

地球生物相中的生境型:概念、模式和编图

杜远生^{1,2}, 颜佳新^{1,2}, 龚一鸣^{1,2,3}, 冯庆来^{1,2}

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 河南理工大学生物遗迹与沉积矿产河南省重点实验室, 河南焦作 454003

摘要: 地球生物相是地球生物学的主要研究内容及其表现形式之一。地球生物相是地史时期地球环境与生物相互作用过程中所记录的一系列生物(有机)特征的综合。这些生物(有机)记录是生物与环境相互作用的产物, 可以反映出其动力学过程。地球生物相的研究内容包括生物有机质形成、沉积到埋藏过程中的演化, 并由此可以定量恢复有机质变化的动力学过程。本文主要讨论地球生物相中有机质形成的基础, 即反映初级生产力的生物化石的类别、生物的丰度和分异性、生物的存在状态、生物类群结构分析(如生物的优势类群、特征类群、生物组合或生物群落、生物依存关系等)等为基础的群落、生境型及初级生产力研究, 提出了碎屑岩海滩、潮坪、障壁—泻湖体系和碳酸盐缓坡、潮坪生境型模式, 并编制了生境型柱状图、断面图和平面图以供研究者参考。

关键词: 地球生物学; 地球生物相; 群落; 生境型。

中图分类号: P539

文章编号: 1000-2383(2007)06-0741-07

收稿日期: 2007-08-28

Biohabitat Types in Geobiofacies: Concept, Model and Mapping

DU Yuan-sheng^{1,2}, YAN Jia-xin^{1,2}, GONG Yi-ming^{1,2,3}, FENG Qing-lai^{1,2}

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Key Laboratory of Biogenic Traces and Sedimentary Minerals of Henan Province, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China

Abstract: Geobiofacies is proposed to be an important aspect of geobiology. Geobiofacies shows the biological features indicative of the dynamic processes related to the interactions between the earth and organisms in the geological history. Geobiofacies covers the whole process of the formation, the sedimentation and the burial of both the biomass and organic matter, indicative of the whole dynamic variation of the organics. In this paper biological communities and biohabitat types reflecting the variation of the primary productivity are particularly discussed, which include fossil types and the abundance, the diversity, the preserved state and the texture of fossil groups (e.g. dominant population, peculiar population, fossil assemblage or fossil community, relationship of fossils). The models of habitat types of carbonate ramp and platform, beach, tidal flat and barrier-lagoon system of clastic deposits, and the columnar, the sectional and the planar maps of biohabitat types are provided with some typical examples.

Key words: geobiology; geobiofacies; fossil community; biohabitat types.

地球生物学(geobiology)是当代传统古生物学的一个发展方向, 它逐渐形成与地球物理学、地球化学并列的地球科学的独立二级学科(谢树成等, 2006)。地球生物学关注生命系统和地球系统的相互

作用, 包括其生命系统与地球系统相互作用的机制、过程和演化历史等(Knoll and Hayes, 1997; 殷鸿福等, 2004; David, 2005; 谢树成等, 2006)。也就是说, 它在传统古生物学关注记录的基础上, 更加注重动

基金项目: 中石化海相油气勘探前瞻性项目(G0800-06-ZS-319); 国家自然科学基金(No. 406210020); 教育部创新团队发展计划(IRT00546)。

作者简介: 杜远生(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 从事古生物学和沉积学研究。E-mail: dxyyz@cug.edu.cn

力学过程和作用机制的研究, 以实现从记录到过程的飞跃. 地球生物学包括分子地球生物学、地球微生物学、古生物学、地球生态学、地球生理学、生物地球化学、生物地质学、生物地球物理学等不同的学科分支(谢树成等, 2006).

地球生态学(geocology)是地球生物学的学科方向之一, 它以地球生物的生态特征为研究对象, 恢复地质历史时期的古生态、生态地质、生态动力及生物地理(谢树成等, 2006). 地球生物相(geobiofacies)是地球生态学研究的重要内容, 它以地质历史时期的生物化石及有机质保存为研究对象, 以地球与生物相互作用为主要研究内容, 揭示初级生物生产力—沉积有机质—埋藏有机质的演化过程和保存特征.

