

积结构及古生物等特征,确定了沉积相的变化,进而划分出了若干副层序。

本文主要从岩性岩相特征出发,归纳出了北京西山寒武系—奥陶系的主要副层序类型,进而根据副层序的特征,探讨了副层序形成的可能机制。

1 北京西山寒武系—奥陶系主要副层序类型及特征

根据岩性组合,结合沉积结构、古生物及地球化学等特征,北京西山寒武系—奥陶系中可识别出 6 种主要副层序类型,它们形成于不同的沉积环境,其中类型 3,4,6 更为典型(图 1)。

(1)浅灰色纹层状白云岩(下部)—紫红色不规则纹层白云岩(中部)—紫红色具膏盐溶孔厚层块状泥质白云岩或白云质泥岩(上部)(图版 I-1),见于馒头组—毛庄组,形成于泻湖—潮间—萨布哈环境。

(2)灰泥灰岩(下部)—竹叶状砾屑灰岩(上部)或灰泥灰岩(下部)—鲕粒颗粒灰岩(上部),主要见于中、上寒武统。灰泥灰岩一般形成于正常浪击面以下静水环境;竹叶状砾石形成于浅潮下带至正常浪击面以下;鲕粒形成于潮间至浅潮下带。然而竹叶状砾石和鲕粒可以在原地堆积,也可以被风暴(或其他事件)带至深潮下带异地堆积。根据竹叶状砾石的组合和排列特征及鲕粒的结构构造和组成特征,可以区分这两种不同类型的竹叶状砾屑灰岩和鲕粒颗粒灰岩^[12,13]。而异地堆积的鲕粒颗粒灰岩或竹叶状砾屑灰岩不能作为副层序的上部单元,只有原地堆积者反映海水较浅,为副层序的上部单元,即从深潮下带至浅潮下带。

(3)页岩—不规则薄层泥质条带灰泥灰岩—薄层灰泥灰岩—中薄层灰泥灰岩—厚层灰泥灰岩或生物扰动灰泥灰岩(自下而上),下部常夹碎屑流竹叶状砾屑灰岩(图版 I-5,图 1-(1)),见于奥陶系冶里组—亮甲山组下部。页岩灰绿色,含钙低,可能是形成于 CaCO_3 补偿面以下。这里的竹叶状砾屑灰岩砾石大小混杂,单层厚几厘米至 20 余厘米,往往多层紧密叠置,间夹极薄的灰泥灰岩或页岩,为碎屑流成因(异地堆积)。下部灰泥灰岩层较薄,表明沉积速度较慢,水较深;上部层较厚,表明沉积速度快,水较浅。这种副层序形成于盆地边缘至浅缓坡环境。

(4)细砾屑或砂屑白云质颗粒灰岩—不规则薄层泥质条带白云质灰泥灰岩—薄层白云质灰泥灰岩—生物扰动白云质灰泥灰岩(自下而上)(图版 I-4,图 1-(2))。见于奥陶系亮甲山组中、下部。砂屑或砾屑灰岩对下伏岩层有明显冲刷。生物扰动既有垂直钻孔也有顺层面扰动,一般 Al_2O_3 较低,显示总体上远离海岸,水较深。这类副层序形成于深缓坡至浅缓坡环境。

(5)纹理灰泥灰岩—砾屑灰岩—生物扰动灰泥灰岩—砂屑颗粒灰岩—藻席纹层粘结灰岩(自下而上),见于奥陶系亮甲山组中上部。纹理灰泥灰岩还可分出黑色硅质纹理灰泥灰岩和灰白色或灰黄色纹理灰泥灰岩,有时可见丘状层理。砾屑灰岩的砾屑主要为下伏的纹理灰泥灰岩和燧石。顶部藻席纹层粘结灰岩较少发育,可见它被上覆纹理灰泥灰岩截切。纹理灰泥灰岩之下有时可见滞留砾岩,与下伏岩层冲刷接触。黑色硅质纹理灰泥灰岩显示海水较深,而藻席则是浅水标志。这类副层序是形成于缓坡至潮间环境。

