

青州地区早奥陶纪碳酸盐岩微相分析及沉积环境研究

韩作振^{1,2}, 赵文龙^{1,2}, 高丽华^{1,2}, 刘固耀^{1,2}, 李瑞华³

(1. 山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590;
2. 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 3. 德州市地震局 山东 德州 253000)

摘 要: 山东青州尧王山剖面晚寒武世—早奥陶世地层发育齐全, 在该剖面下奥陶统实测基础上, 结合详细的薄片分析, 对其颗粒成分、生物组合、基质类型及结构特征等进行深入研究, 将剖面下奥陶统碳酸盐岩划分为 9 种微相类型, 即微生物岩砾屑灰岩微相、无纹层似球粒颗粒灰岩和灰泥质颗粒灰岩微相、砂屑与砾屑灰岩微相、包含有完整生物碎片的颗粒质灰泥灰岩微相、具有被包壳和被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩微相、含亮晶胶结物的被包壳的生屑颗粒灰岩微相、贝壳富集灰岩微相、海绵骨针粒灰泥灰岩微相以及灰泥灰岩微相。依据各微相特征, 结合野外宏观特征将尧王山剖面划分为 3 种沉积环境类型, 即台内浅滩、局限台地及开阔台地。

关键词: 早奥陶世; 颗粒特征; 微相; 沉积环境

中图分类号: P534.31

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2014)01-0009-11

Early-Ordovician Carbonate Microfacies and Sedimentary Environment in Qingzhou Area

Han Zuozhen^{1,2}, Zhao Wenlong^{1,2}, Gao Lihua^{1,2}, Liu Guyao^{1,2}, Li Ruihua³

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral of Shandong Province, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;
2. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 3. Dezhou Seismological Bureau, Dezhou, Shandong 253000, China)

Abstract: The late Cambrian to Early-Ordovician strata of Qingzhou Yaowangshan section in Shandong province is completely developed. Based on the survey of the outcrop of Early Ordovician, this paper made further research on the particle composition, biological combination, the matrix types and structural characteristics. The discussed region was found to present nine types of microfacies: microbial carbonate breccia, no pattern layer peloidal grainstone and the marl grainstone, calcarenites grainstone and carbonate breccia, particle marl which contains complete biological debris, the bioclastic limestone plaster with enclosed shell and ablation of bone particles, the enclosed shell of bioclastic limestone that include sparry calcite cement, shellimestone, sponge spicules wackestone, and marlstone. According to the characteristics of microfacies and field macroscopic, three types of sedimentary environment were summarized in the following: the inner platform shoals, the restricted platform and the open platform.

Key words: Early-Ordovician; particles feature; microfacies; sedimentary environment

鲁西地块位于华北地台东部, 诸多学者已对鲁西地块早奥陶世地层进行研究。贾振远与冯增昭分别对华北地台东部早奥陶世地层进行了沉积环境分析和岩相古地理研究^[1-2]。贾振远^[1]认为冶里期由南向北岩

收稿日期: 2013-12-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB723104); 国家自然科学基金项目(41372108, 41372134); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20133718130001); 山东省高校优秀科研创新团队计划与山东科技大学科研创新团队计划项目(2010KYTD103)

作者简介: 韩作振(1965—), 男, 河南新乡人, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积地层学方面的研究。E-mail: hanzz@163.com

性变化大,南部以白云岩为主,北部以灰岩为主,界限位于峰峰与唐县之间,亮甲山早期延续冶里期的沉积特征,后期以发育白云岩为主。冯增昭^[2]认为,冶里期华北地台东部自北向南,呈“两凹两隆”的古构造格局,在广阔的陆表海中,存在浅滩、云坪、滩间海、局限海、开阔海等次一级的古地理单元,其中山东地区发育鲁中浅滩和莒县浅滩;亮甲山期,云坪的面积大大增加,鲁中浅滩演变为云坪。金振奎等^[3]在研究渤海湾盆地北部奥陶纪岩相古地理时认为,冶里期岩性主要为较纯的灰泥石灰岩,亮甲山期潮坪增多,滩减少,白云岩含量明显增加,两期主要以局限海环境为主,其内散布着一些潮坪和滩。徐春华等^[4]认为济阳拗陷下古生界早奥陶世,在亮甲山末期伴随着怀远运动的区域隆升,山东及其北部的济阳拗陷区表现为海水大规模退却,原岩遭受到强烈的白云岩化而发育为一套厚层状的白云岩。

对于华北地台其他地区,也有很多学者对早奥陶世地层进行研究,如刘鹏举等^[5]通过对河北平泉地区冶里组风暴沉积研究过程中发现,冶里-亮甲山组为灰色中厚层灰岩与灰色具生物扰动构造的泥质条纹灰岩韵律性互层,以缓斜坡和近缘盆地相为主;裴放等^[6]根据牙形石在河南林县下奥陶统划分出地层仅六米厚的亮甲山组,其上界略低于河北唐山地区的亮甲山组的上界。刘波等^[7]分析了华北地台冶里组和亮甲山组的分布以及切蚀情况,认为怀远运动的影响已能解释,即构造运动导致南部基底隆升遭受强烈剥蚀,而东北部剥蚀最弱,并保持北低南高的地势。

总体来说,对于华北地台早奥陶世地层以及南高北低的构造格局已基本达成共识。鲁西地块也符合华北地层的整体沉积特征,大部分地区早奥陶世地层普遍发育以白云岩为主的三山子组^[8],而青州地区尧王山剖面早奥陶世地层与其西南部地区岩性呈现出明显的差异,连续发育冶里组和亮甲山组^[9],该地区可作为早奥陶世灰岩与白云岩的转折点,探讨该区沉积微相和沉积环境具有重要的地质意义。区内冶里组和亮甲山组岩石类型发育齐全,见大量生物碎屑及沉积组构,曾被许多学者认定为划分寒武纪与奥陶纪地层界限的理想之地,尤其对古生物的研究较多^[10-11],但缺少对该区详细的岩石类型、特征以及沉积微相类型的系统划分。因此,本文在对该剖面下奥陶统实测和岩石学特征分析的基础上,从碳酸盐岩微相的角度,进一步对尧王山剖面下奥陶统碳酸盐岩的结构组分、微相类型及特征和沉积环境进行探讨,从而揭示其古地理意义。

