

# 论沉积盆地的等时地层格架 和基本建造单元

李思田 杨士恭 林畅松

(中国地质大学, 武汉)

**提要** 层序地层分析为当代沉积学的重大进展领域和研究热点。主要来自北美边缘海盆地的经验不能简单的用于性质极不相同的、在我国占重要比例的内陆盆地和近海盆地。为此本文从更广泛意义上讨论了层序地层单元和各级建造块的地质涵意, 并以在我国不同类型板内盆地中的实践进行了论证, 提出了在我国进一步开展层序地层分析的主要问题。

**关键词** 层序地层分析 等地地层格架 盆地充填的基本建造单元

**第一作者简介** 李思田 男 56 岁 教授 博士生导师 沉积盆地分析和煤地质学

沉积充填是盆地的实体。盆地分析的基本工作是对盆地充填和盆地构造的解析, 并阐明构造演化与沉积充填之间历史的和动态的关系。在地质学史上曾有很长时期是以垂向的地层及沉积序列分析为主要研究方法, 亦即以一维的变化为基础, 地层和沉积的空间关系固然可以通过一系列柱状剖面的对比和 Walther 律建立起认识, 但往往由于对比的可靠性所限和控制密度不足而与客观的三维关系有很大距离。“层板模式”的潜在影响更时常引起对比工作的失误。事实上盆地的充填作用是进积、侧积与垂向加积三种堆积形式的复杂交织过程, 只在特定条件下才形成板状的、横向上可长距离对比的岩层。

为找寻能源而进行的盆地分析急迫需要对沉积体本身及其空间配置关系进行三维研究。高分辨反射地震技术的出现和广泛应用以及地震探测和钻井、露头研究的紧密结合, 使得对盆地充填进行细致的三维解析有了可能性和现实性。

八十年代至今, 层序地层分析所取得的最新进展已成为沉积学和地层学领域最引人注目的热点, 现今已提出了一整套较严格的体系概念和研究方法, 并进行着广泛的实践。但是, 层序地层研究主要源于北美海湾盆地等地区, 那里有一系列有利的和独特的条件, 频繁的海平面变化事件对沉积体系演化有重要的控制作用, 已建立了海平面变化的精确年表和幕式周期; 被动大陆边缘的构造背景, 使相带发育和保存完整, 从冲积体系、三角洲体系、陆棚和碳酸盐台地直到斜坡体系有规律的递变和过渡; 构造变形的干扰相对较弱; 高精度的地震技术加以海上施工, 没有地面地形起伏和浅层复杂构造的干扰, 从而能得到很清晰的地震剖面; 这些都是在该地区率先取得进展的客观条件。目前人们充分认识到这一领域的新发展对盆地研究和找寻能源矿产的重大意义, 并意识到对沉积学、地层学和其它更广阔领域的影响。但是海湾等盆地的经验虽可被借鉴, 却不能作为一个普遍适用的模式, 在其它盆地中如何应用, 特别是在我国分布最广泛的内陆盆地和陆表海沉积占优势的近海盆地中如何应用,

则成为被普遍关注的问题

在陆相盆地中,海平面变化对沉积体系发育的影响极难辨别,但在中国的大型盆地中都有分布很广的湖相层以及湖泊扩展和萎缩的周期性的变化。构造因素对沉积充填的影响更为明显和突出,特别是在裂谷和前陆盆地之中。在内陆表海盆地中,如华北和扬子地台区的晚古生界,由于极缓的古坡度,尽管有频繁的海平面变化事件,低水位条件并不能造成明显的不整合。此外在稳定克拉通基底上的盆地,包括内陆的和近海的,不整合面多以微角度的形式存在。因此在这些盆地中需探索独特的工作方法。

这里首先需要从更广泛的角度理解和确定层序地层分析的概念体系。Sloss 最早将以不整合为界面的层序定义为“一个构造旋回的岩石记录”。在地震地层学发展的早期借鉴和使用了 Sloss (1963) 关于层序的概念,即以不整合或与之相当的整合面为界的地层单元,但在使用上不限规模和级别 (Vail, Mitchum 等, 1977)。这样,其地质涵义并无确定性。随着研究的深入逐渐提出了等时地层格架和层序地层级别的概念,特别是将地震地层分析与露头 and 岩心研究结合使之有了较确定的涵义。这里所用的“层序”其规模和时间间隔远较 Sloss 最初在北美划分的为小,原来 Sloss 的层序概念在 Exxon 公司的旋回级别中则成为超层序 (supersequences)。由于地震处理技术的提高,在层序内部划分出了沉积体系域。沉积体系域内部又根据钻井资料划分出小层序 (parasequence) 和小层序组 (Van Wagoner 等, 1990)。上述各种级别的层序地层单元像建造块一样共同构成了盆地的等时地层格架。建造块 (building block, 或译建造单元) 是进行盆地充填的二维解析中的一个很形象的本语。现在保存的盆地充填实体像一个庞大的建筑,可剖析出不同层次和不同级别的组成部分。Hubbard 等 (1985) 以加拿大东海岸滨外被动大陆边缘盆地为例所作的盆地构成的分级解析,形象地表达了建造单元的概念,在层序之上他划分出了以区域性不整合面为界的大层序 (megasequence)。与 Hubbard 的划分相似, Galloway 在层序之上划分出的更高级别的“构造层序 (tectonic sequence)”,其含意与大层序相同。这样如果把盆地充填序列作为层序地层分析的 I 级单元,构造层序则为 II 级单元,依次排列, Galloway 建议了 8 个级别的单元<sup>1</sup>,其最后一级是砂体内部的构成单元 (Miall, 1985)。

