

Microfacies Characteristics of Upper Ganchaigou Formation of Youshashan Oilfield in Qaidam Basin

Yinhao Dong¹, Jun Tang^{1*}, Yongfang Li¹, Shaoming Li², Li Zeng¹, Bin Zhou¹

¹Geosciences School, Yangtze University, Wuhan

²Technology and Withdrawal Institute, Jiangnan Oilfield, Wuhan

Email: 918343917@qq.com, *tang0262@sina.com

Received: Apr. 1st, 2014; revised: May 2nd, 2014; accepted: May 9th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Based on core observation and logging analysis, the upper Ganchaigou formation of Youshashan in Qaidam Basin is determined to deposit in the terrigenous clastic transitional environment from the braided delta to the shallow river, through the research on its sedimentary background, source direction, sedimentary structure and analysis of grain sizes. The region is dominated by shallow-water delta front, including the braided distributary channels, interdistributary areas, sub-aqueous distributary channels, sub-aqueous interdistributary areas, mouth bars, distal bars, sheet sands, sand bars, sand beaches, grain banks, shallow-lake sheet sands and mudflats. What's more, on the basis of single-well facies analysis, integrated with a great mass of geophysical logging and well logging data, a study has been made on the microfacies areal distribution patterns of the six oil layer groups in upper Ganchaigou formation in the region, and it has been found out that the most favorable sand bodies were deposited in the sub-aqueous distributary channels and mouth bars in the delta front and sand bars in the shallow lake. The fine studies of microfacies lay a foundation for the speculation of the favourable facies belts, the potential tapping of remaining oil in the main layers and the future exploration and development of the oil field.

Keywords

Youshashan Oilfield, Upper Ganchaigou Formation, Microfacies, Oil Layer Group

*通讯作者。

柴达木盆地油砂山油田上干柴沟组沉积微相特征

董峯昊¹, 汤 军¹, 李永芳¹, 李少明², 曾 力¹, 周 斌¹

¹长江大学地球科学学院, 武汉

²江汉工艺采油研究院, 武汉

Email: 918343917@qq.com, tang0262@sina.com

收稿日期: 2014年4月1日; 修回日期: 2014年5月2日; 录用日期: 2014年5月9日

摘 要

以岩芯观察和测井分析为基础, 通过对柴达木盆地油砂山油田上干柴沟组的沉积背景、物源方向、沉积构造、粒度分析的研究, 确定其为一套以陆源碎屑的辫状河三角洲逐渐向浅湖过渡的沉积。区内以浅水三角洲前缘亚相沉积为主体, 主要包括辫状分流河道微相、分流河道间微相、水下分流河道微相、水下分流河道间微相、河口坝微相、远砂坝微相、席状砂微相、砂坝微相、砂滩微相、颗粒滩微相、浅滩微相、浅湖泥微相等11种沉积微相类型。此外, 以单井微相分析为基础, 结合大量的地球物理测井及录井资料, 研究了区块内上干柴沟组6个油层组的沉积微相平面分布规律, 最有利砂体主要发育在三角洲前缘的水下分流河道、河口坝及浅湖砂坝中。沉积微相的精细研究为推测有利相带为良好的岩性油气藏的发、主力层剩余油挖潜以及油田的下一步勘探开发奠定了基础。

关键词

油砂山油田, 上干柴沟组, 沉积微相, 油层组

1. 引言

沉积微相研究是精细油藏描述的基础, 是深入了解注水开发过程中油水运动规律的重要依据。近年来关于沉积微相的研究已取得了许多进展, 这些研究为进行精细沉积相分析奠定了基础。

油砂山油田位于柴达木盆地西部南区, 阿尔金山与昆仑山交界处(图 1)。柴达木盆地新近系油气主要分布在西部与西南部, 前人[1]对这些地区沉积有过研究, 西部沉积为扇三角洲-湖泊体系组合, 西南部为冲积扇-辫状河-辫状河三角洲-湖泊沉积体系组合[2], 在 1998 年青海油田也认为是这沉积体系, 目前都没得到准确统一。本文在前人研究的基础上, 对油砂山油田上干柴沟组的测井资料、岩心资料统计分析, 并结合沉积背景、物源方向、沉积构造、粒度分析、沉积序列及地球化学对新近系油砂山油田上干柴沟组的沉积微相不断深入研究[3]-[5], 阐明了沉积微相平面分布规律, 为油砂山油田的勘探开发做出了明确方向。

油砂山油田位于青海省柴达木盆地西部坳陷区, 茫崖坳陷亚区, 属二级构造带。油砂山油田构造是一个被多条断层切割的、西陡东缓、南陡北缓的不对称长轴背斜。油砂山油田是第三系地层主要有上新统下油砂山组和中新统上干柴沟组两套地层, 油砂山油田上干柴沟组(N1): 厚度约为 650 m, 根据岩、电特征及含油性的差异, 前人[1]将上干柴沟组自上而下划分为六个油层组。其中 VIII 和 IX 油层组是油砂

