

文章编号: 1009-3850(2015)01-0096-07

常年流水型砂质辫状河心滩坝内部落淤层展布样式探讨

陈玉琨^{1,2}, 吴胜和¹, 王延杰², 毛平², 龙明¹

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 利用露头和现代沉积资料, 综合前人研究成果, 分析认为常年流水型砂质辫状河落淤层的展布特征主要受心滩坝演化以及后期多次冲刷改造的影响, 其中心滩坝演化对落淤层分布的影响最为重要。在此基础上, 利用沉积学原理, 重点从心滩坝演化的角度出发, 通过单因素分析、多因素组合讨论了不同沉积作用条件下落淤层的保存及分布, 建立了落淤层的 3 种总体分布样式, 即近穹窿式、近水平式和单向倾斜式, 并给出了地下表征的基本思路。这一研究可以为地下同一沉积模式的砂质辫状河储层内部落淤层的精细表征提供模式指导。

关键词: 砂质辫状河; 落淤层; 心滩坝; 沉积作用

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

辫状河沉积类型多样, 根据沉积物性质的不同, 通常可分为砾质辫状河和砂质辫状河。以 Mail 为代表的河流沉积学家进一步对砂质辫状河进行了系统的分类研究。本文主要针对一类最典型且在我国东部各油田中广泛分布的常年流水的砂质辫状河, 特别是指心滩坝的发育演化相对较为稳定的河型展开讨论。随着我国各大主力油田开发程度的逐渐深入, 砂体内部夹层对剩余油分布的控制作用已成为进一步研究的重点。已有学者利用数值模拟、物理模拟等手段明确了砂体内部不同产状夹层(如单斜状、水平状)对剩余油分布的控制作用^[1-2]。辫状河(这里指常年流水型砂质辫状河, 下文同)砂体内部隔夹层类型多样, 包含泛滥平原细粒沉积、心滩坝内部落淤层、河道内部滞留层等, 其中落淤层是一类较为重要的夹层。然而, 与对曲流河点坝砂体内部侧积层的分布样式研究^[3-4]相比, 辫状河心滩坝内部落淤层的分布样式及机理尚未见有深入研究, 现有的研究主要是通过露头、现代沉积以及密井网资料, 进行夹层分布样式描

述^[5-9]与总结^[10]以及夹层密度和夹层钻遇率的分析^[11]等。因此, 本文从大同地区中侏罗统云冈组辫状河沉积露头入手, 结合现代沉积, 在总结落淤层分布样式的基础上, 分析影响落淤层分布的因素, 探讨落淤层的保存机理, 建立落淤层的分布样式。这一研究不仅具有重要的地质学理论的意义, 而且具有重要的实践意义, 可以为精细解剖地下砂质辫状河储层内部落淤层的分布样式(如同一心滩坝内部多井钻遇的落淤层是否应组合为连片展布时)提供模式指导。

1 露头区落淤层分布特征

本文研究的辫状河沉积露头地处山西省大同市郊, 云冈石窟附近, 共出露 4 条露头剖面(图 1), 均属于中侏罗统云冈组, 露头区物源方向为北东-南西向^[12]。根据邻近的标志性景点分别将其命名为石窟剖面、晋华宫剖面、铁路桥剖面 and 吴官屯剖面。在对剖面进行精细观测描述的基础上, 以砂体形态(底平顶凸)、岩相突变面为识别标志, 进行了心滩

收稿日期: 2014-08-05; 改回日期: 2014-11-18

作者简介: 陈玉琨(1983-) 博士生, 油气田开发地质。E-mail: cyk_117@petrochina.com.cn

资助项目: 国家科技重大专项“复杂油气藏精细表征与剩余油分布预测”(编号: 2011ZX05009-003) 项目资助

坝的识别。以吴官屯剖面中发育的心滩坝(图2)和铁路桥剖面中发育的心滩坝(图3)为例,说明落淤层的分布样式。

图2中落淤层在剖面可视范围内,沿心滩坝内部垂积体之间的界面呈横向近水平连续分布,坝边缘(约占坝总宽度的十分之一左右)不发育。落淤层岩性以泥质细粉砂岩为主,界面处可见小泥砾;厚度约为10~25cm,横向延伸范围在10~55m之间。垂向共发育4条落淤层,底部落淤层横向延伸范围小,中部落淤层延伸范围最大,顶部落淤层的延伸范围逐渐减小,连续性变差。图3中落淤层在心滩坝内部呈单向倾斜分布,倾角变化较大,约为2~10°。岩性以泥质细粉砂岩为主;厚度约为5~45cm。在剖面可视范围内,垂向上共发育两条落淤层,底部落淤层延伸范围小,上部落淤层延伸范围大,且存在被沟道冲刷切割的现象。



