

# 豫西焦作地区上石炭统浅海 碳酸盐岩中的风暴沉积

吴贤涛 胡斌 王观忠 张国成

(焦作矿业学院痕迹学中心研究室)

**内容提要** 焦作太原组灰岩存在至少四种类型的风暴沉积。类型A由下亚段正粒序介壳滞积层和上亚段生物扰动层组成,形成于风暴浪基面附近或之下;类型B由正粒序介壳滞积层、纹理层和痕迹层组成,形成于正常天气浪基面与风暴浪基面之间的下部环境;类型C由下亚段正粒序介壳滞积层和上亚段含少量痕迹化石的粒泥状灰岩组成,类型D仅由下部介壳滞积层和上部粒泥状灰岩组成,偶见痕迹化石,故类型C和D分别形成于正常天气浪基面之下和附近。

**主题词** 风暴沉积 生物扰动 痕迹化石 太原组 基底滞积层

**第一作者简介** 吴贤涛 男 53岁 教授 古生物与古生态学

## 一、前言

风暴沉积是由风暴浪引起的一种密度流沉积,主要发生在近滨和陆棚。有关这类沉积早在五十年代末就开始研究,例如麦基(McKee)1959年对太平洋环礁风暴沉积的观察。但在六十年代以前,多数地质工作者主要强调风暴的巨大破坏和侵蚀作用及其导致海岸地形的巨大变化,以及风暴作用对海岸损失和补偿的能力与程度。六十年代后期,部分研究者将注意力转到飓风、台风和其它风暴的沉积作用方面<sup>[1]</sup>。从七十年代起,人们从注重风暴沉积作用过程进而发展到研究风暴沉积序列和构造及其形成机制<sup>[2-6]</sup>。近年来,风暴沉积类型和风暴岩的环境意义<sup>[7-8]</sup>的研究,日益引起重视。以上简短的回顾说明,风暴沉积这一新领域的发展,主要是近十几年的事,但它在沉积学研究上的意义却十分巨大。有人说这应该是:“沉积学或地质学里一个里程碑性的事件”<sup>1)</sup>似乎并不过分。

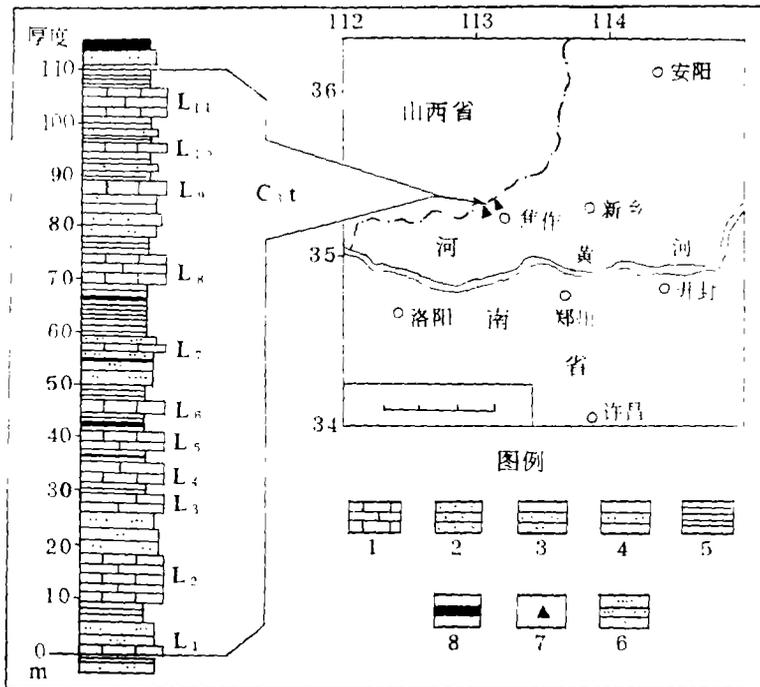
我国对现代和古代风暴沉积的研究已开始起步。笔者等1983年起对河南焦作地区晚石炭世浅海碳酸盐岩中的风暴沉积,作了观察和研究,本文是此项工作的成果。

1)刘宝珺,1984,“重力流、风暴流、等深流及其沉积”,《地质学术讲演汇编》成都地矿所内刊。

## 二、地质背景

豫西上石炭统浅海碳酸盐岩，通称太原组灰岩，在焦作西北部山麓出露良好(图1)。岩性以灰-深灰色中厚层状生物灰岩为主，计8—11层。层间夹厚度不等的灰色中-细粒砂岩、粗砂岩或灰白色石英砂岩、深灰色粉砂岩与砂质泥岩以及黑色泥岩和煤层。灰岩中含大量动物化石及碎片，如笔、珊瑚、腕足类、海百合茎等，且多数层都有零星或似层状分布的燧石结核、扁饼状团块或燧石层。厚度一般为70—90米，最大可达110米。与上覆山西组和下伏本溪组均为整合接触。

本区太原组沉积环境以往笼统称为海陆交互相或过渡相。但迄今尚无专门研究的正式报道。本文研究范围限于焦作硫磺矿至柏山一带太原组中自下而上第1—8层灰岩(图1)。其中L<sub>2</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub>和L<sub>8</sub>层厚相对较大(一般2—5米)，横向较稳定，L<sub>1</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>6</sub>和L<sub>7</sub>层厚相对较小(常为1—2米)，横向变化大，几十米内即行尖灭或呈似层状或透镜状产出。各层灰岩厚度变化虽大，但其中的风暴沉积特征明显，类型各异，形成时的相对水深诸多变化，现叙述于后。



1.灰岩 2.粗砂岩 3.细砂岩 4.中粒砂岩 5.泥岩 6.粉砂岩 7.研究区 8.煤

图1 研究区位置及太原组露头剖面示意图

Fig. 1 Location of study area and stratigraphic section in Taiyuan Formation (C<sub>3</sub>)