1 地球生物相

相(Facies)是地质学中一个古老的概念. 相的概念最早由 Steno(1669)年引入地质学中, 指地质时期地表某一部分的全貌. Gressly(1938)将相的概念引进沉积学, 认为沉积相是沉积物变化的总和, 表现为岩性、地质或古生物的差异. 尔后, 相的概念在沉积学中得到了广泛应用, 如岩相(lithofacies)(Reading, 1978)、生物相(biofacies)(Dodd and Standon, 1981)、大地构造相(tectonic facies)(Reading, 1978)等. 可以看出, 相指面貌, 与环境关系密切, 即相代表环境的物质记录.

以前, 相的概念应用于古生物学中为生物相, 生物相是指反映生物生活环境的生态特征, 如浮游相(笔石相)、底栖相(壳相)等, 而且生物相更多的是作为一个概念, 没有得到充分的扩展应用. 在地球生物学理论体系下, 地球生物相是一个全新的概念. 地球生物相是指地史时期地球与生物系统相互作用过程中生物有机质形成、演化的物质记录. 这些特征既包括原型盆地中反映生物生活环境及沉积环境的生物化石的类群特征及围岩特征, 也包括有机质沉积—埋藏过程中经历的埋藏环境或成岩环境的物质记录. 地球生物相的一个关键点在于, 这些不同记录的综合可以构建出一个动力学过程. 例如从生物生产力到沉积有机质, 再到埋藏有机质的定量化, 就可以形成一个有机质变化的动力学过程, 这就是地球生物学所关注的, 即从记录到过程的飞跃. 目前地球生物相的研究对象主要是地史时期宏体生物、微体生

物、微生物, 以及这些生物所形成的结构构造或者遗留下来的物质(如分子化石及其同位素、生物地球化学中的各类化学元素等)特征, 其研究尺度包括野外露头 and 手标本的宏观观察到各类实验室的微观分析测试.

2 生境型

初级生产力记录是地球生物相研究的基础, 主要包括生物化石的类别、生物的丰度和分异性、生物的保存状态、生物化石的围岩特征、生物类群结构分析(如生物的优势类群、特征类群、生物组合或生物群落、生物依存关系等), 在此基础上恢复生境型, 确定初级生产力(图 1).

生物化石的类别、丰度和分异性是判别生物生活环境的重要指标. 不同的化石类别、丰度、分异性反映不同的生物生活条件, 如盐度(淡水、海水、咸水或半咸水)、自由氧含量(常氧、贫氧或厌氧)、碱度、温度、水动力条件、清洁度、光照等. 生物化石的类别指地层中保存的宏体生物和微体生物的类别, 这是地球生物相研究的最基础的内容. 生物的丰度是指生物类群的含量, 通过生物丰度的分析可以确定优势生物类群和特征生物类群. 生物的分异性是指生物类群的多少. 生物的丰度和分异性是生物生活环境的重要指标. 生物丰度越高, 指示该生物类群的生活条件更适宜. 生物分异性越强, 生物的生活条件越好. 譬如广西泥盆系开放碳酸盐台地含有多门类的生物化石(如腕足类、珊瑚、层孔虫、软体类、棘皮类、苔藓虫、三叶虫、介形虫、牙形类等), 反映这些生物

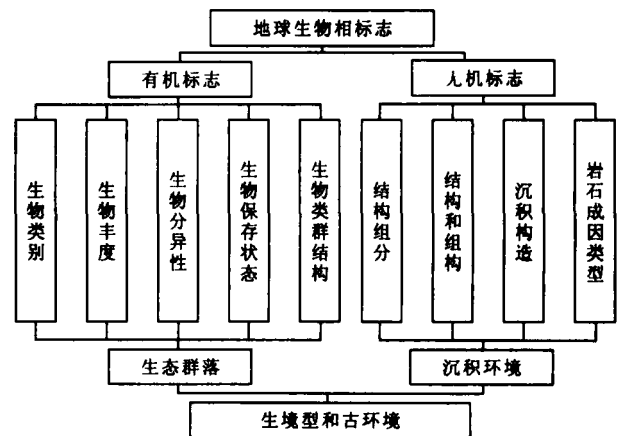


图 1 初级生产力的研究内容与思路

Fig. 1 Studied contents and route of preliminary productivity

生活在浅水、动荡、富氧、透光、正常盐度和碱度的开放水体。而局限台地生物门类稀少(主要是枝状层孔虫、腹足类、双壳类及大量的菌藻类等),反映浅水、透光、宁静、贫氧或盐度、碱度不正常的局限水体。

