

东营凹陷沙河街组介形虫化石埋藏学研究

洪太元^{1 2}

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 胜利石油管理局地质录井公司, 山东 东营 257064)

摘要: 东营凹陷古近纪济阳群沙河街组内的介形虫化石在平面上的分布有多种形式, 就介形虫化石本身的保存特征而言, 壳体充填物有5大类型, 壳体颜色丰富多彩。对介形虫化石保存特征进行成因探讨, 有助于恢复古环境。

关键词: 介形虫, 沙河街组, 化石埋藏学, 保存特征, 壳体充填物, 壳体颜色, 东营凹陷, 山东

中图分类号: P534.61+4 Q915.819+.6

文献标识码: A

0 引言

山东东营凹陷古近纪济阳群沙河街组巨厚的沉积物中, 蕴藏着大量的介形虫化石^[1]。它们呈不同的保存方式和形态, 每一种保存特征都有其相应的沉积环境。因此, 通过对介形虫化石保存特征, 即介形虫化石埋藏学特征的研究, 可恢复古环境。

介形虫化石埋藏学研究主要是通过观察统计岩石中介形虫的分布形式、丰度、双瓣/全群单瓣、碎壳/全群单瓣(碎壳率)、幼体/成体、壳体颜色、壳体充填物、壳体的完整程度等, 得出一些基础的埋藏学特征参数, 进而综合分析, 因此, 无需专业人员进行属种鉴定, 即可应用到古环境的研究中。有关介形虫埋藏学特征的应用, 前人早有尝试, 如法国学者Oertli^[2]根据介形虫双瓣/单瓣值研究沉积速率的高低, 根据大壳/小壳、碎壳/全群研究水动力的强弱, 根据黑色壳/白色壳值研究沉积物的氧化还原环境, 根据正常壳/变形壳研究成岩作用。该学者还总结出: 沉积作用快(双瓣多)和还原环境(黑色壳多)的井段, 也正是油气显示分布的范围。国内也有学者开展了这方面的工作, 对黄骅拗陷古近纪沉积环境进行了探讨。

本文仅对东营凹陷古近纪济阳群沙河街组介形虫化石埋藏学特征进行了研究, 并探讨介形虫化石埋藏特征的成因。

进行这项研究, 方法简单, 但工作繁琐。主要是

磨片与统计工作, 同时观察介形虫化石在层面上的分布特征、介形虫化石本身(如壳体颜色、壳壁厚度、充填物、挤压变形、生物咬痕等)特征以及共生化石及围岩中黄铁矿有无。

介形虫化石壳体充填物的研究要通过薄片制作。先把介形虫化石完整个体用冷杉胶粘到载玻片上, 用600号金刚砂磨至适于偏光显微镜观察, 便可在镜下观察研究。

1 沙河街组介形虫化石埋藏学特征

通过对东营凹陷沙河街组10多口钻井岩心中介形虫化石保存状况的观察统计, 发现沙河街组四段至一段(依次简称为: 沙四段、沙三段、沙二段、沙一段, 下同)不同层位介形虫化石保存特征存在差别。这里所说的介形虫化石保存特征, 包括宏观特征(如层面分布特征)及微观特征(介形虫化石本身的保存特征)。

1.1 宏观特征

1.1.1 层面上的分布特征

刘传联等^[3]在研究东营凹陷沙一段化石丰度不均匀性时, 已经总结出沙一段介形虫化石的6种层面分布形式: ①密集分布; ②零星分布; ③簇状分布; ④虫穴充填; ⑤条带状分布; ⑥裂缝充填。这6种分布形式在沙二段—沙四段地层中也不同程度地存在。沙河街组介形虫化石除了这6种分布形式外,

*收稿日期: 2004-02-13; 修订日期: 2004-06-21; 编辑: 王先起

作者简介: 洪太元(1966-), 男, 福建南安人, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。

还可见有的在层面上“排队”，有的大小均匀分布，有的大小混杂，有的小壳套在大壳内呈叠覆状；有的似算珠状密集分布在植物叶片上（如通 29 井沙三段），这种现象被解释为介形虫在植物叶片上吸食时与植物叶片一起被“活埋”的灾难性事件。

1.1.2 垂向上的丰度和分异度

沙河街组沙四段至沙一段，由于沉积环境的不同，化石丰度及分异度都显示不均匀性，沙一、沙三段化石丰度、分异度较高，沙四段上部略低，沙二段、沙四段下部最少。同一组段中纵向上化石的分布也是不均匀的，沙一段化石丰度的不均匀性已得到研究证实^[4]。