### 三、太原组灰岩的风暴沉积序列

焦作地区太原组灰岩中单层风暴岩的厚度常为10—30厘米，少数可达50厘米。垂向上，风暴沉积显示一套特征性序列，自下而上依次为丘槽起伏的基底侵蚀面、由介壳碎屑组成的基底滞积层、纹理层和含痕迹化石的灰泥岩或粒泥状灰岩层（图4）。现描述和解释如下。

**1. 基底侵蚀面** 风暴岩常具侵蚀底面，与下伏岩层突变截切。剖面上显示由平缓到强烈的波形起伏，不规则亦不对称（图版 I、3）。一般波长16—40厘米，波高2—9厘米，横向变化大，有时在几十厘米范围内波形可变陡变缓，亦可被风暴水流冲蚀成沟坑。此沟坑往往被介壳和灰泥滞流沉积物充填，有时在其边缘可见弧形的断续纹理，其形态类似于“渠模”（Gutter Casts）构造（图2）。

每一波形侵蚀基底下凹的深度变化大，有的凹入含痕迹化石的灰泥岩层，有的下凹至纹理层或滞积层，甚至更深，穿过基底滞积层凹入下一层风暴层序中（图版 I、3）。燧石团块、条带或燧石层几乎都沿此波形界面凝聚富集。

形成上述侵蚀基底形态特征的原因，多数研究者解释为风暴期间由复杂型式的风暴水流对底层冲蚀的结果<sup>[3, 6, 9]</sup>。对渠模的成因，有人认为是风暴期环状或螺旋状水流运动造成的<sup>[10, 11]</sup>；Bridges（1972）把这种特征归因于风暴产生的水流与潮流的叠加作用。Aigner（1978）认为它是风暴流冲蚀的结果。焦作太原组灰岩中渠模的产状特征（图2）表明，它首先由风暴水流对底层的不均一、不规则冲蚀，产生大小不同、形态各异的“V”字形或“U”字形及其它不规则形态的冲坑，尔后被滞流沉积物充填而成。纹理的出现则可能与沉积物快速充填时水流运动的状态有关。但亦有人认为后期成岩过程中的压溶作用也有影响。

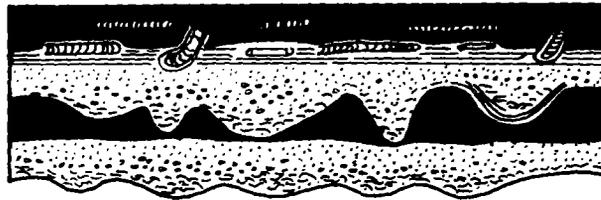


图2 焦作太原组灰岩中由风暴引起的侵蚀充填构造（渠模）特征示意图（自下而上为a、b、c、d）

Fig. 2 Gutter model from Taiyuan Formation of Jiaozuo. a, gutter model; b, graded limestone (packstone-wackestone); c, limestone with laminated bed; d, wackestone or mudstone with *Zoophycos*, *Rhizocorallium* and *Planolites* and others

至于侵蚀基底下凹（或冲坑）深度的不同，一般认为与风暴浪的强度和底层上覆水体的深度有关，即其强度越大，水深越浅，冲刷底层越深。底层的性质（如固结程度）和风暴组合流<sup>[12-13]</sup>的型式有关。

风暴浪冲蚀的基底和浊流的侵蚀基底有相似之处，但后者往往伴随大量定向性的槽

模出现,并在其基底面下常保存许多深水型痕迹化石如*Protopaleodictyon*或*Paleodictyon*等与前者有别。

**2. 基底滞积层和正粒序层** 波形基底面上沉积了由生物颗粒或碎屑支撑的灰色泥粒状灰岩。生物碎屑颗粒大小一般为0.2毫米—2厘米。颗粒含量占60—80%。粒间由粉砂级沉积物和灰泥充填。由底层面面向上,碎屑粒度逐渐变细,显示正粒序变化。到中上部生物颗粒减少,形成粒泥状灰岩,灰泥含量占50—70%以上。生物颗粒以完整的或破碎的瓣化石为主,如*Quasifusulina*和*Schwagerina*等,其次为小个体的腕足类、单体角状珊瑚以及介形虫、苔藓虫和藻类;生物碎屑主要是破碎的腕足动物介壳、珊瑚、海百合茎等(图版 I、1)。

滞积层厚度常在2—10厘米之间变化,波谷或坑槽中厚度往往较大,向两侧急剧变薄甚至尖灭,因而横向延伸极不稳定。通常侧向连续延伸在数十厘米到数米,但若基底平缓,可延伸远一些。基底滞积层除主要由生物碎屑颗粒组成外,有时尚有少量内碎屑(如灰泥岩屑),多呈卵圆状或长椭圆状,长轴1—6厘米,短轴0.5—3厘米,长轴平行底面或不规则分布。

类似上述沉积特征的现代和古代实例,文献中已有不少记载<sup>[1, 2, 3, 8]</sup>。目前有关风暴流的流动体制和全部地质作用过程,尚不完全清楚。尽管如此,已初步认识具正粒序的基底介壳滞积层的形成机制与风暴事件有关。即周期性的风暴能在正常天气浪基面之下或附近产生强烈的底切应力<sup>[6, 13]</sup>。在风暴高潮期,风暴浪流冲蚀底层,可把海底正在生活着的底栖生物、已经死亡的生物和已被沉积物埋藏的生物以及埋藏后未固结或微固结的底层沉积物一并冲刷、卷起,在风暴浊流和重力的作用下,密度较大、颗粒较粗的混杂物快速下沉,形成基本上是原地的混杂滞留沉积。又因风暴涡流(浊流)使较细沉积物簸选悬浮,因而产生颗粒向上变细的正粒序层理<sup>[6]</sup>。

**3. 纹理层** 太原组风暴岩中常见纹理有三种,即平行纹理、波纹交错纹理和丘状交错层理。单一风暴岩层一般只含一种纹理层,偶见二种。纹理层与下部具正粒序介壳滞积层的界线明显,其厚度为2—25厘米,横向变化较大。

纹理层主要由细小生物颗粒(如瓣壳及其它介壳生物碎屑)、粪球粒、粉砂级沉积物和灰泥组成。单一纹理的厚度常为0.2—3毫米。往往纹理层段的底部或下部较厚,粒度亦较粗,向上逐渐变薄,灰泥成分亦相应增高。

