

比较埋藏学与埋藏相及其环境 意义简介及评述

张廷山 侯方浩 方少仙

(西南石油学院)

提要 在地层中,各种生物的骨骼具有多种埋藏类型,因而据此可很好地了解骨骼所处位置的沉积环境。

Speyer 和 Brett (1988) 用化石保存特征及类型,即骨骼的搬运,解体,破碎及侵蚀,建立了七个晚元古代化石埋藏相。由于本学说诞生不久,所以还有许多必须进一步完善之处:1.埋藏相仅是大陆架沉积边缘环境中化石保存类型的简化模式,而在地质历史中,具有众多的不同沉积环境,不仅有沉积边缘,而且还有陡斜坡沉积边缘,如分布于华南晚古生代的沉积边缘就不适于 Speyer 等的埋藏相理论。2.怎样建立适用于浊流沉积、风暴沉积及淡水河湖沉积环境的埋藏相。淡水沉积环境与海洋沉积环境十分不同,因而淡水沉积环境的化石保存特征也具有不同于海洋沉积环境的特征。

关键词 埋藏学 比较埋藏学 埋藏相 化石保存特征 沉积环境

第一作者简介 张廷山 男 28 岁 讲师 古生态

引 言

比较埋藏学与埋藏相是本世纪八十年代中期提出的新学说之一,其特点为沉积学与古生态学的结合。它也反映了地球科学正向多学科相互结合的发展方向转化的大趋势。近年来,这个学说发展很快,其最基本的观点是:古代生物从死亡后,到被沉积物埋藏而形成化石期间,曾遭受各种生物及非生物营力的作用。它们与当时的古沉积环境关系十分密切,在化石体上留下了不同的古环境印记。因此,化石的保存特征及分布规律,即埋藏学特征,可以作为古环境标志。但是,由于该学说提出的时间不长,尚存在许多不完善之处,需要进一步认识与发展。

一、比较埋藏学及其环境意义

埋藏学 (Taphonomy) 是苏联古生物学家叶菲列莫夫 (I.A.Efremov) 在其论文《埋藏学——古生物学的一新分枝》中首先提出的。其本意为:关于化石埋藏的一系列规律,包括生物死亡后,影响其遗体的所有环境因素。埋藏学主要包括两部分内容:①化石保存学 (Biostratinomy), 即生物死亡后到其遗体最终被埋藏这段时间内的一系列环境作用过程 (机械过程) ②化石早期成岩作用 (Fossil diagenesis)。即生物遗体从被埋藏后至变成化石

这段时间间隔内所有影响化石化作用的过程 (化学过程).

Brett 及 Baird (1986) 提出的比较埋藏学 (Comparative Taphonomy) 概念, 是研究不同沉积相内或相间化石的不同保存情况, 以此来推断沉积环境 (确定相对沉积速率及水动力条件, 氧化-还原条件等).

根据比较埋藏学观点, 形成化石的生物遗体在被埋藏前所受到的各种机械作用 (如: 变位和分选搬运, 骨骼解体分散, 破碎, 侵蚀) 以及埋藏后的早期成岩作用 (如: 骨骼溶解, 沉积物充填和骨骼的矿化) 都是判断当时沉积环境的良好标志. 由于不同的骨骼形态及类型所受的环境作用不同, 因而不同骨骼类型的保存好坏, 就反映了当时不同的环境特征. 根据其形态特征, 生物骨骼可分为块状、枝状、单瓣壳、双瓣壳, 多节五类. 当生物骨骼被埋藏后, 由于埋藏环境的不一致, 亦会发生不一致的早期成岩作用, 现分述于下.

1. 生物遗体的变位及骨骼分散

不同的生物具有不同的生活方式及生长状态. 因而根据保存在地层中的化石所表现出的特征可判断当时的环境情况 (图 1). 例如在地层中, 具枝状骨骼的生物 (枝状苔藓虫, 层孔虫, 珊瑚等) 呈向上生长的生态方式保存, 说明这些生物是由沉积速率较快的沉积物快速埋藏, 且没有受到高能水体的扰动. 相反, 若原地生长的块状或枝状生物被翻转、变位, 则说明生物体曾受到强烈扰动. 在四川锦竹高桥二叠系茅口组中, 可见许多被风暴扰动而短距离搬运的纤维海绵及少量被翻转的珊瑚块状群体呈滞积物状. 广西泥盆系榴江组中有许多层

