

文章编号: 1009-3850(2006)03-0031-06

走滑拉分盆地层序构成特征 ——以胶莱盆地莱阳群为例

唐华风, 程日辉, 王璞[✉], 刘万洙

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 胶莱盆地莱阳群有 4 个层序界面和 3 个三级层序, 其中 SB1、SB2 和 SB4 是区域性不整合面, 而 SB3 是平行不整合面。根据水进体系域中泥质含量和水进体系域(TST)与高水位体系域(HST)的厚度比值, 将层序类型划分为浅水型和深水型, 将冲积型层序直接判定为浅水层序, 将 TST 中含有深湖相沉积的层序直接判定为深水型。层序 I, 莱阳地区为深水型层序, 以滨浅湖相沉积为主; 诸城地区缺失 TST 和 HST, 层序类型不能确定, 低水位体系域(LST)以冲积扇相沉积为主。层序 II, 莱阳地区为深水型层序, 以湖相沉积为主, 发育了厚层暗色半深湖泥岩; 诸城、高密和莒县地区为浅水型层序, 以冲积扇相、河流相沉积为主。层序 III, 莱阳和诸城两地为深水型层序, 以浅湖—半深湖相沉积为主, 发育了厚层暗色泥岩; 高密和莒县两地为浅水型层序, 以冲积扇相—河流相沉积为主。胶莱走滑拉分盆地层序特征表现为: (1) 靠近走滑断层的区域发育浅水型层序, 而远离走滑断层的区域发育深水型层序; (2) 低水位体系域发育叠瓦状扇体; (3) 低水位体系域下部单个扇体厚度小, 上部单个扇体厚度大。

关键词: 胶莱盆地; 上侏罗—下白垩统; 莱阳群; 走滑拉分盆地; 层序; 山东

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

胶莱盆地位于沂沭断裂东侧的胶东地块中部, 是中—新生代发育的走滑拉分盆地^[1~7]。走滑拉分盆地作为一种特殊类型的断陷盆地, 由于断裂的不断走滑, 沉积充填特征和层序模式^[8] 不仅有别于 Vail 和 Posamentier 的被动陆缘层序, 而且与坳陷湖盆^[9,10]、断陷湖盆^[11,12] 和冲积盆地^[13,14] 的层序也存在差别。虽然层序地层学是从地震地层学发展起来的, 但是为了建立具有地方意义的和预测功能的精细地质模型, 仅仅利用地震资料是不够的。出露良好的露头区为精细的层序地层模型的建立提供了理想的场所。

胶莱盆地莱阳群露头出露(图 1) 良好, 为精细分析走滑拉分盆地层序特征提供了基础。本文选择了莒县、诸城、高密和莱阳 4 个露头剖面来分析莱阳群层序类型和层序构成, 探讨构造活动对莱阳群各

层序的控制及走滑拉分盆地层序特征。

1 层序界面

莱阳群是晚侏罗—早白垩世发育的一套陆相沉积地层, 由下而上由瓦屋乔组(林寺山组)、止凤庄组、水南组、龙旺庄组(杨家庄组)、杜村组和法家莹组(曲格庄组)组成^[15,16] (表 1)。莱阳群与下伏基底和上覆青山群均以不整合接触。这两个区域性不整合面构成了莱阳群超层序的上、下界面。在莱阳群超层序的内部发育次一级不整合面, 构成为莱阳群 3 级各层序的界面。

1.1 层序界面 1(SB1)

