

北部湾盆地涠西南凹陷雁列断层变换带发育特征及其控储作用

——以古近系流沙港组一段重力流沉积为例

胡德胜, 官立园, 满晓, 戴伊宁, 柳智萱

[中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057]

摘要:北部湾盆地涠西南凹陷二号断裂带由一组雁列式正断层组成, 断层相互叠接部位形成大型变换带, 前人对该大型变换带的控储作用一直缺乏系统的研究。以三维地震和钻井资料为研究基础, 对二号断裂变换带的展布特征、演化过程及控储作用开展了系统分析。二号断裂主要受新生代两期伸展活动的影响: 早始新世, 受北西-南东向伸展应力控制, 基底断层复活, 形成北东向的单一、连续大断层; 渐新世中、晚期, 伸展应力转为近南北向, 基底断层活动减弱, 上部盖层内发育分段式、雁列式断层, 断层联接部位形成变换斜坡, 并控制了B洼流沙港组一段的重力流沉积体发育。西北物源大型三角洲经由各分段断层间的变换斜坡进入B洼, 在重力作用下发生二次搬运形成富砂湖底扇, 钻井证实B洼流沙港组一段重力流沉积体呈北东向平行于二号雁列式断裂分布, 沉积类型主要为砂质碎屑流。该认识为深洼带流沙港组一段岩性圈闭的勘探提供了理论依据, 并取得了较好的勘探成效。

关键词:湖底扇; 重力流沉积; 断层变换带; 岩性圈闭; 涠西南凹陷; 北部湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Development pattern of en echelon fault transition zone in Weixi'nan Sag, Beibu Gulf Basin and its control on hydrocarbon accumulation

——A case study of gravity flow deposits in the Palaeogene Liu 1 Member

Hu Desheng, Gong Liyuan, Man Xiao, Dai Yining, Liu Zhixuan

(Zhanjiang Branch, CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: The No. 2 fault zone of the Weixi'nan Sag in the Beibu Gulf Basin is composed of a group of en echelon normal faults, with a large transition zone formed at the contact parts of faults in overlapping. However, there has been a lack of systematic study on the effect of the transition zone on hydrocarbon accumulation. Based on 3D seismic and drilling data, this study systematically analyzes the distribution pattern and evolution of No. 2 fault transition zone, and its role in controlling hydrocarbon enrichment. As affected by two stages of extensional activities since the Cenozoic, the development of No. 2 fault transition zone featured resurrection of basement faults in the early Eocene as controlled by NW-SE transtensional stress, resulting in a continuous single fault of large scale; while in the mid-to-late Oligocene, the transtensional stress turned to strike SN, accompanied by weakened basement fault activities, resulting in segmented en echelon faults developed in the upper caprock, and the contact parts of faults growing to be transition slope serving to control the development of gravity flow deposits in the first member of Liushagang Formation (Liu 1 Member) of B low. At the sedimentary period of Liu 1 Member, the large-scale delta sourced from the NW entered B low through the transition slopes of the segmented faults and formed sand-rich sub-lacustrine fan under the secondary transportation with gravity. In addition, drilling data confirm that the gravity flow deposits in B low is mainly of sandy debris flow, trending NE in parallel with the No. 2 fault zone in en echelon arrangement. The understanding provides theoretical guidance in the exploration of lithologic traps in the study area with good effects achieved in exploration.

收稿日期: 2022-03-01; 修订日期: 2022-09-15。

第一作者简介: 胡德胜(1982—), 男, 高级工程师, 油气勘探。E-mail: hudsh1@cnooc.com.cn。

基金项目: 中海油重大科技专项(CNOOC-KJ 135 ZDXM 38 ZJ 01 ZJ)。

Key words: sub-lacustrine fan, gravity flow deposits, fault transition zone, lithologic trap, south Weixi'nan Sag, Beibu Gulf Basin

引用格式:胡德胜,宫立园,满晓,等. 北部湾盆地涠西南凹陷雁列断层变换带发育特征及其控储作用——以古近系流沙港组一段重力流沉积为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1359-1369. DOI: 10. 11743/ogg20220607.

Hu Desheng, Gong Liyuan, Man Xiao, et al. Development pattern of en echelon fault transition zone in Weixi'nan Sag, Beibu Gulf Basin and its control on hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1359-1369. DOI: 10. 11743/ogg20220607.

断层变换带是断裂变形区发育的调节时空应力差异的构造系统,在含油气盆地中具有重要的油气地质意义^[1],目前已在中国酒泉、渤海湾、北部湾等多个含油气盆地获得丰富的研究成果^[2-5]。变换带在“控储、控圈、控运”3个方面发挥着重要作用:变换斜坡为优势的水系注入口,碎屑物质经过斜坡的搬运可以发育优质的储层;变换带构造变形明显,容易形成多种类型的构造型圈闭;变换带往往处于构造高部位,且断裂体系发育,油气汇聚条件好^[6-8]。因此,断层变换带为裂陷盆地十分重要的油气富集带。

南海北部湾盆地为复杂陆相断陷盆地,其中的涠西南凹陷是中国重要的原油产区之一,勘探开发已历时40余年,大型背斜、断鼻及小型断块已钻探殆尽,近年来勘探逐步转向岩性圈闭和中深层领域。新生界古近系流沙港组一段(流一段)因具备较好的物源、水深、坡折和古地貌环境,为涠西南凹陷重力流沉积体最为发育的层段,目前已发现的重力流沉积体主要位于涠西南凹陷B洼陷。二号断裂带位于涠西南凹陷中央的位置,由一组雁列式正断层组成,断层相互叠接部位形成变换带,变换斜坡是西北方向物源越过A洼陷进入B洼陷的主要通道,对B洼陷重力流沉积体的发育具有重要的控制作用。前人针对B洼湖底扇的研究往往重点关注其类型划分、储层特征与沉积模式^[9-12],对断层变换带的控制作用尚无全面系统的研究。

本文在二号断裂带雁列式断裂特征及演化研究的基础上,从源-汇体系的角度出发重点分析了断裂变换带对B洼流一段重力流沉积体的控制作用,进一步明确了流一段湖底扇的成因机制与模式,从而为岩性圈闭下一步勘探方向起到良好的指示作用。

1 区域概况

涠西南凹陷位于北部湾盆地北部坳陷带,具有“下断上坳”的双层结构,其新生代演化可分为裂陷期和裂后期。裂陷期可分为初始裂陷期、强裂陷期和裂陷消亡期,先后沉积了长流组($T_0^0-T_9^0$)、流沙港组(T_9^0-

T_8^0)、涠洲组($T_8^0-T_6^0$);裂后期以拗陷作用为主,先后沉积了下洋组($T_6^0-T_5^0$)、角尾组($T_5^0-T_4^0$)、灯楼角组($T_4^0-T_3^0$)和望楼港组($T_3^0-T_2^0$)。

涠西南凹陷具有“北断南超”的结构特征,北部一号断裂为控注边界断裂,在流二段沉积时期强烈活动,控制了流二段烃源层的发育;二号断裂为A洼陷和B洼陷的分隔断层,主要在流一段及涠洲组沉积时期活动,呈雁列式展布,为涠西南凹陷重要的构造变换带和油气富集区(图1a)。

B洼陷供烃充足,成藏组合多样,周边已探明原油地质储量超过 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,呈现为“满洼富油”的特征。在流一段沉积时期,B洼陷为半深湖-深湖环境,周边被多个物源区环绕,并发育断裂坡折、挠曲坡折、断裂转换坡折等多种坡折类型,具备发育重力流沉积体的良好条件。流一段可进一步划分为低位体系域($T_8^3-T_8^2$)、湖侵体系域($T_8^2-T_8^1$)和高位体系域($T_8^1-T_8^0$)(图1b),目前主要在低位体系域和高位体系域发现了重力流成因的岩性油藏,并获取了丰富的钻井资料。