生物化石的保存状态可以分为三种类型:一是原地原位保存,化石既保存在原来的生长地,又保持了原来的生长态。譬如礁组合中的造礁生物,浅海环境中的珊瑚类、层孔虫、海绵、古杯、苔藓虫及腕足类、双壳类等。原地原位保存的生物化石没有受到任何磨蚀,化石保存完整,壳饰清晰。二是原地异位保存,化石保存在原来的生长地,但没有保持原来的生长态。浪及面以上的大部分底栖生物化石都是原地异位保存的,这些化石一般为倒伏状,可能会受到微弱的磨蚀,壳饰有磨蚀的痕迹,但化石保存完整,或单壳保存完整(如腕足类、双壳类、介形类等)。三是异地保存,异地保存是指化石既没有保存原来生长态,也没有保存在原来的生长位。这些化石一般都破碎,壳体不完整,甚至化石仅仅保存在事件层中,与背景层的生物形成明显差别。地球生物相分析主要分析原地原位、原地异位保存的化石,而异地保存的化石,除了其来源地明确可以帮助恢复原来生长地的(如礁前斜坡的礁角砾中的生物可以帮助恢复礁生物相),一般不能用于划分地球生物相。

生物化石的围岩特征是初级生产力研究的重要补充。在很多情况下,当生物化石难以准确的确定生物的生活环境时,围岩所反映的沉积环境实际上可以帮助识别原地原位及原地异位的生物化石的生活环境。生物化石的围岩特征主要包括地层的岩性、结构组分、结构、组构、沉积构造及其他环境标志,此处不再赘述。

生物类群结构分析是指由生物化石确定的生物类群组成、结构、优势类群或特征类群、生物组合或生态群落,不同生物类群的依存关系、生物链特征等,这是地球生物相的上层建筑,也是地球生物相研究的重点。初级生产力恢复以生态群落及其生境型划分为目标,生态群落是指生活于某一环境中所有生物的总和,也是该环境中所有物种居群的总和。由于地层中化石保存的不完备性,地史时期的群落一般是化石群落。化石群落代表一定时间间隔内所有保存的化石的总和。由群落反映的生物的生存环境为生境,而不同地区或不同时代相同的生境称为生境型(Boucot, 1981; 殷鸿福等, 1995)。

在上述研究的基础上,通过相同生境型类比分

析,可以恢复地史时期不同地区、不同时代地层的初级生产力。

3 生境型模式

生境型的划分是地球生态学的主要内容、地球生物相研究的基础。关于生境型的划分, Boucot (1981)以底栖生物组合划分了6个不同水深的典型的生境型。殷鸿福等(1995)对 Boucot 的生境型进行了进一步细分,将生境型划分为7类14亚类。由于滨岸地区是地貌最复杂的地区,不同的海岸地貌具有不同的水动力条件,进而导致不同的盐度、自由氧含量、碱度、清洁度、光照等等生存条件,形成不同的生物组合。因此生境型可以按照海岸类型、物源类型(碎屑岩、碳酸盐岩、混积岩)进一步细分。

以碳酸盐岩为例,最常见的包括缓坡型和台地型,二者具有不同的滨岸地貌和物理化学条件,形成不同的生物特征,因此构成不同的生境型(图2)。碳酸盐缓坡呈现缓倾斜的碳酸盐滨岸地貌,与碳酸盐台地的主要区别在于台地边缘具有镶边的生物建隆及对应的礁前斜坡。在滨岸地区,碳酸盐缓坡局限潮下、开放潮下与台地的局限台地、开放台地具有类似的环境条件,因此生境型一致,其他生境型基本相同。一般来说,碳酸盐台地仅出现于具有台地边缘生物建隆(生物礁、生物丘、灰泥丘)的沉积期,如华南地区的泥盆纪、二叠纪、早奥陶世(红花园组)、晚石炭世(黄龙组)等时期,其他非形成生物建隆的时期都以碳酸盐缓坡为特色。上述模式主要适用于多泥型滨岸,对于其他特殊类型的滨岸,如叠层石滨岸、岸礁型滨岸、海滩型滨岸、蒸发岩滨岸、多粒型滨岸,可以补充不同的生境型模式。其中海滩型模式类似碎屑岩海滩生境型模式(图3a)。

