

贵州熊家场寒武系梅树村阶磷块岩中小壳动物化石微结构特征及与成磷关系分析*

高磊 杨瑞东** 高军波 陈吉艳 陈军

(贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳 550025, rdyang@gzu.edu.cn)

摘要 寒武纪早期是全球小壳动物化石大幅辐射的时期, 贵州寒武纪初期磷块岩中就含有大量种类丰富的小壳动物化石, 而前人对其研究多局限于外观形态的描述, 对其微观结构方面的研究较少。文中通过对贵州熊家场地区磷块岩中小壳动物 *Turcutheca*, *Paracircotheca*, *Loculitheca zhi jinensis* 以及 *Protospongia* 化石进行电子显微镜观察, 描述其显微结构特征。并对 *Turcutheca*, *Paracircotheca* 进行重点生物结构研究, 探讨其壳体形态、生长发育方式。通过对小壳动物化石壳体进行 SEM-EDS 分析, 确定组成壳体主要成分为碳氟磷灰石。另外, 对化石 *Turcutheca* 内核填充部分、壳壁、围岩进行 EDS 能谱分析, 及其元素特征进行对比, 初步探讨生物体与成磷之间的关系, 认为寒武纪早期小壳动物的繁盛对同期磷块岩的形成起到了至关重要的作用。

关键词 微结构 小壳化石 磷块岩 梅树村期 寒武纪 贵州熊家场

1 前言

“小壳化石”(small shelly fossils)一词是由 Matthews 和 Missarzhevsky(1975)所建, 主要是指在埃迪卡拉纪晚期至寒武纪早期之间的个体微小的带壳类动物化石。它们主要出现于埃迪卡拉(Ediacara)软躯体动物群之后、以三叶虫为代表的节肢动物群之前的地质历史时期的地层中。1985年瑞典古生物学家 Bengtson 首次采用“早期骨骼化石”(Earliest Skeletal Fossils)来取代“小壳化石”一名, 使其在化石内容和时代上更为合理, 但直到现在大部分古生物研究者仍沿用“小壳化石”这一名词。

国内对寒武纪小壳动物的研究始于 20 世纪 70 年代至 80 年代初(钱逸, 1977), 此后陆续取得了大量的研究成果, 至 80 年代末已经描述有 191 属 471 种(钱逸、尹恭正, 1984)。通过壳壁显微结构和壳质成分的研究, 确认小壳化石中的 8 个已知动物门, 即最早期的软舌螺动物门(Hyolitha)、软体动物门

(Mollusca)、腕足动物门(Brachiopoda)、环节动物门(Annelida)、刺胞动物门(Cnidaria)、海绵动物门(Porifera)、节肢动物门(Arthropoda)、棘皮动物门(Echinodermata)和 9 个分类未定的自然类别: 腔骨类(coeloscleritophorans)、织金钉类(zhijinitids)、托莫特壳类(tommotiids)、拟骨状壳类(paracarina-chitids)、开腔骨类(chancelloriids)、牙形状化石(condont-like fossils)、球状化石(globular fossils)、帽状化石(cap-like fossils)、管状化石(tubular fossils), 以及至今未能归入门纲目科的属种。

由于小壳动物群是一个由生物骨片组成的庞杂生物集群, 因此, 研究小壳动物化石的成分和显微构造无疑是一项重要内容。然而这方面的工作却没有引起足够的重视, 系统研究较少(Runnegar, 1985; 武希彻、蒋志文, 1989)。目前, 对小壳化石保存矿物学及成岩过程所做的研究主要有: 软体动物(Runnegar, 1985)、原牙形类(Bengtson, 1976; 钱逸、尹恭正, 1984)、托莫特壳类(蒋志文, 1984; 钱逸、尹恭正, 1984)、织金钉类和阿纳巴管类(钱逸、尹恭正, 1984; Conway Morris and Menge, 1991)、腕足类(Feng

收稿日期: 2018-01-17

* 国家自然科学基金(41503030)、贵州省科技厅科技创新团队项目(2018006)、贵大人基合字(2017)36 号项目和贵州大学学科建设项目联合资助。

** 通讯作者: 杨瑞东, 教授, 主要从事沉积矿床及沉积地球化学的教学与研究。

and Kobayashi, 2004) 和帽状壳类(李国祥、陈均远, 1992), 还有对小壳化石的保存、壳壁成分和显微构造进行过的部分研究(朱茂炎等, 1996; Kouchinsky, 1999, 2000a, b; Feng *et al.*, 2001; Feng and Sun, 2006), 以及对小壳动物演化线系所做的研究(冯伟民, 2006)。但总的来说, 对小壳动物化石各门类的显微结构和壳体成分研究相对较少。最近, Joseph Moysiuk 等在 Nature 上撰文对 Hyoliths 软躯体构造进行了深入研究, 引起世界古生物界广泛关注(Moysiuk *et al.*, 2017)。

笔者通过对贵州熊家场地区富含大量小壳动物化石的寒武纪早期磷块岩进行研究分析, 发现该地区小壳动物化石门类主要由软舌螺类、海绵类组成, 未发现织金钉类(zhijinitids)存在。并对该区小壳动物化石进行了显微结构研究以及化学成分分析, 对 *Turcutheca*, *Lapworthella annulata* 进行了重点的生物结构研究, 初步确定了其壳体形态、生长发育方式, 并对小壳动物与磷块岩形成之间的关系进行了探讨, 认为寒武纪早期磷块岩成矿过程与小壳动物的作用密不可分。因此, 对小壳动物群进行深入研究, 揭示小壳动物群的面貌, 恢复小壳动物生存的古生态环境, 对了解寒武纪生命大爆发、揭示小壳动物的成磷成矿作用具有重要意义。

2 研究区地质背景

织金磷矿区位于扬子地台西南端, 贵州的中偏西部, 地质构造部位处于“黔中隆起”地区(插图 1)。主要出露织金果化背斜, 张维背斜北西翼部。断裂较简单, 多以走向正断层为主, 局部小构造发育。出露的地层主要为震旦系灯影组及寒武系戈仲伍组、牛蹄塘组, 含磷岩系为碳酸盐岩-磷块岩组合与硅质岩-磷块岩组合, 构成贵州早寒武世早期规模最大的含稀土磷块岩矿床。

研究区为织金熊家场大寨五指山磷矿区, 位于织金磷矿区的最南端, 样品采集于研究区寒武系梅树村阶戈仲伍组含磷岩系, 矿层较薄, 仅 50—70 cm, 夹于白云岩中, 主要为小壳动物化石组成的磷块岩-生物磷块岩。戈仲伍组下伏地层为灯影组灰白至浅灰色厚层细至中晶硅质白云岩, 白云岩见硅化和晶洞构造; 上覆地层为牛蹄塘组黑色硅质碎屑岩, 在顶部黑色碳质页岩中见铁红色风化壳, 显示其为暴露环境。其磷块岩按矿物成分主要可分为两大类, 即硅质磷块岩与白云质含生物碎屑磷块岩。磷酸盐矿物主要为碳氟磷灰石(张杰、陈代良, 2000), 多以非晶质、隐晶质及胶磷矿等形式存在。研究区自上而下的矿层层序如插图 2 所示。

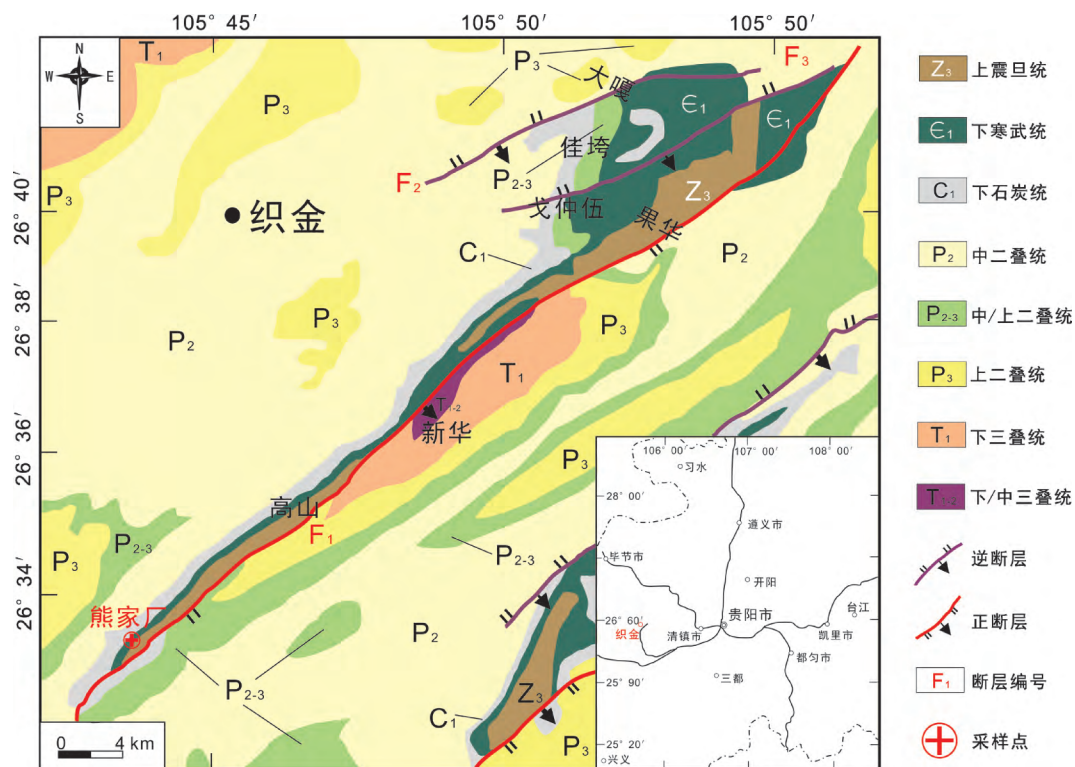


插图 1 织金熊家场区域地质简图(据贵州省地质局 1:200 000 地质图修改)

Simplified geological map of Xiongjiachang, Zhijin (modified from the 1:200 000 geological map of the Guizhou Geological Bureau).

