

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0294-05

鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组长 6 期湖盆坡折带特征及其地质意义^①

傅 强¹ 李 益²

(1. 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092 2. 北京恒泰艾普石油勘探开发技术有限公司 北京 100084)

摘 要 鄂尔多斯盆地晚三叠世湖盆西南缘及东北缘发育典型拗陷型湖盆坡折带。研究表明,在北东缘具有多级缓坡坡折带特征,坡度 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$,宽度 15~25 km;西南缘具有单一陡坡坡折带特征,坡度 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$,宽度 10~20 km。由于受湖盆收缩原因影响,坡折带平面展布局部会发生变化。与此同时,坡折带在对地层的超覆叠置、岩性纵向组合以及沉积体的纵横向展布上均具有重要的控制作用。以坡折带特征研究为基础,建立坡折带控制非构造圈闭展布模式,对于指导鄂尔多斯盆地晚三叠世地层的油气勘探具有重要意义。

关键词 鄂尔多斯盆地 晚三叠世 拗陷湖盆 坡折带 非构造圈闭

第一作者简介 傅强 男 1964 年出生 教授 博士生导师 石油地质与储层地质学 E-mail: fuqiang@tongji.edu.cn

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

0 引言

坡折带泛指从坡折和坡脚及其附近的明显受斜坡地形控制的侵蚀和沉积作用活跃地带^[1]。广义的坡折带是个地貌学概念,不论在沉积盆地中还是在剥蚀区都可能发育,其中坡折带的几何特征主要由陡坡带的坡度、宽度、高差、长度以及坡折水深等特征来刻画。这些参数对沉积基准面变化有重要影响,是控制沉积作用及沉积体系的关键因素^[2]。

对于坡折带的研究,前人已经取得大量行之有效的成绩。林畅松提出长期活动的同沉积构造形成的“构造坡折带”控制着湖盆沉积层序和沉积体系域的发展演化^[3]。王英民等对准噶尔盆地、松辽盆地、济阳拗陷的研究后提出多级坡折带模式和坡折带控层、控相、控藏模式^[4,5]。樊太亮等在渤海湾盆地胜海地区东营组中曾识别出多级断裂坡折带,并在深切谷砂体中成功地找到岩性油气藏^[6]。张善文和李阳等提出应用坡折带理论指导陆相湖盆斜坡带非构造油气藏勘探^[7]。刘晖等利用水槽模拟对沉积坡折带控制沉积作用进行定量模拟试验研究,总结出两个坡折沉积富集区概念^[8]。但是前人的研究多集中在断陷湖盆中断裂坡折的研究,对于拗陷湖盆坡折带的研究为数不多^[9-11]。鄂尔多斯盆地作为大型拗陷湖盆,是

否具有拗陷湖盆坡折带,应当是整个湖盆坡折带理论的重要组成部分。随着勘探程度的深入,寻找非构造圈闭已成为勘探主要目标。因此,进行鄂尔多斯盆地晚三叠世拗陷湖盆坡折带特征研究对于指导油气勘探具有重要的理论和实际意义。

1 坡折带类型及识别

按照坡折带的成因可将坡折带分为构造坡折带、侵蚀坡折带和沉积坡折带三种主要类型。坡折带的共性特点是上缓、中陡、下缓。坡折带坡顶及坡脚的可容空间形态复杂多变,往往使沉积相带和沉积厚度发生突变,对层序的发育具有重要控制意义。

沉积坡折带 (depositional slope-break) 是构造稳定的背景下,由于大规模的物源供给形成的地貌突变。由于沉积物快速充填,湖盆的深水域逐渐退缩,深水与浅水带之间形成明显坡折的沉积古地形,后期在此基础上发育起来的沉积层序。这种类型的层序在发育过程中,受构造控制较小,主要受沉积物供给、气候等因素影响。在三角洲平原与三角洲前缘的结合部一般形成沉积坡折带,在地震剖面上一般与前积反射的顶部相对应。一般情况下如果构造活动较强烈,那么盆地中构造坡折带往往控制了沉积坡折带的发育,使二者重合。只有在构造坡折带不发育的情况

