中国科学: 地球科学 2010 年 第 40 卷 第 9 期: 1219 ~ 1227
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

中国石炭-二叠纪小型单体无鳞板珊瑚动物群

王向东[①*], 张燚强[①②], 林巍[①②]

① 中国科学院南京地质古生物研究所, 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008;
② 中国科学院研究生院, 北京 100049
* E-mail: xdwang@nigpas.ac.cn

收稿日期: 2010-04-20; 接受日期: 2010-09-02
中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-122)、国家重点基础研究发展计划项目(编号 2006CB806404)和国家自然科学基金(批准号: 40525005, 40839904)资助

摘要 迄今在中国石炭-二叠纪地层中共发现小型单体无鳞板珊瑚动物群(也称为*Cyathaxonia* 动物群)分属于 12 科 40 个属, 广泛分布在全国各地. 发育程度和组成内容依据时代分布可划分为三个阶段: (1) 密西西比亚纪; (2) 宾夕法尼亚亚纪-早二叠世; (3) 中二叠-晚二叠世. 其中第(1)和第(3)阶段小型单体无鳞板珊瑚动物群较为发育, 三阶段从早到晚总体变化趋势为 Antiphyllidae 逐渐减少, Hapsiphyllidae 逐渐增多. 通过剖析云南保山地区和安徽巢湖地区的密西西比亚系的四射珊瑚产出情况的两个实例, 本文试图探讨小型单体无鳞板珊瑚动物群的环境指示特性. 同一地理区的小范围相邻地区同期地层出现小型单体无鳞板珊瑚动物群和具鳞板或泡沫板的大型单体和复体珊瑚动物群的相变, 以及短时间跨度连续地层小型单体无鳞板珊瑚动物群与大型单体具鳞板和复体珊瑚动物群的交替出现, 说明小型单体无鳞板珊瑚动物群的产出与泥质基底、混浊水体、弱光照、较深水等多种环境有关, 而与冈瓦纳相或亲冈瓦纳相的冷水环境并无必然联系.

关键词
小型单体无鳞板珊瑚
石炭纪
二叠纪
古生态
中国
冈瓦纳相

小型单体无鳞板四射珊瑚动物群也被称为"*Cyathaxonia*动物群", 后者的名称源于Hill[1]对苏格兰石炭纪珊瑚的研究, 她根据珊瑚动物产出与沉积相之间的联系识别出三个珊瑚动物组合: 1) *Cyathaxonia*动物群; 2) Caninid-*Clisiophyllum*动物群; 3) 复体礁珊瑚动物群, 这其实反映了石炭纪珊瑚生物相的区别. 由于*Cyathaxonia*动物群的珊瑚均具有小型、无鳞板、单体等特征, 因此后来的研究者把具有类似特征的珊瑚组合也称为小型单体无鳞板珊瑚动物群. 需要指出的是, 这种珊瑚组合中并不总是出现*Cyathaxonia*一属.

群体现代珊瑚尤其是珊瑚礁出现在温暖的低纬度热带和亚热带地区, 作为温暖气候和清洁水体的指示生物而被广泛关注. 现代的小型单体珊瑚除在珊瑚礁中出现外, 也可生活在更广阔的生态域中, 如在深水和中纬度地区生活[2]. 已经灭绝的四射珊瑚的古生态学研究一直为珊瑚研究者重视[3], 对群体珊瑚和大型单体珊瑚的古生态学意义并无异议, 但对小型单体无鳞板珊瑚动物群的古生态学特征有较多的不同认识. 这类珊瑚分布广泛, 结构十分简单, 演化

引用格式: Wang X D, Zhang Y Q, Lin W. Carboniferous-Permian rugose coral *Cyathaxonia* faunas in China. Sci China Earth Sci, 2010, doi: 10.1007/s11430-010-4091-z

十分缓慢, 生物地层学意义不大, 对于它的研究主要集中于古生态背景和古地理分布上. 对于该动物群生活的生态环境, 国内存在一种较特殊的认识, 认为小型单体无鳞板珊瑚动物群为冷水动物群[4~7]. 这种认识可能源自石炭-二叠纪该动物群在西藏南部及滇西等地的产出, 而且, 由于西藏南部和滇西的古地理位置的特殊性, 石炭-二叠纪冰川时期它们属于冈瓦纳大陆的一部分, 部分学者从而进一步推断, 该动物群的出现与冈瓦纳相有关, 它们受到了石炭-二叠纪冈瓦纳冰川作用的影响.

随着对小型单体无鳞板珊瑚动物群研究的进一步深入, 以及对石炭-二叠纪冈瓦纳大陆冰川时间和规模的更精确限定, 本文试图评述国际石炭-二叠纪小型单体无鳞板珊瑚动物群研究成果, 剖析若干动物群产出的实例, 对石炭-二叠纪的小型单体无鳞板珊瑚动物群在类群组成、古生态特征、古地理和古环境背景作比较详细的讨论.

1 研究历史和现状

小型单体无鳞板珊瑚动物群较系统的研究始于20 世纪 30 年代. Hill[1]最先提出了"*Cyathaxonia*动物群"的概念, 她在对苏格兰的石炭纪珊瑚进行研究时, 命名了三个不同生物相的珊瑚动物群, 这三个动物群在主要类群的内部结构和构造上、在保存的岩性特征和共生化石等方面有着明显的差别: 1) 小型单体无鳞板四射珊瑚动物群, 即"*Cyathaxonia*动物群", 此动物群的组成类群常为小型单带型珊瑚, 结构简单, 多样性不高, 常伴生2~3 个横板珊瑚属种和小型腕足类, 产出岩层通常为深色钙质页岩或薄层泥质灰岩或薄层海百合灰岩; 2) 大型单体具鳞板四射珊瑚动物群, 即"Caninid-*Clisiophyllum*动物群", 此动物群的组成类群为大型双带型或三带型单体珊瑚, 多样性高, 主要产出于泥质或含泥质厚层灰岩; 3) 复体四射珊瑚动物群, 组成类群以礁相的块状复体珊瑚为主, 多发育于泥质较少或无泥质的灰岩中. 三个动物群分别对应三个由深到浅的沉积相. 1981 年Hill[8]进一步论证了小型单体无鳞板珊瑚动物群, 组成的类群具个体小、结构简单, 未发育鳞板和复杂中柱等结构, 它们常常保存于深色的多泥质和泥质灰岩中,应位于陆表海或陆架海较深水的部分, 常与小型腕足类、小型横板珊瑚和三叶虫伴生, 因此, 通常应该生活在深水、多泥、安静的环境中, 在水深为 50~300 m的水域最为繁盛, 极少数情况会有少数几个种出现于生物礁中; 同时, 她认为, *Cyathaxonia*动物群的出现可从到泥盆系一直延续至二叠纪.