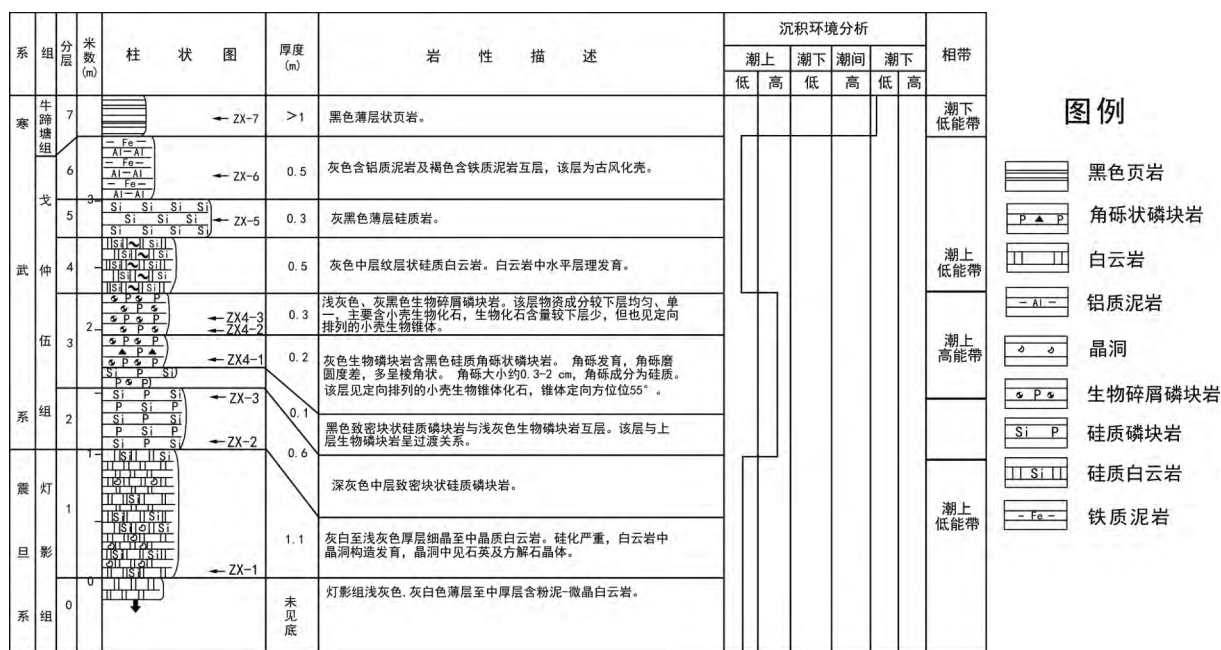


插图 2 熊家场大寨五指山含磷岩系沉积剖面

Sedimentary section of phosphorous rock system in Wuzhishan of Dazhai, Xiongjiachang.

3 材料及研究方法

本文所研究化石标本采自贵州织金熊家场地区寒武系梅树村阶戈仲伍组磷块岩内,主要有 *Turcutheca*, *Paracircotheca*, *Protospongia* 和 *Lapworthella annulata*。对上述化石样品显微结构以及壳体成分进行了分析。研究方法主要为:

1) 将磷块岩标本进行冰醋酸浸泡,会有部分小壳化石从磷块岩中剥离出来,对剥离出的单个化石在显微镜下进行鉴定,并利用加拿大树胶固定,进行切片处理,制成薄片,用来观察分析小壳化石的显微结构。

2) 对于磷块岩中不能剥离出来的小壳化石,进行磷块岩整体切片,得到各类化石横切面、纵切面以及斜切面的薄片,进行显微结构观察。

3) 对小壳化石标本进行 SEM-EDS(Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer)测试,得到化石壳体不同部位的元素组成结果,进而分析壳体成分和小壳动物与成磷之间的关系。

4 小壳动物化石的显微结构

4.1 *Turcutheca* 显微结构

Turcutheca 化石个体较大,一般长为 0.3—0.7 cm,口径为 0.3—0.8 mm,属于圆管螺目。钱

逸等(1989)对 *Turcutheca* 的研究主要集中于其外部形态,对其微观结构描述很少。由于缺乏能够保存生物软体组织的有利埋藏环境,现今保存的化石多数为生物矿化硬体部分,从而缺少了与现代生物进行生物学对比的条件。

笔者通过对织金熊家场磷块岩中大量代表性 *Turcutheca* 化石标本进行显微结构研究。发现 *Turcutheca* 具有特殊的内部结构特征和生长现象。*Turcutheca* 的壳壁由呈同心圆状的多层结构组成(插图 3),在壳体横切面方向上表现为背腹不分,且从外壁向内腔,每两层为一个结构单元层,呈规律性交替出现。单元层的外层由垂直壳壁生长的柱晶磷灰石组成,晶体较粗,具有柱纤结构,在正交偏光镜下有十字消光的现象,内层则具有层纤结构,由黄褐色纤维状磷灰石晶体构成,层纹呈纤维状平行壳壁发育(插图 3-a, b, c)。两层壳壁厚度近等,层纤与柱纤结构交替出现(插图 3-c),并在生长发育过程中伴有壳壁脱落现象。*Turcutheca* 壳体呈圆锥形,自口缘至始部截面半径逐渐减小,生长角约为 15° — 17° ,始部表现为宽圆型。化石内核腔体具有生物软体组织留下的碳膜痕迹(插图 3-d),但保存不完整,多数被大量磷矿物填充,呈深褐色,与壳壁部分颜色差异较明显。通过对以上的壳体横切面特点进行归纳总结,得到 *Turcutheca* 生物壳体横切面模式图(插图 4)。

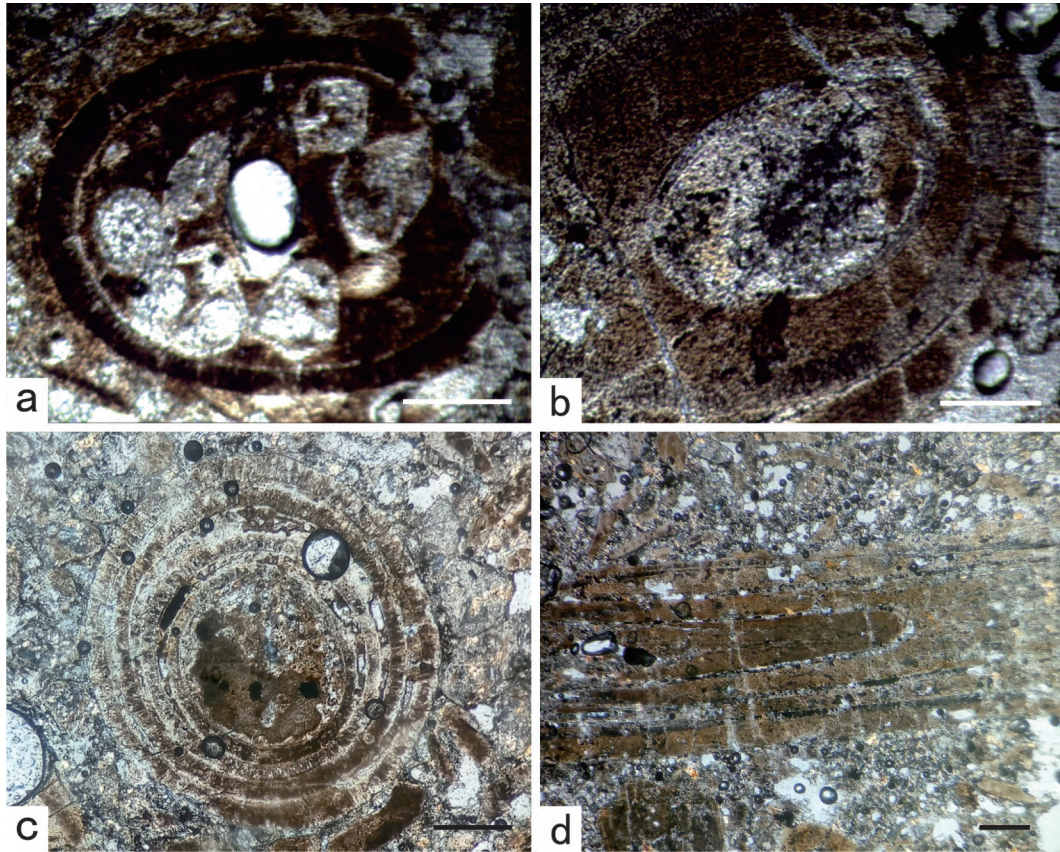


插图 3 熊家场 *Turcutheca* 化石显微结构

The microstructure of *Turcutheca* fossil in Xiongjiachang.

a. *Turcutheca* 化石横切面,同心圆状双层结构,单元层外层具有垂直壳壁发育的柱纤结构。b. *Turcutheca* 化石横切面,同心圆状四层结构,内核腔体存在软体组织痕迹。c. *Turcutheca* 化石横切面,同心圆状多层结构,外层具有垂直壳壁发育的柱纤结构,内层具有平行壳壁发育的层纤结构。d. *Turcutheca* 化石斜切面,具“funnel-in-funnel”锥体结构。比例尺:100 μm 。

a. *Turcutheca* fossil cross-section, with a distinct concentric circular double-layer structure, the outer layer of the cell has the vertical shell wall development of the column fiber structure. b. *Turcutheca* fossil cross-section, with a distinct concentric circular four-layer structure, the kernel cavity has the soft organization trace. c. *Turcutheca* fossil cross-section, with a distinct concentric circular multi-layer structure, the outer layer has the vertical shell wall development of the column fiber structure, the inner layer has the parallel shell wall development of the layer fiber structure. d. *Turcutheca* fossil oblique facets with “funnel-in-funnel” cone structure. Scale bar: 100 μm .

