

桌子山中奥陶统公乌素组等积岩的 确认及沉积环境

李日辉

(地质矿产部海洋地质研究所, 青岛 266071)

内蒙桌子山地区中奥陶统公乌素组为一套含浮游生物和丰富遗迹化石的薄层灰岩、砂页岩为主的沉积。本文根据岩性、结构构造、遗迹化石组合等特点, 初步确认其上部的砂质岩石为等积岩。由此, 并结合古生物类型及其古生态特点等探讨了公乌素组的沉积环境。认为其沉积位置为有等深流活动的大陆斜坡, 沉积时水深至少为 200—600m。

关键词 等积岩 *Zoophycos* 和 *Nereites* 遗迹相 奥陶系公乌素组 内蒙

作者简介 李日辉 男 30岁 博士 地层古生物学

一、等积岩

剖面位于桌子山以南 (图 1), 为华北地台的西缘。

(一) 沉积特征

公乌素组为灰、灰绿色薄层泥晶灰岩、页岩及钙质粉砂岩互层, 可见厚度大于 59.2 m。下部以页岩和泥灰岩为主, 中上部则出现较多的砂质岩。我们初步确认这些砂质岩为等积岩。

1. 岩性特点

大多为薄层状钙质粉砂岩、细粒石英砂岩。岩石为粉砂级; 粉砂含量一般在 55%—75%之间, 泥晶胶结物约 5%±。颗粒总含量一般在 85%—95%之间。主要粒度参数 (表 1) $\sigma_1 = 0.45-0.57$, $SK_1 = -0.36-1.10$, 均为负偏态。

2. 结构特点

从图 2 可以看出砂质等积岩的沉积结构有以下特点:

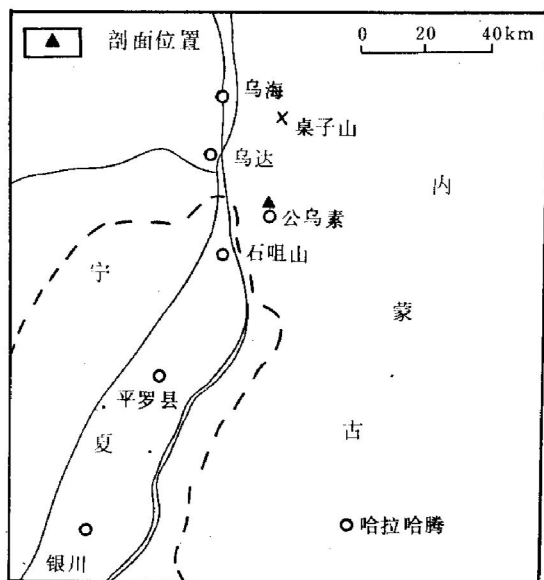


图 1 剖面位置图

(1) 四个代表性薄片粒度分析概率累积曲线的形态十分相似，近于重合，反映沉积流体作用稳定、均一。概率累积曲线表现为两个沉积次总体，即悬浮次总体和跳跃次总体，而缺乏滚动次总体。

