

# 五墩凹陷北部斜坡带储层沉积特征及 油气勘探意义

曹力伟, 张敏, 刘国宏, 侯旭波, 崔红庄

中石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东 东营  
Email: 285452979@qq.com

收稿日期: 2020年12月4日; 录用日期: 2021年1月14日; 发布日期: 2021年1月21日

## 摘要

研究表明, 敦煌盆地五墩凹陷侏罗纪时期为山前断-坳陷盆地, 发育有南部、北部、东北部三个方向物源体系, 中间沟组一段(J<sub>2</sub>z<sup>1</sup>)是凹陷内主要的烃源岩及储层发育组段, 油气藏多为自生自储。中间沟组一段(J<sub>2</sub>z<sup>1</sup>)沉积期, 湖盆整体较浅, 受北山物源体系控制, 凹陷北部斜坡带坡度较缓, 但随沉积水体逐渐扩大、加深, 发育有退积型浅水辫状河三角洲沉积, 地震剖面具有S型前积和斜交型前积地震反射。储层物性受沉积微相、砂岩组分及填隙物的影响, 泥质杂基含量高是导致储层物性差的主要原因, 寻找有利储集相带是该区下步主要的勘探方向。

## 关键词

浅水辫状河三角洲, 沉积特征, 北部斜坡带, 五墩凹陷, 侏罗系中间沟组

# Sedimentary Characteristics of Reservoir in Northern Slope Zone of Wudun Sag and its Significance for Oil and Gas Exploration

Liwei Cao, Min Zhang, Guohong Liu, Xubo Hou, Hongzhuang Cui

Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC,  
Dongying Shandong  
Email: 285452979@qq.com

## Abstract

The result of exploration in Wudun sag of Dunhuang Basin shows that the Wudun sag is a piedmont fault-depression basin with three source systems in the south, north and northeast in Jurassic period. The middle gully formation ( $J_2z^1$ ) is the main source rock and reservoir formation in the sag, where the self-generated and self-stored reservoir developed. During the deposition period of the middle gully formation ( $J_2z^1$ ), the lake basin is shallow overall, controlled by the Beishan provenance system. The slope of the northern slope of the depression is relatively slow. As the sedimentary water body gradually expands and deepens, there is a degraded shallow water-discriminating river delta deposit. The seismic profiles have S-type progradation and oblique progradation seismic reflection. The physical properties of reservoir are affected by sedimentary microfacies, sandstone composition and interstitial materials. The physical properties of under-water distributary channel and estuarine sand bar are better than that of the interchannel. The physical properties of the reservoir tend to be better with the increase of quartz content, and the content of the rock cuttings is inversely proportional to the physical properties of the reservoir. The high content of muddy heterogeneity is the main cause of poor physical properties of the reservoir. Finding a favorable reservoir phase belt is the main exploration direction of the next step in the area.

## Keywords

Shallow Water Braided River Delta, Sedimentary Characteristics, Northern Slope Zone, Wudun Sag, Middle Gully Formation of Jurassic

Copyright © 2021 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

敦煌盆地是在震旦系基底之上发育来中-新生代残留盆地,经历了燕山和喜山2期构造沉积旋回,沉积了侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系地层,原始地层最大厚度达到5500米,盆地在燕山晚期和喜山早期遭受挤压抬升,白垩纪-古近纪地层遭受剥蚀,最大剥蚀厚度达2700米,盆地现今只保存了侏罗系下统大山口组、中统中间沟组-新河组、上统博罗组,新近系疏勒河组及第四系地层。

通过长期的勘探研究,对盆地的构造演化及侏罗系地层沉积特征等方面的油气地质基础有了较清晰的认识。五墩凹陷位于盆地中部,南邻三危山、向北与北山相接,凹陷由南至北划分为南部断阶带、中央洼陷带、北部斜坡带(图1)。前期在北部斜坡带南缘钻探的XC1、D1井在中间沟组一段( $J_2z^1$ )均获得低产工业油流。证实北部斜坡带油气勘探潜力较大,由于中间沟组有利储层分布规律不清,制约探区油气勘探部署。前期研究表明,中间沟组沉积背景具有盆地范围大、沉积水体浅、物源体系多、斜坡带坡度缓的特点。早-中侏罗世期,湖盆广阔、气候温暖湿润、发育大型三角洲和湖沼沉积,中-晚侏罗世期湖盆局限、气候干旱,发育河流相杂色沉积物,这与西北地区该时期的气候环境相同。

近年来国内学者对松辽、鄂尔多斯、准噶尔等大型盆地的浅水三角洲形成条件、沉积特征进行了详细研究,认为浅水辫状河三角洲是辫状河搬运沉积物至湖盆沉积而成,构造稳定、地形平缓、水体较浅、

频繁多变湖平面、充足物源等地质条件有利于形成浅水辫状河三角洲发育[1]-[8]。本文综合利用凹陷周缘露头、凹陷内4口钻井测试资料及750 km地震资料,对北部斜坡带中间沟组一段沉积特征进行系统研究,建立中间沟组储层层序地层格架,认为其具有浅水辫状河三角洲沉积特征,在详细分析储层特征基础上,指出了有利储层发育区。

