

文章编号:1000-0550(2025)06-2202-18

准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组一段复合扇三角洲沉积及其控制因素

张曰静¹, 谢利华², 张卫平³, 商丰凯¹, 修金磊¹, 关旭同², 张亚楠²

1. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营 257061

2. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 地球与空间科学学院, 北京 100871

3. 中石化新疆新春石油开发有限责任公司, 山东东营 257015

摘要 【目的】准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组一段是车排子地区的主要目的层段, 其沉积相类型、分布范围仍然存在争议。【方法】综合运用录井、岩心、测井、分析化验及地震资料等, 采用层序地层学、地震地貌学和沉积学的方法和技术, 建立了沙一段层序地层格架, 研究了车排子地区沙一段沉积相特征, 恢复了古地貌。【结果】将沙一段分为1个三级层序和4个四级层序, 沙一段1砂组、沙一段2砂组下部、沙一段2砂组上部和沙一段3砂组分别对应于低位体系域、水侵体系域、高位体系域下部和高位体系域上部, 对应于四级层序PSS1、PSS2、PSS3和PSS4。沙一段为双物源沉积, 分别为西北部的扎伊尔山物源和南部的天山物源; 西北物源属于浅水扇三角洲沉积环境, 南物源为辫状河三角洲沉积环境; 西北物源发育东西两个不同规模的浅水扇三角洲复合沉积体。车排子地区东北端坡度较陡, 沟谷较窄, 形成了规模较小的陡坡型浅水扇三角洲的复合沉积体, 以重力流沉积为主; 西南端坡度较缓, 沟谷较宽, 形成了规模较大的缓坡型浅水扇三角洲的复合沉积体, 以牵引流沉积为主; 低位—水侵时期, 扇三角洲沉积楔的上超尖灭线与古地貌基本一致, 低位体系域扇三角洲主要分布于构造坡折带以下, 与辫状河三角洲在车排子地区南部交互沉积, 湖相范围最小; 水侵体系域和高位体系域下部的扇三角洲主要在构造坡折带以上沉积, 湖相范围最大; 高位体系域上部的扇三角洲在构造坡折带附近沉积。【结论】构造古地貌及相对湖平面变化是车排子地区沙一段扇三角洲沉积特征的主控因素。

关键词 古地貌; 陡坡型浅水扇三角洲; 缓坡型浅水扇三角洲; 坡折带; 沟谷

第一作者简介 张曰静, 男, 1979年出生, 硕士, 高级工程师, 沉积与储层预测, E-mail: zhangyj.slyt@sinopec.com

通信作者 谢利华, 女, 博士, 高级工程师, 沉积储层, E-mail: 644943707@qq.com

中图分类号 P618.13 **文献标志码** A

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2023.132

CSTR: 32268.14/j.cjxb.62-1038.2023.132

0 引言

准噶尔盆地车排子地区位于准噶尔盆地西缘(图1)^[1-2]。前期勘探开发实践证明, 准噶尔盆地车排子地区东部的沙湾凹陷二叠系和侏罗系烃源岩发育, 生排烃量巨大; 南部的四棵树凹陷在侏罗系发育较好的烃源岩, 车排子地区为其主要的供烃区^[1-2], 在新近系的沙湾组和白垩系已经探明石油地质储量, 部分区块已经投入开发。油藏主要位于沙一段, 埋藏浅、储层物性好, 并展现出大面积、多条带含油的

特点^[3], 为车排子地区主要的增储稳产领域。但研究范围的局限性和资料的限制, 使得车排子地区沙一段的物源、沉积相类型、沉积充填特征及分布演化研究一直以来存在争议^[3-20], 导致对已有油藏类型和剩余油分布的认识不清, 影响车排子地区勘探开发进展。早期研究一般认为车排子地区沙一段物源来自西北部的扎伊尔山^[4-8], 主要为辫状河三角洲沉积^[4-6]; 也有研究认为沙一段早期主要为扇三角洲沉积, 晚期为辫状河三角洲沉积^[7-8]。近年来部分研究认为沙一段物源来自南部的北天山, 为扇三角洲沉积^[9]或辫

收稿日期: 2023-04-14; 修回日期: 2023-12-08; 录用日期: 2024-01-08; 网络出版日期: 2024-01-08

基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX05008-001); 中石化股份公司课题(P24114) [Foundation: National Science and Technology Major Project, No. 2017ZX05008-001; The Project of SINOPEC, No. P24114]

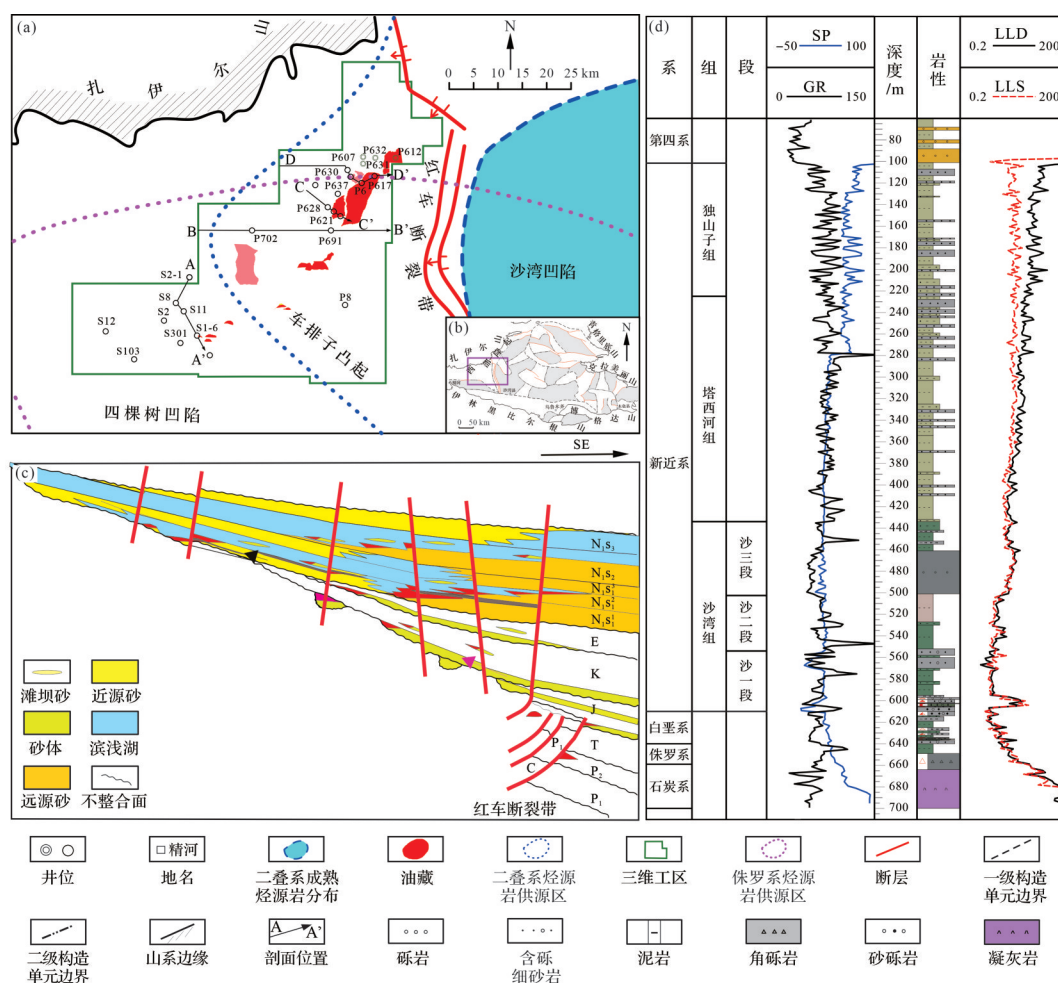


图1 准噶尔盆地车排子地区构造位置及地层系统

(a,b)车排子地区构造及剖面位置图(据文献[1-2]修改);(c)油藏剖面图;(d)地层柱状图

Fig.1 Tectonic location and stratum system of the Chepaizi area, Junggar Basin

(a, b) tectonic location of the Chepaizi area in the Junggar Basin and profile location (modified from references [1-2]); (c) reservoir profile; (d) stratum histogram

状河三角洲沉积^[10];大部分研究认为,车排子地区沙一段存在双向物源,但仍存在物源方向、沉积相类型和分布演化的争议,且对沉积相类型及分布演化的控制因素研究较少^[3,11-20];有研究认为一个物源为近源的北部扎伊尔山,以扇三角洲沉积为主,一个物源是远源的北天山,为辫状河三角洲沉积,近源扇三角洲分布范围较小,远源的辫状河三角洲分布范围较大^[3,11-16];也有研究认为双向均为辫状河三角洲^[17];对车排子地区中部春光油田的研究认为,一个物源来自北部,为冲积扇,一个来自东北部,为辫状河沉积^[18-19]或辫状河一曲流河沉积^[20]。

三角洲的分类、地层记录中的差异及其影响因素一直是勘探开发研究中热点问题^[21-25];不同类型的三角洲首先在外观形态上有所差异,也导致其沉积砂体的分布形式有所不同,其与影响三角洲结构一

成因的坡度大小、物源远近、粒度粗细及河道发育程度有关^[21]。根据扇三角洲前缘倾斜的坡度(陡峭、平缓),将浅水扇三角洲划分成坡度较缓的Hjulstrom型^[22](或毯式^[23])和坡度较陡的Gilbert型^[22-23]两个亚类。根据古坡度、物源供给方式分为山口陡坡型、山口缓坡型、靠山缓坡型、靠山陡坡型和靠扇陡坡型等五类扇三角洲^[24]。扇三角洲的分类不仅应考虑三角洲前缘水动力和地貌特征,更应考虑如何在地质记录中区别不同类型的扇三角洲^[25]。不同物源、不同沉积相类型的沉积体,其沉积构造、沉积物成分和结构、沉积体外部形态和内部构型等均有所不同,正确认识沉积体物源、沉积相类型及控制因素,对勘探开发具有重要的指导意义。

本文综合运用录井、岩心、测井、分析化验及地震资料等,在层序地层学和沉积学的理论指导下,运用

高精度层序地层学和地震沉积学的技术和方法,研究车排子地区沙一段四级层序地层格架内不同类型的扇三角洲沉积特征及控制因素,建立扇三角洲沉积充填模式。期望对车排子地区及同类地区的勘探开发以及对不同类型扇三角洲沉积体系研究给予启示。

1 车排子地区地质概况

准噶尔盆地车排子地区位于准噶尔盆地西缘,东以红车断裂带与沙湾凹陷相邻,南接四棵树凹陷,北依扎伊尔山(图1a,b)^[1-2],是在石炭系火成岩基底上发育起来的向东南倾的大型斜坡(图1d),主体为车排子凸起,以凸起上P8井—P702井—P691井区及以南地区为中部,其西南为西南端,其东北区域为东北端。车排子隆起形成于海西晚期,经历印支期、燕山期强烈隆升,喜马拉雅期趋于缓慢沉降,是一个经历多期构造的长期继承性古隆起^[2]。准噶尔盆地车排子凸起的形成演化可分为以下三个阶段^[26-32]:(1)石炭纪末—侏罗纪凸起强烈隆升阶段;(2)白垩纪—古近纪凸起缓慢沉降阶段;(3)新近纪—第四纪凸起局部伸展阶段,新近纪沉积前,受喜山运动影响,北天山强烈隆升,其向北的冲断作用导致准噶尔盆地南部地区急剧挠曲沉降,盆地向北掀斜,在车排子凸起斜坡也发育了多条走滑性质的断层,形成多条断沟;新近纪沉积时,北天山山前前陆盆地开始形成,车排子凸起作为该前陆盆地的一部分也随之快速沉降,其沉降范围和幅度均较大。其中新近系沙湾组沉积时期表现出一定差异沉降特点,构造活动相对比较稳定。

