

西秦岭北带泥盆纪 *Nereites* 遗迹相及其环境分析^①

晋慧娟 李育慈

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

提 要 西秦岭北带泥盆系舒家坝组下—中上部的巨厚陆源碎屑岩系中含有极丰富的遗迹化石,它们可为解释该组沉积环境提供重要信息:(1)由大量典型深水遗迹化石组成的 *Nereites* 遗迹相,可与世界各地浊积岩系和复理石相中的 *Nereites* 遗迹相进行对比,该遗迹相主要发育在浊流沉积区直至深海平原,其沉积水深最大可超过 2 000 m;(2)舒家坝组的遗迹群落中,除大量属深水型分子外,还见有典型的浅水分子,两种水深性质不同的遗迹组合共生在一个沉积剖面,正是浊积岩系和复理石相才具有的独特分布特征;(3)根据沉积层序和遗迹组合的对比确认舒家坝组不存在风暴岩。

关键词 环境分析 *Nereites* 遗迹相 西秦岭北带泥盆纪

第一作者简介 晋慧娟 女 63岁 研究员 沉积学

位于甘肃礼县—徽县麻沿河大断裂以北,西秦岭地区的泥盆系舒家坝组为一套巨厚细粒暗灰—暗绿灰色砂、板岩互层的陆源碎屑岩系。目前尚缺少足够的化石依据将其准确划归为中泥盆世抑或晚泥盆世,鉴于它位于晚泥盆世大草滩组之下,故暂将其定为中泥盆世。对其沉积古地理环境的认识,至今仍存在着两种对立的观点,笔者曾从沉积学研究入手,提出过对该组沉积环境的认识^①。鉴于舒家坝组沉积环境和相的确定,不但是沉积学研究的基础性课题,而且对于华北与扬子两块体拼合的时限这一与秦岭造山带成因有关的问题具有重要意义。据此,本文拟再通过笔者所发现的 43 个遗迹化石属的研究所能提供的古生态信息,进一步探讨其沉积古地理环境特征。

1 遗迹化石宿主岩系的背景沉积

舒家坝组地层总厚超过 2 000 m,最上部为碳酸盐岩段,下—中上部为厚近 2 000 m 的陆源碎屑岩层系。已发现的遗迹化石均产于后者,故本文讨论的内容,不包括碳酸盐岩段。陆源碎屑岩层系主要为细—粉砂岩和泥页岩(现已轻微变质)的互层,未见

砾岩和粗砂岩,中粒砂岩也较少见。有关本组地层详细的沉积学研究已另文发表^①。概括地说,该套层系的宏观特征是:(1)层界面基本平整、横向分布稳定;(2)经典浊积岩特征明显,完整和不完整的 Bouma 层序清晰,特别是以 Tc 为底的薄层(远源)浊积岩极发育,Ta 和 Tc 底部见有极丰富的小型槽模;(3)非经典浊积岩与经典浊积岩相伴而生,尤以层序的中下部发育,前者是以中—细粒不显粒序的块状砂岩为特征,它们是重力流沉积谱系中的一员;(4)深水牵引流沉积作用形成的沉积构造类型多样,见有由浊流衰减向牵引流转化形成的波状交错层理和沙纹层理、由等深流沉积作用形成的等深流沉积(图版 1-1,5)以及由深海潮流形成的内潮汐沉积;(5)大量的典型深水遗迹化石产于该层系内,但亦有少量浅水遗迹化石出现,但后者绝非形成于滨岸和浅海,因其宿主岩石为浊流沉积。

这里需要着重指出的是,舒家坝组沉积层序内,不但发现了双向和单向交错纹理(图版 1-2),而且也还发现了脉状、波状和透镜状层理(图版 1-4),以及韵律性砂泥薄互层层理(图版 1-3)。长期以来,脉状、波状、透镜状层理和韵律性薄互层层理一直被人

① 国家自然科学基金资助项目(项目编号 49672127)

收稿日期:1997-03-06 收修改稿日期:1997-08-20

认为是潮坪和三角洲环境形成的特有沉积构造类型。但是,高振中近期的研究成果^[2]已证实,上述沉积构造类型也同样可以出现于深水环境,其沉积构造成因是由“内潮汐流”沉积作用的结果。本文将出现上述沉积构造的粉砂岩和泥质粉砂岩称之为内潮汐沉积,还由于它们的上、下层位常有深水浊积岩相伴生。除发现了上述深水沉积的各种标志外,也还未发现过浅水沉积特征,诸如:(1) 正常浅海沉积应含有丰富的底栖生物实体化石;(2) 大面积分布的大型交错层理和波浪作用形成的浪成沉积构造;(3) 暴露成因的干裂和雨痕等。