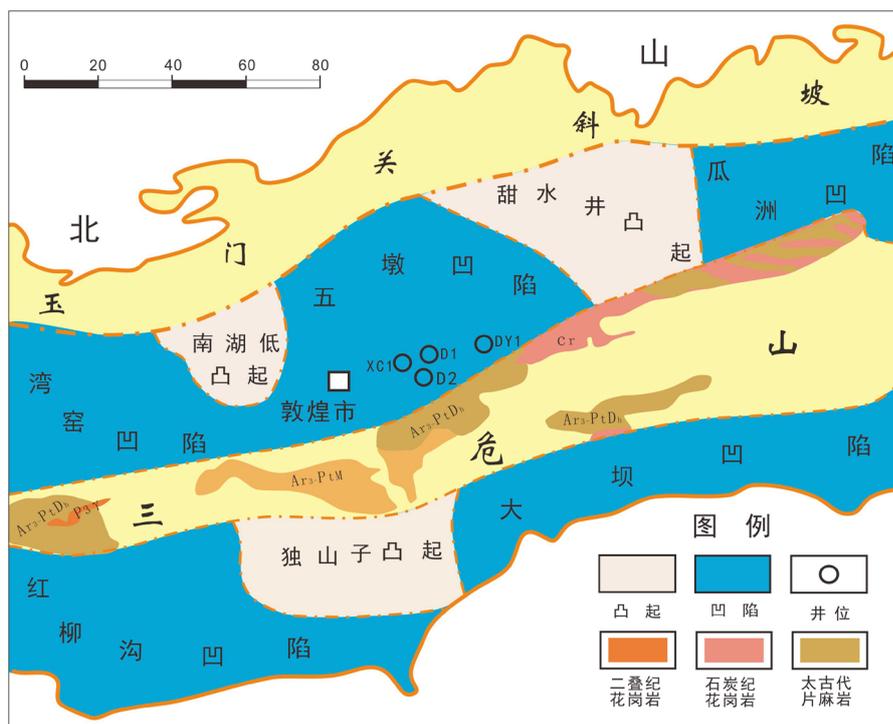


Figure 1. Structural location map of Wudun Sag, Dunhuang Basin  
图 1. 敦煌盆地五墩凹陷构造位置图

## 2. 沉积背景

### 2.1. 凹陷缓慢沉降, 斜坡带宽广坡缓, 物源供给充足

燕山运动早期,古特提斯海处于缓慢拉张状态,敦煌盆地周缘由挤压剥蚀为逐渐转变为拉张沉降。侏罗纪以来,五墩凹陷构造演化经历了初始断陷阶段(早侏罗世),断陷发育阶段(中侏罗世早期),断陷转换阶段(中侏罗世中期),拗陷发育阶段(晚侏罗世),断陷发育阶段(早白垩世),挤压抬升阶段(晚白垩世-古近纪),走滑逆冲拗陷阶段(新近纪-第四纪)。中间沟组处于盆地构造演化的断陷发育阶段,由于侏罗纪早期剥蚀及填平补齐作用,到早侏罗世晚期-中侏罗世已呈现大范围准平原沼泽化,局部有残留山丘与洼地古地貌,火山及断裂活动均不强烈,古地形依然保持着西高东低、南低北高的特征,该阶段湖盆稳定沉降,北部斜坡带坡度较缓、水体相对较浅,以河流相、浅水辫状河三角洲相沉积为主,为广泛分布的浅水辫状河三角洲发育提供了稳定沉降的构造基础,来自北山的物源经过长距离搬运,向南延伸到三危山山前洼陷带,与南部近源扇三角洲交汇在中央洼陷带半深湖区[9]-[15]。

### 2.2. 古气候温暖潮湿, 湖盆逐渐扩大, 水体逐渐加深

中国北方地区侏罗纪的古气候演化规律是从早侏罗世-中侏罗世早期温暖潮湿演变到中侏罗世中、晚期半干旱、半潮湿,再演变到晚侏罗世的炎热干旱。不同时间段的不同气候形成了不同类型的动植物

群落,但在区域上有很大的同步性,其在沉积物中的记录是地层对比的重要依据。早侏罗世-中侏罗世早期在温暖湿润型气候条件下,喜好温暖湿润型植物较为发育,圆形锥瘤孢 *Apiculatisporis*、圆形块瘤孢 *Verrucosisporites* 占优势。敦煌盆地侏罗系整个气候的演化特点与中国北方地区侏罗纪的古气候演化规律是一致的,中侏罗统中间沟组沉积时期,充填了碎屑岩、泥岩和碳质泥岩,气候湿润,动植物繁盛,有机质堆积[16][17][18]。

五墩凹陷 XC1 井样品分析结果显示,中间沟组一段下部与上部裸子植物花粉与蕨类孢子含量有明显的差异,下部以裸子植物花粉为主,孢子以桫欏科植物、圆形锥瘤孢属占优势,表明当时为温暖潮湿气候;上部以蕨类孢子为主。中间沟组一段上部克拉梭粉属、苏铁粉属等耐旱裸子植物较下部组合大幅增加,反映该时期气候发生了明显的变化,即气温逐渐升高,古气候由温暖潮湿转化为半干旱的炎热干燥气候,中间沟组沉积时期潮湿-半干旱的气候为充足的碎屑物质提供了良好的气候背景。

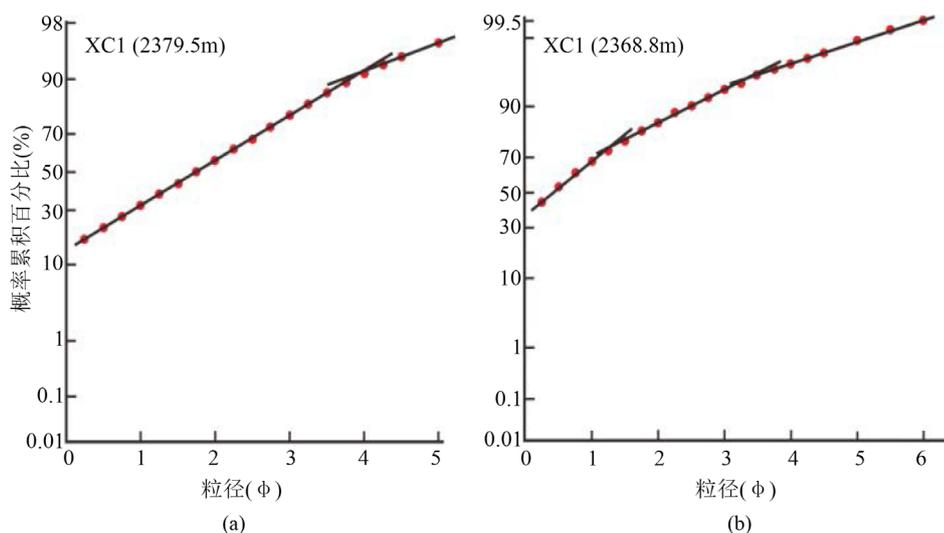
古生物组合特征不仅可以准确反映古气候的变化,而且可以说明古沉积环境和湖平面的变化。中间沟组一段为灰色、灰黑色泥岩、炭质泥岩,多见植物碎屑及薄煤线,双壳类、腹足类化石少见,这也表明该时期水体较浅,碎屑供给充足,水体动荡,水生动物稀少,易于发育浅水辫状河三角洲。

