

北部湾盆地涠西南凹陷流一段强制湖退沉积体的特征及其油气地质意义

裴健翔,董贵能,朱 其

[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始新统流沙港组一段发育一套斜交前积结构地层。利用地质、测井和地震等资料,通过单井相、连井对比和地震相特征等沉积相的综合研究,证实这套地层为强制湖退沉积体。该强制湖退沉积体在单井相上具有自下而上沉积水体明显变浅的特征,在连井对比中表现为多期三角洲纵向叠置横向有序迁移,而地震反射同相轴则表现出明显的斜交前积特征。进一步的研究表明,沉积基底局部构造抬升是流一段发生强制湖退的主控因素。这套强制湖退沉积体的发现不仅解决了涠西南凹陷涠三段和流一段区域地层划分与对比存在的分歧,同时在强制湖退沉积体系域内找到了浊积体、湖底扇和进积三角洲等多类型岩性圈闭,并发现了油气藏,拓展了凹陷找油新领域。

关键词:强制湖退;沉积体;流沙港组;涠西南凹陷;北部湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Characteristics and petroleum geological significance of lacustrine forced regressive deposits in the 1st Member of Liushagang Formation in Weixi'nan Sag, Beibuwan Basin

Pei Jianxiang, Dong Guineng, Zhu Qi

(Zhanjiang Company of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: An oblique progradational sequence occurs in the 1st Member of Liushagang Formation in Weixi'nan Sag, Beibuwan Basin. A comprehensive analysis of single well facies, multi-well correlation, and seismic facies based on geological, logging and seismic data reveals that it belongs to lacustrine forced regressive deposits. It is characterized by obvious upward shallowing in respect of single well facies, vertical overlapping and lateral sequential migration of multi-phase deltas in multi-well correlation, and significant oblique progradation reflection configuration on seismic profiles. Local uplifting of the basement is the main controlling factor for the development of lacustrine forced regression. The identification of the lacustrine forced regressive deposits helped to eliminate the disputes concerning stratigraphic division and correlation of the 3rd Member of Weizhou Formation and the 1st Member of Liushagang Formation in Weixi'nan sag. Meanwhile, it also led to the recognition of lithologic traps such as turbidite, sublacustrine fan, and progradational delta and the discovery of several reservoirs within the lacustrine forced regression system tracts, thus expanding new domains for oil and gas exploration in this sag.

Key words: lacustrine forced regression, deposit, Liushagang Formation, Weixi'nan Sag, Beibuwan Basin

“强制湖退”这一概念来源于“强制海退”^[1]。强制海退属于层序地层学的概念,强制海退沉积体是指在高水位体系域晚期,海平面的下降速度超过了基底构造沉降速度形成的一套地层,在强制海退作用下,所产生的沉积体系域发育一系列进积复合体,是寻找大型油气储集砂体的有利位置^[2-4],易于形成大型岩性圈闭群。强制湖退与强制海退类似,在陆相湖盆中,强

制湖退对储层、储盖组合、岩性圈闭都具有控制作用,利用强制湖退概念及在强制湖退沉积体系域中寻找岩性圈闭(油气藏)的勘探方法,很少有学者进行过研究,而且目前为止也很少有实例报道。只有操应长2003年提出强制湖退概念并在理论上分析强制湖退的成因^[5],柳成志等2005年提出松辽盆地姚一段存在强制性水退砂体并指出强制性水退砂体与上下泥岩组

收稿日期:2015-01-22;修订日期:2016-06-20。

第一作者简介:裴健翔(1970—),男,教授级高级工程师,油气勘探研究。E-mail:peijx@cnooc.com.cn。

基金项目:国家“十二五”重点科技攻关项目(2011ZX05025-002)。

合能形成岩性圈闭^[6]。以上学者的研究主要集中于从理论上分析其形成条件和成因,缺少对实例的深入解剖,因此有必要结合勘探实例总结强制湖退的识别特征,并深入挖掘其对油气成藏的地质意义。北部湾盆地涠西南凹陷始新统流沙港组一段(流一段)发育一套斜交前积结构地层,目前,这套地层已成为涠西南凹陷进行油气勘探的一个重要层位。笔者在单井相、连井对比和地震相特征等综合研究的基础上,分析其成因机制,证实这套地层为强制湖退沉积体。这一发现不仅解决了涠西南凹陷涠洲组三段(涠三段)和流一段区域地层划分与对比多年存在的分歧,同时为该区找到了一系列岩性圈闭,并发现了油气藏,拓展了涠西南凹陷找油新领域,这对该区岩性圈闭的勘探具有指导作用,同时对于其他地区寻找岩性油气藏也具有借鉴意义。

1 区域地质概况

涠西南凹陷属于北部湾盆地的北部坳陷,是中国南海北部大陆架西部一个重要的富油气凹陷。凹陷东南边缘与企西隆起相接,西北边缘为涠西南断层,西南边缘与海中凹陷相邻,其间被涠西南低凸起相隔(图1)。凹陷内发育3条近北东-南西走向的大型断裂——1号、2号和3号断裂,这3条大断裂控制了整个涠西南凹陷的构造格局。凹陷具有典型的断-坳双层结构,古近纪为断陷湖盆,整体上呈北断南超的箕状断陷构造样式,北部为陡坡,南部为缓坡,东西两侧为凹陷的长轴方向,地层自下至上为古新统长流组、始新

