

柴达木盆地西南缘下干柴沟组下段辫状河三角洲沉积特征

谭先锋^{1,2}, 夏敏全^{1,2}, 张勤学³, 王佳^{1,2}, 黄建红³, 冉天^{1,2}

(1. 复杂油气田勘探开发重庆市重点实验室, 重庆 401331; 2. 重庆科技学院 石油天然气工程学院, 重庆 401331;

3. 中国石油 青海油田分公司 勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段沉积了一套辫状河三角洲沉积,具有重要的油气储集意义。利用录井、钻井岩心、地震、测井以及粒度分析等手段,详细研究了辫状三角洲的沉积特征。研究结果表明,昆北断阶带辫状河三角洲分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三个亚相类型。辫状河三角洲平原分为辫状河道和洪泛平原两个微相,辫状河三角洲前缘可分为水下分流河道、河口坝/远砂坝、席状砂、水下分流间湾五个微相。纵向上,经历了辫状河三角洲平原-辫状河三角洲前缘-滨浅湖的演化过程,辫状河三角洲平原发育河道多期次叠加,辫状河三角洲前缘河道化作用较弱。平面上,受两大物源体系影响,发育两个主河道,河道化程度横向差异较大。同生期断层是制约辫状河三角洲发育的首要因素,物源供给制约辫状河三角洲砂体分布和物质构成,古地貌制约辫状河三角洲的形态分布。综合各种地质因素,建立了柴西南昆北断阶带辫状河三角洲沉积模式。

关键词:辫状河三角洲;沉积相;沉积模式;下干柴沟组;昆北断阶带;柴达木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics of braided river delta of the lower member of the Lower Ganchaigou Formation in southwestern Qaidam Basin

Tan Xianfeng^{1,2}, Xia Minquan^{1,2}, Zhang Qingxue³, Wang Jia^{1,2}, Huang Jianhong³, Ran Tian^{1,2}

(1. Chongqing Key Laboratory of Complex Oil and Gas Exploration and Development, Chongqing 401331, China;

2. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 736202, China)

Abstract: A braided river delta deposited at the lower member of the Lower Ganchaigou Formation in the Kunbei step-fault zone of southwestern Qaidam basin is considered to be of great importance to the study of oil and gas accumulation in the region. Analyses based on drilling core, logging and seismic data, as well as grain size statistics, were employed to perform a detailed study on the sedimentary characteristics of the delta. Three subfacies were recognized in the delta: braided-river delta plain, braided-river delta front and prodelta. The plain subfacies can be further divided into two micro-facies: braided channels and flood plain. The front subfacies can be subdivided into five micro-facies: under water distributary channel, mouth bar/distal bar, sheet sand and under water distributary bay. Vertically, the delta evolved successively from braided river delta plain, braided delta front to shore-shallow lake. The plain facies experienced superimposition of multiple channels, while the front facies had only a weak influence over the channels. Horizontally, it was controlled by two major provenances and developed two main channels with horizontal heterogeneity. The syngenetic faults were considered as the major controlling factors upon the development of the delta, while the provenance constraints were thought to have affected the distribution and composition of the delta sandbodies and the paleogeomorphology helped forming the present landform of the delta. A sedimentary model was then established for the delta based on comprehensive analyses of all geological factors.

Key words: braided river delta, sedimentary facies, sedimentary model, Lower Ganchaigou Formation, Kunbei step-fault zone, Qaidam Basin

收稿日期:2015-11-23;修订日期:2016-03-02。

第一作者简介:谭先锋(1982—),男,博士、副教授,沉积地质与古环境。E-mail: xianfengtian8299@163.com。

基金项目:中国石油科技创新基金项目(2014D-5006-0108);国家自然科学基金项目(41202043);重庆市教委科学技术研究项目(KJ1401316)。

辫状河三角洲最早是 McPherson 等从扇三角洲体系中划分出来的一种新的三角洲类型^[1],是一种粗粒三角洲,通常由辫状河和辫状平原提供物源,有些学者将也将这种三角洲归结为扇型三角洲^[2-3]。平面上,辫状河三角洲主要由辫状平原与辫状三角洲前缘两种沉积亚相所组成,并可细分为若干个微相^[4]。与曲流河三角洲相比,具有地形高差较大,碎屑物质沉积较粗的特点,通常比正常曲流河三角洲粗碎屑组分高^[5]。与扇三角洲相比,地形高差相对较小,碎屑物质相对较细,辫状河三角洲前缘分流河道化更明显^[2,6]。三角洲平原亚相明显具有辫状河的沉积特征,河道化程度较低,改道频繁,心滩发育,边滩和河漫滩不发育。岩性以砾岩、含砾砂岩、砾状砂岩、中-细砂岩、粉砂岩夹棕红色、棕褐色泥岩为主^[7-9]。岩性纵向叠置方面,河道二元结构的细粒沉积层厚度不大,可以见到多期河道叠置现象,底部有河道冲刷现象,测井曲线为箱形-平直-指状组合特征^[7-9]。辫状河三角洲砂体主要呈透镜状,具有较好的油气储集意义,三角洲前缘亚相的水下分流河道和河口坝可以作为较好的油气储集体^[10]。柴达木盆地西南缘新生代主要受到两个构造作用控制^[11-12],发育一系列陆源粗碎屑物质。研究区昆北断阶带属于柴达木盆地西南缘,下干柴沟组下段主要发育辫状河三角洲沉积^[13-15]。近年来,昆北断阶带多口井都见到工业油流,是该地区油气勘探重要层位,越

来越受到相关石油工作者重视,具有重要的研究意义。

1 地质背景

柴达木盆地西南缘昆北断阶带分布在西北阿尔金山和西南祁漫塔格山之间(图1),受昆仑造山带活动所控制,以基底隆升为主要特点。在平面上呈弧顶向北突出的弧形,东南面与东柴山隆起过渡,西南面与铁木里克断隆相邻,面积约3 000 km²。总体上呈北西-南东向展布,为一系列南倾北冲、向昆仑山抬升的断隆。

