

陆相层序地层学研究中的某些问题*

徐怀大

(中国地质大学, 北京 100083)

陆相层序有它自身的特点, 一是基准面比海相地层复杂, 不是水平面, 而是高于海面的复杂曲面。Cross 提出的方法比较好地解决了这个问题, 但是要用地震资料加以约束。二是年龄确定困难, 应当大力开展各种物理的、同位素的和化学的年龄测定工作。三是应当正确地看待连续强反射, 不是所有的连续强同相轴都是层序界面, 也不存在遍布全盆地的连续强同相轴。四是要重新认识生油岩, 要从四维空间上研究生油岩中的有机质类型、丰度, 以及在生油过程中可能发生的物理和物理化学作用。结合目前我国层序地层学研究的现状, 有四个值得注意的问题。

关键词 层序地层学 基准面 陆相层序 年龄确定 生油岩

作者简介 徐怀大 男 63岁 教授 石油地质

1 传统地层学与层序地层学

任何新事物的诞生和成长都要经历一个曲折的过程, 近年来地质学的基础学科地层学发生重大的变化, 出现了一门新的学科——层序地层学。层序地层学不仅改变了传统地层学中的基本分层原则, 也改变了地层学研究的一些思路和方法。

传统地层学(又称外源地层学 allostratigraphy) 中的地层划分, 是以各种形式的不连续面为依据的。由于它没有对这些不连续面加以区分, 因此, 就无法从更深层次考虑到地层的成因, 所以, 人们很难从不同的地层中找到它们与油气或者其他矿产的形成与分布间的直接联系。传统地层命名规范中, 提出过三种命名原则: 即生物地层, 岩石地层, 和时间地层单位。生物地层单位常常因为不同生物带的延时而相互矛盾, 不同地点的岩石地层单位也往往因为相带的穿时变化而彼此冲突, 真正起作用的时间地层单位, 又因为地质年龄难以确定而形同虚设。人们不是把生物地层当成时间地层单位在使用, 就是把穿时的岩石地层单位当成时间地层来使用。因此, 几乎每一个地区的地层划分都存在着长期的争论。由于地震反射界面基本上是等时面, 它第一次为地质学家提供了直观的解释不同年龄地层在三度空间上的结构; 又由于地震波形参数反映了地层的岩性和物性, 因此, 在深入进行地震地层学研究的基础上, 发展出了层序地层学。其目的就是要从年龄上查清层序的先后次序, 成因上查清层序的形成规律、层序内部的相带分布规律, 从而做到科学的岩性预测和油气预测。

* 本文系国家“八五”攻关项目(85-101-04-05)的部分成果

收稿日期: 1996 12 09 改回日期: 1997 01 07

2 层序的命名与争论

层序地层学从一开始就存在着命名上的争论、矛盾,甚至某些混乱。成因层序以最大海泛面为层序分界^[1],而 Posamentier 及 Vail 等人提出的沉积层序以不整合面为界^{*}。传统地层界面也强调以不整合面为界,但是它采用的界面只有一部分是真正的不整合面,相当一部分是最大海泛面(据 Haq 等人所编中生代全球海平面变化曲线统计)。近年来兴起的高分辨率层序地层学,实际上是指分辨率高于地震分辨率的地层学。究竟多大分辨率算高,并无一定的明确界限。有人强调地面露头的高分辨率层序研究,无疑是十分重要的。而且,要真正发展层序地层学,最好的办法还是在地面上找到几处良好的典型露头,进行各种类型层序的详细研究。但是在油气盆地中,要想在地面上找到没有覆盖、出露连续、产状平缓,适合于层序研究的剖面是很难的。即使有,要想把地面观测结果与地下联系起来也是困难的。目前国外应用一种地面露头伽马射线强度测量方法^[2],将地面测得的曲线和附近井中伽马测井曲线进行对比,用这种办法找出它们之间的关系;但是这种对比有可能带来一定程度的穿时现象。目前流行的是将测井资料用于高分辨率层序地层研究^{**},也有高密度微体和超微体古生物法^[3],以及高密度碳氧同位素法^[4]。这些研究都是与测井以及地震资料相结合的,因此,高分辨率层序地层学研究实际上就是岩芯、测井、露头、地震测量资料相结合的综合层序地层学研究方法(integrated approach)^[5]。然而,地震勘探的采集、处理和显示技术也在不断改进,提高分辨率后的地震资料,也将给层序地层学研究带来一些出乎意料的效果。

