

浊流、风暴和洪水事件沉积及其伴生的痕迹群落

胡 斌

(焦作矿业学院)

浊流、风暴和洪水事件沉积中的痕迹化石研究开始于七十年代,迄今已有不少重要著作相继发表(如 Crimes, 1970、1973、1976; Seilacher, 1977、1982; 杨式溥, 1982、1983、1986; 吴贤涛, 1982、1985 等)。前人工作表明,结合痕迹学研究对判别上述各事件沉积的类型、追踪其形成过程和古环境再造,以及盆地分析和盆地内地层对比等均具重要潜在价值。

本文拟据笔者等近几年对豫西和下扬子地区古生代和中生代地层中浊流、风暴和洪水事件沉积及其痕迹化石的考察与研究,并参考国内外有关文献,谨就这类事件沉积层序特征及其伴生痕迹化石群落的组成与分布特征,试作一简要概述,以供讨论。文中难免有疏漏谬误之处,尚希读者不吝指正。

一、浊流、风暴和洪水事件沉积层序的共同特点

浊流、风暴和洪水事件是种高速高能水流事件,其机理大多是猛烈突发或激发性的(*initiating*),因而具有时间短(从数小时到数天)、破坏性大和建设性强(指快速沉积物堆积)的特点。就后者而言,每一幕这种高能事件所导致的沉积物沉积,往往经过从高能→低能→常态的变化过程,因而垂向上(自下而上)相应显示快速沉积(事件高峰期沉积)→慢速沉积(事件衰减期沉积)→悬浮沉积(事件间歇期沉积),且沉积物由粗→细的一般沉积序列(图 1)。但由于各事件沉积形成机制、沉积物来源和沉积环境各不相同,所以各自沉积序列的组成特征(包括沉积学、痕迹学和生物学特征)具有明显差异。不过,就宏观层序变化来说,如图 1 所示,这三种事件沉积通常具有以下共同特点:

1. 具侵蚀基底面——浊流、风暴和洪水事件沉积层的底面常显示为程度不同、规则或不规则、波状或凹凸不平的基底面,并见有各种底痕或侵蚀构造标志。这显然是高速高能的事件水流对底层产生强烈冲蚀破坏作用的结果。

2. 层序下部或底部为粒序层或滞积层——因素流事件水流一方面能携带各种粒级的沉积物,另一方面又能将事件区未固结或半固结的底层沉积物冲散搅起,从而产生以重力作用为主的密度流沉积,便导致层序底部或下部滞积层和正粒序层理的形成。滞积层可由粗碎屑(如砾、含砾砂及中—粗砂)和介壳碎屑或粗骸晶颗粒组成。后者往往称介壳滞积层(*shelly lags*),于风暴岩中较为常见。

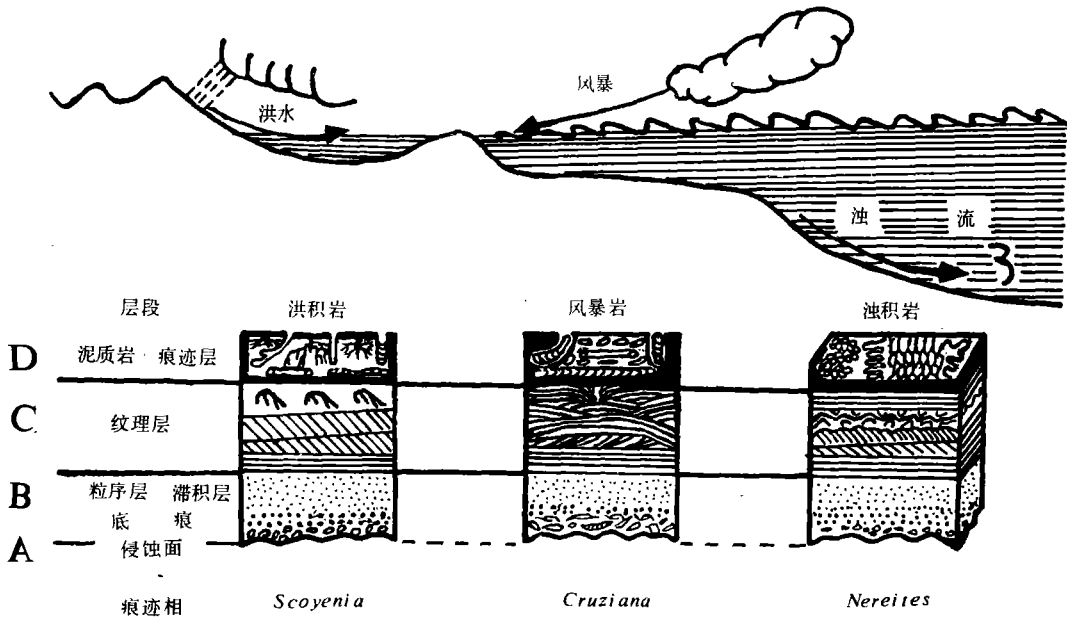


图 1 浊流、风暴和洪水事件沉积的一般垂向序列特征示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing vertical sequences of turbidites, tempestites and inundites

3. 层序中部具纹理层——包括平行层理、水流波痕层理(板状和波状交错层理)、变形层理和爬升波纹层理、以及丘状交错层理(风暴岩中)等。这些纹理层的形成,一方面与波浪水流有关,另一方面与事件水流对盆地内正常水流产生强大干扰而造成既有横向水流(线形水流)又有垂向水流(振荡水流)且方向不定的高流态复合流动体制有关。

4. 层序上部或顶部为含痕迹化石的泥质层或生物扰动层——主要由悬浮沉积的泥岩组成,并含有各种痕迹化石或生物扰动构造,系事件间歇期沉积。一般来说,每一幕事件过后,有一段平静时期。在这期间,生态环境渐趋于稳定和正常化,于是事件区周围的大量生物又很快进入事件区重新进行生物活动。当第二幕事件发生时,这些造迹生物大部分本能地跑掉,留下的遗体大多被事件水流破坏,但它们在底层上建造的痕迹或多或少被保存了下来。

二、浊流事件沉积与痕迹群落

(一) 浊流事件沉积序列特征

宏观上由深水或较深水陆源碎屑形成的浊积岩(早先称复理石相沉积)往往呈页岩与砂岩的韵律状互层,其沉积序列的理想模式由鲍马(Bouma, 1962)提出,后又有一些学者加以补充(如 Piper, 1978)。如图 2 所示,该模式自下而上分为 A、B、C、D、E 五个层段,各层段主要沉积特征梗概如下(图 2):