图1 山西大同市云冈地区辫状河露头地理位置

Fig.1 Location of the braided channel outcrops in the Yungang region, Datong, Shanxi

通过对露头的观察分析发现,辫状河的心滩坝及其内部落淤层的分布复杂,下面就一些现象做简单分析总结如下。(1) 辫状河道与心滩坝的相互改造作用较为明显。如图3中槽状交错层理砂岩相(St)和板状交错层理砂岩相(Sp)在坝边缘存在叠置关系。心滩坝和辫状河道两者之间不存在明确的物理界面,仅存在互相穿插的现象,反映了辫状河道与心滩坝之间的频繁冲刷改造作用。这与前人研究的关于心滩坝演化的认识是一致的^[13-15];(2) 心滩坝内部垂积体之间的界面明显,普遍发育落淤层;(3) 尽管不同期次落淤层延伸范围差异较大,但不超过心滩坝的发育范围。

2 影响落淤层分布的主控因素

钱宁研究认为,当高含泥、砂量的水流经过相对宽、浅的河段时,一般不能维持平衡地输送泥砂,

分选落淤现象十分显著,包括粒径小于0.01mm的极细泥砂也会大量落淤^[16]。特别是在洪泛事件末期,水动力的快速减弱,由于沉积分异作用,在心滩坝顶部(特指平水期会出露水面的部分)会大范围沉积细粒的悬浮物质,即落淤层。因此,就落淤层的发育条件而言,辫状河的每次洪泛事件都会在出露水面的心滩坝顶部形成落淤层,落淤层的展布范围、形态自然就受控于该时期心滩坝的展布范围与形态。然而,综合前人研究成果(如文献^[5]中图4、文献^[17]的图4)以及本次露头观测发现,在单一心滩坝内部常仅出现1至4条落淤层,且存在多种展布形态,如近水平状、单斜状等。这一现象说明,落淤层的保存条件应该是影响其后期分布的主控因素。

进一步通过露头和现代沉积观察到的现象,可以把影响落淤层展布的保存条件概括为以下两个方面:(1) 落淤层的分布宏观上受控于心滩坝的展布范围。而辫状河道的持续冲刷改造作用,会导致心滩坝的生长和运移,并同时早期形成的落淤层产生影响(图4);(2) 受坝上沟道的冲刷影响。平水期发育在心滩坝顶部的坝上沟道,会冲刷、改造早先形成的落淤层,并因此导致在坝顶连片分布的落淤层被分割成局部连片分布(图5)。

3 影响落淤层分布的保存机理

根据上文分析的影响落淤层分布的主控因素可知,坝上沟道仅起到局部切割改造的作用,而后期心滩坝与辫状河道的相互作用(可以狭义地理解为心滩坝的生长发育及消亡)对落淤层的分布起着决定性的影响。辫状河主要的沉积作用包括垂向加积、顺(逆)流加积、侧向加积、漫积和填积等^[18],无论是物源的持续增加或者减小,在不影响辫状河河流类型的前提下,对心滩坝的发育起重要作用的总是前3种加积作用,并因此形成不同类型的心滩坝。因此,本文以一个完整覆盖了落淤层的心滩坝为例,从单因素沉积作用的影响角度讨论落淤层的展布机理,为下一步总结不同类型心滩坝内部落淤层的分布模式提供依据。

在顺流加积作用为主的条件下,心滩坝走向与水流方向一致,辫状河道一方面对心滩坝头部和两侧产生侵蚀作用,另一方面其携带的沉积物在越过心滩坝后开始卸载并使得心滩坝逐渐向前堆积。多个现代沉积的观测实践证明^[16],在大型洪水期,心滩坝会顺流迁移,并由此导致心滩坝顶部的落淤

