

煤层在中国陆相盆地地层层序划分中的应用

——以吐哈盆地红台地区中侏罗统为例

袁波^{1,2}, 陈世悦¹, 夏雨²

(1. 中国石油大学地球资源与信息学院 山东 东营 257061;

2. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究地球物理所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:在国外成因地层学研究中早已提出将陆相盆地中区域性分布的煤层作为一种层序边界识别标志,为了验证该理论在中国陆相盆地地层层序划分中的适应性,特选择吐哈盆地红台地区进行研究。利用录井、测井、岩心、钻井等资料对红台地区地层划分和沉积相进行研究,研究层段主要为中侏罗统三间房组和七克台组,主要发育有湖泊相的滨浅湖亚相和辫状河三角洲相等沉积相类型。研究区内存在2期较为明显的低位煤层,各期煤层的发育均有旋回性特点,并且煤层中硅质碎屑含量也存在旋回性变化,所以煤层能够作为一种层序边界的识别和对比标志。利用煤层作为层序边界将目的层划分为2个半三级层序,在此基础上根据经典层序地层学理论和研究区目的层位的旋回性特征,将研究层段的层序细分至体系域。

关键词:吐哈盆地;红台地区;层序地层;煤层;识别标志

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2008)06-0810-06

0 引言

成因层序地层学的概念是从边缘海盆地背景研究中发展起来的,广泛分布在那里的幕式海泛事件为层序划分提供了容易辨认且可以对比的面,该面构成了连续前积碎屑楔状体的顶底。然而,在非海相加积盆地中,这些概念的应用却受到了限制,在缺少海泛面的情况下,要辨认层序需要不同的标准^[1]。本文探讨了在中国陆相盆地地层层序研究中,可识别的大规模煤层作为一种层序边界应用的可行性。只有在缺乏大量碎屑沉积物的情况下泥炭的聚集和保存才形成了煤层,区域范围煤层的形成,需要在形成过程中盆地范围的沉积物补给中断,从而能确定盆地沉积时期大的构造或气候的变动时间。区域性分布的煤层可以指示层序边界的特征,在许多情况下,它们很容易识别,并可由其独特的煤层标志或剖面进行对比,即剖面是在泥炭沼泽演化过程中原始泥炭形成物及其物理和化学性质作用的函数。该剖面同时也记录了大量的同时期发生的事件,进一步

证实了它们的等时性,增大了准确判断的可能性^[1-5]。可识别的大规模煤层作为一种层序边界的应用早在1996年就被提出,该理论在澳大利亚Gunnedah盆地的地层层序划分中得到充分体现。Hoskissons煤层标志着这个盆地从下伏三角洲和浅海沉积体系向非海相环境的最初转变^[1]。

本文主要研究的对象是吐哈盆地区域范围的煤层,在盆地的局部地区内形成一定规模的煤层需要终止碎屑物供给,如此对碎屑沉积物供给平衡的破坏只有在盆地发生构造运动或气候发生重大变动时才能发生。在本次研究区内就存在一个引起南北物源变化的造山运动^[1,6],因而在研究区内引入煤层层序边界理论具有一定的可行性。

1 区域概况

红台地区位于吐哈盆地台北凹陷东部,为一背斜构造单元。红台地区背斜构造带为一北东走向的西北宽缓、东南陡峭的不对称背斜构造。长轴长度

约 5.5~6.5 km,短轴长度约 2~3 km。研究区中侏罗统自上而下有:七克台组(J₂q)、三间房组(J₂s)和西山窑组,主要发育灰黑色砂泥岩不等厚互层的辫状河三角洲相和紫红色泥岩为主的滨浅湖相,均为近物源的连续沉积^[7-8]。

