

引用格式:王斌,李振明,于洪洲,等. 2026. 准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组海相碎屑岩沉积特征及油气意义[J]. 沉积学报, 44(2): 785-798.

WANG Bin, LI ZhenMing, YU HongZhou, et al. 2026. Sedimentary Characteristics and Petroleum Significance of Marine Clastic Rocks from Shiqiantan Formation in Shiqiantan Sag, Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 44(2): 785-798.

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2024.102

CSTR: 32268.14/j.cjxb.62-1038.2024.102

准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组海相碎屑岩沉积特征及油气意义

王斌^{1,2}, 李振明^{1,2}, 于洪洲³, 汪誉新³, 罗宇^{1,2}, 贾存善^{1,2}, 邱岐^{1,2}, 王继远^{1,2}

1. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214126

2. 中国石化油气成藏重点实验室, 江苏无锡 214126

3. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营 257015

摘要 【目的】近年来准东地区石钱滩凹陷石钱滩组海相碎屑岩新类型天然气藏勘探获得重大突破, 明确石钱滩组沉积特征与模式, 可以为石钱滩凹陷下步油气勘探提供依据。【方法】在等时层序划分和对比的基础上恢复了石钱滩组沉积古地貌, 并结合地震相、连井剖面和岩心、薄片等资料识别了不同沉积相, 恢复了沉积体系演化过程, 建立了沉积演化模式。【结果与结论】石钱滩组发育一个完整的三级层序, 结合古地貌坡折可划分为早期海侵域、晚期海侵域和高位域。石钱滩组沉积期凹陷整体为一个北西—南东走向的狭长海槽, 发育裂陷海槽、多级坡折缓斜坡、断控陡坡以及侵蚀沟谷等多种古地貌类型。通过典型测录井资料、岩心及地震相特征, 识别出近岸水下扇、扇三角洲、斜坡扇、盆底扇等沉积相类型。古地貌对沉积相分布具有明显控制作用, 扇三角洲和近岸水下扇主要分布在南部断控陡坡带附近, 斜坡扇主要发育在北部多级坡折缓坡带之上, 而盆底扇则主要发育在海槽之中。整个沉积过程形成了在快速海侵背景下多期“叠瓦式退积”的海底扇—斜坡扇沉积和高位域连片辫状河三角洲沉积的演化模式。海侵域发育优质成熟烃源岩, 北部缓坡带“源上”和“源侧”的盆底扇和斜坡扇与海相优质烃源岩可形成“指状交互”型的有利源储配置, 成藏条件优越, 是下步隐蔽油气勘探的有利目标。

关键词 准噶尔盆地; 石钱滩组; 沉积模式; 沉积相; 古地貌; 源—汇体系

第一作者 王斌, 男, 1981年出生, 博士研究生, 高级工程师, 储层沉积学与油气成藏过程, E-mail: wangbin.syky@sinopec.com

中图分类号: P618.13 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000-0550(2026)02-0785-14

0 引言

石钱滩凹陷位于准噶尔盆地东部, 整体勘探程度低, 早期主要围绕凹陷边缘正向构造进行勘探, 油气发现少, 勘探效果差。近年来, 石油公司加强石炭系地震处理解释攻关和烃源岩有效性评价, 下洼近源探索石炭系成藏组合含油气性, 部署在凹陷内的SHQ1井在石钱滩组砂岩中获得日产6.3万方高产工业气流, 实现了准东地区海相碎屑岩新类型天然气藏勘探的重大突破(康积伦等, 2023), 展现该层系良好的勘探前景。然而, 后续相继部署在源外的SHQ2和源内的SHQ4井, 均仅见差气层和油气显示, 未能实现油气勘探甩开突破, 表明石钱滩组成藏控制因

素复杂。其中SHQ2井在凹陷边缘钻遇石钱滩组下部大套砂砾岩储层, 因供烃不足未能有效成藏; SHQ4井在凹陷中心钻遇大套暗色泥岩, 但缺乏有效储层, 以上低效、失利原因表明目前对石钱滩凹陷认识程度较低, 重点层系石钱滩组源岩分布、砂体成因、沉积体系演化规律仍不明确, 制约了下一步油气勘探部署。

目前, 针对石钱滩组的研究主要集中在烃源岩特征和沉积环境(牛晓燕, 2023; 熊伟等, 2023; 崔炳富等, 2024; 林潼等, 2024)以及基础的地质结构、天然气类型与来源、储层物性(于洪洲等, 2023; 林潼等, 2024; 支东明等, 2024)等方面, 但是对于凹陷内石钱滩组的层序划分、沉积特征及模式鲜有系统报

收稿日期: 2024-07-12; 修回日期: 2024-08-27; 录用日期: 2024-11-25; 网络出版日期: 2024-11-25

基金项目: 中国石化股份公司课题(P25071)

道。而如何在沉积学、层序地层学等理论指导下,恢复区域古地貌、明确沉积体系展布规律和发育模式是寻找下步勘探目标的关键。本次研究在等时层序划分和对比的基础上恢复了石钱滩组沉积古地貌,并结合地震相、连井剖面 and 岩心、薄片等微观沉积特征识别了不同沉积相,构建了各体系域的沉积相展布和沉积演化模式,以期对石钱滩凹陷下步油气勘探提供依据。

1 区域地质概况

石钱滩凹陷是准噶尔盆地东部隆起上的一个二级构造单元,北靠克拉美丽山,东与黑山凸起相邻,向西过渡到黄草湖低凸起,南部为沙奇凸起(图1a)。受多期构造活动影响,凹陷内发育多条断层,其中晚期克拉美丽山前陆逆冲构造活动影响较大,形成控制凹陷边界的近东西向构造冲断带(图1b),南部和北部强烈构造抬升,地层剥蚀较大,而凹陷西部和中部受构造活动影响较小,地层保留相对完整、分布稳定,现今整体呈现“南部断褶、中部凹陷、北部冲断”的构造特征(图1c)。

石钱滩凹陷在早石炭世为残留洋盆,主要发育

滨浅海相沉积,随着裂谷和洋盆的关闭,该区域火山活动剧烈,形成了松喀尔苏组(C_{1s})/姜巴斯套组(C_{1j})和巴塔玛依内山组(以下简称巴山组, C_{2b})等火山岩和火山碎屑岩沉积。石炭纪晚期,克拉美丽洋因板块挤压碰撞而关闭,准东地区整体抬升并接受剥蚀,仅在现今的石钱滩凹陷—梧桐窝子凹陷一带残留一个向东南开口的局限海湾,沉积了一套以浅海—滨海相泥质灰岩、生物灰岩、砂质灰岩与钙质砂岩为主的石钱滩组(C_{2sh})及以海陆过渡相碎屑岩为主的六棵树组(C_{2jk})(图2c),二叠纪之后准东地区进入了统一的陆相湖盆沉积阶段(岳婷,2016),在下二叠统金沟组(P_{1jg})和中二叠统将军庙组(P_{2j})沉积了厚层紫红色、杂色粗碎屑砂岩、砂砾岩夹有薄层泥岩,中二叠统芦苇沟组(P_{2l})/平地泉组(P_{2p})大范围湖侵,沉积了大范围厚层暗色泥岩、粉砂质泥岩和白云质泥岩。

石钱滩凹陷发育 C_1 、 C_{2sh} 和 P_2l 三套烃源岩(王越等,2021;武小宁等,2022;林潼等,2024),石炭系和二叠系两套成藏系统,多套储盖组合,油气基础地质条件优越。SHQ1井的突破更是证实石钱滩组烃源岩和储层的有效性,并开辟了石炭系海相碎屑岩勘探的新局面。

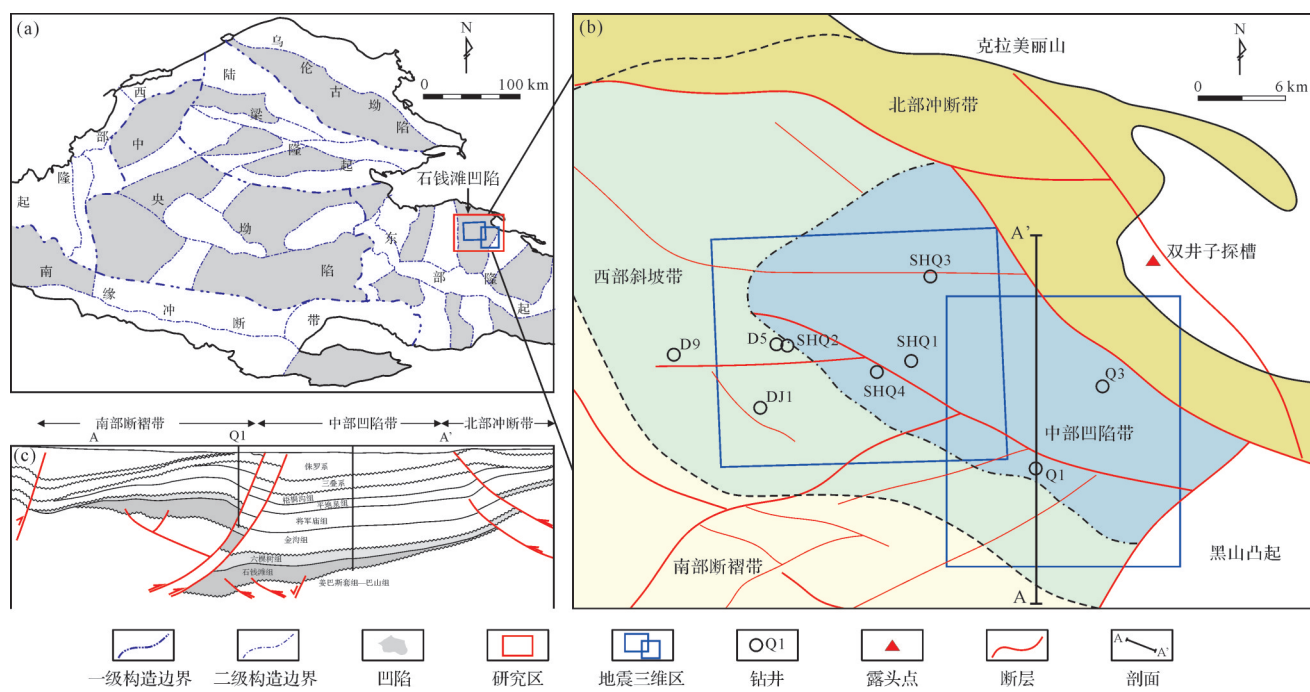


图1 (a)准噶尔盆地石钱滩凹陷区域构造位置;(b)石钱滩凹陷石钱滩组顶面构造图和钻井分布;(c)地层结构剖面A-A'