在考虑层序地层分析的概念体系时还必须研究其他学者的贡献和提出的相关术语,因为有些术语曾被普遍的使用过,从而存在着与 Exxon 的沉积学家们的术语体系对比问题。这里特别值得提出的有下列学者的意见: Weimer (1976) 是“作用控制的成因单元” (the process-controlled genetic unit) 这一重要概念的提出者,他是针对“layer cake geology”即层板模式的错误影响提出的。Busch (1971) 提出的地层的成因增量 (genetic increment of strata—GIS) 和成因序列 (genetic sequences of strata—GSS) 曾为许多教科书所引用。Fisher 和 Brown (1972) 等在 70 年代早期即发表了沉积体系的论著,并将其定义为成因上联系在一起相的三维组合,以后又进一步提出沉积体系域的概念 (Fisher and Brown, 1972; Brown and Fisher, 1977),由于“相”这一术语使用非常广泛,并在不同场合有不同含义,因此 Galloway (1989) 建议用成因相 (genetic facies) 表示构成沉积体系的相单元,如构成三角洲体系的分流河道、决口扇等。

本文试图在引用和概括上述新进展的基础上结合在我国一系列盆地特别是内陆盆地和内

<sup>1</sup> Galloway 在 28th IGC 上的发言。

陆表海盆地研究中的体会来阐述层序地层分析的概念体系。下面所涉及的层序地层分析的九级建造单元曾参考了 Galloway 等人的意见并做了修改补充。

### 一、盆地充填序列和构造层序

盆地充填序列 (basin-fill sequences) 是沉积盆地基底以上的全部盖层充填。谈到盆地首先涉及成盆期与控制盆地形成的构造体制。世界上的多数大型盆地都是叠合盆地，即由一系列不同类型的盆地单元构成，这些盆地不仅类型不同，原始沉积范围也各异，现今的叠合关系主要与晚期形变历史有关。从油气聚集规律研究的需要，这些盆地不可能分割，例如油气可能深成浅储，其形成、运移与最后的保存可能涉及了叠合在一起的几个盆地单元——即朱夏先生的盆地原型。因此多数盆地研究者主张将多个原型的叠合当作一个盆地看待，所以，作为层序地层格架的一级单元盆地充填序列应包括几个成盆期充填物的总和。

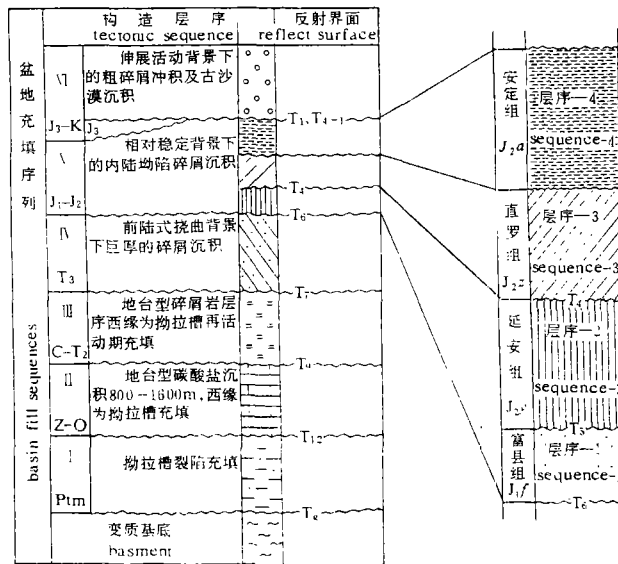
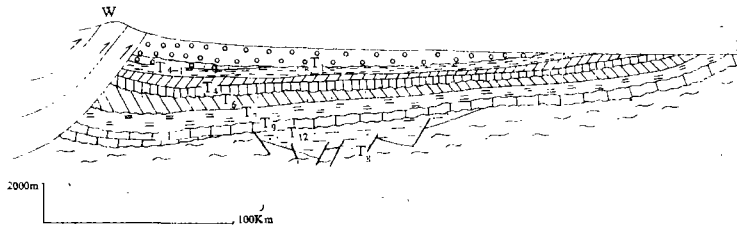