车排子探区位于红车断裂带的上盘,地层发育不全,缺失前石炭系、二叠系和三叠系,自下而上依次发育石炭系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系沙湾组、新近系塔西河组、新近系独山子组和第四系(图1c,d)。白垩系、新近系向北西超覆沉积在基岩之上,古近系向北超覆于白垩系之上。新近系沙湾组自下而上分为三段:沙一段(N_1s_1)、沙二段(N_1s_2)、沙三段(N_1s_3),沙一段又分为3个砂组,自下而上分别为沙一段1砂组($N_1s_1^1$)、沙一段2砂组($N_1s_1^2$)、沙一段3砂组($N_1s_1^3$)(图2)。

2 沙一段层序地层格架

前人对车排子地区沙湾组层序进行了大量的研

究,大部分研究认为沙一段为一个三级层序^[5,17,19,33],部分研究认为,沙湾组为一个三级层序,沙一段为低位体系域^[11]或低位水侵体系域^[7],也有研究把沙一段划分为3个三级层序,分别对应3个砂组^[10]。盆地充填序列中各级旋回结构的存在及识别是划分各级层序的依据;四级层序是高精度层序地层格架中的基本地层单位,其层序界面可以四级的海(湖)平面或沉积基准面旋回的水进界面或水退界面为界^[34]。通过综合分析车排子地区地震资料、钻井、录井资料、测井曲线的旋回性等,结合新近系沙一段沉积序列特征,将新近系沙湾组一段划分为1个三级层序:SQ1,4个四级层序,自下而上分别命名为PSS1、PSS2、PSS3和PSS4;低位体系域对应沙一段1砂组,水侵体系域对应沙一段2砂组下部,高位体系域对应沙一段2砂组上部和沙一段3砂组;4个四级层序自下而上分别对应于沙一段1砂组、沙一段2砂组的下部、沙一段2砂组的上部和沙一段3砂组(图2)。

车排子地区指示层序边界的地震反射终止关系主要有上超、削蚀和顶超等类型(图3~5),其中SQ1为一个完整的沉积基准面上升和沉积基准面下降的三级旋回结构,其底界面SB1上超、削蚀及下切现象较为明显,为二级层序界面;车排子地区北部隆起区和东北端斜坡下切和上超均较明显(图3,5),西南端没有明显的下切,但有明显的上超(图4);SQ1顶界面SB2在地震上为一顶超界面(图3~5)。在岩性和测井曲线上,SB1和SB2均为岩性和电测曲线突变界面,但又有所区别,SB1对应三种类型突变界面:A.上砂或砂砾岩、砾岩,下硅化泥岩或凝灰质泥岩,一般位于车排子地区西南端SB1和东北端的西北部边缘的SB1(图4,5、图6a,b);B.上砂砾岩或砾岩,下角砾岩,一般位于东北端的西南部的SB1(图5、图6e);C.上砾岩或砂砾岩或含砾细砂岩,下泥岩,一般位于相对较远离西部凸起的SB1(图2、图6d)。SB2一般对应D类突变界面上泥岩下砂砾岩—含砾细砂岩界面(图4,5)。

四级层序界面为PSS1顶PSB2、PSS2顶PSB3和PSS3顶PSB4。其中,PSB2对应初始水泛面(IFS),地震上为一中强振幅波峰,上超于层序界面SB1之上(图3~5),岩性及测井上一般为D类界面,上泥岩下砂砾岩—含砾细砂岩界面,研究区大部分井是这种类型(图2,4~6)。PSB3对应最大水泛面(MFS),地震为一中弱振幅波峰,为一下超面,岩性为一稳定的泥

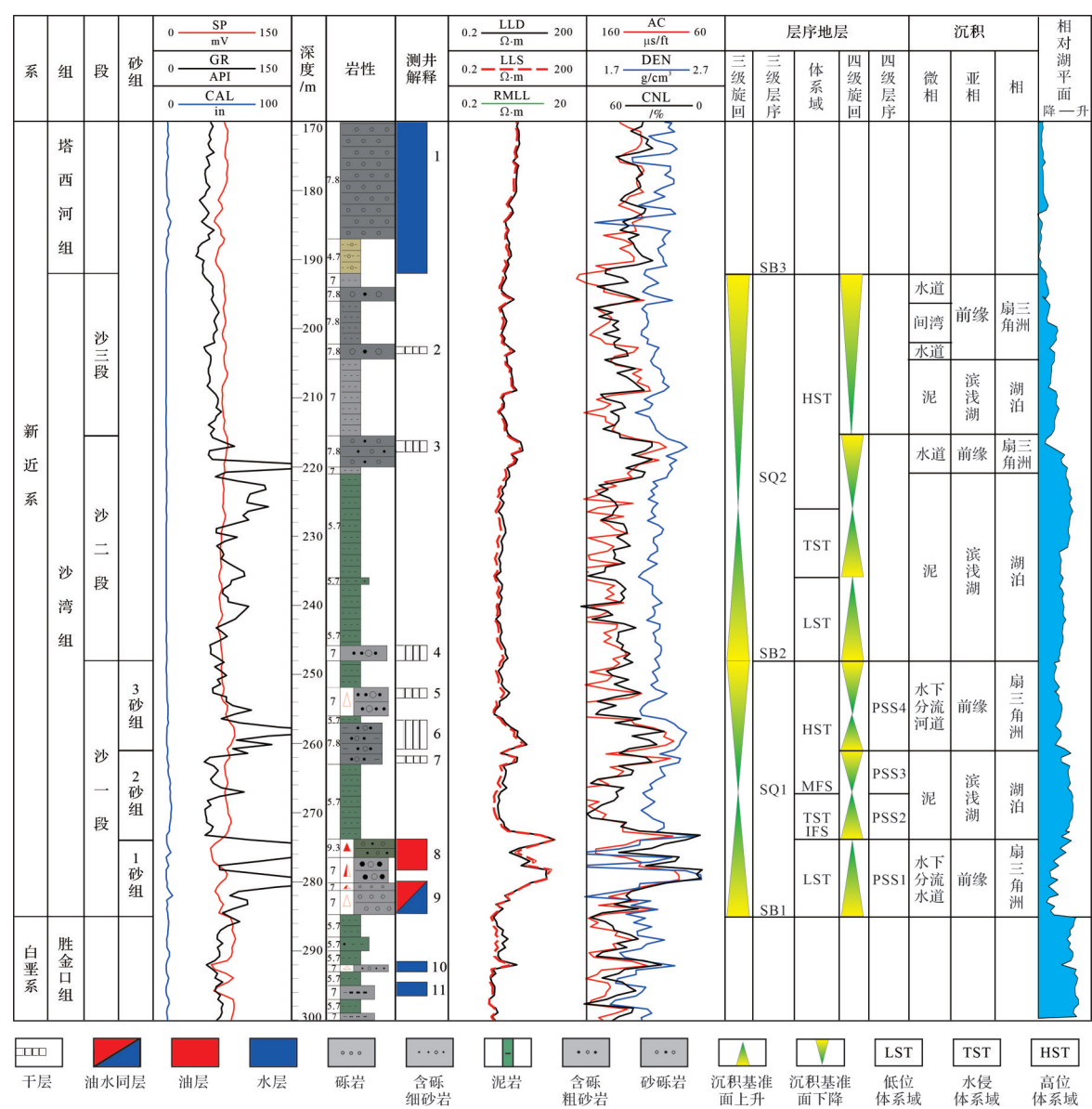


图2 车排子地区东北端P607井沙湾组单井综合柱状图(井位见图1a)

Fig.2 Composite histogram of the Shawan Formation from well P607 in the northeast Chepaizi area (well location shown in Fig. 1a)

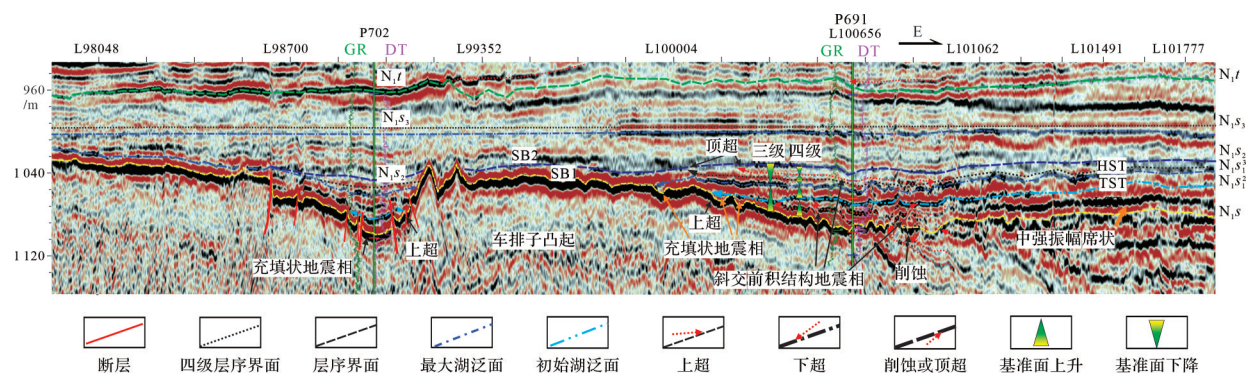


图3 车排子地区隆起与东北端沙一段地震层序结构、界面特征及地震相(剖面位置见图1a, BB'黑色剖面线)

Fig.3 Seismic sequence construction, boundary characteristics, and seismic facies from member 1 of the Shawan Formation in the uplift and the northeast Chepaizi area (profile location shown in Fig.1a, BB' black line)

