

文章编号: 1000-0550(2003)02-0283-05

陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨

朱筱敏 康 安 王贵文

(石油大学(北京)资源与信息学院 北京昌平 102249)

摘 要 依据层序地层学基本理论,考虑中国中生代陆相拗陷型和断陷型湖盆的盆地结构和沉积物充填序列特征,综合利用地质和地球物理资料,以松辽盆地白垩系和准噶尔盆地侏罗系、柴达木盆地第四系和渤海湾盆地第三系为研究实例,将拗陷型湖盆沉积层序细分成可以确定首次湖泛面和不能确定首次湖泛面的两种类型,建立了这两种类型湖盆的层序地层样式。前者由低位、湖侵和高位体系域组成,后者由湖侵和湖退体系域构成。在断陷型湖盆中,可将盆地缓坡由同生断裂活动造成的地势变化带作为地形坡折带(构造坡折带)并用于确定首次湖泛面,进而讨论了首次湖泛面和最大湖泛面的多种识别标志,建立了由低位、湖侵和高位体系域构成的断陷型湖盆层序地层样式。

关键词 层序地层学 地形坡折带 体系域 拗陷型和断陷型湖盆

第一作者简介 朱筱敏 男 1960年出生 博士 教授 层序地层学和储层沉积学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 前言

实践亦已证明,起源于被动大陆边缘盆地的层序地层学基本原理能够很好地应用于陆相湖盆及其它陆相沉积之中。地质科技人员针对中国中生代陆相湖盆的构造演化、气候变化、沉积物充填以及湖平面变化等一系列具体地质特征,深入讨论了陆相湖盆层序地层的划分、体系域类型及其特征、层序地层模式、层序地层学研究方法等关键问题^[1-11],取得了丰硕成果,推动了中国陆相层序地层学的研究和发展。

中国陆地和海域共存在 373 个以中生界为主的陆相湖泊沉积盆地,沉积岩分布面积达 $5.84 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中单个盆地面积大于 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的陆相沉积盆地计有 18 个,并在其中发现了许多大油气田^[12]。这些陆相盆地可以分布在具有不同构造应力场背景的中国东、西部地区。拗陷盆地是陆壳某一地区整体均匀下沉形成的盆地,是陆壳构造活动相对稳定阶段的产物,盆地边界一般没有断层或仅存在不能控制盆地沉积的断层。拗陷盆地稳定的构造性质就决定了该盆地地貌为起伏低缓的剥蚀区和平坦的沉积区。沉积动力以河流和波浪为主,沉积中心与沉降中心一致并位于盆地中央,沉积相带围绕湖盆中央分布。拗陷湖盆结构可呈单一整体下沉形式,也可以存在地形坡折或盆地中央由多个次级洼陷构成(图 1),如晚三叠世鄂尔多斯盆地、侏罗纪准噶尔盆地、早白垩世松辽盆地和第四纪柴达木盆地。断陷盆地是指在盆地形成和发展过程中受到断裂制约的沉积盆地,分布在陆壳构造活动比较活

跃的地区。该盆地以基底差异沉降作用为特点,盆地一侧边界同生断层活动强烈,另一侧边界同生断层活动不太明显,这种断裂差异活动的性质决定了断陷盆地独特的地貌和沉积特征。盆地陡坡邻近物源区、坡陡流急、湖水较深,沉积中心常位于或邻近盆地陡坡;而断陷盆地缓坡构造作用简单、地形平缓、湖水较浅、湖水缓流(图 1)。例如早第三纪渤海湾盆地以及珠江口盆地。

中国中生代断陷盆地和拗陷盆地不仅富集丰富的油气资源,而且沉积充填物旋回性明显,是进行陆相层序地层学研究的良好对象。近年来,有关科技人员针对中生代断陷和拗陷盆地地质特征,提出了构造层序、气候层序等概念,将一个层序细分为低位体系域、湖侵体系域、高位体系域和冲积体系域,或分为初始充填体系域、湖扩展体系域、湖萎缩体系域,或细分为湖侵和湖退体系域^[3,4,8,9,10]。本文拟通过层序边界,特别是体系域边界的分析,考虑断陷盆地和拗陷盆地的地质结构和沉积序列特征,来探讨陆相湖盆层序中体系域构成以及断陷和拗陷湖盆层序地层样式。