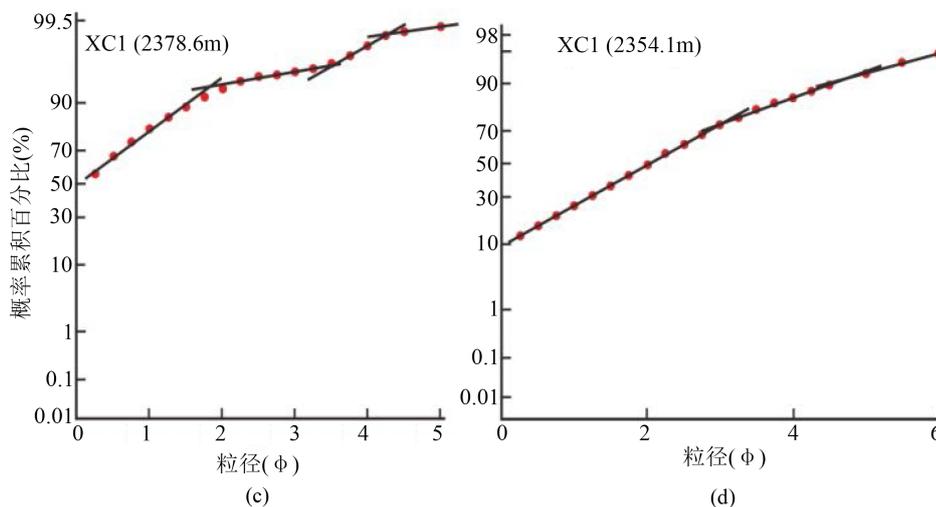
### 3. 沉积特征

五墩凹陷是敦煌盆地目前唯一在侏罗系中间沟组取得油气发现的凹陷,盆地内的其它凹陷无钻井揭示该套地层,敦煌盆地东北部的酒西盆地缺失该套地层。五墩凹陷处于勘探早期,勘探程度低,该区的构造、沉积、成藏等研究工作始于 2006 年,研究方向集中在宏观的区域构造演化与沉积充填[19][20][21]、已钻井油藏类型解剖及成藏条件分析[22][23],对于沉积背景、沉积类型等影响储层物性的关键因素论述较少,没有指出有利储层展布特征,笔者至今一直从事五墩凹陷石油地质研究,利用最新的研究成果,详细分析勘探目的层沉积特征,指出了有利储层发育区。

#### 3.1. 岩性特征

中间沟组一段岩石类型主要为粗粒的岩屑砂岩、长石岩屑砂岩和砂质砾岩,这些砂岩的成分成熟度中等偏低、结构成熟度低。它们的重矿物组合具有白钛矿、锆石、金红石、石榴石相对稳定,磁铁矿、电气石有差异的特点,反映沉积物母岩类型主要为变质岩、沉积岩。稳定重矿物锆石、电气石和石榴石的含量变化较小,ZRT 指数平均值在 67.34%与 82.6%之间,说明沉积区远离物源区。





**Figure 2.** Cumulative particle size probability curve of the first member of XC1 the middle gully formation ( $J_2z^1$ )

**图 2.** XC1 井中间沟组一段( $J_2z^1$ )累积粒度概率曲线图

中间沟组一段累积粒度概率曲线图特征表明, 该段具有浅水辫状河三角洲水下分流河道与河口坝沉积特点。水下分流河道累积粒度概率曲线具有以下 3 种类型, 第一种为典型的两段式, 以跳跃和悬浮为主, 主要特点是跳跃总体累积概率含量大于 60%~90%, 粒度区间 0~4  $\phi$ ; 悬浮总体累积概率含量小于 20%, 交截点在 3.5~4.5  $\phi$ 。粒度曲线中跳跃总体含量组分较粗且含量高, 悬浮总体含量低, 反映水动力条件较强的牵引流形成的水下分流河道沉积特征(图 2(a))。

第二种为过渡带的三段式, 主要特点是跳跃总体含量高, 可达 80%, 分选中等, 粒度区间为 0~1.5  $\phi$ ; 悬浮总体含量低, 小于 5%; 过渡带组分含量为 15%~20%。跳跃、悬浮两总体的交截点在 1.5~4  $\phi$ 。反映水体动荡性增强的三角洲前缘水动力特征(图 2(b))。

第三种为过渡带的多段式, 斜率较低, 曲线表明粗细颗粒均悬浮, 其粒度范围宽, 组份多, 分选较差。反映水体能量较强的动荡性的水流入湖, 流体密度大且堆积快(图 2(c))。