莱阳群与下伏基底间呈角度不整合接触。在诸城皇华店地区表现为莱阳群的林寺山组与太古宇变质岩呈断层接触。该界面即是层序 I 界面, 也是

收稿日期: 2006-03-03; 修改日期: 2006-05-15

第一作者简介: 唐华风, 1979 年生, 博士研究生, 从事油气地质勘查研究。

资助项目: 在研高等学校博士点专项科研基金资助课题(20030183042)。

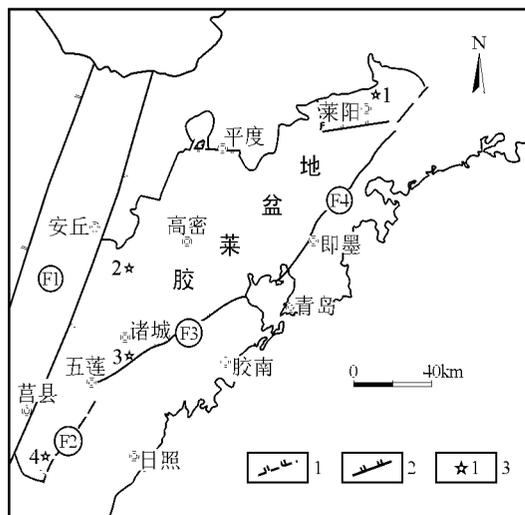


图1 胶莱盆地莱阳群露头位置图

F1. 沂沭断裂带; F2. 荣城-五莲断裂; F3. 五莲-即墨断裂; F4. 即墨-牟平断裂。1. 推测断层; 2. 断层; 3. 露头及编号

Fig. 1 Location of the outcrops in the Laiyang Group, Jiaolai Basin

F1= Linyi-Linshu fault; F2= Rongcheng-Wulian fault; F3= Wulian-Jimo fault; F4= Jimo-Mouping fault. 1= inferred fault; 2= fault; 3= location and number of the outcrops

莱阳群超层序的界面。

1.2 层序界面 2(SB2)

该界面为止凤庄组与下伏地层的接触界面。在莱阳地区瓦屋介组与止凤庄组之间是一大面积超覆界面, 在诸城地区林寺山组与止凤庄组之间为平行不整合接触面, 其它地区为止凤庄组直接与基底以角度不整合接触, 或止凤庄组与侵入岩接触。

1.3 层序界面 3(SB3)

该界面为龙旺庄组与上覆曲格庄组之间发育的一大面积超覆界面, 界面上、下岩石特征变化明显。盆地边缘, 曲格庄组超覆在古老变质岩之上。

1.4 层序界面 4(SB4)

该界面为莱阳群与青山群之间不整合面。它不仅是3级层序界面, 同时也是莱阳群超层序界面。

上覆的青山群火山岩系属于另一个超层序。

2 层序特征

莱阳群超层序由3个三级层序构成, 在莒县和高密地区层序I缺失(图2)。在海相层序类型研究中, 根据水进体系域(TST)与高水位体系域(HST)厚度比例, 可将层序分为T型($TST/HST > 1.05$)——水进型、H型($TST/HST < 0.95$)——高水位型和TH型($0.95 < TST/HST < 1.05$)^[17, 18]——水进-高水位型。该层序类型划分方案反映水进水退速度变化, 同时与油气成藏条件关系密切, 且可操作性强。本次研究借鉴上述层序类型划分方法, 但是在陆相层序类型中上述的判别标准不是完全适用的。上述水进型实际上就是深水型(TST/HST 比值大), 但在冲积型的层序 TST/HST 比值也可能较大, 因为洪泛期泛滥平原沉积厚度很大。因此应在野外露头或者岩心上详细区分冲积型层序和湖盆层序, 将冲积型层序, 直接判定为浅水层序。

此外, TST 中含深湖相沉积厚度可能小于 HST , 但这是深水型层序的特征, 因此将 TST 中含有深湖相沉积的湖盆层序直接判定为深水型。对于其它湖盆层序而言, 首先根据水进体系域中泥质含量初步确定层序类型, 如果泥质含量低于50%, 则为浅水型。对于水进体系域中泥质含量大于50%的, 再根据 TST/HST 的厚度比值来确定, 如果 $TST/HST < 1$ 为浅水型层序, $TST/HST \geq 1$ 为深水型。对胶莱盆地莱阳群各层序的类型判别结果如表1所示。

2.1 层序I

层序I相当于瓦屋介组或林寺山组, 只在莱阳和诸城地区发育, 莒县和高密地区缺失。莱阳地区发育深水型层序, 以滨浅湖相沉积为主; 而诸城地区未见水进体系域和高水位体系域, 层序类型不能确定。低水位体系域(LST)以冲积扇相沉积为主。

低水位体系域为灰紫色巨砾复成分砾岩, 砾石成分杂, 磨圆中等到好, 为冲积扇相。物源来自于盆地

表1 胶莱盆地莱阳群层序类型

Table 1 Sequence types in the Laiyang Group, Jiaolai Basin

剖面 层序	层序类型				地 层 ^{15, 16}			
	莱阳	高密	诸城	莒县	莱阳	高密	诸城	莒县
III	深水型	浅水型	深水型	浅水型	曲格庄组	法家莹组 杜村组	曲格庄组	法家莹组 杜村组
II	深水型	浅水型	浅水型	浅水型	龙旺庄组 水南组	杨家莹组	龙旺庄组 水南组	杨家莹组
I	深水型		未确定		止凤庄组 瓦屋介组			

