

北京西山中寒武统层序发育与控制因素

金丽娜¹, 单新², 王喆³, 王睿⁴

(1 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 2 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061;
3 吉林油田分公司乾安采油厂地质所, 吉林松原 138000; 4 卡尔加里大学, 卡尔加里, 加拿大)

摘要:报道了北京西山下苇甸剖面中寒武统碳、氧同位素特征,并基于下苇甸剖面中寒武统沉积特征和碳、氧同位素地球化学指标进行层序地层划分,将该地区层序发育置于深时格架中,并与全球海平面升降相联系。研究表明,北京西山中寒武统可划分为 3 个二级层序和 8 个三级层序,每个三级层序对应于全球海平面变化事件。该时期主要发育的沉积相类型包括蒸发潮坪相、低能内台地相、高能外台地相和低能开阔海相。中寒武世华北地台构造背景稳定且处于温暖的气候背景下,绝对海平面变化为层序发育主控因素。

关键词:北京西山;下苇甸剖面;中寒武统;碳氧同位素;层序地层

中图分类号:P. 535

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.12001

层序地层为岩相分布、地层叠加样式及其内部相带发育分布的预测提供了等时地层格架,使沉积地质学家能够更好地解释沉积记录^[1]。华北地台为我国最重要的克拉通盆地之一,北京西山位于地台东北部,作为碳酸盐沉积的典型实例,许多学者都曾对其沉积、层序进行研究。如冯增昭等^[2]认为,早寒武世早期华北是广阔的石灰岩台地海,而在中寒武世张夏期广阔的华北地区为一碳酸盐岩台地,并以高能鲕粒滩和相对低能滩间海相间分布为特征^[3];梅冥相等^[4]认为,下苇甸剖面徐庄组自下而上为潮坪相—陆棚相—鲕粒滩相,而张夏组为陆棚相—深缓坡相—中缓坡相。针对层序方面,乔秀夫等^[5]将寒武系划分为 2 个退积序列;梅冥相等^[4,6]认为,中寒武统应属华北地台成熟阶段,并将其划分为 3 个三级层序,每个层序内部又包括相对高频次海平面升降。

北京西山中寒武统包括毛庄组、徐庄组和张夏组,其地质年龄为 513~501 Ma^[7],对应于国际

地质年代表寒武系第二统的第四阶(514 Ma)至鼓山阶(500.5 Ma)结束^[7,8]。由于其地质年龄跨度为 12 Ma,且每个三级层序时间单元长度应为 0.5~3 Ma^[9],因此,将各组划分为一个三级层序(共 3 个三级层序)或 2 个退积序列,其尺度相对较粗,不能真实反映全球海平面变化对层序发育的控制作用。本文研究重点在于精细研究北京西山陆表海台地不同相带物质组成、沉积特征,并首次报道了中寒武统碳、氧同位素地球化学特征。通过下苇甸剖面垂向沉积序列与稳定同位素地球化学响应对中寒武统进行层序划分,并对控制层序发育的主控因素(海平面变化、气候条件与构造演化方面)进行讨论,首次将该地区层序划分方案与全球海平面升降相联系、重建其层序演化过程,以期对华北地区东部克拉通盆地陆表海层序发育与其主控因素有所建树。

1 区域地质概况

1.1 区域地质背景

在元古宙时,华北地台北缘和东缘为被动大陆边缘。元古宙末,蓟县运动大规模活动,使华北

收稿日期:2016-07-12

基金项目:中国博士后科学基金面上项目(2016M602087);
国家大学生创新实验计划(201311415027)

作者简介:金丽娜(1992—),女,在读硕士,主要从事沉积学与层序地层学方面的研究工作。E-mail: jinlina@cugb.edu.cn

板块全域升出海面,进入一个新的隆升—剥蚀夷平期,形成稳定而均一的大陆。在此后的寒武纪,华北板块进入稳定同步沉降、内有弱差异升降的面式沉积阶段^[10]。整个华北地台为典型的陆表海克拉通沉积,是早古生代陆表海碳酸盐岩发育的基础^[11]。北京西山位于华北地台北缘,其寒武系发育极好,受永定河深切河曲的切割,露头十分完整^[5]。地层自下而上为下寒武统昌平组、馒头组;中寒武统毛庄组、徐庄组和张夏组;上寒武统崮山组、长山组和凤山组(地质年代表,2002)。下苇甸剖面位于门头沟区起点坐标为 39°59′52.82″N,116°1′6.93″E,终点坐标为 39°59′42.76″,116°1′7.95″E,全长 249.93 m(图 1)。

