

豫西中元古界汝阳群高频旋回 高分辨率层序地层研究^①

雷振宇 李永铁

(中国石油天然气总公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

提 要 豫西中元古界汝阳群可划分成6个3级层序(Sequence), 这些层序又由若干高频层序(旋回)构成, 其中第6层序(SQ₆)包含了9个副层序组(四级旋回)、36个以上副层序(五级旋回)。副层序一般反映了向上变浅的沉积相序, 顶底面均是一个突然变深的沉积间断面, 并伴有明显的冲刷现象。副层序一般向上粒度变粗(砂岩)、层厚增大, 详细的地球化学资料表明, 在副层序中, 随着沉积相序向上变浅, As、Se等微量元素含量降低, $\delta^{13}\text{C}$ 值则增大, 副层序的这些特征可能与海平面波动引起的沉积环境变化有关。

关键词 高频旋回 沉积相序 微量元素 碳同位素

分类号 P 53

第一作者简介 雷振宇 博士 36岁 层序地层学

高频层序地层学(High-frequency sequence stratigraphy)和高分辨率层序地层学(High-resolution sequence stratigraphy)是近年来层序地层学新的分支, 它的产生表明层序地层学研究不仅要进行高级别(1~3级)层序及其内部体系域的研究, 而且还要向米级、厘米级更小尺度(副层序)的研究方向发展。充分体现了沉积微相、微量元素、碳氧同位素、古地磁等手段的综合运用。对其研究不仅有助于地层的划分对比, 而且揭示了高频海平面波动的某些规律及特征。在实际生产中有助于提高油气资源的预测能力。

汝阳群是形成于中元古代晚期华北地台南缘热沉降陆缘盆地(孙枢, 1985)^[1]的一套碎屑岩—碳酸盐岩沉积, 层序地层研究可将其划分为六个三级层序(雷振宇, 1996)^[2]。本文仅选择其中一个层序(SQ₆)予以详细研究, 该层序由陆架边缘体系域、海进体系域和高水位体系域组成, 共包含9个副层序组(四级旋回)和36个以上的副层序(五级旋回)。各级旋回构成特征如下(图1)。

1 高频旋回的岩石(相)组合特征

SMW: 由第1副层序组成, 共包含7个加积的砂质海滩型副层序, 副层序厚度在5.7~6.9m之间, 每个副层序自下而上由下临滨、上临滨、前滨沉积组成, 显示出向上变浅的序列, 副层序底部界面清晰, 伴有冲刷现象。随着岩相向上变浅, 副层序中岩石特征和沉积构造也有明显规律, 一般而言, 下临滨沉积由粉砂岩或细砂岩组成, 层厚在2~4cm之间, 仅见水平纹理及小型板状层理; 上临滨为细砂岩, 层厚在2~10cm之间, 发育平行层理; 板状层理及楔状层理, 偶见波痕; 前滨沉积为中—细粒石英砂岩, 层厚在8~40cm之间。

TST: 由第二至第三副层序组构成, 第二副层序组为退积型砂质海滩副层序组, 由第8至第15副层序组成; 第8~14副层序由临浅沉积组成, 副层序厚度在5.2~7m之间, 下部为下临滨粉砂岩夹细砂岩, 层厚在2~20cm之间, 主要见有水平层理、平行层理及板状、楔状交错层理, 偶见小痕, 亦具向上变厚、变粗的特征。第15副层序由过渡带—下临滨沉积组成, 厚5m, 过渡带为泥岩偶夹江层细砂岩, 仅见水平纹层, 下临滨由细砂岩夹粉砂岩组成, 常见小型板状交错层理, 第三副层序组由内陆棚过渡带—浅

① 本文为国家重大基础性研究项目《中国东部古大陆及其边缘层序地层及海平面变化研究》课题研究成果(08502208)

收稿日期: 1996-10-21

海灰绿色页岩及薄层粉砂岩组成,厚 3m,层厚 < 2cm,见有水平纹层及波状纹理,副层序未见鉴别。第三副层序之上为浅海内陆棚泥页岩中部夹中陆棚黑色页岩(厚度仅为 0.6m)。综上所述,TST 自下