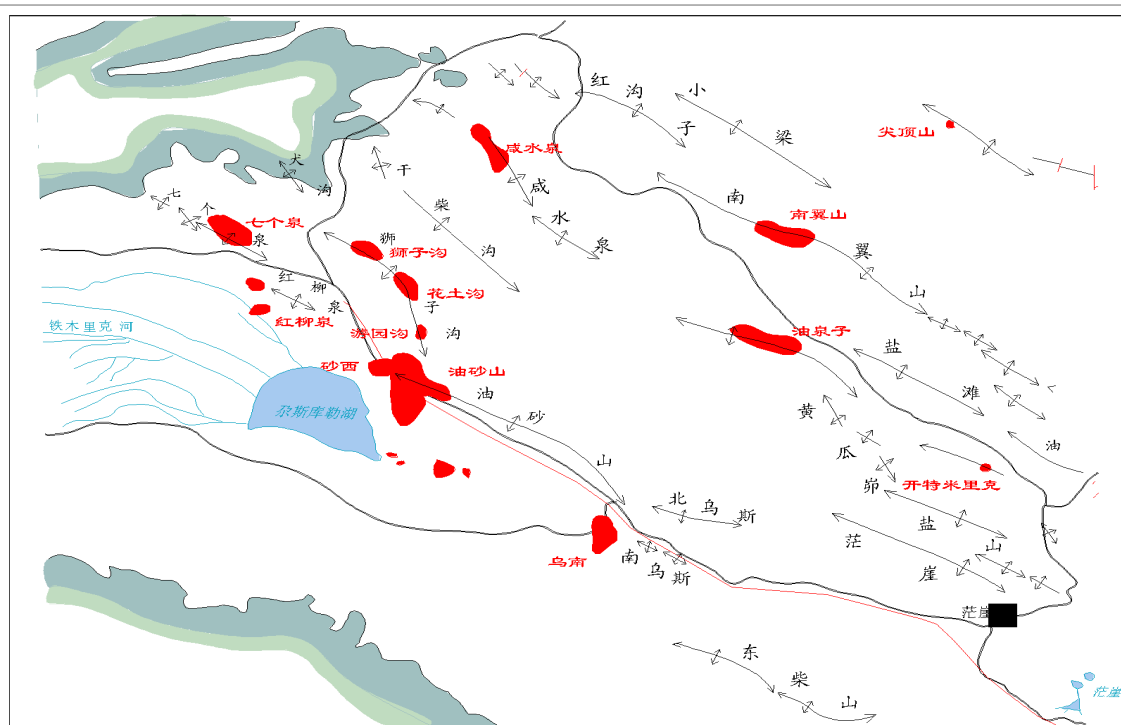


Figure 1. Location of Youshashan
图 1. 油砂山地理位置

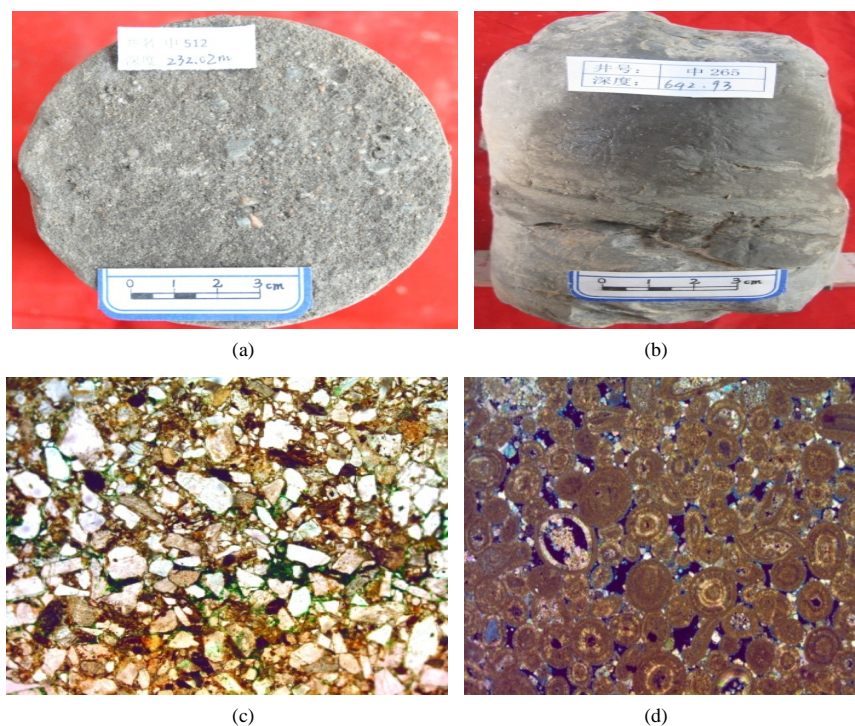
山油田上干柴沟组主要的油气勘探开发目的层系。

柴达木盆地西部南区从古近系 E_{1+2} 至上干柴沟组下段 N_1^1 沉积期主要湖侵高水位体系，随着西南缘昆仑山脉大规模隆起，在上干柴沟组上段 N_{12} 沉积期开始进入湖退体系，沉积中心由西南向东北迁移，油砂山 $N_1-N_1^2$ 沉积为辫状河流三角洲-湖泊沉积体系，依据重矿物标型特征进行物源分析，主要是接受西北方向阿拉尔交汇母岩供给。总体上来说，从 XII 油组到 VIII 油组是个湖退过程，VIII 油组顶部短暂湖泛后经历了快速湖退。从 VII 油组到 VI 油组是一个湖进过程，VII 油组到 I 油组为渐变湖退期。

