

doi:10.3799/dqkx.2012.00

构造和地层背景对华南、澳大利亚和日本晚泥盆世和密西西比纪生物礁发育的影响

沈建伟¹, 赵娜^{1,2}, 王月¹, 杨红强^{1,2}

1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 在西澳大利亚坎宁盆地泥盆纪生物礁组合和东澳大利亚昆士兰州密西西比纪生物礁详细调查和研究的基础上, 通过分析晚泥盆世至密西西比纪生物礁组合在古特提斯海4个不同地区的发育形式和演化特征对西澳大利亚坎宁盆地与中国桂林晚泥盆世生物礁组合以及东澳大利亚昆士兰与中国广西和西日本秋吉台密西西比纪的生物礁进行对比。第一次从构造、地层、古纬度和古气候方面来探讨古东特提斯海和北特提斯海晚泥盆世至密西西比纪生物礁的发育异同, 研究成果改进了对西澳大利亚、东澳大利亚、华南和西日本4个地区生物礁发育的认识, 从而可在全球角度上去探讨控制晚古生代生物礁发育的各种因素。研究的地质时段包含重要的生物绝灭事件, 也是温室向冰室的转折时期, 是全球范围造礁生物演替、更新和重新繁盛的阶段。研究成果对认识晚泥盆世至密西西比纪全球范围内造礁生物和生物礁类型与早、中泥盆世的区别, 对研究全球在这一时期古气候和古环境的变化都具有重要的意义。

关键词: 构造地层背景; 生物礁; 晚泥盆世至密西西比纪; 澳大利亚; 华南; 日本。

中图分类号: P541

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-11

收稿日期: 2011-00-00

Effect of Different Tectonic-Stratigraphic Settings on Late Devonian and Mississippian Reefs in Western Australia, Eastern Australia, South China and Japan

SHEN Jian-wei¹, Zhao Na^{1,2}, WANG Yue¹, YANG Hong-qiang^{1,2}

1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology of CAS, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The Devonian reef complexes in the Canning Basin of western Australia and the Mississippian reef in eastern Australia were compared with those coeval reef complexes in Guilin and Mississippian reefs in Guangxi, South China, and in Akiyoshi, Japan based on the detailed studies on the Devonian reef complexes in Canning Basin, western Australia and Mississippian reefs in eastern Australia and through analyzing the development pattern and evolution characteristics of Devonian and Mississippian reefs in four different Paleotethys areas. The difference in reef development during the late Devonian to Mississippian between eastern Paleotethys and northern Paleotethys was discussed with respect to tectonics, stratigraphy, palaeolatitude, and palaeoclimate, which greatly improves our understanding of late Devonian to Mississippian reef development in western Australia, eastern Australia, South China, and western Japan respectively, so that the different factors that controlled the reef development in late Paleozoic were discussed in a global perspective. The geologic interval relevant to this study comprises the important biotic extinction events, it is also a transitional period from greenhouse to icehouse and a stage of evolution, regeneration, and resuscitation for reef-building organisms. The research results are significant in understanding the difference between late Devonian to Mississippian and early to middle Devonian reef-building organisms and reef types globally and in studying the global palaeoclimatic and palaeoenvironmental changes in this time interval.

Key words: tectonic and stratigraphic settings; reefs; late Devonian to Mississippian; Australia; South China; Japan.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40872078); 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿项目(No. LYQY200806).

作者简介: 沈建伟(1958-), 男, 研究员, 地质学专业, 从事海洋(相)碳酸盐沉积研究. E-mail: jwshen@scsio.ac.cn

全球中、晚泥盆世生物礁主要发育在华南、西澳大利亚、加拿大落基山和德国北部的哈兹山等地 (Yu and Shen, 1998; Whalen *et al.*, 2000; Gliniski, 2001; Playford *et al.*, 2009). 西澳大利亚坎宁盆地和 华南桂林地区泥盆纪生物礁组合发育独特、类型齐全、规模宏大 (Yu and Shen, 1998; Playford *et al.*, 2009), 这个时期西澳大利亚和 华南古地理位置都是位于南半球古特提斯海东部的亚热带地区, 澳大利亚位于冈瓦纳大陆的北缘, 而华南则处于一个孤立的微大陆上 (Torsvik and Van der Voo, 2002), 它们代表了古特提斯海不同古地理位置上生物礁的发育形式. 此外, 晚泥盆世法 门期的生物礁主要发育在西澳大利亚坎宁盆地和 华南的桂林 (Stephens and Sumner, 2003; Shen *et al.*, 2008), 这两点为对比两个地区整个晚泥盆世生物礁的发育演化和控制因素提供了完善的实际材料.

弗拉期/法门期和法门期/杜内期 (D/C 界限) 之交, 生物灭绝事件后的密西西比纪是全球生物礁发育的贫困期, 杜内期只有零星的生物礁发育在 澳洲东部 (Webb, 1998)、美国中南部、俄罗斯乌拉尔地区 (Antoshkina, 1998) 和哈萨克斯坦 (Kuznetsov, 1996), 以微生物叠层石和凝块石为主, 包含有少量后生动物. 维宪期是生物礁重新普遍发育的时期, 在 英国 (Adams, 1984; Bancroft *et al.*, 1988)、美国

(Ahr and Jr Stanton, 1994)、加拿大 (Dix and James, 1987)、澳大利亚 (Webb, 1999; Shen and Webb, 2005)、华南 (方少仙和侯方浩, 1985; Shen and Qing, 2010) 和日本 (Sano and Kanmera, 1996; Nakazawa, 2001) 都有报道, 这一时期生物礁主要由海绵、珊瑚、钙藻、苔藓虫和微生物凝块石构成. 东澳大利亚昆士兰州蒙托—罗克汉普顿 (Monto-Rockhampton) 一带、日本西南秋吉台和广西田林和来宾的密西西比纪的生物礁和叠层石丘代表的是不同大地构造位置 and 不同盆地类型中生物礁的发育特征, 这为对比不同构造和地层发育背景对密西西比纪生物礁发育的影响提供了可能.