而上由无障壁滨岸体系变为浅海内陆棚沉积,最后为中陆棚沉积(凝缩层)。构成一个向上变深的副层序组链。

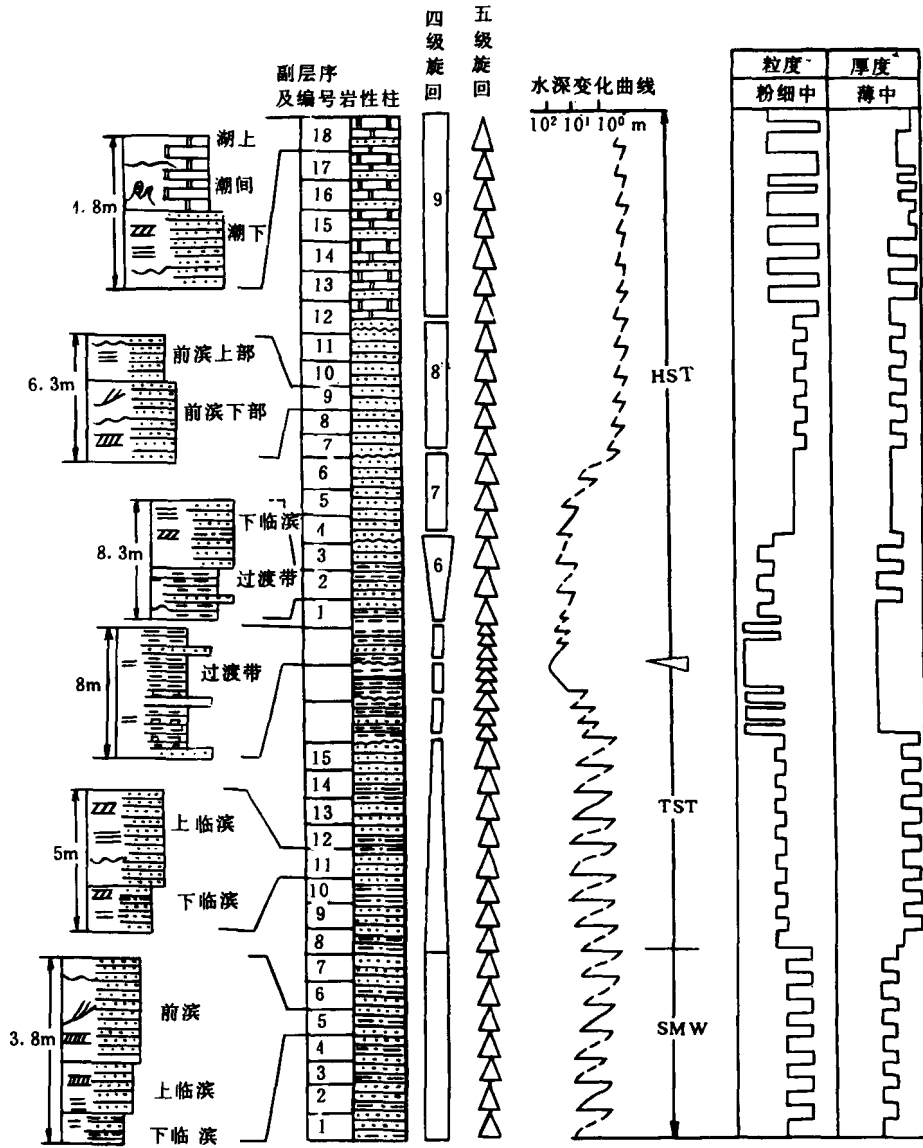


图 1 高频旋回特征图

Fig.1 Diagram of the character in the high-frequency cycles

HST:由第 5~9 副层序组构成。第 5 副层序组为浅海—过渡带泥岩、粉砂岩沉积,自下至上粉砂岩成分增加,上部可达互层,厚 6m,副层序未能识别。第 6 副层序组为过渡带—临滨沉积组成的进积型副层序组,共包含 3 个副层序,厚度在 6.3~7.2m 之间,第 1~2 副层序下部为过渡带粉砂岩夹薄层细砂

岩,发育水平纹理,上部为下临滨细砂岩夹粉砂岩,层厚在 5~20cm 之间,发育平行层理及小型对称波痕,波长 2.8cm,波高 0.5cm。第 3 副层序由过渡带粉砂岩夹细砂岩与临滨带细砂岩组成,细砂岩层厚为 20~30cm,发育板状、楔状交错层理。第 1~3 副层序均具向上变粗、变厚的特征。第 7 副层序组由

