

陆相层序地层划分及岩芯、测井 高分辨率层序地层界面判识

董清水 崔宝琛 李想 郭巍

(长春地质学院, 130026)

本文提出了陆相盆地中存在有3种叠加方式4种类型的准层序组,即I、I型加积准层序组,进积准层序组及退积准层序组;论证了陆相层序地层学4分方案的可行性,并建议使用湖泊枯水体系域(LDST)、湖泊扩展体系域(LEST)、湖泊丰水体系域(LF-ST)以及湖泊萎缩体系域(LWST)等术语;总结出了层序界面的4种类型——区域角度不整合面、火山—局部不整合面、湖盆萎缩最大暴露冲刷面及区域性超覆不整合面;指出了生物富集层和油页岩的底界面以及低能量细碎屑与下伏钙质团块和滑塌构造层之间的界面是准层序界面,而规模较大的水深突增岩相界面、较厚的滑塌构造层顶界面以及颜色突然变深的较厚泥质沉积物分界面可作为准层序界面。

关键词 陆相层序地层 划分方案 高分辨率 层序地层界面

第一作者简介 董清水 男 33岁 讲师 石油地质

1 陆相层序地层划分方案讨论

陆相湖盆湖平面的旋回性变化以及由此而产生的以不整合面为界的地层发育特征,使得陆相地层具备了应用层序地层学进行研究的基本条件。但是,相对海相而言,陆相盆地的沉积受构造运动和物源供给两因素的影响更为复杂,增加了陆相地层进行层序地层学研究的难度。近年来,国内外许多学者在此研究领域进行了广泛的探索。魏魁生和徐怀大(1993)提出了低位体系域、湖进体系域和高位体系域3分的陆相层序地层模式;解习农和李思田(1993)根据沉积速率与沉降速率的比率将陆相盆地小层序组划分为进积小层序组、加积小层序组、退积小层序组和湖泛小层序组;刘招君(1994)提出了低水位体系域、湖进体系域、高水位体系域和湖退体系域4分的陆相层序地层学模式。

在前人研究的基础上,作者认为,构造作用是控制陆相层序地层发育的重要因素。因此,进行陆相盆地层序地层学的对比分析,要区别研究不同构造活动部位的层序地层发育特征,特别要区别研究以掀斜中心点或中心轴线(理想盆地掀斜时水位保持恒定的点或线)为界的盆地不同边缘部位的层序地层发育特征。当盆地存在差异升降引起的掀斜作用时,则盆地掀斜中心点或中心轴线的两侧区域,其层序

地层发育特征可以不同。在某一时期,当盆地一侧为退积堆积时,盆地的另一侧可能恰好为进积式堆积。

对于盆地掀斜中心点或中心轴一侧的某一同向构造活动区域,控制层序发育的因素除基底沉降和沉积物供给外,气候和外来水源的补给也是重要的控制因素。例如,松辽盆地下白垩统姚家组沉积期的干热气候向嫩江组沉积期的湿热气候转变以及青山口组沉积早期的海水注入(王东坡等,1994),都使松辽盆地的水体发生了巨大变化。因此,作者认为,准层序组类型的划分仅用沉积速率与沉降速率比值这一参数是不够的;陆相层序地层的发育取决于物源供给、构造、气候、外来水源补给等因素的综合效应——研究区内湖水的变化。进行陆相盆地准层序组类型的划分选用沉积速率与湖水水量增长速率的比值(v_{de}/v_k)更为合适。

根据沉积速率与湖泊水量增长速率的关系,陆相盆地中存在有3种叠加方式4种类型的准层序组,即进积准层序组、退积准层序组及I、II型加积准层序组(图1)。它们与湖泊的4个水量变化阶段密切相关(图2)。

湖水枯水期,指湖泊萎缩到极限后至大规模湖泛作用发生之前的湖泊演化阶段,此时,水上暴露面已达最大值,前期的湖泊萎缩已使地势较为平夷,沉积物供给非常缓慢,水源供给与沉积物堆积基本持平,水体的水量大致保持恒稳,从而发育了以浅水相