对于碎屑岩沉积,由于滨岸地区地貌不同,环境条件差别很大,障壁海滩和潮坪分别代表高能(波浪作用强烈)和低能(波浪作用微弱、潮汐作用为主)的海岸,二者环境条件截然不同,障壁—泻湖体系介于二者之间,因此可以分不同类型建立不同的生境型模式。图3是滨岸海滩和障壁—泻湖体系的地球生物相模式图,而潮坪体系的地球生物相与碳酸盐缓坡环境条件类似(图2b),二者地球生物相模式相似,仅局限潮下、开放潮下改为潮下上部、潮下下部。

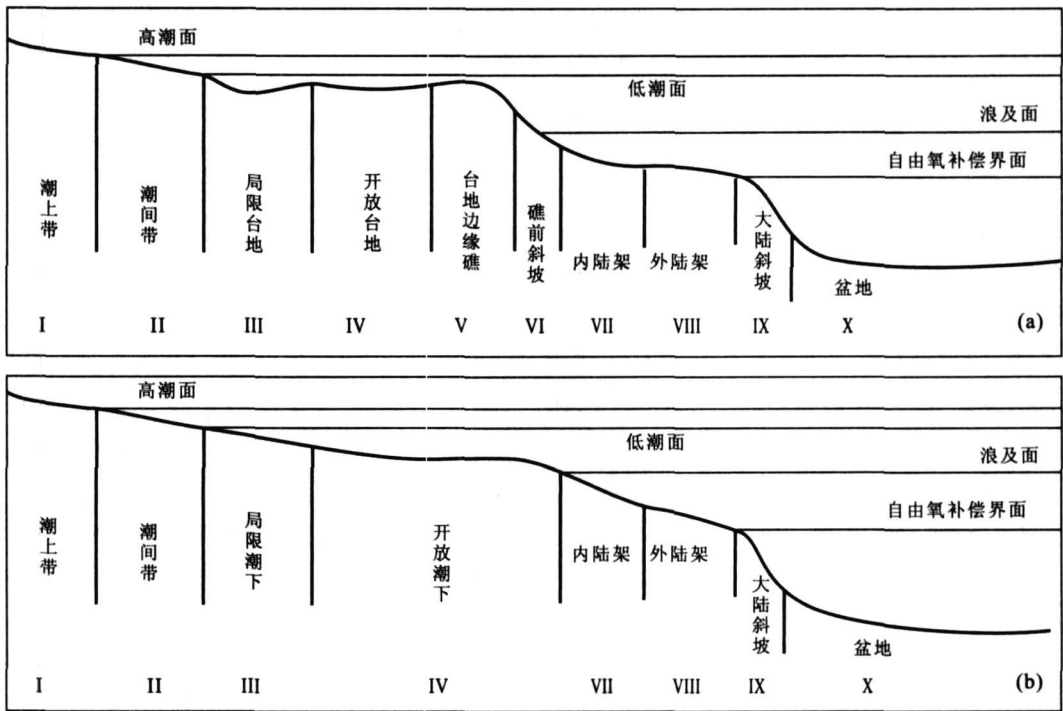


图 2 碳酸盐台地(a)和碳酸盐缓坡(b)生境型模式

Fig. 2 Models showing the biohabitat types of carbonate platform (a) and carbonate ramp (b)

