文章编号:1000-0550(2010)04-0676-06

湖北宜昌纽芬兰统岩家河组结核的特征及形成过程^①

郭俊锋¹² 李 勇¹ 舒德干² 韩 健² 张志飞²

(1.长安大学地球科学与资源学院及西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室 西安 710054;2.西北大学地质系及大陆动力学国家重点实验室 西安 710069)

摘 要 报道了湖北宜昌纽芬兰统岩家河组中的硅磷质结核。X-衍射分析表明结核内部磷质含量较高 而外部硅质含 量较高。镜下研究发现其内部常呈疏松状 且富含小壳化石和蓝菌类化石 表明在结核的形成过程中 小壳化石和蓝菌 类化石起着十分重要的作用。硅磷质结核的生长是在微生物调节下随介质物理化学条件的变化而逐步进行的。 关键词 硅磷质结核 微生物作用 纽芬兰统 岩家河组 湖北宜昌 第一作者简介 郭俊锋 男 1976年出生 讲师 博士 古生物学与地层学 E-mail: junfengg@ chd. edu. en 中图分类号 P512.2 文献标识码 A

磷结核的研究对沉积学和沉积地球化学有重要 的意义,因为它记录了沉积物沉积与成岩过程的重要 信息。磷结核主要产于富有机质的黑色页岩或现代 有机软泥中,说明其形成与生物有机质有着十分密切 的关系。磷结核是磷元素在沉积物中循环富集的产 物,形成过程有众多的控制因素。许多学者对磷结核 的成因提出了各种解释,如纯化学淀积、生物控制作 用、微环境影响作用、成岩交代作用等^[1~7]。多数人 在解释磷结核的成因时都提及生物有机质的参与与 影响^[8,9],可见研究工作已经注意到生物有机质在沉 积物磷循环运移直至磷结核形成过程中的重要性。 雷加锦等对扬子地台四川秀山和湘西沅陵早寒武世 黑色页岩中的磷结核进行了研究,认为磷结核的生长 是在微生物调节下随介质物理化学条件的变化而逐 步进行的^[10]。

自 2005 年以来,笔者在湖北宜昌纽芬兰统岩 家河组中部粉砂质页岩夹层中发现了宏体化石,随 后对纽芬兰统岩家河组化石进行了详细的研究和 采集,发现了除小壳化石和球形类以外的蓝菌类、 微古植物、宏体藻类、原锥虫化石和具软体构造的 后生动物化石^[11,12]。在粉砂质页岩中含大量硅磷 质结核,通过切片等研究发现了大量小壳化石及蓝 菌类,据此推断结核的形成可能与这些化石的富集 有关,因此研究硅磷质结核的形成过程与微体化石 的关系成为必要。

1 硅磷质结核的产地层位

1984 年 陈平将湖北宜昌黄陵背斜南翼计家坡 和岩家河等地的埃迪卡拉系灯影组细晶白云岩之上, 寒武系水井沱组黑色页岩之下的一套地层命名为岩 家河组,并对该组的小壳化石进行了研究^[13]。岩家 河组主要分布在宜昌地区黄陵背斜的南翼和西翼,以 及长阳背斜的核部。在庙河江对岸、宜昌三斗坪岩家 河和长阳合子坳一带发育良好(图 1a~c)。以宜昌 岩家河滚子坳剖面为例,根据岩性和生物化石特征, 岩家河组与下伏埃迪卡拉系灯影组白马沱段为平行不 整合接触,与上覆纽芬兰统水井沱组为平行不整合接 触^[1,12]。结核标本均采自宜昌三斗坪岩家河地区纽 芬兰统岩家河组第Ⅲ层(图 1d)。

2 结核的产出特征及内部结构

纽芬兰统岩家河组中部粉砂质页岩中结核总体 形态为圆球形、椭球形和圆饼状,可见两个结核连生 在一起或大结核上套有小结核。结核大小不一,大者 10~20 cm,小者2~3 cm。结核与围岩界线分明,围 岩层理绕过结核(图2)。结核切开后抛光,在抛光面 上可见中心及部分区域常呈疏松状,部分结核可见层 圈结构,大部分层圈结构不明显(图3)。对结核进行 机械破碎、切片后进行镜下观察,发现内部含丰富的 小壳化石及蓝菌类化石(图4a~h)。

①国家自然科学基金项目(批准号:40830208 40902007);国家"973"项目(批准号:2006CB806401);长安大学基础研究支持计划专项基金(批准 号:CHD2009JC018)联合资助。 收稿日期:2009-06-18;收修改稿日期:2009-11-03



图1 硅磷质结核的产地层位

a. 中国区域简图,显示湖北宜昌所在位置;b. 湖北三峡地区地质简图,显示寒武纪地层露头出露情况;c. 湖北宜昌岩家河地 区地质图,灰黑色区域代表了硅磷质结核产出层位;d. 宜昌岩家河滚子坳寒武系纽芬兰统岩家河组地层柱状图,显示纽芬兰统岩家河组地层柱状图,显示纽芬兰统岩家河组地层序列及硅磷质结核的产出层位.



