

文章编号: 1000-0550(2014)02-0218-10

北部湾盆地涠西南凹陷湖底扇的沉积特征

董贵能 邓 勇 盖永浩 赵顺兰 舒克栋 王 彬

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司 广东湛江 524057)

摘 要 综合利用岩芯、测井、地震和粒度曲线等资料,研究了涠西南凹陷古近系流沙港组一段湖底扇的沉积特征。结果表明,湖底扇具有典型浊积岩的鲍马序列特征,且分为高能量型沉积和低能量型沉积两种,在沉积结构上,粒度概率图和 C-M 图具有浊流沉积独有的粒度分布特征,同时具有丰富的浊流沉积构造现象。涠西南湖底扇在陡峭的古地貌和充足的物源供应条件下形成,沉积在断裂坡折带或同沉积坡折带坡脚的深水区。湖底扇沉积于深水区,圈闭条件好,临近烃源岩,油源富足,易于形成油气藏,已有多口井钻获工业油流,勘探前景广阔。

关键词 涠西南凹陷 湖底扇 沉积特征 勘探潜力

第一作者简介 董贵能 男 1977 年出生 硕士 高级工程师 沉积学 E-mail: donggn@cnooc.com.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

湖底扇在中国陆相断陷盆地中广泛发育,如渤海湾盆地的车镇凹陷、东营凹陷、沾化凹陷和南堡凹陷、二连盆地的乌里雅斯太凹陷和赛汉塔拉凹陷、北部湾盆地福山凹陷、南襄盆地的泌阳凹陷均有发现^[1-4],并且湖底扇岩性油气藏的勘探不断取得突破^[1-4],使得湖底扇砂岩体的研究越来越重要。北部湾盆地涠西南凹陷属于典型的陆相断陷湖盆^[5]。近2年来,已经有多口井在湖底扇岩性油气藏的勘探中获得了工业油流,湖底扇的勘探已成为在涠西南凹陷进行油气勘探的一个重要方向^[6]。关于涠西南凹陷的沉积相,到目前为止,很少有学者进行过研究报道,只有操应长等(2011)在研究流三段的物源方向时,提到流三段发育有扇三角洲或冲积扇^[7],孙文钊等(2007)在分析涠西南凹陷隐蔽油气藏的类型及勘探方向时,提到流一段发育(扇)三角洲和浊积体^[8],董贵能(2008,2011)研究流一段扇三角洲的沉积特征,提到流一段的扇三角洲前端发育浊积体^[7,11]。目前湖底扇的发现,尚属首次,湖底扇与前述学者提到的(扇)三角洲全然不同,在涠西南凹陷是一种新的沉积相类型,加上这些湖底扇砂岩体中已经获得工业油流,本文分析这些湖底扇的沉积特征、在此基础上,剖析其成因、分布规律及其成藏条件,建立起完整的湖底扇体系,为其进一步的油气勘探开发提供依据,同时对于中国其他湖盆中湖底扇岩性油气藏的勘探也具有借鉴作用。

1 研究区概况

涠西南凹陷属于北部湾盆地北部坳陷,凹陷西北边缘为涠西南大断层,东南边缘为企西隆起,西南面与海中凹陷连接并以涠西南低凸起相隔,整个研究区勘探面积约 $2.3 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。涠西南凹陷属于典型的断陷湖盆,凹陷内发育3条北东—南西走向的正断层(1号、2号、3号断层),这3条断层控制了整个涠西南凹陷的构造格局,形成明显的箕状断陷构造样式,凹陷西北面为陡坡,东南面为缓坡(图1)。

凹陷内主要发育第三系地层,充填陆源碎屑砂砾岩和泥岩,古近系从下至上包括长流组、流沙港组和

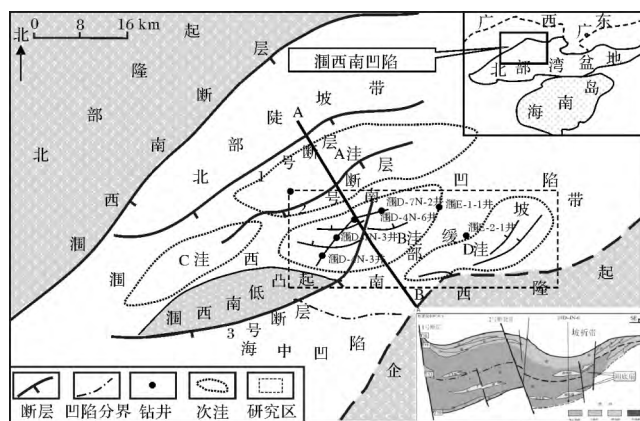


图1 涠西南凹陷流沙港组古地貌—断裂叠合图

Fig.1 Congruence of landform and structural partition of Liushagang Formation in Weixi'nan sag