Fig.1 (a) Regional tectonic position of the Shiqiantan Sag, Junggar Basin; (b) top tectonic map and drilling distribution of the Shiqiantan Formation in the Shiqiantan Sag; (c) stratigraphic structural section A-A'

2 多参数约束的等时地层格架

2.1 三级层序界面识别

三级层序由盆地边缘的局部不整合及其对应的整合面所限定,是建立起全盆地等时地层格架的重要基本单位(林畅松,2009;袁文芳等,2024)。目前层序界面的识别主要依靠地震反射特征、地表露头、钻井和测井资料以及古生物组合所反映的沉积旋回,以此来划分不同的三级层序及其体系域(刘招君等,2011;郭彦如等,2014)。典型的识别标志如:(1)削截、上超、下超、顶超等地震反射终止关系;(2)自然电位(SP)、自然伽马(GR)、电阻率(RT)测井曲线突然增大或减小等突变界面;(3)地层岩性、颜色、地球化学指标等突变界面;(4)古生物组合、化石群含量、分异度突变界面等(鲍志东等,2002;朱筱敏等,2003;周学文等,2023)。

基于SHQ1、SHQ4、Q3等井的井—震标定和区域地震引层结果,结合地震反射结构和SHQ1、Q3等单

井层序研究分析认为,石钱滩组发育一个完整的三级层序(图2,3)。其中SB1界面之下的火山岩地层可见明显的削截现象,对应石钱滩组碎屑岩与巴山组火山岩的区域不整合,代表层序Sq1的底界面。同时可以看到石钱滩组之上的六棵树组从凹陷中心逐渐超覆于SB2界面之上,具有明显的上超关系(图2),因此该界面可以作为石钱滩组的顶部三级层序界面。

石钱滩组三级层序界面在录井岩性、测井曲线以及小波时频能量图谱上具有明显的响应特征。在SB1和SB2界面处,均可以看到录井岩性组合发生突变:SB1处由巴山组的灰色、褐色凝灰岩、凝灰质角砾岩、安山岩等火山岩突变为石钱滩组灰黑色泥岩、粉砂质泥岩等细粒沉积组合,表明沉积环境由火山岛弧变为滨浅海沉积;而SB2处由石钱滩组灰色泥岩、灰白色粉砂质泥岩、砂岩等砂泥互层组合突变为六棵树组褐色、灰褐色砂砾岩组合,表明沉积环境氧化性增强,由海相向陆相开始过渡。GR曲线和深电电阻率曲线在层序界面也有突变现象:SB1处GR曲线

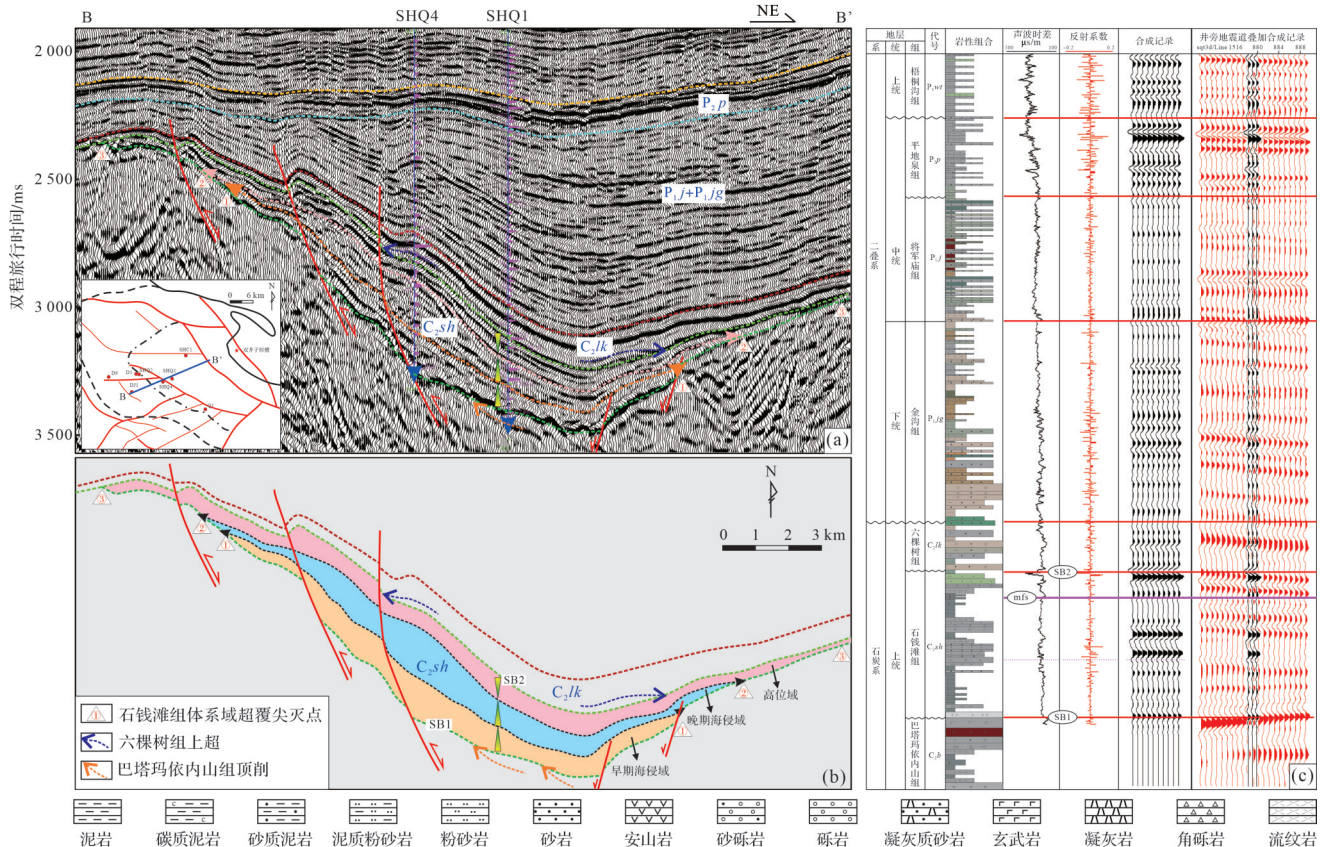


图2 (a) 准噶尔盆地石钱滩凹陷北东—南西向地震剖面、(b) 石钱滩组区域地震层序地层格架和 (c) SHQ1 井井震标定结果

Fig.2 (a) Northeast-southwest oriented seismic section, (b) stratigraphic grid of regional seismic sequences for the Shiqiantan Formation, and (c) results of seismic calibration of well SHQ1, Shiqiantan Sag, Junggar Basin

由低值显著增大,并基本保持在较高值范围,而电阻率曲线由高值降低到相对稳定的低值;SB2处GR曲线由高值突变降低,电阻率曲线由低值突变增高。由GR曲线小波变换得到时频能量团的强度在SB1处突变降低,在SB2处突变增高,同样反映这两个界面是石钱滩组的三级层序界面(图3)。

2.2 体系域界面识别

层序地层学从20世纪80年代发展至今,先后提出了四种经典的基于沉积基准面变化划分体系域的模式,即三分层序模式、四分层序模式、成因层序模式和海侵—海退层序模式(徐长贵和龚承林,2023),体系域的分界面主要依靠最大海泛面(MFS)和最大海退面(MRS)来限定。由中国学者发展形成的、富有中国盆地特色的陆相层序地层学更强调构造、气候和沉积供应等因素(朱筱敏等,2023b),通常根据地形(构造)坡折、台地等特征来确

定初始湖泛面和最大湖泛面,进而识别出低位、湖侵和高位体系域(朱筱敏等,2003)。

石钱滩组沉积期处于由海相向陆相转变的阶段,并且盆地处于相对封闭的裂陷海槽,缺少相对宽缓的陆架区,层序演化和沉积充填主要受沉积物充填而非可容空间调控,因此其层序沉积模式更符合 Gearon *et al.*(2022)提出的陆相层序地层学模式——供给成因层序模式(supply-generated sequence model)。其特征为两分层序模式,即将一个湖盆沉积层序划分为沉积基准面上升条件下形成的湖扩体系域(EST)和沉积基准面下降条件下形成的湖退体系域(RST)。以此模式为基础,综合研究区地质背景、古地形坡折发育情况以及地震反射结构,将石钱滩组Sq1三级层序体系域划分为海侵域(TST)和高位域(HST),海侵体系域进一步细分为早期海侵域(ETST)和晚期海侵域(LTST)。