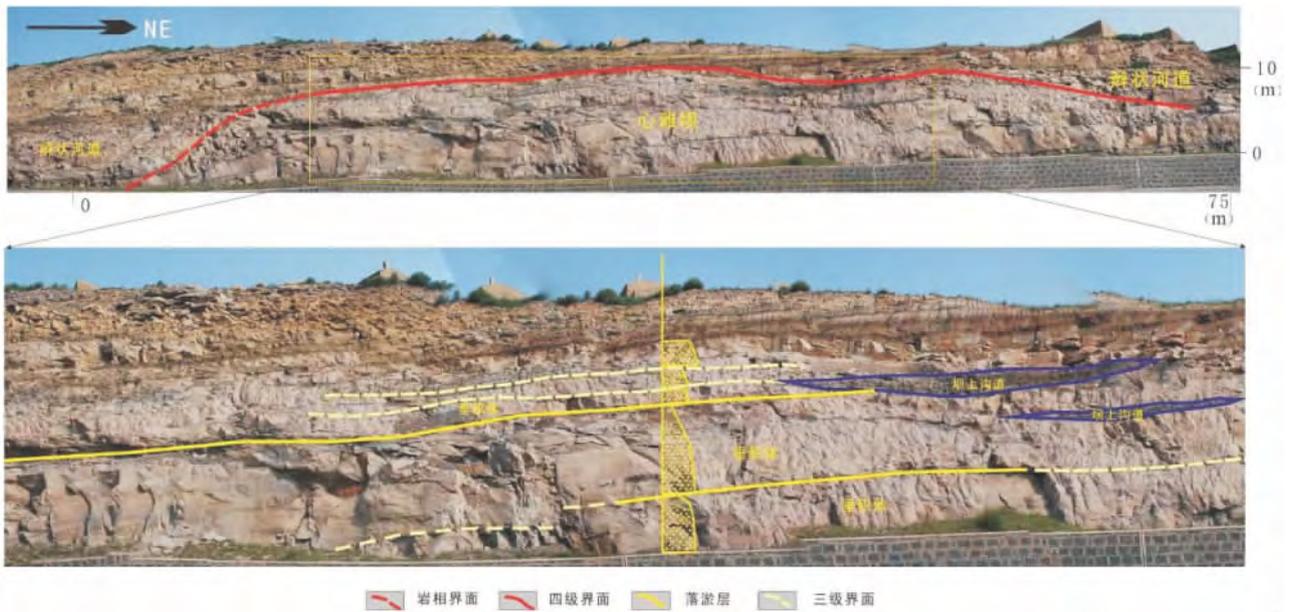


图2 吴官屯剖面心滩坝及其内部近水平分布的落淤层

Fig.2 Channel bar and subhorizontal fall-siltseams in the Wuguantun section

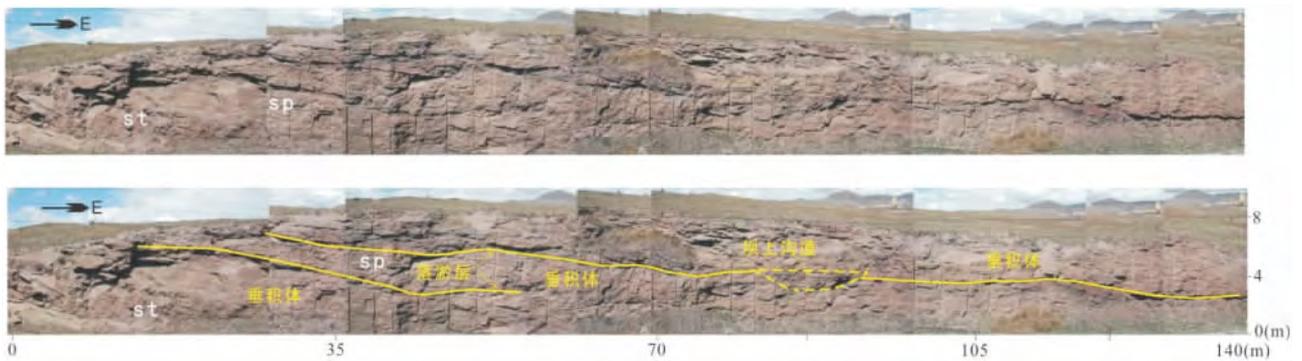


图3 铁路桥剖面心滩坝及其内部单向倾斜分布的落淤层

Fig.3 Channel bar and monoclinal fall-siltseams in the Tieluqiao section

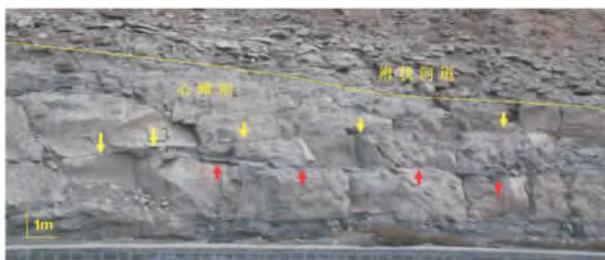


图4 落淤层后期被改造的表现(图中箭头所指的为落淤层)

