

鄂尔多斯盆地三道坎组 混合沉积的生物扰动构造与古地理

费安玮 刘成林 甘 军 张忠涛

(石油大学资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:首次在鄂尔多斯盆地西北缘桌子山地区下奥陶统三道坎组发现遗迹化石,其中绝大部分为无法鉴定遗迹属种的生物扰动构造。该组属碳酸盐岩与陆源碎屑岩互层的混合沉积,按岩性及韵律性将其分为 5 段,分析概括了生物扰动构造的分布、特征及形成的沉积环境。本组沉积期出现的古地理环境主要包括前滨沙滩及沙坝、云坪及含沙云坪、局限台地潮下低能、台地粒屑滩(介壳滩)和开阔台地潮下带。采用沉积学与实体化石及生物扰动构造半定量分析相结合的研究方法,阐述了各古地理单元的特征与各段沉积期的古地理环境,认为:本组沉积早期先后以含沙云坪环境、局限台地潮下低能环境为主,中、晚期则开阔台地潮下带环境频繁出现并时而占优势,反映了海平面上升的总体趋势;同时在海进的背景下,前滨沙滩、沙坝与云坪、含沙云坪或开阔台地潮下带等环境的交互出现,则反映了阿雷尼格中期本区是接近古陆的,随着相邻古陆的周期性抬升或海平面的周期性上升,出现了海陆争夺、频繁的海水进退的古地理变化,从而混合沉积发育。直形壳鸚鵡螺类化石产出状态的研究等表明三道坎组古流向是自北而南的。据岩性和古生物化石分析,本组沉积期气候干热,桌子山地区应归属早奥陶世华北亚热带干旱气候区。

关键词:混合沉积;生物扰动构造;古地理;下奥陶统;三道坎组;鄂尔多斯盆地;桌子山

中图分类号:P53 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2004)04-0347-09

鄂尔多斯盆地西北缘桌子山地区下奥陶统三道坎组是该区早古生代第二次海侵开始的沉积,属碳酸盐岩与陆源碎屑岩互层的混合沉积。自 1953 年关士聪、车树政创名三道坎层及卢衍豪^[1]改称三道坎组以来,其生物地层学研究逐渐深入,经系统研究的古生物门类包括三叶虫、头足类、腕足类及牙形石^[2-4]。张文堂^[5]建立了该组头足类 *Wutinoceras* 化石带;陈均远等^[6]对其作了修订并增加了 1 个化石带,自下而上为 *Pseudowutinoceras* 带和 *Parakogenoceras* 带;安太岸等^[4]将本组及上覆桌子山组下部的牙形石划归华北区奥陶系 *Aurilobodus leptosomatus—Loxodus dissectus* 牙形石带。前者将三道坎组时代定作阿雷尼格 晚期^[5],后两者认为属阿雷尼格中期^[3-4],笔者采用了后一意见。

近年来,随着鄂尔多斯盆地地下古生界油气勘探的进展,对本区奥陶系相继开展了层序地层及岩相古地理研究,其中,对于三道坎组沉积相的认识还存有较大差异,如:魏魁生等^[6-7]认为三道坎组的砂岩属海滩或海陆过渡相沉积、白云岩

及灰岩为局限台地相夹台地边缘浅滩相沉积;张文华等^[8]认为其白云岩、白云质灰岩及生屑粒泥灰岩是典型的局限台地相沉积、石英砂岩属扇三角洲相沉积;冯增昭等^[9]则将本组总体归为云坪相。

笔者两次赴桌子山地区老石旦东山三道坎组进行野外地质工作,在该组首次发现了遗迹化石,其中绝大部分为无法鉴定遗迹属种的生物扰动构造;在石油大学康祺发等(1994)实测剖面的基础上,对此剖面作了进一步详细描述并系统采集了遗迹化石及岩石标本等(图 1)。尽管碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积具广布性与多样性,但目前国内外对此类沉积的研究仍显薄弱^[10-11]。本文采用沉积学与实体化石及生物扰动构造半定量分析相结合的研究方法,以对三道坎组古地理及其演变得出进一步的认识。

1 剖面综述

老石旦东山三道坎组为石英砂岩与白云岩、灰岩的互

收稿日期:2004-04-30;改回日期:2004-07-19

基金项目:中国石油天然气总公司勘探研究项目与石油大学(北京)科研基金项目联合资助。

作者简介:费安玮,女,1947 年生,博士,副教授,主要从事地层古生物学、古地理学及生态学教学和科研工作;E-mail:feiw@bjpeu.edu.cn。

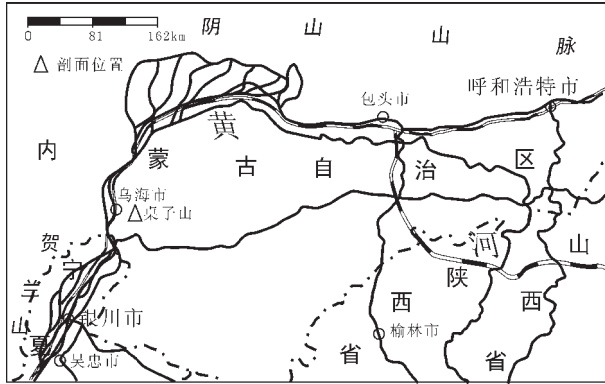


图 1 研究区交通及地理位置图

Fig.1 Sketch map showing the communication and geographic location of the study area

层,厚 89.04m,按岩性及韵律性可将其分作五段。兹将该剖面综述如下(图 2):

上覆地层 下奥陶统桌子山组以厚层灰岩为主,底部深灰色厚层—块状灰岩夹生屑灰岩产头足类 *Polydesmia zuezhansensis*, *P.sp.*, *Mesowutinoceras giganteum*, 三叶虫 *Pseudoasaphus sp.*及腕足类 *Macrocoelia sp.*等。