A 段,亦称递变层理段或递变段,由含砾砂岩、砂砾岩和砂岩组成,向上呈正粒序变化,

冲刷基底面上具槽模、沟模、单向工具痕和重荷模等底痕,系高流态条件下的快速沉积。

B段,亦称平行层理段或下平行纹层段,一般由细砂岩组成,发育平行层理,系高流态平底条件下的沉积。

C段,亦称水流波纹层段或变形纹层段,由细砂岩和粉砂岩组成,发育小水流波痕层理或变形层理,偶见爬升波痕层理和大水流波痕层理,系低流态沉积。

D段,亦称水平纹理段或上平行纹层段,由粉砂岩和粉砂质岩组成,具有明显的水平纹理,系低流态平底条件下的慢速沉积。

E段,亦称均匀层理段或泥质层段,由质较纯的泥岩组成,以均匀层理和含各种痕迹化石为其特征,系浊流间歇期悬浮沉积。

应该提出的是,上述E段(据Piper,1978)又可进一步划分为四个更细的层段,即自下往上为 e_1 -纹层状泥层、 e_2 -具粒序的砂泥层、 e_3 -无粒序的块状泥层、f段-远洋泥层,大多被生物扰动(Waier—Harth,1982)。

层段	岩性	沉积构造	痕迹群落主要分子
E	f 远洋沉积物	大多被生物扰动	<i>Helminthoida</i> <i>Helminthopsis</i> <i>Cosmorhaphie</i> <i>Nereites</i> <i>Neonereites</i>
	e_3 泥	无粒序均匀层理	<i>Taphrohelminthopsis</i> <i>Urohelminthoida</i> <i>Paleodictyon</i> <i>Squamodictyon</i> <i>Megagraption</i>
	e_2 具粒序	具粒序	<i>Spirorhaphie</i> <i>Spirophycus</i> <i>Scolicia</i> <i>Phycosiphon</i> <i>Zoophycos</i>
	e_1 岩	水平层理	<i>Rhizocorallium</i> <i>Glockereria</i> <i>Lorenzinia</i> <i>Chondrites</i> <i>Thalassinoides</i> <i>Granularia</i> <i>Diplocraterion</i> <i>Arenicolites</i> <i>Skolithos</i>
D	砂质泥岩 粉砂岩	水平层理	
C	粉砂岩 细砂岩	水流波纹和包卷纹层 板状和波状交错层理	
B	砂岩	平行层理 (具粒序的纹层)	
A	含砾砂岩 砂砾岩	正粒序层理 常见槽模、重荷模、 单向工具痕等底痕	

图2 浊流事件沉积序列特征示意图

Fig. 2 Vertical sequences of turbidity current deposits and common trace fossils

(二) 浊积扇的岩相分布

在半深海—深海环境中,由浊流形成的各种类型的扇形和锥形沉积体,统称为浊积扇。自大陆斜坡的海底峡谷向深海盆地方向,呈辐射状的浊积扇体在平面上大致可划分为内扇、中扇和外扇三个沉积带(图3)

(1)内扇,亦叫上部扇,包括主要为粗碎屑岩(砾岩和含砾砂岩)的扇谷、扇渠或水道以及水道两测的天然堤——主要由细砂岩、粉砂岩和泥岩组成。渠间沉积以细粒沉积物(粉砂岩

和泥岩)为主。总体上说,内扇带浊流沉积以环境能量较高,沉积物颗粒较粗、鲍马序列不清楚为其特征。

(2)中扇,亦叫中部扇,由网状分流水道(扇渠)和水道间沉积组成。岩性主要为细砂岩、粉砂岩及泥岩。砂/泥比率在渠内高,渠间低。鲍马序列在扇渠内以 A、B、C、D、E 或 B、C、D、E 或 A、E 为特征,而渠间则以 C、D、E 或 D、E 为特征,属近源浊流沉积。

(3)外扇,亦叫下部扇,包括扇舌或扇瓣、扇前缘和深海盆地平原沉积。它以远洋或半远洋泥及粉砂沉积为主,夹砂质沉积。鲍马序列以 C、D、E 或 D、E 为特征,属远源浊流沉积。

(三) 痕迹群落的组成与分布特征

1. 已知部分浊积岩中痕迹化石的主要产地与时代

浊流沉积环境简称浊流相,主要包括半深海—深海、三角洲前缘—滨外陆棚海及内陆湖泊环境。其中半深海—深海浊流沉积中的痕迹化石发现较多,研究较详,主要见于瑞士西南部的白垩纪至始新世(Crimes et al, 1981),西班牙北部的第三纪(Crimes, 1973, 1976, 1977),波兰南部喀尔巴阡山晚侏罗世(Ksiazkiewicz, 1970, 1977; Roniewicz et al, 1971),美国纽约晚泥盆世(Corbo, 1979),加利福尼亚南部白垩纪(Bottjer, 1981),奥地利维也纳白垩纪至始新世

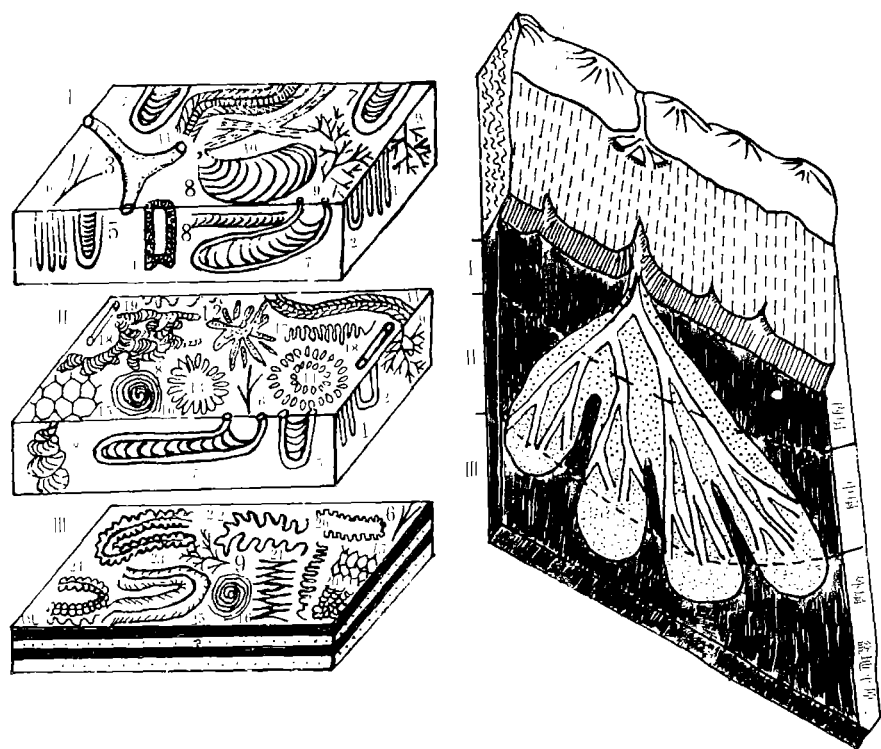


图 3 理想的深海浊积扇岩相分带及其痕迹化石组合示意图

Fig. 3 Zoning of the idealized deep-sea turbidite fan and its trace fossil assemblages

- 1 = *Skolithos*, 2 = *Arenicolites*, 3 = *Thalassinoides*, 4 = *Ophiomorpha*, 5 = *Diplocraterion*, 6 = *Gravuliria*, 7 = *Rhizocorallium*,
Zoophycos, 9 = *Chondrites*, 10 = *Fucusopsis*, 11 = *Scolicia*, 12 = *Glaukteria*, 13 = *Lorenzina*, 14 = *Bassania*, 15 = *Paleodictyon*,
 16 = *Spirorhaphis*, 17 = *Helminthoida*, 18 = *Planolites*, 19 = *Helminthopsis*, 20 = *Squamodictyon*, 21 = *Urohelminthoida*,
 22 = *Cosmorhaphis*, 23 = *Nereites*, 24 = *Neonereites*, 25 = *Taphrohelminthopsis*, 26 = *Paleomegacaron*

