

辽中凹陷北洼东营组湖底扇类型及沉积特征研究

李玉琢*, 夏世强#, 李 册, 李云龙

华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山

收稿日期: 2022年3月23日; 录用日期: 2022年4月4日; 发布日期: 2022年4月11日

摘 要

在渤海湾盆地内部湖底扇作为良好的油气储集空间广泛分布, 但其中湖底扇发育特征仍不明确, 类型划分仍不统一, 有利的油气储集空间有待进一步确定。在此问题基础上, 本文利用岩心、测井、地震等资料, 对辽中凹陷北洼东营组湖底扇类型及沉积特征进行分析。结果表明: 研究区发育4种类型湖底扇, 包括近岸陡坡型、远岸缓坡型、滑塌型、深水轴向型湖底扇。不同类型的湖底扇在形成过程、发育环境、沉积特征上存在明显差异。通过录井岩性、岩心、测井曲线叠加形态、地震反射同相轴外部几何形态与内部反射结构确定了不同类型湖底扇识别模式, 为研究区东营组湖底扇储集层油气勘探提供地质依据。

关键词

湖底扇, 沉积特征, 东营组, 辽中凹陷, 辽东湾

Research on Types and Sedimentary Characteristics of Sublacustrine Fans in Dongying Formation, Northern Liao Zhong Depression

Yuzhuo Li*, Shiqiang Xia#, Ce Li, Yunlong Li

College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: Mar. 23rd, 2022; accepted: Apr. 4th, 2022; published: Apr. 11th, 2022

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 李玉琢, 夏世强, 李册, 李云龙. 辽中凹陷北洼东营组湖底扇类型及沉积特征研究[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(4): 427-439. DOI: 10.12677/ag.2022.124044

Abstract

In the Bohai Bay Basin, the sublacustrine fans are widely distributed as potential hydrocarbon reservoirs. However, the development characteristics and the types of sublacustrine fans are still unclear. Therefore, the favorable hydrocarbon reservoirs need to be further determined. Regarding to this issue, the cores, wireline logs and seismic volumes from northern Liaozhong Depression are employed to identify the types and analyze sedimentary characteristics of sublacustrine fan in Dongying Formation. The results indicate that four types of sublacustrine fans are identified in the study area, including nearshore steep slope fan, infralittoral gentle slope fan, slide sublacustrine fan, and deep-water axial fan. There are obvious differences in formation mechanisms, sedimentary environment and sedimentary characteristics of different types of sublacustrine fans. Through sieve logs, cores, stacking patterns of wireline logs, external geometry and internal architecture of seismic events, the identification modes of different types of sublacustrine fan are established, which provides geological basis for hydrocarbon exploration in sublacustrine fan of Dongying Formation.

Keywords

Sublacustrine Fan, Sedimentary Characteristics, Dongying Formation, Liaozhong Depression, Liaodong Bay

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

渤海湾盆地是中国东北部的边缘海盆地, 受欧亚板块、印度板块与太平洋板块的相互作用而形成独特的地球动力学背景[1] [2] [3] [4], 因盆地内部富含大量油气资源而受到国内外学者以及油气工业界的关注。辽东湾坳陷位于渤海湾盆地东北部, 由于其众多湖底扇油气藏的发现而成为勘探开发的热点领域[5] [6] [7] [8]。近些年来, 对于湖底扇的研究集中于湖底扇地震响应特征及成因机理分析[9] [10] [11], 而根据岩心、录井、测井响应和地震响应综合研究湖底扇沉积特征的公开报道较少, 因此本文基于岩心、钻测井资料和地震资料根据湖底扇形成机制、地质-地震响应特征以及砂体分布位置将湖底扇分为近岸陡坡型、远岸缓坡型、滑塌型以及深水轴向型湖底扇。为研究区湖底扇油气藏勘探提供地质依据。

2. 区域地质概况

2.1. 构造演化

渤海湾盆地是中国东北部重要的含油气盆地, 位于中国东部的大陆边缘, 形成于白垩纪晚期至古近系, 是发育于华北地台内部的中新生代断陷——凹陷盆地[11]。盆地整体上下窄, 中间较宽, 呈菱形(图1)。南北分别与鲁西隆起、燕山褶皱相邻, 东西与太行山隆起、辽东以及鲁东隆起相邻[12] (图1)。盆地的形成主要经历了加里东、印支、燕山、喜山等多次构造运动[11]。从加里东期到印支期经历了广泛的区域性升降运动并且持续时间较长, 在此运动期间内盆地未发生沉积和剥蚀作用。从印支期到喜山期经历了伸展、挤压、走滑等不同的构造环境, 并且在燕山期盆地内挤压作用达到最大, 产生引张运动[13]。在

拉张力的作用下,盆地内部产生了两组深大控凹断裂,受断裂的控制形成了一系列半地堑为主的箕状凹陷[14],两组断裂系统控制盆地内形成七个拗陷,其间由四个隆起相分隔开[13](图1)。辽东湾拗陷作为下辽河凹陷的陆上延伸与渤海地区构造沉降史基本一致,在渤海湾盆地走滑拉分与伸展断陷叠加复合的大构造背景下,辽东湾地区古近纪先后经历过始新世至渐新世裂陷拉分活动、新近纪至第四纪的整体热沉降[15]。裂陷演化活动使盆地整体规模变大,辽东湾逐渐发育成大规模的半地堑拗陷,经过整体的沉降活动后最终形成统一的拗陷盆地[16]。