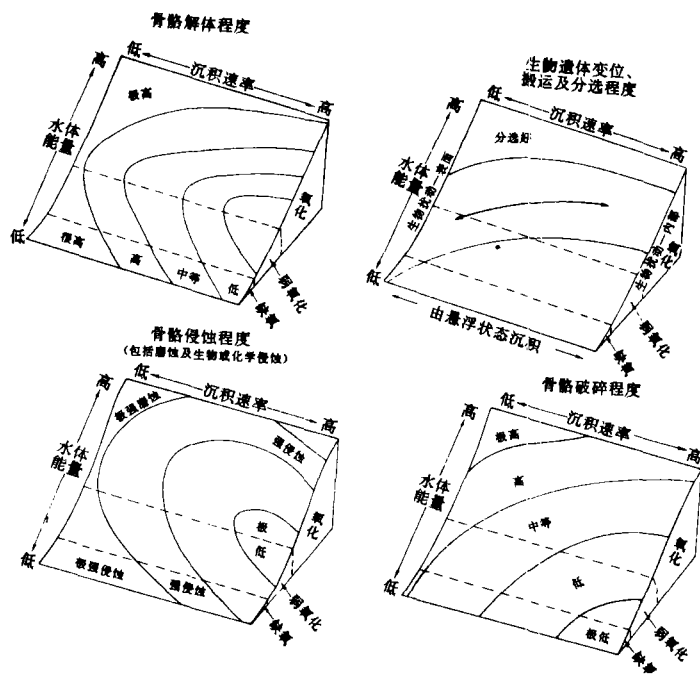


图 1 生物遗体解体、变位/搬运、侵蚀及破碎程度与环境因素关系 (据 Speyer 和 Brett 1988)

Fig. 1 The relationship between environment facts and disarticulation, reorientation, corrosion and fragmentation of organism remains (after Speyer and Brett 1988)

枝状层孔虫产出,除个别层的下部见原地生长格架外,均呈碎屑状密集堆积.对壳瓣的凹凸方位与水力学的关系,已作了大量的研究.一般认为,壳瓣的凹凸方位受到水动力性质的控制.1971年,Clifton研究了大量介壳埋藏特征后认为,凹面向上的方位是由于①浮游生活的双壳类死亡后,其壳体自由下沉沉积;②迁移波痕背水面的静水沉积;③风暴浪扰动后,将搅起的介壳沉积在安静的海底.总之,以凸面向上的介壳占优势的保存特征代表水流反复作用的结果,而以凹面向上的优选方向则代表相对安静的沉积环境.

形成化石的生物遗体在不同的沉积环境中,具有不同的定向性、分选性及搬运特征.这除了与其本身大小及形态有关外,还与沉积时的水体能量有直接的关系.同时,还直接地反映了当时的沉积速率大小以及化石暴露在沉积物表面的时间长短(Speyer和Brett 1988).据Boucot(1982)研究,浅海平底生物受到海水搬运的机会极小.只有处于特定环境中的生物(如台地边缘或大陆棚边缘)才会被搬运.如浊流和其它塌积作用常把生活于台地上不同大小及类型的浅水生物,搬运至深水盆地,与盆地内生物混合,形成深、浅水生物的混积.在滇黔桂地区上二叠—下三叠统重力流沉积物中,常常可见这种深、浅水生物的混积.笔者(1986)在研究广西田林浪平石炭纪孤立碳酸盐台地跌积边缘沉积时,也注意到了台地上浅水生物塌积到较深水沉积中并与深水化石混积的现象.风暴流,潮汐流,洋流等,也可对生物骨骼进行分选、搬运.长形的生物骨骼在水流的作用下可显示出一定的定向性.因而可根据长形生物化石,如笔石、直角石、内角石、竹节石、海百合茎及海胆刺和腕足刺,海绵骨针,甚至长纺锤形蠕等的定向排列,确定古水流方向.其中,长锥状化石,如竹节石、海胆刺、腕足刺、直壳鹦鹉螺等,其锥体尖端指向与流水相反的方向,因此,尖端指向同一方向的保存方式,代表曾受到单向水流的作用.如贵州紫云桑朗中泥盆世台地斜坡沉积中,含有大量壳尖指向同一方向的竹节石化石,代表等深流的作用.若锥状骨骼的保存方位为其尖端指向不同的方向,则表示曾受到多向水流的作用.长柱形的生物化石,如海百合茎等,当受到水流作用时,表现出以垂直于水流方向的方式在海底沿水流方向滚动.因此其滚动方向就是流水方向.蠕类化石在地层中保存的类型也是水体能量大小的指标.王立亭等(1981)根据流体力学观点,结合蠕的形态及内部构造,将蠕划分为A型(园球形或近园球形蠕体),B型(粗纺锤形蠕体),C型(纺锤形蠕体),D型(长纺锤形蠕体)四类,分别代表不同的水动力条件.A型为低能环境蠕;B、C型代表水体能量中等,而D型为生活于高能环境下的种类.广西天等县东平上石炭统灰岩中夹有含大量长纺锤形的 *Triticites* 及 *Schwagerina* 的层段,这些蠕呈定向排列,代表曾受到单向的高能水体的作用.在四川绵竹县高桥二叠系茅口组中也见有长纺锤形 *Schwagerina* 定向排列的情况.