(Kern, 1978), 非洲摩洛哥南部早一中侏罗世, 意大利南部的第三纪 (D' Alessandro, 1980, 1982) 以及我国西藏阿里地区晚石炭世至早二叠世、中侏罗世至早白垩世和青海玛沁地区二叠纪至三叠纪 (杨式溥, 1982、1983、1986、1988), 渐新开化到昌化一带的晚奥陶世 (夏邦栋等, 1987; 杨式溥, 1986), 黔南桑朗地区晚二叠世和中泥盆世 (何远碧等, 1985) 诸复理石中。三角洲前缘—滨外陆棚海和内陆湖泊环境中浊流沉积的痕迹群落, 研究程度相对较低, 报道的资料亦少。前者主要见于西班牙北部晚白垩世浊积岩中 (Maier—Harth, 1982); 后者可以我国豫西济源早侏罗世湖相浊流沉积 (吴贤涛, 1985) 为代表。各地主要化石痕迹属详见表 1。

2. 痕迹群落的生态类型及常见分子

浊流沉积大多发生在较深水/深水环境, 因而与之伴生的生物活动痕迹主要由深水型的分子组成。就海洋环境而言, 过去人们把复理石中的痕迹化石群统称为沙蚕迹痕迹群落 (*Nereites* ichnocoenoses)。痕迹的生态类型以觅食迹 (*Pascichnia*)、进食迹 (*Fodinichnia*) 和耕作迹 (*Agrichnia*) 为其特征, 并含有部分居住迹 (*Domichnia*)。

据现有资料不完全统计, 浊流沉积中的痕迹化石, 多达 100 余属 297 种。其中重要常见分子按形态分类包括 (1) 蛇曲形迹 (mean-dering forms), 诸如 *Nereites*, *Neonereites*, *Cosmorhaphie*, *Helminthoida*, *Helminthopsis* 和 *Paleomeandron* 等; (2) 任意弯曲形迹 (freely winding forms), 如 *Scolicia*, *Taphrohelminthopsis*, *subphylochora* 及 *Gordia* 等; (3) 曲叉形和网形迹 (Winding-branching and network forms), 如 *Urohelminthoida*, *Megagraption*, *Protopalaeodictyon*, *Paleodictyon*, *Squamodictyon*; (4) 环曲式螺旋形 (spirals), 如 *Spirorhaphie* 和 *Spirophycus* 等; (5) 星射状/玫瑰形迹 (rosetted forms), 如 *Glockeria*, *Lorenzina*, *Sublorenzina* 和 *Bassaenia* 等; (6) 蹼状形迹 (spreiten), 如 *Zoophycos*, *phycosiphon*, *Rhizocorallium* 和 *Diplocraterion* 等; (7) 叉枝形迹 (branching forms), 如 *Chondrites*, *Thalassinoides*, *Granularia* 和 *Lophoctenium* 等 (见图 3)。

对于上述各痕迹化石的保存, 据 Książkiewicz (1970) 和 Roniewicz and Pienkowski (1977) 研究, 大多数都是在页岩与砂岩间以潜穴的形式平行于层面保存并有时切穿浊积岩底痕, 因此被认为是后沉积的 (post-depositional) 或者说是事件沉积后的和喜砂或适砂生物的 (psammophagous) 痕迹。其中最常见的事件沉积后痕迹化石往往与鲍马序列的 A 段和 C 段底面伴随出现, 这表明递变层理和波纹移动交错层理便于氧气渗透 (passage), 从而助长了页岩与砂岩间面上生物的挖潜活动 (Roniewicz and Pienkowski, 1977)。Seilacher (1984) 在研究事件后沉积的痕迹时, 提出了几种代表能在水和沉积物界面之下不同深度活动的痕迹, 如 *Neonereites* 在层内活动的最大深度可达 7cm, *Scolicia* 为 9cm, *Phycosiphon* 为 15cm, *Chondrites* 为 20cm, 而 *Granularia* 可深达 400cm (详见吴贤涛, 1986, P. 67—69)。

3. 痕迹群落横向分布的组合特征

控制底栖生物及其活动痕迹在各种环境带中分布的因素是多方面的。一般来讲, 底栖造迹生物的生态习性或行为主要与底层沉积物成分和结构、底层的稳定性和坚固性 (如硬底或岩石质底、固底、僵底、软底、木底、壳底及汤底等)、环境能量水平、盐度、温度、氧气、食物来源的有效性 (availability) 以及水深带 (bathymetry) 等环境参数有关 (Corbo, 1979)。因此, 生物活动痕迹的分布亦无疑要受控于这些环境条件。由于浊流沉积从近源至远源或从内扇到外扇乃至深海盆地平原的环境条件是变化的, 所以浊流环境中痕迹群落在横向上的分布亦随之变异。它主要表现为扇带位置、渠道内和间渠道区的不同, 痕迹化石组合具有一定差异 (如 Książkiewicz, 1979; Crimes, 1977、1981; Corbo, 1979)。

表 1 已知部分油积岩中常见痕迹化石(+)的主要产地及时代分布表

Table 1 Main localities and geological time of common trace fossils (+) in turbidites

产地、时代 痕迹属名称	波兰		瑞士	俄克	摩	奥	加里	西班牙		意大利南部	纽约	西藏	阿里	陕西	青海				予西	浙西	
	K-	K-	拉何	哥	地	福	利	北部		Tr	D	J-K	C-P	O	富平		玛沁	玉树	玛多	J	O
	Tr	EOC	马	C	J	K-	亚	K	Tr						P	T	T	P-T			
<i>Acanthorhaphe</i>	+																				
<i>Arenicolites</i>		+								+											
<i>Asterosoma</i>				+						+											
<i>Belorhaphe</i>	+									+											
<i>Chautrites</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cochlichneus</i>	+												+								
<i>Cosmorhaphe</i>	+	+	+			+				+	+			+		+					+
<i>Desmograption</i>	+	+	+								+										
<i>Diplocraterion</i>			+								+										
<i>Fucusopsis</i>	+	+	+								+	+									
<i>Glockeria</i>	+	+	+																		
<i>Gordia</i>	+	+	+															+			+
<i>Granularia</i>		+	+								+										+
<i>Gyrochorte</i>	+	+	+																		
<i>Gyrophylites</i>	+	+	+				+				+										
<i>Helicolithus</i>	+	+	+				+			+	+			+			+				+
<i>Helminthoida</i>	+	+	+				+				+	+					+	+	+	+	+
<i>Helminthoosis</i>	+	+	+				+				+						+	+	+	+	+
<i>Lophoctenium</i>	+	+	+	+		+					+							+	+	+	+
<i>Lorenzina</i>	+	+	+								+			+	+	+	+				
<i>Megagraption</i>	+	+	+								+	+			+	+	+	+	+	+	+
<i>Muensteria</i>	+	+	+												+	+					
<i>Neomereites</i>	+	+	+								+			+	+						
<i>Nereides</i>	+	+	+													+					
<i>Ophiomorpha</i>	+	+	+				+			+											
<i>Paleodictyon</i>	+	+	+	+	+	+	+				+	+			+		+			+	+
<i>Paleomeambron</i>	+	+	+																		
<i>Paleophycus</i>											+	+									
<i>Parahelicorhaphe</i>																					+
<i>Pelecypodichnus</i>		+	+									+									
<i>Phycosiphon</i>		+	+	+		+		+		+			+		+		+	+	+	+	+
<i>Planolites</i>	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Protapaleodictyon</i>	+	+	+								+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhizocorallium</i>		+	+								+	+									
<i>Sabularia</i>	+	+	+																		+
<i>Scoticia</i>	+	+	+			+	+	+	+	+	+										
<i>Skolithos</i>		+	+								+										
<i>Spiradesmos</i>																					+
<i>Spirophycus</i>	+	+	+				+			+	+				+						
<i>Spirorhaphe</i>	+	+	+				+			+											
<i>Squamodictyon</i>			+								+	+			+						
<i>Sublorenzina</i>	+	+	+					+		+							+	+	+		
<i>Subphyllochora</i>	+	+	+				+			+											
<i>Taphelminthopsis</i>	+	+	+				+			+	+	+									