1 地质背景

山东省境内寒武纪—奥陶纪地层,属于华北地层大区。以怀远间断为界限分为上下两部分,怀远间断之下为寒武纪—早奥陶世地层,在山东省内连续沉积,属于稳定沉积类型^[8]。青州尧王山剖面位于山东省鲁西地层分区东北侧(图 1),剖面北侧为齐(河)-广(饶)断裂,毗邻华北平原地层分区,东侧靠近安丘-莒县断裂,露头自下而上发育崮山组、炒米店组、冶里组、亮甲山组以及部分马家沟组,地层发育较齐全,为山东省境内早奥陶世地层遭受白云岩化程度最弱的野外露头剖面之一。

剖面中早奥陶世地层岩性界线明显,岩石类型发育齐全,分为冶里组与亮甲山组。冶里组以白云质灰岩为主,岩石类型有小竹叶状砾屑灰岩、颗粒灰岩、生屑灰岩、白云质灰泥灰岩以及白云岩。亮甲山组以含燧石结核灰岩为主,发育含燧石结核-燧石条带灰泥灰岩、灰质硅质岩以及硅质岩。该剖面岩层中含有大量的生物化石,如腕足类、腹足类化石及海绵骨针等。具体岩性特征及分层描述见图 2。

2 碳酸盐岩颗粒类型及特征

碳酸盐岩微相分析是碳酸盐岩沉积学研究的重要方法和手段,国内外有关碳酸盐岩微相的研究较多,已经取得一些成果^[12-15]。微相分析是对颗粒的类型、成分、生物组合关系、基质的类型以及含量等微观角度进行分析,从而为岩性岩相的解释及沉积环境的分析提供依据^[16]。对碳酸盐岩颗粒类型的识别及特征分析是微相分析的重要依据^[16]。通过对剖面 42 份样品薄片鉴定,按照碳酸盐岩颗粒的结构形态及成因机制,识别出四种颗粒类型:砂屑、砾屑、生物碎屑以及似球粒。

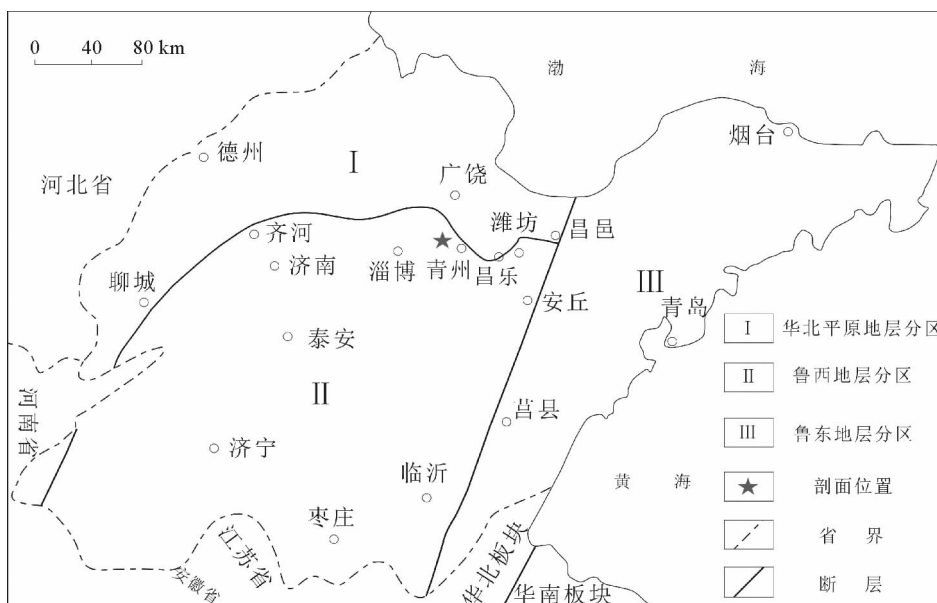


图1 青州尧王山剖面位置

Fig. 1 Location of Yaowangshan section in Qingzhou

2.1 砂屑颗粒

砂屑灰岩中颗粒大小分布不均,粒径分布范围在 0.2~2 mm,其中 0.2~0.5 mm 的砂屑约占颗粒的 60%,0.5~2 mm 的砂屑占总颗粒的 40%,颗粒的粒径呈明显的双峰式分布,颗粒磨圆度和分选性都较好。根据颗粒的内部结构,可将其分为以下三类。

1)内部含菌类砂屑:该类颗粒的粒径为 1~2 mm,约占总颗粒的 15%,磨圆度普遍较好。内部结构较均一,能清晰地辨识出长条状的葛万菌(图 3(a))。葛万菌形态差异较大,呈成层性、似穹窿状、树枝状以及杂乱状散布。该类型砂屑填充于微生物岩砾屑之间,对应于剖面第 1 层。

2)内部具有“黑斑核心”的砂屑:该类型颗粒粒径为 1.5 mm,占总颗粒的 35%左右。一般呈椭球形,磨圆度比较好。内部黑斑隐约连续分布,见明显的小斑块(图 3(b)),黑色“团块”主要集中在颗粒的中心,即核心的位置,并且黑色斑块的轮廓形状与整个颗粒的形状一致(图 3(c))。此类型砂屑比较集中,多数集中在剖面第 1 层,在第 13 层中也有薄层出露。

3)内部具有均一结构的泥晶砂屑:泥晶砂屑颗粒粒径较小,约 0.5~1 mm,约占颗粒的 30%。镜下观察无其他明显的组构(图 3(d)),磨圆度较好,分选性较差,内部偶见生物碎片。部分颗粒内具溶蚀孔,该类颗粒纵剖面跨度较大,发育于剖面第 5 层、第 11~13 层,第 8 层中偶有出现。

