

# 宁夏狼嘴子地区香山群徐家圈组鲕粒石灰岩的特征及成因研究

王宁<sup>1</sup>, 何幼斌<sup>1</sup>, 李向东<sup>2</sup>, 苑伯超<sup>1</sup>, 罗进雄<sup>1</sup>

(1. 长江大学地球科学学院;

2. 中国地质科学院地质研究所)

**摘要:** 宁夏中宁县狼嘴子地区香山群徐家圈组中部发育了数层鲕粒石灰岩, 成层状产出大套页岩之中。通过野外露头剖面和室内薄片观察, 对鲕粒石灰岩的宏观及微观特征进行了研究。对颗粒粒径的统计和对比分析表明, 鲕粒与假鲕、正常鲕与表皮鲕分别来自不同环境, 粒度分析结果显示其具有重力流搬运的粒度特征。结合其沉积背景, 此种鲕粒石灰岩应为深水异地沉积成因, 鲕粒可能来自同时期的鄂尔多斯地块西缘碳酸盐台地, 由重力流搬运至深水。

**关键词:** 香山群; 徐家圈组; 鲕粒石灰岩; 深水异地沉积

**中图分类号:** P581

## Characteristics and Genesis of oolitic limestone in the Xujiajuan Formation of Xiangshan Group, Langzuizi Area of Ningxia

WANG Ning<sup>1</sup>, HE Youbin<sup>1</sup>, LI Xiangdong<sup>2</sup>, YUAN Bochao<sup>1</sup>, LUO Jinxiong<sup>1</sup>

(1. School of Geoscience, Yangtze University;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

**Abstract:** Several layers of oolitic limestone are developed in the middle of Xujiajuan Formation in Langzuizi of Zhongning county, Ningxia Autonomous Region, occurring in a large set of yellowish green shale with layer structure. Based on field outcrop section and thin-section observation, macro and micro features of oolitic limestone are studied. The statistical data and analysis and contrast of particle size show that oolites and pseudoolites, normal oolites and epidermis oolites are formed in different conditions, with the grain size characteristics of gravity flow transportation. Combined with its sedimentary background, this kind of oolitic limestone is considered to be deep water allogene deposits. The oolites might come from the contemporaneous carbonate platform in the west margin of Ordos Block, and were transported to deep water by gravity flow.

**Key words:** Xiangshan Group; Xujiajuan Formation; oolitic limestone; deep water allogene deposits

## 0 引言

鲕粒是由放射或同心包壳纹层包裹成核物质而形成的球形或椭球形颗粒。由于沉积环境和结构组分的成因有关, 而鲕粒的形成对环境十分敏感, 故可以通过某些结构组分恢复和了解其沉积环境<sup>[1]</sup>。鉴于此种原因, 鲕粒在沉积环境和碳酸盐岩微相的研究中扮演着重要的角色<sup>[2-3]</sup>。鲕粒在形成后可被搬运至邻近的环境, 而且也可被搬运至较远的地方, 如大陆斜坡和盆地<sup>[4]</sup>。现有的关于异地搬运鲕粒的实例中<sup>[5-9]</sup>, 其异地搬运的性质大多是根据沉积背景

基金项目: 高等学校博士学科点专项学科基金联合资助课题(20104220110002)

作者简介: 王宁(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积学的学习与研究

通信联系人: 何幼斌(1964-), 男, 教授, 主要从事沉积学的教学和研究工作. E-mail: heyb122@163.com

进行判定, 而较少对鲕粒以及鲕粒石灰岩岩体的特征进行研究。

宁夏中宁县狼嘴子地区徐家圈组中部发育了数层鲕粒石灰岩, 成层状产出大套深水页岩之中。鲕粒为典型的浅水成因的颗粒, 以其为主要组分的石灰岩在这套地层中显得极不“协调”。本文在野外工作的基础上, 结合岩石薄片观察, 对该鲕粒石灰岩的特征及成因展开探讨。

## 1 区域地质背景

香山群分布于宁夏中南部的香山、米钵山及内蒙古阿拉善左旗东南部的马夫峡子、元山子等地, 岩性上主要为灰绿色轻变质中—细粒长石石英砂岩、板岩、砾屑灰岩和硅质岩等, 上部夹少量海底火山岩喷发和浅成侵入的拉斑玄武岩质辉绿岩<sup>[10]</sup>。在大地构造上, 香山群位于鄂尔多斯地块、阿拉善地块、秦岭—祁连造山系的构造连接部位, 属于早古生代秦—祁—贺三叉裂谷系构造结点的重要组成部分<sup>[11]</sup>。20 世纪 60 年代初, 宁夏区测队在 1:20 万区调时创立“香山群”, 并将其划分为 4 个亚群。90 年代中期开展 1:5 万区调及地层清理时, 重新建立了香山群地层层序, 将原香山群第一亚群归入中奥陶统米钵山组上部, 原第二、三、四亚群分别新建徐家圈组、狼嘴子组、磨盘井组<sup>[12]</sup>。本文采用将香山群分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组的方案, 并将其时代置于中、晚奥陶统, 下部的徐家圈组属中奥陶统。

