

# 北京西山中寒武统颗粒类型与水动力条件研究

金丽娜<sup>1</sup>, 单新<sup>2</sup>, 王喆<sup>3</sup>

(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 海洋沉积与环境地质  
国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 吉林油田分公司 乾安采油厂地质所, 吉林 松原 138000)

**摘要:**为明确北京西山中寒武世沉积演化, 本文基于北京西山中寒武统沉积颗粒类型分析与水动力条件重建, 对毛庄、徐庄、张夏组进行研究。结果表明, 毛庄组仅发育灰泥似球粒, 水动力条件为中等—轻微扰动; 徐庄组主要发育巴哈马似球粒、厚层鲕、铁质鲕、葡萄石、棘皮生物碎片, 水动力条件为轻微—中等扰动; 张夏组主要为放射鲕、团块、内碎屑及大量海洋底栖生物碎片, 水动力中等—强烈扰动。根据沉积物特征可推断中寒武世整体海平面升高, 依次发育低能内台地(毛庄组)、低能开阔海(徐庄组)和高能外台地(张夏组)。

**关键词:**北京西山; 下苇甸剖面; 中寒武统; 颗粒类型; 水动力条件

中图分类号: P531

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2017)01-0011-10

## Grain Types and Hydrodynamic Conditions of Middle Cambrian in Western Hills, Beijing

JIN Lina<sup>1</sup>, SHAN Xin<sup>2</sup>, WANG Zhe<sup>3</sup>

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environment Geology, First Institute of Oceanography,  
State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong 266061, China;

3. Qian'an Oilfield Geology, Jilin Oil & Gas Company Qian'an Field, Songyuan, Jilin 138000, China)

**Abstract:** To clarify the sedimentary evolution of Middle Cambrian in Western Hills, Beijing, Maozhuang formation, Xuzhuang formation and Zhangxia formation were investigated based on the grain type analysis and hydrodynamic conditions. The results show that Maozhuang formation is dominated by peloids mainly composed of carbonate muds and the hydrodynamic condition is moderately-slightly agitated water, that Xuzhuang formation is featured by Bahama peloids, thick laminated ooids, iron ooids, grapestone and the echinoderm debris and the hydrodynamic condition is moderately-slightly agitated water, and that Zhangxia formation is characterized by radiated ooids, lumps, and intraclasts and a large amount of benthos debris and the hydrodynamic condition is moderately-strong agitated water. An overall sea-level rise of middle Cambrian was deduced based on sedimentary characteristics and a low energy inner platform of Maozhuang Formation, a low energy open sea of Xuzhuang formation and a high-energy outer platform of Zhangxia formation were developed successively.

**Key words:** Western Hills, Beijing; Xiaweidian profile; middle Cambrian; grain type; hydrodynamic condition

寒武纪处于二级海侵背景下<sup>[1-2]</sup>, 全球海平面较高, 华北地台为广阔陆表海沉积<sup>[3]</sup>。许多学者曾对华北地台北山西山下苇甸剖面寒武系碳酸盐岩进行研究, 但结论不尽相同。梅冥相<sup>[1]</sup>将寒武系划分为 8 个三级

收稿日期: 2016-05-10

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

作者简介: 金丽娜(1992—), 女, 黑龙江大庆人, 硕士研究生, 主要从事沉积学与层序地层学方面研究。

E-mail: jinlina@cugb.edu.cn

单新(1988—), 男, 辽宁丹东人, 博士后, 主要从事沉积学与海洋地质学研究, 本文通信作者。

E-mail: shanxin2012@gmail.com

层序,但并未具体指出物质的组成。朱传庆<sup>[4]</sup>考虑了不同相带物质组成,却并未对内部颗粒类型进行细分。张旭<sup>[5]</sup>对中寒武统碳酸盐岩沉积微相进行研究,但在水动力条件方面缺乏证据。截止目前,尚未有学者利用粒度分析对其水动力条件进行重建,并对水动力条件开展分级。

陆表海与现今海洋地貌、沉积特征有所不同,为水深大致小于 20 m 的区域<sup>[6]</sup>。Flugel<sup>[6]</sup>认为陆表海可细分为三个相带:最靠近陆地的为具有局限水循环、受波浪影响较小、盐度较高的低能台地相;中部处于高能量激浪带的高能外台地相;处于低能量浪基面以下低能开阔海相。但前人并未对各个相带内部的具体物质表现与其水动力条件作出定量分析。

本文利用普通薄片观察、粒度分析再现陆表海碳酸盐岩台地不同相带颗粒的物质组成,通过明确样品中各类碳酸盐岩异化颗粒成因,结合各组沉积颗粒的粒度概率分布曲线,对水体能量进行分级,重建水动力条件,恢复中寒武世华北地台东部的沉积演化。

## 1 区域地质概况

元古宙华北板块东缘为被动大陆边缘,元古宙末形成稳定而均一的大陆是早古生代陆表海碳酸盐岩发育的基础<sup>[7-8]</sup>。北京西山位于华北地台东缘,下苇甸剖面位于北京西山门头沟区下苇甸至丁家滩一带公路旁<sup>[9]</sup>,中寒武统出露完整,自下而上包括毛庄组、徐庄组和张夏组<sup>[9]</sup>。中寒武统下伏下寒武统紫红色块状泥岩,呈整合接触,上覆上寒武统崮山组竹叶状灰岩,也为整合接触。剖面起点坐标为 N 39°59'52.82",E 116°1'6.93",终点坐标 N 39°59'42.76",E 116°1'7.95",全长 249.93 m。毛庄组、徐庄组和张夏组岩性发育及组合情况如图所示(图 1)。