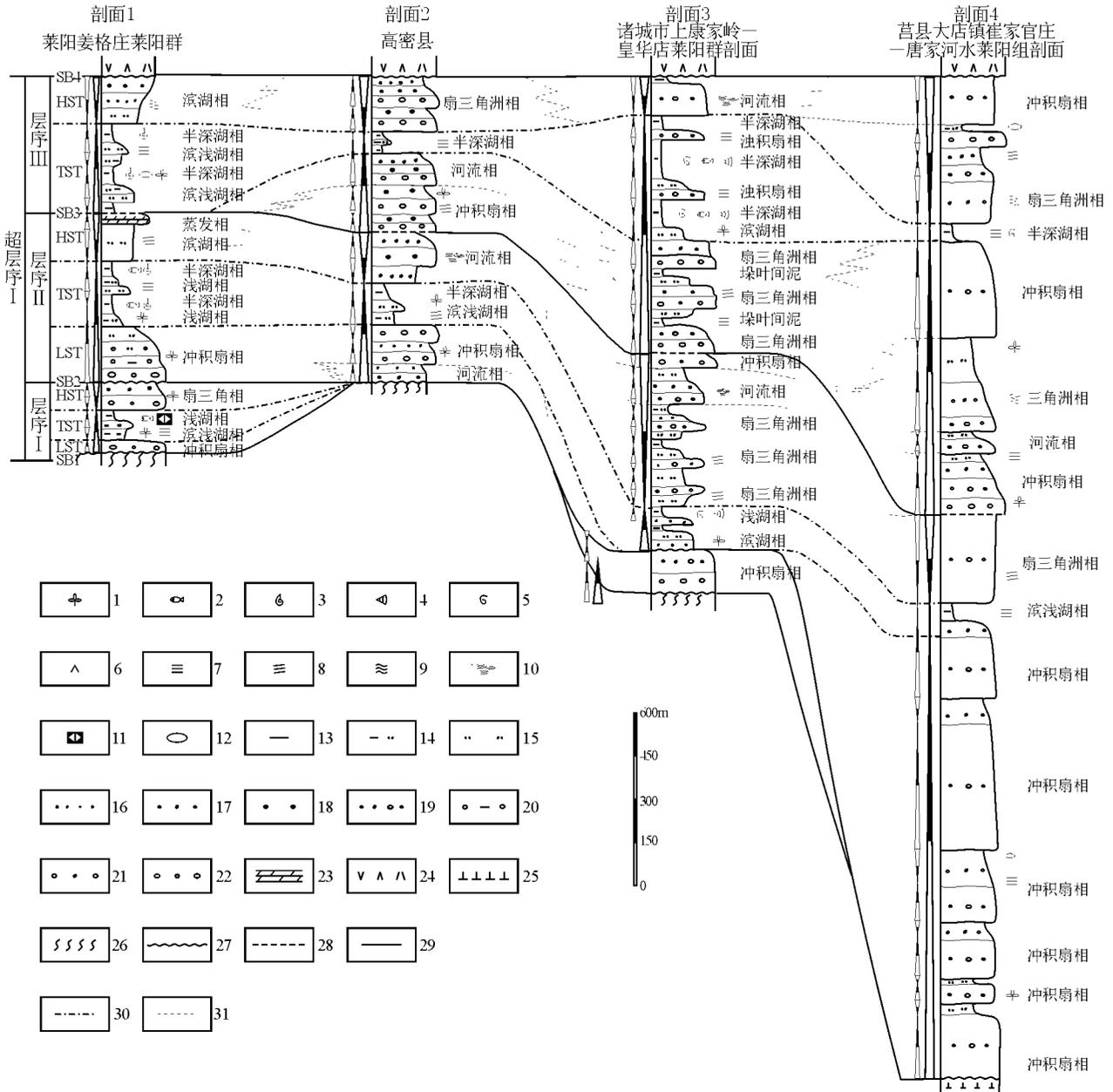


图2 胶莱盆地莱阳群层序地层对比

1. 植物化石; 2. 鱼类化石; 3. 无脊椎动物化石; 4. 叶肢介化石; 5. 腹足类化石; 6. 粒序层理; 7. 水平层理; 8. 斜层理; 9. 波状层理; 10. 槽状层理; 11. 菱铁矿; 12. 透镜体; 13. 泥岩; 14. 粉砂质泥岩; 15. 粉砂岩; 16. 细砂岩; 17. 中砂岩; 18. 粗砂岩; 19. 含砾砂岩; 20. 泥质砾岩; 21. 砂质砾岩; 22. 砾岩; 23. 白云岩; 24. 火山岩; 25. 侵入岩; 26. 变质岩; 27. 角度不整合; 28. 平行不整合; 29. 层序界线; 30. 体系域界线; 31. 沉积相界线。
LST. 低水位体系域; TST. 水进体系域; HST. 高水位体系域

Fig. 2 Sequence stratigraphic correlation of the Laiyang Group in the Jiaolai Basin

1= plant fossil; 2= fish fossil; 3= invertebrate fossil; 4= Estheria; 5= gastropods; 6= graded bedding; 7= horizontal bedding; 8= oblique bedding; 9= wavy bedding; 10= trough bedding; 11= siderite; 12= lens; 13= mudstone; 14= silty mudstone; 15= siltstone; 16= fine-grained sandstone; 17= medium-grained sandstone; 18= coarse-grained sandstone; 19= gravelly sandstone; 20= muddy conglomerate; 21= sandy conglomerate; 22= conglomerate; 23= dolostone; 24= volcanic rocks; 25= intrusive rocks; 26= metamorphic rocks; 27= angular unconformity; 28= parallel unconformity; 29= sequence boundary; 30= systems tract boundary; 31= sedimentary facies boundary.