收稿日期: 2012-09-21; 收修改稿日期: 2013-09-16

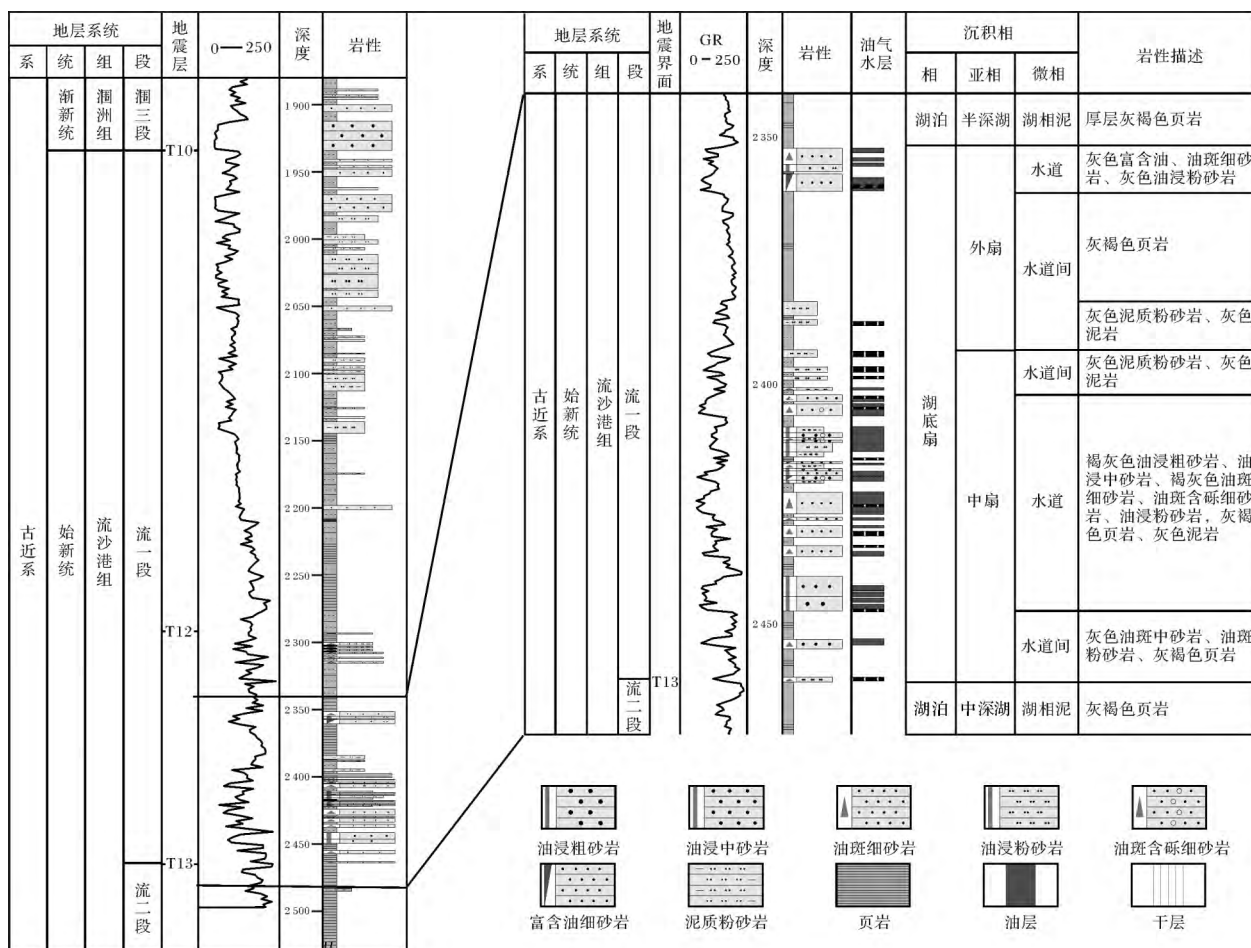


图2 涠西南凹陷涠 D-7N-2 井流一段地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of Liu-1 Formation of Wei D-7N-2 Well in Weixi'nan sag

涠洲组,新近系从下至上包括下洋组、角尾组、灯楼角组和望楼港组^[1]。流沙港组沉积时期,凹陷可分为A、B、C、D四个次洼,涠西南凹陷的陡坡一侧受2号断层的控制形成A洼和C洼,处于整个凹陷的沉降中心。而涠西南凹陷的缓坡一侧受3号断层东段的控制形成C洼,受企西隆起北部边缘断裂的控制形成D洼。C洼和D洼整体上属于涠西南凹陷的南部缓坡带,由于受断层的控制形成了断裂坡折带和同沉积坡折带。流一段时期,在C洼和D洼中沿断裂坡折带和同沉积坡折带发育湖底扇,成为涠西南凹陷近年来重要的勘探目标(图2)。

目前涠西南凹陷有10口井钻遇湖底扇,除了地震、测井数据等资料可以用于识别湖底扇之外,其钻井取芯6口井共117 m,为湖底扇沉积特征的研究提供了详实的基础资料。

2 湖底扇沉积特征

“湖底扇”这一术语来源于海底扇的研究,由

Walker R G等提出的海底扇模式演绎而来^[13-18],其含义与赵澄林、刘孟慧、吴崇筠等报道的浊积扇概念基本相当^[19,20],均指湖盆中沉积物以重力流搬运方式堆积在深水区的粗碎屑扇形体。首先强调其形成于深水环境,这是最简单、最基本的识别标志^[21],其次是沉积物以重力流为主要搬运方式,二者缺一不可。目前国内仍有不少学者沿用水下扇^[22]等术语,但其内涵也强调其完全处于较深水区且以重力流沉积为特征。为了避免含义上的混乱,并与人们较熟知的海底扇模式相对应,笔者建议使用“湖底扇”一词较为合适。

2.1 岩石学特征

涠西南凹陷湖底扇的岩石类型其碎屑颗粒粒径变化较大,包括卵石质砂砾岩、含砾粗砂岩、粗中砂岩、粉细砂岩等多种类型,颜色主要为深灰色和黑色,极少数为灰白色,反映了深水还原性沉积环境,往往与中深湖相块状黑色泥岩或褐色、褐灰色油页岩共

生。湖底扇砂体中极少见生物化石。研究区具有两口井涇 D-7N-2 和涇 E-4S-2 进行了钻井取芯,无论是卵石质砂砾岩、含砾粗砂岩、粗中砂岩,还是粉细砂岩,两口井都能观察到湖底扇砂岩体的典型浊积岩特征:具有不同段数的鲍马序列^[22~24]。岩芯中观察到若干期鲍马序列,每一期鲍马序列沉积代表一次重力流事件。各期鲍马序列可以连续叠置,也可以由厚层页岩分隔。连续叠置的鲍马序列代表两次重力流事件的连续发生,而由厚层页岩分隔的鲍马序列代表两次重力流事件之间具有较长的时间间隔。

2.2 鲍马序列特征

岩芯中所能观察到的鲍马序列大部分不完整(即鲍马序列的各个段不齐全),只有极少数具有完整的ABCDE段鲍马序列。同时,无论是完整的鲍马序列,还是不完整的鲍马序列,都可以分为高能量水动力条件的沉积体和低能量水动力条件的沉积体两种类型。高能量型沉积粒度粗,岩石类型主要为卵石质砂砾岩、含砾粗砂岩、粗中砂岩,低能量型沉积粒度细,岩石类型主要为粉细砂岩。如图3,4。

2.2.1 完整的鲍马序列

图3为完整的鲍马序列实例。图3A-1,A-2为高能型沉积,鲍马序列的底部发育非常清晰的冲刷面。冲刷面以上鲍马序列开始,A段—E段具有以下特征:(1)A段主要为块状灰色砂砾岩,砾石分布较多,粒径较大,约2~7mm,向上砾石逐渐减少,粒径变小,A段整体上具下粗上细的正递变粒序层理,反映能量逐渐减弱的过程,A段底部为逆粒序,反映浊积

岩独特的重力筛效应;(2)B段为下平行纹层段,深灰色含砾粗砂岩,砾石颗粒具有定向性,微显平行层理,纹层由长形砾石顺水流方向定向分布所致,沿层揭开观察到剥离线理;(3)C段为波状层理段,厚度较薄,为灰黑色中细砂岩,纹层显微波状层理和变形构造,反映了A段和B段沉积后,高密度浊流转变为低密度浊流,出现牵引流水流机制的沉积作用。纹层间夹黑色炭屑纹线,C段也为正粒序,并与B段呈连续过度;(4)D段为上水平层理段,由灰黑色粉砂岩组成,为直接的悬浮沉积产物,具有断续的水平纹层。D段也为正粒序,并与C段呈连续过度;(5)E段为黑色块状泥岩,泥岩是重力流事件沉积结束后,最细颗粒物在静水中的沉积,代表鲍马序列的结束。

图3B为低能型沉积。低能型沉积与高能型沉积鲍马序列由下至上各段之间演化规律类似,总体上都为正粒序,底部一般发育冲刷面或明显的突变界面。不同的是低能型沉积各个段沉积物相应更细,即A段为块状粗砂岩、B段为下平行层理中砂岩、C段为波状层理细砂岩、D段为上水平层理泥质粉砂岩,E段为块状泥岩,鲍马序列结束。