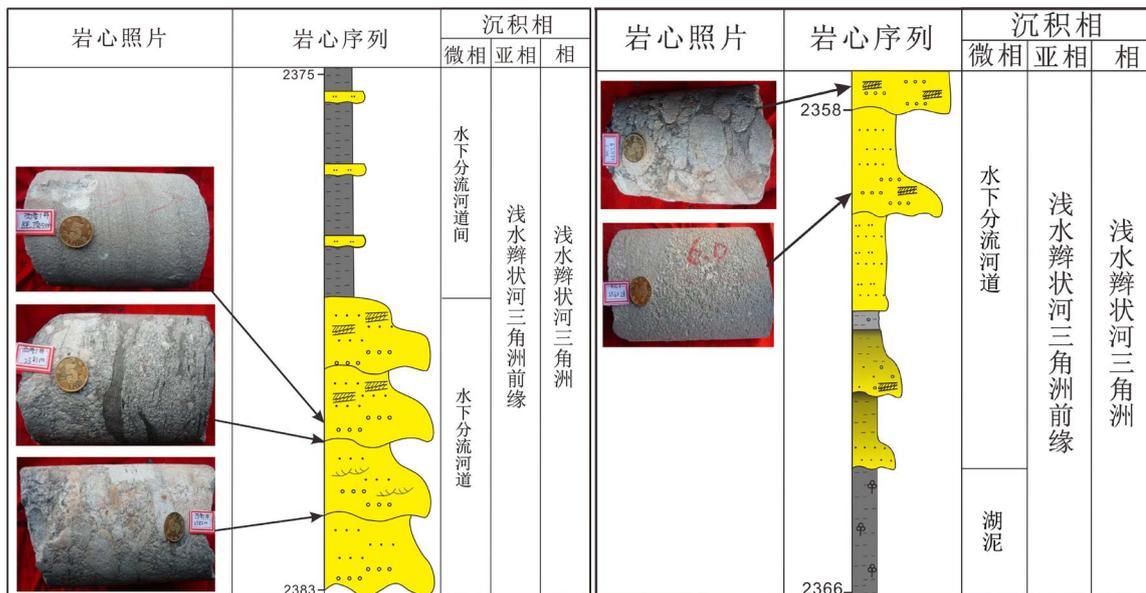
河口坝的粒度概率曲线为具有过渡性质的两段式, 主要特征为无滚动总体, 只有悬浮和跳跃两个总体, 跳跃总体含量 50%, 斜率较大, 分选中等, 粒度区间  $\phi$  值在 0~2.5, 悬浮总体含量 20%~25%, 斜率低、分选差, 反映牵引流水动力有所降低的特点。两个总体的交截点不是突变的, 而是过渡的, 其跨度在 2~4  $\phi$  之间。跳跃与悬浮总体的交截点的过渡性质是河口坝粒度分布的最大鉴定特征(图 2(d))。

### 3.2. 沉积构造特征

中间沟组一段浅水辫状河三角洲的沉积物粒度较细、成分和结构成熟度中等到差, 发育水动力较强的牵引流沉积构造、垂向上多个间断正韵律叠置, 主要发育水下分流河道及席状砂, 河口坝较少发育。在中间沟组岩心内, 发育由牵引流成因的冲刷面、平行层理及楔状、槽状、板状交错层理和砾石叠瓦状排列等沉积构造(图 3)。

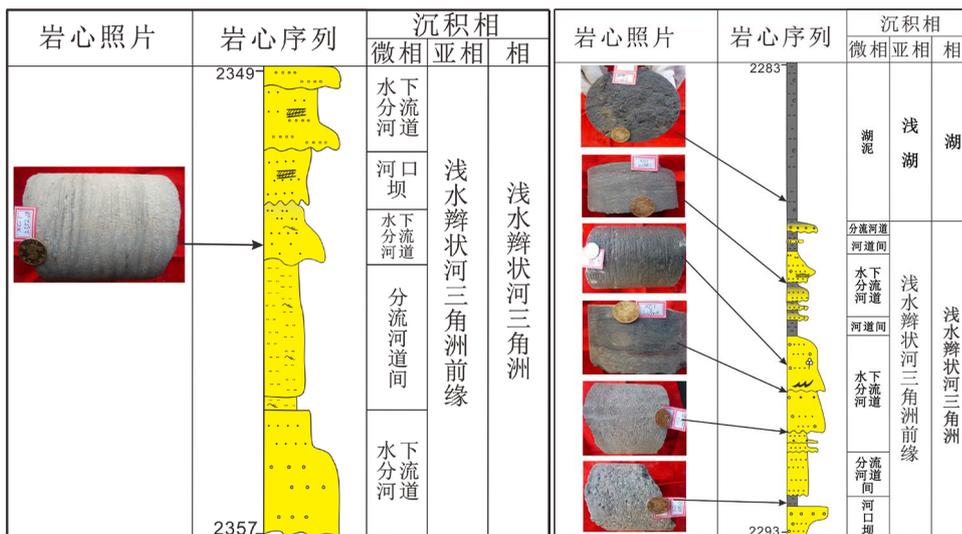
岩心 a 下部砾石成分单一, 定向排列, 磨圆中-好, 发育楔状、槽状交错层理, 垂向上表现为正韵律叠置, 主要为牵引流沉积, 为浅水辫状河三角洲内前缘水下分流河道微相; 上部为灰黑色泥岩夹砂岩, 为水下分流河道间微相(图 3(a))。

岩心 b 底部为灰黑色泥岩, 含碳化植物屑, 云母顺层分布, 为滨浅湖泥沉积; 上部为多期水下分流河道微相, 顶部见灰白色中砾岩, 砾石顺层排列, 粒径 4~5 cm, 磨圆分选好, 发育楔状交错层理(图 3(b))。



(a)

(b)



(c)

(d)

图例

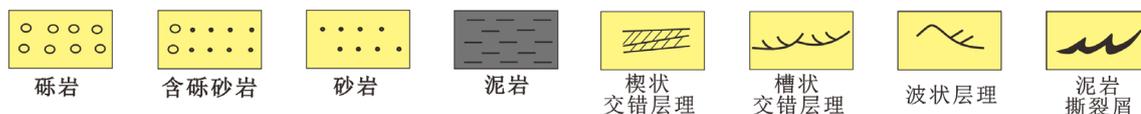


Figure 3. Core deposition feature map of XC1 the middle gully formation ( $J_2z^1$ )