本文在澳大利亚、华南和日本 (图 1) 晚泥盆世和密西西比纪生物礁和礁组合不同部分的露头礁灰岩, 特别是台地边缘礁灰岩研究的基础上, 对坎宁盆地和桂林中、晚泥盆世礁组合以及东澳大利亚昆士兰州和中国广西及西日本秋吉台密西西比纪的生物礁构造和地层背景进行了详细的研究和对比, 从构造—地层方面探讨了控制晚泥盆世和密西西比纪生物礁在古特提斯海 4 个不同地区发育的因素, 并对坎宁盆地和 华南晚泥盆世法 门期的微生物礁和丘进行了系统解剖、描述和对比, 发现生物礁的发育史与全球生物绝灭事件不一致, 弗拉期—法门期生物灭绝事件后, 坎宁盆地和桂林弗拉期/法门期生物事件以

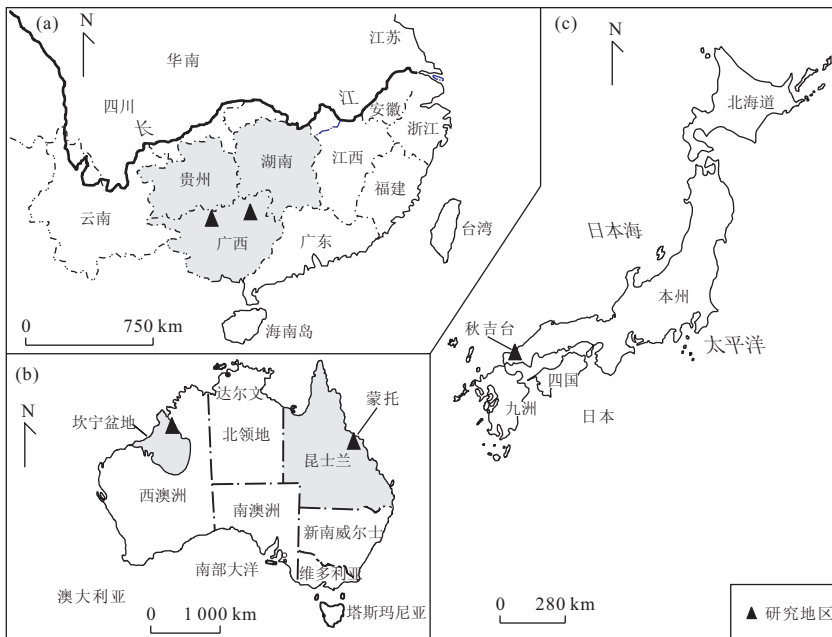


图 1 本文涉及的研究地区和调查点

Fig. 1 Study areas and survey sites relevant to this paper

a. 华南桂林和百色田林; b. 西澳大利亚坎宁盆地和东澳大利亚蒙托; c. 日本本州西南部秋吉台

前的层孔虫—珊瑚—微生物成因的生物礁让路于完全由微生物形成的生物礁. 总的来说, 温室期以骨骼生物和微生物造礁为主, 而冰室期则以非酶化的微生物成因的碳酸盐造礁为主. 紧邻赤道的华南地区比起相对远离赤道的西澳大利亚, 微生物礁类型多样且发育更好.

1 构造地层背景

泥盆纪时, 坎宁盆地是一个克拉通内盆地 (Kennard *et al.*, 1994), 但其北缘伦纳德陆棚 (Lenard Shelf) 上的泥盆纪礁组合代表了一种狭窄的克拉通前缘台地, 往东北方向饰缘克拉通, 坎宁盆地的构造组合是对称的, 构造单元为北西—南东走向 (图 2). 主要的北西—南东向断裂体系平行古大陆边缘. 伦纳德陆棚只在东北方向背靠古陆, 其上的断裂体系是北西—南东向的, 与主要构造单元的走向平行, 在其西部, 先形成的北西—南东向的断裂体系被后来的北东—南西向断裂叠加 (图 3).

泥盆纪时, 华南是一种克拉通前缘盆地, 构造单元是不对称展布的 (图 4), 而且比较复杂, 被动大陆边缘是北东—南西走向, 与后来的北东—南西向的主转换断裂是平行的, 构造形式反映出华南的扩张发生在坳拉槽中 (Zhao *et al.*, 1996). 华南褶皱带的西部下沉而形成西部、北部和东部背靠上升古陆的华南海. 控制华南泥盆系沉积的主要断裂是北东—南西向的 (图 5), 但北西—南东向的断陷导致了一系列互相联系的台沟的形成, 其极大地控制了华南海中泥盆系的沉积格局 (图 6). 泥盆纪沉积在近岸形成广阔的碎屑和碳酸盐混合陆架向北饰缘克拉通, 而在远岸反映的是碳酸盐台地和台沟相间的沉积格局.

盆地的发育主要与张裂作用有关, 坎宁盆地和华南两种具有不同张裂地形和构造发育的盆地类型控制了两区的泥盆纪沉积 (表 1). 作为这种盆地类型差异的结果, 坎宁盆地和华南泥盆纪的沉积地层格架具有重要的差别 (表 2). 坎宁盆地和华南前泥盆纪地层的总体格架是不同的, 而两地泥盆纪至密

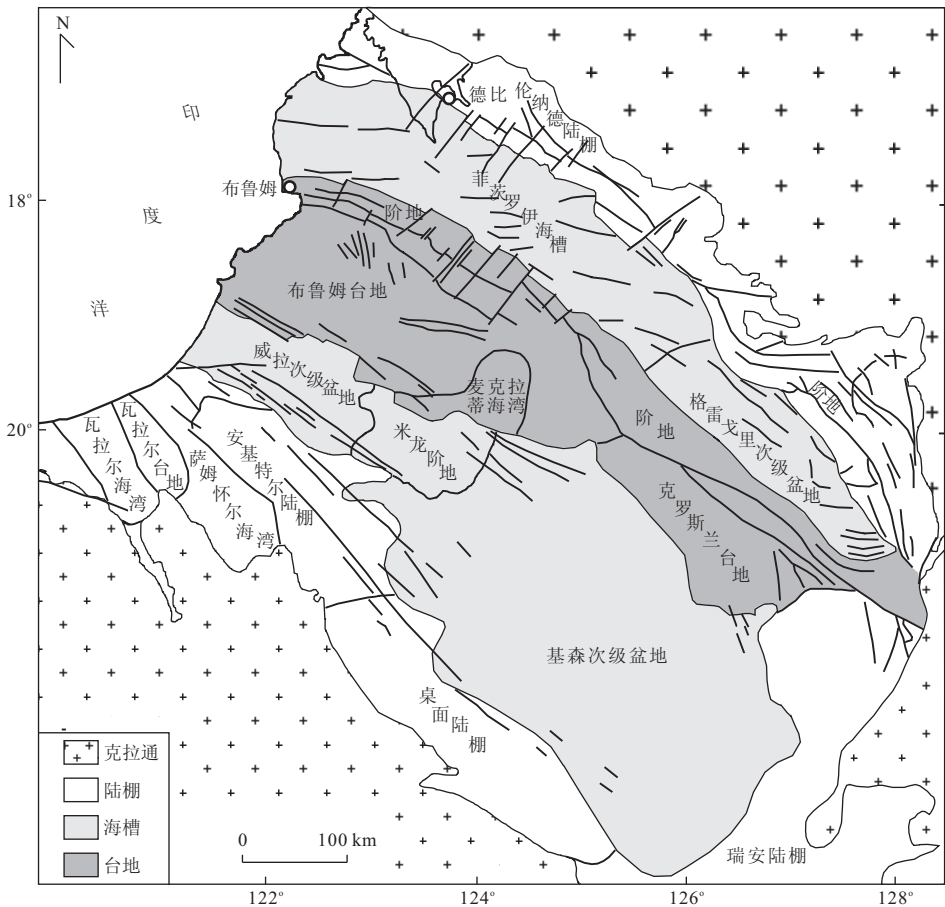


图 2 澳大利亚坎宁盆地泥盆纪构造单元的展布形式 (据 Kennard *et al.*, 1994)

