

文章编号:1009-3850(2015)03-0011-08

坡折带对陆相湖盆辫状三角洲层序和沉积的控制

——以准噶尔盆地东缘三工河组为例

万力, 于兴河, 李胜利, 李文, 王建忠, 单新

(中国地质大学能源学院, 北京 100083)

摘要:通过对钻探、地震及露头资料的研究,将准噶尔盆地东缘三工河组划分为两个三级层序。在地震和测井剖面上识别出挠曲坡折带和断裂坡折带两种构造坡折带。坡折带对于研究区层序和沉积的控制作用主要表现为:对于层序,“径向沟梁辐射,纬向阶梯分布”的坡折带体系使得本区三工河底部低水位体系域发育,坡折带加强河道侧向迁移,削弱河道下蚀,增加准层序数量,坡折带高部位低水位体系域会侵蚀下覆地层;对于沉积,在精细开发区的三工河组识别出6种沉积微相组合,顺物源连井剖面上自下而上识别出3个沉积微相组合序列,陡坡区发育富河口坝三角洲前缘,缓坡区发育富河道三角洲前缘。

关键词:坡折带;辫状河三角洲;准噶尔盆地东缘;三工河组;沉积微相组合

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

引言

准噶尔盆地东缘自1981年彩参1井开钻后,相继发现了滴西油气田、彩南油田等。三工河组一段,即三工河组下段为本区重要油气产层,但勘探开发多年,仍存在两个问题悬而未决。第一,准噶尔盆地腹部与南缘的大量野外露头研究与实际钻探资料表明,三工河组呈“两头细,中间粗”,底部为细粒乃至泥质沉积,然而研究区在三工河底部却为区域性的粗粒-砾岩沉积;第二,在本区某些相邻井区,如彩9-C1805井区,同为三一段辫状三角洲前缘,但物性以及含油气性存在显著差异。本文将从坡折带对于层序和沉积的控制作用这一角度解答这两个问题。

1 区域地质概况

准噶尔盆地是晚石炭世到第四纪发展起来的

大陆板内复合叠加盆地。研究区东临克拉美丽山,处于古尔班通古特大沙漠的边缘地带。三工河组沉积于印支运动末期,燕山运动之前。此时期,研究区已形成了中央坳陷带、中央隆起带、陆梁隆起区等一级构造单元,其中包括东道海子北凹陷、白家海凸起、滴南凸起等二级构造单元,准东构造区的五彩湾凹陷也初步形成(图1)^[1-2]。

2 层序地层划分方案

侏罗系下侏罗统三工河组为本文研究目的层段,岩性包括灰白、灰色砾岩,粗砂-中砂岩,灰色粉砂岩-细粉砂岩,灰绿色、灰黑色泥岩,厚79~218.5m,平均厚度约150m。孔隙度平均为16.4%,渗透率均值为 $182.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。与下伏八道湾组 and 上覆西山窑组均呈整合接触,局部存在不整合,三工河组内部也偶见不整合接触(图2)。