统流沙港组、渐新统涠洲组。新近纪为坳陷结构,沉积了一套海相碎屑岩^[7-10]。流沙港组细分为3段,即自下而上为流三段、流二段和流一段,其中,流二段主要沉积半深湖相、深湖相泥岩、页岩和油页岩,是凹陷的主要烃源岩^[11]。流一段由于紧邻下伏的流二段烃源岩,所以油源条件得天独厚,是目前涠西南凹陷岩性油气藏勘探的重要层序之一。流一段在凹陷内中西部已有多个岩性油藏的发现,这些岩性油藏在地震剖面上均表现为前积斜交地层。类似的这套前积斜交地层在凹陷内的西侧和东侧均大量发育,表现为不断进积叠加的三角洲沉积体系。这些进积叠加的三角洲沉积体系由强制湖退沉积作用形成,它的发现对于涠西南凹陷流一段岩性油气藏的勘探具有重要意义。

2 强制湖退沉积体的识别

强制湖退沉积体是涠西南凹陷流一段特殊的沉积体系,通过单井相、连井对比和地震相的综合研究,总结出强制湖退沉积体具有下述识别特征。

2.1 单井相特征

涠西南凹陷流一段强制湖退沉积体在单井相中表现出自下而上沉积水体明显变浅的特征。首先是泥岩颜色的变化,强制湖退沉积体在单井剖面上,下部泥岩为黑色、深黑色,向上依次变为深灰色、浅灰色,顶部为杂色。在岩性上,下部主要为泥岩、页岩夹薄层粉砂岩,向上变为泥岩、粗砂岩、薄层粉砂岩,并且页岩消失。砂岩含量自下而上变多,其厚度也变大。砂岩所

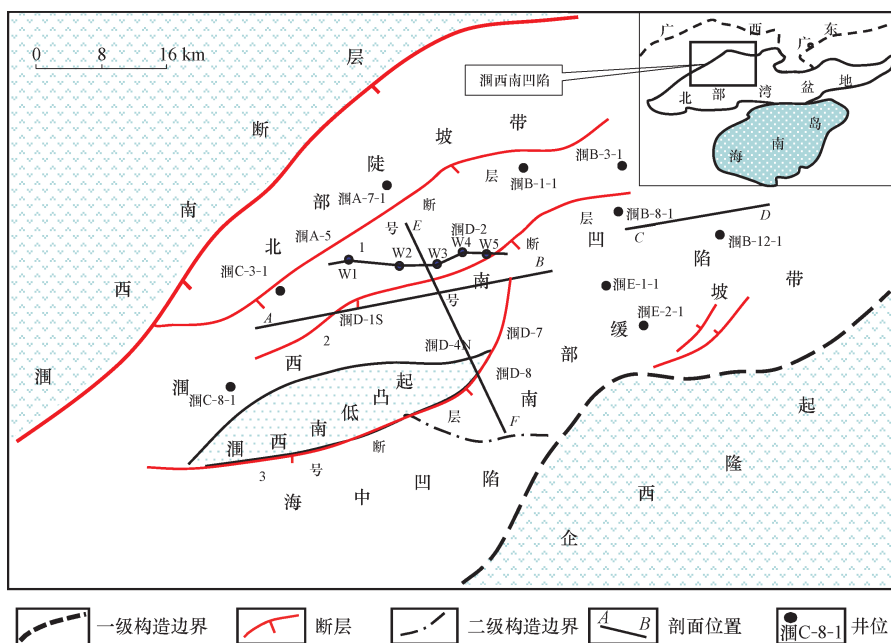


图1 涠西南凹陷地理位置及区域构造

Fig. 1 Location and regional structure map of Weixi'nan Sag

对应的伽马测井曲线主要为漏斗形,少量箱形,具有典型三角洲的垂向演化特征。根据测井曲线和岩性变化,很容易划分出不同期次的三角洲。每期三角洲包含数个短期旋回,早期三角洲包含的短期旋回个数多,而中晚期的三角洲包含的短期旋回个数变少。反映出在强制湖退沉积体系域内,随着湖平面的下降,沉积基准面和可容空间有规律地变化。早期的三角洲砂岩厚度和砂岩百分含量较小,而中晚期的三角洲砂岩厚度和砂岩百分含量都变大(图2)。

2.2 连井对比特征

连井对比反映出强制湖退沉积体中各砂岩储集层在纵向上的相互叠置关系和在横向上的变化规律,在

顺物源方向的连井对比中,强制湖退沉积体发育多期三角洲,三角洲纵向叠置,横向有序迁移(图3)。W1井井点为靠湖岸方向,W5井井点为靠湖心方向。各期三角洲自湖岸向湖心方向依次前积推进。强制湖退沉积三角洲砂体伽马测井曲线主要为箱形或漏斗形,尤其以反映河口坝的漏斗形组合形态占优,而反映分流河道的钟形组合形态少见。同时,在沉积亚相上,强制湖退三角洲缺乏三角洲平原亚相,仅发育三角洲前缘亚相和前三三角洲亚相,并且浊积体异常发育。浊积体上下围岩为厚层泥岩或厚层页岩。整体上,三角洲的箱状砂岩被厚层泥岩所夹,各期三角洲砂体都有油藏发现,并且具有不同的油水界面,其砂岩总体上表现出良好的储集性能。