Sando[9]在1980年建立了北美石炭纪四射珊瑚的生态环境模式图, 包括 8 个岩相: A, 深水盆地陆源相; B, 深水盆地碳酸盐相; C, 深水边缘碳酸盐相; D, 浅水盆地碳酸盐相; E, 浅水陆架碳酸盐相; F, 红层相; G, 蒸发岩和蒸发碳酸盐相; H, 浅水陆源相, 其中B~F和H六个相带为珊瑚产出的岩相. Sando[9]还进一步提出了衡量珊瑚分类单元所属的相带的SWHI (Shallow Water Habitat Index)指数, 来代表一个分类单元在浅水岩相中出现次数占它在地层中出现总次数的百分比. 当SWHI=0 时, 此分类单元只在深水中出现; 当SWHI=100 时, 此分类单元只在浅水中出现. 该指数能帮助识别四射珊瑚分类单元为浅水生物相(SWHI>50)还是深水生物相(SWHI<50). 通过分析美国中西部密西西比亚系的四射珊瑚, Sando[9]将*Rhopalolasma*, *Cyathaxonia*, *Amplexus*, *Palaeacis*等属于*Cyathaxonia*动物群的分子都归为深水生物相中, 属于B, C两个相带. "深水"指的是大于 100 m的水深, *Cyathaxonia*动物群就称为深水相珊瑚.

Rodriguez等[10]通过对西班牙北部石炭纪珊瑚的综合研究, 认为*Cyathaxonia*动物群大多产出于深水、平静、缺乏氧气和弱光照的远岸水体. Webb[11]在研究澳大利亚Queensland中东部密西西比亚系的四射珊瑚动物群后, 也得出了相似的结论, 即属于*Cyathaxonia*动物群的珊瑚类群生活于软基底、低能、安静的远岸环境中. 近期的研究成果又进一步加深了对*Cyathaxonia*动物群出现意义广相性适应的认识. Wrzołek[12]的研究已证实*Cyathaxonia*动物群在泥盆纪也很发育, 且已具有了较高的分异度. Kossovaya[13]从古生态角度研究了乌拉尔地区的从宾夕法尼亚亚纪到早二叠世的小型单体无鳞板珊瑚动物群, 通过古温度和水深的分析, 依据出现的时间顺序将它们分为三个组合: 1) Moscovian晚期的暖水组合, 组合中的具中柱类型和不具中柱类型珊瑚数量基本相同, 与之伴生的鏟类和牙形刺间接说明该组合生活环境较温暖; 2) Artinskian晚期的凉水组合, 包括不具中柱的浅水相分子和具中柱的深水相分子; 3) Kungurian-Ufimian时期因水深变浅形成的低分异度、小型化的无中柱分子. 另外, Kossovaya[14]对Artinskian-

Wordian四射珊瑚的研究显示, *Cyathaxonia*动物群表现出两极对称分布的特点, 在北方大区和冈瓦纳区的温带区域和寒带区域均有发现.

我国对小型单体无鳞板珊瑚的古生态讨论始于1975 年吴望始[15]对珠穆朗玛峰地区珊瑚化石的研究. 她将珠峰地区二叠系色龙群中发育的单带型单体珊瑚化石组合称为*Lytvolasma*动物群, 结合在国内外分布地区的古地理位置, 她认为该动物群是一类位于冈瓦纳大陆东北缘、受冈瓦纳冰川影响的冷水生物群. 之后, 杨式溥等[4]、范影年[5]、方润生等[6,7]对西藏和滇西的小型单体珊瑚动物群作了研究, 由于其产出区域内出现冰水沉积, 因此判断它们生活于冷水环境. 1982 年吴望始等[16]研究了新疆巴里坤地区密西西比亚纪的珊瑚动物群, 在东古鲁巴斯套组生屑泥晶灰岩中, 产出一套无鳞板的单体珊瑚组合, 与浮游型的菊石共生, 认为该类珊瑚的生存环境为远岸、低能、水体深度介于台地边缘和斜坡之间、水温较高的环境中, 并称之为菊石相珊瑚. 王训练等[17]总结了维宪期珊瑚群落的分布和所处环境的关系, 认为小型单体无鳞板为主组成的群落可代表至少 5 种不同的环境: 1) 正常温暖无障壁海岸的大陆斜坡下部; 2) 大陆边缘断陷盆地中的深水环境; 3) 浅海冷水环境; 4) 有大量碎屑物涌入的温暖正常浅海环境; 5) 生物危机阶段的正常浅海环境. 王向东等[18~22]也曾讨论过保山地区密西西比亚系的珊瑚化石, 认为小型单体无鳞板珊瑚的产出与泥质基底、较深水、低能的环境有关.

总之, 国内外对小型单体无鳞板珊瑚动物群已有较多的研究, 它们大多产出于深水、低能、泥质基底等环境中, 而不仅仅是冷水环境.