本文利用全区160余口探井、评价井及开发井

收稿日期:2014-08-06; 改回日期:2014-08-16

作者简介:万力(1989-),女,硕士研究生,油气田开发工程开发地质方向。E-mail:wanni12345678@yeah.net

资助项目:国家自然科学基金项目(No. 41272132)基于单砂体构型与动态先期响应的三角洲储层流动单元表征方法研究资助

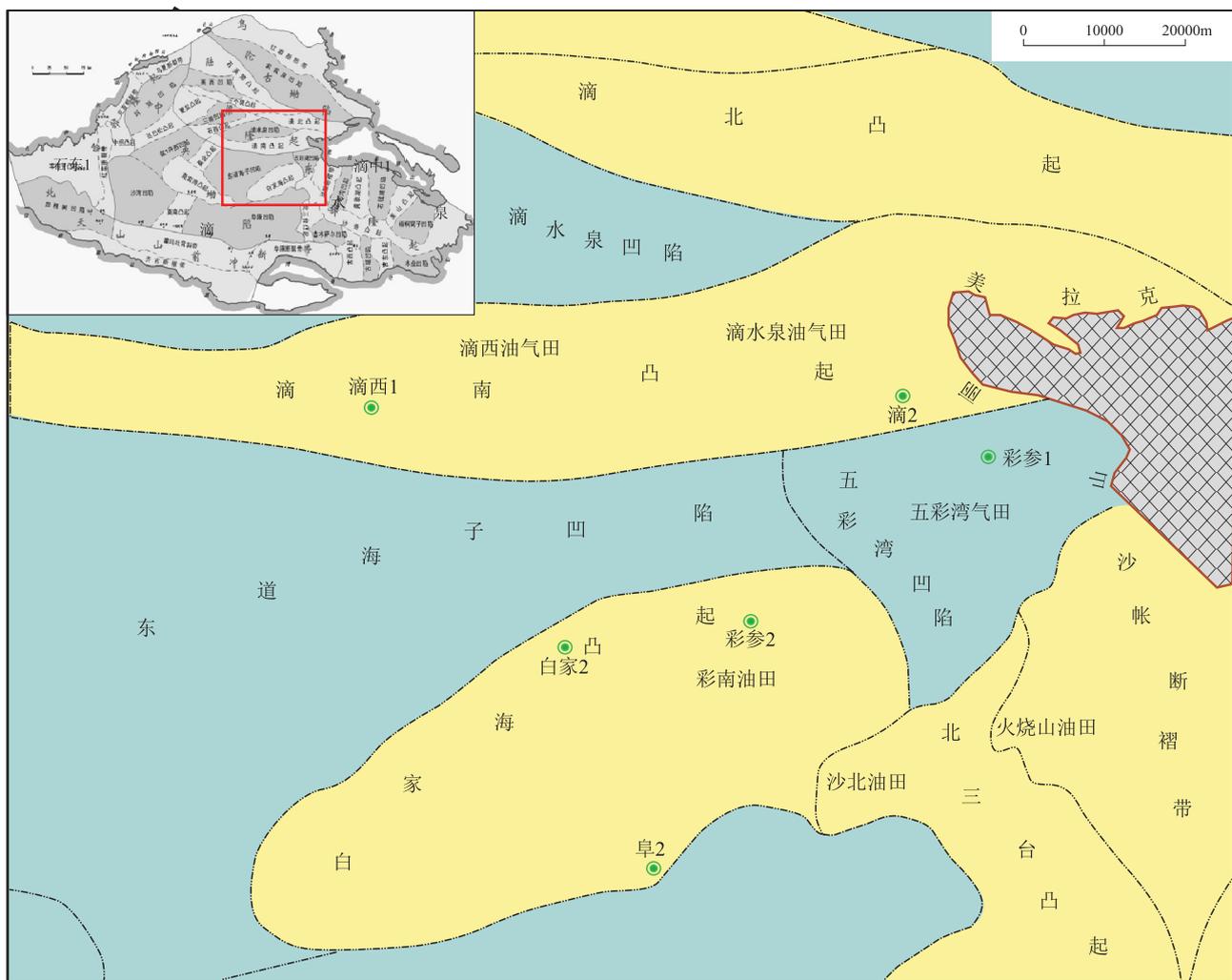


图1 准噶尔盆地东缘构造位置图

Fig.1 Tectonic setting of the eastern Junggar Basin

的钻探资料,包括岩心、测井曲线、录井剖面等,结合野外露头 and 地震资料,应用沉积学以及 Vail 经典层序地层学理论及方法^[3,4],重新进行层序划分与对比,确立了不同于准噶尔盆地南缘和腹部的层序划分方案。

本文在研究区识别出3个层序界面、两个最大湖泛面,两个初始湖泛面以及两套煤层。将三工河组划分为两个三级层序,下部的 J_1SQ1 与三一段对应,上部的 J_1SQ2 与三二段和三三段对应。每个层序内部自下而上依次划分为低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域。

3 坡折带对层序的影响

坡折带是指地形坡度发生突变的地带,同样发育于陆相盆地边缘^[5],作为粗粒物质的卸载通道。坡折带的形成可为构造、沉积、侵蚀3种成因^[6]。构造坡折带又可细分为两种:一种为贯通至地表的

同沉积断裂构成的断裂坡折带;一种为基底构造引起上覆地层的变形,形成挠曲坡折带^[7]。由于本区三维地震仅集中在精细开发区,范围过小,而钻井资料相对充沛,因此选择自克拉美丽山至白家海凸起末端的一条连井剖面以及相应二维地震剖面重点说明坡折带对于层序以及沉积分布的影响。为方便研究坡折带对于层序以及沉积的影响,认为西山窑组底煤层近似水平沉积,采取煤层拉平等高程对比方法,由此排除三工河后期构造作用的影响。而后由平面砂地比、砂岩厚度等值线确立沉积相/亚相平面展布,并与垂向连井剖面对比,确立了层序控制下的沉积相垂向展布(图3)。