Fig.4 Reworked fall-siltseam (The arrows indicate the fall-siltseams)

在迎水面和坝顶被侵蚀,而在背水面有部分残余。洪水后,会形成新的稳定分布的心滩坝,并在坝顶发育新的落淤层,覆盖整个心滩坝的顶面(图6A)。之后,在流量相对稳定期,持续的顺流加积会促使心

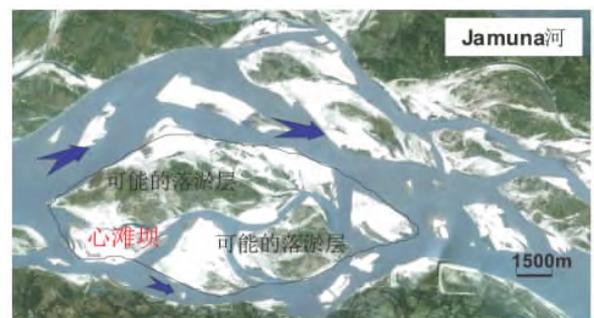


图5 现代沉积卫星照片展示的坝上沟道对落淤层分布的影响

Fig.5 Distribution patterns of the fall-siltseams indicated by satellite photograph of modern sediments

层滩坝缓慢生长,其中顺流生长较为显著,侧向上则相对不甚明显^[19],可能会发育规模较小的沟道或非常局限的界面,如图2心滩坝顶部发育的界面。

垂向加积作用为主的条件下,心滩坝的沉积受一年一次洪水的影响。通常这种洪水的能量相对较小,一方面水动力条件不足以大面积冲刷改造坝顶的落淤层,可能仅存在沟道的切割作用(图3中连续的细粒沉积);另一方面,洪水期携带的沉积物会逐渐在坝顶沉积并覆盖落淤层,形成一定的“保护”作用。垂向加积作用为主时,心滩坝发育较为稳定,逐渐增宽增大。多次大型洪水形成的落淤层会镶嵌在心滩坝砂体内,呈近水平分布的特征,受心滩坝生长的影响,自下而上,落淤层的分布范围逐渐增大(图6B)。

在侧向加积作用为主的条件下,心滩坝两侧水流强度、对称性都存在较大的差异,洪水期,心滩坝靠近主河道的一侧受水流冲刷作用强,落淤层保存条件差,常被侵蚀;心滩坝靠近支河道的一侧受水流冲刷作用弱,落淤层保存条件好,进一步受坝顶面形态的影响^[6],常形成单向倾斜的夹层,夹层倾向加积的方向(图6C)。

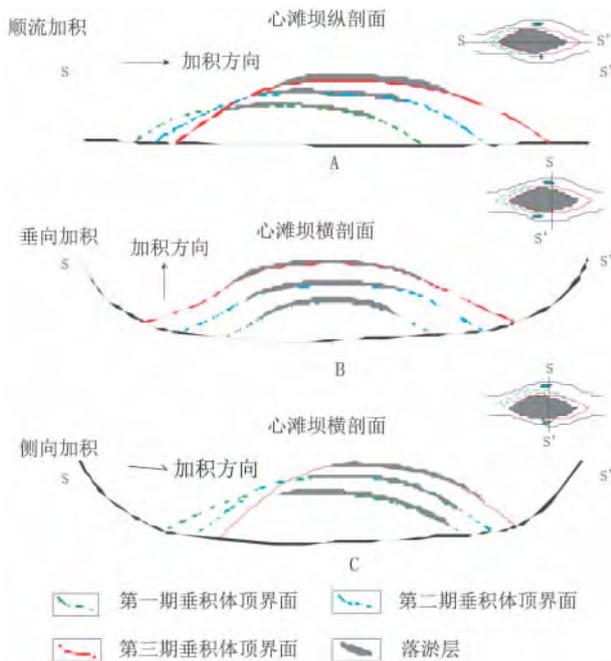


图6 单因素沉积作用对落淤层保存的影响

Fig. 6 Preservation styles of the fall-siltseams influenced by the monofactor deposition