基于上述,不难看出,舒家坝组主要是由巨厚的浊积岩系组成,其中时有等深积岩和内潮汐沉积的夹层,因此它们的形成环境应限于半深海—深海区。

2 遗迹化石的成因分类及其环境意义

近年来,笔者在舒家坝组共发现 43 个遗迹化石属,它们是:

Acanthorhapha, *Arthropacus*, *Belorhapha*, *Bostricophyton*, *Buthotrephis*, *chondrites*, *Cochilichnus*, *Cosmorhapha*, *Dictyodora*, *Fucusopsis*, *Glockeria*, *Gordia*, *Granularia*, *Helicolithus*, *Helminthoida*, *Helminthopsis*, *Lennea*, *Lophoctenium*, *Megagraption*, *Neonereites*, *Nereites*, *Palaeohelminthoida*, *Paleodictyon*, *Planolites*, *Protopaleodictyon*, *Protovirgularia*, *Rhabdoglyphus*, *Rhabdoichnus*, *Rusophycus* (?), *Saerichnites*, *Sagittichnus*, *Scolicia*, *Skolithos*, *Spirophycus*, *Spirorhapha*, *Squamodictyon*, *Sublorenzina*, *Subularia*, *Subphyllochorda*, *Taphrhelminthoida*, *Taphrhelminthopsis*, *Tuberculichnus*, *Urohelminthoida*.

对上述遗迹化石的描述和所附图版,已在另文发表^[3,4]。

当今对遗迹化石已有不同的分类方案,由于撰写本文的目的在于进行环境解释,故采用与其形成环境有成因联系的三种方案进行论述。

2.1 形态分类

遗迹化石的形态特征与古生态环境密切相关,由于遗迹化石具有“异物同迹”的功能,更显示着生态环境对遗迹形态类型的控制作用。目前形态分类还没有一个共同遵循的方案,大都是结合具体地区得出大同小异的分类方法。舒家坝组已发现的 43 个遗迹属,可归纳为九种形态类型(见表 1)。表 1 中可

见,赋存于舒家坝组中的遗迹化石,其形态特征是以弯曲形、螺旋形、规则蛇曲形和网状形等具规则图案外形的遗迹分子占优势。据已有研究成果^[5,6],在半深海—深海环境的浊流沉积区,遗迹化石形态具规律性变化,由近源区向远源区过渡,其变化趋势是:具蹼状构造→放射状→弯曲形→蛇曲形→网状形。因此现在已公认的是,遗迹化石复杂的几何图案和纹饰,尤其是规则复杂的形态特征,是深海环境的遗迹化石标志。据此可以认为,研究区内发现大量具规则图案和复杂纹饰的遗迹化石主要形成于深海环境。

表 1 遗迹化石形态类型

Table 1 Morphological types of trace fossils

形态类型	遗迹化石属	产出层位
垂直形	<i>Skolithos</i> .	垂直砂岩层面
圆和椭圆形	<i>Saerichnites</i> , <i>Sagittichnus</i> , <i>Rusophycus</i> (?)	砂岩层面
直和略弯曲形	<i>Arthropacus</i> , <i>Planolites</i> , <i>Subularia</i> , <i>Protovirgularia</i> .	砂岩层面
	<i>Fucusopsis</i> .	砂岩底面
	<i>Tuberculichnus</i> .	泥岩层面
分枝形	<i>Acanthorhapha</i> , <i>Bostricophyton</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Lophoctenium</i> .	泥岩层面
	<i>Buthotrephis</i> , <i>Granularia</i> , <i>Lennea</i> .	砂岩层面
	<i>Rhabdoglyphus</i> , <i>Rhabdoichnus</i> .	砂岩底面
弯曲形	<i>Dictyodora</i> , <i>Gordia</i> , <i>Neonereites</i> , <i>Scolicia</i> .	泥岩层面
	<i>Helminthopsis</i> , <i>Subphyllochorda</i> , <i>Taphrhelminthopsis</i> .	泥岩层面或砂岩底面
星射形	<i>Glockeria</i> , <i>Sublorenzina</i> .	泥岩层面
螺旋形	<i>Spirophycus</i> , <i>Spirorhapha</i> .	泥岩层面或砂岩底面
规则蛇曲形	<i>Belorhapha</i> , <i>Cochilichnus</i> , <i>Cosmorhapha</i> , <i>Helicolithus</i> , <i>Helminthoida</i> , <i>Nereites</i> , <i>Palaeohelminthoida</i> , <i>Taphrhelminthoida</i> , <i>Urohelminthoida</i> .	泥岩层面或砂岩底面
网状形	<i>Megagraption</i> , <i>Paleodictyon</i> , <i>Protopaleodictyon</i> , <i>Squamodictyon</i> .	泥岩层面或砂岩底面