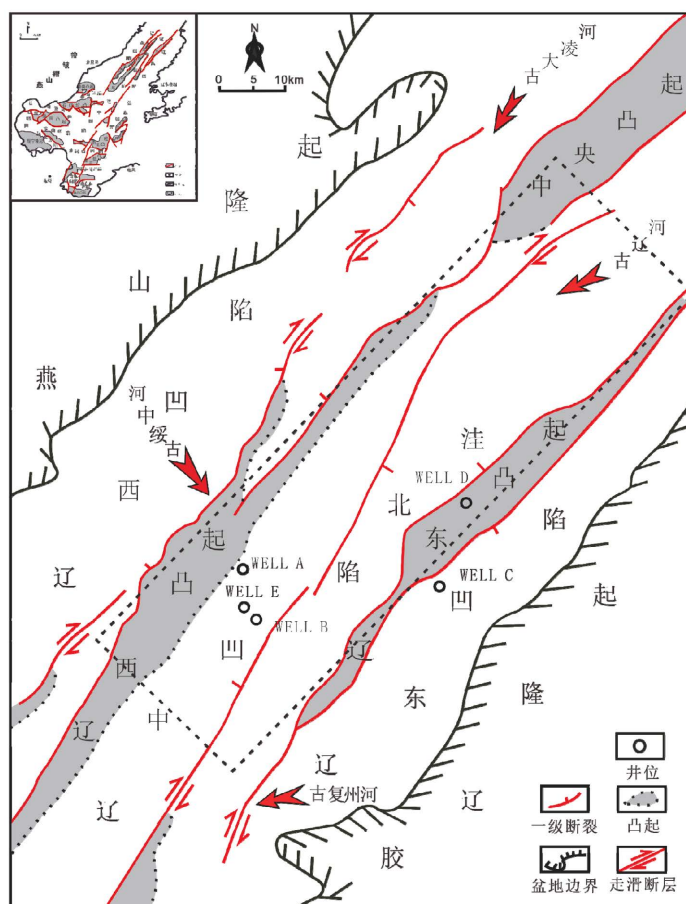


Figure 1. The location and distribution of faults and structural units in Liaozhong Depression
图 1. 辽中凹陷断层与构造单元分布及位置

辽中凹陷地处辽东湾拗陷东北部,在喜山运动期受伸展裂陷、走滑伸展等构造作用影响导致地幔隆升,同时由于古近系基底发育的 NE 向张性断层影响,形成现今辽西凹陷、辽中凹陷、辽东凹陷、辽西低凸起、辽东凸起的构造格局[17](图1)。喜山期,在沙河街组形成的以地垒地堑结构的均匀沉降基础上继续发育东营组沉积地层。整个东营组沉积期盆地裂陷作用从东三沉积期开始到东二沉积期达到最大后开始减弱。东三沉积期辽东湾整体处于走滑拉张叠加作用阶段,构造活动强烈,导致凹陷内部构造系统较为复杂,形成非对称的半地堑结构雏形[18],凹陷中心发育规模不等的湖底扇体系。在东二沉积期,在盆地构造活动减弱的背景下,盆地内部以沉积作用为主,盆地内部形成多期三角洲沉积,这些三角洲前缘砂体最终为其下部湖底扇供源。在东一沉积期,由于晚期区域构造剥蚀作用,东一沉积期沉积厚度减薄,凹陷两侧以及边缘发育辫状河三角洲,凹陷中心发育滨浅湖泥质沉积。

2.2. 地层特征

在研究区内，东营组地层沉积较为完善，自上而下包括东一段、东二段和东三段三个三级层序。东三段以湖泊相厚层深灰色泥岩夹杂薄层砂岩、粉砂岩为主[15]，在断层边界处发育有三角洲沉积。东二上段岩性主要为泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩组合为主，东二下段地层岩性主要为厚层泥岩与砂岩、粉砂岩互层为主，发育三角洲、湖泊沉积[16]。东一段沉积期继承了东二段沉积期的发育背景，主要为三角洲、湖泊和沼泽环境，岩性为灰、深灰、黄绿、褐色泥岩与灰白色砂岩，在辽东拗陷内发育最好，覆盖整个辽东湾地区[14]。(图 2)

地层			岩性柱状图	层序划分		反射界面	年龄	沉积体系	构造演化		
系	统	组		四级	三级				III	幕	
古近系	渐新统	D ₁	-	d ₁	Sqd ₂	T ₃ ^u	28.1	河流三角洲 滨浅湖	右旋走滑拉分	裂陷 III 幕	
				上							d ₂ S
		D ₂	-	d ₂ x ¹	Sqd ₂	T ₃ ^m	30.3	河流三角洲 半深湖—深湖 湖底扇			
				下							d ₂ x ²
				D ₃							d ₃ ₁
		d ₃ ₂									
				d ₃ ₃							

Figure 2. Comprehensive column of Dongying Formation in Liaozhong Depression (integrated and modified from [18])
图 2. 辽中凹陷东营组综合柱状图(根据文献[18]改)