2.2 砾屑

剖面中砾屑粒度分布不均,呈 0.2~5 cm 不等。砾屑内部组分对砾屑来源有一定的指示意义,依据砾屑内部组分可将砾屑分为以下三种。

1)内部为均一泥晶结构的砾屑:该类型砾屑分选磨圆均较好(图 4(a)),砾屑颗粒之间混杂着砂屑颗粒,颗粒间以泥晶胶结为主,可能为结构蜕变的产物。该类砾屑产生于第 11 层底部、第 12 层底部。

2)由生物碎屑以及颗粒组成的砾屑:粒径 3 cm 左右,内部充填的小生物碎片粒度较小(图 4(b)),生屑颗粒与砂屑共生,砾屑之间以亮晶胶结为主。该类型砾屑发育于剖面第 11 层上部。

3)条纹状砾屑:内部明暗条纹相间分布(图 4(c)),暗色部分可能为微生物作用形成,此种砾屑可能为叠层石碎片经过搬运磨蚀而成。该类型砾屑对应剖面第 1 层。

年代地层 系 统 群 组	岩石地层 层 号	厚度 /m	柱状图	岩性描述	微 相	沉积环境	
奥陶统	亮甲山组	16	1.9	未见顶	含燧石结核灰岩,未见顶	海绵骨针粒 灰泥灰岩微相	开阔台地
		15	1.4		含燧石条带云斑灰岩		
	冶里组	14	1.0		细晶白云岩夹云斑灰岩	灰泥灰岩微相	局限台地
		13	1.2		上部发育颗粒灰岩、生屑灰岩,中间夹一生物丘,富含三叶虫、腕足类等大量的生物化石;下部断续出露颗粒灰岩夹砾屑灰岩,部分岩层未出露	贝壳富集 灰岩微相	台 内 浅 滩
		12	1.7				
		11	2.3		颗粒质灰泥灰岩,顶部白云岩化;底部出露薄层灰白色砾屑灰岩	含亮晶胶结物被包壳的生屑颗粒灰岩微相	
		10	1.2		土黄色细晶白云岩	灰泥灰岩微相	局限台地
		9	1.5		岩层出露少,见薄板状白云岩		
		8	3.9		灰白色灰泥灰岩夹薄层土黄色云斑灰岩,见薄层的颗粒灰岩及生物碎屑	具有被包壳和被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩微相	开阔台地
		7	4.2		灰白色泥灰岩,富含大量的生物碎屑,偶夹断续的颗粒薄层	包含有完整生物碎片的颗粒质灰泥灰岩微相	局限台地
		6	0.9		上部岩层为云质条带灰岩,中部发育中层状砾屑灰岩,磨圆一般;下部发育灰色砂屑颗粒灰岩	砂屑与砾屑 灰岩微相	台内浅滩
		5	1				
		4	0.3				
		3	2.7		上部似球粒灰泥灰岩见白云岩化;下部为厚层灰白色灰泥灰岩,块状构造	无纹层似球粒颗粒灰岩和灰泥质颗粒灰岩微相	局限台地
2	1.4		小竹叶状砾屑灰岩,磨圆度较好,与底部叠层石侵蚀接触	微生物岩砾屑 碳酸盐岩微相	台内浅滩		
1	0.7		巨厚层柱状叠层石,细柱状直立生长,柱状体之间的充填物被白云岩化				
寒武系	上统	炒米店组	~				

图 2 尧王山剖面下奥陶统微相分析

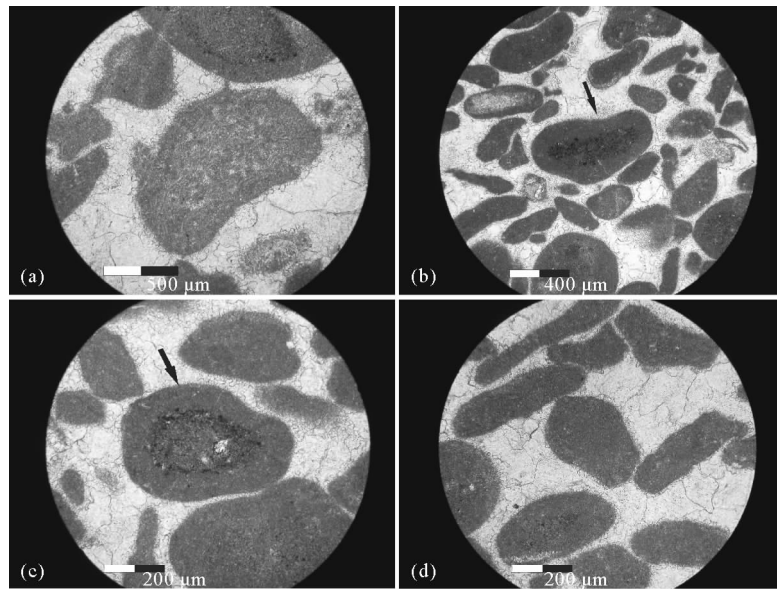
Fig. 2 Microfacies analysis of Early-Ordovician in Yaowangshan section

2.3 生物碎屑

生物碎屑是指经过搬运、磨蚀后沉积下来的生物骨骼,包括经过搬运、非原地生长的、虽然经过磨蚀但因本身个体较小而没有破碎的或破碎程度较小的微体生物化石,如介形虫、有孔虫等。依据生物种类(不同种类的生物碎屑其相应的内部结构及形态不同^[17-18]),识别出以下几种生物碎屑。

1)腕足类:内部显微结构特征非常明显,多为倾斜片状结构和平行片状(图 5(a))。腕足的壳体为双瓣壳,较厚,弧度单一,个体较大,刺呈管状或圆环状。该类生屑主要产于剖面第 13 层中的生物丘体内,在第 11 层底部的砾屑灰岩中也有发育。