昆北断阶带位于逆冲推覆带的上盘,下干柴沟组沉积时期,构造活动比较活跃,同沉积断裂构造活动频繁。前人对柴西南地区构造、沉积与储层等方面进行了研究^[11-15]。古近纪以来研究区经历了初期沉降(E₁₋₂)、早期断陷(E₃)、中期拗陷(N₁)、晚期抬升(N₂¹-N₂²)以及末期挤压(N₃¹-Q₁₋₂)5个发展阶段^[11-13]。初期沉积一套下粗上细的正旋回地层,路乐河组的底部普遍发育有一套厚度不等的砾石层,不整合超覆于老地层之上,这表示盆地进入较快速的整体沉降阶段^[11-15]。下干柴沟组沉积时期,受印支运动I期影响,与其下部的路乐河组为不整合接触,在有些地方缺失路乐河组沉积。该时期处于断陷早期,昆北断阶带下干柴沟组下段主要沉积辫状河三角洲,储层发育较好。

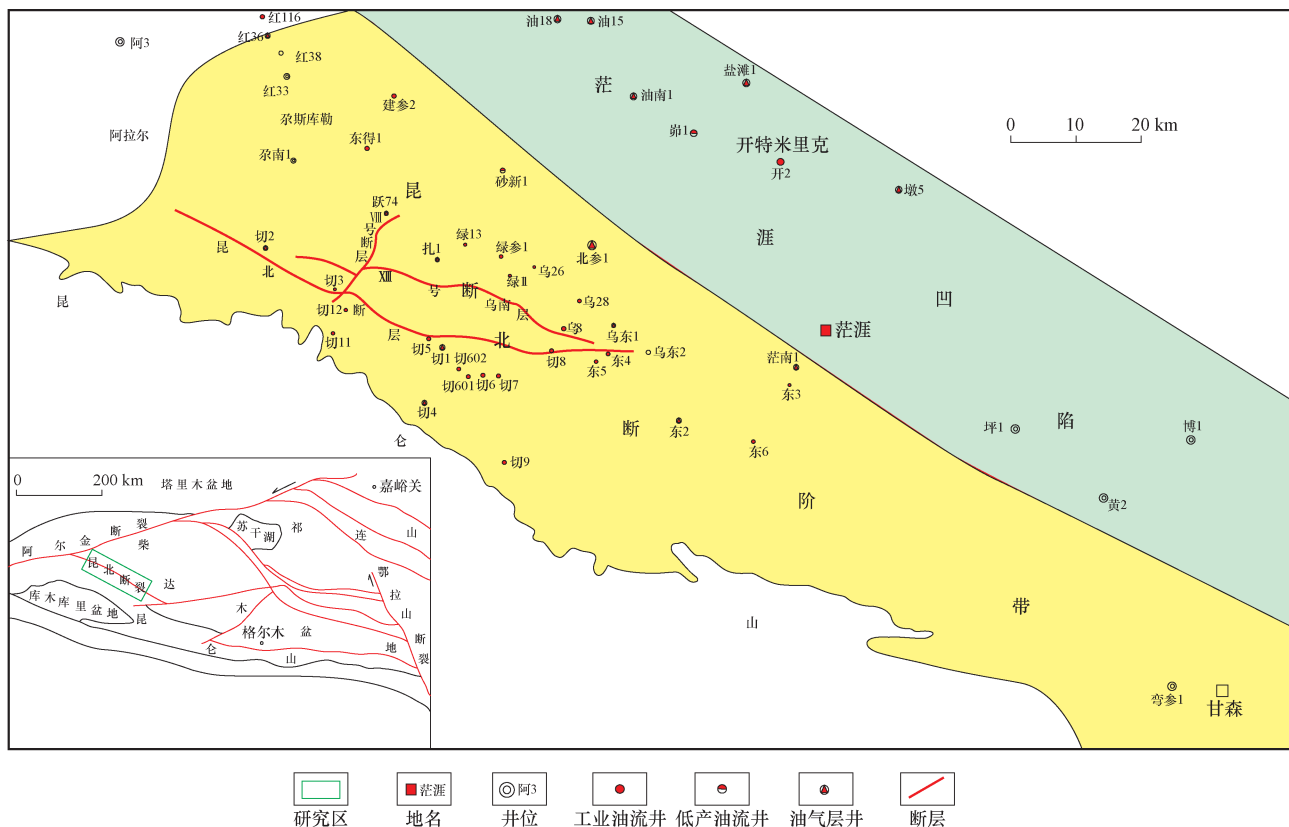


图1 柴达木盆地西南缘昆北断阶带位置

Fig. 1 Location of Kunbei step-fault zone in southwestern Qaidam Basin

2 沉积特征及沉积序列

2.1 辫状河三角洲沉积特征

研究区辫状河三角洲的主要沉积特征是:①层序结构分退积型和进积型两种类型,进积型三角洲的发育规模要大于退积型;②与西部地区其他盆地相比,该区辫状河三角洲的发育规模总体偏小,单层厚度较小;③河道型层序结构多发育不完整;④中小型层理构造较发育,分选中-好,尤其在三角洲前缘亚相中发育最佳。

2.1.1 辫状河三角洲平原

总体来讲,该地区辫状河三角洲平原沉积并不发育,主要局限在昆仑山前缘,主要由辫状河道和泛滥平原组成。通过对昆北断阶带沉积岩石学特征、测井以及地震剖面等进行研究,在地震剖面上,辫状河道集中的侵蚀谷表现为顶平底凸的下切谷形态(图2),其内部为杂乱充填。在测井曲线上,辫状河道以宽幅箱型

钟形为主,自然电位曲线为齿状箱形、钟形,视电阻率曲线和自然伽马曲线为中幅扁钟状形态(图3)。岩性上,辫状河道底部发育冲刷面,下部以杂色、紫红色含砾粗砂岩为主,颗粒支撑的岩石结构,泥质杂基含量较少,表明其沉积为牵引流性质,明显不同于扇三角洲和正常三角洲,层理构造不明显,主要为块状层理。上部以紫红色平行层理或斜层理的中-粗砂岩为主。粒度概率曲线主要表现三段式、二段式,牵引流明显,滚动组分含量较大,跳跃组分其次,分选非常差(图4)。