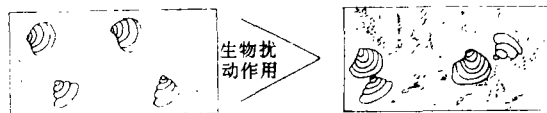


图2 生物扰动作用使生物混合变位(据Fursich 1978 修改)

Fig. 2 Organisms reorientation due to bioturbation. (After Fursich, 1978. With modification)

除了水体流动影响生物骨骼的变位、定向、分选外,生物的扰动作用也十分重要.它可

使生活于软质泥底中不同层的生物混合在一起(图 2), 可使生物体产生变位、定向等。深掘穴的生物在泥盆纪以前不发育, 还未显示其重要性(Sperer 和 Brett 1988)。在泥盆纪以前, 都是以浅内生生物及表面食腐生物为主, 生物扰动作用不强; 而泥盆纪后, 由于大量深掘穴生物的发育, 在相对安静的水体环境中, 对形成化石的生物遗体扰动强烈, 常使其变位、定向、混合。

2. 骨骼解体

生物死亡后, 若其遗体未被沉积物很快地埋藏, 当软组织腐烂后, 骨骼将发生解体、分散。因此, 遗体骨骼解体分散程度, 直接反映了生物遗体未被埋藏前在水中暴露的相对时间长短, 也反映了沉积物沉积速率, 同时与水体能量有关。据 Schafer (1972) 研究, 在富氧的海洋环境中, 具双瓣壳的生物, 如瓣鳃类, 腕足类等, 通常死亡后几周双瓣壳就发生解体, 壳瓣分散开。因此, 除未被风暴等扰动, 挖掘出的内生种类死亡后可完整地保存在基底沉积物中外, 壳瓣未分开的完整腕足类或瓣鳃类化石的保存状态, 说明当时沉积物沉积速率高, 埋藏快, 成为化石的生物遗体暴露在水体中的时间短。但是, 有些腕足类, 如 *Atrypids* 和 *Rynchonellids* 等具有铰合紧密的铰合齿, 不易分开。因此, 若这类腕足类壳瓣散开, 则说明它们曾处于极高能的条件(Sheehan, 1978)。有的死亡瓣鳃类闭壳肌腐烂后, 其双瓣壳会被韧带拉开而呈蝴蝶状。因此若在其韧带腐烂之前被沉积物埋藏, 就有可能形成双瓣呈蝴蝶状保存的化石, 代表生物死亡后, 被埋藏的速度相对较快(沉积速度较高)。在贵阳以南许多二叠纪重力流沉积物中, 常见大量 *Claria*, *Myophoria*, *Halobia*, *Daonella* 等呈蝴蝶状保存, 反映了当时较快的沉积速度。

具多节骨骼的生物, 如海百合及节肢动物, 脊椎动物等, 在其死亡后, 其包裹骨骼或连接骨骼的软体组织腐烂, 骨骼很快解体散开。因此, 具多节骨骼的生物化石的保存状态, 是埋藏速度, 即沉积速率的极好指标。一般, 未分散的完整化石代表极快的埋藏过程。据 Meyer 和 Meyer (1986) 及 Plotnick (1986) 对现代海百合及海生节肢动物研究发现, 在现代海洋环境中, 上述二类动物死亡后数小时后, 连接其骨骼的韧带开始腐烂, 导致了骨骼解体。躺在水下沉积物表面的海百合在死亡后不超过 24 小时, 就发生部分解体。因此, 要保存完整的海百合, 至少必须在数小时或一至二天内, 沉积数厘米厚的沉积物将其埋藏(Parson 等 1988)。虽然形成完整海百合化石的机会很小, 但在地层中常见较完好的海百合茎(长 10cm 左右), 保存这些海百合茎的埋藏速度一般为几天到几周(Brett 和 Baird 1986)。在缺氧的深水盆中, 虽然软体组织的腐烂速度不快, 但实验证明, 在软体腐烂的过程中放出的气体, 使生物遗体产生轻微的振动, 导致多节的骨骼也在数天到几周内解体(Brett 和 Baird 1986)。

骨骼的解体、分散, 除了与沉积速度, 水体能量有关外, 生物扰动作用的影响不容忽视。因此, 必须细心观察, 区分出骨骼解体的原因, 才能较正确地推断沉积环境。

3. 骨骼的破碎

骨骼的破碎主要是因为波浪的扰动、水流冲击以及颗粒碰撞等因素引起的机械破坏。它受制于水动力条件及骨骼本身暴露于水下沉积物外的时间长短。同时也与骨骼的易碎程度、本身结构、形态及生物的生态分布有关。因而化石的破碎程度可以指示当时水体的能量, 以及生物骨骼暴露于沉积物外的相对时间长短。具易破碎骨骼的生物, 常生活于相对安静的环境中, 因而这类化石保存完好, 说明当时它们的生活环境安静, 无大的水体扰动。如广西田

林浪平中泥盆统中, 含大量长达 10cm 左右的双孔层孔虫 (*Amphipora*), 以及我国南方石炭系及二叠系地层中常见具原始生长状态的笛管珊瑚等都属这种情况。而那些不易破碎的块状生物体, 通常生活于高能环境中, 并具抗风浪作用, 一般不易破碎。若该类生物骨骼发生破碎, 则说明它们曾受到极高能水体 (如风暴等) 的短暂冲击, 或者它们死亡后曾长期暴露于沉积物外未被埋藏, 受到波浪等高能水体的不断作用。一般说来, 生物骨骼破碎强烈的地方, 通常在浪基面附近, 如高能生物屑滩等。风暴由于其强度猛烈, 对生物骨骼具极大的破坏作用, 如生物礁的抗浪格架, 常常由于受风暴作用而被打碎, 并形成礁角砾。与此同时, 风暴流常使被风暴搅起的那些较小的介壳发生相互碰撞, 使之破碎。在川西北广元—旺苍地区早二叠世地层中常见小型腕足类、介形虫及其它生物碎片高度定向沉积的沉积层, 就是风暴流作用的结果。由于风暴作用时间短暂, 在风暴过后, 是一相对长时间的平静期, 因而风暴常在正常浪基面与风暴浪基面之间广阔的陆棚上周期性地留下生物碎屑沉积层。