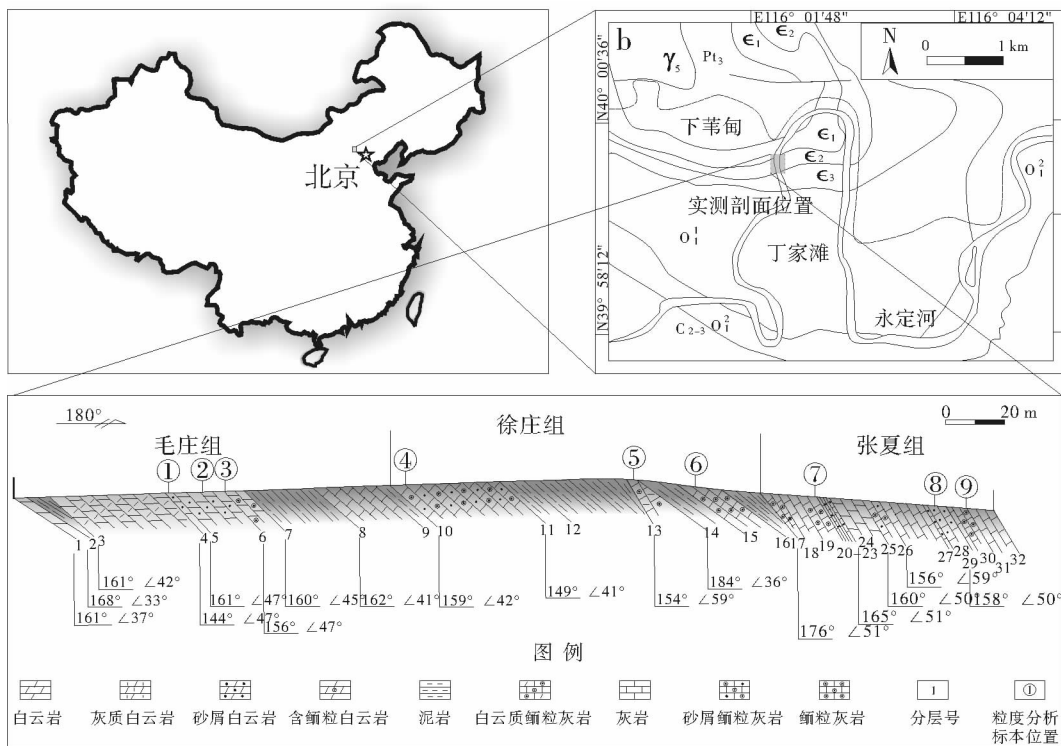


图 1 区域地质概况图

Fig. 1 The study area

## 2 颗粒类型及特征

颗粒类型分析对于推断沉积过程,确定沉积相类型具有重要意义<sup>[10]</sup>。发育于陆表海沉积背景<sup>[9]</sup>的北京西山中寒武统碳酸盐岩中主要包括 5 种颗粒类型:似球粒、鲕粒、生物碎屑、复合颗粒以及内碎屑,其在各组中的分布各不相同(表 1)。每种颗粒的大小、类型、形状、分选等沉积结构特征不尽相同,具有一定的指相意义。

表 1 中寒武统毛庄、徐庄、张夏组发育颗粒岩及厚度

Tab. 1 The number and thickness of grain bearing layer of Maozhuang, Xuzhuang, Zhangxia formation of Middle Cambrian

组	颗粒岩	层厚/m	取样点	组	颗粒岩	层厚/m	取样点
张夏组	鲕粒灰岩	4.64	⑨	张夏组	砂屑鲕粒灰岩	4.49	
	砂屑灰岩	5.55			砂屑鲕粒灰岩	9.97	
	砂屑鲕粒灰岩	1.72			白云质鲕粒灰岩	3.16	⑥
	砂屑鲕粒灰岩	4.71	⑧	徐庄组	砂屑鲕粒灰岩	30.00	⑤
	鲕粒灰岩	0.79			砂屑白云岩	4.59	④
	鲕粒灰岩	0.62		毛庄组	含鲕粒砂屑白云岩	10.43	②③
	鲕粒灰岩	6.59	⑦		砂屑白云岩	1.63	①

### 2.1 颗粒类型

#### 2.1.1 似球粒

似球粒(Peloid)可能是生物成因,也可能是非生物成因<sup>[11]</sup>,其在世界上许多地区和不同地层中均有发现<sup>[12-15]</sup>。Flügel<sup>[6]</sup>将似球粒分为九类:粪球粒、藻球粒、生物侵蚀似球粒、灰泥似球粒、铸模似球粒、巴哈马似球粒、球状粒、微生物似球粒和沉淀似球粒。本文研究区主要包括两类:灰泥似球粒与巴哈马似球粒。该两类似球粒的出现指示温暖的热带浅海、低能、局限的海洋环境<sup>[6]</sup>。

灰泥似球粒(图 2(a)):呈圆形或卵形,粒径约 0.1 mm,分选好,颗粒边界清晰,为灰泥胶结。该类似球粒是由石化碳酸盐泥和微晶碎屑改造而成,这种似球粒与微晶基质组分相似<sup>[15]</sup>。主要发育于研究区中寒武统毛庄组,处于陆表海低能内台地相。

巴哈马似球粒(图 2(b)):呈圆形、椭圆形或长条状,形状不规则,粒径 0.1~0.5 mm 不等,个体较大,颗粒边界清晰,表面凹凸不平,灰泥胶结,伴生鲕粒与棘皮生物。该类似球粒为强烈泥晶化鲕粒或生物碎屑<sup>[16]</sup>,泥晶化过程是由于碳酸盐颗粒边缘或整个颗粒被隐晶或微晶碳酸盐晶体交代。主要发育于研究区中寒武统徐庄组。