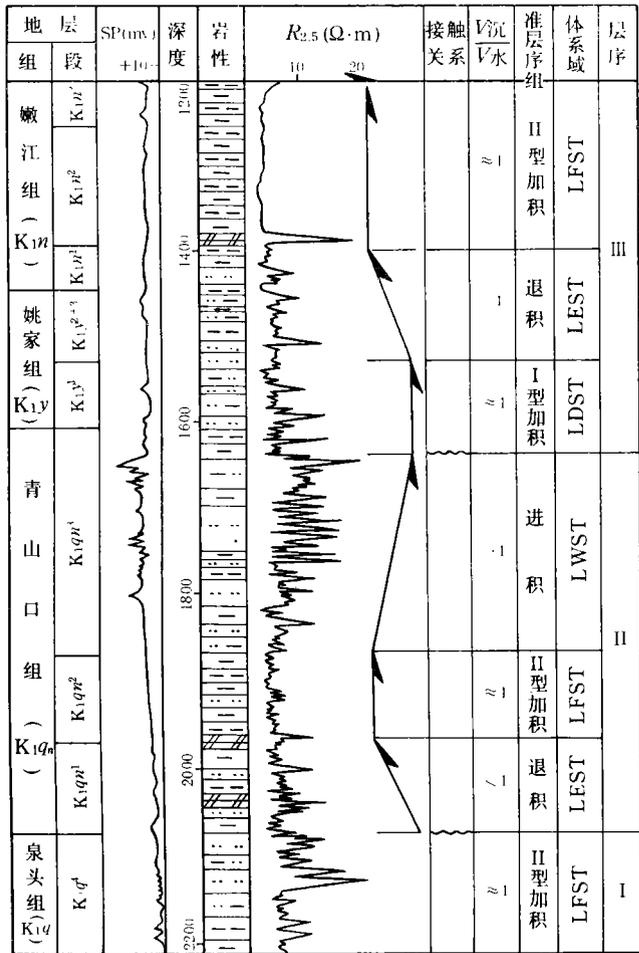


图 1 松南海 6 井层序地层特征

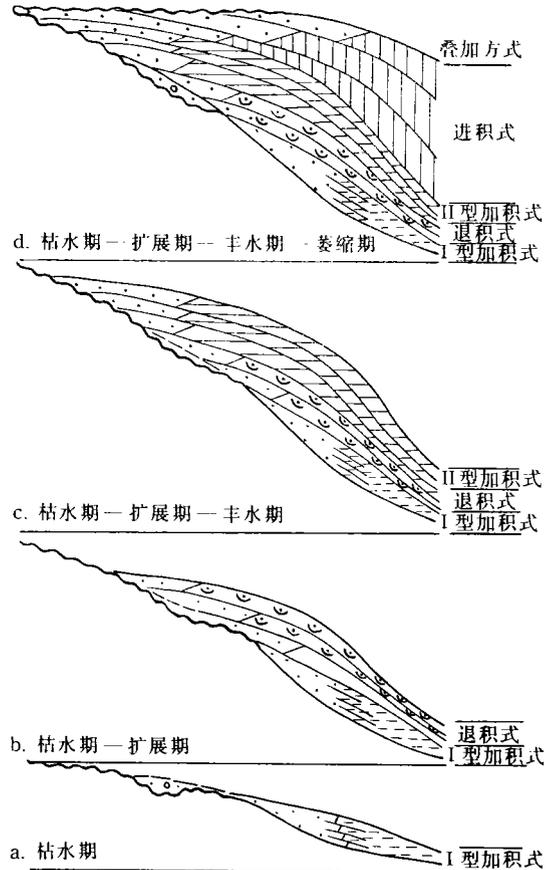


图 2 准层序叠加方式与湖泊演化的关系

或冲积平原相为主的 I 型加积准层序组,形成了规模最大的不整合面(图 2A)。

湖泊扩展期,指湖泊由枯水状态转变到初始湖域最大极限值的演化阶段。此时,湖水增长速率大于沉积物堆积速率,湖水面积不断扩大,从而形成了退积式准层序组合型式(图 2B)。

湖泊丰水期,指湖泊扩展到极限值后至湖泊水体开始萎缩时的湖泊发育阶段。此时,陆源物质供给较少,湖水的增长速率与沉积物堆积速率相近,湖泊水体基本保持恒定,湖泊岸线变化不大,从而形成了边缘相不发育而较深水相广泛发育的 II 型加积准层序组(图 2C)。

湖泊萎缩期,指丰水期之后湖泊水体逐渐减小的湖泊发育阶段。此时,沉积物堆积速率大于湖泊水体增长速率,湖泊水体逐渐萎缩(湖平面高程并不一定变化),从而形成了进积准层序组(图 2D)。