1.2 地层发育

研究目的层段为中寒武统毛庄组、徐庄组 and

张夏组。参考 Dunham 等^[12]着重于颗粒含量的石灰岩分类,同时考虑岩石成分将研究区的岩性作出划分(表 1、图 2)。

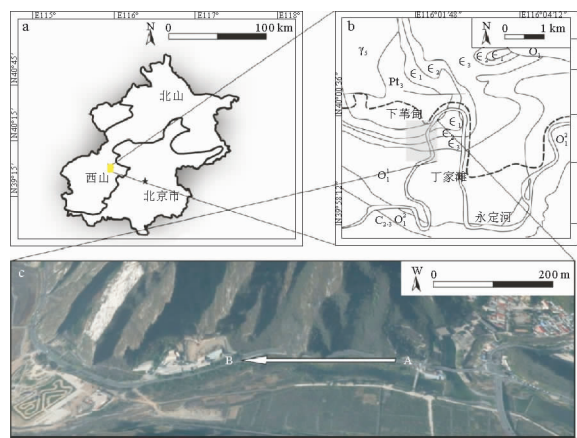


图 1 区域地质概况

Fig. 1 The study area

表 1 北京西山下苇甸剖面中寒武统岩性分类

Table 1 Lithologic classification of the Middle Cambrian in Xiaweidian section from the western mountain of Beijing

Dunham 分类	沉积原始成分物粘结作用			原始组分被粘结
	泥岩	颗粒质泥岩	泥质颗粒岩	粘结岩
研究区发育 岩性	灰岩、白云岩、泥岩、灰质白云岩、泥质条带灰岩	似球粒白云岩、含鲕粒似球粒灰岩	含内碎屑生屑的鲕粒灰岩、鲕粒灰岩、白云质鲕粒灰岩	粘结岩

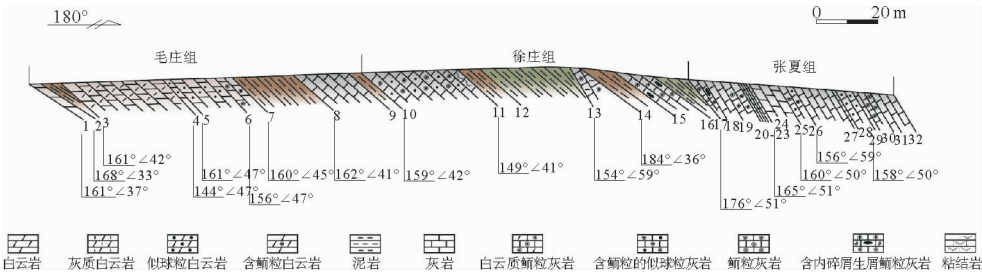


图 2 北京西山下苇甸中寒武统实测剖面

Fig. 2 The Xiawedian section of the Middle Cambrian from the western mountain of Beijing

毛庄组厚 91.73 m,地层倾角约为 40°,主要岩性为灰质白云岩,似球粒白云岩,以及紫红色泥岩。徐庄组厚 90.76 m,倾角约为 40°,主要岩性为厚层灰绿色钙质泥岩和紫红色泥岩,中间夹有鲕粒灰岩、含内碎屑及生物碎屑的鲕粒灰岩灰岩。张夏组厚 67.44 m,倾角变陡,约为 50°,灰岩出露明显增加,且发育鲕粒灰岩与灰岩的薄互层。毛庄组与徐庄组呈整合接触关系,而徐庄组与张夏组呈角度不整合接触。

2 华北地台中寒武统相带沉积特征

早古生代,北京西山处于华北地台东北部为稳定陆表海环境,根据岩相序列对中寒武世的沉积相带进行划分,分为蒸发潮坪相、低能内台地相、高能外台地相及低能开阔海相。其中低能与高能的划分是根据陆表海地形坡度来划分。低能相带处地形平缓,高能相带处具有小型波折(图 3)。