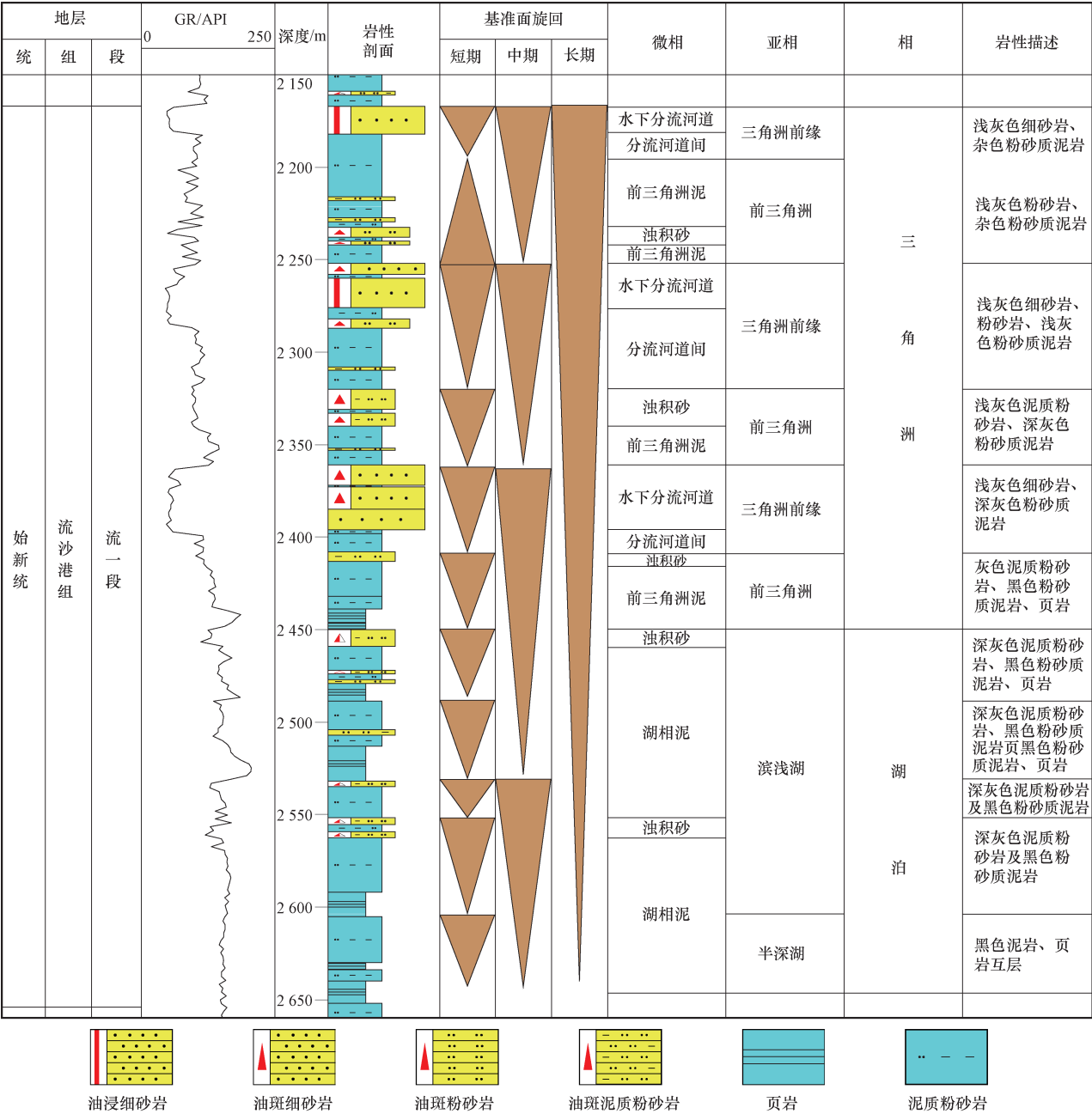


图2 涪西南凹陷 W5 井流一段单井相

Fig. 2 Single well facies of the 1st Member of Liushagang Formation in Well W5 in Weixi'nan Sag