Fig. 2 Structural subdivisions of the Canning basin, Australia

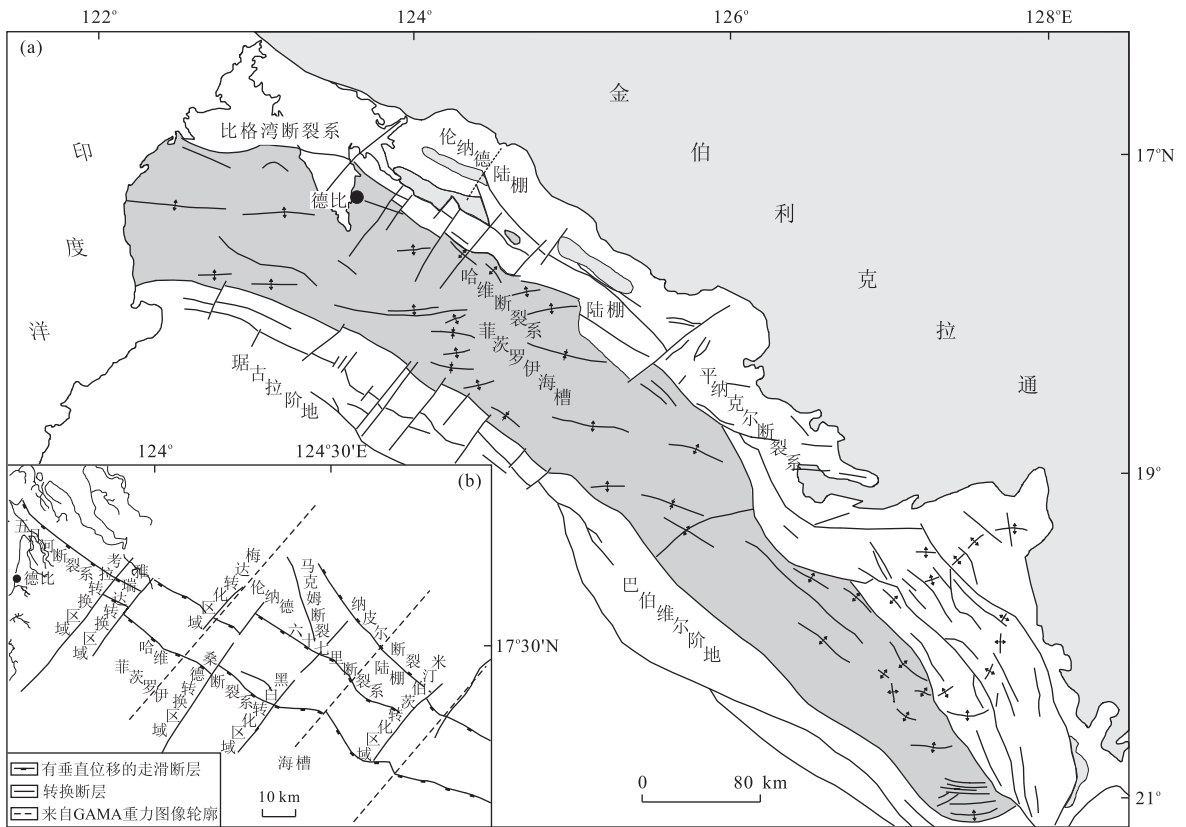
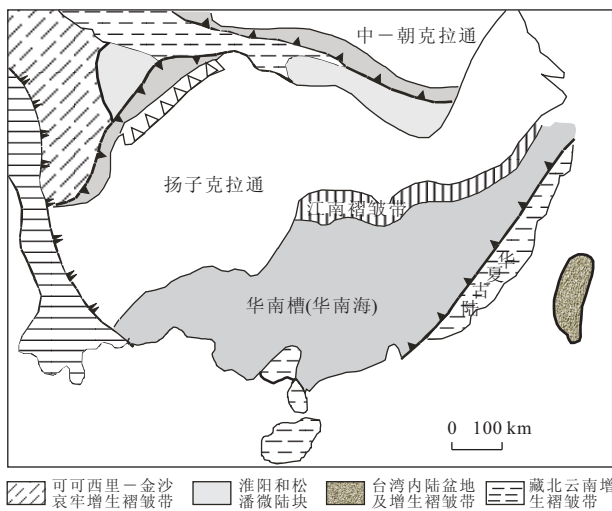


图 3 (a)坎宁盆地东北地区构造格架(伦纳德陆棚和菲茨罗伊海槽);(b)伦纳德陆棚西南部构造轮廓(据 Drummond *et al.*, 1991)
 Fig. 3 (a) Tectonic framework of the northeastern Canning basin (Lennard Shelf and Fitzroy Trough), (b) Tectonic linements of the southwestern Lennard Shelf



4 华南泥盆纪主要的构造单元分布(据 Zhang *et al.*, 1984)
 Fig. 4 Major tectonic units in South China

西西比纪的地层格架也是不同的. 这种地层构架上的差异造成了两地不同的沉积旋回, 这主要由构造事件控制. 坎宁盆地的泥盆纪地层是不连续的, 由几个扩张事件隔开. 断裂作用控制了断裂下盘受侵蚀

斜坡上发育的沉积体的形状. 与扩张活动和断块倾斜事件有关的断裂再活动相一致, 坎宁盆地伦纳德陆棚上的泥盆纪碳酸盐台地表现出 3 个发育阶段, 产生出 3 个沉积层序: (1)埃姆斯期到早吉维特期层序; (2)中吉维特晚期至弗拉期层序; (3)法门期层序. 中吉维特期到法门期的礁组合和碳酸盐沉积代表了海侵和海退层序. 在华南, 泥盆纪至密西西比纪的沉积基本是连续的, 没有被扩张事件间断. 加里东运动是华南盆地扩张、分移和下沉的主要动因, 泥盆纪地层发育在一个褶皱和上升的下古生代基底上, 主要由两部分组成, 下部的碎屑沉积和上部的碳酸盐沉积. 泥盆系层序由 3 个层序组成: (1)洛赫考夫期到布拉格期的碎屑层序; (2)埃姆斯期到弗拉期的碳酸盐增加层序; (3)法门期的碳酸盐减少层序. 前面的两个层序代表海侵沉积, 而后一个层序代表了海退沉积.