①国家重大科技专项(编号:2008ZX05044)资助。

收稿日期:2008-12-25; 收修修改稿日期:2009-03-05

下沉积坡折带才会显著地表现出来。其特征是具有明显的 S 型前积结构,并于坡折带底部发育有低位域沉积,超覆在层序界面之上。

鄂尔多斯晚三叠世湖盆坡折带识别主要根据以下三种方法。一是在地震剖面上坡折带表现为 T_0 时间急剧变化的部位(如图 1);二是在地质剖面上表现为地层厚度的急剧变化部位(如图 2);三是在地层等厚平面图上由于地层厚度由坡折到坡脚急剧增厚,表现为在坡折带处等值线密集。鄂尔多斯盆地晚三叠世属于坳陷型湖盆,断层不发育,通过地震剖面、地层厚度变化图确定坡折带的类型、宽度、角度以及长度。确定鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆主要发育沉积坡折带或挠曲坡折带。

2 鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆坡折带特征

根据对鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆发育特点研究得出,盆地坡折带在剖面上具有正向阶梯状组

合、逆向阶梯状组合、沟谷组合等组合样式;在平面上具有梳状组合、斜交组合和平行组合等组合样式。

鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆坡折带表现为多级坡折带,它们在剖面上和平面上有不同的组合样式,这与深部构造背景和构造应力状态有关,在盆地不同的构造部位往往形成不同的组合样式(图 3)。在湖盆中,由于单个坡折带的规模较小,从而在纵向上,规模相近的坡折带往往容易多次出现,形成所谓多级坡折带。对于多级坡折带,显然有些坡折带可能会位于水上,有些则位于水下。即使其几何特征完全一样,但对沉积的控制作用有很大不同。研究表明,长 6 期湖盆中的不同坡折的几何特征往往相近,区别主要体现在坡折处水深上。而对其沉积响应的控制作用的差别也主要由此决定。

由于鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆西南部坡度比东北部大,属于陡坡型坡折带,所以在盆地西南部的坡折带在剖面模式上,主要以正向阶梯组合为主;在平面上以斜交组合为主。东北部由于地层倾斜度

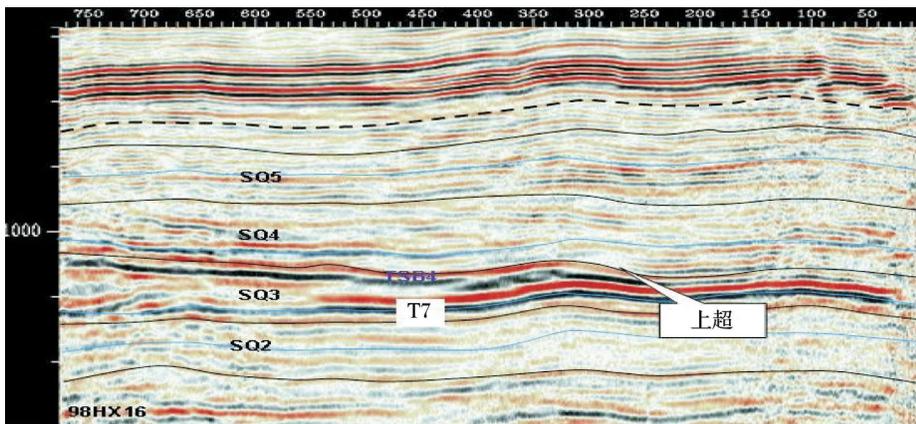


图 1 鄂尔多斯盆地 98HX16 地震测线上超显示坡折带

Fig 1 Slope break (onlap) on the 98HX16 seismic line of Ordos Basin

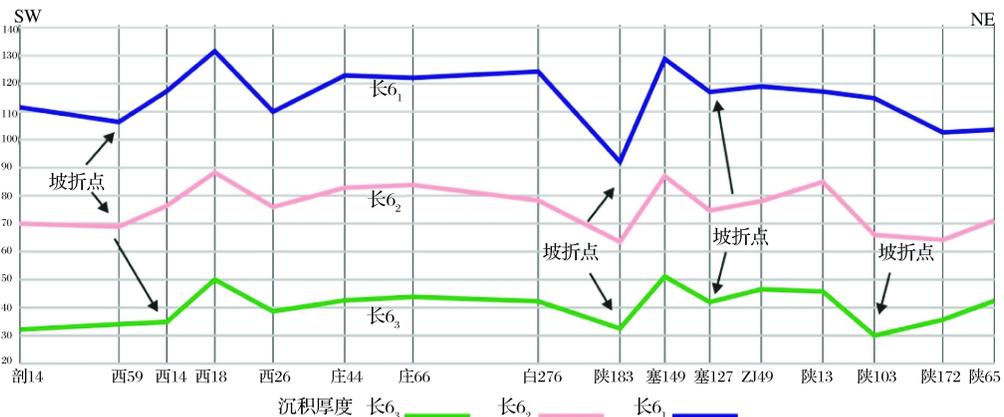


图 2 鄂尔多斯盆地长 6 期西南—北东向地层厚度变化趋势图

Fig 2 Formation thickness of Chang 6 variation from southwest to northeast in Ordos Basin