2 中国石炭-二叠纪小型单体无鳞板珊瑚动物群的组成及分布

我国石炭-二叠纪的小型单体无鳞板动物群十分丰富[4~7,15,16,20~61], 现已发现了 12 个科的 40 个属, 这 12 个科包括: Antiphyllidae, Hapsiphyllidea, Zaphrentoididae, Metriophyllidae, Stereolasmatidae, Verbeekiellidae, Cyathaxonidae, Laccophyllidae, Lophophyllidae, Pentaphyllidae, Plerophyllidae, Polycoeliidae. 根据小型单体无鳞板珊瑚动物群的发育程度, 组成内容和分布特点, 可分为三个发展阶段: (1) 密西西比亚纪, (2) 宾夕法尼亚亚纪-早二叠世, (3) 中二叠-晚二叠世. 各个阶段*Cyathaxonia*动物群的组成有一些显著的变化(图 1), 体现在下列方面: Antiphyllidae的比例逐渐减少, Hapsiphyllidea的比例逐渐增多; Zaphrentoididae仅发育于密西西比亚系, Metriophyllidae和Stereolasmatidae只发育在前两个阶段, 未出现在第三阶段, 而Verbeekiellidae只在第三阶段出现; 12 个科中的 8 个科从石炭纪开始一直延续到二叠纪末, 说明了这个动物群的演化的缓慢性, 这 8 个科是: Antiphyllidae, Cyathaxonidae, Hapsiphy-llidae, Laccophyllidae, Lophophyllidae, Pentaphyllidae, Plerophyllidae和Polycoeliidae.

小型单体无鳞板珊瑚动物群的各类群的结构都十分简单, 种内变异十分明显[20], 对其鉴定往往需要大量标本、完整个体、连续切面等方法. 各科间的特征识别上较为明显, 科内各属之间的区分上也不十分困难, 但要区别属内不同的种需要详细的个体发育和变异研究. 在中国出现的小型单体无鳞板珊瑚动物群的各个科包含的属数都很少, 均不超过 4 属, 从石炭纪早期到二叠纪末各个科在纵向上的发育程度各不相同, 各个阶段有每个科的代表性属(图 2). *Cyathaxonia*动物群在中国的密西西比亚纪最为繁盛, 总共 12 个科出现了 11 个科 26 个属, 其中Antiphillidae, Laccophyllidae, Pentaphyllidae, Polycoellidae, Zaphrentoididae五科的分子较为发育. 在宾夕法尼亚亚纪-早二叠世, 虽然科的数量上仅比第一阶段少 1 个, 但属级分类单元减少了很多, 只发现 14 属, 在第一阶段较为发育的5个科的多样性均有不同程度的降低, 未见Zaphrentoididae的分子, 仅Lophophyllidae的多样性有所升高. 中二叠-晚二叠世的 *Cyathaxonia* 动物群有所复苏, 虽然Metriophyllidae和Stereolasmatidae的消失使科的数量降至 9 个, 但属的数量增加到 17 个, Antiphyllidae的多样性继续降低, 但Hapsiphyllidae, Laccophyllidae, Polycoellidae三个科的再度繁盛以及Verbeekiellidae的出现使属的多样性整体升高. 总的来说, *Cyathaxonia*动物群的分子延限时间较长, 相当部分的科甚至是属可以从石炭纪早期一直延续到二叠纪末, 表明该动物群对环境的适应能力较强.

小型单体无鳞板珊瑚动物群广泛出现在全国各地(图 3), 迄今已经在中国的 19 个省和自治区发现, 每个发现的化石点的小型单体珊瑚的丰富程度不同, 可由少数几个种到十多种不等. 研究最为详细的化

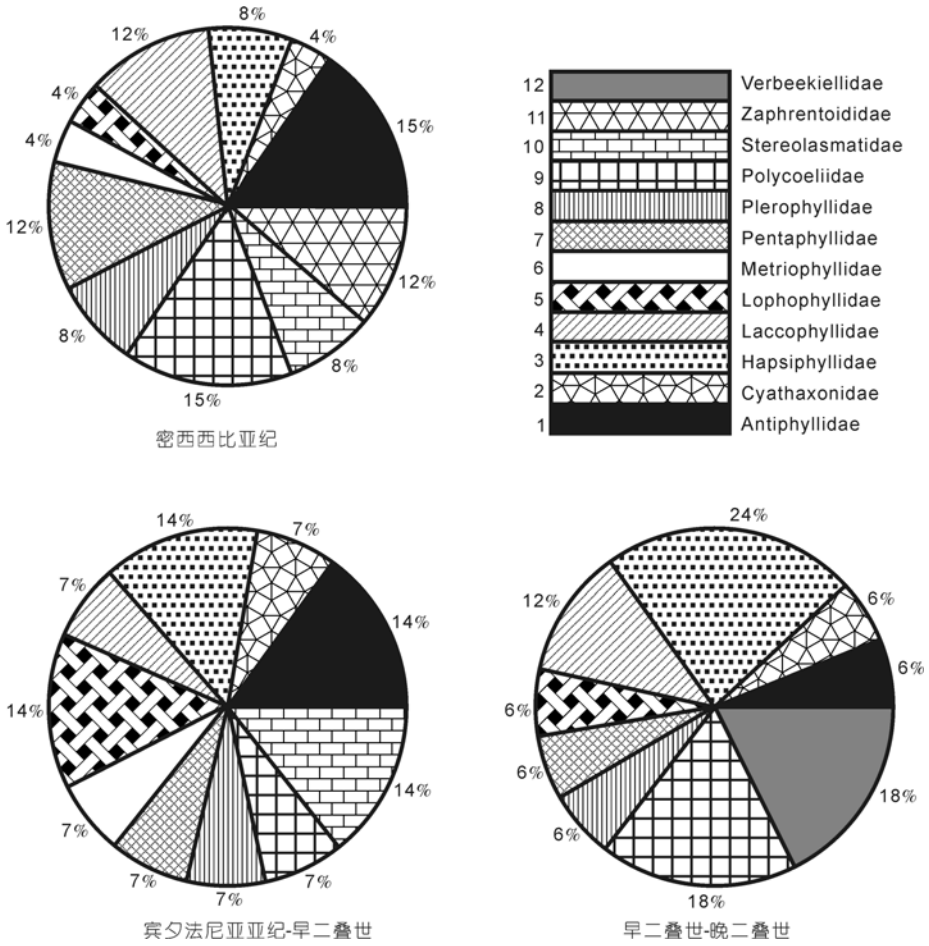


图 1　不同时期小型单体无鳞板珊瑚动物群组成

石点在云南[6,7,18,20~22,31~33]、西藏[4,5,15,48,49]、内蒙古[37,38,54]和新疆[16,23,24,40~42,50]等. 但是, 从小型单体无鳞板珊瑚动物群的出现统计及从不同时期的分布来看, 该动物群并没有特殊的分布区域, 它们广泛地分布于全国各地(图 3).