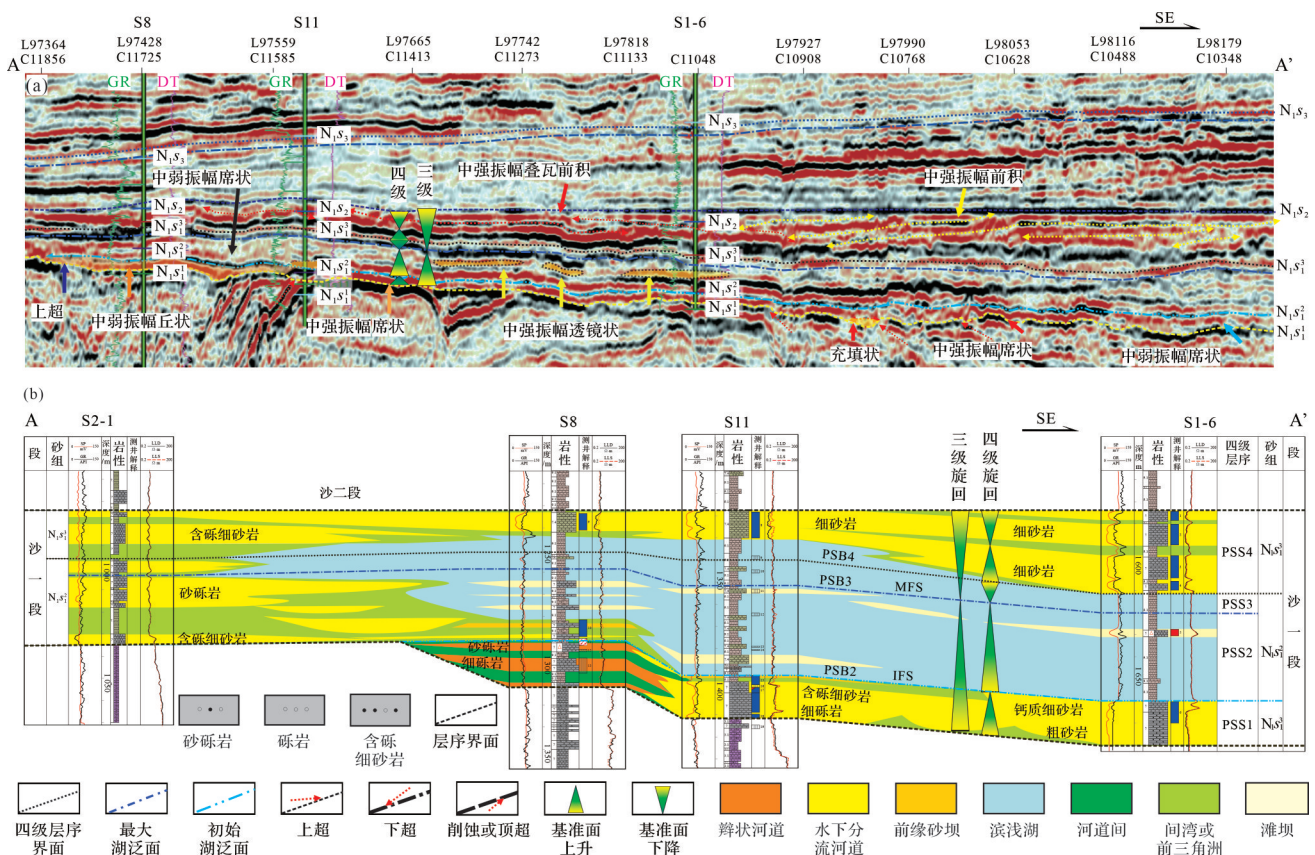


图4 车排子地区西南端沙一段层序、地震相及沉积相剖面图(剖面位置见图1a, AA'黑色剖面线)

(a)车排子地区西南端沙一段层序、地震相剖面图;(b)车排子地区西南端沙一段层序、沉积相剖面图

Fig.4 Sequence, seismic facies profile, and depositional facies profile from member 1 of the Shawan Formation, southwest Chepaizi area (profile location shown in Fig.1a, AA' black line)

(a) sequence, seismic facies profile from member 1 of the Shawan Formation, southwest Chepaizi area; (b) sequence and depositional facies profile from member 1 of the Shawan Formation, southwest Chepaizi area

岩界面(图3~5);是正粒序向反粒序的转换界面,下部地层为正粒序,上部地层为反粒序。PSB4为四级水退界面,地震为一波谷到波峰的零相位,顶超于层序界面SB2之下(图3~5);研究区大部分井岩性及测井一般为C类界面,上砾岩或砂砾岩或含砾细砂岩下泥岩界面。

四级层序 PSS1 和 PSS2 均向北西方向超覆于斜坡之上, PSS1 沉积时期, 地层分布范围最小; PSS2 沉积时期, 地层分布范围最大。 PSS3 和 PSS4 均为前积结构, PSS3 分布范围与 PSS2 相同, PSS4 分布范围变小。 4 个四级层序总体厚度均南厚北薄、东厚西薄(图3~5)。

3 车排子地区沙一段沉积特征

根据前人研究成果^[3,11-16]、岩心相、测井相及地震地貌特征,结合区域构造沉积背景,认为车排子地区

沙一段主要发育浅水扇三角洲和辫状河三角洲及湖泊三种沉积相类型,扇三角洲为西北扎伊尔山物源,辫状河三角洲为南部天山物源。扇三角洲在东西两翼特征不同,东北端为陡坡型浅水扇三角洲复合体,西南端为缓坡型浅水扇三角洲复合体。砂体主要沉积微相类型为扇三角洲前缘水下分支河道及前缘砂坝,其次是扇三角洲平原辫状河道以及滨浅湖滩坝。

3.1 扇三角洲及滨浅湖岩相和测井相特征

车排子地区近源扇三角洲广泛发育前缘亚相的水下分流河道及前缘砂坝,其次是平原亚相的辫状河道,平原的河道间和前缘的间湾分布局限。扇三角洲前缘河口坝和席状砂更是少见。

1) 扇三角洲平原辫状河道

岩性主要为杂色、棕红色或灰色砾岩—砂砾岩(图7a),小沟谷附近一般在5 m左右(图6a),中部主切沟谷附近厚度较大,一般介于10~20 m。由多期河

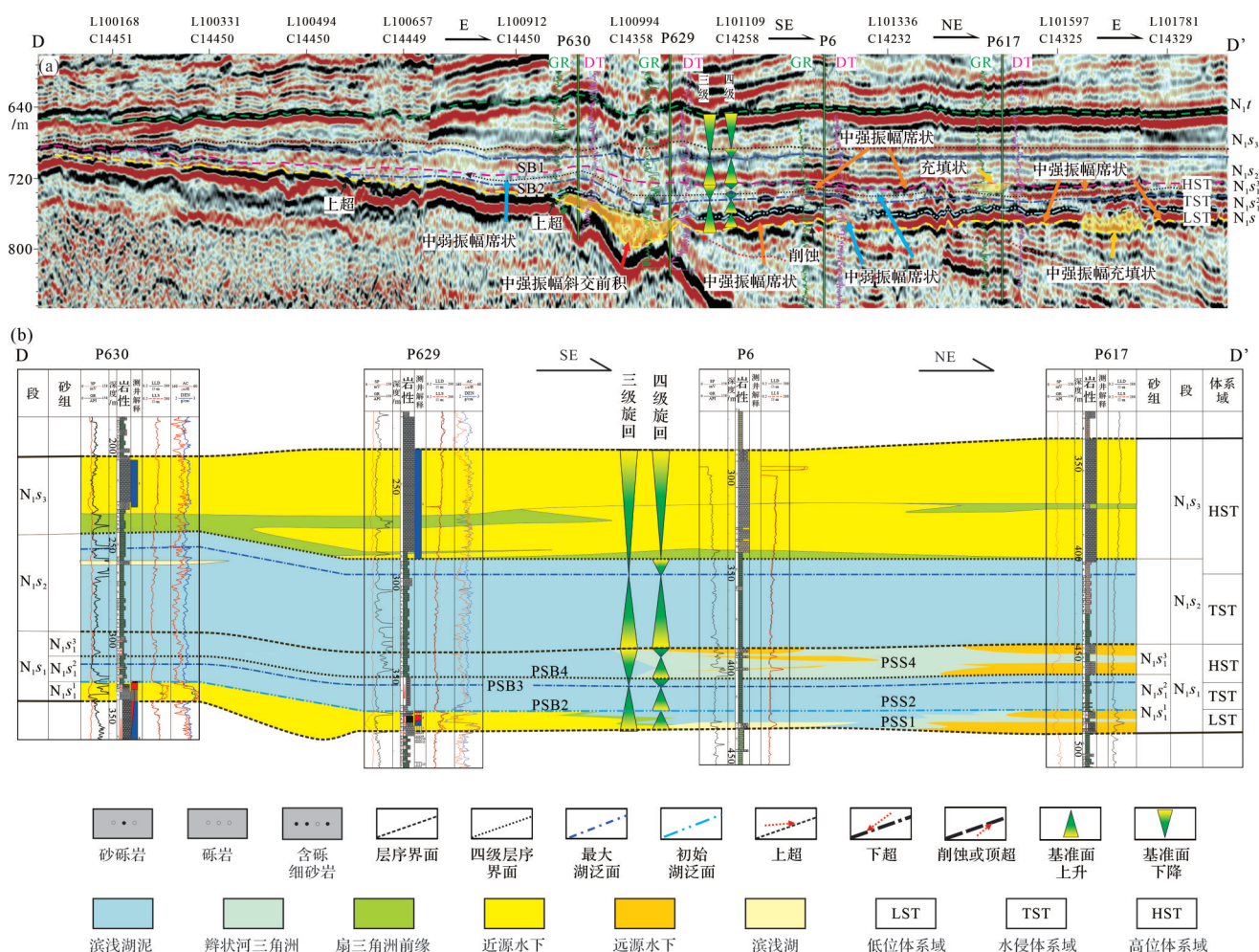


图5 车排子地区隆起及东北端沙一段层序、地震相及沉积相剖面图(剖面位置见图1a, DD'黑色剖面线)

(a)车排子地区隆起及东北端沙一段层序、地震相剖面图;(b)车排子地区隆起及东北端沙一段层序、沉积相剖面图

Fig.5 Sequence, seismic facies profile, and depositional facies profile from member 1 of the Shawan Formation in the uplift and the northeast Chepaizi area (profile location shown in Fig.1a, DD' black line)

(a) sequence, seismic facies profile from member 1 of the Shawan Formation in the uplift and the northeast Chepaizi area; (b) sequence and depositional facies profile from member 1 of the Shawan Formation in the uplift and the northeast Chepaizi area

道切割叠置而成。河道沉积粒序、层理不明显,分选差,砾石具定向排列;砾间有砂泥质充填。自然伽马(GR)测井曲线多为锯齿状,与其他沉积微相类型难以区分,高密度(DEN)、低声波时差(AC)(图6a)。层序地层位置:可容纳空间较低位置。主要出现于北部隆起部位,东北端无井钻遇。

2) 扇三角洲平原河道间

岩性主要为棕红色含砾粉砂岩—砂质泥岩(图7b)。是扇三角洲平原辫状河道迁移摆动形成,厚度薄,一般介于1~5 m,GR测井曲线与其他微相类型不好区分,高AC、低地层电阻率(RT)、低DEN(图6a)。发育于可容纳空间较低部位。

3) 扇三角洲前缘水下分流河道

岩性主要为灰色砾岩—砂砾岩—含砾中粗砂岩—含砾细砂岩,一般呈下粗上细的正韵律(图7c, e~h),为岩屑砂岩、长石岩屑砂岩(图8),厚度一般较大,介于10~20 m,东北端砂岩粒度曲线为分异不太明显的三段式^[7,15,17]。西南端缓坡型扇三角洲前缘水下分流河道交错层理明显,砾石长轴呈定向排列(图7c, g, h),分选相对较好(图8a),以牵引流沉积为主。东北端陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道正粒序特征,没有明显的交错层理(图7e, f),分选相对较差(图8b, c),以重力流沉积为主;岩屑主要为来自西北部扎伊尔山的火成岩屑(图7, 8)。在西南端和中部,测井曲线为低GR、低AC、低中子(CN)、高DEN,自然电位(SP)有一定幅度,呈复合箱型或钟型,GR测井曲