3个加积的砂质海滩副层构成,每个副层序厚度在4.8~5.5m之间,副层序均由临滨中—细粒海绿石石英砂岩组成,海绿石多呈圆—椭圆状,直径与共生的石英颗粒相近,仅见板状交错层理及平行层理,层厚一般在5~40cm之间,副层序底部可见冲刷面,第8副层序组由5个加积的砂质海滩副层序构成,每个厚度在3.5~4.7m之间,并由前滨带中—细粒石英砂岩组成,沉积构造极为丰富,常见板状、楔状交错层理及平行、冲洗层理,波痕构造多属波成对称波痕,从下至上有粒度变细、层变薄的趋势。第9副层序组由12至18个碳酸盐岩—碎屑岩混合潮坪副层序组成,略显进积特征,第12~14副层序由潮下带白云质砂岩(下部)与砾屑白云岩(上部)组成,厚度在3.6~6.7m之间,砂岩中发育双向交错层理、平行层理及波痕、砾屑白云岩砾屑呈长条状,一般顺层分布或与层理斜交。第15副层序由潮下带砾屑白云岩及潮间带含砂白云岩组成,厚3.9m。第6副层序(组)由砾屑白云质石英砂岩及潮间带含石英砂白云岩韵律构成,厚20.15m,第6副层序由潮下带白云质石英砂岩及潮间带含石英砂白云岩组成,偶见双向交错层理。第7副层序自下而上由潮间带下部含石英砂白云岩,潮间带叠层石白云岩及潮上带泥晶白云岩组成,厚4.2m,含石英砂白云岩略显板状交错层理及平行层理,叠层石一般下部呈柱状,上部变为波状,综上所述,HST自下而上由内陆棚浅海体系、无障壁滨岸体系构成,并由此构成向上变浅的副层序组链。

2 地球化学特征研究

2.1 微量元素与古环境

由于元素的化学性质不同,它们在不同氧化—还原环境中的富集规律也不同。As、Sb、Se等亲硫元素属厌氧元素,在还原条件下常常与其它元素一起构成硫化物,故在还原环境中相对富集,因此这些元素在岩石中含量较高时,反映环境相对趋于还原。本文对SQ₆不同环境的沉积岩中分别取样,用中子活化方法对部分元素进行了定量分析,并制做出Se、As等元素含量与沉积环境关系图解(图2),结果表明在前滨、临滨、过渡带、浅海沉积中,上述元素含量均表现出总体增高的趋势。一般认为化学元素在沉积岩中的丰度与岩石类型(砂岩、泥岩、碳酸盐岩)有一定关系,但本文通过对同为砂岩类的石英砂岩

(前滨相)与海绿石石英砂岩(临滨相)比较,As、Se元素含量前者为0.51、0.225后者是0.89、0.54ppm,显示出海绿石石英砂岩中的上述元素的含量明显比石英砂岩高。海绿石被认为是海洋环境的重要指相矿物,其形成深度一般大于30m。因此,这些元素在岩石中的分配规律并非仅仅取决于岩石类型,而可能与沉积环境变化也有密切关系。从前滨至浅海环境,海水变深,环境也愈趋于还原,As、Sb等元素含量也随之增大。