————— 整合 —————

三道坎组

五段(28~32层) 深灰色中—厚层状细晶白云岩、砂屑中晶白云岩与灰白、黄灰色中—厚层状石英细砂岩、块状云质石英细砂岩等互层,夹灰、紫灰色中—薄层状含砂粉晶白云岩、砂质粉晶白云岩。本段下部的细晶白云岩,含头足类和腕足类化石,具硅质团块,上部的细晶白云岩具微波状水平层理;中部的石英细砂岩、云质石英细砂岩石英颗粒次圆—圆状、分选中等—好,石英加大现象普遍;含砂粉晶白云岩具水平纹理,砂质粉晶白云岩发育水平层理;顶部的砂屑中晶白云岩含棘皮类、三叶虫及腕足类等生屑。该段的韵律性表现为由含砂白云岩过渡为细晶白云岩或砂质白云岩过渡为砂屑中晶白云岩以及云质石英细砂岩过渡为含砂白云岩或砂质白云岩。厚 22.75 m。

四段(22~27层) 以棕黄、灰黄色—黑灰、深灰色中—厚层状云斑质灰岩、含生屑云斑质灰岩、含云生屑质灰岩及灰色中层状含砂含生屑云斑质灰岩等发育为特征,岩石多呈瘤状并常具较强的生物扰动,夹有灰、浅紫灰色中—厚层状含云石英粉细砂岩、灰白色中层状不等粒石英砂岩、深灰色中层状中细晶白云岩等,见少量灰色薄层状介壳灰岩及灰紫色中层状粉晶白云岩。本段下部的含生屑云斑质灰岩含丰富的头足类: *Parakogenoceras wuhaiense*, *P.exilicostratum*, *P.lashenzhongense*, *P.rarum*, *Ordosoceras lashenzhongense*, *Polydesmia abruptum*, *Actinoceras wuhaiense*, 构成 *Parakogenoceras* 化石

带,还有腕足类化石及海百合茎、介形类、双壳类等生屑;含云生屑质灰岩和云斑质灰岩含三叶虫、腕足类、棘皮动物及软体动物等生屑;中细晶白云岩含腕足类化石。上部的含砂含生屑云斑质灰岩含头足类化石,云斑质灰岩含介形类等生屑。含云石英粉细砂岩具平行层理,粉晶白云岩水平纹理发育。该段具介壳灰岩向含云生屑质灰岩及含砂含生屑云斑质灰岩过渡、石英砂岩向云斑质灰岩或粉晶白云岩过渡的韵律性。厚 11.30 m。

三段(16~21层) 灰、紫灰、灰黄、灰白色厚层状含灰中粗粒石英砂岩、含灰云质石英中砂岩及含云石英细砂岩与灰、深灰色厚层状细晶白云岩互层,夹灰、深灰色厚层状生屑质灰岩。石英砂岩颗粒磨圆好、分选中等—好,具交错层理,偶见零星遗迹化石 *Skolithos sp.*,形成轻微生物扰动构造。细晶白云岩富含头足类化石并具生屑。生屑质灰岩含腕足类等生屑,岩石呈瘤状。本段具由石英砂岩向细晶白云岩或生屑质灰岩过渡的韵律性。厚 19.73 m。

二段(6~15层) 灰紫、紫红色薄—中层状石英砂质白云岩与中—厚层状含生屑云斑质灰岩、生屑质灰岩、含云斑灰岩、云斑质生屑灰岩及斑状细晶白云岩不等厚互层,间夹少量薄层状介壳灰岩等。含生屑云斑质灰岩、生屑质灰岩、含云斑灰岩及斑状细晶白云岩等具较强或强生物扰动,前三者与云斑质生屑灰岩呈瘤状。该段韵律性较强,每个韵律底部为石英砂质白云岩,向上为含生屑云斑质灰岩、生屑质灰岩或含云斑灰岩、云斑质生屑灰岩及斑状细晶白云岩等。本段下部的黑灰—灰色厚层状生屑质灰岩,生屑以富含介形类为特点,包括完整个体,并含薄壳双壳类等。中部的黄棕色—灰、黑灰色厚层状含生屑云斑质灰岩、含生屑含云斑灰岩富含头足类: *Pseudowutinoceras wuhaiense*, *P.exiguum*, *P.exogastrum*, *Stobosvoceras parvum*, 构成 *Pseudowutinoceras* 化石带,并含腕足类: *Hesperinia sp.*, *Apothophylla sp.*。上部的灰黄、棕黄色—黑灰色中层状含云斑灰岩和褐黄色—灰色中层状云斑质生屑灰岩,生屑中具较多的小个体薄壳腕足类或以腕足类为主,还有双壳类(包括薄壳双壳类)、介形类、海百合茎及藻类等,有时可见钙球;灰、深灰色薄层状含生屑灰岩生屑种类多,有腕足类、双壳类、介形类、钙质海绵骨针及腹足类等,其中具较完整的介形类、腹足类个体。厚 22.41 m。

一段(1~5层) 灰、灰白色中—厚层状石英粗砂岩、石英中粗砂岩及含云石英中砂岩与灰紫、紫红色中层状粗粉晶—极细晶白云岩、粉晶白云岩、含砂粉晶白云岩、砂质粉晶白云岩等不等厚互层,以白云岩类为主,底部为灰白色中层状石英粗砂岩,顶部夹一层深灰色中层状瘤状灰岩。石英砂岩颗粒次圆—圆状、分选中等—好,成分成熟度高,具交错层理及其冲洗层理。粉晶白云岩含少量石英砂或泥质,具水平纹理;砂质粉晶白云岩具水平层理。本段韵律性强,由 4 个韵律组成,每一韵律底部均为石英砂岩或含云石英砂岩,其上为白云岩或含砂白云岩、砂质白云岩等。厚 12.85 m。