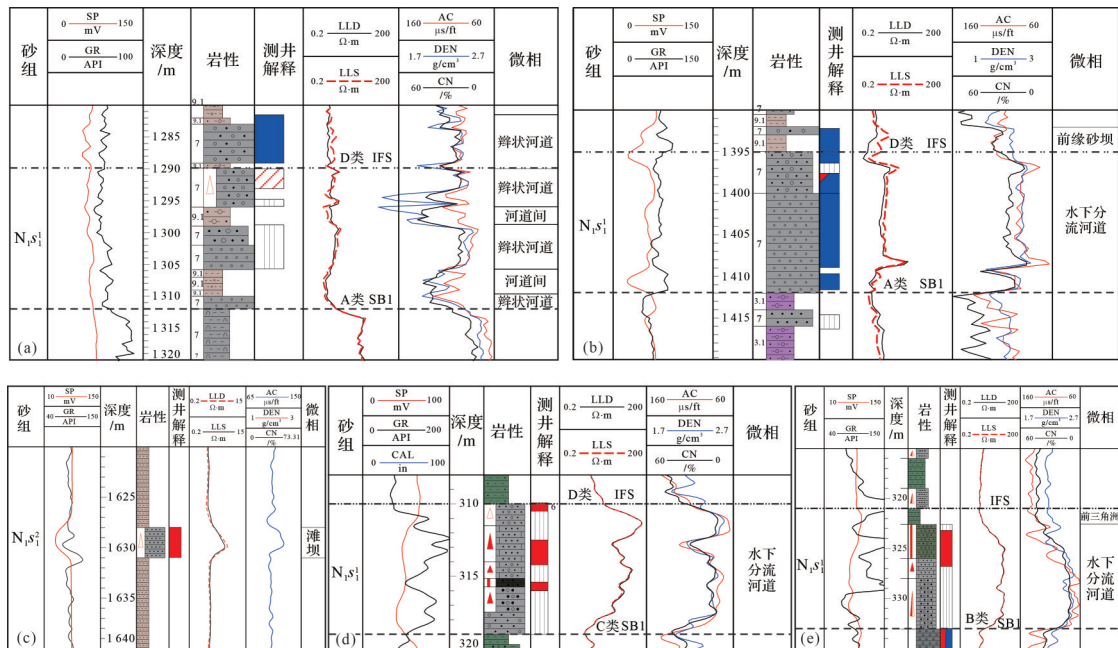


图6 车排子地区沙一段近源体系录井及测井曲线层序及沉积微相特征(井位见图1a)

(a)SB1为A类层序界面,扇三角洲平原辫状河道及河道间(西南端),S8井;(b)SB1为A类层序界面,扇三角洲前缘水下分流河道及前缘砂坝(西南端),S11井;(c)滨浅湖滩坝及滨浅湖泥(西南端),S1-6井;(d)SB1为C类层序界面,扇三角洲前缘水下分流河道(东北端),P631井;(e)SB1为B类层序界面,扇三角洲前缘水下分流河道(东北端),P630井

Fig.6 Mud logging and well logging characteristics of near-source depositional system from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area (well location shown in Fig. 1a)

(a) SB1, class A sequence boundary, braided channel and interchannel in fan delta plain (southwest Chepaizi), well S8; (b) SB1, class A sequence boundary, distributary channel and sand bar in fan delta front (southwest Chepaizi), well S11; (c) shoal bar and shoal mud (southwest Chepaizi), well S1-6; (d) SB1, class C sequence boundary, distributary channel in fan delta front (northeast Chepaizi), well P631; (e) SB1, Class B sequence boundary, distributary channel in fan delta front (northeast Chepaizi), well P630

线呈复合箱型或钟型(图6b);在东北端测井曲线为极高GR值,其他特征如低AC、低CN、高DEN,SP有一定幅度等特征与西南端相似(图6d,e)。

4) 扇三角洲前缘砂坝

一般呈现下细上粗的反韵律,岩性主要为灰色含砾细砂岩—粉砂岩。GR及SP测井曲线呈漏斗形或指状(图6b),厚度一般较小,层序地层位置为可容纳空间较高部位,本区少见。

5) 滨浅湖

在车排子地区,由于滨湖和浅湖没有很好的标志将两者区分开,因此将滨湖和浅湖划分在一起,统称为滨浅湖,主要出现在沙一段的2砂组,车排子地区西南端滨浅湖相主要沉积了一套棕红色泥岩(图6c),东北端滨浅湖主要沉积了一套厚层灰绿色—灰白色含砾砂质泥岩、砂质泥岩、厚层泥岩,总体为较浅的滨浅湖区。测井曲线呈现SP平直、低RT,层序地层位置为可容纳空间较高部位(图2)。在大套的滨浅湖相泥岩沉积中夹有薄层细砂—粉砂岩,为滩

坝沉积微相,GR测井和SP曲线呈漏斗形或指状,厚度一般较小,介于1~3 m(图6c)。

3.2 辫状河三角洲岩相和测井相特征

在车排子地区沙一段,对于辫状河三角洲,钻井仅揭示了三角洲前缘亚相水下分流河道及前缘砂坝,岩性主要为灰色含砾岩屑砂岩、长石岩屑砂岩中粗砂岩—含砾细砂岩(图9),水下分流河道一般呈下粗上细的正韵律,交错层理,厚度一般较大,介于10~20 m。东北端测井曲线为极高GR值;西南端GR测井曲线低值,呈复合箱型或钟型;测井曲线特征均为低AC、低CN、高DEN,SP有一定幅度(图9)。从岩矿分析,来自南物源的辫状河三角洲与来自北物源的扇三角洲交汇处的岩屑具有变质岩屑和火成岩屑两种类型(图8),扇三角洲的岩屑以火成岩屑为主(图8),且砾石成分有火成岩砾及泥砾两种(图7e、图8);辫状河三角洲岩屑为变质岩屑,砾石成分有变质岩砾及泥砾两种(图9)。重矿物组合方面,扇三角洲岩屑沉积以火成岩来源的磁铁矿+钛铁矿为主,砂岩中



图7 车排子地区沙一段扇三角洲岩心特征(井位见图1a)

(a)灰绿色细砾岩,缓坡型扇三角洲平原辫状河道,S8井(西南端),1 302.5 m;(b)棕红色含砾粉砂岩,缓坡型扇三角洲平原河道间,S8井(西南端),1 305.2 m;(c)青灰色细砾岩,岩浆岩砾石定向排列,1 460.0 m,缓坡型扇三角洲前缘水下分流河道,S8-C井(西南端);(d)青灰色中细砾岩,缓坡型扇三角洲平原辫状河道底部滞留,S8-C井(西南端),1 459.1 m;(e)灰色砾岩、含砾粗砂岩、正粒序,多期叠置,陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道,P607井(东北端),277.4~278.4 m;(f)灰色砾岩、含砾粗砂岩、正粒序,含泥砾、火山岩砾,陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道,P607井(东北端),278.9~279.4 m;(g)灰色砾岩,交错层理,多期叠置,砾石长轴定向排列,黄色虚箭头指示排列方向,缓坡型扇三角洲前缘水下分流河道,S11井(西南端),1 400.2~1 400.4 m;(h)灰色含砾粗砂岩,交错层理,砾石长轴定向排列,黄色虚箭头指示排列方向,缓坡型扇三角洲前缘水下分流河道,S11井(西南端),1 401.7~1 401.8 m

Fig.7 Core characteristics of the fan delta from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area (well location shown in Fig. 1a)

(a) gray-green fine conglomerate, braided channel of gentle slope type fan delta plain, well S8 (southwest Chepaizi), 1 302.5 m; (b) brown-red pebbly siltstone, interchannel of gentle slope type fan delta plain, well S8 (southwest Chepaizi), 1 305.2 m; (c) bluish gray fine conglomerate, magmatic gravel with orientation, distributary in gentle slope type fan delta front, well S8-C (southwest Chepaizi), 1 460.0 m; (d) gray-gray medium fine conglomerate, bottom retention deposit of braided channel in gentle slope type fan delta plain, well S8-C (southwest Chepaizi), 1 459.1 m; (e) grey conglomerate, gravelly coarse sandstone, fining-upward, multi-stage distributary superimposed, mud-gravel, volcanic gravel, distributary in steep slope type fan delta front, well P607 (northeast Chepaizi), 277.4~278.4 m; (f) grey conglomerate, mud-gravel, volcanic gravel, distributary in steep slope type fan delta front, well P607 (northeast Chepaizi), 278.9~279.4 m; (g) gray conglomerate, cross-bedding, distributary superimposed, orientation of long axis of gravel, yellow virtual arrow indicating the direction of arrangement, distributary in shallow moderate slope type fan delta front, well S11 (southwest Chepaizi), 1 400.2~1 400.4 m; (h) grey gravelly coarse sandstone, cross-bedding, distributary superimposed, orientation of long axis of gravel, yellow virtual arrow indicating the direction of arrangement, distributary in shallow moderate slope type fan delta front, well S11 (southwest Chepaizi), 1 401.7~1 401.8 m

以钛铁矿为标志的重矿物组合占比大,锆石峰值年龄较年轻,指示扎伊尔山为主要物源供给区^[35],辫状河三角洲岩屑沉积以来自天山的变质岩来源的石榴石+电气石+绿帘角闪石为主(表1)。

3.3 车排子地区沙一段地震地貌特征

地震沉积学核心研究内容包括地震岩性学和地震地貌学^[36-37],强调地震、地质资料综合解释以及地震沉积学分析、层序地层学分析和地震地层学分析的相互配合^[36]。本次研究按照地层切片共提取了均方根振幅、最大峰振幅2种对沉积相和岩性敏感的地震属性,来进行基于地震地貌学的地震相平面展布研究。剖面上,在沙一段共识别出连续中强振幅楔状、中强振幅前积、充填状、弱振幅席状、中—强振幅席状、中—强振幅透镜状、中弱振幅丘状等7种类型地震相(图3~5)。平面上,均方根振幅异常能够较好

地反映沉积体系内部结构的变化,可精细再造各时期沉积体系展布规律。(1)均方根振幅的强异常反映了前缘水下分支河道及滨浅湖滩坝沉积:水下分流河道强异常的平面形态总体呈条带状垂直、斜交岸线或呈片状分布;为中强振幅席状或前积结构地震相,陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道近端以斜交前积地震相为特征,远端以中强振幅席状地震相为特征(图3、5、表1);缓坡型浅水扇三角洲前缘水下分流河道以中强振幅席状或叠瓦状前积结构地震相为特征(图4、表1)。近物源为充填状地震相,代表扇三角洲平原辫状河道或前缘水下分流河道沉积,岩性以厚层砾岩、砂砾岩及含砾中粗砂岩为主,平面上主要分布于车排子地区西北部近隆起区(图3~5、10)。滨浅湖滩坝异常的平面形态总体在三角洲的前方,在大片弱振幅之间,平行岸线分布,为强振幅透镜状

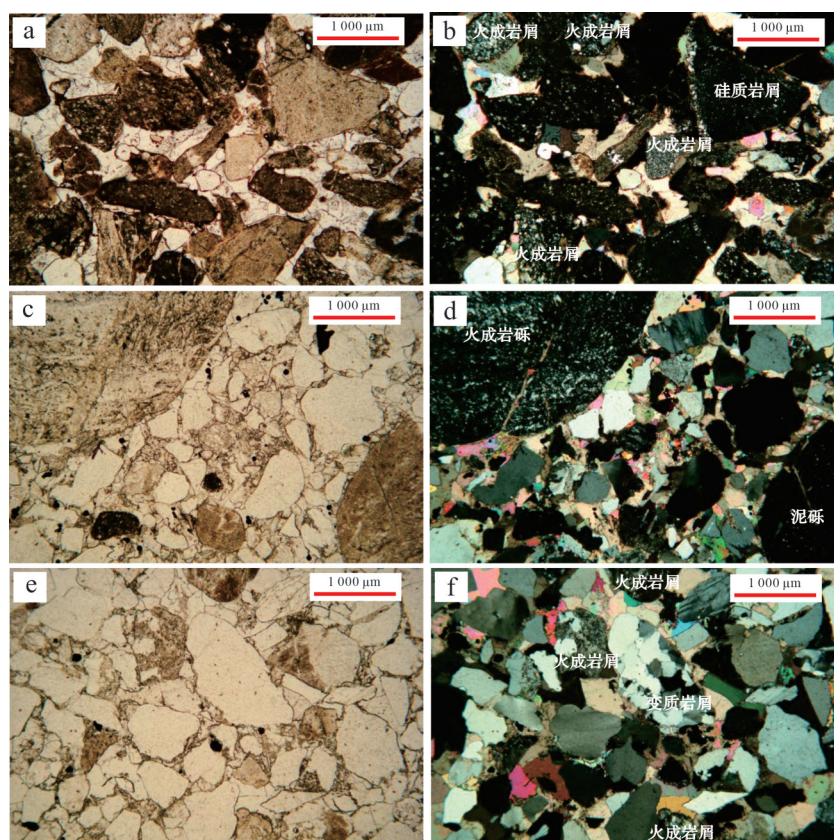


图8 车排子地区沙一段扇三角洲前缘水下分流河道薄片特征(井位见图1a)