研究区位于鄂尔多斯盆地西缘(图 1), 中奥陶世时该地区古地理分异明显, 自东而西依次发育了鄂尔多斯古陆、碳酸盐岩台地、碳酸盐岩斜坡、深水盆地、阿拉善古陆<sup>[13]</sup>和北祁连岛弧<sup>[14-15]</sup>。

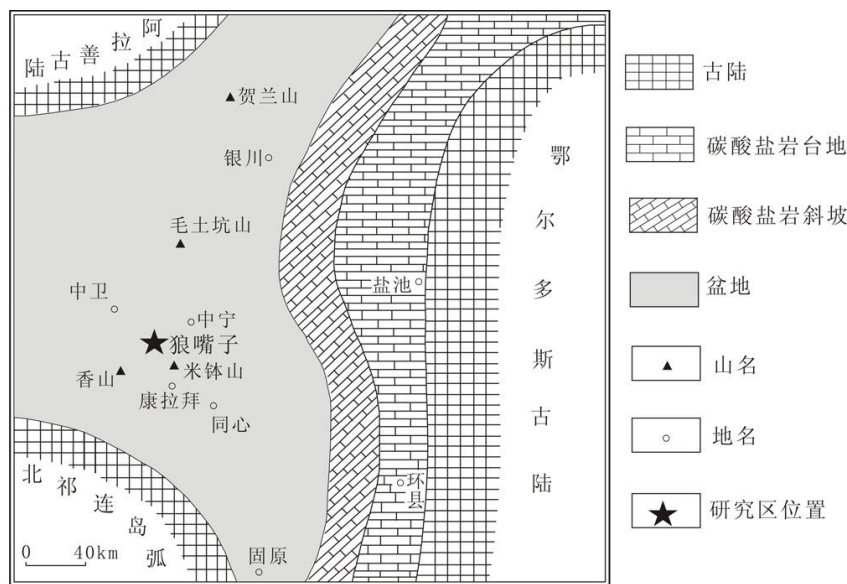


图 1 研究区中奥陶世古地理背景图(据文献[13]修改)

Fig. 1 Map showing geological background of the Middle Ordovician of study area (modified from [13])

## 2 岩性特征与沉积背景

狼嘴子地区发育徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组(图 2)。徐家圈组是一套以深水斜坡相为特征的砂岩、页岩<sup>[10]</sup>。主要为灰绿、黄绿色轻变质中—细粒长石石英砂岩、钙质砂岩、粉砂岩和杂色页岩。下部砂岩较多, 而页岩相对较少, 厚度变化大; 中上部砂岩相对减少, 页岩相对增多(图 3), 夹粉砂质石灰岩, 局部可见薄层鲕粒石灰岩; 顶部灰绿色页岩与深灰色薄层泥晶石灰岩互层。砂岩底部发育槽模、沟模, 下部发育正粒序, 总体上构成向上变薄变细序列, 部分可见鲍玛序列 Ta-e 和 Tb-e 段。粉砂岩和粉砂岩质石灰岩中可见波痕、交

70 错层理和双向交错层理等。页岩样品稀土元素具有较为明显的 Ce 异常和 Eu 异常,  $TiO_2/MnO$  和  $Al_2O_3/MnO$  由下至上逐渐减小, 薄层泥晶石灰岩的 Sr/Ba 值为 10.5~52.5。上述特征反映了狼嘴子地区的徐家圈组为深水下斜坡沉积环境, 发育浊流沉积, 部分粉砂岩和粉砂岩质石灰岩中的波痕、交错层理和双向交错层理可能为内波、内潮汐作用的产物<sup>[17]</sup>。

75 狼嘴子组下部为灰绿、黄绿色中厚层轻变质细粒长石石英砂岩、杂色页岩; 从下到上, 砂岩减少、厚度变薄, 页岩增多, 见小型交错层理; 上部为深灰色中—薄层硅岩、紫红色、灰绿色页岩及灰白色含硅质泥晶白云岩, 另见有辉绿岩顺层侵入, 顶部杂色页岩夹黑色薄层硅岩。据研究<sup>[11,18]</sup>, 薄层硅岩中轻重稀土分异作用强, 为大陆边缘型硅岩。硅岩、拉斑玄武质火山岩和韵律较薄的砂泥岩共同组成发育不全、非典型的“蛇绿岩”。辉绿岩中常量元素具有高镁、铁, 低钛的特点, 基本显示与洋脊拉斑玄武岩特征基本一致; 稀土元素球粒陨石标准化配分模式、微量元素特征也与洋中脊拉斑玄武岩相似。这些特征反映了狼嘴子组应形成于深海环境。