除了典型的辫状河道沉积之外,平原亚相还发育有泛滥平原沉积,主要为泥岩与粉砂岩互层(图3)。研究区辫状平原主要显示为两种河道结构,一种为完整的河道结构,包括下部分选较差的砂砾岩和含砾中粗砂岩,中部为块状层理、交错层理中细砂岩,上部为水平纹层、断波状层理和块状层理的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩的完整河道结构。另一种为不完整的河道结构,主要由含砾中粗砂岩组成,缺少河泛平原沉积。研究表明,研究区的辫状平原多以不完整结构为主。

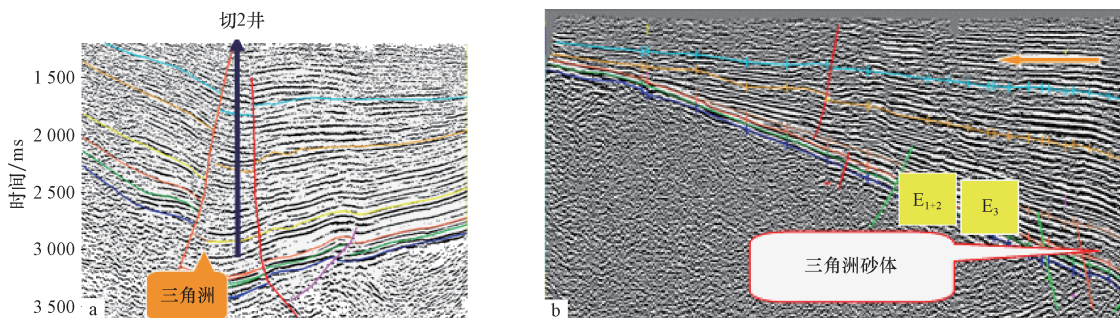


图2 柴达木盆地西南缘昆北断阶带辫状河三角洲地震沉积响应

Fig. 2 Seismic sedimentary response of braided river delta in Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

a. 切2井区地震剖面沉积响应; b. 弯参1井以南地震剖面沉积响应

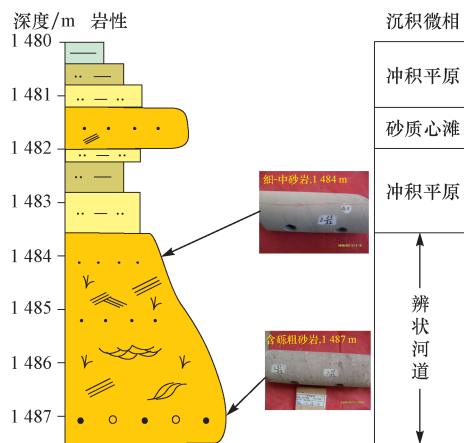


图3 柴达木盆地西南缘昆北断阶带辫状河三角洲平原沉积特征(切8井, E_3^1)

Fig. 3 Deposits of braided river delta plain (Q8 well, E_3^1) in Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

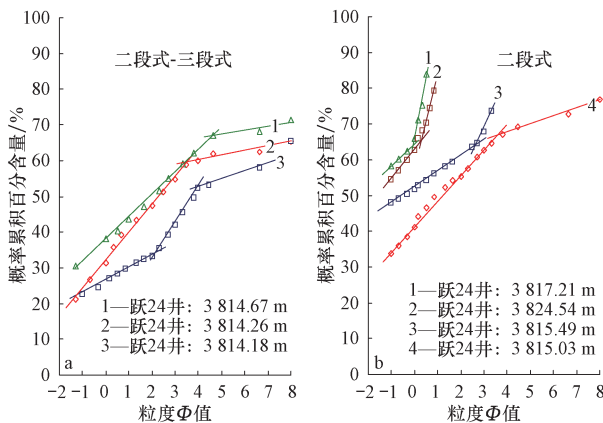


图4 柴达木盆地西南缘昆北断阶带辫状河道粒度曲线特征(跃24井, E_3^1)

Fig. 4 Grain size curve characters of braided channel (Y24 well, E_3^1) in Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

2.1.2 辫状河三角洲前缘

辫状河三角洲前缘是研究区主要的沉积相带,在地震剖面上,主要表现为宽缓席状体,S形或叠瓦状前积,连续性较好。测井曲线上以箱状-平直状/齿化平直状-漏斗状-指状组合为特征。岩性上,主要以灰色含砾砂岩、泥砾砂岩、中-细砂岩、粉砂岩夹棕红色泥岩沉积为特征,发育交错层理、块状层理、平行层理、脉状-波状-透镜状层理、虫孔及生物扰动构造。

水下分流河道沉积为研究区主要储层类型,是三角洲平原辫状河道在水下的延伸部分,沉积特征与辫状河道极为相似。垂向序列上,分为单一完整型、单一不完整型及多期叠置型三种模式。水下分流河道沉积叠置体多呈透镜状产出,岩石中泥质杂基含量较少,呈颗粒支撑,分选和磨圆都比较好。单个河道充填的沉积体向上粒度变细,单层砂体厚度减薄^[14]。测井曲线上,主要为箱形、齿化箱形与钟形等。岩性上,主要表现为(中)细砂岩和粉砂岩,其次为泥砾砂岩、中粗砂岩和含砾砂岩(图5a—d)。岩石颜色为浅棕色、浅灰色、黄灰色、浅绿灰色等。研究区发育有大量的泥砾砂岩(图5a,d),其夹杂的泥砾,分选较好,具有较好的磨圆度,应该为水下分流河道改道冲刷底部分流间湾的沉积。主要发育块状层理、平行层理、沙纹层理、斜波状层理、交错层理等沉积构造(图5c)。累计概率曲线以二段式和三段式为主,滚动组分不发育,以跳跃和悬浮组分为主,悬浮组分含量一般为20%~40%,分选中等。

河口坝系河流带来的沉积物因河水受湖水阻挡流速降低而在河口处形成的沉积体。河口坝前缘受湖浪改造形成的沉积体为远砂坝,其后侧(向陆)、下部主要受河水控制,上部、前方受湖水的改造作用。多数情况下,河口坝与远砂坝比较难识别,但是粒度曲线上有比较好的反映。事实上,辫状河三角洲前缘的河口坝和远砂坝并不是很发育,只是在前缘推进到湖泊的形成一些少量的滩坝砂体。研究区河口坝微相电性曲线往往呈中-高幅漏斗形。岩性主要以绿灰色-灰色含砾细砂岩、细砂岩以及粉砂岩为主,其次为泥质粉砂岩和中细砂岩。常见块状层理、平行层理、斜波状层理、低角度交错层理和浪成交错层理,少见反粒序层理。砂岩磨圆和分选好,泥质含量往往较低,呈较典型的反韵律特征。虽然远砂坝与河口坝不容易识别,但依然存在特征差异。远砂坝通常粒度较细,并夹杂泥质条带,发育波状、沙纹、脉状-透镜状层理,电位曲线表现为多指形、钟形、低幅齿化箱形以及漏斗状。粒度曲线上,河口坝以二段式和三段式为主,远砂坝常以四段式为主,反映了双向水流的作用。河口坝滚动组分不发育,以跳跃和悬浮组分为主,悬浮组分含量高一般在20%~40%,分选中等(图6)。