2.2.2 不完整的鲍马序列

图4为不完整的鲍马序列实例,图4A为高能型沉积,为A—E段组合,鲍马序列的底部仍然发育冲刷面,冲刷面以上鲍马序列开始,A段为块状砂砾岩,由高密度浊流堆积而成,仍为悬浮搬运,由下至上水动力能量降低而具正粒序;E段为水平层理页岩,是重力流事件沉积结束后的深水湖相泥岩沉积。即A

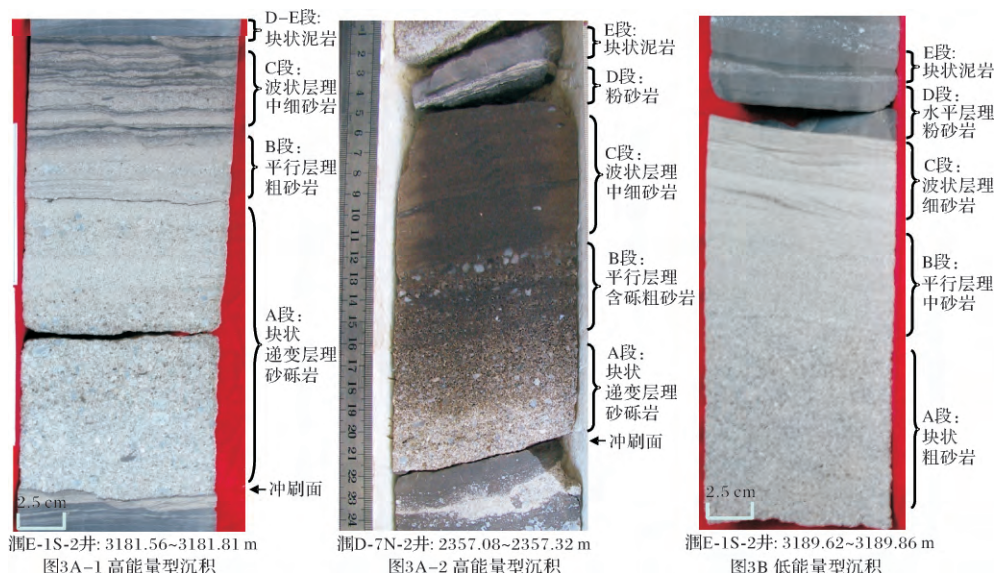


图3 涇西南凹陷湖底扇完整的鲍马序列实例

Fig.3 Integrate Bouma sequence in sublacustrine fan of Weixi'nan sag

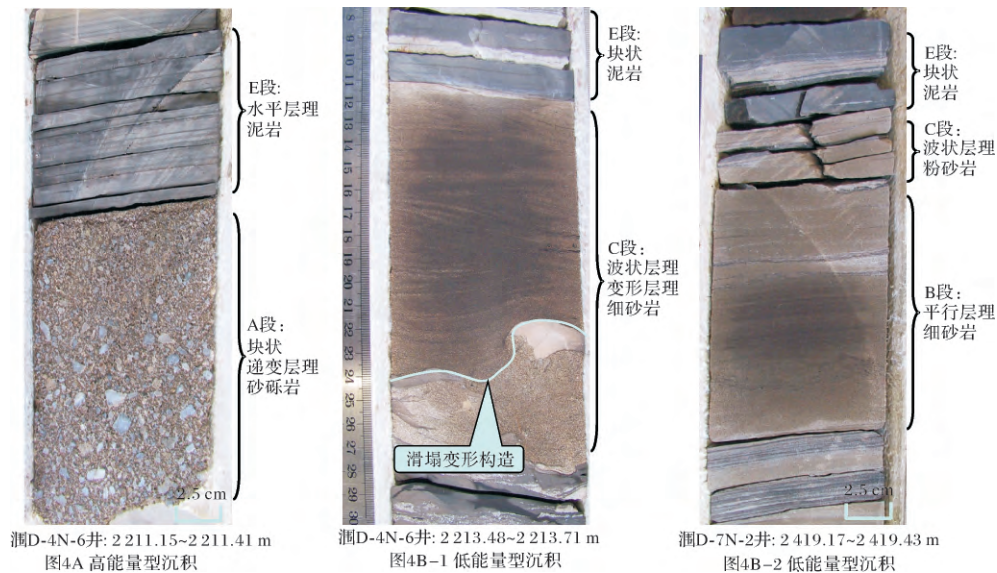


图4 涠西南凹陷湖底扇不完整的鲍马序列实例

Fig.4 Half-baked Bouma sequence in sublacustrine fan of Weixi'nan sag

段、E段代表两次不同的事件,第一次浊流事件沉积后,由于受到再一次浊流的侵蚀冲刷,因而第一次的上部层段缺失,只留下A段,浊流事件结束后,上面被深水湖相泥岩覆盖,从而形成A—E段组合。

图4B-1、B-2为低能型沉积,分别为C—E段组合和B—C—E段组合,两个组合鲍马序列的底部都发育冲刷面。C—E段组合具有下列特征: C段为兼具滑塌变形层理、泥岩撕裂屑、波状交错层理的细砂岩,变形层理、泥岩撕裂屑和波状交错层理的同时出现表明沉积物正由重力流向牵引流转变,所以既有重力滑动形成的变形层理、泥岩撕裂屑,也有牵引流形成的波状交错层理(兼具重力流和牵引流的双重搬运机制是湖底扇的重要标志之一)^[4]。E段为深水湖相泥岩。B—C—E段组合具有下列特征: B段为平行层理细砂岩, C段为波状层理粉砂岩, E段主要为深水湖相泥岩。

2.3 结构特征

涠西南湖底扇的结构成熟度比较低,岩心和薄片上都可以直接看出比较低的颗粒/杂基比值,尤其是在鲍马序列的A段,粒径差别较大,表现出砾、砂、泥质混杂堆积的特点。在粒度概率图上(图5),为典型的浊积岩结构特征: 粒度概率图表现为一条斜度较小的近似于平滑的直线,或者微向上凸的弧线,说明只有一个渐变悬浮总,粒度范围分布广,分选较差。在C—M图上(图6),点群分布平行于C=M线,所有样品值落于粒度悬浮区,亦反映出渐变悬浮沉积为主

