

文章编号:1000-0550(1999)增-0742-05

层序地层学在前寒武纪地层研究中的应用

——以河南省西部震旦系为例^①

董文明¹ 沈 亚² 周洪瑞² 崔新省²

1(核工业北京地质研究院 北京 100029) 2(中国地质大学地矿系 北京 100083)

摘 要 运用层序地层学原理和工作方法,对豫西震旦系进行了详细地研究,识别出三个I类层序,并建立起了各层序的等时格架,系统地研究了地层沉积相带在层序格架中的分布规律和成因联系。认为相对海平面变化是本区层序、体系域形成的主导因素。以相对海平面升降作为等时周期,不同成因背景下的沉积物就具有等时性,可以对比。同时,对相应的海平面变化曲线的绘制方法进行了尝试。

关键词 层序地层学 震旦系 I类层序 层序等时格架 海平面变化曲线

第一作者简介 董文明 男 1967年出生 博士 铀矿地质

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 前 言

众所周知,前寒武纪地层因其地质历史漫长,遭受变质、变形程度高,生物化石稀少且缺乏可靠的同位素年龄资料,从而在地层成因、划分和对比、古地理演化等方面一直存在很大争议,难以开展深入细致的研究工作。自八十年代提出的层序地层学理论和工作方法^[1,2],使地质学迈入了新的发展阶段,同时也为前寒武纪地层研究提供了新的理论基础。将层序地层学应用于前寒武系这套特殊的“哑地层”,不仅可以从成因机制上重新认识其沉积类型和组合特征,研究它们在纵向和横向上的成因联系和分布规律,而且丰富了层序地层学的研究内容,因此具有重大的理论和实际意义。

豫西地区震旦系出露良好,地层序列完整,是前寒武系层序地层学研究的理想地区。本文是在对豫西震旦系开展露头层序地层学研究取得初步成果^[3]的基础上,开展了更为广泛的野外工作和系统的室内测试分析所取得的一些新的认识和成果。

2 层序划分和分析

豫西震旦系自下而上由黄连垛组、董家组、罗圈组和东坡组构成^[4],其时限为 $800 \pm 50 \sim 600 \pm$

$10 \text{ Ma}^{[5,6]}$ 。

笔者根据露头层序地层学原理和工作方法,围绕相对海平面变化,从沉积相和微相的研究入手首先建立以海泛面为界的副层序;然后根据副层序的堆叠型式、关键界面(主要是层序界面和最大海泛面)的识别和体系域的配置,进而通过系统的室内测试和深入研究,将豫西震旦系划分为3个I类层序(图1)。

层序1由岩石地层单位黄连垛组组成。层序底界面为I类界面(SB1),缺失低水位体系域(LST),界面上下碳同位素($\delta^{13}\text{C}\%$)呈截然变化^[7]。

海浸体系域(TST)底部为滞留砾岩、砂砾岩,向上渐变为潮坪相具叠层构造的内碎屑白云岩,硅质条带白云岩。典型的副层序(图1之①)特征为,下部为具燧石团块的内碎屑白云岩,层理不明显;中部为具硅质条带的砂屑、粉屑白云岩,略显层理;上部为具卷心菜状叠层构造的纹层状硅质条带白云岩。沉积环境由潮下带上部渐变为潮间至潮上带;由于海水变浅,生物作用增强,碳同位素增高,同时,蒸发作用也增强,而使得氧同位素($\delta^{18}\text{O}\%$)升高。本体系域可划分出10个副层序,总体上呈弱加积—退积特征,反映出海平面的不断上升。

最大海泛期(mfs)沉积为厚约3m的浅海相纹

^① 国家基础性重大研究项目“中国古大陆及其边缘层序地层与海平面变化研究”资助

收稿日期:1998-11-02 收修改稿日期:1999-04-27

层状硅质岩,硅质岩中SiO₂含量极高,达97%以上,CaO、MgO 极低。硅质岩的成因研究表明,其投点于R. W. Murray^[6]所划分的陆缘区,表明其具有陆源成因的特点。