产地、时代	波兰		瑞士	俄克	摩	奥	加里	西班牙	意大利南部	纽约	西藏	阿里	陕西	青海				予	浙				
	K-	K-	拉	洛	哥	地	福	北部		D	J-K	C-P	O	玛沁		玉树	玛多	J	O				
	Tr	EOC	马	C	J	K-	亚	K						Tr	P	T	T			P-T			
痕迹属名称																							
<i>Thalassinoides</i> .....	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....				
<i>Tuberculichnus</i> .....	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....				
<i>Urohelminthoidea</i> .....	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....				
<i>Zoophycos</i> .....	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....	+	.....				
化石名称	Ksiazkiewicz	(1977)	Crimes et al	(1981)	Chamberlain	(1971, 1978)	Ekdale et al	(1975)	Kern	(1978)	Bottjer	(1981)	Maier-Harth	(1982)	Crimes	(1976, 1982)	D' Alessandro	(1980, 1982)	Corbo	(1979)	杨式溥等 (1982, 1983, 1986, 1988)	吴贤涛 (1985)	夏邦栋 (1978)
	资料来源																						

内扇带主要由高能条件下的较粗碎屑沉积组成,故痕迹化石以居住迹(*Domichnia*)和进食迹(*Fodinichnia*)为特征,包括垂直型,如 *Skolithos*;“U”形型,如 *Arenicolites*;叉枝型,如 *Thalassinoides*, *Ophiomorpha*, *Granularia* 和 *Chondrites*;蹼状螺旋型,如 *Rhizocorallium* 和 *Zoophycos* 及 *Diplocraterion*;纵直型,如 *Sabularia* 和 *Fucusopsis*。也可出现少量任意弯曲形的 *Helminthopsis* 和 *Scolicia* 等,通常缺乏玫瑰形痕迹或图案型拖迹(Ksiazkiewicz, 1970)。由此可见,此相区以“浅水型”痕迹化石为主,含极少量深水型分子,可概括为 *Thalassinoides*—*Rhizocorallium*—*Scolicia* 痕迹化石组合(图 3—I)。

中扇带的痕迹化石主要来自扇舌上分流水道充填沉积和水道间沉积中,所以既有“浅水型”(水道沉积中)又有深水型分子。大多属进食迹,次为觅食迹,以玫瑰形和蹼状螺旋形痕迹为特征,可称为 *Zoophycos*—*Glockeria*—*Paleodictyon* 组合,重要分子有 *Zoophycos*, *Phycosiphon*, *Glockeria*, *Lorenzina*, *Sublorenzina*, *Bassania*, *Asterichnus*, *Gyrophyllites*, *Paleodictyon*, *Scolicia*, *Spirophycus*, *Spirorhapha*, *Helminthoidea*, *Helminthopsis*, *Fucusopsis* 和穿相分子 *Chondrites* 及 *Planolites* 等(图 3—II)。

外扇带包括扇前缘和盆地平原上以页岩为主的砂/页岩互层沉积。痕迹化石以深水型蛇曲和网状的 *Nereites*—*Cosmorhapha*—*Paleodictyon* 痕迹组合为特征,缺乏浅水型分子,蹼状螺旋形痕迹十分稀少,几无玫瑰形拖迹,代表性分子有 *Nereites*, *Neonereites*, *Cosmorhapha*, *Helminthoidea*, *Helminthopsis*, *Paleomeandron*, *Tapirhelminthopsis*, *Urohelminthoidea*, *Helicolithus*, *Paleodictyon*, *Squamodictyon*, *Megagraption*, *Subphyllochora*, *spirophycus*, *Spirorhapha*, *Chondrites* 及 *Granularia* 等(图 3—III)。

至于三角洲前缘斜坡到滨外浅海陆棚浊流沉积中的痕迹化石,迄今报道甚少,据 Maier-Harth(1982)对西班牙比利牛斯山晚白垩世地层(Maastrichtian age)中浊流沉积的研究,发现在这个由地震或三角洲斜坡超度滑塌造成的三角洲前缘浊流沉积中,不仅有丰富的浅水生物化石,而且也有大量的生物扰动构造。其中较发育的痕迹化石有 *Phycosiphon*, *Chondrites*, *Scolicia* 和 *Asterosoma* 等,前三种为深水复理石中常见分子,仅后者恰位于浪基面之下(Chamderlain, 1978)。

大陆上深水湖泊型浊流沉积中的痕迹群落,吴贤涛教授(1985)做了较详细研究,在豫西济源早侏罗世湖相浊流沉积中,发现有十分丰富的痕迹化石,主要包括不规则的 *Protopaleodictyon*, *Paleodictyon*, *Sabularia*, *Tuberculichnus*, *Chondrites*, *Granularia* 和 *Paracanthorhapha* 等。有趣的是,这一痕迹群落的组成与分布同深海浊积岩中的痕迹群落十分类似。结合剖面上的岩相分析表明,浊流沉积的水深自下而上是由深变浅的,痕迹化石的组合分布亦相应由深水型过渡到浅水

型。

三、风暴事件沉积与痕迹群落

(一) 风暴事件沉积的一般序列特征

风暴事件沉积按沉积物组成划分,主要有两大类,一类为砂质(或碎屑岩)风暴沉积,另一类为碳酸盐风暴沉积。但也有二者混合型的(Bloos,1982)。若按水深带或环境带划分,又可细分为海滩滨后和滨前风暴沉积、临滨或近滨风暴沉积、滨外陆棚浅海风暴沉积以及海湾泻湖和内陆湖泊风暴沉积等。有关风暴沉积作用及其沉积序列,自七十年代开始到八十年代初,曾有许多学者做过专门研究(如 Reineck and Singh,1972; Kreisa,1981,1982; 吴贤涛,1982等)。一般来讲,不同底层性质和不同环境带的风暴沉积特征是有差别的,但仅从总体垂向沉积序列上看,发育完整的风暴沉积大多由三个明显不同的层段组成,如图 4 所示,自下而上为:

层段	岩 性	沉积构造	痕迹群落主要分子
C 泥质层 痕迹层	泥岩 颗粒质泥岩	生物扰动构造 (具痕斑状潜穴)	<i>Zoophycos</i> <i>Rhizocorallium</i> <i>Diplocraterion</i> <i>Planolites</i> <i>Chondrites</i> <i>Thalassinoides</i> <i>Muensteria</i> <i>Gyrochote</i> <i>Curpolithus</i> <i>Asteriacites</i> <i>Cruziana</i> <i>Russelia</i> <i>Skolithos</i>
B 纹理层	颗粒质泥岩 粉砂岩 泥质颗粒岩 细砂岩	冲洗交错层理 丘状交错层理 波状层理 平行层理	<i>Fugichnia</i>
A 介壳堆积层 介壳泥岩	介壳灰岩 泥质颗粒岩 介壳砂岩 泥质粉砂岩 中粗粒砂岩 砂砾岩	正粒序层理 多向工具痕 渠模、重荷模	

图 4 风暴事件沉积序列特征示意图

Fig. 4 Vertical sequences of storm deposits and common trace fossils

A 段——风暴滞积层(lags),系位于风暴侵蚀面上的一套混杂滞留沉积,并显示正粒序变化。此层段岩石类型常见有介壳砂岩、砾岩—中、粗粒砂岩、颗粒岩(grainstone)、泥质颗粒岩(packstone)及生物碎屑和砾屑灰岩等。

风暴滞积层一般解释为风暴涡流(浊流)引起的快速密度流沉积的结果(见吴贤涛、胡斌等,1987)。由于冲刷作用,常在 A 段底面形成特征性的渠模(gutter casts)、多向工具痕及其它冲刷—充填构造(Aigner,1982; Seilacher,1982)。

B 段——纹理层段(laminated beds),发育于风暴滞积层之上,岩性主要为细砂岩和粉砂

岩、泥质颗粒岩和颗粒质泥岩或粉砂屑灰岩,纹理由平行纹理、丘状交错层理(Hummocky cross-stratification)、波状层理、冲洗交错层理、包卷层理和水平层理组成(据张金亮等,1988年报道,湖相风暴岩中还见有透镜及压扁层理)。此层段自下而上,常显示沉积物颗粒大小变细、纹理厚度变薄、并偶见逃逸构造(escaping structures)和其它生物活动痕迹。

不同的纹理,形成机制是不同的。此段特征性的纹理一般被解释受控于风暴诱导的强振荡水流、多向水流以及不规则波状底形的相关作用或复合作用,并且与能量逐渐衰减条件下的快速沉积有关。

值得注意的是,在沙质风暴沉积中,B段的顶面或风暴砂层的顶面,可见一些特征性的物理沉积构造,如溢覆振荡波痕(spill-over oscillation ripple)、肯尼亚(Kinney)构造和阿里斯托痕(Aristophycus)等(详见 Seilacher, 1982; 吴贤涛, 1988)。

C段——泥质层段或泥岩段(mudstone beds),主要为灰色、深灰色泥岩或颗粒质泥岩/泥晶灰岩和生物扰动灰岩,含有丰度和分异度不同的痕迹化石或不同程度的生物扰动构造以及其它生物化石。通常解释C段为风暴间歇期且天气处于常态条件下的缓慢悬浮沉积。

(二) 痕迹群落的组成与分布特征

相对而言,风暴沉积中痕迹化石的综合研究,起步较晚,自八十年代初开始才有所报道(Seilacher, 1982; Pemberton and Frey, 1983, 1984; Fursich, 1982; Bloos, 1982; Aigner, 1982; Jeffery and Aigner, 1982; 吴贤涛, 1982; 吴贤涛和胡斌等, 1987)。因此,在种类的数量上,较之浊流环境逊色多了。现已知痕迹属主要有 *Asteriacites*, *Chondrites*, *Cochlichmus*, *Cruziana*, *Curvolithus*, *Cylindrichnus*, *Diplocrateria*, *Cyrochorte*, *Kechia*, *Macaronichmus*, *Muenstria*, *Monocraterion*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Pelecypodichnus*, ? *Phoebichmus*, *Planolites*, *Rhizocorallium* (*Glossifungites*), *Russelia*, *Scolicia*, *Skolithos*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, *Zoophycos* 及逃逸迹等(图5)。这些化石均属于 *Cruziana* 痕迹相和 *Skolithos* 痕迹相中的组成分子,以前者居多,故一般将这套风暴沉积中的痕迹化石统称为二叶石迹痕迹群落(*Cruziana* ichnocoenoses)。该痕迹群落的生态类型以进食迹(*Fodinichnia*)、爬行迹(*Repichnia*)和极少量的居住迹(*Domichnia*)为特征。对砂质风暴沉积, *Cruziana* 痕迹相中的分子多数见于风暴砂层底面、或砂层与粉砂质泥层层间面上,而 *Skolithos* 痕迹相中的分子则保存在风暴砂层内(Seilacher, 1982; Pemberton and Frey, 1983, 1984);对碳酸盐岩风暴沉积,化石大多产于序列的中—上部,特别是E段中最为发育(吴贤涛, 1982; 吴贤涛、胡斌等, 1987)。

(三) 风暴沉积类型及其痕迹化石的横向分布特征

据吴贤涛教授(1982)对英国威尔士三崖湾地区早石炭世浅海碳酸盐岩中风暴沉积类型和痕迹化石的研究,以及吴贤涛教授和笔者等(1985—1987)对我国豫西地区晚石炭世碳酸盐岩中风暴沉积和痕迹化石的研究,发现浅海碳酸盐风暴沉积序列及其痕迹化石的组成、大小、丰度和分异度等特征明显受深水带的控制。通常可识别出四种不同水深带的沉积类型和痕迹化石组合(图6)

类型A,与大型 *Zoophycos*—*Planolites* 痕迹化石组合伴生,代表风暴浪基面之下或附近的风暴沉积。典型特征为:主要由序列的A段和C段组成,纹理层不发育,具横向分布较稳定的强生物扰动(strong bioturbation)层,即呈痕斑结构的生物扰动构造,丰度较高的大型规则 *Zoophycos* 和 *Planolites* 等痕迹化石相当发育。

类型B,与之伴生的为小型 *Zoophycos*—*Rhizocorallium* 痕迹化石组合,代表正常天气浪基面

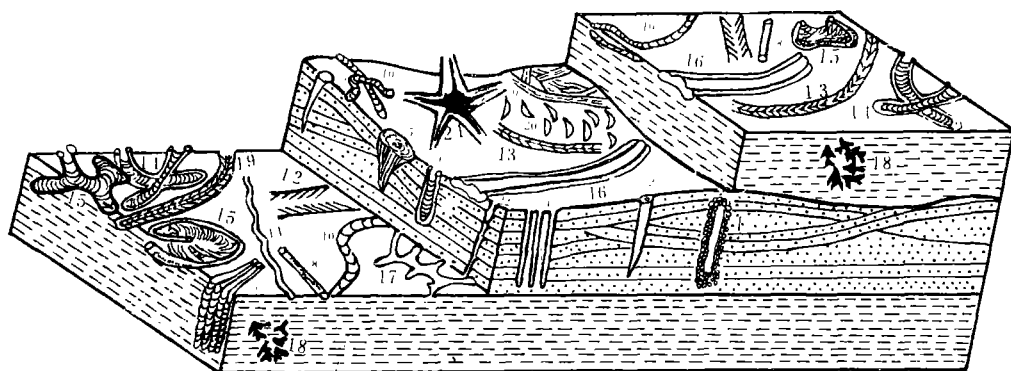


图 5 风暴事件沉积中的痕迹群落示意图(据 Ekdale, Bromley 和 Pemberton, 1984, 仅作部分修改)