红台地区被红台 2 号主断层平行背斜长轴切割,断层从背斜东南翼穿过,其逆冲上升盘是构造的主体,宽缓而开阔,向断层方向有不同程度的回倾;断层下降盘地层陡峭。总体上背斜东西翼呈对称结构,南北翼呈北缓南陡不对称结构。纵向上中侏罗统各层组构造幅度变化不大。平面上分别被一系列近南北向的断层和东西向的断层切割成若干断块^[9]。

2 地层和沉积特征

2.1 地层发育特征

本次研究的主要地层为中侏罗统三间房组(J₂s)和七克台组(J₂q),在对目的层段的划分过程中,在参考前人研究成果的基础上,结合本地区的实际情况,把三间房组地层分为 5 个砂层组,自上而下分别为 S1、S2、S3、S4、S5 砂层组。七克台组划分为 2 个砂层组,自上而下分别为 Q1、Q2 砂层组(图 1)。

研究层段表现出明显的 2 个半旋回的特点,三间房组的下部红色泥岩段即 S5 砂层组为半个旋回,S1—S4 砂层组为一个完整的旋回,上部的七克台组为一个旋回。根据此特点我们结合电性组合特征对该区地层进行了详细的岩性地层划分(图 1)。

研究区内各地层厚度的平面变化较小,下部 S5 砂层组为一套红色泥岩段,厚度从 220~350 m 不等,在局部地区其顶部或中部地层中含有少量煤层;S4、S3 砂层组为一小的沉积旋回,S4 砂层组含有一套厚度 3 m 左右发育稳定的煤层,为辫状河三角洲平原亚相沉积,此套煤层也是下文中要讨论的层序的边界,而 S3 砂层组为一套辫状河三角洲前缘亚相的砂泥互层地层,此旋回表现为水进;S2、S1 砂层组为另一小的沉积旋回,S2 砂层组是 S3 砂层组的延续,也为一套辫状河三角洲前缘亚相的砂泥互层地层,S1 砂层组水体变浅,为一套含有煤层的辫状河三角洲平原亚相地层,此旋回表现为水退。七克台组 Q1、Q2 砂层组地层均发育一套辫状河三角洲平原亚相地层,由下向上砂粒含量逐渐减少,煤层广泛发育。

2.2 沉积特征

研究区内从下往上沉积相为:在三间房组底部

的红色泥岩段主要发育滨浅湖相;从三间房 S4 砂层组到七克台组的中下部主要发育辫状河三角洲相,红台地区发育的辫状河三角洲相主要出现了三角洲平原亚相和三角洲前缘亚相,前三三角洲亚相发育较少,大都在研究区之外^[7-8]。

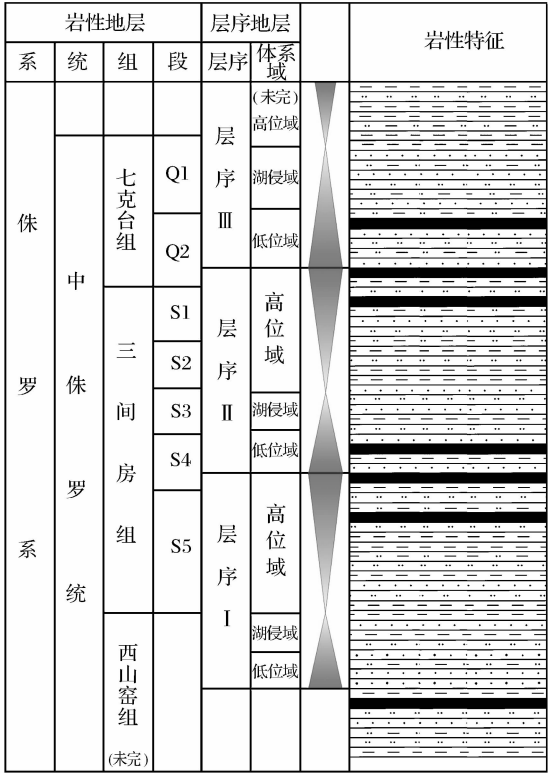


图 1 吐哈盆地红台地区中侏罗统
地层对比划分及对应关系

辫状河三角洲的陆上部分即辫状河三角洲平原亚相主要分布在三间房组 S1、S4 砂层组和七克台组中,辫状河三角洲平原亚相可划分出辫状河道、河漫滩和河漫沼泽 3 种沉积微相。