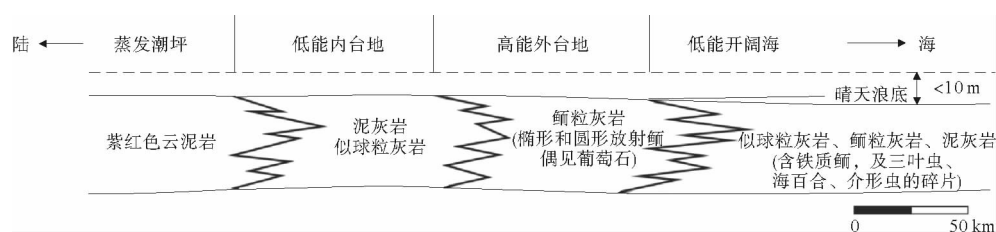


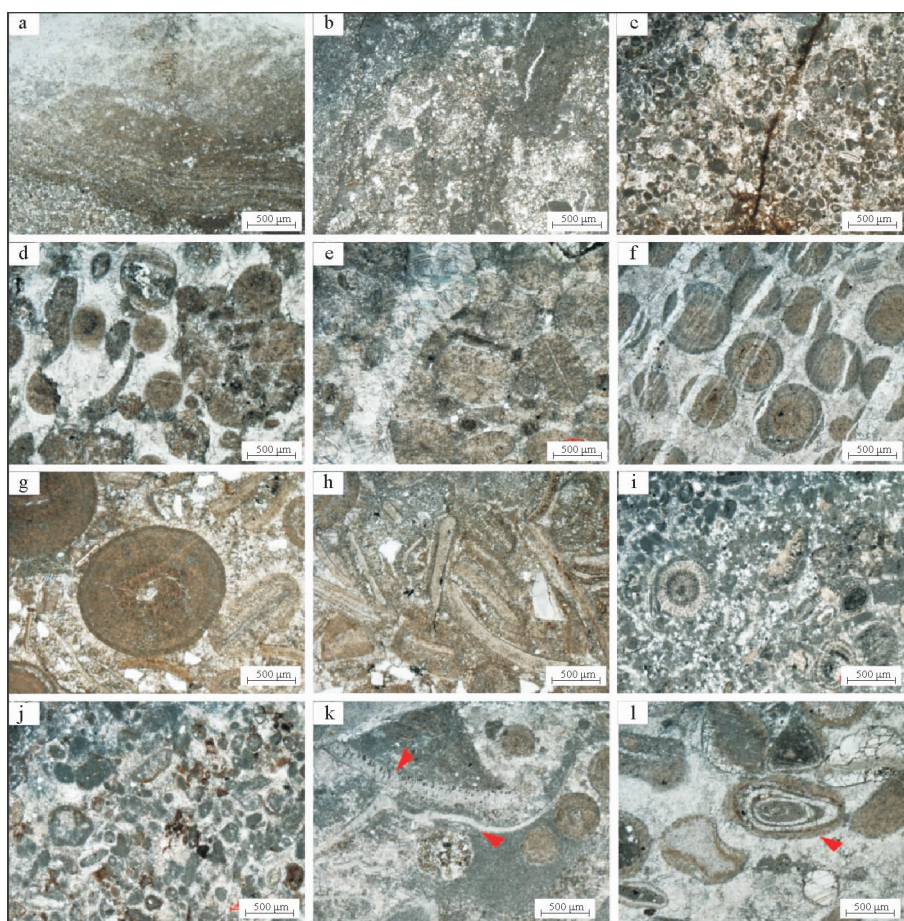
图 3 陆表海台地相模式(据文献[13])

Fig. 3 The sedimentary model of an epicontinental sea carbonate platform (modified from reference [13])

2.1 蒸发潮坪相

蒸发潮坪相以紫红色泥岩为特征,白云岩含

量相对较少,伴有水平层理(图 4a),指示海平面相对较低时出现的间断暴露环境。下伏沉积常见含似球粒白云岩及鲕粒灰岩,与紫红色泥岩组合



(a)紫红色云泥岩,具水平层理;(b)泥灰岩,见定向结构,为水平层理;(c)灰泥似球粒,卵形,亮晶胶结物胶结;(d)葡萄石,由亮晶胶结物胶结了多个鲕粒和似球粒;(e)椭圆形鲕,核心为针状海胆,呈放射状纤维圈层结构,伴生藻粒;(f)圆形放射同心鲕;(g)铁质鲕粒,圈层厚度小且数量多,伴生有石英颗粒;(h)海百合碎片,粒径约1 mm;(i)似球粒灰岩,含明暗相间显微放射状鲕粒,伴生棘皮生物碎屑;(j)巴哈马似球粒,强烈泥晶化鲕粒与生物颗粒,形态不规则;(k)中部为三叶虫脊背,其上方呈长条状的为重新雕饰过的胸甲;(l)介形虫横切面,具卵形嵌套结构