2 拗陷型湖盆层序地层样式

2.1 层序界面特征

确定拗陷型湖盆层序地层样式的关键是如何将相互嵌套的不同级次层序界面划分开来。在层序边界识别过程中,应遵循下述几个原则:①界面间断原则,即划分的各级层序内部不应存在比该层序边界更为重要的沉积间断面;②等时性原则,即所划分的各级层序均

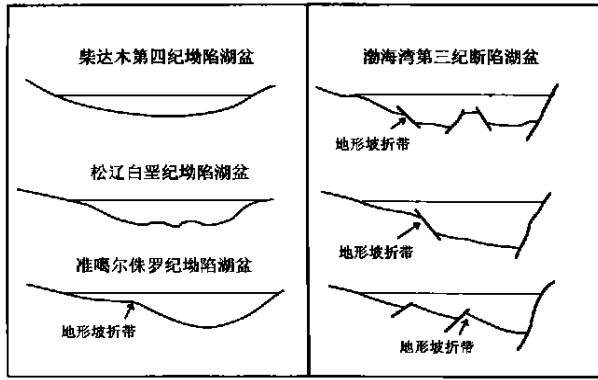


图 1 拗陷型和断陷型盆地结构示意图

Fig. 1 Textures of depression and faulted down basins

为同期沉积物的组合体;③ 统一性原则,即所划分的层序应在盆地范围内统一^[13];④ 一致性原则,所据不同资料划分的层序边界是一致的,能相互验证。在覆盖区,应综合利用地质、测井和地震资料去识别拗陷型湖盆层序边界(表 1)

表 1 拗陷型湖盆层序边界识别标志

Table 1 The sequence boundary indicators in depression basin

资料类别	层序边界识别标志
构造资料	构造运动界面、构造应力场转换界面、大面积侵蚀不整合面、大面积超覆界面
古生物资料	古生物组合类型及含量突变、化石群分异度突变、古生物断代
岩心资料	古土壤层或根土层、颜色和岩性突变界面、底砾岩、沉积旋回类型转变界面、沉积相向盆地方向迁移、煤层、准层序组或体系域类型突变、有机质类型和含量突变、地球化学指标突变等
测井资料	自然电位和自然伽玛测井曲线突变接触界面、视电阻率突然增大或降低、地层倾角的杂乱模式、成像测井的不整合响应
地震资料	地震反射终止现象剥蚀、顶超、上超、下超,地震反射波组产状和动力学特征以及旋回特征的变化

2.2 体系域边界特征

2.2.1 首次湖泛面

在拗陷型盆地缓坡确定首次湖泛面或确定像被动大陆边缘盆地那样的“陆棚坡折带”是困难的,如第四纪柴达木盆地缓坡就不存在明显的地形坡折变化(图 1)。但是,有时可以根据拗陷型湖盆具体地质特征识别出首次湖泛面。① 存在地形坡折变化带,如侏罗纪准噶尔盆地白家海凸起与昌吉拗陷之间的地形坡折带(图 1),可把首次越过该地形坡折带的湖泛面称为首次湖泛面。② 可以将原来规模较小、水深不同、形态各异的相对分隔的水体连成一片的湖泛面称为首次湖泛面,如早白垩世松辽盆地。③ 可将拗陷型湖盆斜坡发育的鲕粒灰岩和介壳灰岩作为小型碳酸盐岩台地,越过该台地边缘的湖泛面称为首次湖泛面。④ 根据准层序的

叠置样式来确定首次湖泛面的位置,低位体系域多以河流沉积为特征,具有典型河流二元结构,而湖侵体系域多表现为向上泥岩厚度加大的退积式准层序组。另外,首次湖泛面附近常存在混杂堆积的生物碎屑、根土层、火山活动物质以及与不整合重合的特征

2.2.2 最大湖泛面

最大湖泛面是指在湖盆演化过程中,湖平面上升到最大,湖岸上起点达到向陆最远时所对应的湖泛面,例如松辽盆地白垩统青山口组最大湖泛面对应的凝缩层具有下述特征:① 含莓状黄铁矿等自生矿物的灰黑色泥页岩;② 微体和超微化石丰度高且分异度大;③ 测井曲线以高自然伽玛、低电阻率、平直自然电位曲线为特征;④ 地震剖面上响应于强振幅、高连续、分布广的地震发射,并常存在上覆地层的系列下超;⑤ 有机碳含量高,并存在自盆地中央向陆地方向有机碳含量减少的趋势。