3　研究实例

3.1　云南保山地区密西西比亚纪的小型单体无鳞板珊瑚动物群

保山地区位于云南省澜沧江以西、怒江以东, 由于其密西西比亚系产有丰富的古生物类群以及石炭-二叠纪所处的古地理位置引起了许多学者的关注[6,7,18~22,31~33]. 保山地区的密西西比亚系主要发育浅水碳酸盐台地相和较深水碳酸盐岩、硅质岩、粘土岩的台盆相两种相的沉积, 其中产有丰富的珊瑚化石. 珊瑚化石组合既有典型的华南型分子, 也有大量的欧洲类型, 表现出强烈的混生性[18].

保山地区密西西比亚系的四个典型剖面分别为: 施甸何元寨大寨门剖面、施甸鱼洞剖面、保山板桥金鸡村清水沟剖面及保山西邑浪坝荒田剖面. 丰富的珊瑚化石出现在这四个剖面中, 从下到上可识别出 7 个珊瑚组合[18]: Ⅰ, *Zaphrentites parallelus-Saleelasma hadrotheca* 组合; Ⅱ, 间隔带; Ⅲ, *Lophophyllum-Siphonophyllia* sp.-*Parazaphriphyllum* cf. *P. cylindricum* 组合; Ⅳ, *Cyathoclisia arachnolasmoidea-Siphonophyllia cylindrica-Kueichouphyllum sinense* 组合; Ⅴ, *Palaeosmilia murchisoni-Caninophyllum tomiense*组合; Ⅵ, *Dibunophyllum-Diphyphyllum carinatum* 组合; Ⅶ, *Commutia exoletus-Sychnoelasma affossularis*组合. *Cyathaxonia*动物群的产出在珊瑚组合Ⅰ和Ⅶ. 在鱼洞剖面和大寨门剖面, 杜内期的鱼洞

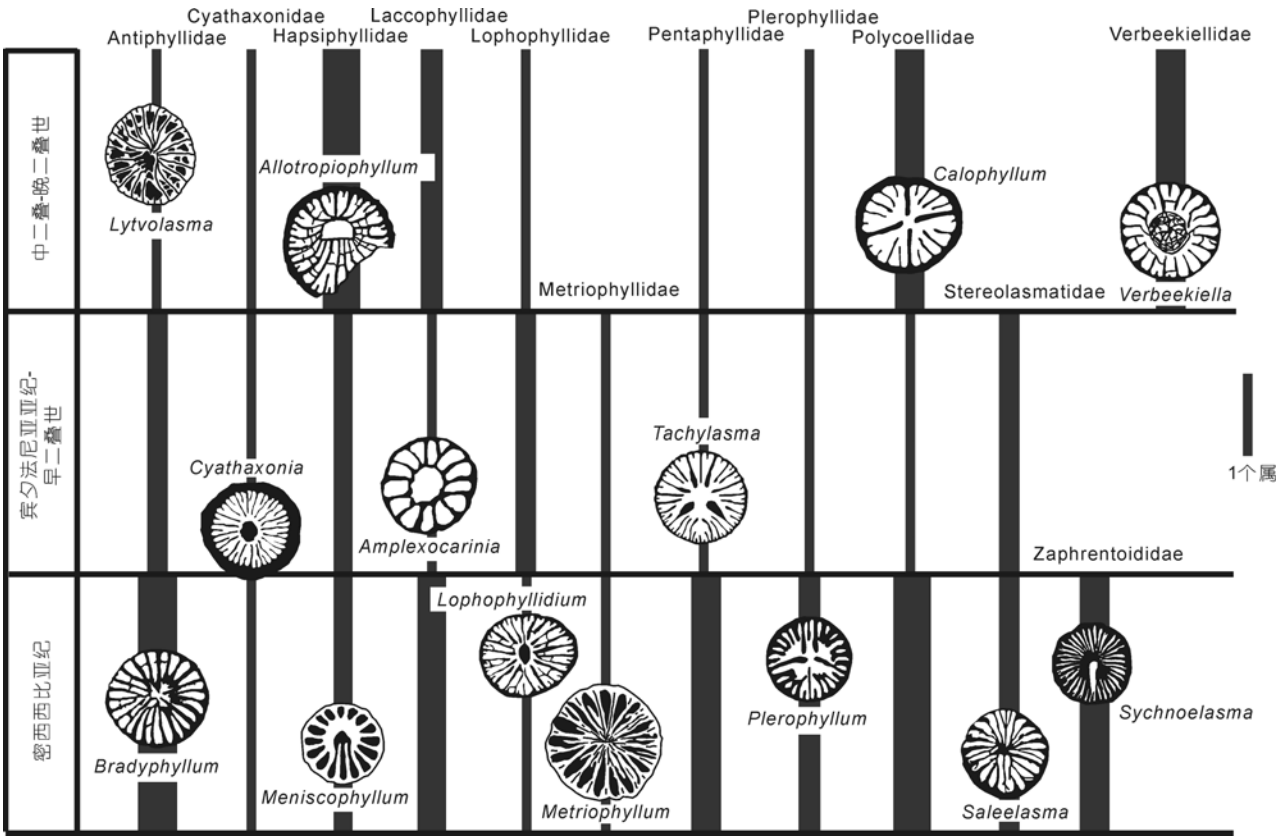


图 2　各科时代分布及代表性属

组为海侵初期沉积的一套浅海陆棚相的泥晶灰岩、泥质团块灰岩及海百合茎灰岩, 普遍含海绿石, 不含燧石团块或条带, 产 *Cyathaxonia* 动物群, 主要的组成分子包括: *Saleelasma*, *Rotiphyllum*, *Zaphrentites*, *Meniscophylloide*, *Commutia*, *Zaphrentoides*, *Hapsiphyllum*, *Pentaphyllum*, *Trochophyllum*, *Ufimia*, *Bradyphyllum*, 以及小型横板珊瑚: *Palaeacis*, *Sutherlandia*, *Cladochonus*. 伴生化石有牙形刺、小型腕足类、菊石、三叶虫、瓣鳃类、介形类等. 整合上覆的石花洞组为一套海侵扩大后的正常浅海沉积, 岩性为中厚层偶夹薄层泥晶灰岩、泥晶团粒灰岩、白云化微晶灰岩、泥晶生物屑灰岩, 普遍发育燧石团块或条带, 生物化石非常丰富, 产大型单体具泡沫板(鳞板)的 Caninid-*Clisiophyllum* 动物群, 以丰富的 *Siphonophyllia*, *Kueichouphyllum*, *Keyserlingophyllum* 和 *Palaeosmilia* 等大型单体珊瑚为特征, 伴生化石有孔虫、海百合和大型腕足类. 从鱼洞组的小型单体珊瑚动物群到上覆石花洞组的大型单体具鳞板珊瑚动物群, 同一地点短时期内珊瑚动物群的更替反映了生态环境的改变, 为不同的珊瑚生物相.