#### 2.1.2 鲕粒

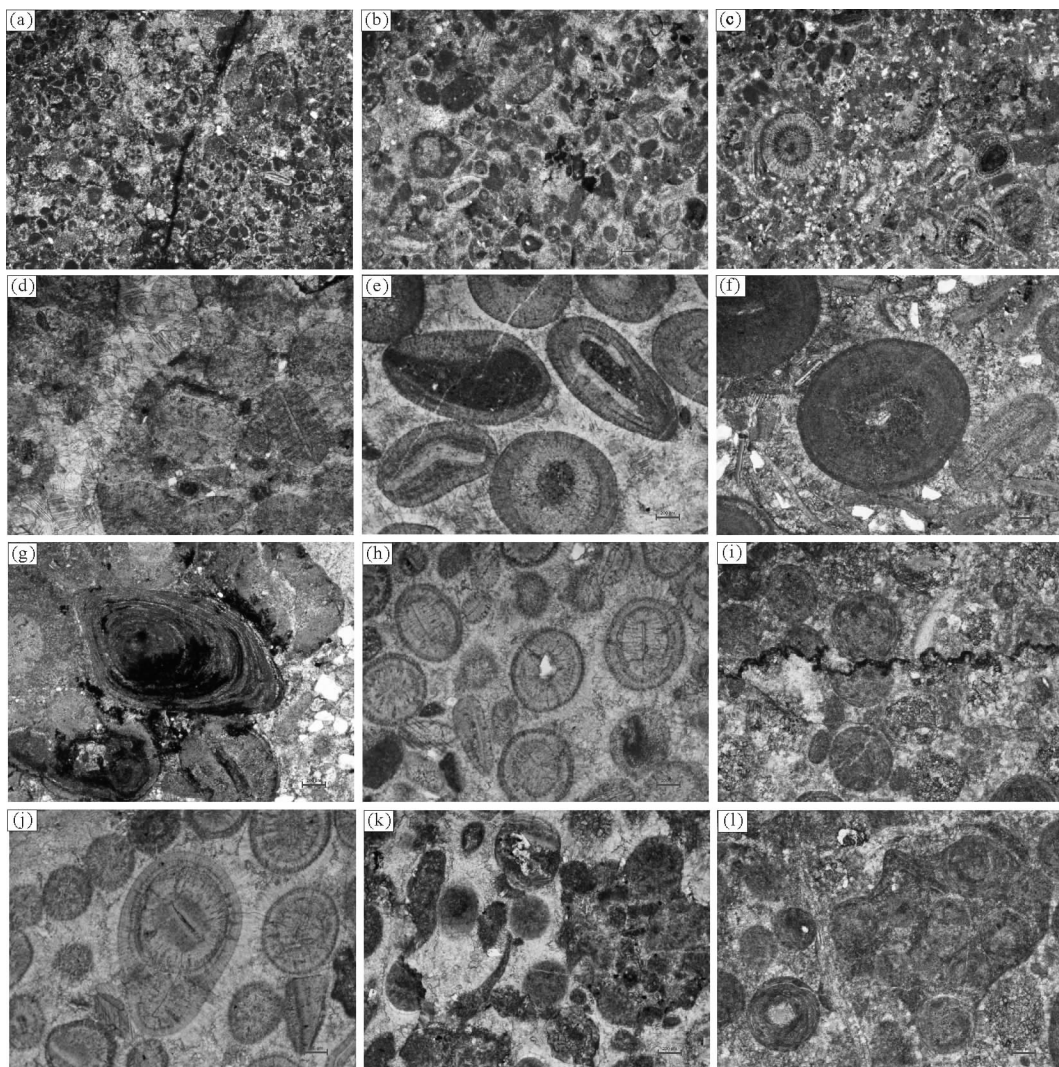
不同鲕粒在许多沉积学文献中都有讨论<sup>[17-23]</sup>。鲕粒壳层的微组构、核心类型、鲕粒形态和粒度以及内部化石为其形成环境与沉积背景提供线索<sup>[6]</sup>。本文对鲕粒进行划分时,主要依据其形态、圈层结构以及后生变化将鲕粒划分为同心鲕、放射鲕、多期鲕、椭圆形鲕、厚层鲕、铁质鲕、包粒、变形鲕、破碎鲕、扭曲鲕十类。其中后三种为受构造应力作用产生的鲕粒类型。

同心鲕和放射鲕较常见。同心鲕,粒径 0.2~0.56 mm,具有很薄的同心状纹层。放射鲕,粒径为 0.5~0.7 mm,具放射纤维状纹层结构,十字消光特征。

多期鲕(图 2(c)),粒径 0.38~0.57 mm,具两期明暗相间的纤维放射状圈层结构,推测与藻类活动有关。第一期圈层较薄,第二期较厚,可能因水动力条件发生变化,并且与粒径为 0.1~0.2 mm 的似球粒及棘皮生物碎屑相伴生,仅在徐庄组底部出现。

椭圆形鲕(图 2(d)),以针状海胆碎屑为核心,长轴方向长 0.82 mm,呈放射状纤维圈层结构,并见明暗相

间的现象,其附近为粒径约 0.2 mm 的藻粒,仅在徐庄组出现。



(a) 灰泥似球粒,呈卵形,约 100  $\mu\text{m}$ ,灰泥胶结;(b) 巴哈马似球粒,约 100~500  $\mu\text{m}$ ,颗粒较大,表面凹凸不平;(c) 多期鲕,两期圈层均呈纤维放射状结构,伴生棘皮生物碎屑;(d) 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;(e) 厚层鲕粒,以泥晶充填的三叶虫碎片为核心形成的鲕粒为主;(f) 铁质鲕粒,圈层厚度小且数量多,伴生有石英颗粒;(g) 铁质浸染的变形鲕,由于受到应力的强烈挤压,使鲕粒的同心圈层分离,强烈变形;(h) 包粒,鲕粒周围环绕无纹理微晶质镶边;(i) 破碎鲕,由于缝合线切割鲕粒,导致鲕粒破碎、溶解以致局部消失;(j) 复鲕,内部的两个鲕粒分别以针状生物碎屑为核心,在核外见两层同心圈层;(k) 右侧为葡萄石,由亮晶胶结物胶结了多个鲕粒和似球粒;左侧为扭曲鲕粒,固结成岩时鲕粒从柔软的颗粒破裂至发生塑性变形;(l) 团块,为强烈泥晶化的葡萄石,内部含粒径为 0.4 mm 的鲕粒。比例尺均为 200  $\mu\text{m}$