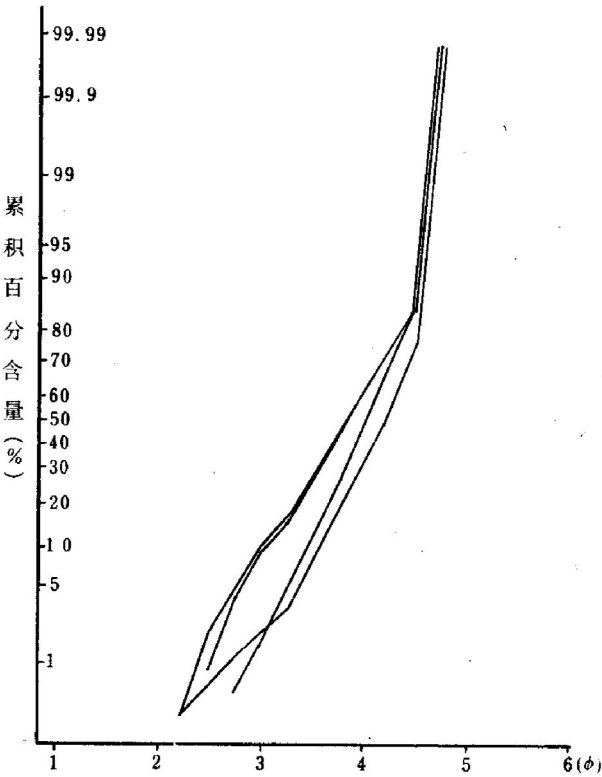


图 2 公乌素组砂质等积岩概率累积曲线
中国地质大学（北京）图像分析室分析

母为主，按解理方向定向排列，与纹理方向一致。

表 2 等积岩特征对比表

特 征	公乌素组等积岩	Hollister 和 Heezen 等积岩 (1972)
颗 粒		
分选性	$\sigma_1 = 0.5039$	$\sigma_1 < 0.75$
层 厚	0.8—8cm 最多	通常 < 5cm
粒 序	一般为正粒序	正粒序及逆粒序
交错纹层	常见	普遍
水平纹层	普遍	普遍
块状层理	缺乏	缺乏
颗粒结构	颗粒优选平行层面	颗粒优选平行层面
杂 基	0—5%	0—5%
微体化石	未见	稀少，磨损或破碎
接触面	清楚	清楚
其 它	生物扰动较发育	

表 1 公乌素组等积岩粒度特点

样 品	Mz	σ_1	SK_1	K_g
G ₁	4.24	0.4354	-0.4613	2.737
G ₂	4.009	0.5576	-0.3611	2.410
G ₃	4.356	0.4451	-1.099	4.582
G ₄	4.017	0.5766	-0.4656	2.615
平均值	4.156	0.5039	-0.599	3.089
划分等级		分选较好	极负偏	

注：划分等级按 Folk 和 Word (1957)

(2) 标准偏差值 $\sigma_1 = 0.5039$ 。按 Folk 和 Word 的划分等级，属分选较好；偏度值 $SK_1 = -0.599$ ，属极负偏，而较细粒的沉积物一般趋向负偏；峰态参数 $K_g = 3.089$ ，属极窄峰态，一般表示沉积物是由两种组分混合，且以细粒组分居多。

3. 沉积构造特点

岩石水平微细纹理（图版 I-1）、厘米级单向交错层理（图版 I-1）发育，皆由较大粉砂或重矿物密集显现。如图版 I-1 重矿物以黑云

母为主，按解理方向定向排列，与纹理方向一致。

局部见微弱的正向粒序层，厚 1—3 cm，由粉砂向细粉砂、泥递变（图版 I-4）。

所有的砂质岩层与灰岩层间的接触界面一般都很清楚、平整，仅局部有冲刷现象（图版 I-3）。岩层厚度一般 0.8—8 cm。

公乌素组等积岩与 Hollister 和 Heezen^[1]所提出的等积岩特征对比见表 2。

如前述，公乌素组等积岩中局部出现浊流沉积中常见的槽模、冲刷等底面构造，其原因可能是等深流流速变化引起的或是后来改造形成的^[2]。一般认为等深流流速为 20 cm/s，但沿巴哈马台地西翼 320 m 深的地方，等深流流速超过 50 cm/s。而有人认为某些地段等深流流速可能比上述测定值大得多。因此这种高速流体能够侵蚀和搬运一些粗的灰砂。

等深流这一术语是对北大西洋陆隆沉积物研究后提出的^[3]，认为是在地球自转力作用下沿洋盆等深线流动的地转流。等积岩为较深水，即浪基面以下，沿斜坡流动的水流所沉积或经过这种水流改造的沉积层^[4]。