(a, b) 灰质岩屑粗砂岩, 岩屑成分火山岩, 含火山岩砾, 次棱一次圆状, 分选好, 缓坡型扇三角洲前缘水下分流河道, S11井(西南端), 1 401.30 m, 图a为单偏光, b同视域正交偏光; (c) 含砾长石岩屑细砂岩, 含泥砾、火山岩砾, 次棱一次圆状, 分选差, 陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道, P631井(东北端), 312.75 m, 图c为单偏光, d同视域正交偏光; (e) 含砾长石岩屑细砂岩, 次棱一次圆状, 分选差, 岩屑成分以火山岩为主, 见变质岩屑, 陡坡型扇三角洲前缘水下分流河道, P632井(东北端), 558.81 m, 图e为单偏光, f同视域正交偏光

Fig.8 Microscope characteristics of the fan delta front distributary from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area (well location shown in Fig.1a)

(a, b) calcareous lithic coarse sandstone, debris composed volcanic rocks, bearing volcanic gravel, subangular-subround, well sorted, distributary in gentle slope type fan delta front, well S11 (southwest Chepaizi), 1 401.30 m, figure a shows a plane-polarized light (PPL), figure b is the cross-polarized light (XPL) in the same field of view; (c, d) feldspar lithic fine sandstone bearing gravel, bearing mud gravel, volcanic gravel, subangular-subround, poorly sorted, distributary in steep slope type fan delta front, well P631 (northeast Chepaizi), 312.75 m, figure (c) shows a PPL, figure (d) is the XPL in the same field of view; (e, f) feldspar lithic fine sandstone bearing gravel, subangular-subround, poorly sorted, debris composition is mainly volcanic rock, some metamorphic debris, distributary in steep slope type fan delta front, well P632 (northeast Chepaizi), 558.81 m, figure (e) shows a PPL, figure (f) is the XPL in the same field of view

地震相(图4、图10b)。结合钻井资料分析表明:远端振幅相对较弱,砂地比相对较低,近端振幅相对较强,砂地比相对较高(图3~5,10)。(2)均方根振幅的弱异常反映了前缘间湾、滨浅湖泥质及扇三角洲平原沉积:间湾异常的平面形态总体呈条带状垂直或斜交岸线分布;滨浅湖泥质弱异常的平面形态总体在扇三角洲前缘的前方,平行岸线分布;弱异常结合钻井资料分析表明这些砂地比一般在0.2以下,地震相为弱振幅席状、楔状或丘状(图4,5,10)。如在东北端陡坡型扇三角洲和辫状河三角洲沉积之间有一明显的弱振幅异常条带(图5、图10a),此界线位于P6井东部,P6井位于扇三角洲前缘远端,钻遇薄层粗砂

岩砂坝,砂地比较小,其东部和西部砂地比均较高(图5、图10a)。(3)地震前积方向为古水流方向,前积结构地震相分布于扇三角洲前缘和辫状河三角洲前缘近湖方向(图5,10),扇三角洲前缘前积方向为南向(图4)或南东向(图5),表明古水流南向或东南向,物源为北物源,辫状河三角洲前积方向为北向,表明古水流北向,物源为南物源(图4)。这与地层倾角测井古水流方向一致(图5,10),如S103井处沙一段1砂组沉积时,为来自北东和南西向双向古水流,表明S103井为双物源的交汇沉积处,在S301井处古水流方向来自北东向(图10a),表明此处是来自北物源的沉积。

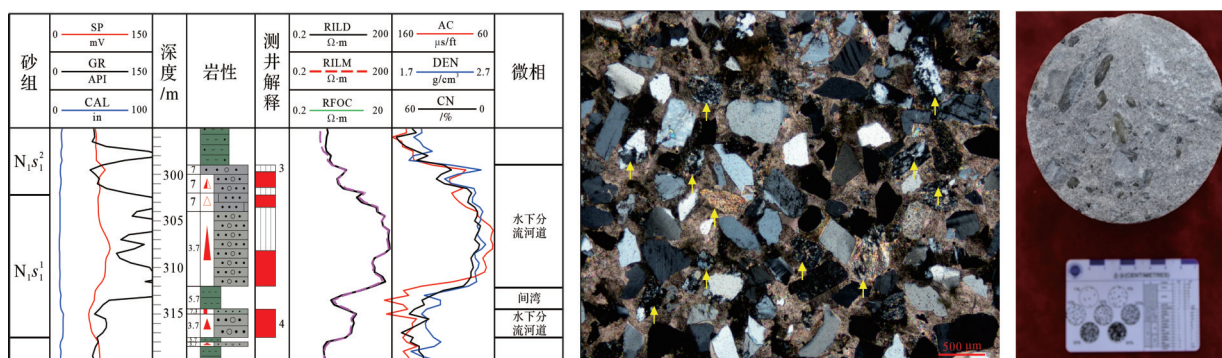


图9 车排子地区沙一段辫状河三角洲前缘水下分流河道录/测井、薄片及岩心特征(井位见图1a)

含砾长石岩屑细砂岩(黄色箭头指示变质岩屑),含泥砾及变质岩砾,P612井,303 m

Fig.9 Mud logging, well logging, microscope, and core characteristics of braided delta front distributary from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area (well location shown in Fig.1a)

feldspar lithic fine sandstone bearing gravel (yellow arrow indicates metamorphic debris), bearing mud gravel, and metamorphic gravel, well P612, 303 m

3.4 车排子地区沙一段沉积分布演化

根据单井相沉积分析、连井剖面沉积展布的确,结合地震沉积学分析及地层倾角测井古水流分析、砂地比、重矿物ZTR分析、岩性变化,对车排子地区沙一段1砂组(PSS1)、2砂组下部(PSS2)和3砂组(PSS4)等3个地层单元的沉积相分布演化进行研究。在此基础上提出车排子地区沙一段3个砂组沉积时期的沉积分布及演化模式(图10~12)。

沙一段1砂组沉积时期(PSS1)(图10a'),为低位体系域,车排子地区南北物源沉积的三角洲均向湖延伸较远。中部地区和车排子地区西南端,缓坡型复合扇三角洲和辫状河三角洲两大沉积体系交汇分布,没有明显的界线;浅水扇三角洲沉积为多个扇三角洲的复合体,车排子凸起上P70沟谷为其主要的沉积物输送通道,沟谷宽2 km左右,其东西各有2~5处小型沟道;扇三角洲平原范围较小,缓坡型浅水扇三角前缘分布范围较广。车排子地区东北端陡坡型扇三角洲分布范围相对较小(图3、5、图10a'),与辫状河三角洲沉积之间有一明显的分界线(图5、图10a'),东北端北部隆起有多条小型的下切沟谷。扇三角洲前缘水下分支河道均纵向互相切割叠置、横向连片分布,近端以砾岩、砂砾岩—含砾中粗砂岩为主,到远端以含砾细砂岩—细砂岩为主(图4、11);扇三角洲砂地比一般大于0.8(图10a')。

沙一段2砂组沉积早期(PSS2)(图10b'、图11, 12),为水侵体系域,车排子地区整体湖泛、退积,湖体范围持续扩张,滨浅湖相范围扩大,三角洲继承发育并向岸退积。西南端以P70下切谷输送物源的浅

水扇三角洲沉积范围缩小,西南端另外几个物源供应的浅水扇三角洲范围扩大,形成浅水扇三角洲复合沉积体;在西南端浅水扇三角洲前方,发育多个平行岸线分布的滨浅湖滩坝。东北端南部扇三角洲规模相对仍较小;东北端北部扇三角洲复合体相对沙一段1砂组沉积时期分布范围增大。扇三角洲靠近物源砂地比相对较高,一般大于0.6。

沙一段2砂组沉积晚期(PSS3)(图3~5, 11),为高位体系域早期,湖体持续高位,整体为湖退,进积,滨浅湖相范围仍较大,三角洲继承发育并向湖进积。

沙一段3砂组沉积时期(PSS4)(图10c'、图11, 12),为高位体系域晚期,南部的辫状河三角洲和北部的扇三角洲均进积且继承性发育。中部地区和车排子地区西南端,扇三角洲和辫状河三角洲两大物源交汇分布,没有明显的界线;浅水扇三角洲沉积为多个扇三角洲的复合体,车排子凸起上P70沟谷仍为其主要供源沟道;扇三角洲平原范围较小,辫状水道以砾岩、砂砾岩为主的缓坡型扇三角洲前缘分布范围较广(图4、11, 12)。车排子地区东北端北部地区滨浅湖区范围较大,陡坡型扇三角洲沉积为多个扇三角洲的复合体;东北端南部扇三角洲前缘规模相对仍较小;东北端北部扇三角洲复合体分布范围较大(图10c')。扇三角洲前缘水下分支河道纵向互相切割叠置、横向连片分布,近端以砂砾岩—含砾中粗砂岩为主,远端以含砾细砂岩—细砂岩为主,与沙一段1砂组相比,粒度相对变细(图5、11, 12);砂地比一般介于0.4~0.8。

表1 车排子地区沙湾组一段主要沉积相类型及特征
Table 1 Sedimentary facies types and characteristics from member 1 of the Shanwan Formation in the Chepaizi area

沉积相类型	供源体系	发育位置	地貌特征	骨架砂体微相类型	骨架砂体岩性	骨架砂体成熟度	沉积构造	地震相特征	规模	重矿组合
陡坡型浅水扇三角洲	冲积扇、小型沟谷	湖泊浪基面之上	前缘近端陡峭,远端较平缓,多级坡折	水下分流河道	由岸向湖:灰色砾岩、砂砾岩、中粗砂岩、含砾砂岩、砂岩	成分成熟度中一差,分选差	重力流沉积为主,见底部冲刷,正粒序,层理不太明显	前缘近端:中强振幅斜交前积;远端:中强振幅席状	规模小	磁铁矿+钛铁矿
缓坡型浅水扇三角洲	冲积扇、大型沟谷及小型沟谷	湖泊浪基面之上	前缘平缓倾斜,多级坡折	水下分流河道	由岸向湖:灰色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩及细砂岩	成分成熟度中一差,分选较好	牵引流为主,正粒序,底部冲刷滞留,大型槽状交错层理;前缘砂坝;反韵律,斜层理或块状	中强振幅叠瓦状前积结构或席状	规模大	磁铁矿+钛铁矿
浅水辫状河三角洲	辫状河或辫状平原	湖泊浪基面之上	前缘平缓倾斜	水下分流河道	由岸向湖:灰色砾岩、砂砾岩、中粗砂岩、含砾细砂岩、细砂岩	成分成熟度中,分选好	砾石呈定向排列,低角度交错层理、槽状交错层理,底部具有冲刷面	中强振幅叠瓦状前积结构或席状	规模大	石榴石+电气石+绿帘角闪石

4 近源复合扇三角洲沉积特征控制因素分析

控制层序地层格架和沉积环境主要有两个方面,一个是前期构造活动及沉积共同作用形成的古地貌,尤其是古沟道控制了物源的输送规模、方向和输送路径,另一个是相对湖平面的变化。