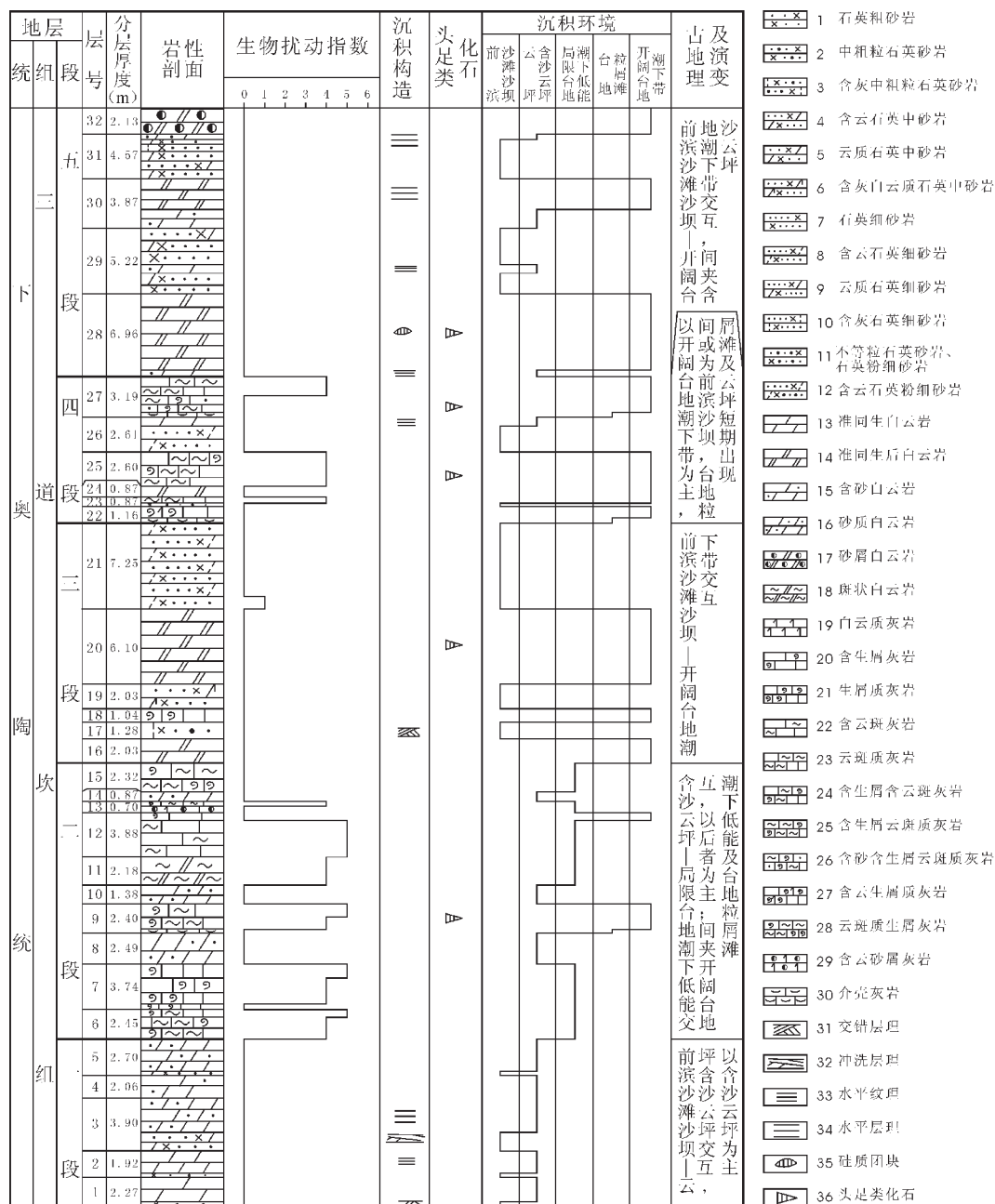


图 2 桌子山下奥陶统三道坎组生物扰动指数曲线与古环境分析综合柱状图

Fig. 2 Composite column of the bioturbation index curve and paleoenvironmental analysis in the Lower Ordovician Sandaokan Formation at Zhuozhishan, Ordos basin

- 1-Quartz gritstone;2-Medium-coarse quartz sandstone;3-Calcite-bearing medium-coarse quartz sandstone;4- Dolomite-bearing medium quartz sandstone;5-Dolomitic medium quartz sandstone;6-Calcite-bearing dolomitic medium quartz sandstone;7-Fine quartz sandstone;8- Dolomite-bearing fine quartz sandstone;9- Dolomitic fine quartz sandstone;10-Calcite-bearing fine quartz sandstone;11-Inequigranular quartz sandstone and fine-grained and silty quartz sandstone;12- Dolomite-bearing fine-grained and silty quartz sandstone;13-Penecontemporaneous dolostone; 14-Post-penecontemporaneous dolostone;15-Sand-bearing dolostone;16-Sandy dolostone;17.-Dolarenite;18-Mottled dolostone;19-Dolomitic limestone;20-Bioclast-bearing limestone;21-Bioclastic limestone;22- Dolomitic mottled limestone;23-Dolomitic - mottled limestone; 24- Bioclast-bearing, dolomite-mottled limestone;25-Bioclast-bearing dolomitic-mottled limestone;26-Sand-bioclast-bearing dolomitic-mottled limestone;27-Dolomite-bearing bioclastic limestone;28-Dolomitic-mottled bioclastic limestone;29-Dolomite-bearing calcarenite; 30- Shell limestone;31-Cross bedding;32-Swash bedding;33-Horizontal lamination;34-Horizontal bedding;35-Siliceous nodule;36-Cephalopoda

----- 平行不整合 -----

下伏地层 上寒武统崮山组灰色薄层状灰岩与竹叶状灰岩不等厚互层,灰岩富含遗迹化石,顶部产三叶虫 *Liaoningaspis* sp.及 *Blackwelderia* sp.。

2 生物扰动构造的分布特征及形成环境

三道坎组遗迹化石中,单个的、可鉴定属种的遗迹仅有极少量的 *Skolithos* sp.,而绝大部分为无法鉴定属种的叠覆遗迹,构成了较强或强烈的生物扰动构造。参照 Taylor 等^[12]的生物扰动指数划分方案,本文将扰动指数划分为 0~6 级(表 1);同时参考 Bottjer 等^[13]用于野外及室内岩心研究的生物扰动指数识别示意图,在逐层观察估算生物扰动指数的基础上绘制出相应曲线,从而半定量地表示出扰动强度在纵向上的变化状况(图 2);根据各段总厚度,求出各级扰动指数所占厚度百分比,作出直方图用以比较不同地层单元的扰动强度(图 3)。对该剖面生物扰动构造的分布、特征及形成的沉积环境分析概括如下:

表 1 生物扰动指数划分方案 据 Taylor et al., 1993; 略修改)

Table 1 Classification of bioturbation indexes
(modified from Taylor et al., 1993)

扰动指数	原生层理被生物扰动破坏的面积百分比 (%)	描 述
0	0	无生物扰动
1	1~4	零星生物扰动,层理清晰,含极少数分离的遗迹化石或逃逸构造
2	5~30	生物扰动程度低,层理清晰,遗迹化石密度小,常见逃逸构造
3	31~60	生物扰动程度中等,层理界面清晰,但遗迹具叠覆现象
4	61~90	生物扰动程度高,层理界面不清晰,遗迹化石密度大、叠覆普遍
5	91~99	生物扰动程度强,层理被完全破坏,但沉积物再改造程度低
6	100	完全的生物扰动,由于反复的扰动使沉积物受到普遍改造

(1)轻微的生物扰动见于三段上部紫灰、灰色厚层状含云石英细砂岩的底部,为垂直潜穴 *Skolithos* sp.,钻孔直径 1.5~2.5 mm,该遗迹属未成群出现而较稀疏,分布不普遍,扰动指数为 1;较强及强烈的生物扰动集中分布于二段和四段,扰动指数为 4 或 5,构成了生物扰动岩。(2)二段的生物扰动岩包括:具较强生物扰动的含生屑云斑质灰岩、生屑质灰岩及准同生白云岩—斑状细晶白云岩,扰动指数为 4,并以前者居多,具强生物扰动的含云斑质灰岩、含生屑含云斑质灰岩及含生屑灰岩,扰动指数为 5,以含云斑质灰岩为主;四段的生物扰动岩包括:具较强生物扰动的云斑质灰岩与含生屑云斑质灰岩,扰动指数 4,以前者略多。上述灰岩属灰泥灰岩,多为厚层,常呈瘤状;岩石中,经生物扰动的部分颜色较深,呈深灰色或灰黑

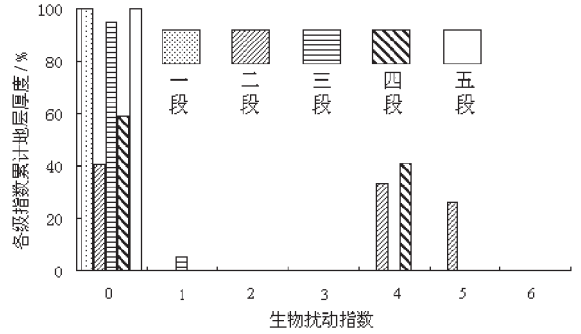


图 3 桌子山三道坎组各段生物扰动指数直方图

Fig. 3 Histogram of bioturbation indexes in various members of the Sandaokan Formation, Zhuozishan

色,成分为泥晶方解石并富含有机质,而未经生物扰动的部分,一般为云斑,颜色较浅,呈灰黄色、棕黄色或黄棕色,成分以半自形—自形白云石为主,并时见菱面体白云石及未交代的泥晶方解石残余(图版—3,5),由于常含一些铁质或硅质成分,因而较坚硬,在露头上往往呈凸起状;在垂向剖面上,常见灰黑色的叠覆遗迹与未扰动的浅色部分相间大致呈条带状顺层分布(图版—7)。斑状细晶白云岩中,经生物扰动部分含有有机质较多,呈深灰色,未经扰动部分颜色较浅为褐灰色,两者的成分均为白云石。(3)一段和五段无生物扰动,三段仅极小部分地层具轻微生物扰动。无生物扰动构造的岩石主要为陆源碎屑岩(各类石英砂岩)和准同生白云岩(粉晶白云岩等),还有细晶白云岩、生屑质灰岩、生屑灰岩及介壳灰岩等。(4)上述较强及强生物扰动构造均形成于水动能弱、沉积速率低、底质有机质丰富的沉积环境,食泥动物可自由地生活在其适合的深度上,随时保持与沉积界面的联系,并有足够的时间对沉积物进行充分的扰动和改造,以至完全破坏了原生层理构造,形成无法辨认遗迹属种的生物扰动层。

3 古地理及其演变

3.1 古地理环境及其特征与分布

三道坎组沉积期出现的古地理环境主要包括前滨沙滩及沙坝、云坪及含沙云坪、局限台地潮下低能、台地粒屑滩(介壳滩)和开阔台地潮下带等(图 2)。本文采用下列公式计算生物扰动的平均指数^[14],以对不同沉积相带的扰动水平作出半定量的估算:

$$\text{平均指数} = (\text{ii0 厚度百分值} \times 1 + \text{ii1 厚度百分值} \times 2 + \dots + \text{ii6 厚度百分值} \times 7) / 100$$

兹将各古地理单元的沉积学、古生物学特征与分布阐述如下(图 2,3):

(1)前滨沙滩、沙坝

岩性为石英砂岩,普遍含白云石,主要有云质石英中、细砂岩,含云石英中、细砂岩及含云石英粉细砂岩,此外还有

含灰中粗粒石英砂岩及石英粗砂岩等;颜色以灰色、灰白色居多,部分呈黄灰色及紫灰色;岩层多为厚层状,中层状次之;石英颗粒一般次圆—圆状、分选中等—好,次生加大现象较普遍,成分成熟度高(图版—6);交错层理较发育并见前滨沙沉积的典型层理—冲洗层理(图版—1,2)。本组下部沉积期的沙滩、沙坝以中粒石英砂为主,而上部沉积期则以细粒石英砂为主。古生物化石仅见少量遗迹 *Skolithos* sp.,其纵向分布亦极为有限,生物扰动平均指数仅为 0.09。