3.1 坡折带平面展布对层序的控制

前人对准噶尔盆地腹地以及南缘的层序地层特征做了许多研究,都倾向认为三工河底部为基准面下降半旋回,一些层序格架划分方案将整个三工河组划为一个三级层序^[8]。但是在研究区,三工河

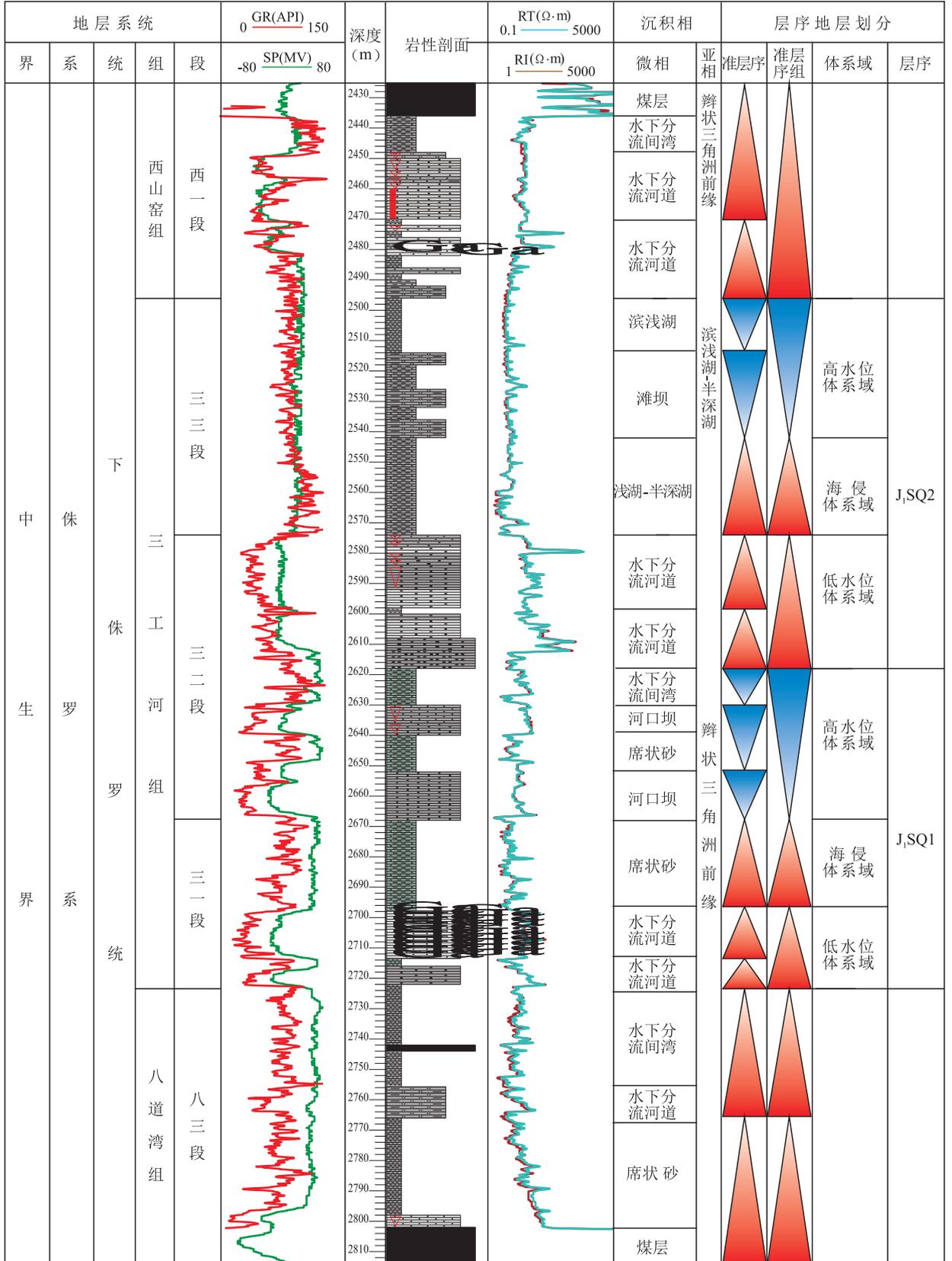


图2 彩502井侏罗系三工河组层序地层综合柱状图

Fig. 2 Sequence stratigraphic column of the Jurassic Sangonghe Formation through the Cai-502 well

