

文章编号: 1009-6248(2008)01-0044-06

# 微生物碳酸盐岩研究进展及存在的问题

段凯波<sup>1,2</sup>, 段东生<sup>1</sup>, 陈留勤<sup>1,2</sup>, 刘茂福<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;  
2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 通过对国内外有关微生物碳酸盐岩的成因、分类资料的广泛阅览和对比分析, 发现以蓝藻菌、减硫酸盐细菌、产甲烷细菌为主的微生物在新陈代谢过程中能够改变水体的物理化学条件而促使  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  发生沉积, 或是对外来碎屑进行捕捉和粘附, 或是发生自身钙化, 从而引导微生物碳酸盐岩的形成。依据形成机制和宏观构造将微生物碳酸盐岩划分为叠层石、凝块石、树形石和均一石, 初步建立了微生物碳酸盐岩的分类体系, 是碳酸盐沉积学中的重大进展。另外, 应将同样具有特殊宏观构造和重大地质意义的核形石、纹理石与叠层石、凝块石、树形石和均一石并列, 归为微生物碳酸盐岩。

**关键词:** 微生物碳酸盐岩; 形成机制; 分类

**中图分类号:** P588.24 **文献标识码:** A

在浅、清、温的海洋和湖泊水体中, 甚至是在几千米的深海底, 微生物的生命活动无时不有, 这种生命过程伴随着新陈代谢, 一方面维系了微生物自身的生存和物种繁衍, 另一方面改变了水体的沉积环境。

早期, 许多学者认为碳酸盐岩是泥晶基质直接从水中沉淀出来的化学岩, 这是基于对巴哈马湖的碳酸盐泥的解释, 认为是高盐度和高温导致了镁方解石和文石的化学沉淀。目前, 国内外众多沉积学者和生物学者研究表明, 大多数碳酸盐岩的形成都或多或少地受到微生物作用的影响, 统称为微生物碳酸盐岩。早在 1879 年英国地质学家 Sorby 在研究古生代以来的灰岩时就发现生物化石占很大比例, 认为生物对碳酸盐岩的形成具有控制作用(索比原理)。Kalkowsky (1908) 在描述德国 Harz 山脉早三叠纪沉积岩时创立了“叠层石”这一术语, 发

现该类型的沉积岩呈柱状、锥状形态, 内部具纹层构造, 并确认为微生物成因。近二十年来关于深水环境中冷/热泉口的微生物群所形成的碳酸盐岩的发现(冯东等, 2005), 以及室内有关微生物碳酸盐岩实验的成功, 使地质学者对微生物碳酸盐岩了解愈加清楚。

## 1 微生物碳酸盐岩的形成机制

众多的研究都表明微生物在生命活动中会引起水体环境的物理化学条件发生变化, 或者在沉积物表面生长及死亡后发生钙化都会控制和影响碳酸盐岩的沉积。

### 1.1 自氧微生物控制的沉淀

在众多的微生物种类中, 需氧性生物蓝藻菌具有重要的沉积学意义。大部分蓝藻菌生活在潮上和

收稿日期: 2007-07-23; 修回日期: 2007-10-30

基金项目: 国家自然科学基金会资助项目(49802012, 40472065)的成果之一

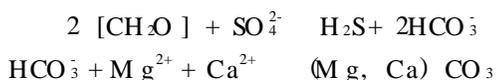
作者简介: 段凯波(1983-), 男, 中国地质大学硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事沉积学与油气资源方面的研究。通讯地址: 100083, 北京海淀区学院路 29 号, 中国地质大学; 电话: 010-82320876; E-mail: duankaibo@sina.com。