图 3. XC1 井中间沟组一段( $J_2z^1$ )岩心沉积特征图

岩心 c 垂向上多个正韵律叠置, 底部见灰白色中砾岩, 砾径 4~5 cm, 磨圆分选好, 顺层分布; 向上为灰色泥质粉砂岩, 波状层理, 顶部可见灰色粗砂岩, 楔状交错层理, 且中间夹由粉砂岩 - 细砂岩构成的反韵律, 厚度约为 1 米, 为河口坝沉积(图 3(c))。

岩心 d 底部见由含砾细砂岩 - 灰色细砾岩构成的反韵律, 为河口坝沉积, 顶部见大套灰黑色泥岩夹碳质层, 为湖泥沉积, 中间垂向上可见多个正韵律叠置, 为水下分流河道沉积(图 3(d))。

## 4. 浅水辫状河三角洲前缘微相特征

XC1 井位于北部斜坡带南缘, 紧邻中央洼陷带, 中间沟组一段岩心具有浅水辫状河三角洲前缘亚相沉积特征, 可以识别出水下分流河道、水下分流河道间、河口坝三种典型沉积微相。

### 4.1. 水下分流河道

水下分流河道是浅水辫状河三角洲前缘沉积的骨架微相, 沉积物粒度较粗, 主要为砾岩、含砾砂岩、砂岩沉积, 呈灰色、浅灰色, 砾石磨圆分选好, 定向排列, 发育楔状交错层理、槽状交错层理以及暗色泥砾顺层分布, 垂向上构成间断的正韵律, 自然电位曲线和电阻率曲线呈钟形或箱形(图 3)。

### 4.2. 水下分流河道间

水下分流河道间沉积物颜色较深, 为灰色和灰黑色; 岩性较细, 为粉砂质泥岩、泥质细砂岩、泥质粉砂岩和泥岩, 对应 GR 曲线呈高值, SP 曲线近乎平直。泥岩发育水平层理, 粉细砂岩呈块状, 多被水下分流河道冲刷(图 3)。

### 4.3. 河口坝

河口坝位于水下分流河道前端, 沉积物比水下分流河道细, 主要以细砂岩和粉砂岩为主, 单层厚度 4~7 m, 具有向上变粗的沉积序列, GR 及 SP 曲线呈漏斗形, 发育波状层理, 河口坝只在局部可见(图 3)。

## 5. 油气勘探意义

有利储层发育特征成为制约五墩凹陷油气勘探的关键因素, 在确定储层沉积特征基础上, 结合储层物性特征及影响因素, 厘定有利储层发育区, 指导下步油气勘探。储层物性受沉积作用、成岩作用、构造运动、温压场等多种因素的控制, 中间沟组一段储层物性主要受沉积微相和砂岩组分和填隙物的影响。控制碎屑组分含量及填隙物成分的主要因素有物源、搬运距离、水动力条件, 五墩凹陷北部斜坡带由北山提供物源, 发育浅水辫状河三角洲沉积, 水动力较弱, 导致前缘砂体以砂砾岩、含砾砂岩为主, 而且砂岩成熟度较低, 岩屑含量较高, 导致储层物性变差[24] [25] [26]。

### 5.1. 浅水辫状河三角洲储层特征

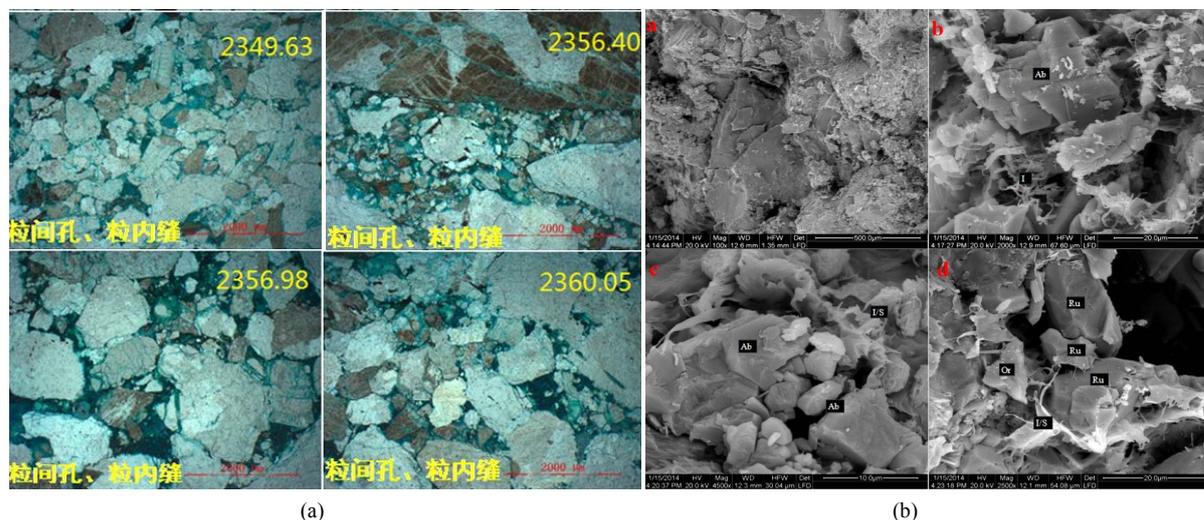
#### 5.1.1. 储层岩石学特征

五墩凹陷 XC1 井中间沟组一段不同深度储层样品的统计结果表明, 岩石类型主要以长石质岩屑砂岩、长石岩屑砂岩为主, 含少量岩屑质长石砂岩。骨架颗粒石英平均含量为 28.35%; 长石平均含量为 24.52%; 岩屑平均含量 47.09%, 最高含量达到 73%, 主要是石英岩屑; 杂基含量 2%~18%。砂岩颗粒磨圆以次棱角 - 次圆状为主, 分选中等 - 差; 颗粒间以点 - 线接触为主, 基本为颗粒支撑的孔隙 - 接触式胶结, 砂岩储层成分及结构成熟度均偏低, 总体上, 砂岩从老到新石英含量逐渐增多, 长石含量基本不变。