2.2 行为习性分类

Seilacher^[11]首先提出了遗迹化石按行为习性分为五类的方案,即:居住迹、爬行迹、停息迹、觅食迹和牧食迹。后来在此基础上增加了逃逸迹,并从牧食

迹中又分出了耕作迹。因为遗迹化石的行为习性严格受生态环境的控制,其中牧食迹是在深海环境中,因食物贫乏,造迹生物不得不最大限度地、经济合理地利用有限食物而形成一种复杂的以蛇曲形为典型代表的觅食潜穴系统,如舒家坝组最常见的 *Nereites* 和 *Helminthoida* 可作为其典型代表。耕作迹是在与上述环境相似条件下,具有更为复杂、规则几何形态和网状构造的水平潜穴,例如舒家坝组内含量丰富的 *Cosmorhapha*、*Helicolithus*、*Paleodictyon* 等都可属此类。但是,牧食迹和耕作迹这两种行为习性并无本质上的区别,而是根据形态的规则与复杂程度所做的进一步划分。因此两者在实际工作中常遇到不易截然分开的现象,例如, *Taphrhelminthopsis*、*Subphyllochorda*、*Squamodictyon* 等这些形态常有变异的遗迹化石,难以将它们按形为习性严格地归属于牧食迹抑或耕作迹,故本文仍采用 Seilacher 的五种分类方案。

舒家坝组遗迹群落按形为习性划分,除仅见居住迹的 *Skolithos*、停息迹的 *Rusophycus*?、*Sagittichnus* 和爬行足迹的 *Suerichnites* 外,均属觅食迹和牧食迹,并以后者占优势。表明大部分造迹生物生活的水体底部是平静的,不需要再营造穴居,以躲避恶劣的环境变化。由于其食物的贫乏,不得不有计划地布局其觅食路线,以便充分利用有限的食物资源,这就是深海环境中牧食迹发育的主要原因。研究区内觅食迹,特别是牧食迹的大量发现,正是生物生活期间主要是位于深海区的具体表现^[7]。尚需指出的是,居住迹、爬行迹和停息迹并不仅限于浅水环境中造迹生物的行为习性所特有。其中居住迹已有大量发现于近源浊流区的报道;停息迹在深水沉积中也有所发现,如西秦岭典型深水浊流成因的三叠系复理石相中就发现了足迹。这些实际资料说明,至今人们对深海区的生物状况尚认识不足,现在虽发现了诸多与古代浊流沉积中极为相似的遗迹化石,而仍对其造迹生物还缺少足够的认识。此外,舒家坝组浅水遗迹化石的宿主岩石为高密度浊流沉积,因此在该组内发现的“浅水遗迹”并不能作为浅水环境的依据。

2.3 水深分类

根据遗迹化石的水深分布状况,可将遗迹化石划分为浅水(Shallow water)、深水(deep water)和穿相(facies crossing)三种类型^[6],这种分类更具体、形象地反映出遗迹化石的水深分布状况。舒家坝组按此分类可将遗迹群落具体划分为:

浅水分子 *Skolithos*、*Rusophycus*?、*Sagittichnus*

穿相分子 *Arthropycus*、*Chondrites*、*Dictyodora*、*Gordia*、*Buthotrephis*、*Lennea*、*Planolites*、*Protovirgularia*、*Tuberculichnus*、*Sabularia*、*Saerichnites*、*Fucusopsis*、*Granularia*、*Scolicia*、*Neonerites*、*Glockeria*,但是后五种遗迹化石更多地是出现于深海浊积岩系中。

深水分子 除上述两种类型的遗迹分子外,其余 24 个遗迹属均为典型深水型遗迹化石。Ekdal^[7]认为,这些遗迹化石主要分布在深海扇的外扇和深海槽区。

3 遗迹化石组合在沉积学中的应用

3.1 Nereites 遗迹相的确定及其指相意义

Nereites 遗迹相是公认的“主要发育于浊流所能到达的半深海—深海地区”的遗迹化石组合,该相是以觅食迹和牧食迹遗迹化石为主,并以具规则格局的牧食迹为其特征。

据国内外浊流沉积和复理石相中遗迹化石资料的不完全统计,*Nereites* 遗迹相常见的遗迹化石有:*Acanthorhapha*、*Belorhapha*、*Chondrites*、*Cochilichnus*、*Cosmorhapha*、*Glockeria*、*Granularia*、*Helicolithus*、*Helminthoida*、*Helminthopsis*、*Lophoctenium*、*Megagraption*、*Neonerites*、*Nereites*、*Paleodictyon*、*Protopaleodictyon*、*Subulorenzina*、*Taphrhelminthoida*、*Subphyllochorda*、*Spirophycus*、*Spirorhapha*、*Urohelminthoida* 等。舒家坝组几乎囊括了与深海浊流有关的 *Nereites* 遗迹相中的所有常见的遗迹分子,因此将舒家坝组占主要成分的深水型遗迹归属于 *Nereites* 遗迹相是毫无疑问的。