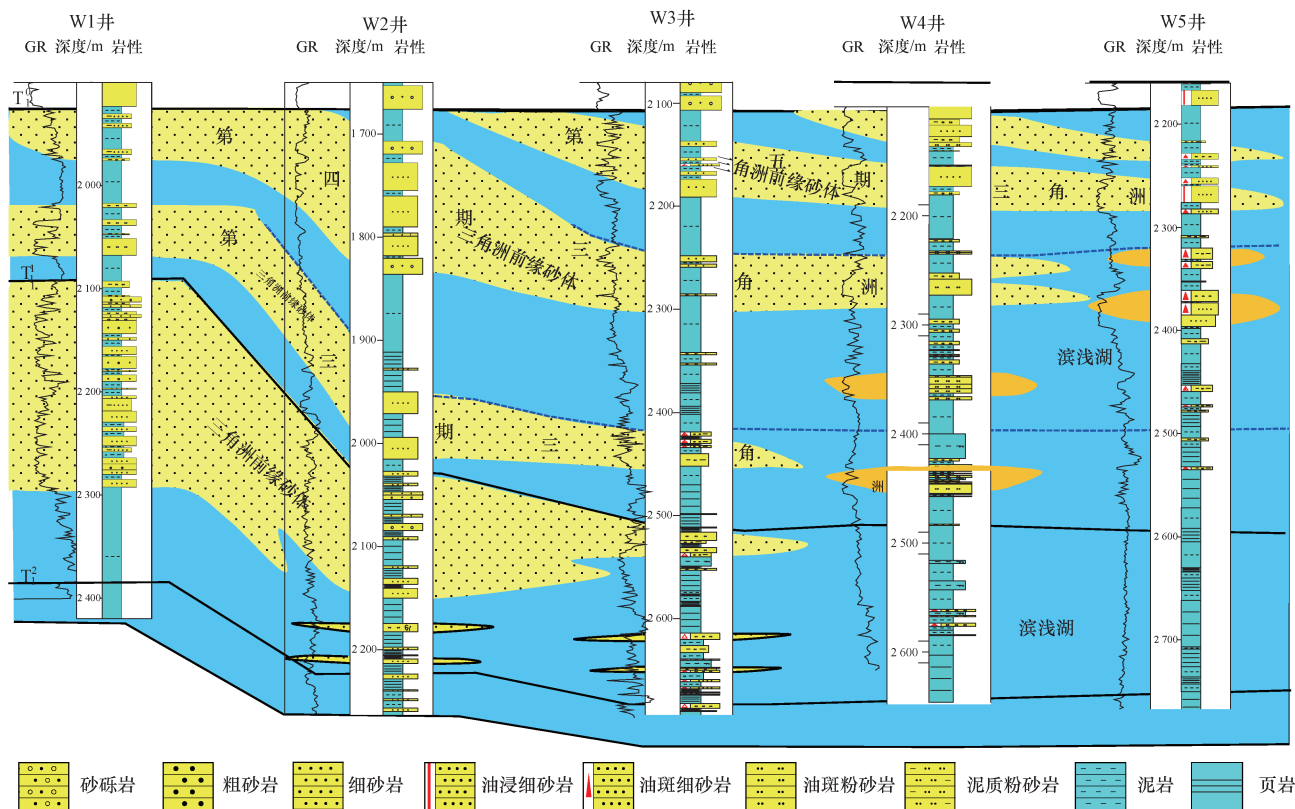


图3 涪西南凹陷 W1—W2—W3—W4—W5 流一段连井对比(剖面位置见图1)

Fig.3 Cross-well correlation of the 1st Member of Liushagang Formation between W1 - W2 - W3 - W4 - W5 wells in Weixi'nan Sag
(see Fig.1 for section location)

2.3 地震相特征

强制湖退沉积体最明显最直观的相标志是地震相。在地震相上,强制湖退沉积体表现为一系列地震反射同相轴不断斜交前积叠置(图4,图5)。前积体在涪西南凹陷内呈区域性大面积分布,尤其在凹陷长轴方向东西两端前积特征最明显。在物源方向,前积体与流一段顶界即 T_1^0 界面呈顶超接触,向湖盆方向,则为下超前积,下超在 T_1^2 界面上。并且,前积同相轴之间向下超方向呈收敛状,而非平行前积,前积体的顶部多被剥蚀即被削截,而缺乏顶积层,仅剩下前积层和底积层,这与研究区钻井揭示的三角洲缺乏三角洲平原亚相,而主要为前缘亚相和前三角洲亚相相吻合。根据同相轴斜交角度大小的变化、强反射或弱反射变化、频率变化,可以划分出不同期次的三角洲,再结合地震属性的提取可确定出各期三角洲的平面分布范围,其结果为西部发育5期大型三角洲,东部发育4期小型三角洲(图6)。

2.4 沉积相类型发育特征

强制湖退沉积体以发育丰富的浊积体、湖底扇和前积三角洲为特征。首先,在强制湖退沉积时期,由于湖平面快速下降,产生沉积基准面高差,滨岸砂体在波

浪侵蚀、地震等因素诱导下,往深湖区滑塌、浊积、再搬运,形成浊积体、湖底扇。在钻井岩心中能观察到丰富滑塌变形构造和鲍玛序列等沉积现象,说明其浊积体、湖底扇广泛存在。涪 B-1 构造、涪 D-2 构造、涪 E-1 构造和涪西南低凸起周缘都存在大量浊积体或湖底扇,且这些浊积体、湖底扇多有油气藏形成,这些油气藏除了其储层物性孔隙度和渗透率值稍低以外,油层厚,圈闭面积大,经油气测试证实其产能高,综合评价为优质油气藏。其次,强制湖退沉积体发育最重要的前积三角洲,在强制湖退作用下,湖平面不断下降,湖岸线不断向湖心方向迁移,形成一系列向湖心进积的三角洲。尤其在涪西南凹陷的长轴方向即东西两端,进积特征最明显。凹陷西端物源比东端物源充足,所以西端形成大型三角洲而东端三角洲较小(图 6)。钻井揭示这些三角洲其平原亚相不发育,其原因可能是由于湖平面的强烈下降,基底沉降速度慢于湖平面下降速度,使得河流侵蚀能力增强,先期沉积的顶部地层被剥蚀,造成三角洲平原亚相没有保存下来。在正常情况下,三角洲能保存完整的三角洲平原亚相、前缘亚相及前三角洲亚相系列,当基底沉降速度慢于湖平面下降速度时,形成了这种独特的沉积相组合特征。