(1)辫状河道微相:岩性为浅褐—灰白色中砾岩、细砾岩夹少量含砾粗砂岩、砾状砂岩、砂砾岩,砾石成分复杂,大小混杂。直径一般为 2~6 cm,分选较差,呈次棱角、次圆状,填隙物为小砾、粗砂和泥质;底面可见侵蚀沟模,砾石略具有叠瓦状排列,呈正粒序,发育平行层理、块状层理,局部见交错层理。

(2)河漫滩微相:岩性为灰白色—灰色块状细粒岩屑砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩。砂岩成分成熟度低,分选差,厚 20~40 cm,呈透镜状或条带状,一般不显层理,有的以平行层理为主,偶见大型交错层理,以正粒序为主;粒度概率曲线反映了递变悬浮沉积特征。

(3)河漫沼泽微相:岩性为灰黑色煤层、灰黑色炭质泥岩、灰黑色含碳屑泥质粉砂岩,此种沉积微相

是煤层的主要发育沉积环境^[9-10]。

辫状河三角洲前缘是指位于湖岸线以下至前辫状河三角洲之间的广大区域,是辫状河入湖之后的水下部分,在研究区内此亚相分布于三间房组的S2、S3砂层组内,辫状河三角洲前缘亚相根据沉积物类型及沉积特征进一步分为水下辫状分流河道、水下分流间湾和河口坝3种沉积微相^[10]。

(1)水下辫状分流河道微相:水下分流河道为辫状河道的水下延伸部分,其特征与辫状河道相似;岩性主要为灰白色砂岩、含砾中—粗砂岩,单层厚2~5 m;成分成熟度及结构成熟度较低,分选中等,次圆、次棱角状,杂基含量5%~10%;底部常发育起伏不平的冲刷面,滞留沉积中形砾石具定向排列,发育大型交错层理、槽状交错层理、板状交错层理,顶部出现平行层理。

(2)水下分流间湾微相:岩性主要为灰黑色泥岩、粉砂质泥岩,泥质粉砂岩;发育水平层理、波状层

理;常以夹层的形式出现。

(3)河口坝微相:位于水下辫状分流河道的前缘及侧缘,岩性主要为薄层灰白色细砂岩、极细砂岩及粗粉砂岩,中间夹灰绿色泥岩、粉砂质泥岩;分选好,中圆、次圆状,杂基含量8%~14%;细砂岩中见平行层理,粉砂岩中见水平层理;单砂体厚1~2 m,呈逆粒序。

陆源碎屑湖泊按洪水期、枯水期湖面位置及水体深度、沉积特征及砂体发育位置可进一步划分出滨浅湖、半深湖、深湖、湖湾等亚环境。但是研究区中侏罗统的三间房组S5砂层组地层仅发育滨浅湖亚环境,形成的微相主要有滨湖泥坪微相、滨湖砂坝微相、浅湖泥坪微相,还有发育于滨岸的各种类型的沼泽微相。其岩性特点为以红色、红褐色泥岩为主,夹有不等厚的透镜状砂体;砂体主要以粉砂岩为主,局部地区有细砂岩砂体发育,分选中等,呈中等圆状,杂基含量高。