图 2 北京西山下苇甸剖面似球粒、鲕粒及复合颗粒

Fig. 2 Peloids, ooids and composite particles of Xiaweidian profile in Western Hills, Beijing

厚层鲕粒(图 2(e)),粒径 1.45 mm,以泥晶充填三叶虫碎片为核心的鲕粒为主,结构不清晰。较厚的圈层结构说明水体较为稳定,缺乏大幅震荡,仅在徐庄组出现。

铁质鲕粒(图 2(f)),圈层厚度小且数量多,粒径 1.5 mm,伴生石英颗粒。其成因为:当环境具有暂时潜流及波动的 Eh-pH 值时,铁质从老的红色陆壳的泥质沉积物中被淋滤出来,铁质和陆源石英碎屑在陆表海中聚集<sup>[24]</sup>,结核状铁质氢氧化物沉淀在石英颗粒表面而形成<sup>[25]</sup>。铁质鲕通常沉积于正常浪基面至风暴浪基面之间的开阔海相环境。

包粒(图 2(h)),粒径 0.65 mm,鲕粒周围环绕无纹理微晶质镶边。此镶边为微晶质包壳,形成于鲕粒边

缘被微晶碳酸盐岩晶体交代,也能够印证 Gerdes 等鲕粒的微生物成因说<sup>[17]</sup>。含包壳的颗粒在视域中比例约占 60%,伴生次圆状生物碎屑。发育于张夏组底部。

复鲕(图 2(i)),以两个胶结在一起的同心鲕为核心,核心为针状生物碎屑,粒径为 0.4 mm 和 0.6 mm,具两层同心圈层结构,该结构与放射同心鲕的外部包壳相同,内层较薄,外层较厚。发育于徐庄组中部。

变形鲕(图 2(g)),粒径 2 mm,被铁质浸染,后受应力强烈挤压,导致平行于片理面颗粒拉长,使鲕粒的同心圈层分离,强烈变形。

破碎鲕(图 2(i)),粒径为 0.6 mm,具缝合线构造。由于挤压缝合导致缝合线切割鲕粒,使得鲕粒破碎,同时鲕粒由于溶解作用,出现局部消失现象<sup>[27]</sup>。

扭曲鲕粒(图 2(k)),以锯齿状和平伸鲕粒为特征,扭曲鲕粒以狭窄的支脉相连,表明固结成岩时鲕粒从柔软的颗粒破裂并发生塑性变形<sup>[6]</sup>。

### 2.1.3 复合颗粒

复合颗粒是根据不同形态以及钙质胶结物进行分类<sup>[6]</sup>。

葡萄石(图 2(k)),粒径 0.9~1.5 mm,由多个泥晶化鲕粒和似球粒组成,粒间为微晶碳酸盐岩胶结,共生扭曲鲕粒,发育于徐庄组顶部。

团块(图 2(l)),由多个鲕粒组成,粒径 1.2 mm。其与葡萄石的区别在于原本的亮晶胶结物发生较强泥晶化作用,内部的鲕粒粒径为 0.2~0.6 mm,见清晰同心状纹层,发育在张夏组底部。

复合颗粒在有水循环的区域,经过细粒物质的簸选、沉积物搬运,能够指示低能、低养分、低沉积速率沉积环境,通常为海侵时期的产物,与连生或孤立台地相对应<sup>[6]</sup>。

### 2.1.4 生物碎屑

研究区常见棘皮动物纲中的海胆和海百合亚纲。徐庄组顶部海胆碎片长轴方向约 1.1 mm,呈针状。海百合骨片(图 3(a)),呈紧密网状组织,网状组织内部开启,并被泥晶和粗晶方解石充填。镜下特征为均质消光,并以灰色或浅黄色干涉色和方解石网格呈现<sup>[6]</sup>。在张夏组顶部,见海百合茎干和臂(图 3(b)、3(c)),由于水动力作用,其骨架通常是分开的。图 3(b)中圆形切面即为海百合茎的切面,其中心茎为圆形,呈单晶结构。

三叶虫,多生活于低能浅海环境,属底栖生物。三叶虫碎片被泥晶充填(图 3(d)),形成块状碎屑,长约 1.6 mm,其层状外壳为玻纤结构。张夏组中部出现较完整的三叶虫碎片(图 3(e))。

介形虫(图 3(f)),呈弯曲状,具均质结构,常见于海洋和边缘海灰岩薄片,长度约 1.2 mm。其纵向切面呈卵形,嵌套结构,内部泥晶充填,可发育在浅且多岩的海滩、海草区、坚硬的海底和深水栖息地<sup>[15]</sup>。介形虫为温暖水体中广盐度生物。