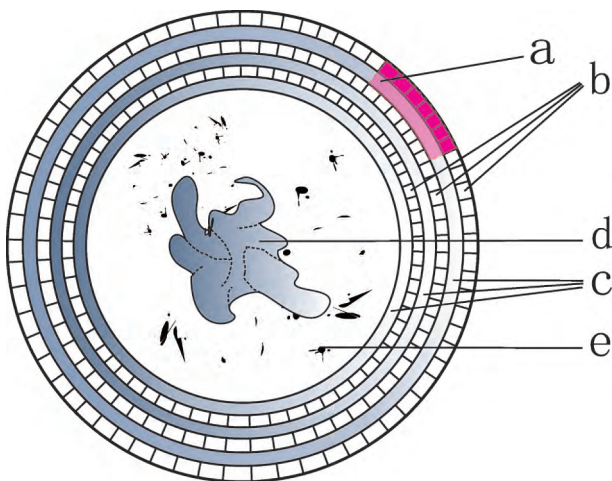


插图 4 熊家场 *Turcutheca* 生物壳体横切面模式图

Cross-sectional pattern of biological shell of *Turcutheca* in Xiongjiachang.

a. *Turcutheca* 壳壁的结构单元层,由内层和外层两种结构组成。b. 结构单元层的外层,具有垂直壳壁发育的柱纤结构。c. 结构单元层的内层,具有平行壳壁发育的层纤结构。d. *Turcutheca* 生物软体组织部分。e. 壳体内核充填的磷矿物。

a. *Turcutheca* structure of the shell layer, which is composed of inner and outer layers. b. The outer layer of the structure layer has the structure of the vertical shell wall development. c. The inner layer of the structural element layer has the fiber structure of the parallel shell wall development. d. *Turcutheca* biological soft tissue part. e. Shell cavity filled with phosphorus minerals.

Turcutheca 壳壁层数具有不确定性,但始终呈偶数倍关系出现,推测壳壁单元层的数量与生物体生长年龄有关,并且两者之间呈正相关的关系,在壳体内部软组织末端应该存在独特的分泌器官(Moy-siuk *et al.*, 2017),与肠道相连,随着生物体的生长,

分泌器官吸收通过肠道组织运输来的环境中含磷物质,不断分泌出组成壳壁成分的碳氟磷灰石,从而使壳壁单元层数量也随着生物体的发育不断增加,见 *Turcutheca* 生物体模型猜想图(插图5)。通过对比研究发现, *Turcutheca* 的多层壳壁结构(插图3-d)类似于埃迪卡拉纪 *Cloudina hartmannae* 化石

(Yang *et al.*, 2016),具有“funnel-in-funnel”的锥体结构(Germs, 1972; Grant, 1990; Hua *et al.*, 2005),壳体呈圆管状,内部具有类似套管的多层结构现象,外部形态均表现为背腹不分(插图6)。据此推断寒武纪 *Turcutheca* 与埃迪卡拉纪 *Cloudina hartmannae* 生物之间可能存在一定的亲缘关系。

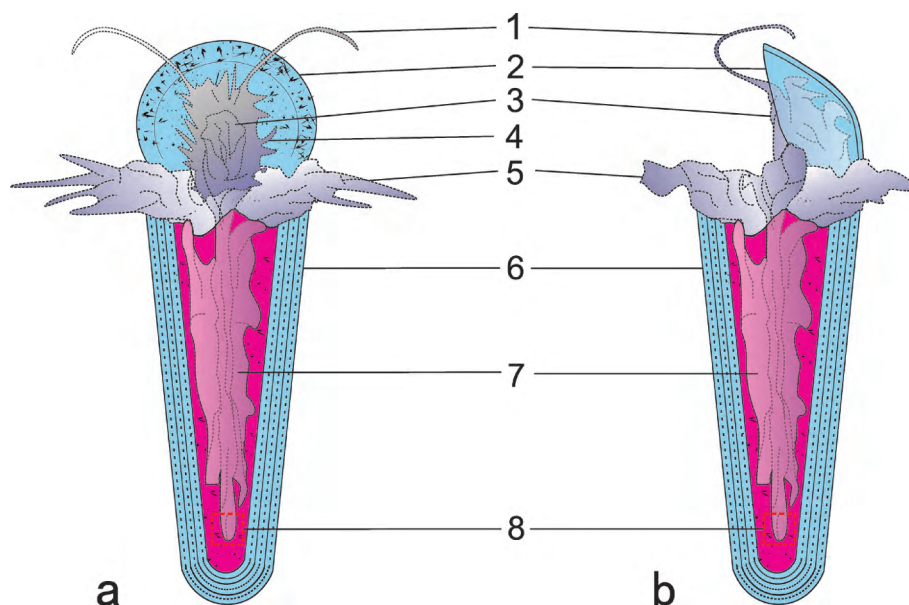


插图5 熊家场 *Turcutheca* 生物体模型猜想图

The model conjecture diagram of *Turcutheca* in Xiongjiachang.

a. *Turcutheca* 生物体腹视图; b. *Turcutheca* 生物体侧视图。1. 触手; 2. 口盖; 3. 软组织基部(发育嘴和肛门); 4. 触手; 5. 足部; 6. 壳壁; 7. 内脏器官; 8. 分泌器官。

a. *Turcutheca* biological ventral view; b. *Turcutheca* biological side view. 1. Tentacle; 2. Operculum; 3. Soft tissue basement (development of mouth and anus); 4. Tentacle; 5. Foot; 6. Shell wall; 7. Visceral organ; 8. Secretory organ.

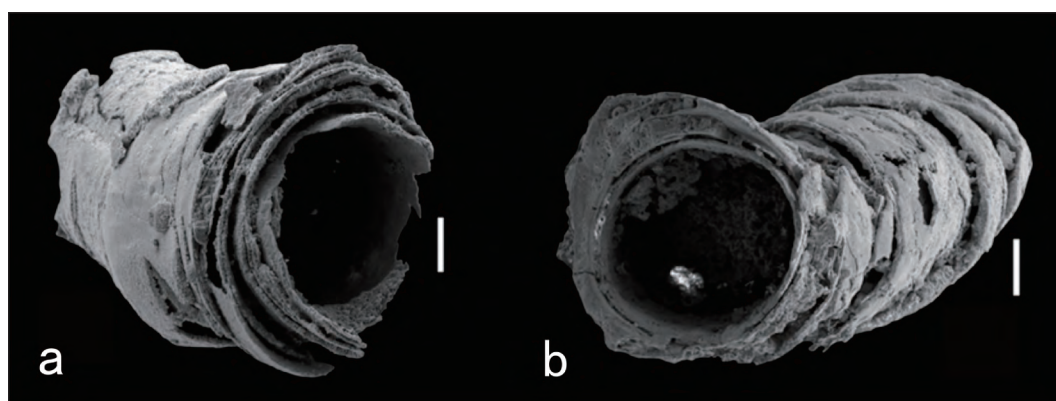


插图6 埃迪卡拉纪 *Cloudina hartmannae* 生物化石体视图(a,b),比例尺:100 μm (据 Yang *et al.*, 2016)

Stereogram of *Cloudina hartmannae* fossils in Ediacaran (a, b). Scale bar: 100 μm (after Yang *et al.*, 2016).

除此之外,熊家场地区磷块岩中首次发现了与 *Turcutheca* 壳体聚集在一起保存完好的口盖化石(插图7),且具有明显的生物软体组织痕迹,口盖形态近圆形,直径约 0.6 mm,底端较平,属于口盖与壳体的连接部分。 *Turcutheca* 口盖化石中部具有

喇叭形黑色碳膜痕迹,应属于盖内软体组织的基部,基部环带拥有众多可随意弯曲的触角,这些触角多数较短,自基部发育到触角尖端逐渐变细,几乎完全隐藏在盖内。只存在一对在口盖内对称生长的触角长度较长,可以伸出到口盖以外,称之为触手。两个

触手之间发育角度为 95° — 100° , 类似浮游类动物的摄食器官, 特别是内肛动物和触手冠动物腕足类、帚虫类等 (Kocot, 2016), 嘴和肛门存在于口盖内触手发育的基部。通过这种现象可以判断 *Turcutheca* 应该属于浮游类小壳动物 (Marek *et al.*, 1997; Gale and Parsley, 2005; Mus, 2016), 而非底栖生物, 同

时也与其壳体背腹不分的特征相吻合。综合分析并结合 *Turcutheca* 生物的壳体和口盖特点, 得到其生物体模型猜想图 (插图 5)。结合其整体形态, 笔者推测, 口盖的出现可能是由于此时已经出现 *Turcutheca* 生物的天敌, 如寒武纪早期出现的小型鱼类等, 能够有效地躲避外部攻击。