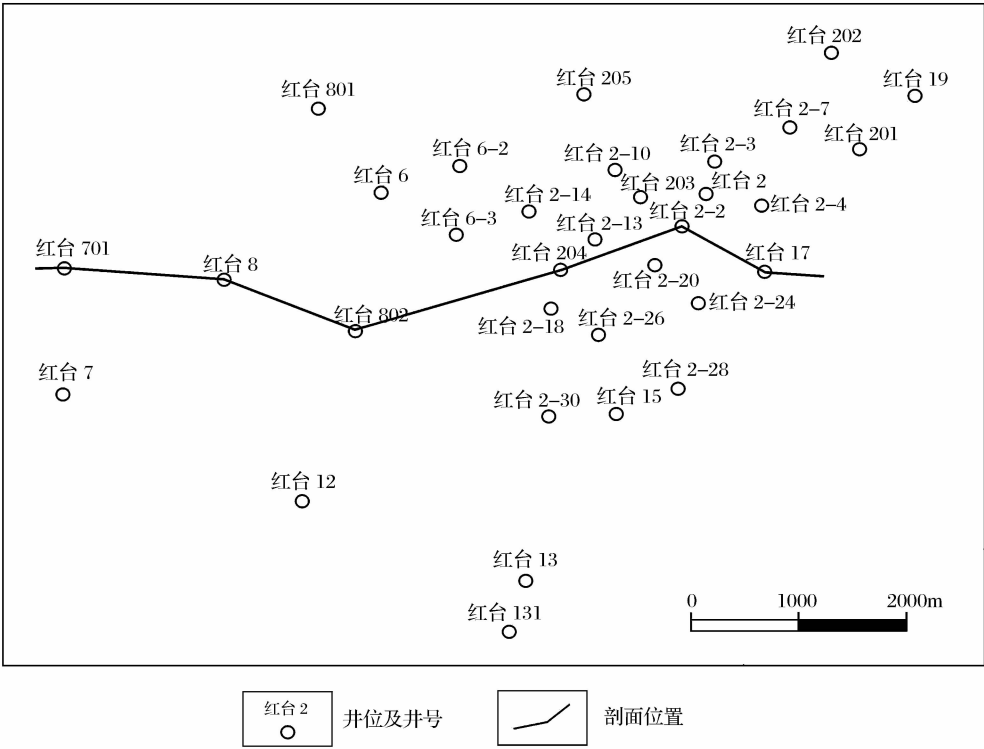


图2 吐哈盆地红台地区井位分布及连井剖面位置

3 煤层分布特征

红台地区中侏罗统三间房组和七克台组地层中主要发育2套煤层,从图3中可以清楚地看出。第1套煤层发育于三间房组S4砂层组以及S3砂层组的下部,此套煤层由3~9层煤层组成,不同井区发育的煤层层数不同,厚度也有很大的变化。从煤层

的层数和整体厚度上看,此套煤层从西向东逐渐变薄(图3)。在S4砂层组的中间处煤层最为发育,并且在此处发育一层在研究区内分布广泛的煤层,厚度在研究区内有所变化,从1.5~12.5 m不等。

第2套煤层发育于三间房组S1砂层组和七克台组Q2砂层组中,此套煤层由1~12层薄层煤层组成,与第1套煤层相似,不同井区发育的煤层层数

不同,厚度也有很大的变化。从煤层的层数和整体厚度上看,此套煤层从东向西逐渐变薄,煤层数量也有很大变化,煤层的展布与第1套煤层方向相反,这与沉积相的推移有一定的关系。在七克台组底部发育1套连续性较好的煤层,此层煤层分布广泛,厚度也较大,其厚度在研究区内有所变化,从2.0m到6.5m不等。

研究区内发育的2套煤层在地层中均属于低位煤层,此种煤层具有与砂砾岩伴生的典型特征,在低位煤层的顶面多发育河流相或水下分流河道相的砂体,部分地区也在煤层的底面发育相应的砂体,但是

顶部砂体更为普遍。由于在高位域中也经常见到煤层的分布,高位煤层与低位煤层的最大区别就在于煤层沉积期物源供应的充分与否,反映在沉积物上就是低位煤层顶底伴生大量的砂砾岩,而高位煤层一般与薄层的泥岩、泥页岩伴生^[11-12]。