图1 鄂尔多斯盆地的构造层序

Fig. 1 Tectonic sequences of Ordos basin

构造层序 (tectonic sequence) 其含义类似于大地构造学中的构造层。与 Exxon 术语

体系中的 supersequence 和被许多学者应用过的 megasequence 含义近似<sup>①</sup>。构造层序是被沉积盆地中一级古构造运动面所划分的地层序列, 通常是与大的构造旋回相当的建造单元。每个构造层序是一个盆地原型或称单型 (mono-type)。与过去划分构造层的习惯不同, 从盆地演化的角度难以规定构造层序的时限, 如某种成盆机制下形成的特有的一种原型, 尽管其时限可能较短, 也需单独划分出来, 这在一些叠合盆地中不乏实例。以鄂尔多斯盆地为例, 整个充填序列可划分为六个构造层序 (图 1), 即 I. 晚元古拗拉槽 (aulacogen) 充填; II. 震旦—奥陶纪地台型碳酸盐岩及碎屑岩充填, 其西缘为则为拗拉槽充填, 南缘向古大陆边缘过渡; III. 石炭纪—中三叠世地台型碎屑岩序列, 西缘则为拗拉槽再活动期充填; IV. 晚三叠世前陆式挠曲盆地巨厚碎屑岩序列; V. 早中侏罗世相对稳定背景下的内陆拗陷 (sag) 序列; VI. 边缘再活动背景下的内陆粗碎屑及古沙漠沉积序列。事实上在此阶段中晚侏罗世芬芳河组前的不整合和白垩纪志丹群前的不整合规模都相当大, 也可能今后还需进一步确定。

划分构造层序的不整合界面皆具有大区域的对比意义。许多过去被认为属假整合的界面在能源勘探中做了大量研究和工程控制之后证明是微角度不整合面。这些界面能在大区域内对比, 如鄂尔多斯及四川盆地上三叠统的顶底界面, 这些界面并起源于特提斯构造域的板块相互作用事件。

## 二、层序

作为高级别构造旋回的岩石纪录, 一个构造层序内部常可根据次级古构造运动界面再划分出几个层序。在板内盆地中如何划分和识别层序, 需要在实践中探索其标准。在被动大陆边缘盆地中, 由于沉积物分布在陆棚和陆坡, 单单是海平面变化即可以引起不整合界面的形成, 如低水位条件下峡谷对斜坡的侵蚀。在许多板内盆地中的不整合界面, 特别是构造层序内部的二级不整合界面, 多以微角度不整合或平行不整合的样式出现。某些界面因为没有明显角度, 常常需要很长时间才被认识到属于不整合性质。

在鄂尔多斯、四川等盆地这些在地面及反射地震断面中均难以看到明显角度的不整合界面的发现是根据: ①环境的突变和沉积的不连续; ②界面下古地质图的编制可揭示界面上地层与界面下不同层位的接触状况, 如鄂尔多斯盆地侏罗纪前的古地质图 (孙国凡等, 1985)、四川盆地晚三叠世以前的古地质图等; ③沉积体系配置和同生构造格局的改组; ④风化间断标志, 特别是古风化产物的存在; ⑤古生物演化的突变和化石带的缺失; ⑥古气候条件的突变。

板内稳定的克拉通基底上的盆地充填序列中不整合界面上下地层角度相差甚微, 因而识别这种不整合界面并划分层序相当困难, 更需要将地震、钻探和地面露头研究紧密结合, 才能达到较好效果。与被动大陆边缘条件不同, 板内拗陷中的不整合界面主要取决于构造因素。如图 1 所示, 据鄂尔多斯盆地早中侏罗世的三个不整合面划分出四个层序。

## 三、关于小层序、小层序组和沉积体系域

在 Exxon 学者们的层序地层分析经验中将层序进一步划分为沉积体系域, 这是由于反

<sup>①</sup>在 Haq(1988)等的术语序列中则将 megasequence 做为比 supersequence 更高级别的层序地层单元使用。

射地震技术的大幅度提高从而能做到高的分辨率。在所识别的 I 型层序中自下而上划分出了低位体系域 (lowstand system tract)、海进体系域和高位体系域 (Highstand system tract); 在 II 型层序中自下而上划分出了陆架边缘体系域、海进体系域和高位体系域 (Van Wagoner 等, 1988)。因此, 如果层序是地层格架中的三级单元, 那么在其模式中体系域是四级单元。每一种体系域都包括了许多小层序, 因而是一个小层序组。

事实上沉积体系域概念的提出者并未给予其成因地层级别的含意。沉积体系是有成因联系的相的三维组合 (Fisher 和 McGowan, 1967), 体系域则是同期的沉积体系“链” (linkage (Brown 和 Fisher, 1977)。在重建沉积盆地某一演化阶段的沉积体系域时, 其代表的地层间隔往往取决于对比的精度。将一个层序三分的作法仅适合一定条件, 不能作为一种模式推广到所有不同类型的盆地。

“parasequence”一般译为小层序、准层序或亚层序, 作者认为译为小层序较为妥当, 而译为准层序则不合汉语之习惯, 因为一个层序中常包括十几个或几十个“parasequence”, 二者不是“准”与“正”的关系。一个“parasequence”在时限上相当于过去常用的一个“倒粒序” (在三角洲体系) 或一个“正粒序” (在河流体系), 在所相当的旋回级别上相当过去常用的小旋回。如果与 Busch 的术语对比, 大体相当一个成因增量 (GIS)。

在鄂尔多斯盆地延安组一般可划分出十个小层序, 如果从盆缘向中心追索一个小层序, 可以发现由冲积—三角洲—湖泊等各种体系的过渡。因此一个小层序是沉积体系域的一个基本单元, 作者简称之为体系域单元 (图 2)。