2. 沉积特征分析

2.1. 岩性特征

油砂山油田上干柴沟组(N1)上部为绿灰色、棕灰色泥岩夹灰色、棕灰色砂岩，少量含砾砂岩，是主要储油层段。下部为绿灰、棕灰色泥岩、钙质泥岩、钙质粉砂岩夹砂岩，含粉砂质泥岩和泥质粉砂岩等过渡岩性，夹有少量薄层藻灰岩及泥灰岩(图 2)。砂岩粒度较粗，见有砾石，属中-粗砂岩和含砾砂岩。碎屑成分以石英、长石、岩屑为主。石英含量在 29%~99%，平均为 67.3%。长石含量在 0%~37.1%，平均为 14.6%。碎屑岩屑含量在 0%~40%，平均为 19%。石英和长石含量之和为 81.9%，成分成熟度指标石英/(长石 + 岩屑)为 2.44，这表明岩石成分成熟度较高，颗粒磨圆以次棱-次圆状为主[3]。胶结类型主要为接触式、孔隙-接触式，少见基底式等，颗粒接触以点-线接触为主。杂基含量较高平均在 6.1%~8.2%，胶结以方解石胶结为主。主要粘土矿物有伊利石和绿泥石。依据陆源碎屑含量的变化可以看出，物源方向是由西向东迁移在此过程中长石的含量有西部到有 78% 逐渐减少到 58%，而石英逐渐增加又 0 到 42%，由陆源碎屑棕红色及棕色向灰色、灰绿色灰岩及粉细砂岩过渡，沉积构造发育也逐渐减少、可判定研究区沉积由浅向深过渡的过程。



(a) 中 512 井, 232.02 m 含砾中粗砂岩; (b) 中 265 井, 642.93 m, 藻灰岩及生物灰岩; (c) 中 126 井, 井深 518.03 棕褐色细中粒长石砂岩, 石英 33%, 长石 36, 变质岩屑 12%, 鲕粒 75%, 水下分流河道铸体片, 单 $\times 50$; (d) 中 299 井, 井深 610.8 m, 粉晶鲕粒灰岩介屑 3% 粉晶方解石 15%, 铸体片, 单 $\times 50$ 。

Figure 2. Core images and core flakes
图 2. 岩心图片及岩心薄片

2.2. 沉积构造

通过岩芯观察可知: 研究区层理类型多样, 发育块状层理、交错层理、小型交错层理、斜层理、波状层理、脉状、透镜状层理、平行层理、水平层理、韵律层理等, 变形、滑塌构造, 冲刷面发育。这些层理多出现在三角洲平原和三角洲前缘, 尤其是变形构造和滑塌构造更说明了三角洲前缘的沉积环境特征。

生物遗迹构造是三角洲前缘及平缓的滨-浅湖沉积环境重要指相标志。油砂山地区最为常见的生物成因构造类型主要是生物潜穴和生物扰动构造, 生物扰动由强变弱或由弱变强的韵律。

2.3. 粒度分析

通过对取芯井砂岩样品的粒度资料分析, 排除多数不规范资料, 概率曲线大部分以两段式为主, 个别以三断及多段式。二段式由跳跃和悬浮 2 个总体组成, 在多数样品上的表现是以跳跃总体为主, 个别的样品也表现为以悬浮总体为主。一般跳跃总体粒径在 $1\sim 5\phi$ 间, 含量 60%~80%, 个别小于 10%, 斜率大于 50° 。悬浮总体含量 20%~40%。总体上反映了弱水动力条件下的牵引流的搬运沉积机制。该类曲线主要发育在分流河道、河口坝砂体。三段式由牵引、跳跃、悬浮三个总体组成, 以跳跃总体为主。从 $1\sim 4\phi$, 含量小于 10%。跳跃总体斜率大于 45° , 但悬浮总体含量 $< 10\%$ 。反映典型的弱水流牵引搬运沉积机制。发育于河道间、远砂坝等微相。油砂山地区随着昆仑山脉大规模隆起, 上干柴沟组时期湖水开始退去, 湖盆中心开始迁移, 下油砂山组时期继续缩小, 从 C-M 图上(图 3), 只发育 QR 段和 RS 段, RS 段特别发育, 表明油砂山油田为较典型三角洲相沉积。

2.4. 沉积序列

上部以棕红、棕黄红色泥岩为主，中部以灰色、棕灰色、灰绿色砂岩为主、下部为灰色灰岩及深灰色钙质泥岩，上中下形成一套较完整的生储盖组合储层岩性。总的特点是上粗下细，上红下灰反旋回沉积。

2.5. 地球化学特征

前人在第三系地层[6]-[9]的包分组见有藜粉、菊粉、麻黄等耐盐耐旱植物含量 25%，油砂山地区白刺属、藜科等耐旱盐、耐旱植物含量达 67%，由 Sr/Ba 比值沉积水介质盐度指标，油砂山地区泥岩的含量分析平均在 0.37~1.05，平均 0.58，可以看出油砂山地区属于干旱条件下形成的半咸水介质的沉积环境(图 4)。