研究区内发育的2套煤层主要是由于气候的变化和构造运动引起的物源变化而产生的,在煤层发育层段末期构造运动开始变强,是一个新的旋回的开始,物源也是由少开始变多。在煤层的2个发育时期内形成了煤层发育由少到多再到少的旋回式沉积,因而,煤层为层序边界的识别提供了一种较好的标志。

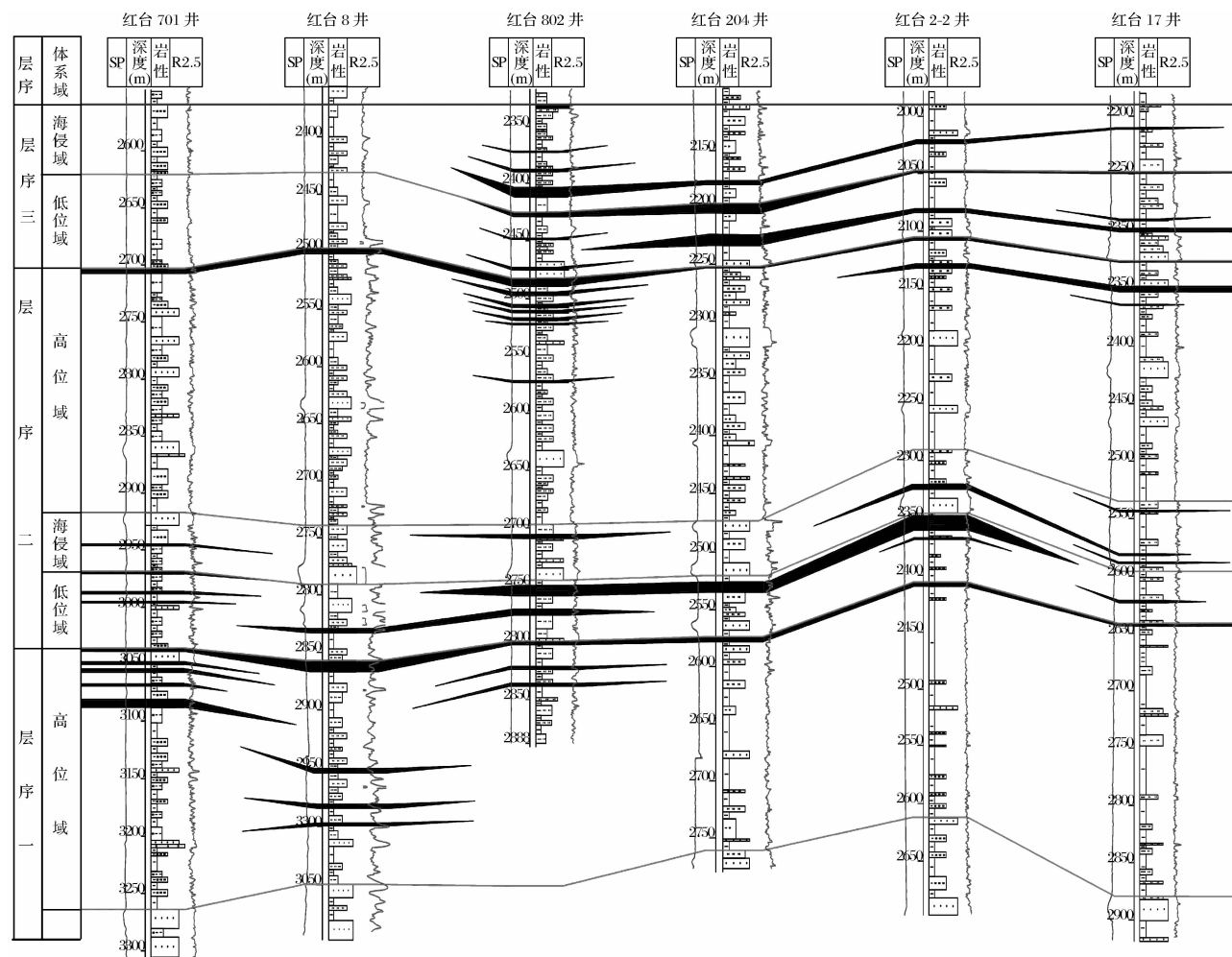


图3 吐哈盆地红台地区东西向连井剖面(位置见图2)