高水位体系域(HST)由潮坪相白云质硅质岩和硅质白云岩组成,可划分为5个副层序,总体上具加积—进积特征,反映海平面的下降。

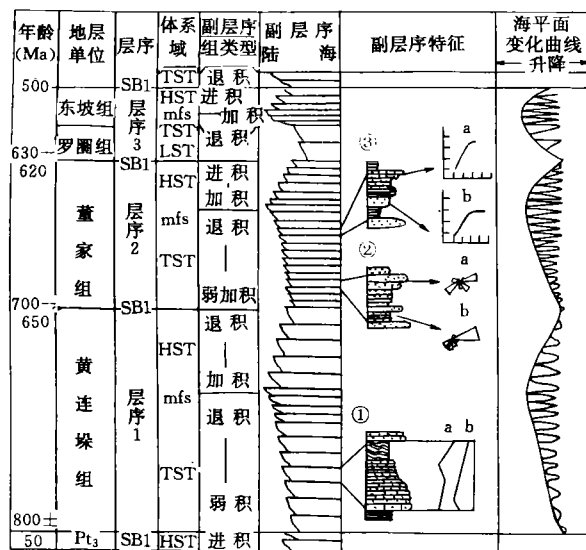


图1 豫西震旦系层序特征

Fig. 1 Sequence features of the Sinian in Western Henan Province

- ①潮坪型副层序: a. (δ¹³C‰ (PDB)曲线; b. (δ¹⁸O‰ (PDB)曲线
- ②砂质海滩型副层序: a. 上部交错层理玫瑰花图; b. 下部交错层理玫瑰花图
- ③泥质海滩型副层序: a. 上部砂岩粒度累积概率曲线; b. 下部砂岩粒度累积概率曲线

层序2由岩石地层单位董家组组成。其层序底界面特征与体系域配置与层序1相似。海侵体系域主体由滨海相的含砾粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥质岩组成,可进一步划分为13个副层序。副层序特征在早期为砂质海滩型副层序(图1之②),晚期向泥质海滩型副层序(图1之③)变化,总体上具有弱加积—退积特征,反映出水动力逐渐减弱、海平面持续上升的过程。

最大海泛期沉积为厚约3 m、具水平层理的灰色粉砂质泥页岩夹薄层含海绿石细砂岩,属过渡带沉积环境。其微量元素V、Co、Cr、Ni、Mn、B、Sr、Ba的含量明显高于下伏地层,向上也迅速递减^[7],为海平面上升最快时沉积速率极为缓慢条件下的产物。

高水位体系域由下部属过渡带环境的含海绿石

细砂岩、砂坝障壁型厚层含砾粗砂岩和上部泻湖相纹层状白云岩组成的6个副层序构成,总体上具有加积—进积特征,反映海平面下降。

层序3由岩石地层单位罗圈组和东坡组构成(图1)。层序底界面为一区域性不整合面^[4],属于I类层序界面。本层序由LST、TST、和HST构成。

低水位体系域相当于罗圈组的主体部分,沉积序列自下而上为:冰川下部的滞渍沉积→块状杂砾岩、湖滨水下渍→似层状杂砾岩和冰湖相含落石的纹泥岩、砂岩等,构成特有的冰成沉积相序列。按照这种沉积相序列特征,本体系域可划分为两个沉积旋回,每一旋回沉积相的变化都是气候冷暖波动、冰川进退变化的结果。

海侵体系域由薄层含砾细砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩组成,具落石构造。本体系域主体属冰前滨海相,向上迅速向浅海相过渡。其厚度相对较小,具快速退积特征,这是冰川消融、海平面迅速上升的结果。

最大海泛期沉积为一厚约2 m、不含砾的浅海相薄层泥、页岩,页理极为发育。其微量元素V、Co、Cr、Ni、Mn、B、Sr、Ba的含量均高于其上覆和下伏层位的含量,且含有有机碳。这是海平面上升速率最大时,沉积物供给速率极为缓慢条件下的产物。

高水位体系域相当于东坡组的主体。由杂色粉砂岩、泥页岩夹薄层含海绿石细砂岩组成,厚度巨大,属浅海沉积环境。本体系域向上砂/泥比逐渐增大,粒度变粗,具加积—进积特征,为海平面缓慢上升至下降期的产物。

层序顶界面即是代表震旦、寒武系界线的区域性不整合面^[4],截切了本层序顶部不同层位。

3 震旦系层序等时格架

豫西震旦系分布广泛,但由于缺少有效的化石依据,同位素测年数据又少,且误差大,因此对其划分和对比,特别是罗圈组的“穿时”问题一直难以解决。从地层学角度来看,不仅陆相和海相沉积物在生物地层、岩石地层和沉积相等方面很难进行对比,即使都为陆相或海相沉积,也会因岩石地层的穿时性而使地层对比趋于复杂化。但根据层序地层学原理,层序是年代地层格架内有成因联系地层的三维组合体,层序的形成受全球海平面升降、构造沉降、物源补给和古气候四大因素的控制。因此,以相对海平面升降作为等时周期,则不同成因背景下的沉积物就