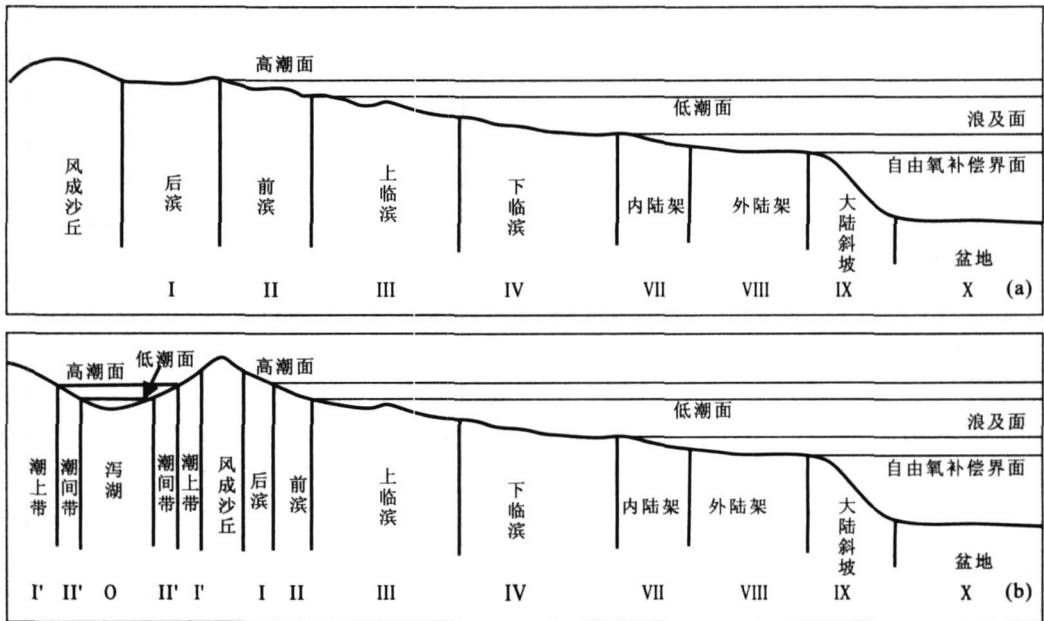


图 3 碎屑岩海滩(a)和障壁—泻湖体系(b)生境型模式

Fig. 3 Models showing the biohabitat types of beach (a) and barrier-lagoon system (b)