3. 湖底扇类型及沉积特征

粗碎屑以重力流的方式搬运至湖盆内部最终在深水区沉积下来而形成的沉积体系为湖底扇。根据湖底扇沉积特征及分布位置可将辽中凹陷北洼东营组湖底扇划分为四种类型：深水轴向湖底扇、近岸陡坡湖底扇、远岸缓坡湖底扇以及滑塌湖底扇。四种类型湖底扇在研究区分布于不同的构造位置，具有各自的沉积特征和内部结构。

3.1. 近岸陡坡湖底扇

近岸陡坡湖底扇发育于断陷湖盆坡度较陡的一侧，湖底沉积物厚度由两侧向中间明显增厚。沉积物经陡坡向湖底运移过程中，由于重力作用具有较大的能量，进入湖盆后不会立即沉积而是继续向前运移一段距离，在湖盆底部向前搬运的过程中形成下切水道，最终在湖盆深处沉积形成湖底扇砂体。近岸水下扇发育有扇根、扇中、扇端三个亚相，其中以扇中下切水道最为发育，扇端发育程度较差[1]。

3.1.1. 岩石学特征

近岸水下扇为重力流作用下形成的沉积相，主要依靠颗粒之间互相碰撞所产生的扩散应力支撑碎屑，

这种扩散应力可以支撑粗砂和砾石,因而该类沉积体中常含有较粗大的颗粒[19]。研究区近岸陡坡类型湖底扇主要发育于东营组的厚层暗色泥岩中,扇体内下部岩性以砂岩、灰质粉砂岩夹泥岩为主。上部以砂岩夹少量泥岩为主,下部以泥岩为主,整体上表现为由粗到细的反粒序沉积特征。

3.1.2. 测井特征

辽中凹陷内部发育多期近岸湖底扇,井 WELL-A 钻遇湖底扇扇中部位,测井响应特征可见该湖底扇发育于厚层泥岩之中,由于岩性差异,在 GR 测井曲线上有明出现幅度异常,呈齿化箱型、低异常幅度(图 3),与湖底扇上下发育的厚层泥岩有明显区分。井 WELL-B 则钻遇断层,岩性主要为砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、灰质粉砂岩,粗细混杂,与断层活动密切相关。GR 测井曲线可见漏斗形组合(图 3),组成三期水退旋回。根据测井响应特征分析,东二下段上部发育前三角洲、深湖-半深湖等沉积亚相,受断层影响可能为下部湖底扇供源。

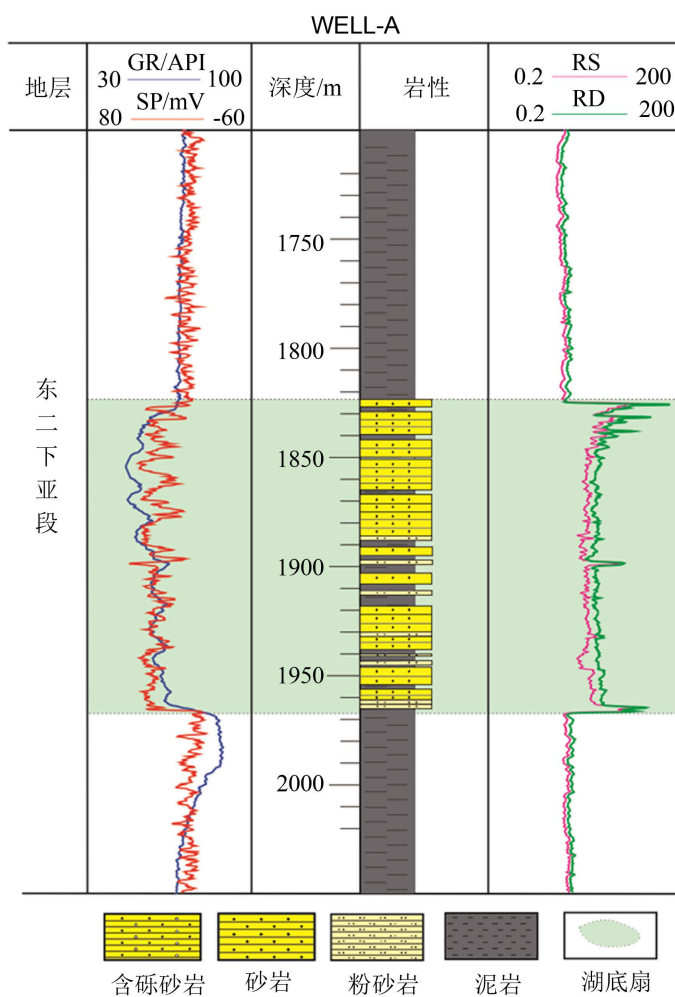


Figure 3. The wireline responses of nearshore sublacustrine fan
图 3. 近岸湖底扇测井响应特征

3.1.3. 地震相特征

研究区近岸陡坡湖底扇主要发育在东二沉积期下亚段,从地震剖面上可以看出两期不同类型的湖底扇叠置的情况,上部湖底扇延伸较远,展布范围较大。下部湖底扇紧邻断面发育,呈透镜状向湖中心延

伸,厚度由中心逐渐向两侧减薄,顺物源方向可以看出明显的楔形前积结构,符合近岸陡坡湖底扇沉积特征(图4)。由于砂泥岩波阻抗差异,扇体内部与周围地层地震反射特征明显不同,内部砂体表现为杂乱、强振幅反射特征,且连续性差(图4),是重力流高能快速沉积的重要标志。扇体上部、下部反射振幅较为连续,呈平行-亚平行结构(图4),与测井资料相符合。