4 落淤层分布样式

由机理分析可知,心滩坝内部落淤层的分布受后期沉积作用以及坝顶面形态的综合影响,而不同类型心滩坝(如纵向砂坝、斜列砂坝等)的坝顶面形态以及主要沉积作用不同,并且同一类型的心滩坝

不同部位的主要沉积作用也有差异,因此导致心滩坝内部落淤层的发育甚为复杂。下文以不同类型的心滩坝为例,从影响其发育的最主要沉积作用入手,总结其内部落淤层的分布模式。

4.1 穹窿式

其主要特征为,单期落淤层近穹窿分布,多期之间互相平行,自下而上落淤层分布范围从坝头至坝尾逐渐增大,该模式的落淤层主要发育在纵向砂坝内。纵向砂坝两侧发育高能对称水流,沉积作用主要以顺流加积作用和垂向加积作用为主。在一般年份,心滩坝在持续顺流生长的同时,其头部被冲刷,落淤层随之被侵蚀,同时在心滩坝顶部和尾部发生加积,对该处的落淤层起到一定的“保护”作用;在发生大型洪水的年份,洪泛作用一方面继续冲刷坝头部的落淤层。同时在新形成的心滩坝顶部发育一期新的落淤层,另该落淤层的展布范围受控于新形成的心滩坝,通常比更早一期的落淤层展布范围大。在随后的沉积过程中不同期次的落淤层被持续侵蚀,同时发育新的落淤层,在心滩坝不同部位表现出不同的分布特征。由于纵向砂坝通常规模较大,坝体相对较高,落淤层在坝中部和坝两侧的倾角可能相差较大,最终形成近穹窿式分布的落淤层(图7)。

4.2 水平式

其主要特征为,单期落淤层近水平对称分布,多期落淤层之间近平行,单期落淤层分布范围从坝头至坝尾逐渐增大,该模式的落淤层主要发育在横向砂坝内。横向砂坝的主要沉积作用以顺流加积和垂向加积为主,与纵向砂坝的区别在于其两侧受低能对称水流的影响。一般年份,心滩坝在持续顺流生长的同时,也会发生小规模逆流加积,因此心滩坝呈“放射式”生长,同时,分布在头部和侧面迎水区的落淤层被侵蚀;在发生大型洪水的年份,一方面持续冲刷坝头部和侧面迎水区的落淤层,一方面在新的心滩坝顶部生成落淤层。在随后的沉积过程中落淤层持续发育、被侵蚀,在心滩坝不同部位表现出不同的分布特征,最终形成近水平式分布的落淤层(图8)。其与穹窿式的不同之处在于横向砂坝中央高度与坝缘高度之比通常小于纵向砂坝,因此,坝中部落淤层和坝两侧落淤层的倾角与纵向砂坝内部发育的落淤层倾角相比相对更为平缓。

4.3 单向倾斜式

其主要特征为,落淤层倾斜分布,倾向水流方向。该模式落淤层主要发育在斜列砂坝内。斜列

砂体受高能不对称水流冲刷,主要以侧向加积和垂向加积为主。洪水期落淤形成的覆盖坝顶且对称分布的细粒物质,在平水期由于靠近主流线的一侧侵蚀作用强。落淤层常被削截,仅保留靠近辫流带边部一侧的落淤层,因此形成单向倾斜分布的夹层(图9)。

5 结论与建议

(1) 影响落淤层分布的主控因素主要为后期保存条件。落淤层分布特征受滩坝演化和坝上沟道

冲刷改造的影响。其中,不同类型心滩坝的形成演化是落淤层分布模式的最主要因素。

(2) 通过沉积作用单因素分析与辫状河道水流强度、对称性进行多因素分析,建立了落淤层的3种分布样式:纵向砂坝内最发育的近穹窿式落淤层、横向砂坝内最发育的近水平式落淤层、斜列砂坝内部最发育的单向倾斜式落淤层。