3 陆相层序地层学中的问题

对于中国石油地质学家来说,更重要的是研究陆相地层,因为中国的石油基本上是从陆相地层中产生的。严格地讲,陆相地层除了湖泊沉积物、河流沉积物和沼泽沉积物外,还包括沙漠沉积物、冰川沉积物、洞穴沉积物和火山沉积物。这些沉积物多数和石油的关系不大,石油地质学家也不太注意它们,但是火山沉积物却对油气成藏有重要的关系。

海相层序以海平面为基准面,比较简单。但是陆相沉积物一般是在海平面以上沉积的,当然,在个别情况下,如死海,也可以低于海平面。陆相地层具有某些独有的特征,它们反映了陆相地层在生成过程中所经历的特有的复杂的地质、地理、地貌、构造、物理和化学生成环境和过程。这些不同的环境和过程带来了如下的一些结果,它们包括:

(1) 在拉张、压缩和扭力作用下形成的陆相盆地,在它的不同历史阶段,具有不同的地层发育史,截然不同的地层结构和不同的相带分布模式。

(2) 复杂的地理背景如盆地距离海岸的远近,可以形成与海洋全然隔离的内陆盆地、与海洋偶然相通的滨海盆地,以及处在海岸平原靠陆地一侧的平原地带上的盆地。它们都会沉积陆相沉积物,但是沉积物的类型将有很大差别。此外,盆地所处纬度的高低,将引起不同的气候、不同的植被、不同的水系发育,自然也会造成不同的陆相沉积物。

(3) 盆地内部与盆地四周的地貌特征,以及相邻盆地是否相通,它们之间的高程差别、距

* Posamentier H W, Vail P R. Sequences systems tracts and eustatic cycles. AAPG Annual Meeting, 1988

** Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation. 西北欧层序地层学会议材料, 1994

离物源的远近，都将造成复杂的高于海平面或者湖平面的基准面变化。这个面不再是平面，而是依重力下滑休止角不同而变化的曲面。显然这些复杂的变化必将造成不同的沉积物。

(4) 盆地内部、盆地边缘以及盆地附近的火山活动、岩浆活动，既会在盆地内形成特殊的火山沉积物，也会改变盆地的地热梯度和地热场，影响到油气的形成、运移和聚集。

3.1 基准面

陆相层序研究中存在的最大问题是基准面的问题。所谓基准面指的是一个侵蚀和沉积作用达到平衡的面，在这个面上既没有侵蚀作用也没有沉积作用，所以亦叫做平衡面(equilibrium surface)；又因为上游搬运来的沉积物在此地路过，但是没有遗留下来，所以也叫过路不留面(bypassing surface)；还因为这个表面的高程是逐步降低的，也有人称之为递降表面(graded surface)或译为夷平面，或者称为基准剖面(base profile)。它的基本概念如图1所示，Quirk^[6]把它称之为冲积层序地层学的一个统一的概念，

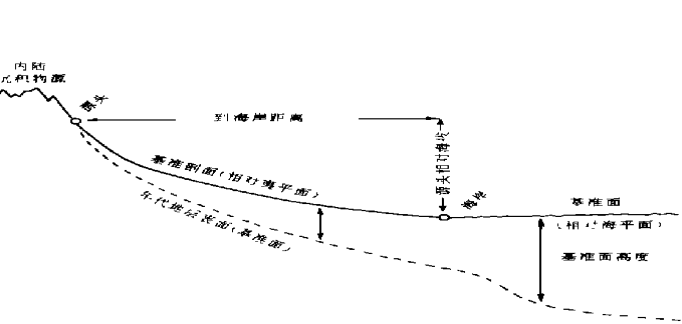


图1 基准剖面的概念以及它和基准面的关系^[6]

基准面旋回	基准剖面上升(加积)	基准剖面下降(剥蚀)
基准剖面坡度极少变化	1. 冲积平原处沉降	4. 冲积平原处上升
基准剖面变平	2a. 基准面上升	5a. 增加卸载量
	2b. 海岸前积	5b. 减少粗粒沉积
	2c. 基准面下降 (海底比基准剖面平坦)	5c. 内陆上升
基准剖面变陡	3a. 卸载量降低	6a. 基准面降低 (海底比基准剖面陡)
	3b. 增加粗粒沉积	6b. 海岸侵蚀
	3c. 内陆下降	