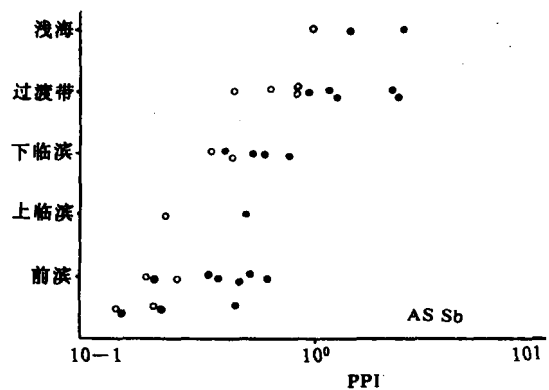


图2 As、Sb与沉积环境关系图

Fig. 2 Diagram of As, Sb vs. sedimentary facies

海水中含有 SO_4^{2-} 离子,当Ba、Sr带入海盆后,由于 $BaSO_4$ 的溶解度很小,故在滨海区大量沉淀,而 $SrSO_4$ 的溶解度较大,Sr在海水中比较活动,可继续迁移到远海,所以它可能在离岸较远的沉积物中相对富集。但影响Sr和Ba在沉积物中分配的因素比较复杂,故对应用沉积物中的Sr/Ba比值指示沉积环境的意义尚无定论^[3]。然而,宋天锐^[4]研究了广东曲江—仁化晚二叠世地层的沉积相和元素变化,发现沉积岩中Sr含量由滨海相向海湾相,由泻湖相至浅海相有逐渐上升的趋势,而本区的Sr含量从潮相 $19.8 \times 10^{-6} \sim 74.1 \times 10^{-6}$,变为浅海相的 $163 \times 10^{-6} \sim 213 \times 10^{-6}$,也显示出类似特征,反映随着海水深度加大,Sr含量也随之增加。研究表明Sr与Ca相比,Sr在海水与大洋中有绝对或相对富集,故陆相环境的Sr/Ca比值较海相低,在滨岸由于淡水注入,可能会造成Sr/Ca比值相对较远岸环境低。本区的Sr/Ca值从潮坪—过渡带→浅海分别为 $0.0003 \times 10^{-6} \sim 0.00035 \times 10^{-6} \rightarrow 0.009 \times 10^{-6} \sim 0.017 \times 10^{-6}$ 呈明显增加趋势,与上述认识吻合。

2.2 微量元素在副层序、体系域中的分布特征

上述研究表明,某些元素的分配规律间接地反映了沉积环境的变化,因此有助于对层序、副层序的划分和识别,前已述及, SQ₆ 的副层序类型主要为砂质海滩型和碳酸盐—碎屑岩混合潮坪型,微相组合及沉积特征反映它们均具有向上变浅的序列,通过 As、Sb、Se、Co 等与沉积环境较为密切的化学元素研究,同样也反映了上述类似的变化规律。表 1 显示出,尽管副层序的微相组合不同,但均反映了一个共同的特征,即随着副层序向上变浅的沉积序列,元素的含量也明显减小。同样,在体系域中,随着地层堆积类型的变化,元素含量也有显著变化规律,如图 1 所示,海进体系域由四个副层序组构成一个向上变深的副层序组链,元素含量变化尽管在局部(第三副层序组)有所降低,但总体呈现增加的趋势,并在凝缩期黑色泥(页)岩中达到最大值。相反,高水位体系域由五个副层序组构成的向上变浅的副层序组链,从下至上的微量元素丰度也呈现出总体变低趋势。由此可见,在层序中随着相对海平面的变化,这些元素含量也显示出相应的分布规律。

表 1 SQ₆ 副层序微量元素含量表

Table 1 Content of microelement in Parasequence SQ₆

副层序	元素(×10 ⁻⁶)				
	微相	As	Co	Sb	Se
海滩副层序	前滨	0.38	0.24	0.198	1.58
	临滨	1.28	5.1	0.632	<0.37
潮坪副层序	潮上	0.186	2.6	<0.064	0.42
	潮间上部	1.32	3.56	<0.125	0.4
	潮间中部	6.8	4.66	<0.113	1.29

2.3 碳氧同位素在副层序及体系域中的分布特征

大量的研究事实表明,海相碳酸盐岩的 δ¹³C 值大致为‰。Keith 和 Weber(1964)根据 321 个样品分析所得平均值为 +0.56 ± 1.55‰,碳同位素的分馏与沉积过程中的光合作用及其它生命活动的化学平衡反应有关,因此,δ¹³C 含量在一定程度上反映了沉积环境的特征和变化。

汝阳群 SQ₆ 顶部普遍发育一层厚度 20~54m 的白云岩,δ¹³C 分布特征较好地反映了生物作用及沉积环境的变化。该套白云岩属高水位体系域,共由 9 个副层序组成,副层序下部为砾屑白云岩,δ¹³C 值一般在 0.2~0.34‰之间,上部为含叠层石泥晶

白云岩,δ¹³C 值一般在 0.409~0.61‰之间,从下向上显示出明显增大的趋势,这一特征与钟华等^[5]对五台山地区的元古代白云岩的碳同位素演化类似。进一步的研究表明,在叠层石白云岩中,随着叠层石形态由潮间带柱状、波状变为潮上带纹层状,δ¹³C 值也有逐渐增高(图 3)的趋势。δ¹³C 在副层序中的这种分布特征可能与藻类活动有关,从潮下带至潮上带,由于水动力条件减弱,更利于藻类生物的繁衍生息,从而吸取了碳同位素中的 δ¹³C,而使水体中的 δ¹³C 相对增高。