具有等时性,可以对比。豫西震旦纪时为一向南东开放的稳定的陆架区,相对海平面变化是层序、体系域形成的主导因素,据此笔者建立起了本区震旦系层序等时格架(图2)。从图中可以看出,在同一海平面变化旋回内所形成的层序、体系域,从西北向东南,其岩性、岩相呈现一系列规律性的变化。限于篇幅,仅列举三个层序中某些有代表性的层段予以说明。

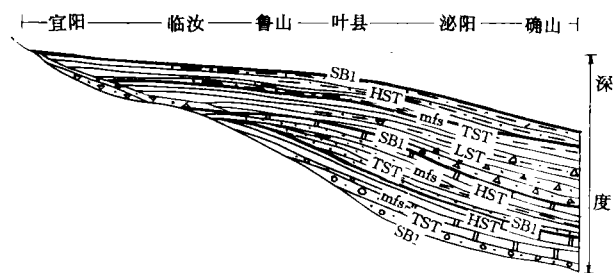


图2 豫西震旦系层序等时格架

Fig. 2 Sequence isochronic framework of the Sinian in Western Henan Province

层序1分布于鲁山至泌阳一带。其海侵体系域底部在鲁山下汤、方城小顶山一带为滞留底砾岩、砂砾岩,至泌阳大邓庄则相变为滨海相细粒石英砂岩,反映海水从东南向西北侵进的开始;本体系域的主体在鲁山、方城一带,以具藻类叠层构造的硅质条带白云岩为特征,厚度巨大,而在泌阳大邓庄,则为燧石团块内碎屑白云岩和薄层白云岩,不含藻类叠层构造。这是因为,前者靠近西北海岸,为潮间—潮上带环境,藻类繁盛,碳酸盐产量高,因而地层较厚;而在东南的泌阳大邓庄,为潮下环境,藻类不发育,地层也较薄。总之,从西北向东南,本体系域的岩性、岩相呈现规律性变化,这是海平面上升期,海水从东南向西北侵进的结果。虽然其岩性、岩相因地而异,但都是在相对海平面上升期间沉积的,因而具有等时性。

层序2分布于鲁山、叶县至泌阳一带,其层序特征与第一层序基本相似,由西北向东南呈现规律性变化。仅从最大海泛期沉积来看,在鲁山下汤至叶县常村,为粉砂质泥页岩夹含海绿石细砂岩,属过渡带沉积环境;在泌阳大邓庄为灰绿色泥页岩,为浅海环境的沉积产物,说明其海水深度比西北方向深些。从西北向东南,这些不同岩性、岩相的沉积物都属于本层序最大海泛期的低速沉积,具有等时性。

层序3分布范围比层序1、2广泛得多,几乎遍及整个豫西地区。由于主要受古气候和古构造两大

因素的控制,其层序特征,特别是低水位域别具特色。

总体上,本层序低水位体系域与罗圈组相当,为一套与冰川作用有关的杂砾岩、含砾砂岩等,其成因类型因地而异。在本区西北部的宜阳苗村,主要为一套砂泥质块状、似层状杂砾岩,属具底渍、滞渍特征的陆上原地冰渍岩;在临汝罗圈为略受水流改造的陆相冰渍岩(融出渍)夹冰湖(河)相的冰水沉积岩,具有落石构造;在鲁山下汤为冰渍物明显受水流改造的砂砾岩,具典型陆上泥石流特征^[9];至泌阳、确山一带,主要为受水下重力流、浊流改造并有浮冰沉积作用参与的冰成岩类,具落石构造和粒序层理,砾石排列具有方向性,地层厚度巨大。

总体上,在与罗圈冰期相当的本体系域形成期,由于气候寒冷,在本区西北的熊耳山及其以北地区形成山岳冰川,同时海平面也下降至最低位置,使本区大部分暴露于海平面以上,仅泌阳、确山及其以南地区处于海平面以下。由于气候的次级波动和冰川作用的进行,在本区西北部的大陆上堆积了大量的冰渍物。随着堆积物的不断增多,坡度加大,其在自身重力和冰川融水的共同作用下,经陆上泥石流、河流、水下重力流、浊流等方式从西北不断向东南方向搬运和沉积。从地层学角度来看,本区西北部的原地冰渍物要比东南部经水流搬运和改造的冰成岩类的形成时间要早一些,即存在“穿时”;但从层序地层学角度,它们都是在低水位期(即海平面下降期至缓慢上升期)形成的沉积物,即属于同一低水位体系域,因此具有等时性,可以对比。

