

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.02.011

东濮凹陷文 33 断块沙二下亚段浅水三角洲沉积特征

尹楠鑫¹, 罗超¹, 吴斌², 代洁¹, 陈岑¹, 罗波波³, 范人杰¹, 李乐乐¹

(1. 重庆科技学院石油与天然气工程学院/复杂油气田勘探开发重庆市重点实验室, 重庆 401331;

2. 重庆工业职业技术学院, 重庆 401120; 3. 中国石化中原油田勘探开发学研究院, 河南 郑州 450018)

摘要:针对文南油田文 33 断块沙二下亚段油藏储层沉积微相展布特征认识不清、开发效果差、开发方案的部署及调整难度大等问题, 笔者综合利用研究区的地质、测井等资料, 通过岩石成分、结构、泥岩颜色、沉积构造及测井响应等沉积相标志综合分析, 再结合研究区区域沉积背景, 精细刻画了沙二下亚段浅水三角洲沉积特征, 剖析了沉积微相的展布规律。结果表明, 文 33 断块沙二下亚段浅水三角洲由于其湖水较浅, 河流营力起主导作用, 储层以条带状展布的水下分流河道砂体为主, 其次是薄层水下分流河道侧翼和席状砂, 河口坝欠发育; 储层测井响应存在 4 个大类、10 个亚类的曲线形态特征; 最后, 根据沉积微相的展布特征建立沙二下亚段的沉积相模式, 从而为油田下一步挖潜提供地质依据。

关键词:文 33 断块; 浅水三角洲; 沙二下亚段; 相标志; 沉积微相

中图分类号: TE121.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2022)02-0135-11

Sedimentary Characteristics of Shallow Water Delta in the Lower Member of Sha 2 Formation in W33 Fault Block

YIN Nanxin¹, LUO Chao¹, WU Bin², DAI Jie¹, CHEN Cen¹, LUO Bobo³, FAN Renjie¹, LI Lele¹

(1. School of Petroleum Engineering/Chongqing Key Laboratory of Complex Oil & Gas Exploration and Development,

Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, China; 2. Chongqing Industry Polytechnic

College, Chongqing 401120, China; 3. Exploration and Development Research Institute,

Zhongyuan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Puyang 457001, Henan, China)

Abstract: In view of the problems such as unclear understanding of the distribution characteristics of sedimentary microfacies, poor development effect, difficult deployment and adjustment of development scheme, etc. Based on the geological and logging data of the study area, through the comprehensive analysis of sedimentary facies markers such as rock composition, structure, mudstone color, sedimentary structure and logging response, and combined with the regional sedi-

收稿日期: 2021-12-26; **修回日期:** 2022-01-24; **网络发表日期:** 2022-05-10; **责任编辑:** 李辉

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05015); 重庆市自然科学基金面上项目“页岩储层压裂液渗吸滞留及解除水锁微观作用机制研究”(cstc2019jcyj-msxmX0725); 重庆市教育委员会科学技术研究项目“页岩储层自然返排缓解水相圈闭损害机理研究”(KJQN201901531), “多信息耦合条件下的三角洲前缘构型建模技术研究”(KJQN202101546)联合支助。

作者简介: 尹楠鑫(1982-), 男, 博士后, 副教授, 主要从事油气田开发地质方面的教学及科研工作。E-mail: yinnanxin236237@163.com。

mentary background of the study area, this paper finely depicts the sedimentary characteristics of shallow water delta in the lower sub member of shahejie - 2 and analyzes the distribution law of sedimentary microfacies. The results show that the shallow water delta in the lower ES2 sub member of Wen 33 fault block is dominated by river forces due to its shallow lake water. The reservoir is dominated by banded underwater distributary channel sand body, followed by thin underwater distributary channel flank and sheet sand, and the estuary bar is underdeveloped. There are 4 categories and 10 subclasses of curve morphological characteristics in reservoir logging response. Finally, according to the distribution characteristics of sedimentary microfacies, the sedimentary facies model of the lower sub fault of Shahejie - 2 is established, so as to provide geological basis for further tapping the potential of the oilfield.

Keywords: W33 fault block; shallow water delta; lower member of Sha 2 formation; facies mark; sedimentary microfacies

浅水三角洲作为油气资源富集的重要场所,一直是石油地质专家解剖研究的重要对象。对于浅水三角洲的认识最早是由 Fisk 在对密西西比河三角洲研究的基础上提出来的,他将河控三角洲分为深水型和浅水型 2 类(Fisk, 1954)。在此基础上,Postma 又进一步将这 2 类三角洲细分为 12 种原型三角洲,并认为浅水三角洲主要发育在地势平缓的浅海区、浅水湖盆或湖盆浅水区,而水深是其形成的一个重要控制因素(Postma, 1990)。随着研究方法和技术手段的不断改进,国内外专家学者对浅水三角洲的发育条件、微相类型、沉积特征、砂体展布形态等方面进行了深入研究,取得了一系列研究成果,不断完善了对浅水三角洲这一沉积体系的相关认识(Barrett et al., 1966; 楼章华等, 1998; 高岗等, 2005; 邹才能等, 2008; Blum et al., 2009; 叶萍等, 2010; XU Shang et al., 2019)。研究发现,中国的浅水三角洲研究主要集中在松辽、渤海湾、鄂尔多斯及准噶尔等主要含油气盆地(张昌民等, 2010; 赵伟等, 2011; 朱筱敏等, 2012; 黄秀等 2013; 尹太举等, 2014; 刘自亮等, 2015; 李一赫等, 2016; 曾灿等, 2017; 叶蕾等, 2018; 吴胜和等, 2019)。文 33 断块为渤海湾盆地东濮凹陷文南油田南部的一个断块油藏。该断块沙二下亚段沉积时期构造稳定,湖盆水体浅,发育浅水三角洲沉积体系。多年的开发钻井证实,该区域早期研究的沉积特征不完全符合开发认识。因此,急需通过不断补充地质、测井及生产动态资料,开展沙二下亚段沉积微相精细研究、研究,从而为油田高效开发提供地质依据。