4 生境型编图

4.1 生境型柱状图

生境型图主要包括生境型柱状图、断面图和平面图等不同类型。

生境型柱状图主要表达一个典型剖面的地球生物相研究成果. 该图要体现地球生物相的部分主要研究内容, 包括地层的岩石学特征和生物学特征两

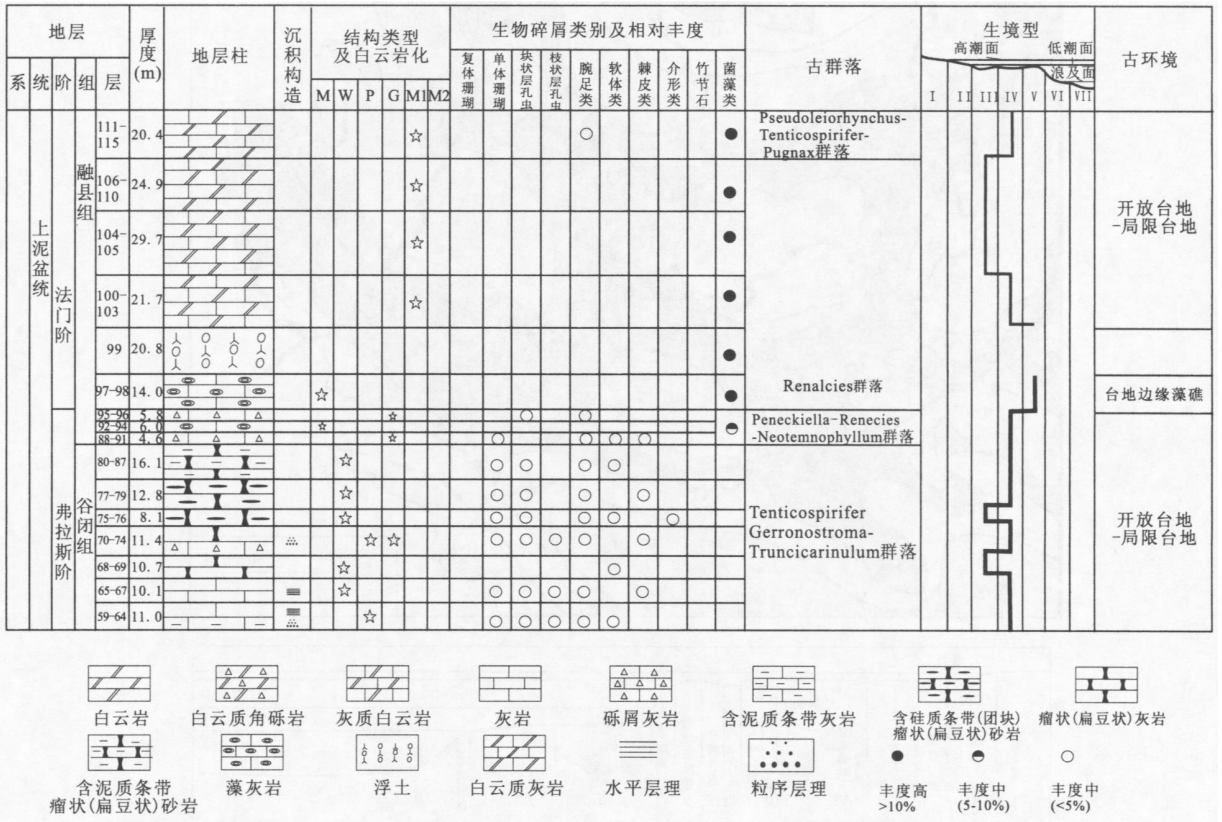


图 4 广西六景泥盆纪弗拉斯阶—法门阶生境型柱状图

Fig. 4 Column map of biobehabit types from Frasnian to Famennian of Devonian in Liuqing Section, Guangxi
M. 泥状结构; W. 粒泥结构; P. 泥粒结构; G. 粒状结构; M1. 白云岩化; M2. 白云岩

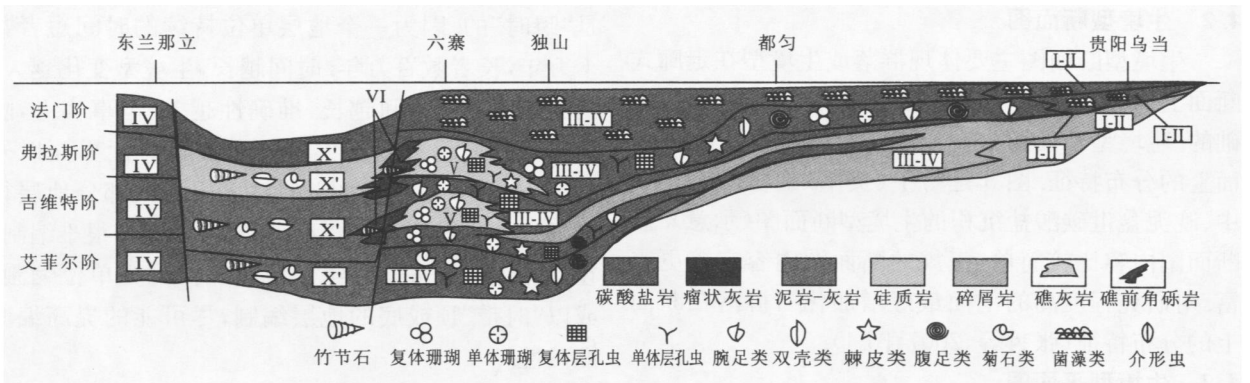


图 5 黔中—桂西中、晚泥盆世生境型断面示意图

Fig. 5 Section of biobehabit types of the Middle and Late Devonian from Central Guizhou to West Guangxi

个方面。其中岩石学特征主要包括岩石的结构类型或岩石类型、白云岩化、沉积构造等,对含颗粒的灰岩可以增加颗粒类型,对具有特殊组构(如叠瓦状组构、放射状组构等)的可以增加组构类型。生物学特征主要包括生物的种类、含量、保存状态,研究基础比较好的可以增加种、属的丰度、分异度等。在上述

资料的基础上,柱状图需划分生物化石群落和生境型,并恢复古环境。图 4 是广西六景泥盆系弗拉斯阶—法门阶的生境型柱状图,不同学者可以针对不同地层、不同地区发挥,使生境型柱状图内容更丰富,形式更多样化。