由上可见,一个完整的湖泊演化旋回恰好形成了顶底以不整合面或其相应整合面为界的一个完整层序。该层序内有规律地发育了 3 种叠加方式 4 种类型的准层序组。因此,作者认为,陆相层序地层学 4 分方案是可行的。为了更明了准确地反映湖泊水体四个变化阶段的特点,作者建议使用“湖泊枯水体系域(LDST)、湖泊扩展体系域(LEST)、湖泊丰水体系域(LFST)和湖泊萎缩体系域(LWST)四个名词术语,以分别代表前述 4 个演化阶段所形成的具有一定叠加方式的沉积体系组合。

2 高分辨率层序地层界面的岩芯、测井判识标志研究

高分辨率层序地层学是近年来快速发展起来的更精确的层序地层分析方法,它主要是利用岩芯、露

头、测井和高分辨率地震剖面资料识别准层序级的层序地层单元(薛良清,1995;Embry,1993)。其研究的关键是界面的判识。作者在近年工作中对此有了一些初步的认识。

2.1 准层序界面的判识

准层序界面是一个小的湖泛面及其可对比的界面,其突出地将界面之下的浅水岩相与界面之上的较深水沉积分隔开来,从而显示了小的沉积间断。该类小沉积间断的判识标志可归纳为2类6型。

2.1.1 确信标志类

(1)油页岩底界面:据准层序的发育过程可知,准层序的形成是一小的湖泛旋回,这一小的湖泛旋

回实际是由3个小阶段组成的。第1个小阶段是快速的湖进时期,其作用以冲刷破坏为主;第2个小阶段是湖泛水体稳定发育期,此时矿物质碎屑沉积速率缓慢,但由于水深的突然变化,加速了生物死亡速度,造成了有机质堆积速度的相对升高,从而易于形成富含有机质的油页岩或暗色泥岩;第3个小阶段是河流复活阶段,矿物质碎屑供应和生物死亡速度逐渐趋于正常,从而结束了富含有机质的相对深水沉积,形成了水深逐渐变浅的其它沉积物。因此,油页岩底界面常为准层序界面。例如,松辽盆地六安、海沱等地的青山口组一段水进体系域的准层序即多以油页岩底面为界(图3A)。

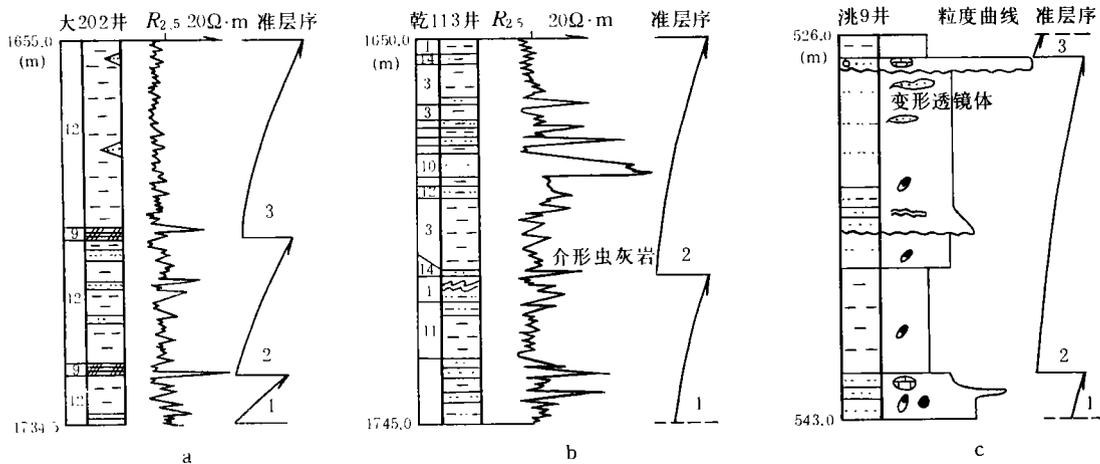


图3 松辽盆地西部斜坡区准层序界面划分实例

油页岩底面作为准层序划分的标志,其使用范围是有局限性的,只有在(扇)三角洲前缘的远端及浅湖或浅湖与半深湖的过渡带,此标志效果最佳。

(2)生物富集层底界面:某些湖泛作用常造成湖水介质环境的突然变化,例如,湖泛是由于外海海水注入引起的,从而使盆地水体快速咸化,易于形成钙质沉积,同时造成大量生物的死亡,形成富含介形虫化石的灰质沉积。因此,薄层介形虫灰岩的底界常为准层序界面。松南乾113井1703.2m处的准层序界面即为典型实例(图3B)。