(6)薄层灰泥灰岩(图版 I-4)—虫迹灰岩—块状灰岩—藻席纹层粘结灰岩—黄褐色白云岩或白云质灰岩(自下而上)(图 1-(3))。见于奥陶系上、下马家沟组。下部有粉砂级粒序层理,系盆地边缘环境;虫迹以较深水的顺层面者为主;白云岩中可见龟裂纹(图版 I-2),表明为潮间或潮上环境。所以这类副层序是形成于盆地边缘至潮间、潮上环境。

需要指出,在北京西山寒武系—奥陶系中夹有大量风暴作用形成的竹叶状砾屑灰岩^[8,14],系事件沉积层,它们是副层序中的特殊单元,不反映海水的深浅变化,可以出现在副层序的不

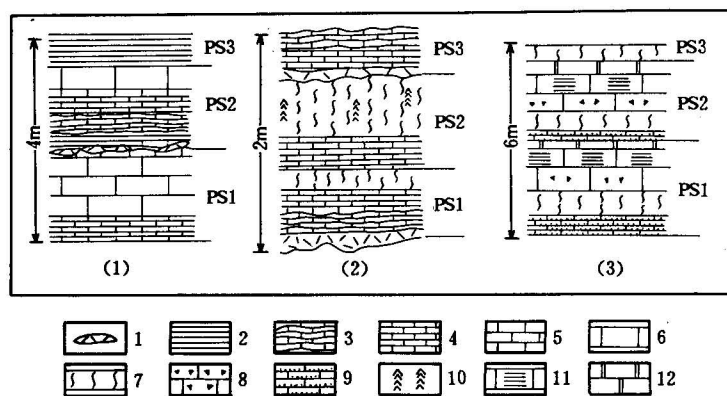


图 1 北京西山典型副层序特征素描图

Fig. 1 Sketches showing the typical parasequences characteristics of Cambrian-Ordovician System in Western Hills, Beijing

(1) 奥陶系冶里组下部; (2) 奥陶系亮甲山组中部;

(3) 奥陶系下马家沟组中部

1—砾屑灰岩; 2—页岩; 3—泥质条带薄层灰泥灰岩; 4—薄层灰泥灰岩; 5—中层灰泥灰岩; 6—厚层灰泥灰岩; 7—生物扰动灰泥灰岩; 8—砂屑颗粒灰岩; 9—具粒序层理粉晶灰岩; 10—叠层石; 11—藻纹层粘结灰岩; 12—中薄层白云岩; PS—副层序

(1) Lower part of Yeli Formation, Ordovician; (2) middle part of Liangjiashan Formation, Ordovician; (3) middle part of Xiamajiagou Formation, Ordovician

1—calcirudite; 2—shale; 3—thin bedded micrite with stripped mud; 4—thin bedded micrite; 5—middle bedded micrite; 6—thick bedded micrite; 7—bioturbated micrite; 8—calcarenite; 9—micrite with graded bedding; 10—stromatolite; 11—algae laminated limestone; 12—middle—thin bedded dolomite; PS—parasequence

沟组中上部, 自下而上, 具粒序层理的薄层泥晶灰岩向上消失, 而白云岩或白云质灰岩在上部出现, 表明自下而上海水变浅, 为进积副层序组。在亮甲山组中上部, 变化趋势不明显, 为加积副层序组。

每个副层序反映出在一个副层序的持续时间内, 海水深度总是向上变浅。而在两个副层序之间则总是由浅水至深水的相跳跃。副层序与旋回地层学中的 5 级旋回大致相当, 但在旋回地层学中往往较少确切地研究旋回的界面性质, 有时会错误地将浅水相的底、深水相的顶当成旋回界面, 认为是浅水至深水的旋回。从上述实例可以看出, 每一个副层序总是海水深度持续变浅, 而副层序界面往往具有冲刷痕迹, 如在许多副层序界面上可见到滞留砾岩, 这些界面代表了沉积环境的突变, 即海水深度的突变。