由于水动力随深度的增加而减弱, 因而骨骼的机械破碎作用也随之减弱 (图 1)。

4. 侵蚀作用

生物骨骼在被埋藏前所遭受的侵蚀作用包括磨蚀及化学的与生物的侵蚀。处于不同的环境下, 上述作用的重要性各不相同。机械磨蚀作用主要集中在高能水体环境中 (如波浪带等)。由于高能的水体扰动, 使沉积物颗粒与生物骨骼相互撞击, 而在生物骨骼表面发生磨损。粗大而缺乏分选的砂颗粒对生物骨骼介壳的磨蚀程度最强。据 Driscoll 与 Weltun (1973) 的实验, 介壳等在粗粒的且分选差的砂粒的磨蚀下, 经过 1800 个小时的作用, 其重量损失达 80%。通常, 磨蚀程度高的地方都为高能环境, 并且沉积速率低, 生物骨骼长期暴露于沉积物外, 遭受磨蚀。随着水体深度的增加, 其能量相应降低, 不足以对生物骨骼产生磨蚀的效应。而破坏生物骨骼的营力则转变为生物及化学的侵蚀 (图 1)。在相对安静的环境中, 由于生物骨骼长时间的暴露于沉积物外, 钻孔生物 (如内生藻类及真菌, 钻孔海绵等) 及结壳生物就将在暴露的生物骨骼上钻孔、结壳。生物的钻孔作用对骨骼的破坏十分强烈, 据 Driscoll (1970) 报道, 由于生物的钻孔作用, 使 *Mercenaria* 壳子重量每年损失 16%。因此, 呈现生物钻孔及结壳作用的化石不仅说明这些作用发生在相对安静的透光带水体环境, 同时, 也说明沉积速度相对较慢, 使生物骨骼长期未被埋藏。在广西田林浪平石炭纪地层中, 大量犬齿珊瑚被苔藓虫所包裹的现象以及四川广元朝天早志留世生物礁发生初期, 在潮坪环境下, 半球状蜂巢珊瑚块体上生长另一个蜂巢珊瑚块体的现象都属于埋藏反馈现象 (Kidwell, 1983), 代表生物死亡后, 其骨骼长期暴露于沉积物外, 未被马上埋藏。

在深水盆地内, 由于含氧量、透光性等降低, 环境条件不适于钻孔及结壳生物生活, 因此生物侵蚀作用程度降低。同时, 由于水体处于碳酸钙不饱和状态, pH 值较低, 因而化学作用变成生物骨骼表面侵蚀的主要因素, 化学侵蚀作用是骨骼在未被埋藏前发生的一系列事件中的化学作用过程, 它与生物骨骼的早期成岩作用过程常常密不可分, 因此, 也可看作早期成岩作用的一部分。

5. 骨骼的早期成岩作用

骨骼的早期成岩作用是指生物遗体从被埋藏后至成为化石之前所有影响化石化作用的过程, 也就是沉积压实前生物遗体在未固结的沉积物中所受到的一系列作用。这一过程对生物遗体的保存起着积极或消极的影响。由于早期成岩作用强弱与环境条件十分密切, 因而, 它也可作为古沉积环境的标志。