在坎宁盆地, 大多数古生代地层没有经历源于基底断裂的构造变形. 伦纳德陆棚上的泥盆系地层和生物礁基本保持原有的沉积倾角. 在华南, 后期的构造活动已改变了泥盆系地层和生物礁的原有沉积

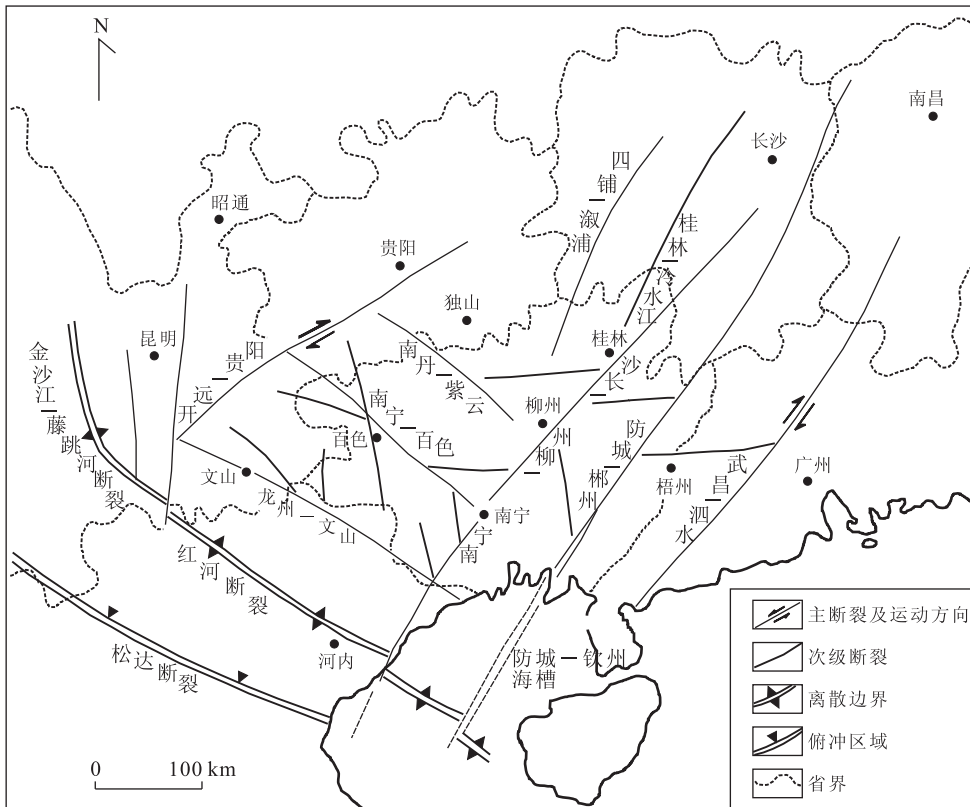


图5 华南地区泥盆系主要构造和盆地示意(据 Zhao et al. ,1996)

Fig. 5 Major Devonian structures and basins in South China

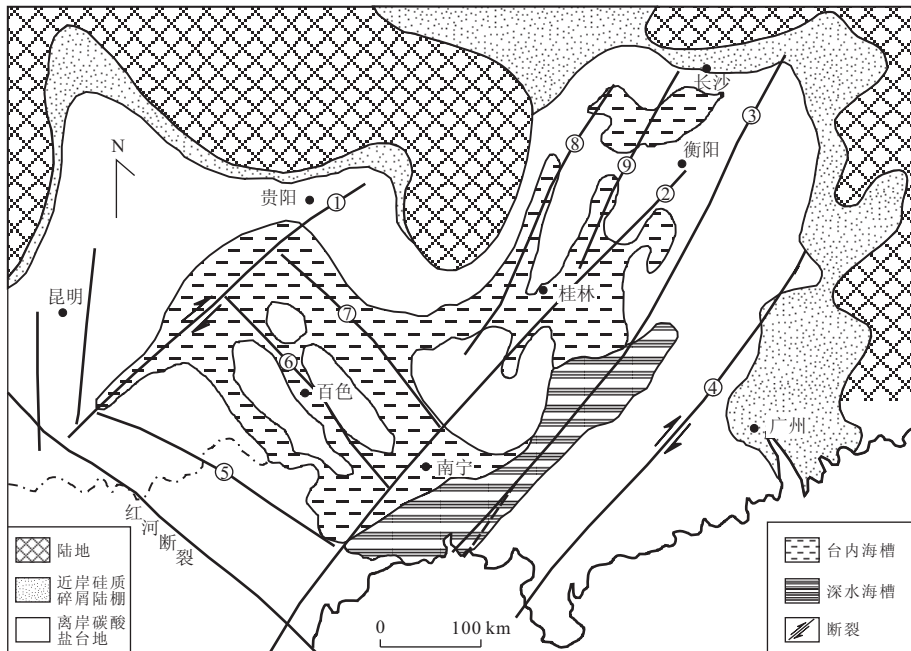


图6 华南晚泥盆世弗拉期岩相古地理以及主要断裂和台内海槽之间的关系(据 Zhao et al. , 1996 和 Tsien et al. , 1988)

Fig. 6 Frasnian palaeogeography of Huanan and relations between major faults and intraplate trough

1. 开远—贵阳断裂; 2. 南宁—柳州—长沙断裂; 3. 防城—郴州断裂; 4. 武昌—泗水断裂; 5. 龙州—文山断裂; 6. 南宁—百色断裂; 7. 南丹—紫云断裂; 8. 四埔—淑浦断裂; 9. 桂林—冷水江断裂

表 1 澳洲坎宁盆地和华南桂林泥盆纪台地边缘特征的比较

Table 1 Comparison of characteristics of platform marginal between Canning basin in Australia and Guilin area in South China

	坎宁盆地	桂林地区
台地边缘宽度	较窄,几十 m 宽	较窄
时代	吉维特期到法门期	吉维特期到法门期
横向上亚相变化	台缘往陆地为礁坪相	台缘往陆地不一定为礁坪相
台地边缘灰岩类型	生物成因的碎屑和碎片,鲕粒,球粒,微晶内碎屑和灰泥	鲕粒,藻/微生物,微生物球粒,微生物团块和灰泥
弗拉期台地边缘造礁生物	层孔虫,藻,微生物和珊瑚,形成多少有点明显的骨架	吉维特期为层孔虫骨架,弗拉期块状和板状层孔虫和微生物
法门期台地边缘造礁生物	钙质微生物和藻,海绵,同生沉积胶结物	微生物,藻,胶结物灰岩,海绵不常见
台地边缘浅滩	主要发育于法门期	法门期有发育

