

深水异地鲕粒灰岩的特征及成因探讨

——以宁夏中宁地区香山群徐家圈组为例

王宁¹, 何幼斌¹, 李向东², 苑伯超¹, 罗进雄¹

(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 深水异地鲕粒灰岩可从宏观特征、微观特征、粒度特征及沉积构造等方面进行识别。通过宁夏中宁县狼嘴子地区香山群徐家圈组中部发育的鲕粒灰岩的野外露头剖面和室内薄片观察, 对鲕粒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特征。结合沉积背景认为, 此种鲕粒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; 中奥陶统; 鲕粒灰岩; 深水沉积; 沉积特征; 岩石成因

中图分类号 TE112.23

文献标识码 A

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圆形颗粒。由于沉积环境与结构组分的成因密切相关, 而鲕粒的形成又对环境十分敏感, 故可以通过某些结构的组分, 恢复和了解其沉积环境^[1]。鉴于此种原因, 鲕粒在碳酸盐岩微相和沉积环境的研究中扮演着重要的角色^[2-3]。鲕粒在形成后可被搬运至邻近的环境, 也可被搬运至较远的地方, 如大陆斜坡和盆地等深水地区^[4]。现有的关于异地搬运鲕粒的实例中, 其异地搬运的性质大多是根据沉积背景进行简单判定^[5-9], 而对鲕粒以及鲕粒灰岩岩体特征的研究却较少。

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灰岩, 成层状产出于大套深水页岩之中。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”。本文将在野外工作的基础上, 结合岩石薄片观察, 对该鲕粒灰岩的特征及成因展开探讨。

1 深水异地鲕粒灰岩的识别特征

1.1 宏观特征

在识别深水异地鲕粒灰岩时, 要同异地碳酸盐

岩块体进行区分。异地碳酸盐岩块体是指已固结或半固结的经过一定距离搬运再沉积而产于正常沉积地层中的规模较大的碳酸盐岩块, 其大小从数米至数千米, 岩块的时代老于基质的时代或与基质时代大致相当^[10]。因此, 异地碳酸盐岩块体是以“岩块”与“基质”为特征。深水异地鲕粒灰岩相比浅水沉积的鲕粒灰岩, 其单层厚度一般较薄, 岩层的沉积界面突变, 无环境渐变特征, 岩层产状与其上下的岩层一致。

1.2 微观特征

原地鲕粒, 指沉积在起源地方的鲕粒, 而异地鲕粒, 指经过比较明显的搬运后沉积下来的鲕粒。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^[11]。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, 而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鲕粒纹层磨损^[4]。“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”, 根据 Carozzi^[12] 这一关

收稿日期: 2012-02-20; 改回日期: 2012-05-31

基金项目: 本文受国家自然科学基金项目“鄂尔多斯盆地西缘中奥陶统深水牵引流沉积研究”(41072086)资助

王宁: 1988年生, 硕士研究生。主要从事沉积学的学习与研究。通讯地址: 434023 湖北省荆州市南环路1号

于鲕粒形成机制的论述,可用来判别鲕粒是否形成于同种水动力条件下。搬运过程中的掺杂作用会造成鲕粒类型多样,大小不一,并且可能混入其它类型的颗粒。

1.3 粒度特征

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^[13]。通过对鲕粒及其它颗粒进行粒度分析,可以在一定程度上判别搬运流体的性质。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^[5-6,14],作为被重力流搬运至深水环境再沉积的鲕粒,通常分选较差,且与浅海、台地的生物碎屑及颗粒混生。

1.4 沉积构造

沉积构造有助于确定沉积物搬运、沉积的方式、沉积介质的性质及流体的动力状况。由于多数沉积构造可以出现于不止一种的沉积环境中,因此当缺乏标志性的沉积构造(如递变层理、双向交错层理)时,往往很难根据沉积构造判断搬运流体的性质。深水环境下,可能存在重力流与不同类型的牵引流,重力流形成的沉积构造可能被后期的牵引流破坏和改造。沉积物最初可能是由重力流搬运而来,后期经历了深水牵引流的改造,或由沉积物重力流引发的牵引流搬运而来。例如塔里木盆地塔中32井中、上奥陶统的鲕粒灰岩中发育单向交错层理及双向交错层理,只能由此确定鲕粒灰岩在沉积前的最后阶段搬运改造动力属牵引流,为内潮汐沉积^[15]。

2 实例分析

2.1 地层和沉积背景

研究区位于鄂尔多斯盆地西缘。中奥陶世该地区古地理分异明显(图1),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^[16]和北祁连岛弧^[17-18]。香山群自下而上分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组,其时代为中、上奥陶统,下部的徐家圈组属中奥陶统^[19-20]。