1 工区概况

文南油田文 33 断块位于渤海湾盆地东濮凹陷文留构造带南部,该断块构造西高东低,平面上呈北东—南西条状展布,断块东以 70 断层为界,西被文东大断层割裂(宋树丹, 2019)(图 1)。该断块的东、西、北三面被断层封闭,南部砂层物性差,与文 133 块相邻。油藏类型为构造-岩性油藏。沙二下亚段(目的层)埋深 2 800~3 300 m,纵向上被划分为 8 个油组,53 个小层;储层平均孔隙度为 19.6%,平均渗透率为 $92.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;沙二下亚段沉积时期发育一套以水下分流河道砂体为主的浅水三角洲沉积体系,岩性以细砂岩、粉砂岩等细粒沉积物为主。

2 沙二下亚段浅水三角洲沉积特征

2.1 泥岩颜色

泥岩颜色是沉积环境判别的重要依据。根据颜色的深浅可判断沉积物沉积时期的氧化还原环境。综合利用新文 72-99、文 33-226、新文 33-66 等 3 口井的岩心观察结果(图 2),发现文南油田文 33 块沙二下亚段泥岩颜色主要为浅灰绿色、灰色、褐色及紫红色等,生物化石发育较少,总体反映了从氧化到弱还原环境交替的变化特征。泥岩颜色说明该断块沙二下亚段沉积时期水体较浅,在一定程度上证实了浅水三角洲的沉积环境。

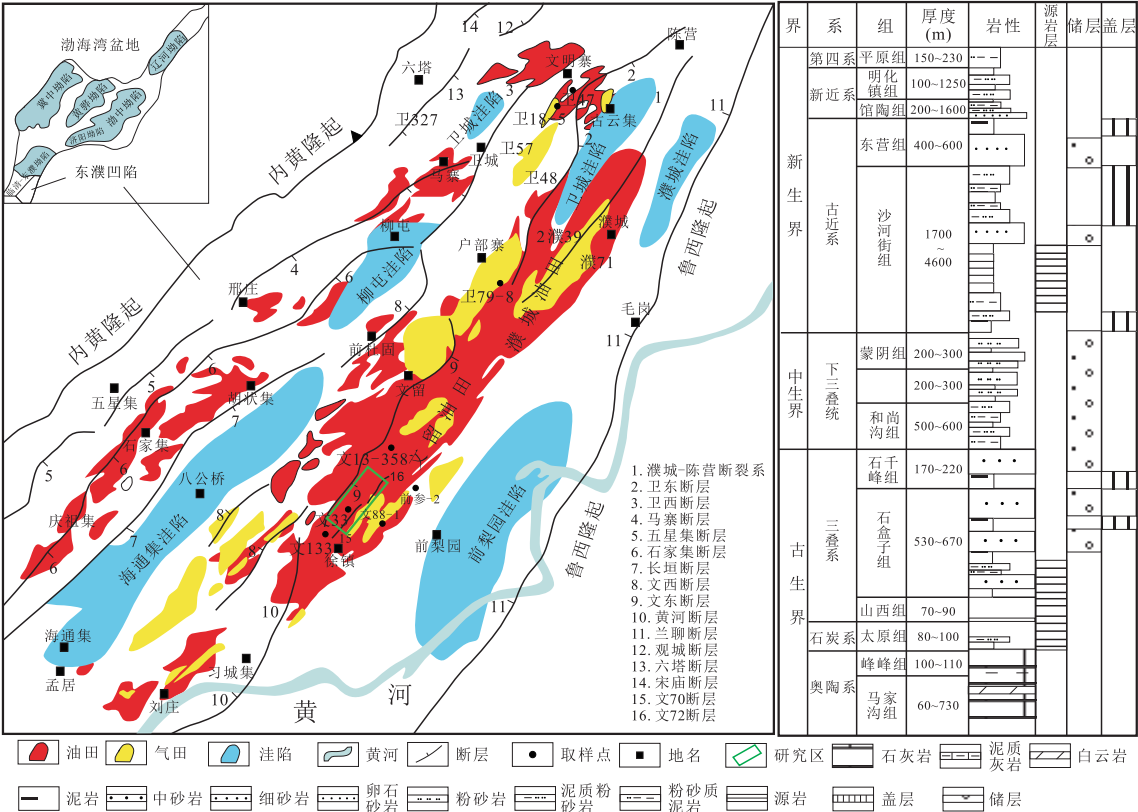


图 1 研究区区域位置与地质综合柱状图(据柯昌炜有修改,2021)

Fig. 1 Comprehensive histogram of regional location and geology in the study area



图 2 泥岩颜色图

Fig. 2 The color of mudstone

2.2 储层岩石学特征

2.2.1 碎屑组分特征

根据新文 72-99、文 33-226 和新文 33-66 三口井的 489 个样品点分析,研究区目的层岩矿组分中,石英平均含量约为 75%,长石平均含量约为 21%,岩屑平均含量为 4%;填隙物以泥质杂基为主;黏土矿物以伊利石为主,高岭石、绿泥石相对较少;胶结物成分主要为碳酸盐胶结物(灰质、云质)。根据裴蒂庄的陆源砂岩分类标准,研究区沙二下段

储层岩石类型以长石质石英砂岩和长石砂岩为主,发育少量岩屑砂岩(图 3)。岩性则以中砂岩和细砂岩为主,分选中等-好,次圆-次棱角状为主,颗粒呈定向排列特征,反映了河流营力作用下的搬运条件。

2.2.2 岩石类型及力度特征

文南油田文 33 断块沙二下亚段岩性主要有细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩等,整体上偏细粒沉积。水下分流河道和河口坝微相为沉积细砂岩,席状砂微相则以粉砂岩为主,而水下分流河道侧翼

