

# 层序地层学在沉积学和油储勘查中 研究的关键点

许效松

(地矿部成都地质矿产研究所)

[内容提要] 层序地层学是一种新的认识沉积记录的地层学体系,以同时性的全球海平面升降作为等时地层格架。它的脱颖而出不仅为油储层圈闭提供可追踪的对比沉积体,而且为研究盆地充填和盆地演化提供了新的思维方式。因而开展层序地层和海平面变化研究,已成为80年代进行全球沉积对比和沉积地壳演化的重要手段,并成为沉积地质学发展的重要分支学科。

地质实际已经证明,层序界面和体系域与固液体矿产的成矿作用存在内在的、有机的成因联系。最大海泛面以上各体系域的叠置,可组构成生储盖组合,具有古溶喀斯特界面的高水位体系域不仅是固液成矿流体的运移通道,而且是层控型金属矿产的储矿空间,也是油储构造。这种与成矿作用有关的因果偶合关系,揭示了层序地层学应有的价值,反之学科的交叉又向层序地层学发出了新的挑战,提出了研究的新问题。

实践中,笔者感到有两个问题值得引起关注:一是层序地层学应用中的多解性和研究中的误解;二是为业已证实的层序地层学与成矿流体的关系,在成矿作用研究中应该深入的关键点。为便于讨论,在此提出一些议题,开拓思路,以达到抛砖引玉的目的。

关键词:层序地层学 油储勘查 研究的关键点

## 1 层序地层学的精髓、现状和问题概述

### 1.1 层序地层学的精髓

层序地层学是一种新的地层学体系,其目的是寻求等时地层格架和建立全球可对比的沉积纪录,以及建立海平面变化曲线。它的出现对认识地球的形成史有两个重要的变革:首先,是改变了世界范围内地层记录的对比原则;另一是,由此导致认识地球演化尺度的改变。这两个目标是层序地层学创始者和继后的开拓者力争实现的方向。为此,建立全球可对比的1、2、3级层序界面。确认的界面应该具有等时性,它是综合性的旋回地层、层序地层学和沉积-构造动力学的偶合。

什么是界面的等时性和可对比性,除了对岩石地层进行精细的沉积学研究外,还要取得年代地层、生物地层、地球化学和磁性地层的证据。除此,笔者认为还要把全盆地与相邻盆地的沉积-构造性质转换进行对比,把盆地置于全球变革中,才可确认其界面的等时性,也可称

为树立一个标杆。确定界面后,由层序上下界面所包括的一个层序、层序内部有成因联系的体系域才具有对比意义,也才能取得国内和国际上的认可。等时的界面和可对比的体系域,在固液体矿产资源追踪和预测上也才有实际应用价值,并避免盲目性。

## 1.2 研究现状和问题

层序地层学自问世以来就表现了它的生命力,从而引起地球科学界的极大关注。Exxon 公司研究组和 P. R. Vail<sup>(1)</sup> 等以地震反射剖面为对比标准建立层序界面,圈出可对比的储层砂体,特别是具深切谷的低水位体系域和上覆的海侵面,构成了完整的储盖组合。它的前提条件,除了高分辨率的地震技术问题以外,就是建立盆地内部的等时对比格架,这是它具有经济效益的重要一面。

层序地层学在认识全球演化的对比尺度上,以旋回地层和层序地层为中心议题,围绕着有定年意义的全球沉积记录对比。它的潜在效益有两个方面:全球地质演化和找矿预测,两者具有因果偶合效应。

旋回地层和层序地层这一命题,已开展了近十余年讨论,现今仍受到各界的关注。其原因是在全球地层对比问题上,尚未找到确切的和合适的定年数据;其次是缺少学科间的合作和寻求解决共性问题的途径<sup>(2)</sup>。

全球沉积对比的倡导者 Robert Ginsburg 是国际上颇有威望的沉积学家,历次国际会议上,他对沉积地质学研究都提出一些具有远见性和建设性的意见。他在 30 届国际地质大会上的发言也深受欢迎,他强调全球沉积对比的重要性,同时深入浅出地道出了当前层序地层学研究中存在的实质问题。他把地球的记录比喻为一册章节完整的书,虽然旋回地层和层序地层的应用对每一章节的地质时代取得进展,但对每一个章节的内容确知之甚少,存在有两个问题:

(1) 自从吉尔伯特在 100 年前认出地层的韵律性是地球轨道变化的结果后,沉积地质学家通过识别连续地层的最小端元——韵律性的岩石地层,而追索全盆地;近十余年的研究认为,这些韵律层接近米兰科维奇旋回,并在深海、半深海、蒸发岩和湖拍中都可找到,为此而圈出全盆地,但谁又能说明它们是否为全球同时性的沉积物?

(2) 层序地层研究的贡献是,第 1、2 和 3 级层序可作为韵律岩性学的最大端元,扩大了对韵律的理解。但是最大端元的准确性和对比性并不完善,沉积地质学家们通常用哈克的旋回图表对比露头或者是地震剖面,然而在尚不能证明 3 级层序具有全球性时,显然用哈克图解对比和套用是不适宜的。G 提出,什么是层序地层和生物地层所要解决的问题? 它们之间要努力协同研究这些必需解决的共性问题。上述现象,不仅是国际上研究者的关键问题,也是我国沉积地质学和生物地层学者当前在层序地层研究中的现状和误区。因此,正确理解层序对比的真实性和其涵义,则至关重要。

(3) 追踪全球沉积物可对比性的关键是事件对比和定年,要突破高分辨率地层事件沉积测年。采用地球化学、稀土元素分析和同位素标定,由此计算沉积速率等,作为作全对比的重要依据。

自 80 年代末层序地层学在我国沉积地质学界推广应用以来,以经典定义为准,取得了很大的进展,对被动大陆边缘海相盆地中层序地层的研究,除少数浅变质岩的研究成果以外,见著于文献的成果有五个方面:一是研究局部地区 3 级层序的内部构成和体系域的性质,以及层序界面的类型;二是建立被动大陆边缘盆地层序的地层格架、层序演化序列和层

序模式;三是编绘相对海平面变化曲线;四是生物地层格架与层序地层对比和时限的探讨;五是层序地层学与成矿作用的偶合关系——固体矿产和油气藏。然而,这些研究成果仍存在与上述相同的问题,层序界面和体系域的等时性?、可对比性?,严格地讲尚不能足以证明所研究的层序具有等时性和可对比性。

### 1.3 层序地层学的自身价值和发展

当代科学技术的发展已从单一性转为多学科综合性极强的阶段,地质科学与其他自然科学一样,综合性的多学科交叉以及与其他学科渗透才能探索地球的奥秘。

层序地层学作为一门学科,在实践和应用中既检验了学科的自身价值(包括其可行性和局限性),又促进了学科的发展。因而,层序地层学研究者的使命是运用学科交叉、渗透的方法,从单一学科中走出自我,开创学科发展的新方向,缩短探索认识地球演化的尺度。

层序地层学虽然起源于地震地层学,但发展成为独立学科后对地质学产生了极大的影响。层序地层学与其他基础学科的不同点在于:它是综合了沉积学、地震地层学和地层学的各个分支学科的优势,以及与其他学科交叉渗透才有生命力。因而,研究层序也绝不仅仅是划分出Ⅰ类和Ⅱ类界面、划分出几个层序的简单目的,而是通过层序地层学研究这一视角,认识地球的演化和节律<sup>①</sup>,地壳活动周期与成矿作用的关系,开拓层序地层研究的新途径。

## 2 层序界面和盆地性质

### 2.1 分析层序界面性质和成因的重要性

近几年层序地层学研究在国内外的实践反映出,其理论的准确性和在应用上的可操作性,不同学者之间存在认识上、理解上和应用上的差异。这说明层序地层学在实践中有正确理解的一面,也有对解释沉积纪录还有待完善和深入的一面,其中最重要的是对层序界面的解释。

层序界面是层序地层学的灵魂和生命,这个界面的特征应是沉积盆地存在时全球板块构造活动、海平面变化、海陆分布以及地球与天体间综合效应的结果。界面的标定除前述各种定量数据外,笔者强调沉积-构造性质转换综合分析和从地质露头上窥视其真实性的反映和隐蔽的地质记录。

