

塔里木盆地塔河油田 T 区三叠纪沉积模式

贺婷婷,段太忠,赵磊,刘彦锋

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:塔河油田 T 区三叠纪沉积体系认识不足,在层序地层划分的基础上,综合应用岩心相、测井相、地震相及地震标准化波形属性,分析沉积体系与前陆盆地构造运动的关系,建立塔里木盆地塔河油田 T 区三叠纪沉积模式。研究表明:塔河油田 T 区三叠系划分为 6 个长期基准面旋回;在旋回内部识别出辫状河三角洲、河流及湖泊沉积相;地震标准化波形属性分析显示辫状河三角洲-湖泊相沉积体系呈现由近北东方向向正北方向迁移的演化特征,而河流相沉积呈近东西方向展布。逆冲活动期,盆地近源区构造沉降,大量粗粒沉积物在盆地近源区快速堆积,形成近似垂直于造山带沉积搬运的辫状河三角洲-湖泊相沉积体系;逆冲活动平静期,盆地近源区构造抬升,地势平缓,河流搬运作用弱,较细粒的沉积物在逆冲活动期形成的近东西向的断裂带中沉积下来,形成近似平行于造山带沉积搬运的河流相沉积。因此塔河油田 T 区三叠纪沉积时期受前陆盆地逆冲构造运动影响形成近似垂直于造山带和平行于造山带沉积搬运的两种沉积模式,该沉积模式为塔里木盆地三叠系碎屑岩储层勘探开发提供了指导。

关键词:地震属性;辫状河三角洲;沉积相;沉积模式;沉积体系;三叠纪;塔河油田;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Triassic sedimentary model in Block T of Tahe oilfield, Tarim Basin

He Tingting, Duan Taizhong, Zhao Lei, Liu Yanfeng

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Triassic sedimentary system in Block T of Tahe oilfield is rarely documented. Based on the sequence stratigraphic division, the core, logging and seismic facies, as well as normalized seismic waveform attributes were integrated to analyze the relationship between sedimentary systems and tectonic movements of the foreland basin, and to establish the Triassic sedimentary model of Block T in Tahe oilfield, Tarim Basin. The results show that the Triassic in Block T of Tahe oilfield can be divided into six long-term base-level cycles, inside which the braided river delta, fluvial and lacustrine sedimentary facies are identified; the normalized seismic waveform attribute analysis shows that the braided river delta-lacustrine sedimentary system presents a migration from the near north-east to the north, while the fluvial sediments were deposited in a nearly east-west direction. During the active period of thrusting, the tectonic subsidence in the proximal realm of the basin resulted in the rapid proximal accumulation of a large amount of coarse-grained sediments, forming a braided river delta-lacustrine sedimentary system with a transportation direction approximately perpendicular to the orogenic belt; while during the quiescent period of thrusting, tectonic uplifting occurred in the proximal realm of the basin, the terrain grew gentle and the fluvial transportation got weak. As a result, the fine-grained sediments were deposited in the nearly EW-trending fault zones formed during the thrusting period, forming the fluvial sedimentary system with a sediment transportation direction approximately parallel to the orogenic belt. Therefore, the thrusting in the foreland basin generated two sedimentary models for the Triassic sedimentary system in Block T of Tahe oilfield, with transportation directions being approximately perpendicular to and parallel with the orogenic belt, respectively. The sedimentary models are of guidance value for the exploration and development of the Triassic clastic reservoirs in the Tarim Basin.

Key words: seismic attribute, braided river delta, sedimentary facies, sedimentary model, sedimentary system, Triassic, Tahe oilfield, Tarim Basin

收稿日期:2018-02-26;修订日期:2019-01-18。

第一作者简介:贺婷婷(1987—),女,博士研究生,精细油藏描述。E-mail: hett.syky@sinopec.com。

通讯作者简介:段太忠(1961—),男,高级工程师,油藏描述及三维地质建模。E-mail: duantz.syky@sinopec.com。

基金项目:国家青年科学基金项目(41702359);国家科技重大专项(2016ZX05033-003-002);中石化科技部项目(P170004-4)。

塔里木盆地是中国重要的油气勘探区之一,三叠纪时期塔里木盆地进入前陆盆地演化阶段,其北部地区三叠纪—侏罗纪时期发育了一个包含天山南麓、库车坳陷、沙雅隆起、满加尔坳陷等4个相对独立沉积带的周缘前陆盆地系统^[1]。塔河油田主体位于新疆维吾尔自治区轮台县与库车县之间,是塔里木盆地的超大型油气田,塔河油田T区位于塔河油田的东北部,构造位置处于塔里木盆地东北坳陷区沙雅隆起中段南翼阿克库勒凸起南部。对于塔河油田T区,相关学者对其构造演化、层序结构、储集砂体成因类型等方面进行了大量的研究^[2-6],认为研究区三叠纪时期为一套辫状河三角洲与湖泊相的交互沉积,并且由于钻井资料和取心资料不足,缺乏地震属性分析,认为物源和整个全区物源方向一致,大致从北向南沉积,忽视了前陆盆地构造运动对沉积特征的影响,因此对研究区整个沉积体系演化特征有待进一步认识。鉴于此,本文利用岩心、测井及大量的三维地震资料,井震结合分析沉积体系的空间展布特征及其演化规律,最后根据前陆盆地构造运动特征,建立了塔河油田T区三叠纪两种沉积模式。本研究不仅对前陆盆地的构造演化研究具有重要的理论意义,而且对塔里木地区三叠系碎屑岩储层的勘探及开发具有一定的借鉴作用。

1 区域构造背景

塔里木盆地是一个由古生界克拉通盆地和中、新生界前陆盆地组成的大型复合盆地,先后经历了震旦纪—泥盆纪的海相沉积期、石炭纪—二叠纪的海陆交互沉积期、三叠纪及其以后的陆相沉积期,受周缘活动造山带的影响,具有复杂的构造演化历史^[7-13]。海西晚期运动是塔里木盆地最为强烈的一次运动,它结束了南天山和塔里木板块北部地区海侵历史^[14],三叠纪开始塔里木盆地进入前陆盆地发展阶段。Delles 和 Giles^[15]提出了前陆盆地系统的概念,认为前陆盆地是造山带与邻近克拉通之间形成的潜在沉积可容空间,其发育主要与俯冲作用导致的周缘或弧后逆冲褶皱带的地球动力学条件相关,由楔顶、前渊、前隆以及隆后4个独立的构造单元组成(图1),并且认为在一些前陆盆地系统中,前隆和隆后沉积带可能不发育或缺失。

三叠纪早期,南天山碰撞造山,造山带发生强烈的逆冲运动,由于南天山的快速崛起,位于其南部的库车坳陷受到构造负荷的影响而快速沉降,成为前陆坳陷区,而沙雅隆起则演化为与前陆坳陷盆地密切伴生的

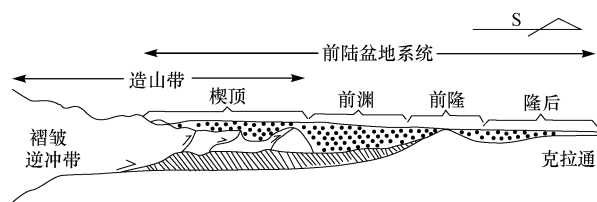


图1 前陆盆地系统示意图^[2]

Fig. 1 Schematic diagram of the foreland basin system^[2]

前缘隆起带^[2],顺托果勒低隆起及满加尔生烃坳陷等地区则形成隆后沉积坳陷,它们共同构成了塔里木盆地三叠纪库车前陆盆地系统。库车前陆坳陷为一楔形沉降区,总体呈北厚南薄的特征,是山前重要的烃源岩层系^[16],发育一套陆源碎屑岩沉积,库车坳陷的北侧为南天山褶皱带,南侧为沙雅隆起及隆后盆地^[2]。三叠纪末塔里木板块与羌塘地块碰撞,整个三叠纪塔里木盆地处于强烈的挤压构造背景下^[7]。