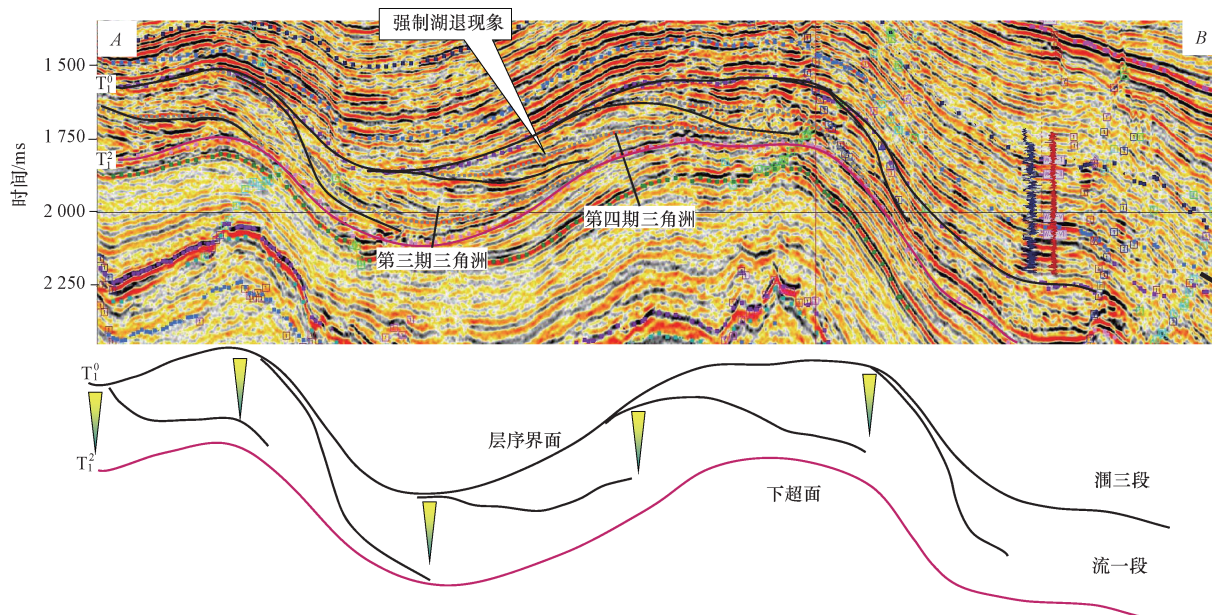


图4 涪西南凹陷西部强制湖退沉积体地震相特征(剖面位置见图1中A—B线)

Fig. 4 Seismic facies characteristics of the deposits of lacustrine forced regression in western Weixi'nan Sag (see line A—B in Fig. 1 for section location)

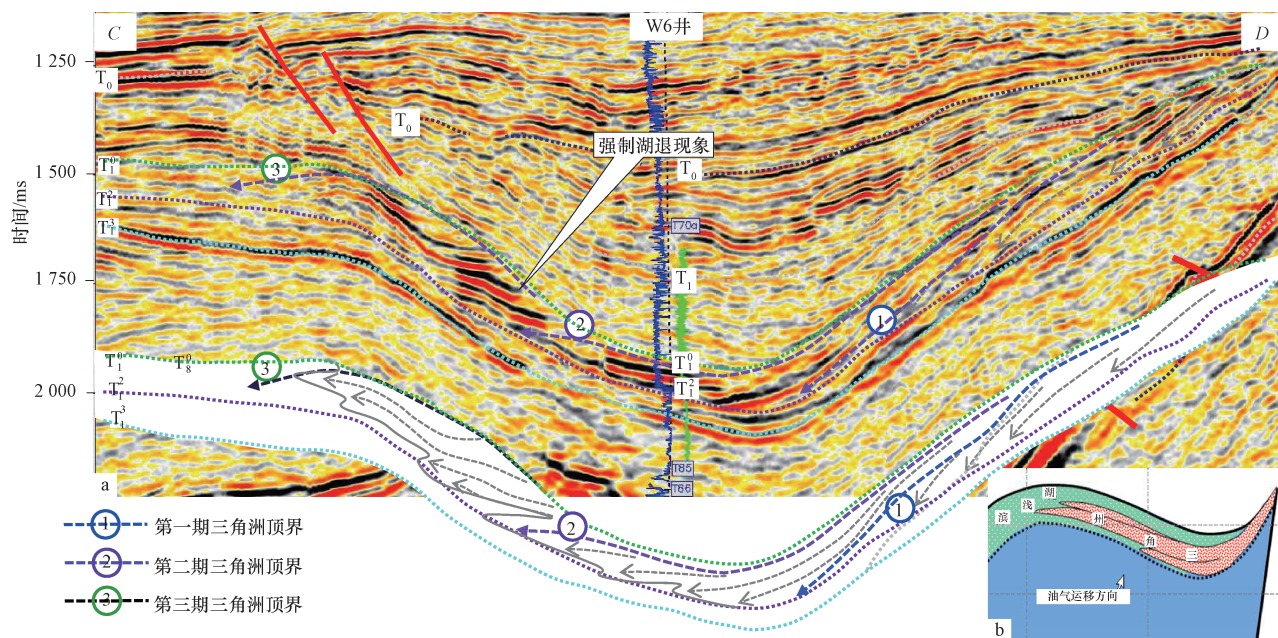


图5 涪西南凹陷东部强制湖退沉积体地震相特征(a)及三角洲前缘砂岩上倾尖灭岩性圈闭形成模式(b)(剖面位置见图1中C—D线)

Fig. 5 Seismic facies characteristics of the deposits of lacustrine forced regression(a) and updip pinch-out lithologic trapping modes of delta front sandstone(b) in eastern Weixi'nan Sag (see line C—D in Fig. 1 for section location)

3 强制湖退沉积体的成因机制

陆相断陷湖盆的湖平面升降主要受区域构造运动(沉降和抬升)和古气候的控制^[6,12-13]。构造抬升运动将使沉积基底升高,而湖盆的最低水体溢出点不变,即绝对湖平面不变,湖盆具有敞流的性质,此时,相对湖平面由于基底抬升而下降,水深变浅,形成强制湖退^[5,12]。当古气候由潮湿变干旱时,湖泊水体蒸发量

增大,当蒸发量大于注入量时,将导致湖平面下降,也能形成强制湖退^[5,13]。目前还没有足够证据证明涪西南凹陷流一段沉积时期古气候变干旱。但是,构造演化史和应力变化分析表明涪西南凹陷在流一段沉积时期局部发生了构造抬升(表1;图7)。图7南北向剖面反映了涪西南凹陷的构造演化历程:长流组至流二段上层序各沉积时期(古新世至早—中始新世),湖盆一直为南北向拉张应力,在张裂背景下基底沉降,形成整体上北断南超的箕状断陷充填模式,北部陡坡带地层