的结构特征^[25,26]。

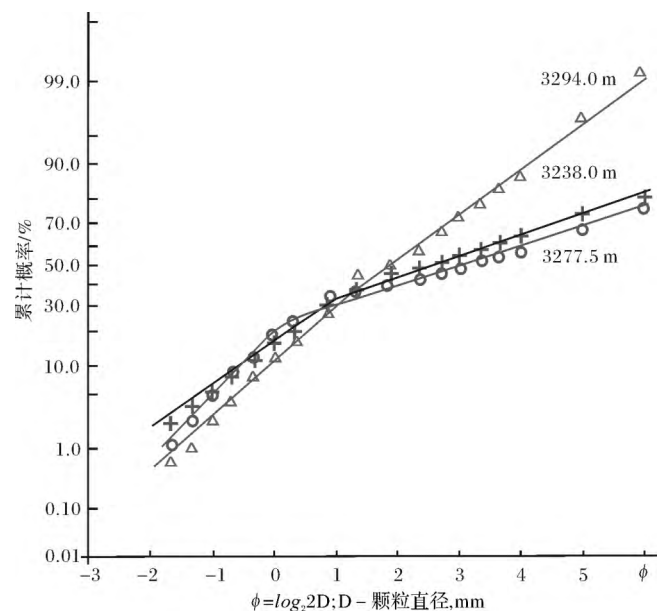


图5 涠 E-1S-2 井湖底扇的粒度概率图

Fig.5 Grain size probability curves of sublacustrine fan sand in Wei E-1S-2 Well

2.4 沉积构造特征

利用岩芯和 FMI 成像测井图,能观察到湖底扇发育丰富的浊流沉积构造现象。涠西南湖底扇具有鲍马序列明显的典型浊积岩和鲍马序列不明显的非典型浊积岩两类沉积。在典型的浊积岩中,沉积构造分布于鲍马序列的各个段: 由下至上, A 段一般为块

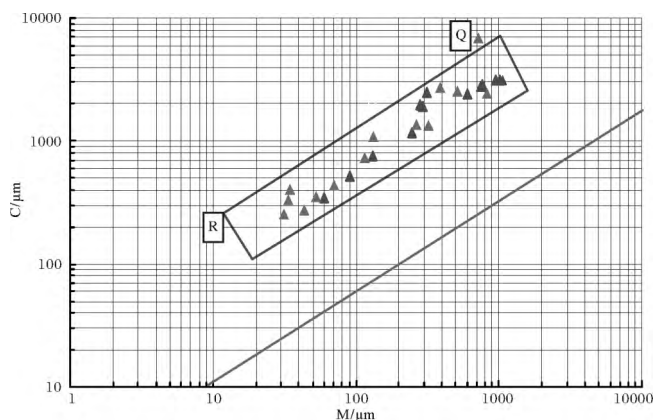


图 6 涇 E-1S-2 井湖底扇的 C-M 图

Fig.6 C-M map of sublacustrine fan sand in Wei E-1S-2 Well

状递变层, B 段一般具有平行层理, C 段一般具有波状、包卷层理, D 段一般具有水平层理, E 段为块状泥岩层。而在非典型浊积岩中, 在重力滑塌、滑动、快速堆积等作用下, 沉积物中形成丰富的滑塌变形、砂质团块、泥质团块、泥岩撕裂屑、包卷层理、旋涡层、漂浮砾、重荷模、泄水构造、砂岩刺穿泥岩、杂乱堆积等多种反映重力流标志的沉积构造(图 7, 8)。

2.5 测井相及地震相特征

根据详细的岩芯观察, 结合测井、地震和其他化验资料, 涇西南的湖底扇可以分析内扇、中扇和外扇

三个亚相, 内扇细分为主沟道和主沟道间, 中扇细分为辫状沟道和辫状沟道间, 外扇主要为泥岩夹层状薄层砂。总体上从内扇—中扇—外扇, 沉积物逐渐变细, 分选性逐渐变好的趋势。内扇主沟道主要充填鲍马序列 A 段的块状砂砾岩, GR 曲线一般为齿化箱形, 曲线齿化反映湖底扇砂岩泥质含量高、孔隙条件差的特征。主沟道间沉积物比沟道的充填变细, 岩性为泥岩或者粉细砂与泥岩交替的薄互层, GR 曲线为不平滑的泥岩基线或波状。中扇辫状沟道岩性主要为砂砾岩、粗中砂岩, GR 曲线为齿化箱形或钟形, 箱形曲线一般为厚层砂砾岩沉积, 而钟形曲线一般为下粗上细的粗中砂岩沉积, 沉积韵律常由粗砂岩变为中砂岩, 顶部过渡为粉细砂岩, 辫状沟道间沉积为较平滑的泥岩基线。外扇一般为厚层泥岩夹薄层砂, GR 曲线为指状。在垂直于物源方向的连井对比剖面中, 湖底扇相互孤立, 砂体与砂体之间在横向上迅速尖灭。同时, 在顺物源方向的连井对比中, 湖底扇砂体与物源区的扇三角洲砂体不连通, 在地震相上表现为同相轴的断开(湖底扇砂体在纵横向上此种展布规律利于砂泥岩相互交叉, 容易形成孤立砂体岩性圈闭), 如图 9。同时, 湖底扇在垂直于物源方向上地震同相轴具有双向下超特征, 在顺物源方向上具有明显的中部厚边缘薄的透镜状, 如图 10。

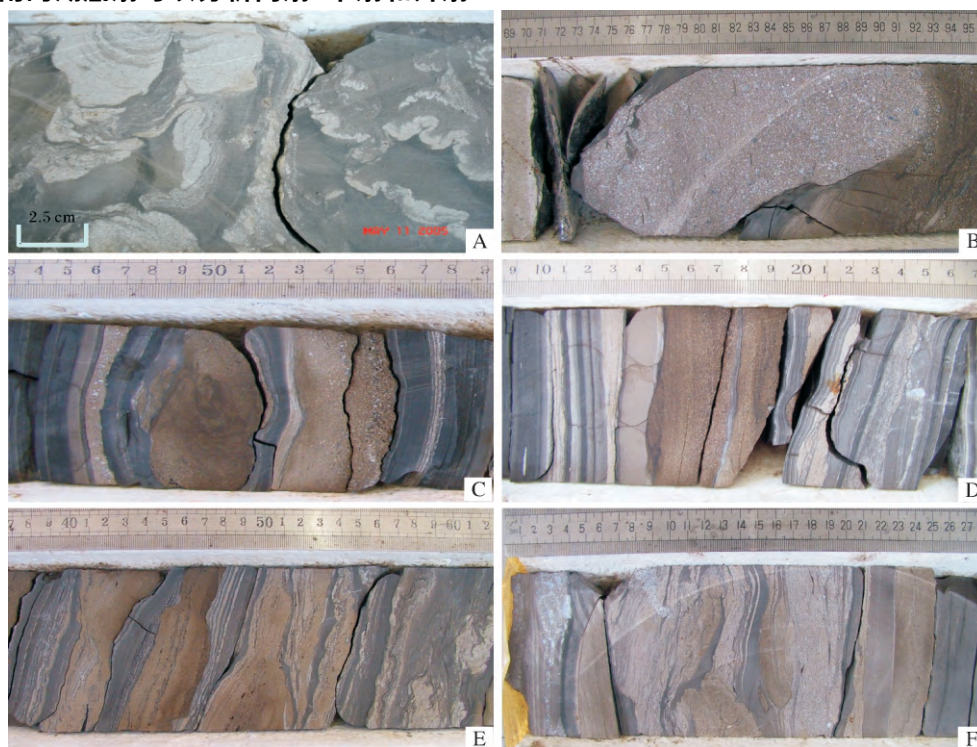


图 7 涇西南凹陷湖底扇的岩芯相沉积构造特征

Fig.7 Core facies sedimentary structures characteristics in sublacustrine fan of Weixi'nan sag