2 二号雁列式断层变换带特征及演化

2.1 构造样式

二号断裂为涠西南凹陷内部的一系列继承性发育的“张扭性”大型正断层,平面上呈雁列式排布,规模上和一号、三号控凹断裂属于同一级别,延伸长度约58 km。

平面上,不同深度的断裂组合样式显示,下构造层(以 T_9^0 断层组合为例)二号断裂为单一连续断层,总体走向呈近北东-南西向,断裂带内部分支断层总体南倾(图2a);上构造层(涠洲组和流一段)二号断裂表现为由一系列近东西向断裂组合而成的、整体呈北东东向雁列式排布的断裂带,具有较强的走滑特征(图2b)。

剖面上,二号断裂带每个分段式断层面都大致相似,主断层表现出“坡坪式”的特点,断层面中部坡度平

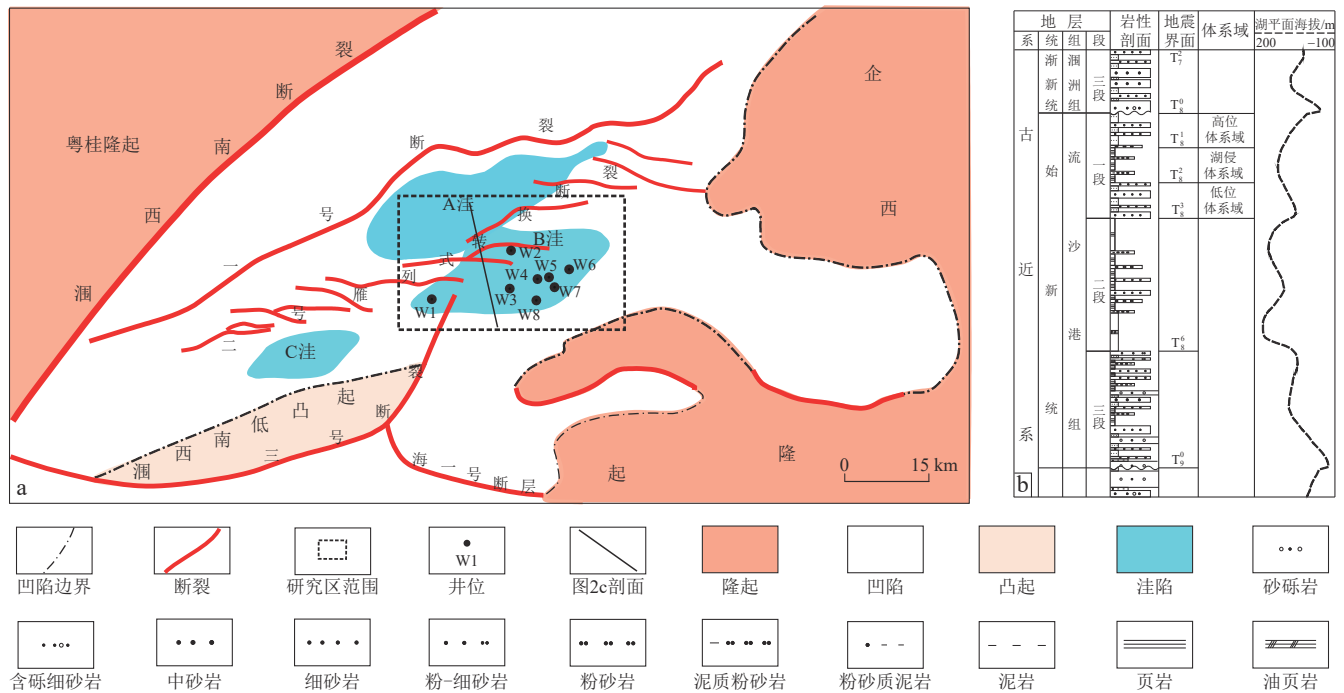


图1 北部湾盆地涠西南凹陷构造位置(a)及流沙港组地层综合柱状图(b)

Fig. 1 Structural location map (a) and composite stratigraphic column of Liushagang Formation (b) of the south Weixinan Sag, Beibu Gulf Basin

缓,形成一个铲形面,下降盘发育一系列次级断层,断穿层位主要为涠洲组和流一段,断层组合大部分表现“复式Y字形”结构(似花状构造),是比较典型的顶部塌陷构造所派生的断层组合样式,体现了早期张性断裂叠加后期走滑效应的特点(图2c)。

二号断裂带各个分支断层在上构造层内的水平断距具有相似的变化特征(图2b),均表现为两侧位移小、中间位移大,分支断层间的断距变化是“接力传递”的过程,断距“此消彼长”,各分支断层间的块体均扮演传递位移的转换带角色。此外,二号断裂在演化过程中,分段断层间的叠覆段为软联接(即非直接相连),但保持着运动学上的成因联系,发育典型的转换斜坡,倾向为东南向,对流一段沉积体系与砂体展布具有较强的控制作用。

2.2 成因机制

二号断裂带是在多裂陷幕背景下发育的盆内控注断裂,演化过程分多个阶段。流二段沉积期,一号断裂继承性强烈活动,二号断裂活动性也比较明显,但活动性较一号断裂弱,沉降中心位于A洼;流一段沉积期,一号断裂活动性开始逐渐减弱,二号断裂活动性增强,沉降中心由一号断裂下降盘转移至B洼;涠洲组沉积期,二号断裂强烈活动,且呈雁列式展布,在此期间一

号断裂作为凹陷主控断裂的地位基本上被二号断裂所取代,沉降中心往凹陷内部迁移,并影响了沉积体系的平面分布^[13-14](图3)。

二号雁列式断层变换带的成因及演化主要是受涠西南凹陷新生代以来两期伸展活动的影响。第一期为早-中始新世(流三段-流二段沉积期),太平洋板块沿北西向持续俯冲后撤,在北西-南东向伸展应力场下,涠西南凹陷进入北东-北东东向断裂控凹的强烈裂陷阶段,先存二号断裂复活(图2a);第二期为晚始新世-渐新世(流一段-涠洲组沉积期),受古南海板块拖曳力的影响,区域构造应力场转为近南北向,涠西南凹陷优势断裂走向转变为近东西向,先存二号断裂活动减弱,在斜向拉张的影响下,早期相对连接的断裂逐渐转变为一列近东西向次级断裂,具有明显的走滑效应^[13-14]。垂向上各分段断层差异活动,联接部位古落差出现极小值,发育转换斜坡(图2b)。

整体而言,二号雁列式断裂变换带的成因模式如下:①强裂陷阶段,基底断裂复活,在下部构造层形成单一连续的大断裂(图4a);②裂陷晚期,应力场发生顺时针旋转,基底断裂活动开始减弱,同时上部盖层内新的断层呈核部破裂(图4b,c),二者相互作用,在垂向上和侧向上传播生长。在上部构造层中,平面上形