界面是通过不同沉积物的性质和沉积构造特征才能反映界面的存在,因此判断沉积纪录则是识别界面的关键。实践中对 Vail<sup>(3)</sup>所划分的Ⅰ类Ⅱ类界面的辨别有异,笔者虽然按界面成因分类<sup>(4)</sup>,但也有不尽意之处。其关键则是如何解释层序界面以上的第一个沉积体所代表的地质纪录,沉积体的差异与盆地性质和其演化存在什么关系。

界面以上的第一个沉积体有四种情况:(1)具有河流回春的陆相沉积物,研究者均视为低水位体系域,以Ⅰ类界面为标志;(2)Ⅱ类界面以大陆边缘沉积物为代表,由于对该沉积物的确认有疑,因此对界面上沉积物的类型和体系域的确认也颇有争议,或者是模棱两可;(3)海侵体系域直接超覆在界面上,有的称Ⅲ类不整合界面;(4)是界面上的沉积体可能是多种成因和被改造的复合体系域。

### 2.2 低水位体系域的涵义、层序界面是盆地性质的反馈

低水位体系域沉积物的组分、组构和层序界面性质受控于盆地。从盆地的成生、发展、转

①王鸿祯,通讯,1996。

化和消亡过程与层序的关系而言,把盆地分为两类:新生盆地和继承性的盆地。

新生盆地是全球构造活动和海陆重新分布的结果,新盆地与基底之间具有长期的时间间断,因此界面上的堆积物是个复杂的沉积体。即有单源、多源的远源的陆源物,也有老盆地沉积物的残积层、基底喀斯特化和基底风化面的古土壤层,同时也有新盆地初期沉积物被改造后的堆积体和溶坑沉积体。从某种意义而言,在这些堆积体中可窥视不同级别的构造活动的变革、重大的地质间断和盆地的新生。此类型的沉积体在我国南北两大陆块上均有记录,华北的寒武系与中元古代的层序界面和其上的低水位复合体;华南陆块上寒武系与新元古代的层序界面和低水位体系域的性质,晚古生代不同时期底部的复合沉积体分别堆积在早古生代的残留地层上。每次重大的地质变革时期和相应的第1和第2级层序都自为成矿构造旋回,自成生储盖组合(不包括后期构造破坏和建设性的连通)。

这些实例都说明层序界面如果只冠以Ⅰ类或Ⅱ类名称,或简单的以低水位体系域冠之,则不足以概括这些因素间的相关性和复杂性。可见,对界面性质和类型的研究、以及从中认识地质纪录的真实含义是极待深化的问题。

继承性的盆地也可谓延续性的盆地,盆地的归属不变,为发展过程中的某个阶段或持续发展,界面间可能只有短时的沉积间断,有两种表现形式:

由高频海平面震荡、潮缘盆地海域环境的变化、沉积物的进积和退积的转化等,都可形成冲刷侵蚀界面。但盆地的沉积物为盆内单源物,也有盆内和盆外屑的混合体,低水位体系域以大陆边缘沉积物为主,或海侵上超覆盖。

另一形式则可能是盆地性质发生转换,如裂谷盆地转为被动边缘盆地、被动边缘盆地转为周缘前陆盆地等。盆地性质转换但盆地未消亡,因而界面上也有相应的沉积间断和侵蚀暴露。这种界面上堆积物的性质和组分有三类,分别为盆内海源屑、盆外陆源屑和前两者的混合屑。堆积物组分的差异与盆地所在的部位有关。盆地的水下部分往往是盆内屑,如果形成楔形体则视为Ⅰ类界面;在碳酸盐沉积区,古暴露面上常见海侵灰岩覆盖,对这类界面的性质则颇有争议,有的则视为Ⅲ类界面;界面上盆内屑堆积物也可能是陆源物沉积后的海水改造物,因而界面的属性也不易确定,如滨海陆源砂岩覆盖在碳酸盐台地的暴露面上,此陆源砂应视为河流搬运而至,属海退现象,底面虽无回春特征也可视为Ⅰ类不整合,但陆源砂经海水改造为滨海相,则又视为海侵的结果,为海侵体系域超覆,其间有隐蔽的时间间断,南方的泥盆系和石炭系底部的海相砂岩均具有此特征。可见,分析低水位体系域的性质,应视盆地内的古地理环境、沉积物的组分和海平面变化的偶合关系等多因素而定,如果把层序界面和体系域的性质简单化,则不能反映盆地演化的真实性。