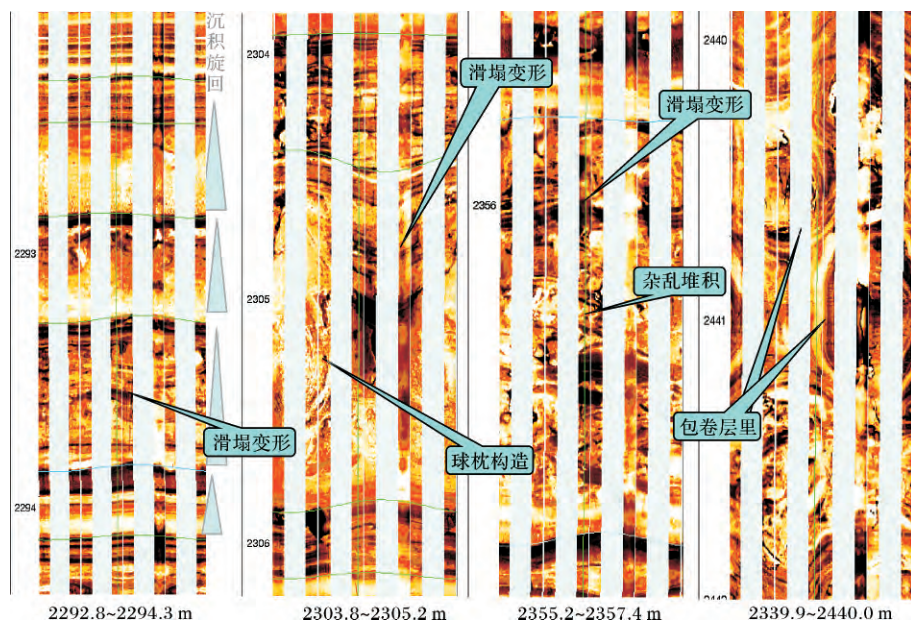


图 8 涠 D-7N-2 井湖底扇的 FMI 测井成像特征

Fig.8 FMI facies characteristics of sublacustrine fan in Wei D-7N-2 Well

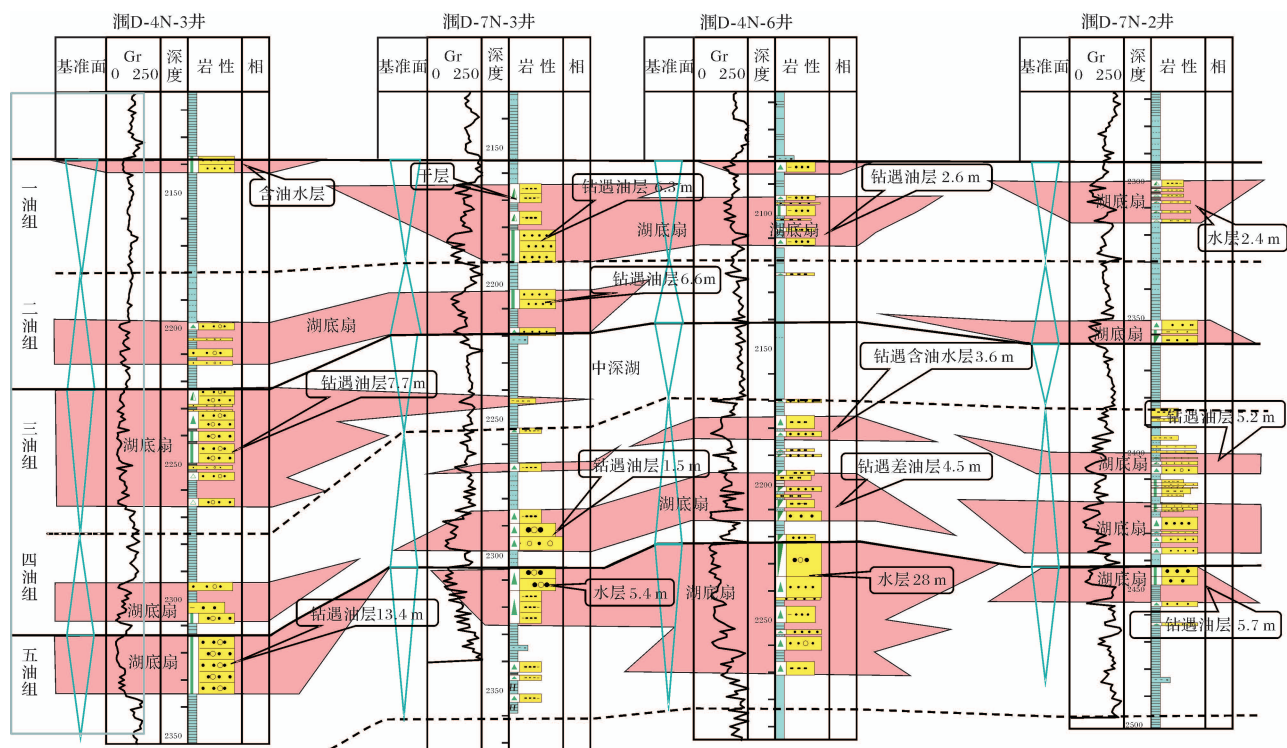


图 9 涠西南凹陷湖底扇砂岩体连井对比图(剖面位置见图 1)

Fig.9 Stratigraphic comparison of sublacustrine fan sand in Weixi'nan sag

3 湖底扇成因及分布规律

湖底扇的形成主要受到盆地古地形坡度、物源供应、坡折带等因素的控制^[27-29]。陡峭的古地貌环境

和充足的物源供应条件是涠西南湖底扇形成的有利因素。涠西南凹陷湖底扇主要形成于流一段时期。如前文所述,在流一段沉积时期,涠西南凹陷分为 A、B、C、D 四个次洼,C 洼和 D 洼处于凹陷的缓坡一侧

(图1,11),分别在C洼的涠D-7构造和D洼的涠E-2构造发育一系列强烈活动的近东西向断层,涠D-7构造的断层受涠西南3号断层东段的控制,涠E-2构造的断层受企西隆起北缘的控制(图1)。在断层的强烈活动下,分别在涠D-7构造和涠E-2构造形成陡峭的断裂坡折带和同沉积坡折带。利用声波时差法和厚度趋势法求出剥蚀量,结合现今地层厚度图,恢复得到涠D-7构造的古构造坡度大约为 $5^{\circ}\sim 9^{\circ}$,涠E-2构造的古构造坡度大约为 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ (图10,11),如此陡倾的坡度为湖底扇的形成创造了有利条件,都以坡折为界,坡折南面发育扇三角洲,坡折北面发育湖底扇,因此坡折带往往形成扇三角洲—湖底扇沉积体系(扇三角洲与湖底扇的位置关系(图10,11)。沉积区南部紧靠企西隆起,企西隆起为扇三角洲和湖底扇提供了原始物源,由于物源供应非常充足,所形成的扇三角洲规模都较大,其中涠D-7构造的扇三角洲分三