辫状河三角洲前缘主要发育水下分流河道沉积,尚有一些河口坝和远砂坝沉积,除此之外,还发育有分流间湾和席状砂沉积。分流间湾是水下分流河道发育期或间歇期在低洼区形成的沉积环境,与湖相通。发育中小型交错层理,常发育薄层泥质粉砂岩与粉砂岩



图5 柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段主要沉积构造

Fig. 5 Main sedimentary structures of the Lower Ganchaigou Formation in the Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

a. 辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积,泥砾砂岩,切6井, E_3^1 ; b. 水下分流河道砾状砂岩,切601井, E_3^1 ; c. 水下分流河道沉积,块状细砂岩,切6井, E_3^1 ; d. 水下分流河道冲刷面,泥砾磨圆较好,切7井, E_3^1

与泥岩互层,因此往往以细碎屑沉积物夹层产出。席状砂为河口坝/远砂坝受湖浪改造后在三角洲前缘形成的、向前向两侧延伸较远的席状沉积物,与湖相泥岩形成过渡,向盆地方向减薄。岩性以粉砂岩、细粉砂、泥质粉砂岩为主。沉积构造有沙纹、水平、波状层理。自然电位曲线主要表现为低-中幅齿形、多指形、单指形等。多数情况下跟滨浅湖砂坪沉积特征差异不明显。

2.2 辫状河三角洲沉积序列

研究区辫状河三角洲层序结构分退积型和进积型两种类型(图 7),退积型三角洲的发育规模要大于进积型三角洲。下干柴沟组下段下部,发育辫状河三角洲平原-辫状河三角洲前缘-前辫状河三角洲(滨浅湖)的沉积序列。反应了水体变深,湖泊范围不断扩大,粒度向上逐渐变细,沉积基准面不断上升,可容空

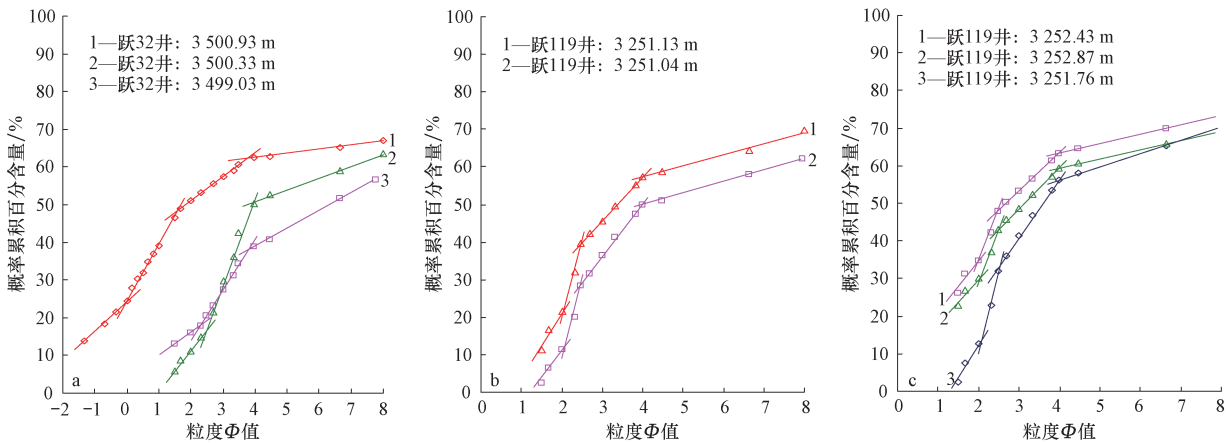


图 6 柴达木盆地西南缘昆北断阶带河口坝/远砂坝微相粒度曲线特征

Fig. 6 Grain size curve characters of mouth bar/distal bar in the Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

a. 跃 32 井粒度概率累积曲线(河口坝); b, c. 跃 119 井粒度概率累积曲线(远砂坝)