前滨沙滩、沙坝主要出现于一、三段及五段沉积期。

(2) 云坪及含沙云坪

岩性为准同生白云岩,以粉晶白云岩为主,粗粉晶—极细晶白云岩少量,白云岩常含石英砂,有的并含少量泥质,主要有石英砂质粉晶白云岩和含石英砂粉晶白云岩,还有石英砂质粗粉晶—极细晶白云岩以及粉晶白云岩、粗粉晶—极细晶白云岩;颜色普遍呈灰紫、紫红色,部分为紫灰色及黄灰色等;岩层一般中层状,次为薄层状;水平纹理发育,并见水平层理;未见实体化石与遗迹化石,生物扰动平均指数为零。

云坪及含沙云坪主要见于一段沉积期,次为二段沉积期,四、五段沉积期偶见或少量出现。

(3) 局限台地潮下低能

岩性以灰泥灰岩为主,多具云斑并常含生屑,主要有含云斑灰岩、生屑质灰岩、含生屑灰岩、云斑质生屑灰岩及含生屑云斑质灰岩,此外还有斑状细晶白云岩等;颜色一般为灰黄、棕黄色—深灰、灰黑色;岩石多呈瘤状,以厚层者居多,次为中层状;生屑的种类较少并以广盐性类别的含量居多,如介形类、双壳类、腹足类及一些腕足类等,其他还见有苔藓虫、海百合茎及藻类等,生屑可以富含介形类(包括完整个体)为特点,并常含薄壳小个体的双壳类及腕足类;较强或强生物扰动构造发育,平均扰动指数高达 4.41。

局限台地潮下低能环境集中出现于二段沉积期。

(4) 台地粒屑滩(介壳滩)

岩性主要为灰色薄层状介壳灰岩,横向上厚度不稳定,不含遗迹化石及其生物扰动构造,介壳多以双壳类为主,略作定向排列,其边缘具不同程度的泥晶化,藻类钻孔和包壳现象明显,胶结物主要为微晶—亮晶方解石或亮晶方解石,可含少量介形类、腹足类等生屑及陆屑石英,有的介壳灰岩中含较多凝块石,大部为隐藻类泥晶灰岩破碎而成(图版—8,9)。

台地粒屑滩(介壳滩)见于二段与四段沉积期,但存在时间相对短暂。

(5) 开阔台地潮下带

岩性主要为一些含生屑、含云斑的灰岩和细晶白云岩,大部岩层不具生物扰动构造,平均扰动指数较低,为 1.86,但具生物扰动的岩层扰动指数均较高,大多为 4,少数达 5。无生物扰动构造的岩石主要包括生屑质灰岩、部分含生屑灰岩与细晶白云岩,其中前两者一般为灰色、深灰色、中—厚层并呈瘤状,生屑种类丰富,多具一般生活于正常盐度海水中的类别,如头足类、三叶虫和棘皮动物等,常见完整生物个体,如腕足

类、头足类、腹足类及介形类等;细晶白云岩为准同生后白云岩,由半自形—自形白云石组成,白云石常呈菱面体或具环带构造,晶体内有时可见泥晶方解石残余,可含完整头足类及腕足类等化石,头足类有时很丰富,可见硅质团块和极少量陆屑石英。具生物扰动构造的岩石主要是云斑质灰岩、含生屑云斑质灰岩及含生屑含云斑灰岩;前两者具有较强的生物扰动,后者具强生物扰动;岩层中—厚层并呈瘤状,以厚层者居多;颜色通常为灰黄、棕黄色—深灰、黑灰色;生屑种类多,有腕足类、软体动物、介形类、海百合茎、苔藓虫、海绵骨针、三叶虫、头足类及藻类等,其中常见多适应于正常盐度海水的类别,有些层位并富含完整的头足类及腕足类化石(图版—4)。

开阔台地潮下带环境主要见于三、四、五段沉积期,即本组中、上部沉积期,其中四段及五段下部沉积期以此类环境占优势,在二段沉积期少量出现。

3.2 古地理及其演变

一段沉积期前滨沙滩、沙坝与云坪、含沙云坪环境交互出现,以含沙云坪环境为主,沉积末期向局限台地潮下低能环境过渡。二段沉积期含沙云坪与局限台地潮下低能环境交替出现,以后者占优势,间或出现开阔台地潮下低能及台地粒屑滩(介壳滩)环境。三段沉积期前滨沙滩、沙坝与开阔台地潮下带环境交互出现。四段沉积期以开阔台地潮下带环境为主,并与前滨沙滩、沙坝环境交互出现,间夹台地粒屑滩(介壳滩)及云坪环境。五段沉积期开阔台地潮下带与前滨沙滩、沙坝、含沙云坪环境交互,早期以开阔台地潮下带环境占优势,中、晚期以前滨沙坝环境为主,末期过渡为开阔台地潮下带环境。

纵观上述各段沉积期古地理可以看出,本组沉积早期先后以含沙云坪环境、局限台地潮下低能环境为主,中、晚期则开阔台地潮下带环境频繁出现并时而占优势,反映了海平面上升的总体趋势;同时在海进的背景下,前滨沙滩、沙坝与云坪、含沙云坪或开阔台地潮下环境等的交替出现,则反映了阿雷尼格中期本区是接近古陆的,随着相邻古陆的周期性抬升或海平面的周期性上升,出现了海陆争夺、频繁进退的古地理

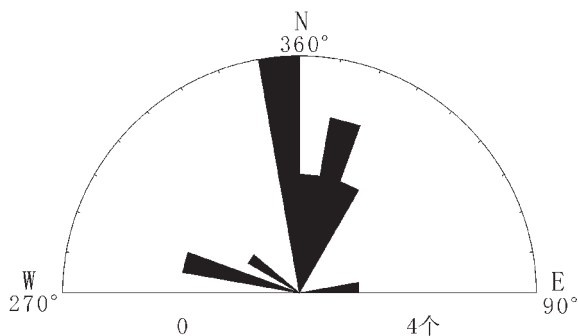


图 4 桌子山三道坎组(第 25 层)直形壳鹦鹉螺类化石走向玫瑰花图

Fig.4 Rose diagram of strikes of fossil orthocone nautiloids from the Sandaokan Formation (25th layer), Zhuozishan