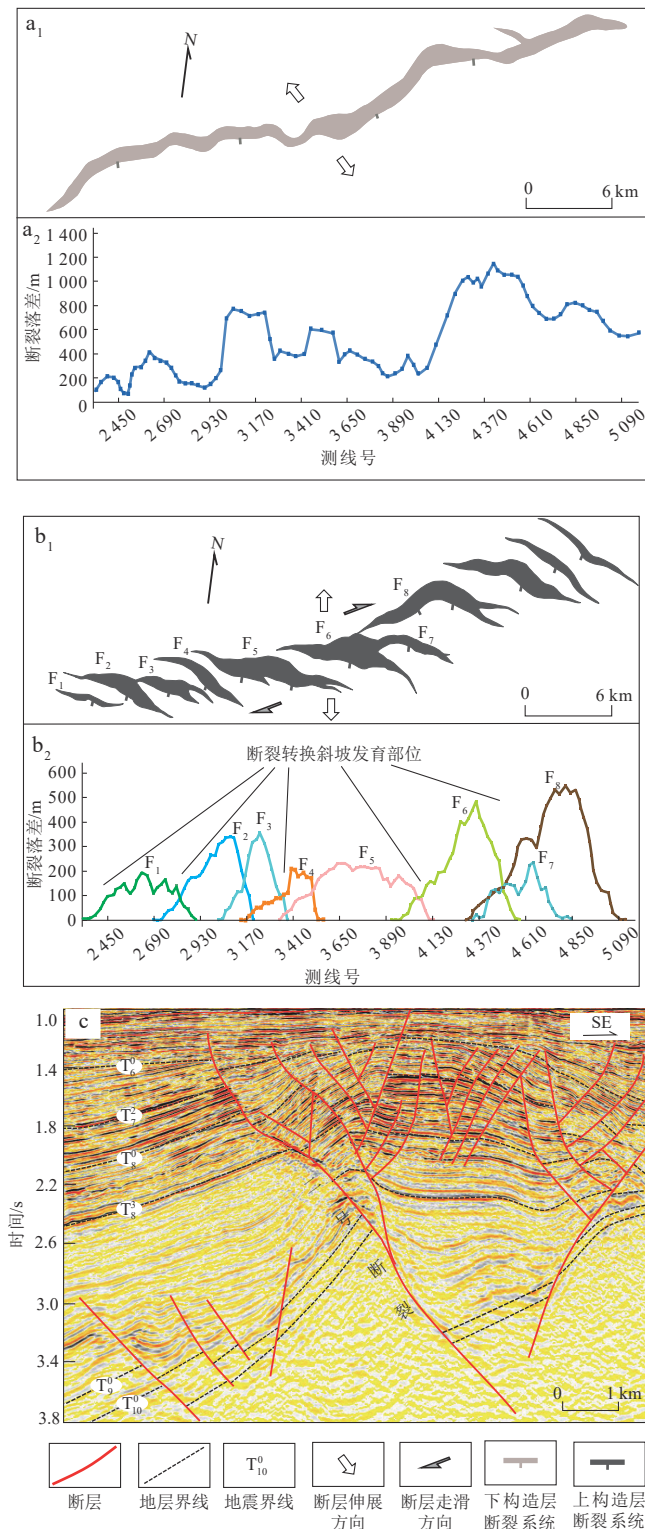


图2 涪西南凹陷二号雁列式转换断裂带构造发育特征
(剖面位置见图1a)

Fig. 2 Structural development characteristics of No. 2 fault transition zone in en echelon arrangement in the south Weixi'nan Sag
(see Fig. 1a for the profile location)

a₁. T₉断裂组合; a₂. T₉断裂落差; b₁. T₈断裂组合; b₂. T₈断裂落差;
c. 转换断裂带构造剖面

成雁列式展布断层,剖面上断层组合表现为“复式Y字形”结构(图4d),上部断层与基底断层之间为硬联接或软联接。为调节各分段断层的活动差异性,断层联接部位就会形成构造变换带。

2.3 古地貌演化特征

断层变换带通常控制着物源的入口及沉积物搬运方向,进而对砂体分散体系产生影响^[6]。二号断裂变换带位于凹陷中央,对局部而非盆地级别的沉积相展布具有控制作用。始新世裂陷消亡期,古地貌表现为多洼陷、多坡折的构造格局,此时凹陷沉积-沉降中心已由一号断裂下降盘向二号断裂下降盘迁移。流一段沉积早期,涪西南凹陷水体较深,沉积体系主要分布在凹陷边缘斜坡区或陡坡带,二号断裂变换带为非限定型环境,变换斜坡控制沉积的作用较弱;到流一段沉积晚期,由于发生持续湖退,湖泊滨线向盆内迁移,西北物源大型三角洲推进至洼中,变换带限定性作用增强,变换斜坡形成二级坡折带,为三角洲前缘松散沉积物在重力作用下发生二次搬运提供了地貌条件。其中F₆及F₇断层相对于其他斜列断层落差较小,最大古落差在200~400 m,形成的调节带相对平缓,且湖盆沉积中心主要位于F₆及F₇断层下降盘,三角洲主要经由这两条分段断层间的走向斜坡进入B洼,并在重力作用下进行二次搬运,形成富砂湖底扇(B洼浊积体)(图5)。

3 断层变换带控制下的重力流沉积特征

3.1 重力流沉积特征

3.1.1 沉积相标志

B洼流一段浊积体为近年来涪西南凹陷的勘探热点,其沉积物来源、成因机制相对复杂,并存在争议。本次研究针对B洼流一段高位体系域浊积体系进行精细研究,结果表明浊积砂体主要是砂质碎屑流沉积。砂质碎屑流的概念是由Hampton提出,并由Shanmugam等学者进一步完善,被定义为一种内部具有线性层流的塑性流变沉积物流,属于宾汉塑性流体,沉积物多为块状厚层砂岩叠置^[15-16]。近年来国内学者将“砂质碎屑流”应用于解释陆相湖盆深水块状砂岩沉积机理,取得了较好的应用效果^[17-19]。涪西南凹陷B洼流一段高位体系域已有多口井钻遇砂质碎屑流沉积,是近几年储量发现的重要领域。

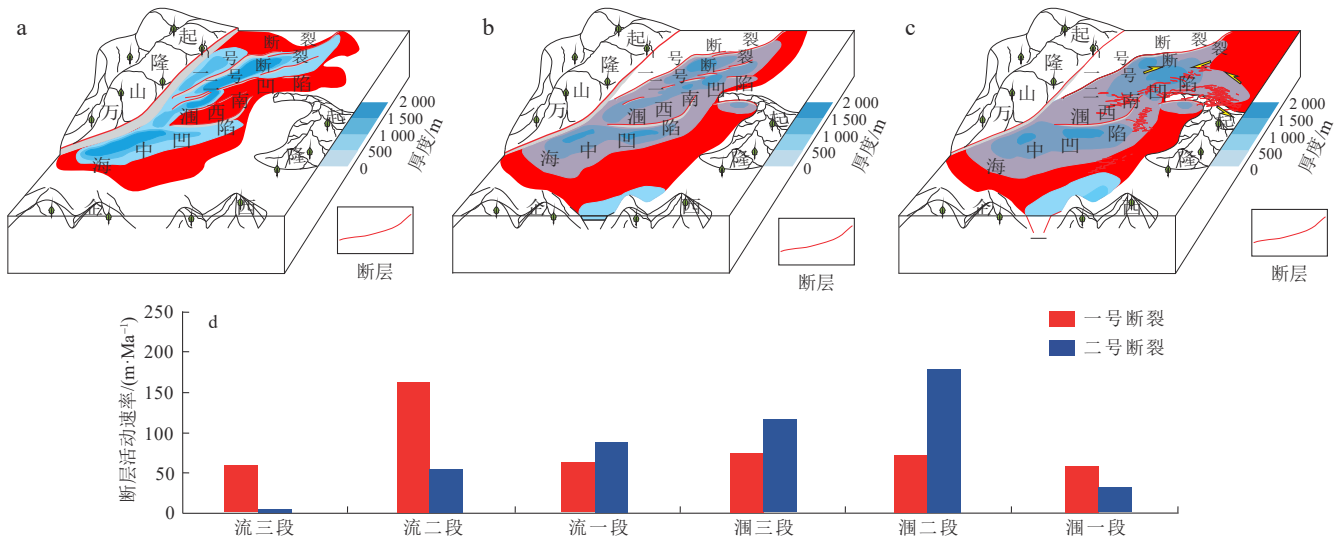


图3 涠西南凹陷一号断裂和二号断裂演化过程

Fig. 3 Evolution process of No. 1 fault and No. 2 fault in the south Weixinan Sag