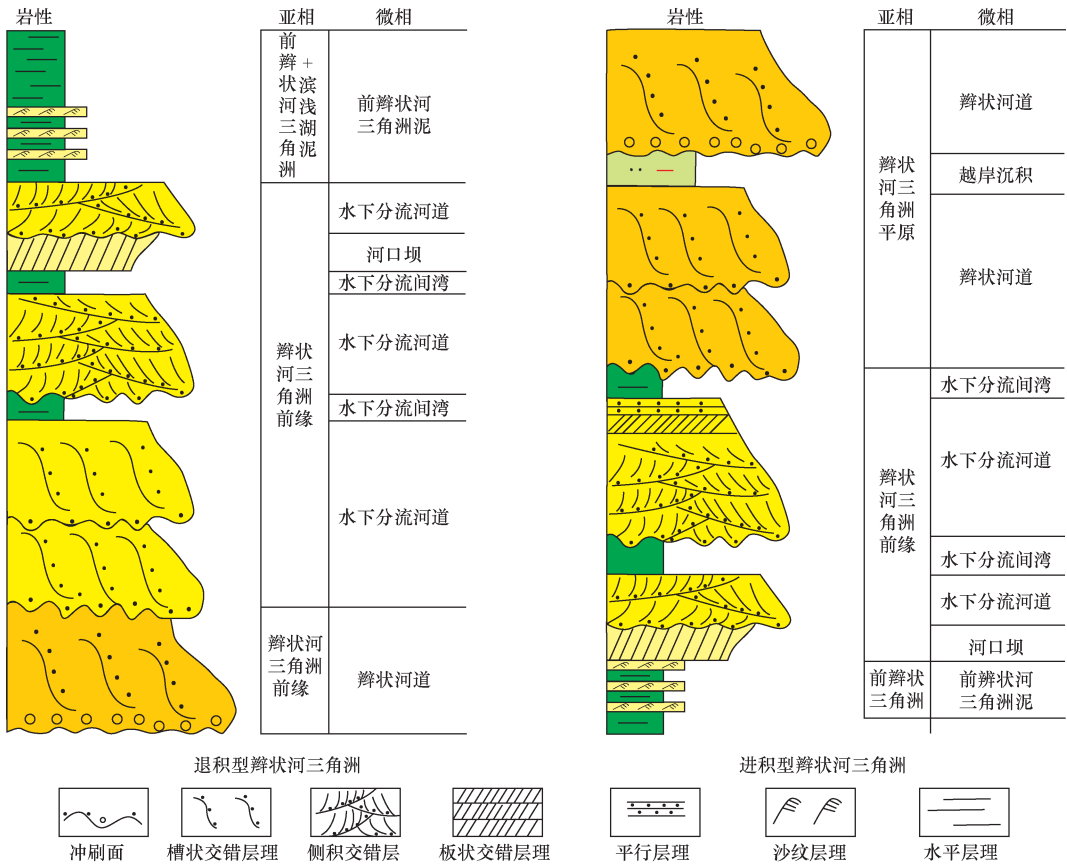


图 7 柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段辫状河三角洲沉积序列

Fig7 Sedimentary succession of braided river delta of the Low Xiaganchaigou Formation in the Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

间不断增大退积序列。下干柴沟组下段的中部或者上部,部分地区发育一种进积型的辫状河三角洲,沉积序列表现为前辫状河三角洲-三角洲前缘-三角洲平原的反序列。该旋回粒度向上变粗、厚层增大,反映了沉积基准面下降,水体变浅的沉积环境。

3 昆北断阶带辫状河三角洲时空演化

3.1 沉积相对比及演化规律

下干柴沟组下段从下到上一般为辫状河三角洲平原-辫状河三角洲前缘-前辫状河三角洲(滨浅湖)的沉积序列,河道叠置现象非常明显。河道叠置现象主要发育在辫状河三角洲平原,辫状河三角洲前缘河道叠置不太发育,主要为河口坝和远砂坝沉积为主,泥质沉积的厚度一般较大(图8)。沉积晚期主要形成了一套泥质含量较重的滨浅湖砂泥沉积,与前辫状河三角洲区分度不高,属于细粒沉积阶段。

下干柴沟组沉积时期,昆北断裂比较活跃,总体的

构造格局呈北西-南东方向。在经历了路乐河期的干旱沉积之后,该时期湖水开始扩大,导致昆北断阶带总体处于水下的环境。同时,整个昆北断阶带的沉积作用在昆北断裂以及一些伴生的小断裂发育的背景下进行。该时期逆冲推覆作用使昆仑山不断抬升,遭受剥蚀作用,大量物源经短距离搬运沉积下来,在昆仑山前形成辫状平原,进而推进湖泊形成辫状河三角洲前缘沉积。图8显示了下干柴沟沉积时期的岩相古地理面貌,昆北断阶带主要受祁漫塔格和东柴山两大物源体系的影响。切12井区,主要为祁漫塔格物源形成的进积型辫状河三角洲,东边为东柴山物源堆积而形成的辫状河三角洲沉积。切9井区附近为辫状平原,切6-乌26-东2-弯参1井一线沉积了一套辫状河三角洲前缘沉积。切8井区的河道砂体比值较大,明显具有主河道的沉积特征。辫状河三角洲在平原地区河道明显,但进入水体之后河道化作用明显减弱,河道沉积较差,横向对比性不强。另外,在昆北断裂和XIII断裂附近发育有滑塌沉积。