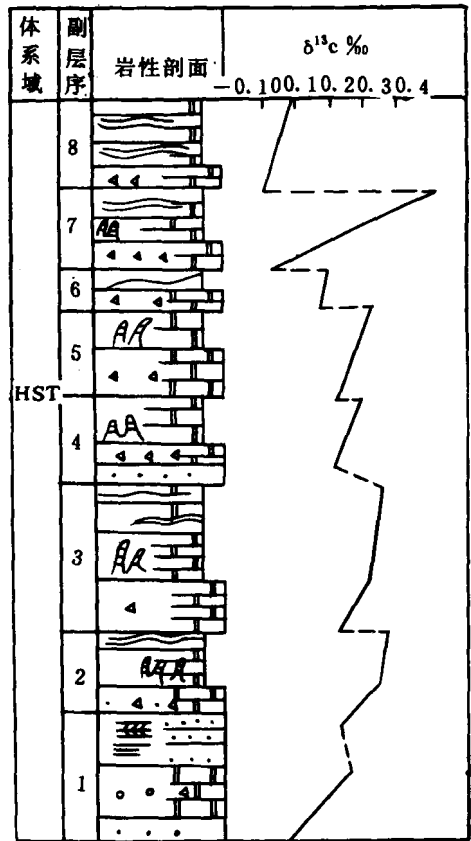


图 3 碳同位素分布特征图

Fig.3 Diagram of the carbon isotope character in dolomite

分析结果表明,δ¹³C 值的变化范围极小,显示出已受到强烈的均一化作用,一般认为此与埋深作用及热变质作用过程中的温度升高致使同位素之间的“平衡交换”有关。

3 成因讨论

如前所述,副层序在微相组合及岩性组成方面

虽有不同,但其内部均表现为向上逐渐变浅的连续相序,且微量元素和碳同位素分布也呈规律变化,说明它们受相同成因条件的控制,副层序上下界面均以冲刷间断面为界,沉积相序向上突然变深。副层序的这种以海泛面为界向上变浅的特征,反映了周期性容纳空间和水深突然加大的成因条件,突发性的沉降作用并非本区这种热沉降盆地所具有的特征;而沉积碎屑供应的中断很可能是海泛的结果,而不是海泛的序幕^[6]。副层序界面上广泛存在的冲刷现象说明它们的非自旋回成因。因此,高频海平面波动是其最好的成因解释。这种地层旋回在一定范围内有对比意义。

参 考 文 献

- [1] 孙枢. 豫陕中—晚元古生代沉积盆地(一). 地质科学, 1989, (4): 314~322.
- [2] 雷振宇. 豫西中元古代汝阳群层序地层初步研究. 地球科学, 1996, 21(3): 272~276.
- [3] 南京大学. 地球化学, 北京: 科学出版社, 1984, 321.
- [4] 宋天锐. 广东曲江—仁化晚二叠世地层的沉积相和元素变化. 岩石地球化学, 1983, 2(1): 87~96.
- [5] 钟华. 山西五台山地区早元古代白云岩碳同位素演化及意义. 中国科学(B辑), 1993, 23(10): 1099~1104.
- [6] Jackson M. J., Facies and sequence stratigraphic analysis in an intracratonic, thermal-relaxation basin: the earth Proterozoic Lower Quilalar Formation and Ballara Quartzite, mount. Isa. Australia Sedimentary, 1990, 37(6): 1053~1078.

High-frequency Cycles and High-resolution Sequence Stratigraphy of Ruyang Group, Mid-Proterozoic Era in Western Henan

Lei Zhenyu and Li Yongtie

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

Abstract

Ruyang Group in the western Henan can be divided into six third-order sequences. These sequences are made of some high-frequency sequence. The sequence 6 in them contains 9 parasequences sets and more than 36 parasequence. A parasequence consists of various sedimentary facies having upward-shallowing sequence, and is bounded by hiatus. The grain size is upward-coarsening and bed is upward thickening in parasequence. Geochemical data show As, Sb decrease and $\delta^{13}\text{C}$ increase in upward-shallowing sequence. The character of the parasequence has relationship with to the sea-level change.

Key Words High-frequency cycle sedimentary facies sequence microelement carbon isotope