岩性以泥质粉砂岩为主。根据 3 口井的 68 个样本点分析,研究区目的层粒度概率曲线相对单一,主要呈现两段式(图 4),由跳跃、悬浮 2 个总体组成,滚动组分不发育,表明受地形坡度、沉积水体深度和沉积时搬运介质能量强弱的影响,浅水三角洲水动力搬运条件要低于河流和正常三角洲。

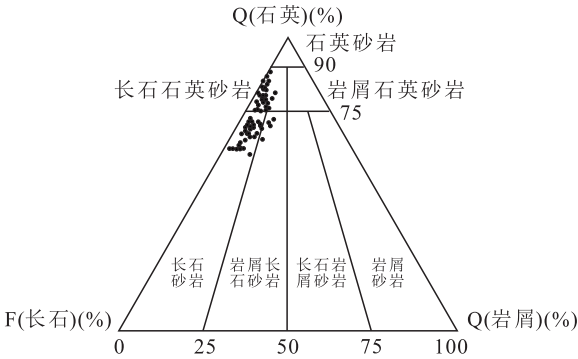


图 3 沙二下亚段矿物成分三角图

Fig. 3 Trigonometry of mineral composition in lower sub member of Sha 2 formation

2.2.3 沉积构造

沉积构造是沉积水动力条件的重要指示。通过岩心观察明确沉积构造特征,可以在一定程度上反映沉积相的形成机制,对微相划分有一定的指示意义。利用研究区目的层段的 3 口取心井的岩心观察,发现文南油田文 33 断块沙二下亚段主要发育冲刷面、波状层理、平行层理及块状层理等沉积构造(图 5);冲刷面是水下分流河道沉积微相一个重要

判别标志,波状层理则是在水体来回振荡条件下形成,往往在湖泊的浅水环境下形成;而平行层理则反映了强烈的沉积水动力环境,多发育于高流态条件下的水下分流河道中。浅水三角洲由于沉积地形坡度小、水体较浅,早期形成的河口坝容易被河道水动力条件改造,所以极少发育,河道向湖盆中心推进的过程中不断分叉,河道末梢水流呈片状分散,砂体分布席状化。

2.3 测井响应特征

测井资料由于其垂向连续性好、精度高的特点,往往是开展沉积微相研究的重要依据。沉积物在沉积过程中所表现出的韵律性、粒度粗细等特征均可以通过测井曲线幅度和形态来表征。韵律性和岩性变化又是沉积微相的直观证据。依据研究区已有 3 口取心井的岩心和测井曲线的响应特征综合分析(图 6),测井曲线幅度高,反映沉积物粒度较粗,水下分流河道和河口坝微相往往因为沉积砂体粒度粗呈现中高幅度测井响应;水下分流河道侧翼和席状砂微相则因细粒沉积特征,测井曲线往往呈低幅形;光滑程度差且齿化严重的测井曲线形态则反映了砂、泥、砾混杂程度高的沉积特征;指化特征明显且曲线光滑的测井曲线特征则说明沉积物厚度薄,混杂程度低,分选较好。通过分析总结发现,研究区沙二下亚段储层测井响应类型可分为 4 大类型,依据储层测井响应幅度和齿化程度又可进一步分为 10 个亚类(图 6)。钟形测井曲线指示沉积物粒度由下至上逐渐变细,测井曲线形态底部往往近似于突变

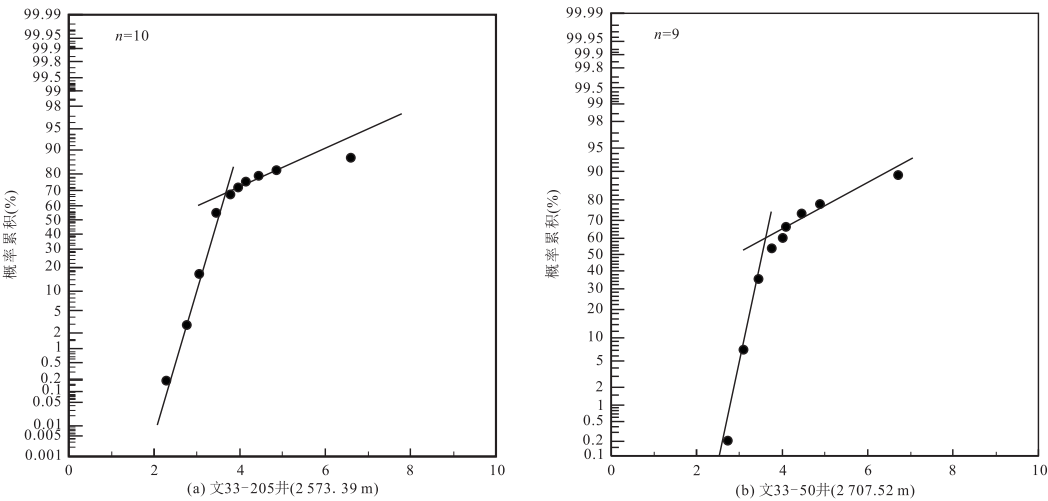
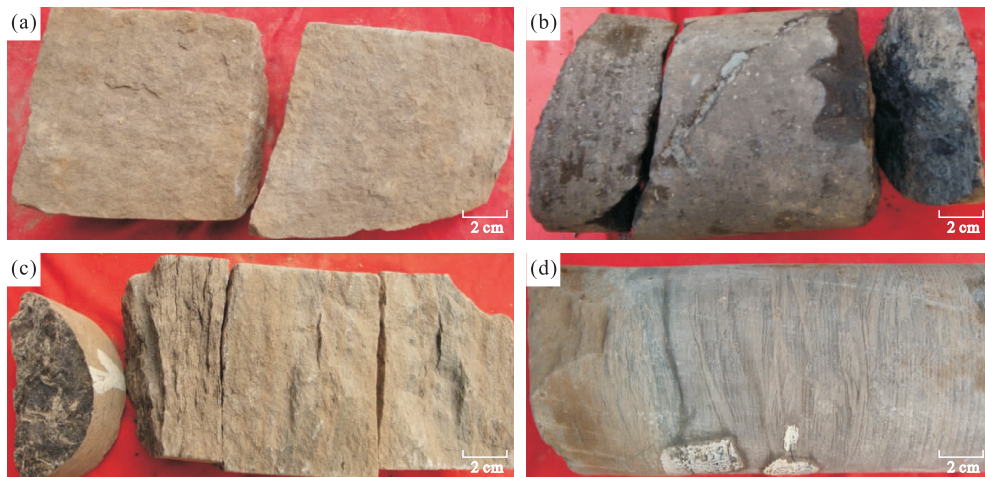