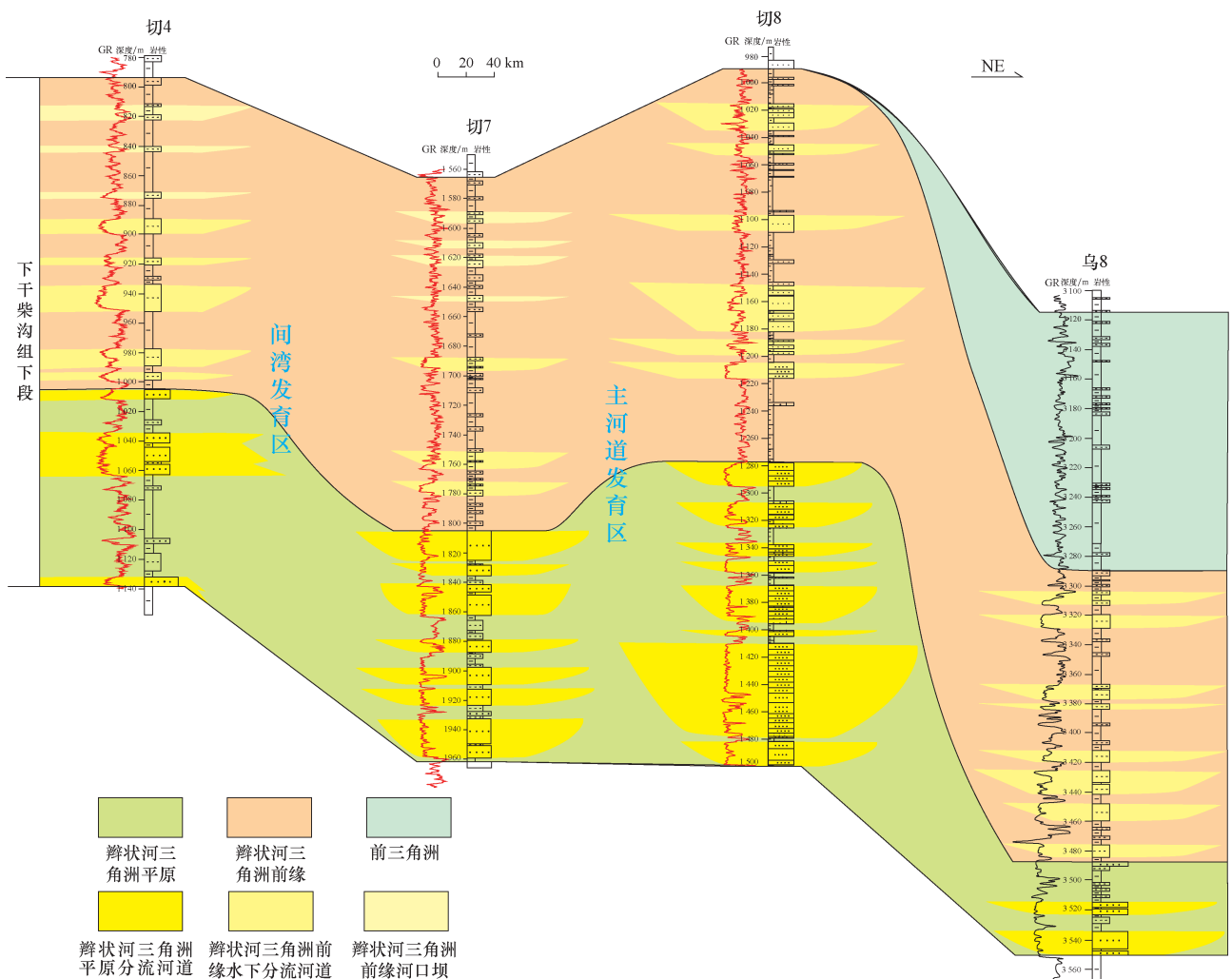


图8 柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段沉积相剖面

Fig. 8 Sedimentary facies distribution of Low Xiaganchaigou Formation in the Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

3.2 沉积模式

3.2.1 主控地质因素

辫状河三角洲是昆北断阶带下干柴沟组主要的沉积类型,主要为牵引流沉积,偶尔也发育有重力流沉积,特别是在同沉积断裂带附近。由于下干柴沟组沉积时期逆冲断层比较发育,构造活动比较强烈,引发了具有典型沉积特征的非正常沉积。该时期沉积作用主要受构造作用、古地貌、物源体系等因素的影响。

同生期断层是制约辫状河三角洲发育的首要因素。昆北断阶带断裂活动比较发育,主要发育有昆北断裂和XⅢ断裂,还有一些次级的小断裂。其中,昆北断裂和XⅢ断裂为同沉积断层,控制了原始沉积作用,其他断裂为后期断层改造,不具控制沉积的作用。这种控制作用主要体现在:①造成了一定的地形高差,为辫状河流提供了条件;②同生期断层作用导致了原始湖泊水体的持续加深,进而形成了退积型的辫状河三角洲,但断层活动的间隙性发生,也可形成短暂的进积型辫状河三角洲;③同生期引起地形高差较大,辫状河三角洲前缘水下分流河道发育程度低,只在主河道的切7-切8井区发育一定的河道沉积,其他地区主要为河口坝沉积;④断裂活动会造成突发性的同沉积响应,即所谓的震积岩^[16-24],切8、乌8分别位于昆北断

裂带和XⅢ断裂带附近,发育同沉积微断裂、地震液化沉积等特征,说明了该时期的断裂活动不但控制正常沉积作用,也引起了一些非正常沉积现象。

物源供给制约辫状河三角洲砂体分布和物质构成。研究区有两个主要物源体系,一个为西北缘的祁漫塔格物源,另一个为东南缘的东柴山物源。物源供给的控制作用主要体现在:①物质来源制约砂体的分布范围和规模,当输沙量较大时,辫状河中主要沉积较厚的砂体,当输沙量较小时,主要以沉积厚层泥岩为主,这是决定砂-泥互层沉积结构的因素之一。②物质来源决定了微观成分的差异,两大物源都主要以花岗闪长岩为主,昆北断阶带的切2地区-跃进及切克里克-柴山地区不稳定重矿含量较高。下干柴沟组沉积时期,昆仑山凸起遭受强烈的剥蚀,在山前形成冲积扇沉积和辫状水道沉积,这类沉积在研究区广泛分布,切8井的杂色含砾砂岩就属于这种辫状水道沉积。

古地貌制约辫状河三角洲的形态分布。由于辫状三角洲岸上与水下斜坡坡度较大,(坡度可达20°以上),湖岸离山麓近,河流短,只发育到辫状河阶段即入湖,从而形成辫状河三角洲^[14,25-29]。通常发育在远离断裂带的古隆起、古构造高地的斜坡带。沿沉积盆地的长轴和短轴方向均可发育,但通常形成在湖盆的短轴方向,昆北断阶带辫状河三角洲就属于这种短轴三角洲。