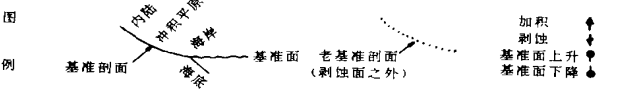


图2 泄水盆地中基准剖面变化的起因和后果^[6]

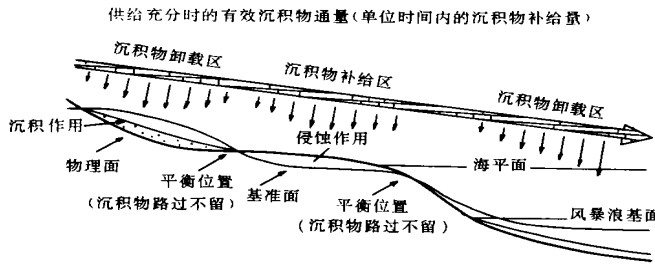


图3 基准面特征与沉积、侵蚀、路过不留作用的关系^[8]

值得注意的是 Cross^[8]根据 Wheeler^[9]的基准面概念提出一个模式(图3)。图中有一个曲面是基准面，它在海洋范围内基本上是平行于海平面的风暴浪基面；而在朝陆方向则是一种

并将一个汇水盆地中基准剖面变化的起因和影响总结于图2中。注意：在基准剖面上升的情况下，引起的冲积层段的变化可以有三种情况，一种是海平面上升引起的上超；一种是高水位前积引起的退超；一种是陆地上的卸载能力降低，粗粒沉积物的增加，或者内陆地区沉降引起的下超，并非如 Vail 等^[7]所说的全是上超。

波浪起伏的曲面。当这个基准面低于地表面时,该地段发生侵蚀;反之,当基准面高于地表面时,该地段发生沉积。当两个面彼此重复时,该地段既不侵蚀也不沉积,因此叫做无沉积作用面。对于中国东部的箕状断陷群来说,由于相邻断陷的高程不同,它的基准面要复杂得多。基于上述图解, Cross 导出一个基准面升降旋回中,同一地质时期不同地点的不同沉积环境,有的地段发育了完整的旋回,有的地段只有上半个旋回,有的只有下半个旋回,有的没有沉积物。根据同样道理, Cross 还做了一个模型,该模型不仅反映了地层的前积、退积和加积等叠置结构,而且表示了不同相带的体积比例和他们的厚度变化。在此基础上,导出一个地层对比方式图解。从这个图解中可以看到,在地层对比上,不能简单地泥对泥,砂对砂,或者简单地进行旋回对比,而是根据在一个旋回中不同地理位置上的地层发育特点进行对比。在这种对比的原则下,不仅一个完整旋回可以和相邻的另外一个完整旋回对比,也可以将向上变细的半个旋回和另一个向上变粗的半个旋回对比,甚至于可以和没有沉积的一个面进行对比。实际的对比工作是先进行较大旋回对比,然后依次进行较小旋回的对比。Cross 的这种研究方法在对层序结构特征的了解方面,有了很大的进步,而且在某些地区的层序研究中取得了成功。然而,这种方法是以前测井资料分析为基础的,它只适用于井比较多的地区,其研究范围不可能很大,对局部出现的自旋回事件不可能考虑很多。因此,在二、三和四级层序的划分和对比上,除了要考虑 Cross 的原则外,还必须利用高质量和高分辨率的地震资料加以约束和校核。关于 Cross 的原则和对比方法,邓宏文曾经做过详细讨论^[10,11]。