Fig. 1 Locality and horizon of the siliceous-phosphatic nodules

图 2 硅磷质结核与围岩的接触关系 Fig. 2 Contact relationship between the siliceousphosphatic nodule and wall rock

3 结核的矿物组成

通过对结核的化学分析表明:结核内部比外部磷 质含量高 硅质含量外部比内部含量高。X-衍射分析



图 3 硅磷质结核内部结构 Fig. 3 Internal structure of the siliceous-phosphatic nodule

表明结核主要由磷灰石和石英组成,含有少量的粘土 矿物、方解石、菱铁矿及石墨等(X-衍射分析在西安 地质矿产研究所实验测试中心完成,测试仪器型号: X-射线衍射仪(D/max-2500))(图5)。



图 4 硅磷质结核内部的蓝菌类和小壳化石化石

a. 脊管螺(未定种) Lophotheca sp.,侧视,采集号: Yjh-结核; b. 软舌螺化石,纵切面,采集号: Yjh-结核,薄片号: Yb-64; c. 古老峨眉锥 Emeiconus antiqua (Abaimova) He, 1982,纵切面,采集号: Yjh-结核,薄片号: Yb-106; d. 三槽阿纳巴管螺 Anabarites trisulcatus Missarzhevsky, 1969,横切 面;采集号: Yjh-结核,薄片号: Yb-40; e. 圆管螺(未定种) Circotheca sp.,横切面,采集号: Yjh-结核,薄片号: Yjh-59A; f. 原始赫兹刺(未定种) Protohertzina sp.,纵切面,采集号: Yjh-结核,薄片号: Yb-5; g-h. 蓝菌类化石,外视,采集号: Yjh-结核. 其中 a 为机械破碎所得; b-f 为切片所 得; g-h 为结核光片在扫描电镜下观察所得

Fig. 4 Cyanobacteria and small shelly fossils of the siliceous-phosphatic nodule



Fig. 5 XRD of the siliceous-phosphatic nodule

4 结核的镜下特征

对硅磷质结核进行切片,在镜下观察,结核的矿 物组成主要为形态各异的胶磷矿,部分为磷灰石,其 次为石英和方解石颗粒,含少量的粘土矿物,如伊利 石,另外还含有一定量的黄铁矿。结核内部含大量磷 酸钙质小壳化石,大小为0.2~1 mm 左右,小壳化石 无定向排列。另外在结核的疏松区,在扫描电镜下观 察,常发现大量磷酸岩化的管状体,直径2~4 μm 不 等,长可达几毫米,常为多根无规律弯曲绞结在一起, 表面光滑无饰。经鉴定为营钻孔生活的蓝菌类化石。

5 生物成磷作用

海洋中磷的循环主要是靠生物作用进行的,海洋 中磷的沉积也主要是生物作用的结果。生物成磷作 用主要是磷质微生物生长过程中吸收、储存、沉积磷 质的过程;该过程在氮、碳、磷等营养物质、温度、pH 值、Eh 值、深度等适宜的环境条件下进行微生物对磷 的转化、运移、富集,构成一个生物氧化一还原浸磷循 环系统,并且在成岩作用早期,由于微生物分解造成 一种适于磷酸盐沉积的微环境,沉积的死亡微生物在 生物氧化还原浸磷系统中会进一步磷酸盐化,并得以 保存^[14-17]。

生物的成磷作用主要有两方面的内容,其一是生物直接参与磷块岩的形成(即磷质生物自身直接堆积成矿),其二是生物间接参与磷块岩的形成(即由于生物的存在、活动和死亡腐解而导致有利于磷酸盐淀积的物理化学条件)。在磷块岩成矿过程的各个