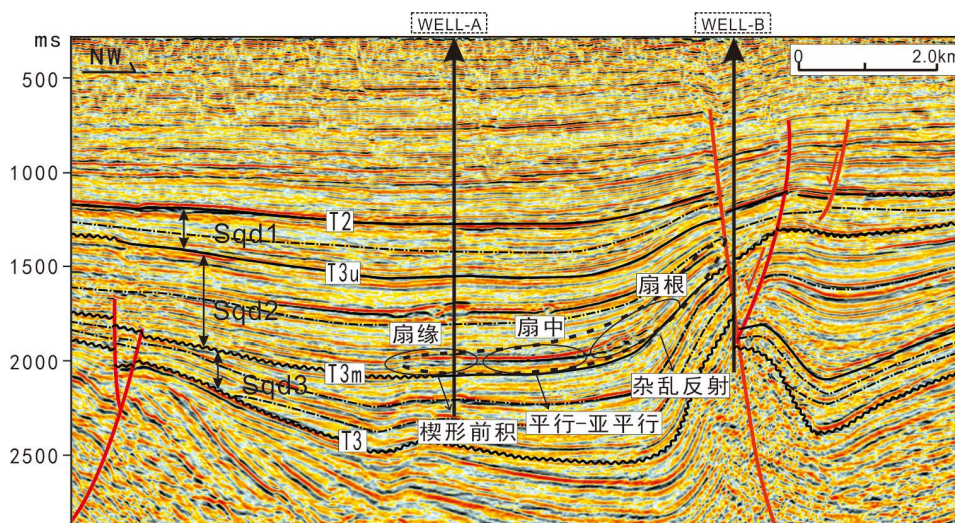


Figure 4. The seismic reflections of nearshore sublacustrine fan
图4. 近岸湖底扇地震反射特征

3.1.4. 发育情况及勘探意义(成藏条件分析)

研究区位于陆相断陷湖盆环境中,形成了以重力流为主、多物源供给的沉积体系。复杂的构造环境和物源供给特点,形成了复杂多样的湖底扇体类型,平面上扇体分布随古地形变化而不同,纵向两期扇体相互叠置。而研究区古近系构造活动强烈,促使湖盆局部被挤压抬升,形成大量陡坡带,为近岸湖底扇体的发育提供了良好的沉积环境,湖底扇体上下均包裹着厚层的湖相泥岩,具有良好的生储条件,因此该区内东营组二段的湖底扇体也是油气勘探的主要研究目标。

3.2. 远岸缓坡湖底扇

不同于近岸陡坡湖底扇,远岸缓坡湖底扇形成过程更为缓慢,主要发育于湖盆生长过程中较为稳定的阶段,集中分布在断陷湖盆靠近缓坡一侧。在湖盆扩张时期受水动力影响不断向前沉积并在湖底形成沉积物向前搬运的通道,陆上碎屑物质进入湖盆后顺着水下古河道形成重力流,经过多次向前搬运堆积作用后,最终在湖底堆积形成远岸缓坡湖底扇。

3.2.1. 岩石学特征

远岸缓坡湖底扇岩性上整体表现为湖底扇砂体与厚层湖相泥岩共存,内部岩性比较均一,以砂岩、细砂岩、泥质砂岩为主,局部含砾岩(图5)。扇体内部通常发育扇根、扇中、扇缘三个亚相,三个亚相在岩性上有较为明显的差异。扇根与其形成过程有关,由于沉积物搬运距离较短,岩性上多以颗粒较大的砾石为主,分选、磨圆均较差。扇中岩性以细砂岩、粉砂岩为主,粒度以及沉积物分选优于扇根。由于扇缘内部沉积物搬运距离最远,与湖相泥岩过度接触,其内部沉积物颗粒相对于扇根、扇中更细,多以粉砂岩、粉砂质泥岩为主。辽中凹陷远岸缓坡湖底扇展布范围较大,内部岩性主要为细砂岩与泥质粉砂岩,上、下部发育厚层泥岩。



Figure 5. The cores of WELL-C
图 5. WELL-C 钻井取心

3.2.2. 测井相特征

井 WELL-C 位于远岸缓坡湖底扇上方，测井曲线上部整体呈较为平直的微齿状，GR 曲线下部出现较为明显的低值指型异常，自然电位测井曲线下部呈现微齿状箱型(图 6)，是扇体顶部与底部砂泥岩接触而导致的明显特征。