(二) 遗迹化石证据

公乌素组遗迹化石十分丰富。经笔者研究* 自下而上可分为四个遗迹组合。即 (1) *Taenidium-Phycodes* 组合; (2) *Volkichnium* 组合; (3) *Helminthopsis* 组合和 (4) *Granularia-Circulichnus* 组合。与等积岩共生的是第3组合 *Helminthopsis* 组合。该组合分异度较低，主要分子是弯曲形觅食迹 *Helminthopsis* (图版Ⅱ-5)。该遗迹属丰富，一般在灰绿色、褐灰色薄层粉砂岩的下层面呈凸痕保存；另产少量网状遗迹 *Paleodictyon*。*Helminthopsis* 是一跨相遗迹属，常见于复理石相和其它较深水环境，在秦岭上泥盆统等积岩中也有报道^[5]。公乌素组 *Helminthopsis* 组合中因为出现网状遗迹 *Paleodictyon* (图版Ⅰ-5)，故该组合相当于 *Nereites* 遗迹相。该遗迹相一般指示半深海—深海环境，水体较静但含氧^[6]。应当指出，*Nereites* 遗迹相的分异度较高，但第3组合的较低，这可能是标本采集的不完全所致。

网状遗迹是一种营建于较深水体水-沉积物界面之下不太深的多边形网状穴道系统，而且在多边形边脊的端点处或中央处有垂直向上的开口。一般认为这些高度复杂化的穴道是微小生物居住兼觅食的潜穴。在风暴浪基面以下的海底，这种潜穴的出现意味着需要一定程度水体的搅动。在不存在浊积岩的情形下，能够产生类似水文条件的恐怕也只有等深流了。因此，网状遗迹类，也应该是等积岩的特征遗迹组合。如在威尔士志留纪泥质等积岩中曾发现大量网状遗迹，其中包括 *Paleodictyon* 和 *Squamodictyon* 两遗迹属^[7]。

综上所述，公乌素组与等积岩共生的遗迹化石组合所指示的水体深度、水体性质（特别是相对含氧量）等均与等积岩的形成环境相吻合。

(三) 古生物学证据

公乌素组除产大量遗迹化石外，还产一定量的实体化石。其中以笔石较丰富，其它类型是腕足类、三叶虫和牙形石。

1. 笔石 主要分布于该组下部灰绿色、灰色页岩及泥灰岩中，在上部粉砂质等积岩的上、下灰黑色页岩夹层中也有发现。主要有 *Amplexograptus gansuensis*, *Pseudoclimacograptus* sp. 等。

2. 腕足类 种属十分单调贫乏，仅见 *Anisograptus* 一属，是个体小、壳薄而扁平的类型，可能是营漂游生活的。化石主要出现在该组下部（即等积岩的下部层位中）。

3. 三叶虫 主要出现于等积岩下部层位，主要代表有 *Birmanites*, *Remopleurides*, *Telephina*, *Lonchodoma* 等属^[8]。这些属的分布甚广，但常见于笔石相地层中，根据形态功能分析，很可能是一些漂游类型。

4. 牙形石 该组的牙形石属北大西洋型动物群，是一些深、冷类型^[9]。

从以上各门类化石的分布及特征可以看出，笔石出现在黑色页岩中可能贫氧；腕足类属种单调且个体较小反映水体可能较深。另从保存状态看，笔石、腕足类、三叶虫甚至海百合类（图版Ⅰ-2）均保存较好，很少破碎，反映水流不是很强，沉积环境相对稳定。特别，上部等积岩的上、下页岩夹层中仍产笔石及少量三叶虫、古生物面貌与下部大致相似，反映出公乌素组沉积时，水体一直较深。但因下部含笔石较上部要多，因此，沉积前期，水体可能

* 李日辉：内蒙桌子山地区中奥陶统公乌素组的遗迹化石及遗迹相，古生物学报（出版中）

略微贫氧。

二、公乌素组沉积环境

由于遗迹化石是某种环境条件下动物习性行为的记录,且绝大部分为原地埋藏,因而具有重要的古环境指示意义。这里着重利用遗迹组合并结合古生物及岩石学特点,探讨公乌素组的沉积环境。