国内外已有众多半深海—深海浊流沉积(复理石相)遗迹化石的研究成果问世,诸如南俄克拉荷马密西西比—宾西法尼亚^[12]、波兰南部晚侏罗世—更新世^[15]、奥地利维也纳附近的白垩纪—始新世^[13]、加利福尼亚南部白垩纪^[14]、西班牙始新世^[6]以及中国西藏阿里地区晚石炭世—早二叠世、中侏罗—早白垩世、青海玛沁地区二叠纪—三叠纪^[15、16]新疆准噶尔盆地西北缘—南缘石炭纪^[17]和西秦岭泥盆纪、二叠纪—三叠纪^[18、19]。综合国内外有关 *Nereites* 遗迹相资料不难发现,几乎世界各地不同时代浊流沉积中的遗迹化石群落具有极大的类比性,只是其分异度和丰度因地而异。*Nereites* 遗迹相在世界范围内可进行对比的主要原因在于,造迹生物在相似的生态环境内,不但有着“同种同迹”功能,特别是还有

“异物同迹”的功能,正是由于遗迹化石这一特殊性功能,才使得仅代表长期稳定低能深海沉积条件,而不受生物地理区系限制的浊流沉积和复理石相中的遗迹化石群落,在世界范围内进行对比研究创造了基础,从而把主要由典型深水分子组成的 *Nereites* 遗迹相作为判识半深海—深海沉积提供了可靠的指相标志。

3.2 浊积岩系遗迹组合的垂向分布特征

浊流属突发性“灾变事件”,它的到来,使原本平静的深海环境遭到巨大改观,呼啸而过的浊流裹挟着大量粗颗粒物,块速堆积于细粒沉积物之上,从而拉开了由浊流高峰期—平静期旋回沉积的序幕。严格受生态控制的遗迹化石必然相应地形成两类性质截然不同的遗迹组合。

浊流事件前形成的遗迹组合,反映浊流间歇期深海低能的生态条件,造迹生物营造的潜穴大都分布于泥岩层面,并具规则的弯曲形、蛇曲形、螺旋型和网状形。舒家坝组已发现的丰度较高的,如: *Cosmorhaphé*、*Helicolithus*、*Helminthoida*、*Megagraption*、*Paleodictyon*、*Protopaleodictyon*、*Subphyllochorda*、*Taphrhelminthoida*、*Taphrhelminthopsis* 等均属此阶段形成的遗迹,据统计,舒家坝组遗迹群落形成于事件前的可占遗迹总属的近 70%。

浊流事件后形成的遗迹组合,指浊流来临直至高峰期过后,那些被沙埋住,但却能顽强生活下来,重新又开始活动的造迹生物营造的遗迹。这些遗迹化石是在高能快速恶劣条件下于粗粒沉积物中形成,故其沉积条件与受潮汐控制的滨浅海高能环境有某些相似之处,因而形成一些浅水型和穿相型遗迹群落。总体说来,该阶段形成的遗迹化石其分异度和丰度普遍较低。舒家坝组内的 *Skolithos*、*Planolites*、*Lennea*、*Saerichnites*、*Granularia* 等即属此类。

综上所述可以看出,在半深海—深海环境中,由于有浊流突发事件的插入,使低能的深海生态环境遭受短期的突然改变,导致两类性质截然不同遗迹相的形成,致使舒家坝组内除有大量属于深海 *Nereites* 遗迹相中的典型分子外,还常见以 *Skolithos* 遗迹相为代表的浅水和穿相遗迹分子,它们共生在一个沉积剖面中。显然,浅水型遗迹群落出现于浊积岩系中,并不能作为浅水环境的标志,而是在深海低能背景条件下,由于突发性高能浊流事件插入后的产物。半深海—深海地带是浊流事件最易发生的地区,因此,可以把深、浅水遗迹组合共生在一个垂向沉积

序列中的特殊现象,视为判别深海浊积岩系古遗迹学的重要标志。

3.3 遗迹组合的水深分析

沉积古地理的重建,水深是重要的参数之一。在缺少原地实体化石的深海环境中,遗迹化石组合特征被视为是判定沉积水深的一种有效方法。

根据已有研究成果表明,由浊流沉积区的近源区(高密度浊流沉积区)向远源区(低密度浊流沉积区)过渡时,遗迹化石的形态类型和行为习性特征则随之逐渐发生变化(表 2)。从表 2 中可以看出,遗迹化石形态和行为习性与距浊流沉积区的远近,即水深和水动力状况等有一定成因联系。根据舒家坝组 43 个遗迹属的形态类型和行为习性特征进行统计,具规则弯曲、蛇曲和网状形的,属觅食迹和牧食迹的遗迹化石共占遗迹总属的一半以上。表明该组大部分遗迹化石向浊流远源区集中,这与产于舒家坝组的遗迹化石在垂向序列中多分布于薄层浊积岩内是完全吻合的。沉积薄层(远源)浊积岩的地区,主要位于向深海盆地过渡的较深海区。由此可以认为,舒家坝组沉积时的最大水深已进入深海范围。