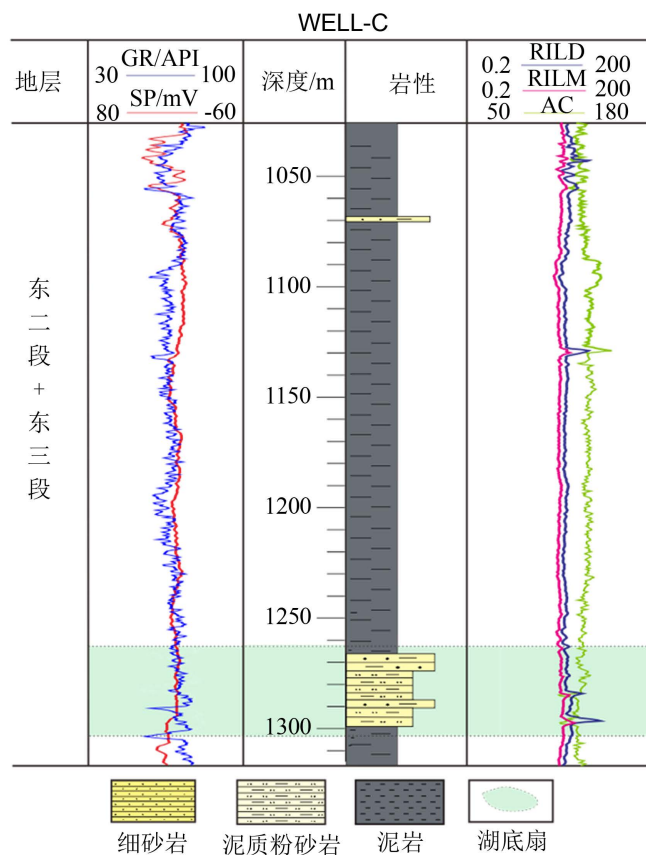


Figure 6. The wireline responses of infralittoral gentle slope sublacustrine fan
图 6. 远岸缓坡湖底扇测井响应特征

3.2.3. 地震反射特征

辽中凹陷远岸缓坡湖底扇主要发育于东二沉积期断层下降盘一侧,整体呈楔状展布于湖盆底部(图7),扇中可见平行-亚平行反射结构,反射振幅与频率相比扇缘、扇根较为连续。在靠近断层下降盘的扇体根部出现杂乱反射,为重力流沿盆地运移过程中所产生的下切水道的明显特征。扇缘则呈楔形前积式与湖相泥岩接触。扇体底部可见振幅较中等、反射频率较为连续图(图7)。

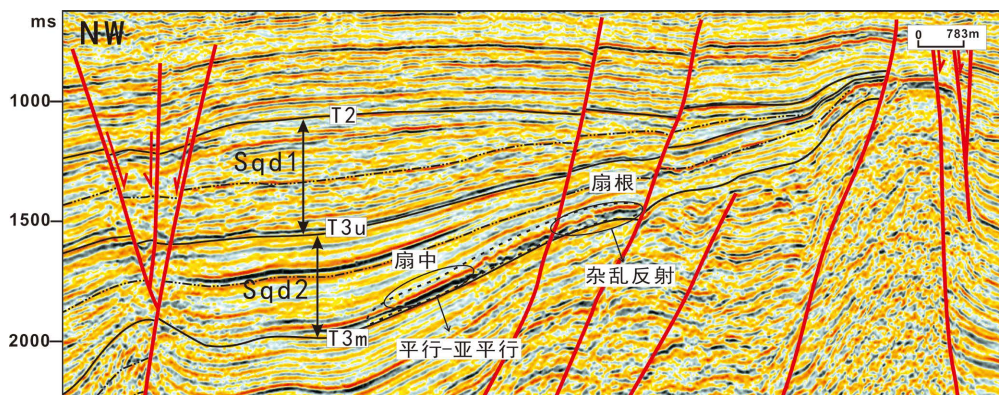


Figure 7. The seismic reflections of infralittoral gentle slope sublacustrine fan
图7. 远岸缓坡湖底扇地震反射特征

3.2.4. 发育情况及勘探意义(成藏条件分析)

远岸缓坡湖底扇主要发育在厚层湖相泥岩之中,具有有利的成藏条件,且湖底扇内含油气性一般较好。研究区东二段沉积期广泛发育远岸缓坡湖底扇是油气勘探的重点储层。因此对于湖底扇沉积特征以及展布范围的研究对于勘探方向、勘探目标的选择,钻井成功率和油气勘探效益的提高具有重要的指导意义。

3.3. 滑塌湖底扇

滑塌湖底扇是三角洲沉积二次搬运的产物,主要发育于由三角洲前积作用而形成的斜坡下方。三角洲在沉积过程中,前缘砂体随着湖盆内水位变化不断向前叠置,砂体与泥岩接触而形成的斜坡厚度逐渐增大。随着湖盆水位下降,不断增大的斜坡由于下部缺少浮力支撑作用处于不稳定状态[1],易受火山、地震、海啸等其他外力作用的影响导致滑塌。前缘砂体与三角洲分离后,滑塌进入湖盆内部,形成浊流沉积。受重力作用影响,该部分浊流仅发生短距离搬运最终形成小规模透镜状砂体。若三角洲规模较大则可产生多个滑塌砂体,砂体随湖平面升降不断摆动,最终形成多个透镜状砂体垂向上叠置的情况。

3.3.1. 岩石学特征

滑塌湖底扇主要由三角洲前缘砂体与深水湖盆内部泥岩在湖水作用下混合形成,扇体内部岩性变化较大,可见明显的砂泥岩互层以及滑塌变形等浊流沉积特征。辽中凹陷内井WELL-D位于滑塌湖底扇上方,即三角洲供源处,与其下方形成的滑塌湖底扇内部沉积物相一致。根据测井曲线特征分析可知,辽中凹陷内部滑塌湖底扇主要由细砂岩、泥岩组成,物性较差,泥质含量相对于其他类型湖底偏高。