Taenidium - *Phycodes* 组合,主要由具回填构造的层间进食潜穴 *Taenidium* 和进食迹 *Phycodes* 组成。其中尤以 *Taenidium* 最丰富。另外尚产 *Chondrites Volkichnium*、*Biscopulaticinus* (新遗迹属), *Arthropycus*, *Granularia* 等遗迹属; *Volkichnium* 组合,主要以放射形遗迹 *Volkichnium* (图版 II-4) 的大量出现为特征。共生的遗迹属有 *Granularia*, *Sublorenzina*, *Phycodes*, *Arthropycus* 等, *Helminthopsis* 组合 (其组成及特点见前文); *Granularia* - *Circulichnus* 组合的分异度相对较高,以层间进食迹占主导地位,计有 *Granularia* (图版 I-3), *Circulichnus*, *Volkichnium*, *Phycodes*, *Zoophycos* (图版 I-2), *Helminthopsis*, *Nereites* 等遗迹属,其中又以表面具瘤粒的层间潜穴 *Granularia* 最丰富。

第1、2组合中的 *Volkichnium* 是一形态为放射形的遗迹属。从习性类型看,这两个遗迹组合内的遗迹几乎全属进食迹 (*Fodinichnia*) 类,但缺乏垂直居住潜穴 (*Domicinia*) 和觅食迹 (*pasichnia*)。垂直居住迹一般系指与层面呈垂直关系的生物居住构造,是浅海环境下的特征遗迹类型,指示较为动荡的水动能条件,因此,很少出现于半深海、深海环境;而觅食迹则是生物运动过程中觅食,在沉积物表面形成的遗迹,一般分布于溶解氧含量正常的地带。第1、2遗迹组合分异度较低,以及几乎都属进食迹这种特点,反映古水体溶解氧含量相对较低、有机质丰富、水体较深这样一些特点。因此,组合内尽管没有出现 *Zoophycos* 遗迹属,仍应属 *Zoophycos* 遗迹相。

与等积岩共生的第3遗迹组合 *Helminthopsis* 相当于 *Nereites* 遗迹相。

第4遗迹组合分异度较高,包括7个遗迹属,以穴壁具瘤粒的 *Granularia* 为主。该遗迹自由弯曲,一般不分枝,大致平行于层面,主要保存为内生迹,另外还出现 *Zoophycos*。由于该组内不含 *Skolithos* 和 *Cruziana* 相中常见的直潜穴类,也不见深海 *Nereites* 遗迹相中大量出现的网状遗迹和蛇曲类遗迹,故可能仍为 *Zoophycos* 遗迹相。该遗迹相位于波基面以下,浊流沉积带之上^[6],沉积作用缓慢,有机质丰富。类似的沉积见于北美,证明为大陆边缘位置;但在浅海环境也经常出现该遗迹相,在我国石炭、二叠纪含煤地层中广泛发育^[10]。因此, *Zoophycos* 造迹动物群能够适应广泛的深度,而且能够适应不同的底质和多种食物来源。它们可以出现在从 *Cruziana* 到 *Nereites* 遗迹相的许多部位。在公乌素组,根据其中始终出现笔石、浮游三叶虫及深、冷牙形石且其中发育等积岩,其沉积部位应为大陆斜坡。此外,波兰侏罗-第三纪 Carpathian 复理石遗迹化石及共生的有孔虫研究^[11]表明, *Zoophycos* 等遗迹化石出现的水深范围为 200—500 m;而一些蛇曲形及网状遗迹为 600—2000 m,有些甚至超过 2000 m;放射形遗迹则介于二者之间。根据公乌素组第2组合中放射形遗迹大量出现,等积岩中共生有网状遗迹 (第3组合),以及第4组合中出现 *Zoophycos* 的事实,推测该组沉积时水深至少为 200—600 m。

综合沉积学特征,遗迹化石组合及古生物特点,公乌素组沉积环境经历了如下演变:最早期水体宁静而略微贫氧,沉积了富含笔石和少量腕足类、三叶虫的灰绿色、灰黑色页岩;之

后溶解氧含量逐渐增大，泥质含量增高，有机质丰富，底内生物开始活动，形成了内生进食迹为特征的遗迹组合（组合1、2）和薄层泥灰岩、页岩；随着溶解氧含量近于正常，沉积了以钙质粉砂岩为主的砂质等积岩，伴随形成了 *Helminthopsis* 遗迹组合（组合3）。稍后，等深流作用停止，沉积了薄层泥质灰岩为主的沉积，形成了第4遗迹组合，但此时溶解氧含量可能仍近于正常，只略微贫氧。