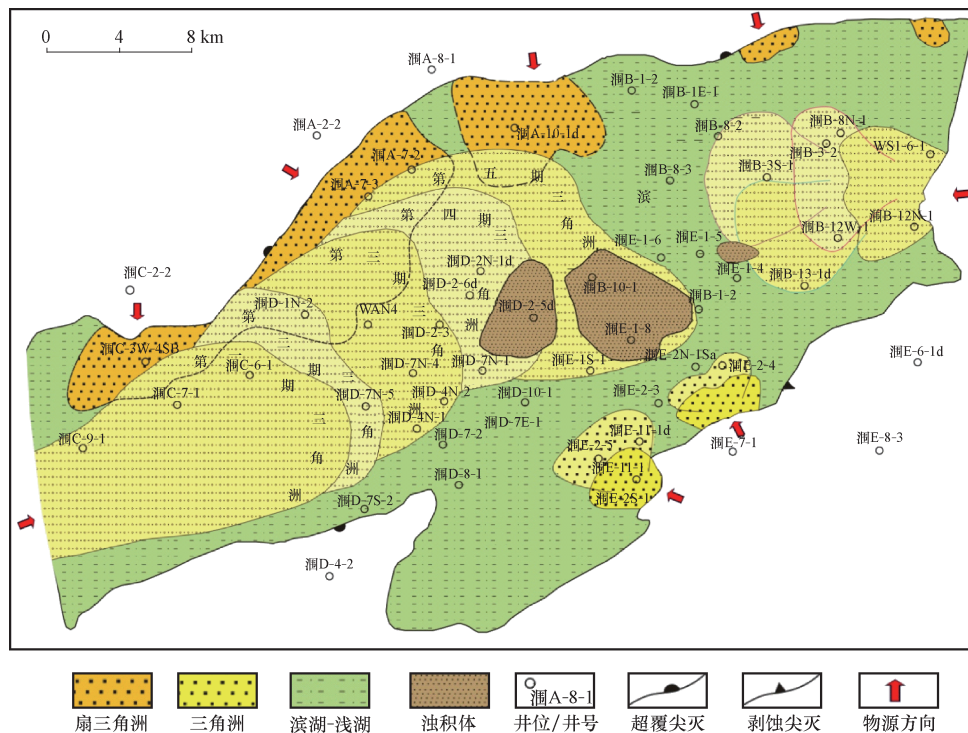


图 6 涠西南凹陷流一段 $T_1^0-T_1^2$ 沉积相平面分布

Fig. 6 Planar distribution of sedimentary facies of the 1st Member of Liushagang Formation ($T_1^0-T_1^2$) in Weixi'nan Sag

表 1 涠西南凹陷构造应力演化

Table 1 Tectonic stress evolution of Weixi'nan Sag

演化阶段		主要构造事件	应变椭圆
张裂后阶段		NW-SE挤压, 轻微褶皱解体不整合 (由张裂转为热沉降)	
张裂阶段	始新世末 早-中渐新世 (Ⅲ)	NE右行扭动, 下部地层褶皱开始	
		(扭张性, NE右行扭动+近NS拉张)	
	始新世 (Ⅱ)	第二次张裂开始 (NW-SE拉张)	
	晚白垩世 古新世 (Ⅰ)	第一次张裂开始 (NW-SE拉张)	

厚,南部缓坡带地层薄。而流一段至涠洲组沉积时期(始新世末至渐新世),构造应力处于拉张至挤压的过渡时期。其中,流一段沉积时期(始新世末)应力为南北向拉张、北东-南西向右行扭动,在此南北拉张、东-西扭动的双重背景下,构造运动具有两大特点。一是在南北方向上,受南北向拉张力影响,主要发生构造

掀斜作用。北部陡坡带表现为构造沉降,相对湖平面升高,发生沉积充填。南部缓坡带表现为掀斜抬升,相对湖平面降低,导致南部斜坡带流二段上层序地层部分被剥蚀,低凸起区流三段、流二段上层序、流二段下层序地层全部被剥蚀。二是在东西两端,受北东-南西向右行扭动力影响,主要发生基底挤压构造抬升作用。因此,无论是南北方向还是东西方向,局部构造抬升作用是流一段发生强制湖退的主控因素。就整个涠西南凹陷而言,凹陷南部斜坡带主要受构造掀斜影响,构造抬升量相对较小,而凹陷东西两端主要受到基底挤压影响,构造抬升量最大,湖平面下降幅度也最大,因而东西两端长轴方向强制湖退形成的前积斜层最发育。

4 强制湖退沉积体发现的油气地质意义

4.1 强制湖退沉积体的发现解决了涠三段和流一段地层划分与对比存在的分歧

强制湖退沉积体的发现解决了多年来涠三段、流一段地层划分与对比存在的分歧。强制湖退体系域由于产生一系列斜积地层并形成一系列三角洲,地震解释中进行层位追踪时产生了不同方案,涠洲组(细分为三段,即自下而上涠三段、涠二段和涠一段)与流一段的分界 T_1^0 在不同方案中,各自落在不同期次三角洲的顶界,导致不同方案的 T_1^0 界面不统一,而且在湖盆中