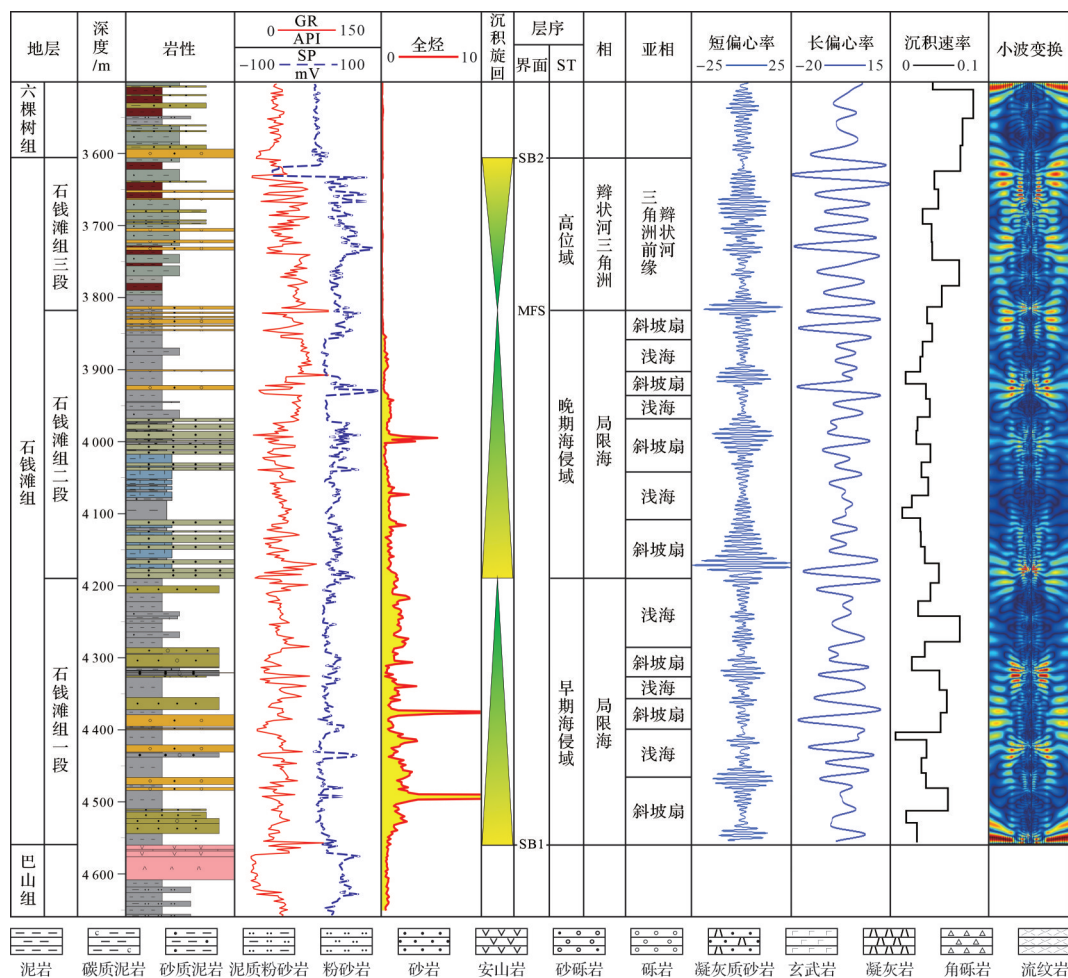


图3 准噶尔盆地石钱滩凹陷Q3井石钱滩组单井层序与沉积相综合柱状图

Fig.3 Comprehensive histogram of sequence and sedimentary facies for Shiqiantan Formation in well Q3, Shiqiantan Sag, Junggar Basin

石钱滩组内可见三期超覆于巴山组之上的地震反射体(图2a),Sq1层序的早期海侵域对应第1期超覆,其顶界面为海平面在古地貌上刚好越过南北两侧第一坡折时的界面,在单井层序格架上显示为大套粉砂岩—泥岩与厚层砂泥岩互层的分界面,在小波能量图谱上表现出明显的突变特征(图3)。Sq1层序的晚期海侵域对应第2期超覆,其顶界面为最大海泛面,该界面在古地貌上已越过第二坡折,在单井层序格架上显示为砂砾岩—粉砂岩—泥岩正旋回向泥岩—粉砂岩—砂砾岩反旋回转变的界面,在小波能量图谱上也有相应的响应特征(图3)。Sq1层序的高位域对应第3期超覆,该期超覆较第2期分布范围更广,在钻井上显示为砂体逐渐增多,粒度变粗、氧化色增加(图3),表明基准面逐渐下降、物源供给相对增加。

3 古地貌背景下的“源—汇”体系

在剥蚀区—沉积区开展古地貌恢复,有助于揭示盆地的沉积充填演化及源—汇要素的配置关系,也是分析控制层序地层发育因素和准确预测多种成因类型砂体的关键。恢复古地貌的基本方法有残余厚度法、印模法、回剥和填平补齐法、沉积学法、层序地层学法、地球物理学法、双界面法、构造沉积模拟法等(鲜本忠等,2017;陈兆芹等,2022;叶蕾等,2023)。石钱滩组沉积于巴山组火山岩之上,地层分界面为一连续的区域等时不整合界面,内部为上超连续沉积,不存在层内剥蚀。石钱滩组沉积顶界面全区稳定分布,仅在南北凸起带晚期略有剥蚀,因此可近似作为一个区域等时界面,此时整个石钱滩凹陷基本处于“填平补齐”状态,地层厚度与沉积前的古地貌形态呈镜像关系,厚度由小到大间接反映出该时期古地貌由高到低的变化趋势。

以石钱滩凹陷三维地震解释为基础,建立等时地层格架之后,基于残余厚度图经去压实分析,恢复了石钱滩组沉积期古地貌。结果显示,石钱滩组沉积期石钱滩凹陷整体为一个北西西—南东东走向的狭长海槽,北部克拉美丽山和南部沙奇古凸起是最主要的沉积碎屑物源。在古地貌图上可以进一步识别出裂陷海槽、多级坡折缓斜坡、断控陡坡以及侵蚀沟谷等4种古地貌类型(图4)。其中南北沉积古地貌具有差异性:大面积的多级坡折缓斜坡主要分布在凹陷西北部和东北部,是来自北部克拉美丽山长

距离搬运的碎屑沉积物的主要卸载场所;沉积期控凹断层在南部发育,坡度较陡,缺乏坡折平台,因此断控陡坡主要分布在凹陷南部;侵蚀沟谷古地貌主要发育在南北凸起带,从横截沟谷的地震剖面上可以明显识别出U型或V型的几何形态,地震同相轴呈现垂向叠加或者侧向叠加的形态,反映为沉积物输送搬运通道(图4c)。

源—汇时空耦合控砂研究方法是含油气盆地储层预测的一项重要手段,也是近年来国内外控砂研究的热点(徐长贵等,2004;徐长贵,2013)。该理论强调,在一个陆相复杂断陷盆地中,山地、坡折、沟谷、湖盆四大古地貌要素共同构成了一个完整的源—汇时空耦合控砂系统,在复杂的陆相断陷盆地内找到大规模砂岩富集区,需要先寻找到一个完整的源—汇系统(蒙启安等,2019)。

南北差异古地貌控制石钱滩沉积期发育“断控陡坡型”和“多级坡折缓坡型”两类不同的源—汇系统控砂机制。南部发育断控陡坡,物源近、沟谷输砂通道短、水体较深,易发育扇体规模较小且相带展布窄的扇三角洲和近岸水下扇沉积体系,沉积物粒度较粗;而北部发育多级宽缓坡折带,搬运距离远,易发育扇体规模较大且相带展布较宽的斜坡扇和辫状河三角洲沉积体系,沉积物粒度相对较细。值得注意的是,古地貌显示北部缓坡发育两大汇砂平台,被中部的“分水岭”所分隔,其中东北部汇水面积较小,发育多个沟谷输砂通道,向盆地方向有一个小型汇砂平台,平台之下快速进入海槽,可分别形成斜坡扇和盆底扇等规模砂体群;而西北部汇水面积大,坡度更缓,更易沉积大面积连片且成分和结构成熟度较高的斜坡扇(朱筱敏等,2023a)(图5)。因此,从古地貌控砂机制方面来看,西北部更易发育优质储层砂体。

4 沉积相特征和沉积模式

4.1 沉积相类型

基于源—汇系统及控砂理论,结合石钱滩凹陷典型测录井资料、岩心及地震相特征,对石钱滩组沉积体系和有利岩相展布进行了分析,识别出近岸水下扇、扇三角洲、斜坡扇、盆底扇等多种沉积相类型。扇三角洲和近岸水下扇主要分布在南部断控陡坡带附近,斜坡扇主要发育在北部宽缓多级坡折带之上,而盆底扇则主要发育在海槽之中。