这些生物碎屑的出现,指示了温暖浅水环境。当生物碎屑数量有所减少时,推测其成因主要包括两种:海平面突然变化;恶劣气候(风暴等)的突现<sup>[6]</sup>。

### 2.1.5 内碎屑

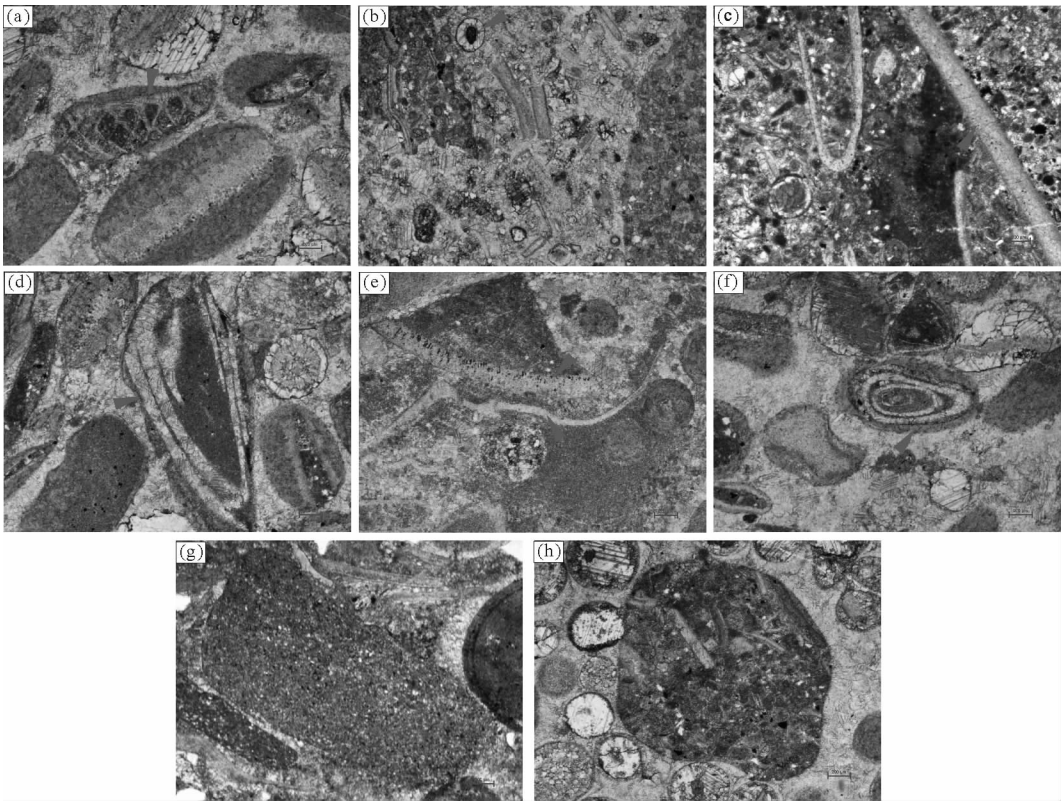
内碎屑是由于盆地中对准同生期沉积物的侵蚀而形成,是主要的毫米-厘米级再沉积颗粒<sup>[6]</sup>。徐庄组沉积的内碎屑以灰泥、石英颗粒为主,粒径为 2 cm,呈次圆状(图 3(g))。张夏组沉积的内碎屑以似球粒、棘皮生物碎屑为主,呈圆状。内碎屑的磨圆程度指示了经受波浪改造作用的强弱,可见张夏组受波浪的改造作用强(图 3(h))。

## 2.2 粒度分析

本文挑选毛庄、徐庄、张夏组 3 个层位(分别位于上、中、下段)的 9 件样品进行粒度统计(表 1)。为了减少成岩作用的影响,选取白云化作用相对较弱的颗粒灰岩(鲕粒灰岩、似球粒灰岩、生物碎屑灰岩、内碎屑灰岩等)进行统计,采用薄片粒度统计方法中的点计数法,选择落在网格点上的边界清晰的颗粒进行粒径测量。

传统的投点方法利用频率直方图,得出的结果是离散的、不连续的。通过密度投点法(kernel density estimation)投出的结果是平滑、连续的。密度投点法主要利用统计学方法对数据进行分析,自动得出 X 轴带宽并依据投点密度绘制分布曲线<sup>[28]</sup>,用以分析各组沉积时期水动力条件变化(图 4)。





(a)海百合骨片网状结构;(b)上方为海百合茎的横截面,长板状颗粒为海百合的臂;(c)右侧长条状颗粒为海百合的茎;(d)三叶虫碎片被泥晶充填;(e)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;(f)介形虫横切面,具卵形嵌套结构;(g)以灰泥、石英颗粒为主的内碎屑;(h)以似球粒、棘皮生物碎屑为主的内碎屑。比例尺均为 200  $\mu\text{m}$