a. 流二段演化模式;b. 流一段演化模式;c. 涠洲组演化模式;d. 一号断裂和二号断裂活动速率

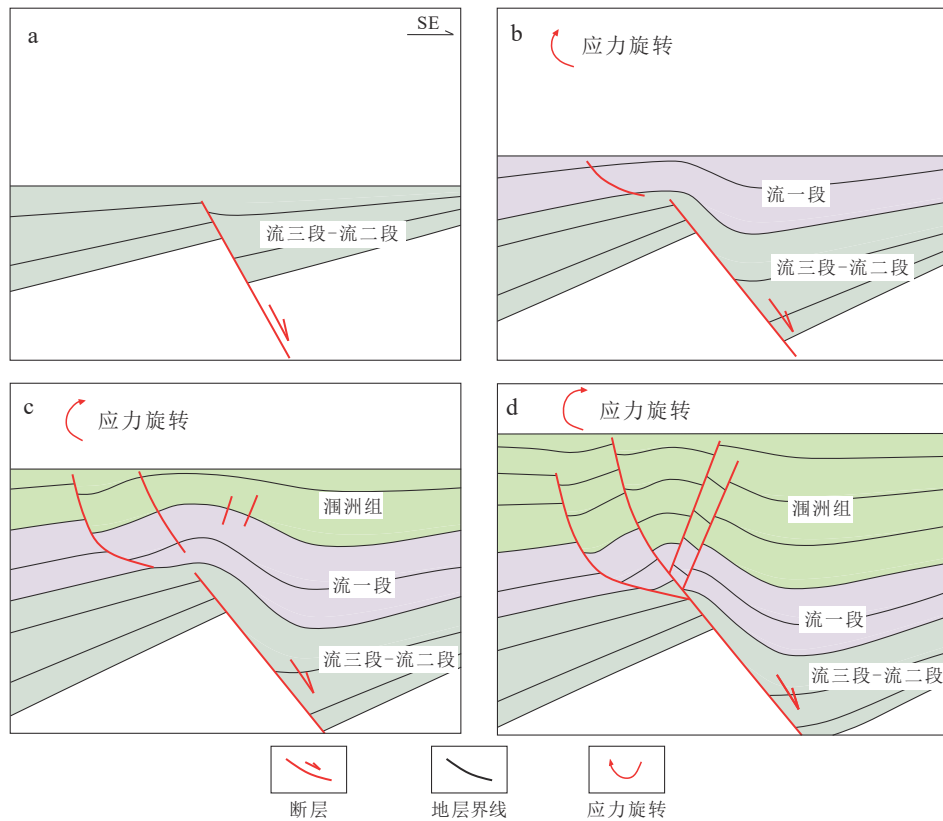


图4 涠西南凹陷二号雁列式转换断裂带成因模式

Fig. 4 Genetic model of No. 2 fault transition zone in en echelon arrangement in the south Weixinan Sag

a. 流三段-流二段沉积时期,二号断裂为一孤立断层;b. 流一段沉积时期,应力场顺时针旋转,新断层出现在浅部地层;c. 涠洲组沉积时期,应力场进一步顺时针旋转,上部新断层持续活动;d. 涠洲组沉积后期,上部断层与基底断层之间为硬联接或软联接

研究区钻井岩心可见砂质碎屑流的典型沉积特点:①泥岩以灰黑色泥岩为主,炭质泥岩部分水平虫孔发育,反映深水沉积环境;②砂岩以细砂岩为主,块状

层理,顶面不规则,顶、底面岩性变化呈突变接触关系,反映事件性沉积;③块状砂岩顶部漂浮着大量撕碎的泥质碎片,撕碎的泥质碎片大小不等(直径2~8 cm,甚

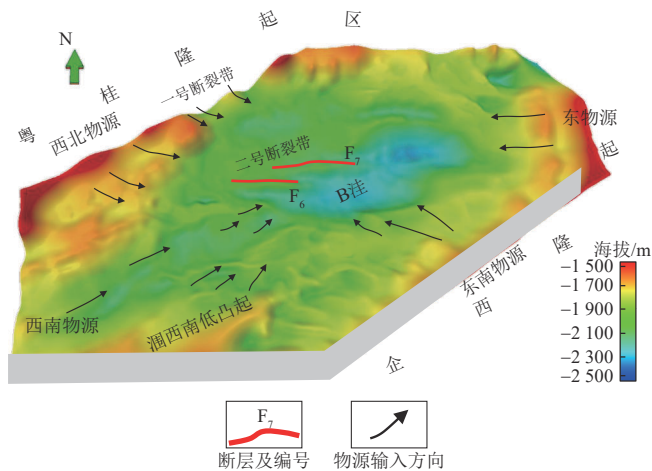


图5 涪西南凹陷流一段古地貌恢复

Fig. 5 Paleogeomorphology restoration of the Liu 1 Member in the south Weixi'nan Sag

至更大)、形状各异(椭圆形、不规则棱角状)、方向不定(长轴方向平行于层理面或者随机分布);④岩心上偶见悬浮分异沉降的痕迹,发育薄层的细粒粉砂岩,形成砂质碎屑流-泥岩-浊流的组合特点,说明沉积物随着搬运距离的增加,流态由层流向紊流变化,因此一般在砂质碎屑流沉积物的前方或者顶部发育少量的浊流沉积(图6a—e);⑤粒度累积概率曲线呈两段式,跳跃组分占绝对优势, $C-M$ 图平行于基线(C 值为曲线上颗粒含量1%处对应的粒径, M 值为曲线上颗粒含量50%处对应的粒径),同样表现出重力流沉积特征(图6f,g)。

此外从测井相来看(图7a₁—a₄),砂质碎屑流成因的砂岩具有典型的“块状”特征,GR曲线呈箱形,与泥岩界面突变接触,事件性沉积导致相邻井的岩性组合差异大,无韵律规律。而重力流沉积的多期次发育以及流态的变化会导致砂质碎屑流成因的厚层细砂岩与浊流成因的薄层泥质粉砂岩和泥岩的频繁互层出现。

另外,储层厚度大是研究区砂质碎屑流成因砂体的另一重要特征,且在同等埋深下,储层物性有明显改善。已钻遇的砂质碎屑流成因砂岩储层埋深约3 000 m,岩性以细砂岩为主,最大单层砂岩厚度较大,为20~30 m,有效储层的孔隙度在13%~17%,渗透率在 $(20 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图7b,c)。镜下薄片观察结果表明,孔隙主要以粒间孔隙及粒内溶孔为主,溶蚀作用发育,有效改善了储层物性(图7d,e)。经开发实施证实,砂质碎屑流成因砂体具有中等-好的产能特征,储层净毛比在0.5以上,比采油指数达 $20.2 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$,储层的均质性较好,同一套砂体的连通性较好。

3.1.2 地震相特征

砂质碎屑流成因砂岩在广泛沉积的深湖相泥岩背景中表现出较明显的地震异常,呈丘状或透镜状,并具有双向下超或尖灭的特点,内幕多呈平行-亚平行、低频、中-强振幅反射,无明显下切侵蚀特征(图8)。砂质碎屑流成因砂体广泛分布于B洼中心,纵向上多期延伸、呈叠瓦状排列,平面上呈舌状连片分布。

3.2 源-汇体系

3.2.1 源区特征

地质历史和现代沉积环境中某一时期的沉积物往往是多期次沉积物供给的混合,不同期次的沉积物母岩性质或物源方向之间会存在一定的差异^[20-23],利用重矿物可以有效区分不同物源区。研究区流一段重矿物分析资料相对丰富,常见的重矿物有8种,分别为锆石、电气石、金红石、白钛矿、锐钛矿、石榴子石、磁铁矿和赤褐铁矿。

从重矿物组合特征和母岩类型来看,涪西南凹陷流一段主要发育4大物源体系:西北物源、西物源、东南物源及东物源。西北物源和西物源重矿物组合特征相似,以赤褐铁矿+白钛矿+石榴子石+锆石+电气石组合为特征,其中不稳定矿物(石榴子石+赤褐铁矿+磁铁矿组合)平均含量为63%,来自北部万山隆起区,母岩类型以岩浆岩+变质岩为主;东南物源和东物源重矿物组合特征差别较大,东物源重矿物组合特征以赤褐铁矿+石榴石+白钛矿+电气石+锆石组合为主,母岩类型以岩浆岩+变质岩为主;东南物源重矿物组合特征以锆石+白钛矿+电气石组合为特征,锆石含量普遍较高,母岩类型以岩浆岩为主,含少量沉积岩,东南物源和东物源都来自南部企西隆起。目标区重矿物组合特征以白钛矿+锆石+赤褐铁矿为主,与西物源、西北物源及东南物源均有相似之处,反映了混源堆积的特征。