三种纹理的形态和产状各异,现分述如下:

(1) 平行纹理 较常见,纹理基本平行,但厚薄不均,时断时续,为不连续的缓波状形态(图版 I、8)。在较平缓的底面上,这类纹理最发育。纹层中偶见垂直潜穴或生物逃逸构造。

(2) 波纹交错纹理 属很不规则的交错纹理,呈束状组,无方向性,单一纹理波状弯曲,与组的底面以很小的角度( $<15^\circ$ )相切。常发育在凹凸或丘槽起伏较显著的风暴层序底面之上。

(3) 丘状交错层理 典型者出现于L<sub>1</sub>灰岩顶部。在露头 and 手标本上,具有三组平缓的丘状纹理,以很低的角度( $<10^\circ$ )相互交切但无前积纹层(图版 I、6)。纹理平行于缓波状的底面,波高小于10厘米,波长约32厘米。

从上述事实看,层段自下而上,颗粒大小变细,纹理厚度变薄,以及出现生物逃逸迹等都说明,它与能量逐渐衰减条件下的快速沉积有关。

单一平行纹理层显示基质向上增加、纹理变薄、颗粒变细的垂向趋势,类似于Reineck和Singh<sup>[2]</sup>(1972)描述的全新世沉积物岩芯中的“递变韵律”。他们认为这种递变韵律是风暴紊流减退风暴悬浮沉积物下沉时形成的,即沉积物随缓慢运动的水流(<20厘米/秒)下降而产生。Kreisa<sup>[6]</sup>(1981)认为,许多平行纹理层,是在风暴衰退的条件下,当波浪水流达到海底不长时沉积的。

“束状”波纹交错纹理可能是波浪水流与风暴水流相关(或联合)作用的结果;在多数砂和粉砂粒级沉积物沉积之后,其余沉积物由悬浮状态沉降下来形成的<sup>[2]</sup>,因此应归因于后来风暴或长期的涌浪再改造后的沉积<sup>[6]</sup>。在自然界和水槽实验中,对波浪产生沉积构造的观察表明,在强烈振荡流(或底床剪切应力)的区域内,沉积物呈席状流运动,速度减小时,波浪波纹即可形成。而其振荡流的流速则可能与波浪的周期性变化、混浊度和颗粒大小等复杂因素有关<sup>[14]</sup>。

至于丘状交错层理的成因,大多认为与风暴引起的海底水和沉积物界面底形的丘槽起伏有关<sup>[5、12、13、6]</sup>。

焦作太原组灰岩中的丘状交错层理位于丘状底形之上,内部无前积纹层,并略显粒序性。在此层顶部或此层之上沉积有灰泥沉积物并遭受过生物扰动。这说明,它并非以侧向波浪水流作用为主,而是先由风暴水流产生的丘状侵蚀底形,接着出现快速的悬浮沉积而形成。

**4. 含痕迹化石的灰泥岩或粒泥状灰岩层** 常位于风暴沉积序列之顶部,主要为灰、深灰色粒泥状灰岩或灰泥岩,少数为泥岩,厚5—20厘米。

本段所含痕迹化石在不同类型的沉积中丰度和分异度差别较大。定形的痕迹化石以*Zoophycos*最常见,其个体大小不一,按其回填构造的形态和成分特征可进一步辨別出*Z. simple form*; *Z. pelleted form* *Z. fat form*三种类型,与之伴生的还有*Planolites*、*Rhizocorallium*(图版I、7)、*Kechia*和*Muensteria*等。

该段的生物扰动构造按其程度可分为:①、轻微或弱扰动——定形痕迹化石和扰动潜穴少或极少;②、一般扰动——具较多定形痕迹化石和少量扰动潜穴;③、中等扰动——具丰富定形痕迹化石和部分生物扰动潜穴;④、强烈扰动——主要为畸形生物扰动潜穴,即痕斑构造(图版I、2),定形痕迹化石相对较少。

此层段一般颜色深,粒度细,结构致密,成分较均一,因而与滞积层和纹理层形成明显对照。此外,这一层段的实体化石亦很丰富,如筳, *Quasifusulina*, *Schwagerina*, *Pseudoschwagerina*; 珊瑚, *Caninia*, *Lophophyllum*, *Syringopora*; 腕足类, *Dictyoclostus*, *Echinochonchus*, *Choristites*, *Chonetes*, *Phricodothisis*, *Stenoscima*, *Maginifera*, *Eomaginifera*以及海百合茎、苔藓虫、介形虫和藻类等。

从上述特征看,顶层显然是风暴过后或风暴间歇期正常天气下缓慢的悬浮沉积。沉积期间,有大量底栖生物从事正常生活活动,因而保存了丰富的痕迹化石和实体化石。

综上所述,太原组灰岩中风暴沉积的特征性序列主要包括两大部分,即风暴期沉积

和风暴间歇期沉积,前者以显示正粒序的滞积层和纹理层为其特征;后者以均质细沉积物和生物活动痕迹作为其识别标志。

#### 四、风暴沉积类型及其环境解释

根据层序和构造特征,可将焦作太原组灰岩分为下列四种风暴沉积类型和一种正常沉积类型。

**类型A** 由下亚段正粒序介壳滞积层和上亚段生物扰动层组成(图3,图版1、2)。主要特点是:①介壳滞积层薄,常小于2—4厘米;②纹理层一般不发育;③上亚段上部具强生物扰动层且全区稳定,其下发育大型*Zoophycos*(长18厘米以上,宽大于4厘米)和少量*Rhizocorallium*和*Planolites*痕迹化石,其上角状珊瑚*Caninia*呈堆状聚积且不连续分布。此类型仅见于L<sub>5</sub>和L<sub>8</sub>灰岩中。