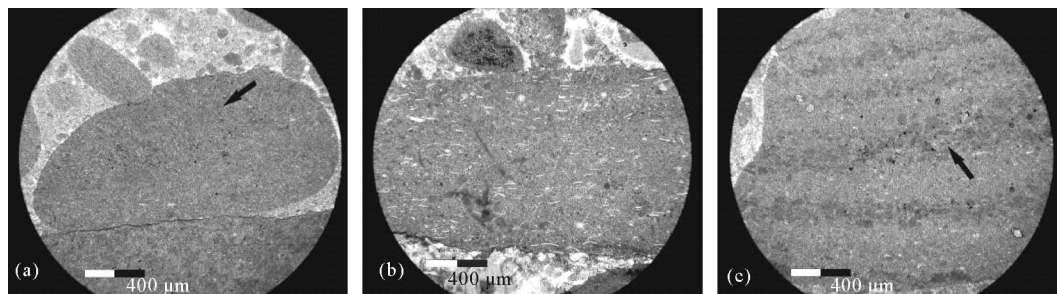
2)腹足类:该区腹足动物壳体呈旋转状或螺旋式分布(图 5(b)),壳体厚度较薄,内部无隔壁,弯曲度较大,内部具明显的次生晶粒结构。某些腹足动物碎屑中见示顶底构造,发育于剖面第 7 层以及第 8 层中部。



(a)砂屑内部含葛万菌;(b)黑斑核心砂屑;(c)含白云石的黑斑核心砂屑;(d)均一砂屑
(a)Calcarenites grainstone containing Girvanella;(b)Blackspot calcarenites grainstone with pyrite;
(c)Blackspot calcarenites grainstone containing dolomite;(d)Uniform calcarenites grainstone

图3 砂屑颗粒类型镜下特征

Fig. 3 Types of calcarenites grainstone optical microscope



(a)泥晶结构砾屑;(b)内部含生物碎屑砾屑;(c)条纹状砂屑
(a)Micritic structure calcirudyte;(b)Internal bioclastic calcirudyte;(c)Striature calcirudyte

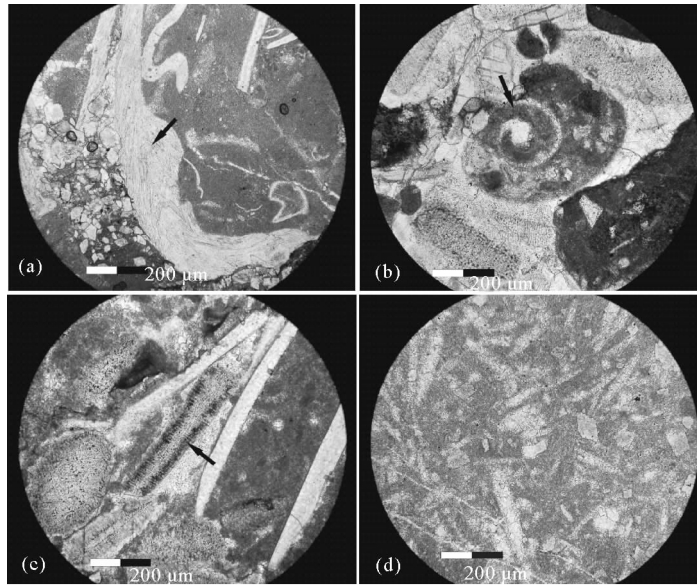
图4 砾屑颗粒类型镜下特征

Fig. 4 Types of calcirudyte optical microscope

3)头足类:具有晶粒结构,内部具明显的隔壁,以直壳为主(图5(c)),易于与其他生物相区别,该类生屑主要产于剖面第13层中的生物丘体内。

4)海绵骨针:多种形态赋存,以单轴骨针为主(图5(d)),极少数骨针可能为十字形,可能为四射二轴骨针。大部分骨针长度在0.5 mm左右,最大保存长度为0.8 mm。晶粒结构以及独特的棒状结构很容易与其他生物碎屑区别开来,泥晶胶结。主要产于亮甲山组含燧石灰岩中,即剖面中的第15层。

5)其他生物碎屑:除上述四种生物碎屑含量较高外,剖面中也发现有其他种类,有呈飘带状、弯钩状的三叶虫碎屑,混杂在剖面第3层的微生物岩砾屑及第13层中的生物丘内中发育,有月牙状以及椭球状的介形虫,发育于剖面第8层的上部,还有能明显辨别出的海百合茎等。



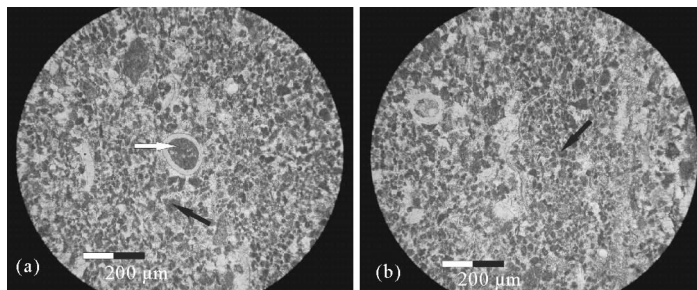
(a)腕足类;(b)腹足类;(c)头足类;(d)海绵骨针
(a) Brachiopoda; (b) Gastropods; (c) Cephalopoda; (d) Sponge spicule

图 5 生物碎屑颗粒类型镜下特征

Fig. 5 Types of bioclast particles optical microscope

2.4 似球粒

似球粒为粉屑级别的碳酸盐岩颗粒,密集状分布,形态为圆球、卵形。粒径大小集中在 0.05~0.1 mm,缺乏内部结构,薄片可见细粒生物骨屑,介形虫(图 6(a))横断面清晰可见。似球粒之间以微亮晶胶结(图 6(b))为主,颗粒之间排列不规则,显示为无纹层构造。该类型颗粒主要发育于剖面第 3 层,第 2 与第 4 层也偶有发育。