图 3 北京西山下苇甸剖面生物碎屑和内碎屑

Fig. 3 Intraclasts and bioclasts of Xiaweidian profile in Western Hills, Beijing

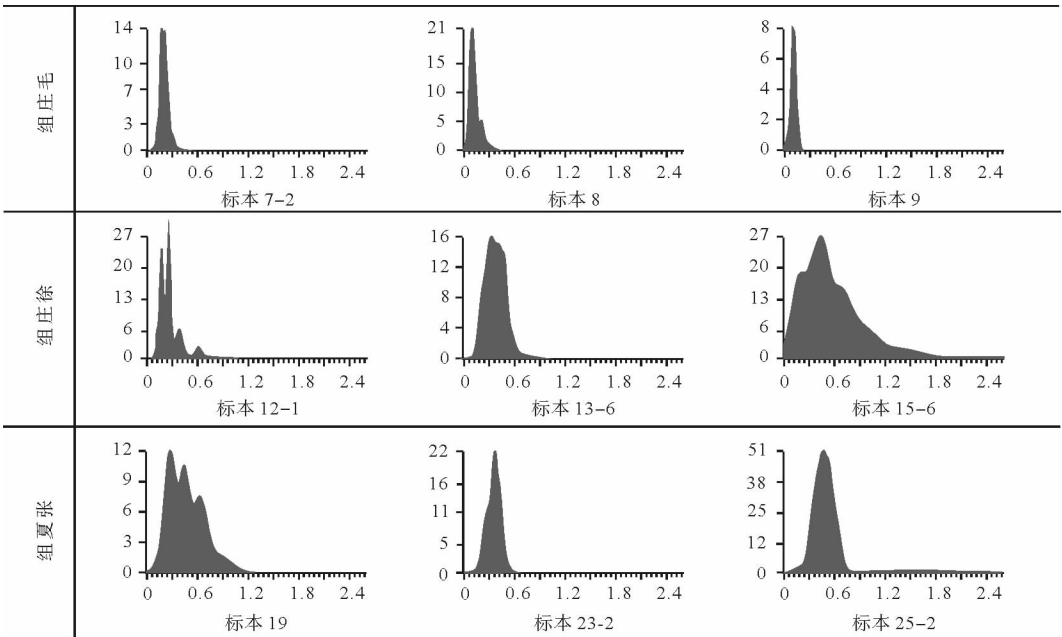


图 4 粒度分布图

Fig. 4 Particle size distribution

### 2.2.1 毛庄组

毛庄组 3 个样品粒径范围为 0.025~0.4 mm, 粒度平均值依次为 0.2、0.13、0.11 mm。粒度向上整体变小。曲线单峰态, 粒度分布集中, 分选很好。该层段粒度线对应的颗粒类型为灰泥似球粒。

### 2.2.2 徐庄组

徐庄组 3 个样品粒径范围在 0.047~2.53 mm, 粒度平均值依次为 0.2、0.38、0.58 mm, 逐渐增加。粒度曲线从双峰态(含不明显的矮峰), 到对称单峰态, 再到不对称单峰态, 表明徐庄组分选由一般到中段变好, 而后变差。

徐庄组沉积初期, 粒度曲线双峰态对应的颗粒类型为似球粒与多期鲕(图 2(b)、2(c)), 表明经过两期搬运作用, 第一期似球粒与毛庄组顶部沉积结构相似, 鲕粒圈层结构较薄, 第二期鲕粒圈层明显加厚, 而粒度曲线中的矮峰, 对应于薄片的棘皮生物碎片。

徐庄组沉积中期, 粒度曲线为单峰态, 分选较好。对应同心鲕, 且平均粒径有所增加, 反映相对于徐庄组沉积初期, 水动力条件增强。

徐庄组沉积末期, 粒度曲线为单峰态, 且粒径范围跨度最大, 说明该时期颗粒分选差。该层段粒度曲线对应的颗粒, 包括铁质鲕、椭圆形鲕、生物碎屑以及石英(图 2(d)、2(f))。

### 2.2.3 张夏组

张夏组 3 个样品粒径范围 0.14~2.25 mm, 粒度平均值依次为 0.45、0.35、0.54 mm。粒度曲线从三峰态, 到单峰态, 再至较宽单峰态, 说明张夏组分选由较差, 到中段变好, 而后变为一般。

张夏组沉积初期, 颗粒为同心鲕、椭圆形鲕以及复鲕, 分别对应从左向右 3 个峰值, 反映 3 个不同时期沉积。

沉积中期, 粒度曲线变为很窄的单峰态。对应颗粒类型为鲕粒和似球粒, 似球粒平均粒径约 0.1 mm, 磨圆、分选较好。其粒径较张夏组沉积早期明显变小。

沉积末期, 粒度曲线呈对称单峰态, 峰形宽缓, 对应的颗粒类型为鲕粒、外碎屑(>2 cm)、较大的为生物碎屑。

## 3 水动力条件

根据粒度分析与颗粒类型特点, 利用 Čatalov<sup>[29]</sup> 在 Plumley<sup>[30]</sup> 基础上提出的针对颗粒灰岩水体能量分级方案对该研究层段进行分析, 可划分为 4 类水动力条件: 分别对应静水条件(I 类)、轻度扰动(II 类)、中等扰动(III 类)和强烈扰动(IV 类)。通过半定量分析, 将水动力划分为 4 类 12 个级别, 通过确定各组沉积表现, 对水动力条件进行分级。其主要依据分选、磨圆、所含异化颗粒的大小及粒径、陆源碎屑物含量、生物群落发育、化石类型进行划分。

毛庄组发育似球粒, 3 个层位粒径均值依次为 0.2、0.13、0.11 mm, 第一层缺少灰泥, 分选很好, 磨圆中等, 颗粒含量大于 50%, 未见陆源碎屑及生物化石, 对应分类中的 III<sub>1</sub>; 第二层富含灰泥, 分选中等—好, 磨圆好, 颗粒含量大于 50%, 对应 II<sub>3</sub>; 第三层含少量灰泥, 分选很好, 磨圆好, 颗粒含量小于 50%, 对应 II<sub>3</sub>。

徐庄组发育似球粒、鲕粒、生物碎屑, 偶见内碎屑。底部、中部、上部粒度均值为 0.2、0.38、0.58 mm。第一层富含灰泥, 分选较差, 磨圆中等—好, 颗粒含量大于 50%, 含棘皮生物, 且保存完整, 混有少量石英颗粒, 对应 II<sub>2</sub>; 第二层未见灰泥, 分选、磨圆一般, 颗粒含量大于 50%, 未见陆源碎屑及生物化石, 对应 III<sub>1</sub>; 第三层含灰泥, 分选较差, 磨圆差, 颗粒含量大于 50%, 陆源碎屑石英含量约 5%, 含大量海百合碎片, 对应 II<sub>2</sub>。因此, 徐庄组水动力条件先变强后变弱。

张夏组主要发育鲕粒、内碎屑、生物碎屑、复合颗粒及少量似球粒。三个样品粒度平均值为 0.45、0.35、0.54 mm。底部不含灰泥, 分选一般, 磨圆一般—好, 颗粒含量大于 50%, 未见陆源碎屑及生物化石, 对应 III<sub>1</sub>; 中部不含灰泥, 分选好, 磨圆一般, 颗粒含量大于 50%, 未见陆源碎屑及生物化石, 对应 III<sub>1</sub>; 上部不含灰泥, 磨圆很好, 分选很好, 颗粒含量大于 50%, 内碎屑中见大量海百合与三叶虫碎片, 破碎严重, 对应 IV<sub>2</sub>。