2.3 拗陷型湖盆层序地层样式

2.3.1 能够确定首次湖泛面的拗陷型盆地层序地层样式

在某些拗陷型陆相湖盆中,可以依据前述的标志确定首次和最大湖泛面的位置,进而便可识别出低位、湖侵和高位体系域(图 2)

低位体系域是在湖平面下降速率大于盆地构造沉降速率时,湖平面降至较低部位,以至于连成一片的水体出现分隔孤立状态或湖盆缓坡出露地表时形成的体系域。在出露地表的盆地缓坡发育冲积扇、河流沉积,可以形成深(下)切谷;在低位湖岸线附近可出现小型三角洲或扇三角洲沉积;在低位湖盆水体中,可发育由洪水作用形成的洪水型浊积扇或由三角洲前缘滑塌形成的浊积扇(图 2)。

湖侵体系域是在气候温暖潮湿、洪水频繁发生、湖平面上升速率大于沉积物供给速率,可容空间不断增大的情况下形成的,湖侵体系域可形成于两种沉积背景。一是湖平面快速上升,可容空间增加速率明显大于沉积物供给速率,盆地处于“欠补偿”状态,此时可发育广泛分布的较深水泥岩、湖侵碳酸盐岩以及洪水型浊积扇。二是湖平面缓慢上升,可容空间增加速率略高于沉积物供给速率,此时发育滨浅湖滩坝和水进型三角洲沉积体系。

高位体系域是在湖平面上升速率变慢、相对静止和湖平面开始下降时形成的。此时沉积物供给速率不断增加,可容空间逐渐变小,形成了一系列进积式沉积。在高位体系域发育早期,可容空间仍旧较大,因而携带陆源碎屑物质的洪水入湖后快速沉积,形成浊积扇。到了高位体系域晚期,湖平面下降,沉积物不断供

给, 三角洲快速向湖盆中央推进, 在其前方可发育由三角洲前缘沉积物向前滑塌形成的浊积扇。在高位体系域发育末期, 可出现河流和冲积扇沉积 (图 2)。

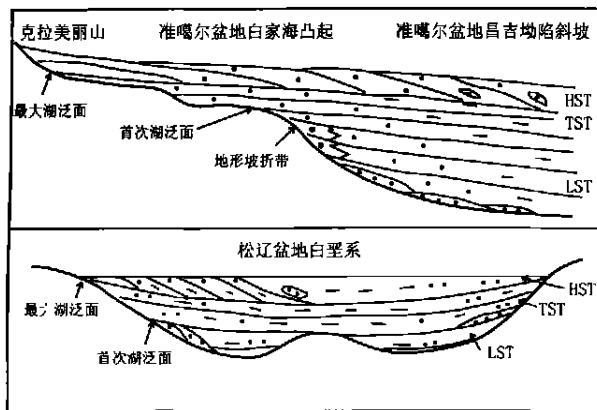


图 2 由低位、湖侵和高位体系域组成的拗陷型湖盆层序地层样式

Fig. 2 Sequence model of depression basin with low stand, transgressive and highstand systems tracts

2.3.2 不能确定首次湖泛面的拗陷型盆地层序地层样式

在某些拗陷型盆地中, 由于缺少地形 (构造) 坡折的明显变化以及缺少确定首次湖泛面的标志, 只能利用最远滨岸上超点确定出最大湖泛面, 进而将该类盆地中的一个沉积层序划分成湖侵和湖退体系域。下面以第四纪柴达木拗陷湖盆为例来说明湖侵和湖退体系域的特征 (图 3)。

柴达木盆地第四系可以被划分成由湖侵和湖退体系域构成的 5 个沉积层序。湖侵体系域是在构造活动比较强烈、湖盆蒸发量小于降水量, 物源供给较充足、湖平面相对上升时形成的。湖侵体系域多由浅灰色粉砂岩、泥岩及鲕粒碳酸盐岩组成。砂岩中发育小型波状层理和生物钻孔, 蚌化石丰富完整; 泥岩具水平纹层及层面生物扰动构造。在垂向上, 湖侵体系域表现为向上砂岩减少、泥岩增多、砂泥比降低的退积式准层序组, 单个准层序组厚 10~20 m。一个湖侵体系域可以包括 2~3 个退积式准层序组, 沉积环境多以浅湖为主。在有物源直接供给的地方, 可发育冲积扇和河流三角洲沉积。湖退体系域是在构造活动比较平稳、物源供给较少、蒸发量较大、湖平面相对下降时形成的。湖退体系域的主要岩性为浅灰色粉砂岩、棕灰色泥岩和薄层泥灰岩。砂岩中发育小型板状和波状交错层理, 自下而上砂岩逐渐增多、泥岩减少、砂泥比值加大, 构成厚度为 5~20 m 的进积式准层序组。在缺乏物源供给的沉积区, 形成大面积滨湖沼泽相碳质泥岩和棕灰色泥岩, 有