3.2.2 断层变换带控制沉积作用与沉积模式

涪西南凹陷在流一段沉积时期,湖盆经历了先扩张后萎缩的阶段。流一段沉积末期对应高位体系域,该时期湖盆持续萎缩,沉积范围大幅缩小,各大物源沉积供给持续增强。其中,西北部及西部砂体展布范围大幅扩大,钻遇源区岩性多为含砾砂岩,且砂地比多在70%~90%,反映供给能力强,以发育进积型长源三

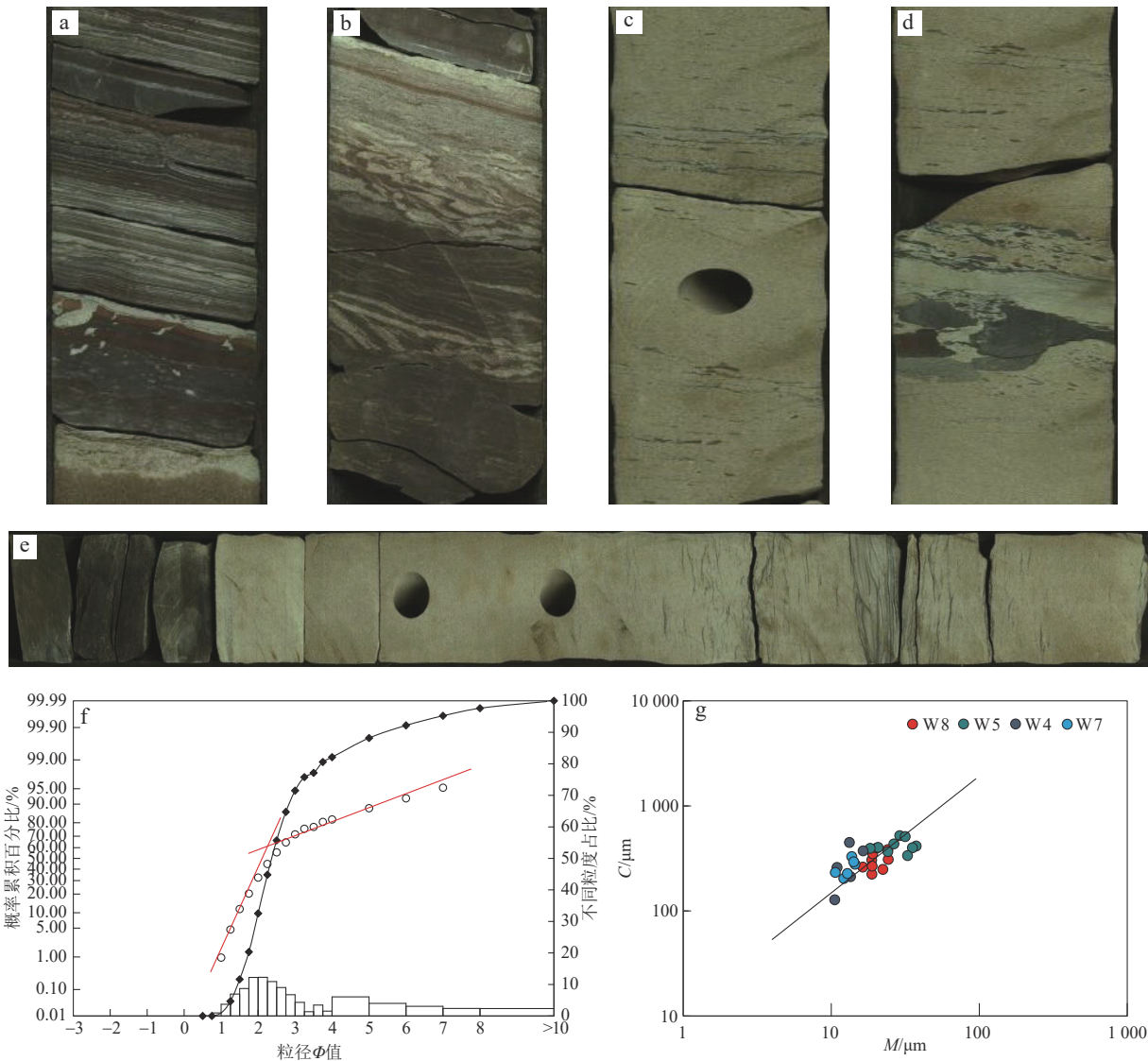


图6 涠西南凹陷流一段砂质碎屑流岩心特征照片及粒度分析

Fig. 6 Photos showing core features and particle size analysis of sandy debris flow deposits of the Liu 1 Member in the south Weixi'nan Sag
a. W1井,埋深2 225.66~2 225.85 m,灰色、浅灰色泥岩为主,多含粉砂岩条带和土黄色泥砾,局部发育球枕构造;b. W1井,埋深2 225.65~2 225.90 m,浅灰色细砂岩、褐黄色粉砂岩,发育滑塌变形及包卷层理;c. W6井,埋深2 827.21~2 827.43m,褐黄色细砂岩,岩性较均一,自上而下略显反韵律,分选磨圆好,多见泥岩撕裂屑;d. W6井,埋深2 827.90~2 828.21 m,褐黄色细砂岩,局部发育泥岩撕裂屑及泥质团块;e. W6井,埋深2 833.13~2 834.12 m,褐黄色细砂岩,底部与泥岩突变平直接触,上部发育泥岩撕裂屑;f. W2井,流一段,埋深3 091.50 m,粒度概率曲线;g. 流一段,砂质碎屑流典型钻井C-M图

角洲沉积体系为主,地震相“S”型前积特征非常明显,搬运距离远,为湖盆中心湖底扇岩性圈闭群的发育提供了物质基础。

同时,凹陷中央二号雁列式断层变换带也是该时期发育的特殊地貌。流一段沉积时期,二号断裂下降盘为涠西南凹陷的沉积-沉降中心,其长轴方向与断层走向平行。二号断裂各个分支断层间的块体均扮演传递位移的变换带角色,是湖盆水系汇聚的主要通道。西北物源高建设型三角洲前缘沉积在断裂变换斜坡的地貌背景下极易滑动、滑塌,形成以碎屑流和浊流为主

要驱动机制的重力流,在深水湖区形成扇体或朵叶体沉积(图9)。

4 油气地质意义

早期研究认为,流一段沉积时期B洼湖盆中心位于物源远端,发育的储层厚度薄且物性差,没有给予重视。经过新一轮的研究,认为B洼中心深湖区发育的三角洲前缘砂体在二号雁列式断裂变换带控制下发生了二次搬运,并在物源远端形成了砂质碎屑流沉积体。