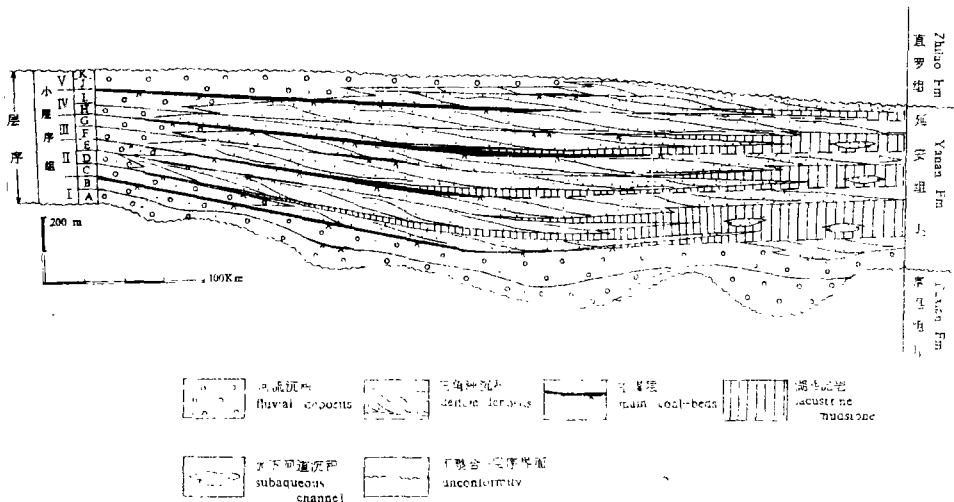
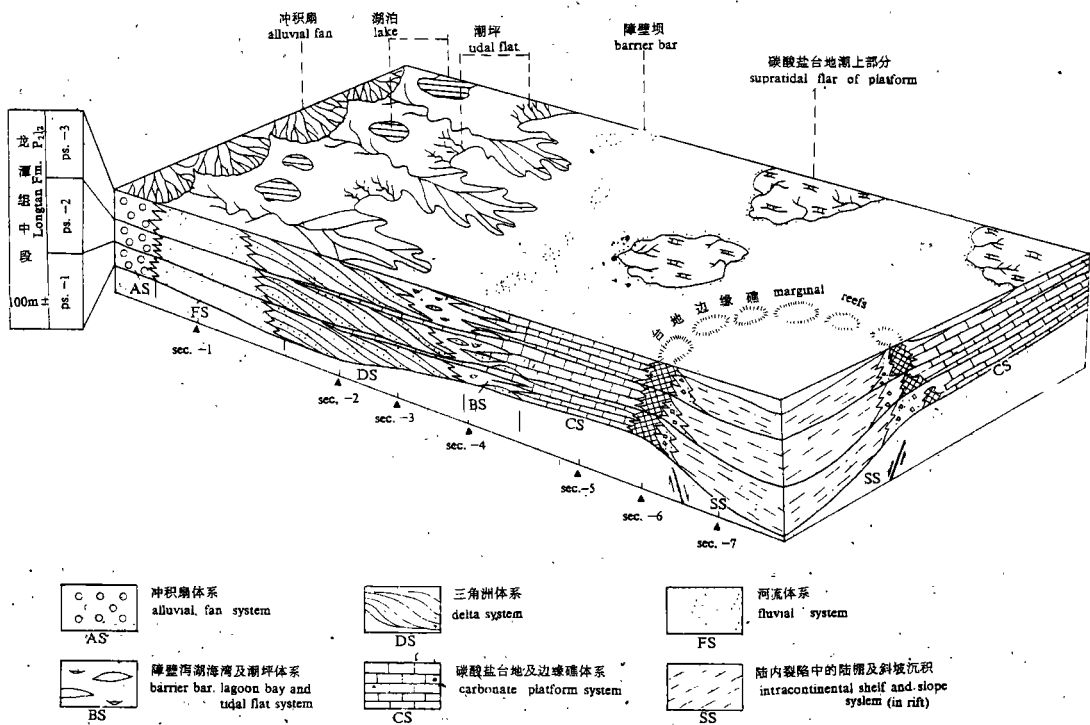


图 2 鄂尔多斯盆地延安组沉积层序内部的小层序 (A—K) 及小层序组 (I—V)  
 Fig. 2 The parasequences (A—L) and parasequence sets (I—V) of Yan'an Formation (J<sub>2</sub>) in Ordos basin

小层序的界面在边缘海及内陆表海盆地条件下用海进层或短暂的海泛层来划分, 在内陆湖盆条件下则采用水进层位, 如湖相泥岩层。在含煤岩系中代表三角洲体系最终废弃阶段的稳定煤层, 哪怕是很薄但分布面广的煤层, 也是划分小层序的理想顶界面。在含煤的冲积平