时发育鲕粒滩; 在有物源直接供给的地方, 可发育冲积扇和河流三角洲沉积体系 (图 3)。

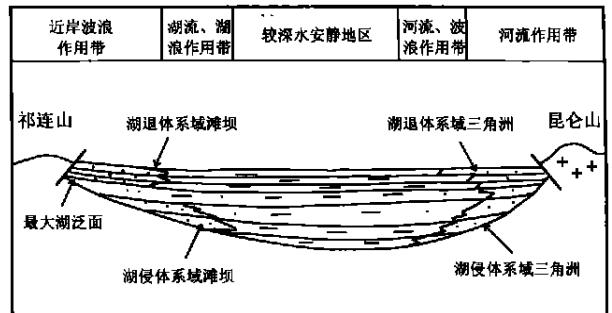


图 3 由湖侵和湖退体系域构成的柴达木盆地第四系拗陷型湖盆层序地层样式

Fig. 3 Quaternary sequence model of Qaidam basin with transgressive and regressive systems tracts

3 断陷型湖盆层序地层样式

3.1 层序界面特征

由于断陷湖盆构造活动的差异性以及盆地结构的复杂性, 造成了断陷湖盆不同部位地层堆砌样式的不同。在断陷湖盆中, 准确合理划分层序, 其关键是准确识别和追踪层序边界。实际工作中常以下述依据来划分层序: ① 依据地震反射终止关系识别分布面积较大的地层不整合关系, 特别是以由构造运动形成的不整合界面作为层序界面。如渤海湾盆地上、下第三系之间的不整合界面。② 厚度薄、分布范围较小的古土壤层、根土层或风化壳。③ 古生物化石断代或灭绝之处。④ 地层颜色、岩性、沉积相、电测曲线的垂向突变以及地层产状的不一致。⑤ 地震反射剖面上的上超点向盆地中央的迁移等等。总之, 应综合利用不同类型资料来识别层序边界。

3.2 体系域边界特征

对于缺少明显地形 (构造) 坡折的陆相断陷湖盆来说, 如何将最大湖泛面和首次湖泛面识别出来一直是人们关注的问题。故根据断陷湖盆盆地结构特征, 以内蒙古侏罗纪陆家堡拗陷为例, 来说明如何识别首次湖泛面和最大湖泛面。

3.2.1 首次湖泛面

在中国中生代陆相断陷湖盆中, 尽管存在复杂的断裂差异活动, 但我们总可以发现在临近盆地深洼区的盆地缓坡, 存在次级同生断裂, 将盆地缓坡与深洼区区分开来并形成地形 (构造) 坡折 (图 1)。陆家堡拗陷马家铺高垒带就是一个区分盆地缓坡与深洼区的地形坡折带, 故我们可以将从低位状况首次越过这个地形 (构造) 坡折带的湖平面称为首次湖泛面。首次湖泛面的确定依据如下: ① 存在首次越过地形变化带的第

一个湖岸上起点对应的界面。这个上超点可以超覆在前一个层序顶界面之上,这是识别首次湖泛面最重要的标志。②存在湖泛滞留沉积,即湖平面越过地形变化带,冲蚀缓坡河流沉积物,残留下较粗粒沉积物。③沉积物颜色、岩性、结构和古生物组合、沉积相类型发生变化。④准层序叠置样式由进积式变为退积式等。