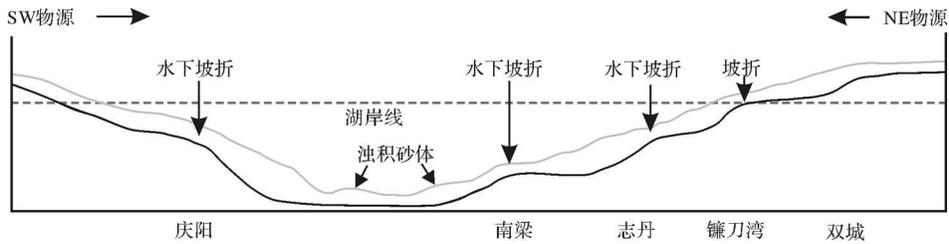


图 3 鄂尔多斯盆地多级坡折剖面模式

Fig 3 Multiple slope break section model of Ordos Basin

较平稳,属于缓坡型沉积坡折带,多级坡折发育,在剖面上不仅发育正向阶梯状组合,而且还可能发育逆向阶梯状组合,整体坡度平缓,属于典型坳陷湖盆坡折组合模;在平面上北东部主要以平行组合和斜交组合为主,局部发育梳状组合。

坡折带对砂体沉积具有明显控制作用,表现为平行于砂带,并且近似垂直于物源方向。坡折带在平面上展布基本保持与相带分界线平行。鄂尔多斯盆地长 6 期湖盆坡折带比较连续,研究得出总共发育 4 条。根据测算,北部坡折带坡顶到坡底的角度为 $0^{\circ}12'$,南部坡折带坡顶到坡底的角度为 $0^{\circ}49'$;如果考虑压实及下伏地层的坡度,实际北部坡折带的角度为 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$,南部坡折带的角度为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。上述坡折带的发育结果造成东北物源控制的华池以东地区坡度较缓,浊积岩不发育;而坡度较陡的西南辫状河三角洲和西缘扇三角洲前端广泛发育厚层块状浊积岩。

3 晚三叠世长 6 期湖盆坡折带展布演化

鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆坡折带共发育四

条,分别是垂直于西南物源方向发育一条,垂直于北西物源方向的发育三条。平面上的结构为斜交结构和平行结构为主。整体上西南坡折带处于稳定状态,北东坡折带由于是多级坡折带,地形相对平缓,变化的概率相对较大。结合长 6 期湖岸线及水深变化、物源与古水流资料,对长 6 各期坡折平面发育展布特征作详细分析(图 4)。

长 6 期湖盆垂直北东向物源方向确定出三条坡折线,分别是东西向长茂滩—宁条梁—靖边—乔沟湾—王家湾坡折带,中间宽向两头逐渐尖灭,坡折带坡度相对较缓,坡度平均,坡折带宽度为 15~ 20 km,在宁条梁和王家湾处坡度较大,也是本期北东物源坡折坡度最大处。杨井—大路沟—杏河坡折带,这条坡折带属于向西较快速尖灭、向东南缓慢尖灭的坡折带,宽度在 16~ 22 km 左右。上述这两条坡折带属于平行组合结构。坡折带坡度由中间向两侧缓慢减小,坡折长度也是中间最宽,向两侧依次减小。马家山—吴旗—张岔坡折带,宽度在 15~ 25 km 间,属于典型水下坡折带,几乎平行于深湖界限,坡折坡度相对较缓,向两侧都保持相对平稳状态,坡折带坡度也相对