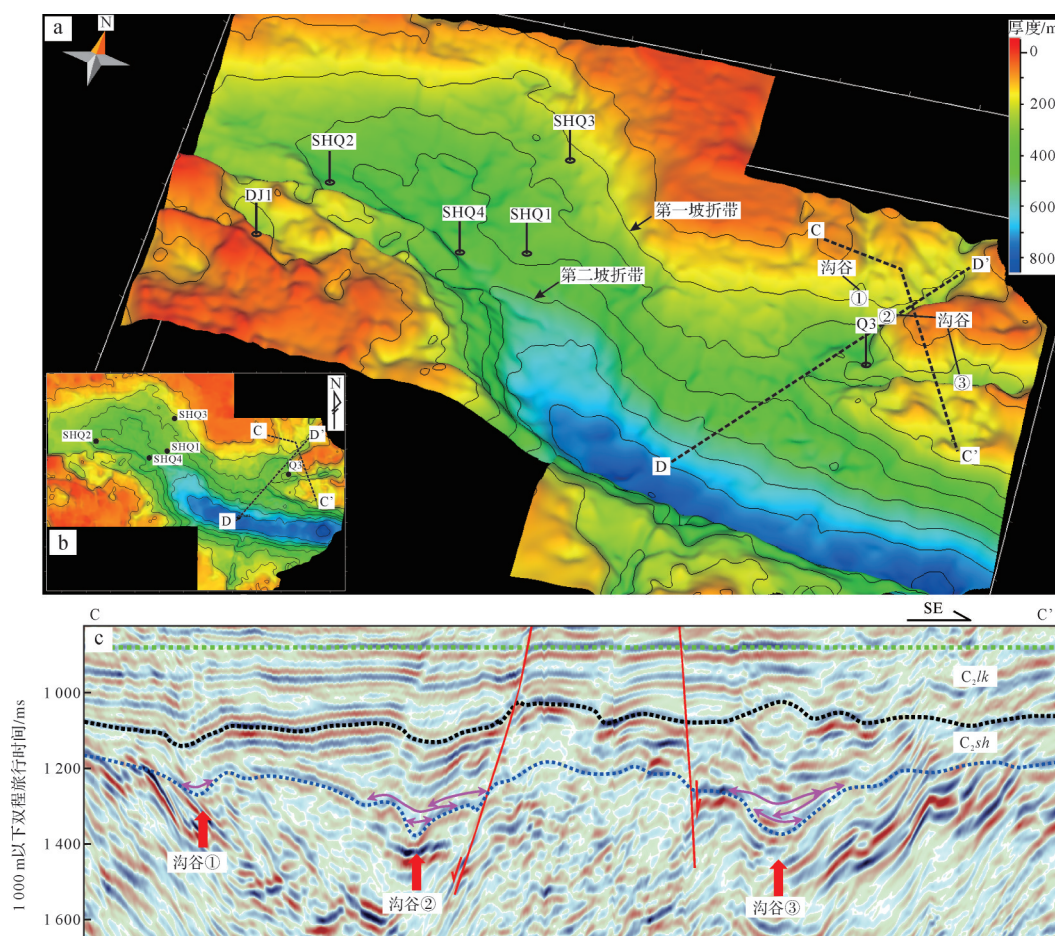


图4 (a, b) 准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组沉积前古地貌立体与平面显示及 (c) 典型沟谷地震剖面图 (以 C_{2lk} 顶面拉平)

Fig.4 (a, b) Three-dimensional (3D) and planar display of the pre-depositional paleomorphology of the Shiqiantan Formation in the Shiqiantan Sag, Junggar Basin and (c) seismic section of a typical gully (flattened by C_{2lk} top surface)

4.1.1 南部陡坡带沉积相

近岸水下扇是指由近源洪水携带大量陆源碎屑直接入湖,并在湖盆边缘陡岸深水中形成的扇体(陈宏逵等, 2024)。扇三角洲与近岸水下扇相似,只是具有牵引流和重力流双重水流机制的特点。通过南部陡坡至海槽中心的沉积连井剖面可以看出,SHQ2井和D5井石钱滩组在早期海侵域发育大套厚层砂砾岩,向凹陷边缘凸起区地层灰绿色、棕褐色等氧化色增多,指示水体相对变浅、陆源物质输入较多、搬运距离较短(图6)。镜下薄片显示,靠近南部陡坡带的砾岩粒度不等,分选中等,碎屑颗粒呈棱角状一次圆状,磨圆一般,岩石成分较杂,以安山岩、凝灰岩等火山岩岩屑成分为主,成分成熟度较低,表明砂体的搬运距离较短,距物源区较近(图7a~c)。岩心上,砾石碎屑颗粒较大,直径多介于1~3 cm,定向性差,无明显沉积构造和层理显示,表现为明显的重力流沉

积特征(图7d),是近岸水下扇的典型标志;而部分层段见多期冲刷特征,偶见块状砂岩,表现出一定的牵引流特征,表明在水体加深、物源供给减弱时演变为扇三角洲前缘沉积(图7e)。

4.1.2 北部缓坡带沉积相

斜坡扇是洪水输入的沉积物直接搬运或堆积于浅水区的沉积物再搬运,顺斜坡下滑并在相对较深水的斜坡部位堆积下来而形成的扇形砂砾岩体(李淳, 1999)。辫状河三角洲是由辫状河进入水体(海、湖)形成的相对粗粒三角洲(朱筱敏, 2020)。位于北部缓坡的SHQ1井和Q3井石钱滩组以灰色和深灰色泥岩夹砂岩和砂砾岩为主,整体为还原色,指示水体相对较深、陆源物质输入相对扇三角洲较少(图6)。镜下薄片显示,从距物源较近的双井子剖面到相对较远的Q3井和SHQ1井,碎屑颗粒结构成熟度相对增加,相较于南部陡坡样品的分选程度高,但是颗粒

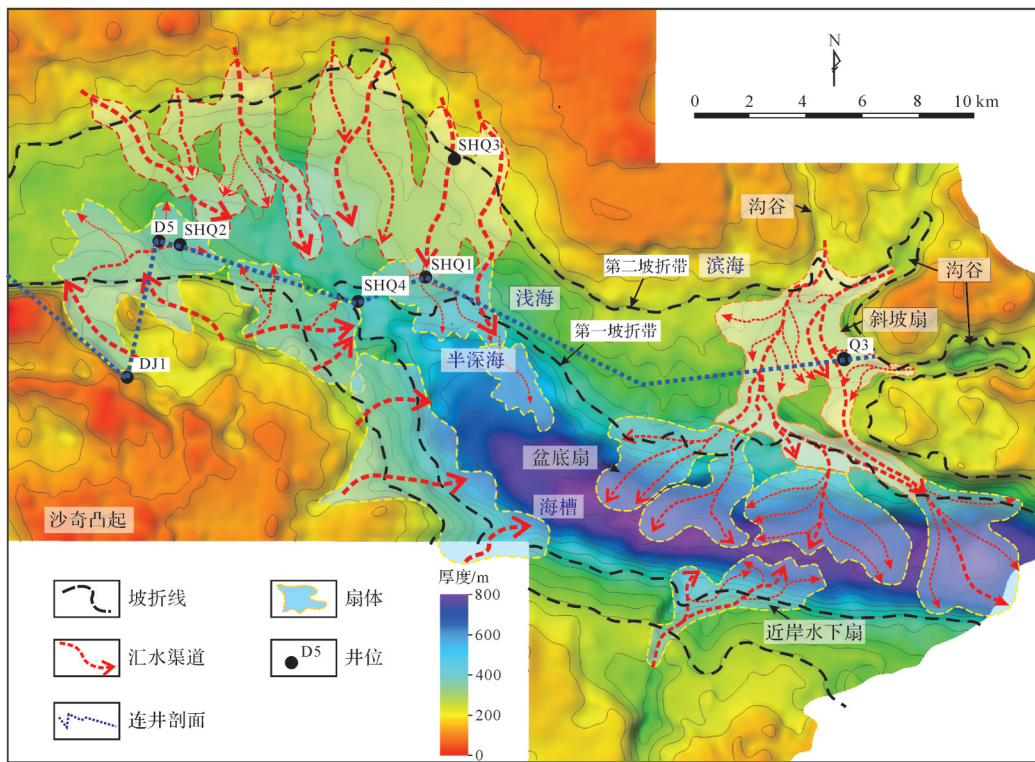


图5 准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组古地貌格局及“源—渠—汇”配置关系
 Fig.5 Paleomorphologic pattern of the Shiqiantan Formation in the Shiqiantan Sag, Junggar Basin, and the "source-drainage-sink" configuration

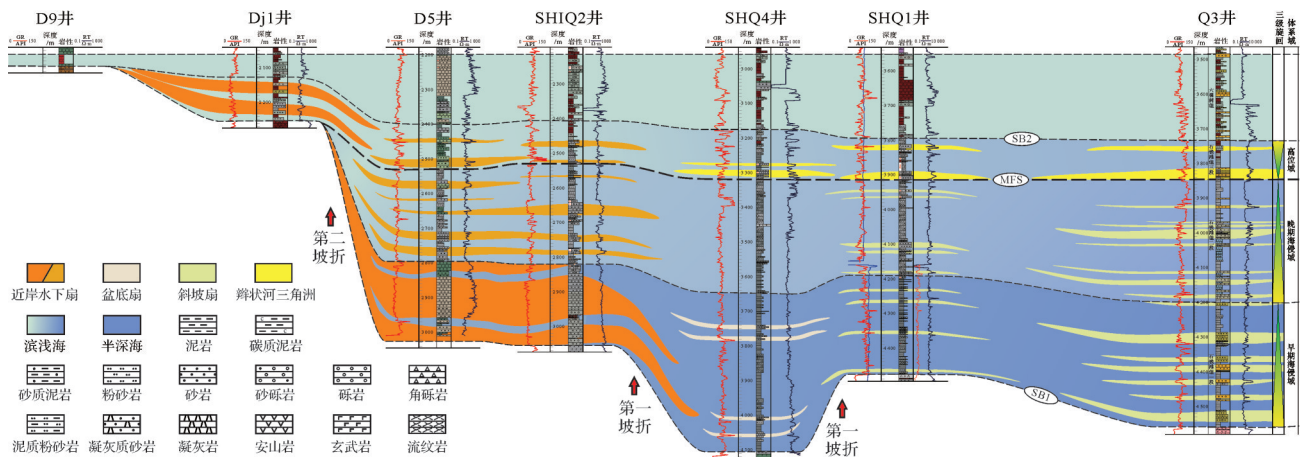


图6 准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组沉积相连井剖面(剖面位置见图5)

Fig.6 Sedimentary linked well profile of the Shiqiantan Formation, Shiqiantan Sag, Junggar Basin (see Fig. 5 for profile location)