原沉积序列中这一原则也常常适用。

稳定地块基底和内陆表海古地理条件下形成的海陆交替沉积序列中，由于标志层多更易进行小层序的划分和对比，如川、黔、滇地区的晚二叠世含煤岩系和华北地台区石炭纪、二叠纪含煤岩系。从滇东到贵州相带保留十分完整。根据对一系列剖面的研究和其间地区的连续追索可重建沉积体系域。图3所表现的龙潭组中期沉积体系域模式图是根据大量实际资料概括的，各相带均进行了野外详细研究，自西向东再折向黔南依次可见下列相带：冲积扇带见于康滇古陆东缘；河流体系见于云南镇雄和贵州威宁地区，威宁哈拉河剖面可见曲流河体系；三角洲体系覆盖贵州西部大片地区，水城、盘县、六枝、织金等地区皆为三角洲发育区，那里形成了中国南方最大的煤田——六盘水煤田；再向东到安顺、贵阳一带则为碎屑岸线与浅海碳酸盐岩交替带；贵阳以东、以南逐渐过渡到碳酸盐岩台地；在贵州南部册亨、望谟地区可见台地边缘礁带（以海绵礁为主）；更南则进入台地间断槽区，在斜坡部位沉积了硅质碳酸盐岩和重力流。上述一系列沉积体系的有规律过渡构成了龙潭组中段（包括3个小层序）的沉积体系域。



各种沉积体系的代表性剖面：Sec-1.威宁，曲流河；Sec-2.水城大湾，上三角洲；Sec-3.织金珠藏，下三角洲；Sec-4.安顺，碎屑岸线及浅海交互带；Sec-5.惠水，碳酸盐岩台地；Sec-6.册亨、望谟，台地边缘礁及礁麓堆积；Sec-7.

望谟，台地间裂陷内陆棚及半深水斜坡沉积。

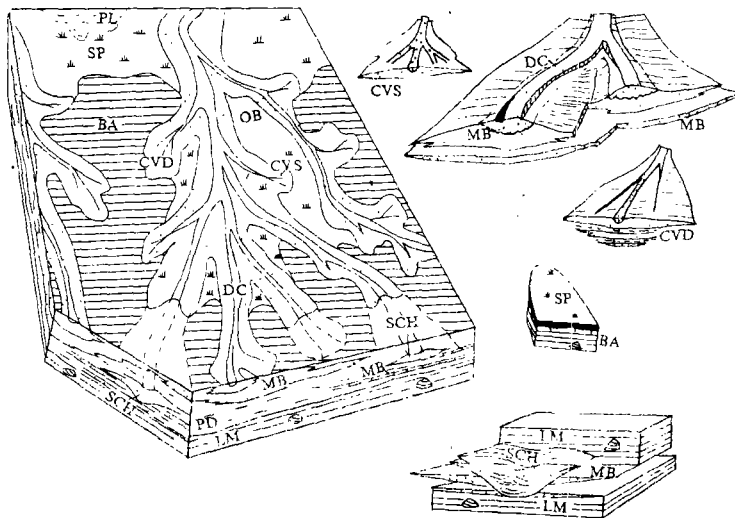
图3 贵州西部及南部龙潭组中段的沉积体系域模式图

Fig. 3 The depositional system tracts of Middle Longtan Formation (P) in Guizhou province

重建沉积体系域的工作可以按小层序组，特定条件下也可以按小层序进行。目前在一般情况下反射地震剖面不能识别出小层序，但在良好出露区或密集钻孔区可以划分和对比小层序。事实上在煤田地质工作领域由于研究单煤层变化的需要，多年前即已在有条件的地区以小旋回为时限编制了岩相古地理图，如苏联 50 年代对顿涅茨盆地的研究和美国对宾夕法尼亚系的研究（Жемиужников 等，1959，Mckee 等，1975）。由于当时沉积学发展的水平，某些环境解释可能有出入，但毕竟根据小的时间单位编制了能近似反映沉积体系域平面形态的岩相古地理图。因此，当需要编制高分辨古地理图时，按小层序重建体系域也是可能的。

#### 四、沉积体系和成因相

Fisher 等在 70 年代初曾划分出九种碎屑沉积体系，包括：1. 河流，2. 三角洲，3. 障壁砂坝及海岸平原，4. 泻湖、海湾、河口湾和潮坪，5. 大陆架和克拉通内陆架，6. 大陆斜坡、克拉通内斜坡和盆地，7. 风成沉积，8. 湖泊，9. 冲积扇和扇三角洲（Fisher 和 Brown，1972）。每种体系都有其特有的在成因上被沉积环境和沉积过程联系在一起的相的三维组合。鉴于相的概念理解不一并在许多不同的范畴中使用，因此在沉积体系分析中 Galloway 用成因相（genetic facies）一词表示这些构成沉积体系的基本相单元。沉积体系和成因相都是三维地质体。



DC-分流河道，SCH-水下分流河道，OB-越岸沉积，SP-沼泽，PL-三角洲平原小型水体，CVS-决口扇，

BA-湖湾，CVD-决口三角洲，MB-河口坝，PD-前三角洲泥，LM-开阔湖

图 4 湖泊三角洲及其成因相构成模式图

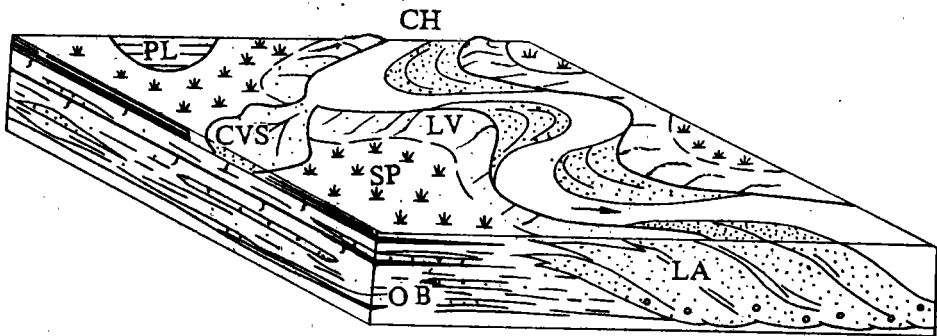
Fig. 4 The model of genetic facies-architecture of lacustrine delta, Yan'an Formation, Ordos basin