塔河油田T区构造位置处于塔里木前陆盆地沙雅隆起南部阿克库勒凸起桑东3号构造,是一受构造控制的背斜油气藏,阿克库勒凸起东邻草湖凹陷,西接哈拉哈塘凹陷,北与雅克拉断凸相接,向南过渡为顺托果勒低隆起及满加尔生烃坳陷(图2)。塔河油田三叠系划分为上、中、下3个统,对应3个地层组,自下而上依次是柯吐尔组(T_1k)、阿克库勒组(T_2a)和哈拉哈塘组(T_3h),厚约440 m左右,包括3个油组^[17],下油组和中油组位于阿克库勒组,上油组位于哈拉哈塘组,含油层段为各油组上部砂岩段,三叠系顶底均为不整合面所限定,顶部与上覆下侏罗统平行不整合接触,底部与下覆二叠或石炭系角度不整合接触。塔河油田T区面积大概10 km²,为了便于研究沉积特征,将本次研究的范围设置为三维地震工区100 km²左右,测网密度为15 m × 15 m。

2 研究区三叠系层序地层划分

研究区单井层序地层划分主要依据典型钻井的岩性变化、测井曲线的旋回性特征以及地震资料,结合前人研究认识^[2-6],进行层序的划分。以钻穿三叠系下油组的T1井为例,开展该区三叠系层序地层的分析。三叠系顶底均为大型不整合面,整体为1个构造层序(相当于二级层序),自下而上又划分为6个长期基准面旋回(LSC)(相当于三级层序),其中,下三叠统发育1个长期旋回,中三叠统发育3个长期旋回,上三叠统发育2个长期旋回,在每一个长期旋回内部又进行了体系域的划分(图3),沉积相以辫状河三角洲和湖泊

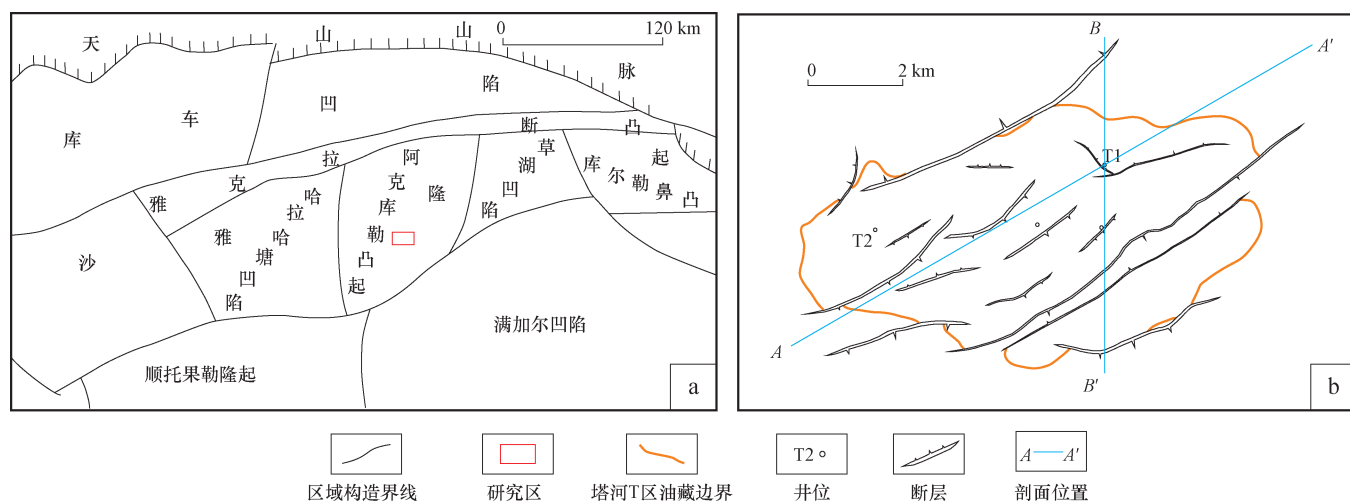


图2 塔里木盆地构造单元划分(a)及塔河油田T区地理位置示意图(b)

Fig. 2 Structure unites of Tarim Basin(a) and schematic diagram showing the location of Block T of Tahe oilfield(b)

相为主,层序的边界以不整合面、岩性电性转换面、冲刷面和湖泛面等为特征。

LSC1 时期发育湖泊相沉积,底界面为三叠系与下伏二叠系的角度不整合面,顶、底界面处 SP 和 GR 曲线均出现较大的变化,岩性也发生突变,该时期低位体系域不发育,湖侵体系域和高位体系域发育。LSC2 时期发育辫状河三角洲沉积,底界面处 SP 和 GR 曲线均出现较大的变化,界面上下岩性发生突变,下伏下三叠统大套湖相泥岩与上覆的中三叠统辫状河三角洲砂体呈突变接触,该时期低位体系域发育,湖侵体系域不发育,高位体系域被剥蚀。LSC3 时期发育辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,底界面处 SP 和 GR 曲线均出现明显的回返,表现为一冲刷界面,LSC3 晚期存在一个最大湖泛面,在全区广泛分布,可作为区域对比的一个标准面,该时期低位体系域、湖侵体系域和高位体系域保存完整,低位体系域沉积厚度大。LSC4 时期发育辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,底界面为厚层砂泥岩的分界面,界面上下岩性发生突变,下伏的湖相泥岩与上覆辫状河三角洲砂体呈突变接触,SP 和 GR 曲线均出现较大的变化,该时期低位体系域、湖侵体系域、高位体系域发育,湖侵体系域沉积厚度较大,高位体系域辫状河三角洲前缘砂体在靠近东北部物源区发育,在远离东北部物源的其他井区不发育,这是由于 LSC4 湖侵体系域沉积时期,湖平面由上升转变为缓慢下降,近物源区水流携带能力强,物源供应充足,河道砂体发育;而远离物源区水流携带沉积物能力弱,河道砂体相对不发育。LSC5 发育辫状河三角洲沉积,底界面处 SP 和 GR 曲线均出现较大的变化,界面上下岩性发生突变,该时期低位体系

域发育,湖侵体系域较发育,高位体系域被剥蚀。LSC6 发育辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,湖侵体系域和高位体系域发育,其顶界面为三叠系与侏罗系的分界面,其顶部由于下侏罗统底部河道冲刷,与下侏罗统底部形成区域性不整合面,指示整个三叠系沉积结束。

3 研究区沉积相类型

根据研究区 6 口取心井资料及一口密闭取心井粒度分析资料,结合测井及地震相特征,在塔河油田 T 区三叠纪识别出三大类沉积相,分别为辫状河三角洲相、河流相及湖泊相。

3.1 岩心相特征

研究区辫状河三角洲沉积相包括辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘亚相,其中辫状河三角洲平原水上分流河道厚度较大,局部见薄层细砾岩和泥砾,自下而上显示为砂砾岩、含砾粗砂岩、中砂岩到细砂岩的沉积序列,正旋回,发育块状层理(图 4a),分流河道底部发育滞留沉积,以粗砂岩或砾岩为主(图 4b);辫状河三角洲前缘水下分流河道以细砂岩为主,砂体内部含灰白色钙质夹层,具下粗上细的正韵律,发育平行层理(图 4c);辫状河三角洲前缘河口坝以细砂岩为主,发育爬升波纹层理(图 4d),总体上呈现出下细上粗的反韵律;天然堤位于水上分流河道和水下分流河道的两侧,属于洪水期的溢岸沉积,其粒度较细,岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩,发育波状交错层理(图 4e)。