变化。当陆源碎屑物质供应特别充分时,便会完全中断碳酸盐沉积,反之,则为碳酸盐台地环境,从而混合沉积发育。

3.3 古水流方向与古气候

长形化石可用于判断古流向,当其长轴方向定向排列且尖端方向一致时指示为远离海岸的沉积环境,反映深水、较深水并仅有很弱的流动的状况,长形化石的尖端对着水流方向^[5]。三道坎组含丰富的头足类化石,其中,*Parakogenoceras* 化石带分布于该组中、上部,包括 *Parakogenoceras*、*Ordosoceras*、*Polydesmia* 及 *Actinoceras* 4 属^[6],均为直形壳鸚鵡螺类化石。本组中部第 20 层和上部第 25 层富含保存完好的头足类化石,据露头观测这些长形化石绝大部分近南北向排列且大头朝南(图版—4),指示古流向是自北而南的(图 4)。再者,鄂尔多斯盆地西北缘三道坎组及其相当地层,砂岩的厚度由北向南渐次减少,至贺兰山、青龙山一带则完全相变为灰岩^[7],这进一步证实了水流方向是自北而南的,据推测陆源砂来自阿拉善古陆^[8]。

图版说明:

标本和薄片保存于石油大学(北京)古生物学实验室,采自于鄂尔多斯盆地桌子山地区老石旦东山下奥陶统三道坎组;野外照片均摄自于老石旦东山三道坎组剖面。

1~2—含云石英中砂岩中的冲洗层理,第 3 层下部,野外照片。

3—云斑质灰岩层面上叠覆的遗迹化石,因富含有机质而呈暗色,浅色者为云斑,第 25 层底部,野外照片。

4—含生屑云斑质灰岩中的直形壳鸚鵡螺类化石,近南北向产出且大头朝南,第 25 层,野外照片。

5—含生屑含云斑灰岩,经生物扰动部分为富含有机质的泥晶方解石,云斑为粉晶—细晶白云石,并时见菱面体白云石及未交代的泥晶方解石团块;第 9 层上部。薄片号 WZ14—4,单偏光,0.4 mm。

6—中粗粒石英砂岩,石英含量大于 95%,呈次圆—圆状,分选中等—好,局部具次生加大,胶结物以粉晶白云石为主;第 2 层底部。薄片号 WZ4—1,单偏光,0.4 mm。

7—具强生物扰动的含云斑灰岩,在垂向上,灰黑色的叠覆遗迹与未扰动的浅色云斑相间大致呈条带状顺层分布;第 12 层上部。标本号 WZ17—1,1.9 cm。

8—薄层状介壳灰岩,介壳以双壳类为主,略呈定向排列,第 9 层底部。标本号 WZ14—1,2.5 cm。

9—介壳灰岩,介壳以双壳类为主,含量约 70%,略呈定向排列,其边缘泥晶化发育,藻类钻孔和包壳现象明显;偶见生物—团粒亮晶灰岩屑;填隙物主要为微晶—亮晶方解石,其中含少量介形类、腹足类等生屑和陆屑石英;第 9 层底部。薄片号 WZ14—1,单偏光,0.4 mm。

Explanation of Plate:

The specimens and thin sections are preserved in the Paleontology Laboratory of University of Petroleum (Beijing). They were taken from the Lower Ordovician Sandaokan Formation at Laoshidandong Mountain, Zhuozishan area, Ordos basin; the field photographs were all

本组的头足类化石带与上覆桌子山组下部的两个头足类化石带所含 *Polydesmia*、*Ordosoceras* 等是标准的黄河型动物群分子,自桌子山组上部才有扬子型分子进入本区^[9];本组及桌子山组下部的牙形石也应划归华北区奥陶系 *Aurilobodus leptosomatus*—*Loxodus dissectus* 牙形石带^[6]。这些事实说明,早奥陶世三道坎组—桌子山组下部沉积期华北海经兴蒙海槽而流入桌子山地区,从而同为一个古生物地理区。

三道坎组前滨沙滩、沙坝相的石英砂岩普遍含白云石,未见实体化石且遗迹化石也极为稀少,反映了干热气候下水体咸化的高生态压力环境,不利于生物生存;同时,云坪及含沙云坪相准同生白云岩的发育也反映了干热的气候;本组富含头足类化石,头足类的大量发育普遍被认为指示炎热的气候环境^[10]。本区应归属早奥陶世华北亚热带干旱气候区^[10]。

中国地质科学院地质研究所金若谷研究员协助鉴定岩石薄片,谨致谢忱。

taken from the section of the Sandaokan Formation of Laoshidandong Mountain.

1~2—Swash beddings in the dolomite-bearing medium quartz sandstone; the lower part of the 3rd layer; field photograph.

3—Overlapping trace fossils on the bedding plane of dolomitic-mottled limestone, which are dark because of the presence of abundant organic matter, while the dolomitic mottles are light; the bottom of the 25th layer; field photograph.

4—Fossil orthocone nautiloids in the bioclast-bearing dolomitic-mottled limestone, which occur in an approximate north-south direction, with its big head oriented toward the south; the 25th layer; field photograph.