阶段,生物作用的重要性及其表现形式是不一样的: 在磷质汲取浓集阶段和地球化学富集阶段中,生物的 作用一方面表现为吸收介质中的磷,并形成磷质菌藻 细胞或磷质介壳,死亡后直接堆积成矿;另一方面,生 物对陆源含磷物质的海解,特别是对富磷孔隙水和底 水的形成以及对矿源层的形成都起着非常重要的作 用^[8]。

晚震旦世到早寒武世初期,是微生物空前繁盛的 时期,也是中国最主要的成磷期。在研究区主要是以 小壳化石为代表的早期带壳生物参与成磷作用,这些 生物的外壳都是磷质的未见被磷酸盐交代现象,磷质 介壳都有不同程度的被搬运磨蚀现象,所有这些标志 似可说明:富集在的磷不是后来交代的,而是生物生 命活动过程中富集起来的,在其死亡后经密集堆积而 成。对于菌藻类微生物,其作用方式主要是菌藻微生 物在其生命活动进程中直接对"散态磷汲取浓集;或 者是由于生命活动改变地球化学微环境而导致磷的 淀积成矿^[181]。这一过程在研究区得到验证。

6 结核的生长方式

磷结核的生成是由于沉积物中磷质再分配的结 果,而在这再分配的过程中微环境起了关键的作用。 一般认为磷结核的生长开始于某一中心 随后磷灰石 围绕这一中心逐步沉淀并向外扩展,导致磷结核不断 生长,同时形成同心环结构^[3,4]。但对岩家河组硅磷 结核的观察发现,其中心相当大的部位并不存在同心 环,而是具有疏松的中心体加上其外的均匀区。显微 镜下观察表明,磷灰石(胶磷矿)并不表现得由里向 外有规律生长的趋势 而是随机交代其它物体或呈世 代生长现象。同样、黄铁矿的分布与产状也无规律可 循。这些事实说明硅磷结核的生长初期并不是按同 心环的模式进行的。这一点与雷加锦等所研究四川 秀山、湖南沅陵早寒武世黑色页岩中的磷结核十分相 似^[10]。由于微生物的活动,产生了有一定大小范围、 偏碱性的微环境 在此区域内同时进行磷灰石的交代 与充填作用。由于物理、化学和生物等条件的周期变 化导致"基质"状磷灰石出现世代生长现象。随着中 心区域磷灰石生长与充填空间的减小 磷灰石的沉淀 向外围扩展 而后在中心区域外部才出现同心圈状结 构。如此的生长特点造成磷结核内部 P₂O₅含量变化 规律是,中心偏高,向外逐渐降低^[10]。电镜下的观 察,发现蓝菌类化石证实了这一点。由此可见硅磷结 核的生长是在微生物调节下随介质物理化学条件的 变化而逐步进行的。

参考文献(References)

- Ames L L. The genesis of carbonate apatite [J]. Economic Geology, 1959, 54(5): 829-841
- 2 Soudry D. Microbially influenced formation of phosphate nodules and megfossil molds [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1988, 123 (6): 15-34
- 3 张爱云,伍大茂,郭丽娜,等.海相黑色页岩建造地球化学和成 矿意义[M].北京:科学出版社,1987 [Zhang Aiyun, Wu Damao, Guo Lina, et al. Geochemistry and Mineralized Significance of Marine Black Shale Formation [M]. Beijing: Science Press, 1987]
- 4 赵东旭. 磷块岩结核的显微结构和生成特点 [J]. 地质科学, 1988,(1): 57-67 [Zhao Dongxu. Microstructures of concretionary phosphorites and their genetic characteristics [J]. Chinese Journal of Geology(Scientia Geologica Sinica), 1988,(1): 57-67]
- 5 Balson P S. Episodes of phosphogenesis and phosphorite concretion formation in the North Sea Tertiary [M]// Notholt A J G , Jarvis I , eds. Phosphorite Research and Development. Geological Society Special Publication , 1990 , 52: 53-62
- 6 Lamboy M. Microstructure of a phosphatic crust from Peruvian Continental margin phosphatized bacteria and associated phenomena [J]. Oceanologica, 1990, 13 (4): 439-451
- 7 Lewy Z. Pebbly phosphate and granular phosphorite and their bearing on phosphatization processes [M] // Notholt A J G , Jarvis I , eds. Phosphorite Research and Development. Geological Society Special Publication , 1990 , 52: 93-102
- 8 Kamaye T , Romanovitch P. Origin of phosphorite nodules of Lebedinsky iron deposit in Kursk Magnetic Anomaly (KMA) of the Russian