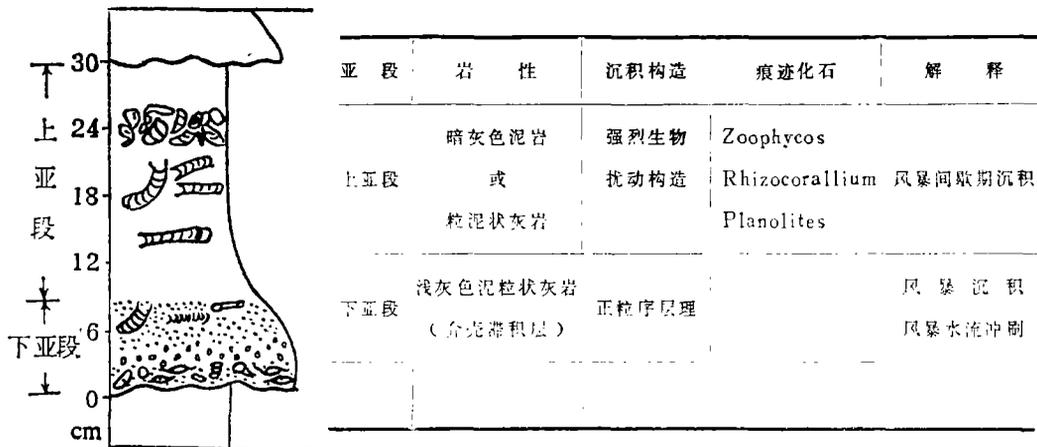


图3、河南焦作太原组灰岩类型A层序特征示意图

Fig. 3 Sketch of sedimentary type A of limestone and its vertical sequence in Taiyuan Formation

**解释** 强烈生物扰动层之得到保存和珊瑚聚积现象的出现,说明沉积时位于离岸较远、水较深而又清澈的浅海环境。这里,只有罕见的强大的风暴才能影响到海底,因而受袭击的机会较少。在焦作晚石炭世太原组沉积中,只记录到二次(L<sub>5</sub>和L<sub>8</sub>)。

由于水较深,风暴波浪触及到海底时,能量已大为减弱,故冲刷底层浅,所以滞积层薄。同时水流活动的减小,因而纹理层亦不发育。又因这里沉积物粒细,有机质含量较高,因此在风暴间歇期间,大量食泥生物得以进行各种活动,造成强生物扰动层。

本区类型A与英国南威尔士下石炭统风暴沉积类型A比较(吴贤涛,1982)[8],其基底滞积层中缺乏定向性排列的角状珊瑚这一重要特征,表明本区介壳滞积层基本上是原地或搬运距离较近的沉积。推测其沉积时的水深应在风暴浪基面附近。

**类型B** 由下亚段正粒序介壳滞积层和中亚段纹理层及上亚段痕迹层组成(图4;

图版 I、8)。本型特点是：中亚段纹理层普遍出现，包括丘状交错层理、波纹交错层理和平行纹理以及由后者组成的过渡型纹理，有时可见逃逸构造；上亚段痕迹层系指含有丰富痕迹化石的灰泥岩或粒泥状灰岩，其生物扰动中等，定形痕迹化石的种类与类型A近同，但 *Zoophycos* 个体较小（长10—15厘米，宽2—3厘米）；顶部常有星点状分布的 *Syringopora* 群体珊瑚。

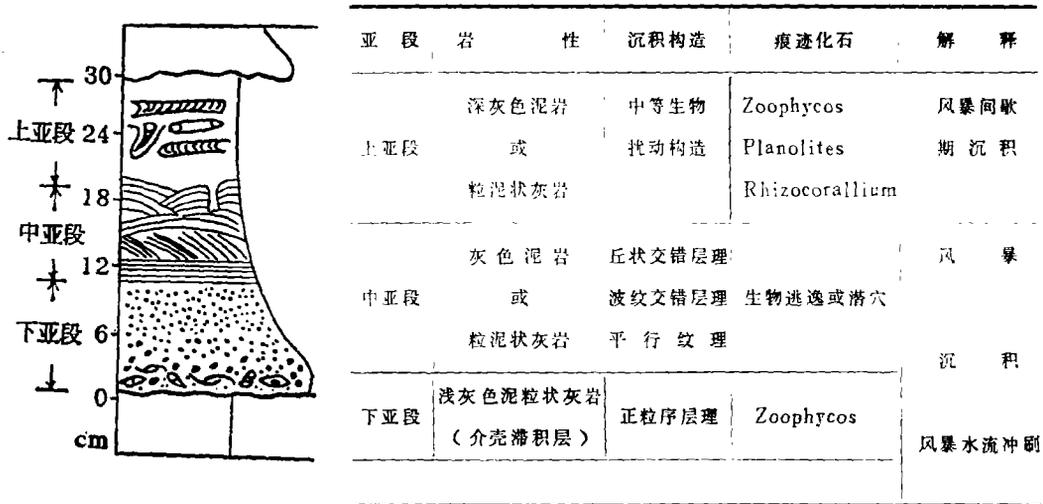


图4 河南焦作太原组灰岩类型B层序特征示意图

Fig. 4 Sketch of type B and its vertical sequence in Taiyuan Formation

**解释** 与前一类型比较，主要区别之一是出现了纹理层。前已述及，这类纹理层是风暴沉积的特征性构造。尤其是丘状交错层理，作为风暴沉积标志已为大多数研究者所接受，其形成环境被认为是在正常天气浪基面以下，风暴浪基面以上地区，即水深超过10米的地带〔15〕。有人用丘状交错层理沉积和潮间沉积之间的垂直距离估测推进相序列中丘状交错层理形成的水深在5—30米之间〔6〕。焦作太原组风暴沉积中的丘状交错层理虽然仅见于L<sub>1</sub>灰岩，但它直接覆于平行-波纹交错纹理的过渡类型之上，说明它们形成的环境类同。

