overlap belt



(a) 高位域沉积模式



(b) 高位域岩性圈闭模式

图 14 超覆带高位体系域岩性圈闭发育模式

Fig. 14 Lithologic trap model in highstand system tract of overlap belt

5 结论

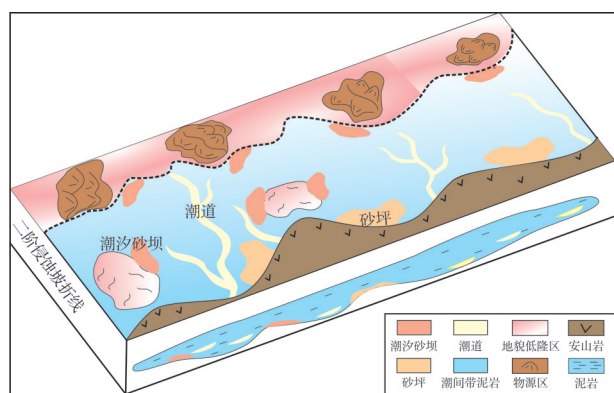
(1) 超覆带层序受挠曲和侵蚀两类坡折控制：挠曲坡折坡度大，坡折之下超覆特征和地层增厚明显，以低位域沉积为主；侵蚀坡折坡度小，坡折之上下切谷发育，以海侵和高位域沉积为主。

(2) 受物源区基岩岩性、搬运通道类型和地貌形态控制，研究区形成平湖组沉积早期近源岩岩物源影响的“沟-坡-扇”耦合扇三角洲源-汇系统和平湖组沉积中晚期远源变质岩物源影响的潮坪—三角洲源-汇系统。

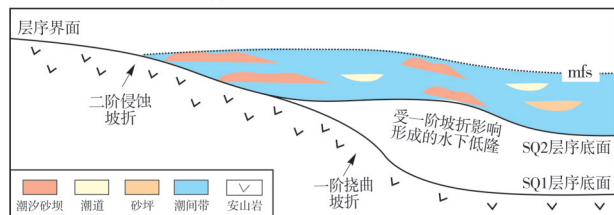
(3) 总结了3类岩性地层圈闭模式：低位期主要在挠曲坡折之下发育受基岩和扇三角洲扇根物性封堵的岩性地层圈闭；海侵期主要发育受泥岩遮挡的潮汐砂坝或潮道侧向尖灭型岩性圈闭；高位期主要发育受侵蚀坡折控制的上倾尖灭或侧向尖灭的三角洲平原孤立型分流河道岩性圈闭。

参考文献

- [1] 周心怀, 高顺莉, 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.



(a) 海侵域沉积模式



(b) 海侵域岩性圈闭模式

图 13 超覆带海侵体系域岩性圈闭发育模式

Fig. 13 Lithologic trap model in transgressive system tract of overlap belt

高位期受二阶侵蚀坡折控制，形成上倾尖灭和侧向尖灭的三角洲平原分流河道砂体(图 14a)。该类型岩性体主要为分布在二阶侵蚀坡折之上和古岸线之上的平原分流河道透镜状砂体(图 14b)。