图 4 北京西山下苇甸中寒武统沉积特征图版

Fig. 4 Plates of sedimentary characteristics of the Middle Cambrian in Xiaweidian section from the western mountain of Beijing

在无风暴浪作用条件下,该相带物质组成为似球粒灰岩、生物碎屑灰岩及泥质条带灰岩。似球粒灰岩中偶见粒径为 0.5 mm 鲕粒及棘皮生物碎片(图 4i)。鲕粒均呈明暗相间纤维放射状结构,指示水体的间歇小幅扰动。似球粒灰岩中,似球粒的类型既含灰泥似球粒,也包括巴哈马似球粒(图 4j)。巴哈马似球粒形成于强烈泥晶化的鲕粒或生物碎屑^[16],岩石中保存完整的生物碎片包括三叶虫、介形虫等。三叶虫碎片被泥晶充填形成块状碎屑,长条状颗粒为重新雕饰过的胸甲,其下弯曲部分推断为三叶虫的脊背(图 4k)。介形虫呈弯曲状,其纵向切面呈卵形,嵌套结构,内部泥晶充填(图 4l),通常发育在浅且多岩的海滩、海草区、坚硬的海底和深水栖息地^[17]。三叶虫与介形虫的大量出现指示温暖水深较大环境。

3 北京西山中寒武统层序地层特征

利用沉积序列、岩相组合与碳氧同位素数据,并对比全球海平面变化,将下苇甸剖面中寒武统划分出 3 个二级层序、8 个三级层序。二级层序时间跨度为 3~50 Ma,三级层序时间跨度约 0.5~3 Ma^[9]。同时,重建该地区相对海平面变化曲线,总结层序格架内部的沉积演化规律。

3.1 层序发育稳定同位素地球化学响应

使用碳、氧同位素分析的样品来自徐庄组与张夏组的颗粒灰岩与灰岩(表 2)。由于在开放体系中,大气成岩作用需要较高的水/岩比,而使碳组分发生重组,会影响 $\delta^{13}\text{C}$ 值,因此,挑选未受到或很少受到大气成岩作用影响(即样品中未观察到溶解、悬垂或新月形胶结物)^[18]的样品。研磨并过 200 目筛,得到 14 份岩样各 5~10 g,进行同位素测试分析(分析结果来自中国地质大学(北京)实验室)。数据如下:

参考阿根廷前科迪勒拉区早中寒武世古海洋 C、O 稳定同位素值,发现其 $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 值为 $-6\text{‰} \sim -9\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 值为 $-2.3\text{‰} \sim 1.6\text{‰}$,由于晚期成岩作用的影响,在方解石脉中由于晚期成岩作用的影响, $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 值负偏增加 ($-11\text{‰} \sim -18\text{‰}$)^[18]。北京西山徐庄组与张夏组样品的测试结果为, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-9\text{‰} \sim -15\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-3.15\text{‰} \sim -0.39\text{‰}$,由于氧同位素受成岩作用影响严重,不能采用,而碳同位素基本符合要求,其关系为 $\delta^{13}\text{C}$ 随海平面下降、水深变浅而增大^[19],由于浅水地区比深水地区蒸发作用强,较轻同位素 $\delta^{16}\text{O}$ 和 $\delta^{12}\text{C}$ 易被蒸发掉,造成浅水地区同位素值较重,即 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 在浅水地

表 2 徐庄组和张夏组碳氧同位素数据

Table 2 C and O isotopes of Xuzhuang and Zhangxia Formations

样品号	位置/m	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)/‰	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)/‰	所处三级层序
12-1	91.73	-3.15	-13.59	3
13-4	146.6	-1.00	-12.87	4
13-8	149	-1.05	-13.99	4
15-2	162.5	-1.30	-13.12	5
15-6	164.87	-0.88	-13.29	5
15-9	168.6	-2.87	-10.65	6
17-1	182.49	-0.95	-13.74	6
18-3	192.63	-1.25	-11.59	6
19	199.2	-0.93	-12.34	6
20	201	-0.39	-9.66	6
23-3	230	-2.02	-12.38	6
24-1	230.73	-2.12	-12.16	7
25-1	236.28	-1.85	-11.23	8
26	249.93	-1.92	-11.78	8