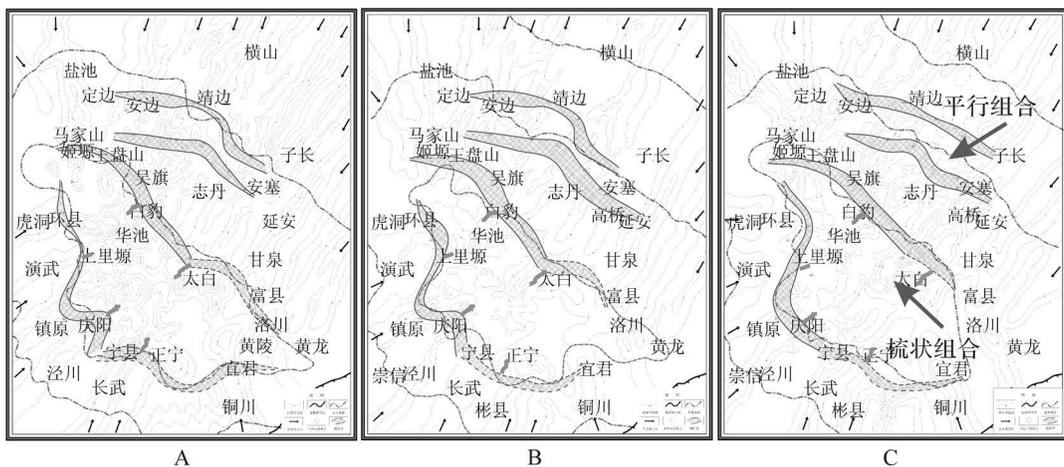


图 4 鄂尔多斯晚三叠世长 6 湖盆坡折带展布特征

(A. 长 6 期, B. 长 6 期, C. 长 6 期)

Fig 4 Slope break distribution of Late Triassic Chang 6 stage in Ordos Basin

(A. Chang 6, B. Chang 6, C. Chang 6)

均匀,但是坡度小于前两条坡折带坡度。垂直于西南物源方向确定出一条坡折带。为环县—贺旗—孟坝—庆阳—宁县以及延伸预测的正宁—宜君坡折带,属于单一坡折陡坡类型,坡度比较陡;中间最宽为 20 km,向两边变窄,向北收缩到木钵处基本上消失,不存在坡折,继续向北存在一段坡度与长度不大的坡折带;向东坡折带逐渐尖灭,坡折带收缩至 10 km 以内。

进入长 6 期,由于湖盆水体的进一步萎缩,无论是处于基准面下降还是基准面上升初始阶段,均表明湖平面下降或开始上升的低迷状态,进积型大型三角洲发育。马家山—吴旗—张岔坡折带由马家山向湖盆中心方向推移至姬源,其余三条坡折带展布与长 6 期的基本一致。

长 6 期,由于湖盆进积型三角洲大量发育,在坡折带控制的砂体富集区继续产生沉积坡折影响。四条坡折带在平面上均有所改变,长茂滩—宁条梁—靖边—乔沟湾—王家湾坡折带整体向湖盆中心方向推移;杨井—大路沟—杏河坡折带在杨井附近消失,坡折东部推移至安塞;姬源—吴旗—张岔坡折带基本保持稳定;环县—贺旗—孟坝—庆阳—宁县坡折带向湖盆中心方向推移,相对长 6 期,本期坡折坡度相对较陡。

4 坡折带对沉积体系的控制作用

鄂尔多斯晚三叠世长 6 期湖盆发育的沉积坡折带控制了新增沉积物在三角洲各相带的分配,在坡折带的顶部和坡脚形成两个砂体沉积物富裕地区^[9]。同时,坡折带也是控制影响三角洲前缘滑塌浊积扇形成与展布的重要因素之一;坡折带控制了低位时期的下切谷—低位扇沉积体系的发育;三角洲前缘延伸向深湖的方向可以作为油气勘探有利目标区域。

鄂尔多斯盆地晚三叠世长 6 期湖盆在北东斜坡区发育多条坡折带,其中最靠近湖盆中心的姬源—吴旗—张岔坡折带和西南环县—贺旗—孟坝—庆阳—宁县坡折带属于低位坡折带。其余高位坡折带发育于盆地边缘部位,与沟槽的共同作用控制了沉积体系的展布。因为坡折带将导致坡折带上下可容空间的变化,伴随基准面升降旋回可产生明显的地层超覆、剥蚀以及低位域岩性高频层序叠置等的出现,因此沿着多级坡折带将发育不同性质、不同大小的非构造圈闭。其中地层超覆、不整合遮挡以及岩性圈闭是该部位非构造圈闭发育的主要类型。同一坡折带在横向上存在较大的变化,可以形成不同类型的非构造圈

闭。非构造圈闭紧邻多级坡折带发育,沿着坡折带呈串珠状展布。坡折带控制下的非构造圈闭的含油性条件十分有利,坡折带以下是低位域储集层和地层超覆发育的有利地区,其上又往往被首次湖泛面的泥岩所覆盖,因此与构造线走向近于平行且同倾向的坡折带是地层超覆圈闭发育的有利部位。坡折带为快速进积的三角洲前缘砂体提供了形成浊流的条件。在低位坡折带下方,有利于形成三角洲前缘滑塌浊积扇^[10],如长 7—长 6 期的姬源、白豹、太白、宜君、上里塬等地区处于靠近深湖区的低位域坡折带有利区域,大量发育浊积砂体,是岩性圈闭发育的有利地区。