(a)似球粒(黑箭头),介形虫(白箭头);(b)似球粒,微亮晶胶结
(a) Pelletoid (black arrow), Ostracod (white arrow); (b) Pelletoid, microspar cements

图 6 似球粒颗粒类型镜下特征

Fig. 6 Types of pelletoid particles optical microscope

3 微相类型及特征

经过详细的岩石薄片镜下分析,结合碳酸盐岩颗粒的类型、特征和含量,胶结物类型以及生物碎屑化石组合等微相结构特征^[19-22],参照 Wilson 的碳酸盐岩微相类型划分标准^[14],将尧王山剖面划分出以下 9 种微相类型。

3.1 微生物岩砾屑灰岩微相(MF1)

砾屑内部组分为清晰可见的菌类,主要为葛万菌类,砾屑的粒径从几毫米到几厘米不等,以几毫米的磨圆砾屑为主,与核形石的粒径相差不大,微生物岩砾屑与岩化沉积物的粗砾混杂沉积(图4(c)),分选度较差,粒径呈双峰式分布,磨圆度中等,砾屑颗粒之间为亮晶胶结,反映了较高的水体能量。岩层产于厚层状的叠层石顶部,与标准微相 SMF13^[13]特征相符(图8)。

3.2 无纹层似球粒颗粒灰岩和灰泥质颗粒灰岩微相(MF2)

呈极小颗粒支撑的圆状或次圆状似球粒聚集(图6(a)),内含介形虫。颗粒以微小而等大的似球粒为主,并且与底栖有孔虫、三叶虫或者钙质球相关联,无明显纹层,常出现于水动力环境较弱的内台地环境中,对应于标准微相 SMF16。

3.3 砂屑与砾屑灰岩微相(MF3)

粒度以砂屑级别为主,部分属于砾屑级别,个别颗粒可达厘米级,与 MF1 中砾屑有所不同,该类砾屑粒径分布不均,磨圆度一般,不规则状泥晶屑含量十分丰富,亮晶胶结,灰泥含量很少(图7(a))。发育于内台地中等能量环境,在浅滩附近比较常见,对应于标准微相 SMF15 和 SMF17。

3.4 包含有完整生物碎片的颗粒质灰泥灰岩微相(MF4)

大部分生物碎屑保存较完整,见完整的腹足生屑(图7(b))立于泥晶基质中,呈螺旋状,生物体受到一定程度的泥晶化作用,某些生屑中可见清晰的示顶底构造。泥晶基质和生物碎片的完整性均指示其沉积环境为较低能的水动力条件,沉积环境为晴天浪基面之下的静水环境,与标准微相 SMF8 全生物颗粒质灰泥石灰岩特征相对应。

3.5 具有被包壳和被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩微相(MF5)

被磨蚀和内包壳的生屑沉积于细粒基质中,生物碎屑的高磨圆度说明经历了长时间的水动力磨蚀,后期受泥晶化作用呈泥晶胶结。镜下显示出生屑的结构颠倒特征(图7(c)),生活在高能环境下的生物碎屑被搬运到较低能区沉积,沉积水动力为较弱的低能环境,与标准微相 SMF10 特征相对应。

3.6 含亮晶胶结物的被包壳的生屑颗粒灰岩微相(MF6)

大多数颗粒为被包壳的生物碎屑。长条状生物碎屑,说明了初始水动力条件比较弱,后期受泥晶化作用包于内部形成团块(图7(d)),作为颗粒继续沉积,团块之间以亮晶胶结为主,局部泥晶胶结。生活在高能环境下的生物碎屑先经历了泥晶化,而后沉积下来,后期的沉积特征反映了较强的水动力环境。形成于晴天浪基面之上的台内浅滩环境,与标准微相 SMF11 包壳生屑颗粒灰岩特征相对应。

3.7 贝壳富集灰岩微相(MF7)

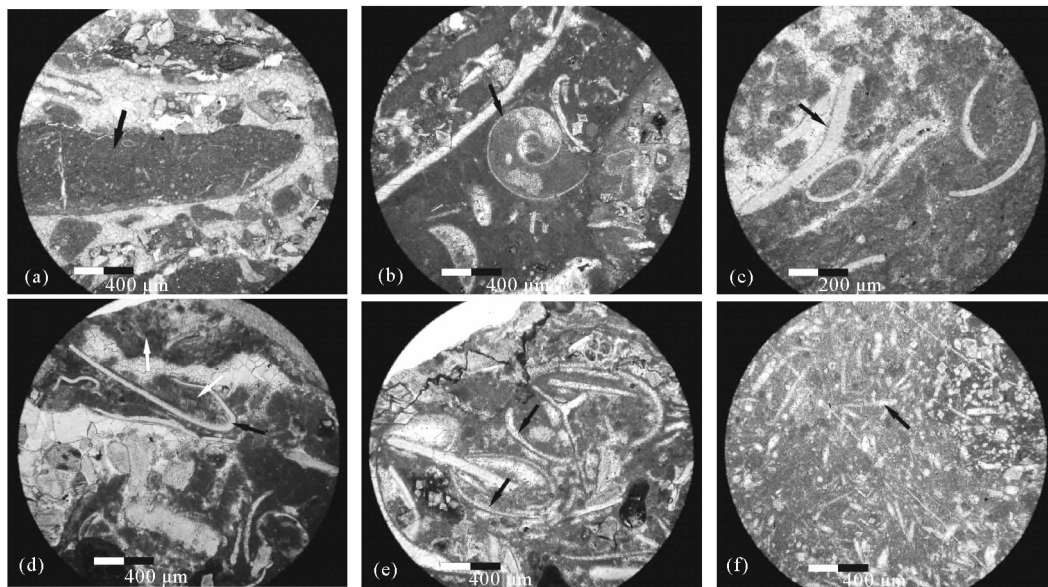
该类灰岩在剖面上较常见,涉及到多种生物碎屑(图7(e)),已经识别并且确认的生物碎屑有:腕足动物、腹足动物以及头足动物等。与标准微相 SMF12 具有很好的对应关系。不同类型的生物习性及其生活环境不同,加上生屑最终聚集地不同,为生屑岩判定沉积环境带来一定困难。综合考虑生物生存环境的盐度温度以及破碎程度等,将不同类型生物碎屑的沉积环境归纳为:双壳类贝壳层多产于局限台地与潮坪,在浅滩环境中也有发育;海百合在浅滩与局限台地中比较常见;腕足动物生长环境需要清澈的水体且水体略有动荡,生屑一般都较大,代表中等能量环境,发育于浅滩附近;腹足类与头足类均生活在正常盐度的环境中,在浅滩、开阔台地和局限台地中比较发育。