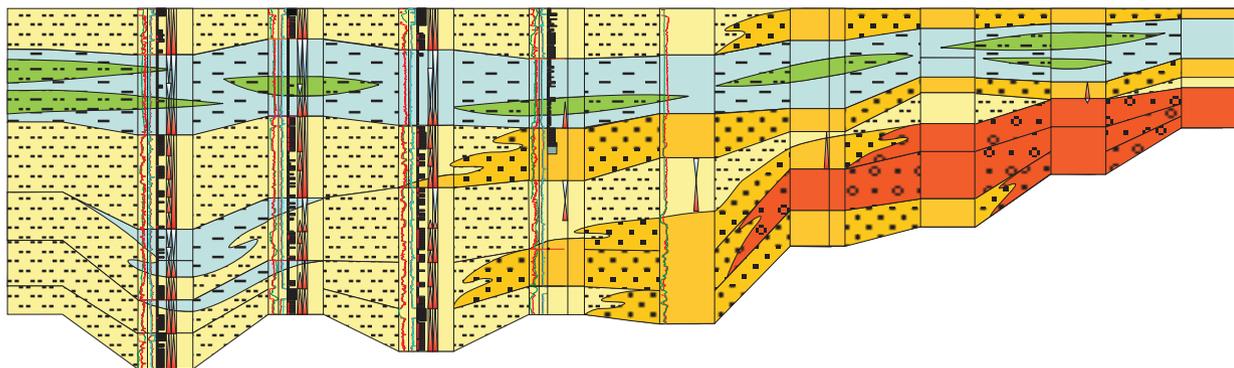


图3 准噶尔盆地东缘八道湾顶煤层-西山窑底煤层沉积层序对比剖面

a. 彩30-彩35井沉积层序连井剖面; b. 准噶尔东缘构造格架; c. 克拉美丽山-白家海凸起地震剖面

Fig. 3 Correlation of depositional sequences in the coal seams at the top of the Badaowan Formation and at the base of the Xishanyao Formation in the eastern Junggar Basin

底部存在明显的河道冲刷沉积,总体为两套正旋回,因此需要对比分析本地区与准噶尔腹地和南缘的成因差异。

准噶尔腹地古地貌地势平坦,接受来自周边山脉的多个物源供给^[9-10]。而研究区紧邻克拉美丽山,坡度较大,物源单一来自克拉美丽山。与南缘相比,本区属于中部扭动构造坡折域,沟梁状断裂坡折带呈喇叭状辐射展布,其一方面形成发散状的疏导体系,另一方面形成限制性河谷。因此,物源对于本区控制作用明显强于南缘。南缘虽有博格达山作为物源供给^[11],但博格达山以北的坡折带呈东西向展布,其受物源影响因此减弱。

除了沟梁状坡折带,还存在近似平行于克拉美丽山的环状构造带,即五彩湾凹陷与东道海子凹陷-白家海凸起之间的构造分区界限等,构造活动复杂,形成构造成因的坡折带。此外,还存在由古地貌坡度不同形成的地形坡折带。因此,本区大体具有“径向沟梁辐射,纬向阶梯分布”的古地貌特征(图3b)。

单一物源供给、距离物源近、搬运距离短、坡度较大、沉积体系两侧受限制、台阶状下倾古地貌这些因素,使得本区三工河组物源供给充足。沉积物

堆积方式为过补偿,低水位体系域发育,明显区别于准噶尔盆地南缘以及腹部。

在地震剖面上识别出3处古地貌转折带:坡折带1为下部基底挠曲形成的挠曲坡折带;坡折带2为正断层形成的断裂坡折带,此处为五彩湾凹陷与东道海子凹陷之间的构造带界限;坡折带3为古地貌的洼陷处。将三者依次对应到连井剖面上可体现坡折带对层序的影响(图3a、b、c)。

以坡折带2处 J_1SQ_2 的低水位体系域为例,此坡折带之下,层序厚度增大,由单一的退积准层序演变为2~4个退积准层序叠加而成的退积式准层序组,反映了可容纳空间增加后,沉积体下蚀能力减弱,侧向迁移增多。陡坡带为高部位沉积物提供势能,沉积物沿坡卸载,在坡下大量聚集,往往终止于坡下,具有填平补齐的作用。