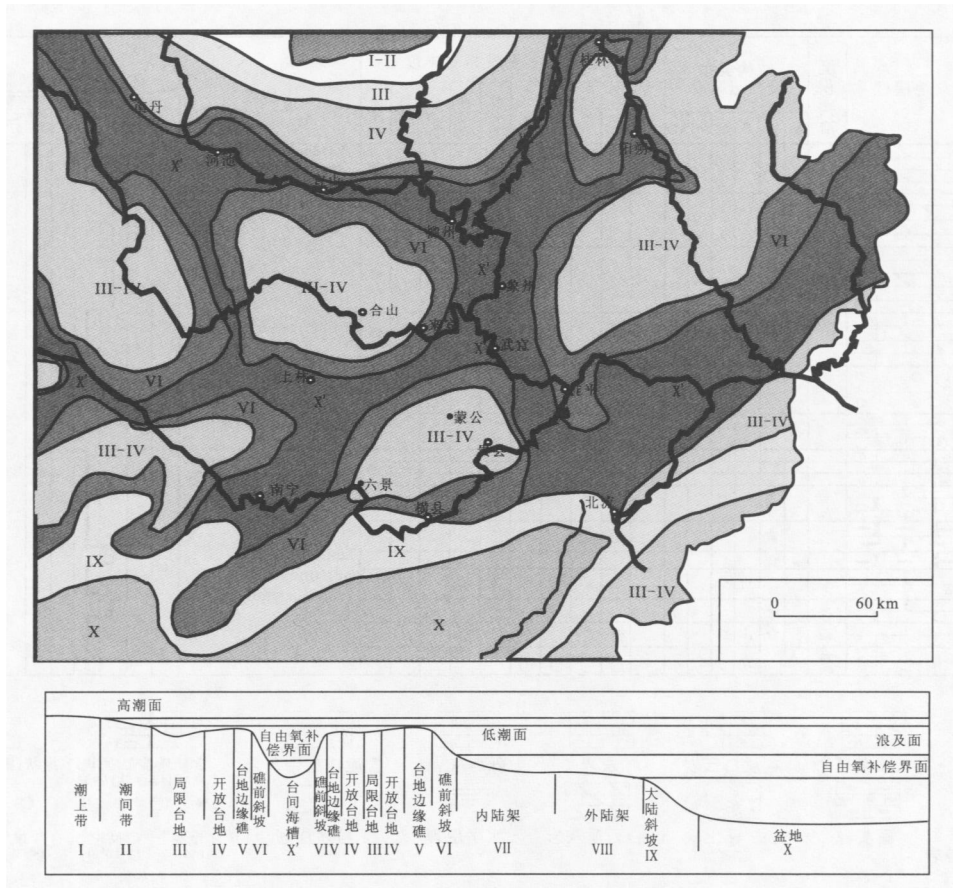


图 6 广西桂中地区弗拉斯期生境型平面示意图(钟铿等, 1992)

Fig. 6 Map of biohabitat types of Devonian Frasnian of Central Guangxi

4.2 生境型断面图

生境型断面图主要体现群落或生境型在走廊式断面上的分布特征, 它是若干生境型柱状图为基础的. 生境型断面图应主要表达群落或生境型在断面上的分布特征. 图 5 是黔中(贵阳)到桂西(东兰)中、晚泥盆世碳酸盐沉积的生境型断面图(示意). 该断面图内容比较简单, 正规的断面图内容应该更丰富. 对研究程度高的剖面最好增加化石群落在断面上的分布特征(张哲等, 2007, 图 4).

4.3 生境型平面图

生境型平面图是反映一定时期、一定地理范围生境型平面分布的成果图件, 也是地球生物相研究的基础成果图. 生境型平面图可以以古地理图为基础, 反映不同地区(相带)生境型的分布特征. 为了清晰表示生境型的组合特征, 不同时代的生境型平面图最好附上生境型模式图, 以便二者对应. 图 6 是广西桂中地区弗拉斯期的生境型图(示意), 下附广西泥盆系碳酸盐沉积的生境型模式图.

生境型平面图的编图单位应尽可能的短, 最好

是“瞬时”的. 因为一个地层单位持续的时间短者数十万年, 长者数百万年. 时间越长, 生境型变化越大. 因此编图单位时间越长, 准确性越差. 但事实上, 除了很少的地层可以在大范围寻找等时性界面以外(如二叠系—三叠系之交的粘土层), 大部分地层很难寻找等时界面, 因此“瞬时”的生境型图很难编制. 在具体编图时可以有年代地层“时带”为单位编制, 或以“时带”顶或底的地层编制, 尽可能的提高编图准确性.