3.2 绝对年龄

陆相层序研究中第二个大问题是绝对年龄的确定。由于陆相地层缺乏可以断代和推定其绝对年龄的化石证据,因此必须依靠同位素或者其他的化学方法确定地层的绝对年龄,并以此为基础,对盆地的地层发育史、构造发育史,以及油气藏形成史作出推断。目前已知有大约70多种方法可以用来确定地层年龄,其中包括物理测年法(如闪烁计数法、半导体检测法、稳定和长寿同位素原子计数法、质谱法、中子活化法、火焰光谱法、离子探针法、X射线发光法等等),放射性测年法(母子同位素比值法),化学测年法(如氨基酸消旋法、氨基酸降解法、电子自旋共振法、氮或者骨胶原成分的骨骼测年法、蛋白质和DNA分子钟法、黑曜岩水化法、钙扩散和阳离子比法、氟或者铀含量骨骼测年法、人造玻璃测年法等等),以及利用全球时间标记的年代地层定年法(如古地磁法、人工放射性核法、特殊元素铯和锶的时间标记法等)。人们应结合需要,选择适于本地区的方法,确定陆相地层的年龄格架。为了加速油气勘探,这项工作看来是必须做的,而且做得越早越好。有了这些格架值之后,就基本上控制了大段地层的年龄跨度;然后,再利用米兰科维奇频率法或者其它近似的方法,确定相邻时间格架值之间的地层年龄。

3.3 强连续同相轴

第三个大问题是如何看待强连续同相轴。多年来各个油田都把地震反射中的强连续同相轴作为地层分界来对待,并且常常认为它们就是不整合面。如果用层序地层学观点来检查一下就会发现,它不是不整合面。强的连续反射往往是层序内部的最大洪泛面(也就是下超面),真正的不整合面在它的下面^[12]。如果是在盆地范围内,不整合面和强连续同相轴之间,还会有低水位体系域发育;如果是处在湖盆边缘,这个强反射和不整合面非常贴近,几乎重合,但在它的下面常常发现下切河道。另外,是否每个盆地都存在一些连续的遍布整个盆地的强反射呢?答案是不一定^[13],而且随着地震分辨率的提高,原来的连续性强反射分解成一个以上的反射,降低了原来的振幅和连续性,并可能揭示出一些假的上超和下超(图4)^[14]。

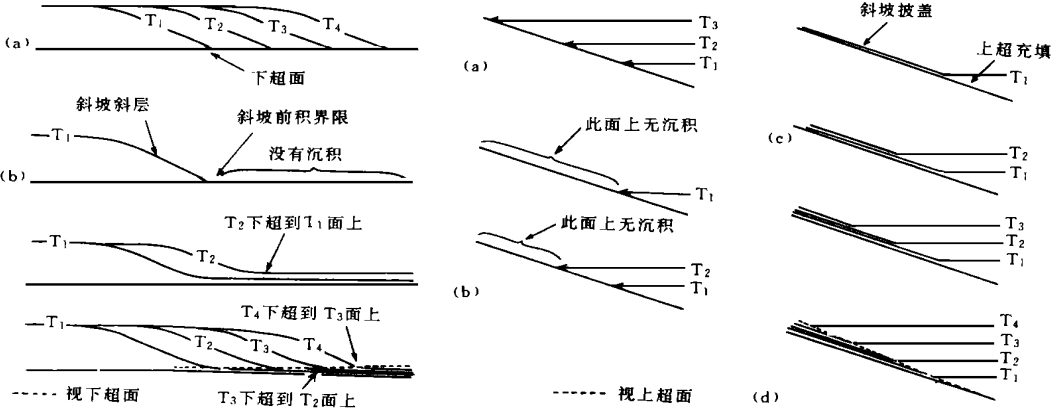


图4 真上超，真下超与视上超及视下超的起因^[14]