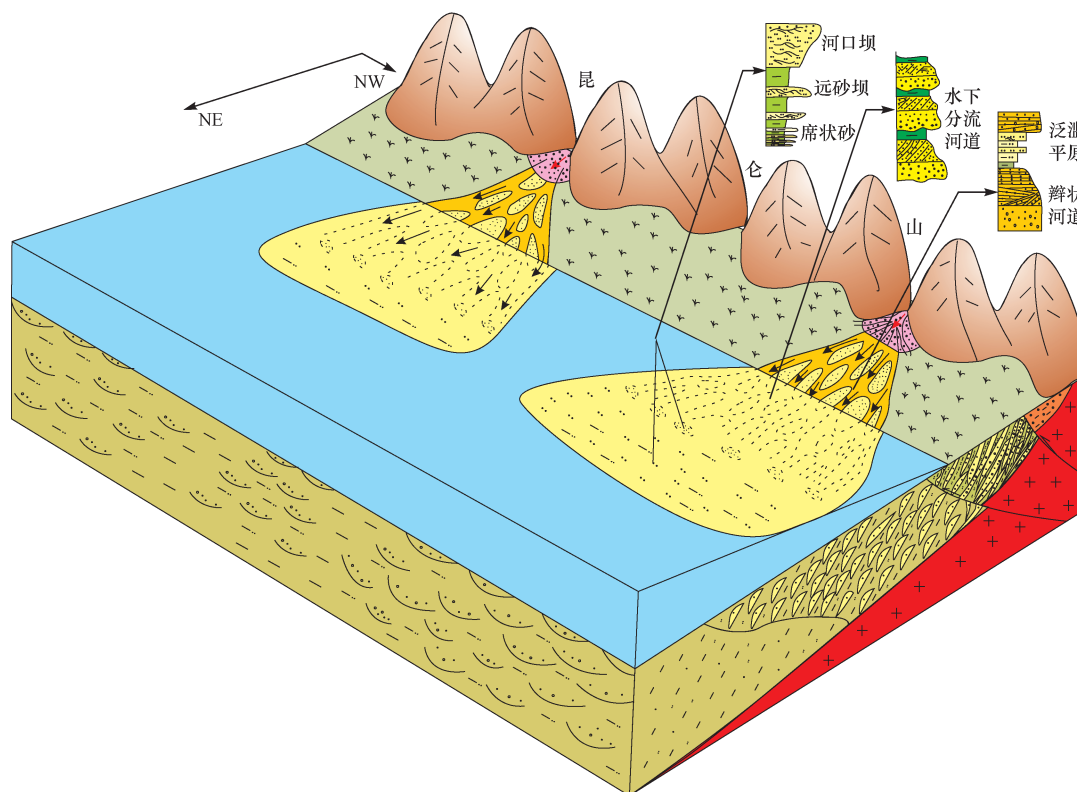


图9 柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段辫状河三角洲沉积模式

Fig. 9 Sedimentary model of braided river delta of Low Xiaganchaigou Formation in the Kunbei step-fault zone, Southwestern Qaidam Basin

3.2.2 辫状河三角洲沉积模式

在充分认识昆北断阶带构造、古地貌、沉积特征的基础上,建立了昆北断阶带沉积模式(图9)。(1)昆北断阶带主要沉积类型为逆冲断裂控制下的同沉积作用,沉积模式中应该反映出逆冲断裂的控制作用;(2)由于昆仑山与湖盆距离较近,主要考虑辫状河三角洲为冲积扇外缘辫状平原直接入湖形成,而非辫状河流入湖形成辫状三角洲;(3)辫状河三角洲在坡度稍大的环境下形成,地形应该稍陡;(4)物源的方向和性质控制了沉积区的岩相特征和砂体分布;(5)根据物源距离、古地形和沉积物特征,认为昆北断阶带主要有祁漫塔格物源和东柴山物源,即近源陡坡型。近源陡坡型沉积体系可进一步划分为冲积扇-辫状平原-辫状三角洲前缘-湖泊沉积模式。

4 结论

1) 柴西南昆北断阶带下干柴沟组下段主要发育辫状河三角洲沉积,结构上,可分为辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲。辫状河道是辫状河三角洲平原的主要沉积微相,这种辫状河道具有典型的砂砾岩特征,洪泛平原不太发育。辫状河三角洲前缘主要发育水下分流河道砂体、河口坝、前缘席状砂体,以水下分流河道为主,该类沉积微相主要由粗砂岩、中砂岩、含泥砾中砂岩等组成。前辫状河三角洲主要位于该层位的顶部,与滨浅湖沉积不好区别。

2) 辫状河三角洲平原和前三角洲厚度往往较小,辫状河三角洲前缘沉积厚度比较大,河道出现多期次叠置。沉积序列上,发育退积型和进积型辫状河三角洲,以退积型为主,反应了该时期总体湖盆扩大、水体变深的沉积环境。受同沉积断裂活动的影响,在靠近断裂带附近的地区,形成与断裂地震相关的震积岩,这类岩石具有典型的地震沉积特征,如砂球、砂枕、泥岩撕裂碎块,震积岩的发现说明了该时期构造活动较活跃。

3) 昆北断阶带沉积作用主要受到构造作用、物源体系和古地貌等因素的影响,昆北断阶带下干柴沟组下段沉积时期,构造活动比较活跃,同沉积断裂是控制沉积作用的主要因素,物源区的性质和古地貌也对该时期的沉积作用起到了很好的控制作用。

参 考 文 献

- [1] McPherson J G, Shanmugam G, Moioia R J. Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas[J]. Geological Society of America Bulletin, 1987, 99: 331-340.
- [2] 陈景山,唐青松,代宗仰,等. 特征不同的两种扇三角洲相识别与对比[J]. 西南石油大学学报, 2006, 29(4): 1-6.
Chen Jingshan, Tang Qingsong, Dai Zongyang. Recognition and correlation of two distinct types of fan delta facies[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2006, 29(4): 1-6.
- [3] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
Jiang Zaixing. Sedimentation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [4] 李维锋,何幼斌,彭德堂,等. 新疆尼勒克地区下侏罗统三工河组辫状河三角洲沉积[J]. 沉积学报, 2001, 17(3): 430-434.
Li Weifeng, He Youbin, Peng Detang. Braided river delta of the Lower Jurassic Sangonghe Formation in the Nileke Region, Xinjiang[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 17(3): 430-434.
- [5] 周洪瑞,王训练,刘智荣,等. 准噶尔盆地南缘上三叠统黄山街组辫状河三角洲沉积[J]. 古地理学报, 2006, 8(2): 187-198.
Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Liu Zhirong. Braided river delta sediments of the Huangshanjie Formation of Upper Triassic in southern Junggar Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(2): 187-198.
- [6] 张福顺. 白音查干凹陷扇三角洲与辫状河三角洲沉积[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 553-556.
Zhang Fushun. Fan delta and braided delta sediments in Baiyinchagan Depression[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(6): 553-556.
- [7] 刘智荣,王训练,周洪瑞,等. 准噶尔盆地南缘郝家沟剖面下侏罗统三工河组辫状河三角洲沉积特征[J]. 现代地质, 2006, 20(1): 77-85.
Liu Zhirong, Wang Xunlian, Zhou Hongrui, et al. The characteristics of the braided river delta of the Lower Jurassic Sangonghe Formation of the Haojiagou section in the Southern Part of the Junggar Basin[J]. Geoscience, 2006, 20(1): 77-85.
- [8] 杨友运,张蓬勃,张忠义. 鄂尔多斯盆地西峰油田长8油组辫状河三角洲沉积特征与层序演化[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 45-48.
Yang Youyun, Zhang Pengbo, Zhang Zhongyi. Sedimentary features and sequence evolution of braided river delta of Chang 8 Oil Formation of Xifeng oilfield in Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(1): 45-48.
- [9] 李茂周,周洪瑞,王训练,等. 准噶尔盆地南缘郝家沟剖面下侏罗统八道湾组辫状河三角洲沉积[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 41-45.
Li Maorong, Zhou Hongrui, Wang Xunlian, et al. The sedimentation of the braided river delta of the Lower Jurassic Badaowan Formation of the Haojiagou Section in the Southern Part of the Junggar Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3): 41-45.
- [10] 张大智,纪友亮,韩春元,等. 饶阳凹陷沙河街组辫状河三角洲沉积特征及储集性[J]. 中国地质, 2009, 36(2): 344-354.
Zhang Dazhi, Ji Youliang, Han Chunyuan, et al. Sedimentary characteristics and reservoir properties of the Shahejie Formation braided river delta in Raoyang Sag[J]. Geology in China, 2009, 36(2): 344-354.
- [11] 王信国,曹代勇,占文锋,等. 柴达木盆地北缘中、新生代盆地性质及构造演化[J]. 现代地质, 2006, 20(4): 592-596.
Wang Xinguo, Cao Daiyong, Zhan Wenfeng, et al. The Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of the northern margin of the Qaidam Basin