此外，类型B中 *Zoophycos* 个体较小且缺乏强烈生物扰动构造层都说明其沉积水深浅于类型A。痕迹化石在上亚段上部丰度和分异度高，保存完整，以及 *Syringopora* 群体珊瑚的星点状出现，表明在风暴间歇期内海水较为温暖、安静和清澈。但这种状况持续时间短。

**类型C** 由下亚段正粒序介壳滞积层和上亚段含少量痕迹化石的粒泥状灰岩组成（图5，图版 I，5）。此型以强烈的侵蚀基底、纹理层不发育和生物扰动程度一般或微弱为其特征。

波状基底面的起伏幅度大，波长15—18厘米、波高7—12厘米。剖面上，多层C型沉积相互重叠，形成一种不规则的似串珠状成层现象，俗称“串珠状构造”（图版 I，3）。它是上下相邻的波状基底面接近或相切造成的。有时见类似渠模或钵模的冲蚀构造。

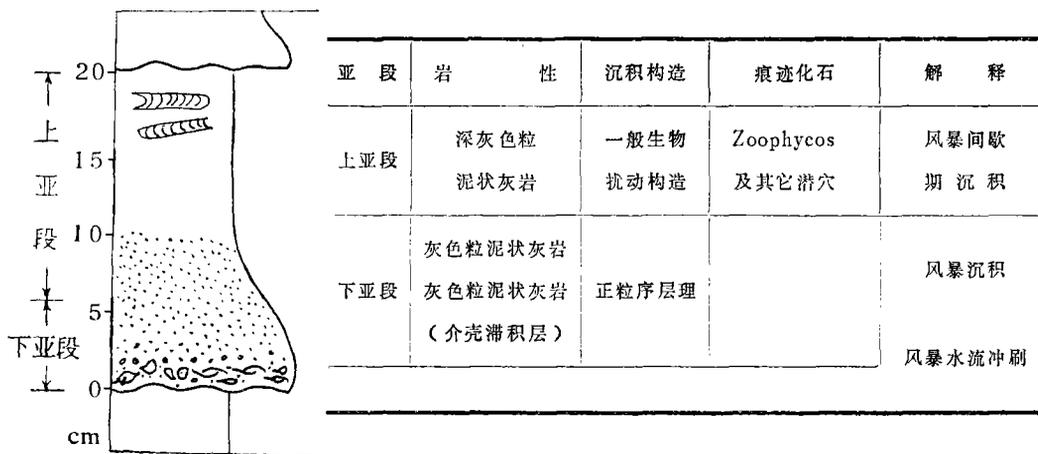


图5. 河南焦作太原组灰岩类型C层序特征示意图

Fig. 5 Sketch of type C and its vertical sequence in Taiyuan Formation

纹理层一般不发育，滞积层中完整化石少，大多为破碎的介壳碎屑。上亚段中仅见少量的*Zoophycos*潜穴。单一C型沉积层的厚度较薄，常小于20厘米，但此型在太原组灰岩中出现最多。

**解释** C型沉积成层薄、重复出现次数多、具强烈侵蚀基底和微弱的生物扰动等特征，说明是水体很浅，易受风暴流作用的底层环境。这里，每次风暴过后，快速形成厚度不大的风暴沉积层，然后开始正常的慢速沉积，同时大量底栖生物在底层上恢复正常活动并建造潜穴（图6，1）。当下次风暴袭击时，强大的风暴波浪流不仅使大量底栖生物死亡，介壳碰撞破碎，而且对未固结或微固结的底层产生强烈冲蚀，小则将前期正常沉积的顶部或上部冲蚀掉（图6，2），仅保存正常沉积的下部和少量挖掘较深的进食潜穴（如*Zoophycos*）；大则将前期风暴层全部冲蚀掉（图6，3）；更大的风暴振荡水流还可以冲蚀到更前期的风暴沉积层，从而形成“串珠状构造”（图6，4）。

底面的特征和其成层薄、在地层层序中重复次数多，都说明这里占优势的是风暴引起的上下运动的振荡水流，顺层面的侧向水流微弱，这与本型缺乏纹理层是吻合的。因此，类型C可解释为风暴浪基面与正常天气浪基面之间靠近中上部的沉积。

**类型D** 由下部正粒序介壳滞积层和上部粒泥状灰岩组成（图版I、4）。厚25厘米左右。主要特点是：1）滞积层中生物颗粒除部分瓣化石外，其它几乎完全破碎为分选良好的介壳碎屑，且数量减少，但鲕粒、藻粒及粉屑和泥屑等内碎屑颗粒大量出现，泥质和基质含量亦明显增高；2）局部可见薄（<2 cm）而不规则的纹理层；3）痕迹化石极少，但小型*Zoophycos*和近垂直的管状或袋状潜穴仍依稀可见。

**解释** 上述特点显示本型沉积时的水深比类型C更浅。因此，生物活动痕迹尤其是近层面痕迹很易被正常天气波浪冲刷抹去。故类型D可解释为位于正常天气浪基面附近的沉积。在这种底层环境下，只有少数挖掘较深的进食潜穴和近垂直的似管状潜穴才有可能幸存下来。

鲕粒和藻粒的大量出现，泥质成分增高以及滞积层中生物颗粒的大部分破碎，表明

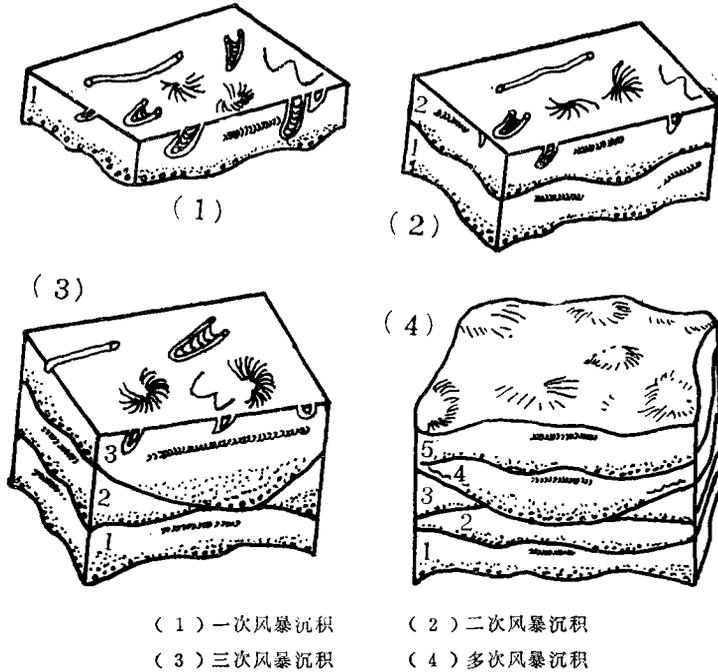


图 6. 类型 C 垂向变化及“串珠状构造”形成的示意图

Fig. 6 Sketch showing type C deposit varies in vertical section.