1.2 微观特征

研究介形虫化石埋藏学，除了其宏观分布特征外，很重要的是化石本身的保存特征，如壳体颜色、壳体充填物、受压变形程度、壳体厚度等，都与沉积时的水体化学、氧化还原程度等有着密切的联系，是沉积环境最直观的反映。通过微观特征研究，可以获取恢复古环境的有益信息。

1.2.1 壳体颜色

东营凹陷沙河街组介形虫化石壳体颜色丰富多彩，但主要以无色透明、灰色、灰黑色、黑色为主，对近千个样品的统计观察表明，其壳体颜色大体可划分为以下 3 类：①浅色类：包括无色透明、白色、灰色、乳白色、橙黄色，此类最常见；②中深色类：包括红色、红褐色、黄褐色、紫色，此类较少见；③深色类：包括灰黑色、黑色，常见。无色透明壳最为常见，遍布整个沙河街组；其次是灰黑色、黑色壳体，除了沙二段未见外，都见其分布。有的壳体还具有其他颜色的斑点，如有些灰色南星介有黑色斑点，呈“花斑状”。壳体的颜色往往是壳体充填物直接或间接的反映，至于壳体的颜色与充填物的关系下文中还将进行讨论。

1.2.2 壳体充填

(1) 壳体充填类型

观察统计的结果表明，壳体充填主要有白云石充填、方解石充填、黄铁矿充填、泥质充填及无充填 5 种类型（表 1）。每一类除主要充填物外都或多或少地混有其他物质，再加上壳壁成分的多样性，才决定了壳体颜色的多样性。

方解石充填：从统计的情况看，属这类充填的壳体并不多。充填物中，除方解石占绝大多数（>50%）

外，还可有其他物质，可分为：①完全由方解石充填（数量很少）；②方解石 + 铁白云石；③方解石 + 黄铁矿；④方解石 + 黄铁矿 + 铁白云石。方解石的结晶状态从隐晶—亮晶，铁白云石常与黄铁矿伴生。壳壁的成分亦非常复杂，但主要是方解石和铁白云石，有时也见黄铁矿。分布层位：沙一段至沙四段，但以沙三段为主。

表 1 介形虫壳体充填物类型及其时代分布

充填类型	充填物		壳壁成分	层位	
	主要成分	次要成分			
方解石充填	无		方解石 铁白云石 方解石 + 黄铁矿	沙三段 沙一、二段 沙三段	
		铁白云石	黄铁矿 铁白云石 方解石 方解石 + 黄铁矿 方解石 + 白云岩	沙四段 沙一段 沙一段 沙一段 沙一段	
	黄铁矿		方解石 白云石	沙三段 沙三段	
	铁白云石 + 黄铁矿		白云石 + 方解石 方解石	沙三段 沙四段	
	白云石充填	黄铁矿	方解石 白云石 白云石 + 黄铁矿	沙一段 沙一、三、四段 沙四段	
赤铁矿			白云石 + 赤铁矿 白云石 + 黄铁矿	沙一、三段 沙一至四段	
无		白云石 黄铁矿 + 白云石 白云石 + 方解石 黄铁矿	沙一、三、四段 沙四段 沙四段 沙四段		
		方解石	黄铁矿 方解石 白云石	沙二段 沙三段 沙三段	
		方解石 + 黄铁矿	方解石 + 白云石 白云石 + 黄铁矿	沙一段 沙四段	
黄铁矿充填	黄铁矿	全充满 铁白云石 白云石 + 方解石	白云石 + 黄铁矿 黄铁矿(外)白云石(内) 方解石 + 白云石 黄铁矿	沙三段 沙三段 沙四段 沙二、三段	
		无充填物	1. 完整壳体 未充填； 2. 压扁壳体未充填	方解石 白云石 黄铁矿 以上 3 种中 2~3 种的混合物	沙一至四段
		泥质充填	泥质 假完整壳	同无充填	沙一至四段

白云质充填：这种类型充填物有以下 5 种形式：

- ①白云石 + 黄铁矿；②白云石 + 赤铁矿；③完全由白云石组成；④白云石 + 方解石；⑤白云石 + 方解石 +

黄铁矿。壳壁成份有：方解石、白云石、黄铁矿，这3种矿物分别以不同的组合方式存在于壳壁中。这类壳体中的充填物被黄色凝絮状物质侵染的现象非常普遍，所以壳体通常呈黄色。这类壳体占绝大多数，分布层位：沙一至沙四段，但以沙三、沙四段为主。