的磨圆度较差。岩心上Q3井早期海侵域见含砾砂岩沉积,砾石呈次棱角状一次圆状,向上粒度变小,分选变好,具有递变粒序特征,砾石漂浮在砂泥基质中,砾石之间有大量生物碎屑,是典型的重力流成因岩相。考虑SHQ1井取样位置位于高位域,地层颜色向氧化色过渡,沉积地形和坡度较缓,判断为辫状河三角洲,而Q3井海侵域扇体位于坡折带之下的斜坡

区,是由重力作用下沿斜坡搬运堆积形成,因此判断为斜坡扇。

此外,从纵切物源方向将石钱滩组顶拉平后,可以看出早期海侵域和晚期海侵域“叠瓦式退积”的地震反射特征,表明海平面不断升高、可容空间增大、不断海侵的过程。地层地震同相轴表现为豆荚状结构、扇体延伸方向一端下超于盆底深水泥岩,另一端

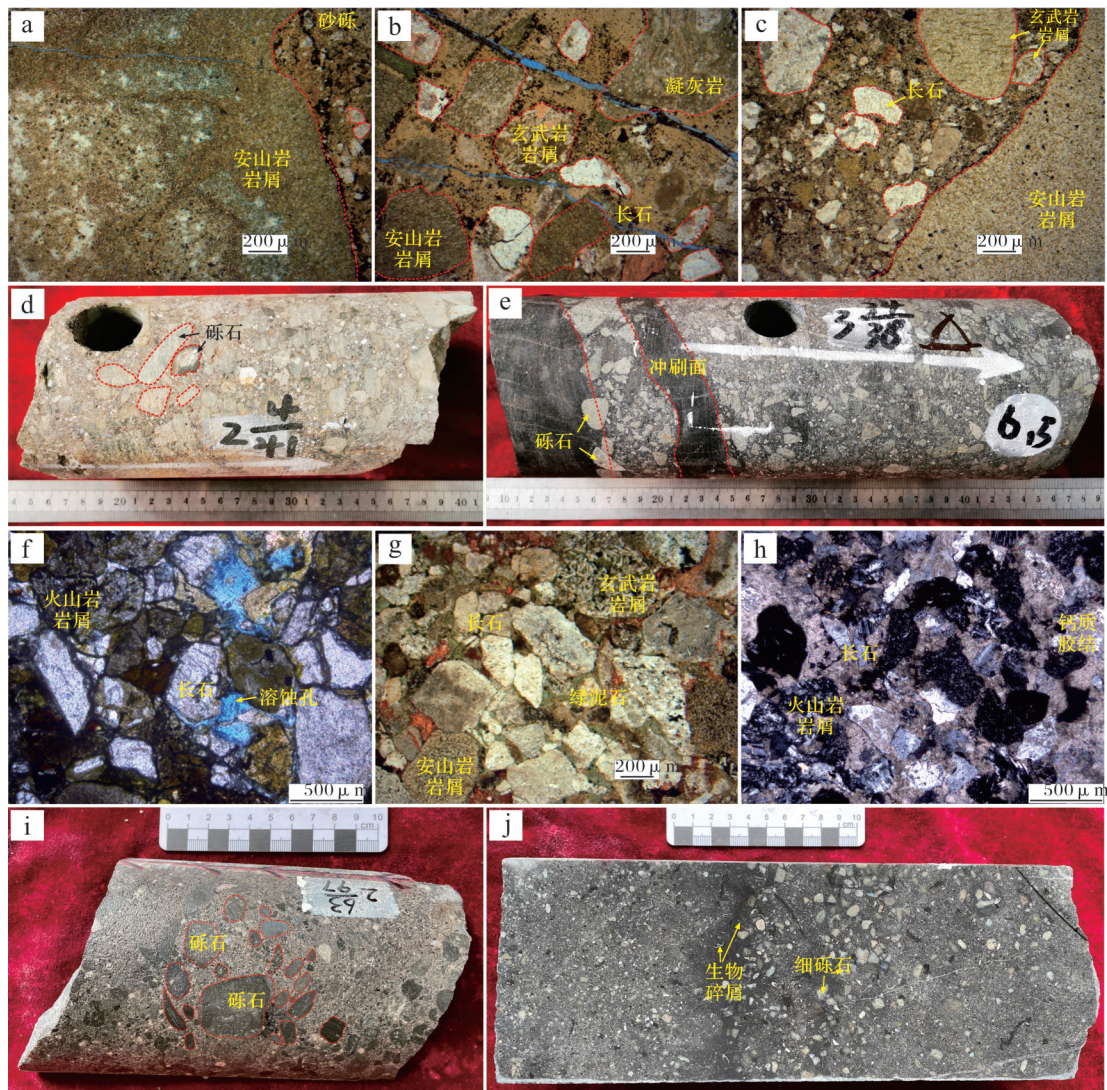


图7 准噶尔盆地石钱滩凹陷典型岩心及镜下薄片

(a)SHQ2井, 2 641.80 m, 砾岩, 具有双粒度结构, 岩屑成分为凝灰岩、安山岩等, 沸石充填孔隙, 微裂缝发育, 单偏光; (b)SHQ2井, 2 646.40 m, 砂砾质岩, 岩屑成分为安山岩、凝灰岩等, 绿泥石、沸石、铁方解石充填孔隙, 微裂缝发育, 单偏光; (c)SHQ2井, 2 690.40 m, 砂砾岩, 具有双粒度结构, 岩屑成分为安山岩、凝灰岩等, 绿泥石、沸石、铁方解石充填孔隙, 单偏光; (d)SHQ2井, 2 641.86 m, 灰色荧光砂砾岩, 分选中等, 磨圆次棱角状一次圆状, 砾石粒径一般1~3 cm, 颗粒支撑, 孔隙胶结; (e)SHQ2井, 2 696.38 m, 灰色荧光砂砾岩, 分选中等, 磨圆次棱角状一次圆状, 砾石粒径一般0.2~1.5 cm, 颗粒支撑, 孔隙胶结, 见多期冲刷面; (f)双井子探槽, 灰色岩屑中砂岩, 颗粒支撑, 颗粒以火山岩岩屑和长石为主, 磨圆差, 分选一般, 局部见粒间溶孔, 单偏光; (g)SHQ1井, 3 901.82 m, 灰白色岩屑砂岩, 颗粒支撑, 颗粒以火山岩岩屑和长石为主, 磨圆、分选一般, 见粒间溶孔, 绿泥石充填, 单偏光; (h)Q3井, 4 310.00 m, 深灰色岩屑砂岩, 钙质胶结、交代作用较强, 磨圆差, 分选一般, 正交偏光; (i)Q3井, 4 320.85 m, 灰褐色砂砾岩, 分选中等, 磨圆次棱角状一次圆状, 具有双粒度结构, 砾石成分主要为安山岩、玄武岩、长石等; (j)Q3井, 4 318.40 m, 灰黑色含砾砂岩, 砾石成分主要为硅质岩、粒径一般0.2~1.0 cm, 次圆状, 含少量细砂, 无明显层理, 具递变粒序, 见大量生物碎屑混杂其中

Fig.7 Typical core and microscopic thin section of the Shiqiantan Sag, Junggar Basin

上超于层序边界, 具变振幅、较连续—断续地震反射特征, 是典型斜坡扇的地震沉积学特征。根据同相轴的形态、交切关系、延伸角度等特征, 识别出早期海侵域发育四期明显扇体, 其中①号扇体同相轴两端底超于石钱滩组底界面之上, 整体为低幅丘状形态, 推测为盆底扇; 而②号、③号、④号扇体退积现象明显, 同相轴不断退积上超于石钱滩组底斜坡之上, 推测为斜坡扇(图8)。北斜坡其他沟谷纵切物源方向同样具

有明显的叠瓦式退积反射特征, 揭示了沟谷有效输砂, 斜坡扇、盆底扇在盆内大范围广泛发育的特征。

4.2 沉积相平面展布

研究区典型井标定结果表明, 在地震剖面上砾岩与泥岩之间为强振幅反射、细砂岩与泥岩为中等振幅反射、泥质粉砂岩与泥岩为弱振幅反射。前人研究表明, 扇体沉积从扇根到扇端, 地层多由厚层砂砾岩逐渐变为泥包砂结构(石巨业等, 2016), 因此据

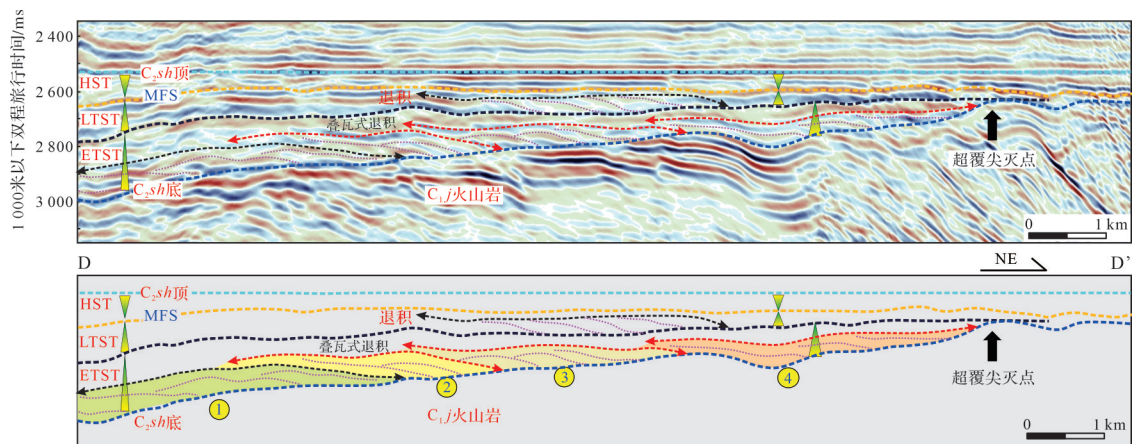


图8 准噶尔盆地石钱滩凹陷北部缓坡“叠瓦式”退积斜坡扇和盆底扇地震剖面特征
(以 C_2sh 顶拉平, 剖面位置见图4)