表 2 浊流沉积区遗迹化石形态行为习性变化趋势

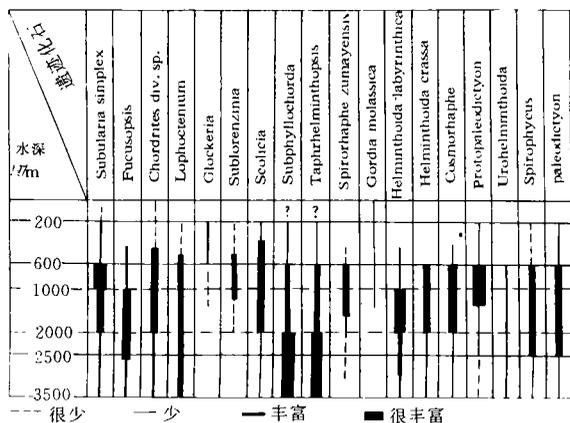
Table 2 Morphological features of trace fossils and their variation tendency of behavioral habits in the turbidity area

浊流沉积区	近源区(内扇区)——→远源区(外扇区)
遗迹化石形态类型	垂直→蹼状→放射状→弯曲→蛇曲→网状 →占遗迹总属 50% 以上←
遗迹化石行为习性	居位迹———觅食迹———→牧食迹 →占遗迹总属 50% 以上←

但是,上述分析只是定性地推测遗迹组合与水深参数间的内在联系。Ksiazkiewicz^[8],通过对喀尔巴阡山复理石相中遗迹化石研究之后,提出了某些遗迹化石的水深分布范围,从而为定量地推测水深提供了依据。现择舒家坝组已发现的遗迹化石,将其水深分布情况列入表 3 内。根据表 3 所示,舒家坝组丰度较高的 *Cosmorhaphé*、*Helminthoida*、*Paleodictyon*、*Protopaleodictyon*、*Subphyllochorda*、*Taphrhelminthopsis* 等遗迹化石的形成水深是在 >600 m 的水体底部,特别是后两者在水深 2 000 m—3 500 m 的深海区内的丰度最高。因此,舒家坝组沉积时的水体深度应处在半深海—深海范围内,其最大水深可超过 2 000 m。

表 3 部分遗迹化石的水深分布

Table 3 Distribution of water depth showed by the part of trace fossils



3.4 否定浅海风暴岩的存在

浊积岩和风暴岩均为间歇性高能灾变事件的产物,同属流态迅速变低的密度流,因此在垂向层序特征上都形成了向上变细的沉积序列。但是,由于两者形成的水深和古地理环境上的差异,反映在沉积、古生物特征和由特有的遗迹化石群落组成的遗迹相方面都有着根本性地区别。当今虽有一些研究成果曾对浊积岩和风暴岩的鉴别进行过详细论述,但在实际工作中,由于两者的不典型性和对一些标志上的忽略而时有发生误判的实例。对舒家坝组这套巨厚的浊积岩系,曾有人提出有风暴岩的存在^[9,10]。为此,有必要对浊积岩和风暴岩的沉积层序、沉积构造,特别是遗迹化石组合特征进行概括,并重点从遗迹组合和遗迹相方面将两者区别开来,以加深对舒家坝组沉积环境的认识。

基于上述,现将舒家坝组浊积岩和典型风暴岩序列的各种特征综合于图 1 中。应当指出从沉积学角度把舒家坝组的浊积岩和风暴岩区别开来是不困难的。其一,因为该组浊积岩在横向分布上远较风暴岩要稳定的多;其二,舒家坝组浊积岩底部发育的大量槽模底痕构造是风暴岩层序底部不可能出现的;其三,舒家坝组至今未发现浪流作用形成的沉积构造和与其相伴生的丘状层理。尤为重要的是舒家坝组浊积岩和风暴岩中的遗迹组合和遗迹相也有根本性地区别。风暴岩主要形成于近滨带和浅海陆架区内,受生态环境严格控制的遗迹化石,仅见属于 *Skolithos* 和 *Cruziana* 两种遗迹相中的遗迹化石。前者遗迹相中常见的遗迹化石有: *Skolithos*、*Diplocraterion*、*Thalassinoides*、*Arenicolites* 等,在垂向上自下而上逐渐被 *Cruziana* 遗迹相中的遗迹化石如: *Phycodes*、*Rhizocorallium*、*Teichichnus*、*Cruziana* 等所代替。即使风暴流平息后的泥岩沉积阶段,也仅见一些穿相型分子,如: *Zoophycos*、*Planolites*、*Chondrites* 和 *Palaeophycus* 等的产出,至今从未见属于 *Nereites* 遗迹相中的深水分子产于风暴岩的报道。显然,舒家坝组中由典型深水分子组成的 *Nereites* 遗迹相与风暴岩的遗迹相有着十分明显的差异。因此,无论从沉积学的角度,抑或从遗迹组合和遗迹相来考虑,都可以有充分的理由肯定舒家坝组不存在风暴岩。