4.1 古地貌

由于沙湾组沉积时期,车排子地区处于沉降期,没有明显的构造运动,因此沙湾组没有明显剥蚀,本次综合利用地震、测井,在对沙湾组一段层序地层划分基础上,运用填平补齐法对古地貌进行恢复。总体上,把车排子地区古地貌分为洼陷区、斜坡区、隆起区这三大单元,北部为隆起区,中部为斜坡区、南部为洼陷区。中部斜坡区有3~5个北东向的坡折,在近隆起的坡折线附近发育垂直坡折的沟道。在中部P691井和P629井附近斜坡区坡度相对较陡,坡度一般在10°左右,为陡坡带,坡折线下发育平行坡折走向的沟谷。在车排子地区的东北端和西南端斜坡区坡度相对较缓且斜坡范围较广,坡度一般在5°左右,形成缓坡台地(图13)。

坡折带是早期断裂活动产生明显差异升降和沉积地貌突变的古构造枢纽带,常常控制着特定沉积相带或沉积体系域的发育部位,构成古构造、古地貌或古环境的分界^[38]。新近系沉积前的喜山运动在车排子凸起斜坡发育了多条走滑性质的断层,为车排子地区构造坡折带的形成奠定了基础(图3)。

车排子地区古沟道从成因类型上分为两大类,一类是早期断层或同期断层形成的断沟,如图3中P702钻遇的古沟道P70断沟(图3,10),规模较大,沟谷宽2~8 km;另一类是河流冲刷形成的沟道,本区大部分属于河流冲刷作用形成的沟道,规模相对较小,沟谷宽200~500 m,东北端坡折附近多为这种类型沟道,如图3中P691井东部发育多条这样的沟道(图3)。

车排子凸起古沟道和向湖的坡折带对层序的结构和沉积的分布有着重要的控制作用。低位体系域(PSS1)主要位于构造坡折带以下区域,这些部位有利于低位域砂体的沉积,在物源充足的情况下,坡折带下平行岸线的沟谷中低位域砂体厚度增加,如P691井附近坡折带下(图3);层序界面主要表现为低水位楔的上超和下伏地层的削蚀不整合(图3~5,10,

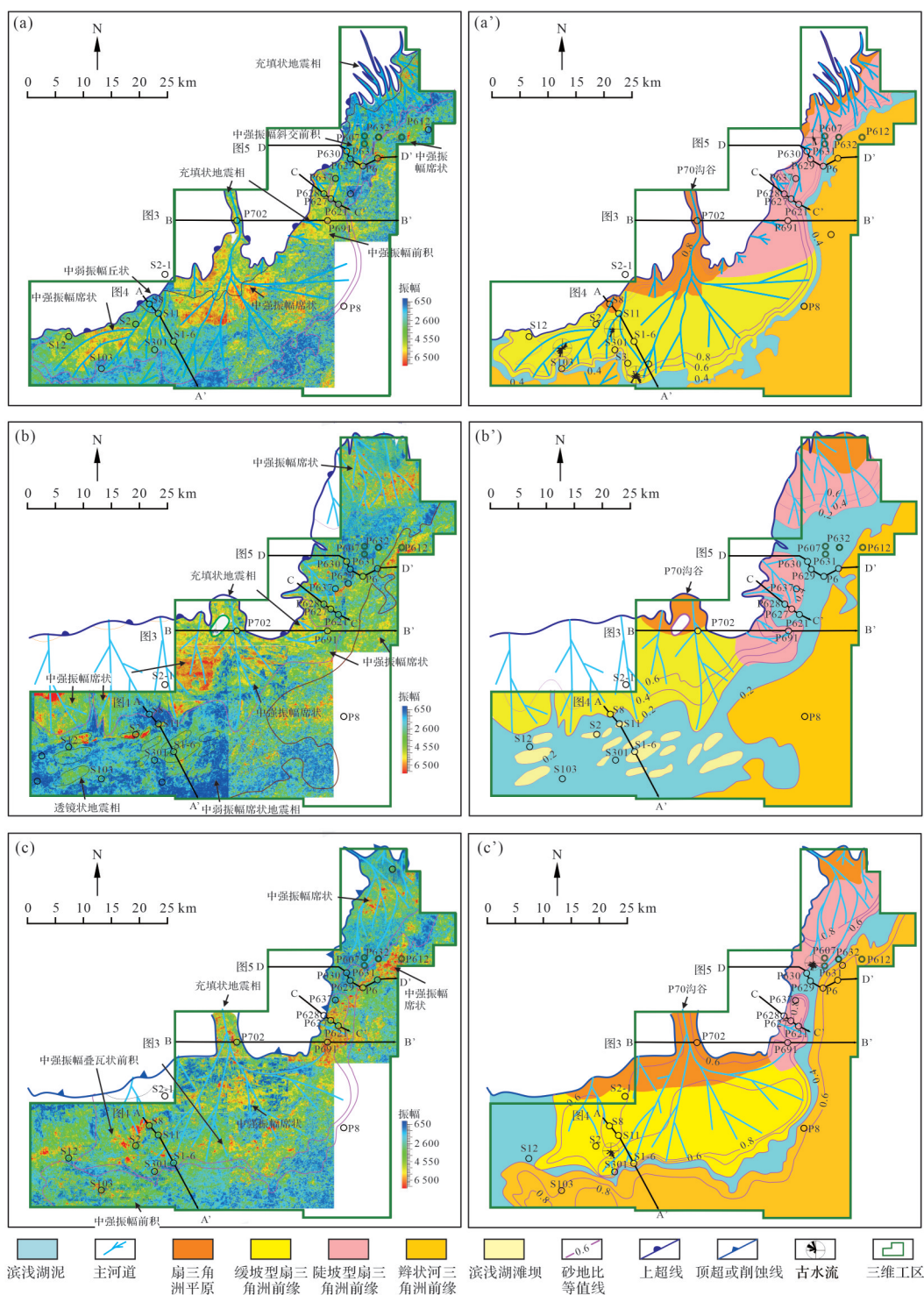


图10 车排子地区沙一段各砂组均方根振幅地震相及沉积相平面图

(a)沙一段1砂组(PSS1)均方根振幅及地震相;(a')沙一段1砂组(PSS1)沉积相;(b)沙一段2砂组下部(PSS2)均方根振幅及地震相;(b')沙一段2砂组下部(PSS2)沉积相;(c)沙一段3砂组(PSS4)均方根振幅及地震相;(c')沙一段3砂组(PSS4)沉积相

Fig.10 Seismic facies and depositional facies maps of all sand groups from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area

(a) root-mean-square amplitude and seismic facies from Group 1 of member 1 of the Shawan Formation (PSS1); (a') sedimentary facies from Group 1 of member 1 of the Shawan Formation (PSS1); (b) root-mean-square amplitude and seismic facies from the lower part of Group 2 from member 1 of the Shawan Formation (PSS2); (b') sedimentary facies from the lower part of Group 2 from member 1 of the Shawan Formation (PSS2); (c) root-mean-square amplitude and seismic facies from Group 3 of member 1 of the Shawan Formation (PSS4); (c') sedimentary facies from Group 3 of member 1 of the Shawan Formation (PSS4)

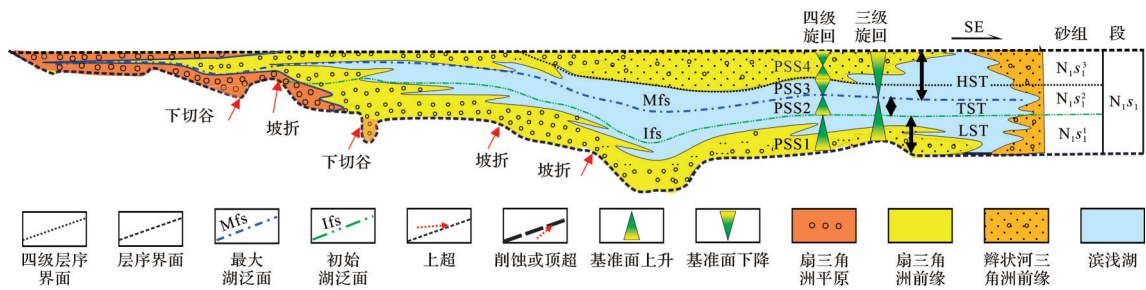


图 11 车排子地区东北端沙一段沉积模式图(位置见图 1a, CC' 黑色剖面线)

Fig.11 Sedimentary model for member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area (profile location shown in Fig.1a, CC' black line)

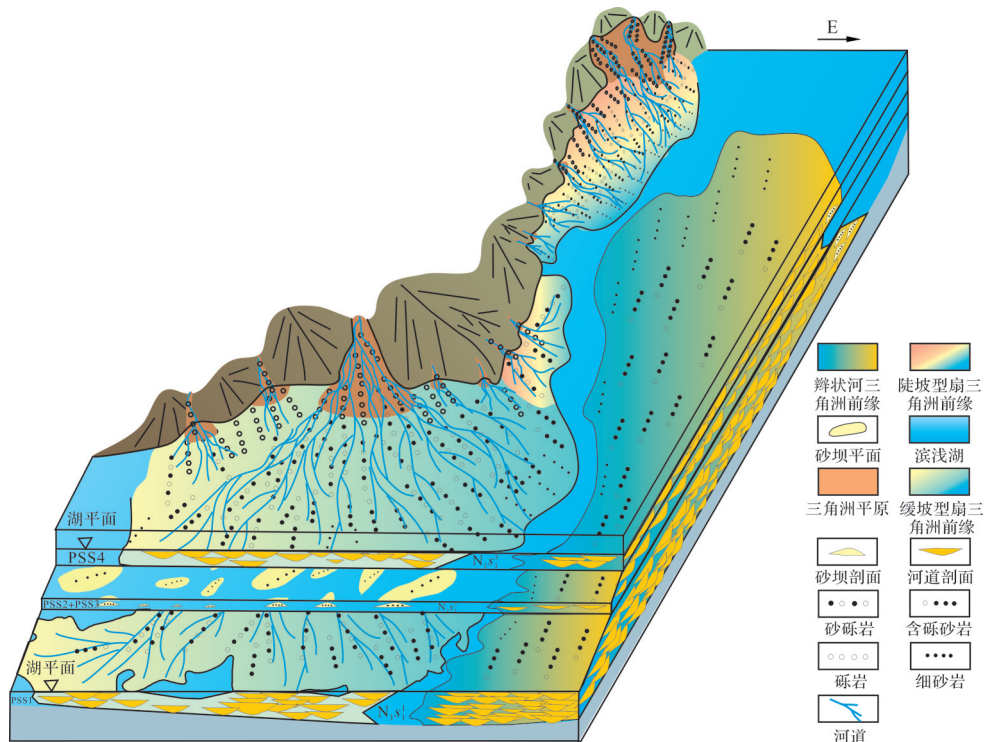


图 12 车排子地区沙一段沉积模式图

Fig.12 Sedimentary model for member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area

11,13)。古隆起一坡折带以上是高位域和湖侵体系域砂体分布区带;湖侵体系域沿斜坡上超并尖灭于层序界面(图 3,5、图 10b、图 13)。斜坡和隆起区向北广泛发育上超不整合带(图 3,5,10,11,13)。低位一湖侵沉积楔的上超尖灭线受控于坡折带或斜坡带,上超尖灭线与古地貌等值线大体一致,沿坡折线或斜坡带(陡坡带和缓坡带)呈北东向分布(图 5,10,13)。坡折带以下一洼陷带是有利的低位域扇三角洲前缘砂体的分布区带;砂体上超于层序界面。