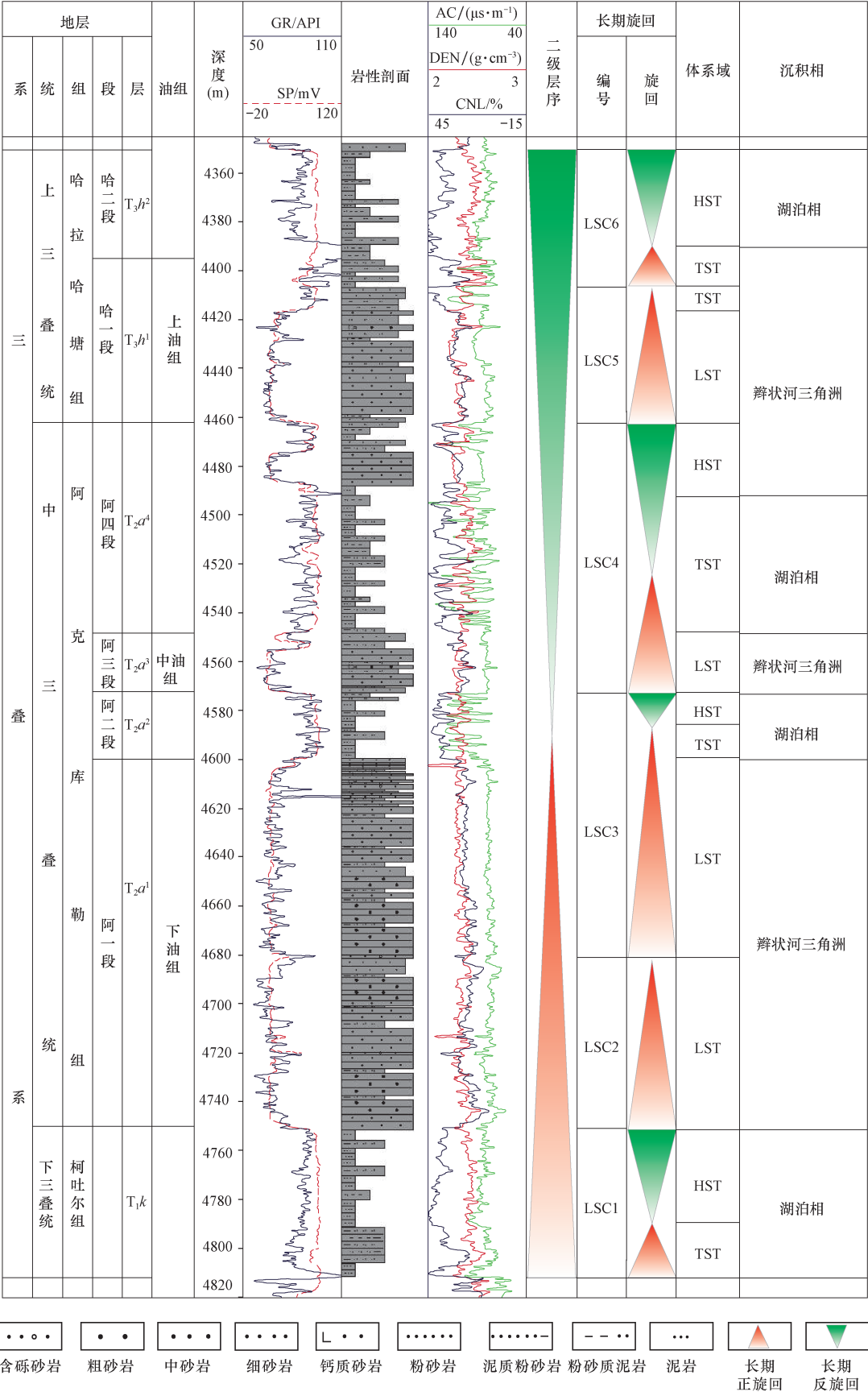


图 3 塔河油田 T 区三叠系层序地层解释(T1 井)

Fig.3 The Triassic sequence stratigraphic interpretation of Block T of Tahe oilfield(Well T1)

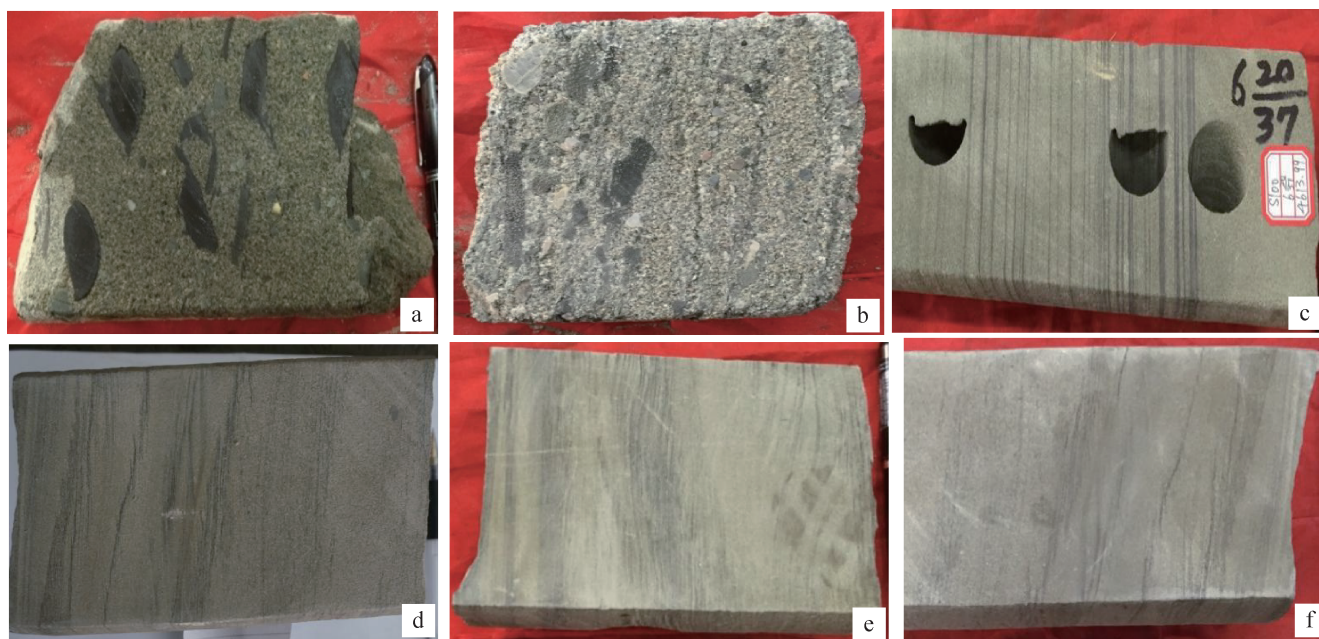


图4 塔河油田T区三叠系岩心相特征

Fig. 4 Features of the Triassic core facies in Block T of Tahe oilfield

a. 辫状河三角洲平原水上分流河道沉积, T_2a^1 段, T2 井; b. 辫状河三角洲平原水上分流河道底部滞留沉积, T_2a^1 段, T2 井; c. 辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积, T_2a^1 段, T1 井; d. 辫状河三角洲前缘河口坝沉积, T_2a^1 段, T2 井; e. 天然堤沉积, T_2a^1 段, T1 井; f. 湖泊相沉积, T_2a^2 段, T2 井

湖泊相为滨浅湖—半深湖亚相, 沉积岩性以灰黑色泥岩、粉砂质泥岩与薄层砂岩互层沉积, 可见水平层理(图4f)。

3.2 测井相特征

利用自然伽马曲线结合岩心相特征进行测井相识别, 共识别出箱形、钟形、漏斗形、指形、交互指形等测井相(表1)。

辫状河三角洲平原水上分流河道测井曲线特征显示为中—高幅箱形、钟形或钟形—箱形叠加, 箱形曲线顶、底部呈突变接触, 钟形曲线顶部呈渐变接触, 底部呈突变接触, 说明沉积时水动力较强; 辫状河三角洲前缘水下分流河道测井曲线呈中幅箱形、钟形, 水动力较强; 河口坝为漏斗形, 顶部呈突变接触, 底部呈渐变接触, 说明水动力向上逐渐增强; 天然堤测井曲线呈中—低幅指形, 曲线顶、底呈突变接触, 为分流河道边部溢岸沉积; 滨浅湖—半深湖相测井曲线表现为低幅交互指形, 表示砂泥岩互层沉积, 厚泥岩夹薄层砂岩沉积。

3.3 地震相特征

根据地震剖面上地震反射外部形态和内部反射特

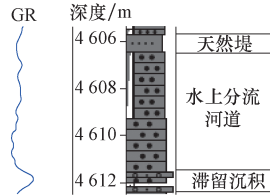
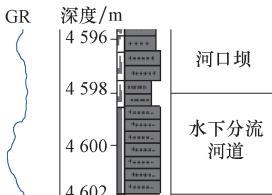
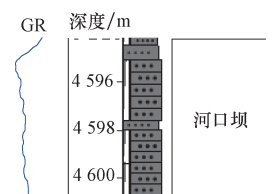
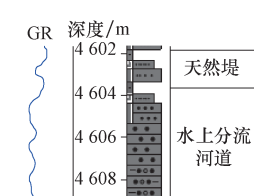
征差异划分地震相^[18-19], 塔河油田T区三叠纪地震相类型主要是席状地震相和充填地震相(表2)。