(3) 在研究地下储层的实际应用中,可以通过层次分析、模式拟合的构型表征思路,在识别单一辫流带边界以及心滩坝展布范围的基础上,通过心

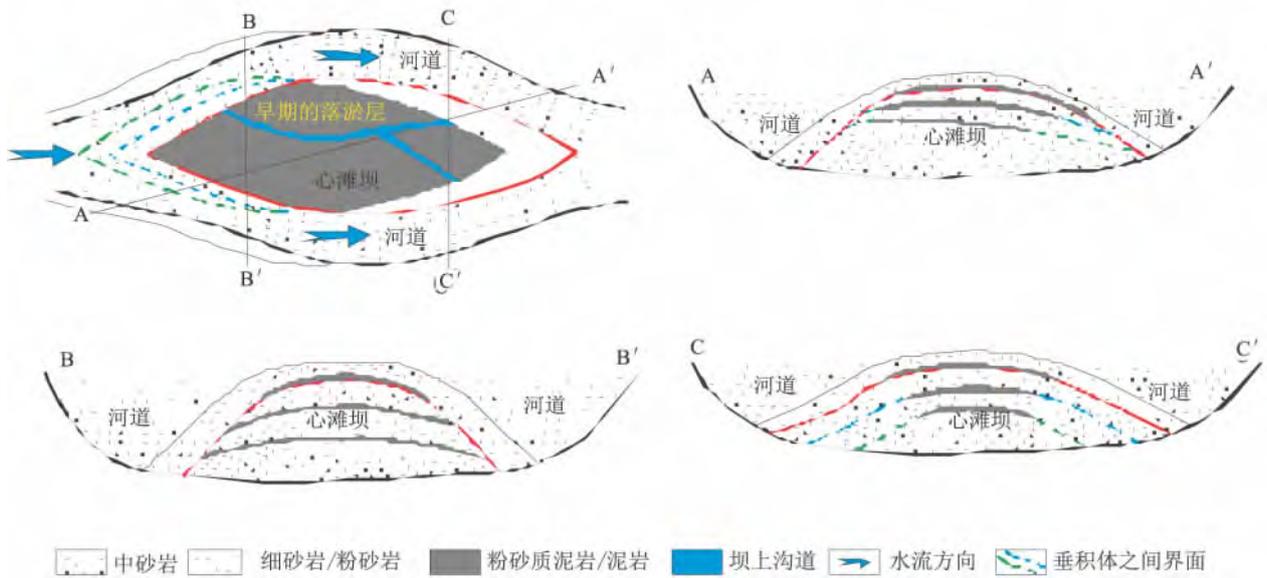


图7 典型纵向砂坝内落淤层分布模式

Fig. 7 Distribution patterns of the fall-siltseams in the representative longitudinal bars

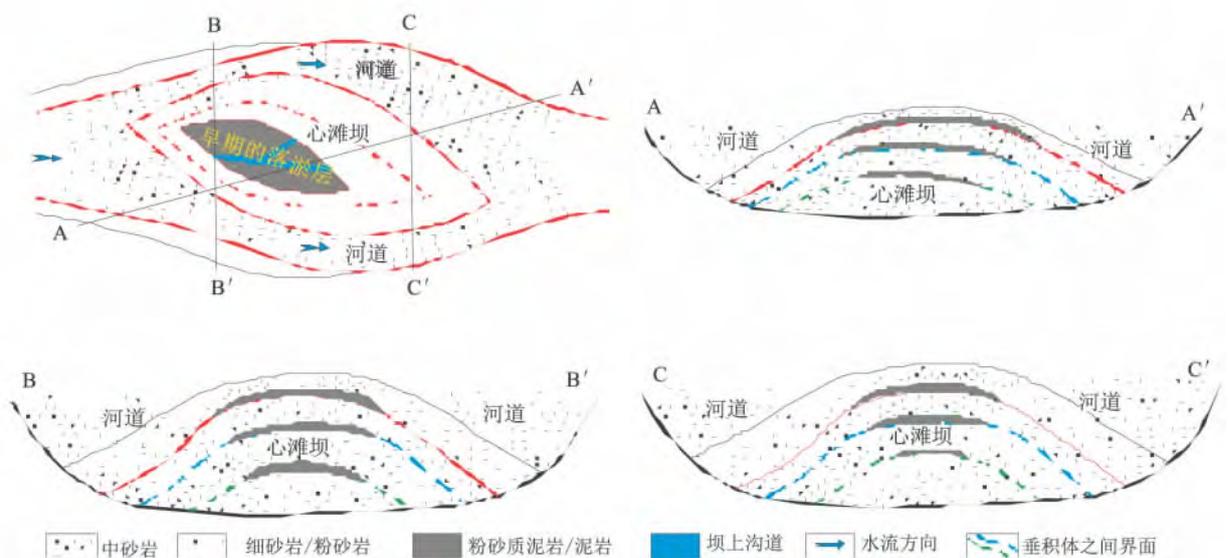


图8 典型横向砂坝内落淤层分布模式

Fig. 8 Distribution patterns of the fall-siltseams in the representative transverse bars