因此, 毛庄组沉积初期水体中等强度扰动, 而后水动力减弱, 为轻微扰动; 徐庄组沉积期开始和结束时均

为轻微扰动,仅中段能量突然增强,达到中等扰动;张夏组沉积期,整体能量中等—强烈扰动,较毛庄、徐庄组增强。

#### 4 沉积演化

毛庄组沉积期主要为泥质白云岩、似球粒灰岩、白云质泥岩,多发育灰泥似球粒,偶见小鲕粒。从紫红色云泥岩代表的间断暴露环境,到似球粒出现指示水动力条件中等—微弱扰动,表明沉积环境从蒸发潮坪相变为低能内台地相(表 2)。

徐庄组颗粒类型极丰富。徐庄组沉积初期,发育多期鲕和巴哈马似球粒,水动力条件为轻微扰动,伴生保存完整的海胆亚纲生物,说明盐度在向海方向变为正常,推断该时期处于低能开阔海。沉积中期,出现了蒸发潮坪相的紫红色泥岩。随后沉积了椭圆形鲕、同心鲕、厚层鲕、铁质鲕、变形鲕,水动力条件为较弱的中等扰动,伴生有海胆、海百合的生物碎片,推断该时期处于低能开阔海(有风暴浪作用)。徐庄组末期出现三叶虫、葡萄石和以灰泥、陆源碎屑为主的内碎屑,反映低养分与较低的沉积速率,推断徐庄组末期处于浪基面以下的低能开阔海(表 2)。

张夏组发育颗粒类型也很丰富。张夏组沉积早期,沉积大量放射鲕、包粒及复鲕,与此同时,生物多样性增加如海胆、海百合、三叶虫、介形虫等,推断此时为低能开阔海向高能外台地过渡。张夏组沉积中期,出现团块和较大的同心鲕粒,水动力条件为中等扰动,推断此时为高能外台地相。张夏组沉积末期,出现以碳酸盐颗粒与生物为主的内碎屑,内碎屑中的颗粒边缘被切断,指示其经历一段距离搬运,水动力条件为强烈扰动,并伴有陆源碎屑、三叶虫和海百合的碎片,推断此时处于高能外台地相(表 2)。

不难看出,中寒武统沉积期海平面整体逐渐升高,毛庄组沉积期主要发育靠近陆地的低能内台地相;至徐庄组沉积期,水体迅速加深,沉积物以多期鲕粒与巴哈马似球粒为特征,并见风暴成因生物碎片,该时期主要发育低能开阔海相;进入张夏组后,海平面略微下降,并见三叶虫、葡萄石等高能外台地相沉积物相。

表 2 北京西山中寒武统颗粒类型及水动力条件总结

Tab. 2 Summary of grain type and hydrodynamic conditions of Middle Cambrian in Western Hills, Beijing

组		毛庄组									徐庄组									张夏组						
厚度/m		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
颗粒类型	似球粒	灰泥似球粒									巴哈马似球粒									巴哈马似球粒 (与鲕粒伴生)						
	鲕粒	偶见小鲕粒									同心鲕、多期鲕、椭圆形、厚层鲕、铁质鲕、变形鲕									同心鲕、放射鲕、包粒、复鲕、破碎鲕、扭曲鲕						
	复合颗粒	未见									葡萄石									团块						
	生物化石	未见									海胆、海百合、三叶虫									海胆、海百合、三叶虫、介形虫						
	内碎屑	未见									以灰泥与陆源碎屑石英为主									以碳酸盐颗粒与生物为主						
水动力分级	强烈																									
	中等																									
	轻微																									
	静水																									
	推断沉积相	蒸发潮坪相、低能内台地相									蒸发潮坪相、低能开阔海相									高能外台地相、低能开阔海相						



## 5 结论

1) 华北地台东部中寒武统包括似球粒、鲕粒、复合颗粒、生物碎屑、内碎屑 5 种类型。毛庄组仅发育灰泥似球粒, 偶见小鲕粒; 徐庄组主要发育巴哈马似球粒、厚层鲕、铁质鲕、葡萄石、棘皮生物碎片; 张夏组主要为放射鲕、团块、内碎屑及大量海洋底栖生物碎片。

2) 处于低能内台地相的毛庄组沉积初期水体为中等扰动, 而后为轻微扰动; 处于低能开阔海相的徐庄组沉积期开始和结束时均为轻微扰动, 中期达到中等扰动; 处于高能外台地相的张夏组整体能量为中等—强烈扰动。