席状地震相代表辫状河三角洲平原沉积环境以及湖泊相沉积环境, 内部主要表现为平行、亚平行及杂乱反射结构。辫状河三角洲平原相以中/低频中振幅中连续性平行/杂乱反射地震相为特征, 反映沉积时水动力条件较强, 湖平面相对下降以及物源供应充足, 以三角洲平原大套河道砂岩夹薄层泥岩为主, 该地震相主要在中三叠统 LSC2 和 LSC3 长期旋回中发育; 湖泊相以中等频率中振幅中等连续性平行/亚平行反射地震相为特征, 反映沉积时水动力相对较弱, 以厚层泥岩夹薄层粉砂岩为主, 该地震相在下三叠统 LSC1 长期旋回、中三叠统 LSC3 及 LSC4 长期旋回和上三叠统 LSC6 长期旋回中都有发育。

充填地震相代表辫状河三角洲前缘沉积环境和河流相沉积环境, 内部主要表现为前积及下切充填反射结构。辫状河三角洲前缘相以中/低频率中/强振幅中等连续性前积反射地震相为特征, 反映沉积时水动力相对较强, 以三角洲前缘厚层砂岩夹薄层泥岩为主, 该地震相在中三叠统 LSC3 及 LSC4 长期旋回和上三叠统 LSC5 及 LSC6 长期旋回中可见; 河流相以低频率中/强振幅中等连续性下切充填反射地震相为特征, 具谷状外形, 下切充填特征较明显, 下切谷呈“顶平底

表 1 塔河油田 T 区三叠纪典型测井相分析

Table 1 Analysis of the typical Triassic logging facies in Block T of Tahe oilfield

微相	曲线形态	曲线特征	曲线实例
水上分流河道	中 - 高幅箱形、钟形	箱形曲线顶、底突变接触, 钟形曲线顶部渐变接触、底部突变接触	
水下分流河道	中幅箱形、钟形	箱形曲线顶、底突变接触, 钟形曲线顶部渐变接触、底部突变接触	
河口坝	中幅漏斗形	下细上粗反旋回, 顶部突变接触、底部渐变接触	
天然堤	中 - 低幅指形、小钟形	指形曲线顶、底突变接触	
滨浅湖 - 半深湖	低幅交互指形	低幅指形与泥岩基线交互	

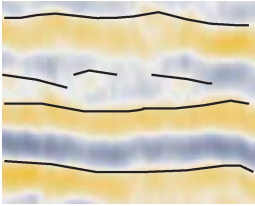
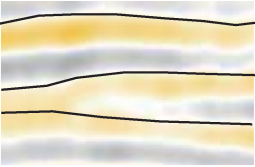
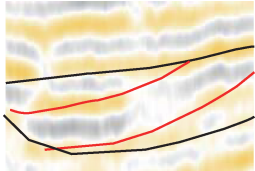
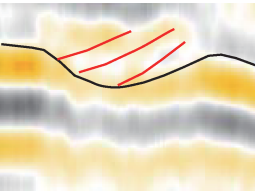
凸”的特征,该地震相主要在中三叠统 LSC4 长期旋回底部(中油组)发育。

4 研究区沉积序列演化特征

地震资料为研究沉积体系演化提供了一种途径。通过地震相分析可以观察典型的沉积现象,而基于每个层的地震属性分析可以推断砂体展布的变化规

律,某些岩性界面清晰的层位,利用地震属性能够直接看到沉积微相的空间展布。地震属性分析中最重要的一步是属性优选,本次选用了能够反映地质结构信息的标准化波形属性,因为这种属性更能反映地质结构。自下而上提取不同层位的地震属性分析各层地质结构类型和变化规律,地震属性分析的目的是从地震切片上找到这些地质结构,总结其形态特征、分布特征、演化规律,在此基础上赋予其沉积学意义,进而

表 2 塔河油田 T 区三叠纪主要地震相类型
Table2 Major types of Triassic seismic facies in Block T of Tahe oilfield

外形	地震相类型				沉积相	地震剖面	发育层序位置
	频率	振幅	连续性	结构			
席状地震相	中/低	中	中	平行/杂乱	三角洲平原		LSC2/LSC3
	中	中	中	平行/亚平行	湖泊相		LSC1/LSC3/LSC4/LSC6
充填地震相	中/低	中/强	中	前积	三角洲前缘		LSC3/LSC4/LSC5/ LSC6
	低	中/强	中	下切充填	河流相		LSC4

得到沉积体系演化规律。现以各层的典型地层切片为例,说明地震属性的地质意义,分析研究区沉积体系演化特征。

从 LSC2 沉积时期的地震属性切片可以看出北东方向展布的近似条带状的地质结构(图 5),而且这些自北东向南西有变宽的趋势,近北东方向地震剖面中(剖面位置见图 2)地震相表现为中频中振幅中连续性平行反射,并且 T1 井钻井资料显示主要为辫状河三角洲平原厚层中-粗粒河道砂岩夹薄层泥岩沉积,自然伽马测井曲线显示为高幅微齿化箱形,综合分析认为 LSC2 沉积时期为北东向分布的辫状河三角洲平原沉积。

LSC3 沉积时期也可见北东向展布的近似带状的地质结构(图 6),并且在工区靠近南部区域出现了弧形分界线,可能表示水上与水下的界面,LSC3-LST 时

期延续了 LSC2 时期辫状河三角洲平原相沉积特征,近北东方向地震剖面中(剖面位置见图 2)地震相表现为低频中振幅中连续性平行/杂乱反射,而 LSC3-TST 和 LSC3-HST 时期辫状河三角洲前缘和湖泊相沉积厚度均较小,地震剖面上反射特征不明显,主要通过钻井资料和测井资料来进行识别,T1 井钻井资料显示 LSC3 中晚期,岩性由中-细砂岩、粉砂岩向厚层泥岩夹薄层砂岩过渡,自然伽马测井曲线呈现钟形、漏斗形向低幅交互指形转换。因此 LSC3 沉积时期整体为北东向辫状河三角洲平原向辫状河三角洲前缘以及湖泊相过渡的沉积体系。

LSC4-LST 时期地震属性切片显示的条带状展布的河道非常明显(图 7),河道展布方向比较复杂,以近东西方向为主,近南北方向地震剖面中(剖面位置见图 2)地震相表现为低频率强振幅中等连续性充填反射特