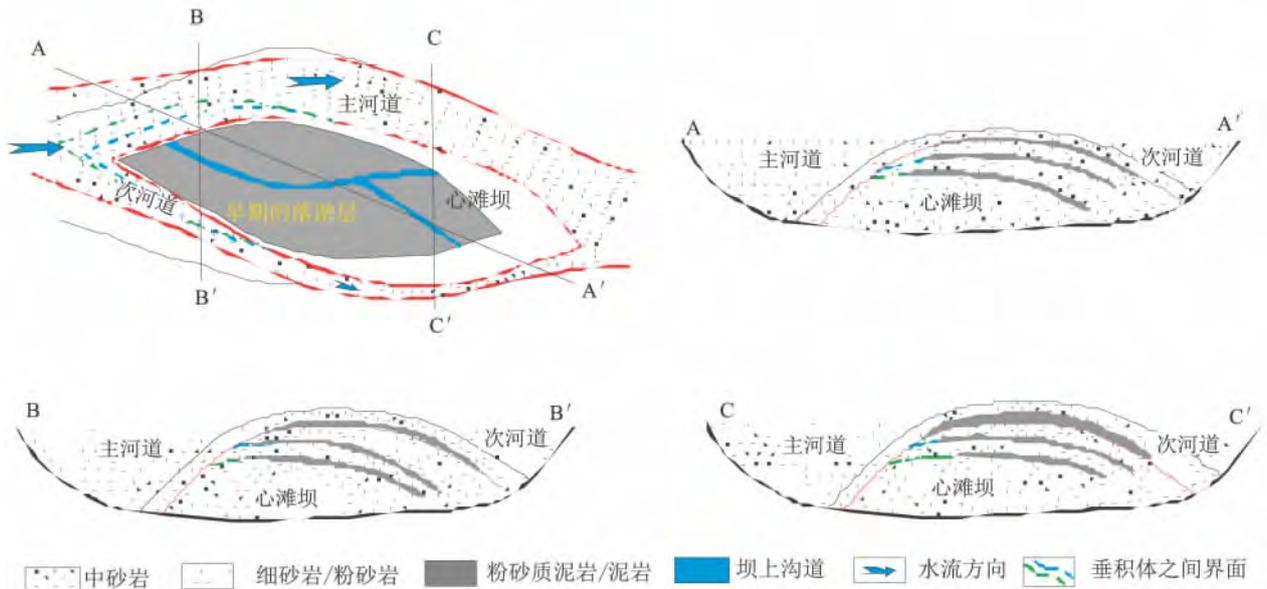


图9 典型斜列砂坝内落淤层分布模式

Fig.9 Distribution patterns of the fall-siltseams in the representative en echelon bars

滩坝与辫流带边界的组合关系,判断心滩坝类型,从而定性地判断落淤层的展布模式,同时,可通过密井网区多井模式拟合定量判断落淤层倾角,拟合地下落淤层的展布。由于后期可能存在的砂质充填坝上沟道的冲刷影响,心滩坝范围内个别井可能无明显的落淤层响应特征,落淤层在整体展布形态不变的前提下,可以表现为被切割的局部连片状。

参考文献:

- [1] 熊琦华,王志章,吴胜和等. 现代油藏地质学-理论与技术篇[M]. 北京: 科学出版社 2010. 143-148.
- [2] 岳大力,赵俊威,温立峰. 辫状河心滩内部夹层控制的剩余油分布物理模拟实验[J]. 地学前缘 2012, 19(2): 157-161.
- [3] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 23-35.
- [4] 尹燕义,王国娟,祁小明. 曲流河点坝储集层侧积体类型研究[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(2): 37-40.
- [5] 廖保方,葛云龙,逯径铁等. 辫状河现代沉积研究与相模式-中国永定河剖析[J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 34-39.
- [6] BEST J L, ASHWORTH P J, BRISTOW C S et al. Three-dimensional sedimentary architecture of a large mid-channel sand braid bar, Jamuna river, Bangladesh [J]. Journal of Sedimentary Research 2003, 73(4): 516-530.
- [7] BRIDGE J S, TYE R S. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores [J]. AAPG Bulletin 2000, 84(8): 1205-1228.
- [8] 曹耀华,张春生,刘忠保等. 长江枝江段凤凰滩现代沉积特征[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(4): 8-14.
- [9] LYND S R, HAJEK E. Conceptual model for predicting mudstone dimensions in sandy braided-river reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(8): 1273-1288.
- [10] 姜香云. 河流相储层构型分析与剩余油分布模式研究-以孤东油田七区西馆上段为例[D]. 北京: 中国石油大学(北京) 2007.
- [11] 王改云,杨少春,廖飞燕等. 辫状河储层中隔夹层的层次结构分析[J]. 天然气地球科学 2009, 20(3): 378-383.
- [12] 王随继. 大同盆地中侏罗世河流沉积体系及古河型演化[J]. 沉积学报 2001, 19(4): 501-505.
- [13] 刘忠保,张春生,汪崎生. 拓宽河段心滩形成与演变的实验模拟[J]. 江汉石油学院学报, 1997, 19(2): 18-22.
- [14] BRIDGE J S. Fluvial facies models: recent developments [J]. Society for Sedimentary Geology 2006, 84(1): 83-168.
- [15] ASHWORTH P J, BEST J L, RODEN J E, et al. Morphological evolution and dynamics of a large sand braid-bar, Jamuna river, Bangladesh [J]. Sedimentology 2000, 47(3): 533-555.
- [16] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 160-220.
- [17] 刘钰铭,候加根,王连敏等. 辫状河储层构型分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版) 2009, 33(1): 7-11.
- [18] 于兴河,马兴祥,穆龙新等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析[M]. 北京: 石油工业出版社 2004. 56-58.
- [19] 赖志云. 荆江三八滩现代沉积特征-兼论滩体的成因、演变[J]. 江汉石油学院学报, 1988, 2: 1-32.

(下转第112页)

提高煤炭清洁、高效利用水平,转变能源供应模式,实现江苏省产业结构调整、能源结构优化,促进矿业经济转型,是江苏省煤炭资源开发利用的一条新路子。

- [1] 江苏长江地质勘查院. 江苏省煤矿资源利用现状调查成果汇总报告[R]. 南京: 江苏长江地质勘查院, 2011.
- [2] 黄温刚, 王作棠, 辛林. 从低碳经济看我国煤炭地下气化的前景[J]. 矿业研究与发展, 2012, 32(2): 32-50.

参考文献:

Current states and proposals for the exploitation and utilization of the coal resources in Jiangsu

PING Li-hua, MENG Yun-ping, PAN Shu-ren, SUN Sheng-bin, WANG Ke-xin
(*Jiangsu Bureau of Coal Geology, Nanjing 210046, Jiangsu, China*)

Abstract: In the light of the distribution of coal resources and current states of exploitation and utilization, the up-to-date underground coal gasification (UCG) high-tech is selected to open a new model for the exploitation and utilization of coal resources in Jiangsu aiming at the prerequisites of a safe, efficient and environmental protection priority. In the present paper, five advantages for the underground coal gasification are proposed and will explore a new way for the development and utilization of coal resources in Jiangsu.

Key words: underground coal gasification; coal resource; exploitation and utilization; proposal; Jiangsu

(上接第 101 页)

Distribution patterns of the fall-siltseams in the channel bar of the perennial sandy braided river: An approach

CHEN Yu-kun^{1,2}, WU Sheng-he¹, WANG Yan-jie², MAO Ping², LONG Ming¹

(1. *College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Oil Field Company, Karamay 834000, Xinjiang, China*)

Abstract: According to the sedimentological principles and existing data, the preservation and distribution of the fall-siltseams in the channel bar of the perennial sandy braided river are discussed in this study with the aid of monofactor and multi-factor analysis, and three types of distribution are constructed for the fall-siltseams, i. e., the fornix type, subhorizontal type and monoclinical type. These distribution patterns of the fall-siltseams are mostly influenced by the channel bar evolution and successive erosion and reworking in the perennial sandy braided channels. The results of research in this study have assisted in the refinement of the model for the fall-siltseams in the subsurface sandy braided river reservoir rocks, and thus have important practical significance.

Key words: sandy braided river; fall-siltseam; channel bar; deposition