LST= lowstand systems tract; TST= transgressive systems tract; HST= highstand systems tract

基底变质岩, 莱阳地区低水位体系域的厚度小于诸城地区。水进体系域只分布在莱阳地区, 为黄绿色

页岩, 钙质粉砂岩, 颗粒直径可达0.1mm, 发育平行层理, 含热河动物群生物化石, 为浅湖相。高水位体

系域也仅分布在莱阳地区,以灰紫色、灰黄色中—粗砾岩、细砂岩为主,含硅化植物茎干,为扇三角洲相。

莱阳地区水进体系域泥质含量占 55%, TST/HST 比值为 1.09, 层序 I 为深水型层序。

2.2 层序 II

层序 II 相当于止凤庄组、水南组、龙旺庄组(杨家庄组)。水南期是胶莱盆地的最大的湖泛期。莱阳地区发育深水型层序,以浅湖—半深湖沉积为主,发育厚层暗色泥岩;而高密、诸城和莒县三地发育浅水型层序,以河流相沉积为主。

低水位体系域为灰黄色含砾岩屑长石粗砂岩和紫灰色砾岩,以冲积扇相和河流相为主。诸城地区缺少低水位体系域,莒县地区低水位体系域厚度最大。莒县剖面可识别出 6 个扇体,下部单个扇体厚度小,上部单个扇体厚度大。水进体系域为灰色、紫灰色和灰黄色泥岩、粉砂岩和细砂岩,水平层理发育,含丰富的热河生物群化石。砂岩颗粒分选差,长石 25%、石英 70%、岩屑 5%,磨圆为次棱角—次圆状,以滨浅湖相为主。高水位体系域为灰色、灰黄色含砾长石粗砂岩,以扇三角洲—河流相为主。诸城地区砂岩基质占 20%,颗粒中长石 20%、岩屑 10%、石英 70%。

诸城地区水进体系域泥质含量 25%,层序类型为浅水型。莱阳地区水进体系域泥质含量占 60%, TST/HST 比值为 1.1,为深水型层序。高密地区 TST/HST 比值为 0.8,莒县地区 TST/HST 比值为 0.4,二者均属于浅水型层序。

2.3 层序 III

层序 III 相当于杜村组和法家莹组(曲格庄组)。莱阳和诸城两地发育深水型层序,以浅湖相、半深湖相沉积为主,发育了厚层半深湖泥岩;而高密和莒县两地发育浅水型层序,以冲积扇相、河流相沉积为主。