总之,层序、体系域的形成受相对海平面升降的控制,并与特定的海平面升降曲线上某一段落相对应。因此,同一层序、同一体系域虽然不同部位其岩性、岩相特征不尽相同,但确具有等时性,可以进行对比。

4 震旦纪相对海平面变化

海平面变化是层序地层学建立的基础,也是层序地层学研究的重要内容。海平面变化曲线是对海平面变化的定量估计,其由不同周期、不同振幅的正弦曲线复合而成^[10]。

在相对海平面变化曲线的坐标系中,纵轴代表海平面相对于盆地基底(可取SB1面)的高度(即水深与当时沉积物表面距SB1面的高度之和),横轴代表时间(在无准确年龄资料情况下,用副层序个数

来表示),则相对海平面随时间的变化 $RSL(t)$ 可表示为:

$$RSL(t) = H(t) + S(t)$$

如果选择地心作为基准点,即消除盆地基底构造沉降的影响,所得曲线为全球海平面曲线 $SL(t)$:

$$SL(t) = H(t) + S(t) - D(t) \quad (1)$$

对于稳定的大陆架,可假定基底的沉降随时间呈线性关系: $D(t) = K * t$; 在时间 t_{i-1} 至 t_i 时刻沉积物厚度为 S_i , 水深为 H_i , 则(1)式可写为:

$$SL(t_i) = H_i + \sum S_i - K * t_i, \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

此即 Fischer 图解的原理^[11]。用此方法可大致估计出海平面变化的长周期趋势,它是一种简单易行且行之有效的有效的工作方法。据此笔者作出了本区震旦系层序 1 的海平面变化曲线(图 3)。

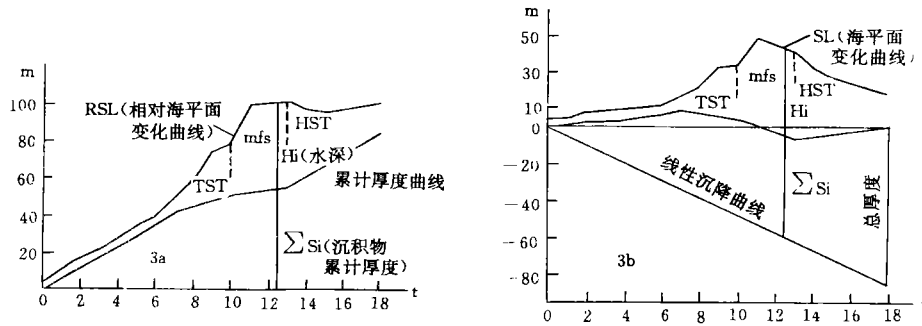


图 3 豫西震旦系层序 1 的海平面变化曲线

Fig. 3 Curve of Sea-level Change of Sequence 1 of the Sinian in Western Henan Province

(a) 相对海平面变化曲线的绘制——以累计厚度叠加水深; (b) 海平面变化曲线的绘制

从图中可以看出,单位时间内盆地基底的沉降深度并不等于沉积物累计厚度,即:

$$\sum S_i \neq K * t_i$$

所以 $SL \neq H_i$

然而在(2)式两边对 t 微分,则有:

$$d(SL)/dt = d(H_i)/dt + d(\sum S_i)/dt - d(K * t_i)/dt$$

可以认为在较长时间间隔(从一个层序的开始至结束)内,沉积物堆积速率与构造沉降速率近似相等^①

即: $d(\sum S_i)/dt \approx d(K * t_i)/dt$

则有: $d(SL)/dt \approx d(H_i)/dt$

就是说,在较大级别上,水深的变化可能与海平面的变化相一致,并可用沉积水深的变化来反映海平面变化的总趋势。特别是对那些构造相对稳定、地质记录完整的被动陆缘盆地,应用这一方法就显得简单明了。

根据这一原则,笔者作出了本区震旦系三个层序的海平面变化曲线(图 1)。

5 结论与探讨

(1) 豫西震旦系包括三个 I 类层序,前两个分别与岩石地层单位黄连垛组和董家组相当,第三层序由罗圈组和东坡组构成。

(2) 豫西震旦系层序等时格架的建立,为本区震旦系的划分和对比提供了新的理论依据,且使其划分和对比更趋合理。前述,对于罗圈组的穿时问题一直难以解决,但从层序地层学角度来看,总体上这套冰成岩类形成于同一海平面升降旋回的低水位期,因此具有等时性,可以对比。另外,尽管罗圈组和东坡组的岩性、岩相不同,但它们形成于同一海平面升降旋回内,共同构成一个层序,因此无需作为两个独立的地层单位存在。从这种意义上来说,它优化了