此外, 在海侵体系域中容易识别并划分副层序, 而在高水位体系域底部(接近凝缩段)往往岩性变化不大, 难以划分副层序。如在寒武系长山组和奥陶系下马家沟组下部, 可见较多的粒序层理, 而岩性的旋回性不清, 难以划分副层序。

同位置, 不是副层序的必要组成部分。

上述 6 种主要副层序的岩性旋回是完整的理想情况。抽象地, 每一个副层序可分为下、中、上三个单元: 下部滞留砾岩, 中部深水沉积层和上部浅水沉积层。

实际上, 各单个副层序可以缺失一个或多个岩性单元, 有时可仅由两个岩性单元构成。各单个副层序底部可以有滞留砾岩或冲刷痕迹(图 1-(1), (2)), 也可以缺失顶部或底部单元, 与上覆、下伏副层序表现为岩相突变。单个副层序的厚度一般为几米, 少数几十厘米或十几米。在同一类型副层序中, 各岩性层的厚度变化也是很大的。正是由研究这种缺失情况及上部单元或下部单元厚度的变化趋势来判定副层序组的类型。如在冶里组—亮甲山组下部, 自下而上页岩从无到有, 块状灰岩由厚变薄, 可判定自下而上海水加深, 为退积副层序组(图 2)。在下马家

2 副层序形成机制探讨

根据北京西山寒武系—奥陶系不同类型副层序特征,可以从理论上探讨副层序的形成机制,特别是副层序界面所代表的历史。这将有助于野外正确辨认和划分副层序。

图 3 表示海平面上升的一种极端情况,即每次都是突然上升上升幅度与一个副层序地层的原始厚度大致相当,可以相当于构造引起的海底下沉,也可能是全球海平面突然升高。平时则没有海平面变化(相对于基底)。假设一个完整的副层序有 1,2,3 三个相,水深依次变浅,顶部由于沉积间断形成冲刷面 4。那么,由于上升幅度和稳定持续时间的不同,可形成不同的相组合类型。

类型 I 为一个完整的副层序;类型 II 由于上升幅度较小,缺失相 1;类型 III 由于持续时间短,只有相 1 和相 2;类型 IV 与下伏和上覆副层序均为连续沉积。对应的沉积剖面如图 3 中的右图所示。

图 4 更符合地质实际,表示海侵体系域中两个相邻的向上变浅的相似副层序及其界面,海平面是逐渐上升,但界面处有突然变化。图中纵坐标为相对高程,参照系为地块的基底,横坐标为时间。其中副层序各单元的厚度取决于沉积速度和该沉积相在该地区持续的时间,也就是沉积速度与海平面上升速度平衡所持续的时间。因而副层序的中部单元也可能因厚度太薄而“缺失”(图 2)。

在 t_1 与 t_2 之间海平面“突然”上升几十厘米至几米(导致沉积相突变), t_1 与 t_2 的间隔应当是相当短暂的,因为极少见到在副层序底部有由浅变深的沉积序列,就是说在 t_1 至 t_2 之间不能形成可辨厚度的沉积物。