3.4 生油层

第四个大问题是如何处理生油层的问题。过去人们在进行生油量计算以及研究成藏系统时，总是把生油岩看作是个单一的地层——生油层。但是从层序地层学角度看来(图5)，生油

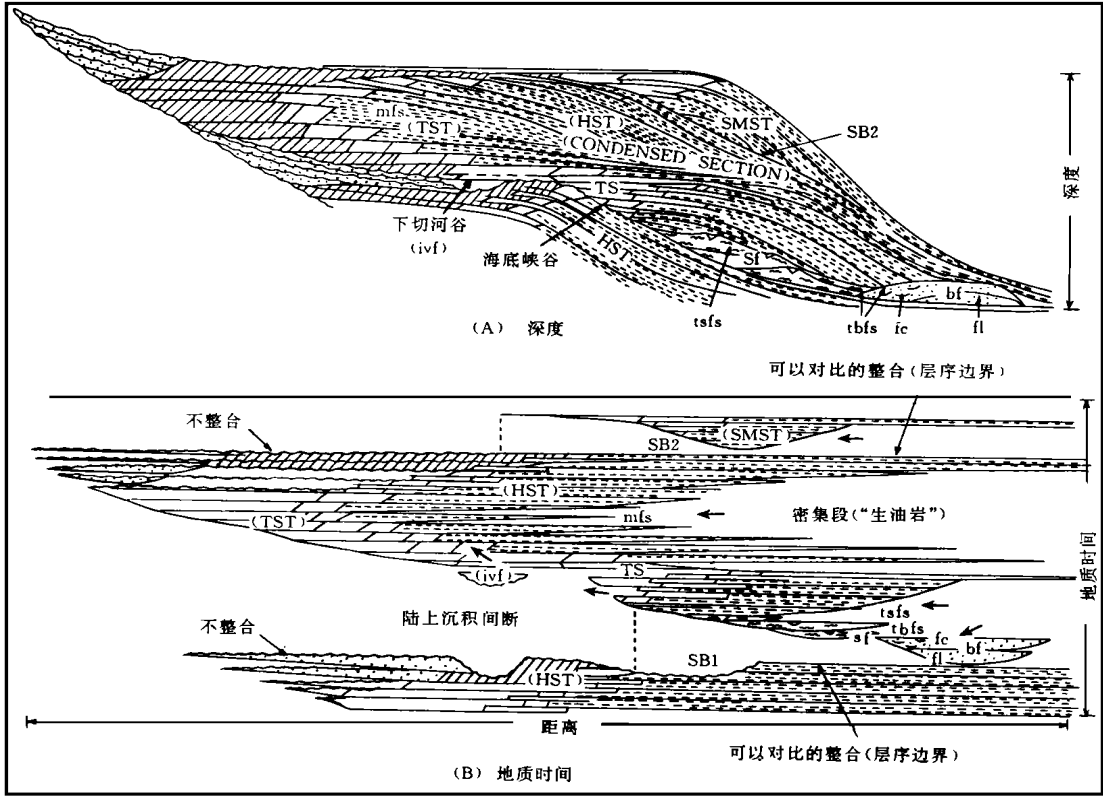


图5 典型层序模型中的生油岩分布及油气运移路线

TST—海进体系域; HST—高水位体系域; SMST—陆架边缘体系域; sf—斜坡扇; TS—首次海泛面; tsfs—斜坡扇顶面; tbfs—浊积扇顶面; mfs—最大海泛面; SB1—I型不整合; SB2—II型不整合; fl—扇底; fc—扇复合体; ivf—下切河谷

岩只是跨越最大洪泛面上下的密集段的同义词,它并没有固定的顶底界面,因此它不是成层的岩层。密集段的岩性,一般是富含有机质的泥岩,厚度通常很薄,但是它的时间跨度通常却很大,亦即它的沉积速度很低。在海水或者湖水与泥质和有机质长期作用下,加上温度的催化作用,产生了石油、天然气,以及其它一系列金属与非金属矿产。由此而引发了一系列地球化学、有机地球化学以及物理化学的问题,留待今后地质学家们去解决。

4 小结

上述诸问题的提出,说明了层序地层学的出现,仅仅是吹响了地层学革命的号角,存在的问题还多得很。请不要把当前流行的各种模式,当作用之四海皆准的灵丹妙药,“应当把层序地层学当作一种查看和整理地质资料的途径,而不是它的终结”^[15]。在检查层序地层学研究结果的成败好坏时,首先要看你是否把握了层序地层学中的基本原理和它们的内涵,其中包括地层旋回性概念、造成地层旋回性的四大因素的概念、沉积基准面概念、可容纳空间概念,等等。目前层序地层学原理已经应用到各种比例尺的研究对象,小到一场暴雨之后,公路两旁排水沟侧翼形成的微层序,大到长距离常规地震剖面所包容的时间和空间中的巨层序。因此,一个层序地层学研究的好坏,不在于它所涉及的时间和空间规模,而在于是否考虑到所研究地区的基准面特征、构造演化、沉积物供应情况、气候条件,以及地形地貌等地区性因素。