区比深水地区要高^[20]。因此,利用碳同位素辅助恢复区域海平面变化曲线。

3.2 层序地层分析

层序界面为不整合面及其可以对比的整合面^[9]。沉积层序可以解释为海平面变化旋回的产物^[21]。由于华北地台中寒武统未见不整合面,因此将干旱环境沉积底部(紫红色泥岩)、海平面的低水位(下伏粗粒生物碎屑灰岩,上覆细粒灰岩、鲕粒灰岩,并参考 $\delta^{13}\text{C}$ 高值)作为沉积层序界面。根据界面识别,中寒武统毛庄组、徐庄组和张夏组可以划分出 8 个三级层序。

中寒武世(513~501 Ma),全球处于整体海侵背景下^[22]。513~509 Ma 时期对应于本次研究的二级层序 I(三级层序 1 与 2),海平面相对较低,以发育大段紫红色泥岩为特征(图 5);509~506 Ma 对应于二级层序 II(三级层序 3、4、5),以大套厚层颗粒灰岩、灰绿色泥岩夹中薄层状紫红色泥岩为特征,海平面较层序 1、2 有所上升;506~501 Ma 对应于二级层序 III(三级层序 6、7、8),以中层状灰绿色泥岩、泥质条带灰岩、颗粒灰岩和白云质灰岩为特征,反映高海平面特征,为海侵阶段产物。

Izart 等^[23]指出华北地台由于其盆地稳定性高,因此,比世界其他区域可以更好的反映全球海平面变化,且区域层序发育与全球海平面变化有良好对应关系。因此,中寒武世的各次海平面变化的顶底,分别对应于中寒武系的 8 个沉积层序界面(图 5)。

3.2.1 二级层序 I

该二级层序包括 2 个三级层序,推测时间跨度约 4 Ma(513~509 Ma)。

三级层序 1 为中寒武世海侵的开始阶段,相对海平面最低,随着海侵的发生,其岩性由灰质白云岩演化为似球粒白云岩,平均粒径为 0.13 mm,分选中等—好,富含灰泥,中等扰动的水动力条件。主要发育相带为广阔延伸的宽缓带低能内台地。

三级层序 2 为同处于海平面较低阶段,沉积相类型为蒸发潮坪相,沉积了大段紫红色泥岩,中夹一段厚层灰岩,推测海平面有所上升。

3.2.2 二级层序 II

该二级层序包括 3 个三级层序,推测时间跨

度约 3 Ma(509~506 Ma)。

三级层序 3 以大套含鲕粒的似球粒灰岩为特征,反映大幅海侵过程,可以与 Haq 等^[22]中 509~507.5 Ma 海侵事件等时对应。该灰岩厚度约 30 m,中间偶见黄色泥质条带,颗粒类型包括鲕粒、巴哈马似球粒,灰泥胶结,含保存完整的棘皮生物并混有少量石英颗粒。该时期为低能开阔海相,水动力为轻微扰动,且盐度在向海方向变为正常,开始出现棘皮生物。

三级层序 4 底部发育约 4 m 厚紫红色粉砂质泥岩,在经历了短期海退暴露后沉积了约 20 m 厚的灰绿色泥岩,表明可容纳空间增加且地形平缓,为海侵标志。随后为一期大规模海退,该事件与全球海平面有良好对应关系。此时沉积了鲕粒灰岩,颗粒类型的变化表明,随着海退的推进,沉积相带从高能外台地向低能内台地转化。海退初始阶段,颗粒含量 > 50%,分选一般,平均粒径 0.38 mm,未见陆源碎屑及生物化石,水动力条件为较弱的中等扰动。

三级层序 5 底部见约 12 m 厚蒸发潮坪相紫红色泥岩,随着海侵进行上部沉积了含内碎屑及生物碎屑的鲕粒灰岩,粒径范围 0.2~1.6 mm,鲕粒以似球粒和生物碎片为核心,各颗粒之间紧密堆积,未见灰泥。该现象指示了小幅海侵时期该区域处于高能动荡的外台地相带。