表 2 澳洲坎宁盆地和华南桂林泥盆纪台地边缘水下岩墙特征的比较

Table 2 Comparison of characteristics of underwater dyke in Devonian platform marginal between Canning basin in Australia and Guilin area in South China

	坎宁盆地	桂林地区
位置	Oscar 山脊, Windjana 峡谷	庙门, 汉塘和南边村
倾角	几乎垂直	70°~80°
单个岩墙宽度	小的 5 cm 宽, 大的 20 cm 宽	小的 3~5 cm 宽, 大的 0.8~1.5 m 宽
单个岩墙长度	大多数小于 100 m, 最长的达到 6 km	几十~几百 m
深度	20~80 m	小于 100 m
充填物	肾形微生物, 叠层石, 化石碎屑流, 鲕粒, 灰泥砂, 灰泥, 陆源砂, 放射状方解石, 孔隙球粒, 自生砾石和亮晶球	肾形微生物, 叠层石, 鲕粒, 球粒, 化石碎屑流, 介形虫, 腹足类, 放射状方解石, 灰泥
斑马状结构	不常见	常见

格式.

2 泥盆纪生物礁发育与地层构造形式的关系

坎宁盆地的伦纳德陆棚是一种近岸沉积盆地, 泥盆纪沉积座落在稳定的前寒武纪结晶基底上, 生物礁多发育在原来存在的高地上, 表明前寒武系结晶基底和上覆沉积物有着必然的联系. 泥盆纪生物礁主要形成于弗拉期. 吉维特期的地层发育不全或保存不好. 浅水、近岸和由断裂控制的伦纳德陆棚翼上的泥盆系沉积大都受沿菲茨罗伊海槽 (Fitzroy Trough) 北缘的盖层铰接、断裂体系和一系列北西/南东向、紧邻伦纳德陆棚的半地堑的控制. 断裂作用则控制了断裂下盘陡壁上的沉积体的形状. 菲茨罗伊海槽北缘的下沉速度对伦纳德陆棚上礁系统的发育起着重要的影响, 而海槽的远岸部分不发育碳酸盐台地沉积.

华南的泥盆纪沉积和礁碳酸盐台地不仅受北东向的主断裂控制, 而且受北西向断裂形成的半地堑的地形控制. 这两组断裂系统的叠加造成了华南盆地地形和沉积体形状比起坎宁盆地来更为复杂, 局

部的同沉积断裂活动的影响已在华南的泥盆纪礁沉积物中得到了证实. 沉积盆地中频繁的构造活动导致了断裂带下盘脊上的超覆和不连续的礁(丘)发育. 同沉积断裂、水下隆起和近岸地形控制了近岸环境的生物礁发育和分布. 华南的泥盆纪沉积是连续的, 下部往往为碎屑岩, 上部则为碳酸盐岩. 生物礁在吉维特期和法门期发育较好.

在桂林地区, 礁和礁组合一般发育在早泥盆世至中泥盆世早期的碎屑岩基底上 (Yu and Shen, 1998). 切入早古生代和早泥盆世的北东—南西和北西—南东向的同沉积断裂控制了中、晚泥盆世地层的发育. 由华南海槽中主要基底断裂派生的北东—南西向的断裂是控制泥盆纪生物礁组合发育的主要因素. 生物礁一般沿断裂控制的台地边缘发育, 这些台地边缘与北东—南西和南—北向主断裂控制的下沉的台沟毗连. 微生物礁和丘主要产出在桂林碳酸盐台地背风的一侧 (Shen *et al.*, 1997).

3 密西西比纪生物礁

澳大利亚东部罗克汉普顿 (Rockhampton) 地区密西西比纪 (维宪期) 地层中发育有规模不等的生物

礁,其中蒙托(Monto)地区的 Cannindah 礁灰岩规模最大(厚度大于 146 m),造礁生物类型多样,而且微生物在成礁过程中起着重要的作用. 详细的沉积和古生态研究揭示出 Cannindah 礁灰岩包含五种基本亚相:(1)鲕粒和海百合茎滩相;(2)礁核相;(3)礁内相;(4)礁间相;(5)礁坪相. 礁核相主要由凝块叠层石、微生物、微生物石和微生物包壳和藻沉积物构成,这些沉积物包含海绵、皱纹珊瑚、床板珊瑚和苔藓虫. 生物礁发育在浅水、鲕—海百合茎的滩上. 凝块叠层石贡献于生物礁初期的定殖,稍后,单体珊瑚、皱纹珊瑚和床板珊瑚拓殖在凝块叠层石沉积物上,形成障积岩和骨架岩;在后期阶段,微生物和微生物碳酸盐沉积坚固了礁骨架,最后,似刺毛类、海绵和微生物类成为主要的造礁生物(Shen and Webb, 2005, 2008). Cannindah 礁灰岩在东澳大利亚下石炭世的生物礁中因其厚度大和含有丰富的藻和微生物(肾形微生物、古微松微生物和葛万微生物)及特别的微包壳层(微生物和微叠层石),而有别于同时代生物礁,这些微生物和微包壳层在 Cannindah 礁形成中起着重要的作用(Shen and Webb, 2008). 像其他东澳大利亚密西西比纪的生物礁一样,海绵、凝块叠层石、丛状皱纹珊瑚和笛管珊瑚在造礁过程中也很重要. Cannindah 礁灰岩在造礁生物、礁结构、礁岩性和古地理位置方面既不同于日本西南部秋吉台也不同于华南田林(广西)密西西比纪的生物礁(方少仙和侯方浩,1985)和来宾蒙村至河驴一带的礁前斜坡较深水环境的叠层石丘(Shen and Qing, 2010).

4 讨论

地质时期的碳酸盐岩和生物礁与古气候变迁、海平面升降及地史时期各种生物灭绝有关(Wood, 1999). 晚泥盆世和密西西比纪在生物礁的演化发育史中是一个关键的时刻,因为其包含了重要的生物事件和古气候的变化(Webb, 1996). 区域的和全球的环境参数在这个时段变化剧烈;在晚泥盆世构造活动频繁、加里东碰撞造山时期,海洋和大气变冷并伴随有低海平面沉积体系,碳酸盐台地暴露,古海岸的侵蚀和喀斯特化明显. 生物礁的发育遭受了重大的影响,这表现在发育很好的中古生代生物礁和礁生态系在晚泥盆世法门期的衰退和在密西西比纪维宪期的复苏. 晚古生代(泥盆纪至二叠纪)化石生物礁演化和发育的主要变化发生在晚泥盆世弗拉期和

法门期以及早、中二叠世交界处. 这两个界线分别是由温室向冰室和由冰室向温室的转变点. 晚古生代冈瓦纳冰期(晚泥盆世至早二叠世)已在巴西和南美的一些地区得到证实(Isaacson *et al.*, 2008). 冰期始于晚泥盆世法门期,经石炭纪至早二叠世结束. 在冰室阶段,法门期和杜内期的礁主要由微生物、胶结物和无造架生物的泥丘构成,而晚石炭世和早二叠世则仍以富胶结物的藻(Phylloid algae and Palaeoaplysina)为主.