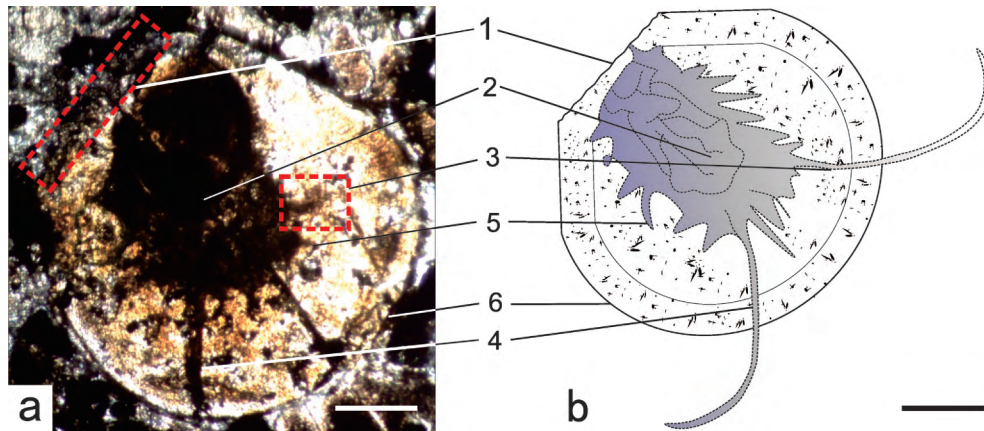


插图 7 熊家场 *Turcutheca* 生物口盖

The biological operculum of *Turcutheca* in Xiongjiachang.

a. *Turcutheca* 生物口盖化石; b. *Turcutheca* 生物口盖模式图。1. 口盖与壳体连接处; 2. 软组织基部, 发育嘴和肛门; 3. 左触手 (埋藏过程中仅保留下一段); 4. 右触手; 5. 触角; 6. 口盖壁缘, 比例尺: $100\ \mu\text{m}$ 。

a. *Turcutheca* biological operculum fossil; b. *Turcutheca* biological operculum pattern. 1. The connection of operculum and shell; 2. Soft tissue basement, development of mouth and anus; 3. Left tentacle (only one part is retained during the burial process); 4. Right tentacle; 5. Tentacle; 6. The edge of the operculum. Scale bar: $100\ \mu\text{m}$.

4.2 *Paracircotheca* 显微结构

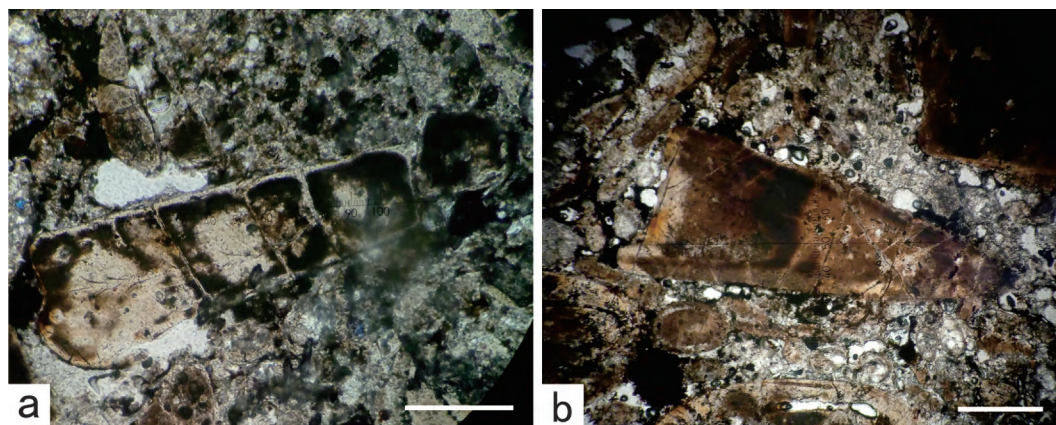
在研究区复杂的小壳化石中发现了如插图 8 所示的壳体化石, 壳小, 长度约为 0.3 — $0.5\ \text{cm}$, 圆锥形, 窄而短, 顶端宽圆, 向口端均匀扩张, 生长角 15° — 17° 。口缘壁厚, 角度发育平缓, 横切面为椭圆形, 根据以上特征判断其应归属于圆管螺目圆管螺科拟圆管螺属。并且在壳形、壳面装饰等特征方面相似于模式种 *Paracircotheca zhaojiabanensis* (钱逸、尹恭正, 1984)。

通过对 *Paracircotheca* 进行显微微结构分析, 发现其壳壁厚度中等, 单层。壳壁外表面饰有环状横脊, 横脊粗, 呈波状, 连续性展布 (插图 8-b)。壳体具有宽圆型的始部, 从始部开始发育隔板构造, 并存在平隔板和凸隔板两种类型, 内部隔板与壳壁外表面环状横脊相连, 将壳体内部分割成多个大小不等的中空腔体, 称之为气室 (插图 8-a)。

在对 *Paracircotheca* 的研究中首次发现这种隔板结构, 从纵切面方向可以发现横隔板是封闭的, 没有孔隙的存在, 因此气室之间被彼此隔绝, 所以从最后一个隔板到壳口的空间应该属于壳内软体组织的

住室部分。通过对比研究发现, *Paracircotheca* 这种气室结构与无脊椎动物鹦鹉螺 (赖才根, 1960; 郑灼官, 1984) 以及菊石 (Dommergues, 1993) 的隔壁结构极其相似, 并猜测在 *Paracircotheca* 壳体各气室之间可能存在一根与鹦鹉螺内部相似的软体组织串管, 将各气室相互串联, 只是这些软体部分在埋藏过程中被分解消失, 没有完整地保存下来, 或者切片位置没有切到该结构。

而 *Paracircotheca* 的生长过程也应与鹦鹉螺相似, 即最初形成了原壳的部分, 随着软体的生长, 壳壁也不断地增长。软体组织后部存在的分泌器官可分泌形成坚硬的隔板托住软体, 当隔板生成到一定程度时, 软体脱离向前移动, 形成一个气室, 这样不断地生长, 气室的数目不断地增加, 前方具壳口的气室体积最大, 成为软体的住室。而 *Paracircotheca* 气室之间的规模差异, 可能与菊石隔壁大小不一的原因相同 (Dommergues, 1993), 即在壳体生长发育过程中, 软体组织的发育规模以及周围环境物质影响着分泌器官的分泌速率, 从而导致气室形成时间上出现不同, 使得气室的规模存在差异。结合以上研究结果绘制出 *Paracircotheca* 生物体模型猜想图

插图8 熊家场 *Paracircotheca* 化石微结构The microstructure of *Paracircotheca* fossil in Xiongjiachang.

a. *Paracircotheca* 壳体内部隔板将内部分割成多个大小不等的气室。b. 壳壁外表面饰有环状横脊,横脊粗,呈波状,连续性展布。比例尺: 100 μm 。

a. *Paracircotheca* shell internal partition divided into a number of different sizes of air chamber. b. The outer surface of the shell is decorated with circular transverse ridges and the transverse ridges are thick, wavy and continuous. Scale bar: 100 μm .

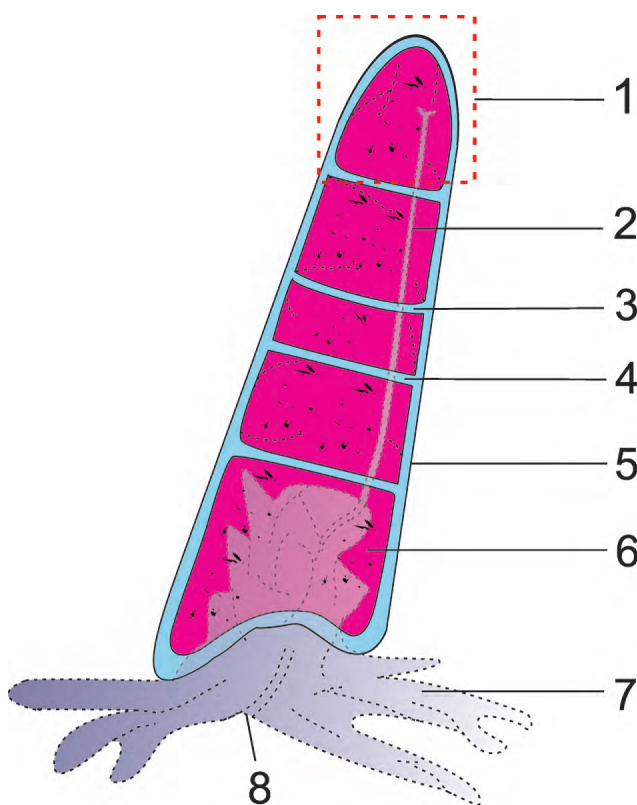
(插图9)。而 *Paracircotheca* 各种特殊生长现象的存在对于今后小壳动物的研究具有重要意义,利用气室数量及大小的不同,可以判断生物体年龄,进而恢复生物体生存的古生态环境,但这项工作仍需要更系统更复杂的研究,找到气室发育的共性规律,确定统一标准。

并且通过这种独特的气室结构可以推测出 *Paracircotheca* 属于游泳类的小壳动物,而其游泳方式也应与现代活化石鸚鵡螺极其相似,即主要依靠暴露在外的软体部分排水产生反作用力进行前进和后退,气室的存在则类似于一个空气储存装置,通过串管调节气室内空气的分量,使壳体在海水中沉浮:气室充气,比重减轻,进而上浮;气室排气而装水,比重增加,壳体下沉。

4.3 *Loculitheca zhijinensis* 显微结构

Loculitheca zhijinensis 个体较大,属于直管螺目小环脊螺科,是小壳动物化石中个体较大的动物化石之一,长约 0.5—0.7 cm,最长可达 1 cm,口径约为 0.7—1.5 mm。化石呈扁圆锥形,略弯曲,横切面椭圆形,生长角较小。壳顶钝圆,壳面未见纹饰,较为光滑,口盖内面有一对向外、向中央倾斜的月牙形边缘突起,与口盖两侧缘平行。

对织金熊家场磷块岩中个体大的 *Loculitheca zhijinensis* 化石进行显微结构观测,发现其具有较薄的单层壳壁,呈平凹状(插图 10-c),由细粒方解石晶体组成,类似于珊瑚类的壳壁结构,在壳壁内层具有放射状的隔壁,一级隔壁粗大而长,二级隔壁间隔

插图9 熊家场 *Paracircotheca* 生物体模型猜想图The model conjecture diagram of *Paracircotheca* in Xiongjiachang.