垂直或斜交坡折的古沟道是沉积物输送的通道,古沟道规模越大,输送的沉积物越多,在缓坡平台分布的范围越广。车排子地区西南端垂直坡折分

布的 P70 古沟道规模较大,输送的沉积物多,且向湖为一宽广的平缓台地,为分布范围广泛的西南端复合扇三角洲提供了有利的古地貌背景。车排子地区东北端为陡坡坡折古地貌背景,且垂直坡折的沟谷规模较小,输送的沉积物相对较少,陡坡型扇三角洲沉积分布范围小,三角洲前缘斜坡前积层倾角较大,由于沉积物堆积速率过快超过其稳定休止角易发生局部垮塌,形成广泛发育的凹槽^[39],连片分布的陡坡下凹槽形成平行坡折的古沟道,沉积物易沿这些古沟道和坡折下台地分布;如 P691 古沟道,虽然分布范围小,但沿平行坡折古沟道和坡折下台地分布厚层的陡坡型扇三角洲前缘砂体(图 5)。

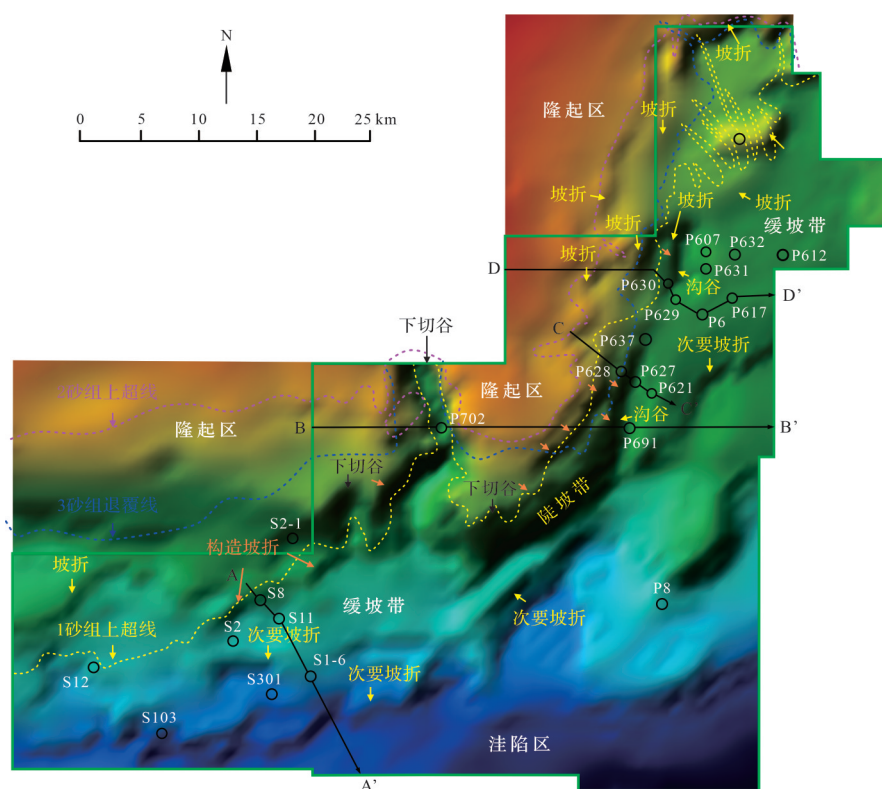


图 13 车排子地区沙一段古地貌及尖灭线叠合图

Fig.13 Paleogeomorphology and pinch-out lines of all sand groups from member 1 of the Shawan Formation in the Chepaizi area

北部斜坡区古沟道均有低位域砂体充填;低位一湖侵体系域古沟道充填形成的上倾尖灭型岩性圈闭,砂体向上上超并尖灭于层序界面,上覆湖侵体系域泥质盖层,是利圈闭,如P70古沟道和P691古沟道。

4.2 相对湖平面变化

根据前人研究,新近系沙湾组沉积时期为稳定沉降阶段,盆地整体缓慢沉降,没有明显的构造活动,上超点和退覆点可代表滨岸线,即相对湖平面,因此本次在层序地层分析的基础上,对3个砂组的上超点及退覆点进行了追踪(图3,5,10,11)。另外,根据“沉积物体积分配”原理,砂地比纵横向变化可表征相对湖平面的变化^[40],因此,根据砂地比的变化和粒度变化进行相对湖平面变化的绘制(图2)。

PSS1沉积时期,湖体范围最小,相对湖平面最低(图2、图10a'),扇三角洲主要分布于斜坡区(陡坡带和缓坡带);PSS2沉积时期,相对湖平面上升(图2、图10b),湖体范围扩大到隆起区以上地区,扇三角洲沉积和辫状河三角洲退积,扇三角洲和辫状河三角洲之间的滨浅湖沉积范围扩大,西南端大部分地区沉

积滨浅湖滩坝;PSS4沉积时期湖平面下降(图2、图10c'),湖体范围缩小,除了车排子凸起东北端南部湖体范围比PSS1沉积时期小外,其他地方均位于PSS1沉积尖灭线以北;东北端湖岸线与构造坡折线重合,西南端湖岸线位于构造坡折线以北。

车排子地区的沙湾组一段沉积层序是在总体的湖侵序列中发育的,坡折斜坡带上的湖侵湖退决定着层序结构的基本特征。这一总体的趋势对层序结构的基本特征具有重要影响。SQ1底(SB1)层序界面形成于湖平面相对下降时期,且湖平面下降到坡折带以下,层序界面广泛出现下伏地层削蚀和上覆地层上超,还出现下切谷充填,为典型的I型层序,车排子地区发育完整的低位—水侵—高位体系域,东侧发育低水位楔沉积,沉积物粒度较粗,层序界面沉积物多为近源扇三角洲前缘水下分支河道砾岩、砂砾岩及中粗粒砂岩沉积(图3,5,10~12)。SQ1层序顶界面形成于湖平面相对上升时期,水体位于坡折线以上或附近,界面之下地层为顶超,没有明显的削蚀和上超,为典型的II型层序界面(图3,5,10~12)。

5 结论

(1) 车排子地区新近系沙一段分为1个三级层序和4个四级层序,沙一段1砂组、沙一段2砂组下部、沙一段2砂组上部和沙一段3砂组分别对应于四级层序PSS1、PSS2、PSS3和PSS4。

(2) 车排子北部沙一段为两个复合扇三角洲沉积体系,物源来自北部的扎伊尔山;西南端为缓坡型浅水扇三角洲复合体,分布范围较广,扇三角洲前缘水下分流河道以牵引流沉积为主,以交错层理为特征,地震相以叠瓦状前积结构和中强振幅席状为特征;东北端为陡坡型浅水扇三角洲复合体,分布范围较小,扇三角洲前缘水下分流河道以重力流沉积为主,以正粒序为特征,地震相以近端斜交前积为特征,远端以中强振幅席状为特征。从物源到湖依次为砾岩—砂砾岩—含砾岩屑砂岩—含砾长石岩屑砂岩,岩屑成分为火成岩屑,砾石成分为火成岩砾和泥砾,测井曲线特征与远源体系的辫状河三角洲无区别,远源沉积岩屑成分以变质岩屑为主,远源和近源交汇处岩屑为火山岩屑和变质岩屑。

(3) 古地貌及相对湖平面的变化控制沙一段沉积的分布及演化。低位—湖侵沉积楔的上超尖灭线受控于构造坡折带或斜坡带(缓坡和陡坡带),上超尖灭线与古地貌等值线大体一致,PSS1沉积时期近源复合扇三角洲主要分布于隆起方向的构造坡折带以下,与远源体系在车排子地区南部交互沉积,湖相范围最小;PSS2沉积时期近源复合扇三角洲主要在构造坡折带以上沉积,湖相范围最大;PSS4沉积时期近源复合扇三角洲在坡折带附近沉积。隆起上输送通道古沟道规模及分散斜坡的坡度控制复合扇三角洲的规模:东北端较陡,沟谷规模较小,复合扇三角洲规模较小;西南端坡度较缓,沟谷规模较大,复合扇三角洲规模较大。

致谢 六位审稿专家、编辑部老师和北京大学吴朝东老师的意见和建议,使论文质量不断提高,在此表示诚挚的感谢。

参考文献(References)

- [1] 张枝焕,刘洪军,李伟,等. 准噶尔盆地车排子地区稠油成因及成藏过程[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(2): 18-32. [Zhang Zhihuan, Liu Hongjun, Li Wei, et al. Origin and accumulation process of heavy oil in Chepaizi area of Junggar Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36(2): 18-32.]
- [2] 刘传虎,王学忠. 准西车排子地区复杂地质体油气输导体系研究[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 129-133. [Liu Chuanhu, Wang Xuezhong. Hydrocarbon migration system in complex geological bodies at Chepaizi area, western Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 129-133.]
- [3] 刘传虎,王学忠. 准噶尔盆地西缘车排子地区沙湾组沉积与成藏控制因素[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(4): 15-19. [Liu Chuanhu, Wang Xuezhong. Sedimentary and hydrocarbon accumulation control factors about Shawan Formation of Chepaizi area in western Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(4): 15-19.]
- [4] 邢凤存,陆永潮,刘传虎,等. 车排子地区构造—古地貌特征及其控砂机制[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 78-83, 106. [Xing Fengcun, Lu Yongchao, Liu Chuanhu, et al. Structural-paleogeomorphologic features of Chepaizi area and mechanism of their control on sandbodies[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 78-83, 106.]
- [5] 刘吉全. 准噶尔盆地西北缘车排子地区新近系沉积体系研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010. [Liu Jiquan. Study on the sedimentary systems of Neogene of Chepaizi area in the northwest edge of Junggar Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.]
- [6] 杨少春,孟祥梅,陈宁宁,等. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(2): 20-24, 38. [Yang Shaochun, Meng Xiangmei, Chen Ningning, et al. Depositional characteristics of Shawan Formation in Neogene of Chepaizi area, Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(2): 20-24, 38.]
- [7] 仲维莘. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2010. [Zhong Weiping. Research on the sedimentary characteristics of Neogene Shawan Formation in Chepaizi area of Junggar Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.]
- [8] 苏朝光,仲维莘. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组物源分析[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 648-655. [Su Chaoguang, Zhong Weiping. An analysis on the provenance of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi uplift of the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 648-655.]
- [9] 王军. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(4): 30-32, 36. [Wang Jun. Sedimentary characteristics of Neogene Shawan Formation reservoirs in Chepaizi area, Junggar Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(4): 30-32, 36.]
- [10] Dong Y L, Zhang M Y, Zhu X M, et al. Seismic geomorphology and depositional system of delta and terminal fan: A case study of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi uplift, Junggar Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 83: 362-381.
- [11] 刘传虎,王学忠. 准噶尔盆地车排子地区层序地层结构及有利储集相带[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(1): 1-5. [Liu Chuan-