Fig. 5 Schematic representation of the ichnocoenoses in storm deposits

(partly modified from Ekdale, Bromley and Pemberton, 1984)

- 1 = *Skolithos*; 2 = *Cylindrichnus*; 3 = *Monocraterion*; 4 = *Ophiomorpha*; 5 = *Rosselia*; 6 = *Diplocraterion*;
 7 = *Teichichnus*; 8 = *Planolites*; 9 = *Palaeophycus*; 10 = *Muensteria*; 11 = *Cochlichnus*; 12 = *Cruziana*;
 13 = *Gyrochorte*; 14 = *Rhizocorallium*; 15 = *Zoophycos*; 16 = *Curvolithus*; 17 = *Thalassinoides*; 18 = *Chondrites*;
 19 = *Scolicia*; 20 = *Pelecypodichnus*; 21 = *Asteriacites*; 22 = *Fugichnia*

—风暴浪基面间下部环境带中的风暴沉积。典型特征为:由序列的 A、B、C 三段组成,发育平行纹理、短波长丘状交错层理和波状纹理等,生物扰动程度中等,含有大量小型 *Zoophycos*、*Planolites*、*Chondrites* 和 *Rhizocorallium* 等痕迹化石,偶见生物逃逸迹。

类型 C、伴生 *Rhizocorallium*—*Diplocraterion* 痕迹化石组合,代表正常天气浪基面—风暴浪

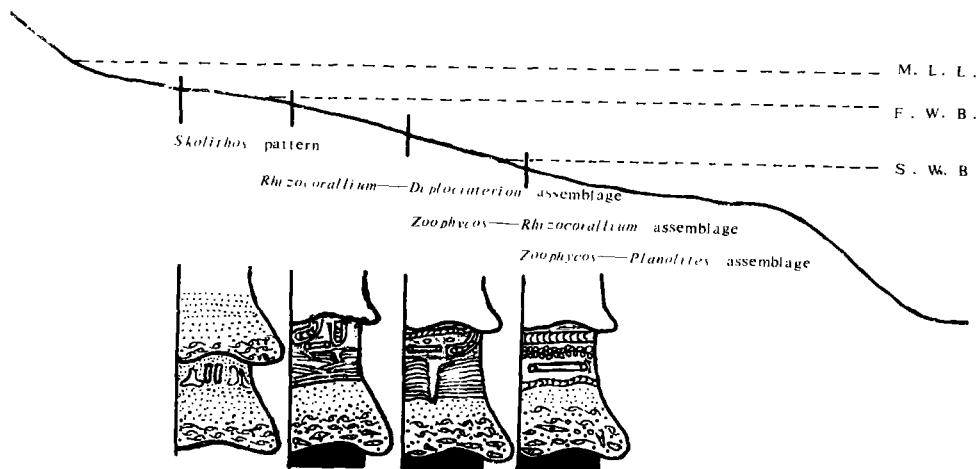


图 6 风暴沉积类型及其痕迹化石组合的横向分布示意图

Fig. 6 Sketch showing storm deposit types and lateral distribution of the trace fossil assemblages

基面间上部环境带中的风暴沉积。典型特征是:由序列的 A、B、C 段组成,但纹理层主要为长波长的丘状交错层理(吴贤涛,1982)和不规则的波状纹理。但有时纹理层不发育。具中一低程度的生物扰动,含有 *Rhizocorallium*、*Diplocraterion*、*Planolites* 及少量小型 *Zoophycos*、*Kechia* 或 *Muensteria* 等痕迹化石。

类型 D,伴随 *Skolithos* 型痕迹组合,代表正常天气浪基面附近或以上环境带中的风暴沉积。典型特征系由序列的 A 段(常见介壳砂岩或介壳碎屑灰岩)和 C 段(常为薄层泥岩或灰泥岩)组成。纹理层及生物扰动构造时常不发育,含有分异度和丰度均很低的 *Skolithos* 型(垂直)居住潜穴和不规则的钻孔迹,以及少许叉枝形的 *Thalassinoides* 等痕迹化石,沿层面或平行层面的进食迹或觅食拖迹常不发育,这可能与日常较高能量的波浪侵蚀作用有关。

值得提出的是,上述风暴沉积类型的横向分布特征,与北京西山丁家滩晚寒武世碳酸盐风暴沉积的“盆地风暴浊流相模型”(孟祥化,1986)和上扬子地区早三叠世泻湖环境中风暴沉积的横向分布特征(王吉礼,1986)^①具有一定相似之处。

四、洪水事件沉积与痕迹群落

洪水事件主要发生于季节性大暴雨导致的山洪暴发和河水猛涨时期,以及高山区积雪随着夏季来临融化所导致的河水暴涨时期。由这类洪水事件产生的沉积作用,在山前和其它洪流底形斜坡突变地区,往往形成洪积扇或冲积扇沉积,在河流中下游或三角洲平原上则形成河流泛滥平原沉积(stream floodplain deposits)或洪泛盆地沉积(flood basin deposits)。对于这些因洪水泛滥造成的沉积,在六十年代许多沉积学家都曾做过较深入的沉积学方面的研究(如 Bluck, 1964; Allen, 1965; McKee, Crosby and Berryhill, 1967 等)。但是,有关洪水沉积以及与之相联系的河流沉积中痕迹学的研究,仅在 Seilacher (1967)建立的 *Scoyenia* 痕迹相问世之后,直到七十年代才陆续引起人们的广泛兴趣和重视(如 Bromley and Asgaard, 1979; Ratcliffe and Lagerstrom, 1980; Pollard, 1981; Seilacher, 1982; Bown, 1982, 1983; Frey et al, 1984; Merrill, 1984; D. Alessandro and Ekdale, 1987 等)。

洪水事件沉积的垂向序列,如图 7 所示,自下而上由洪积期沉积的 A、B 段和洪水间歇期沉积的 C 段组成。其序列的沉积特征与前二种紊流沉积有些类似之处,但痕迹群落差异颇大。

A 段为具粒序层理的滞积层段,由砂砾岩、含砾砂岩或中—细粒砂岩组成,呈正粒序变化,冲蚀基底面上常见槽模、单向工具痕和重荷模等各种底痕。

B 段为纹理层段,由细砂岩、粉砂岩及薄纹层泥岩组成,发育爬升波痕纹理、平行层理、水平层理、波痕层理及卷曲层理等。

C 段为泥质层段或生物扰动层,由泥岩、砂质泥岩或古土壤层组成。含各种动物痕迹和植物根迹化石。

洪水事件沉积中的痕迹群落,一般笼统称为 *Scoyenia* 痕迹群落(Seilacher, 1982)。由于非海相沉积中痕迹相研究起步较晚,难度较大,所以迄今还未建立起陆相各类沉积环境的痕迹相模式。这里仅据部分学者对河流洪泛平原及其它与洪泛有关联的河流沉积环境中痕迹化