- [2] 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.
- [3] 周荔青, 江东辉, 张尚虎, 等. 东海西湖凹陷大中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 803-812.
ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHANG Shanghu, et al. Formation conditions and exploration direction of large and medium oil and gas reservoirs in Xihu Sag, East China Sea[J]. Petroleum geology & experiment, 2020, 42(5): 803-812.
- [4] 李峻颖, 蒋一鸣, 侯国伟, 等. 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[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(3): 141-150.
LI Junjie, JIANG Yiming, HOU Guowei, et al. Constraints of slope break belt on oil and gas trapping: an example from the Pinghu Formation in the Kongqueying area of Pinghu Slope[J]. Marine geology & Quaternary geology, 2021, 41(3): 141-150.
- [5] 陈平, 陆永潮, 杜学斌, 等. 准噶尔盆地腹部区中生界不整合面类型及纵向结构[J]. 地质科学, 2012, 47(1): 92-101.
CHEN Ping, LU Yongchao, DU Xuebin, et al. Types and vertical structures of Mesozoic unconformity in the compressional abdominal area of Junggar Basin[J]. Chinese journal of geology, 2012, 47(1): 92-101.
- [6] 易士威. 断陷盆地岩性地层油藏分布特征[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 38-41.
YI Shiwei. Distribution features of lithologic and stratigraphic reservoirs in fault-depression basin[J]. Acta petrolei sinica, 2005, 26(1): 38-41.
- [7] 李建忠, 赵文智, 胡素云, 等. 岩性地层型油气聚集区带的基本特征[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 14-19.
LI Jianzhong, ZHAO Wenzhi, HU Suyun, et al. Principal features of stratigraphic-lithological hydrocarbon accumulation zone[J]. Acta petrolei sinica, 2007, 28(1): 14-19.
- [8] 李富恒, 邹才能, 侯连华, 等. 地层油气藏形成机制与分布规律研究综述[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 32-36.
LI Fuheng, ZOU Caineng, HOU Lianhua, et al. Overview of research into formation mechanism and distribution law of stratigraphic reservoir[J]. Lithologic reservoirs, 2009, 21(4): 32-36.
- [9] 邹才能, 陶士振, 谷志东. 陆相拗陷盆地层序地层格架下岩性地层圈闭/油藏类型与分布规律: 以松辽盆地白垩系泉头组-嫩江组为例[J]. 地质科学, 2006, 41(4): 711-719.
ZOU Caineng, TAO Shizhen, GU Zhidong. Types and distributions of litho-stratigraphic traps / reservoirs in sequence stratigraphic framework in continental depression basin: an example from the Cretaceous in the Songliao Basin[J]. Chinese journal of geology, 2006, 41(4): 711-719.
- [10] 陈丽祥, 李慧勇, 代黎明, 等. 埕北低凸起围区古沟谷与古坡折带特征及其对沉积体系的控制作用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2016, 13(5): 15-19.
CHEN Lixiang, LI Huiyong, DAI Liming, et al. Characteristics of ancient valleys and ancient slope break in the fenced area of Chengbei low uplift and its control over the depositional system[J]. Journal of Yangtze University (natural science edition), 2016, 13(5): 15-19.
- [11] 李啸, 刘海磊, 王学勇, 等. 坡折带砂体成因及分布规律: 以准噶尔盆地车排子地区下白垩统清水河组为例[J]. 岩性油气藏, 2017, 29(1): 35-42.
LI Xiao, LIU Hailei, WANG Xueyong, et al. Origin and distribution of sandbody in slope break zone: a case study of the Lower Cretaceous Qingshuihe Formation in Chepaizi area, Junggar Basin[J]. Lithologic reservoirs, 2017, 29(1): 35-42.
- [12] 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): 199-203, 214.
WANG Yingmin, JIN Wudi, LIU Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin[J]. Oil & gas geology, 2003, 24(3): 199-203, 214.
- [13] 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2002, 27(6): 683-688.
WANG Yingmin, LIU Hao, LI Licheng, et al. Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type down-warped lake basins[J]. Earth science (Journal of China University of Geosciences), 2002, 27(6): 683-688.
- [14] 刘豪, 王英民, 王媛. 拗陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 30-35.
LIU Hao, WANG Yingmin, WANG Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on atectonic traps in downwarped lake basin[J]. Acta petrolei sinica, 2004, 25(2): 30-35.
- [15] 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义: 以准噶尔盆地西北缘侏罗纪拗陷湖盆为例[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 95-102.
LIU Hao, WANG Yingmin, WANG Yuan, et al. Study on slope breaks in large down warped lake basins and its significance: a case study from Jurassic lake in northwestern Junggar Basin[J]. Acta sedimentologica sinica, 2004, 22(1): 95-102.
- [16] 张敏强, 徐发, 张建培, 等. 西湖凹陷裂陷期构造样式及其对沉积充填的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(5): 67-72.
ZHANG Minqiang, XU Fa, ZHANG Jianpei, et al. Structural pattern during the rifting stage of the Xihu Sag and its control of sediment infilling[J]. Marine geology & Quaternary geology, 2011, 31(5): 67-72.
- [17] 吴嘉鹏, 张兰, 万丽芬, 等. 西湖凹陷平湖组物源分析[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(2): 50-57.
WU Jiapeng, ZHANG Lan, WAN Lifan, et al. Provenance analysis of Pinghu Formation in Xihu Sag[J]. China petroleum exploration, 2017, 22(2): 50-57.
- [18] 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.
- [19] 王泽宇, 徐清海, 侯国伟, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷W井区平湖组潮汐沉积模式[J]. 海相油气地质, 2021, 26(2): 159-169.
WANG Zeyu, XU Qinghai, HOU Guowei, et al. Tidal depositional model of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2021, 26(2): 159-169.
- [20] 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. Differentiation and coupling model of source-to-sink systems with transitional facies in Pingbei Slope of Xihu Sag[J]. Earth science, 2019, 44(3): 880–897.
- [21] 袁野, 王黎, 谢锐杰. INPEFA技术在层序地层划分中的应用: 以苏北盆地溱潼凹陷南华区块阜三段为例[J]. 石油实验地质, 2018, 40(6): 871–876.
- YUAN Ye, WANG Li, XIE Ruijie. Application of INPEFA technology to sequence stratigraphy of the third member of Funing Formation, Nanhua block, Qintong Sag, North Jiangsu Basin[J]. Petroleum geology & experiment, 2018, 40(6): 871–876.
- [22] 陈钢花, 余杰, 张孝珍. 基于小波时频分析的测井层序地层划分方法[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 355–358.
- CHEN Ganghua, YU Jie, ZHANG Xiaozhen. Logging sequence stratigraphic division based on wavelet time-frequency analysis[J]. Xinjiang petroleum geology, 2007, 28(3): 355–358.
- [23] 林畅松, 夏庆龙, 施和生, 等. 地貌演化、源-汇过程与盆地分析[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 9–20.
- LIN Changsong, XIA Qinglong, SHI Hesheng, et al. Geomorphological evolution, source to sink system and basin analysis[J]. Earth science frontiers, 2015, 22(1): 9–20.
- [24] 刘强虎, 朱筱敏, 李顺利, 等. 沙垒田凸起前古近系基岩分布及源-汇过程[J]. 地球科学, 2016, 41(11): 1935–1949.
- LIU Qianghu, ZHU Xiaomin, LI Shunli, et al. Pre-palaeogene bedrock distribution and source-to-sink system analysis in the Shaleitian Uplift[J]. Earth science, 2016, 41(11): 1935–1949.
- [25] 朱红涛, 徐长贵, 朱筱敏, 等. 陆相盆地源-汇系统要素耦合研究进展[J]. 地球科学, 2017, 42(11): 1851–1870.
- ZHU Hongtao, XU Changgui, ZHU Xiaomin, et al. Advances of the source-to-sink units and coupling model research in continental basin[J]. Earth science, 2017, 42(11): 1851–1870.
- [26] 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.
- HOU Guowei, LI Shuai, QIN Lanzhi, et al. Source-to-sink system of Pinghu Formation in west slope belt of Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. China offshore oil and gas, 2019, 31(3): 29–39.
- [27] 赵珂, 杜学斌, 贾冀新, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带的物源分析: 来自碎屑锆石 U-Pb 年代学及重矿物的证据[J]. 地质科技通报, 2020, 39(3): 68–76.
- ZHAO Ke, DU Xuebin, JIA Jixin, et al. Provenance analysis of the Pinghu slope belt in Xihu Depression: evidence from detrital zircon U-Pb chronology and heavy minerals[J]. Bulletin of geological science and technology, 2020, 39(3): 68–76.