- 1, features of erosional base after first storm event;  
 2, after second storm event, 3, third storm event;  
 4, cluster-like structure caused by several storm events  
 note the fourth erosional base cutting into second storm bed

其沉积背景很可能处在半封闭型的海湾环境。在此环境，以灰泥沉积物为主，边缘浅水底层上或潮间坪有大量的兰绿藻生长，鲕粒则可因碳酸钙围绕经常被潮汐波浪搅动起来的质点发生沉淀而产生。滞积层中生物颗粒大多破碎，又有较好的分选性（但无定向性），说明它经过短距离搬运和波浪作用，很可能是在风暴高峰期，风暴浊流把附近较深水介壳碎屑向上部较浅水区搬运不远就立即沉积下来的结果。

**类型 E** 由下部具波状纹理层的灰泥岩和上部生物微晶灰岩组成。它的突出特点是，底部缺乏正粒序介壳滞积层，而由紫红—灰褐色薄层（2—4 厘米）具断续缓波状纹理的灰泥岩层所取代。此层生物颗粒较粗大但含量少，种类与类型 D 近同。上部生物微晶灰岩成分较均一，结构致密，除含少量实体化石外，几乎不见痕迹。

从上述沉积特点看，类型 E 沉积不具有风暴沉积序列的特征，推测它是正常天气沉积的产物。下部成层薄，又发育断续缓波状纹理，表明沉积时水体很浅，常有正常天气下的波浪作用。较粗的生物颗粒可能是周期性的潮汐水流从岸外带到近岸浅水区沉积造成的。因此，类型 E 沉积的水深更浅于类型 D，可能位于正常天气浪基面至低潮线之间的地带。

综上所述，焦作地区太原组灰岩至少存在五种沉积类型，如图 7 所示，它们分别代

表五种不同水深带的沉积。其中的痕迹化石和沉积物特点表明,本区太原组灰岩沉积的环境可能是种半闭塞的局限海湾。这一研究将为进一步进行该区石炭纪沉积盆地分析和矿产预测提供重要方法和理论基础;又由于类型A沉积横向稳定并在全区广泛分布,故可作为地层对比的良好标志层。

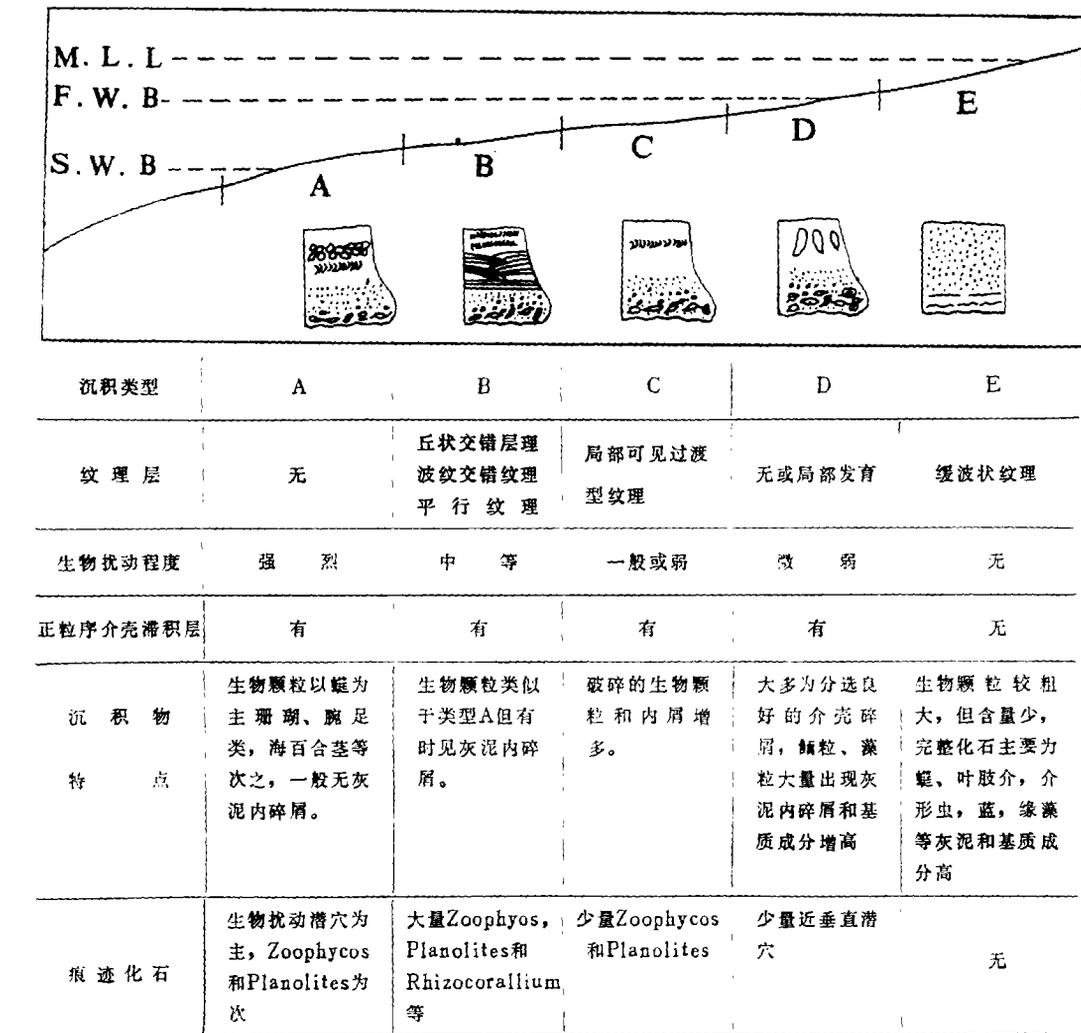


图7. 河南焦作地区太原组灰岩沉积类型垂直水深分布示意图。

Fig. 7 Sketch showing vertical distribution in water of limestone sedimentary types in Taiyuan Formation