生物富集层底界作为准层序划分标志主要见于三角洲前缘或浅湖相带。

(3)上为低能量细碎屑,下为钙质团块和滑塌构造层的界面:由湖泛过程可知,湖泛之前,暴露在水面之上的土壤中易于形成钙结层,洪泛之时,细粒沉积物被淘洗冲刷,残留下粒径较大的只可短距离搬运的钙质团块。同时,由于湖泛的破坏作用,湖泛之

前沉积的未固结地层易于发生滑塌作用,从而使得湖泛面之下的紧邻岩层中滑塌构造发育。如变形层理、同生小错动以及扭曲的透镜状砂体,甚至出现包卷层理等。此外,湖泛作用时,水深突增,使界面之上沉积物为低能量细碎屑。所以,当上述3种沉积特征同时具备时,钙质团块层的顶界面即为准层序界面。例如,松南兆9井527.5m处的准层序界面即为此种类型(图3C)。

利用上述3种标志综合判断准层序界面主要适用于滨浅湖及(扇)三角洲前缘的近端相带。对于湖岸线附近的水上相变带,其准层序界面之下的滑塌构造标志常不明显或没有,此时,“上为低能量细碎屑,下为钙质团块”的界面也是较好的准层序划分界限。

2.1.2 非确信标志类

(1)规模相对较大的水深突增岩相界面可作为准层序划分界限。这类界面在非(扇)三角洲沉积的

滨浅湖相带较为典型。在(扇)三角洲相带,由于形成准层序的湖泛规模较小,所造成的沉积物突变界面不易与环境变化所造成的岩相界面相区别,必须综合其它沉积特征选择性地使用该类沉积界面。

(2)较厚滑塌构造层顶界面可作为准层序划分界限。其原因是,湖泛作用多为突发性事件引起,伴随突发性事件的发生,加之湖泛作用造成的先期沉积物含水饱和度与其坡度的不适应,易于在较深水相带形成广泛发育的滑塌构造层。因此,较厚滑塌构造层的顶界面可作为准层序界面。但造成滑脱的还有许多其它原因,因此,使用这一标志时必须通过综合分析对比,有选择性地使用该类沉积界面。

(3)由下至上,颜色突然变深的较厚泥质沉积物分界面可作为准层序界面。由于湖泛作用使得同一地点的水深突然增加,还原程度提高,从而造成泥质沉积物颜色由浅变深,形成可识别的准层序界面,但造成颜色突变的原因还有物源和气候等因素。所以,使用这一标志时必须详细的分析对比,方可最终确定。

2.2 层序界面的判识

根据 P. R. Vail 的层序含义,结合陆相盆地发育特点,层序界面的岩芯、测井判识可以归纳为以下几个方面。

(1)区域角度不整合界面:这种界面往往与构造运动事件相吻合,是强烈的古构造运动所形成的古风化剥蚀面,该界面在区域上发育普遍,可对比性强。在岩芯中,界面上下地层的产状和岩石面貌(包括变质和构造作用强度等特征)明显不同。在测井曲线上,界面上下的曲线幅值截然变化。例如,松辽盆地石炭—二叠系顶部的不整合面及下白垩统与上白垩统之间的不整合面皆为典型代表,其自然电位曲线、视电阻率曲线及声波测井曲线的起始基准值、平均幅值均成倍变化。

(2)火山—局部不整合面:该界面一般对应着区域上规模较大的火山活动起始界限。是低于区域构造运动事件的次级构造运动造成的层序界面。界面之上普遍发育了区域可比性较好的火山及火山碎屑岩,局部地区表现为不整合接触关系,是较好的层序界面,例如,松辽盆地火石岭组与沙沟子组、沙沟子组与营城组等界面皆为火山—局部不整合面,是典型的层序界面。

(3)湖盆萎缩最大暴露冲刷面:由湖泊的演化过程可知,丰水期水体覆盖面积最大。随着湖盆的萎

缩,水体逐渐向湖盆中心迁移,水上暴露面逐渐增大,至湖泊的下一个演化旋回枯水期开始时,地表暴露面积达到极限值。因此,覆盖面积最大的深水沉积相之上,首次达到最大极限值的暴露冲刷面即为层序界面。例如,松辽盆地西部斜坡区的青山口组二段为湖泊丰水体系域,深水沉积覆盖面积最大,其上首次达到极限值暴露面的青山口组三段顶界面之下 30m 左右处即为典型层序界面。