另外, 同属保山地区, 不同剖面相同时代的珊瑚动物群也完全不同, 保山板桥清水沟剖面清水沟组和蒋家湾组, 岩性主要为深色泥晶灰岩, 部分含草莓状黄铁矿或菱铁矿结核, 维宪期的珊瑚动物群是 *Cyathaxonia* 动物群, 包括的分子有: *Cyathaxonia*, *Rotiphyllum*, *Pentaphyllum*, *Claviphyllum*, *Neozaphrentis*, *Ufimia*, *Zaphrentites*, *Zaphrentoides*, 小型横板珊瑚 *Palaeacis*, *Sutherlandia, Cladochonus,* 伴生生物为小型腕足类、三叶虫、牙形刺及少量菊石, 是典型的较深水缺氧环境的生物相; 在保山云瑞街、西邑及施甸大寨门, 维宪期的珊瑚动物群却是以大型多带型单体及丛状复体珊瑚为主的 Caninid-*Clisiophyllum* 动物群, 产出地层为石花洞组中上部. 显然, 距离如此之近的同一地块的不同地点产出不同的珊瑚动物群, 可能只是由于台地和斜坡、水深等控制的生境的差异, 而不是由于不同的生物地理区. 它们之间岩性、珊瑚类群、伴生生物群等方面的差异显示了明显不同的珊瑚生物相(表 1).

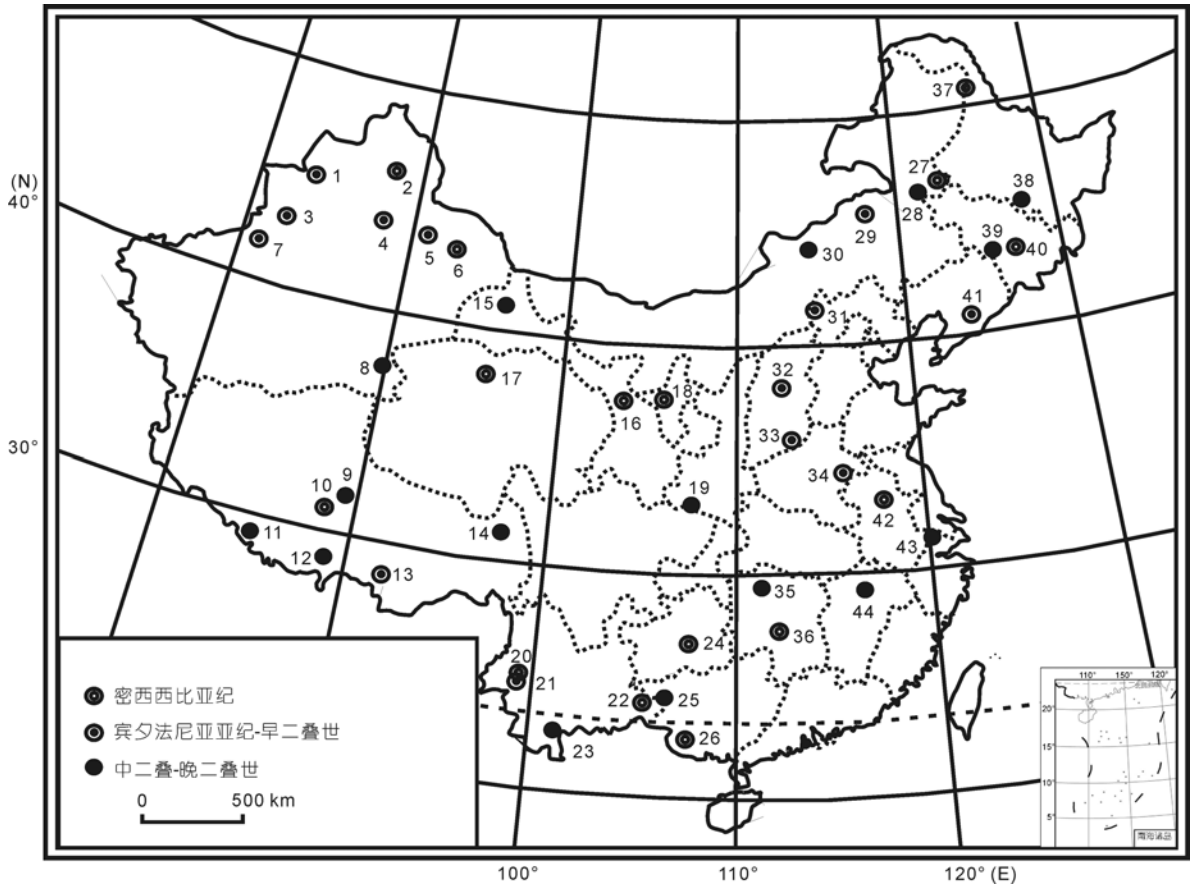


图 3　小型单体无鳞板珊瑚动物群的地理分布

图中各点所对应的参考文献: 1, [39]; 2, [22]; 3, [40]; 4, [39]; 5, 作者未发表资料; 6, [16]和[23]; 7, [41]; 8, [49]; 9, [5]和[15]; 10, [4]和[5]; 11, [47]和[48]; 12, [47]和[48]; 13, [15]; 14, [48]; 15, [26]; 16, [26]～[28]; 17, [24]和[25]; 18. [26], [27]和[29]; 19, [26]和[51]; 20, [30]～[32]; 21, [6]; 22, [33]; 23, [33]和[50]; 24, 作者未发表资料; 25, [35]和[50]; 26, [34]; 27, [37]; 28, [36]; 29, [42]; 30, [53]; 31, [43]; 32, [43]; 33, [43]和[44]; 34, [45]; 35, [35]和[52]; 36, [35]; 37, [36] ; 38, [43]; 39, [54]; 40, [38]; 41, [46]; 42, 作者未发表资料; 43, [55]