期,涠E-2构造的扇三角洲分两期(图10,11)。流一段正处于湖平面上升时期,湖水不断向物源区入侵侵蚀,加上物源充足,沉积物快速堆积,先期形成的扇三角洲砂体及其周缘的滨浅湖砂体尚未固结成岩,在地震、波浪等诱发机制下,沿着斜坡向北重新搬运再沉积,于坡折带的坡脚深水区形成湖底扇。

因此,陡峭的古地貌坡度和充足的物源供应是涠西南湖底扇形成的重要条件:古地貌坡度为 $4^{\circ}\sim 9^{\circ}$,物源包括南部企西隆起的原始物源、以及先期形成的且尚未固结成岩的扇三角洲砂体和滨浅湖砂体。湖底扇的分布位置主要在断裂坡折带或同沉积坡折带坡脚的深水区。

4 湖底扇油气成藏条件

由于湖底扇分布于断裂坡折带或同沉积坡折带的深水区,受到其特殊的构造位置和沉积环境的控

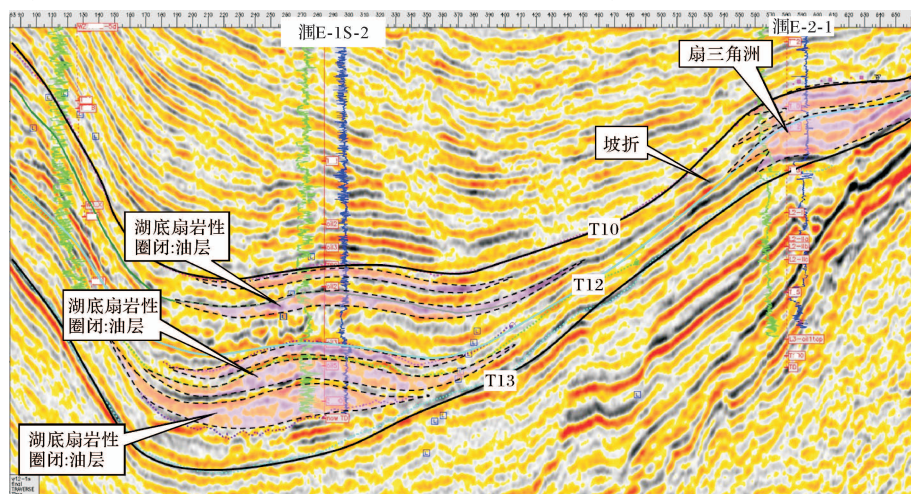


图10 湖底扇的地震相特征

Fig.10 Seismic facies characteristics of sublacustrine fan

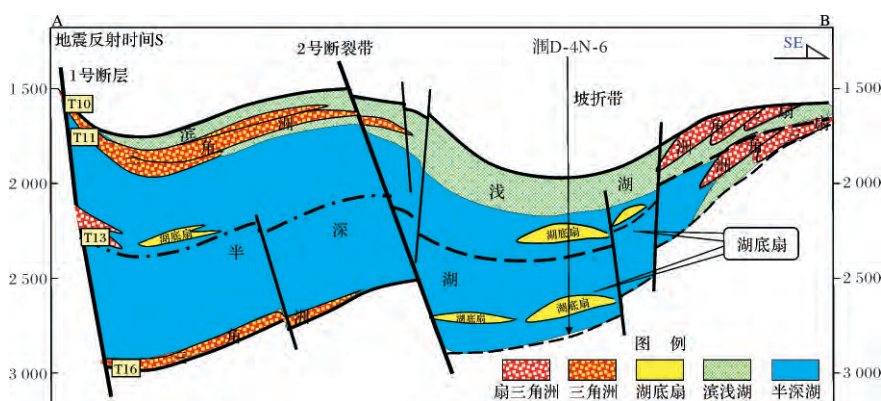


图11 涠西南凹陷流一段湖底扇沉积模式图

Fig.11 Depositional model of sublacustrine fan in Liu-1 Formation of Weixi'nan sag

制,涠西南湖底扇具有圈闭、油源和油气运聚的优越成藏条件。首先,湖底扇形成于深水环境,与湖底扇砂岩共生的泥岩颜色主要为深灰色和黑色,是半深湖—深湖还原性环境的重要标志。湖底扇砂体被半深湖或深湖泥岩包围,形成优良的储盖组合,易于形成岩性圈闭。同时,湖底扇沉积区同沉积坡折带由于发育同沉积断层,也容易形成断层—岩性圈闭或滚动背斜圈闭。所以,湖底扇沉积区发育不同类型的圈闭。其次,湖底扇沉积于半深湖、深湖环境,临近烃源岩泥岩和油页岩,油源条件好。有的湖底扇砂体甚至与烃源岩直接接触,能形成自生自储型油气藏: 根据目前的钻井揭示,与湖底扇共生的烃源岩为优质烃源岩,不仅厚度大,而且多数埋深超过 2 000 m,达到生油门限。通过对生油指标的测定,TOC 值在 1.35%~2.75%, R_o 值在 0.6%~1.2%,处于好的生油窗。在现场录井中,油页岩滴照呈乳白色扩散,发荧光,具沥青味,说明已经生油,可自生自储。另外,由于湖底扇沉积区为断裂坡折带或同沉积坡折带,断层发育,有的断层沟通了深部烃源岩,使得下部不同层段的油气通过断层运移到其中,形成较大规模的油气藏。

综上所述,受其特殊的构造位置和深水区这一特殊的沉积环境控制,涠西南的湖底扇能够形成大量岩性圈闭、断层—岩性圈闭或滚动背斜圈闭,这些圈闭临近优质烃源岩,油源富足,不仅能自生自储,还能够通过断层捕集到深部油源,易于形成油气藏。在钻探实践中,涠 D-7 构造和涠 E-2 构造的湖底扇都获得了重大油气发现,目前已有 7 口井钻获工业油流,显示了流一段湖底扇良好的油气勘探前景。

5 结论与意义

(1) 利用岩芯、测井、地震和粒度曲线等资料分析表明,涠西南湖底扇在岩石学、相序、结构、沉积构造等方面具备典型浊积岩的沉积特征: 在岩石学上,湖底扇具有典型浊积岩的鲍马序列特征且分为高能量型沉积和低能量型沉积两种,在沉积结构上,粒度概率图和 C-M 图具有浊流沉积独有的粒度分布特征,在沉积构造上,具有丰富的浊流沉积构造现象。