图 4 文 33 断块沙二下亚段粒度概率曲线分布图

Fig. 4 Probability curve distribution of grain size in the lower sub segment of Sha 2 of W33 fault block



a. 新文 72-99, 2 866.6 m, 平行层理; b. 新文 33-50, 2 715.6 m, 冲刷面; c. 新文 33-66, 2 642.3 m, 碳质泥岩;
d. 文 33-226, 2 773.05 m, 波状层理

图5 文33断块沙二下亚段储层沉积构造图

Fig. 5 Sedimentary structure map of reservoir in lower member of Sha 2 formation of W33 fault block

而顶部则是渐变,反映了沉积水动力条件逐渐减弱,是水下分流河道的测井相标志。如图6中的文33-50井、文33-89井所示。箱形曲线形态反映沉积水体能量稳定,沉积砂岩粒度均匀变化,也是水下分流河道沉积微相的重要测井响应特征。如图6中文33-47井、文33-208井所示。上述2种类型的测井曲线响应特征也说明沉积物一般位于河道中心位置处,漏斗形反映沉积物由细-粗-细构成。文33-18井和文33-50井的测井响应特征说明,自然伽马和自然电位及微电极曲线幅度值相对较高,反映水下分流河道入湖受湖泊水体顶托作用,水下分流河道分叉,粗粒沉积物覆盖于细粒沉积物之上,呈现分选好、砂质纯净的沉积特征。指形曲线与低幅平直曲线段相伴出现。如图6中文33-223井、文33-116井、文33-21井及文33-251井所示,反映了沉积物沉积厚度薄,在水体能量弱且稳定的沉积条件下,沉积粒度往往分选较好,是席状砂、河道侧翼的重要测井相标志。平直形曲线形态反映沉积物粒度最细,测井曲线形态无明显的旋回性,多以泥岩、粉砂质泥岩为主。泥岩中还见碳化植物碎片,是水下分流河道间的重要标识。

3 沉积微相分布特征

3.1 单井相特征

单井相分析是沉积微相演化研究的一个重要方

面。图7为W33-221井的4、5砂组单井相图。在精细地层对比的基础上,综合利用钻、测井资料,划分了水下分流河道、水下分流河道侧翼、河口坝、席状砂及支流间湾等5种微相。沙二下亚段4、5砂组水下分流河道主要分布在S2L43、S2L47、S2L48及S2L52小层;岩性以细砂岩为主,沉积构造中见冲刷面和交错层理,水下分流河道具向上变细的正旋回;分选一般,磨圆较好;概率累计曲线呈跳跃、悬浮两段式。电测曲线上,自然伽马、自然电位曲线多呈钟形、箱形、钟-箱复合形;微电极曲线幅度呈高值,砂体厚度多为2~5 m。水下分流河道侧翼是发育在水下分流河道两侧,主要是由于水下分流河道从中心向两侧沉积水动力逐渐减弱,细粒沉积物不断得以保留,向外逐渐过渡到席状砂和支流间湾;岩性多以粉砂岩和泥质粉砂岩为主;测井曲线多呈指形、低幅钟形及低幅漏斗形;砂岩厚度为1~3 m。河口坝微相以细砂岩和粉砂为主,粒度概率曲线仍为明显的两段式,以跳跃组分和悬浮组分为主,分选、磨圆较好;主要发育波状交错层理及块状层理等。文33-221井4、5砂组河口坝分布在S2L44小层,多发育于水下分流河道分叉处或水下分流河道末端,主要由于湖盆水体的顶托作用导致水下分流河道能量损失,沉积物快速堆积而成。测井曲线形态多呈漏斗形,其下通常为席状砂或支流间湾,总体上在研究区不太发育。水下分流河道在向湖盆中心方向推进的过程中,由于能量衰减,当水下分流河道最后一

次分叉,在其末端形成远端砂坝,后期被湖水改造重新形成连片分布的砂体,即席状砂。沙二下亚段席状砂微相岩性以泥质粉砂岩和粉砂岩为主,砂体厚度 1~2 m。测井曲线响应特征多呈指形和低幅指