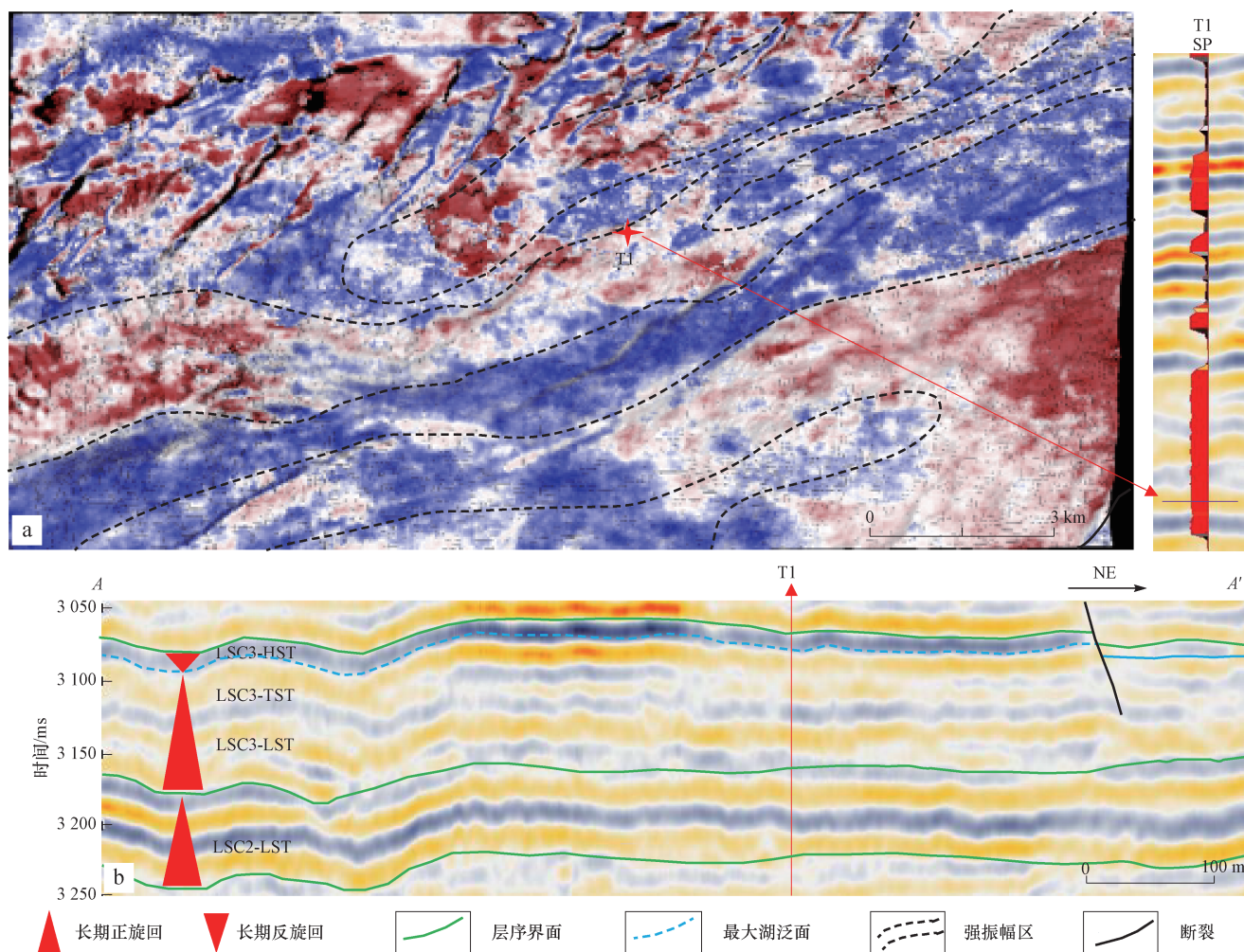


图5 塔河油田 T 区三叠系 LSC2 沉积时期地震属性切片(a)及东北方向地震相解释剖面(b)(剖面位置见图2)

Fig.5 Seismic attribute slice(a) and NE seismic facies interpretation profile(b) during the depositional period of the Triassic LSC2 in Block T of Tahe oilfield(see Fig.2 for the profile location)

征,下切充填特征较明显,T1井自然伽马测井曲线显示齿化箱形逐渐过渡为钟形,并且厚箱形曲线中可见多个小钟形的叠置,反映河道沉积的韵律性,综合分析可知为近东西方向展布的河流相沉积。LSC4-TST时期,地震相表现为中等频率中振幅中等连续性平行反射特征,测井资料显示为一套湖相厚层泥岩夹薄层粉砂岩沉积,晚期高位体系域HST发育,湖平面缓慢下降,演变为辫状河三角洲前缘沉积,受地形坡度和沉积厚度影响地震相剖面上反射特征不明显,主要通过测井资料来进行识别,T1井自然伽马测井曲线显示为中幅钟形。

LSC5-LST时期可见南北向带状分布的地质结构,并且在工区靠近东部出现一条南北向的河流相沉积。近南北方向地震剖面中(剖面位置见图2)地震相显示为中等频率强振幅中等连续性(图8),沉积物粒度相对较粗,T1井自然伽马测井曲线呈箱形-钟

形-漏斗形叠加的特征,分析可知为南北向分布的辫状河三角洲前缘沉积。LSC6-LST时期继承了LSC5时期辫状河三角洲前缘沉积特征,LSC6沉积时期,地震相表现为中等频率中振幅中等连续性平行反射特征,测井资料显示为一套湖相厚层泥岩夹薄层粉砂岩沉积,综合分析认为LSC5和LSC6沉积时期主体上发育一套南北向的辫状河三角洲前缘-湖泊相沉积体系。

综合岩心相、测井相、地震相及地震属性分析,认为塔河油田T区三叠纪沉积时期发育辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘,河流相及湖泊相沉积体系。具体演化过程为:下三叠统柯吐尔组发育湖相沉积,随着湖平面下降,中统阿克库勒组下段中下部发育近北东方向的辫状河三角洲平原沉积,然后进入一个湖平面逐渐上升的过程,阿克库勒组下段的上部演变为近北东方向的辫状河三角洲前缘沉积,湖平面继

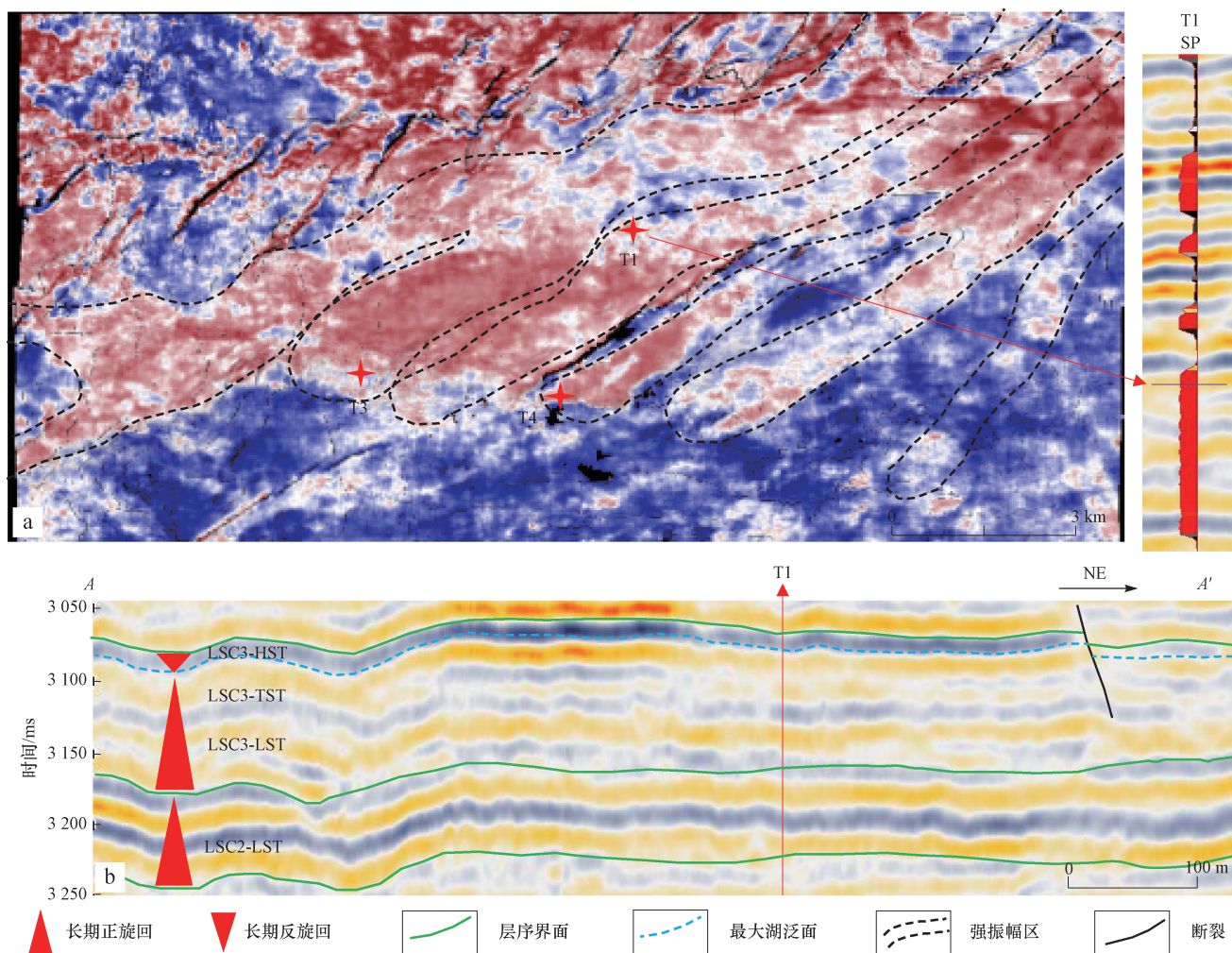


图6 塔河油田T区三叠系LSC3沉积时期地震属性切片(a)及北东方向地震相解释剖面(b)(剖面位置见图2)

Fig.6 Seismic attribute slice(a) and NE seismic facies interpretation profile(b) during the depositional period of the Triassic LSC3 in Block T of Tahe oilfield(see Fig.2 for the profile location)

续上升发育湖相沉积,然后进入阿克库勒组上段,上段与下段之间存在时间较长的沉积间断,这期间构造抬升,填平补齐作用明显,地势平缓,发育近东西方向的河流相沉积,进入哈拉哈塘组后出现规模较大的湖侵,发育近南北方向的辫状河三角洲前缘-湖泊相沉积体系。