① 岩相古地理研究编图通讯,1986,第 2 期(内刊)

层段	岩 性	沉积构造	痕迹群落主要分子
C	古土壤层 泥岩或 砂质泥岩	生物扰动构造	<i>Edaphichnium</i> <i>Scaphichnium</i> <i>Ichnogyrus</i> <i>Macanopsis</i> <i>Scoyenia</i> <i>Muensteria</i> <i>Cochlichnus</i> <i>Steinichnus</i> <i>Ancorichnus</i> <i>Gyrochorte</i> <i>Planolites</i> <i>Chondrites</i> <i>Ophiomorpha</i> <i>Skolithos</i> <i>Rhizoliths</i> Root mats Horizontal root casts
B	粉砂岩 细砂岩	水平层理 爬升波痕纹理 板状交错层理 卷曲层理 水流波痕层理 平行层理	Vertical root casts Diagonal root casts
A	砂砾岩	正粒序层理 单向工具痕 槽模、重荷模	

图 7 洪水事件沉积序列特征示意图

Fig. 7 Vertical sequences of flood deposits and common trace fossils

石的研究,得知如下痕迹属,即 *Scoyenia*, *Ancorichnus*, *Muensteria*, *Planolites*, *Chondrites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos*, *Steinichnus*, *Cochlichnus*, *Rusophycos*, *Cruziana*, *Masrichnus*, *Termitichnus*, *Edaphichnium*, *Scaphichnium*, *Ichnogyrus*, *Macanopsis*, *Diplichnites* 等,此外还有大量未准确定名的居住潜穴和进食潜穴(图 8)。

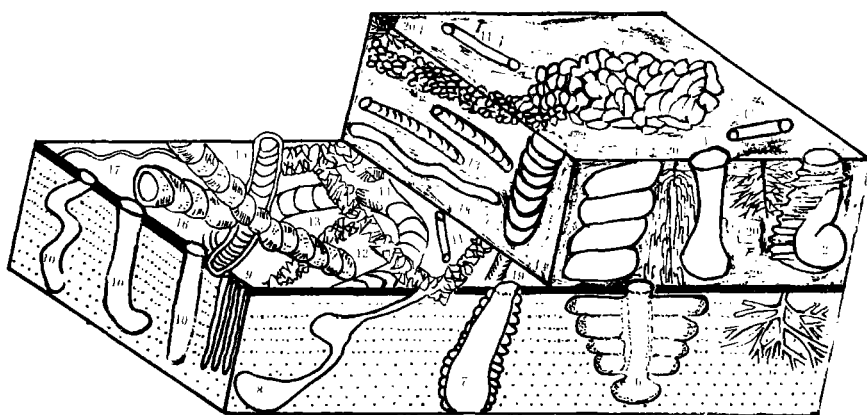


图 8 已知洪水事件沉积及其相关河流沉积中的痕迹群落示意图

Fig. 8 Sketch showing the distribution of the ichnocoenoses in the flood deposits and associated fluvial deposits

1=*Edaphichnium*; 2=*Scaphichnium*; 3=*Ichnogyrus*; 4=*Macanopsis*; 5=*Chondrites*; 6=*Masrichnus*; 7=*Ophiomorpha*; 8=*Termitichnus*; 9=*Skolithos*; 10=Shelter Burrows; 11=*Planolites*; 12=*Steinichnus*; 13=*Muensteria*; 14=*Rusophycos*; 15=*Ancorichnus*; 16=*Scoyenia*; 17=*Cochlichnus*; 18=Curved Burrows; 19=*Cruziana*; 20=*Rhizoliths*

洪水事件沉积中的根迹(rhizoliths)是极其发育的,化石包括根模(root moulds)、根管(root tubules)、根铸模(root casts)、根结核(rhizocretion)及石化根(root petrifications)等五种类

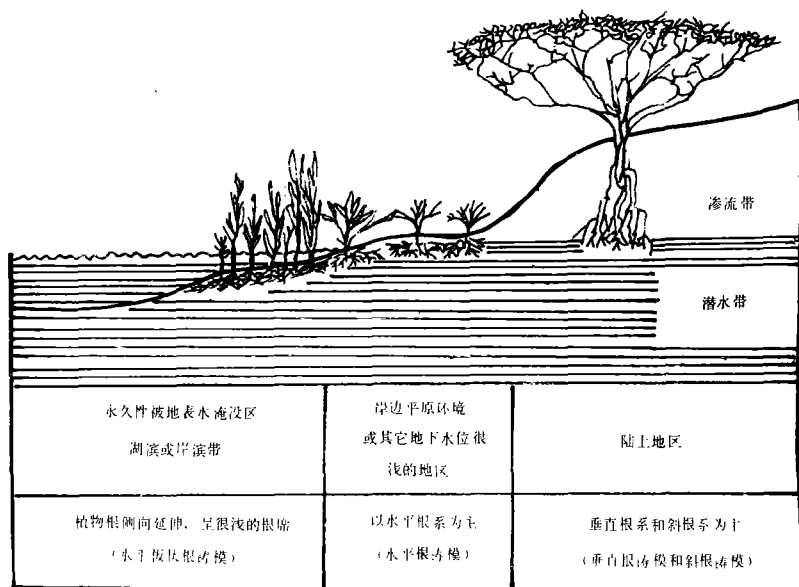


图9 植物根迹在干旱和半干旱地区的横向分布特征(据 A. S. Cohen, 1982)

Fig. 9 Summary diagram illustrating the relationship inferred for fossil root cast (Rhizoliths) development with respect to paleoground water conditions in arid and semiarid environments(after A. S. Cohen, 1982)

型(详见 Collin F. Klappa, 1980; 吴贤涛, 1986, P. 70)。

这里着重提及一下美国学者科亨(A. S. Cohen, 1982)在研究肯尼亚图尔卡纳湖东部地区更新世 Koobi Fora 组上段地层中根迹时划分出五种不同类型,即(1)席状根铸模或叫水平板状根席(horizontal Planar root mats),它由混杂交织的、薄(少于 5mm)的根铸模组成,典型单一根系像草席一样铺在底层上生长,厚可达 5cm,横向延伸数百米;(2)垂直根铸模(vertical root casts),它包括所有以垂直底层面生长为主的单根系,大多比较直,可渗入层内数十厘米;(3)水平根铸模(horizontal root casts),这包括底层内全部水平和亚水平(即插入角 $<15^\circ$)且分离的根铸模,与垂直根不同,其直根长度很少有超过数十厘米的,通常直径不足 2cm;(4)斜根铸模(diagonal root casts),这类根迹发育在距水平方向 15° 和垂直方向 15° 之间的位置,它一般沿主根系铸模分叉的位置或围扰沉积物中的障碍物形成;(5)根球(root balls),是些相当不常见的球状构造(globular structure),它们可围绕上面提到的任何一种根铸模形成,但在垂直和水平根铸模上更为丰富。

科亨在研究了这些根迹后,导出化石根铸与干旱和半干旱环境中古地下水条件相对应的关系(图 9)。

在完稿过程中,承蒙吴贤涛教授审稿并提出许多修改意见,在此谨表谢忱。

(下接 39 页)

Turbidity Current, Storm and Flood Event Deposits and Their Concomitant Ichnocoenoses

Hu Bin

(Jiaozuo Mining College)

Abstract

Three ichnocoenoses have been distinguished in turbidity current, storm and flood event deposits.