Fig.8 Seismic profile characteristics of "imbricated" retrogradation slope fan and basin floor fan on the northern gentle slope of the Shiqiantan Sag, Junggar Basin (leveled with C_2sh top, see Fig. 4 for profile location)

幅属性可以较好地刻画扇体的展布特征。本次优选出层间均方根振幅属性切片,重点刻画石钱滩组早期海侵域、晚期海侵域和高位域的扇体平面展布,落实砂体边界,结果表明,均方根振幅高值区(红色和黄色)可以较好地反映各类扇体的展布范围,低值区(蓝色)反映泥岩/细粒岩沉积(图9a,c,e)。

根据古地貌定物源体系、井震结合定沉积模式、综合分析确定砂体分布,刻画了石钱滩组各体系域沉积相平面展布和沉积演化过程。石钱滩组整体为裂隙海槽沉积,发育海侵背景下优质烃源岩及斜坡扇、盆底扇砂体。平面上, C_2sh^1 (早期海侵域)盆地沉积范围小,海槽中心在SHQ4井—Q1井一带呈北西—南东向展布,发育海相烃源岩,南北凸起带提供物源,南部陡坡带在D5井和SHQ2井附近发育小型扇三角洲和近岸水下扇,北部缓坡带在SHQ1井西北方向和Q1井东北方向发育多期叠置盆底扇和斜坡扇(图9a,b)。

C_2sh^2 (晚期海侵域)物源供给减少,海槽范围扩大,浅海—半深海相发育,烃源岩分布范围扩大,北西方向可扩展至SHQ2井一带,北部可扩展至坡折线一带。扇体向凹陷边缘拓展,南部沿岸发育裙带状滑塌型扇三角洲,北部多发育小规模退积型斜坡扇(图9c,d)。

C_2sh^3 (高位体系域)北部物源供给充足,海槽范围变小,随着物源区高地的不断剥蚀,盆地部分被充填,地形坡度变得更缓,坡折不再明显,斜坡扇向辫状河三角洲过渡。北坡发育规模辫状河三角洲进积砂体,砂体发育范围最广,南坡沿岸发育裙带状扇三

角洲(图9e,f)。

4.3 沉积模式

综合上述研究认为,石钱滩组沉积期发育一个完整的海侵—海退旋回。根据沉积古地貌可识别出两个明显坡折线,进而将石钱滩凹陷岩相古地理划分为半深海、浅海和滨海,将石钱滩组划分为早期海侵域、晚期海侵域和高位域。

早期海侵域时期,海平面较低,沉积范围较小,北部坡度较缓,从凸起剥蚀的陆源碎屑物质通过侵蚀河谷卸载沉积于浅海宽缓坡折带之上形成斜坡扇,而盆底扇则主要是沉积物通过峡谷水道再次溢出滑塌沉积于半深海盆地海槽之上。随着海平面的逐渐上升,后续而来的沉积物向上逐渐退积超覆在坡折带上,向下多期叠置在早期盆底扇之上,在海槽底部形成大范围多期叠置的有利砂体(图10a)。随着海侵的快速进行,海平面逐渐达到第一坡折带之上,沉积可容空间快速增大,并且第一坡折带和第二坡折带之间形成宽缓的斜坡,使得沉积物在此卸载堆积形成大面积连片的斜坡扇。在高位域时期,裂隙海槽基本被“填平补齐”,多级坡折带不再明显,北部形成大面积低缓的斜坡,海平面保持不变或缓慢下降,物源供给增强,形成向前推进较远的辫状河三角洲,更多的碎屑沉积物进一步叠置在早期的斜坡扇砂体之上,形成大面积的连片砂体(图10b)。整个沉积过程形成了在快速海侵背景下多期“叠瓦式退积”的海底扇—斜坡扇沉积和高位域大面积辫状河三角洲沉积的演化模式。

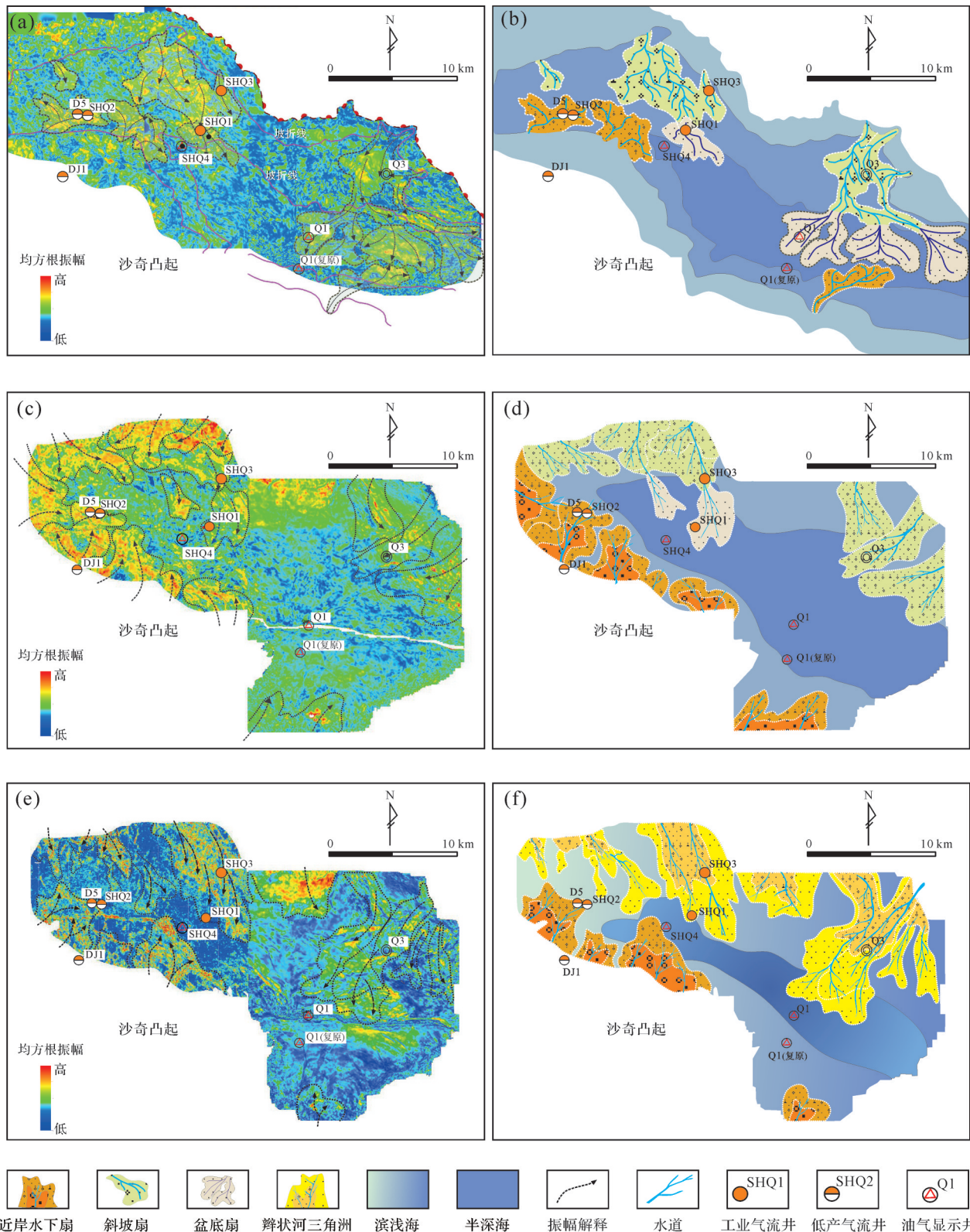


图9 准噶尔盆地石钱滩凹陷石钱滩组均方根振幅属性切片和沉积相展布

(a)石钱滩组底面上漂25~0 ms沿层均方根振幅属性切片;(b)石钱滩组早期海侵域沉积相展布;(c)石钱滩组顶面下漂25~50 ms沿层均方根振幅属性切片;(d)石钱滩组晚期海侵域沉积相展布;(e)石钱滩组顶面下漂0~25 ms沿层均方根振幅属性切片;(f)石钱滩组高位域沉积相展布

Fig.9 Root-mean-square amplitude attribute slices and sedimentary phase zone spreads of the Shiqiantan Formation, Shiqiantan Sag, Junggar Basin