研究过程中,潘丽敏和秦建义同志协助部分野外工作,张守恩同志帮助拍摄照片,在此谨表谢忱。

收稿日期 1985年11月30日

## 参 考 文 献

- (1) Kumar, N., and Sanders, J. E., 1976, *Jour. Sediment. Petrol.* V. 46, No.1, p. 145-162.
- (2) Reineck, H. E., and Singh, I. B., 1972, *Sedimentology.* V. 18, p. 123-128.
- (3) Brenner, R. L., and Davis, D. K., 1973, *Geol. Soc. Am. Bull.* V.84, p. 1685-1698.
- (4) Ager, D. V., 1973, New York, Mac Millan, 114pp.
- (5) Ager, D.V.,1974, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 15: p. 83-93
- (6) Kreisa, R. D., 1981, *Jour. Sediment. Petrol.*, 51(3): 0823-0848.
- (7) Einsele, G., and Seilacher, A., 1982, *Cyclic and event stratification.* p. 531-536. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- (8) Wu Xiantao, 1982, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 39 p. 197-202.
- (9) Kelling, G. and Mullin, P. R., 1975, *Sediment. Geol.*, V. 13,p. 161-190.
- (10) Aigner, T., and Futterer, E., 1978, *Neus, Jahrbuch F. Geol. Paläont. abh.*, Bd. 156, p. 285-304.
- (11) Bridges, P. H., 1972, *Geol. Mag.* No. 109, p. 405-410.
- (12) Hunter, R. E., and Clifton, H. E., 1982, *Jour. Sediment. Petrol.*, V. 52, No. 1, p. 127-144.
- (13) Donald, J. P., Swift, Arberto, G., Figueiredo, JR., Freeland, G. L., and Oertel, G. F., 1983, *Jour. Sediment. Petrol.* V. 53, No. 4 p. 1295-1317.
- (14) Komar, P. D., and Miller, M. C., 1975, *Jour. Sediment. Petrol.* V. 45, p. 697-703.
- (15) Hamblin, A. P., and Walker, R. G., 1979. *Canadian Jour. Earth Sci.* V. 16, p. 1673-1690.

## STORM DEPOSITS IN UPPER CARBONIFEROUS SHALLOW MARINE CARBONATES OF JIAOZUO, HENAN

Wu Xiantao    Hu Bin    Wang Guanzhong    Zhang Guocheng

(Laboratory of Ichnology, Palaeontology and  
Palaeoenvironments, Jiaozuo Mining College)

### Abstract

Storm deposits or tempestites have been recognized in Upper Carboniferous Series (Taiyuan Formation) shallow marine carbonate rocks around Jiaozuo Mines, Western Henan, in which the thickness of individual beds is generally 10-30cm, occasionally up to 50cm, and it shows a characteristic sedimentary sequence. From bottom to top they are:

(1) Erosional basement, which was truncated or undulated at the underlying sediments by storm induced wave and current, may show irregular variations. The wave length of the undulatory sole is about 16-40cm with 2-9cm in amplitude. In a few cases, some gutter casts-like structures would be found in the sole.

(2) Basal lag with normal grading limestone. The lag deposits are mainly composed of Brachiopoda, Anthozoa and Crinoidea debris with a few of whole Fusulinida, Anthozoa, Articulata, Crinoidea, Ostracoda, Estheria, Bryozoa body fossils and algae as well.

(3) Middle laminated unit. One or two of the sedimentary structures such as parallel lamination, wave ripple cross-lamination or hummocky cross-bedding may be recorded in the sections but varied in different depositional types. In addition, some vertical traces which are similar to escape structures may also occur within the laminated unit.

(4) Wackestone or Mudstone with trace fossils usually constitute the top unit of a whole storm bed. *Zoophycos* is the typical trace in these units and can be clearly distinguished as *Z.* simple form, *Z.* pelleted form and *Z.* fat form. They commonly associated with *Planolites*, *Rhizocorallium* and *Kechia*. The bioturbated bed may be subdivided into four grades depending on the bioturbation: (a) sporadic bioturbation, it only contains a few numbers of trace fossils and isolated unrecognized traces; (b) weakly bioturbated, i. e. the distinguishable and unrecognized traces are more than that of (a) in quantity; (c) medium bioturbated, in which the distinguishable traces are abundant with parts of mottled structures; (d) strongly bioturbated, chiefly consists of mottled structures which are good indicators of animal intensive activities.

Apart from trace fossils, the top unit usually contains numerous body fossils such as *Quasifusulina*, *Schwagerina*, *Pseudoschwagerina*, *Caninia*, *Lophophyllum*, *Syringopora*, *Dictyoclostus*, *Choristites*, *Chonetes*, *Phricodothisis*, *Stenoscima*, *Maginifera* and *Eomaginifera*, etc.