结 论

（1）根据沉积特点、遗迹化石、古生物特征，公乌素组上部的粉砂岩初步确认为砂质等积岩。

（2）公乌素组沉积期，海水深度一直较深，沉积位置为有等深流活动的大陆斜坡，水深至少为 200—600 m。

致谢：本文写作过程中曾得到中国地质大学（北京）杨式溥教授的指导；标本照像和粒度分析分别由该校王树元师傅和图像分析室承担。贺自爱教授级高工、和政军博士曾对初稿提出过宝贵意见，赵珍清同志帮助进行了部分薄片的鉴定，在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Hollister C D, Heezen B C. Geologic effects of ocean bottom currents. In: Gordon A L, ed. Studies in physical oceanography—A tribute to George Wust on his 80th birthday. New York: Gordon and Breach, 1972. 37—66
- 2 库克 H E, 伊诺思 P 编. 深海碳酸盐环境. 冯增昭等译. 北京: 地质出版社, 1987. 100—124
- 3 Heezen B C, Hollister C D, Ruddiman W F. Shaping of the continental rise by geostrophic contour currents. *Science*, 1966, 152 (3721): 502—508
- 4 Lovell J P B, Stow D A V. Identification of ancient sandy contourites. *Geology*, 1981, 9: 347—349
- 5 周正国, 李翔. 秦岭山阳地区上泥盆统等积岩的发现及其地质意义. 岩相古地理文集 3. 北京: 地质出版社, 1987. 17—26
- 6 Frey R W, Seilacher A. Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, 1980, 13: 183—207
- 7 Crimes T P, Crossley J D. Inter-turbidite bottom current orientation from trace fossils with an example from the Silurian flysch of Wales. *J. Sed. Petrology*, 1980, 50 (3): 821—830
- 8 陈均远等. 鄂尔多斯地台西缘奥陶纪生物地层研究的进展. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所集刊 20 号. 北京: 科学出版社, 1984. 1—31
- 9 安泰庠, 郑昭昌. 鄂尔多斯盆地周缘的牙形石. 北京: 科学出版社, 1990. 1—201
- 10 杨式溥. *Zoophycos* 在中国石炭系的发现及其环境意义. 石油与天然气地质, 1984, 5 (3): 228—235
- 11 Książkiewicz A. Trace fossils in the flysch of the polish Carpathians. *Paleontologica Polonica*, 1977, 36: 1—208

IDENTIFICATION OF CONTOURITES IN MIDDLE ORDOVICIAN GONGWUSHU FORMATION, ZHUOZISHAN, AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENT

Li Rihui

(Institute of Marine Geology, MGMR, Qingdao)

Abstract

The Middle Ordovician Gongwushu Formation, distributed in the Zhuozishan area, Inner Mongolia, consists chiefly of greycoloured thin-bed limestones interbedded with shales in the lower part and thin-bed siltstones in the upper. It also yields abundant trace fossils, some planktonic organism fossils. In terms of its sedimentary characteristics, trace fossil assemblages and the related body fossils, it is suggested that the upper thin-bed siltstones should be sandy contourites, and its sedimentary characteristics are in accordance with the criteria proposed by Hollister and Heezen, Lovell and Stow. The main grain parameters are σ_1 : 0.45—0.57; SK_1 : (-)0.599; K_1 : 3.089.

Trace fossils which co-exist with the contourites are ichnogenus *Helminthopsis* and *Paleodictyon*. Body fossils which occurred in the formation are graptolites, small thin-shelled brachiopods and deep-cold water conodonts.

The sedimentary environment of the formation is believed to be a continental slope with water depth no less than 200—600 metres during the deposition process.