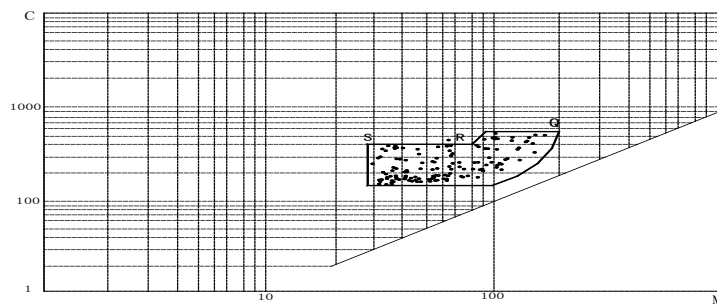


Figure 3. C-M diagram of Youshashan region

图 3. 油砂山地区 C-M 图

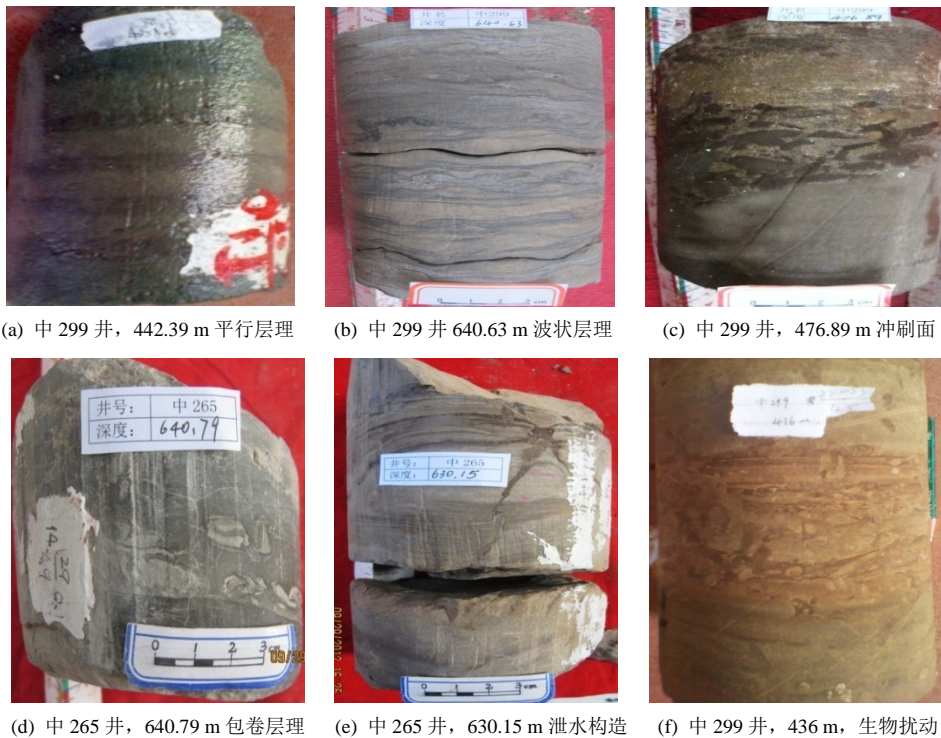


Figure 4. Sedimentary and tectonic characteristics of Shang Ganchaigou set in Youshashan

图 4. 油砂山上干柴沟组沉积构造特征

3. 沉积相类型及特征

油田开发阶段沉积微相的研究是建立储层地质模型、研究剩余油分布的基础。根据岩芯观察、粒度分析资料、C-M 图和薄片等特征研究,结合测井曲线识别出以下几种沉积微相类型(表 1),其中上干柴沟组构成油气储层最主要的砂体微相是三角洲水下分流河道、河口坝和砂坝微相。依据单井岩心井中 299 和中 250 两口井沉积相划分看出是三角洲相逐渐过渡滨浅湖相环境(图 5)。

3.1. 辫状河三角洲相

三角洲平原是陆上沉积部分,以河流大量分叉开始为三角洲平原与河流的分界线[4],主要是水上沉积,少部分为水下沉积颜色主要为棕红、棕黄色的砂质泥岩及砂砾岩,发育交错层理、粒序层理及冲刷构造,微相可细分为水上分流河道(分流河道)、分流河道间。自然电位呈微齿化的低幅箱状和钟形组合,视电阻率曲线为中幅扁钟状形态,单一层序的厚度变化较大。粒度曲线以二段式为主。研究区的岩相主要是为褐灰色块状层理含砾长石岩屑粗粒砂岩、棕灰色含砾交错层理中粒砂岩相,少量薄层状泥岩相。在分流河道间以颜色以棕褐、棕红灰绿色为主,岩石以细、粉砂岩及粘土级为主,分选性好,结构成熟度好测井相特征以较平直或微齿形夹指形。岩石相主要为灰绿色薄层状粉砂质泥岩相和灰绿色纹层状生物潜穴泥质粉砂岩相[10]-[13]。

三角洲前缘是三角洲水下部分,以湖平原为三角洲平原与前缘的分界线,沉积物颜色为灰色、灰绿色的粉细砂岩及灰色灰质泥岩或灰岩,发育水平层理、波状层理、泄水构造、包卷层理及生物虫孔,微相分水下水分流河道、水下分流河道间、河口坝、远砂坝、席状砂等。三角洲前缘微相特征简述如下:

1) 水下分流河道微相

研究区三角洲相中最发育的微相类型,它是水上分流河道在湖泊中延伸,垂向夹于三角洲的中部,具河流沉积特征,沉积物以灰白色、灰黑色砂岩、粉砂岩为主,泥质很少。常发育槽状、板状交错层理、波状交错层理、韵律层理,局部见有含泥砾的冲刷构造。生物扰动构造、虫孔发育。粒度曲线以两段式为主,自然电位曲线多呈箱形或钟形,幅度中-高,自然伽马异常幅度中-高。

2) 水下分流河道间微相

该微相特征与前三角洲泥相似,是三角洲前缘水下分流河道间沉积的细结构粉砂、泥质岩类沉积体,颜色以褐色、灰绿、灰色为主,岩石结构为粉粒级和粘土级,磨圆分选中等,发育水平层理、透镜状层理、砂纹层理、包卷层理、泄水构造,可见生物潜穴,测井相为自然电位异常低幅线性或微齿化形态,自然伽马幅度中-高幅,以泥岩为主,呈薄互层齿状特征。

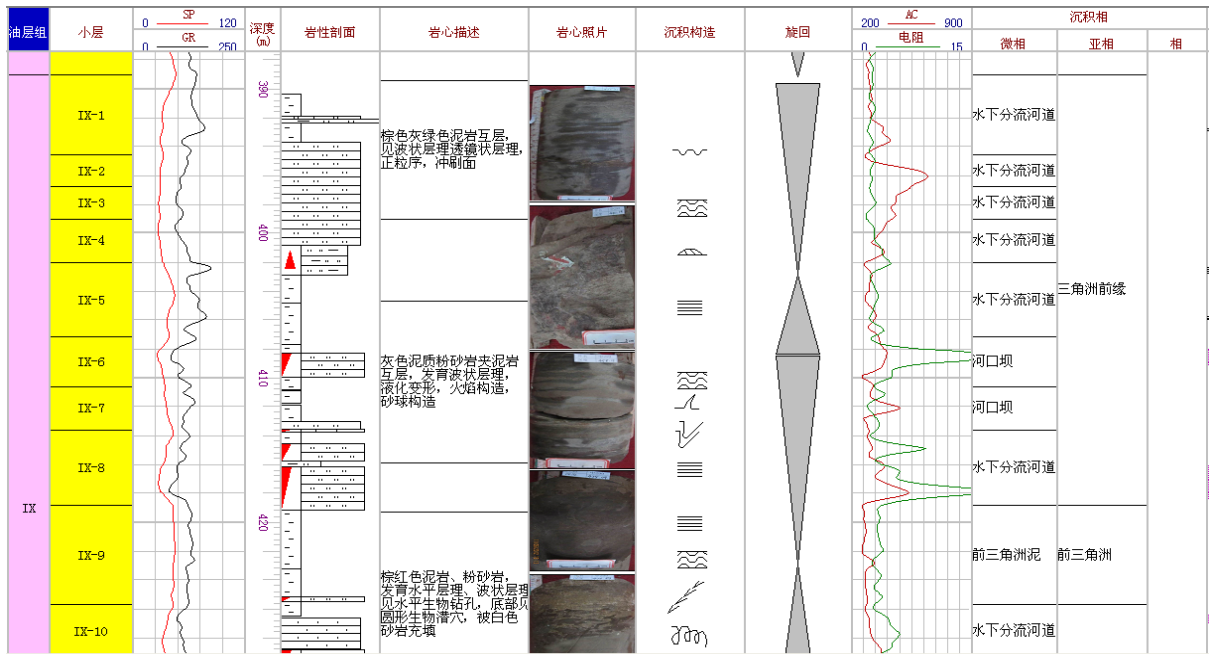
3) 河口坝微相

位于水下分流河道的河口处,是水下分流河道经湖水冲刷和湖浪改造簸选的沉积产物,岩性由颜色较暗的砂岩、粉砂岩组成,一般分选较好,质较纯净,粒序上通常向上变粗呈反粒序,发育楔形交错层理和水平层理。包含滚动、跳跃、悬浮三种类型沉积的颗粒,粒度概率曲线一般为三段式。单砂体的厚