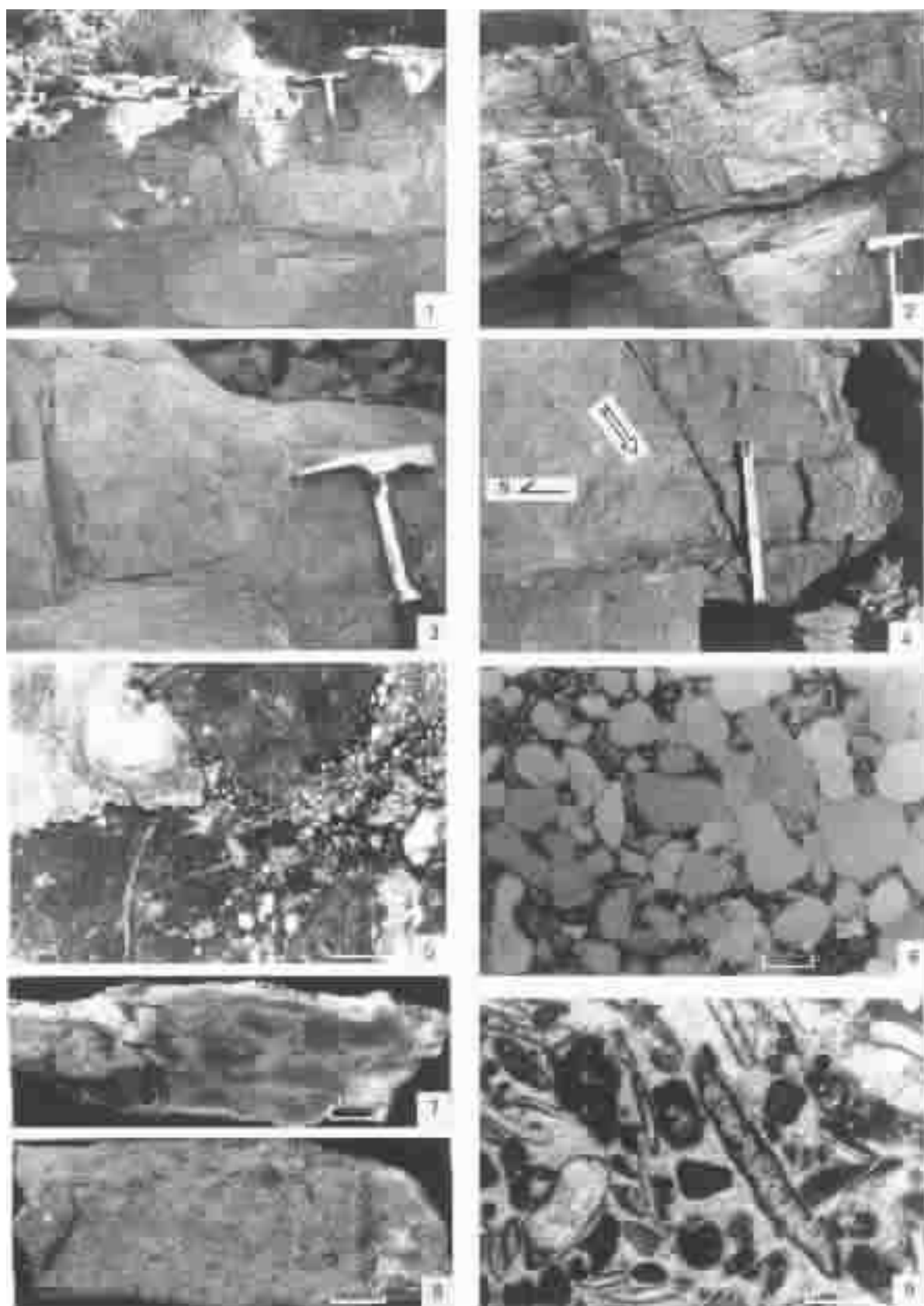
5—Bioclast-bearing, dolomite-mottled limestone, in which the bioturbated parts are micritic calcites with abundant organic matter, but dolomitic mottles are very finely-finely crystalline dolomites, and rhomboidal dolomite and non-metasomatic micritic calcite lumps appear frequently; the upper part of the 9th layer. Thin section No. WZ14-4, (-)0.4mm.

6—Medium- and coarse-grained quartz sandstone, the quartz content is >95 percent, their shapes are subrounded to rounded, sorting is medium to well, secondary enlargements occur partly and the cement materials consist mainly of silt-sized crystalline dolomites; the bottom of 2nd layer. Thin section No. WZ4-1, (-)0.4mm.

7—Dolomite-mottled limestone with intense bioturbation; vertically, grayish black overlapping traces alternate with undisturbed light dolomite mottles, which occurs approximately as bands along bedding; the upper part of 12th layer. Specimen No. WZ17-1, (-)1.9cm.

8—Thin-bedded coquina limestone; the shells are mainly bivalves and approximately oriented; the bottom of 9th layer. Specimen No. WZ14-1, (-)2.5cm.

9—Coquina limestone; the shells are mainly bivalves; their content is ~70 percent and the shells are oriented approximately; micritization is



well developed at shells rims; algal boring and incrusts are pronounced; clasts of biopelsparite occur occasionally; the filling materials consist mainly of microcrystalline -sparry calcites, in

which there are a few bioclasts of ostracods and gastropods and terrigenous clastic quartz; the bottom of 9th layer. Thin section No. WZ14—1, (-), 0.4mm

参考文献(References):