黄铁矿充填：这类充填物依黄铁矿含量及产状的不同，有以下3种：①黄铁矿全充满；②黄铁矿未全充满，混进极少量的铁白云石；③黄铁矿呈颗粒状，另外还有一定数量的白云石和方解石。分布层位：沙一至沙四段，以沙三段最多。

无充填：这类壳体分2种：①完整壳体未充填（空心，如2-下2-观18井，1714m）；②压扁壳体未充填。壳壁成分为方解石、白云石、黄铁矿。前一种壳体仅在沙一段及沙三段有发现，后一种壳体在整个沙河街组广泛分布。

泥质充填：奇怪的是，在所磨制的介形虫个体薄片，均未见到泥质充填的壳体，但在泥岩岩心标本的观察中往往可以见到。这可能与所选壳体均是完整壳体相关，因为在沉积时水中的泥质成分是不能渗到壳内形成充填物的。此外，泥质充填壳体是介形虫死后，两瓣曾一度分离，使泥质乘虚而入形成的。由于这类壳体两瓣没有很好地胶结，所以在样品的处理中即已开启，从而造成没有泥质充填的假象。泥质充填物是同生沉积作用形成的，而不是后期成岩作用的产物。

(2) 壳体充填物对壳体保存的影响

沉积环境首先决定了壳体能否保存成为化石，也决定了壳内充填物的类型。若无特别原因（如强氧化或酸化），壳内充填物对壳体都有一定的保护作用，因为壳内充填物能有效地胶结双瓣，使壳体更为牢固，利于保存。但是，壳内充填物随着成岩作用的进行会不断重结晶，晶体加大的结果必然是产生巨大膨胀力，从而使壳体破裂。黄铁矿充填物一般对壳体没有破坏作用，但当强氧化作用时，黄铁矿中的 S^{2-} 即被氧化成强酸，溶解壳壁^[4]，因而在岩石中保存的是没有壳壁的褐铁矿（如新滨4-14-3井，1358.1m）。显然，壳体充填物也是影响介形虫化石保存状况及丰度的另一原因。

(3) 壳体充填物与壳体颜色的关系

介形虫壳体的壳壁成分原为低镁方解石和文石，其壳体一般呈白色、无色半透明的灰色或黄色，文石极易分解，留下黄色的有机质残留物，所以化石

中是浅色的多^①。壳体的颜色实际上可分两种，一种是由壳壁成分显示，称本色；另一种是由壳内充填物或壳壁成分和壳内充填物综合显示，称假色。后一种颜色占绝大多数，因为绝大多数介形虫壳体在成岩作用下会随着围岩发生复杂的变化，壳壁及充填物成分多样性，显示的颜色也具多样性。如壳壁和充填物成分为方解石或者白云石，未经其他物质染色，壳体通常都呈无色透明状，而若被黄色凝絮状物质侵染，壳体则会呈现黄色。壳壁和壳内不同颜色的物质所显示的壳体颜色，就像在调色板上调色一样复杂，壳体的颜色实际上是整个壳体成分的综合反映。

1.2.3 壳体的受压变形程度

有两种类型，一种是未变形的完整壳体、单瓣或碎片，一种是挤压成扁状薄膜的壳体。这两种类型壳体都广泛存在于整个沙河街组，往往是样品中一部分挤压变形，另一部分未挤压变形。一些砂岩、白云岩、灰岩、灰绿色泥岩、紫红色泥岩中多见未挤压变形的壳体，而页岩、油页岩及一些灰色、深灰色泥岩中所见壳体常全被挤压变形或部分被挤压变形。

1.2.4 动物咬痕

沙一段样品中，还见到有的介形虫壳体上有一个圆孔，其边缘整齐并且具锥形斜面（滨297井，1261.7m），这种孔被解释为腹足类等生物捕食介形虫时留下的咬痕^[5]，称为捕食迹。

2 埋藏学特征成因分析

2.1 介形虫化石分布特征成因分析

介形虫化石丰度的不均匀性主要受生态及埋藏双重因素控制，刘传联等^[3]已作过很好地解释。这里主要探讨介形虫化石层面上分布特征的成因。

介形虫化石平面上的分布特征也受生态及埋藏因素控制。现生的介形虫通常有3种分布形式：①随机的；②簇状的（三五成群）；③均匀的；有时甚至可以密集成群。沙河街组所见介形虫化石的密集分布或簇状分布，至少部分与原来的分布相应，当然也不排除搬运作用造成密集分布的可能。一般说来，密集分布和簇状分布代表的是原地埋藏，而裂缝充