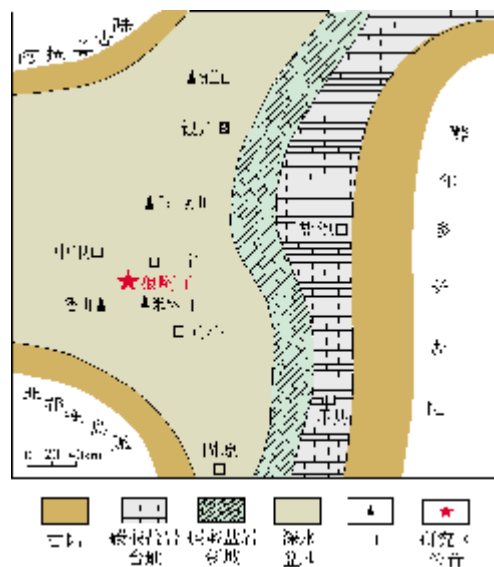
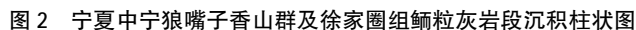


图1 研究区中奥陶世古地理背景图(据文献[16]修改)

宁夏中宁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、页岩沉积,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,局部可见薄层鲕粒灰岩;顶部灰绿色页岩与深灰色薄层泥晶灰岩互层。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,部分可见鲍马序列A-E和B-E段。粉砂岩和粉砂质灰岩中可见波痕、交错层理和双向交错层理等。页岩样品的稀土元素具有较为明显的Ce异常和Eu异常, TiO_2/MnO 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MnO}$ 由下至上逐渐减小,薄层泥晶灰岩的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,部分粉砂岩和粉砂质灰岩中的波痕、交错层理和双向交错层理可能为内波、内潮汐作用的产物。

2.2 鲕粒灰岩特征

作为本次研究对象的四层鲕粒灰岩发育于宁夏中宁县狼嘴子地区的徐家圈组中部(图2),成层状产于大套页岩之中,横向上比较稳定,延伸较远,可达数十米(图4a)。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(图2)。顶底均与页岩呈突变接触,底界面不



(b) 页岩。新鲜面呈灰绿色，风化后呈黄绿色。徐家圈组上部，狼嘴子，露头

图 3 宁夏中宁狼嘴子香山群徐家圈组中的深水原地沉积

(图 4c—4h), 大部分呈球状(约占 80%), 少数呈椭圆球状, 粒径大多在 0.5~1 mm 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

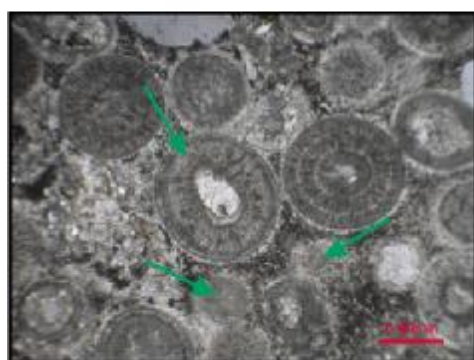
显微镜下观察发现,鲕粒灰岩中鲕粒含量 80% 左右,有部分砂屑和石英颗粒。鲕粒结构十分明显



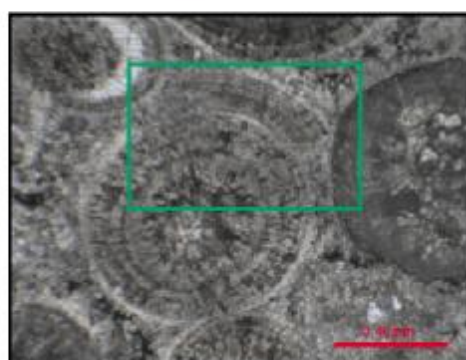
(a) 页岩夹中层鲕粒灰岩。呈层状分布, 横向土较稳定, 鲕粒灰岩中可见交错层理。徐家圈组中部, 露头



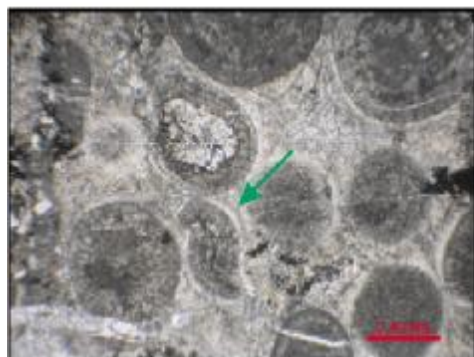
(b) 页岩夹中层鲕粒灰岩。石灰岩单层厚10~18cm, 底部凹凸不平。徐家圈组中部, 露头