### 3 层序地层与成矿作用

#### 3.1 具旋回性的层序地层与成矿旋回的偶合

从全球构造—古地理演化的周期而言,一次全球性的构造变革,标志着海陆的重新分配、调整和新盆地生成,形成与构造旋回相对应的成矿旋回、古气候旋回和海平面变化旋回以及1级层序。这些因素控制沉积物的旋回性和韵律性,制约了沉积矿产和层控型矿产的分布。

显生宙的地质历史表明:新元古代至寒武纪全球板块扩张期,形成全球可对比的磷、锰、铁和黑色页岩及有机炭的聚集(不涉及盆地的展布和古地理方位);板块活动性质转换的结

果,反映在沉积作用上则是碳酸盐建设,这就为层控型铅锌矿和油储构造提供了储矿空间。即早古生代层序地层旋回与成矿旋回的偶合。

全球 Pangea 期,是大陆的分裂和聚合的又一过程。海陆重新分布和新盆地形成,造就了新的 Pangea 构造旋回的矿产资源和展布趋势<sup>[5]</sup>,特别是磷矿、煤、蒸发岩和油气资源。泥盆系和石炭系中的层控铅锌矿,不仅在中国而且在全球都有分布;二叠系的蒸发岩和煤;碳酸盐岩中的油气藏等均具有全球对比性。

从特提斯构造域来看,我国的沉积和层控矿产以及油气藏与世界相同,具有两次构造—成矿旋回:分别为早古生代和晚古生代,同样,南方碳酸盐中的油气与构造活动相对应,也具有两次生储组合序列。

### 3.2 体系域组合与成矿和油储构造

对于沉积和层控矿产的研究上,笔者与刘宝瑞院士和王剑副研究员在“七五”期间从事寒武系铅锌矿研究时<sup>[6,7]</sup>,提出高水位体系域的藻丘与废弃油田水有关的成矿作用,认识到具有最大海泛面性质的黑色页岩是生油层,并成为后期提供成矿流体。继后的研究又提出体系域的成矿作用、层序界面的多重性与成矿的关系。

近几年的实践证明,体系域组合、层序界面与成矿作用之间存在着有机的成因联系。笔者与牟传龙(1993)<sup>[8]</sup>、王剑(1996)<sup>[9]</sup>、牟传龙和王立全(1995—1996)口述等在泥盆系中找矿时发现,高水体体系域的溶蚀孔洞和其上的暴露面是南方和三江地区的主要控矿部位,从而总结出高水位体系域和层序界面的成矿作用。其成矿机制是,三级海平面相对变化和海平面下降,必然使高水位体系域的沉积物暴露溶蚀,成为后期成矿流体的通道和储集场所。对于油气而言,具有生储性质的组合体,同样有储集作用。南方的石炭系、二叠系的生物礁和礁顶暴露面,已证实是有利的油气藏。

层控多金属矿产和油储构造的另一重要因素,必须具有良好的盖层。层序地层内的第一个海侵面如果与孔隙性良好的暴露面组合,可形成油藏圈闭。可见,研究生、储、盖组合的完备性和实际性,是促进层序地层学发展的新议题。

## 4 层序不整合界面研究的关键

### 4.1 层序不整合界面的时间损失量

层序地层的不整合界面无论在水上或水下部分,其接触界限内均存在有一定的时间间断。从当前研究所得的认识来看,大多数层序界面均与纵向序列的岩石地层单元之间的界面一致。其中间断时间的长或短,即为时间损失量。在横向上,与时间损失量相对应的沉积体应分属于盆地不同部位的时间楔沉积物,或称“时间楔形体”。