4 煤层层序边界模式及层序划分结果

泥炭沉积(少量外来的泥炭例外)是盆地被硅质碎屑沉积充填的一个基本的沉积学特征,即盆地充填是沉积和不沉积2种过程的重复交替,碎屑沉积不是在什么地方任何时候都能发生的,碎屑沉积在任何地方都不是连续不断的。泥炭一般聚集在非沉

积区,该区内需有基本的植物生长,并且此区水平面要保持达到或超过泥炭面,是否有利于较厚泥炭层的发育取决于某一期硅质碎屑沉积前的时间长短,并且硅质碎屑非沉积阶段的长短也控制泥炭沼泽环境的范围,这种过程可能在任何范围内发生,小的如废弃的河道泥炭充填,大的到盆地宽度的泥炭^[13]。在上述泥炭沉积过程解释中侵入泥炭沼泽的主要碎

屑是那些没有被阻止的,它们在煤层中以碎屑薄层的形式与煤层伴生或者作为河道决口的标志,或者是局部煤层的尖灭标志^[1],这说明了煤层可以作为层序边界识别和对比标志。

层序是以底、顶不整合面或相关整合面为界的、内部叠置有序的沉积组合,因此,层序地层分析中层序界面的识别是关键技术之一。区域范围的煤层包含了层序边界的所有特征。由于它们具有特殊的岩性特征,因此很容易被识别^[14]。此外,煤层剖面对煤层来说其特征是相当独特的,因此增加了区域对比的可信度。煤层还具有时间意义并可能推测形成时间。它们属于生物化学沉积,记录了碎屑物聚集的时间间隔,故是碎屑沉积间断的记录^[15-16]。

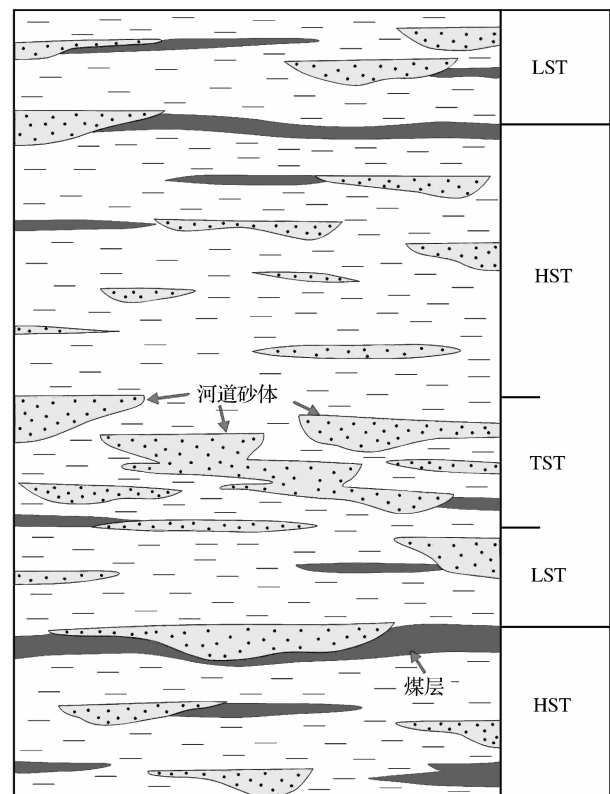


图4 层序划分模式

国外学者对澳大利亚 Gunnedah 盆地的煤层研究中发现,煤层发育层段分布的煤层中硅质碎屑含量存在旋回性变化,因而将煤层发育层段中硅质碎屑相对含量最低的层位定为层序边界^[1]。为了更加明确层序边界的位置,我们借鉴了上述理论,并在本次研究中首先明确煤层可以作为一种层序边界标志,但是在层序地层的划分中还要考虑层序内部地层的发育和沉积过程,为了让研究区内研究层段的地层划分更清楚明了,我们借鉴了经典层序地层学的层序内部体系域等的划分原则和方法,从而对该