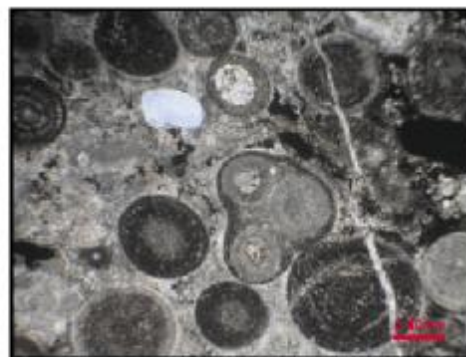
(c) 同心鲕, 核用。同心鲕核心大于砂屑。薄片



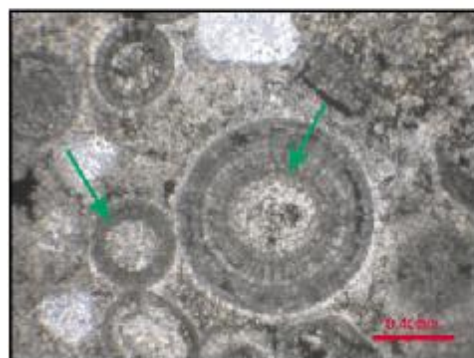
(d) 同心层部分被腐蚀的正常鲕。薄片



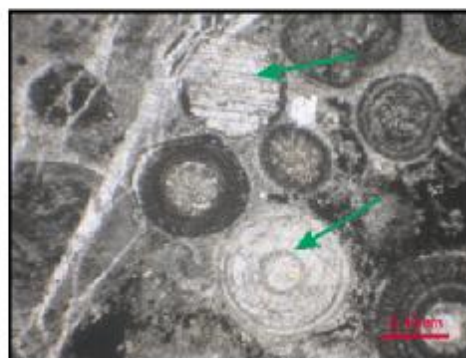
(e) 机械破碎的鲕粒。薄片



(f) 同心鲕、旋鲕、表皮鲕、微晶鲕。薄片



(g) 正常鲕的核心粒径大于非正常鲕的。薄片



(h) 重结晶鲕。薄片

图4 宁夏中宁狼嘴子地区徐家圈组鲕粒灰岩特征及显微结构特征

鲕(图 4f)和以单个或多个方解石晶粒为鲕内组分的重结晶鲕(图 4h);部分鲕粒破裂、残缺或发生挤压变形(图 4e)。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。

对 240 颗原生沉积鲕粒样品的类型、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 0.7mm,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 0.6mm,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 4c);(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 4g)。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。

对鲕粒灰岩进行粒度分析,由于鲕粒、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。由表 2 可知,鲕粒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,分选等级中—差;偏度为明显的正偏态,SK₁ 为 0.150~0.363;峰度在 0.433~0.900 之间,比较平坦。图 5 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。

表 1 宁夏中宁狼嘴子地区徐家圈组鲕粒类型、粒径及核心统计

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	0.30

表 2 宁夏中宁狼嘴子地区徐家圈组鲕粒灰岩粒度参数表

样品号	平均粒径 M _z (Φ)	标准偏差 (δ ₁)	偏度 (SK ₁)	峰度 (K _g)
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

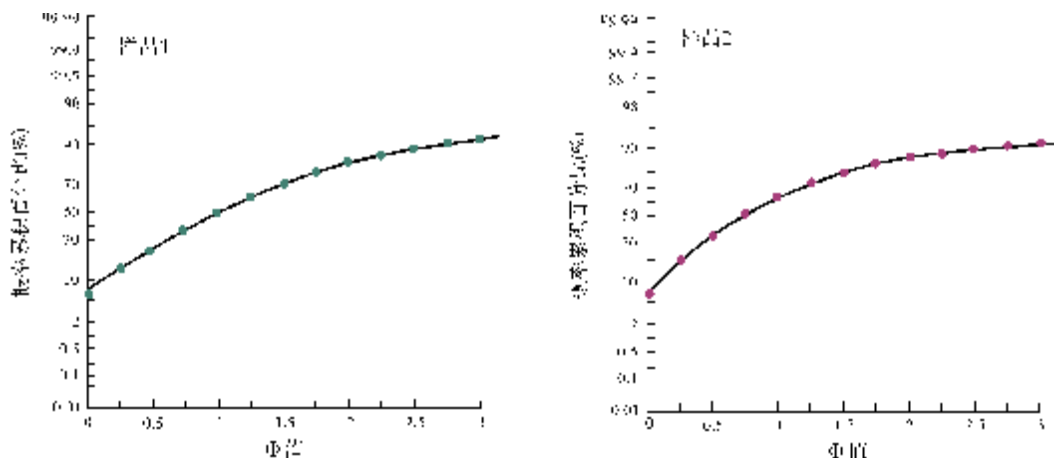


图 5 宁夏中宁狼嘴子地区徐家圈组鲕粒灰岩样品粒度概率累积曲线图

3 成因探讨

香山群的鲕粒灰岩已有报道^[21-27]。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^[21-25]。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^[26-27]。香山群的时代归属至今难有定论,争论问题之一是产化石的鲕粒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灰岩在成因上可能有所差别。