[1] McPherson J G, Shanmugam G, Moioia R J. Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas[J]. Geological Society of America Bulletin, 1987, 99: 331-340.

- nozoic basin type and tectonic evolution in the northern margin region of the Qaidam Basin[J]. *Geoscience*, 2006, 20(4): 592–596.
- [12] 李明杰, 郑孟林, 曹春潮, 等. 柴达木古近纪—新近纪盆地的形成演化[J]. 西北大学学报, 2005, 30(1): 87–90.
- Li Mingjie, Zheng Menglin, Cao Chuncao, et al. Formation and evolution of Qaidam Paleogene and Neogene Basin[J]. *Journal of Northwest University*, 2005, 30(1): 87–90.
- [13] 曹国强, 陈世悦, 徐凤银, 等. 柴达木盆地西部中—新生代沉积构造演化[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 33–40.
- Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengying, et al. Geo-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam basin[J]. *Geology in China*, 2005, 32(1): 33–40.
- [14] 易定红, 王斌婷, 裴明利, 等. 柴西南地区下干柴沟组下段沉积体系研究与有利储集层预测[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(5): 10–13.
- Yi Dinghong, Wang Binting, Pei Mingli, et al. Study on sedimentary system and prediction of favorable reservoirs in lower segment of Gangchaigou Formation at Wunan area, west Qaidam basin[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2008, 22(5): 10–13.
- [15] 郭峰, 陈世悦, 袁文芳. 柴达木盆地西部干柴沟组沉积相及储层分布[J]. 新疆地质, 2006, 24(1): 45–50.
- Guo Feng, Chen Shiyue, Yuan Wenfang. Analysis on depositional facies and reservoir of the Gangchaigou Formation, western Qaidam Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2006, 24(1): 45–50.
- [16] 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望[J]. 地质论评, 1996, 42(4): 318–320.
- Qiao Xiufu. Study of seismites of China and its prospects[J]. *Geological Review*, 1996, 42(4): 318–320.
- [17] Seilacher A. Fault-graded bed interpreted as seismites[J]. *Sedimentology*, 1969, 13(1–2): 155–159.
- [18] 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列[J]. 地质学报, 1994, 68(1): 16–32.
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibration liquefaction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1): 16–32.
- [19] 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 389–394.
- Du Yuansheng, Han Xin. Seismic deposition and seismites[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(4): 389–394.
- [20] 袁静. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 41–46.
- Yuan Jing. The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 41–46.
- [21] 夏青松, 田景春. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义[J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 246–252.
- Xia Qingsong, Tian Jingchun. Characteristics and geological significance of seismites of the Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 246–252.
- [22] 王昌勇, 郑荣才, 高振中. 准噶尔盆地地下侏罗统八道湾组震积岩的发现及其研究意义[J]. 地质论评, 2008, 54(6): 821–826.
- Wang Changyong, Zheng Rongcai, Gao Zhenzhong. The discovery and significance of seismites from the Lower Jurassic Badaowan Formation in Junggar Basin[J]. *Geological Review*, 2008, 54(6): 821–826.
- [23] 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展[J]. 石油大学学报, 2005, 29(1): 144–149.
- Yuan Jing. Research of seismic deposition and seismites of China[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*. 2005, 29(1): 144–149.
- [24] 杨剑萍, 聂玲玲, 张琳璞, 等. 柴达木盆地西南缘乌南油田新近系古地震纪录及储集性能研究[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 805–810.
- Yang Jianping, Nie Lingling, Zhang Linpu, et al. Reservoir characters and Paleoseismic records in Neogene Wunan Oilfield, Southwestern Margin of the Qaidam Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 805–810.
- [25] 邓庆杰, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 浅水三角洲分流河道砂体沉积特征——以松辽盆地三肇凹陷扶 II – I 组为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 118–127.
- Deng Qingjie, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Sedimentary characteristics of shallow-water deltas distributary channel sand bodies: a case from II – I Formation of Fuyu oil layer in the Sanzhao Depression, Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 118–127.
- [26] 甘贵元, 张建英, 宋兵, 等. 柴达木盆地北缘马西气藏储集层研究[J]. 石油实验地质, 2014, 36(5): 546–549.
- Gan Guiyuan, Zhang Jianying, Song Bing, et al. Study of Maxi gas reservoir in northern margin of Qaidam Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(5): 546–549.
- [27] 肖莉. 罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积特征及沉积模式对比[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 36–40.
- Xiao Li. Comparison of sedimentary characteristics and sedimentary model between subaqueous alluvial fan and fan delta in Luoia and Kenxi area[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(3): 36–40.
- [28] 仰云峰, 饶丹, 付小东, 等. 柴达木盆地北缘石炭系克鲁克组页岩气形成条件分析[J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 692–697.
- Yang Yunfeng, Rao Dan, Fu Xiaodong, et al. Generation conditions of shale gas in Carboniferous Keluke Formation, northern Qaidam Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(6): 692–697.
- [29] 封从军, 鲍志东, 代春明, 等. 三角洲前缘水下定分流河道单砂体叠置机理及对剩余油的控制——以扶余油田 J19 区块泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 128–135.
- Feng Congjun, Bao Zhidong, Dai Chunming, et al. Superimposition patterns of underwater distributary channel sands in deltaic front and its control on remaining oil distribution: a case study from K1q4 in J19 block, Fuyu oilfield[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 128–135.

(编辑 董立)