1. 宽圆型始部;2. 串管;3. 凸隔板;4. 平隔板;5. 壳壁;6. 住室;7. 足部;8. 软组织基部(发育嘴和肛门)。

1. Wide circular beginning part; 2. Pipe string; 3. Protruding partition board; 4. Flat partition board; 5. Shell wall; 6. Living chamber; 7. Foot; 8. Soft tissue basement (development of mouth and anus).

在一级隔壁之间,两个级别的隔壁数量近等(插图

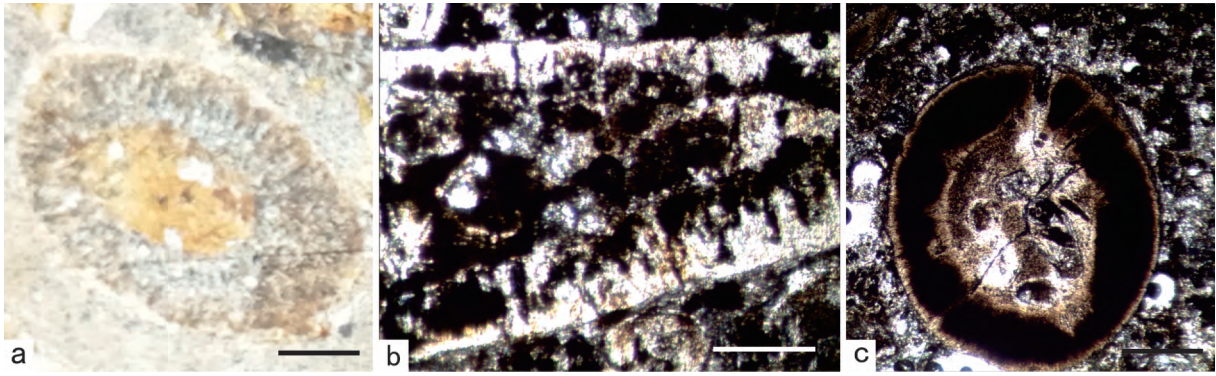


插图 10 熊家场 *Loculitheca zhijinensis* 化石微结构

The microstructure of *Loculitheca zhijinensis* fossil in Xiongjiachang.

a. *Loculitheca zhijinensis* 化石横切面, 可见辐射状隔壁构造, 同心层结构的轴管。b. *Loculitheca zhijinensis* 化石斜切面, 可见辐射状隔壁。c. *Loculitheca zhijinensis* 化石横切面, 具有较薄的单层壳壁。比例尺: 200 μm 。

a. *Loculitheca zhijinensis* fossil cross-section, in which can be seen the radial partition structure and concentric layer structure of the shaft. b. *Loculitheca zhijinensis* fossil oblique section, radial partition wall can be seen. c. *Loculitheca zhijinensis* fossil cross-section, which has thinner single-shell wall. Scale bar: 200 μm .

10-a, b), 具类似六射珊瑚的板状中轴构造和四射珊瑚的轴管构造, 但轴管在纵切面上被磷矿物充填(插图 10-b)。

4.4 *Protospongia* 海绵显微结构

根据骨针形态判断其可能归属于原始海绵 *Protospongia*。特点为三射二轴针: 1 根长轴, 2 根短轴, 长轴较短轴粗, 2 根短轴的生长方向在长轴的同一侧(插图 11-a), 还发现有三射二轴针为骨针 1 轴很长, 1 轴短, 长轴骨针的 2 射长, 并成一线, 短轴与长轴成 90° 正交(插图 11-b, c)。这类骨针在之前的骨针分类中是没有记载的, 由杨瑞东等(2004)最早研究发现, 并认为其应当归属于原始海绵 *Protospongia*。

而对其显微结构观测发现, 其骨针成分主要为硅质, 由 SiO_2 组成, 并未出现磷酸盐化现象, 具有微晶结构, 围岩以 CaO 和 P_2O_5 为主。而其具有的非晶硅质结构, 与普通海绵及六射海绵类结构一致, 暗示后者在这一时期的繁盛(冯伟民等, 2002), 从生物微结构方面反映出寒武纪生物的大爆发。

5 小壳动物化石壳体成分分析

对熊家场代表性小壳化石 *Turcutheca*, *Paracircotheca* 和 *Lapworthella annulata* 进行单电镜扫描, 每份样品均进行 4 次重复试验, 发现熊家场地区小壳动物化石虽然在微结构方面差异很大, 但在其壳体主要矿物组成上表现出一致性。根

据电镜能谱分析(SEM-EDS)可以看出(插图 12), 组成壳体的主要元素是 Ca 、 P 、 O 、 C 、 F , 说明其主要化学成分为 P_2O_5 , CaO , F_2O 等, 其中 P_2O_5 含量约为 30%—34.2%, CaO 含量约为 50%—65%, F_2O 含量约为 7.5%—20%, Al 、 Si 、 Fe 、 S 等元素含量较低, 在能谱图上并未显示。且研究区的小壳化石壳壁成分均匀, 没有明显的热液蚀变所具有的次生加大现象, 结合以上分析可以说明组成熊家场小壳动物化石壳体的原生矿物成分为碳氟磷灰石。

而前人(陈其英等, 2000)研究表明: 碳氟磷灰石的形成主要有两种方式, 其一是小壳动物对磷的直接吸收和吸附; 其二是富磷孔隙水和底水中磷灰石的自生沉淀。磷灰石中的 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 是以类质同象的形式替代部分 PO_4^{3-} 而进入晶体结构中的, 而碳、硫同位素组成则证明进入晶格的 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 有相当部分是由生物有机质分解演化而来的。在此过程中, 小壳动物的作用就是提供一种使磷从含磷有机物中释放出来并沉淀富集的机制, 属于生物间接作用。

6 小壳动物化石的埋藏环境

关于小壳化石的分布及埋藏, 前人(解永顺、何廷贵, 1993)研究发现我国寒武纪早期扬子台地的小壳动物分布具有明显的分区性特征, 其分区界线与寒武纪早期三叶虫、高肌虫的分界线(张文堂等, 1980; 霍世诚、舒德干, 1985)相似, 分为扬子西、中、东三个区域。扬子西区靠近古陆, 海水极浅, 水动力

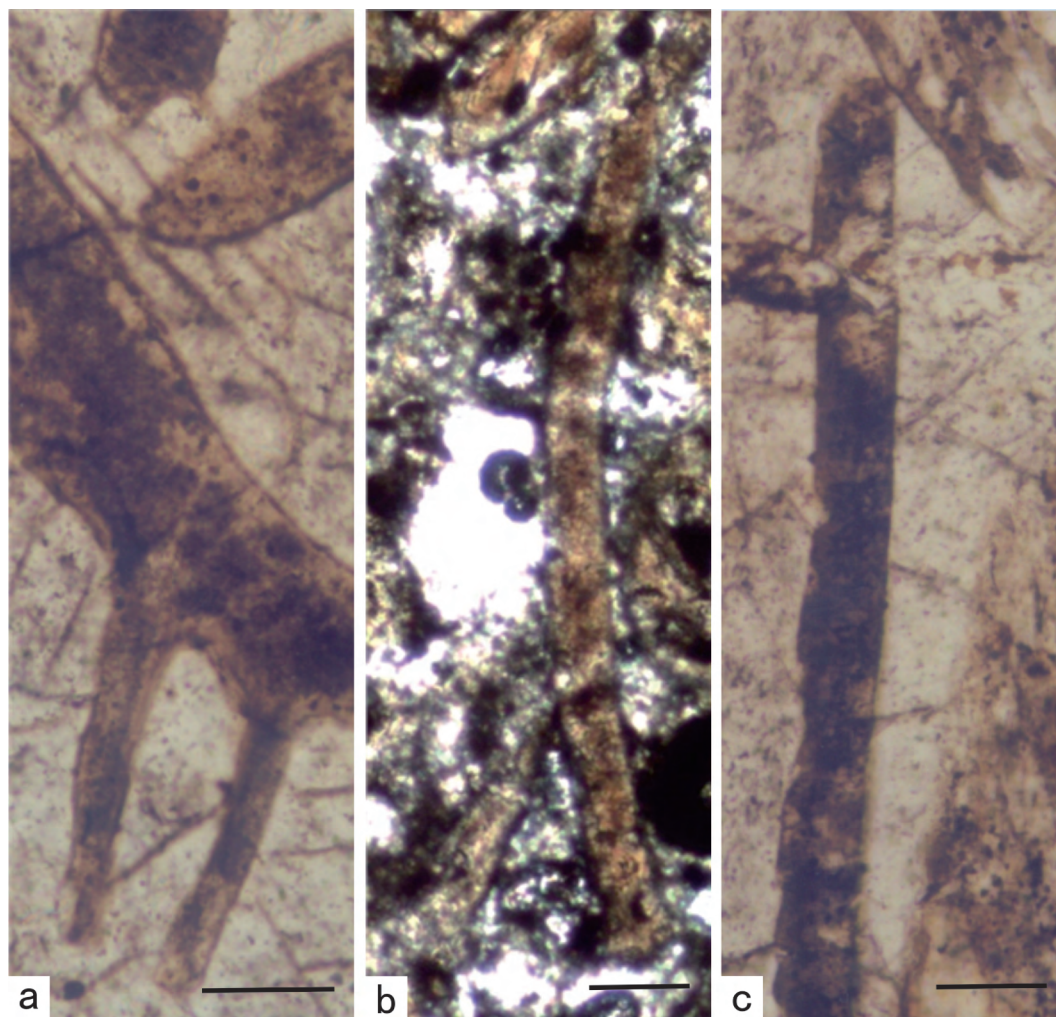


插图 11 熊家场 *Protospongia* 海绵骨针微结构

The microstructure of *Protospongia* fossil in Xiongjiachang.