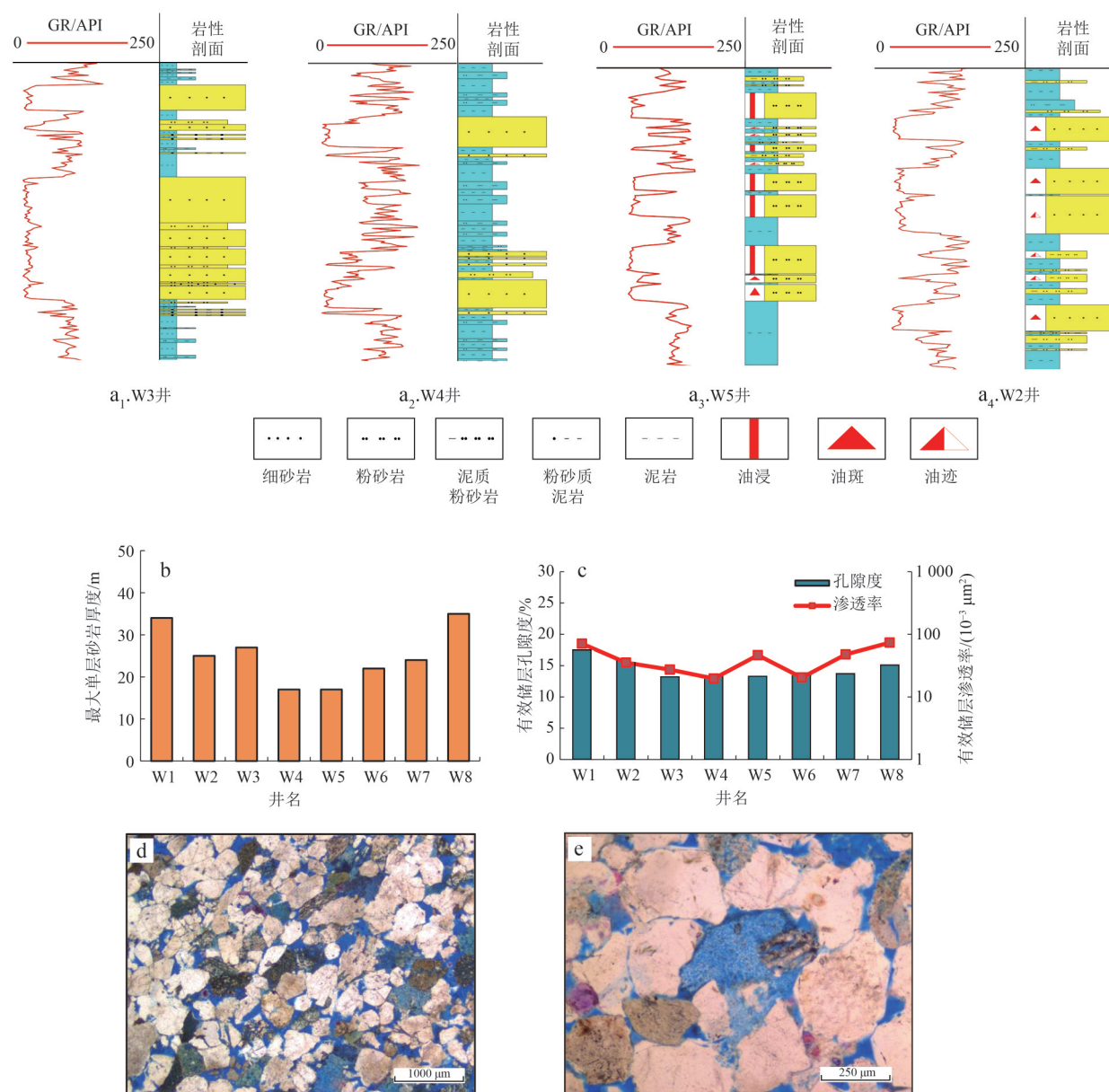


图7 涪西南凹陷流一段砂质碎屑流测井相特征及储层物性

Fig. 7 Logging facies and reservoir physical properties of sandy debris flow deposits of the Liu 1 Member in the south Weixi'nan Sag
a₁—a₄. 典型钻井测井相特征; b. 已钻井最大单层砂岩厚度统计; c. 已钻井物性统计; d. W5井, 埋深2 921 m, 粒间孔隙发育, 铸体薄片; e. W5井, 埋深2 993 m, 长石颗粒发生溶蚀形成次生孔隙, 铸体薄片

这些砂体在平面上连片分布, 且由于是重力流事件成因的砂体, 砂体与砂体之间相对孤立, 可以形成岩性圈闭群, 具有极大的勘探潜力。

在流一段沉积时期, B洼中心为半深湖-深湖环境, 沉积了厚层的灰色泥岩及褐灰色页岩, 总有机碳含量 (TOC) 平均为 2.5 % 左右, 而且现今埋深超过 3 000 m, 均已进入大规模生、排烃阶段。流一段岩性体被成熟烃源岩包裹, 具有“源内成藏”的优越条件。同时, 取到

的岩心证实流一段发育丰富的微裂缝体系, 为下部流二段烃源层生成的油气垂向运移至岩性圈闭成藏提供了良好的条件^[24] (图 10)。

目前 B 洼流一段岩性圈闭领域的油气成藏条件已被 10 余口井证实, 单个油藏含油面积大都在 1 ~ 2 km², 储量丰度最高可达 300 × 10⁴ m³/km²。目前该领域已合计探明原油储量超千万方, 成为近 10 年来涪西南凹陷发现的又一中型规模以上的油田。

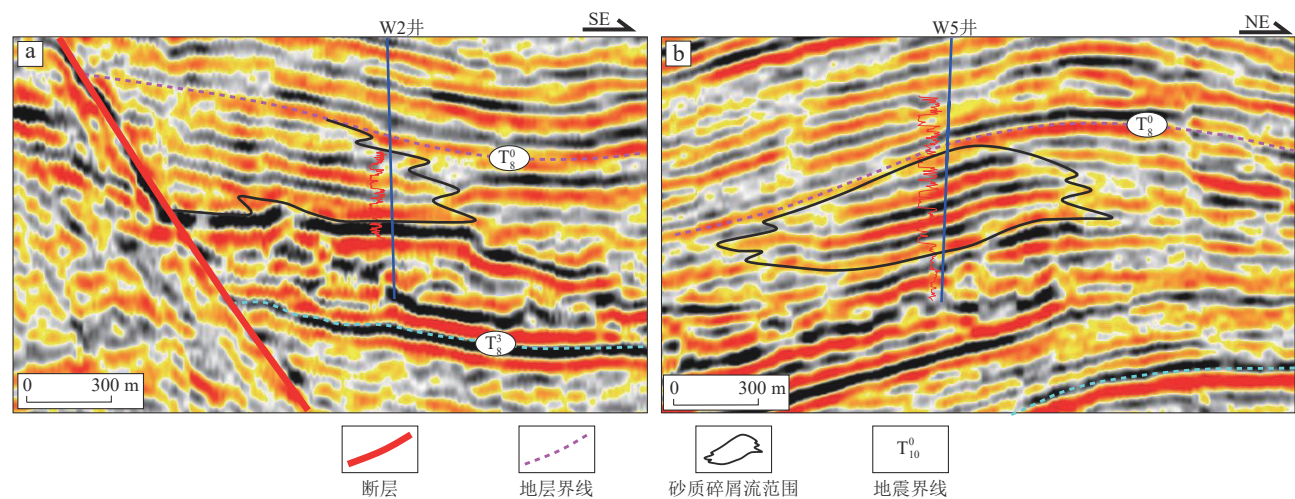


图 8 涠西南凹陷流一段砂质碎屑流地震反射剖面特征

Fig. 8 Seismic reflection characteristics of sandy debris flow deposits of the Liu 1 Member in the south Weixinan Sag