3.3.2. 测井相特征

井WELL-D位于滑塌湖底扇上方,在东二上段自然电位测井曲线呈高值异常,自然伽马呈低值异常,异常幅度向下逐渐减小,整体表现为齿化漏斗形(图8)。岩性为下细上粗的反粒序旋回特征,发育三角洲前缘沉积体系,为下部湖底扇供源。东二下段自然伽马测井曲线整体呈高值,在底部出现低值异常,形

态上呈中-低幅指型(图 8)。东三下段岩性主要由厚层湖相泥岩中夹杂薄层砂岩组成,发育滑塌湖底扇沉积体系。

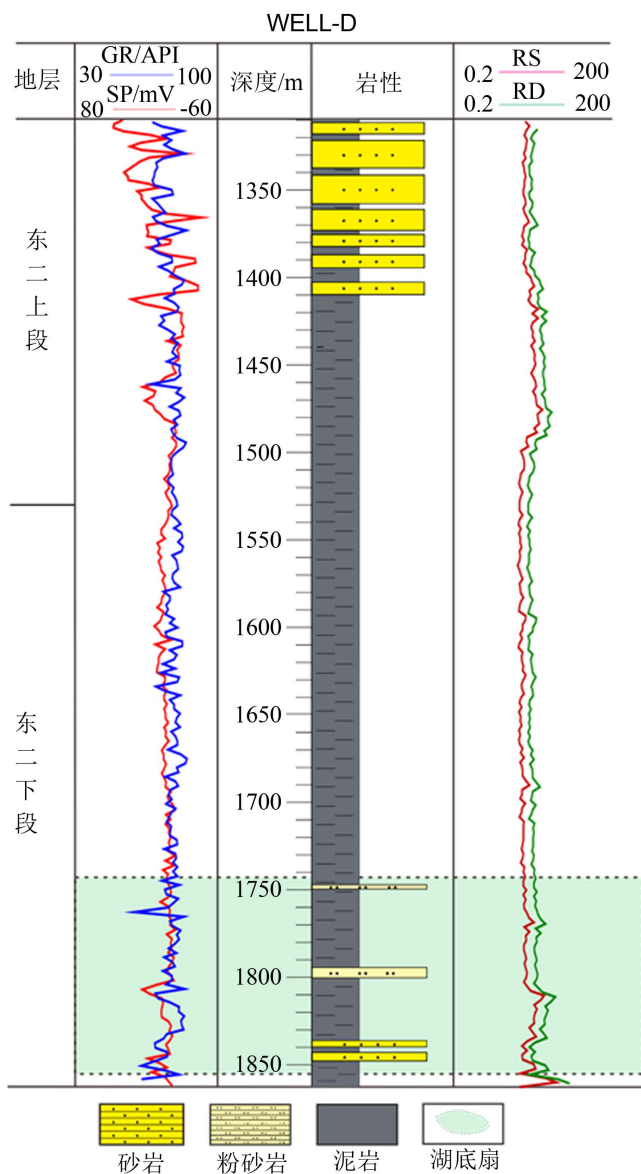


Figure 8. The wireline responses of slide sublacustrine fan
图 8. 滑塌湖底扇测井响应特征

3.3.3. 地震反射特征

研究区内滑塌湖底扇主要发育于东二沉积期(图 9),受断层活动影响,上部三角洲前缘砂体为下部湖底扇供源。在地震剖面上,可见三角洲前缘砂体楔状前积反射与滑塌湖底扇共存的明显特征[20]。滑塌湖底扇由三角洲不断向前推进,前缘沉积物受外力作用滑塌形成,湖底扇上部沉积地层可见明显的楔状前积反射结构(图 9),整体呈中低振幅、连续性较差的反射特征(图 9),该部分是为底部滑塌湖底扇供源的三角洲沉积体系。在三角洲前积反射前方深洼处,连续的强振幅反射中可见部分独立低振幅、透镜状反射特征(图 9),为滑塌湖底扇砂体。

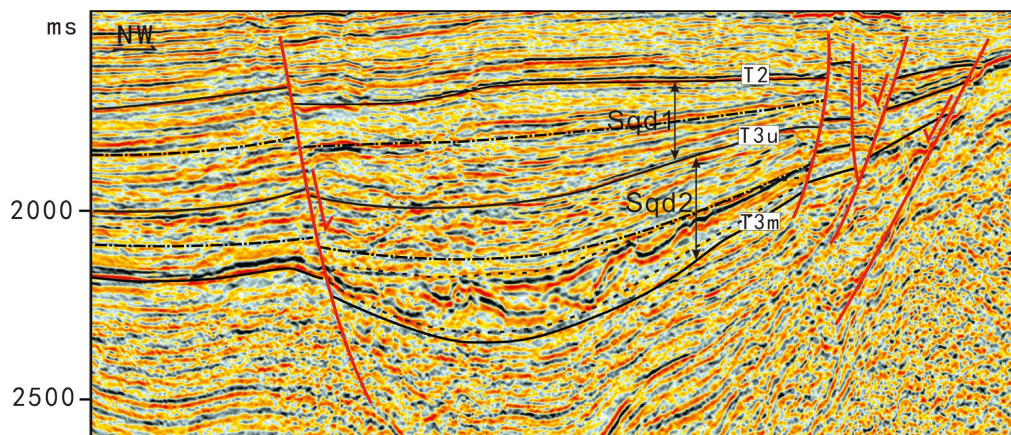


Figure 9. The seismic reflections of slide sublacustrine fan
图 9. 滑塌湖底扇的地震反射特征

3.3.4. 发育情况及勘探意义(成藏条件分析)