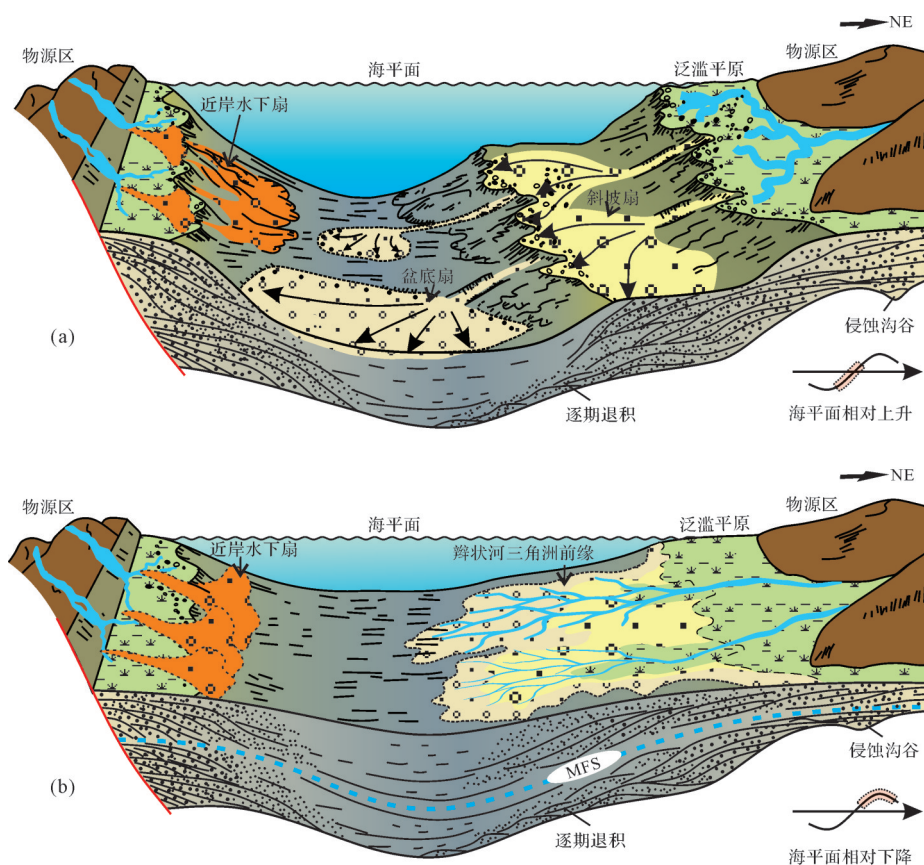


图 10 准噶尔盆地石钱滩组海侵域“叠瓦式退积”海底扇—斜坡扇和高位域大面积辫状河三角洲沉积模式
(a)早期海侵域以盆底扇和斜坡扇为主;(b)晚期海侵域和高位域以斜坡扇叠置砂体为主

Fig.10 Sedimentation pattern of the "imbricated" regressive basin-floor fan-slope fan and the contiguous braided river delta in the high level domain of the Shiqiantan Formation, Junggar Basin

5 油气地质意义

石钱滩组沉积期研究区经历两次大的海侵过程,宏观上每次海侵底部为粗碎屑沉积,顶部为细粒沉积,形成多套正粒序沉积旋回。细粒沉积岩中可见大量的海相生物化石(康积伦等,2023),不同层段有机质含量具有差异。早期海侵域顶部岩心实测有机质丰度为3.47%~6.51%,平均为5%,累计厚度超过300 m,实测 R_o 平均值为1.65%,是良好的成熟—高成熟烃源岩。其分布主要受控于早期海槽水域范围,呈北西—南东走向分布,范围较小;晚期海侵域和高位域时期由于沉积环境逐渐向偏氧化的陆相淡水过渡,其中的细粒沉积有机质丰度相对较低,TOC介于0.78%~4.88%,平均为2.18%,实测 R_o 值介于1.16%~1.34%,是中等成熟烃源岩(林潼等,2024),但由于晚期海侵水体范围广,此段烃源岩较早期海侵域沉积范围广。

依据石钱滩凹陷石钱滩组中下部烃源岩和砂体

配置关系、沉积充填序列及钻探成效对比分析,认为石钱滩凹陷石钱滩组主要发育三类油气藏:凹陷区源上大面积地层岩性型致密油气藏(SHQ1井型)、斜坡区源侧或上倾方向的构造—岩性型油气藏(SHQ3井型)以及高部位构造油气藏(DJ1井型)。油气源对比表明(崔炳富等,2024;林潼等,2024),石钱滩组油气均来自于石钱滩组自身烃源岩,邻源地质体油气显示好,形成规模油气藏(SHQ1井、SHQ3井),远离烃源岩则不见显示或显示差(D5井、SHQ2井),表明石钱滩组烃源岩有一定的规模,但是供烃并不充足,因此近源是勘探关键。石钱滩组海侵域发育优质烃源岩,厚度大,北部缓坡带海侵域盆底扇和斜坡扇可与海相优质烃源岩形成“指状交互”型的源储配置,同时也是凹陷高成熟烃源岩生成油气的主要指向区。综上,北部斜坡带“源上”和“源侧”的早期海侵域盆底扇和晚期海侵域斜坡扇勘探潜力大,是下步隐蔽油气勘探的有利目标。

6 结论

(1) 石钱滩组沉积期石钱滩凹陷整体为一个北西西—南东东走向的狭长海槽,发育裂陷海槽、多级坡折缓斜坡、断控陡坡以及侵蚀沟谷等多种古地貌类型。古地貌对砂体分布具有明显控制作用,其中凹陷东北部发育三大沟谷输砂通道,是陆源碎屑的重要来源,在其向盆地方向的缓坡带和海槽内可以形成规模砂体群。

(2) 石钱滩组发育扇三角洲、辫状河三角洲、斜坡扇、盆底扇等沉积相类型。扇三角洲和近岸水下扇主要分布在南部断控陡坡带附近,斜坡扇主要发育在北部多级坡折缓坡带之上,而盆底扇则主要发育在海槽之中。

(3) 石钱滩组可划分为一个完整的三级层序,包括早期海侵域、晚期海侵域和高位域。整个沉积过程形成了在快速海侵背景下多期“叠瓦式退积”的海底扇—斜坡扇沉积和高位域大面积辫状河三角洲沉积的演化模式。

(4) 北部缓坡带“源上”和“源侧”的海侵域盆底扇和斜坡扇与海相优质烃源岩可形成“指状交互”型的有利源储配置,成藏条件优越,是下步隐蔽油气勘探的有利目标。

致谢 感谢三位审稿专家与编辑部老师提出的宝贵意见和建议。

参考文献 (References)

鲍志东,管守锐,李儒峰,等. 2002. 准噶尔盆地侏罗系层序地层学研究[J]. 石油勘探与开发,29(1):48-51. [Bao Zhidong, Guan Shou-ru, Li Rufeng, et al. 2002. Sequence stratigraphy of the Jurassic in Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 29(1): 48-51.]

陈宏逵,朱筱敏,肖坤叶,等. 2024. 乍得Doseo盆地东部拗陷下白垩统Kedeni组层序地层格架与沉积体系分布[J]. 古地理学报,26(4):796-815. [Chen Hongkui, Zhu Xiaomin, Xiao Kunye, et al. 2024. Sequence stratigraphic framework and sedimentary system of the Lower Cretaceous Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin, Chad[J]. Journal of Palaeogeography, 26(4): 796-815.]

陈兆芹,刘景彦,董火祥,等. 2022. 松辽盆地东南隆起区古地貌恢复方法与效果[J]. 科学技术与工程,22(23):9937-9946. [Chen Zhaoqin, Liu Jingyan, Dong Huoxiang, et al. 2022. Restoration methods and effects of paleogeomorphology in the northeastern part of the southeast uplift of Songliao Basin[J]. Science Technology and Engineering, 22(23): 9937-9946.]

崔炳富,孔令华,陈军,等. 2024. 准噶尔盆地东部石钱滩凹陷石炭系石钱滩组烃源岩特征及其生烃潜力分析[J]. 西北地质,57(2):34-45. [Cui Bingfu, Kong Linghua, Chen Jun, et al. 2024. Characteristics and hydrocarbon generation potential for source rock of Carboniferous Shiqiantan Formation in Shiqiantan Depression, eastern Junggar Basin[J]. Northwestern Geology, 57(2): 34-45.]

郭彦如,赵振宇,徐旺林,等. 2014. 鄂尔多斯盆地奥陶系层序地层格架[J]. 沉积学报,32(1):44-60. [Guo Yanru, Zhao Zhenyu, Xu Wanglin, et al. 2014. Sequence stratigraphy of the Ordovician system in the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 32(1): 44-60.]

康积伦,付国斌,韩成,等. 2023. 准噶尔盆地东部隆起石钱滩凹陷石钱滩组层序划分[J]. 新疆石油地质,44(3):265-276. [Kang Jilun, Fu Guobin, Han Cheng, et al. 2023. Sequence division of Shiqiantan Formation in Shiqiantan Sag on eastern uplift of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 44(3): 265-276.]

李淳. 1999. 单家寺油田湖相斜坡扇沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版),23(2):11-13. [Li Chun. 1999. Lacustrine sediment of slope fan in Shanjiashi oil field[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 23(2): 11-13.]

林畅松. 2009. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. 沉积学报,27(5):849-862. [Lin Changsong. 2009. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 27(5): 849-862.]

林潼,杨威,焦立新,等. 2024. 准噶尔盆地东部石炭系海相砂岩气藏特征、潜力与勘探方向[J]. 天然气地球科学,35(2):245-258. [Lin Tong, Yang Wei, Jiao Lixin, et al. 2024. Characteristics, potential and exploration direction of Carboniferous marine sandstone gas reservoirs in eastern Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 35(2): 245-258.]

刘召君,孙平昌,贾建亮,等. 2011. 陆相深水环境层序识别标志及成因解释:以松辽盆地青山口组为例[J]. 地学前缘,18(4):171-180. [Liu Zhaojun, Sun Pingchang, Jia Jianliang, et al. 2011. Distinguishing features and their genetic interpretation of stratigraphic sequences in continental deep water setting: A case from Qingshankou Formation in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 18(4): 171-180.]

蒙启安,李跃,李军辉,等. 2019. 复杂断陷盆地源—汇时空耦合控砂机制分析:以海拉尔盆地贝尔凹陷为例[J]. 中国矿业大学学报,48(2):344-352. [Meng Qi'an, Li Yue, Li Junhui, et al. 2019. Analysis of source and convergence coupling control sand mechanism in complicated faulted basin: An example of Beier Depression in Hailar Basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 48(2): 344-352.]