a. W2 井; b. W5 井

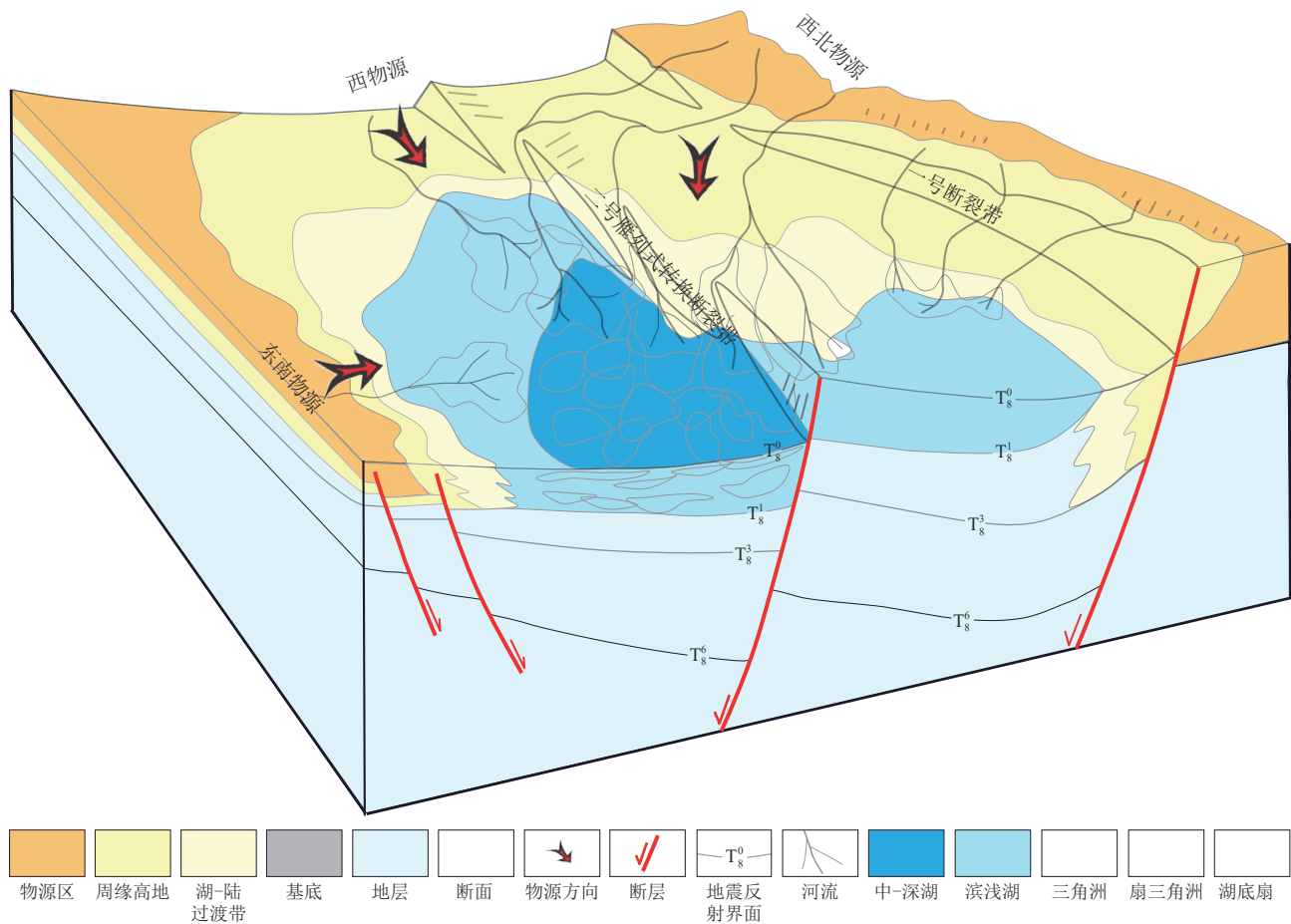


图 9 涠西南凹陷流一段湖底扇沉积模式

Fig. 9 Sketch diagram showing the depositional model of sub-lacustrine fans in the Liu 1 Member in the south Weixinan Sag

5 结论

1) 涠西南凹陷内部发育大型二号雁列式断层变

换带,受新生代以来两期伸展活动的影响:早始新世,基底断层复活,形成北东走向的单一、连续大断层;渐新世中、晚期,基底断层活动减弱,上部盖层内发育分段式、雁列式断层,断层联接部位形成变换斜坡,控制

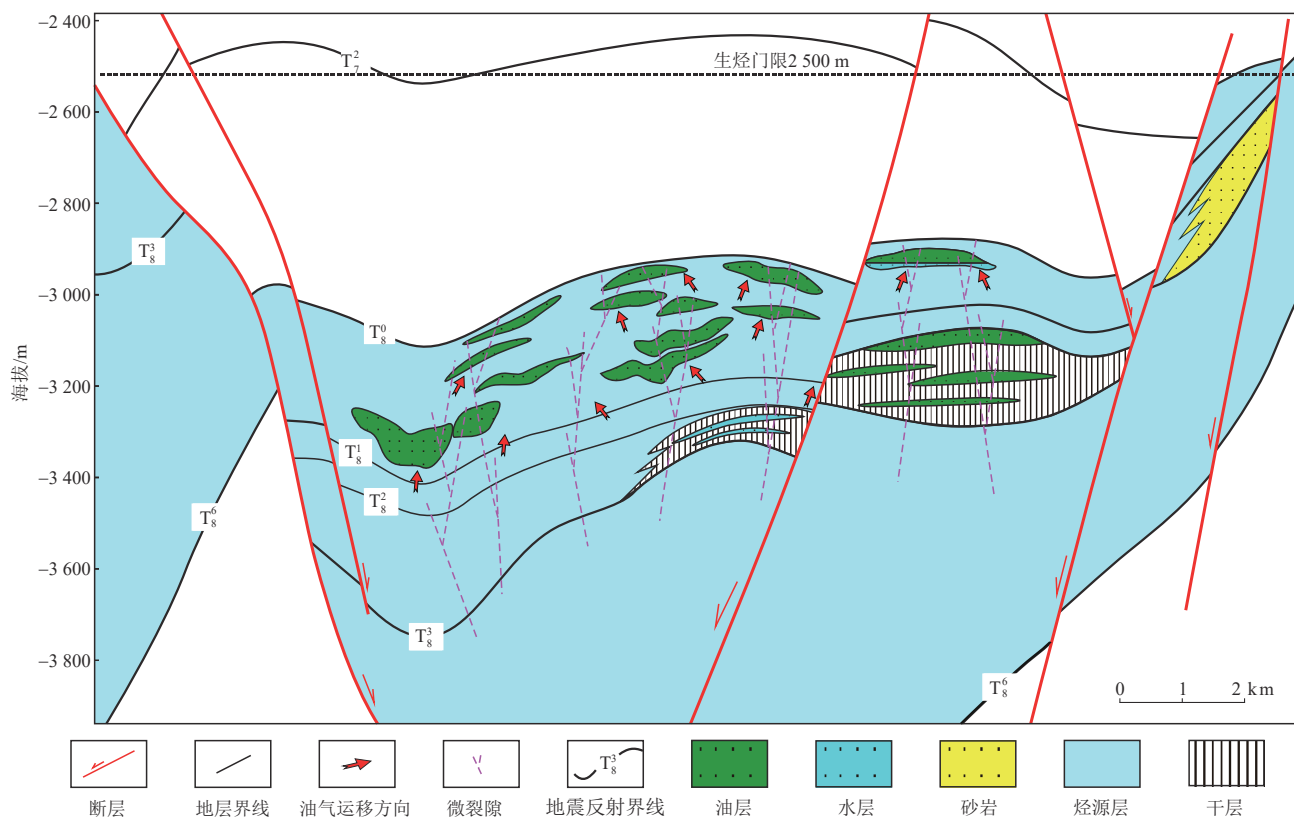


图10 涪西南凹陷B洼流沙港组一段岩性油气藏成藏模式

Fig. 10 Hydrocarbon accumulation model of lithologic reservoir of the Liu 1 Member in B low of the south Weixinan Sag

了B洼流一段重力流沉积体发育。

2) 涪西南凹陷流一段高位体系域B洼浊积砂体主要是砂质碎屑流沉积,具有砂体厚度大、储层物性好、非均质性弱的特点,地震反射特征上多为平行-亚平行、低频、中-强振幅反射,无下切侵蚀特征,容易刻画追踪。

3) 二号雁列式断层变换带在流一段高位体系域沉积期限定性作用增强,西北物源三角洲沉积经由各分段断层间的变换斜坡进入B洼,在重力作用下进行二次搬运,在物源远端发育连片砂质碎屑流沉积,形成岩性圈闭群,具有“源内成藏”的良好条件,勘探潜力极大。