80 磨盘井组由灰绿色、黄绿色、紫灰色、紫红色厚层—块状轻变质中—细粒长石石英砂岩夹页岩、粉砂质页岩组成, 自下而上, 页岩相对增多。与徐家圈组和狼嘴子组相比, 砂岩在地层中所占比例明显增多。

85

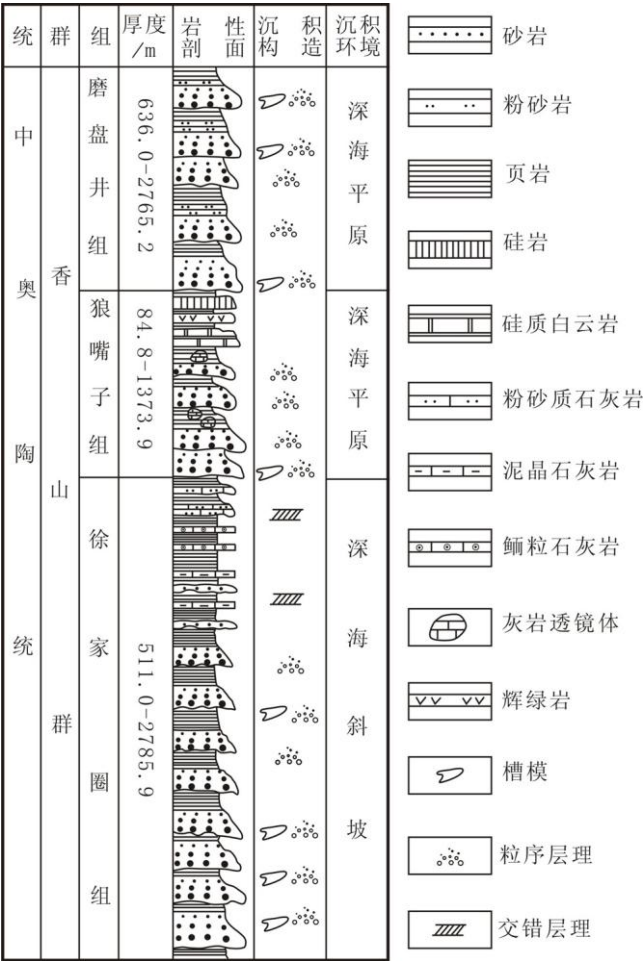


图 2 宁夏中宁香山群沉积柱状示意图 (据文献[16]修改)

Fig. 2 Sedimentary columns of Xiangshan Group in Zhongning, Ningxia(modified from [16])

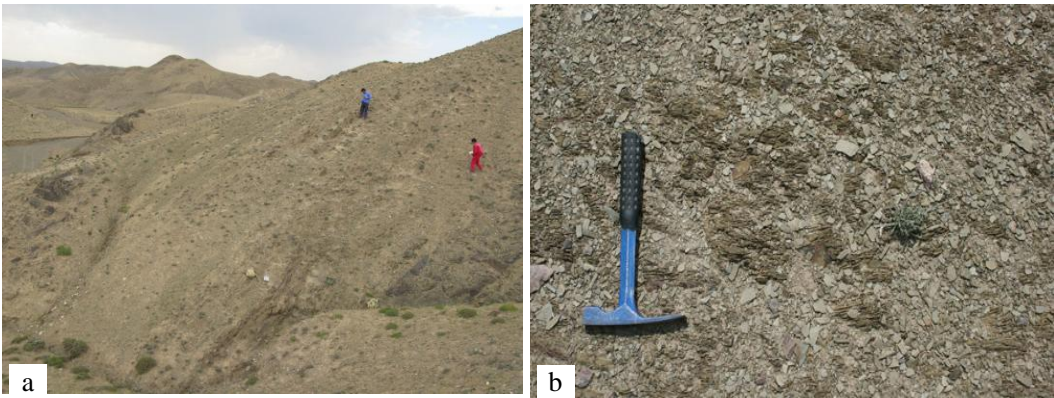


图3 香山群徐家圈组中的深水原地沉积

Fig. 3 Deep water autochthonous deposit in the Xujiajuan Formation of Xiangshan Group

90 a-徐家圈组中部灰绿色页岩夹薄层砂质石灰岩，砂质石灰岩中发育交错层理与双向交错层理，页岩为原地沉积，狼嘴子；b-徐家圈组上部的页岩，新鲜面呈灰绿色，风化后呈黄绿色，狼嘴子。