3.8 海绵骨针灰泥灰岩微相(MF8)

海绵骨针含量高达 30%~40%,从镜下微相角度观察,海绵骨针呈短棒状,与深水盆地中骨针岩非常相似,产于亮甲山组含燧石结核灰岩层中,海绵骨针粒度小,长度在 0.5 mm 左右,最大保存长度约为 0.8 mm(图7(f)),骨针颗粒之间以泥晶胶结为主。该微相虽然与标准微相 SMF1 中的骨针相似,但其不含粘土,也未见有机质,与标准微相 SMF10 和 SMF11 特征相对应。

3.9 灰泥灰岩微相(MF9)

该微相现为白云岩,晶粒大小 50~200 μm ,半自形粉晶-细晶白云石,无其他残余组构。推测原岩为灰泥灰岩,与标准微相 SMF23 均质无生物泥晶灰岩相符。原岩反映了较弱的静水环境。



(a)砂屑与砾屑灰岩微相(MF3),亮晶胶结;(b)包含有完整生物碎片的颗粒质灰泥灰岩(MF4),生屑被泥晶化作用,泥晶胶结;(c)具有被包壳和被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩(MF5),碎屑泥晶化,泥晶胶结;(d)含亮晶胶结物的被包壳的生屑颗粒灰岩(MF6),颗粒为被包壳的生物碎屑,亮晶胶结;(e)贝壳富集灰岩(MF7),多种类型生物聚集,亮晶与泥晶胶结共存;(f)海绵骨针粒灰泥灰岩(MF8),富含大量的海绵骨针,泥晶胶结

(a)Calcarenites grainstone and carbonate breccia(MF3), sparry cementation;(b)Particle marl which contains complete biological debris(MF4), micritization bioclastic, micritic cementation;(c) Bioclastic limestone plaster with enclosed shell and ablation of bone particles(MF5), micritization debris, micritic cementation;(d) Enclosed shell of bioclastic limestone that include sparry calcite cement (MF6), particles were bioclastic cladding, sparry cementation;(e) Shellimestone(MF7), various types of bio-accumulation, sparry and micritic cementation;(f) Sponge spicules wackestone(MF8), rich in a lot of sponge spicules, micritic cementation

图 7 碳酸盐岩微相类型镜下特征

Fig. 7 Characteristics of carbonate microscope microfacies

4 沉积环境分析

4.1 沉积微相与沉积环境关系

碳酸盐岩沉积微相指显微结构的岩石类型,其目的在于将宏观层面不易区分的岩石,以及形成于不同环境下的沉积体,利用微相结构特征加以区分^[15]。不同微相或者微相组合在一定的时空范围内对沉积环境具有重要指示意义。Wilson 在 1975 年根据碳酸盐沉积资料,按照微相特征将碳酸盐岩划分出 24 种标准微相^[12-14],并与沉积环境形成如图 8 所示对应关系。

4.2 沉积环境类型及特征

参照标准微相与沉积环境的关系图谱(图 8),依据识别出的微相类型及特征,结合剖面野外露头特征,参考华北地台碳酸盐岩沉积类型及特征^[23],将尧王山剖面识别出 3 种沉积环境(图 2):台内浅滩,局限台地和开阔台地。

台内浅滩:主要由微生物岩砾屑灰岩微相(MF1)、砂屑与砾屑灰岩微相(MF3)、含亮晶胶结物的包壳生屑颗粒灰岩微相(MF6)和贝壳富集的灰岩微相(MF7)组成。MF1 中岩石类型以亮晶微生物岩砾屑灰岩和小竹叶砾屑灰岩为主,微生物岩砾屑与磨圆砾屑混杂沉积,磨圆度较高,粒度呈双峰式分布,颗粒之间被波浪反复冲洗,泥晶基质被带走。MF3 中岩石类型以颗粒灰岩、砾屑灰岩为主,砾屑磨圆度一般,亮晶胶结为主。两者沉积环境为开阔台内浅滩环境,水动力条件中等-高能量水平。MF6 和 MF7 组合指示了浅滩环境,多种海洋生物的生存指示了正常的海水盐度,双壳类、腕足类、腹足类生屑含量高,部分生物碎屑具被泥晶化的包壳,如三叶虫、腕足碎片及头足类碎片等,生屑粒度较大,有一定磨圆度,亮晶胶结,反映较高水动力环境。