根据骨骼早期成岩作用过程的先后次序, 将其分为骨骼溶解过程, 骨骼内沉积物充填过程及骨骼矿化过程. 其中骨骼的溶解程度与其自身成分有关, 同时也受到骨骼在水下沉积物表面暴露的时间长短, 即沉积速度快慢的控制. 生物骨骼长期受到水体的作用, 其成分将以下列次序了生溶解: 文石壳→方解石壳→棘皮动物骨片→含磷质骨骼 (Seilcher, 1982). 生物骨骼的快速埋藏以及水体 pH 值高是骨骼完好保存的决定因素. 因而通过化石的溶解程度可间接地判断沉积速度及水化学性质. 而沉积物对生物骨骼空腔的充填作用也可作为判断沉积速度及沉积环境其它特征的标志. 在安静而沉积速度较慢的环境中, 生物死亡后其软体组织很快完全腐烂, 沉积物会通过骨骼上生物的钻孔或本身孔隙渗入腔内, 并慢慢将其充填. 因而具沉积物充填的化石代表沉积速度慢, 并且是常常有大量钻孔生物生活的富氧环境. 生物骨骼的矿化是由于沉积速率高, 生物遗体很快埋藏产生的. 当生物遗体被埋藏后, 其软体组织才在埋藏的条件下开始腐烂, 防止了沉积物对骨骼空腔的充填. 从而空腔将被早期成岩作用期间形成的亮晶方解石, SiO_2 及其它矿物所占据. 一般说来, 当生物遗体被快速埋藏后, 将导致一系列的早期成岩作用反应 (Brett 和 Baird, 1986) 包括黄铁矿化、碳酸钙、磷灰石及燧石结核. 它们可反映埋藏发生时的沉积物地化特征. 黄铁矿化是生物遗体在还原性的海底被很快埋藏的条件下发生的. 根据实验研究 (Hudson, 1982; Fisher, 1986), 黄铁矿化主要由腐烂的有机质, 溶解的硫酸铁离子及还原铁离子的聚合所控制. 同时, 生物扰动深度也是早期黄铁矿化必不可少的因素. 生物扰动作用可能是使含硫酸盐的海水渗入软泥沉积物中的原因. 黄铁矿化化石常产于生物扰动泥岩中, 反映沉积速率 (1—10cm/100a) 较快. 而在极快速沉积 (如三角洲) 或缓慢沉积 (如深水盆地) 的硅质碎屑沉积物中, 黄铁矿化现象不常见 (Brett 和 Baird, 1986). 因为沉积速度慢时, 有机质不能很快被埋藏, 因而发生氧化、分解, 失去了形成黄铁矿的必要物质条件. 而沉积速度太快也会使有机质无法很好聚集, 因而也不利于骨骼黄铁矿化. 含保存很好的化石体的钙质结核, 也形成于还原环境中. 生物死亡后, 遗体被很快埋藏, 其软体组织在缺氧的环境下腐烂, 碳酸钙迅速在腐烂的生物体周围富集而形成结核 (Brett, 1986). 贵阳附近早三叠纪地层中常可找到含有保存极为精美的鱼化石的钙质结核, 它们产于薄层的灰岩夹钙质页岩或钙质页岩层中, 属于还原性的深水沉积. 据 Krajewsk (1984) 研究, 含化石的磷灰石结核的最有利形成环境为沉积物表面富含有机质的半封闭微环境. 当生物遗体被沉积物埋藏后, 海底长期无沉积时, 结核作用就迅速发生, 并且选择具磷质成分的骨骼 (如脊椎动物骨骼, 无绞腕腕足类壳等) 作为成核核心.

二、埋藏相及环境意义

由于化石在不同地层中所表现的特征不同, 而同层内不同的化石种类也具有不同的保存状况, 因此, 根据化石的保存情况, 可将其划分出一系列单元. 这种各类化石的不同保存状态在时空上的分布就是埋藏相 (Taphofacies 或 Taphonomic facies) (Speyer Brett, 1986). Speyer 和 Brett (1988) 还进一步指出, 埋藏相是一具地层实体, 它以其自身所具有的化石保存特征与上下、左右的地层实体区别. 由于化石的埋藏特征是特定沉积环境下的产物, 因而, 可根据地层中不同的化石埋藏组合, 即不同的埋藏相特征, 分析判断当时的沉积环境. Kidwell (1986) 将化石的埋藏特征总结为三大类型 (图 3) 即生物成因型、沉积型以及成

岩作用型，分别代表生物遗体完整地原地保存，在 高能环境下呈碎屑状保存及骨骼的早期成岩作用。并根据上述化石的三大类型埋藏特征及它们之间的过渡类型在环境中分布不同，作出了从潮坪至外陆棚环境中化石埋藏特征分布图（图 4）。Speyer 和 Brett（1988）根据古生代化石的解体、变位及分选、破碎和侵蚀这四种埋藏特征，划分出七个埋藏相（图 5）。第一埋藏相处于高能氧化环境中，沉积物注入量少，生物遗体处于长期暴露的条件下，因而除极少数块状骨骼外，绝大多数的骨骼都被打碎。此相内生物骨骼的解体、变位和分选、破碎、侵蚀都十分强烈。第二埋藏相也代表高能相，只是沉积物的注入稍有增加。第三埋藏相在沉积环境中处于相对较深的位置，水体能量减弱，因而骨骼破碎的程度小，呈碎屑状保存的化石相对于前两个相有所减少。由于沉积速度不高，生物遗体长期处于暴露状态，所以骨骼的解体及受到的侵蚀作用也很强。第四埋藏相所处的位置的水动力条件与第三埋藏相相似，但是沉积速率却有增加，生物遗体暴露的时间缩短，在此相带中保存的化石完整性比前三个相带均好。但此相中生物扰动极强，对埋藏后的生物遗体产生极大的影响。第五埋藏相所处的深度与第三、第四相相似，因而也具有类似的水动力条件，但与前两相相比，本相所处位置的沉积速度最高。生物死后在极短暂的时间内就被沉积物所埋藏，故此相中生物遗体受到的解体、磨蚀及侵蚀作用极少。但是由于沉积物注入量大，又相应地处于氧化环境中，所以内生生物可大量生长，生物扰动很强，对埋藏后的生物遗体起到一定的破坏作用。第六及第七埋藏相都位于弱氧化到缺氧的深水盆地中。能在此环境中生活的生物不多。第六相带通常代表沉积速率很低的饥饿型深水盆地，生物骨骼可受到较强的侵蚀及解体分散作用，而第七相代表沉积速率相对较高的深水盆地，死亡生物遗体可很快埋藏，防止了埋藏前的各类