3 鲕粒石灰岩的特征

本次研究的四层鲕粒石灰岩发育于宁夏中宁县狼嘴子地区的徐家圈组中部（图4），成层状产出大套页岩之中，横向上比较稳定，延伸较远，可达数十米（图5-a）。新鲜面呈深灰色，风化面为褐灰色。层厚不大，自下而上分别为12cm、18cm、14cm、10cm。顶底均与页岩呈突变接触，底界面不平，顶界面较平整（图5-b）。鲕粒分布较为均匀，局部可见交错层理（图5-a），但并不普遍。

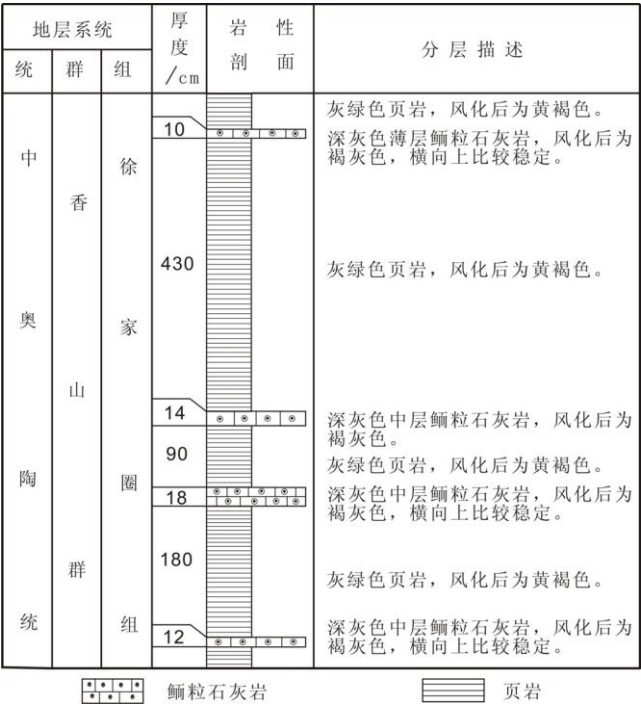


图4 宁夏中宁狼嘴子徐家圈组鲕粒石灰岩段岩性柱状图

Fig. 4 Lithologic column of oolitic limestone interval in the Xujiajuan Formation at Langzuizi Area, Zhongning, Ningxia

100 显微镜下观察发现，鲕粒石灰岩中鲕粒含量80%左右，有部分砂屑和石英颗粒。鲕粒结构十分明显（图5-c~h），大部分呈球状，少数呈椭球状，球状者约占80%；粒径大多在0.5~1mm之间。鲕粒以同心鲕为主，部分具放射状结构，辐射状的放射纹层可切穿同心纹层；其次为放射鲕，另有少量偏心鲕、变形鲕、复鲕（图5-f）和以单个或多个方解石晶

105



粒为鲕内组分的重结晶鲕（图 5-h）；部分鲕粒破裂、残缺或发生挤压变形（图 5-e）。鲕粒核心主要为灰泥组成的砂屑、粉屑或方解石晶粒；核心的形态决定了鲕粒的形态，后期圈层的加积也会改造先期核心的形态，但一般不起实质性作用。多数同心鲕的同心圈层较为明显，呈亮层和暗层交互出现。鲕粒间填隙物主要为粉晶方解石，次为泥晶方解石。