① 汪品先，谈谈介形虫埋藏学，同济大学科学技术情报组编印，1976年。

填是湖水干涸过程中介形虫灾难性事件,或者由风力搬运造成^[6];虫穴充填是生物扰动的结果;条带状分布的,有时见到壳体呈“排队”现象,这与一定的水动力强度分不开,推测当时介形虫在漂浮于水面的植物叶片上吸食,而介形虫通常是附着在植物叶片朝下的一面,由于有水流动,介形虫只有以同样的姿势才能获得尽可能多的食物,尔后,由于某种灾难事件,使其被迅速埋藏;大小均匀分布的是经过一定水流搬运的结果,壳体叠覆虽然也要求一定的水动力条件,但主要是壳体大量堆积的结果^[7]。

2.2 介形虫壳体保存特征成因分析

2.2.1 壳体颜色的成因

前已述及,介形虫化石多呈浅色,但在观察中常见较多的黑色、灰色、红色壳体,它们是怎样形成的呢?

对黑色介形虫壳的扫描电子显微镜观察证实,其黑色来源于细微的黄铁矿晶体^[2]。原来,黄铁矿化过程发生在虫体死亡后不久,当壳体在沉积物中埋深数毫米至数厘米时,沉积物中的还原环境使壳体内的有机质不致迅速完全腐烂分解;蛋白质分解析出的大量游离硫化氢与铁作用形成黄铁矿,取代壳瓣中的方解石,从而使壳体呈现黑色。壳体颜色由黑、深灰至灰反映还原作用由强到弱。因此,黑色壳体和深灰色壳体指示湖底沉积物中缺氧,是还原环境。同样,充填黄铁矿的白色壳体也是沉积物中还原环境的标志。红色壳体是壳体暴露于大气中,黑色黄铁矿被氧化成赤铁矿造成的,所以它显然代表壳体曾一度暴露于水面而遭受氧化,是氧化环境的可靠标志,而黑褐色壳体常常是由于氧化锰侵染,所以也是氧化环境的标志。在同一样品中有时可以见到几种不同颜色壳体的混杂,这说明有搬运作用发生,因为相同的环境,其壳体的颜色也应一致,即使有不同,也不应有太大的差异,如红色壳与黑色壳共生。很显然,壳体的颜色可以很好地指示沉积环境中的含氧量。

2.2.2 壳体充填的成因

壳体充填只发生在介形虫死后。虫体死后埋藏到沉积物中即成为沉积物中的颗粒之一,并随着成岩作用的变化而变化。壳体充填物的形成与水体中碳酸钙含量有着密切的关系,若水体中碳酸钙含量处于不饱和状态时,按物质的均衡原理,总是力求达到平衡,所以介壳的方解石即慢慢溶解,并会造成沉

积物中没有介形虫的假象;当水体中碳酸钙处于饱和但不是过饱和时,介形虫壳体有充分的时间再结晶,水体中的碳酸盐成分便通过壳壁的毛细孔渗透到介壳内,成为隐晶—亮晶方解石的充填物,而当水体的 Mg^{2+} 含量增加时,壳体便可部分或全部被白云石充填,可见,壳体充填方解石或白云石是水体中碳酸盐含量饱和的标志。此外,黄铁矿充填物是还原环境的标志;至于空心壳可能是沉积物中没有足够的水作用,使得壳体外物质无法渗透到壳体内形成充填物所致。需要特别指出的是,虫体死亡后,只有得到及时的埋藏,才不致于两瓣分开而无法接受充填。

2.2.3 壳体完整程度的成因

介形虫死后其软体组织由于细菌活动而腐烂,壳体的左、右两瓣壳一般在数小时至数天内随之分离^[7]。在沉积作用缓慢的水底,底质比较坚实,能够落到沉积物深处而壳瓣不散开的壳体很少。反之,沉积作用迅速的水底,底质十分松软,大多甚至全部壳体能藉其本身的重力陷入沉积物深处,就是壳内闭合肌和韧带破坏以后也不致两瓣散开,直至壳内被充填后,两瓣被胶结住。此外,在水动力强烈的地方,介形虫遗壳在水流和波浪的冲击下容易散开和破碎。因此,双瓣/全群单瓣值可以反映沉积速度和水动力强度,碎壳率可以反映水动力强度,沉积快而静的地方双瓣壳比例高,碎壳率低;沉积慢而动荡的地方单瓣壳的比例高,碎壳率也高。

另外,由于上覆沉积物的压力,壳体会被压扁,有的壳体从一开始就受压,表现为没有充填物的压扁状薄膜;有的是后期成岩压实压扁的,呈有充填物的“薄饼状”。

3 结束语

综上所述,东营凹陷沙河街组介形虫化石存在多种保存特征,每一种保存特征都有其形成的条件。通过上述成因探讨可以看出:介形虫化石埋藏学研究无需进行属种鉴定即可用于古环境分析,这给油区古近系蕴藏的大量介形虫化石找到了新的用途,可使之更好地为油气勘探服务。

参考文献:

- [1] 单怀广,张慧娟. 山东油气区早第三纪介形类 [A]. 中国油气区地层古生物编辑委员会: 中国油气区地层古生物论文集(二) (山东油气区专辑 [C]). 北京: 石油工业出版社, 1992, 1-56.