华南与西澳大利亚坎宁盆地的吉维特期造礁生物组合多少有些不同. 块状、板状层孔虫和块状、丛状皱纹珊瑚在华南的台地边缘礁中形成骨架岩,而钙质微生物在礁前斜坡相中形成叠层石生物层. 在坎宁盆地,虽然层孔虫产出在台地边缘相中,但它们不都形成骨架岩. 华南和坎宁盆地的弗拉期造礁生物组合是相似的,主要有层孔虫、皱纹珊瑚和钙质微生物(Shen *et al.*, 2008). 但是,坎宁盆地的钙质微生物在弗拉期的礁体中比华南盆地更丰富和更重要,丛状珊瑚礁(沈建伟,1996)和葵盘石礁和丘(俞昌民,1988; Shen *et al.*, 2010)只产出在华南桂林地区,而在坎宁盆地还未见有报道. 相同以及基本的钙质微生物和藻类在华南和坎宁盆地的泥盆纪成礁中都扮演着重要的角色,但是,海绵在坎宁盆地泥盆纪生物礁中更常见. 比较华南和坎宁盆地的法门期台地边缘相,不难发现前者由更多的钙质微生物礁类型和浅水滩构成. 两区的泥盆纪造礁生物组合的异同受控于不同造礁生物生长所需的特定古环境、影响不同造礁生物的生物事件、以及与不同海侵—海退旋回相关的区域碳酸盐台地发育和全球海平面变化.

晚泥盆世生物礁和礁组合在世界范围内表现为钙质微生物、微晶微生物岩和生物胶结岩的明显增加,弗拉期/法门期的生物灭绝事件后,后生物几乎消失殆尽,钙质微生物、微生物岩和生物胶结岩成为礁岩的主要成分,只是在法门晚期出现少量层孔虫和海绵. 层孔虫在泥盆纪/石炭纪生物事件后完全绝灭,杜内期是晚泥盆世至密西西比纪生物礁最不发育的时期,微生物岩成为主要的礁岩类型,后生物很少,而法门期常见的钙质微生物在这一时期也明显减少. 维宪期开始后后生物又成为生物礁的主要建造者,钙质微生物和微生物岩也很普遍,但后生物和钙质微生物的类型与晚泥盆世比较已明显不同,泥盆纪的主要造礁生物层孔虫绝灭,大多数的晚泥盆世的钙质微生物(如 *Epi phyton*, *Paraepi pho-*

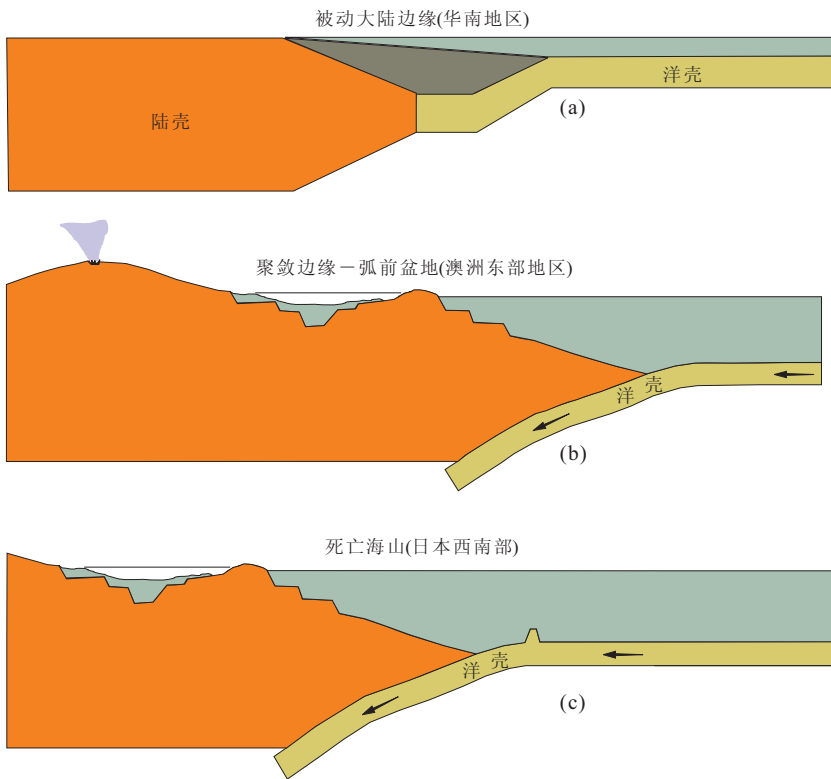


图 7 密西西比纪东澳大利亚、华南和日本不同活动性大陆边缘类型示意

Fig. 7 Sketch map of different active continental margin types in eastern Australia, South China and Southwest Japan, Mississippian time

ton 等)消失,只有 *Renalcids* 继续成为造礁的主要钙质微生物. 西澳大利亚、东澳大利亚和华南泥盆纪和石炭纪的沉积基本都是连续的,而日本秋吉台缺失泥盆纪和杜内期的沉积. 西澳大利亚坎宁盆地和华南广西在晚泥盆世最晚期和密西西比纪最早期都有一次海平面明显下降的记录,这和泥盆纪/石炭纪之交的全球海平面下降是一致的,前者在密西西比纪早期出现潮上、潮间和潮道的砂岩和粉砂岩沉积,而后者泥盆纪至密西西比纪则为连续的海相碳酸盐沉积. 东澳大利亚蒙托-罗克汉普顿由于处在汇聚板块边缘火山弧前盆地,晚泥盆世和密西西比纪发育了一套火山碎屑为主的沉积,不过从密西西比纪开始发育有不等规模的碳酸盐沉积,并有生物礁形成.

虽然华南在密西西比纪发育有广阔的碳酸盐台地,但密西西比纪生物礁很少产出. 然而,小规模、浅水环境的补丁礁常见于东澳大利亚密西西比纪地层分散产出的鲕和海百合灰岩层段中,日本现今死亡的海山顶部产出有维宪期礁灰岩. 与特定的古环境条件相关的不同盆地类型中的不同地层和构造格架造成了上述密西西比纪生物礁的差异. 在密西西比

纪时,东澳大利亚是一个活动的汇聚边缘,发育了与火山活动相关的弧前盆地. 然而,华南的大部分地区在密西西比纪时是被动大陆边缘,与张裂、断陷和下沉有关的克拉通前盆地从泥盆纪时持续发育. 日本的密西西比纪生物礁主要生长在泛古大洋(Panthalassa)时期死海山的顶部(Sano and Kanmera, 1996),是一种特殊的成礁环境.