由于沉积体系的发育往往具周期性，如三角洲沉积体系在垂向上表现为一系列总体向上

变粗和旋回 (即 Busch 的成因序列), 空间上表现为一系列进积体。由此有必要用体系单元 (李思田等, 1988) 这一概念表示在一个发育周期或一个沉积事件所形成的沉积体系, 例如由前三角洲泥、三角洲前缘相组合到三角洲平原相组合。Busch 的成因增量在较小范围内相当一个体系单元, 在较大范围则相当一个体系域单元。

一个小层序是由几种相互联结和过渡的沉积体系的体系单元构成的。

每种沉积体系由几种或十余种成因相镶嵌成一个整体, 如作者曾在鄂尔多斯盆地延安期湖泊三角洲体系中识别出分流河道、天然堤、堤外越岸沉积、决口扇、沼泽、三角洲平原小型湖、水下分流河道、口坝席状砂、决口三角洲等近廿种成因相 (图 4)。曲流河体系亦可划分出 9 种成因相 (图 5), 每种成因相是相对单一的沉积体。在油气储层研究中已证明笼统划分河流相、三角洲相不足以正确评价; 进行成因相构成的解释, 以成因相砂体为储层研究的基本单元则是必须的途径。在出露良好的地区如鄂尔多斯、四川和新疆的许多盆地, 可以对各种成因相及其配置关系进行三维追索, 此种研究所获得的认识较之单纯的垂向层序分析有更高的应用价值。



CH—河道, LV—天然堤, OB—堤外越岸沉积, CVS—决口扇, CP—沼泽, PL—泛滥平原湖

图 5 曲流河体系及其成因相构成模式

Fig. 5 The model of genetic facies—architecture of meandering river,

Yanan Formation, Ordos basin

## 五、成因相内部的构成单元

Miall 是最早也是最鲜明指出以垂向层序研究为基础的相模式中的缺欠的学者, 他所发展的构成单元<sup>①</sup> (architectural element) 的概念 (Allen, 1983, Miall, 1985, 1989) 和方法使相和沉积体系研究更为深化。应用等级界面、构成单元和岩性相研究储层砂体的不均质性已被证明是有效的途径。但 Miall 的术语体系中有不同等级沉积体交织的情况, 如河道 (CH) 作为河流沉积的第一种构成单元, 而与之平行的侧向加积 (LA) 和砾质坝及底形 (GB) 又都是河道内的构成物。本文作者在实际应用中, 将河道划入成因相一级而不作为构成单

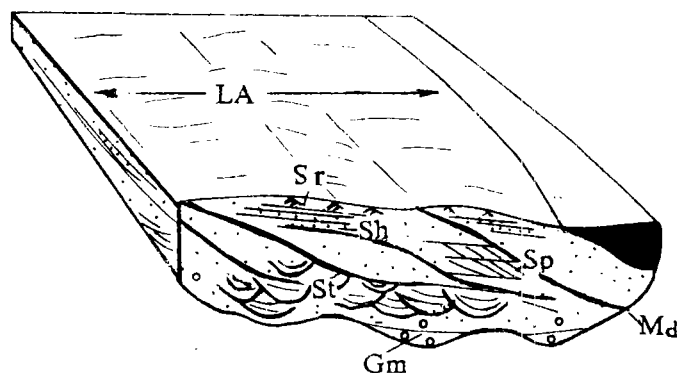
<sup>①</sup>亦译为构成要素或构形。



元, 并用“成因相内部的构成单元”来限定这一级 (VIII) 建造块的范畴。

对于大部分成因相内部的构成单元依其堆积方式可分为进积、侧向加积和垂向加积等三种类型 (Galloway 及 Hobbsday, 1983), 因此在成因相解析中首先可划分出不同种类的进积单元、侧积单元和垂向加积单元。例如在对一个曲流河道砂体进行储层不均质性研究时, 对其点坝部分根据内部界面可划分为一系列侧积体, 而对其活动水道部分划分出向下游加积的进积体 (相当 Miall 的 DA)。

近年来由于国际上致力于解决因储层的不均一性而滞留在砂体中的大量可动油, 对砂体内部构成进行了十分精细的研究。如在前述构成单元的内部进一步根据沉积结构构造划分更小的单元, 类似沉积学中所使用的岩性相。近年来在储层沉积学中更突出了水动力条件和岩石成分。按孔渗性研究的要求划分岩性-能量单元。图 6 表示了一个曲流点坝的侧向加积单元, 这些单元通常被泥、粉砂披盖层所分开, 每个侧积单元中又可进一步划分岩性相或岩性-能量单元, 即第Ⅷ级建造块。