低水位体系域以灰黄色、深灰色砾岩为主,发育冲积扇相。在莒县地区砾石以火山岩砾石为主,在莱阳地区以变质岩砾石为主。在莒县剖面的低水位体系域中识别出 4 个扇体,下部单个扇体小,上部单个扇体厚度大。水进体系域由灰黄色、灰色和黄绿色泥岩和钙质粉砂岩组成,发育水平层理、粒序层理和钙质成岩结核,为滨湖相、浅湖相。砂岩颗粒中长石 40%、岩屑 10%、石英 50%。高水位体系域由黄绿色、紫灰色含砾岩屑长石砂岩构成,为河流、滨湖、扇三角洲相。

各个露头的水进体系域泥质含量都在 70% 以

上。诸城地区 TST/HST 比值为 3.2,莱阳地区 TST/HST 比值 1.6,均属深水型层序;高密地区 TST/HST 比值为 0.4,莒县地区 TST/HST 比值为 0.15,均属于浅水型。

3 莱阳群层序发育的构造因素

胶莱盆地的主要控盆断裂是沂沭断裂、荣城—五莲断裂、五莲—即墨断裂和即墨—牟平断裂(图 1)。本文研究的露头基本上均与走滑断裂带靠近,只有莱阳露头远离走滑断层。

随着早白垩世沂沭断裂左旋走滑和五莲—即墨—牟平断裂右旋走滑^[4,7]活动,首先在诸城、莱阳地区形成断陷,发育了层序 I。两个断陷发育的层序类型不同,莱阳地区发育深水型层序,以湖泊沉积为主,体系域发育完全;而诸城地区由于缺失 TST 和 HST,层序类型不能确定,只保留以冲积扇沉积为主的低水位体系域。莒县地区缺失层序 I,说明荣城—五莲断裂的走滑活动使该区处于挤压隆升条件,没有接受沉积。诸城地区层序 I 水进体系域和高水位体系域的缺失,显示该期之后存在有强烈的剥蚀作用,说明五莲—即墨断裂的幕式活动和由张扭到压扭的活动构成,因此认为断裂的幕式走滑活动控制了三级层序的发育。莱阳地区层序 I 发育或保存完整,可能一方面与即墨—牟平断裂的幕式走滑的后期压扭活动较弱有关,一方面与露头区远离走滑断裂,据古水流方向研究^[19],莱阳露头区物源供给不受走滑断层控制。

层序 II 发育期间,由于沂沭断裂左旋走滑和五莲—荣城断裂右旋走滑活动,在莒县地区形成走滑拉分槽^[4,7],在这里发育的层序是走滑拉分盆地的代表层序。控盆断裂不断走滑,区块拉分,使盆地基底发生差异沉降^[4,20],造成盆地南部可容纳空间的增生幅度和物源供应大于北部。在莒县地区物源供应充足,故发育大套的冲积扇相的低水位体系域。随控盆断裂走滑,沿盆缘发育叠瓦状扇体。在诸城地区由于断裂活动影响,该区高水位体系域以扇三角洲相为主。而莱阳地区物源供应不充足,饥饿沉积状态持续时间长,表现为沉积物中暗色泥岩段大于其它地区,作为深水型层序的凝缩段特征明显。

层序 II 时,五莲—即墨断裂活动早期较强,到后期减弱,后期物源供应不充足,使得诸城地区的整个充填过程中水进体系域的泥岩段明显增厚。处在两条断层交叉位置的莒县地区由于荣城—五莲断裂继续走滑,层序类型是浅水型。莱阳地区层序类型是

深水型,层序II快速湖侵的条件下发育低水位体系域。层序界面3在莱阳地区表现为岩石颜色由棕黄色变为灰绿色、黄绿色,指示由弱氧化环境向弱还原环境变化。

胶莱盆地莱阳群3个层序对应构造活动由弱变强,再减弱的幕式周期。相比在层序II时断裂活动最剧烈,莒县和诸城地区的层序II为走滑拉分盆地的代表层序。靠近走滑断层区域发育浅水型层序,而远离走滑断层区域发育深水型层序,据此可以预测诸城地区层序I类型为浅水型。这是由于(1)靠近走滑断裂物源区近,供给丰富;(2)由于走滑物源区不断迁移,对于同一沉积区进积的冲积扇体会不断叠加;(3)远离走滑断裂的地区受物源供给剧烈变化和构造变动的影 响稍小,沉积体系经历了完整的演化历程而没有中断。