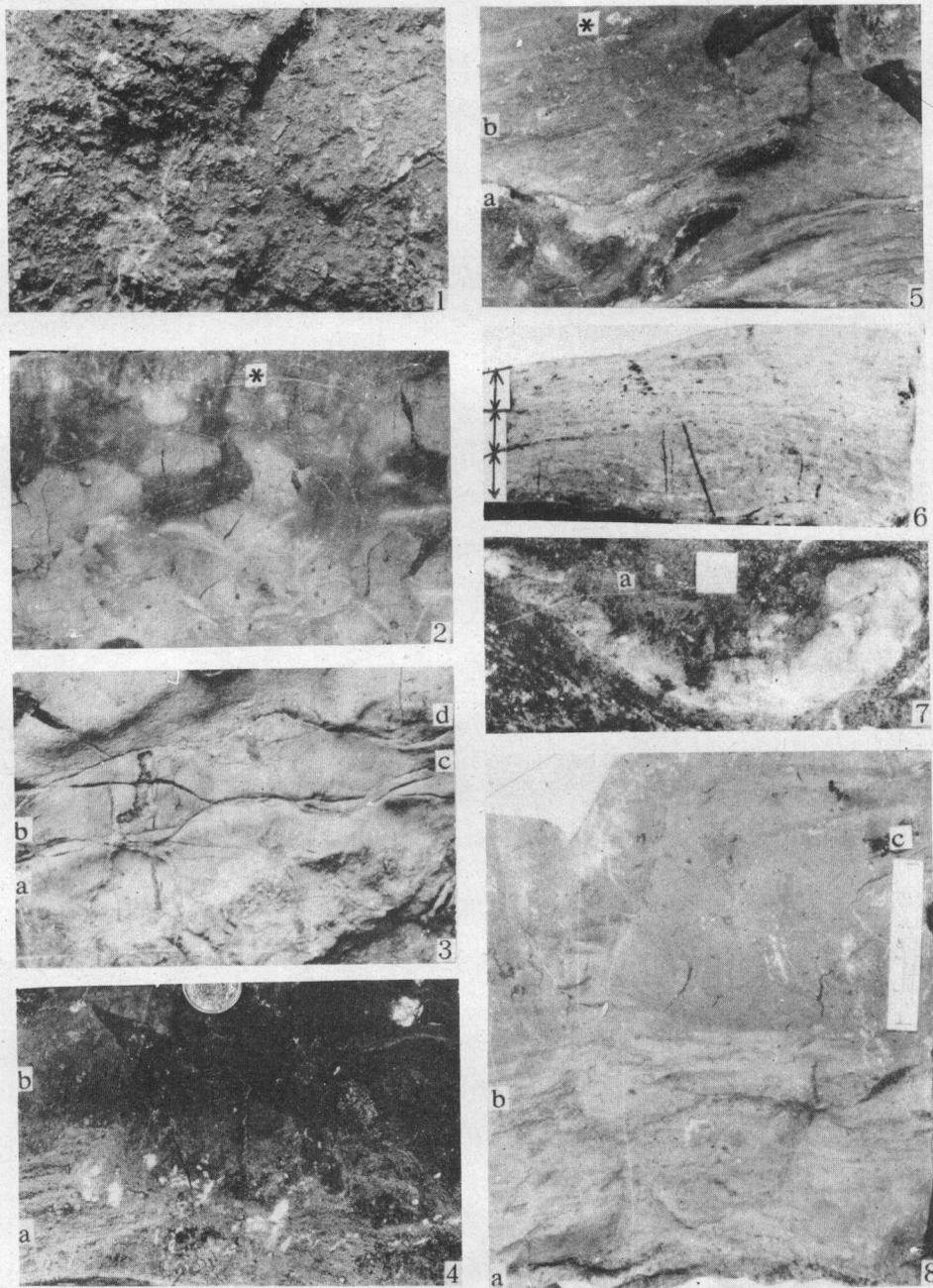
In terms of the sequence features, sedimentary and biogenic structures, four storm-generated depositional types in the limestone from Taiyuan Formation of Jiaozuo Mines are described as follows:

Type A generally consists of basement lag and graded limestone in its lower subunit and the thickness is usually 2-6cm, the upper subunit is mainly wackestone (about 22cm thick) and associated with intensive bioturbation (commonly 6cm thick). The depositional water depth of this type was probably near storm wave base.

Type B is composed of lower subunit recorded by basement lag and graded limestone with about 3-8cm thick, and the middle subunit (2-25cm thick) shows well developed hummocky cross-bedding or parallel laminations and the upper subunit (about 12cm thick) characterized by wackestone or mudstone and medium bioturbation as well as abundant *Zoophycos*. They are presumably deposited in an area near the middle-lower part between fair weather wave base and storm wave base.

Type C has lower subunit (about 5cm thick) of basement lag and normal graded limestone and has upper subunit of wackestone, in which they are both lack of the laminated and bioturbated zone and it indicates that the deposited water depth was progressively shallowing and might be accumulated in the middle-upper position between fair wave base and storm wave base.

Finally, type D (about 25cm thick) only includes lower normal graded coquinoid lags and upper wackestone. The trace fossils are rare or even absent, reflecting the water-depth got shallowed further, probably near the fair weather wave base in where the traces of living animal might be easily destroyed by wave or current at this environmental setting.



1. 滞积层面上的介壳碎屑, 层位  $L_1$   $\times 1/4$  2. 类型A 沉积层序特征 (横剖面)。\* 处为强生物扰动构造层 (痕斑构造), 层位  $L_5$   $\times 1/8$  3. 风暴岩底形的侵蚀特征 (横剖面)。a. b. c. d 各代表一层风暴岩, 层位  $L_4$   $\times 1/7$  4. 类型D 沉积层序特征。a. 下部正粒序滞积层; b. 上部粒泥状灰岩, 层位  $L_2$   $\times 2/3$  5. 类型c 沉积层序特征。a. 下亚段, b. 上亚段, \* 处为 *Zoophycos* (动藻迹), 层位  $L_7$   $\times 1/3$  6. 丘状交错层理 (横剖面), 层位  $L_6$   $\times 2/7$  7. *Rhizocorallium* (根珊瑚迹), 横剖面上的形态特征, 层位  $L_4$   $\times 4/5$  8. 类型B 沉积层序特征。a. 下亚段, b. 中亚段—平行纹层, c. 上亚段—痕迹层, 深色条带为 *Zoophycos* 痕迹化石, 层位  $L_8$   $\times 3/10$