4 结束语

舒家坝组的巨厚陆源碎屑岩层序被确定为浊积岩系,首先是以丰富沉积学方面的实际资料作基础。必须指出,在沉积学的研究中,单一的沉积构造资料绝不能作为沉积环境和相分析的依据,因为沉积构

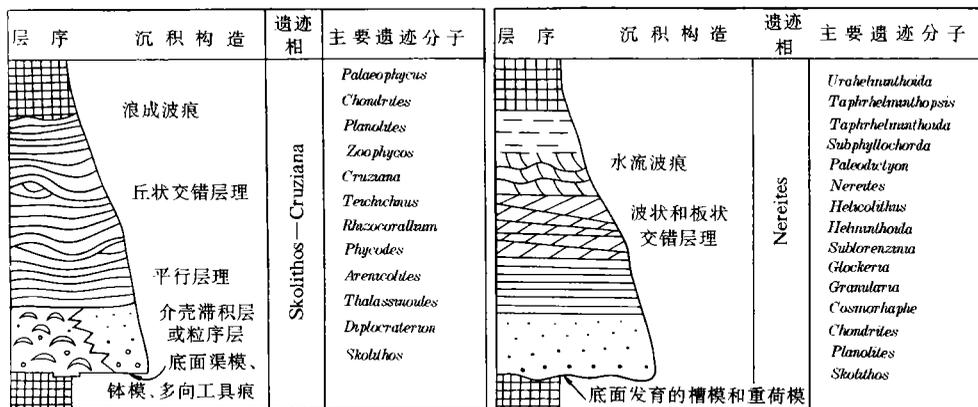


图 1 舒家坝组沉积遗迹组合特征与风暴岩对比

Fig. 1 Comprision between turbidite of the Shujiaba Fm. and the typical tempestite

造只能反映沉积介质的能量和沉积作用方式,它们与沉积环境并不发生直接对应关系。例如,以往把大型交错层理、波痕和丘状层理等视为浅水沉积的标志,随着深海沉积体系研究的深入,不但上述沉积构造,而且由波状、脉状和透镜状层理共生的所谓“潮汐层理”也可发现于深水浊积岩系或复理石相中。深水沉积体系中不断地发现所谓传统认为的浅水沉积构造,应使沉积学者获得这样一个新启示,即绝不能仅凭沉积构造,特别是单一的沉积构造进行古环境解释,而应加强环境标志的综合性研究。

应该强调指出,所发现的能反映造迹生物生活习性和行为活动方式,并被保存下来的遗迹化石都系原地形成,从而为古生态研究提供了一种新的较理想的环境标志。特别是浊积岩系或复理石相中的实体化石普遍贫乏,但遗迹化石的丰度却很高,因而在深海浊积岩系和复理石相的研究中,古遗迹学就成为不可缺少的一个重要方面,它可为深海的生态环境提供许多重要信息。

舒家坝组浊积岩,特别是薄层(远源)浊积岩中赋存的大量遗迹化石,都可归入与深海浊流有关的“Nereites”遗迹相中,通过对其形态特征、行为习性和水深分布的研究,均可表明它们集中分布在半深海—深海盆地,其水深最大可超过2 000 m。