在坡折带高部位,可容纳空间有限,A/S远小于1,沉积体下蚀作用强烈。因此,在坡折带高部位,上部层序往往剥蚀下部层序。如 J_1SQ_2 的低水位体系域在彩11井(坡折带2)和彩29井(坡折带1)处剥蚀下覆的 J_1SQ_1 高水位体系域,导致在这两口井的相应深度,几乎不见区域性分布的湖泛泥岩,而是 J_1SQ_2 的低水位体系域大套粗粒砂岩-砾岩与 J_1SQ_1

的低水位体系域的粗粒砂岩几近相邻。

4 坡折带对于沉积的影响

在多年的勘探开发中发现,研究区三工河组均为辫状三角洲。某些相邻地区虽同属某一亚相,储层物性以及含油气性却差异巨大。如彩9井区与C1805井区同为白家海凸起上的三一段精细开发区,两井区相邻,总面积为27km²,同为辫状三角洲前缘相,然而差异巨大。C1805井区砂体分布不稳定,突变快,主要含气。2013年探明有利面积4.5km²,天然气地质储量10.49亿方。而彩9井区砂体连续性好,成片分布,为良好含油储层。截止2003年,核算探明含油面积1.7km²,石油地质储量102.0×10⁴t。井区北部试采20井39层,获工业油气流14层21井,南部试采8井10层,获工业油流5井5层。下文以这两个井区为例,分析其差异成因。

4.1 沉积微相组合类型

通过观察本区岩心,以SP曲线结合GR曲线为主要参照,确立了本区测井曲线对应的沉积相。本区箱型曲线一般由河口坝沉积造成,呈现顶底突

变,高幅的特征,顶底为低幅线状或微齿状。

由此确立在研究区三工河组,存在下列几种沉积微相组合:(1)叠加河道沉积:两个或三个钟形曲线叠加,最高幅相当,呈现基准面上升半旋回的叠加,在岩心上体现出多个河道冲刷面,为多期河道叠加而成;(2)对称型河口坝上河道:下部为箱型或漏斗型,上部为钟形,SP呈现灯笼状弧线,上下厚度相当,对称分布;(3)非对称性厚河口坝上薄河道:下部为较厚箱型,上部为较薄钟形,明显特征为钟形曲线的最高幅小于箱型曲线的最高幅,上薄下厚,不具有对称性;(4)单一河道:为单一钟型曲线,底部具冲刷面,具有明显的河道滞留沉积,可见泥砾或者是砾石定向排列,发育板状和槽状交错层理;(5)单一河口坝:单一箱型或漏斗型曲线,发育高角度的板状交错层理;(6)非对称型薄河口坝上厚河道:下部为较薄箱型曲线,上部为较厚钟形曲线,钟型曲线的最高幅大于箱型曲线的最高幅(图4)。