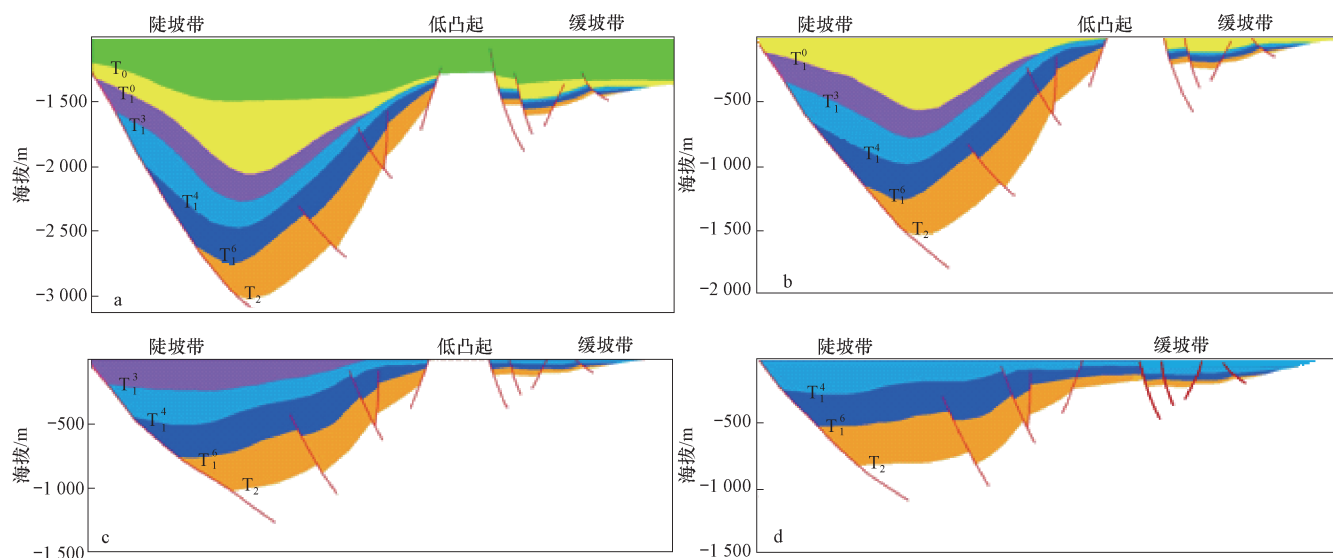


图7 涪西南凹陷构造演化史恢复(剖面位置见图1中E—F线)

Fig. 7 Tectonic evolution history reconstruction of Weixi'nan Sag (see line E—F in Fig. 1 for section location)

a. 现今地层剖面; b. 涪洲组沉积后地层剖面; c. 流一段沉积后地层剖面; d. 流二段沉积后地层剖面

T_0 以上, 新近系; T_1^0 — T_1^1 , 流一段; T_1^3 — T_1^4 , 流二段上层序; T_1^4 — T_1^6 , 流二段下层序; T_1^6 — T_2 , 流三段—长流组

心如涪E-1构造经常多出一套至两套地层,为了解决这一多出的一套至两套地层,以前采用涪四段来命名,但其他地区却缺少涪四段。在对涪三段、流一段进行地层划分对比时,经常造成地层出现穿时串层问题。根据层序地层学原理,理解强制湖退沉积体必须把握两个重要原则:①强制湖退沉积体属于高水位晚期湖平面下降沉积^[14-17]。即强制湖退其底界属于洪泛面^[14],在下伏地层流二段沉积以后,涪西南凹陷湖平面位置还很高,在此基础上,湖平面快速下降,形成了强制湖退沉积体,但这一系列强制湖退沉积体所处的湖平面位置仍然很高。②强制湖退沉积体的顶界面为层序界面^[14]。根据这两个原则,把 T_1^0 层序界面统一在所有前积斜层沉积之后,无论哪一期三角洲或与三角洲同年代的其他沉积体,都归为同一体系域,即强制湖退体系域。强制湖退体系域之上为下一个层序的低位体系域,属于涪洲组地层,已经不属于流一段(图4)。根据 T_1^0 统一后的界面,上述涪四段应调整为流一段。以此解决了以前 T_1^0 落在不同期次三角洲的问题和流一段的穿时问题。

4.2 强制湖退沉积体的发现拓展了找油新领域

多年来,涪西南凹陷的油气勘探主要围绕构造圈闭油气藏开展,随着勘探程度的不断提高,岩性圈闭成为重要的勘探方向。流一段强制湖退沉积体的发现为凹陷拓展了找油新领域。由于强制湖退沉积体属于高水位晚期湖平面下降沉积^[14],强制湖退沉积时期,其湖平面位置较高,地层属于富泥型沉积。由于强制湖退沉积体的这一特殊性,整体上以泥岩沉积为主,为厚层泥岩

夹相对较薄的箱状砂岩,厚层泥岩与薄层砂岩有机配合,更易形成岩性圈闭。所以,流一段强制湖退沉积体成为涪西南凹陷岩性圈闭勘探的主要目标,目前已在该套沉积体内找到了浊积体、湖底扇和进积三角洲等多种类型岩性圈闭,并已发现了油气藏。

4.2.1 流一段强制湖退体系域内发育丰富的浊积体、湖底扇岩性油气藏

在强制湖退沉积时期,由于湖平面快速下降产生沉积基准面高差,滨岸区三角洲、滩坝等砂体来不及固结成岩,在波浪侵蚀、地震等因素诱导下,往凹陷中央深湖区滑塌再搬运,形成新的浊积体或湖底扇。浊积体、湖底扇处于深湖区,临近烃源,油气富足,且深湖区泥岩厚度大,封盖条件好,利于油气直接运聚成藏。

4.2.2 流一段强制湖退体系域内形成多期进积三角洲

进积三角洲具有三大优越成藏条件:①三角洲的前积作用,加上三角洲分流河道在平面上的摆动,形成三角洲砂岩与湖相泥岩组成的砂/泥互层,储盖组合优良。并且,这些优良的储盖组合在三角洲的前端发生构造抬升,形成了一系列砂岩上倾尖灭岩性圈闭(图5)。②强制湖退三角洲以三角洲前缘亚相为主,三角洲前缘亚相砂岩正处于滨湖区,被滨湖区波浪反复淘洗,泥质含量低,砂质纯净,易于形成高孔高渗储层。虽然流一段强制湖退三角洲整体上以泥岩层为主,但是所钻遇的三角洲中砂岩都属于优质储层。③受湖平面下降的控制,三角洲不断向湖中推进,推进至深洼区的三角洲与下伏高位域时期的烃源岩直接接触,更利