滑塌湖底扇通常发育于半深湖 - 深湖环境，扇体内部主要为粉砂岩、细砂岩与泥岩的岩性组合，局部含砾砂岩，表明经过短距离搬运，高能环境下堆积。一般滑塌湖底扇的分布范围较小，且难以识别扇体外形。但该研究区的滑塌湖底扇分布范围较大，并且具备明显的扇体外形。湖底扇体上下均被湖相暗色泥岩包裹，暗色泥岩是有利的生烃源岩，这就形成有利的岩性油气藏圈闭。

3.4. 深水轴向湖底扇

深水轴向湖底扇在湖盆水进中期形成，主要分布于断陷湖盆斜坡上的沟槽中，分布位置受控于湖盆边的断层。沉积物沿断层面的斜坡运移的过程中受到斜坡上横向断槽的阻挡，因而改变流动方向，形成平行于湖岸方向的重力流，当斜坡上的沟槽被重力流所携带的沉积物填平后，重力流则越过沟槽向湖底运移，最终在湖底堆积形成深水轴向湖底扇。

3.4.1. 岩石学特征

深水轴向湖底扇岩性主要以砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩为主，通常沉积厚度较大，展布范围较广，距物源较远，沉积物分选较好。辽中凹陷内部深水轴向湖底扇岩性主要以砂岩为主，上下部均发育厚层湖相泥岩。

3.4.2. 测井相特征

深水轴向湖底扇整体表现为下粗上细的正粒序旋回，扇体内部岩性分选度较差，主要为细砂岩、泥质粉砂岩，测井曲线上表现为明显的高异常幅度的箱形、钟形(图 10)，是砂泥岩突变接触的明显特征，薄层湖底扇体岩性主要为粉砂质泥岩，测井曲线呈低幅指状。

3.4.3. 地震相特征

在地震剖面上，深水轴向湖底扇外部形态整体为透镜状，内部有亚平行反射结构(图 11)，扇体上下的厚层泥岩与扇体内部突变接触在地震剖面上形成具有明显差异的反射特征。地震反射轴振幅中等强度、频率较低，连续性较好，个别地震轴连续性较差。

3.4.4. 发育情况及勘探意义(成藏条件分析)

研究区在东二段时期主要发育半深湖 - 深湖沉积体系，为深水湖底扇的形成提供了客观条件，该区域深水轴向湖底扇较为发育，是该区域发育范围最大的一类湖底扇，具有良好的勘探前景。

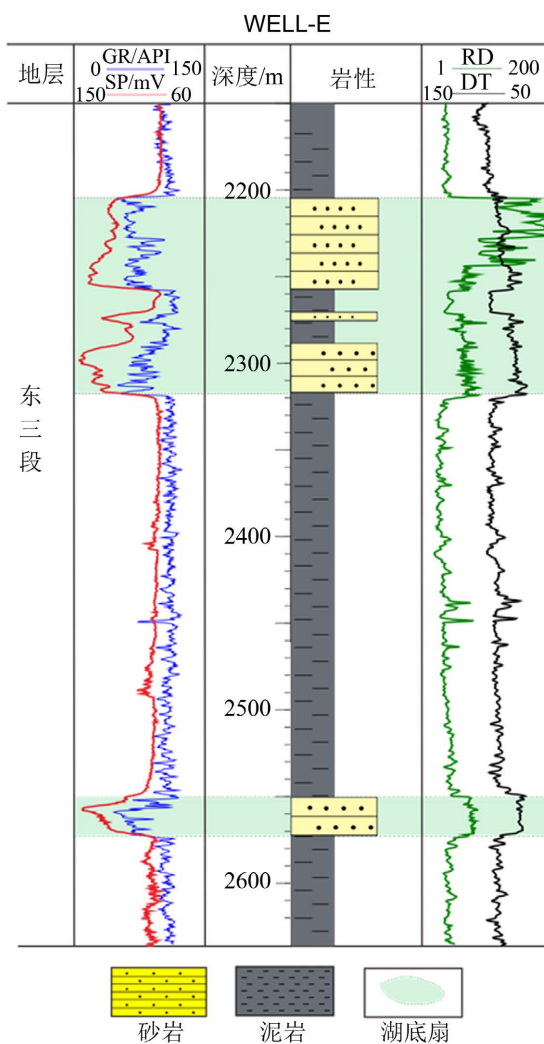


Figure 10. The wireline responses of deep-water axial sublacustrine fan
图 10. 深水轴向湖底扇测井响应特征