此类最大暴露冲刷界面,由于沉积间断时间短,且上下关系整一,传统的地层研究方法不易发现,但通过上述层序地层理论的分析,即可帮助判识。

(4)区域性超覆不整合界面:与前者层序界面不同,该界面是在前期层序尚未发育完善的情况下,或发育至丰水期、或发育至萎缩期,前期层序即行终止,湖泊再次发生大规模水进事件,形成了盆地中心地带整合而盆缘不整合的层序界面。

该类局部不整合层序界面,用传统地层研究方法也不易确定,但根据层序地层学体系域的配置规律性,即可对该类界面进行确定。因为一个完整的层序,体系域自下而上的分布是:湖泊枯水体系域、湖泊扩展体系域、湖泊丰水体系域以及湖泊萎缩体系域四部分,除下部湖泊枯水体系域可以缺失和上部体系域可以被剥蚀破坏外,不吻合这一垂向分布模式的两体系域分界面即为层序界面。例如,松辽盆地白垩系泉头组四段为湖泊丰水体系域(图 1),其上青山口组一段为湖泊扩展体系域,这一上下关系不吻合单一层序内体系域的配置关系,两体系域之间实为区域性超覆不整合型层序界面。

3 岩芯、测井高分辨率层序地层研究实例

依据上述判识标志,松辽盆地西部斜坡区青山口组地层(除去顶部 30m 厚地层)是一个下为超覆不整合界面、上为湖盆萎缩最大暴露冲刷面所限的单一层序。

该层序自下而上可划分为湖泊扩展体系域(LEST)、湖泊丰水体系域(LFST)和湖泊萎缩体系域(LWST)3 部分(图 4)。它们总体呈楔状由盆地边缘向中心加厚。其中湖泊扩展体系域主要由退积式的 3 个准层序构成。自准层序 1 至准层序 3,沉积岸线逐渐向盆缘方向超覆扩展,扇三角洲前缘与前扇

三角洲的相带分界也相应向盆缘方向迁移。至准层序4时,岸线及相带迁移到最大范围,之后形成了相带及岸线基本保持不变的加积式的4个准层序组,构成了湖泊丰水体系域。其上是进积的4个准层序组构成的湖泊萎缩体系域,4个准层序的岸线位置及

相带分界逐一向盆地中心方向迁移演化。湖泊水体的规模越来越小,至青山口组顶界面下30m处,湖泊暴露冲刷面达到最大极限值,形成了化石带缺失的局部平行不整合层序界面,结束了该层序的发育。