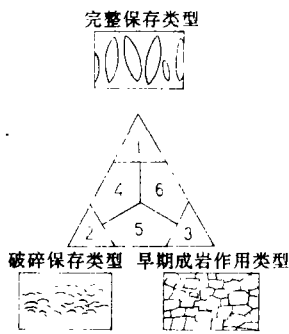


图 3 化石埋藏特征三端元图

(据 Kidwell 1986)

Fig. 3 Genetic types of skeletal accumulations (after Kidwell 1986)

的解体、磨蚀及侵蚀作用极少。但是由于沉积物注入量大，又相应地处于氧化环境中，所以内生生物可大量生长，生物扰动很强，对埋藏后的生物遗体起到一定的破坏作用。第六及第七埋藏相都位于弱氧化到缺氧的深水盆地中。能在此环境中生活的生物不多。第六相带通常代表沉积速率很低的饥饿型深水盆地，生物骨骼可受到较强的侵蚀及解体分散作用，而第七相代表沉积速率相对较高的深水盆地，死亡生物遗体可很快埋藏，防止了埋藏前的各类

第七相代表沉积速率相对较高的深水盆地，死亡生物遗体可很快埋藏，防止了埋藏前的各类

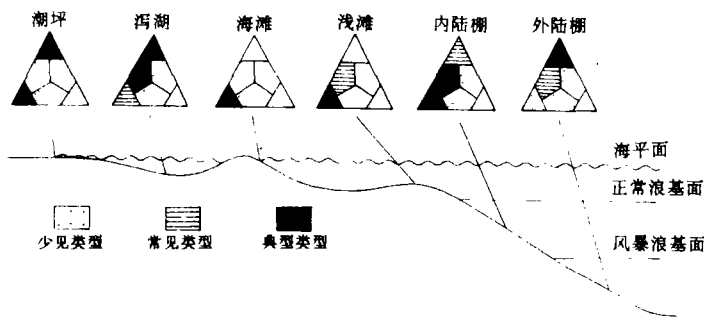
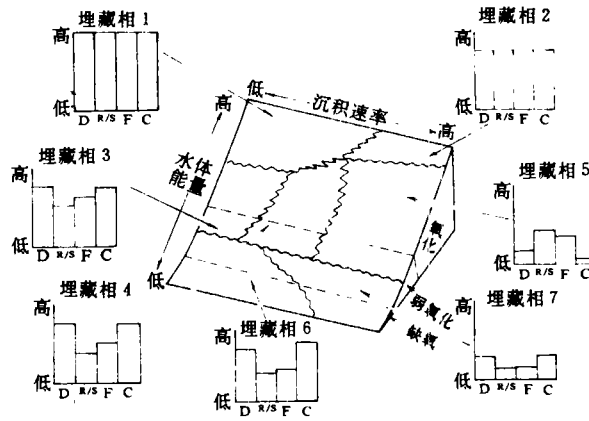


图 4 化石埋藏组合的环境分布 (据 Kidwell 1986)

Fig. 4 Environmental distribution of preservation types of skeletons (after Kidwell 1986)

破坏作用. 由于位于还原性的深水环境中, 内生生物不发育, 因生物扰动而引起的骨骼破坏作用也很小.



图中 D, R/S, F, C 分别代表解体、变位/分选、破碎及侵蚀

图 5 古生代化石埋藏相模式 (据 Speyer 和 Brett 1988)

Fig. 5 General taphofacies of Paleozoic epeiric seas (after Speyer and Brett 1988)

研究化石相应的埋藏相, 可判断沉积物沉积速率、环境能量、沉积物化学特征以及沉积条件的规律和强度 (如风暴沉积). 埋藏相分析可作为沉积相分析的补充.

三、有待于进一步探讨的问题

生物遗体在不同的环境中将会受到各种不同环境因素的作用, 从而反映了多种多样的表现特征, 情况将是十分复杂的. 由沉积学与古生态学相结合总结出的比较埋藏学及埋藏相学说, 就是为了区分不同环境中所产生的不同化石埋藏特征. 以此作为判断沉积环境的标志之一, 因而具有生要的实际意义.

但是, 应该指出, 这一年轻的边缘学科由于诞生的时间不长, 特别是埋藏相学说, 还存在许多问题有待进一步研究解决. Speyer 和 Brett (1986 和 1988) 根据化石体的解体、变位及分选、破碎以及侵蚀这四个埋藏特征所总结出的埋藏相带划分 (图 5), 主要是以开阔陆棚上缓斜坡的沉积边缘环境的简化环境模式为基础建立的, 其埋藏相亦仅适用于上述环境, 判断在这种环境条件下所发生的包括风暴沉积在内的各种沉积作用. Kidwell (1986) 根据化石的三大类型埋藏特征及它们之间的过渡类型的分布所总结出的从潮坪到外陆棚环境中化石埋藏特征的分布图 (图 4), 也仅仅是一具开阔陆棚上缓斜坡环境的简化模式. 但是, 众所周知, 沉积环境是十分多样的, 即使以海洋环境来说, 除开阔陆棚缓斜坡沉积环境外, 还存在众多的陡斜坡沉积边缘环境. 如我国南方滇黔桂地区晚古生代及早三叠世时, 该区位于被动大陆边缘及陆内, 由于裂隙运动, 产生一系列北西向为主、北东向为辅的地堑或半地堑式海底裂谷, 形成孤立碳酸盐台地与台间海槽相间排列的槽台相间的古地貌特征, 台缘普遍