岩石地层单位。

(3) 露头层序地层学主要是对野外露头进行研究。根据露头层序地层学的原理和方法,围绕相对海平面变化,以层序界面、最大海泛面为关键界面,抓住副层序、副层序组及体系域特征等重要标志,在露头上确定不同级别的层序。同时在区域上对层序界面和最大海泛面进行追踪对比,建立起区域性的等时界面,为地层的划分、对比提供依据。

(4) 关于震旦系层序的级别。目前的层序划分一般以 Vail 的三级层序为基础。显生宙以来其时限大致为 1~5 Ma。豫西震旦系的三个层序,其体系域配置和层序界面等特征与 Vail 的三级层序是一致的,但持续时间却长得多,其主要原因可能是:①前寒武纪是地球演化的早期阶段,引起全球海平面变化的主要原因,如板块开合的速率等与显生宙的可能不尽相同;②震旦纪时本区为陆架区,无沉积期可

① 章雨,许旭等. 海平面变化定量研究的探讨. 1995

能很长,且三个层序的界面均为区域性不整合面,有可能造成层序缺失;③前寒武系普遍缺少可用于精确定年的生物化石和同位素资料,不能给出准确的层序时限。因此,在这种情况下讨论层序的时限是不充分的,还有待于实际资料的进一步积累。

参 考 文 献

- 1 Van Wagoner J C, Mitchum R M, *et al.* Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[C]. AAPG, Methods in exploration series, 1990, 7
- 2 威尔格斯 CK 等编,许怀大,魏魁生,洪卫东等译.层序地层学原理[M].北京:石油工业出版社,1993
- 3 崔新省,董文明,周洪瑞.豫西震旦系露头层序地层学初步研究及其意义[J].地球科学,1996,21(3):249~253
- 4 关保德,耿午辰,戎治权等.河南省东秦岭北坡中—上元古界[M].郑州:河南科技出版社,1988
- 5 王鸿祯主编.中国古地理图集[M].北京:地图出版社,1985
- 6 邢裕盛.中国的上元古系[M].北京:地质出版社,1989
- 7 董文明.河南省西部地区震旦系露头层序地层学研究[M].北京:中国地质大学,1995
- 8 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications[J]. Sedimentary Geology, 1994, 90: 213~232
- 9 张玲华.华北地台南缘震旦纪地层沉积类型及岩相古地理研究[M].北京:中国地质大学,1989.
- 11 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-application to hydrocarbon exploration[C]. AAPG Memoir, 1977(26): 49~212
- 12 Fisher A G, Boer P L, Silua P. Cyclostratigraphy[A]. In: Cretaceous resources, events and rhythms[C]. 1990. 139~172

Application of Sequence Stratigraphy to Precambrian Strata —A case study on the Sinian in Western Henan Province

DONG Wen-ming¹ SHEN Ya² ZHOU Hong-rui² CUI Xin-sheng²

1(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029)

2(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract

The paper focuses on sequence stratigraphy of the Sinian in Western Henan Province. Based on the theory of sequence stratigraphy, three type I sequences have been identified, in which the first two sequences correlate to the Huanglianduo Formation and Dongjia Formation, respectively, and the third one includes both the Luoquan and Dongpo Formations. After establishing their sequence isochronic framework, the author analyzes systematically the distribution patterns and genetic relations of the strata and sedimentary facies zones within the framework, and then proposes that the formation of the Sinian sequences and their system tracts in the study area was controlled primarily by the relative sea-level changes. The sediments which deposited within the same sea-level changes, although they have different sedimentary environments and different components, are isochronous and can be correlated. Finally, the author proposes a method how to draw the curves of relative sea-level changes.

Based on the research result, the author concludes that the theory of sequence stratigraphy can be generally applied to the Precambrian, such as the Sinian, by identifying the key boundaries, especially the sequence boundary (SB) and the maximum flooding surface (mfs), and analyzing the features of the parasequences, parasequence sets and system tracts within a sequence. The method establishes a good base for the classification and correlation of the strata study. But the hierarchy of the sequence cannot be precisely determined because of low-studying-level and short of accurate dating, therefore further studies are necessary.

Key words sequence stratigraphy the Sinian type I sequence sequence isochronic framework curve of sea-level changes