XC1 井中间沟组一段上部油层的岩石原生孔隙、次生孔隙和裂隙均不发育, 少量粒间孔和长石溶蚀; 中间沟组一段下部油层岩石原生粒间孔发育, 见少量长石溶蚀孔和砾内缝、砾缘缝(图 4(a))。XC1 井扫描电镜显示(图 4(b)), 储层粒间孔(6~58  $\mu\text{m}$ )不均分布, 微孔隙(<7  $\mu\text{m}$ )较发育。填隙物主要为石英、钠长石、钾长石、绿泥石、高岭石、伊利石、伊蒙混层, 岩石孔隙条件较差。

#### 5.1.2. 储层物性特征

中间沟组一段孔隙度为 3%~9.1%, 平均孔隙度为 5.88%; 渗透率为  $0.187 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 3.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均渗透率  $0.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。为特低孔、特低渗透层, 孔隙度与渗透率的关系近似正相关, 渗透率的变化主要受孔隙发育程度的控制。



**Figure 4.** Scanning Electron Microscope of Casting Thin Section and Sandy Conglomerate (2349 m) of XC1 the middle gully formation ( $J_2z^1$ )

**图 4.** XC1 井中间沟组一段( $J_2z^1$ )铸体薄片与砂砾岩扫描电镜(2349 m)

## 5.2. 储层物性影响因素

### 5.2.1. 沉积微相的影响

沉积微相在宏观上控制着砂体的形态、厚度、规模及空间展布，在微观上影响着储集层原始物性的好坏及成岩演化。中间沟组储层分选、磨圆差，石英多具波状消光，云母质塑性岩屑含量高，粒间多为泥质杂基充填，反映了远源，水动力弱的特征，导致储集层物性普遍较差。

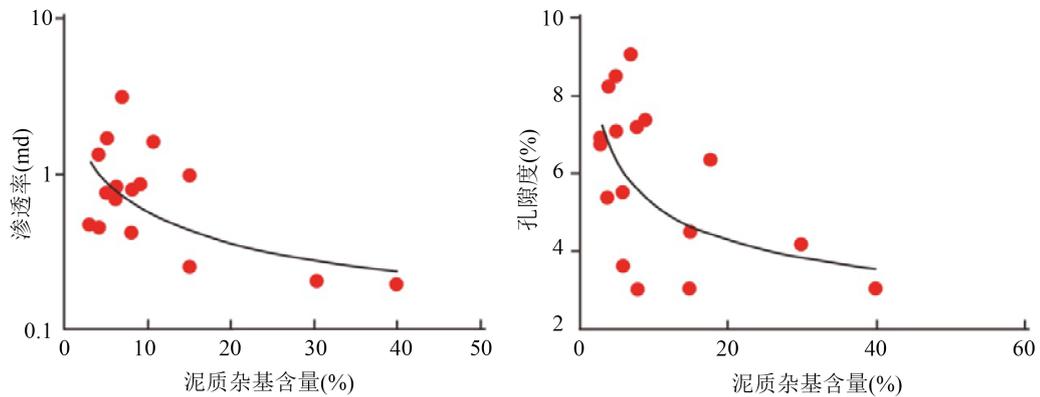
中间沟组一段浅水辫状河三角洲前缘水下分流河道、水下分流河道间，河口砂坝微相物性参数统计表明，河道和河口砂坝物性好于河道间；同一微相内，含砾粗砂岩物性最好，砂砾岩、砾状砂岩次之，粉砂岩物性最差，含泥质储层物性明显变差，表明随着砂岩砾级的增大，储层物性逐渐变好，水下分流河道和河口砂坝物性好于席状砂和河道间。

### 5.2.2. 砂岩组分的影响

碎屑颗粒和填隙物组分含量直接影响着储层原始的储集性能和渗流性能，中间沟组一段陆源碎屑颗粒成分主要为石英、长石和变质岩屑。陆源碎屑含量和孔渗参数关系表明，储层物性随石英含量的增高有变好的趋势，表明砂岩成分成熟度对储层物性有一定程度影响；长石含量与孔隙度没有明显的变化关系，与渗透性存在一定的正相关性，可能是由于长石的溶解形成溶孔或解理缝改善了储层的储集性能；岩屑含量与储层物性存在反相关关系，随着岩屑含量的增加，储层物性逐渐变差。中间沟组一段岩屑成分以变质岩屑为主，这类岩屑易发生塑性流动导致岩屑充填在原生粒间孔内使孔隙度减小，造成储层物性变差；云母质塑性岩屑含量高也是导致储集层物性差、非均质性强的主要原因。

### 5.2.3. 填隙物的影响

中间沟组一段砂岩中的填隙物主要为泥质杂基，泥质呈现鳞片状，充填于粒间，易发生塑性流动而堵塞孔隙和喉道，同时会阻碍孔隙流体流动，抑制溶解、溶蚀作用的进行，杂基含量高的碎屑岩，分选差，平均粒径较小，喉道小，孔隙结构复杂，导致储集物性偏差。因此，随着泥质含量增高，储集层孔隙度、渗透率逐渐降低(图 5)。中间沟组一段泥质杂基含量高，最高可达 8%，是导致储层物性差的重要原因。