形及低幅漏斗形。支流间湾微相以灰绿色或紫红色泥岩为主,厚度较稳定;测井曲线往往呈高伽马、高电位、低电阻的特征,测井曲线形态为平直形,无明显幅度差。

测井曲线形态类型	曲线特征	典型曲线形态实例	砂体剖面形态特征		储层特征及沉积环境	指相意义
箱形或钟形	光滑钟形			文33-50	岩性以中、细砂岩为主,物性条件好,一般位于河道中心部位	水下分流河道
	齿化钟形			文33-89	岩性以细砂岩为主,夹有泥质粉砂岩,物性条件较差,位于河道中心偏边部	水下分流河道
	光滑箱形			文33-47	岩性以中、细砂岩为主,底部易见冲刷面,物性条件好,位于河道中心	水下分流河道
	齿化箱形			文33-208	岩性以中、细砂岩为主,夹有泥质粉砂岩,物性条件较差,底部可见冲刷面	水下分流河道
漏斗形	光滑漏斗形			文33-18	岩性以细砂岩为主,物性条件好。位于河道分叉处	河口坝
	齿化漏斗形			文33-50	岩性以细砂岩为主,夹泥质粉砂岩,物性条件相对较差。位于河道分叉口靠湖盆方向处	河口坝
指形	高幅指形			文33-223	岩性以细砂岩、粉砂岩为主,物性条件差,位于河道末端梢,或者河道两侧边缘	席状砂、水下分流河道侧翼
低幅曲线形	低幅钟形			文33-116	岩性以粉砂、泥质粉砂岩为主,物性差,位于河道两侧。	水下分流河道侧翼
	低漏斗形			文33-21	岩性以泥岩、泥质粉砂岩为主,物性差,位于河道两侧边缘,以及河道末端靠湖盆一侧	水下分流河道侧翼、席状砂
	低漏指形			文33-251	岩性以泥质粉砂岩为主,物性差,位于河道末端靠边缘以及河道两侧边缘	水下分流河道侧翼、席状砂

图 6 文 33 断块沙二下亚段储层测井响应特征图

Fig. 6 Logging response characteristics of reservoir in the second lower member of Sha 2 formation of W33 fault block

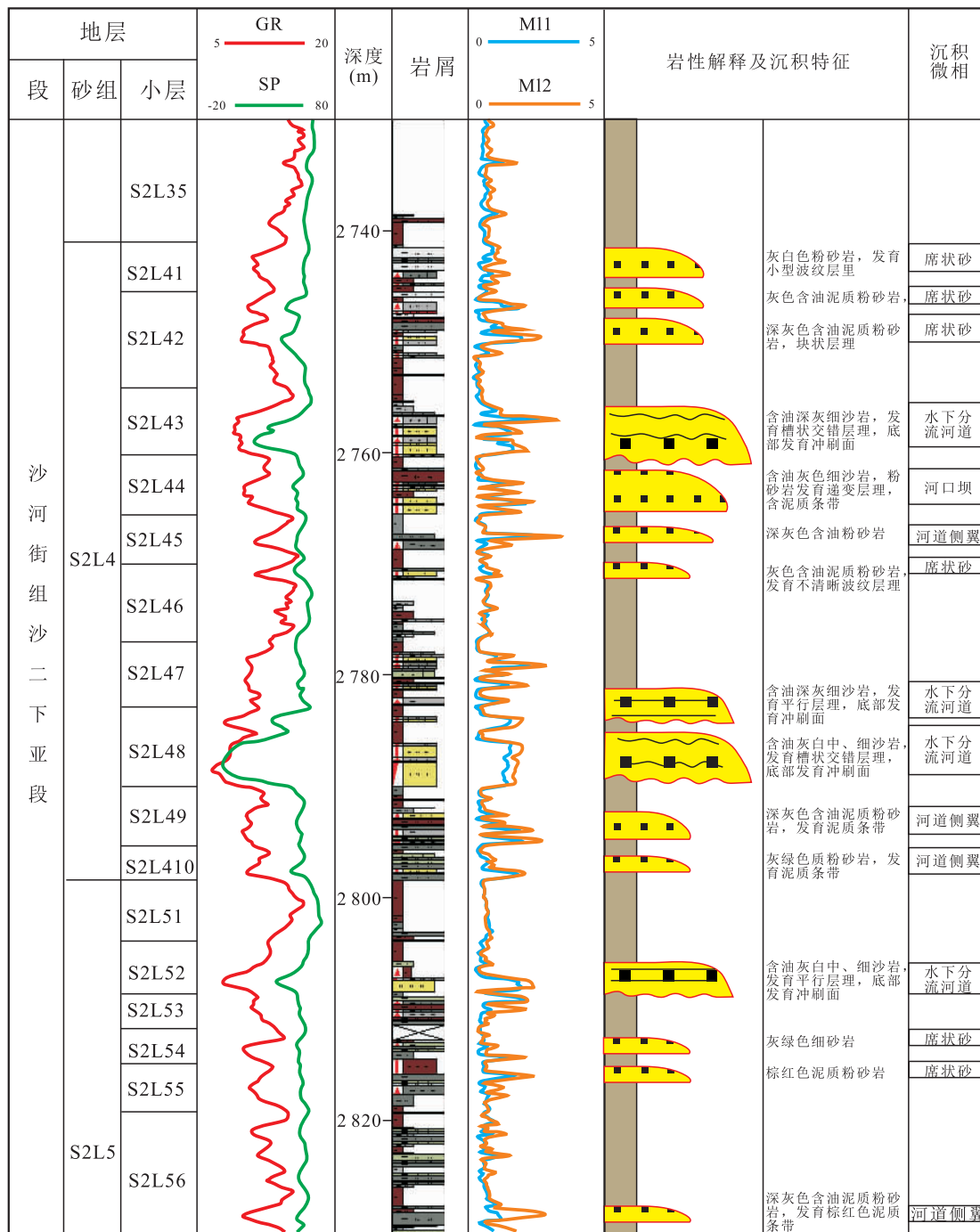


图 7 W33-221 单井沉积微相综合柱状图

Fig. 7 Comprehensive histogram of sedimentary microfacies of single well W33-221

3.2 平面相特征

平面相研究是油田开发方案编制及剩余油挖潜的重要地质依据,能够明确不同成岩砂岩的平面分布,并控制储层物性的变化,同样也是储层非均质性的研究内容。在油田实际研究工作中,为有效指导小层甚至单层沉积微相展布特征研究,往往会