3) 中寒武世从老至新依次主要发育低能内台地相(毛庄组)、低能开阔海相(徐庄组)和高能外台地相(张夏组)。

### 参考文献:

- [1]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, 38(3): 201-206.  
MEI Mingxiang, MA Yongsheng. A study on sequence stratigraphy and sea-level change in North China craton, Late Cambrian: A comparison to North America craton[J]. Stratigraphy, 2001, 38(3): 201-206.
- [2]HAQ B U, SCHUTTER S R. A chronology of Paleozoic sea-level changes[J]. Science, 2008, 322(5898): 64-68.
- [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(2): 1-11.  
FENG Zengzhao, PENG Yongmin, JIN Zhenkui, et al. Lithofacies palaeogeography of the Middle Cambrian in China[J]. Journal of Palaeogeography, 2002(2): 1-11.
- [4]朱传庆, 罗杨, 杨帅, 等. 北京西山寒武系层序地层[J]. 中国地质, 2009(1): 120-130.  
ZHU Chuanqing, LUO Yang, YANG Shuai, et al. Sequence stratigraphy of Cambrian in Western Hills, Beijing[J]. Geology in China, 2009(1): 120-130.
- [5]张旭, 张宁, 杨振鸿, 等. 北京西山下苇甸中寒武统碳酸盐岩微相及沉积相研究[J]. 地质科技情报, 2009(6): 25-30.  
ZHANG Xu, ZHANG Ning, YANG Zhenhong, et al. Carbonate microfacies and sedimentary facies of Middle Cambrian formation at Xiaweidian profile in Western Hills, Beijing, China[J]. Geological Science and Technology Information, 2009(6): 25-30.
- [6]FLÜGEL E. Carbonate depositional environments[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2010: 7-52.
- [7]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): 104.  
CHEN Jianqiang, SHI Xiaoying. High resolution Milankovitch cycles of Zhangxia formation upper section in North China block[J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3): 104.
- [8]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(3): 347-356.  
LIU Bo, QIAN Xianglin, WANG Yinghua. Tectonic and sedimentary evolution of North China block[J]. Chinese Journal of Geology, 1999(3): 347-356.
- [9]乔秀夫, 高林志. 北京西山寒武系层序地层[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990(22): 1-7.  
QIAO Xiufu, GAO Linzhi. Sequence stratigraphy of Cambrian in Beijing Western mountain[J]. Journal Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences (Institute of Geology), 1990(22): 1-7.
- [10]CHATALOV A. Monomineralic carbonate ooid types in the Triassic sediments from Northwestern Bulgaria[J]. Geologica Balcanica, 2005, 35(1/2): 63.
- [11]RIDING R, TOMÁS S. Stromatolite reef crusts, early Cretaceous, Spain: Bacterial origin of in situ precipitated peloid micropar[J]. Sedimentology, 2006, 53(1): 23-34.
- [12]FLAJS G, VIGENER D M, KEUPP H, et al. Mud mounds: A polygenetic spectrum of fine-grained carbonate buildups[J]. Facies, 1995, 32(1): 1-69.
- [13]JONES B. Calcite rafts, peloids, and micrite in cave deposits from Cayman Brae, British West Indies[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1989, 26(4): 654-664.
- [14]REID R P. Nonskeletal peloidal precipitates in upper Triassic reefs, Yukon Territory (Canada)[J]. Journal of Sedimentary Research, 1987, 57(5): 893-900.

- [15] 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.  
MA Zhixin,LI Bo,YAN Jiixin,et al. Microfacies of peloidal limestone of Middle Permian Chihsia formationat Guangyuan, Sichuan Province and its sedimentary significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2011,29(3):449-457.
- [16] REID R P,MACINTYRE I G. Carbonate recrystallization in shallow marine environments: A widespread diagenetic process forming micritized grains[J]. Journal of Sedimentary Research,1998,68(5):928-946.
- [17] 梅冥相. 鲕粒成因研究的新进展[J]. 沉积学报,2012,30(1):20-32.  
MEI Mingxiang. Brief introduction on new advances on the origin of ooids[J]. Acta sedimentologica Sinca,2012,30(1):20-32.
- [18] RADWAŃSKI A,BIRKENMAJER K. Oolitic/pisolitic dolostones from the Late Precambrian of south Spitsbergen: Their sedimentary environment and diagenesis[J]. Acta Geologica Polonica,1977,27(1):1-40.
- [19] TUCKER M E. Calcitic, aragonitic and mixed calcitic-aragonitic ooids from the mid-Proterozoic belt supergroup, Montana [J]. Sedimentology,1984,31(5):627-644.
- [20] STRASSER A. Ooids in Purbeck limestones (lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura[J]. Sedimentology, 1986,33(5):711-727.
- [21] CHOW N,JAMES N P. Facies-specific, calcitic and bimineralic ooids from Middle and Upper Cambrian platform carbonates, western Newfoundland, Canada[J]. Journal of Sedimentary Research,1987,57(5):907-921.
- [22] ALGEO T J,WATSON B A. Calcite, aragonite, and bimineralic ooids in the Missourian (Upper Pennsylvanian) strata of Kansas: Stratigraphic and geographic patterns of variation[M]//PAUSÉ P H,CANDELARIA M P. Carbonate facies and sequence stratigraphy: Practical applications of carbonate models. USA; PBGC-SEPM Publication,1995:141-173.
- [23] STEINHOFF D I,STROHMENGER C. Zechstein carbonate platform subfacies and grain-type distribution (Upper Permian, northwest Germany)[J]. Facies,1996,35(1):105-132.
- [24] 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.  
WU Xiangfeng,YI Haisheng,HUI Bo,et al. Genesis and sedimentary environments of the ferruginous ooids from the Majiaoba formation in northern Longmen Mountains,Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology,2010,30(1):25-31.
- [25] KEARSLEY A T. Iron-rich ooids, their mineralogy and microfabric: Clues to their origin and evolution[J]. Geological Society London Special Publications,1989,46(1):141-164.
- [26] GYGI R A. Oolitic iron formations: Marine or not marine[J]. Eclogae Geologicae Helvetiae,1981,74(1):233-254.
- [27] 刘和甫. 缝合线的形成及其在石油地质上的意义[J]. 地质论评,1959(8):367-370.  
LIU Hefu. The formation of stylolite and its implication for petroleum geology[J]. Geological Review,1959(8):367-370.
- [28] VERMEESCH P. On the visualisation of detrital age distributions[J]. Chemical Geology,2012,312:190-194.
- [29] CATALOV G A. An attempt at energy index (EI) analysis of the Upper Anisian,Ladinian and Carnian carbonate rocks in the Teteven Anticlinorium (Bulgaria)[J]. Sedimentary Geology,1972,8(3):159-175.
- [30] PLUMLEY W J,RISLEY G A,GRAVES J R W, et al. Energy index for limestone interpretation and classification[J]. 1962,38:87-107.

(责任编辑:高丽华)