表 1　保山地区密西西比亚系四射珊瑚动物群对比

	保山板桥	施甸大寨门
四射珊瑚动物群	小型单体无鳞板单带型	中到大型具泡沫板或鳞板双带型和丛状复体
横板珊瑚	*Sutherlandia* *Paleoacis* *Cladochonus*	*Michelinia* *Syringopora*
主要伴生生物	三叶虫、菊石、牙形刺、小型腕足	钙藻、有孔虫、苔藓虫、大型腕足
岩性	黑色泥晶砂屑灰岩, 生物砂屑灰岩 具草莓状黄铁矿	黑色中层状泥晶生物屑灰岩, 泥晶团粒灰岩, 具燧石结核和燧石条带
沉积构造	水平纹层、水平爬迹	斜层理
单体珊瑚外形及保存状态	具长的“根”, 始端扭曲 原位保存和躺卧保存	珊瑚体扭曲 躺卧保存
四射珊瑚	*Commutia* *Cyathaxonia* *Neozaphrentis* *Pentaphyllum* *Sychnoelasma* *Ufimia* *Zaphrentites*	*Amplexus* *Arachnolasmella* *Caninophyllum* *Cyathoclisia* *Keyserlingophyllum* *Kueichouphyllum* *Palaeosmilia* *Siphonodendron* *Siphonophyllia*

3.2　安徽巢湖密西西比亚纪小型单体无鳞板珊瑚动物群

安徽巢湖银屏王家村水库石炭系剖面(31°30.970′N, 117°48.301′E)自下而上由高骊山组、和州组、老虎洞组、黄龙组等组成(图 4). 高骊山组为紫红色页岩和黄色页岩, 顶部为 20 cm 厚的砂岩; 和州组下部为薄层泥灰岩和钙质页岩, 含小型单体珊瑚动物群, 中部为薄至中层状泥灰岩, 产丛状和块状复体珊瑚及大型单体珊瑚, 局部成小型生物礁, 上部为紫红色页岩, 顶部为 5 m 厚的泥质瘤状灰岩; 上覆老虎洞组白云岩.

和州组下部的小型单体珊瑚动物群的主要分子为: *Cyathaxonia*, *Rotiphyllum*, *Pentaphyllum*, *Ufimia* 和 *Zaphrentites* 等, 伴生有小型腕足类化石. 和州组中部的珊瑚动物群的主要分子为 *Siphonophyllum*, *Lithostrotion*, *Clisiophyllum* 等复体珊瑚和大型具鳞板的单体珊瑚. 同一剖面上短时间内的生物相的变化可能是水深的变化和沉积物质供给的不同造成的.

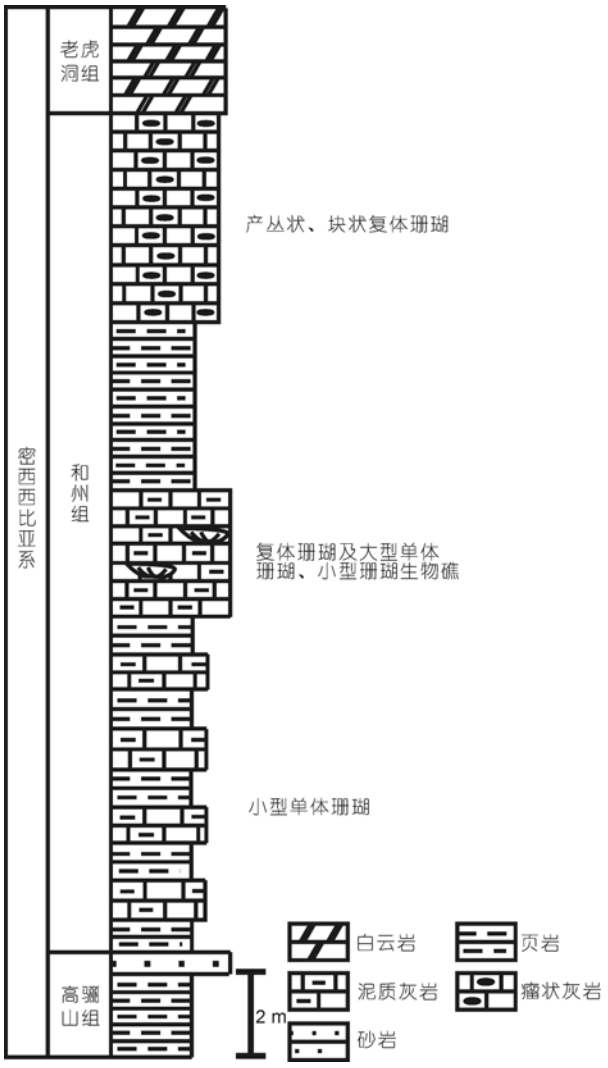


图 4　安徽巢湖银屏王家村水库剖面

4　讨论和结论

小型单体无鳞板珊瑚动物群是一类个体小, 没有鳞板的单体四射珊瑚, 它们的产出是一类受底质、水深、温度等多种因素控制的特殊生物相. 国内外的研究表明, 此类动物群通常出现于较深水(50~300 m)、贫氧、缺光、多泥质的静水环境中, 并常以多个属共同出现, 仅仅有少量的类群如 *Amplexus*, *Zaphrentites* 等可单独出现在清洁正常水体或生物礁中. 在产出的沉积类型上, 这类动物群常常产在泥灰岩和钙质页岩, 甚至页岩和泥岩中. 在一个连续的海侵序列上, 这类珊瑚也常出现在海进初期的含泥质碳酸盐岩沉积物中, 如本文提及的两个例子, 保山地区和巢湖地区的密西西比亚系小型单体珊瑚产出均在海侵的初期, 随着海侵的进一步扩大, 沉积物中泥质含量的减少, 大型单体和丛状复体珊瑚随之出现, 取代了小型单体珊瑚.