区层序地层进行研究。在层序边界的识别过程中,我们认识到研究区存在2期较为明显的煤层发育期,第1套煤层发育于三间房组S4砂层组和S3砂层组的下部,第2套煤层发育于三间房组S1砂层组和七克台组Q2砂层组。充分利用煤层发育的旋回性特点,将一个旋回作为一个三级层序,因而以煤层为层序边界,可以识别出2个半三级层序(图1)。再综合构造运动、气候变化和物源变迁等方面的影响,将一个三级层序分为低位域(LST)、湖侵域(TST)和高位域(HST)。在综合经典层序地层学和成因层序地层学地层划分方法的基础上,依据小区域层序地层的划分方法,参考岩性地层划分方案,利用研究区目的层位的旋回性特征,将研究层段的2个半三级层序细分至体系域,从西山窑组的上部地层开始到三间房组S4砂层组的下部为层序I,层序I中的低位域和湖侵域发育于西山窑组的上部地层中,高位域发育于三间房组S5砂层组与S4砂层组的下部地层;层序II从三间房组的S4砂层组到七克台组的下部,其低位域和湖侵域对应于三间房组的S3、S4砂层组,高位域对应于S1、S2砂层组和七克台组底部的一小部分地层;层序III在研究层段内发育不完善,仅在七克台组发育低位域、湖侵域以及高位域的一部分,层序III的高位域在七克台组远远没有结束。

研究区内煤层的发育是伴随着沉积物源的变化而变化的,在物源丰富期,河道宽度和迁移频率均较大,因而煤层仅在局部发育,如湖侵域后期和高位域前期(图4),此时不发育或很少发育煤层;随着地层的沉积,在高位域中晚期物源向贫瘠转化,煤层开始逐渐变得丰富起来,连片性也开始变好,直至层序末期的煤层分布范围达到最大;从煤层的分布范围最大开始进入低位域沉积阶段,此时煤层开始逐渐变薄,范围变小,随着物源的第2次丰富期的到来,河道开始变宽,煤层的分布也越来越局限,从此进入第2个旋回期。

5 结论

(1)红台地区为一背斜构造单元,其中侏罗统主要发育三间房组和七克台组,三间房组划分为S1、S2、S3、S4、S5共5个砂层组,七克台组划分为Q1、Q2共2个砂层组,主要发育有湖泊相的滨浅湖亚相和辫状河三角洲相等沉积相类型。

(2)研究区发育2期较为明显的低位煤层,第1套煤层发育于三间房组S4砂层组和S3砂层组的下

部,第2套煤层发育于三间房组 S1 和七克台组 Q2 砂层组;由于煤层发育的旋回性特点,以及煤层中硅质碎屑含量也存在的旋回性变化,所以煤层能够作为一种层序边界的识别和对比标志。

(3)在经典层序地层学和成因层序地层学基础上,研究层段划分为2个半三级层序,从西山窑组的上部地层开始到三间房组 S4 砂层组的下部地层为层序Ⅰ,层序Ⅱ从三间房组的 S4 砂层组到七克台组的下部,层序Ⅲ在研究层段内发育不完善,仅在七克台组发育低位域、湖侵域以及高位域的一部分。

参考文献:

- [1] 邱荣华. 层序地层学译文集[M]. 北京:石油工业出版社, 1996:103-120.
- [2] 国景星,戴启德,吴丽艳,等. 冲积河流相层序地层学研究[J]. 石油大学学报:自然科学版,2003,27(4):15-19.
- [3] 操应长,姜在兴,夏斌,等. 利用测井资料识别层序地层界面的几种方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,2003,27(2):23-26.
- [4] 彭立才,杨慧珠. 柴达木盆地大煤沟侏罗系剖面高分辨率含煤层序分析[J]. 西安石油学院学报:自然科学版,2002,17(1):6-10.
- [5] 纪友亮,张世奇. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京:地质出版社,1998:108-156.
- [6] 沈守文,彭大钧,颜其彬,等. 层序地层学预测隐蔽油气藏的原理和方法[J]. 地球学报,2000,21(3):300-305.
- [7] 邵磊,李文厚,袁明生,等. 吐鲁番—哈密盆地陆源碎屑沉积环境及物源分析[J]. 沉积学报,1999,17(3):435-441.
- [8] 李勇,邵磊. 吐哈盆地侏罗系沉积特点及油气资源[J]. 西北大学学报:自然科学版,2004,34(6):698-702.
- [9] 袁明生,牛仁杰,焦立新,等. 吐哈盆地前陆冲断带地质特征及勘探成果[J]. 新疆石油地质,2002,23(5):376-379.
- [10] 周丽清,吴胜和,熊琦华,等. 吐哈盆地 WM 油田辫状河三角洲前缘砂体分析[J]. 沉积学报,2000,18(2):248-252.
- [11] 刘海涛,卫延召,张光亚,等. 准噶尔盆地白家海地区侏罗系聚煤作用与层序地层[J]. 天然气地球科学,2006,17(6):802-806.
- [12] 李红哲,杨占龙,吴青鹏,等. 沉积相分析在岩性油气藏勘探中的应用——以吐哈盆地胜北洼陷中侏罗统一白垩系为例[J]. 天然气地球科学,2006,17(5):698-702.
- [13] Frazier D E. Depositional Episodes: Their Relationship to the Quaternary Stratigraphic Framework in the Northwestern Portion of the Gulf Basin [R]. Austin University of Texas: Bureau of Economic Geological Circular 74-1, 1974:1-28.
- [14] 李红哲,何琼英,吴青鹏,等. 高分辨率层序地层学在吐哈盆地浅层中的应用[J]. 天然气地球科学,2006,17(1):102-105.
- [15] Jervey M T. Quantitative geological modelling of siliciclastic rock sequences and their seismic expressions[C]//Wilgus C K. Sea-level Changes: An Integrated Approach, SEPM Special publication, 1988, 42:47-69.
- [16] Tankard A J. Depositional response to foreland deformation in the Carboniferous of eastern Kentucky[J]. AAPG, Bulletin 1986, 70(7):853-868.

An Example of Coal Bed as the Stratigraphic Sequence Border in Continental Basin of China: Taking the Middle Jurassic of Hongtai Area, Tuha Basin for Example

YUAN Bo^{1,2}, CHEN Shi-yue¹, XIA Yu²

(1. School of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. Institute of Geophysics, Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Urumqi 830011, China)

Abstract: The theory of the coal bed as the stratigraphic sequence border in a continental basin has been put forward abroad. For the purpose of combining this theory with the specific circumstances of the continental basin in China, we apply this theory to the study of the sequence stratigraphy in the Hongtai area, Tuha basin. We utilize the information about logging data, drill core and drilling data to analyze the division of lithostratigraphy and the sedimentary facies in the study area. The research formation is Sanjianfang Formation and Qiketai Formation in Middle Jurassic. And the main sedimentary facies are shore-shallow lacustrine sub-facies and braided-river delta facies. There are two coal-developing stages of LST in the study area, and each stage presents the cyclicity feature, the siliciclastic content in the coal bed also presents the cyclicity feature, so the coal bed as the stratigraphic sequence border in continental basin in China is feasible. Finally, we divide stratigraphic sequence in the work area, and the research formation is divided into two and half third-order sequences.

Key words: Tuha basin; Hongtai area; Stratigraphic sequence; Coal bed; Identification sign.