时间损失量的长或短,在 1 和 2 级层序间由全球构造控制,与控矿有联系的 3 级层序间,除原岩的岩石组分因素外,它决定于高水位体系域受淋滤和溶蚀的深度和范围、古暴露不整合面上古土壤化的程度。这些因素均决定了高水位体系域和暴露面的充填物和孔隙性,笔者称“古暴露不整合面的成熟度”。“成熟度”由低至高,代表充填物由钙质转为泥质、孔隙性由高至低。可见,时间损失的时间量、“古暴露不整合面的成熟度”直接控制成矿流体的运移和定位。

确定时间损失量的定量化,一是定年数据,同位素和生物年代对比。除此,建立层序地层模式或模拟对比,从中找出可行的时间损失量。

建立层序地层模式必须具备三个前题条件：一是确定层序的内部体系域的结构；二是层序的等时性和层序格架的可对比性；三是盆地的构造背景和盆地性质转化与层序等时格架的关系。通常，露头上的层序界面并不都是等时的，清理出“时间楔形体”与盆地转换的关系，确定其所属的盆地后，才能建立层序的等时格架。

#### 4.2 层序不整合界面的物质组分和环境演化

暴露不整合面上的组分和环境，即取决于盆地的性质也取决于高水位体系域的结构。

继承性的大陆边缘盆地形成暴露不整合时，主要发生在被动大陆边缘的热沉降期，这时已形成了一个与陆地相连的碳酸盐大台地。构造和盆地性质的转折，海平面的相对变化必处于由主体上升转为主体下降阶段，因而在碳酸盐大台地上则发生大面积的相对升降和暴露。从层序地层学与成矿作用的偶合效应出发，精细的研究暴露不整合面上物质成分的改造、交代和沉积相的配置，则是层序地层学发展的新命题，也是学科间的交叉反转又促进了学科自身发展的需要。

暴露的碳酸盐大台地，环境的物性都发生变化和迁移以及地球化学和物理化学条件转化。沉积环境的配置关系是：一侧与陆地相连、另一侧与海相连并向水下延伸；沉积相的配置是：一侧是原岩风化改造的暴露相、另一侧则可能形成海平面下降的碳酸盐低水位楔，即台缘前斜坡相。

如果强调对层序不整合面控矿作用预测的有效性，则必须进行暴露区的超常规的分析研究：

##### (1)物源差

暴露面上物源的分布，一侧为陆源河流注入物、一侧为海源物。

陆源物向海方向的排列：砾、砂、泥和蚀变的粘土矿物；海源物由海向陆推进：原地改造物、砾屑、灰泥；两者之间可形成一个陆源物与海源物的混合带。

两种物源差的分布和排列，造成暴露面上的物质差异，其物性的结构和构造必将对成矿流体迁移存在着正、反两方面的效应。

##### (2)水动力条件差

古暴露面不同的古地理位置和环境，决定了水动力条件不同。一侧是河流控制域；一侧是海水控制域。如洪泛区、牵引流区和低能沉积区；海水的冲洗带、波浪作用带、障壁岛后的低能带等。这些均决定古暴露面上堆积物被改造的程度、再次充填物的性质，也决定高水位体系域和暴露面中的孔隙率。

##### (3)填隙物差

上述两个条件，控制高水位体系域的淋滤带和暴露面中充填物的成分和性质。毫无疑问，孔隙和填隙物系统不同，在后期与成矿流体系统间的相互作用和成矿反应则有不同的结果。

#### 4.3 层序不整合界面成岩环境和孔隙相

高水位体系域和暴露不整合面是个多阶段的复合作用成岩体

##### (1)古表生成岩作用残留相

盆地中沉积物沉积后，即转入早期成岩阶段，暴露面上沉积物为裸露地表，因而这些物体即经受了早期和表生成岩阶段的复合作用，又受到改造和破坏，所以是残留相。因此这个暴露面具有多世代、多阶段的成岩演化，为成矿系列提供选择性的空间。可见这个面的成岩