中国石炭-二叠纪的小型单体无鳞板珊瑚动物群分布十分广泛, 迄今已在全国的 19 个省和自治区发现, 它们的分布没有一个特定的区域. 小型单体四射珊瑚动物群在国内偶尔也被称为冷水或凉水动物群, 与晚古生代冈瓦纳冰川有关. 然而, 中国的冈瓦纳相有着特殊的分布地区和时限, 分布区域为滇西的腾冲和保山地块, 西藏的拉萨地块和羌塘地块等; 在时限上, 只有石炭纪晚期和二叠纪早期才在这些地区出现冷水或凉水动物群, 早二叠世保山地块的丁家寨组、腾冲地块的空树河组、拉萨地块的昂杰组、以及羌塘地块的展金组产的小型单体珊瑚动物群可能是冷水动物群, 可能与冈瓦纳冰川事件有关[22], 这些地块作为基默里地块群中的小型块体当时位于冈瓦纳大陆的北缘. 其他地区和时代产的小型单体四射珊瑚动物群都不是与冈瓦纳冰川直接有关的冷水动物群.

中国的小型单体四射珊瑚动物群迄今共发现 12 个科的 40 个属, 这些属级分类单元的延续时间普遍较长, 少量的属在石炭纪早期开始出现, 可一直延续

到二叠纪末, 如*Ufimia*, *Pentaphyllum*等. 尽管我国产有丰富的小型单体四射珊瑚, 但这类珊瑚的演化较慢, 性状随时间的变化较少, 普遍缺少生物地层学意义. 加之这类珊瑚个体小, 常保存在泥质灰岩和页岩中, 不易被发现, 因此, 受重视的程度不够. 另一方面, 这类珊瑚的结构简单, 各性状的变异又十分明显, 对其开展详细的古生物分类学研究需要大量标本的采集, 进行个体发育和性状变异的讨论.

致谢 感谢审稿人提出修改意见.

参考文献

1 Hill D. A Monograph on the Carboniferous Rugose Corals of Scotland. London: Palaeontographical Society, 1938. 1—78
2 Cairns S D. Deep-water corals: An overview with special reference to diversity and distribution of deep-water scleractinian corals. Bull Mar Sci, 2007, 81: 311—322
3 Scrutton C T. The Palaeozoic corals, II: Structure, variation and palaeoecology. Proc Yorksh Geol Soc, 1998, 52: 1—57
4 杨式溥, 范影年. 西藏申扎地区石炭系及生物群特征. 见: "三江"专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(10). 北京: 地质出版社, 1982. 46—69
5 范影年. 中国西藏石炭-二叠纪皱纹珊瑚的地理区系. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(16). 北京: 地质出版社, 1985. 87—104
6 方润森, 范建才. 保山-腾冲地区的冷水珊瑚 *Lytvolasma* 动物群. 云南地质, 1994, 13: 189—190
7 方润生, 范建才. 关于滇西地质的一些新认识. 现代地质, 1993, 7: 395—401
8 Hill D. Coelenterata, part F, supplement 1, rugosa and tabulata. In: Teichert K, ed. Treatise on Invertebrate Paleontology. Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas: Geological Society of America Inc and University of Kansas, 1981. 1—762
9 Sando W. The paleoecology of Mississipian corals in the western conterminous United States. Acta Palaeontol Pol, 1980, 25: 620—631
10 Rodriguez S, Sando W J, Kullmann J. Utility of corals for biostratigraphic and zoogeographic analyses of the Carboniferous in the Cantabrian Mountains, North Spain. Trab Geol, 1986, 16: 37—60
11 Webb G E. Lower Carboniferous coral fauna of the Rockhampton Group, east-central Queensland. In: Jell P A, ed. Devonian and Carboniferous Coral Studies. Brisbane: Association of Australasian Palaeontologists, 1990. 1—168
12 Wrzołek T. Devonian history of diversity of the rugosan *Cyathaxonia* fauna. Act Palaeontol Pol, 2002, 47: 397—404
13 Kossovaya O L. Ecological aspects of upper Carboniferous-lowerPermian '*Cyathaxonia* fauna' taxonomical diversity (the Urals). In: Hubmann B, Piller W E, eds. Fossil-Corals and Sponges, Proceedings of the 9th International Symposium on Fossil Cnidaria and Porifera, 2003, Graz. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 2007. 383—406
14 Kossovaya O L. Artinskian-Wordian antitropical rugose coral associations: A palaeogeographical approach. Palaeoworld, 2009, 18: 136—151
15 吴望始. 珠穆朗玛峰地区的珊瑚化石. 见: 中国科学院西藏科学考察队, 编. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告, 1966—1968 古生物(第一分册). 北京: 科学出版社, 1975. 83—128
16 吴望始, 曾采麟. 新疆巴里坤早石炭世菊石相的珊瑚. 古生物学报, 1982, 21: 141—152
17 王训练, 加藤诚, 王鸿祯. 中国维宪早期四射珊瑚群落. 现代地质, 1996, 10: 1—11
18 王向东, 朱夔玉, 陈重泰. 云南保山地区的下石炭统. 地层学杂志, 1993, 17: 241—255
19 王向东, Sugiyama T, Ueno K, 等. 滇西保山地区石炭纪、二叠纪古动物地理演化. 古生物学报, 2000, 39: 493—506
20 Wang X D, Sugiyama T, Ueno K. Carboniferous and Permian stratigraphy of the Baoshan Block, West Yunnan, Southwest China. Newsl Subc Perm Stratigr, 1998, 32: 38—40
21 Wang X D, Ueno K, Mizuno Y, et al. Late Paleozoic faunal, climatic, and geographic changes in the Baoshan Block as a Gondwana-derived continental fragment in southwest China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2001, 170: 197—218
22 Wang X D, Shen S Z, Sugiyama T, et al. Late Palaeozoic corals of Tibet (Xizang) and West Yunnan Southwest China: Succession and paleobiogeography. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2003, 191: 385—397
23 蔡士赐. 新疆阿勒泰地区早石炭世晚期菊石相四射珊瑚. 古生物学报, 1989, 28: 98—108
24 俞建章, 林英锪, 黄柱熙, 等. 新疆东部早石炭世地层及珊瑚. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编委会, 编. 地层古生物论文集(第五辑). 北京: 地质出版社, 1978. 1—77
25 中国科学院南京地质古生物研究所, 青海地质科学研究所. 西北地区古生物图册, 青海分册(二). 北京: 地质出版社, 1979. 16—33, 图版 12—26
26 王增吉. 柴达木盆地北缘阿木尼克山地区早石炭世地层及珊瑚化石序列. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1987, 16: 51—99
27 西安地质矿产研究所. 西北地区古生物图册, 陕甘宁分册(二). 北京: 地质出版社, 1983. 46—178, 图版 15—60