在区域沉积背景、物源方向等基础地质认识的基础上,结合砂体厚度、优势相分析及测井相,开展小层沉积相研究。通过对小层沉积微相的宏观把控,可明确研究区沙二下亚段沉积微相的时空展布特征。以文 33 断块沙二下亚段 S2L48 小层为例(图 8),从图 8 分析可知,研究区物源主要来自西北方向,这一

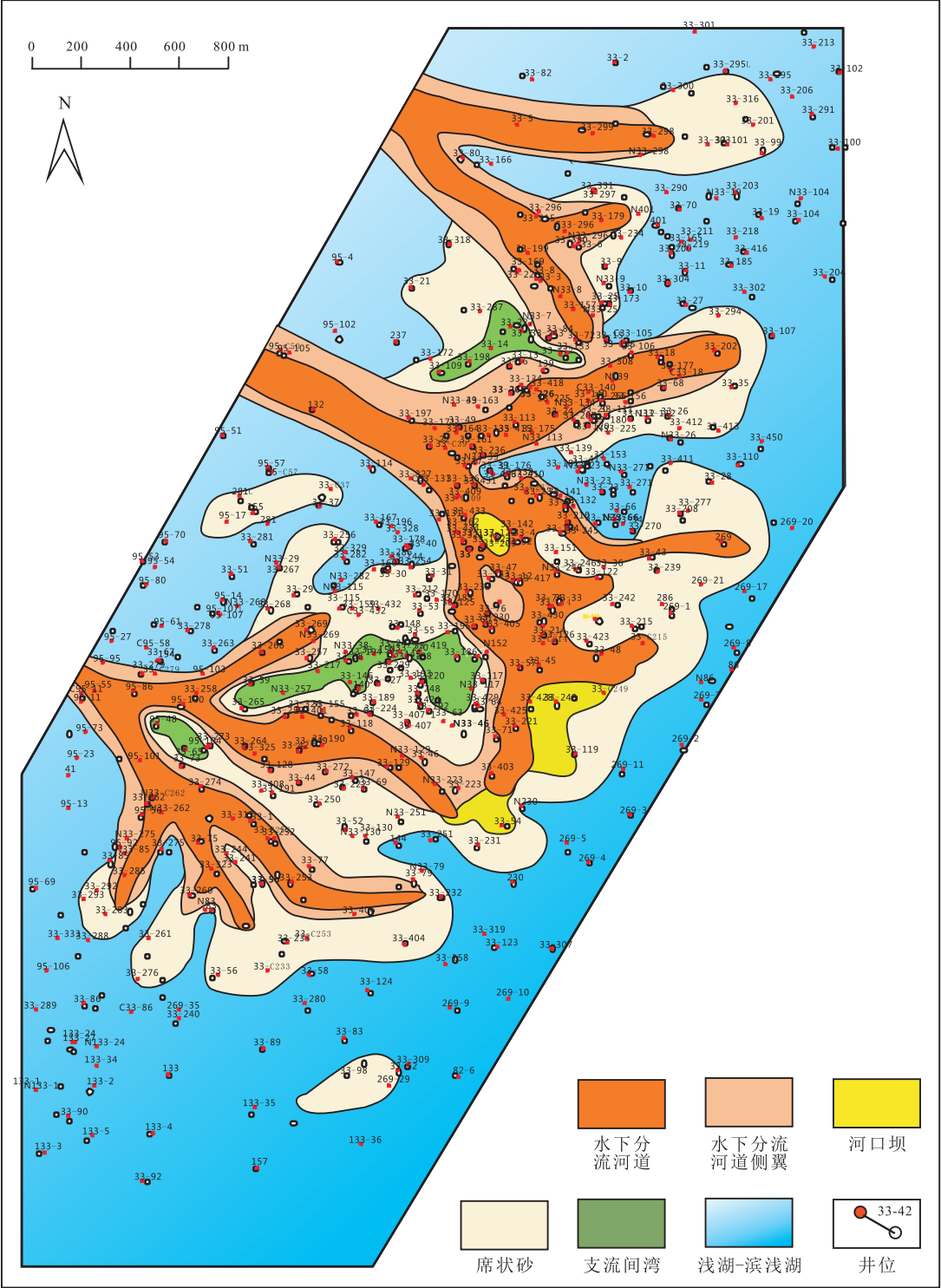


图 8 S2L48 小层沉积微相平面图

Fig. 8 Plan of sedimentary microfacies of small layer S2L48

时期发育 3 条主要水下分流河道,向湖泊中心延伸的过程中不断分叉,整体形态呈树枝状。北部水下分流河道延伸距离短,规模小;中部水下分流

河道延伸多大余 3 km,分叉过程中,由于水下分流河道来回摆动,整体连片性相对较好;而南部水下分流河道延伸距离最大为 2.5 km,各分叉形成的

次一级水下分流河道多呈孤立条带状,连片性差。总的来看,有利储层主要为水下分流河道砂体,厚度大,顺物源方向连续性好。从所有小层沉积微相平面图分析来看,河口坝只在几个小层零星分布,反映受水下分流河道的冲刷、改造。早期形成的河口坝难以保存,而席状砂体则大面积连片分布,这也是与正常三角洲沉积微相平面分布相区别的典型特征。

4 沉积模式

沉积相模式是对沉积相空间分布规律的高度概括与总结,是沉积环境、沉积作用和沉积结果的高度融合。其将抽象的沉积规律概念化、模式化,体现了沉积相的典型特征。文南油田文 33 断块沙二段沉积期,东濮凹陷整体构造相对稳定,由于地形坡度平