东澳大利亚的大多数密西西比纪礁是几米厚的小补丁礁,而巨大的 Cannindah 礁灰岩在其中是非常特殊的. 这种厚层的生物礁被认为形成于当弧前盆地处于下面 3 种沉积状态时:(1)在粗陆源物质沉积的长间断时期;(2)在火山活动减弱和火山产生的碎屑沉积速率下降的时期;(3)在远岸,如弧前盆地的主要沉积中心. 其他密西西比纪生物礁发育在弧前盆地的最北部分和西缘并且靠近火山带,而且它们的形成时间相对较晚,是在维宪最末期的小海退和火山活动复苏阶段,这些因素对生物礁的发育不利.

密西西比纪东澳大利亚北部弧前盆地、华南被动大陆边缘盆地和日本古泛大洋中海山不同造礁生物组合和生物礁发育规模是由于这些礁生长在

不同的古地理位置上(图7),这与不同的海水循环和能量、营养供应和陆源沉积物注入有关。密西西比纪时,华南被动大陆边缘盆地发育有很广泛的碳酸盐沉积,但生物礁却很少,这似乎很难理解,可能的解释是:

(1)与极地冰川事件和全球温度下降一致的重大气候和海平面波动的结果,其影响了正常的碳酸盐陆架环境,但没有影响到不正常的成礁环境,如活动的汇聚边缘和远岸的海洋山;(2)陆块融合成一个古陆横跨赤道的结果,其限制了海水循环和排除了赤道流的可能性(Copper, 1986)。华南地块和 Qamdo-Simao 地体是从冈瓦纳分离出来(Metcalf, 1996)而横跨古赤道的。华南密西西比纪碳酸盐陆架以局限环境条件和频繁的陆源沉积物注入为特征,这明显不利于生物礁生长;(3)后断陷晚期阶段的结果,在这个阶段控制沉积的断裂产生的地形差异不明显。如前所述,华南密西西比纪沉积是泥盆纪断陷盆地中沉积的继续,这种断陷作用在华南始于洛赫考夫和布拉格期,经过埃姆斯期一直发展到法门中期的同断陷和后断陷早期阶段。在密西西比纪的后断陷晚期阶段,由于同沉积断裂的不活动和陆源沉积物对同沉积断裂作用造成的地形差异的直接沉积补偿,陆架上的相分异不明显。

5 结论

(1)板块构造控制了基本的中、晚泥盆世和密西西比纪生物礁的全球分布。断陷带、海底扩张和地壳碰撞控制了海洋的形成和古陆向赤道水域的运动,也影响了气候并产生和去除了海洋生物幼虫扩散的障碍体。

(2)礁生长受多种全球因素的共同作用控制,包括构造—地层、海平面变化和气候旋回、以及单向演化的物理—化学和生物体系。

(3)西澳大利亚坎宁盆地的泥盆系沉积大都受沿菲茨罗伊海槽北缘的盖层铰接、断裂体系和一系列北西/南东向、紧邻伦纳德陆棚的半地堑的控制。华南的泥盆纪沉积和礁碳酸盐台地不仅受北东向的主断裂控制,而且受北西向断裂形成的半地堑的地形控制。这两组断裂系统的叠加造成了华南盆地地形和沉积体形状比坎宁盆地更为复杂。

(4)密西西比纪时东澳大利亚是一个活动的汇聚边缘,发育了与火山活动相关的弧前盆地,华南为被动大陆边缘,发育与张裂、断陷和下沉有关的克拉

通前盆地,而日本秋吉台为泛古大洋时期死海山的顶部,因此,与特定的古环境条件相关的不同的盆地类型中的不同地层和构造格架造成了上述密西西比纪生物礁的差异。

(5)与基底断裂和同沉积断裂相关的区域构造形式控制了局部的盆地结构、地形、水深和陆源沉积物供应,也决定了下沉速度和沉积体形成,并进而影响产生物礁的碳酸盐台地的发育。

References

- Adams, A. E., 1984. Development of algal-foraminiferal-coral reefs in the Lower Carboniferous of Furness, Northwest England. *Lethaia*, 17(3): 233—249. doi: 10.1111/j.1502-3931.1984.tb01623.x
- Ahr, W. M., Jr Stanton, R. J., 1994. Comparative sedimentology and palaeontology of Waulsortian mounds and coeval level-bottom sediments of the lower Lake Valley Formation (Lower Mississippian) in the Sacramento Mountains (New Mexico, USA). *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 50: 11—24.
- Antoshkina, A. I., 1998. Organic buildups and reefs on the Palaeozoic carbonate platform margin, Pechora Urals, Russia. *Sedimentary Geology*, 118(1—4): 187—211. doi: 10.1016/S0037-0738(98)00012-8
- Bancroft, A. J., Somerville, I. D., Strank, A. E., 1988. A bryozoan buildup from the Lower Carboniferous of North Wales. *Lethaia*, 21(1): 51—65. doi: 10.1111/j.1502-3931.1988.tb01753.x
- Copper, P., 1986. Frasnian/Famennian mass extinction and cold water oceans. *Geology*, 14(10): 835—839. doi: 10.1130/0091-7613(1986)14<835:FMEACO>2.0.CO;2
- Dix, G. R., James, J. P., 1987. Late Mississippian bryozoan/microbial build-ups on a downed karst terrain: Port au Port Peninsula western Newfoundland. *Sedimentology*, 34(5): 779—793. doi: 10.1111/J.1365-3091.1987.tb00802.x
- Drummond, B. J., Sexton, M. J., Barton, T. J., et al., 1991. The nature of faulting along the margins of the Fitzroy trough, Canning basin, and implications for the tectonic development of the trough. *Exploration Geophysics*, 22: 111—116.
- Fang, S. X., Hou, F. H., 1985. Bryozoan-coral patch reef of Datang age of Carboniferous period of Langping area, Tianling county, Guangxi Province. *Journal of Southwestern Petroleum Institute*, 23(4): 1—15 (in Chinese with English abstract).