- [1] 卢衍豪.西北寒武奥陶纪地层问题[J].地质学报,1954,34(3):311~318.
Lu Yanhao.Problems of the stratigraphy of the Cambrian and Ordovician in the Northwestern China [J].Acta Geologica Sinica,1954, 34(3):311~318 (in Chinese).
- [2] 张日东.内蒙古伊克昭盟桌子山区域下奥陶统的头足类化石[J].古生物学报,1959,7(4):259~283.
Zhang Ridong.Fossil cephalopods of Lower Ordovician from Zhuozishan district in Ih Ju League of Inner Mongolia [J].Acta Palaeontologica Sinica,1959,7(4):259~283(in Chinese with Russian abstract).
- [3] 陈均远,周志毅,林尧坤,等.鄂尔多斯地台西缘奥陶纪生物地层研究的进展[A].见:中国科学院南京地质古生物研究所第20号[C].北京:科学出版社,1984.1~31.
Chen Junyuan,Zhou Zhiyi,Lin Raokun,et al.Ordovician Biostratigraphy of Western Ordos[A].In:Mem. of Nanjing Inst. of Geol. & Palaeont. Acad. Sinica No.20[C].Beijing:Science Press,1984.1~31(in Chinese with English abstract).
- [4] 安太庠,郑昭昌.鄂尔多斯盆地周缘的牙形石[M].北京:科学出版社,1990.9~132.
An Taixiang, Zheng Zhaochang.Conodonts of the Marginal Areas around the Ordos Basin, North China [M].Beijing:Science Press, 1990.9~132(in Chinese with English abstract).
- [5] 张文堂.中国的奥陶系[A].见:全国地层委员会编.全国地层会议学术报告汇编[C].北京:科学出版社,1962.1~161.
Zhang Wentang.The Ordovician System of China [A].In:Stratigraphy Commission of China ed.Compilation of Academic Reports of Stratigraphy Conference in China Beijing:Science Press, 1962.1~161.
- [6] 魏魁生,徐怀大,叶淑芬.鄂尔多斯盆地北部奥陶系碳酸盐岩层序地层研究[J].地球科学,1996,21(1):1~10.
Wei Kuisheng,Xu Huaida,Yeshufen.Carbonate sequence stratigraphy of Ordovician in the northern Ordos Basin[J].Earth Science,1996,21 (1):1~10(in Chinese with English abstract).
- [7] 魏魁生,徐怀大,叶淑芬,等.碳酸盐岩层序地层学——以鄂尔多斯盆地为例[M].北京:地质出版社,2000.24~62.
Wei Kuisheng,Xu Huaida,Yeshufen,et al.Carbonate Sequence Stratigraphy - A Typical Example from Ordos Basin[M].Beijing:Geological Publishing House,2000.24~62(in Chinese with English abstract).
- [8] 张文华,徐怀大,王广响,等.桌子山奥陶系沉积层序特征[M].北京:石油工业出版社,1996.14~75.
Zhang Wenhua,Xu Huaida,Wang Guangjun,et al.Characteristics of Sedimentary Sequences in Ordovician at Zhuozishan [M].Beijing: Petroleum Industry Press,1996.14~ 75 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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,1998.33~142.
Feng Zengzhao,Bao Zhidong,Zhang Yongsheng,et al.Stratigraphy, Petrology, Lithofacies and Palaeogeography of Ordovician in Ordos [M].Beijing:Geological Publishing House, 1998.33~142(in Chinese with English abstract).
- [10] 江茂生,沙庆安.碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展[J].地球科学进展,1995,10(6):551~554.
Jiang Maosheng Sha Qing'an.Research advances in the mixed siliciclastic-carbonate sedimentary systems [J].Advance in Earth Sciences, 1995,10(6):551~554(in Chinese with English abstract).
- [11] 沙庆安.混合沉积和混积岩的讨论[J].古地理学报,2001,3(3):63~66.
Sha Qing'an.Discussion on mixing deposit and Hunji rock[J].Journal of palaeogeography,2001,3 (3):63~66 (in Chinese with English abstract).
- [12] Taylor A M,Goldring R.Description and analysis of bioturbation and ichnofabric[J].Journal of the Geological Society,1993,150:141~148.
- [13] Bottjer D J,Droser M L.Ichnofabric and basin analysis[J].Palaios,1991, 6:199~205.
- [14] Droser M L,Bottjer D J.Ichnofabric of sandstones deposited in high energy nearshore terrigenous clastic environments: measurement and utilization [J].Palaios,1989,4:598~604.
- [15] 刘宝珺,曾允孚.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社,1985.216~229.
Liu Baojun,Zeng Yunfu.Basis of Lithofacies Palaeogeography and Method of Study [M].Beijing:Geological Publishing House, 1985.216~229.
- [16] 赵锡文.古气候学概论[M].北京:地质出版社,1992.65~72.
Zhao Xiwen.An Introduction to Palaeoclimatology [M].Beijing: Geological Publishing House,1992.65~72 (in Chinese with English abstract).

Bioturbation structures and paleogeography of mixed deposits of the Lower Ordovician Sandaokan Formation, Ordos basin

FEI An-wei, LIU Cheng-lin, GAN Jun, ZHANG Zhong-tao

(Resources and Information Institute, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: For the first time trace fossils have been discovered in the Lower Ordovician Sandaokan Formation in the Zhuozishan area at the northwestern margin of the Ordos basin. Most of them are bioturbation structures whose ichnogenera and ichnospecies cannot be identified. The Sandaokan Formation comprises mixed deposits composed of alternating beds of carbonate rocks and terrigenous clastic rocks. It is divided into five members according to the lithology and rhythmicity. The distributions and characteristics of the bioturbation structures and the sedimentary environments where they were formed are analyzed and summarized in this paper. The paleoenvironments during deposition of the formation are mainly foreshore sand beaches, sandbars, dolomite flats, sandy dolomite flats, low-energy subtidal restricted platforms, coquina banks and subtidal open platforms. The characteristics of each paleogeographic unit and paleoenvironments in the depositional period of each member are expounded by the sedimentological and body fossil study, combined with the semi-quantitative analysis of bioturbation structures. It is suggested that the paleoenvironment in the early depositional period of the Sandaokan Formation was successively mainly marked by sandy dolomite flats and low-energy subtidal restricted platforms, while the subtidal open platform environment appeared repeatedly and predominated sometimes in the middle and late depositional periods of the formation, which reflects the general trend of sea-level rise. Meanwhile in the background of transgression, foreshore sand beaches, sandbars and dolomite flats, sandy dolomite flats or subtidal open platforms appeared alternately, which reflects that the Zhuozishan area was near an old land during the Middle Arenigian age. With the periodical rise of the old land or the sea level, transgression and regression and land and sea change occurred frequently; as a result, mixed deposits were developed. Study of the attitudes of the fossil orthocone nautiloids indicate that the paleo-currents were from north to south during the deposition of the Sandaokan Formation. According to analyses of the lithology and fossils, the climate was dry and hot during the deposition of the formation. The Zhuozishan area should be classed as an Early Ordovician North China subtropical dry climatic province.

Key words: mixed deposit; bioturbation structure; paleogeography; Lower Ordovician; Sandaokan Formation; Ordos basin; Zhuozishan