作用研究不能简单化。

#### (2) 暴露不整合面被改造的成岩环境相

暴露不整合面处于进积和退积式的成岩改造过程。改造的程度则与不整合面暴露时的古地理环境有关,因此进行成岩环境相分析,取得成岩作用的各种条件。

#### (3) 原生孔隙演化旋回和次生孔隙演化旋回

高水位体系域沉积时的原生孔隙和改造后的次生孔隙都具有多次旋回,孔隙的性质和演化期次,受控于盆地的古地理位置和环境,也受控于沉积时的原生孔隙水、淡水、海水和混合水的制约,形成不同的水-围岩体系。

孔隙演化是多阶段、多因素的复合效应。原生孔隙演化旋回可能经历沉积停滞期、暴露时的多因素改造期、原生孔隙埋藏期、造山回返过程中的后期成岩作用等;次生孔隙同样也经历了多次成岩过程。这里所强调的是,高水位体系域和古暴露面的溶蚀孔洞,已经证明是成矿流体的通道和储集空间,其成岩作用场对成矿的制约性是显而易见的,但以往的研究恰恰忽略了这一重要阶段对成矿作用的影响。

#### (4) 暴露不整合面的分带性与控矿作用

由前述来看,古暴露面上的沉积环境和地理位置不同,在空间上可构成环境-物性-孔隙性的分带展布以及地球化学场分带,其结果造成了有选择性的成矿作用带。这种实例也不乏见:如扬子区早、晚二叠世间有一重要的沉积间断,使早二叠世形成的碳酸盐缓坡暴露剥蚀和喀斯特化。与暴露面有关的成矿作用,在时、空上具有分带现象:西部为成煤环境域,而东南边缘的暴露不整合面却是金矿的成矿作用带。以往未形成层序地层的找矿思路,因而研究工作也不会达到精细的程度,忽略了古暴露面的物质分异和地球化学场分异。

## 5 小结

层序地层学的实践已证实了它的生命力,学科的自身发展的需要、多学科交叉以及实践中的新问题,则又促进了层序地层学的发展和深入。

涉及层序地层学的基本观点,虽然有很多争议,但不失其应有的价值。在固体金属矿产的成矿作用上,已证实它与控矿作用间的有机联系,碳酸盐岩古喀斯特在塔里木盆地也是重要的储层,因此层序地层应用于油气圈闭则成为重要的途径和方法。为了实现在碳酸盐分布区研究储集的必然性和可行性,围绕油储勘查的需要,探讨在层序地层学研究中的关键点,以求实践中扩展其可行性。

## 参 考 文 献

- 1 Vail, P. R., Mitchum R. M. and Thompson, S. Global cycles of relative changes of sea level. In: Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration, AAPG Memoir 26: 83—97
- 2 Ginsburg, R. N. Cyclostratigraphy and sequence stratigraphy: Opportunities to expand and refine existing chronostratigraphy, Abstracts 1996, Vol. 2 of 3, p. 25, 30th International Geological Congress, Beijing
- 3 Vail, P. R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure. In: Atlas of Seismic Stratigraphy (A. W. Bally ed.), American Association of Petroleum Geologists Studies, Geology 27, 1987, 1: 1—10
- 4 许效松、刘宝珺、赵玉光, 上扬子台地西缘二叠系-三叠系层序界面成因分析与盆地转换, 特提斯地质, 第 20 期, 1-30, 地质出版社, 1996
- 5 Manspeizer, Warren. Pangean stratabound resources: feasibility study using GIS & the worldwide net, Abstracts Vol. 1 of 3, p. 505, 30th International Geological Congress, Beijing
- 6 刘宝珺、许效松、潘杏南、黄慧琼、徐强, 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿, 科学出版社, 1993, 北京
- 7 刘宝珺、王剑, 湘西花垣李梅铅锌矿区古热液喀斯特特征及其成因研究, 大地构造与成矿学, 1990, Vol. 14, No. 1
- 8 许效松、牟传龙、林明, 露头层序地层与华南泥盆纪古地理, 成都科技大学出版社, 1993.
- 9 王剑、刘宝珺、江金榜等, 桂中北层控铅锌矿与海平面变化, 西南交通大学出版社, 1996