编辑:黄革萍

Source-to-sink characteristics and lithological-stratigraphic trap model of PH slope overlap belt in Xihu Sag

XU Donghao, QIN Lanzhi, HE Xinjian, ZHANG Shuping, YUAN Yue

Abstract: Through the analysis of drilling, logging and three-dimensional seismic data, the sequence stratigraphic composition, source-to-sink system difference, sedimentary evolution, sand control mechanism and lithologic-stratigraphic trap model in hanging wall of Pinghu fault in PH slope overlap belt of Xihu Sag are comprehensively studied. The results indicate that: (1) The Pinghu Formation in the PH slope overlap belt is controlled by different genetic slope breaks such as erosion and flexural, and is divided into three third-order sequences (SQ1 to SQ3) from bottom to top. Among them, SQ1 is limited in distribution, and development of the lowstand system tract is controlled by the steep slope break of deflection, forming the fan delta system coupled with ancient valley and slope break, which is dominated by the nearby basement provenance of Mesozoic magmatic rock. SQ2 and SQ3 are widely distributed, and development of the transgression and highstand system tracts are controlled by gentle slope break of erosion, forming the delta system dominated by the distant basement provenance of Proterozoic metamorphic rock. (2) The slope break controls the sand body distribution, and the slope break trough under the flexural slope break is a restrictive landform, which controls the layer by layer accretion and overlap of fan delta sand body vertically overlaid in lowstand tract. The low-lying area under the erosion slope break is the place where the highstand tract delta sand bodies are distributed, and the sand bodies of delta front are superimposed and distributed contiguously on plane. (3) Under the control of system tract and slope break, three types of lithologic-stratigraphic trap models are developed. During the low stand stage, the fan delta front sand body overlapping stratigraphic traps blocked by the physical properties of bedrock and fan root are mainly developed under the flexural slope break. During the transgressive stage, the tidal sand bar and tidal channel lateral pinchout lithologic traps blocked by the mudstone in the flooding period are mainly developed. During the highstand stage, lithologic traps in distributary channels of delta plain controlled by erosion slope break, updip pinch out and lateral pinch out, are mainly developed.

Key words: overlap belt; slope break; system tract; source-to-sink coupling difference; lithological-stratigraphic trap; Xihu Sag

XU Donghao, First author: MSc, Engineer, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology. Add: Room A618, CNOOC Building, No. 388 Tongxie Rd., Changning District, Shanghai 200335, China