为由深断裂控制的陡斜坡接触, 跌积边缘型沉积物十分发育, 许多台地上或台缘浅水钙质生物体为重力流沉积物的组成部分一道带至斜坡脚或台间海槽内, 其中部分可以保存完好或较好, 也可破碎, 并与深水原地化石一道堆积 (侯方浩等, 1984, 1986a, 1986b, 1988), Kidwell 等的化石埋藏组合与 Speyer 等的埋藏相带模式显然在这里是不相吻合的。又如洪流能带动细砾级碎屑及螺等作长距离搬运至远处理藏, Brett (1986) 与 Speyer 等 (1988) 的讨论中已涉及到风暴沉积, 但据笔者的实际工作发现, 有的风暴层内双壳类化石可以遭到较剧烈的破碎, 而与之相邻的风暴层的下部纹层内 (相当于滞积纹层段) 却可以保存甚好。如果不考虑区域构造、沉积展布, 并对剖面作仔细的结构分析, 将会与较静水沉积环境埋藏相相混淆。

海相的碳酸盐沉积环境与碎屑岩沉积环境在同样的水动力条件和沉积速度下, 化石保存程度显然会有差别的。最主要的一点是碳酸盐沉积环境中碳酸盐颗粒大多都是方解石质的, 其抗磨损破碎强度相差无几, 其搬运、沉积过程中, 颗粒的水动力条件大体等量, 而碎屑岩沉积环境以硅酸盐颗粒为主, 与大多数碳酸盐骨骼相比, 抗磨损破碎程度相差甚大, 因此, 同一水动力和沉积速度下, 碎屑岩沉积环境中化石保存远较碳酸盐沉积环境中要差, 实际观察中亦证实了这点。在砂岩中, 笔者所能见到完整的钙质化石较少, 而即使是亮晶砂屑层岩中都常常可见到保存完整的化石。相应地, 在相同的水动力条件和沉积速度下, 碳酸盐和碎屑岩沉积环境中, 其水化学性质 (如 pH 值 EH 值等) 是有差别的, 氧化还原界面不一致, 生物骨骼的溶解程度等亦不一致, 另一方面其底质的孔隙水的水化学条件亦不相同, 生物骨骼被埋藏后, 其早期成岩作用过程中所遭受的变化也必然不一致。

陆相沉积, 主要是湖泊, 河流环境中, 埋藏相特征与海相环境的埋藏相应该存在一定的差异, 特别是河流环境中, 为单向流的淡水环境, 与海相的波浪和潮汐为主, 双向或多向的复杂的水动力条件及盐度随环境和深度而改变的水化学条件等有显著的区别。

在已发表的文献中, 仅对动物化石的埋藏相及埋藏组合作了讨论, 对植物化石的埋藏相尚未涉及, 植物化石在陆相、过渡相环境中, 特别在中新生代是大量存在的, 海相环境中亦可出现, 它们的可保存性对环境的依赖又如何呢? 特别是, 巨大的树杆与树叶相比, 在相同的环境中其保存状况的差异将远比动物化石显著, 例如, 在川西北旺苍下二叠统梁山组的厚层石黄砂岩风暴沉积岩中, 许多层底部有大的古鳞大树杆断枝保存较为完好, 有的分叉树杆断枝仍可保存, 而树叶已磨蚀成极细碎片 (已成炭屑)。

比较埋藏学和埋藏相学说的提出, 为我们提供了又一个确定古沉积环境标志的方法, 且如同所有自然科学领域中新学说、新理论的出现一样, 它总是由初级到高级, 由不完善趋向完善的。事实上, 许多比较埋藏学与埋藏相的现象早已为世界和我国地质学家所熟知, 如骨骼的解体、破碎与水体能量大小及骨骼构造、组成等有关, 但前人并未将这些现象系统地总结并升华为学说与理论, 在此, 笔者仅将这一近年来出现的学说进行简介, 并对该学说的实用范围及局限性加以粗略的评述, 愿我国地质学家, 特别是沉积学和古生态学的同行共同努力, 使这一新学说在我国广阔的土地上推广、开花、结出硕果。

收稿日期: 1989年3月16日

参 考 文 献

- (1) 侯方浩, 黄继祥, 1984, 沉积学报, 4期, 19-32页。

- (2) 方少仙、侯方浩, 1986, 西南石油学院学报, 1期.
- (3) 方少仙、侯方浩, 1986, 沉积学报, 3期, 30-42页.
- (4) 侯方浩等, 1988, 西南石油学院学报, 9期.
- (5) Frang T.Fursich, 1978, The Influence of Faunal Condensation and Mixing on the Preservation of Fossil Benthic Communities, *Lethaia* No.11.
- (6) Susan M.Kidwell, 1986, Taphonomic Feedback in Miocene Assemblages: Testing the Role of Dead Hardpart, in *Benthic Communities*, *PALAIOS*, V.1, p.239-255.
- (7) S.E.Speyer and C.E.Brett, 1988, Taphofacies Models for Epeiric Sea Environments: Middle Paleozoic Examples, *Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol.* V.63, N.1-3.