4.2 彩9-C1805井区沉积差异分析

4.2.1 彩9井区沉积特征及成因

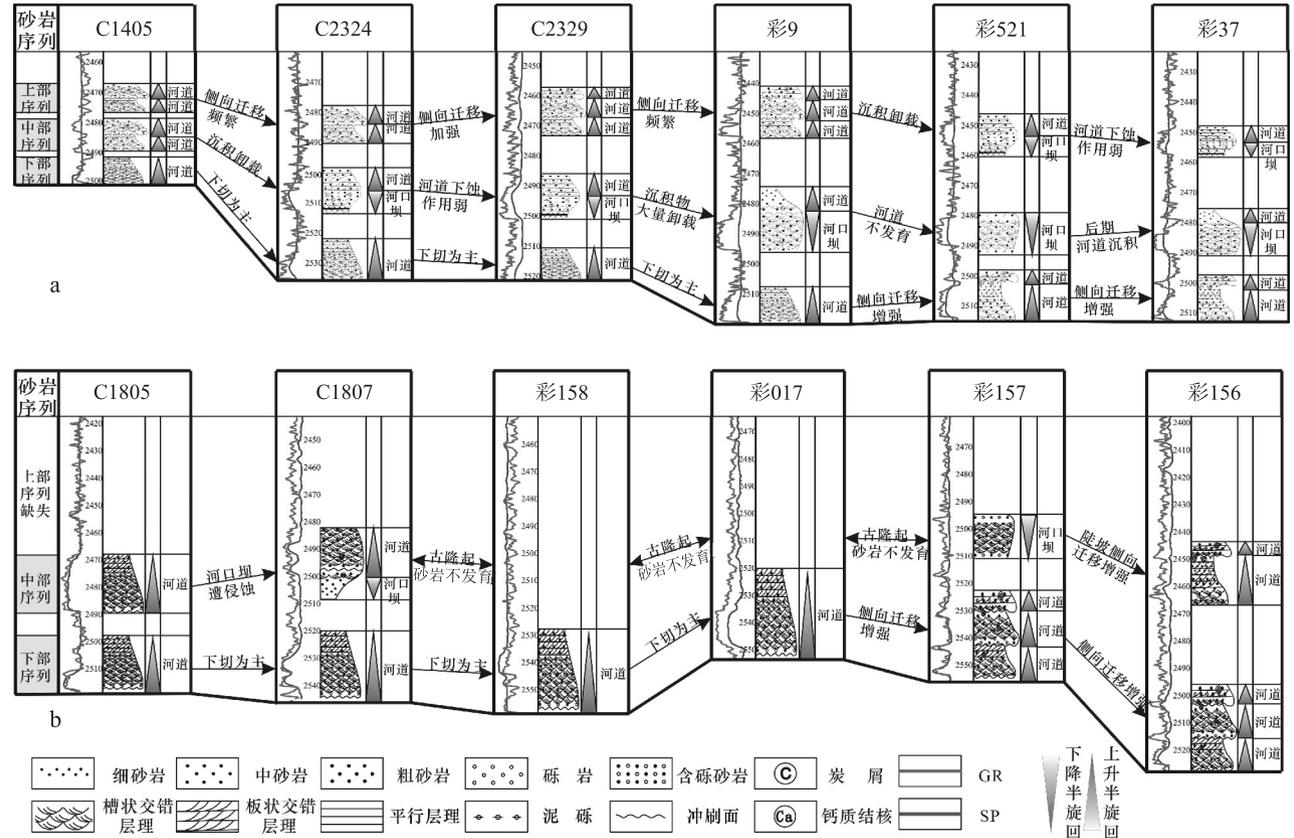


图4 彩9-C1805井区沉积微相组合序列

a. 彩9井区沉积微相组合序列;b. C1805井区沉积微相组合序列

Fig. 4 Sedimentary microfacies association sequences in the Cai9-C1805 well area

对彩9井区三一段进行连井对比,通过地震属性、重矿物分析等研究,认为井区物源来自北部;根据近北-南方向的连井对比,发现三一段的砂岩段自下而上可识别出3个序列:(1)下部为单一河道过渡到叠加河道,由明显的钟型曲线到后期向似箱型曲线靠拢,说明底部河道冲刷作用显著。但是随着搬运距离增加,河道迁移增多,冲刷作用减弱;(2)中部为叠加河道-对称型河口坝上河道-非对称型厚河口坝上薄河道和单一河口坝,反映了河流下蚀作用弱。河道迁移明显,在遇到坡度较大处,河口坝逐渐发育,而上覆河道冲刷作用更加微弱,后期河道直接覆盖在前期河口坝上;(3)上部沉积微相组合序列与中部相似,但是仅存在叠加河道-对称型河口坝上河道。叠加河道延续距离远,而非对称型厚河口坝上薄河道和单一河口坝在本井区剖面上仍

未见,因为此小层发育于三一段上部。先期沉积经过在坡折处大量卸载沉积物,填平补齐,坡折带不发育(图4a)。

综合分析钻探资料以及地震资料,确立彩9井区的沉积亚相为三角洲前缘,微相有水下分流间湾、河口坝、水下分流河道、席状砂等^[12]。河口坝发育,砂体连通性好,连片发育,平面展布形态近似于朵叶状(图5a)。

沉积微相平面与垂向特征的重要成因为古地貌不同(图5c)。在彩9井区北部存在陡坡,沉积物经历陡坡后,可容纳空间突然增加。且水体加深,水体的阻碍能力增强,河流的搬运能力减弱。因此,能量易释放,沉积物发生分异,大量底负载粗粒沉积物以及少量悬浮负载细粒沉积物在陡坡下堆积,形成河口坝。