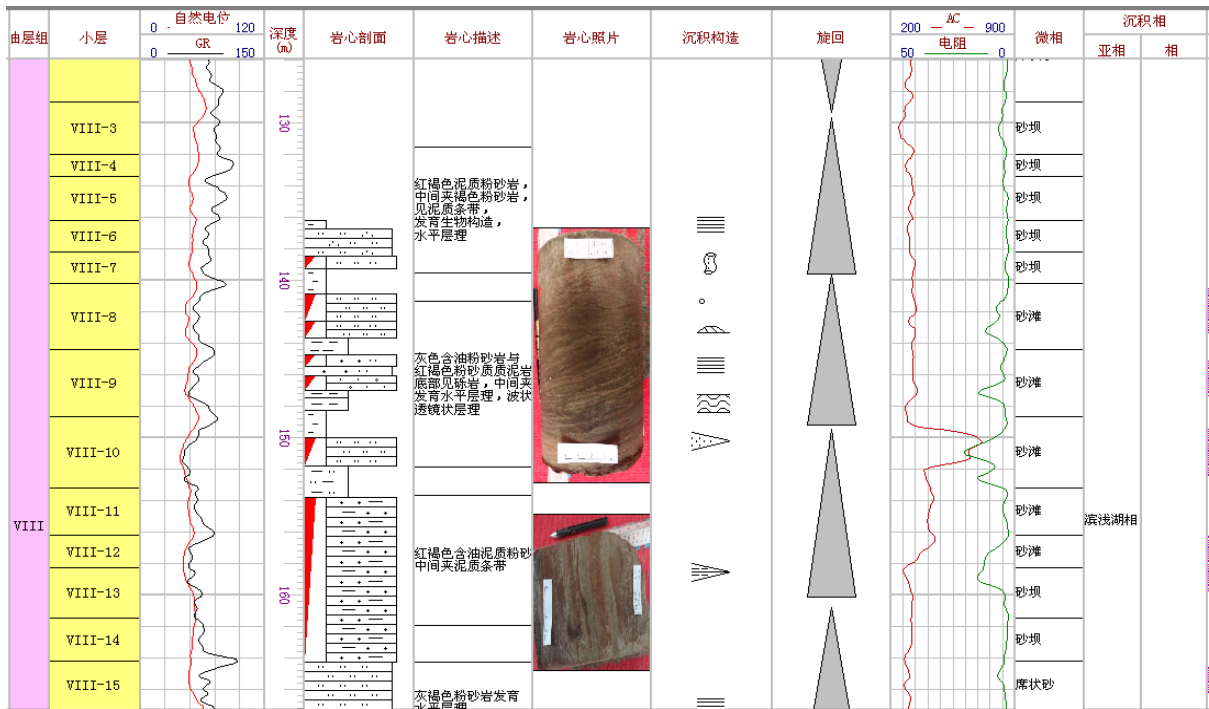
Table 1. Classification diagram of microfacies of Shang Ganचाigou set in Youshashan Oilfield

表 1. 油砂山油田上干柴沟组沉积微相类型划分表

沉积相	亚相	微相
三角洲相	三角洲平原亚相	辫状分流河道微相、分流河道间微相
	三角洲前缘亚相	水下分流河道微相、水下分流河道间微相、河口坝微相、远砂坝微相、席状砂微相
滨浅湖相	浅湖亚相	砂坝微相、砂滩微相、颗粒滩微相、浅滩微相、浅湖泥微相



中 299 井单井综合柱状图



中 250 井单井综合柱状图

Figure 5. Classification of microfacies
图 5. 沉积微相的划分

度、粒度规模均表现出向上变大、变粗的趋势, 呈现反韵律层序特征。自然电位曲线表现为漏斗形或漏斗-箱形的复合形态, 负异常明显, 自然伽马异常幅度中等或钟-高, 曲线呈可微齿或光滑曲线加积-前积式幅度组合。

4) 远砂坝微相

因河口坝砂质物受潮浪改造而在前缘河口坝的前方形形成局部小型坝体沉积物，岩性主要是褐色及浅灰色粉细砂岩，分选磨圆相对较好，沉积构造有砂纹层理、微波状层理、水平层理，砂枕构造、变形及包卷层理，见生物虫孔，局部中间夹泥质条带，在测井曲线自然电位和自然伽马幅度偏低，呈指形-漏斗形，自下而上变大。沉积岩相为褐色砂纹层理粉砂岩相。

5) 席状砂微相

前缘席状砂由河流携带的细粒砂质、粉砂质沉积物直接越过河岸沉积而成或砂质、粉砂质沉积物经波浪再改造发生侧向迁移呈大片分布、延伸较远的席状薄层砂。自然电位曲线中-低幅指形为主，部分为漏斗形和钟形，电阻率曲线形态为中-低值齿形。沉积岩相为灰色微波状及水平粉砂岩相。

3.2. 滨浅湖相

主要为滨湖相与浅湖相。该地区主要发育浅湖亚相该时期处于枯水期岸线-湖水浪基面之间的浅水地带，沉积了一套以碎屑岩和泥质岩类为主，局部见颗粒灰岩、泥晶灰岩和泥灰岩沉积构造，主要划分砂坝、沙滩、浅滩和浅湖泥5个沉积微相。各微相特征简述如下：

1) 砂坝微相

主要发育浅湖亚相沉积期水下高地的高能带上岩性主要以浅灰、灰绿色的粉砂岩、细砂岩，局部见少量细泥砾级内碎屑和少量粘土级，分选磨圆较好，矿物成熟度中-较好，沉积构造以递变层理水平层理，在测井曲线主要表现中高幅齿形、漏斗形，有时见箱形呈反粒序也反应物源供应的不断叠加的，电阻率曲线为中幅齿化漏斗形或指形特征，多见中250与中512井。

2) 沙滩微相

该微相主要发育浅湖亚相水下略高地貌及附近的中等水动能区带，岩石结构主要以粉-细粒级为主，粘土较少，分选磨圆较好，成熟度中-高等。岩石相有灰绿色平行层理石英粉砂岩、浅灰色爬升层理细粒长石岩屑砂岩、灰绿色波状层理、平行层理，泄水构造和近水平的虫孔，在测井曲线上主要为中齿化指形或钟形。中250井较典型。

3) 浅滩微相

该微相主要发育滩坝和浅湖泥之间属中低能环境沉积，浅湖中的席状砂主要是湖浪将滩坝进行簸洗重新分配沉积的薄层状粉砂岩，分选磨圆较好，成熟度较高，沉积构造有水平层理和微波状层理，在测井曲线为中高幅指状形，典型见中250井。