(2) 陡峭的古地貌坡度和充足的物源供应是涠西南湖底扇形成的重要条件,其分布位置主要在断裂坡折带或同沉积坡折带坡脚的深水区。

(3) 受其特殊的构造位置和深水区这一特殊的沉积环境控制,涠西南的湖底扇能够形成大量岩性圈闭、断层—岩性圈闭或滚动背斜圈闭,这些圈闭临近

优质烃源岩,油源富足,不仅能自生自储,还能够通过断层捕集到深部油源,易于形成油气藏,目前已有三口井钻获工业油流证实,勘探潜力较大。

参考文献(References)

- 1 冯有良. 断陷盆地序格架中岩性地层油气藏分布特征 [J]. 石油学报, 2007, 26(4): 17-22 [Feng Youliang. Distribution of stratigraphic and lithologic reservoirs in sequence framework of rift-subsidence basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 26(4): 17-22]
- 2 张鹏飞, 陈世悦, 张明军, 等. 沾化凹陷东营组三段储集层特征 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 323-327 [Zhang Pengfei, Chen Shiyue, Zhang Mingjun, et al. Reservoir characteristics of member 3 of Dongying Formation in Zhanhua sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 323-327]
- 3 邓毅林, 王天琦, 曹正林, 等. 二连盆地乌里雅斯太凹陷下白垩统湖底扇沉积特征及成因分析 [J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 786-792 [Deng Yilin, Wang Tianqi, Cao Zhenglin, et al. Depositional characteristics and genesis of Lower Cretaceous sublacustrine fan in Wuliyasitai sag, Erlian Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 786-792]
- 4 崔周旗, 李文厚, 吴健平, 等. 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相砾岩体沉积特征与隐蔽油藏勘探 [J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 21-27 [Cui Zhouqi, Li Wenhong, Wu Jianping, et al. The depositional characteristics of conglomerate bodies and exploration in subtle oil pools of sublacustrine fan facies in slope zone, Wuliyasitai sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 21-27]
- 5 刘丽军, 佟彦明, 纪云龙, 等. 北部湾盆地福山凹陷流沙港组湖底扇沉积特征及发育背景 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 102-115 [Liu Lijun, Tong Yanming, Ji Yunlong, et al. Sedimentary characteristics and developing background of the sublacustrine fan in the Liushagang Formation of the Fushan depression, the Beibuwan Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2003, 25(2): 102-115]
- 6 张建光, 姚光庆, 陈亚兵, 等. 南襄盆地泌阳凹陷深水湖底扇厘定及碎屑锆石 U-Pb 年代学物源追踪 [J]. 地球科学, 2011, 36(6): 1105-1118 [Zhang Jianguang, Yao Guangqing, Chen Yabing, et al. Sublacustrine fan of chengdian and zircon U-Pb ages and constraint on its provenance in Biyang depression, Nanxiang Basin, China [J]. Earth Science, 2011, 36(6): 1105-1118]
- 7 董贵能, 李俊良. 北部湾盆地涠西南凹陷流一段非构造油气藏 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 552-560 [Dong Guineng, Li Junliang. Subtle hydrocarbon reservoirs in Liu-1 Member of the Weixi'nan sag, Beibuwan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 552-560]
- 8 董贵能, 李俊良, 张道军, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷隐蔽圈闭的形成条件和圈闭类型 [J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(4): 18-23 [Dong Guineng, Li Junliang, Zhang Daojun, et al. Forming condition and trap type of subtle trap in Weixi'nan sag of Beibuwan Basin [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2012, 31(4): 18-23]
- 9 操应长, 宋玲, 王健, 等. 重矿物资料在沉积物物源分析中的应用

- [1] . 沉积学报, 2011, 29(5) : 835-841 [Cao Yingchang, Song Ling, Wang Jian, *et al.* Application of heavy mineral data in the analysis of sediment source: A case study in the Paleogene lower submember of the third member of the Liushagang Formation, Weixi'nan depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5) : 835-841]
- 10 孙文钊, 王传雷, 杨希宾. 北部湾盆地涠西南凹陷始新统隐蔽油气藏类型及勘探方向 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1) : 84-88 [Sun Wenzhao, Wang Chuanlei, Yang Xibin. Types and favorable exploration areas of Eocene subtle traps in Weixi'nan sag, BBW Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1) : 84-88]
- 11 董贵能. 涠西南凹陷流一段扇三角洲沉积特征及其对隐蔽油气藏形成的控制作用 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(5) : 298-301 [Dong Guineng. Fan delta sedimentary features and its controls over subtle hydrocarbon reservoirs of Liu-I member in Weixi'nan sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(5) : 298-301]
- 12 董贵能. 涠西南凹陷流一段扇三角洲沉积特征研究 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(增刊) : 48-50 [Dong Guineng. Fandelta sedimentary character of Paleogene liu-I Formation in Weixi'nan depression [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2008, 23(Suppl.) : 48-50]
- 13 王建功, 王天琦, 张顺, 等. 松辽坳陷盆地水侵期湖底扇沉积特征及地球物理响应 [J]. 石油学报, 2009, 3(3) : 361-366 [Wang Jiagong, Wang Tianqi, Zhang Shun, *et al.* Sedimentary characteristics and geophysical response of sublacustrine fan during transgression period in Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 3(3) : 361-366]
- 14 Walker R G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: Models for exploration for stratigraphic traps. AAPG Bulletin, 1978, 62(6) : 932-966
- 15 Bouma A H, Stone C G. Fine-grained turbidite systems [G]. AAPG Memoir 72/SEPM Special Publication No.68, 2000: 1-49
- 16 Prins M A, Postma G. Effects of climate, sea level, and tectonic sun raveled for last deglaciation turbidite records of the Arabian Sea [J]. Geology, 2000, 28(4) : 375-378
- 17 Varnai P. Three-dimensional seismic stratigraphic expression of Pliocene-Pleistocene turbidite systems, northern Green Canyon(offshore Louisiana), northern Gulf of Mexico [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(5) : 986-1012
- 18 Weimer P, Link M H. Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems [M]. New York: Springer Verlag, 1991: 447
- 19 赵澄林, 刘孟慧. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用 [J]. 华东石油学院学报, 1984, 26(4) : 1-10 [Zhao Chenglin, Liu Menghui. Application to oil forecast of facies model of sublacustrine fan [J]. Huadong Petroleum College Transaction, 1984, 26(4) : 1-10]
- 20 吴崇筠, 李纯菊, 刘国华, 等. 断陷湖盆中的浊积岩 [M] // 中国石油学会石油地质委员会主编. 碎屑岩沉积相研究. 北京: 石油工业出版社, 1988: 1-17 [Wu Chongjun, Li Chunju, Liu Guohua, *et al.* Turbidite in the Faulted Lake Basin [M] // Clastic Sedimentary Facies Study. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988: 1-17]
- 21 刘招君. 湖泊水下扇沉积特征及影响因素——以伊通盆地莫里青断陷双阳组为例 [J]. 沉积学报, 2003, 21(1) : 148-153 [Liu Zhaojun. Sedimentary characteristics and influence factors of lake sub-lacustrine fan—A sample in Shuangyang Formation of Moliqing faulted sag, Yitong Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1) : 148-153]
- 22 姜在兴. 沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 365-367 [Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 365-367]
- 23 马洪涛, 蔡玥, 付国民. 塔河油田 AT1 井区中三叠统中油组湖底扇沉积特征研究 [J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3) : 53-58 [Ma Hongtao, Cai Yue, Fu Guomin. Sedimentary characteristics of sub-lacustrine fan of Middle Triassic Zhongyou Formation in AT1 area, Tahe Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3) : 53-58]
- 24 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2001: 311-324 [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 311-324]
- 25 夏青松, 田景春. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统长 6 油层组湖底扇特征 [J]. 古地理学报, 2007, 9(1) : 33-43 [Xia Qingsong, Tian Jingchun. Sedimentary characteristics of sublacustrine fan of the interval 6 of Yanchang Formation of Upper Triassic in southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(1) : 33-43]
- 26 袁静, 杜玉民, 李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 34(3) : 323-327 [Yuan Jing, Du Yumin, Li Yunnan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 34(3) : 323-327]
- 27 鄢继华, 陈世悦, 宋国奇, 等. 三角洲前缘滑塌浊积岩形成过程初探 [J]. 沉积学报, 2004, 24(4) : 573-578 [Yan Jihua, Chen Shiyue, Song Guoqi, *et al.* Discussion on forming process of fluxoturbidite in delta front [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 24(4) : 573-578]
- 28 操应长, 刘晖. 湖盆三角洲沉积坡度带特征及其与滑塌浊积岩分布关系的初步探讨 [J]. 地质论评, 2007, 53(4) : 454-459 [Cao Yingchang, Liu Hui. Discussion on the relationship between distribution of fluxoturbidite and depositional slope of delta in lacustrine basin [J]. Geological Review, 2007, 53(4) : 454-459]