Introduction and Comment of Comparative Taphonomy and Taphofacies

Zhang Tingshan Hou Fanghao Fang Shaoxian

(Southwest Petroleum Institute China)

Abstract

The skeletons of organisms display many occurrence models which may be used to better understand the sedimentary environments within which they occur. After organisms died, the bodies, which deposit in the various depositional environments, will suffer different kinds of physical and chemical influence. Thus, the skeletons of organisms will be stamped the signs of depositional environments. The preservation patterns and types of fossils can be used as the tools to reconstruction of ancient depositional environments.

The comparative taphonomy and taphofacies are new geological theories using fossil preservation patterns and types to rebuild ancient depositional environments. For this purpose, Speyer and Brett (1988) have established seven taphofacies for the late Paleozoic fossils, according to the skeletons biostratinomy which include intact transport of skeletons, disarticulation, fragment of skeletons and corrosion of skeletons. And, the taphofacies models corroborated by empirical data from Paleozoic strata, illustrate the distribution of taphonomic properties with respect to environmental energy, background sedimentation rate, and sediment oxygenation, according to Speyer & Brett. Thus, these theories have bright future, but there still have some must be developed, and some questions and problems could be answered and solved, especially taphofacies theory. First, for taphofacies, only the simple models have been illustrated which suitable for the depositional margin environments of the continental shelves within which the fossils preserved in. But during the geological time, there were many different depositional environments, not only depositional margin environments, but also many sharp bypass margin environments distributed all over the world. For example, there are many late Paleozoic bypass margins with very sharp slopes within the area of southern China, which unsuitable for Speyer's Taphofacies theory. Second, how to establish taphofacies which can be used in turbidites and storm deposits and used in fresh water depositional environments. The fresh water environments are very different with the ocean environments, therefore, the fossil

preservation types in the fresh water depositional environments also show different characteristic.

Although the theories still have shortage, they provide information important in paleoecological studies and rebuild depositional environments.

评新科技成果《中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究》一书

由北京大学王英华教授主编,黄志诚、王国忠和梁百和等副教授担任副主编的新著《中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究》一书已经问世。这是由北京大学、南京大学、同济大学、中山大学、青岛海洋大学和浙江大学地质系合作完成的“七五”国家重点科技攻关项目的一项重要成果,由科学技术文献出版社出版发行。全书五十四万字,内容丰富,学术观点新颖,汇集了中、下扬子地区从震旦纪至三叠纪各时代碳酸盐岩研究的新资料,精辟地论述了碳酸盐岩成岩作用的机理、类型和组合及其对储集性能的控制等问题,特别是书中提出的“成岩地质体”、“成岩序列”、“成岩相”及“成岩相图”等基本概念和研究方法均有独到之处,并使碳酸盐岩成岩作用的研究达到了国际领先水平。

该书的研究范围包括了湖北、湖南、江苏、河南、安徽、浙江、江西和贵州东部地区的五十多条基干剖面 and 辅助剖面,建立了各时代、各组段的沉积-成岩综合研究成果。如此详细的实际资料和数据的汇集是以前未曾报道过的,对于今后的生产、教学和科研工作都有重要的参考和应用价值。

作者在综合研究了国外已有的成岩作用理论上,提出了五大类成岩环境,即:海水成岩环境、混合水成岩环境、大气淡水成岩环境、区域地下水成岩环境和深埋藏成岩环境;并且根据碳酸盐岩各成岩阶段产生的矿物成分、组构和地球化学等特点,提出了可资借鉴的判别标志,建立了多种成岩模式,加强了碳酸盐岩成岩作用的研究深度。

该专著的另一特色是,在研究过程中,采用了多种先进测试手段,如微量元素、稳定碳、氮同位素、超微分析、X光衍射、阴极发光、包体测温及红外分析等,其所获科学结论均为多种手段综合对比之结果,依据亦较充分。

该书对于中、下扬子地区重点层位进行了沉积-成岩环境模式分析和对比,并从有机质演化入手,研究储、盖层在纵向和横向上的展布,特别是对储集条件中较好的颗粒灰岩、白云岩、礁灰岩的各种孔隙类型进行了详尽的分类和研究,主要技术图件均有孔、渗曲线,因此,为我国南方碳酸盐岩油气资源评价和找油找气研究提供了重要的依据。

本书附有48张图版,收集了3841张各种典型的显微照片和扫描电镜照片,展示了研究区内典型的成岩组构和孔隙特征,对今后这一地区的深入研究具有重大参考价值。

最后,在第十二章叙述了中、下扬子地区碳酸盐岩成岩期与成岩相图,并以奥陶系、寒武系和上震旦系灯影组为例编制了成岩相分布图,指出了“由台缘浅滩相具有良好的储集性;深埋藏胶结成岩相仍存在油前孔隙,并最有利于油气储集,应是很有希望的储集地带,可望找到成岩圈闭的油气藏”。通过成岩相图圈定勘探目的层的分布范围,指出勘探方向,并于测成岩油藏的存在反映了作者创新和独到的科学见解。作为同行,笔者愿向广大读者推荐此书并认为该书的出版为中、下扬子地区的油、气勘探指出了明确的前景。

中国地质科学院地质研究所

研究员 宋天锐

1991年12月24日