参 考 文 献

- 晋慧娟,李育慈. 西秦岭北带泥盆系舒家坝组深海陆源碎屑沉积序列的研究. 沉积学报, 1996, 14(1): 1~10
- 高振中等. 深水牵引流沉积—内潮汐、内波和等深流沉积研究. 北京: 科学出版社, 1996. 1~42
- 李育慈,晋慧娟. 西秦岭北带泥盆系中的遗迹化石及其环境意义. 中国科学 B 辑, 1993, 23(12): 1322~1328
- 晋慧娟,李育慈. 西秦岭北带泥盆系遗迹群落在浊积岩系中的分布特征. 沉积学报, 1997, 15(1): 1~6
- Ksiazkiewicz M. Observations on the Ichnofauna of the Polish Carpathians, In: Crimes T P, Harper J C, eds. Trace Fossils, I. 1970. 283~322
- Crimes T P, Trace fossils of an Eocene deep-sea Sand fan. Northern Spain. In: Crimes T P, Harper J C, eds. Trace Fossils, I. 1977. 71~90
- Ekdal A A, Bromley R G, Pemberton S G. Ichnology, The use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy, SEPM. 1984. 1~316
- Ksiazkiewicz M. Trace fossils in the flysch of the Polish Carpathians. Palaeontologica Polonica, 1977, 36: 1~208
- 霍福臣,李永军. 西秦岭造山带的建造与地质演化. 西安: 西北大学出版社, 1995. 10~30
- 杜远生. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学和动力沉积学. 岩相古地理, 1995, 15(4): 47~62
- Seilacher A. Uber die Methoden der Palichnologie, 1, studien von Palichnologie; Neues Jahrb. Geol. Paläontol., Abh, 1953, 96: 421~452
- Chamberlain C K. Bathymetry and Paleocology of Ouachita Geosyncline of Southeastern Oklahoma as determined from trace fossils. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1971, 55: 34~50
- Kern J P. Trails from the Vienna woods. Paleoenvironment and trace fossils of Cretaceous of Eocene flysch. Vienna, Austria. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 1978, 23: 230~262
- Bottjer D J. Trace fossils from an upper Cretaceous deep-sea fan, Simi Hills, California. In: Link M H, Squires R L, Colburn I P, eds. Simi Hills Cretaceous turbidites, southern California. Pacific sec. Soc. Econ. Paleontol. Minerals. Gdbk. 1981b, 59~62
- 杨式溥,宋志敏,梁定益. 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, 1983a, 1: 93~104
- 杨式溥. 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, 1988a, 6(1): 1~12
- 晋慧娟,李育慈. 准噶尔盆地晚古生代深水斜坡沉积中的遗迹相及其环境分析. 中国科学(B 辑), 1991, 4: 408~415
- 李育慈,晋慧娟. 西秦岭北带泥盆系中的遗迹化石及其环境意义. 中国科学(B 辑), 1993, 23(12): 1322~1328
- 晋慧娟,李育慈. 西秦岭二叠纪—三叠纪遗迹化石及其环境意义. 地质科学, 1995, 30(1): 321~328

Nereites Trace facies(Devonian) in the Northern Belt of West Qingling Mountains and Its Environment Analysis

Jing Huijuan Li Yuci

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

Widely exposed in the northern belt of West Qingling Mountains, the Shujiaba Formation (Devonian) is a set of extremely thick terrigenous clastic rock measures. Two sharply different viewpoints on the paleogeog-

raphy environment of the formation still exist, i. e. shallow sea and deep sea facies. This paper placed emphasis on the 43 ichnogenera discovered by the authors to discuss the paleoenvironment information provided by them.

The description and plates of the 43 trace fossils of the Shujiaba Fm. have been reported openly, and they are:

Acanthorhapha, *Arthropus*, *Belorhapha*, *Bostricophyton*, *Buthotrephis*, *Chondrites*, *Cochilichnus*, *Cosmorhapha*, *Dictyodora*, *Fucusopsis*, *Glockeria*, *Gordia*, *Granularia*, *Helicolithus*, *Helminthoida*, *Helminthopsis*, *Lennea*, *Lophoctenium*, *Megagraptus*, *Neonereites*, *Nereites*, *Paleohelminthoida*, *Paleodictyon*, *Planolites*, *Protopalaeodictyon*, *Protovirgularia*, *Rhabdoglyphus*, *Rhabdoichnus*, *Rusophycus* (?), *Saerichmites*, *Sagittichnus*, *Scolicia*, *Skolithos*, *Spirophycus*, *Spirorhapha*, *Squamodictyon*, *Subphyllochorda*, *Sublorenzina*, *Subularia*, *Taphrhelminthoida*, *Taphrhelminthopsis*, *Tuberculichnus*, *Urohelminthoida*.

Some cognition was reached according to the study on the trace fossil groups mentioned above, that is, 1) Classified in terms of trace facies, only a few ichnogenera existing in the near source turbidite of trace group in the Shujiaba Fm. belonged to the *Skolithos* trace facies, but a majority of trace fossil ichnogenera belonged to the *Nereites* facies. They were preserved on the interface between Section Tc and Te in the thin-bedded turbidite formed in the distal area of turbidity current. According to the researches at home and abroad, it could be seen that it is the unique feature of the trace fossil assemblage in vertical distribution in turbidite measures or flysch facies that the trace facies of deep and shallow water co-exist in a single depositional profile, just like the Shujiaba Fm.