于油气运移成藏,而且,不同期次三角洲能形成众多的独立圈闭,展示了较大的勘探前景。

5 结论

1) 单井相、连井对比、地震相和沉积相类型发育特征等表明涠西南凹陷流一段发育强制湖退沉积体。

2) 沉积基底局部构造抬升是流一段发生强制湖退的主控因素。

3) 这套强制湖退沉积体的发现不仅解决了涠西南凹陷涠三段、流一段区域地层划分与对比多年存在的分歧,同时,在该套强制湖退沉积体系域内找到了油积体、湖底扇、进积三角洲等多类型岩性圈闭,并发现了油气藏,拓展了凹陷找油新领域。

参 考 文 献

- [1] 操应长. 断陷湖盆中强制湖退沉积作用及其成因机制[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 84-90.
Cao Yingchang. Sedimentation and its forming mechanism of the forced lacustrine regression in the rift lacustrine basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 84-90.
- [2] Henry W P, Allen G P, James D P, et al. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 1687-1709.
- [3] 梅冥相, 杨欣德. 强迫型海退及强迫型海退楔体系域—对传统 Exxon 层序地层学模式的修正[J]. 地质科技情报, 2000, 19(2): 17-21.
Mei Mingxiang, Yang Xinde. Forced regression and forced regressive wedge system tract: revision on traditional Exxon model of sequence stratigraphy[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(2): 17-21.
- [4] 吴因业, 顾家裕, Cedric G, 等. 塔里木盆地满西区块强制海退体系域沉积模式[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 21-25.
Wu Yinye, Gu Jiayu, Cedric G, et al. Depositional model for forced regressive systems tract of Manxi Block in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(4): 21-25.
- [5] 操应长, 姜在兴, 夏斌. 幕式差异沉降运动对断陷湖盆中湖平面和水深变化的影响[J]. 石油实验地质, 2003, 25(4): 323-327.
Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Xia Bin. Effects of episodic differential subsidence on the changes of lake level and water depth in rift lake basins[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(4): 323-327.
- [6] 柳成志, 袁红旗, 张海燕, 等. 陆相盆地强制性水退对油气的控制作用[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(4): 18-20.
Liu Chengzhi, Yuan Hongqi, Zhang Haiyan, et al. Effect of forced regression on hydrocarbon in nonmarine basins[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(4): 18-20.
- [7] 龚再升. 近期陆上勘探进展对近海油气勘探的启示[J]. 中国海上油气, 2006, 18(1): 1-5.
Gong Zaisheng. Enlightenments of recent successes in onshore petroleum exploration on offshore exploration in China[J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(1): 1-5.
- [8] 谢泰俊, 张通彩. 北部湾盆地东北部含油气系统及勘探方向[J]. 中国海上油气, 1996, 10(5): 297-303.
Xie Taijun, Zhang Tongcai. The petroleum system and exploration targets in the northeastern part of Beibu gulf Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 1996, 10(5): 297-303.
- [9] 朱伟林, 江文荣. 北部湾盆地涠西南凹陷断裂与油气藏[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 6-10.
Zhu Weilin, Jiang Wenrong. Relations between fractures and hydrocarbon reservoirs in Weixinan Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(3): 6-10.
- [10] 胡望水, 吴婵, 梁建设, 等. 北部湾盆地构造迁移特征及对油气成藏的影响[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 920-927.
Hu Wangshui, Wu Chan, Liang Jianshe, et al. Tectonic transport characteristics and their influences on hydrocarbon accumulation in Beibuwan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 920-927.
- [11] 包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 等. 北部湾盆地原油地球化学特征与成因类型[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 293-298.
Bao Jianping, Liu Yurui, Zhu Cuishan, et al. Geochemical characteristics and genetic types of crude oils in Beibuwan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 293-298.
- [12] 王家豪, 王华, 周海民, 等. 断陷湖盆基底非线性沉降与 II 型层序的形成—以冀东油田南堡凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 203-206.
Wang Jiahao, Wang Hua, Zhou Haimin, et al. Basement nonlinear subsidence of faulted lake basin and type-II sequence formation: take NANPU depression in JIDONG oil fields as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 203-206.
- [13] 顾家裕, 张兴阳. 陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 484-490.
Gu Jiayu, Zhang Xingyang. Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 484-490.
- [14] 吴因业, 朱如凯, 罗平, 等. 沉积学与层序地层学研究新进展——第 18 届国际沉积学大会综述[J]. 沉积学报, 2011, 29(1): 199-206.
Wu Yinye, Zhu Rukai, Luo Ping, et al. Advance on sedimentology and sequence stratigraphy: a summary from 18th international sedimentology congress[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(1): 199-206.
- [15] 马宏霞, 孙辉, 邵大力, 等. 缅甸若开盆地上中新统—上新统深水沉积层序地层划分及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 136-141.
Ma Hongxia, Sun Hui, Shao Dali, et al. Sequence stratigraphy of the Upper Miocene-Pliocene deepwater deposits and its controlling factors in Rakhine Basin, Myanmar[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 136-141.
- [16] 刘敬强, 田世澄, 焦勇, 等. 层序地层学与成藏动力学的耦合及在油气勘探中的意义[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 628-633.
Liu Jingqiang, Tian Shicheng, Jiao Yong, et al. Coupling of sequence stratigraphy and hydrocarbon accumulation dynamics and its significance in petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 628-633.
- [17] 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平. 成油体系中的层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 221-226.
Chen Kaiyuan, Sun Aixia, Du Ningping. Sequence stratigraphy in oil forming system[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 221-226.

(编辑 张亚雄)