Sedimentary Characteristics of Sublacustrine Fan in Weixi'nan Sag of Beibuwan Basin

DONG Gui-neng DENG Yong GAI Yong-hao ZHAO Shun-lan SHU Ke-dong WANG Bin
(Zhanjiang Company of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057)

Abstract: On the basis of integrated analysis of core, well logging, seismic and grain size probability curves data, sedimentary characteristics of sublacustrine fan in Liu-1 Formation of Weixinan sag is comprehensively studied. Sublacustrine fan is characterized by the Bouma sequence implying typical turbidite, it is classified into two types of powerful hydrodynamic sedimentation and weak hydrodynamic sedimentation. For depositional texture, sublacustrine fan features grain distribution character of typical turbidite deposit in terms of grain size probability curves and C—M map, moreover, it contains large numbers of turbidite deposit structures. Sublacustrine fan is resulted from the condition of clifty paleolandform and abundant sedimentary supply, and formed at the location of deep water lacustrine area of fault slope-break zone or syndepositional structural slope-break zone. The sublacustrine fan formed from deep lacustrine, trap condition is excellent, a near source rock, hydrocarbon source is abundant, easily forming hydrocarbon reservoirs, already obtained commercial oil-gas flow in numbers of drilled well, and have great exploration foreground.

Key words: Weixi'nan sag; sublacustrine fan; sedimentary characteristics; exploration potential

第五届全国沉积学大会成功召开

由中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会主办,中国石油天然气集团公司支持,中国石油勘探开发研究院、中国石油油气储层重点实验室、中国石油碳酸盐岩储层重点实验室承办的第五届全国沉积学大会,于2013年10月16日—22日在浙江杭州市举行。

全国沉积学大会已成为各位沉积学同仁共享丰硕成果的盛会,也是学界交流、实现合作共赢的平台。本次大会有来自国内外代表1076人,国内代表来自中国科学院、北京大学、国土资源部、中国石油天然气集团公司等科研院所及企业,国外代表有来自瑞士、德国、荷兰、比利时、奥地利、印度等国家的多位专家、学者,创历届沉积学大会规模之最。

本届大会共有380人进行口头报告(共中大会报告9个),大会收到摘要540篇,论文全文150多篇,大会组织出版了论文选集、摘要集《沉积学报》专刊《海相油气地质》专刊。大会制作的专题片“中国石油工业与沉积学”,生动地展示了我国沉积学研究在我国石油工业发展中发挥的重要作用。

会上,颁发了中国沉积学成就奖,孙枢院士、刘宝珺院士首次获此殊荣。

本届大会以“沉积学创新与能源”为主题,广泛、深入交流了研究成果,充分展示了近四年来我国沉积学研究所取得的成就。与会代表在13个专题会上做了精彩的口头发言,展板汇报也同样精彩纷呈。不仅在沉积体系、层序地层、沉积大地构造学、古生物与沉积作用、沉积盆地动力学、沉积地球化学、海洋地质与沉积学、古气候与全球变化等方面展示了丰硕的新成果,而且在沉积学与非常规油气资源、细粒沉积作用、新技术—新方法等新领域也取得许多重要进展。会场学术交流气氛热烈,老、中、青学者共济一堂,广泛交流;一大批中青年科研骨干正茁壮成长为,他们敢于挑战,富于创新,在他们的身上看到了中国沉积学发展的灿烂未来。本届全国沉积学大会,有多位来自瑞士、德国、荷兰、比利时、奥地利、印度等国家的专家参加。国内外学者相聚一堂,在海洋沉积、白云岩成因、深海沉积作用等广泛的议题进行了学术交流。特别是国际沉积学家协会(IAS)主席Poppe de Boer教授、前主席Judith A. McKenzie教授分别作了大会主题发言。这将对进一步推动我国沉积学走向国际,增进与国际同行的交流和友谊起到重要的促进作用。

沉积学的创新,是沉积学发展的灵魂。我国沉积学的发展,与国家经济发展紧密相关,在大会期间,还召开了一次关于沉积学的发展如何为国民经济发展服务的讨论。中国沉积学完成了认识论上,从直觉描述性和经验总结性为主的沉积岩石学,到有理论指导的具有科学逻辑推理的、可用实践检验的沉积学的转变,在陆相湖盆沉积、小克拉通海相沉积、边缘海海域沉积、海相与陆相细粒沉积与非常规储层等创新研究,为世界沉积学发展做出了重大贡献,同时有力地指导了中国石油工业生产实践,为保障我国石油、天然气供应提供了重要保证;在其他领域也都发挥了重要支撑作用,中国沉积学的发展将为国家的经济建设做出更大的贡献。

总之,本届大会是一次很成功的大会。进行了非常广泛的学术交流,成绩斐然,硕果累累;检阅了四年来我国沉积学的进展和成就,也对今后的发展起到了启迪和引领作用。这次沉积学的盛会将推动我国沉积学取得更大的进步和发展。

会议交流后安排了陆相碎屑岩沉积、海相碳酸盐岩沉积、现代海滩—潮坪沉积、火山岩四条路线的野外地质考察,有国外及国内各行业的200多位代表参加。

(朱如凯 撰文)