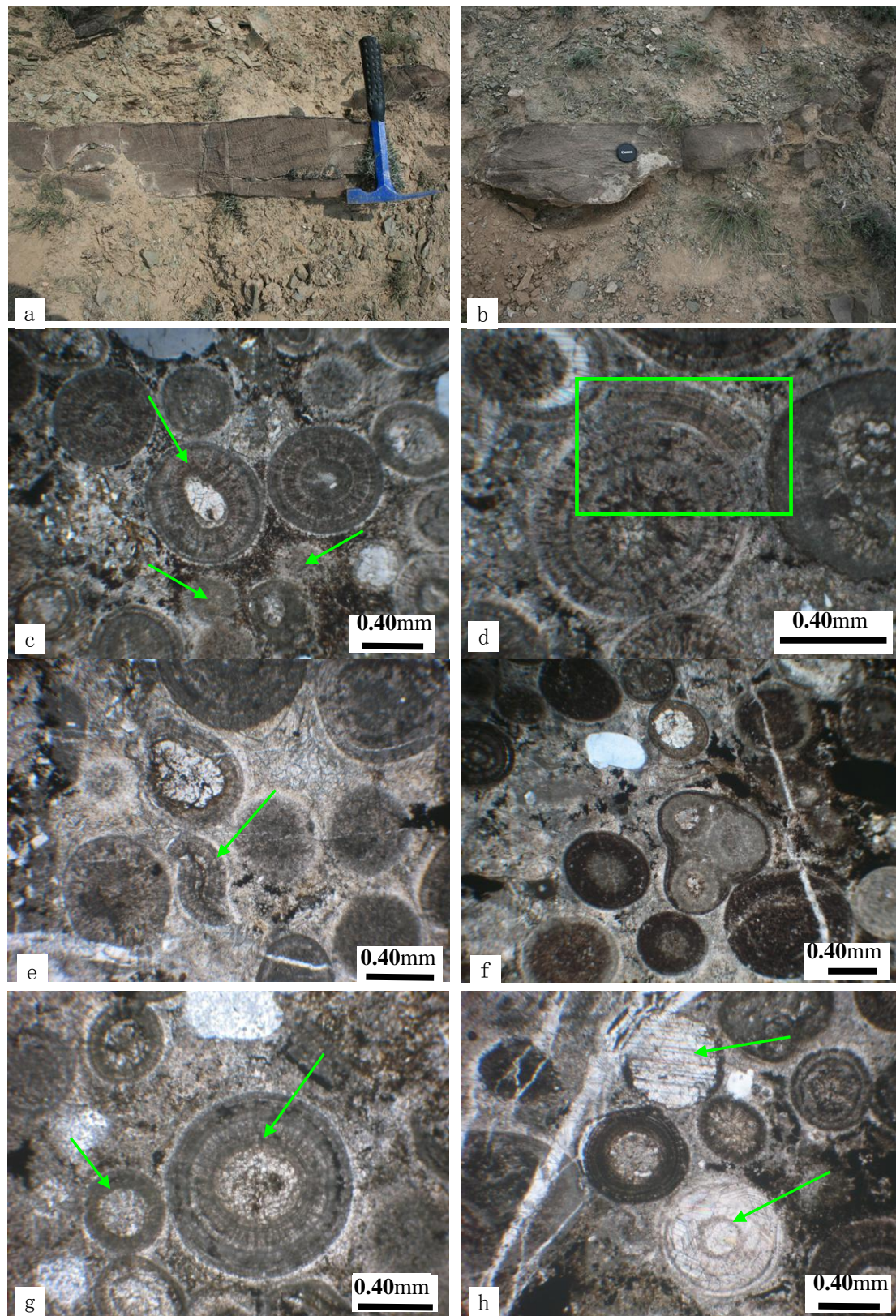


图 5 宁夏中宁狼嘴子地区徐家圈组鲕粒石灰岩露头照片及单偏光下显微结构特征

Fig. 5 Outcrop photos and plainlight microscopic architectural feature of oolitic limestone in the Xujiajuan Formation at Langzuizi Area, Zhongning, Ningxia

a-徐家圈组中部的页岩夹中层鲕粒石灰岩，呈层状分布，横向上较稳定，鲕粒石灰岩中可见交错层理；b-徐家圈组中部的页岩夹中层鲕粒石灰岩，石灰岩单层厚 10~18cm，底部凹凸不平；c-同心鲕、砂屑，同心鲕核心大于砂屑，薄片显微照片；d-同心层被部分磨蚀的正常鲕，薄片显微照片；e-机械破碎的鲕粒，薄片显微照片；f-同心鲕、复鲕、表皮鲕、微晶鲕，薄片显微照片；g-正常鲕的核心粒径大于非正常鲕的核心粒径，薄片显微照片；h-重结晶鲕，薄片显微照片。

对 240 颗原生沉积的鲕粒的类型、粒径以及核心粒径进行了统计，如表 1 所示。从统计数据中可以看出：① 鲕粒核心最大直径为 0.70mm，假鲕粒径最小为 0.2mm，二者成分一致；② 正常鲕核心最大直径为 0.60mm，表皮鲕核心最小直径 0.25mm。这说明：① 在粒径较大的颗粒形成了鲕粒的情况下，却有粒径较小的颗粒未能形成鲕粒（图 5-c）；② 粒径较大的颗粒形成正常鲕，但粒径较小的颗粒却未能形成正常鲕（图 5-g）。另外，镜下观察还发现：①具有相同大小核心的同种类型的鲕粒，其粒径却相差较大；②尽管有石英颗粒的混入，而且石英颗粒的粒径范围为 0.15~1.1mm，其最小值远远小于鲕粒核心的最大直径，但镜下却未见以石英颗粒作为核心的鲕粒。

表 1 鲕粒类型及粒径、核心统计  
Tab. 1 Types, partical size and nucleus of ooids

鲕粒类型	比例	鲕粒粒径（mm）		核心粒径（mm）	
		最大值	最小值	最大值	最小值
正常鲕	68%	1.24	0.32	0.60	0.05
表皮鲕	17%	1.10	0.30	0.70	0.25
假鲕	14%	0.75	0.20	—	—
复鲕	1%	1.05	0.80	0.45	0.3