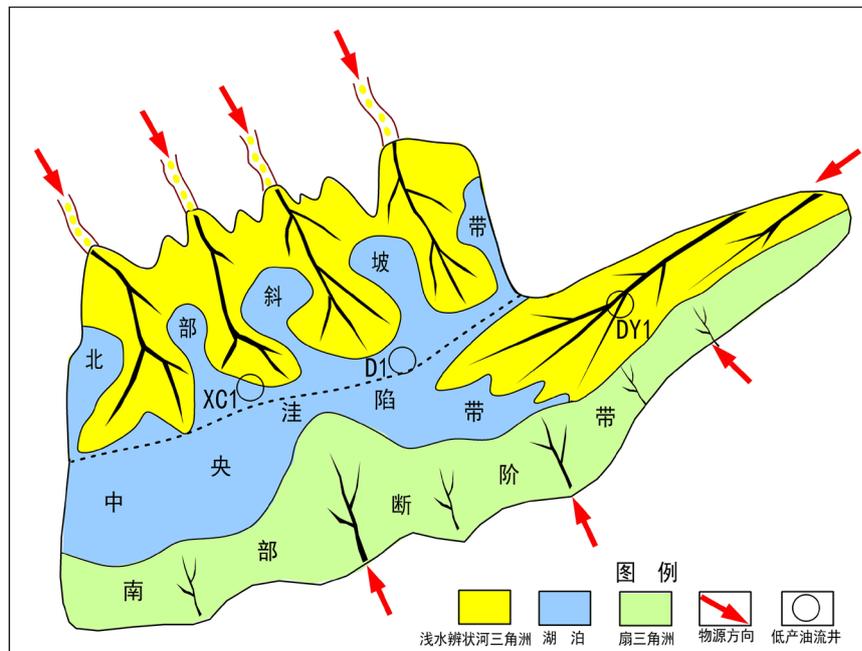


**Figure 5.** The relationship between porosity, permeability and mud content of XC1 the middle gully formation ( $J_{2z}^1$ )

**图 5.** XC1 井中间沟组一段( $J_{2z}^1$ )孔隙度、渗透率与泥质杂基含量关系图

### 5.3. 北部斜坡带南缘紧邻生烃中心，为有利勘探区带

北部斜坡带紧邻中央洼陷带生烃中心，油气充注条件好，发育多种类型储集体及区域性盖层，保存条件好，综合该地区构造演化和地层埋藏史及烃源岩热演化史分析结果，认为北部斜坡带地层超覆带圈闭形成于早-中侏罗世沉积时期，早白垩世为生烃高峰期和排烃期，此时期北部斜坡带地层超覆带处于高部位，洼陷内油气沿基底不整合、断层和毯砂组成的油气运移通道运移至北部斜坡带，同时该区地层超覆圈闭处于高部位是后期油气调整和运移的有利指向(图 6)。古地形上北部斜坡带为宽缓斜坡区，地震上具有沟梁相间和双向上超充填特征，沟梁相间区域为辫状河道亚相发育区，中间比较宽缓的斜坡区为辫状河三角洲平原亚相发育区，向南进入缓坡区与洼陷带，为辫状河三角洲前缘发育区，北部斜坡带辫状河道、水下分流河道和河口坝发育区为油气聚集的有利相带(图 7)。



**Figure 6.** Reservoir sedimentary map of the middle gully formation ( $J_{2z}^1$ ) in Wudun Sag

**图 6.** 五墩凹陷中间沟组一段( $J_{2z}^1$ )储层沉积相图

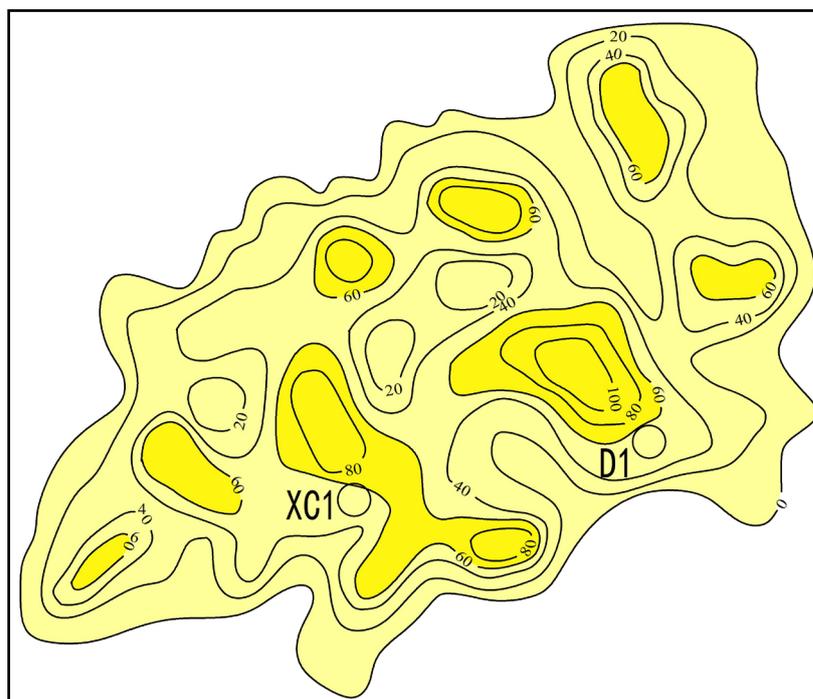


Figure 7. Favorable reservoir thickness map of the middle gully formation ( $J_{2z}^1$ ) in Wudun Sag

图 7. 五墩凹陷中间沟组一段( $J_{2z}^1$ )有利储层厚度图

## 6. 结论

1) 五墩凹陷中 - 下侏罗统沉积体系受南部三危山、东部甜水井凸起、北部北山物源体系控制，南部近源与北部、北东向远源沉积体系交汇在山前洼陷带；中侏罗世早期，北部斜坡带具备了发育浅水辫状河三角洲的沉积背景，该时期盆地稳定沉降，北部斜坡带宽广大缓、北山物源供给充足，古气候温暖潮湿。

2) 中间沟组地层在地震反射特征上具有 S 型前积和斜交型前积反射结构，是沉积物质不断向盆地中央推进形成的地震响应，河口坝及水下分流河道粒度概率曲线具有两段式、三段式、多段式特点，粒度概率曲线反映水体能量较强的牵引流特征，砂岩的岩屑、长石含量高，成熟度中等偏低，具有浅水辫状河三角洲沉积特征。

3) XC1 井岩心及测井曲线响应特征表明，斜坡带南缘中间沟组一段为浅水辫状河三角洲前缘沉积，该段储层物性主要受沉积微相和砂岩组分和填隙物的影响，水下分流河道和河口砂坝储层物性好于席状砂和河道间。