当水深较大时,因海平面变化幅度不足以导致相变化,所以副层序不易识别。

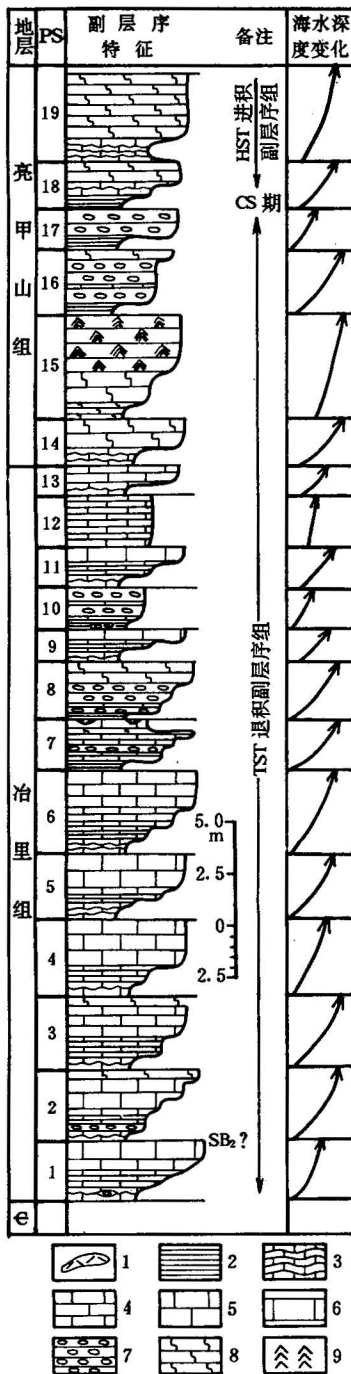
关于导致副层序形成的海平面变化的原因,笔者发现,

图 2 北京西山冶里组—亮甲山组
下部综合柱状剖面图

Fig. 2 The comprehensive section about Yeli Formation and the lower part of Liangjiashan Formation in Western Hills, Beijing

1—砾屑灰岩;2—页岩;3—泥质条带薄层灰泥灰岩;4—薄层灰泥灰岩;
5—中层灰泥灰岩;6—厚层灰泥灰岩;7—竹叶状砾屑灰岩;8—生物扰动
灰泥灰岩;9—叠层石

1—Calcirudite;2—shale;3—thin bedded micrite with stripped mud;4—thin bedded micrite;5—middle bedded micrite;6—thick bedded micrite;7—flat pebbles conglomerate limestone;8—bioturbated micrite;9—stromatolite



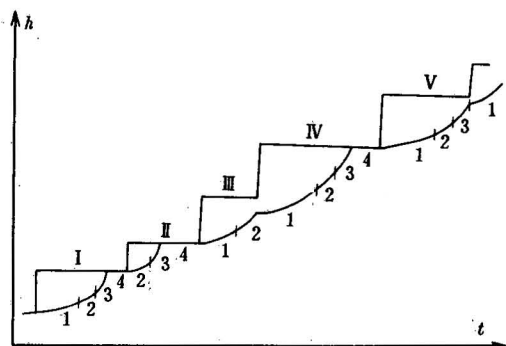


图3 副层序形成机制示意图(之一)

纵坐标为相对海平面(相对于地块基底)高度,右侧为理想剖面
Fig. 3 Forming mechanism sketch for parasequence (A)

Ordinat is relative sea level (relative to the massif basement).

The section on right is an ideal section

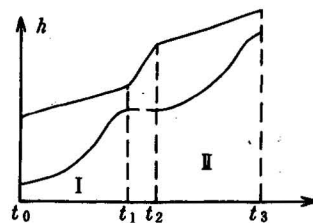


图4 副层序形成机制示意图(之二)

Fig. 4 Forming mechanism sketch for parasequence (B)

仅仅气候变化是远远不够的。首先,米兰科维奇(Milankovch)旋回并不能引起全球海平面升降,因为它是地球极轴与太阳相对位置变化引起的,当北半球变冷时南半球必然变暖。其次,即使全球变暖,由于极地和高山所占全球表面积比例很小^①,若以纬度60°以上为极地区,则极地仅占全球总表面积的13.4%,就是说,要融化极地约6m厚的冰层才能导致海平面升高1m。要升高形成一个副层序所需的高度——几十厘米至几米,就要融化几米至十几米厚的冰层,要“突然”融化显然是困难的。因而极地和高山冰的融化至多只能导致全球海平面缓慢上升,不可能导致大规模的、快速的海平面上升,就是说,米兰科维奇旋回不可能导致形成副层序界面。由气候变化形成的(相对)海平面变化曲线应当接近于正弦曲线或余弦曲线,升降应当具有连续性和对称性,而图2清楚地表明海平面变化是不连续且不对称的。由实际材料获得的(相对)海平面变化曲线也是不对称的锯齿状^[15]。另一方面,要形成寒武—奥陶系一千多米厚的岩层,极地冰要融去至少6000m厚,这更是不可能的。因而,导致海平面变化的主要原因仍应为构造运动,特别是海水的突然加深与脉动式的构造沉降似乎十分吻合。