3.2.3 二级层序 III

该二级层序包括 3 个三级层序,推测时间跨度约 5 Ma(506~501 Ma)(表 3)。

三级层序 6 底部见复合颗粒,颗粒类型为葡萄石,指示初始海泛过程。 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现为由 -0.88‰ 减小至 -2.87‰ 而后增加至 -1‰ 左右,反映整个三级层序为一次大幅海侵海退过程。

(1)在海平面大幅上升时,可容纳空间急剧增加,整体处于低能开阔海相。海侵初期出现铁质鲕、生物碎屑及次棱角状石英颗粒混杂堆积指示风暴作用。

(2)随着海退的开始,沉积了大量含生物碎屑和内碎屑的鲕粒灰岩,可见复鲕。复鲕通常指示低养分与较低沉积速率的沉积环境,上部见较完整的海百合及介形虫。上述均能指示海退背景下可容纳空间仍比较大。颗粒灰岩分选较好,指示中等扰动的水动力条件,表明进入高能外台地相。

表 3 北京西山下苇甸剖面中寒武世层序发育特征

Table 3 Sequence development features of the Middle Cambrian in Xiaweidian section from the western mountain of Beijing

层序	二级层序 I		二级层序 II			二级层序 III		
	层序 1	层序 2	层序 3	层序 4	层序 5	层序 6	层序 7	层序 8
推测年龄 /Ma	513~511.5	511.5~509	509~507.5	507.5~507	507~506	506~504	504~502	502~501
物质组成	紫红色泥岩、灰质白云岩、似球粒白云岩	紫红色泥岩、灰岩	含鲕粒的似球粒灰岩	紫红色泥岩、灰绿色泥岩	紫红色泥岩、含内碎屑及生物碎屑的鲕粒灰岩	含生物碎屑和内碎屑的鲕粒灰岩	灰质白云岩、含生物碎屑和内碎屑的鲕粒灰岩、泥质条带灰岩、鲕粒灰岩	含内碎屑的鲕粒灰岩、似球粒灰岩
相带	蒸发潮坪、低能内台地	蒸发潮坪	低能开阔海	高能外台地、低能内台地	蒸发潮坪、高能外台地	风暴作用的低能开阔海、高能外台地	低能内台地、低能开阔海	低能开阔海
相对水深	相对较浅		中等深度			相对较深		

三级层序 7 厚度约 30 m,依次沉积了灰质白云岩、含内碎屑及生物碎屑的鲕粒灰岩、泥质条带灰岩、鲕粒灰岩,指示大幅海侵后小幅海退过程。该层序开始时处于低能内台地,沉积了灰岩(经白云化作用变为灰质白云岩),随着海侵的进行,含团块及生物碎屑的鲕粒灰岩逐渐沉积下来。泥质条带灰岩的出现指示热带、亚热带的陆表海气候下深水沉积环境^[19],层序结束时古环境演化为低能开阔海。

三级层序 8 厚度约 22 m,层序内 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化较小为 -1.85‰ , -1.92‰ ;岩性以内碎屑灰岩和似球粒灰岩为主,其中内碎屑内部的颗粒被切断,指示其短距离搬运,仍处于低能开阔海相带,海平面变化较小,并未发生相带变换。

4 北京西山层序地层发育主控因素

层序发育控制因素包括构造、气候与绝对海平面变化。此处探讨的绝对海平面变化,是考虑冰期旋回所引起的全球海平面变化事件。下面对影响北京西山沉积层序发育的各因素依次讨论。

4.1 构造背景

早古生代华北地台继承了元古宙时期的沉积格局,构造运动表现为大陆板块连续宽缓的弯曲变形,内部的拗拉槽裂谷与周缘并未有明显的地势差^[24]。由于缺乏陆源碎屑的供给,无论在海平

面的相对上升还是下降阶段,都以碳酸盐岩沉积为主。华北地台基底为双层式结构,底层为太古界岩浆岩与变质岩,上层为下元古界变质岩^[25],地壳厚度较厚约 40~45 km^[26],独特的盆地结构与克拉通盆地性质导致华北地台较周边盆地更加稳定,盆地的稳定沉降为碳酸盐岩沉积提供了良好的聚集场所,却不是控制其层序演化的主要因素。