(1) *Nereites* ichnocoenose in turbidity current deposits (turbidites) contains as many as 100 genera and 297 species of trace fossils among which the common ichnogenera are: *Nereites*, *Neonereites*, *Scolicia*, *Helminthopsis*, *Cosmorhaphie*, *Paleomeandron*, *Urohelminthoidea*, *Paleodictyon*, *Megagraption*, *Zoophycos*, *Glockereria*, *Lorenzina*, *Chondrites*, *Granularia* and *Thalassinoides* and so on. Laterally, they may be subdivided into three different assemblages, including: 1) the *Thalassinoides*—*Rhizocorallium*—*Scolicia* assemblage in the inner fan zone; 2) the *Zoophycos*—*Glockereria*—*Paleodictyon* assemblage in the middle fan zone, and 3) *Nereites*—*Cosmorhaphie*—*Paleodictyon* assemblage in the outer fan zone.

(2) *Cruziana* ichnocoenose in storm deposits (tempestites) consists mainly of *Cruziana*, *Zoophycos*, *Rhizocorallium*, *Kechia*, *Muensteria*, *Teichichnus*, *Rosselia*, *Chondrites*, *Planolites*, *Paleophycus*, *Scolicia*, *Asteriacites*, *Cochlichnus*, *Thalassinoides*, *Ophiomorpha* and *Fugichnia*. Laterally, they tend to be controlled by water depths, and may be subdivided, from the depth to the shallow, into: 1) the large-scale *Zoophycos*—*Planolites* assemblage generally near or below storm wave base; 2) the small-scale *Zoophycos*—*Rhizocorallium* Prevailingly above storm wave base; 3) the *Rhizocorallium*—*Diplocraterion* assemblage usually below fair-weather wave base, and 4) *Skolithos*-type burrows scattered near or above fair-weather wave base.

(3) *Scoyenia* ichnocoenose in flood event deposits (inundites) or flood plain deposits comprises the animal trace fossils such as *Scoyenia*, *Ancorichnus*, *Steinichnus*, *Muensteria*, *Edaphichnium*, *Scaphichnium*, *Planolites*, *Skolithos*, *Cochlichnus*, *Ophiomorpha*, *Rusophycus* and *Rhizoliths*, including root mats which are developed in areas along the shore zone of perennial lakes or streams, horizontal roots which occur dominantly in the nearshore zone or areas where the phreatic water is shallow, and vertical and diagonal roots which generally indicate the terrestrial environments with ephemeral surficial water sources.

的准层序组组成,其上则为一个或多个具推进斜坡形状的进积准层序组。高位体系域内的准层序组在向陆方向上超在层序界面上,在向盆地方向下超在海进体系域或低位体系域的顶面上。此类体系域的顶为类型 I、II 层序边界面,底为下超面。

体系域与海平面升降的关系如下:

低位体系域的低位扇是海平面迅速下降时期的沉积;斜坡扇是海平面下降后期或海平面上升早期的沉积;低位楔同斜坡扇。

海进体系域是海平面迅速上升期间的沉积。

高位体系域是海平面上升后期、稳定期和下降早期的沉积。

主要参考文献

L. F. 布朗, W. F. 费歇尔, 1980, 地震地层学解释与石油勘探, 石油工业出版社。

Sloss, L. L., 1988. Forty years of sequence stratigraphy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 100, No. 11, pp. 1661—1665.

Vail, P. R. et al, 1977. Seismic stratigraphy and global changes of level. In: C. E. Payton (Editor), *Seismic stratigraphy—Application to hydrocarbon exploration*. AAPG M 26, pp. 49—212.

Van Wagoner, J. E. et al, 1988. An overview of The fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: C. K. Wilgus et al (Editors), *Sea-level changes, An integrated approach*.

(上接 22 页)

主要参考文献

吴贤涛, 豫西济源—义马盆地浊流沉积中的痕迹化石及其环境意义, 沉积学报第 3 卷第 3 期, P. 23—31.

吴贤涛, 1986, 痕迹学入门, 煤炭工业出版社。

吴贤涛、胡斌、王观忠、张国成, 1986, 苏南皖东五通群观山组的近岸风暴沉积与潮道沉积, 石油实验地质, 第八卷第四期, P. 351—361.

吴贤涛、胡斌、王观忠、张国成, 1987, 豫西焦作地区上石炭统浅海碳酸盐岩中的风暴沉积, 沉积学报, 第五卷第 4 期, P. 1—17.

杨式溥、宋志敏、梁定益, 1982, 西藏阿里(狮泉河—多玛)地区中侏罗—早白垩世复理石相遗迹化石, 地质学报, 第 56 卷第 4 期, P. 302—313.

杨式溥、宋志敏、梁定益, 1983, 西藏阿里地区晚石炭世—早二叠世复理石相遗迹化石, 地球科学, 第 2 期(总 19 期), P. 93—103.

杨式溥, 1986, 我国浊流复理石相的遗迹化石及其古生态和古环境, 中国古生物学会第十三、十四届年会论文集, 安徽科学技术出版社, P. 143—166.

杨式溥, 1988, 青海果洛、玉树地区二叠纪和三叠纪复理石相遗迹化石, 沉积学报第 6 卷第 1 期, P. 1—11.

孟祥化、乔秀夫、葛铭, 1986, 华北古浅海碳酸盐风暴沉积和丁家滩相序模式, 沉积学报第 4 卷第 2 期, P. 1—18.

夏邦栋、吕洪波、熊斌辉、何永明、胡宝生, 1987, 浙江开化上奥陶统复理石中的环形迹, 沉积学报第 5 卷第 2 期, P. 74—79.

Crimes, T. P., Goldring, R., Homewood, P., Stuijvenberg, J. V. and Winkler, W., 1981. Trace Fossil Assemblages of Deep-sea Fan Deposits, Gumigel and Schlieren Flysch (Cretaceous—Eocene), Switzerland. *Echegae Geol. Helv.*, Vol. 74/3, pp. 953—995.

Ekdale, A. A., Bromley, R. G. and Pemberton, S. G., 1984. *Ichnology: The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy*. SEPM, Tulsa, Oklahoma.

Kiszkiewicz, M., 1970. Observations on the Ichnofauna of the Polish Carpathians, In: Crimes, T. P. and Harper, J. C., Eds. *Trace Fossils I*, Seel House Press, Liverpool, pp. 283—322.

Seilacher, A., 1967. Bathymetry of Trace Fossils. *Marine Geology*, 5, pp. 413—428.