对于碳酸盐岩来说，尽管大多是依据造岩生物、岩石类型、异化颗粒及胶结物成分来判定其沉积环境，但由于鲕粒、球粒、内碎屑等碳酸盐颗粒在沉积过程中也会明显地受到水动力条件的影响与制约，因而同陆源碎屑一样存在着各种不同的搬运方式，存在各类粒度分布曲线<sup>[19]</sup>。鲕粒石灰岩中的鲕粒、砂屑、石英等颗粒在沉积过程中均受水动力条件控制，因此将它们的粒径一并统计，每个样品统计约 500 个颗粒，计算出样品的粒度参数，如表 2 所示。其中，MZ 为平均粒径、 $\delta_1$  为标准偏差、SK<sub>1</sub> 为偏度、K<sub>G</sub> 为峰度。

表 2 鲕粒石灰岩粒度参数表  
Tab. 2 Size parameter of the oolitic limestone

样品号	平均粒径 M <sub>Z</sub> (φ)	标准偏差		偏度		峰度	
		δ <sub>1</sub>	分选	SK <sub>1</sub>	程度	K <sub>G</sub>	形态
1	1.196	0.842	中等	0.150	正偏	0.900	平坦
2	1.060	1.016	较差	0.356	正偏	0.763	平坦
3	1.112	0.959	中等	0.287	正偏	0.754	平坦
4	1.101	0.940	中等	0.308	正偏	0.641	平坦
5	1.078	0.815	中等	0.363	正偏	0.433	平坦

由表 2 可知，鲕粒石灰岩中颗粒的平均粒径在 0.43~0.48mm 之间；标准偏差在 0.815~1.016 之间变化，分选中等一差；偏度为明显的正偏态，SK<sub>1</sub> 为 0.150~0.363；峰态在 0.433~0.900 之间，比较平坦。图 6 为样品的粒度概率累积曲线图，曲线为宽缓上拱的弧形，斜率在 20~30 之间。



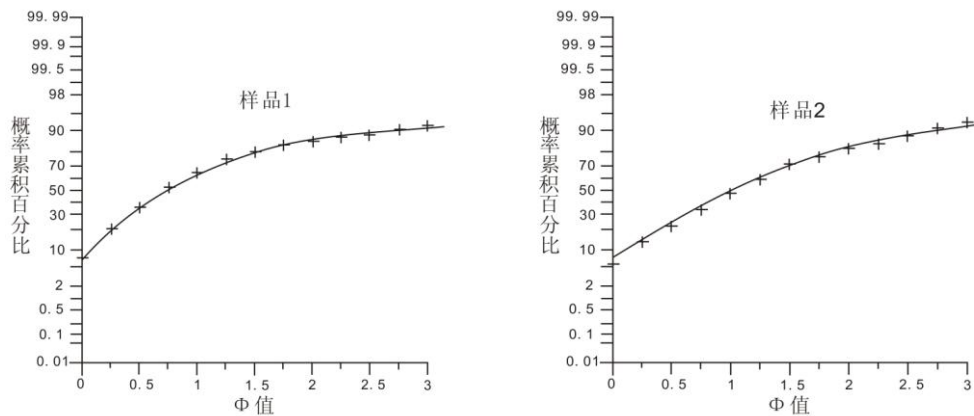


图 6 样品粒度概率累积曲线图

Fig. 6 Grain size accumulation curve of the specimen

#### 4 成因解释与讨论

香山群的鲕粒石灰岩已有报道<sup>[11-12,20-24]</sup>。最初确定香山群的时代为中寒武世，便是依据在米钵山组（原第一亚群）和狼嘴子组（原第三亚群）的鲕粒石灰岩透镜体中发现了中寒武世徐庄期的三叶虫化石 *Inouyia*、*Metagraulos* 等。后被认为，这些化石产于似层状和块状外来体或再沉积的碳酸盐砾石中，不具有指示时代的意义<sup>[11-12,20-22]</sup>。也有观点认为，产化石的岩体虽为滑塌成因，但也应视为准同生沉积，是从浅水陆棚搬运而来<sup>[23-24]</sup>。香山群的时代归属至今难有定论，争论问题之一便是产化石的鲕粒石灰岩岩体与围岩是否具有同时或准同时的关系。本次研究的鲕粒石灰岩成层状分布，横向上比较稳定，延伸较远，可达数十米；厚度不大，不存在“岩块”与“基质”之分，鲕粒石灰岩中亦未见生物化石，一定程度上说明与米钵山组和狼嘴子组的透镜状鲕粒石灰岩在成因上可能有所差别。