5 研究区沉积模式

晚二叠世塔里木板块与伊犁地体的碰撞仍在持续,造成塔里木板块向伊犁地体发生A型俯冲作用,导致三叠纪时期在南天山的南缘产生了库车周缘前陆盆地^[20]。前陆盆地沉降和抬升受多种因素影响,例如冲断推覆、沉积载荷、俯冲等等,但是相关学者^[21-29]的研究表明前陆盆地演化的主要原因是造山带负载导致的岩石圈挠曲,造山带的逆冲作用是前陆盆地沉降的

最重要控制因素,也直接影响了前陆盆地的沉积特征。因此三叠纪时期塔里木库车前陆盆地的沉降主要是天山褶皱冲断带巨大的载荷作用于塔里木板块边缘而使其弯曲沉降^[20]。

井震结合分析得出研究区主体发育辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,三叠纪时期物源方向自下而上由北东方向逐渐演化为正北方向,并且首次从地震属性分析中发现了短暂的近东西方向的河流相沉积。研究区三叠纪时期位于塔里木库车前陆盆地内,因此沉积体系受造山带逆冲构造运动影响,导致塔河油田T区三叠纪沉积时期存在垂直于造山带和平行于造山带沉积搬运的两种沉积模式(图9)。

逆冲运动活动期(图9a),伴随造山带的逆冲活动,由于岩石圈的挠曲响应,山前盆地近源区发生快速沉降,强烈的构造沉降导致盆地近源区的可容纳空间增大,湖水上升,地势变陡,河流搬运动力增大,侵蚀作

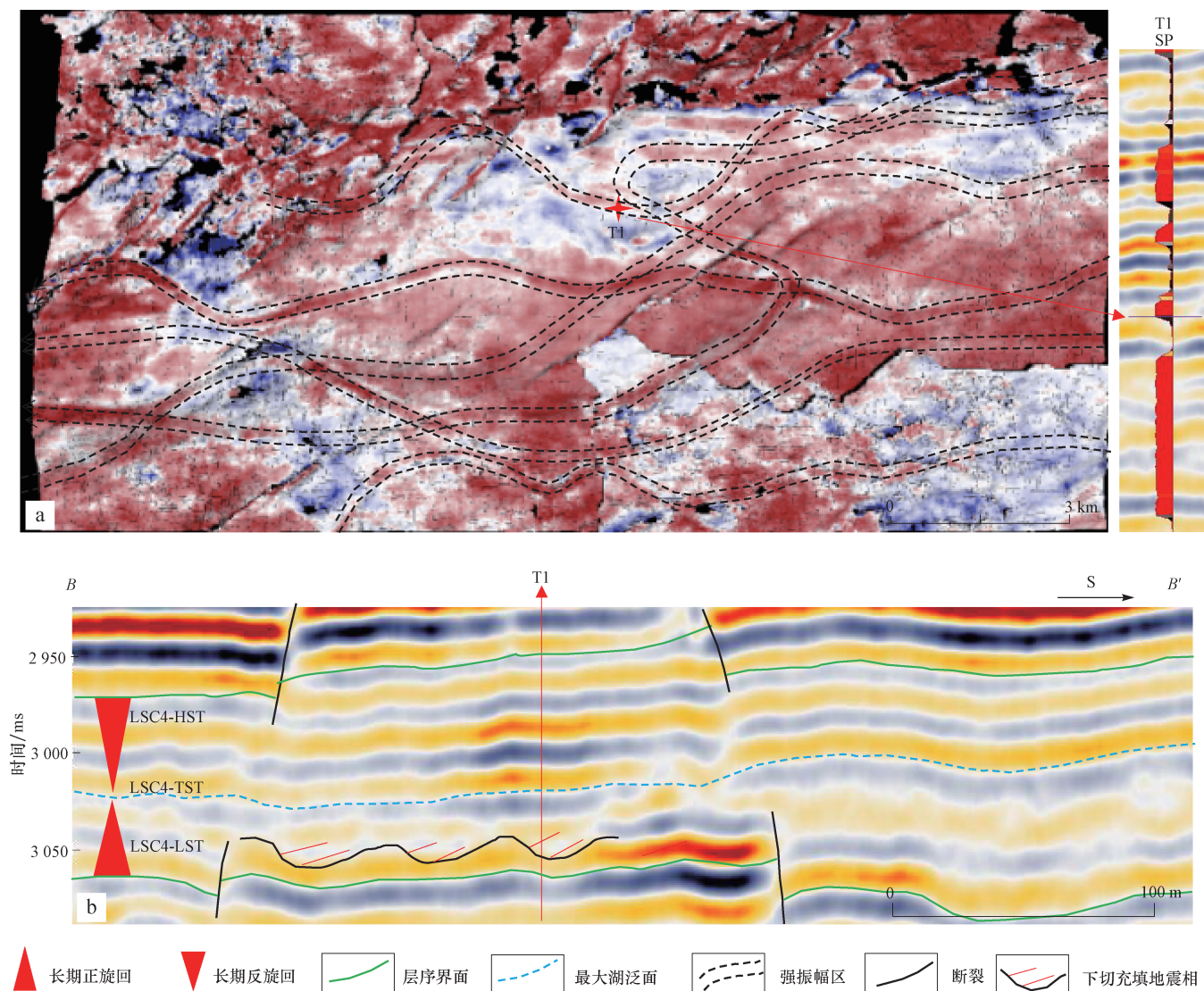


图7 塔河油田T区三叠系LSC4沉积早期地震属性切片(a)及近南北方向地震相解释剖面(b)(剖面位置见图2)

Fig. 7 Seismic attribute slice(a) and nearly NS seismic facies interpretation profile(b) during the depositional period of the Triassic LSC4 in Block T of Tahe oilfield(see Fig. 2 for the profile location)

用随之增强^[30],大量粗粒沉积物在盆地近源区快速堆积,从而在盆地近源区形成了厚度较大的粗粒辫状河三角洲沉积,持续的构造沉降导致大规模的湖侵,盆地远源区发育湖泊相,因此逆冲活动期研究区形成垂直于造山带沉积搬运的辫状河三角洲-湖泊相沉积体系。另外不同时期的地震标准化波形属性分布图显示,在造山带运动过程中,造山带整体也不断地向南部发生小规模的迁移,辫状河三角洲物源方向由北东方向逆时针迁移到正北方向。这可能是由于冲断带山体受逆冲构造运动挤压作用的影响,水平前展作用产生水平滑动位移量,从而使山体向其南部发生前移,导致物源前进^[31],沉积物源搬运距离减小,入湖后形成水下沉积体。

逆冲运动平静期(图9b),造山带山前岩石圈开始回弹,盆地近源区构造抬升,导致可容纳空间减小,湖平面下降,地势平缓,源区相对低的地势导致物理风化较弱,碎屑产率较低,河流搬运作用弱^[30],盆地近源区沉积物供应不足以及沉积物在盆地内的分散能力有限,主要发生细粒沉积物的填平补齐作用。并且由于先前逆冲活动时期构造挤压,在盆地内产生了许多近似平行于造山带的断裂,因此逆冲运动平静期,细粒沉积物主要在这些断裂带内沉积下来,从而在研究区形成近似平行于造山带沉积搬运的河流相沉积。当下一逆冲活动期到来时,盆地近源区又快速的发生构造沉降,大量粗粒沉积物在近源区堆积,盆地进入下一个沉积旋回。