4) 浅湖泥微相

该微相发育较弱水动力条件下，岩性主要为灰色、灰白及褐色混杂的粘土级夹少量的粉砂级，沉积构造有水平纹层、生物潜穴局部见生物扰动，在测井曲线上主要表现平直光滑低幅的齿形。见于中250井中。

4. 沉积微相平面展布特征

沉积微相的平面展布是沉积微相研究的核心，从油砂山上干柴沟组沉积整体看：第I-V油层组沉积时期的砂体分布的状况来看，该时期河道发育水下分流河道是主体微相，是全区湖体面积由小变大的时候，VI-VIII沉积时期湖水开始湖进阶段，VIII沉积时期是湖进阶段鼎盛阶段，第IX-XIII油组沉积时期开始湖退。从研究区六个小层微相展布的特点来看，上干柴沟组沉积总体为水进背景下的三角洲沉积组合，由多个次一级的水进、水退沉积组成，沉积演化湖水进退快慢有差异，从第VIII油层组沉积时期中VIII-1小层至第VIII-21小层，水下分流河道、河口坝、砂坝逐渐发育，扩至全区大面积地区，从第IX-XIII

开始湖退阶段，第 IX 油层组水体逐渐扩大，砂体沉积范围缩小；第 IX-8 小层时期，湖水慢慢后退，河道砂连片沉积，但开始砂坝慢慢变少；至第 IX-16 小层，湖域又逐渐缩小；第 X 小层时期，湖水再一次后退，河道砂及砂坝大规模消失，至第 XIII 小层，河道及湖域没有砂体沉积，因此 VIII 沉积时期是湖进阶段鼎盛阶段，砂体发育最好、分布最广(图 6)，其次是 IX 油层组沉积时期砂体发育较好。而且最有利砂体主要发育在三角洲前缘的水下分流河道、河口坝及浅湖砂坝中。

在纵向油砂山油田上干柴沟组地层完整，厚度由南向北、西北方向地层逐渐增厚。自下而上变化主要是：从 XII 油组到 VIII 油组是个湖退过程，VIII 油组顶部短暂湖泛后经历了快速湖退。从 VII 油组到 VI 油组是一个湖进过程，VII 油组到 I 油组为渐变湖退期。