根据 Carozzi 关于鲕粒形成机制的论述<sup>[25]</sup>：在相同的水动力条件下，粒径较小的颗粒形成鲕粒需要的水动力条件小，应该先形成鲕粒或者所有颗粒同时形成鲕粒；在同等条件下，正常鲕的最大核心应小于表皮鲕的最小核心。因此由之前的统计数据可以确定鲕粒与假鲕、正常鲕与表皮鲕分别形成于不同环境中但却沉积于同一环境，经历了再沉积作用。异地保存的鲕粒与原地沉积形成的鲕粒的区别在于：微结构、大小、壳层厚度、以及伴生的颗粒类型<sup>[26]</sup>。原地鲕粒通常无磨碎、类型单一、鲕粒生长的最终粒径大小趋于一致。异地鲕粒通常为不同粒径鲕粒的混杂堆积以及由于远距离搬运而导致的鲕粒纹层的磨损<sup>[4]</sup>。研究区的鲕粒类型包括同心鲕、放射鲕、偏心鲕和复鲕等，鲕粒粒径大小不一并且和陆源碎屑颗粒混合，表现了鲕粒再搬运、再沉积过程中的掺和作用。部分鲕粒残缺、破碎以及鲕粒同心层被磨蚀（图 5-d，图 5-e），表明了其在搬运过程中经历了强烈的磨蚀作用。

鲕粒石灰岩与下伏页岩接触界面不平，表明鲕粒石灰岩沉积时的水动力较强，从而对下伏的页岩造成侵蚀；加之鲕粒石灰岩与其产出背景一大套黄绿色页岩并不具有沉积环境上的相似性，故鲕粒石灰岩应为异地沉积成因。现代海洋沉积物的研究实例表明，鲕粒常因重力流搬运而出现在大陆斜坡或深海环境中<sup>[5-6,27]</sup>。鲕粒石灰岩中未见明显的浊流或其他重力流的沉积构造特征，由于缺少相标志，具体的重力流沉积类型无法判断。推测其经由重力流搬运至深水，由于颗粒浓度超过流体负载快速沉降而形成块状层理。

如前所述，图 5-a 可见鲕粒石灰岩中发育交错层理，但该沉积构造并不普遍。尽管交错层理并非牵引流沉积所特有，但这里不排除其被搬运至深水后经底流改造从而形成交错层理的可能性。值得注意的是，研究区发育内波、内潮汐沉积<sup>[17]</sup>，其宿主岩性多为细砂至粉砂<sup>[28]</sup>，

可知水动力条件较弱,对沉积物的改造能力有限,加之鲕粒的粒度较粗,因此难以形成明显且普遍的牵引流沉积构造。

鲕粒形成于浅水动荡环境,而徐家圈组的沉积环境并不具备生成鲕粒的条件。研究区徐家圈组沉积时期的区域斜坡方向为 SSW 方向<sup>[29]</sup>,这与该区奥陶系滑塌沉积研究成果<sup>[21]</sup>及香山群物源分析研究成果<sup>[11]</sup>基本一致,且与徐家圈组地层厚度由北向南变薄的事实相吻合,因此徐家圈组沉积时期的物源方向大体上应为自北向南。而同时期的鄂尔多斯西缘碳酸盐台地上,广泛发育水动力条件较强的台地边缘浅滩,局限海环境发育鲕粒滩<sup>[30]</sup>,可为徐家圈组鲕粒石灰岩的形成提供物质来源。钻井资料显示,研究区以东的环 14 井中奥陶统平凉组发现了厚 15m 左右的褐灰色鲕粒石灰岩,覆于灰绿色钙质细砂岩之上,鲕径 0.35~0.55mm;环县的车道组剖面之上亦发现 2.2m 厚的鲕粒石灰岩,鲕粒含量约为 90%,直径约为 0.5mm<sup>[31]</sup>。结合徐家圈组沉积时期鄂尔多斯地区的岩相古地理研究成果<sup>[32]</sup>,推测狼嘴子地区的鲕粒可能来自研究区北部的鄂尔多斯地块西缘碳酸盐台地。

## 5 结论

通过野外露头剖面和室内薄片观察,对宁夏中宁县狼嘴子香山群徐家圈组中部的鲕粒石灰岩进行了研究,统计数据及对比分析表明鲕粒石灰岩中的颗粒来源于不同的环境,粒度统计结果显示其具备重力流搬运的特征。结合其沉积背景,此种鲕粒石灰岩应为深水异地沉积成因,鲕粒可能来自同时期的鄂尔多斯地块西缘碳酸盐台地,由重力流搬运至深水。深水异地沉积成因解释了鲕粒石灰岩这种“浅水标志”的形成,且与徐家圈组的深水沉积环境相吻合。

鲕粒石灰岩多可作为浅水沉积的标志,但不能一概而论。在沉积环境的识别过程中不能忽视异地沉积的情况,当与沉积环境不甚协调时,在考虑沉积环境的基础上还要结合沉积物自身的特征进行分析,从而对其成因做出合理解释。