4.2 气候条件

在中元古代—古生代,华北板块漂移于赤道两侧低纬度带,属热带—亚热带气候,飓风活跃^[9]。古地磁记录表明,在早古生代时,华北地区具有干燥温暖气候条件^[24]。尤其是在寒武纪—早奥陶世,全球处于温室效应阶段,具有较高的 CO_2 含量,是现今的 15~25 倍,当时全球平均温度约 $20\text{ }^\circ\text{C}$ ^[19]。温暖气候条件为碳酸盐岩工厂建造提供了良好支撑。

4.3 绝对海平面变化

无论构造演化或气候条件在中寒武世均较稳定,因此,控制碳酸盐岩层序发育充填的根本因素为绝对海平面变化^[20]。由于构造稳定,华北地台层序发育与全球绝对海平面变化有良好对应关系。

寒武纪全球海平面变化处于二级海侵背景下^[6, 22],各三级层序分别对应海平面变化事件,本

文发育的 8 个三级层序可与 513~501 Ma 的 8 次全球海平面变化事件一一对应。华北地台东北部海平面与全球海平面变化整体趋势基本一致, 几期较大海侵事件都有很好的对应关系, 如 508.5 和 503 Ma。在 508.5 Ma(三级层序 3)区发育大套含鲕粒的似球粒灰岩可与 513~501 Ma 中的第 3 次全球大幅海侵对应良好; 在 503 Ma(三级层序 7)区发育厚层泥质条带灰岩, 为水体较深的标志, 代表层序内最大海侵期, 可与 513~501 Ma 中的第 7 次全球大幅海侵良好对应。但这些事件并非严格等时, 这种现象是由于不同的气候和水体环境下生物的发生、绝灭规律不尽一致, 同时, 不同盆地的不同沉积环境对海平面变化的响应也不会完全一致。不难看出, 华北地台中寒武统层序发育受控于全球绝对海平面变化, 同时稳定的构造沉降、适宜的气候为碳酸盐岩良好发育提供了坚实的支撑条件^[27]。

但由于碳氧同位素采样数量与密度的限制以及缺乏定年数据, 对于海平面变化恢复及层序界面时间的界定并非十分精准, 有待于进一步探讨细究, 因此只能作为推论可供参考。

5 结论

(1) 北京西山中寒武统包括 4 种沉积相带: 蒸发潮坪相、低能内台地相、高能外台地相及低能开阔海相, 其中低能开阔海相可能伴随风暴作用。

(2) 根据岩相序列及碳氧同位素, 可将北京西山中寒武世划分为 8 个三级层序, 其与全球海平面变化的 8 次事件有良好的对应关系, 分别对应于以下时间段: 513~511.5、511.5~509、509~507.5、507.5~507、507~506、506~504、504~502、502~501 Ma。

(3) 北京西山处于华北地台稳定构造背景和温暖的气候条件下, 因此, 绝对海平面变化为层序发育的主控因素。

参考文献:

- [1] Catuneanu O. Principles of Sequence Stratigraphy[M]. Amsterdam: Elsevier, 2006.
- [2] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国早寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, 4(1): 1-11.
- [3] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国中寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, 4(2): 1-11.
- [4] 梅幕相, 马永生. 华北寒武系层序地层格架及碳酸盐台地演化[J]. 现代地质, 1997, 11(3): 275-282.
- [5] 乔秀夫, 高林志. 北京西山寒武系层序地层[C]. 1990, 第 22 号.
- [6] 梅幕相. 华北寒武系二级海侵背景下的沉积趋势及层序地层序列: 以北京西郊下苇甸剖面为例[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 317-337.
- [7] 全国地层委员会. 中国年代区域地层(地质年代表)说明书[J]. 北京: 地质出版社, 2002, 18(5): 294-297.
- [8] Nichols G. Sedimentology and Stratigraphy[M]. John Wiley & Sons, 2009.
- [9] Vail P R. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview. [J]. Cycles and events in stratigraphy, 1964, 123(1): 38-41.
- [10] 段吉业, 刘鹏举, 夏德馨. 浅析华北板块中元古代—古生代构造格局及其演化[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 331-338.
- [11] 陈建强, 史晓颖. 华北地台张夏组上部高频沉积层序与米兰科维奇周期[J]. 地学前缘, 1997, 4(3/4): 104.
- [12] Dunham R J, Dunham R J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture[J]. Aapg Memoir, 1962, 1: 108-121.
- [13] Flügel E. Carbonate Depositional Environments[M]//Microfacies of Carbonate Rocks. Springer, 2010: 7-52.
- [14] Macintyre I G. Submarine cements-the peloidal question. [J]. AAPG Bulletin American Association of Petroleum Geologists, 1985, 67(3): 508.
- [15] 武向峰, 伊海生, 惠博, 等. 四川龙门山马角坝组铁质鲕粒成因及沉积环境[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 25-31.
- [16] 马志鑫, 李波, 颜佳新, 等. 四川广元中二叠统栖霞组似球粒灰岩微相特征及沉积学意义[J]. 沉积学报, 2011, 29(3): 449-457.
- [17] Bathurst R. Boring algae, micrite envelopes and lithification of molluscan biosparites [J]. Geological Journal, 1966, 5(1): 15-32.
- [18] Gomez F J, Ogle N, Astini R A, et al. Paleoenvironmental and carbon-oxygen isotope record of Middle Cambrian carbonates (La Laja Formation) in the Argentine Precordillera [J]. Journal of Sedimentary Research, 2007, 77(10): 826-842.
- [19] Nier A O, Ney E P, Inghram M G. A null method for the comparison of two ion currents in a mass spectrometer[J]. Review of Scientific Instruments, 1947, 18(5): 294-297.
- [20] Gomez F J, Astini R A. Sedimentology and sequence stratigraphy from a mixed (carbonate-siliciclastic) rift to passive margin transition: The Early to Middle Cambrian of the Argentine Precordillera [J]. Sedimentary Geology, 2015, 316(1): 39-61.

- [21] 梅冥相. 从沉积层序到海平面变化层序——层序地层学一个重要的新进展[J]. 地层学杂志, 2015, 39(1): 58-73.
- [22] Haq B U, Schutter S R. A chronology of Paleozoic sea-level changes[J]. Science, 2008, 322(5898): 64-68.
- [23] Izart A, Stephenson R, Vai G B, et al. Sequence stratigraphy and correlation of late Carboniferous and Permian in the CIS, Europe, Tethyan area, North Africa, Arabia, China, Gondwanaland and the USA[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2003, 196(1/2): 59-84.
- [24] 刘 波, 钱祥麟, 王英华. 华北板块早古生代构造—沉积演化[J]. 地质科学, 1999, 34(3): 347-356.
- [25] Yang Y, Li W, Ma L. Tectonic and stratigraphic controls of hydrocarbon systems in the Ordos basin: A multicycle cratonic Basin in central China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 255-269.
- [26] Liu M, Mooney W D, Li S, et al. Crustal structure of the northeastern margin of the Tibetan plateau from the Songpan-Ganzi terrane to the Ordos basin[J]. Tectonophysics, 2006, 420(1): 253-266.
- [27] 梅冥相, 马永生. 华北北部晚寒武世层序地层及海平面变化研究——兼论与北美晚寒武世海平面变化的对比[J]. 地层学杂志, 2001, 25(3): 201-206.

PROGRESS ON SEQUENCE STRATIGRAPHY OF THE MIDDLE CAMBRIAN IN BEIJING WESTERN MOUNTAIN

JIN Lina¹, SHAN Xin², WANG Zhe³, WANG Rui⁴

(1 China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China;

3 Qian'an Field, Jilin Oil and Gas Company, Songyuan 138000, Jilin, China;

4 Calgary University, Calgary, Canada)

Abstract: The C and O isotopes of the Middle Cambrian of the Xiaweidian Section in the Beijing Western Mountain areas is for the first time reported by our study. In order to study the evolutionary history of the Middle Cambrian of Xiaweidian Section and its controlling factors, sedimentary characteristics and stable isotopes are applied to establish stratigraphic sequences based on the chronology framework established by eustatic sea level changes. Three 2nd order and eight 3rd order sequences are recognized. The sedimentary facies observed include evaporated tidal flat, low-energy inner platform, high-energy outer platform and low-energy shallow sea. The eustatic sea-level change is the primary driving factor which controls the sequence development in a tectonic stable and warm climate background as such.

Key words: Beijing Western Mountain; Xiaweidian Section; Middle Cambrian; C and O isotope; sequence stratigraphy