5 结论

地球生物相是一个全新的概念, 是地球生物学的主要研究内容之一, 是一个全新的研究领域. 地球生物相是地球系统和生物系统相互作用的物质记录, 可以由这些记录反应出地球环境与生物相互作用的动力学过程, 体现地球生物学从记录到过程的飞跃. 初级生产力是地球生物相研究的基础, 研究的

目标是确定化石群落—生境—生境型,进一步恢复生物的生活或生存环境和初级生产力,了解群落和生境型在地层剖面、区域地层断面和空间上的分布特征.生境型的深入研究,不仅可以提供生物和环境协同演化研究的基础资料,而且对进一步恢复沉积有机质和埋藏有机质进而确定烃源岩和优质烃源岩的分布,也具有重要的应用价值.

由于地球生物相研究刚刚起步,本文仅侧重对地球生物相研究的初级生产力进行了讨论.文中的一些思路和方法仅仅是抛砖引玉的想法,有待进一步深化.

References

- Boucot, A. J., 1981. Principles of benthic marine palaeoecology. Academic Press, New York, 1—463.
- David, B., 2005. Geobiology and the fossil record: Eukaryotes microbes and their interactions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219(1—2): 5—21.
- Dodd, J. R., Standon, R. J. Jr., 1981. Paleocology, concepts and applications. John Wiley and Sons, New York, 1—559.
- Gressly, A., 1938. Observations géologiques sur le Jura Soleurois. *Neue Denkschr. Allg. Schweiz. Ges. ges. Nature.*, 2: 1—112.
- Knoll, A. H., Hayes, J. M., 1997. Geobiology: Articulating a concept. In: Lane, R. H., Lipps, J., Steininger, F. F., et al., eds. Paleontology in the 21st century: Frankfurt International Senckenberg conference. *Kleine Senckenberg* 25: 105—108.
- Reading, H. G., 1978. Sedimentary environment and facies. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, 1—40.
- Steno, N., 1669. De solide intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus, florentiae, trans. In: Oldenburg, H., ed., The Prodrumus to a dissertation concerning solids naturally contained within solids (London, 1671), and Winter, G., ed., Prodrumus of Nicolas Steno's dissertation concerning solids body enclosed by process of nature within a solid (New York, 1916).
- Xie, S. C., Gong, Y. M., Tong, J. N., et al., 2006. Advances from palaeontology to geobiology. *Chinese Science Bulletin*, 51(19): 2327—2336 (in Chinese).
- Yin, H. F., Ding, M. H., Zhang, K. X., et al., 1995. Dongwuan-Indosinian (Late Permian-Middle Triassic) ecotratigraphy of the Yangtze region and its margins. Science Press, Beijing, 5—37 (in Chinese).
- Yin, H. F., Yang, F. Q., Xie, S. C., et al., 2004. Biogeology. Press of Sciences and Technology of Hubei, Wuhan, 1—264 (in Chinese).
- Zhang, Z., Du, Y. S., Gong, Y. M., et al., 2007. Transformation from Devonian Givetian Carbonate Platform to Farnennian Bacteria-Algae Ecosystem in Litang Isolated Platform Guangxi and Its Significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(6): 811—818 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, K., Wu, Y., Yin, B. A., et al., 1992. Devonian of Guangxi. China University of Geosciences Press Wuhan, 1—384 (in Chinese).

附中文参考文献

- 谢树成, 龚一鸣, 童金南, 等. 2006. 从古生物学到地球生物学的跨越. *科学通报*, 51(19): 2327—2336.
- 殷鸿福, 丁梅华, 张克信, 等. 1995. 扬子区及其周缘东吴期—印支期生态地层学. 北京: 科学出版社, 5—37.
- 殷鸿福, 杨逢清, 谢树成, 等. 2004. 生物地质学. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1—264.
- 张哲, 杜远生, 龚一鸣, 等. 2007. 从碳酸盐台地生态系到菌藻生态系——以广西六景、黎塘泥盆系吉维特阶—法门阶为例. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(6): 811—818.
- 钟铿, 吴谔, 殷保安, 等. 1992. 广西的泥盆系. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—384.