## [参考文献] (References)

- [1] 王英华,杨承运,张秀莲. 关于鲕粒与沉积环境的探讨[A]北京大学地质学系. 地质研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1982. 78—85.
- [2] Bauer J, Kuss J, Steuber T. Platform environments, microfacies and systems tracts of the Upper Cenomanian-Lower Santonian of Sinai, Egypt[J]. Facies, 2002, 47: 1—25.
- [3] 张旭,张宁,杨振鸿,等. 北京西山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, 28(6): 25—30.
- [4] Flügel E. . Microfacies of Carbonate Rocks[M]. New York: Springer-Verlag, 2004.
- [5] P. S. Rao. Ooid Turbidites from the Central Western Continental Margin of India[J]. Geo-Marine Letters 1989, 9: 85—90.
- [6] P. S. Rao, Ch. M. Rao and N. P. C. Reddy. Pyritized ooids from the Arabian Sea Basin. Deep Sea Research[J], 1988, 35(7): 1215—1221.
- [7] 高振中,彭德堂,刘学峰,等. 塔里木盆地 TZ30 井中上奥陶统内潮汐沉积[J]. 江汉石油学院学报, 1996, 55(5): 9—14.
- [8] 秦松,张涛,苏文博,等. 四川旺苍志留系鲕粒灰岩特征及地质意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2011, 36(1): 43—52.
- [9] 白雪峰,刘万洙,程日辉,等. 塔里木盆地鲁克塔格地区奥陶纪碳酸盐沉积环境不稳定性的岩石学证据[J]. 新疆地质, 2006, 24(4): 369—373.
- [10] 何幼斌,李向东,罗进雄,等. 宁夏香山群深水沉积类型及其研究意义[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(6): 11—17.
- [11] 徐黎明,周立发,张义楷,等. 香山群沉积岩记录及其反映的大地构造环境[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2006, 36(3): 442—448.



- [12] 李天斌. 宁夏香山群地层时代的再讨论[J]. 西北地质, 1997, 18(2): 1—9.
- [13] 高振中, 罗顺社, 何幼斌, 等. 鄂尔多斯西缘奥陶纪海底扇沉积体系[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 119—125.
- 220 [14] 左国朝, 刘寄陈. 北祁连早古生代大地构造演化[J]. 地质科学, 1987, 22(1): 14—24.
- [15] 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J]. 地质学报, 1994, 68(1): 1—15.
- [16] Y.-B.He, J.-X.Luo, X.-D.Li, Z.Z.-Gao, Z.-Wen. Evidence of internal-wave and internal-tide deposits in the Middle Ordovician Xujiajuan Formation of the Xiangshan Group, Ningxia, China[J]. Geo-Mar Lett, 2011, 31: 509—523.
- 225 [17] 李向东, 何幼斌, 王丹, 等. 宁夏中奥陶统香山群徐家圈组内波和内潮汐沉积[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 513—523.
- [18] 邓昆, 周立发, 曹欣, 等. 香山群狼嘴子组硅质岩地球化学特征及形成环境[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 497—505.
- 230 [19] 王慧中, 项立嵩, 张国栋. 运用粒度分析方法探讨古代砂体的沉积环境[J]. 同济大学学报, 1979, 2: 35—50.
- [20] 张抗. 香山群时代讨论[J]. 石油实验地质, 1993, 15(3): 309—316.
- [21] 张抗. 鄂尔多斯盆地西、南缘奥陶系滑塌堆积[J]. 沉积学报, 1992, 10(1): 11—17.
- [22] 王振藩, 郑昭昌. 宁夏香山群的时代探讨[J]. 中国区域地质, 1998, 17(1): 69—73.
- 235 [23] 周志强, 校培喜. 对香山群时代的商榷[J]. 西北地质, 2010, 43(1): 54—59.
- [24] 谢从瑞, 校培喜, 由伟丰, 等. 香山群的解体及地层时代的重新厘定[J]. 地层学杂志, 2010, 34(4): 410—416.
- [25] Carozzi A V. Cyclic Sedimentation of Primary Dolomite and Limestone[J]. Journal of Sedimentary Research. 1960, 32(3): 451—471.
- 240 [26] Nancy Chow, and Noel P James. 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.
- [27] A Bosellini, D Masetti, M Sarti. A Jurassic "Tongue of the Ocean" infilled with oolitic sands: The Belluno Trough, Venetian Alps, Italy[J]. Marine Geology, 1981, 44: 59—95.
- 245 [28] 李向东, 何幼斌, 罗进雄, 等. 宁夏香山群徐家圈组基本沉积单元[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 1—10.
- [29] 李向东, 何幼斌, 王丹, 等. 贺兰山以南中奥陶统香山群徐家圈组古水流分析[J]. 地质论评, 2009, 55(5): 653—662.
- [30] 罗小蓉. 鄂尔多斯西缘奥陶系碳酸盐岩储层特征[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- 250 [31] 杨文敬. 鄂尔多斯西缘奥陶纪沉积演化及其控制下的油气地质条件[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- [32] 冯增昭, 鲍志东, 张永生, 等. 鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1998