5 结论与地质意义

研究表明,鄂尔多斯盆地晚三叠世长 6 期湖盆发育沉积坡折带。湖盆北东缘垂直物源方向坡折带具有多级特征,发育三条缓坡折带;西南缘发育单一陡坡折带。湖盆坡折带在对地层超覆叠置、岩性纵向组合以及沉积体的纵横向展布上具有重要的控制作用。通过湖盆坡折带类型、位置等的确定,可以进一步认识晚三叠世长 6 期湖盆沉积体系展布与砂体的分布,对下一步油气有利勘探目标预测具有重要的指导意义。

参考文献 (References)

- 1 Vail PR, Mitchum RM, Todd R G, *et al*. Seismic stratigraphy and global changes of sea level[C]// Payton C E. ed. Seismic Stratigraphy Application of Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, 1977, (26): 49-212
- 2 林畅松,潘元林,肖建新,等.“构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J].地球科学:中国地质大学学报,2000,25(3):260-266[Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, *et al*. Structural slope belt zone Key concept for sequence stratigraphy analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-266]
- 3 林畅松,潘元林,肖建新,等.“构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J].地球科学:中国地质大学学报,2000,25(3):260-266[Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, *et al*. Structural slope break zone key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-266]
- 4 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[Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng *et al*. Types and distribution characteristics of slope belt of large-type down-warped lake basins[J].

- Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2002, 27 (6): 683-688]
- 5 王英民, 金武弟, 刘书会, 等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 199-203 [Wang Yingmin, Jin Wudidi, Liu Shuhui. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope belts in rift lacustrine basin [J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24 (3): 199-203]
 - 6 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例 [J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12-17 [Fan Tailiang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of nonmarine oil reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20 (2): 12-17]
 - 7 张善文, 王英民, 李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (3): 5-7 [Zhang Shanwen, Wang Yingmin, Li Qun. Searching subtle traps using the theory of slope belt [J]. 2003, Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (3): 5-7]
 - 8 刘晖, 操应长, 徐涛玉, 等. 沉积坡折带控制沉积作用的模拟试验研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2006, (36), S. 1: 190-195 [Liu Hui, Cao Yingchang, Xu Taoyu, et al. The simulation on the control of the depositional slope-break belt to the deposition [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2006, (36), S. 1: 190-195]
 - 9 王颖, 王英民, 王晓州, 等. 松辽盆地西部坡折带的成因演化及其对地层分布模式的控制作用 [J]. 沉积学报, 2005, 23 (3): 498-506 [Wang Ying, Wang Yingmin, Wang Xiaozhou, et al. The origin and evolution of slope break belt and its effect on stratigraphy distribution in large down-warped lake basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23 (3): 260-266]
 - 10 傅强, 吕苗苗, 刘永斗. 鄂尔多斯盆地晚三叠世湖盆浊积岩发育特征及地质意义 [J]. 沉积学报, 2008, 26 (2): 186-191 [Fu Qiang, Lv Miaomiao, Liu Yongdou. Developmental characteristics of turbidite and its implication on petroleum geology in Late-Triassic Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26 (2): 186-191]
 - 11 李树同, 王多云, 王斌, 等. 拗陷型湖盆缓坡边缘沉积坡折带的识别——以鄂尔多斯盆地三叠纪延长期沉积坡折带为例 [J]. 天然气地球科学, 2008, 19 (1): 83-88 [Li Shutong, Wang Duoyun, Wang Bin, et al. Identification of sedimentary slope breaks in the margin of a downwarped lake basin's ramp belt: A case from Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19 (1): 83-88]

Characteristics of Slope Breaks and Its Implication on Petroleum Geology in Yanchang Formation Chang 6 (Late-Triassic) of Ordos Basin

FU Qiang¹ LI Y²

(1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092; 2 Land Ocean Energy Service Inc, Beijing 100084)

Abstract Depressed-type slope breaks was developed in the southwest and northeast margin of the Late-Triassic Ordos Basin. In the northeast margin, the slope breaks were characterized by multistage and gentle, with grade of 1-3 and width of 15~25 km. In the southwest margin, the slope breaks were characterized by monolithic and steep, with grade of 3-5 and width of 10~20 km. Variations of slope breaks distribution were partly affected by the shrinkage of lake basin. However, slope controls formation overlapping lithologic association and distribution of sedimentary system. To build distribution modeling of slope-structural trap based on the research of slope break characteristics plays an important role in exploration activity of the Late-Triassic Ordos Basin.

Key words Ordos; Late-Triassic; depressed-type lacustrine basin; slope breaks; nonstructural trap