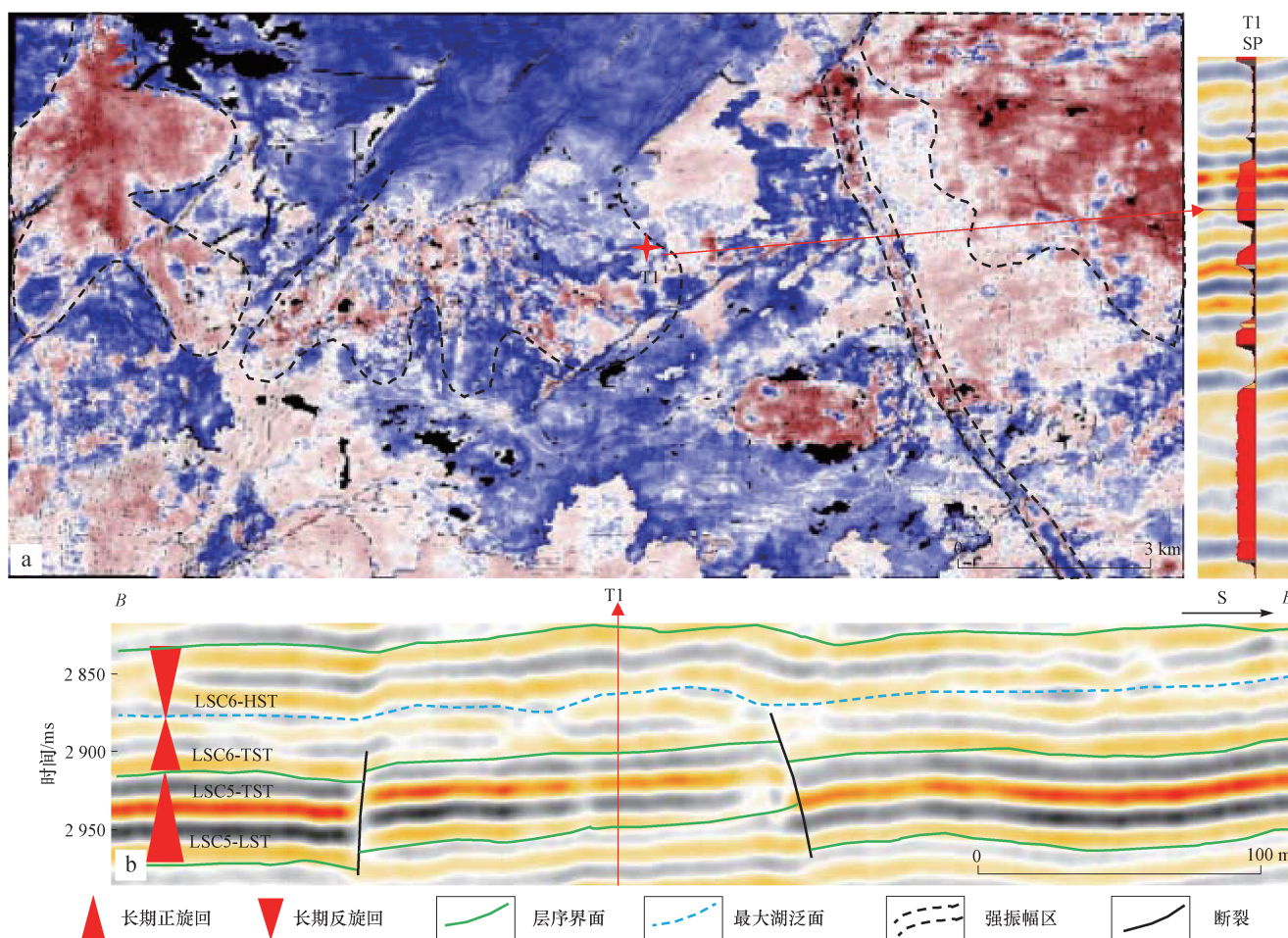


图8 塔河油田T区三叠系LSC5沉积时期地震属性(a)及南北方向地震相解释剖面(b)(剖面位置见图2)

Fig. 8 Seismic attribute slice(a) and NS seismic facies interpretation profile(b) during the depositional period of the Triassic LSC5 in Block T of Tahe oilfield(see Fig. 2 for the profile location)

6 结论

1) 根据区域岩心、测井及地震资料,结合前人研究成果,建立了塔河油田T区三叠系层序地层划分方案,塔河油田T区三叠系顶底均为不整合面所限定,整体上划分为一个构造层序(二级层序),在其内部又划分了6个长期基准面旋回(三级层序),在长期旋回内部进一步划分了高位体系域、湖侵体系域和高位体系域。

2) 根据岩心及粒度分析资料,总结了辫状河三角洲平原水上分流河道、河道底部滞留沉积、辫状河三角洲前缘水下分流河道、河口坝、天然堤及浅湖-半深湖沉积的岩心相特征;结合测井曲线及岩心相特征识别出箱形、钟形、漏斗形、指形、交互指形等测井相;根据地震反射的外形特征及内部结构划分了席状地震相和充填地震相。综合分析岩心相、测井相和地震相特征,确定区域沉积相类型为辫状河三角洲、河流及湖泊相。

3) 典型地层切片地震标准化波形属性分析显示,塔河油田T区三叠纪沉积时期,下油组辫状河三角洲-湖泊相沉积体系呈近北东方向分布,上油组辫状河三角洲-湖泊相沉积体系呈正北方向展布,而中油组河流相沉积呈近东西方向分布。

4) 塔里木盆地三叠纪进入前陆盆地发展阶段,受区域逆冲构造运动影响,研究区三叠纪沉积盆地存在两种沉积模式。逆冲作用活动期,盆地近源区强烈的构造沉降导致大量粗粒沉积物在近源区堆积,并且在造山带运动过程中,造山带整体也不断地向南部发生小规模的迁移,导致辫状河三角洲物源方向由北东方向逆时针迁移到正北方向,从而形成近似垂直于造山带沉积搬运的辫状河三角洲-湖泊相沉积体系;逆冲平静期,盆地近源区构造抬升,沉积物供应不足,发生细粒沉积物的填平补齐作用,从而形成近似平行于造山带沉积搬运的河流相沉积。塔河油田T区沉积模式为塔里木地区三叠系储层勘探开发提供了地质依据。