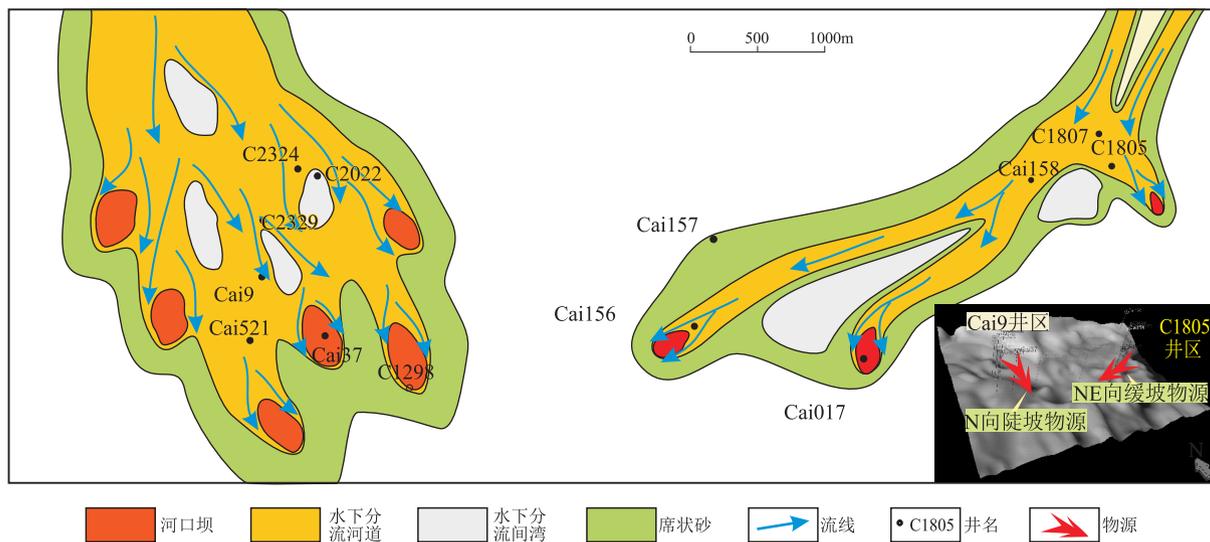


图5 彩9-C1805井区三一段沉积微相展布模式图

Fig. 5 Model showing the distribution of sedimentary microfacies in the Cai9-C1805 well area

4.2.2 C1805井区沉积特征及成因

在C1805井区,认为井区物源来自北东部,根据近北东-南西方向的连井对比,并与彩9井区相比,缺失上部序列,仅识别出两套明显砂岩序列:(1)下部序列与彩9井区相似,为低位域的河道冲刷沉积。差异在于单一河道沉积厚度更大,而远端叠置河道为三期河道,总体反映侵蚀作用更强,河道更为发育;(2)中部存在间断的两套砂岩序列,由古地貌推断,为中部低幅古隆起造成粗粒沉积的间断。C1805到C1807井显示从单一河道到非对称型下薄河口坝上厚河道的序列,后期河道侵蚀先期河口坝。彩157中部为典型河口坝,到彩156中部为叠加河道。推测受到古隆起的影响,导致沉积物卸

载形成河口坝,河道迁移频繁,形成叠置河道,与彩9井区中部序列具有相似性;(3)上部砂岩不发育,均为低幅线状或低幅微齿状,为席状砂沉积或是水下分流间湾沉积(图4b)。

本区的沉积微相与彩9井区相同,但河道发育,而河口坝不发育。砂体分布较为孤立,平面形态近似于鸟足状(图5b)。

在C1805井区北东-南西方向地势平坦,延续了湖相三角洲河流入湖后的高搬运-侵蚀能力。水下分流河道水动力强,以下切冲刷为主,这种削截分流河道常与湖相泥岩-粉细砂岩直接接触。因此,其河道冲刷面的泥砾较为发育。河道侧向迁移少,搬运距离长,大部分底负载沉积物与悬浮负载沉积物

被搬运至远端,可容纳空间相对恒定,缺乏突然卸载的触发机制,而是在搬运过程中逐渐卸载。因此,河口坝不发育,而孤立的河道构成了主要的储层砂体(图5b)。

4.2.3 对于勘探开发的指导意义

彩9井区富河口坝型三角洲前缘储层砂体连片分布,含砂层厚,总体含砂率高,且分布集中,为含油优良储层。C1805井区富河道型三角洲前缘储层的砂体孤立分布,连通性差,含砂率低,勘探开发难度大,需要明确主要水下分支河道的分布规律后再进行后续的勘探开发,否则易被砂体不规则性所困扰。

5 结论

(1)应用 Vail 经典层序地层学理论和方法,识别层序边界、最大湖泛面和初始湖泛面,将三工河组划分为两个三级层序即 J_1SQ1 和 J_1SQ2 。根据测井、岩相以及地震识别准层序、准层序组,将每个层序划分为低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域。