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。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 4d, 4e),表明了其在搬运过程中经历了强烈的磨蚀作用。鲕粒灰岩与下伏页岩接触界面不平,表明鲕粒灰岩沉积时的水动力较强,从而对下伏的页岩造成侵蚀,加之鲕粒灰岩与其产出背景——大套黄绿色页岩并不具有沉积环境上的相似性,故鲕粒灰岩应为异地沉积。

样品的粒度分析结果显示其具有重力流搬运的特征,但鲕粒灰岩中未见明显的浊流或其他重力流的沉积构造,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。图 4a 中可见鲕粒灰岩中发育交错层理,但此类沉积构造并不普遍。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,其宿主岩性多为细砂至粉砂^[28],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。

研究区徐家圈组沉积时期的区域斜坡方向为 SSW 方向^[20],这与该区奥陶系滑塌沉积研究成果^[24]及香山群物源分析研究成果^[21]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^[29],可为徐家圈组鲕粒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 15 m 左右的褐灰色鲕粒灰岩,覆于灰绿色钙质细砂岩之上,鲕径 0.35~0.55 mm;环县的车道组剖面之上亦发现 2.2 m 厚的鲕粒石灰岩,鲕粒含量约为 90%,直径约为 0.5 mm^[30]。结合徐家圈组沉积时鄂尔多斯地区的岩相古地理研究成果^[31],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。

4 结 论

深水异地鲕粒灰岩可从宏观特征、微观特征、粒度特征及沉积构造等方面进行识别。通过野外露头剖面和室内薄片观察,对宁夏中宁狼嘴子地区香山群徐家圈组中部的鲕粒灰岩进行了研究,统计数据及对比分析表明鲕粒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。

鲕粒为典型的浅水成因的颗粒,故鲕粒灰岩通常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

- [1] 王英华,杨承运,张秀莲. 关于鲕粒与沉积环境的探讨[C]// 北京大学地质学系. 北京大学地质学系地质研究论文集. 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): 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: 142-156.
- [5] Rao P S. Ooid turbidites from the central western continental margin of India[J]. *Geo-Marine Letters*, 1989, 9(2): 85-90.
- [6] Rao P S, Rao Ch M, Reddy N P C. Pyritized ooids from the Arabian Sea Basin[J]. *Deep Sea Research*, 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] 牛新生,王成善. 异地碳酸盐岩块体与碳酸盐岩重力流沉积研究及展望[J]. 古地理学报,2010,12(1):17-30.
- [11] 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.
- [12] Carozzi A V. Cyclic sedimentation of primary dolomite and limestone[J]. Journal of Sedimentary Research, 1960, 32(3): 451-471.
- [13] 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.
- [14] Bosellini A, Masetti D, Sarti M. A Jurassic "Tongue of the Ocean" infilled with oolitic sands: The Belluno Trough, Venetian Alps, Italy[J]. Marine Geology, 1981, 44(1-2): 59-95.
- [15] 何幼斌,高振中,张兴阳,等. 塔里木盆地塔中 32 井中上奥陶统内潮汐沉积[J]. 古地理学报,2003,5(4):414-423.
- [16] 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.
- [17] 左国朝,刘奇陈. 北祁连早古生代大地构造演化[J]. 地质科学,1987,22(1):14-24.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 徐黎明,周立发,张义楷,等. 香山群沉积岩浆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.
- [22] 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.
- [23] 张抗. 香山群时代讨论[J]. 石油实验地质,1993,15(3):309-316.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [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] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.

编辑:金顺爱

Characteristics and Genesis of Allochthonous Ordovician Limestone: A case for Middle Ordovician Xujiajuan Deepwater Oolitic Limestone in Zhongning Area, Ningxia

Wang Ning, He Youbin, Li Xiangdong, Yuan Bochao, Luo Jinxiong

Abstract: Deepwater allogene oolitic limestone can be identified by macroscopic and microscopic features, grain size characteristics and sedimentary structures. Macroscopical and microscopical observation and analysis have done to the outcrop sections and rock thin sections from Middle Ordovician Xujiajuan oolitic limestone in Zhongning Area, Ningxia. The result of statistical analysis and contrast of rock grain sizes has shown that oolites and pseudoolites, normal oolites and epidermis oolites formed in different environments. The granularity is characterized by gravity flow transportation. Combined with the sedimentary background, it is believed that this kind of oolitic limestone is deepwater allogene deposits in origin and the oolites are likely to come from the contemporaneous carbonate platform in the west margin of Ordos Block to this deep water area by gravity flow transportation.

Key words: Middle Ordovician; Oolitic limestone; Deepwater sediments; Sedimentary characteristics; Rock genesis
Wang Ning; male, Master graduate student. Add: Faculty of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023, China