28 林英锅. 甘肃景泰及宁夏中卫早石炭世皱纹珊瑚. 古生物学报, 1966, 14: 185—197
29 崔炜霞, 杨逢清, 曾光艳, 等. 甘肃景泰地区早石炭世小个体动物群. 西安石油学院学报(自然科学版), 2003, 18: 15—23
30 杨逢清. 宁夏中卫、中宁地区纳缪尔期贫氧生物相特征. 地球科学, 1992, 17: 271—279
31 王增吉. 云南施甸早石炭世早期香山组的一些珊瑚化石. 中国地质科学院院报, 1993, 第 27—28 号: 155—173
32 段丽兰. 云南保山、施甸地区早石炭世珊瑚化石. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(17). 北京: 地质出版社, 1985. 255—280
33 宋学良. 云南西部保山、施甸地区泥盆纪、石炭纪四射珊瑚. 见: “三江”专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(10). 北京: 地质出版社, 1982. 18—37
34 吴望始, 赵嘉明. 黔西、滇东石炭纪和早二叠世早期的四射珊瑚. 北京: 科学出版社, 1989. 1—230, 图版 I—LXIII
35 林英锅, 武世忠. 广西隆林隆或地区早石炭世皱纹珊瑚. 古生物学报, 1988, 27: 565—582
36 湖北省地质科学研究所. 中南地区古生物图册(二)晚古生代部分. 北京: 地质出版社, 1977. 109—240, 图版 39—92
37 郭胜哲. 东北北部及内蒙古地槽区的四射珊瑚组合. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1982, 4: 84—92
38 郭胜哲. 内蒙古自治区谢尔塔拉地区早石炭世四射珊瑚. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1985, 12: 68—72
39 林英锅, 武世忠, 华寿永. 吉中地区早石炭世大塘期珊瑚. 长春地质学院学报, 1984, 2: 43—68
40 王增吉, 俞学光. 新疆乌鲁木齐祁家沟晚石炭世四射珊瑚. 中国地质科学院院报, 1989, 第 19 号: 157—171
41 蔡士赐. 新疆拜城地区晚石炭世四射珊瑚. 古生物学报, 1986, 25: 55—62
42 吴望始, 周康杰. 新疆柯坪地区晚石炭世晚期的珊瑚化石. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 1982, 4: 213—239
43 郭胜哲. 大兴安岭南部中、晚石炭世四射珊瑚. 古生物学报, 1983, 22: 220—230
44 天津地质矿产研究所. 华北地区古生物图册(一)古生代分册. 北京: 地质出版社, 1985. 1—731
45 赵嘉明. 山西陵川附城晚石炭世太原组的四射珊瑚. 见: 山西煤田地质勘探公司 114 队, 中国科学院南京地质古生物研究所, 编著. 晋东南地区晚古生代含煤地层和生物群. 南京: 南京大学出版社, 1987. 307—327
46 赵嘉明, 梁湘沅. 河南晚石炭世太原组的一些四射珊瑚. 古生物学报, 1989, 28: 488—494
47 郭胜哲. 辽宁省东部及南部中、晚石炭世珊瑚化石. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1987, 15: 99—113
48 林宝玉. 西藏中南部雅鲁藏布江西侧早二叠世地层和珊瑚动物群. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(8). 北京: 地质出版社, 1983. 69—182
49 王增吉, 刘世坤. 西藏仲巴、萨噶、纳木湖地区早二叠世的四射珊瑚. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(7). 北京: 地质出版社, 1982. 59—85
50 蔡士赐. 新疆东昆仑山早二叠世四射珊瑚新资料. 新疆地质, 1991, 9: 235—238
51 中科院南京地质古生物研究所. 西南地区地层古生物手册. 北京: 科学出版社, 1974. 265—273, 296—299, 图版 134—139, 156
52 赵嘉明. 四川北川、江油及陕西汉中二叠纪珊瑚化石. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 1981, 15: 233—274
53 时言. 中国南部早二叠世皱纹珊瑚. 古生物学报, 1982, 21: 249—264
54 丁蕴杰. 内蒙古锡林郭勒盟早二叠世的一些四射珊瑚. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1983, 第 8 号: 105—119
55 俞建章, 林英锅, 黄柱熙. 吉林中部早二叠世珊瑚. 古生物学报, 1981, 20: 273—286
56 Jürgen K, Liao W H. Hornformige einzelkorallen (Rugosa) aus dem Unterkarbon von Süd-China. Palaeontograph Abt A, 1989, 189: 125—157
57 地质部南京地质矿产研究所. 华东地区古生物图册(二)晚古生代分册. 北京: 地质出版社, 1982. 108—160, 图版 31—63
58 西南地质科学研究所. 西南地区古生物图册, 四川分册(二). 北京: 地质出版社, 1978. 149—201, 图版 50—76
59 贵州地层古生物工作队. 西南地区古生物图册, 贵州分册(二). 北京: 地质出版社, 1978. 106—187, 图版 29—61
60 王鸿祯, 何心一, 陈建强, 等. 中国古生代珊瑚分类演化及生物古地理. 北京: 科学出版社, 1989. 1—391, 图版 1—81
61 俞建章, 林英锅, 时言, 等. 石炭二叠纪珊瑚. 长春: 吉林人民出版社, 1983. 1—357, 图版 I—XVII