- Glinski, A. , 2001, Tryplasma (Anthozoa, Rugosa) im Mittel-Devon der Eifel (Rheinisches Schiefergebirge, Deutschland). *Senckenbergiana Lethaea*, 81 (1): 71 — 89. doi: 10. 1007/BF03043295
- Isaacson, P. E. , Diaz-Martínez, E. , Grader, G. W. , et al. , 2008. Late Devonian-earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 268(3—4): 126—142. doi: 10. 1016/j. palaeo. 2008. 03. 047
- Kennard, J. M. , Jackson, M. J. , Romine, K. K. , et al. , 1994. Depositional sequences and associated petroleum systems of the Canning basin, W. A. . In: Purcel, P. G. , Puecel, R. R. eds. , The Sedimentary basin of western Austral. Proceedings of Petroleum Exploration Society of Australia Symposium, Perth, 657—676.
- Kuznetsov, V. G. , 1996. Evolution and cyclicity of reef formation in Russia and in adjacent countries. *Lithology and Mineral Resources*, 31(2): 101—111.
- Metcalf, I. , 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43 (6): 605 — 623. doi: 10. 1080/08120099608728282
- Nakazawa, T. , 2001. Carboniferous reef succession of the Panthalassan open-ocean setting: example from Omi Limestone, Central Japan. *Facies*, 44(1): 183—210. doi: 10. 1007/BF02668174
- Playford, P. E. , Hocking, R. M. , Cockbain, A. E. , 2009. Devonian reef complexes of the Canning basin, western Australia. *Geological Survey of Western Australia, Bulletin*, 145: 444. doi: 2113/gsecongeo. 104. 6897
- Sano, H. , Kanmera, K. , 1996. Microbial controls on Panthalassan Carboniferous-Permian Oceanic Buildups, Japan. *Facies*, 34 (1): 239 — 256. doi: 10. 1007/BF02546167
- Shen, J. W. , 1996. Coral reef of Frasnian, late Devonian, Houshan of Guilin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14 (2): 75—131 (in Chinese with English abstract).
- Shen, J. W. , Qing, H. , 2010. Mississippian (Early Carboniferous) stromatolite mounds in a fore-reef slope setting, Laibin, Guangxi, South China. *International Journal of Earth Sciences*, 99: 443 — 458. doi: 10. 1007/s00531 — 008—0392—2
- Shen, J. W. , Webb, G. E. , 2005. Metazoan-microbial framework fabrics in a Mississippian (Carboniferous) coral-sponge-microbial reef, Monto, Queensland, Australia. *Sedimentary Geology*, 178(1—2): 113 — 133. doi: 10. 1016/j. sedgeo. 2005. 03. 011
- Shen, J. W. , Webb, G. E. , 2008. The role of microbes in reef building communities of the Cannindah limestone (Mississippian), Monto region, Queensland, Australia. *Facies*, 54 (1): 89—105. doi: 10. 1007/s10347—007—0116—2
- Shen, J. W. , Webb, G. E. , Jell, J. S. , 2008. Platform margins, reef facies, and microbial carbonates: a comparison of Devonian reef complexes in the Canning basin, western Australia, and the Guilin region, South China. *Earth—Science Reviews*, 88: 33 — 59. doi: 10. 1016/j. earscirev. 2008. 01. 002
- Shen, J. W. , Webb, G. E. , Qing, H. , 2010. Microbial mounds prior to the Frasnian-Famennian mass extinctions, Hantang, Guilin, South China. *Sedimentology*, 57 (7): 1615—1639. doi: 10. 1111/j. 1365—3091. 2010. 01158. x
- Shen, J. W. , Yu, C. M. , Bao, H. M. , 1997. A late-Devonian (Famennian) Renalcis-Epiphyton reef at Zhaijiang, Guilin, South China. *Facies*, 37 (1): 195 — 210. doi: 10. 1007/BF02537379
- Stephens, N. P. , Sumner, D. Y. , 2003. Famennian microbial reef facies, Napier and Oscar ranges, Canning basin, western Australia. *Sedimentology*, 50: 1283—1302. doi: 10. 1046/j. 1365—3091. 2003. 00605. x
- Torsvik, T. H. , Van der Voo, R. , 2002. Refining Gondwana and Pangea palaeogeography: estimates of Phanerozoic non-dipole (octupole) fields. *Geophys. J. Int.*, 151(3): 771—794. doi: 10. 1046/j. 1365—246x. 2002. 01799. x
- Tsien, H. H. , Hou, H. F. , Zhou, W. L. , et al. , 1988. Devonian reef development and palaeogeographic evolution in South China. In: Mcmillian, N. J, Embry, A. F. , Glass D. J. , eds. , Devonian of the world: Proceedings of 2nd International Symposium on Devonian System. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. , 14: 619—634.
- Whalen, M. T. , Eberli, G. P. , Van Buchem, F. S. P. , et al. , 2000. Bypass margins, basin-restricted wedges, and platform-tobasin correlation, Upper Devonian, Canadian Rocky Mountains: implications for sequence stratigraphy of carbonate platform systems. *Journal of Sedimentary Research*, 70 (4): 913 — 936. doi: 10. 1306/2DC40941—DE47—11D7—8643000102C1865D
- Webb, G. E. , 1996. Was Phanerozoic reef history controlled by the distribution of non-enzymatically secreted reef carbonates (microbial carbonate and biologically induced cement)? *Sedimentology*, 43(6): 947—971. doi: 10. 1111/j. 1365—3091. 1996. tb01513. x
- Webb, G. E. , 1998. Earliest known Carboniferous shallow-water reefs, Gudman Formation (Tn1b), Queensland, Australia: implications for Late Devonian reef collapse and recovery. *Geology*, 26(10): 951—954. doi: 10. 1130/

0091—7613(1998)026<0951;EKCSWR>2. 3. CO;2

- Webb, G. E. , 1999. Youngest Early Carboniferous (late Visean) shallow-water patch reefs in eastern Australia (Rockhampton Group, Queensland): combining quantitative micro-and macroscale data. *Facies*, 41: 111—140.
- Wood, R. , 1999. Reef evolution. Oxford University Press, Oxford, 414.
- Yu, C. M. , 1988. the late Devonian (Famennian) receptaculitids from Guilin, Guangxi, South China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 27(2): 238—248 (in Chinese with English abstract).
- Yu, C. M. , Shen, J. W. , 1998. Devonian reefs and reef complexes in Guilin, Guangxi, China. Jiangsu Science and Technology Press, Nanjing, 168.
- Zhang, Z. M. , Liou, J. G. , Coleman, R. G. , 1984. An outline of the plate tectonics of China. *Geological Society of America Bulletin*, 95: 295—312. doi: 10. 1130/0016—

7606(1984)95<295; AOOTPT>2. 0. CO;2

- Zhao, X. , Allen, M. B. , Whitham, A. G. , et al. , 1996. Rift-related Devonian sedimentation and basin development in South China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 14 (1): 37—52. doi: 10. 1016/S0743. 9547 (96) 00020—7

附中文参考文献

- 方少仙, 侯方浩, 1985. 广西田林县浪平公社甘洞子石炭纪大塘期的苔藓虫—珊瑚格架礁. 西南石油学院学报, 23 (4): 1—15.
- 沈建伟, 1996. 广西桂林晚泥盆世弗拉斯期珊瑚礁. 沉积学报, 14 (2): 75—81.
- 俞昌民, 1988. 广西桂林晚泥盆世法门期葵盘石类. 古生物学报, 27(2): 238—248.