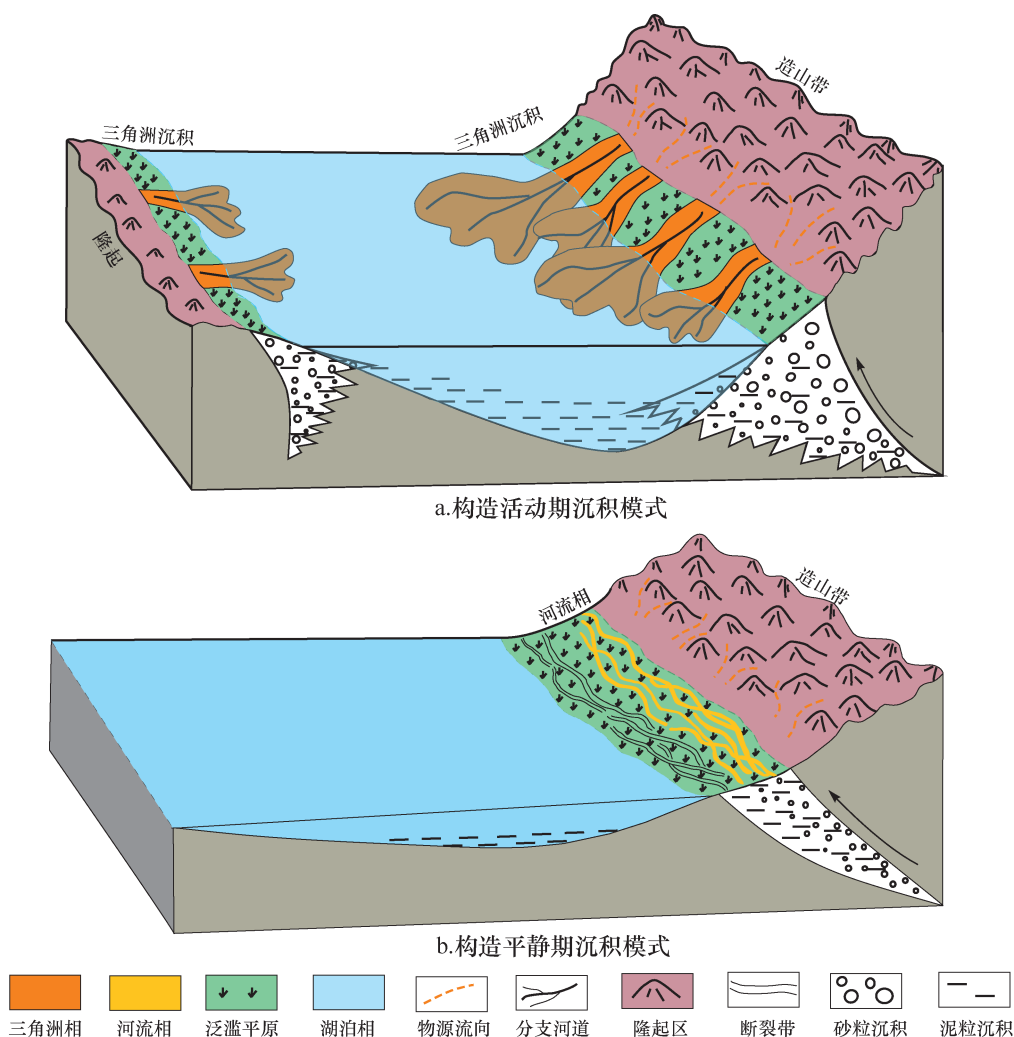


图9 塔河油田T区三叠纪沉积模式
Fig.9 Triassic sedimentary models for Block T of Tahe oilfield

参 考 文 献

- [1] 王龙樟. 塔里木盆地阿瓦提-满加尔坳陷三叠-侏罗纪沉积物源变迁[J]. 地球科学, 2000, 25(2): 39-42.
Wang Longzhang. Provenance evolution and migration of Triassic and Jurassic Awat-Manjia'er depression, Tarim Basin[J]. Earth Science, 2000, 25(2): 39-42.
- [2] 郭建华, 刘辰生, 朱锐. 阿克库勒地区三叠系层序地层学及储集砂体成因类型[J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 169-177.
Guo Jianhua, Liu Chensheng, Zhu Rui. Sequence stratigraphy and sandbody genetic types of Triassic system in Akekule area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2): 169-177.
- [3] 朱美衡, 郭建华, 伍永田, 等. 阿克库勒地区三叠系层序地层及对储集砂体的控制作用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2007, 22(5): 1-5.
Zhu Meiheng, Guo Jianhua, Wu Yongtian, et al. Sequence stratigraphy of the Triassic in Akekule area, Tarim Basin and its control effect on the reservoir sandbody[J]. Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Sciences Edition), 2007, 22(5): 1-5.
- [4] 邹元荣, 金晓辉, 闫相宾. 塔河油田三叠系层序地层与沉积相研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(5): 11-14.
Zou Yuanrong, Jin Xiaohui, Yan Xiangbin. Study on the sequence stratigraphy and sedimentary facies of the Triassic in Tahe Oilfield[J]. Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Sciences Edition), 2008, 23(5): 11-14.
- [5] 刘辰生, 郭建华. 新疆阿克库勒地区三叠系中油组层序地层学研究[J]. 地层学杂志, 2008, 32(1): 41-45.
Liu Chensheng, Guo Jianhua. Sequence stratigraphy of the Triassic middle oil-member in the Akekule area, Xinjiang[J]. Journal of Stratigraphy, 2008, 32(1): 41-45.
- [6] 付国民, 赵俊欣, 杨磊, 等. 塔河油田9区三叠系中上统高分辨率层序地层及沉积演化[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2009, 43(3): 13-17.
Fu Guomin, Zhao Junxin, Yang Lei, et al. High resolution sequence of stratigraphy and sedimentary evolution of middle-upper Triassic in the 9th area, Tahe oil field[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2009, 43(3): 13-17.
- [7] 唐武, 王英民, 张雷, 等. 塔里木盆地三叠纪前缘隆起迁移演化规律[J]. 古地学报, 2013, 15(2): 219-230.
Tang Wu, Wang Yingmin, Zhang Lei, et al. Forebulge migration and

- evolution of the Triassic in Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(2): 219–230.
- [8] Graham S A, Hendrix M S, Wang L B, et al. Collision successor basin of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1993, 105(3): 323–344.
- [9] 汪新文, 陈发景, 李光, 等. 塔北库车坳陷的变形特征及其与油气关系[J]. *石油与天然气地质*, 1994, 15(1): 40–50.
Wang Xinwen, Chen Fajing, Li Guang, et al. Deformation characteristics of Kuqa depression, north Tarim Basin and its relation to oil and gas [J]. *Oil & Gas Geology*, 1994, 15(1): 40–50.
- [10] 汤良杰. 塔里木盆地演化和构造样式[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1–34.
Tang Liangjie. Evolution and tectonic patterns of Tarim Basin [M]. Geological Press, Beijing, 1996: 1–34.
- [11] 贾承造. 塔里木盆地中生代构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 47–56.
Jia Chengzao. Mesozoic and Cenozoic tectonic characteristics and oil and gas in Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 47–56.
- [12] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 64–77.
He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(1): 64–77.
- [13] 杨克绳. 塔里木盆地的构造演化[J]. *海洋地质动态*, 2005, 21(2): 25–29.
Yang Kesheng. Tectonic evolution of the Tarim Basin [J]. *Marine Geology Letters*, 2005, 21(2): 25–29.
- [14] 曹守连, 陈发景. 塔里木板块北缘前陆盆地的构造演化及其与油气的关系[J]. *地球科学*, 1994, 19(4): 482–491.
Cao Shoulian, Chen Fajing. Tectonic evolution of foreland basin and its relationship with oil and gas in northern Tarim [J]. *Earth Science*, 1994, 19(4): 482–491.
- [15] Delles P G, Giles K A. Foreland basin systems [J]. *Basin Research*, 1996, 8(2): 105–123.
- [16] 郑孟琳, 王毅, 金之钧, 等. 塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(6): 925–933.
Zheng Menglin, Wang Yi, Jin Zhijun, et al. Superimposition, evolution and petroleum accumulation of Tarim basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(6): 925–933.
- [17] 贾庆素, 周庆凡. 塔北地区含油气系统[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(1): 103–105.
Jia Qingsu, Zhou Qingfan. Petroleum systems in north Tarim [J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(1): 103–105.
- [18] Brown L F. AAPG continuing education course notes: seismic stratigraphic interpretation and petroleum exploration [M]. Tulsa: AAPG, 1980: 24–28.
- [19] 张厚福, 曾洪流, 张万选. 陆相断陷盆地地震地层学方法探讨[J]. *石油与天然气地质*, 1988, 9(3): 231–241.
Zhang Houfu, Zeng Hongliu, Zhang Wanxuan. Regional seismic stratigraphic method for fault depressed basin in Land [J]. *Oil & Gas Geology*, 1988, 9(3): 231–241.
- [20] 温德顺, 苏龙, 孙国强, 等. 前陆盆地的沉积和抬升机制研究进展[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(3): 385–389.
Wen Deshun, Su Long, Sun Guoqiang, et al. Advances in the study of the subsidence and uplift mechanism of foreland basins [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3): 385–389.
- [21] Heller P L, Angevine C L, Winslow NS, et al. Two-phase model of foreland basin sequences [J]. *Geology*, 1988, 16(6): 501–504.
- [22] Flemings P B, Jordan T E. A synthetic stratigraphic model of foreland basins development [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94(B4): 3851–3866.
- [23] Flemings P B, Jordan T E. Stratigraphic modeling of foreland basins: Interpreting thrust deformation and lithosphere rheology [J]. *Geology*, 1990, 18(5): 430–434.
- [24] Jordan T E, Flemings P B. Large-scale stratigraphic architecture, eustatic variation, and unsteady tectonics: A theoretical evaluation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1991, 96(B4): 6681–6699.
- [25] Jordan T E. Retroarc foreland and related basins [M] // Busby C, Ingersoll R. *Tectonics of Sedimentary Basins*. Cambridge: Blackwell Scientific Publications, 1995: 331–362.
- [26] Yang Y T, Miall A D. Marine transgressions in the Mid-Cretaceous of the Cordilleran foreland basin reinterpreted as orogenic unloading deposits [J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2008, 56(3): 179–198.
- [27] Yang Y T, Miall A D. Migration and stratigraphic fill of an underfilled foreland basin: Middle-Late Cenomanian Belle Fourche Formation in southern Alberta, Canada [J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 227(1–4): 51–64.
- [28] Yang Y T. Tectonically-driven underfilled-overfilled cycles, the Middle Cretaceous in the northern Cordilleran foreland basin [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 233(1–4): 15–27.
- [29] 杨永泰. 前陆盆地沉降机理和地层模型[J]. *岩石学报*, 2011, 27(2): 531–544.
Yang Yongtai. Subsidence mechanisms and stratigraphic models of foreland basins [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(2): 531–544.
- [30] 吕红华, 周祖翼. 前陆盆地陆源沉积序列的特征与成因机制[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(7): 706–711.
Lv Honghua, Zhou Zuyi. Characteristics and genesis of terrigenous depositional sequences in foreland basins [J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(7): 706–711.
- [31] 高志勇, 冯佳睿, 李小陪, 等. 天山南北前陆盆地冲断带沉积砂体对构造逆冲作用响应动力学[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(2): 248–255.
Gao Zhiyong, Feng Jiarui, Li Xiaopei, et al. Kinetics of sedimentary process response to thrusting in the thrust belts of foreland basins in southern and northern Tianshan [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(2): 248–255.

(编辑 张亚雄)