LA-侧向加积体; Gm-块状砾岩、含砾砂岩, St-槽状交错层理砂岩, Sp-板状交错层理砂岩, Sh-水平纹理砂岩, Sr-波痕纹理砂岩、粉砂岩, Md-泥质、粉砂质披盖层

图 6 一个曲流点坝的侧加积单元及其内部的岩性相

Fig. 6 Lateral accretion units in a point bar of meandering river and their lithofacies

## 六、结论与讨论

1. 层序地层分析的原理与方法的进展对沉积盆地分析、生物地层学等许多领域正在发生重大影响。目前主要从北美大陆边缘条件取得的经验虽是极好的借鉴, 但不能作为普遍模式用于其它类型盆地。已经证明不同类型盆地各具其特有的层序地层样式。

2. 层序地层分析将使相与沉积体系的研究在统一的等时地层格架中进行, 因而更有利于提示其空间配置规律, 这对查明含油气盆地中的生、储、盖层的配套和沉积, 层控矿产的分布规律有重大价值。

3. 海平面变化对不整合界面的形成, 对层序及沉积体系域的控制是近代层序地层学内容的精华部分。在内陆盆地中难于直接与同期海平面变化事件对比, 一般表现为基准面 (base

level) 的变化, 此种变化常以构造因素为主, 并可能反映海平面变化的间接影响。构造、海平面变化、古气候以及沉积补给在层序的形成与特征上都是不可忽视的决定因素。

4. 层序地层分析与七十年代以来的许多相关发展已提供了较为完整的对盆地充填进行解析的概念体系。如果以盆地充填序列为 I 级单元, 可以分级解析为不同级别的建造块, 如构造层序 (II)、层序 (III)、小层序组——沉积体系域 (IV)、小层序——体系域单元 (V)、沉积体系单元 (VI)、成因相 (VII)、成因相内部的构成单元 (VIII)、岩性—能量单元或岩性相 (IX) …… 等等。就像一个复杂的建筑的构成解析可直接分解到砖和瓦。这里必须强调各级建造块都是三维沉积体, 这是与一般岩相古地理分析有明显特色之处。在盆地分析中进行解析的最小级别在依任务要求而定的, 如 VIII、IX 两级通常是在储层不均质性研究中才使用。

5. 层序地层格架的建立与各级建造块的解析其关键问题是不整合界面和其它关键界面如最大海泛面和区域性湖泊扩展界面的识别, 在此基础上力求精确定年 (timing)。因此层序地层分析的成功与否还取决于与高分辨的事件地层学、微体古生物学、同位素和磁地层学的密切结合。

6. 高分辨地震探测及处理技术是层序地层分析取得惊人发展的主要原因之一, 但建立严格的理论与方法体系则需与露头 and 钻孔岩心及测井资料研究密切结合, 使原来基于地震地层学的术语能够有准确的地质含义。我国有许多大型能源盆地既有良好的露头, 又有密集的工程控制, 是进行此种研究的有利条件。

本文是在学习当代沉积学若干新进展的基础上, 结合在国内陆相盆地及内陆表海沉积发育的晚古生代盆地的实践提出的讨论意见。盆地充填的各级建造单元划分尽量采用已有的术语体系, 但用了局部修改补充。这些见解的形成与多年来学科集体的共同实践与讨论有关。

李祯、程守田、解习农、焦养泉等同志均提供了宝贵的意见。王鸿祯教授和 R. Weimer 教授在提供有关概念体系的沿革和对今年此领域发展的建议, 对本文的完成有重要帮助, 在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- (1) 李思田, 杨士基, 黄家福等, 1988, 断陷盆地分析与煤聚积规律, 地质出版社。
- (2) 孙国凡, 刘景平等, 1985, 华北中生代大型沉积盆地的发育及其地球动力学背景, 石油天然气地质, 6卷, 3期。
- (3) Brown, L.F. and Fisher W.L., 1977, in C.E. Payton ed., Seismic stratigraphy—applications to hydrocarbon exploration: A.A.P.G., Memoir 26 p.213-248.
- (4) Busch D.A., 1977, A.A.P.G., Bulletin V. 55, p.1137-1154.
- (5) Fisher W.L. and Brown L.F.Jr., 1972, Clastic Depositional Systems—A Genetic Approach to Facies Analysis, Special Publication, Bureau of Econ. Geol., The Univ. of Texa at Austin.
- (6) Galloway W.E., 1986, A.A.P.G., Bulletin V.70, N 7, p.787-808.
- (7) Hubbard R.J., et al, 1985, A.A.P.G., Memoir 39, p.79-92.
- (8) Mckee E.D., et al, 1975, Paleotectonic investigations of the Pennsylvanian System in the United States, Geological Survey Professional Paper, p.853.
- (9) Miall A.D., 1985, Earth Science Reviews, V.22, p.261-380
- (10) Sloss L.L., 1963, Geological Society of America Bulletin, V.74, p.93-144.
- (11) Vail P.R., Mitchum R.M., and Thompson S., 1977, A.A.P.G., Memoir 26, p.63-97.