(2)依据对本区资料的综合分析,采用煤层层拉平技术,在连井剖面 and 地震剖面上识别出断裂坡折带和挠曲坡折带两种构造坡折带。认为坡折带对层序的控制作用表现为:“径向沟梁辐射,纬向阶梯分布”的古构造坡折体系有利低水位体系域发育;增大可容纳空间,加强河道侧向迁移,削弱河道下蚀作用;低水位体系域在坡折带高部位侵蚀下覆地层;坡下沉积物大量卸载,填平补齐。

(3)对彩9-C1805精细开发区研究沉积微相组合序列以及沉积微相分布,确立彩9井区发育3套砂岩序列,总体呈现叠加河道-对称型河口坝上河道-非对称型厚河口坝上薄河道和单一河口坝的规律,平面上河口坝发育;C1805井区发两套砂岩序列,缺失上部序列,总体呈现单一河道-非对称型薄河口坝上厚河道的规律,平面上河道发育。从古地

貌角度分析,陡坡地带易发育富河口坝型三角洲前缘,缓坡地带易发育富河道型三角洲前缘。

(4)坡折带对于三角洲储层研究具有重要意义。陡坡带下低水位体系域为寻找富砂储层的勘探重点,而陡坡区富河口坝型三角洲砂体多且连通性好,为有利储层。对于缓坡区的富河道型三角洲,砂体少且孤立,需要精准确立河道分布位置。

参考文献:

- [1] 鲁兵,张进,李涛,等.准噶尔盆地构造格架分析[J].新疆石油地质,2008,29(3):283-289.
- [2] 傅恒,罗安屏,谢渊,等.准噶尔盆地侏罗系含油气远景评价[J].沉积与特提斯地质,1995,15:106-117.
- [3] VAIL P R, MITCHUM R M, THOMPSON S. Global cycles of relative changes of sea level [J]. AAPG Bulletin, 1977, 26: 99-116.
- [4] MIALD A D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphy correlation [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(4): 497-505.
- [5] 林畅松,潘元林,肖建新,等.陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨[J].沉积学报,2003,21(2):283-287.
- [6] 王英民,刘豪,李立诚,等.准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J].地球科学-中国地质大学学报,2002,27(6):683-688.
- [7] 任建业,陆永潮,张青林,等.断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制[J].地球科学-中国地质大学学报,2004,29(5):596-602.
- [8] 鲍志东,管守锐,李儒峰,等.准噶尔盆地侏罗系层序地层学研究[J].石油勘探与开发,2002,29(1):48-52.
- [9] 张曰静.准噶尔盆地腹部下侏罗统三工河组物源体系分析[J].新疆石油地质,2012,33(5):540-542.
- [10] 王敏芳,徐志诚.准噶尔盆地莫西庄地区下侏罗统储层性质[J].沉积与特提斯地质,2008,28(1):82-87.
- [11] 陈彬滔,杨丽莎,于兴河,等.准噶尔盆地南缘三工河组合西山窑组辫状河三角洲水动力条件与砂体分布规模定量分析[J].中国地质,2012,39(5):1290-1298.
- [12] 于兴河,王德发.辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型[J].石油学报,1994,15(1):26-36.

Controls of the structural slope breaks on the braided delta sequences and sedimentary facies in continental lake basins: An example from the Sangonghe Formation in the eastern Junggar Basin, Xinjiang

WAN Li, YU Xing-he, LI Sheng-li, LI Wen, WANG Jian-zhong, SHAN Xin

(*School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The Sangonghe Formation on the eastern margin of the Junggar Basin, Xinjiang is divided, on the basis of cores, seismic data and well logs, into two third-order sequences J₁SQ1 and J₁SQ2, each of which may be involved into the lowstand, transgressive and highstand systems tracts. Two types of slope breaks are recognized in the seismic profiles and well-tie sections, including the textural and faulted slope breaks. The slope break system distributed in radial and latitudinal directions led to the development of the lowstand systems tract at the base of the Sangonghe Formation. Six sedimentary microfacies associations are arranged into three sedimentary microfacies association sequences in the Sangonghe Formation. The slope breaks in the steep slope zones are significant in that they may facilitate the development of the lowstand systems tract, in which the channel-mouth bar delta front sandstones in the steep slope zones are interpreted as the favourable areas for hydrocarbon accumulation.

Key words: slope break; braided delta; eastern Junggar Basin; Sangonghe Formation; sedimentary microfacies association