3.2.2 最大湖泛面

最大湖泛面是在盆地边界断裂强烈活动、湖平面上升达到最大位置时形成的沉积界面。在陆相断陷湖盆中,识别最大湖泛面的主要依据如下:①对应一个沉积层序中的最远滨岸上超点。最大湖泛面对应的地震反射界面常由 2~3 个强振幅、高连续同相轴组成,全区稳定分布并存在上覆地层的系列下超。②具反映稳定沉积环境的水平层理、厚层质纯暗色泥岩、油页岩或泥灰岩。③富含较深水环境的古生物化石。④最大湖泛时,湖盆边缘沼泽化,形成泥炭层或煤层。⑤有机质丰度高,自然电位曲线呈平直泥岩基线,视电阻率曲线呈低幅尖刀状、锯齿状。⑥准层序叠置样式由退积式变为进积式,等等。

3.3 断陷型湖盆层序地层样式

由于在断陷湖盆缓坡存在地形坡折带或构造坡折带,因此,可以依据首次和最大湖泛面将一个沉积层序细分成低位、湖侵和高位体系域(图 4)。低位体系域是在湖平面下降低于盆地缓坡地形变化带时形成的沉积体系集合体。在其发育时期,湖平面很低,湖盆范围小、水体浅,在盆地陡坡湖平面之上部位发育由杂色砂砾岩构成的冲积扇,湖平面之下可发育规模较小的高砂泥比值的近岸水下扇;在盆地中央深洼区可出现洪水型浊积扇沉积;在盆地缓坡地形坡折带之上,发育具有深切谷特征的河流沉积体系,在地形坡折带之下湖盆中或为滨浅湖沉积,或为低位期小型三角洲沉积。

湖侵体系域是在湖平面上升越过地形坡折带并达到最大时形成的沉积体系集合体,此时盆地边界断裂强烈活动,湖盆水域扩大,水体变深,从而在盆地陡坡主要发育了质纯深水暗色泥岩与浅灰色砂砾岩互层的、规模较大的近岸水下扇沉积体系;在盆地深洼区,由于水体深而安静,主要发育了分布广、厚度大、质地纯、颜色暗、砂泥比值低、富含有机质的较深湖相沉积,有时可间夹有滑塌浊积扇沉积;在盆地缓坡区存在两种沉积类型,一是缺少明显物源供给的、由砂泥岩间互构成的滩坝沉积体系或碳酸盐岩浅滩,二是由河流供水的水进型三角洲及其滑塌浊积扇沉积体系。

高位体系域发育时期,可容空间增加速度明显降低,沉积物供给相对增多,盆地边界断裂活动有所减弱,此时在盆地陡坡区,高位早期发育近岸水下扇,高

位晚期发育粗粒扇三角洲,构成进积式准层序组叠置样式;在盆地深洼区,水体不断变浅,较深湖沉积被较浅湖沉积取代;而在盆地缓坡,湖平面不断下降,物源供给丰富,形成了具明显进积结构的三角洲——滑塌浊积扇沉积体系(图 4)。

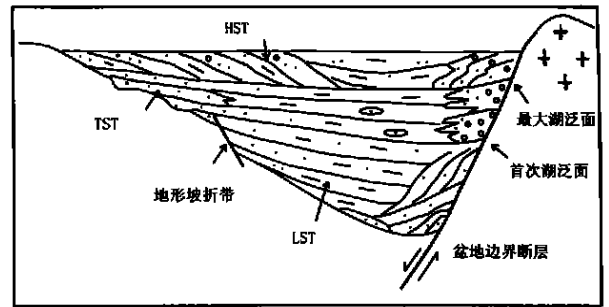


图 4 由低位、湖侵和高位体系域构成的断陷型湖盆层序地层样式

Fig. 4 Sequence model of faulted down basin with lowstand, transgressive and highstand systems tracts

4 结论

起源于被动大陆边缘碎屑岩盆地的层序地层学理论可以应用于陆相断陷型和断陷型湖盆的层序地层学研究。依据中国中生代陆相湖盆的盆地结构特征,可以识别出特定盆地的地形坡折带,进而可以识别首次湖泛面以及最大湖泛面,将一个沉积层序细分成低位、湖侵和高位体系域。在有些断陷型湖盆中,有时不能确定地形(构造)坡折带及首次湖泛面,此时只能将一个沉积层序细分成湖侵和湖退体系域。总之,在进行陆相湖盆层序地层学研究时,应根据陆相湖盆具体地质特征,进行层序划分和体系域的识别,建立能够反映盆地地质特征的、不同类型盆地的层序地层样式。