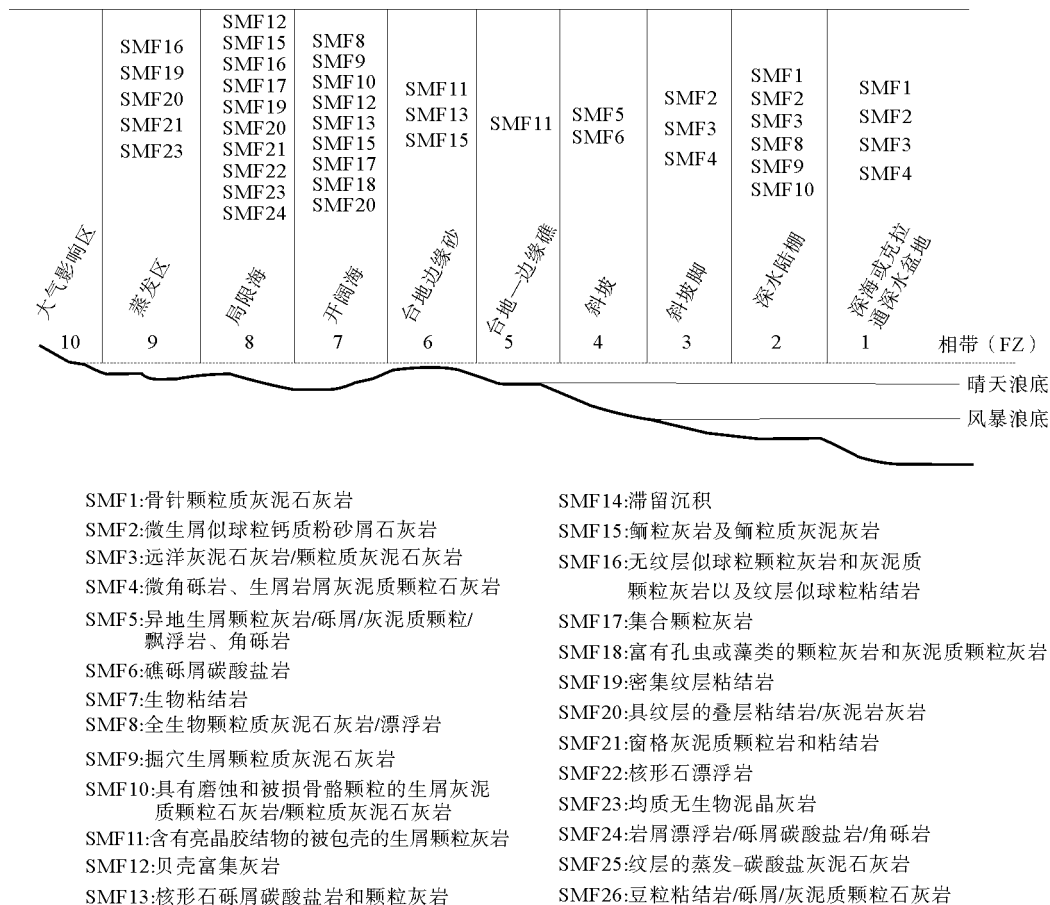


图 8 标准微相与沉积环境的对应关系(据 Wilson^[13] 改编)

Fig. 8 Correspondence between standard microfacies and sedimentary facies(according to Wilson^[13] adaptation)

局限台地:由无纹层似球粒颗粒灰岩、灰泥质颗粒灰岩微相(MF2)、具有完整生物颗粒质灰泥灰岩微相(MF4)和灰泥灰岩微相(MF9)组成。主要岩石类型有似球粒颗粒灰岩、云斑泥晶灰岩、含生物碎屑的泥晶灰岩以及白云岩,生物碎屑保留了自身的完整性,部分生屑受泥晶化作用,泥晶基质胶结,镜下发现零星白云石,白云岩层原岩为灰泥灰岩,指示了较弱的水动力环境,沉积环境应为局限台地。

开阔台地:主要由被包壳/被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩微相(MF5)和海绵骨针粒灰泥灰岩微相(MF8)组成。两微相带内冶里组岩石颗粒以骨屑颗粒为主,骨屑颗粒有被磨蚀的特征,以泥晶胶结为主;亮甲山组中生物分异度很低,仅发现海绵骨针,含量高,但粒度较小,以泥晶胶结为主。颗粒的粒级和泥晶胶结指示了沉积环境为弱动荡的、水体较深的开阔台地。

5 结论与讨论

1)青州地区尧王山剖面早奥陶世碳酸盐岩颗粒类型主要有砂屑、生物碎屑、砾屑以及似球粒,根据内部组分及结构可对其进行进一步划分。

2)剖面主要发育 9 种微相类型:微生物岩砾屑灰岩微相、无纹层似球粒颗粒灰岩和灰泥质颗粒灰岩微相、砂屑与砾屑灰岩微相、包含有完整生物碎片的颗粒质灰泥灰岩微相、具有被包壳和被磨蚀骨屑颗粒的生屑灰泥灰岩微相、含亮晶胶结物的被包壳的生屑颗粒灰岩微相、贝壳富集灰岩微相、海绵骨针粒灰泥灰岩微相以及灰泥灰岩微相。

3)9 种微相类型及组合指示了 3 种沉积环境类型:台内浅滩,局限台地和开阔台地。

4)由实测剖面以及沉积微相、沉积环境分析,可推断出青州地区的沉积环境为具有开阔水循环的浅水环

境,发育正常的灰岩沉积,与其西南侧的白云岩为主的鲁中浅滩岩性截然不同。剖面中早奥陶世始终没有发育厚层白云岩,并且有海绵骨针等较深水沉积的证据,可与北部以灰岩为主的剖面相对比。青州地区为华北大区中白云岩与灰岩的转折点,反映在古地理地貌上,可能为早奥陶世时期在地史上“凹陷相间格局”中的局部小凹陷,由此向东北方向为碳酸盐岩沉积盆地,向西南方向为高盐度的云坪环境,即使在华北地台普遍遭受到怀远运动的影响,该地区的抬升也不甚明显,从而保留了其原始沉积特征。

参考文献:

- [1]贾振远. 华北地台东部奥陶系地层南北向沉积环境特征[J]. 沉积学报,1986,4(4):41-51.
Jia Zhenyuan. Characteristics of sedimentary facies and environment of the north-south Ordovician strata in the east part of North-China platform[J]. Acta Sedimentologica Sincia,1986,4(4):41-51.
- [2]冯增昭. 华北地台东部晋冀鲁京津地区早奥陶世岩相古地理[J]. 沉积学报,1986,4(4):28-39.
Feng Zengzhao. Early Ordovician lithofacies and paleogeography in east North-China platform[J]. Acta Sedimentologica Sincia,1986,4(4):28-39.
- [3]金振奎,邹元荣,由伟丰,等. 渤海湾盆地北部奥陶纪岩相古地理[J]. 沉积学报,2002,20(1):13-19.
Jin Zhenkui,Zou Yuanrong, You Weifeng, et al. Ordovician lithofacies paleogeography of north Bohai Bay Basin[J]. Acta Sedimentologica Sincia,2002,20(1):13-19.
- [4]徐春华,王亚琳,杨贵丽. 渤海湾盆地济阳坳陷冶里-亮甲山组层状储层成因及其影响因素[J]. 石油实验地质,2009,31(4):362-365.
Xu Chunhua,Wang Yalin, Yang Guili. The genesis and influential factors of layered reservoir of Yeli-Liangjiashan Formation in the Jiyang Depression of the Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2009,31(4):362-365.
- [5]刘鹏举,林小谷. 河北省平泉早奥陶世冶里组碳酸盐风暴沉积[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004,34(1):1-4.
Liu Pengju,Lin Xiaogu. The carbonate storm deposit of Early Ordovician Yeli Formation in Pingquan Area,Hebei Province [J]. Journal of Jilin University:Earth Science Edition,2004,34(1):1-4.
- [6]裴放,蔡淑华. 河南省林县发现下奥陶统牙形石[J]. 中国地质,1985(12):31-38.
- [7]刘波,王英华,钱祥麟. 华北奥陶系两个不整合面的成因与相关区域性储层预测[J]. 沉积学报,1997,15(1):25-36.
Liu Bo,Wang Yinghua, Qian Xianglin. The two Ordovician unconformities in North China: Their origins and related regional reservoirs' prediction[J]. Acta Sedimentologica Sincia,1997,15(1):25-36.
- [8]张增奇,刘明渭,宋志勇,等. 山东省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996:133-143.
- [9]杨恩秀,王立法,代东峰,等. 山东青州尧王山地区寒武系—奥陶系界线及地层划分[J]. 地质通报,2005(9):807-809.
Yang Enxiu,Wang Lifa,Dai Dongfeng, et al. Cambrian-Ordovician boundary and stratigraphic division in the Yaowangshan Area,Qingzhou,Shandong,China[J]. Geological Bulletin of China,2005(9):807- 809.
- [10]张宏达,刘海坤,刘书才. 山东青州地区炒米店组上部牙形石组合及寒武、奥陶系界线的确定[J]. 山东地质,2000(4):11-15.
Zhang Hongda,Liu Haikun,Liu Shucui. Conodont associations in the upper part of Chaomidian Formation and contact line determination of Cambrian and Ordovician in Qingzhou,Shandong province[J]. Geology of Shandong,2000(4):11-15.
- [11]梁宗伟. 鲁中地区早奥陶世早期头足类的发现[J]. 山东地质,1987,3(1):34-39.
Liang Zongwei. Discovery of the earliest Ordovician Cephalopoda fossils from central Shandong[J]. Geology of Shandong, 1987,3(1):34-39.
- [12]Flügel E. Microfacies analysis of limestone[M]. Berlin Heidelberg, New York:Springer Verlag,1982:1-633.
- [13]Wilson J L. Carbonate facies in Geologic History[M]. Berlin Heidelberg, New York:SpringerVerlag,1975:33-39.
- [14]杨承运,卡罗兹 AV. 碳酸盐岩使用分类及微相分析[M]. 北京:北京大学出版社,1988.
- [15]包洪平,杨承运. 碳酸盐岩微相分析及其在岩相古地理研究中的意义[J]. 岩相古地理,1999,19(6):60-63.
- [16]Flügel E. 碳酸盐岩微相:分析、解释及应用[M]. 马永生,译. 北京:地质出版社,2006:102-108.
- [17]余素玉. 化石碳酸盐岩微相[M]. 北京:地质出版社,1989:17-42.
- [18]王英华,张秀莲,迟元苓. 化石岩石学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1990:28-34.
- [19]吕钊炜,张宁,夏文臣. 山东省长清县中寒武统张夏组的微相组分、微相类型及沉积相分析[J]. 地质科技情报,2009,28(5):47-52.
Lü Zhaowei,Zhang Ning, Xia Wenchen. Types and composition of carbonate microfacies and analysis on sedimentary facies

- of Middle Cambrian Zhangxia Formation in Changqing, Shandong province[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(5): 47-52.
- [20] 李越, 元尽量, 傅启龙. 安徽淮南下寒武统沉积环境以及碳酸盐岩微相分析[J]. 现代地质, 1998, 22(4): 262-268.
Li Yue, Yuan Jinliang, Fu Qilong. Environments and carbonate microfacies of Lower Cambrian in Huainan, Anhui[J]. Journal of Stratigraphy, 1998, 22(4): 262-268.
- [21] 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, 28(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, 28(6): 25-30.
- [22] 李金梅, 巩恩普, 孙宝亮, 等. 贵州紫云晚石炭世叶状藻礁灰岩微相特征与沉积环境的研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 26-32.
Li Jinmei, Gong Enpu, Sun Baoliang, et al. Sedimentary environment and microfacies analysis of the Late Carboniferous phylloid algal reef in the Ziyun county, Guizhou[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(1): 26-32.
- [23] 王英华, 张爱莲, 杨承运. 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学[M]. 北京: 地震出版社, 1988: 45-56.

(责任编辑: 高丽华)

“测绘·遥感·信息”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇ 航空航天摄影测量
- ◇ 遥感影像信息处理
- ◇ 精密空间定位
- ◇ 海岛(礁)测绘
- ◇ 地球空间信息系统
- ◇ 3S 集成与空间信息服务
- ◇ 精密工程测量与工业测量
- ◇ 多媒体通讯技术

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“测绘遥感信息”研究专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 并实行优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkglhxx@163.com, glhxx@163.com

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部