- hu, Wang Xuezhong. Stratigraphic Sequence structure and favorable facies belt in Chepaizi area of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(1): 1-5.]
- [12] 杨恺,董臣强,徐国盛. 车排子地区新近系沙湾组物源与沉积相分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(3): 7-13, 19. [Yang Kai, Dong Chenqiang, Xu Guosheng. Analysis of provenance and sedimentary facies of Neogene Shawan Formation in Chepaizi area[J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(3): 7-13, 19.]
- [13] 姚继果. 车排子地区沙湾组一段近源砂体沉积特征及砂体展布研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2017. [Yao Jiguo. Research of sedimentary features and distribution of near-source sandstone of the First member of Shawan Formation in Chepaizi area[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2017.]
- [14] 于庆森,木合塔尔,董宏,等. 车排子油田沙湾组稠油油藏储层特征及主控因素研究[J]. 新疆石油天然气, 2017, 13(1): 6-9. [Yu Qingsen, Muheter, Dong Hong, et al. Study on reservoir characteristics and main controlling factors of heavy oil reservoirs of Shawan Formation in the Chepaizi oilfield[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2017, 13(1): 6-9.]
- [15] 于腾飞. 浅层近源扇三角洲砂砾岩沉积充填模式及其对储层分布的影响: 以车排子凸起沙一段为例[J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(4): 54-60. [Yu Tengfei. Sedimentary models for near-source shallow glutenite fan delta and their effects on reservoir distribution: A case of the First member of Shawan Formation in Chepaizi uplift[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(4): 54-60.]
- [16] 陈林,张曰静,商丰凯,等. 不同物源体系沉积结合部砂体展布范围精细识别: 以车排子凸起新近系沙湾组一段为例[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(2): 6-10. [Chen Lin, Zhang Yuejing, Shang Fengkai, et al. Fine identification of sedimentary boundary of different provenance systems: Taking Neogene Shawan Formation in Chepaizi uplift as an example[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019, 33(2): 6-10.]
- [17] 商丰凯,张奎华,石好果,等. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组一段1砂组钙质隔层“三元合”成因及其油气地质意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 112-125. [Shang Fengkai, Zhang Kuihua, Shi Haoguo, et al. “Ternary composite” genesis and petroleum geological significance of calcareous barriers in the 1st sand group of Shawan-1 member of Neogene in the Chepaizi bulge of the Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 112-125.]
- [18] 叶茂松,解习农,李祥权,等. 准噶尔盆地车排子凸起春光区块沙湾组沉积特征新认识[J]. 沉积学报, 2015, 33(5): 951-964. [Ye Maosong, Xie Xinong, Li Xiangquan, et al. A new discussion on the sedimentary characteristics of Shawan Formation in Chepaizi area, Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(5): 951-964.]
- [19] 樊晓伊,姚光庆,杨振峰,等. 准噶尔盆地车排子凸起多物源复杂沉积体系中的地震沉积学[J]. 地球科学, 2018, 43(3): 786-801. [Fan Xiaoyi, Yao Guangqing, Yang Zhenfeng, et al. Seismic sedimentology in multiple sources-complex depositional systems of Chepaizi uplift, Junggar Basin[J]. Earth Science, 2018, 43(3): 786-801.]
- [20] 陈轩,杨振峰,王振奇,等. 大型斜坡区冲积—河流体系沉积特征与岩性油气藏形成条件: 以准噶尔盆地春光区块沙湾组为例[J]. 石油学报, 2016, 37(9): 1090-1101. [Chen Xuan, Yang Zhenfeng, Wang Zhenqi, et al. Sedimentary characteristics of alluvial-fluvial systems and forming conditions of lithologic reservoirs in the large slope area: A case study of Neogene Shawan Formation in Chunguang block, Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(9): 1090-1101.]
- [21] 于兴河,李胜利,李顺利. 三角洲沉积的结构—成因分类与编图方法[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 782-797. [Yu Xinghe, Li Shengli, Li Shunli. Texture-genetic classifications and mapping methods for deltaic deposits[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 782-797.]
- [22] Postma G. An analysis of the variation in delta architecture[J]. Terra Nova, 1990, 2(2): 124-130.
- [23] 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(6): 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(6): 813-825.]
- [24] 唐勇,徐洋,瞿建华,等. 玛湖凹陷百口泉组扇三角洲群特征及分布[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6): 628-635. [Tang Yong, Xu Yang, Qu Jianhua, et al. Fan-delta group characteristics and its distribution of the Triassic Baikouquan reservoirs in Mahu Sag of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(6): 628-635.]
- [25] 张昌民,朱锐,尹太举,等. 扇三角洲沉积学研究进展[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(3): 362-368. [Zhang Changmin, Zhu Rui, Yin Taiju, et al. Advances in fan deltaic sedimentology[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015, 36(3): 362-368.]
- [26] 何登发,陈新发,况军,等. 准噶尔盆地车排子—莫索湾古隆起的形成演化与成因机制[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 42-55. [He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, et al. Development and genetic mechanism of Chepaizi-Mosuowan uplift in Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 42-55.]
- [27] 于福生,阿木古冷,杨光达,等. 准噶尔盆地车—莫古隆起的构造演化特征及其成因模拟[J]. 地球学报, 2008, 29(1): 39-44. [Yu Fusheng, Amu Guleng, Yang Guangda, et al. Tectonic evolution and mechanism analysis of Che-Mo palaeo-uplift in Junggar Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(1): 39-44.]
- [28] 纪友亮,周勇,况军,等. 准噶尔盆地车—莫古隆起形成演化及对沉积相的控制作用[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(10): 1342-1355. [Ji Youliang, Zhou Yong, Kuang Jun, et al. The formation and evolution of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift

- and its control on the distributions of sedimentary facies in the Junggar Basin[J]. *Science China Earth Sciences*, 2010, 40(10): 1342-1355.]
- [29] 隋风贵. 准噶尔盆地西北缘构造演化及其与油气成藏的关系[J]. *地质学报*, 2015, 89(4): 779-793. [Sui Fenggui. Tectonic evolution and its relationship with hydrocarbon accumulation in the northwest margin of Junggar Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(4): 779-793.]
- [30] 董大伟, 李理, 王晓蕾, 等. 准噶尔盆地西缘车排子凸起构造演化及断层形成机制[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(4): 1132-1141. [Dong Dawei, Li Li, Wang Xiaolei, et al. Structural evolution and dislocation mechanism of western margin Chepaizi uplift of Junggar Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2015, 45(4): 1132-1141.]
- [31] 胡秋媛, 董大伟, 赵利, 等. 准噶尔盆地车排子凸起构造演化特征及其成因[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(4): 556-564. [Hu Qiuyuan, Dong Dawei, Zhao Li, et al. Tectonic evolutionary characteristics and their causes of Chepaizi uplift in Junggar Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(4): 556-564.]
- [32] Ni M J, Chen S, Liu Z C, et al. Structural evolution of Chepaizi uplift and its control on stratigraphic deposition in the western Junggar Basin, China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2019, 93(4): 1060-1075.
- [33] 陈轩, 张尚峰, 张昌民, 等. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组层序地层[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(1): 65-67. [Chen Xuan, Zhang Shangfeng, Zhang Changmin, et al. Sequence stratigraphy of Neogene Shawan Formation in Chepaizi area, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(1): 65-67.]
- [34] 林畅松, 刘景彦, 刘丽军, 等. 高精度层序地层分析: 建立沉积相和储层规模的等时地层格架[J]. *现代地质*, 2002, 16(3): 276-281. [Lin Changsong, Liu Jingyan, Liu Lijun, et al. High resolution sequence stratigraphy analysis: Construction of chronostratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale [J]. *Geoscience*, 2002, 16(3): 276-281.]
- [35] 李严, 吴朝东, 张学才, 等. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组重矿物、U-Pb年代学特征及物源分析[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(6): 1058-1070. [Li Yan, Wu Chaodong, Zhang Xuecai, et al. Heavy minerals characteristics, U-Pb geochronology and provenance analysis of Neogene Shawan Formation in Chepaizi uplift, Junggar Basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2021, 57(6): 1058-1070.]
- [36] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 等. 中国地震沉积学研究现状和发展思考[J]. *古地理学报*, 2020, 22(3): 397-411. [Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Zeng Hongliu, et al. Research status and thoughts on the development of seismic sedimentology in China[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2020, 22(3): 397-411.]
- [37] 曾洪流, 朱筱敏, 朱如凯, 等. 陆相拗陷型盆地地震沉积学研究规范[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(3): 275-284. [Zeng Hongliu, Zhu Xiaomin, Zhu Rukai, et al. Guidelines for seismic sedimentologic study in non-marine postrift basins[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(3): 275-284.]
- [38] 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 849-862. [Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 849-862.]
- [39] 侯明才, 杨田, 田景春, 等. 吉尔伯特型三角洲沉积过程与沉积模式[J]. *沉积学报*, 2023, 41(5): 1281-1294. [Hou Mingcai, Yang Tian, Tian Jingchun, et al. Formation processes and depositional model of Gilbert-type deltas[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2023, 41(5): 1281-1294.]
- [40] 焦国华, 张卫平, 谢利华, 等. 准噶尔盆地南部侏罗统三工河组沉积体系及其控制因素[J]. *古地理学报*, 2023, 25(3): 628-647. [Jiao Guohua, Zhang Weiping, Xie Lihua, et al. Depositional systems and their controlling factors of the Lower Jurassic Sangonghe Formation in southern Junggar Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2023, 25(3): 628-647.]

Depositional Characteristics from the Complex Fan Delta of Member 1 of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi Area, Junggar Basin

ZHANG YueJing¹, XIE LiHua², ZHANG WeiPing³, SHANG FengKai¹, XIU JinLei¹, GUAN XuTong², ZHANG YaNan²

1. Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257061, China

2. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

3. Xinjiang Xinchun Petroleum Development Co. Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China

Abstract: [Objective] Member 1 of the Neogene Shawan Formation is the main target interval in the Chepaizi area of Junggar Basin. There have been different studies on its depositional types and distribution. [Methods] Based on the previous studies, using mud logging, core logging, and seismic data, and adopting the methods and techniques of sequence stratigraphy, seismic geomorphology, and sedimentology, the sequence stratigraphic framework of the section was established. The depositional faces were investigated, and the geomorphology was restored. [Results] The First member of the Shawan Formation was divided into one third-order sequence and four fourth-order sequences. The first sand group, the lower part of the second sand group, the upper part of the second sand group, and the third sand group correspond to lowstand system, transgressive system, lower highstand system, and upper highstand system tracts, respectively. In addition, they correspond to the fourth-order sequences: PSS1, PSS2, PSS3, and PSS4, respectively. There were likely two provenances of member 1 of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi area: Zaire Mountain to the northwest and Tianshan Mountain to the south. The sedimentary environment from the northwest provenance belonged to the shallow fan delta, and the sedimentary environment from the south provenance belonged to the braided river delta. There were two different scale shallow fan delta complex sedimentary bodies, with two complex fan deltas in northern Chepaizi uplift. The slope of the northeast Chepaizi was steeper, the gully scale was smaller, a series of complex sedimentary bodies of steep slope type shallow water fan delta were formed, and the complex fan delta is smaller and has depositional characteristics from gravity current. The sediments are poorly sorted, bearing muddy gravel, with no clear stratification except for fining upward. The slope of the southwest Chepaizi was more moderate, the valley scale was larger, and a series of complex sedimentary bodies of gentle slope type shallow water fan delta were formed. The scale of the composite fan delta is larger and has depositional characteristics from traction current. The sediments are subangular-subround, well sorted, cross-bedded, with the orientation along the long axis of the gravel. In the lowstand and transgressive system tracts, the onlap pinch-out boundaries of the fan delta sedimentary wedge were consistent with the paleogeomorphology. The complex fan delta of the lowstand system tracts was distributed below the structural slope-break zone, reaching in the south and the east of Chepaizi area where the braided river delta reached, and they interacted with each other. The lacustrine range was the smallest during this stage. In transgressive system tracts and lower highstand system tracts, the fan deltas were distributed above the slope-break zone, and the lacustrine range was the largest. In the upper highstand system tracts, the fan deltas were distributed near the structural slope-break zone. [Conclusions] The paleogeomorphology and the relative lacustrine level change controlled the sedimentary characteristics of the the complex fan delta of the Sha-1 member in the Chepaizi area.

Key words: paleogeomorphology; steep slope type shallow water fan delta; gentle slope type shallow water fan delta; slope-break zone; valley