缓,湖盆萎缩,水体变浅,是浅水三角洲形成的有利场所。通过研究发现,沙二下亚段沉积时期,研究区处于间歇性涨缩湖盆沉积时期,发育水下分流河道、水下分流河道侧翼、河口坝、席状砂和支流间湾等 5 种微相;受西北方向物源和北东—南西走向的文 140 断层和文 33 断层的双重控制,浅水三角洲由北西向东南方向呈扇状展布。综合各小层沉积微相特征,总结文 33 断块沉积相模式和浅水三角洲沉积模式(图 9)。骨架砂体以水下分流河道为主,河道外侧为水下分流河道侧翼,河道向湖盆中心推进的过程中,在河道末稍形成连片分布的席状砂;而水下分流河道之间,因水动力条件的变化,易在水动力条件弱的区域沉积泥质、粉砂质等细粒沉积物,一般为水下分流河道间沉积。由于整体地形条件、水深条件及该沉积时期的气候条件等因素的综合作用,在研究区难以形成半深湖—深湖相。

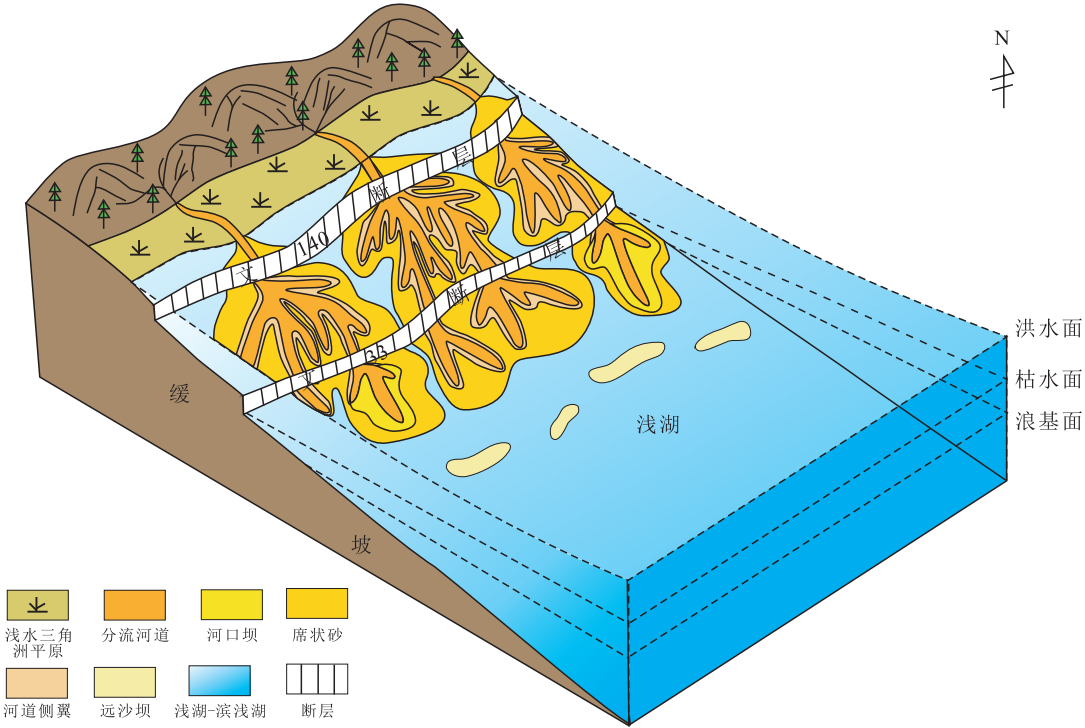


图 9 文 33 断块沙二下亚段浅水三角洲平面模式图

Fig. 9 Plane model of shallow water delta in the lower submember of Sha 2 formation of W33 fault block

5 结论

(1)文南油田文 33 断块沙二下亚段发育长石质

石英砂岩和长石砂岩,岩性以细砂岩、粉砂岩为主,沉积构造特征丰富;储层测井响应类型可分为 4 大类型、10 个亚类;通过实际井的测井响应及岩性和沉积环境综合分析,明确了各自的指相意义。

(2)文 33 断块沙二下亚段储层以水下分流河道砂体为主,呈条带状由西北向东南方向延伸,其次是广泛分布的水下分流河道侧翼及席状砂,河口坝砂体欠发育,因水体浅,不存在半深湖-深湖区域。根据沉积微相展布规律,总结了研究区沙二下亚段浅水三角洲沉积模式,可为研究区开发方案调整及挖潜提供依据。

参考文献(References):

楼章华,卢庆梅,蔡希源,等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响[J]. 沉积学报,1998,16(04):27-31.

LOU Zhanghua, LU Qingmei, CAI Xiyuan, et al. Influence of Lake Level Fluctuation on Sandbody Shapes at Shallow—Water Delta Front[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1998,16(04):27-31.

高岗,黄志龙,高兴友,等. 宋芳屯油田芳 3 区块葡萄花储层特征及其影响因素[J]. 西北地质,2005,38(02):76-81.

GAO Gang, HUANG Zhilong, GAO Xingyou, et al. Putaohua reservoir characteristics and its influence factors of Fang 3 area in Songfangtun oilfield,Songliao basin[J]. Northwest-ern Geology,2005,38(02):76-81.

邹才能,赵文智,张兴阳,等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报,2008,82(06):813-825.

ZOU Caineng, ZHAO Wenzhi, ZHANG Xingyang, et al. Formation and Distribution of Shallow-water Deltas and Central-basin Sandbodies in Large Open Depression Lake Basins[J]. Acta Geologica Sinica,2008,82(06):813-825.

叶萍,尹太举,郭青松. 柴达木盆地跃进二号油藏沉积相及平面展布[J]. 西北地质,2010,43(01):115-123.

YE Ping, YIN Taiju, GUO Qingsong. Sedimentary Facies and Planar Distribution of Yuejin No. 2 Oil Reservoir in Qaidam Basin [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(01):115-123.

张昌民,尹太举,朱永进,等. 浅水三角洲沉积模式[J]. 沉积学报,2010,28(05):933-944.

ZHANG Changmin, YIN Taiju, ZHU Yongjin, et al. Shal-

low Water Deltas and Models[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 933-944.