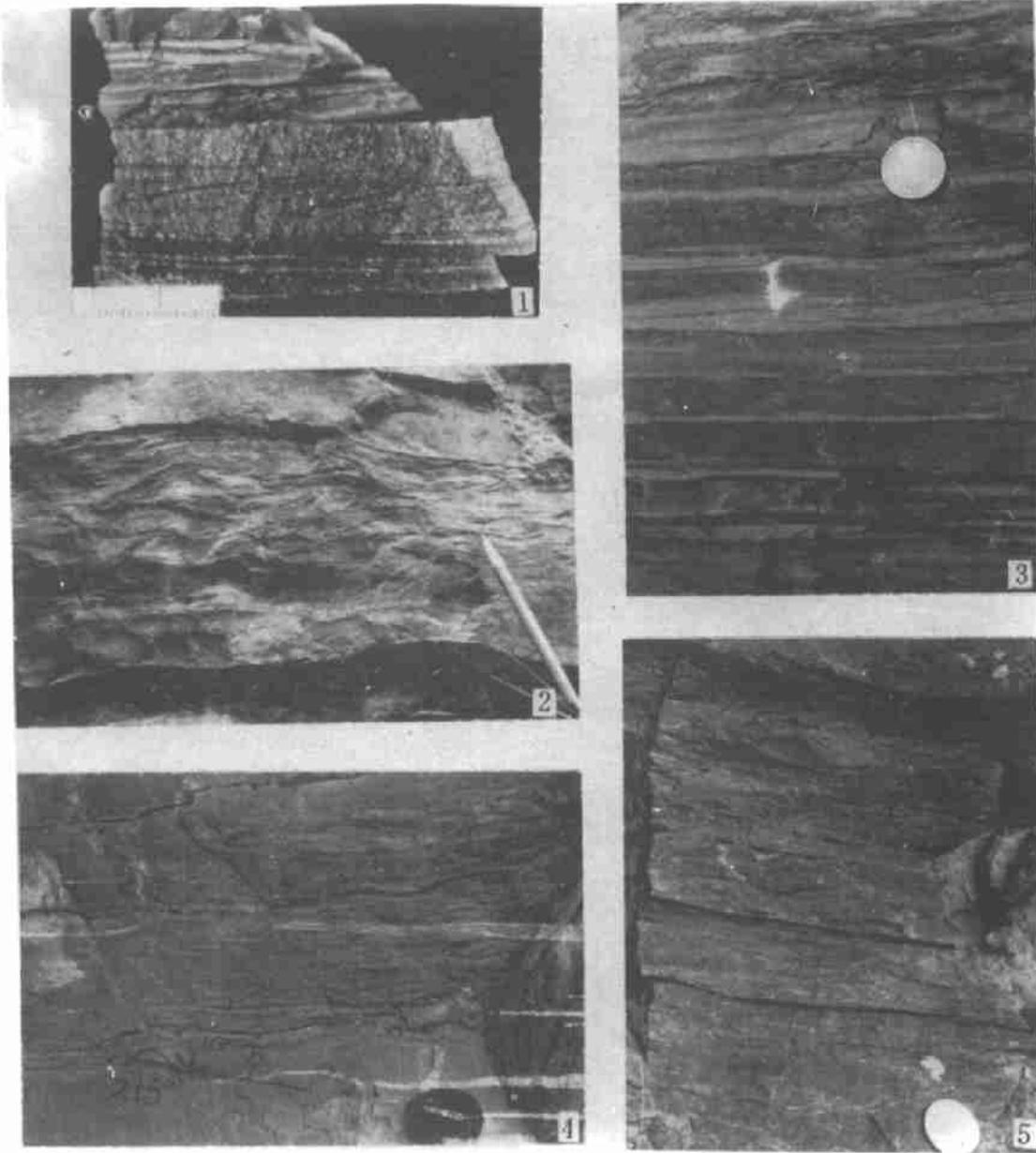
2) Classified according to the morphology, the already discovered trace fossils were predominated by the curved, spiral, regular snakelike and netlike species. Nowadays, these complex and regular geometrical patterns have already become the important sign to distinguish the deep water trace fossils.

3) According to the ethological classification, the 43 ichnogenera basically, belonged to the feeding trail and trail. And the latter was generally in the leading role. This kind of trace fossils was mainly distributed at the bottom of tranquil water body in abyssal-byssal areas.

4) Classified according to the distribution characteristics of water depth, the trace fossil of the Shujiaba Fm. was predominated by the deep water members, of which the water depth distribution ranges from the distal one to the byssal trough one.

From the discussion above, it could be seen that the trace group in the Shujiaba Fm. was formed in a bathyalbyssal environment related to turbidity current, and the largest water depth in deposition period could sometimes exceed 2000m.

Key Words environment analysis *Nereites* trace facies Devonian in the northern belt of west Qingling Mountains



1. 等深流沉积, 图版上部见透镜状层理的内潮汐沉积, 固城剖面; 2. 内潮汐沉积, 麻沿河剖面; 3. 内潮汐沉积, 固城剖面; 4. 内潮汐沉积, 崖城剖面; 5. 等深流沉积, 崖城剖面。