4 胶莱盆地层序模式

胶莱盆地属于走滑拉分盆地,盆地可容纳空间的增加主要是断裂的走滑拉分形成的。层序发育与典型断陷湖盆层序地层模式和坳陷湖盆层序地层模式相比有特殊之处,在盆缘沿断裂走滑方向发育叠瓦状扇体。当控盆断裂走滑时物源和沉积区相对位置总是改变,沿控盆断裂形成拉分盆地中特有的低水位叠瓦状冲积扇或扇三角洲,此时单个扇体的规

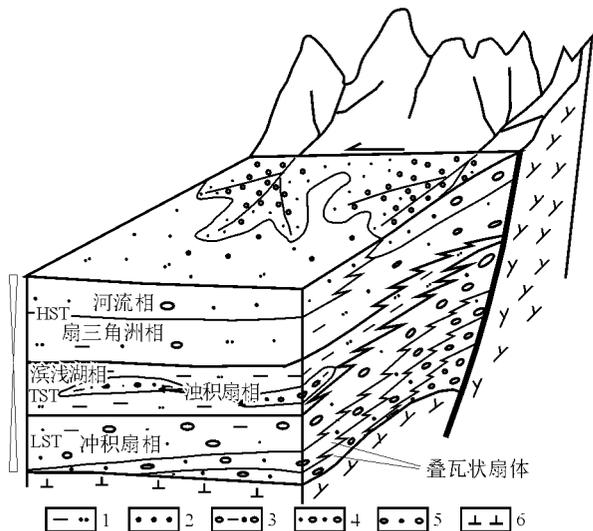


图3 胶莱走滑拉分盆地层序模式

1. 粉砂质泥岩; 2. 砂岩; 3. 砂泥质砾岩; 4. 含砂砾岩; 5. 砂砾岩; 6. 基底

Fig. 3 Sequence model for the Jialai Basin

1 = silty mudstone; 2 = sandstone; 3 = sandy and muddy conglomerate; 4 = sandy conglomerate; 5 = sandstone and conglomerate; 6 = basement

模不大。当控盆断裂走滑不强烈时,同一物源对同一沉积区供给持续时间长,形成的单个扇体规模较大。随着剥蚀区的夷平和湖水面的上升,盆地可容纳空间增大,但物源减少,盆地处于饥饿沉积状态,形成的凝缩段是水进体系域的标志,发育浊积扇。随着盆地的充填和断裂的活动减弱,可容纳空间减少,形成高水位体系域。控盆断裂走滑时低水位体系域中形成叠瓦状冲积扇体,当断裂走滑活动停止时发育扇体的叠置关系与正常的断陷盆地一致(图3)。此外在走滑拉分盆地发育的层序中水进体系域在整个层序中占的比例要比断陷层序和坳陷层序小,以浅水型层序居多。

5 结论

(1) 胶莱盆地莱阳群有4个层序界面,SB1、SB2和SB4是区域性不整合面,SB3是平行不整合面。莱阳群超层序由3个三级层序构成,其形成受断裂幕式走滑活动控制,其中层序II对应的构造活动强烈。

(2) 胶莱盆地露头揭示靠近走滑断层区域发育浅水型层序,而远离走滑断层区域发育深水型层序。莒县和高密地区发育浅水型层序,主要发育冲积扇相、河流相沉积。莱阳地区发育深水型层序,以发育湖泊相沉积为主。而诸城地区层序II为浅水型冲积层序,以洪积扇和冲积扇沉积为主;层序III为深水型冲积层序,以半深湖泥岩沉积为特征。

(3) 莒县地区的层序II为胶莱走滑拉分盆地的代表层序,浅水型层序发育,低水位体系域发育叠瓦状扇体,低水位体系域下部单个扇体厚度小,上部单个扇体厚度大。

参考文献:

- [1] 陈柏林,王小凤,李中坚. 苏胶地块北界应是五莲-即墨-牟平断裂[J]. 地质力学学报, 1996, 2(3): 23-24.
- [2] 夏邦栋,李培军. 中国东部扬子板块同华北板块在中-晚三叠世拼接的沉积学证据[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 12-21.
- [3] 王沛成. 关于秦岭造山带最东段——胶南-荣成碰撞带边界划分看法[J]. 地震地质, 1995, 17(2): 114-115.
- [4] 廖远涛. 胶莱盆地的盆地样式及构造演化[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(4): 345-347.
- [5] 唐华凤,程日辉,白云凤,等. 胶莱盆地构造演化规律[J]. 世界地质, 2003, 22(3): 246-251.
- [6] 陆克政,戴俊生. 胶莱盆地的形成和演化[M]. 东营: 石油大学出版社, 1994, 132-140.