牛晓燕. 2023. 石钱滩地区石炭系石钱滩组烃源岩发育特征[J]. 地质论评,69(增刊1):285-286. [Niu Xiaoyan. 2023. Development characteristics of Carboniferous Shiqiantan Formation source rocks in Shiqiantan area[J]. Geological Review, 69(Suppl. 1): 285-286.]

石巨业,樊太亮,于东方,等. 2016. 南图尔盖盆地1057区块滑塌扇体地质特征分析[J]. 特种油气藏,23(1):11-15. [Shi Juye, Fan

- Tailiang, Yu Dongfang, et al. 2016. Geology analysis of slump fans in block 1057 of South Turgai Basin[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 23(1): 11-15.]
- 王越,于洪洲,熊伟,等. 2021. 石钱滩凹陷二叠系平地泉组层序沉积特征及石油地质意义[J]. *油气地质与采收率*, 28(4): 35-45. [Wang Yue, Yu Hongzhou, Xiong Wei, et al. 2021. Sequence sedimentary characteristics and petroleum geological significance of Permian Pingdiquan Formation in Shiqiantan Sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 28(4): 35-45.]
- 武小宁,邓勇,刘啸虎,等. 2022. 准东石炭系烃源岩分布及勘探潜力分析[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 44(4): 14-26. [Wu Xiaoning, Deng Yong, Liu Xiaohu, et al. 2022. An analysis of distribution of Carboniferous source rocks and exploration potential analysis in eastern Junggar Basin[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 44(4): 14-26.]
- 鲜本忠,王震,马立驰,等. 2017. 沉积区—剥蚀区古地貌一体化恢复及古水系研究:以渤海湾盆地辽东地区馆陶组为例[J]. *地球科学*, 42(11): 1922-1935. [Xian Benzhong, Wang Zhen, Ma Lichi, et al. 2017. Paleao-Drainage system and integrated paleogeomorphology restoration in depositional and erosional areas: Guantao Formation in east Liaodong area, Bohai Bay Basin, China [J]. *Earth Science*, 42(11): 1922-1935.]
- 熊伟,张奎华,王越,等. 2023. 石钱滩凹陷石炭系石钱滩组沉积环境与沉积相特征[J]. *地质论评*, 69(增刊1): 13-14. [Xiong Wei, Zhang Kuihua, Wang Yue, et al. 2023. Sedimentary environment of Carboniferous Shiqiantan Formation in Shiqiantan Sag[J]. *Geological Review*, 69(Suppl. 1): 13-14.]
- 徐长贵. 2013. 陆相断陷盆地源—汇时空耦合控砂原理:基本思想、概念体系及控砂模式[J]. *中国海上油气*, 25(4): 1-11, 21. [Xu Changgui. 2013. Controlling sand principle of source-sink coupling in time and space in continental rift basins: Basic idea, conceptual systems and controlling sand models[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 25(4): 1-11, 21.]
- 徐长贵,龚承林. 2023. 从层序地层走向源—汇系统的储层预测之路[J]. *石油与天然气地质*, 44(3): 521-538. [Xu Changgui, Gong Chenglin. 2023. Predictive stratigraphy: From sequence stratigraphy to source-to-sink system[J]. *Oil & Gas Geology*, 44(3): 521-538.]
- 徐长贵,赖维成,薛永安,等. 2004. 古地貌分析在渤海古近系储集层预测中的应用[J]. *石油勘探与开发*, 31(5): 53-56. [Xu Changgui, Lai Weicheng, Xue Yong'an, et al. 2004. Palaeogeomorphology analysis for the Paleogene reservoir prediction in Bohai Sea area[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 31(5): 53-56.]
- 叶蕾,朱筱敏,谢爽慧,等. 2023. 沉积古地貌基本恢复方法及实例研究:以饶阳凹陷沙一段为例[J]. *古地理学报*, 25(5): 1139-1155. [Ye Lei, Zhu Xiaomin, Xie Shuanghui, et al. 2023. Restoration methods of sedimentary palaeogeomorphology and applications: A case study of the First member of Paleogene Shahejie Formation in Raoyang Sag[J]. *Journal of Palaeogeography*, 25(5): 1139-1155.]
- 于洪洲,张关龙,王越,等. 2023. 石钱滩凹陷地质结构及构造演化[J]. *地质论评*, 69(增刊1): 61-62. [Yu Hongzhou, Zhang Guanlong, Wang Yue, et al. 2023. Geological structure and tectonic evolution of Shiqiantan Sag[J]. *Geological Review*, 69(Suppl. 1): 61-62.]
- 袁文芳,吴旭桥,林畅松,等. 2024. 塔里木盆地中寒武统沙依里克组层序结构、沉积体系及其主控因素[J]. *天然气地球科学*, 35(1): 59-71. [Yuan Wenfang, Wu Xuqiao, Lin Changsong, et al. 2024. Sequence structure, sedimentary system and its main controlling factors of the middle Cambrian Shayilike Formation in Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 35(1): 59-71.]
- 岳婷. 2016. 准东地区二叠纪以来构造格局演化及其对源岩的控制[D]. 青岛:中国石油大学(华东). [Yue Ting. 2016. The research on tectonic evolution pattern of the eastern Junggar Basin since the Permian and its control on the source rocks[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China).]
- 支东明,陈旋,杨润泽,等. 2024. 准噶尔盆地东部残留海相凹陷勘探实践及全油气系统[J]. *新疆石油地质*, 45(2): 127-138. [Zhi Dongming, Chen Xuan, Yang Runze, et al. 2024. Exploration practice and total petroleum system in residual marine sag, eastern Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 45(2): 127-138.]
- 周学文,林会喜,郭景祥,等. 2023. 塔里木盆地库车坳陷南斜坡新和地区白垩系亚格列木组沉积模式及油气意义[J]. *石油实验地质*, 45(2): 266-279, 392. [Zhou Xuewen, Lin Huixi, Guo Jingxiang, et al. 2023. Depositional model and petroleum significance of the Cretaceous Yageliemu Formation in Xinhe area on the southern slope of Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 45(2): 266-279, 392.]
- 朱筱敏. 2020. 沉积岩石学[M]. 5版. 北京:石油工业出版社:314-430. [Zhu Xiaomin. 2020. *Sedimentary petrology*[M]. 5th ed. Beijing: Petroleum Industry Press: 314-430.]
- 朱筱敏,康安,王贵文. 2003. 陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨[J]. *沉积学报*, 21(2): 283-287. [Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen. 2003. Sequence stratigraphic models of depression and faulted-down lake basins[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(2): 283-287.]
- 朱筱敏,刘强虎,谈明轩,等. 2023a. 深时源—汇系统综合研究和沙垒田实例分析[J]. *沉积学报*, 41(6): 1781-1797. [Zhu Xiaomin, Liu Qianghu, Tan Mingxuan, et al. 2023a. Comprehensive investigation of deep-time source-to-sink systems: Case study of the Shaileitian area[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 41(6): 1781-1797.]
- 朱筱敏,王华,朱红涛,等. 2023b. 陆相层序地层学研究进展及发展关注[J]. *石油学报*, 44(8): 1382-1398. [Zhu Xiaomin, Wang Hua, Zhu Hongtao, et al. 2023b. Research progress and development focuses of continental sequence stratigraphy[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 44(8): 1382-1398.]
- Gearon J H, Olariu C, Steel R J. 2022. The supply-generated sequence: A unified sequence-stratigraphic model for closed lacustrine sedimentary basins with evidence from the Green River Formation, Uinta Basin, Utah, U. S. A. [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 92(9): 813-835.

Sedimentary Characteristics and Petroleum Significance of Marine Clastic Rocks from Shiqiantan Formation in Shiqiantan Sag, Junggar Basin

WANG Bin^{1,2}, LI ZhenMing^{1,2}, YU HongZhou³, WANG YuXin³, LUO Yu^{1,2}, JIA CunShan^{1,2}, QIU Qi^{1,2}, WANG JiYuan^{1,2}

1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China

2. Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanisms, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China

3. Exploration & Development Research Institute, Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China

Abstract: [Objective] Recent significant discoveries of marine clastic gas reservoirs in the Shiqiantan Formation (Shiqiantan Sag, Junggar Basin, NW China) necessitate the refined understanding of depositional systems to guide future hydrocarbon exploration. [Methods] This study reconstructs paleogeomorphology through isochronous sequence stratigraphic correlation and integrates seismic facies analysis, well-log cross-sections, and core/thin-section observations to delineate depositional facies and establish an evolutionary model. [Results and Conclusions] Results reveal a complete third-order sequence in the Shiqiantan Formation, subdivided by paleogeomorphic slope breaks into early transgressive systems tract (TST), late TST, and highstand systems tract (HST). During deposition, the sag formed a narrow NW-SE-trending marine seaway featuring rift-controlled troughs, multi-stage slope breaks, fault-bounded steep margins, and erosional valleys. Depositional systems identified include nearshore subaqueous fans, fan deltas, slope fans, and basin-floor fans. Paleogeomorphology exerted primary control on facies distribution: fan deltas and nearshore subaqueous fans developed along southern fault-controlled steep slopes; slope fans dominated the northern multi-stage gentle slopes; basin-floor fans occupied the central trough. Deposition occurred under rapid transgression, forming multi-stage imbricate retrogradational basin-floor/slope fan complexes during TST, overlain by extensive braided delta systems in HST. The TST hosts high-quality mature source rocks. Critically, basin-floor fans and slope fans on the northern gentle slope exhibit "finger-like interdigitation" with marine source rocks—creating optimal "source-on-top" and "source-adjacent" reservoir configurations. These zones represent prime targets for concealed hydrocarbon exploration due to superior charge conditions.

Key words: Junggar Basin; Shiqiantan Formation; depositional models; sedimentary facies; paleomorphology; source-sink system