- (12) Van Wagoner et al. 1988, An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Sea-level Changes—An Integrated Approach, SEPM, Special Publication N.42, p.39–45.
- (13) Van Wagoner J.C., Mitchum R.M. et al. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and facies, A.A.P.G., Methods in Exploration Series, No.7.
- (14) Weimer R.J., 1976, Deltaic and Shallow Marine Sandstones: Sedimentation, Tectonics, and Petroleum Occurrences, A.A.P.G., Education Course Note Series No.2.
- (15) Желчужников Ю.А., Яблоков В.С., 1959, Стратегия и Условия Накопления Основных Угленосных Свит и Угольных Пластов Карбона Донецкого Бассейна. Изд АН СССР.

## On the Chronostratigraphic Framework and Basic Building Blocks of Sedimentary Basin

Li Sitian    Yang Shigong    Lin Changsong

(China University of Geosciences)

### Abstract

Sequence stratigraphy erected by Northern American geologists has established a relatively perfect concept system and research methodology, based on the investigation of continental margin basins. It has a great influence upon the development of sedimentary basin analysis, biostratigraphy and other fields of geology. Economically important Mesozoic oil and coal-bearing basins and Late Palaeozoic coal-bearing basins in China, however, are mostly continental basins or paralic basins characterized by epeiric sea environments, it is impossible to mechanically use the model from continental margin study in the sequence stratigraphic analysis of these basins. Several key points that should be stressed are as follows: 1) Unconformities identified in the basins mentioned above are mainly related to tectonic movements, most of them are minor-dip unconformable contacts. Such surfaces have been recognized in Sichuan and Ordos basins mainly by palaeogeological mapping beneath the surfaces. 2) Although it may be impossible to figure out the influence of sea level changes in continental basins, polyphasic major lake level change episodes are usually basin-wide identifiable in large lacustrine basins such as Songliao, Ordos and Jungar. 3) Even if in paralic basin the low sea level events can not generate unconformities because of very gentle palaeoslopes in the basin. 4) The integrated study of seismic stratigraphy and outcrop or core examination should be emphasized in reconstruction of sequence stratigraphic framework. On the basis of integrated analysis, the mapping of depositional section network is necessary and effective for correlation. 5) High resolution event stratigraphy, particularly the event markers such as volcanic ash beds, coal seams related to the abundance of regional clastic systems, and palaeoweathering residue or surfaces, have been verified to be very useful in the reconstruction of chronostratigraphic framework.

It is evident that the concept system of sequence stratigraphy should be reconsidered in a broad sense so that to widely use in the study of different types of sedimentary basin. Based on our investigation of Mesozoic

Ordos basin, Palaeozoic Yangtze and Huabei paralic basins on cratonic basement, this paper attempted to discuss the basic building blocks of sedimentary basin, their hierarchy and definition, and method for reconstruction of basin chronostratigraphic framework.

The genetic stratigraphic units comprising the chronostratigraphic framework of sedimentary basins can be defined as five orders: 1) the whole basin-filling sequence as first-order unit (I); 2) tectonic sequences (II) delimited by major regional tectonic unconformities; 3) sequences (III) confined by lower-order unconformable contacts within tectonic sequences; 4) parasequence sets (IV) and 5) parasequences (V) identified by transgressive surfaces and episodes of depositional system evolution. It must be pointed out that depositional system tracts will not be defined as one distinct order. In coal-bearing basin analysis it is necessary to reconstruct the depositional system tracts of a parasequence with investigation into the formation of a single coal seam. Our study has shown that parasequence sets are usually the most appropriate mapping units identifiable in whole basin in fossil fuel basin analysis. There are five parasequence sets—for example, recognized in Earely-Middle Jurassic in Ordos basin. They are in correspondence with the major coal-accumulating episodes.

Parasequences are usually considered as the basic units representing depositional system tracts, and they can be subdivided into four order building blocks (VI-VII) to the need of research purpose if data is available. Each unit of depositional system tract is composed of a series of genetically related system elements (VI) preserving the products of depositional events. They can be further classified into a series of genetic facies (VII). For instance, the lacustrine-deltaic system elements in Yan'an Formation in Ordos basin include about 20 genetic facies, each of them presents a three-dimensional geological body such as distributary or subaqueous channel fills, crevass splay and mouth bar sheet-like sands. Architectural element (VIII), a concept modified from Allen and Miall, is defined as internal elements of genetic facies. They may be categorized into three types in view of depositional processing: progradation, lateral accretion and aggradation. It is suggested that genetic facies consist of architectural elements, such as channel fills may be composed of lateral accretional point bars or downstream progradational macroforms. The architectural elements are further subdivided into a variety of litho-energy elements (nearly equivalent to lithofacies) (IV). The study has shown that it is necessary and useful to depict architectural and litho-energy elements for the analysis of internal architecture, heterogeneity and poropermeability of sandbodies.

Clearly, the entire basin fills like a large building can be disassembled into a variety of different order building blocks. This concept of sequence stratigraphy will be the powerful and successful tool for predicting the distribution of oil-gas reservoirs, coal-rich zones and associated mineral deposits in sedimentary basins.