- a. 三射二轴针:1 根长轴,2 根短轴,短轴的生长方向在长轴的同一侧。b. 三射二轴针:骨针 1 轴很长,1 轴短,长轴骨针的 2 射长,并成一线。c. 三射二轴针:骨针 1 轴很长,1 轴短,短轴与长轴成 90° 正交。比例尺:100 μm 。
- a. Three-shot two-axis needle; including 1 long axis 2 short axis and the growth direction of the minor axis is on the same side of the long axis. b. Three-shot two-axis needle; 1 axis of the bone needle is very long and 1 axis is short, and the 2 shot length of the long axis bone needle forming a line. c. Three-shot two-axis needle; 1 axis of the bone needle is very long and 1 axis is short, and the short axis and long axis orthogonal to 90° . Scale bar: 100 μm .

条件较好,水体泥沙含量大,较为浑浊,主要是底栖动物区;中区为离岸边较远的宁静浅海沉积,水体较深,含砂量小,流动性中等,是浮游、游泳和半游泳动物的混合区;而扬子东区远离海岸,是水体较深的半还原-还原环境,只有微弱的底流存在,物种稀少。同时,小壳动物的生存还受到多种因素的影响(解永顺、何廷贵,1993;钱逸,1999),只有当海水的温度、盐度、深度、浑浊度、基底性质、底流等条件均达到适宜时,小壳动物才会大量发育和繁衍。

而贵州织金熊家场磷矿区位于织金矿区的最南端,矿层较薄(插图 2),夹于白云岩之中,发育生物磷块岩,而在生物磷块岩之下为硅化白云岩,硅化强

烈(插图 13-e),生物磷块岩之上为 3 m 厚的白云岩(插图 13-d),在白云岩与黑色页岩之间,存在 0.3 m 厚的铝土岩和铁质岩风化壳(插图 13-c)。从剖面沉积特征分析(插图 2),下部白云岩硅化强烈,其应该对应于织金地区戈仲伍、打麻厂的磷块岩,但仅发育 50—70 cm 的生物磷块岩,说明熊家场一带不利于成磷。该地区可能属于潮上带环境,以白云岩沉积为主,夹潮上生物磷块岩。由此看来,织金南面水体较浅,可能与牛首山岛延伸水下隆起有关。说明在寒武纪梅树村期,贵州织金熊家场地区正处于扬子区在海中隆起形成的浅滩,属于生物滩沉积,这一阶段的海水中磷含量丰富,盐度正常,含砂量适中,阳

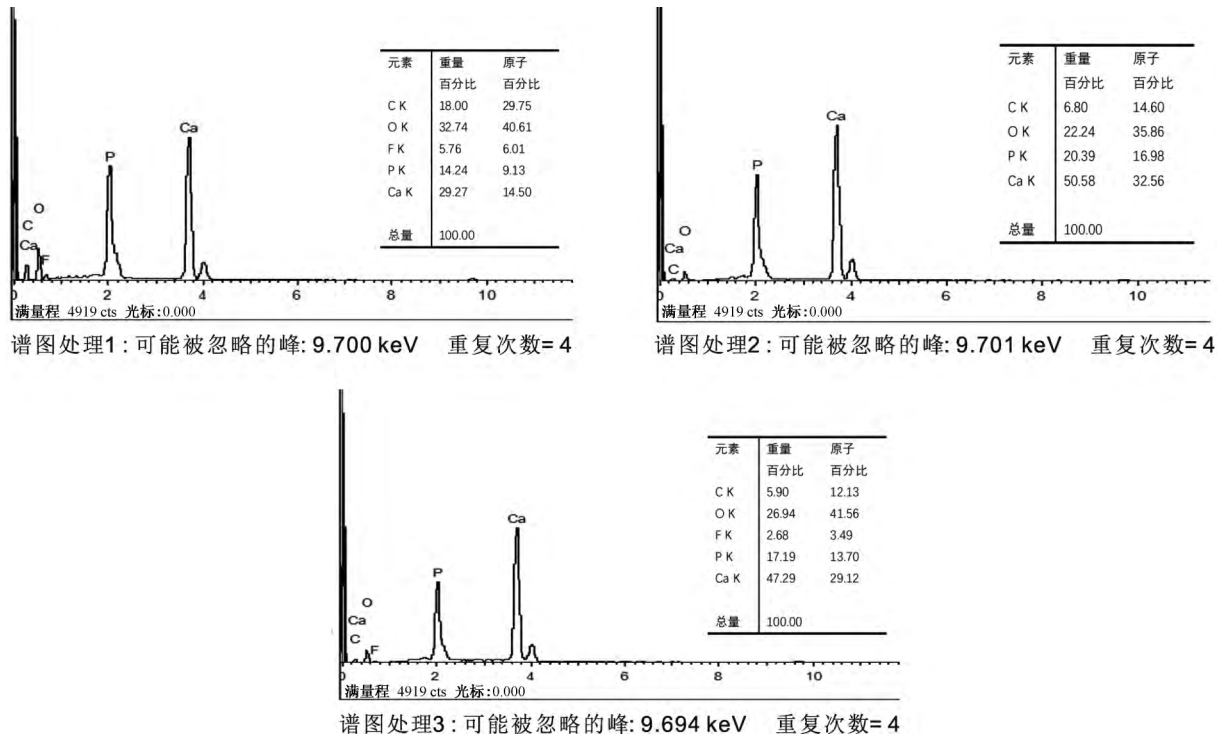


插图 12 熊家场小壳动物化石壳体 SEM-EDS 分析

SEM-EDS analysis of the fossil shells of small shelly fossils in Xiongjiachang.

光、氧气充足,潮汐较频繁,水动力较强,为小壳动物的发育和繁衍提供了适宜的环境条件和丰富的物质来源,主要以浮游、游泳、半游泳的小壳动物类型为主,如软舌螺类 *Turcutheca*、海绵骨针类 *Protospongia* 等。

前人(朱茂炎等,1996)对于小壳化石进行埋藏学研究,认为寒武纪早期的小壳化石绝大多数为异地埋藏。笔者通过对熊家场地区小壳化石进行显微镜下观察,发现该区小壳化石在埋藏过程中受到了不同程度的破损(插图 13-a),但小壳化石群体在磷块岩中仍保持有明显的定向性特征(插图 13-b),这说明熊家场地区的小壳化石同样属于异地埋藏的情况。即在小壳动物死亡后,壳体未进行固结压实作用,而是在海水的作用下发生了水动力的筛选和搬运,使壳体发生了不同程度的破碎,并进行了定向分选,重新堆积成层。这也说明,小壳动物虽然适宜在水动力中等的条件下进行生活,但在小壳化石成岩的过程中,中等的水动力条件却对小壳化石的完整保存起到了破坏作用。

7 生物体与磷块岩成因关系探讨

对于磷块岩的成因,前人已经做了大量的研究,1937 年 Kazakov 首次提出了磷块岩上升洋流成矿理论,到 20 世纪 50 至 60 年代,MeKelvey 和 Shel-

don 进一步地发展了这个理论,该理论能够解释大部分磷矿床的分布和形成规律,受到矿床界的广泛认可。

而扬子台地寒武纪早期是我国地史中一个极为重要的成磷期,它也是继晚震旦世陡山沱期之后的另一个重要成磷期。由于这一成磷期含有大量的小壳动物化石,它与含大量藻类化石、微小动物化石和胚胎化石的陡山沱期成磷期存在着显著的区别。鉴于磷块岩中往往富含大量生物化石,地质学家开始发现磷块岩的形成与生物的作用关系密切。因此,“生物成因说”发展迅速,到 20 世纪 80 年代,这一学说逐渐受到大部分学者的肯定(东野脉兴,1985;陈其英,1987;叶连俊等,1990)。特别是 20 世纪 90 年代“陆缘坳”概念的提出(东野脉兴,1996),认为陆缘坳为磷质微生物的繁衍提供了有利条件,是磷质微生物重要的繁衍场所,有利于生物成矿作用的进行,是磷块岩最主要的成矿带(东野脉兴等,1992;郑文忠、东野脉兴,1994;东野脉兴,1996,2001),进一步推动了生物成因说的发展。生物成因说的理论主要分为两个形式,其一是早期带壳动物直接参与成磷作用,这些生物的外壳成分主要是在生命活动过程中所富集的磷质,在其死亡后密集堆积形成磷块岩,其二是生物体间接参与成磷作用,在其生命活动过程中对“散态磷”汲取浓缩,改变地球化学微环境,形成有

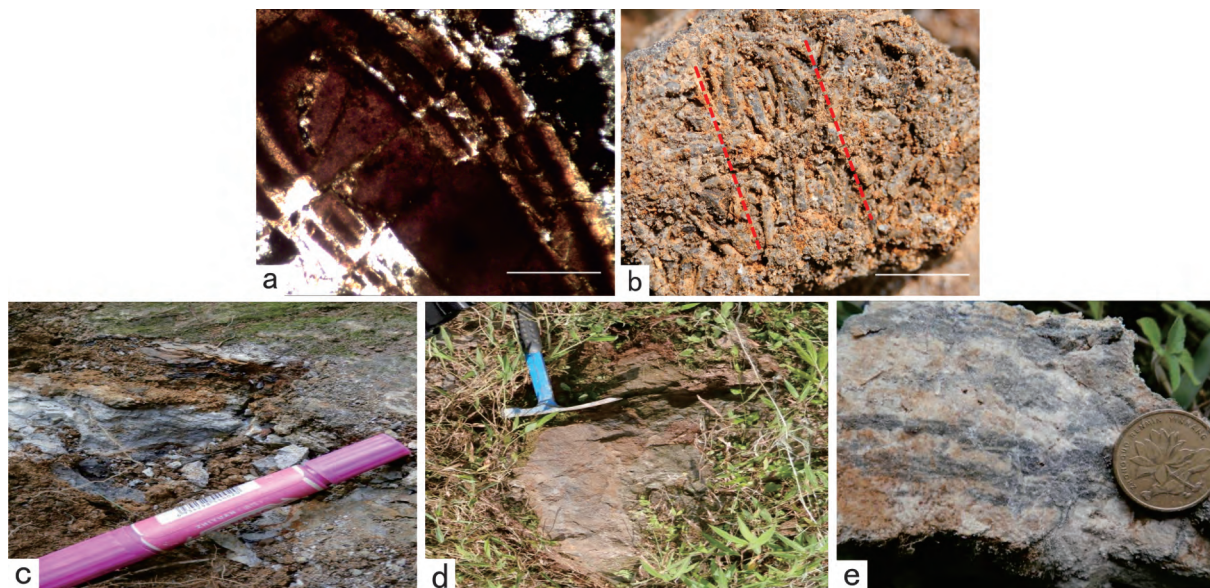


插图 13 熊家场小壳动物化石埋藏情况

The burial of small shelly fossils in Xiongjiachang.