Platform [J]. Journal of China University of Geosciences , 2005 , 16 (2):170-177

- 9 Felitsyn S , Morad S. REE patterns in late Neoproterozoic early Cambrian phosphate concretions and associated organic matter [J]. Chemical Geology , 2002 , 187: 257-265
- 10 雷加锦,李任伟,曹杰.上扬子区早寒武世黑色页岩磷结核特征及生化淀磷机制[J].地质科学,2000,35(3):277-287 [Lei Jiajin, Li Renwei, Cao Jie. The characteristics of black shale-hosted concretionary phosphates and the mechanisms of microbes mediated phosphorus precipitation in Cambrian horizon on Yangtze platform [J]. Scientia Geologica Sinica,2000,35(3):277-287]
- Guo Junfeng , Li Yong , Han Jian , et al. Fossil association from the Lower Cambrian Yanjiahe Formation in Yangtze Gorges Area , Hubei , South China [J]. Acta Geologica Sinica (English edition) ,2008 ,82 (6): 1124-1132
- 12 郭俊锋,李勇,韩健,等. 原锥虫属(Protoconites Chen et al., 1994)在湖北三峡地区纽芬兰统(Terreneuvian)岩家河组的发现
 [J]. 自然科学进展,2009,19(2): 180-184 [Guo Junfeng, Li Yong, Han Jian, et al. Discovery of Protoconites Genus from Yanjiahe Formation, Terreneuvian of the Three Gorge area, South China [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(2): 180-184]
- 13 陈平. 湖北宜昌计家坡下寒武统底部小壳化石的发现及其意义 [C]//地层古生物论文集,1984,13:49-64 [Chen Ping. Discovery of lower Cambrian Small Shelly Fossils from Jijiapo,Yichang,West Hubei and its significance [C]// Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology,1984,13:49-64]
- 14 东野脉兴. 海洋中磷的循环与沉积作用 [J]. 化工矿产地质, 1996,18(3): 191-195 [Dongye Maixing. Circulation and precipitation of phosphorus in oceanic basins [J]. Geology of Chemical Minerals, 1996, 18(3): 191-195]
- 15 东野脉兴,郑文忠. 磷质微生物及其成矿作用[J]. 成都地质学 院学报,1992,19(2): 50-57 [Dongye Maixing, Zheng Wenzhong. Phosphorus microorganism and its mineralization [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19(2): 50-57]
- 16 刘志礼,刘雪娴,李朋富. 藻类及其有机质的成矿作用实验[J].
 沉积学报,1999,17(1): 9-18 [Liu Zhili, Liu Xuexian, Li Pengfu.
 Mineralization tests made by algae and it's organic matters [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999,17(1): 9-18]
- 17 刘志礼,刘雪娴,叶军. 藻类聚磷的特殊作用 [J]. 沉积学报, 1992,10(1):101-407 [Liu Zhili, Liu Xuexian, Ye Jun. Algal special action in accumulation of phosphorus [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992,10(1):101-407]
- 18 陈其英. 磷块岩形成过程中的生物作用[J]. 地质科学,1995,30
 (2): 153-158 [Chen Qiying. Microbiological processes in genesis of phosphorite deposits [J]. Scientia Geologica Sinica, 1995, 30(2): 153-158]

Characteristics and Formation Process of Nodules from Yanjiahe Formation , Terreneuvian of the Three Gorge Area , South China

GUO Jun-feng^{1 2} LI Yong¹ SHU De-gan² HAN Jian² ZHANG Zhi-fei²

 (1. School of Earth Sciences and Resources and Educational Ministry Key Laboratory of Mineral Resources and Geological Engineering of Western China, Changán University, Xián 710054;
 2. Department of Geology and State Key Laboratory for Continental Dynamics, Northwest University, Xián 710069)

Abstract This paper reports siliceous-phosphatic nodules from the Yanjiahe Formation, Terreneuvian in Three Gores area, Hubei province, South China. The results of XRD show phosphatic contents are higher in interior and siliceous contents are higher in exterior of the nodules. The nodules' interior shows loose texture, and abundant Cyanobacteria and diverse Small Shelly Fossils are found in siliceous-phosphatic nodules. It indicates Cyanobacteria and SSFs play an important part in formation process of nodules. Under the regulating action of microorganisms, siliceous-phosphatic nodules were formed gradually along with the mediums' change of physic-chemical condition.

Key words siliceous-phosphatic nodules; action of microorganisms; Terreneuvian; Yanjiahe Formation; Yichang , Hubei