赵伟,邱隆伟,姜在兴,等. 断陷湖盆萎缩期浅水三角洲沉积演化与沉积模式——以东营凹陷牛庄洼陷古近系沙三段上亚段和沙二段为例[J]. 地质学报,2011,85(06):1019-1027.

ZHAO Wei, QIU Longwei, JIANG Zaixing, et al. Depositional Characters and Models of Shallow-water Delta in the Rift Lacustrine Basins during the Shrinking Stage: a Case Study of Upper Submember of Member 3 and Member 2 of Paleogene Shahejie Formation in the Area of Niuzhuang subsag, Dongying Sag[J]. Acta Geologica Sinica,2011. 85(6):1019-1027.

朱筱敏,刘媛,方庆,等. 大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J]. 地学前缘,2012,19(01):89-99.

ZHU Xiaomin, LIU Yuan, FANG Qiang, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake. example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 89-99.

黄秀,刘可禹,邹才能,等. 鄱阳湖浅水三角洲沉积体系三维定量正演模拟[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2013,38(05):1005-1013.

HUANG Xiu, LIU Keyu, ZOU Caineng, et al. Forward Stratigraphic Modelling of the Depositional Process and Evolution of Shallow Water Deltas in the Poyang Lake, Southern China[J]. Earth Science, 2013, 38(05): 1005-1013.

尹太举,张昌民,朱永进,等. 叠覆式三角洲——一种特殊的浅水三角洲[J]. 地质学报,2014,88(02):263-272.

YIN Taiju, ZHANG Changmin, ZHU Yongjing, et al. Overlapping Delta: A New Special Type of Delta Formed by Overlapped Lobes[J]. Acta Geologica Sinica,2014,88(02):264-272.

刘自亮,沈芳,朱筱敏,等. 浅水三角洲研究进展与陆相湖盆实例分析[J]. 石油与天然气地质,2015,36(04):596-604.

LIU Ziliang, SHEN Fang, ZHU Xiaomin, et al. Progress of shallow-water delta research and a case study of continental lake basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(04): 596-604.

- 李一赫,尚尧,张顺,等.多物源复合式浅水三角洲沉积特征与沉积模式[J].大庆石油地质与开发,2016,35(03):1-9.
- LI Yihe, SHANG Yao, ZHANG Shun, et al. Sedimentary Characteristics and Models of the Composite Shallow Water Delta with the Multiple sources[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development In Daqing, 2016, 35(03):1-9.
- 曾灿,尹太举,宋亚开.湖平面升降对浅水三角洲影响的沉积数值模拟实验[J].地球科学,2017,42(11):2095-2104.
- ZENG Can, YIN Taiju, SONG Yakai. Experimental on Numerical Simulation of the Impact of Lake Level Plane Fluctuation on Shallow Water Delta[J]. Earth Science, 2017, 42(11): 2095-2104.
- 叶蕾,朱筱敏,秦祎,等.断陷湖盆浅水三角洲沉积体系[J].地球科学与环境学报,2018,40(02):186-202.
- YE Lei, ZHU Xiaomin, QIN Yi, et al. Depositional System of Shallow Water Delta in Rifted Lacustrine Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(02):186-202.
- 吴胜和,徐振华,刘钊.河控浅水三角洲沉积构型[J].古地理学报,2019,21(02):202-215.
- WU Shenghe, XU Zhenhua, LIU Zhao. Depositional architecture of fluvial-dominated shoal water delta[J]. Journal of Palaeogeography, 2019, 21(02): 202-215.
- 郑忠文,吴彦君.鄂尔多斯盆地丰富川油田西部探区延长组沉积演化特征研究[J].西北地质,2014,47(03):110-120.
- ZHENG Zhongwen, WU Yanjun. Study on Sedimentary and Evolution Characteristics of the Yanchang Formation in Western Exploratory Area of Fengfuchuan Oilfield in Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(03): 110-120.
- 郝强,林良彪,余瑜,等.四川盆地南部须家河组砂岩组分特征及物源分析[J].西北地质,2016,49(04):110-120.
- HAO Qiang, LIN Liangbiao, YU Yu, et al. Research on Provenance and Characteristics of Sandstone Composition of Xujiahe Formation in Southern Sichuan[J]. Northwestern Geology, 2016, 49(04):110-120.
- 柯昌炜,李素梅,张洪安,等.东濮凹陷盐湖相烃源岩有机硫同位素分布特征及其地球化学意义[J].现代地质,2021,35(02):301-314.
- KE Changwei, LI Sumei, ZHANG Hongan, et al. Distribution Characteristics and Geochemical Significances of the Compound Specific Sulfur Isotope of Saline Lacustrine Source Rocks from the North Dongpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Geoscience, 2021, 35(02):301-314.
- 宋树丹.东濮凹陷文33块沙三上亚段油藏精细描述[D].东营:中国石油大学(华东),2019.
- SONG Shudan. Detailed description of reservoir of ES3S of Fault Block Wen 33 in Dongpu Depression[D]. Dongying: China University of Petroleum(East China), 2019.
- Barrett P J. Effects of the 1964 Alaskan earthquake on some shallow-water sediments in Prince William Sound, Southeast Alaska[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1966, 36(4):992-1006.
- Blum M D, Roberts H H. Drowning of the Mississippi Delta due to insufficient sediment supply and global sea-level rise[J]. Nature Geoscience, 2009, 2(7):488-491.
- Fisk H N. Sedimentary framework of the modern Mississippi Delta[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1954, 24(2):76-99.
- Postma G. An analysis of the variation in delta architecture[J]. Terra Nova, 1990, 2(2):124-130.
- Xu Shang, Hao Fang, Xu Changgui, et al. Seismic geomorphology and sedimentology of fluvial-dominated delta: Implications for the Neogene reservoirs, Offshore Bohai Bay Basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2019, 103: 2399-2420.