致谢 本文是笔者近年来在中国东西部中生代陆相湖盆从事层序地层学工作总结。在研究工作中,曾先后得到新疆油田、青海油田、辽河油田以及大庆、胜利油田的帮助支持,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~57 [Xu Huaida. Problems in analysis of faulted basins on sequence stratigraphic theory [J]. Oil and Gas Geology, 1991, 12(1): 52~57]
- 魏魁生等. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系 [J]. 地球科学, 1993, 18(2): 139~149 [Wei Kuisheng, et al. Sequence stratigraphic models and their relationship to oil and gas occurrence in typical faulted basins, northern China [J]. Earth Science, 1993, 18(2): 139~149]
- 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式 [J]. 石油勘探与开

- 发, 1995, 22(4): 6~ 10 [Gu Jiayu. Framework concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroliferous basin [J]. Petroleum Exploration Development, 1995, 22(4): 6~ 10]
- 4 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 8~ 13 [Xue Liangqing. Current status, methodology, and future directions of sequence stratigraphy study [J]. Petroleum Exploration Development, 1995, 22(5): 8~ 13]
- 5 张振生等. 冀中拗陷陆相地层层序地层学的应用 [J]. 石油学报, 1997, 18(2): 26~ 33 [Zhang Zhengsheng, *et al.* An application of sequence stratigraphy in continental deposit of Jizhong depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 26~ 33]
- 6 胡受权等. 断陷湖盆陡坡带陆相层序地层的“沉积滨线坡折”问题探讨 [J]. 古地理学报, 2000, 4(2): 20~ 29 [Hu Shouquan, *et al.* Study on depositional shoreline break for terrigenous sequence stratigraphy along the steep slope zone of fault-depressed lacustrine basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 4(2): 20~ 29]
- 7 纪友亮等. 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Ji Youliang, *et al.* Sequence stratigraphy of continental faulted down lake basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
- 8 顾家裕等. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Gu Jiayu, *et al.* An application of sequence stratigraphy in petroleum exploration and development [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997]
- 9 朱筱敏. 层序地层学 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2000 [Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphy [M]. Dongying Shandong: Petroleum University Press, 2000]
- 10 许淑梅等. 歧口凹陷滩海区下第三系层序地层分析及沉积体系研究 [J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 362~ 367 [Xu Shumei, *et al.* An analysis on sequence stratigraphy and sedimentary system of early Neocene in Qikou sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 362~ 367]
- 11 吴因业. 含油气盆地层序解释技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000 [Wu Yinye. Sequence stratigraphic interpretation and application in petroliferous basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2000]
- 12 朱筱敏. 辽河滩海地区下第三系层序地层学研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000 [Zhu Xiaomin. An study on sequence stratigraphy of early Neocene in Liaohe area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000]
- 13 池英柳. 陆相断陷盆地层序成因初探 [J]. 石油学报, 1996, 17(3): 19~ 26 [Chi Yingliu. Genesis of stratigraphic sequence in continental rift basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(3): 19~ 26]

Sequence Stratigraphic Models of Depression and Faulted-down Lake Basins

ZHU Xiao-min KANG An WANG Gui-wen
(University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract Under the guidance of theory of sequence stratigraphy originated from the study of marine basins in continental margin, this paper analyzed thoroughly the characteristics of basin texture and sediment filling sequence in Chinese Mesozoic-Cenozoic depression and faulted down lake basins, used the geological and geophysical data, took the Junggar, Qaidam, Shongliao and Bohaibay basins as the cases for studying sequence stratigraphy, and pointed out the key of continental sequence stratigraphy study is to determine sequence boundary, first and maximum lake flooding surfaces. It does show that topographic break may be recognized in some depression and faulted down lacustrine basins. Therefore, the sequence stratigraphic models have been built in depression lake basin with or without topographic break. One sequence in depression lake basin with topographic break is composed of lowstand, transgressive and highstand systems tracts, but the sequence in depression lake basin without topographic break only is made up of transgressive and regressive systems tracts. In faulted down lake basin, there are some growth faults in gentle slope of a basin, the different activity of the growth fault produced a topographic change and formed a topographic break, so the sequence stratigraphic model of faulted down lake basin with topographic break has been built, which consists of lowstand, transgressive and highstand systems tracts. Also, this paper has discussed how to determine first and maximum flooding surfaces and sequence boundary according to geological, well-logging and seismic data.

Key words sequence stratigraphy, topographic break, systems tracts, depression and faulted down lake basin