① 可以算出,两半球纬度为 φ 以上地区的总面积是全球总面积的 $(1-\sin\varphi)$ 倍:

在球坐标系中,设半径为 r ,经度为 ω ,纬度为 φ ,则球表面积积分元为:

$$ds = r d\varphi r \sin(\pi/2 - \varphi) d\omega = r^2 \cos\varphi d\varphi d\omega$$

在半球中:

$$\begin{aligned} S(\varphi) &= \int_{\varphi}^{\pi/2} \int_0^{2\pi} ds = \int_{\varphi}^{\pi/2} \int_0^{2\pi} r^2 \cos\varphi d\varphi d\omega \\ &= 2\pi r^2 \sin\varphi \Big|_{\varphi}^{\pi/2} \\ &= 2\pi r^2 (1 - \sin\varphi) \\ &= (1 - \sin\varphi) S_{\text{半球}} \end{aligned}$$

假如纬度60°以上为极地区,那么南北两极表面积仅为全球总表面积的 $(1 - \sqrt{3}/2)$,即13.4%。即使45°以上全为冰覆盖,其面积也仅是全球总表面积的29.3%。高山所占全球总表面积更小。

本文得到了乔秀夫、季强研究员的热情指导和大力帮助。乔秀夫、季强为攀登项目子课题负责人,王成述为基金项目负责人,田树刚、王宗起、姚建新、范开强等一起做了大量的野外和室内工作。笔者在此表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 1 Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, Rahmanian V D. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops. American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series, 1990, 7:1—55.
- 2 威尔格斯 C K 等编. 层序地层学原理. 徐怀大等译. 北京:石油工业出版社, 1993. 1—526页.
- 3 Koerschner W F, Read J F. Field and modelling studies of Cambrian carbonate cycles, Virginia Appalachians. Journal of Sedimentary Petrology, 1989, 59(5):654—687.
- 4 Fischer A G, Boer P L, Silva I P. Cyclostratigraphy. In: Cretaceous Resources, Events and Rhythms, 1990. 139—172.
- 5 Christie-Blick N. Sequence stratigraphy and sea-level changes. In: Cretaceous Resources, Events and Rhythms, 1990. 1—21.
- 6 Christie-Blick N. Onlap, offlap, and the origin of unconformity-bounded depositional sequences. Marine Geology, 1991, 97: 35—56.
- 7 叶良辅. 北京西山地质志. 地质专报(甲种), 1920, 第1号.
- 8 黄汲清. 北京西山之寒武纪及奥陶纪地层. 中国地质学会志, 1927, 6(2).
- 9 孟祥化, 乔秀夫, 葛 铭. 华北古浅海碳酸盐风暴沉积和丁家滩相序模式. 沉积学报, 1986, 4(2).
- 10 乔秀夫, 高林志. 北京西山寒武系层序地层. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 22:1—7.
- 11 王宗起, 丁孝忠. 北京西山昌平组成因地层学研究. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 22:8—22.
- 12 范开强, 尹占国, 王成述. 北京西山寒武统馒头组角砾岩成因. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 22:23—38.
- 13 王成述, 范开强, 尹占国. 北京西山寒武统张夏组鲕粒特征及环境意义. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 22号:39—55.
- 14 章雨旭, 万渝生. 北京西山竹叶状灰岩的成因. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 22:56—64.
- 15 章雨旭, 王成述, 彭 阳, 高林志. 海平面变化定量研究的探讨. 中国区域地质, 1996, (1):75—82.

图 版 说 明

1. 灰绿色白云质泥岩位于紫红色白云质泥岩顶部, 上覆泥质白云岩. 灰绿色白云质泥岩系由紫红色白云质泥岩还原而成. 所以, 泥质白云岩为上覆副层序的底, 灰绿色白云质泥岩(原为紫红色白云质泥岩)为下伏副层序的顶(馒头—毛庄组).
2. 白云岩层面上的龟裂纹, 表明白云岩顶部曾经暴露, 白云岩为副层序的顶(上马家沟组).
3. 主要副层序类型之一(文中的第四种, 亮甲山组下部).
4. 纹层状灰岩, 深水沉积, 副层序的底部(下马家沟组).
5. 主要副层序类型之一(文中的第三种, 冶里组中下部).