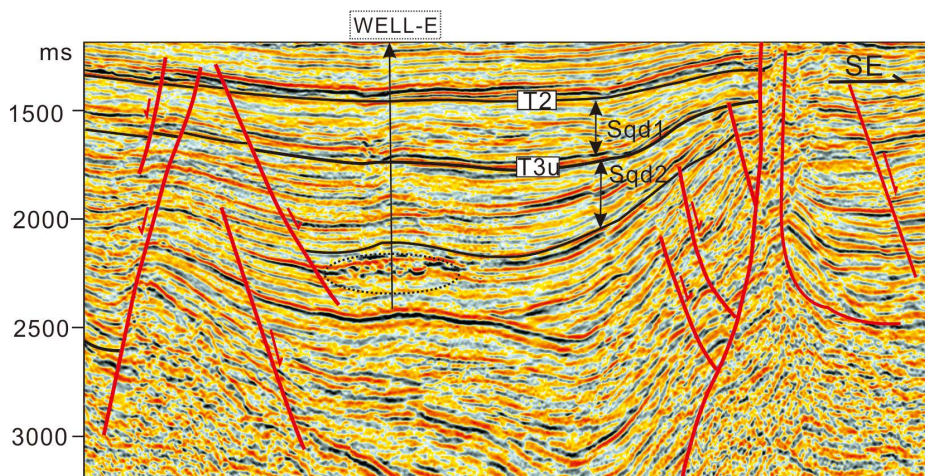


Figure 11. The seismic reflections of deep-water axial sublacustrine fan
图 11. 深水湖底扇的地震反射特征

4. 结论

1) 研究区古近系东二段发育多种湖底扇体类型,包括近岸湖底扇、远岸(缓坡)湖底扇、滑塌湖底扇、深水轴向湖底扇。它们在发育环境、沉积特点、主控因素及含油气等方面存在明显差异;三角洲规模、物源条件、古地形或古地貌及触发机制的差异影响了不同的湖底扇类型。

2) 东二段沉积期湖平面的多期升降旋回,通过影响物源的供给进而控制形成了不同类型湖底扇体相互叠置的特点。

3) 在四种类型的湖底扇中,滑塌湖底扇区别于其他三种类型的湖底扇,主要为三角洲前缘沉积或扇三角洲沉积供源。近岸陡坡湖底扇、远岸缓坡湖底扇、深水轴向湖底扇主要为重力流供源形成。

致 谢

本文得到了国家级大学生创新创业训练计划项目《渤海湾盆地辽中凹陷北部东营组湖底扇源汇系统研究》项目编号: X2021022 的资助,同时在写作过程中得到了中海石油(中国)有限公司天津分公司的资料支持及在实际工作中给与的帮助,审稿专家对初稿的完善提出了建设性的修改意见,在此一并致以诚挚的感谢。

项目基金

国家级大学生创新创业训练计划项目《渤海湾盆地辽中凹陷北部东营组湖底扇源汇系统研究》项目编号: X2021022。

参考文献

- [1] 刘宝和. 中国石油勘探开发百科全书[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [2] 吴兴宁, 周建勋. 渤海湾盆地地造成因观点剖析[J]. 地球物理学进展, 2000, 15(1): 99-107.
- [3] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 845-851.
- [4] 夏斌, 刘朝露, 陈根文. 渤海湾盆地中新代构造演化与构造样式[J]. 天然气工业, 2006, 26(12): 57-62.
- [5] 徐长贵, 于水, 林畅松, 等. 渤海海域古近系湖盆边缘构造样式及其对沉积层序的控制作用[J]. 古地理学报, 2008, 10(6): 627-635.
- [6] 蒋恕, 蔡东升, 朱筱敏, 等. 辽中凹陷中深层储层质量评价及隐蔽砂体成藏条件分析[J]. 中国海上油气, 2007, 19(4): 224-228.
- [7] 徐长贵, 许效松, 丘东洲, 等. 辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析[J]. 古地理学报, 2005, 7(4): 449-459.
- [8] 李淮莲, 刘震, 刘俊榜, 夏庆龙, 周心怀. 辽东湾地区辽西低凸起油气田成藏地质条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 663-670.
- [9] 高伟, 张志军, 郭军, 等. 辽东湾地区东营组湖底扇地震响应机理分析及储层描述[J]. 中国海上油气, 2017(5): 49-55.
- [10] 吴奎, 吴俊刚, 张中巧, 等. 辽中凹陷北部湖底扇沉积模式及地震响应特征[J]. 东北石油大学学报, 2012, 36(5): 33-37.
- [11] 董伟. 辽中凹陷东营组层序结构及沉积体系研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [12] 刘艺萌, 张藜, 黄晓波, 等. 辽中凹陷北洼古近系东二下亚段湖底扇沉积类型及时空演化机理分析[J]. 沉积学报, 2019, 37(6): 1281-1295.
- [13] 朱晓青. 渤海湾盆地构造演化的地幔柱模型研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(华东), 2009.
- [14] 邓纪梅. 辽东湾北部东营组层序及陡坡带沉积体系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [15] 于莉莎. 辽中凹陷中部东营组一二段层序地层及沉积体系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.

-
- [16] 朱政源. 辽东湾拗陷东北部古近系东营组层序-岩相古地理特征[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [17] 徐长贵, 彭靖松, 刘永军, 等. 辽中凹陷北部新构造运动及其石油地质意义[J]. 中国海上油气, 2016, 28(3): 21-30.
- [18] 夏世强, 林畅松, 杜晓峰, 等. 辽东湾北部东营组同沉积断裂对沉积充填控制[J]. 西南石油大学学报, 2020, 42(1): 20-32.
- [19] 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学地层模式[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 119-132.
- [20] 剧永涛, 刘豪, 辛仁臣, 等. 黄河口凹陷西北部滑塌浊积扇沉积特征[J]. 西南石油大学学报, 2011, 33(6): 32-37.