4) 充分利用五墩凹陷露头、钻井、地震资料，预测北部斜坡带大面积发育水下分流河道和河口坝相有利储层，依据中间沟组烃源岩生排烃时期及当时的古构造背景，认为紧邻中央洼陷带生烃中心的北部斜坡带南缘为油气运聚有利区，油气充注条件好，发育多种类型储层，区域性盖层稳定，是寻找构造 - 岩性油藏的有利勘探区带。

## 参考文献

- [1] 吴胜和, 徐振华, 刘钊, 等. 河控浅水三角洲沉积构型[J]. 古地理学报, 2019, 21(2): 203-206.
- [2] 刘君龙, 孙冬胜, 纪友亮, 等. 川西地区晚侏罗世浅水三角洲沉积特征及主控因素[J]. 新疆石油地质, 2018,

- 39(4): 396-398.
- [3] 纪友亮, 卢欢, 刘玉瑞. 苏北盆地高邮凹陷古近系阜宁组一段浅水三角洲和滩坝沉积模式[J]. 古地理学报, 2013, 15(3): 732-738.
- [4] 郑胜. 淮中地区三工河组浅水三角洲沉积模式及油气勘探意义[J]. 特种油气藏, 2019, 26(1): 88-93.
- [5] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗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(6): 813-815.
- [6] Hoy, R.G. and Ridgway, K.D. (2003) Sedimentology and Sequence Stratigraphy of Fan-Delta and River-Delta Depositional Systems, Pennsylvanian, Minturn Formation, Colorado. *AAPG Bulletin*, **87**, 1170-1190. <https://doi.org/10.1306/03110300127>
- [7] Olariu, C. and Bhattacharya, J.P. (2006) Terminal Distributary Channels and Delta Front Architecture of River-Dominated Delta Systems. *Journal of Sedimentary Research*, **76**, 213-232. <https://doi.org/10.2110/jsr.2006.026>
- [8] Plint, A.G. (2000) Sequence Stratigraphy and Paleogeography of a Cenomanian Deltaic Complex: The Dunvegan and Lower Kaskapau Formations in Subsurface and Outcrop, Alberta and British Columbia, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **48**, 44-78. <https://doi.org/10.2113/48.1.43>
- [9] 刘君龙, 孙冬胜, 纪友亮, 等. 川西晚侏罗世前陆盆地浅水三角洲砂体分布特征与叠置模式[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(6): 1167-1169.
- [10] 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(2): 186-197.
- [11] 李维, 朱筱敏, 马英俊, 等. 陆相断陷湖盆浅水三角洲沉积特征——以高邮凹陷刘五舍次凹戴南组一段为例[J]. 石油实验地质, 2018, 40(5): 677-681.
- [12] 王俊, 赵家宏, 腾军, 等. 浅水三角洲前缘砂体地震沉积学研究——以松南乾安地区上白垩统青三段为例[J]. 沉积学报, 2018, 36(3): 571-574.
- [13] 朱筱敏, 赵东娜, 曾洪流, 等. 松辽盆地齐家地区青山口组浅水三角洲沉积特征及其地震沉积学响应[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 890-895.
- [14] 杨帆, 曹正林, 卫延召, 等. 玛湖地区三叠系克拉玛依组浅水辫状河三角洲沉积特征[J]. 石油实验地质, 2019, 31(1): 33-37.
- [15] Alqahtani, F.A., Johnson, H.D., Jackson, C.A., et al. (2015) Nature, Origin and Evolution of a Late Pleistocene Incised Valley Fill, Sunda Shelf, Southeast Asia. *Sedimentology*, **62**, 1198-1232. <https://doi.org/10.1111/sed.12185>
- [16] Wakefield, O.J.W. and Mountney, N.P. (2013) Stratigraphic Architecture of Back-Filled Incised-Valley Systems: Pennsylvanian-Permian Lower Cutler Beds, Utah, USA. *Sedimentary Geology*, **298**, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.10.002>
- [17] Strong, N. and Paola, C. (2010) Valleys That Never Were: Time Surfaces versus Stratigraphic Surfaces. *Journal of Sedimentary Research*, **78**, 579-593. <https://doi.org/10.2110/jsr.2008.059>
- [18] Jensen, M.A. and Pedersen, G.K. (2010) Architecture of Vertically Stacked Fluvial Deposits, Atane Formation, Cretaceous, Nuussuaq, Central West Greenland. *Sedimentology*, **57**, 1280-1314.
- [19] 曹力伟. 三危山演化特征及其对五墩凹陷的油气影响[J]. 石油天然气学报, 2018, 40(4): 7-10.
- [20] 宋传春, 曹力伟, 张敏. 敦煌盆地侏罗系露头沉积特征差异性分析[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(7): 1169-1175.
- [21] 曹力伟. 敦煌盆地五墩凹陷周缘侏罗系露头沉积特征及油气勘探意义[J]. 石油地质与工程, 2018, 32(6): 7-10.
- [22] 张学才, 李家贵, 刘全稳. 甘肃敦煌盆地五墩凹陷致密油成藏地质条件[J]. 地球科学与环境学报, 2017, 39(2): 248-251.
- [23] 柳忠泉. 敦煌盆地侏罗系致密油地质特征及其意义[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(12): 84-85.
- [24] 郝杰, 周立发, 袁义东, 等. 断陷湖盆致密粗砂岩、砂砾岩储层空间类型与有利储层成因[J]. 地质科技情报, 2018, 37(4): 135-139.
- [25] 袁义东, 张金功, 刘林玉, 等. 断陷湖盆致密砂砾岩储层特征与成因[J]. 地质科技情报, 2018, 37(2): 193-197.
- [26] 李媛, 张元福, 王桐, 等. 鄂尔多斯盆地子洲地区上三叠统延长组长 1 段沉积相和浅水三角洲河口坝发育规律[J]. 古地理学报, 2019, 21(5): 760-764.