CHARACTERISTICS OF MAIN TYPES OF PARASEQUENCE IN CAMBRIAN-ORDOVICIAN SYSTEM IN WESTERN HILLS, BEIJING AND FORMING MECHANISM OF PARASEQUENCE

Zhang Yuxu, Peng Yang and Gao Linzhi

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

In the Western Hills, Beijing, Cambrian—Ordovician strata are well developed. Based on

the characteristics of the rock association coupled with sedimentary structures and paleontological and geochemical indicators, 6 major types of parasequences may be distinguished. They were formed in different environments. Their thicknesses are commonly a few meters and, in a few cases, in the range from several dozens of centimeters to dozens of meters. Each type of parasequence is composed of 4—6 kinds of rocks, but a single parasequence may be composed of only two kinds of rocks. Within each parasequence, the depth of water always becomes progressively shallower upward, and between two parasequences, there always is a facies jump from shallow to deep water. From the characteristics of these types of parasequences, it may be inferred that there is an abrupt deepening process of sea water between each two parasequences. And the presence or absence and stacking pattern of the parasequences depend on the abrupt deepening amplitude, the relation between the steady deepening and the deposition rate and the lasting time of the steady deepening. The system tract and sequence can be determined by the type of the parasequence group (regressive, progressive and accumulative), which is recognized from the trend of upward change of the same type of parasequence at the section. In addition, it is estimated that the abrupt deepening of sea water could not result from ice melt. So the Milankovich cycle could hardly lead to parasequence formation.

Key words: parasequence, sequence stratigraphy, Cambrian, Ordovician, Beijing, Western Hills

作者简介

章雨旭,男,1960年生。1982年和1985年分别于南京大学和中国地质科学院获理学学士和硕士学位,1985年起在中国地质科学院地质研究所从事区域地质学、矿床学和沉积学研究,现为副研究员。通讯处:北京百万庄26号中国地质科学院地质研究所,邮政编码:100037。

中国地质学会主编的部分新书

新书征订

30届国际地质大会已在我国圆满召开,中国地质学会为迎接这次大会精心组织了一批图书,受到国内、外代表的高度评价。为满足国内图书馆、单位、个人的需要,现有少量存书征订如下:

1. 向30届国际地质大会献礼文集《Progress in Geology of China》(中国地质学的进展) 英文版,1121页,360张图,168万字。论文来自15个部、委、局,代表了目前我国地学界研究的最高水平。定价:100元。

2. 《“八五”地质科技重要成果学术交流会议论文集》 910页,147万字,共收录来自13个部、委、局,70余个单位的论文332篇。集中反映了八五期间我国地学界取得的主要成就。定价:80元。

3. 赵逊等著《Geosciences and Human Society》(地球科学与人类社会) 英文版,298页,45万字。从全新的角度论证了人类、资源、环境的协调发展,受到包括国际地科联主席 W. S. Fyfe 的赞赏。定价:30元。

4. 《地质论评》1996年增刊(中国石油专辑) 396页,60万字,定价:40元。

5. 《地质论评》1994年增刊(中国石油专辑) 176页,27万字,定价:20元。

6. 《地质论评》总目录 190页。提供了创刊60年来的论文题目3100余条,新闻报道近千条,基本反映了本世纪我国的地质研究的历程。定价:10元。

银行汇款请寄:收款单位:中国地质学会科技开发咨询服务中心;账号:14—144316—48;开户行:北京工商行百万庄分理处。现金邮寄:北京百万庄26号《地质论评》编辑部任保良收,邮政编码:100037。联系电话:(010)—6831. 2410

(请转告贵单位图书馆(室))

中国地质学会《地质学报》编辑部 1997. 1
《地质论评》