- a. 小壳化石横切面,壳体发生机械破损,比例尺:200 μm 。 b. 磷块岩中小壳化石,具有明显的定向性排列,比例尺:20 mm。 c. 铝土岩和铁质岩风化壳。 d. 生物磷块岩之上的白云岩。 e. 生物磷块岩之下的硅化白云岩。
- a. Small shelly fossils cross-section and mechanical damage occurred to the shell, scale bar: 200 μm . b. Small shelly fossils of phosphorus rock, which show a clear orientation of the arrangement, scale bar: 20 mm. c. Bauxite and iron rock weathering crust. d. Dolomite above the biophosphorite. e. Silicified dolomite below the biophosphorite.

利于磷酸岩沉积的物化条件,从而导致磷的沉积成矿(陈其英,1987,1990,1995;陈其英等,2000)。

为探讨熊家场地区小壳动物化石与磷块岩成因的关系,笔者对熊家场小壳动物 *Turcutheca* 化石进

行 SEM-EDS 测试,分别对其内核填充部分(插图 14,谱图 1、谱图 2)、壳壁(插图 14,谱图 3、谱图 4)、围岩(插图 14,谱图 5)进行 EDS 能谱分析,并得到其主要元素 Ca、P 含量的变化曲线(插图 14)。

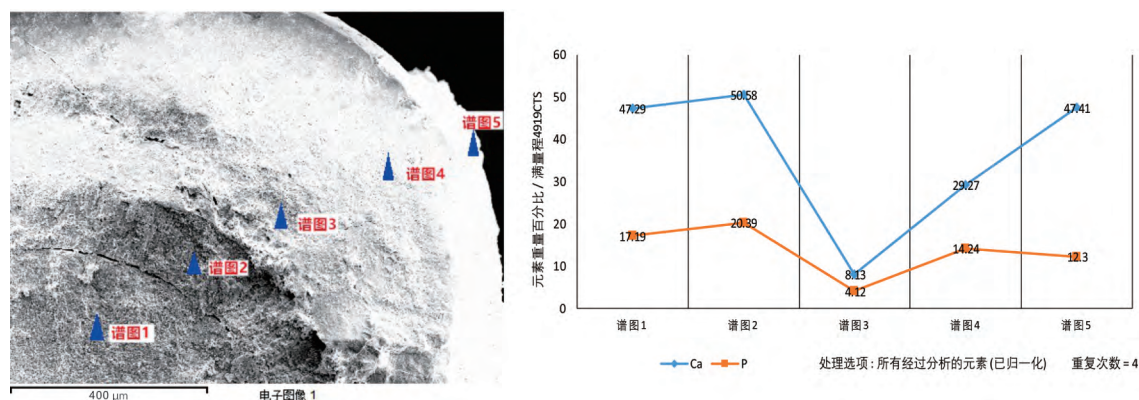


插图 14 熊家场小壳动物化石壳体、围岩、充填物 SEM-EDS 分析

SEM-EDS analysis of the shell, surrounding rocks and filling part of the small shelly fossils in Xiongjiachang.

在插图 14 中可以直观地发现,从壳内填充物质到壳外围岩,Ca、P 两种元素的含量变化基本呈正相关的关系,壳体外壳含磷量高于内壁含量,说明组成壳体的磷质主要依靠于外壁的吸收作用,吸收了梅树村期上升洋流所带来的大量磷质,进而构成壳体主要成分碳氟磷灰石;而壳内填充物质含磷量明显

高于围岩中磷含量,正是由于小壳动物在生命活动过程中不断吸附海水中的磷质,使其成为壳内填充,在海水物化条件改变的情况下,形成胶体化学沉积。

而当生物体死亡后发生的腐烂分解作用(张杰等,2006),可以改变海水中的酸碱度,使海水溶解磷的能力增加,形成有利于磷块岩沉积的环境,使磷质

以化学沉积方式聚集、沉淀。这说明生物成矿作用的发生、发展及控制过程,处在一个复杂的环境系统中,受到一定的物理化学作用控制,生物成矿作用是一个多种因素共同作用的产物(翟裕生,2004)。

8 结 论

1) 熊家场寒武纪梅树村期磷块岩中小壳动物形态各异,*Turcutheca* 的壳壁主要由呈同心圆状的多层结构组成,单元层的数量与其生长年龄有关,并且与埃迪卡拉纪 *Cloudina hartmannae* 生物之间可能存在一定的亲缘关系;*Paracircotheca* 壳体存在气室结构,类似鹦鹉螺与菊石的特征,利用气室的数量及大小能够有效判断生物体年龄,并恢复其生长环境及生态特征;*Loculitheca zhijinensis* 化石具有单层壳壁,在壳壁内层具有两级轮生的隔壁构造,认为其属于腔肠动物;发现具有三射二轴针的原始海绵 *Protospongia*,骨针成分为硅质,具有微晶结构。

2) 通过对熊家场代表性小壳化石进行单体电镜扫描,发现组成熊家场小壳动物化石壳体的主要矿物成分是碳氟磷灰石。寒武纪早期海水中高磷含量与同期小壳动物大爆发有关,小壳动物的大量繁盛,不断吸收海水中的磷质构成自身壳体,与此同时吸附作用使得海水含磷物质不断进入壳内充填,发生磷富集,并改变了海水中的酸碱度,形成有利于磷块岩沉积的物化条件,从而导致磷质沉积,其对成磷作用具有一定贡献。

致谢 评审专家提出宝贵修改意见,特此致谢。

参 考 文 献 (References)

- Bengtson S, 1976. The structure of some Middle Cambrian conodonts, and the early evolution of conodont structure and function. *Lethaia*, **9**(2): 185—206.
- Bengtson S, 1985. Taxonomy of disarticulated fossils. *Journal of Paleontology*, **59**(6): 1350—1358.
- Chen Qi-ying (陈其英), 1987. Compositional characteristics of phosphorites and principal mineralization epochs in eastern China. *Acta Sedimentologica Sinica* (沉积学报), **5**(3): 135—148 (in Chinese with English abstract).
- Chen Qi-ying (陈其英), 1990. The biological role of sedimentary mineralization. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **5**(3): 12—14 (in Chinese with English abstract).
- Chen Qi-ying (陈其英), 1995. Microbiological processes in genesis of phosphorite deposits. *Chinese Journal of Geology* (地质科学), **30**(2): 153—158 (in Chinese with English abstract).
- Chen Qi-ying (陈其英), Chen Meng-e (陈孟戎), Li Ju-ying (李菊英), 2000. Microbial-organic effects on formation of the sedimentary apatite. *Chinese Journal of Geology* (地质科学), **35**(3): 316—324 (in Chinese with English abstract).
- Conway Morris S, Menge C, 1991. Cambroclaves and paracarina-chitids, early skeletal problematica from the Lower Cambrian of south China. *Palaeontology*, **34**(2): 357—397.
- Dommergues J S, translated by Cheng Li-ren (程立人), 1993. The study on the age standard of the next door and rib in the study of the individual development of ammonite. *Global Geology* (世界地质), **12**(4): 83—93 (in Chinese with English abstract).
- Dong-ye Mai-xing (东野脉兴), 1985. Phosphorites formed by the action of microorganism. *Acta Sedimentologica Sinica* (沉积学报), **3**(3): 2—8 (in Chinese with English abstract).
- Dong-ye Mai-xing (东野脉兴), 1996. Upwelling oceanic currents and epicontinental CHI. *Geology of Chemical Minerals* (化工矿产地质), **18**(3): 156—162 (in Chinese with English abstract).
- Dong-ye Mai-xing (东野脉兴), 2001. Regional ore-forming regulation of phosphorite in Yangtze Massif in the times of Doushan-tuo and Meishucun ages. *Geology of Chemical Minerals* (化工矿产地质), **23**(4): 193—209 (in Chinese with English abstract).
- Dong-ye Mai-xing (东野脉兴), Zheng Wen-zhong (郑文忠), Hu Luo-lan (胡珞兰), 1992. The coated grain phosphorite and its minerogenetic pattern. *Journal of Mineralogy and Petrology* (矿物岩石), **12**(2): 61—69 (in Chinese with English abstract).
- Feng Wei-min (冯伟民), 2006. The earliest evolutionary lines of Early Cambrian mono mollusks. In: Rong Jia-yu (戎嘉余) (ed.), *Originations, Radiations and Biodiversity Changes: Evidences from the Chinese Fossil Record*. Beijing: Science Press. 59—72 (in Chinese with English abstract).
- Feng Wei-min, Kobayashi I, 2004. Microstructure of linguliform brachiopod *Linmarssonina* from the Lower Cambrian of Sichuan, China. *Lethaia*, **37**(3): 263—270.
- Feng Wei-min, Sun Wei-guo, 2006. Monoplacophoran *Igorella*-type pore-channel structures from the Lower Cambrian in China. *Materials Science & Engineering C*, **26**(4): 699—702.
- Feng Wei-min (冯伟民), Chen Zhe (陈哲), Sun Wei-guo (孙卫国), 2002. The differentiation of bone microstructure in the Late Cambrian and Early Cambrian. *Science in China* (中国科学), **32**(10): 850—856 (in Chinese).
- Feng Wei-min, Mu Xi-nan, Kouchinsky A, 2001. Hyolith-type microstructure in a mollusc-like fossil from the Early Cambrian of Yunnan, China. *Lethaia*, **34**(4): 305—309.
- Galle A, Parsley R L, 2005. Epibiont relationships on hyolithids demonstrated by Ordovician trepostomes (Bryozoa) and Devonian tabulates (Anthozoa). *Bulletin of Geosciences*, **80**(2): 125—138.
- Germis G J B, 1972. New shelly fossils from Nama Group, South West Africa. *American Journal of Science*, **272**(8): 752—761.
- Grant S W, 1990. Shell structure and distribution of *Cloudina*, a