- [7] 刘和甫, 夏义平, 殷进垠, 等. 走滑造山带与盆地耦合机制[J]. 地质前缘, 1999, 6(3): 121-132.
- [8] 程有义, 梁书义, 丘东洲. 淮北凹陷中生代层序地层的沉积模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 21-25.
- [9] 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. 地质前缘, 1995, 2(4): 133-136.
- [10] 魏魁生, 叶淑芬, 郭占谦, 等. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 50-60.
- [11] 操应长, 姜在兴. 断陷湖盆层序界面的成因类型及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 1-6.
- [12] RAINBIRD R H, HADLARI T, ASPLER L B et al. Sequence stratigraphy and evolution of the Paleoproterozoic intracontinental Baker Lake and Thebn basins, western Churchill Province, Nunavut, Canada [J]. Precambrian Research, 2003, 125(1): 21-53.
- [13] OSLEN T, STEEL RH, GSETH K et al. Sequential architecture in a fluvial succession: sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Prince Canyon, Utah [J]. Journal of Sedimentary Research, 1995, 65(2): 265-280.
- [14] 邓宏文, 王红亮, 阎伟鹏, 等. 河流相层序地层构成模式探讨[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 373-379.
- [15] 李玉发, 姜立富. 山东省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 150-165.
- [16] 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 187-193.
- [17] 周雁, 王成善, 陈洪德. 中扬子区海相地层油气成藏有利区层序样式分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 22-29.
- [18] 周雁, 陈洪德, 王成善. 中扬子区海相地层层序样式及其油气地质意义[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(1): 26-30.
- [19] 姜在兴, 熊继辉, 王留奇, 等. 胶莱盆地下白垩统莱阳组沉积作用和沉积演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(2): 8-16.
- [20] EINSELE G. Sedimentary Basins [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2000, 36-37.

Sequence stratigraphy in a strike-slip (pull-apart) basin: An example from the Laiyang Group in the Jiaolai Basin

TANG Hua-feng, CHENG Ri-hui, WANG Pu-jun, LIU Wan-zhu

(Faculty of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: Four sequence boundaries are recognized in the Laiyang Group from the base upwards in the Jiaolai Basin; SB1, SB2, SB4 as regional unconformities and SB3 as a parallel unconformity, according to which the Laiyang Group falls into three third-grade sequences. In the light of the mud contents in the transgressive systems tract (TST) and the thickness ratios of the transgressive systems tract and highstand systems tract (HST), the sequences in the study area may further be subdivided into shallow-water and deep-water types; the former including the alluvial sequences and the latter including the deep-lake sequences within the transgressive systems tract. Sequence I is represented by the deep-water sequences composed of littoral and shallow lake deposits in the Laiyang region. The sequence types remain uncertain in the Zhucheng region due to the absence of the transgressive and highstand systems tracts. The lowstand systems tract (LST) in this area consists of the alluvial fan deposits. Sequence II is represented by the deep-water sequences composed of lake deposits with thick dark semi-deep lake mudstone in the Laiyang region, whereas by the shallow-water sequences composed of alluvial fan and fluvial deposits in the Zhucheng, Gaomi and Juxian regions. Sequence III is represented by the deep-water sequences composed of shallow lake and semi-deep lake deposits with thick dark mudstone in the Laiyang and Zhucheng regions, and by the shallow-water sequences composed of alluvial fan and fluvial deposits in the Gaomi and Juxian regions. The Jiaolai strike-slip (pull-apart) basin is characterized by: (1) shallow-water sequences along the strike-slip faults and deep-water sequences far from the strike-slip faults; (2) imbricated fans within the lowstand systems tract, and (3) smaller thickness of the lower fans and greater thickness of the upper fans within the lowstand systems tract.

Key words: Jiaolai Basin; Upper Jurassic—Lower Cretaceous strata; Laiyang Group; strike-slip (pull-apart) basin; sequence; Shandong