综合分析研究油砂山油田上干柴沟组沉积相分布区域及勘探领域进行初步预测，为三角洲的发育和

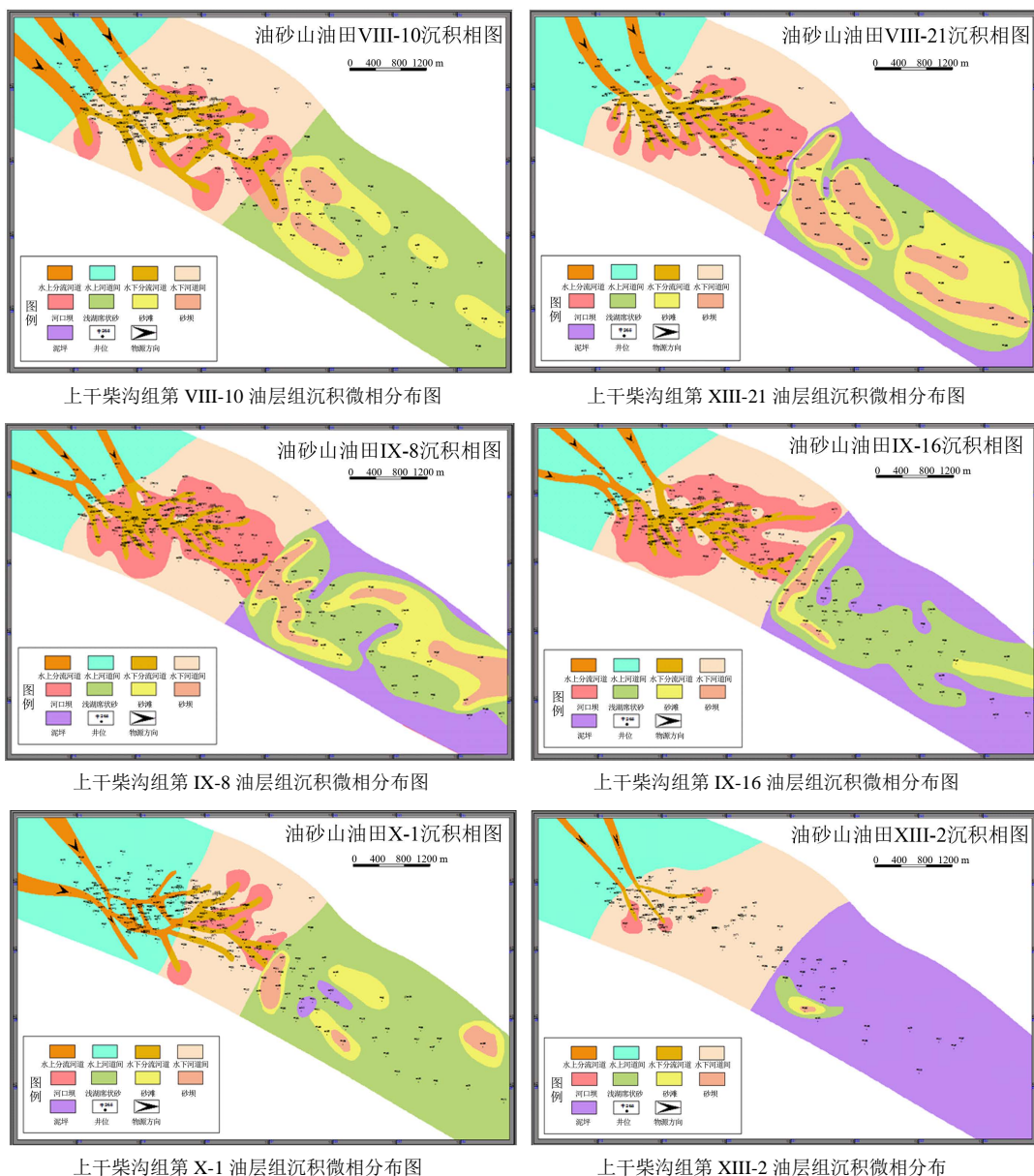


Figure 6. Microfacies distribution map of Shang Ganchaigou set in Youshashan Oilfield

图 6. 油砂山上干柴沟组沉积微相分布图及其变化

有利砂体提供了基础,一方面三角洲平原分流河道及三角洲前缘的水下分流河道、河口坝、远砂坝及席状砂提供了丰富的砂体,结构成熟度较好,分选性也较好,储集性能好,厚度较大。另一方面三角洲前缘的细砂岩、粉砂岩、泥岩与浅湖相的砂坝、砂滩、浅湖泥在湖水的频繁交替下,有利于为波浪层理、水平层理、脉状及透镜状层理的发育,为油气聚集提供了良好的封盖条件,也有利于岩性油气藏的形成。有利勘探地区大致在三角洲前缘及滨浅湖相融合地方。

5. 结论

1) 上干柴沟组发育一套浅水三角洲-滨浅湖沉积体系,以发育三角洲平原、三角洲前缘和浅湖亚相为主体,进一步细分为分流河道微相、分流河道间微相、水下分流河道微相、水下分流河道间微相、河口坝微相、远砂坝微相、席状砂微相、砂坝微相、砂滩微相、浅滩微相、浅湖泥微相等 11 种沉积微相类型。沉积物从下到上表现出红、棕色-灰、深灰色-棕色、灰绿粉砂岩及砂岩与泥岩互层的特征。

2) 研究区主要受来自东北方向和西北方向的两支物源影响,控制了区内三角洲相带的分布规律。在上干柴沟组沉积微相平面展布中, VIII 油组沉积期沉积水体相对更深,三角洲沉积分布范围最广,砂体发育最好; IX 油组次之, XIII 油组沉积期水体最浅,三角洲沉积分布最小,至后期水体逐渐咸化,变为咸水湖泊沉积。三角洲沉积中水下分流河道微相最为发育,河口坝次之,席状砂微相发育规模相对较小。浅湖相砂体发育较好的主要是砂坝和砂滩,其次浅滩。

3) 本次沉积微相研究成果为后续储层非均质性研究及储层综合评价、剩余油挖潜、开发方案的调整奠定了基础。

参考文献 (References)

- [1] 王琳,张合鉴,赵国梅,等 (2009) 油砂山油田开发调整方案研究. 青海油田勘探开发研究院, 酒泉, 12-13.
- [2] 戴林,纪友亮,刘成鑫 (2005) 阿尔金斜坡地区上、下油砂山组沉积相分析. *新疆石油地质*, 2, 172-174.
- [3] 郭智 (2011) 辫状河三角洲相储层测井评价——以柴达木盆地跃进 II 号油田为例. 硕士论文, 中国石油大学, 北京.
- [4] 孟万斌,李敏,刘家铎 (2010) 柴达木盆地北缘潜西地区路乐河组末端扇沉积体系分析. *岩性油气藏*, 4, 38-42.
- [5] 赵加凡,陈小宏,杜业波 (2004) 柴达木第三纪湖盆沉积史. *石油勘探与开发*, 3, 41-44.
- [6] 蒋斌,李凤杰,郑荣才,等 (2010) 柴达木盆地北缘西段古近系路乐河组沉积相特征研究. *岩性油气藏*, 1, 49-52.
- [7] 刘琪,潘晓东,李凤杰 (2011) 柴北缘西段新近系上干柴沟组沉积相特征分析. *沉积与特提斯地质*, 2, 67-74.
- [8] 杨玲,鲍志东,陈开远,等 (2010) 柴达木盆地三湖地区第四系沉积相研究. *科技导报*, 14, 61-64.
- [9] 青海油田勘探开发研究院 (2009) 青海石油管理局一九九八勘探部署报告. 青海油田勘探开发研究院, 酒泉.
- [10] 王鹏,赵澄林 (2001) 柴达木盆地北缘地区第三系碎屑岩储层沉积相特征. *石油大学学报(自然科学版)*, 1, 12-15.
- [11] 冯增昭 (1993) 沉积岩石学. 石油工业出版社, 北京.
- [12] 代黎明,李建平,周心怀,等 (2007) 渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析. *岩性油气藏*, 4, 75-81.
- [13] 胡九珍,冉启贵,刘树根,等 (2009) 塔里木盆地东部地区寒武系-奥陶系沉积相分析. *岩性油气藏*, 2, 70-75.