- potential index fossil for the terminal Proterozoic. *American Journal of Science*, **290**-A(1): 261—294.
- Hua Hong, Chen Zhe, Yuan Xun-lai, Zhang Lu-yi, Xiao Shu-hai, 2005. Skeletogenesis and asexual reproduction in the earliest biomineralizing animal *Cloudina*. *Geology*, **33**(4): 277—280.
- Huo Shi-cheng (霍世诚), Shu De-gan (舒德干), 1985. The Bradoriid of the Cambrian in Southern China. Xi'an: Northwestern University Press. 1—251 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Zhi-wen (蒋志文), 1984. Evolution of early shelly Metazoans and basic characteristics of Meishucun Fauna. *In*: Stratigraphic Paleontology Editorial Committee of the Chinese Academy of Geological Sciences (ed.), *Stratigraphic Paleontological Collection*. Beijing: Geological Publishing House. 1—22 (in Chinese with English abstract).
- Kocot K M, 2016. On 20 years of Lophotrochozoa. *Organisms Diversity & Evolution*, **16**(2): 329—343.
- Kouchinsky A V, 1999. Shell microstructures of the Early Cambrian *Anabarella* and *Watsonella* as new evidence on the origin of the Rostroconchia. *Lethaia*, **32**(2): 173—180.
- Kouchinsky A V, 2000a. Shell microstructure in Early Cambrian mollusks. *Acta Paleontologica Polonica*, **45**(2): 119—150.
- Kouchinsky A V, 2000b. Skeletal microstructures of hyoliths from the Early Cambrian of Siberia. *Alcheringa An Australasian Journal of Palaeontology*, **24**(2): 65—81.
- Lai Cai-gen (赖才根), 1960. The pearly nautilus fossils of the Yangtze, Yichang Hubei, Hanzhong Shanxi. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **8**(3): 49—62, 70—79 (in Chinese with English abstract).
- Li Guo-xiang (李国祥), Chen Jun-yuan (陈均远), 1992. Early Cambrian cap-shaped lathamellids: Their microstructures and systematics. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **31**(4): 459—471 (in Chinese with English abstract).
- Marek L, Parsley R L, Galle A, 1997. Functional morphology of hyoliths based on flume studies. *Vestnik Ceskeho Geologickeho Ustavu*, **72**(4): 351—358.
- Matthews S C, Missarzhevsky V V, 1975. Small shelly fossils of Late Precambrian and Early Cambrian age: A review of recent work. *Journal of the Geological Society*, **131**(3): 289—303.
- Moysiuk J, Smith M R, Caron J B, 2017. Hyoliths are Palaeozoic lophophorates. *Nature*, **541**(7637): 394—398.
- Mus M M, 2016. A hyolithid with preserved soft parts from the Ordovician Fezouata Konservat-Lagerstätte of Morocco. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **460**: 122—129.
- Qian Yi (钱逸), 1977. Hyolitha and some problematica from the Lower Cambrian Meishucun Stage in central and S. W. China. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **16**(2): 107—173 (in Chinese with English abstract).
- Qian Yi (钱逸), 1999. Taxonomy and Biostratigraphy of Small Shelly Fossils in China. Beijing: Science Press. 1—247 (in Chinese with English abstract).
- Qian Yi (钱逸), Yin Gong-zheng (尹恭正), 1984. Early Cambrian small shelly fossils in Guizhou Province. *In*: Stratigraphic Paleontology Editorial Committee of the Chinese Academy of Geological Sciences (ed.), *Stratigraphic Paleontological Collection*, 13. Beijing: Geological Publishing House. 91—123 (in Chinese).
- Runnegar B, 1985. Shell microstructure of Cambrian mollusks replicated by phosphate. *Alcheringa An Australasian Journal of Palaeontology*, **9**(4): 245—257.
- Wu Xi-che (武希彻), Jiang Zhi-wen (蒋志文), 1989. Mineralogical characteristics of the outer lamella of the earliest shelly fossils. *Acta Micropalaeontologica Sinica (微体古生物学报)*, **6**(2): 153—160 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yong-shun (解永顺), He Ting-gui (何廷贵), 1993. Palaeoecology and faunal provinces of Early Cambrian small shelly fauna in the Yangtze Platform. *Journal of Chengdu College of Geology (成都理工大学学报)*, **20**(2): 57—63 (in Chinese with English abstract).
- Yang Ben, Steiner M, Zhu Mao-yan, Li Guo-xiang, Liu Jian-ni, Liu Peng-ju, 2016. Transitional Ediacaran-Cambrian small skeletal fossil assemblages from South China and Kazakhstan: Implications for chronostratigraphy and metazoan evolution. *Precambrian Research*, **285**: 202—215.
- Yang Rui-dong (杨瑞东), Qian Yi (钱逸), Zhang Jie (张杰), Zhang Wei-hua (张位华), Jiang Li-jun (姜立君), Gao Hui (高慧), 2004. The spongy bone needle in the phosphorus block in Early Cambrian group, Zhijin, Guizhou. *Progress in Natural Science (自然科学进展)*, **14**(8): 898—903 (in Chinese with English abstract).
- Ye Lian-jun (叶连俊), Li Ren-wei (李任伟), Wang Dong-an (王东安), 1990. Biological mineralization research prospect—The new phase of sedimentary deposit. *Advances in Earth Science (地球科学进展)*, **5**(3): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yu-sheng (翟裕生), 2004. Earth system sciences and the study on metallogenesis. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, **11**(1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jie (张杰), Chen Dai-liang (陈代良), 2000. Scanning electron microscope study of the ore-bearing REE in Xinhua phosphorite, Zhijin, Guizhou. *Journal of Mineralogy and Petrology (矿物岩石)*, **20**(3): 59—64 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jie (张杰), Zhu Lei (朱雷), Zhang Qin (张覃), 2006. Biological ore characteristic of ore-bearing REE in Xinhua phosphorite, Zhijin, Guizhou. *Chinese Rare Earths (稀土)*, **27**(1): 93—94 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wen-tang (张文堂), 1980. Cambrian Trilobite Fauna in Southwest. Beijing: Science Press. 1—497 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Wen-zhong (郑文忠), Dong-ye Mai-xing (东野脉兴), 1994. Division, correlation and mineralogical rule of the phosphorus mineral beds of Doushantuo Formation in Western Hubei. *Journal of Mineralogy and Petrology (矿物岩石)*, **14**(3): 89—95 (in Chinese with English abstract).

Zheng Zhuo-guan (郑灼官), 1984. Late Permian nautiloids from western Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **23**(2): 107—154 (in Chinese with English abstract).
Zhu Mao-yan (朱茂炎), Qian Yi (钱逸), Jiang Zhi-wen (蒋志文),

He Ting-gui (何廷贵), 1996. Primary discussion on preserving, composition and microstructure of small shelly fossil. *Acta Micropalaeontologica Sinica* (微体古生物学报), **13**(3): 241—254 (in Chinese with English abstract).

MICRO-STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE SMALL SHELLY FOSSILS AND THE RELATIONSHIP WITH FORMING PHOSPHORUS IN CAMBRIAN MEISHUCUN STAGE PHOSPHORITES, XIONGJIACHANG, GUIZHOU

GAO Lei, YANG Rui-dong, GAO Jun-bo, CHEN Ji-yan and CHEN Jun

(College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China, rdyang@gzu.edu.cn)

Key words Microstructure, small shelly fossils, phosphorite, Meishucun Stage, Cambrian, Xiongjiachang of Guizhou Province

Abstract

The early Cambrian is the most abundant period with the global small shelly fossils. In the early Cambrian period of Guizhou, phosphate rock contains a large number of and rich species of small shelly fossils, and the predecessors limited their research to the description of appearance, and less research on the microstructure. Through observing small shelly fossils of phosphate rock in the Xiongjiachang of Guizhou with electron microscope, such as *Turcutheca*, *Paracircotheca*, *Loculitheca zhi-jinensis* and *Protospongia* fossils, the authors describe the characteristics of microstructure. This

paper mainly studies the biological structure of *Turcutheca* and *Paracircotheca* and discusses their shell morphology and growth and development. Through SEM-EDS analysis of the fossil shells of small shelly fossils, we can be sure that the main components of the shell are fluorocarbon apatite. In addition, through making EDS analysis of the filling part, shell wall and surrounding rocks of the fossil *Turcutheca* kernel and making a contrast of element property, and the relationship between the organism and the phosphorus is preliminarily discussed, and it is considered that the prosperity of the early small shelly animals in the early Cambrian plays an important role in the formation of phosphate rocks in the same period.