综合分析表明,控制该层序发育的因素非常复

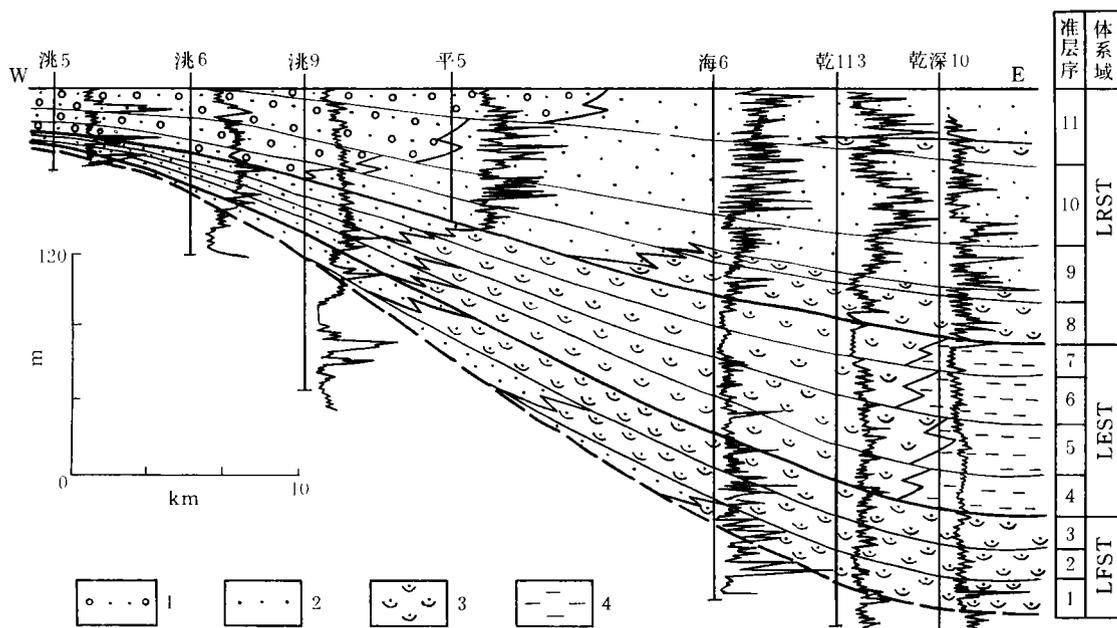


图4 松辽盆地西部斜坡区高台子油层高分辨率沉积层序格架图

1. 扇三角洲平原; 2. 扇三角洲前缘; 3. 前扇三角洲; 4. 深湖

杂,但外来海水的周期性注入是控制层序内部结构的主要因素。这不仅通过大量的底流冲刷沉积特征和周期性介形虫突然死亡事件可以得到证实,而且生物灰岩中的海绿石成分,黑色页岩中黄铁矿硫同位素的周期变化以及湖水咸化的地球化学特征等标志均提供了有利的证据^①。除此之外,孢粉组合类型和构造沉降特征研究表明,古气候和构造沉降也是控制该层序内部结构发育特征的重要因素,但处于次要地位。

4 结语

综上所述,可以得出两点认识:

(1) 陆相盆地层序地层学4分方案是可行的。使用湖泊枯水体系域(LDST)、湖泊扩展体系域(LEST)、湖泊丰水体系域(LFST)和湖泊萎缩体系域(LWST)等术语可以更好地反映这一旋回过程中

湖泊演化的4个阶段。

(2) 区域角度不整合面、火山—局部不整合面、湖盆萎缩最大暴露冲刷面、区域性超覆不整合面是层序界面。生物富集层和油页岩的底界面以及低能量细碎屑与下伏钙质团块和滑塌构造层之间的界面是准层序界面;规模较大的水深突增岩相界面、较厚的滑塌构造层顶界面以及颜色突然变深的较厚泥质沉积物分界面可作为准层序界面。

本文是在刘招君教授的思想启蒙下完成的,在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1 魏魁生,徐怀大. 华北典型箕状盆地层序地层学模式及油气赋存关系. 地球科学, 1993, 18(2): 141~149
- 2 解习农,李思田. 陆相盆地层序地层研究特点. 地质科技情报, 1993, 12(1): 22~26

① 王璞君,松辽盆地白垩纪湖海沟通事件及其与全球白垩系的对比. 博士论文,1994

3 王东坡,刘招君,刘立. 松辽盆地演化与海平面升降. 北京:地质出版社,1994

4 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景. 石油勘探与开发, 1995,22(5):8~12

5 Embry A F. Transgressive—regressive(T—R) sequence analysis

of the Jurassic succession of the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago. *Can. J. Earth. Sci.* 1993, 30:301~320

(收稿日期:1996年10月16日)

A DIVISION OF CONTINENTAL SEQUENCE STRATIGRAPHY AND THE IDENTIFICATION OF ITS INTERFACE WITH HIGH RESOLUTION CORE ANALYSES AND WELL-LOGGING

Dong Qingshui Cui Baochen Li Xiang Guo Wei

(Changchun College of Geology)

Abstract

In a continental basin there are four types of parasequence with three patterns of overlappings, i. e. I, II typed aggradational parasequence set, aggressive parasequence set and regressive parasequence set; thereby the paper discussed the feasibility of the four-division plan for continental sequence stratigraphy, and proposed the terms of lacustrine dry system tract (LDST), lacustrine extend system tract (LEST), and lacustrine wrinkle system tract (LWST). It is summarized that sequence interfaces may be clarified into four types: regional angled unconformable contact, volcano-local unconformable contact, maximum exposure flushing surface of lacustrine wrinkle and regional onlapping unconformable contact, etc. Finally the paper suggested the followings may be considered as interfaces of parasequence: the bottom interface of oil-shale and organic-rich layer; the interface between the low-energy fine clastics and underlying calcareous concretion and slump structural layer, the rock facial plane characterized by a large scale abrupt increase of water depth; the top interface of a thick slump structural layer; and a thick muddy sedimental interface characterized by an abrupt color mutation.