- [2] Oertli H. J. ,1971. The Aspect of Ostracoda faunas – a possible new tool in petroleum sedimentology. In Oertli H. J. (ed) ,Colloque sur la Paléocéologie des Ostracodes. Pau , 137 – 151.
- [3] 刘传联,丁莲花,等. 山东东营凹陷早第三纪沙一段介形虫丰度的不均匀性及其地质意义[J]. 微体古生物学报. 1994 ,11(2): 213 – 222.
- [4] 赵宇鸿. 不同 pH 值水溶液对现生介形虫壳体保存的影响[J]. 微体古生物学报 ,1990 ,7(1): 1 – 8.
- [5] Maddocks R. F. ,1988. One hundred million years of predation on Ostracodes :The fossil record in Texas. In Hanai T. et al. (eds.) ,Evolutionary Biology Of Ostracoda. Elsevier 637 – 657.
- [6] De Deckker P. ,1988. An account of the techniques using Ostracodes in paleolimnology in Australia. Palaeogeogr. , Palaeoclimatol. , Palaeoecol. 62 :463 – 475.
- [7] 赵泉鸿,汪品先. 非海相介形虫的古环境意义. 见 汪品先、刘传联. 含油气盆地古湖泊学研究方法[M]. 北京 :海洋出版社. 1993 ,124 – 170.

Study on Ostracode Fossils Taphonomy of Shahejie Formation in Dongying Depression

HONG Tai – yuan^{1 2}

(1. China Geological University , Beijing 100083 , China ; 2. Geological Logging Company of Shengli Oil Management Bureau , Shandong Dongying 257064 , China)

Abstract :Distribution of ostracode fossils in plane have many types. As to keeping characteristics of ostracode , crystal fillings can be divided into five types with rich colors. Origin study on ostracode keeping characteristics will help to recover paleoenvironment.

Key words :Dongying depression ; Shahejie formation ; ostracode ; fossils taphonomy ; keeping characteristics ; crystal filling ; crystal color

(上接第 31 页) Multiple Division and Correlation of Neoproterozoic Stratigraphy in Jiaoliao Luxi and Xuhuai Area

XU Ke – min^{1 2} ,WANG Lai – ming² ,LIU Gui – ling³ ,ZHANG Zeng – qi⁴ ,WANG You – ping² ,HU Yan – lei²

(1. China University of Geosciences ,Hubei Wuhan 430074 ,China 2. Shandong Geological Survey Institute ,Shandong Jinan 250013 ,China 3. No. 4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources ,Shandong Weifang 261041 ,China ; 4. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences , Shandong Jinan 250013 , China)

Abstract :According to study on rock property combination , palaeobio characteristics and seismic event strata , Neoproterozoic strata in Jiaoliao Luxi and Xuhuai area can be multi – divided and contrasted as follows : Heishanguan formation and Erqingshan formation in Luxi area are conformity with Diaoyutai formation and Nanfen formation , while Baoshankou formation can contrast with Nanfen formation. They both belong to Qingbaikou system. The bottom of Nanguanling formation in Liaodong area , the bottom of Shiwangzhuang formation in Luxi area , Jiayuan formation in north of Suwan area and Jiuliqiao formation in Huainan area are a set of sandy limestone combinations and develop seismic – event strata. Furthermore , metazoic fossils occurred in them. They are isochronous stratigraphic units , and belong to Dengyingxia' an stage compared with former Cambrian stratigraphic units. Dongjiazhuang formation , Fulaishan formation in Luxi area can contrast with Qiaotou formation , Changlingzi formation in Liaodong area , Fuzikuang formation and Nanzhuang formation in Jiaodong area , Lanling formation – Chengshan formation in north of Suwan area and Wushan formation – Sishili Changshan formation in Huainan area , which belong to Doushantuo stage according to China Regional Chronostratigraphic(Geo – chronologic) Scale.

Key Words :Neoproterozoic ; stratigraphic division and correlation ; Jiaoliao Luxi and Xuhuai area