参 考 文 献

- [1] 符武才,李理,徐聪,等. 东营凹陷北部典型构造转换带特征研究[J]. 地质科学, 2021, 56(1): 44-59.
Fu Wucai, Li Li, Xu Cong, et al. The study on characteristics of typical structural transfer zone in Northern of Dongying Sag [J]. Chinese Journal of Geology, 2021, 56(1): 44-59.
- [2] 周心怀,余一欣,魏刚,等. 渤海辽东湾海域JZ25-1S转换带与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 837-840.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Wei Gang, et al. Relationship between JZ25-1S transfer zone and hydrocarbon accumulation in Liaodongwan offshore of Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 837-840.
- [3] 胡望水. 松辽盆地北部变换构造及其石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 164-171.
Hu Wangshui. Transform structures in northern part of Songliao Basin and its significance in petroleum geology [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 164-171.
- [4] 潘良云,李明杰,王小善,等. 酒泉盆地典型传递带构造特征及控油作用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(3): 458-466.
Pan Liangyun, Li Mingjie, Wang Xiaoshan, et al. Structural features of typical transfer zones and its oil-controlling significance in Jiuquan Basin [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(3): 458-466.
- [5] 李强,田晓平,孙凤涛,等. 辽中凹陷南洼构造转换带发育特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(5): 41-47.
Li Qiang, Tian Xiaoping, Sun Fengtao, et al. Development characteristics of structural transfer zone and its control on hydrocarbon accumulation in south subsag of Liaozhong Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(5): 41-47.
- [6] 刘子璇,吴冬. 断陷盆地构造转换带对砂体分布影响研究[J]. 复杂油气藏, 2016, 9(1): 17-34.
Liu Zixuan, Wu Dong. The effect of structural transform zone on sandbody distribution in a fault basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2016, 9(1): 17-34.
- [7] 吴康军,龚福华,易雪斐,等. 转换带的分类浅述[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(12): 67-70.
Wu Kangjun, Gong Fuhua, Yi Xuefei, et al. Classification of transform zone [J]. Journal of Yangtze University, 2011, 8(12): 67-70.

- [8] 漆家福. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义[J]. 海相油气地质, 2007, 12(4): 43-50.
Qi Jiafu. Structural transfer zones and significance for hydrocarbon accumulation in rifting basins [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(4): 43-50.
- [9] 胡德胜, 范彩伟, 朱红涛, 等. 涠西南凹陷流一段高位体系域湖底扇沉积特征及勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(5): 23-31.
Hu Desheng, Fan Caiwei, Zhu Hongtao, et al. Sedimentary characteristics and exploration significance of sub-lacustrine fan of highstand system tract in the first member of Liushagang Formation in the Weixinan Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 43(4): 415-423.
- [10] 刘震, 谭卓, 蔡东升, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷流沙港组岩性圈闭形成条件[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 239-246.
Liu Zhen, Tan Zhuo, Cai Dongsheng, et al. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang Formation, Weixinan Depression of Beibuwan Basin [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 239-246.
- [11] 董贵能, 邓勇, 盖永浩, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷湖底扇的沉积特征[J]. 沉积学报, 2014, 32(2): 218-227.
Dong Guineng, Deng Yong, Gai Yonghao, et al. Sedimentary characteristics of sublacustrine fan in Weixinan Sag of Beibuwan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(2): 218-227.
- [12] 刘杰, 操应长, 王健, 等. 涠西南凹陷A井区古近系流沙港组一段砂体沉积特征及分布规律[J]. 沉积学报, 2013, 31(1): 56-66.
Liu Jie, Cao Yingchang, Wang Jian, et al. Sedimentary characteristics and distribution law of sandbodies of the first member of Liushagang Formation of Paleogene of A Well field in Weixinan Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(1): 56-66.
- [13] 刘一鸣, 吴智平, 颜世永, 等. 中国近海裂陷盆地始新世构造变革的厘定及地质意义: 以北部湾盆地涠西南凹陷为例[J]. 地球科学, 2021, 46(6): 2145-2156.
Liu Yiming, Wu Zhiping, Yan Shiyong, et al. Identification of Eocene tectonic transition and its geological significance of rift basins offshore China: A case study in Weixinan Sag, Beibu Bay Basin[J]. Earth Science, 2021, 46(6): 2145-2156.
- [14] 颜世永, 李月, 吴智平, 等. 北部湾盆地海中凹陷与涠西南凹陷构造特征及成因机制[J]. 石油学报, 2020, 41(6): 711-722.
Yan Shiyong, Li Yue, Wu Zhiping, et al. Structure characteristics and genetic mechanism of Haizhong Sag and Weixinan Sag in Beibu Gulf Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(6): 711-722.
- [15] 操应长, 杨田, 王艳忠, 等. 超临界沉积物重力流形成演化及特征[J]. 石油学报, 2017, 38(6): 607-621.
Cao Yingchang, Yang Tian, Wang Yanzhong, et al. Formation, evolution and sedimentary characteristics of supercritical sediment gravity-flow[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(6): 607-621.
- [16] 杨田, 操应长, 田景春. 浅谈陆相湖盆深水重力流沉积研究中的几点认识[J]. 沉积学报, 2021, 39(1): 88-111.
Yang Tian, Cao Yingchang, Tian Jingchun. Discussion on research of deep-water gravity flow deposition in lacustrine basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 39(1): 88-111.
- [17] 张倚安, 李士祥, 田景春, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长7段深水重力流沉积类型[J]. 沉积学报, 2021, 39(2): 298-307.
Zhang Yian, Li Shixiang, Tian Jingchun. Sedimentation types of deep-water gravity flow, Chang7 Member, Upper Triassic Yangchang Formation, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 39(2): 298-307.
- [18] 张洪安, 王长征, 蒋飞虎, 等. 河南东濮凹陷古近系沙三中亚段重力流沉积与伴生遗迹化石组合[J]. 古地理学报, 2020, 26(6): 1157-1168.
Zhang Hongan, Wang Changzheng, Jiang Feihu, et al. Gravity flow deposits associating with ichno assemblages within the middle member 3 of Paleogene Shahejie Formation in Dongpu Sag, Henan Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2020, 26(6): 1157-1168.
- [19] 符勇, 李忠诚, 万谱, 等. 三角洲前缘滑塌型重力流沉积特征及控制因素——以松辽盆地大安地区青一段为例[J]. 岩性油气藏, 2021, 33(1): 198-208.
Fu Yong, Li Zhongcheng, Wan Pu, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of slump gravity flow in delta front: A case study of Qing 1 member in Da'an area Songliao Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2021, 33(1): 198-208.
- [20] 张英利, 郭现轻, 孙立新, 等. 碎屑重矿物分析对内蒙古西乌旗早二叠世寿山沟组的物源指示及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2021, 40(6): 1155-1170.
Zhang Yingli, Guo Xianqing, Sun Lixin, et al. Detrital heavy minerals analysis of Early Permian Shoushangou Formation in the Xi Ujimqin, Inner Mongolia: Implications for provenance and tectonic setting [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2021, 40(6): 1155-1170.
- [21] 许苗苗, 魏晓椿, 杨蓉, 等. 重矿物分析物源示踪方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2021, 36(2): 154-171.
Xu Miaomiao, Wei Xiaochun, Yang Rong, et al. Research progress of provenance tracing method for heavy mineral analysis [J]. Advances in Earth Science, 2021, 36(2): 154-171.
- [22] 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): 9-18.
Lin Changsong, Xia Qinglong, Shi Hesheng, et al. Landscape evolution, source to sink procedure and basin analysis [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 9-18.
- [23] 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): 1851-1865.
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): 1851-1865.
- [24] 宋明水, 王永诗, 郝雪峰, 等. 渤海湾盆地东营凹陷古近系深层油气成藏系统及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(6): 1243-1254.
Song Mingshui, Wang Yongshi, Hao Xuefeng, et al. Petroleum systems and exploration potential in deep Paleogene of the Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1243-1254.

(编辑 张玉银)