结合我国当前的研究现状,在评价一个层序地层学研究成果时,应注意以下几个方面:

(1) 如果你所划分的三级层序的界面与传统的阶或者段的界面完全一致,那么你的划分方案中大概是有错误的。

(2) 如果你仍然把所有的强连续同相轴作为不整合来处理,并把它们当作层序界面,那么在你的解释中必然包含着某些错误。

(3) 根据你划分的层序剖面作一张层序格架图,如果你的层序依然是千层饼一样的分布,彼此平行着,那么你的层序划分可能存在着某些问题。

(4) 在进行油气资源量计算、远景评价,以及油气成藏系统的研究时,注意用层序地层学的观点研究生油岩的分布,不要把生油岩看作是厚度均一的平整岩层,同时要从时间和空间的四维角度研究生油有机质成分以及含量的变化。也许有更多的微量元素参与这些复杂的变化,这后一点,很可能对某些金属或者贵金属矿床成矿规律的认识带来重大突破。

参 考 文 献

- 1 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. AAPG Bull, 1989, 73: 125~142
- 2 Davies S J, Elliott T. Spectral gamma-ray characterization of high resolution sequence stratigraphy: examples from Upper Carboniferous fluvio-deltaic systems, County Clare, Ireland. In: Howell J A, Aitken J F, eds. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications. Geological Society Special Publication, 1996, (104): 25~36
- 3 Armentrout J M. High resolution sequence biostratigraphy: examples from the Gulf of Mexico Plio-Pleistocene. In: Howell J A, Aitken J F, eds. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications. Geological Society Special Publication, 1996, (104): 65~86
- 4 Mitchell S F, Paul C R, Gale A S. Carbon isotopes and sequence stratigraphy. In: Howell J A, Aitken J F, eds. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications. Geological Society Special Publication, 1996, (104): 11~24
- 5 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1~55

- 6 Quirk D G. "Base profile": a unifying concept in alluvial sequence stratigraphy. In: Howell J A, Aitken J F, eds. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications. Geological Society Special Publication, 1996, (104): 37 ~ 50
- 7 Vail P R, Mitchum R M, Todd R G, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton C E, ed. Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. A APG Memoir, 1977, (26): 49 ~ 212
- 8 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, USA. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea-level changes: an integrated approach. SEPM Special Publication, 1988, 42: 371 ~ 380
- 9 Wheeler H E. Base level, lithosphere surface and time-stratigraphy. Bull Geol Soc, 1964, 75: 599 ~ 610
- 10 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89 ~ 97
- 11 邓宏文, 王洪亮, 李熙吉. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177 ~ 183
- 12 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路. 勘探家, 1996, 1(1): 43 ~ 48
- 13 徐怀大, 樊太亮, 曾学鲁等. 新疆塔里木盆地北部层序地层学应用研究与有利油气成藏区带预测. 北京: 地质出版社, 1997(正在印刷)
- 14 Cartwright J A, Haddock R C, Pinheiro L M. The lateral extent of sequence boundaries. In: Williams G D, Dobb A, eds. Tectonics and seismic sequence stratigraphy. Geological Society Publication, 1993, (71): 15 ~ 34
- 15 Posamentier H W, James D P. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In: Posamentier H W, Summerhayes C P, Haq B U, et al, eds. Sequence stratigraphy and facies associations. Special Publication of The International Association of Sedimentologists, 1993, (18): 3 ~ 18

SOME PROBLEMS IN STUDY OF CONTINENTAL SEQUENCE STRATIGRAPHY

Xu Huaida

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

Continental sequence has its own characteristics. Firstly, its base-level is a curved rather than a horizontal surface and has a higher elevation than that of sea level. The method proposed by Cross solved this problem appreciatively, but its final result has to be checked by seismic data. Secondly, geological age of sequences is difficult to be determined. More work should be carried out in physical, radioisotopic and chemical age dating. Thirdly, continuous strong reflections should be deal with correctly. Not all continuous strong isopic axes are sequences boundaries, and none of the continuous strong reflection can cover a whole basin. Finally, the types and abundances of organic matter in source rocks and their physical and chemical processes in hydrocarbon generation should be studies. These four problems in sequence stratigraphic study should be paid more attention to in the future.