潮间的浅水环境中 (Flügel, 2004), 它可以利用阳光, 吸收水体中的  $\text{CO}_2$  或  $\text{HCO}_3^-$  进行光合作用, 从而增加了微环境中的 pH 值, 促使  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  发生沉淀 (Riding, 1991a; 温志峰等, 2004)。另外, 蓝藻菌自身及其分泌的粘液外壳可以发生钙化, 底栖丝状蓝藻细菌的粘附、钙化和保存作用对叠层石、核形石和凝块石等的形成具有重要的作用。Kazmierczak 等 (1996) 认为, 许多侏罗纪泥晶和球粒灰岩是各种致密的钙化的底栖球状蓝藻细菌的产物, 并且提出许多生物礁中的微晶胶结物是蓝藻细菌的钙化物。超饱和条件下的微相中藻丝体结壳形成固体泥晶管, 在低浓度水体中由光合作用形成的重碳酸盐导致了层内泥晶的沉淀, 由于蓝藻菌作用, 碳酸钙围绕死去的蓝藻体沉淀形成了现代微生物坪和古代的叠层石中球状颗粒和似球粒。

## 1.2 化能营养生物的碳酸盐沉淀

化能营养微生物主要为减硫酸盐细菌、硫氧化细菌、产甲烷菌等。这些细菌能够占据浅水环境, 也能够生活在黑暗的深水环境, 它们对碳酸盐岩的影响主要是通过减硫酸盐作用、硫化作用和甲烷生成等完成, 将有机物分解为无机物并获取能量维持生存, 同时也改变了环境的物理化学条件 (戴永定, 1994)。

Wright 对白云石的形成投入了大量的研究工作, 他反对传统且流行的水驱动白云石形成的模式, 因为这种模式与盐溶液中化学动力学的基本原理相违背。通过实验他发现细菌减硫作用消耗了水体中的硫酸根离子, 使得  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  相对浓度增大, 另外碳酸根离子的浓度还增大至正常海水浓度的 100 倍左右 (Wright, 1999, 2000, 2005), 对白云石的形成起了重要作用。在低温和缺氧高盐的条件下, 减硫酸细菌可以引导钙白云石和高镁方解石的形成 (van Lith et al., 2003)。因此, 微生物的调节也是白云石的一种形成模式 (Vasconcelos et al., 1995, 1997), 这一结论可能对地球早期厌氧细菌引导白云石形成的认识具有重要意义 (Warthmann, et al., 2000)。



Cavagna 通过对意大利西北部 Monferrato 地区冷泉口碳酸盐岩露头地研究, 发现其形成与成岩作用中微生物的调节有关, 这些微生物群包括减硫

酸盐细菌、硫氧化细菌和产甲烷细菌, 其中明显的微生物钙化沉积构造有硫氧化细菌所产生的管状白云石和杆状黄铁矿, 另外一些特征还可指示微生物块状体与席状体具有捕捉外来沉积物的能力, 微晶方解石、具有不规则核心的白云石、哑铃状核心的球状白云石以及纹层状碳酸盐岩的形成都受微生物调节 (Cavagna et al., 1999)。Robert 通过野外观察和室内实验研究发现, 微生物首先风化释放  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  成为稀溶液, 在低温条件下, 白云石的沉积开始于产甲烷细菌的新陈代谢和晶体的成核作用, 这似乎也可以解释“白云石问题” (Robert et al., 2004)。

由于对阳光没有要求, 化能营养细菌控制的原地泥晶的沉淀不仅出现在浅水环境, 而且还存在于潮下带, 隐藻礁生物栖息地以及局限深盆地中 (Flügel, 2004), 一般认为碳酸盐岩产于浅水环境, 这种细菌对碳酸盐岩形成的控制可以解释透光带以下深水环境中的古生代泥丘问题。

## 1.3 生物泥晶的形成

生物泥晶的形成受固钙生物高分子控制, 现代方解石原地泥晶的形成是在环境保持元素平衡的条件下形成的。有机大分子在此起了关键作用, 这些有机质来自微生物、自由有机质和腐烂有机体中的特殊组分, 是由 Reitner (1993) 在研究大堡礁中蜥蜴岛礁洞中固结的生物堆积时发现的。这些生物堆积体是在黑暗的条件下形成的, 缺乏光养生物, 是由来自生物堆积体的有机高分子控制了碳酸盐岩的形成。这些高分子具有吸附二价阳离子的能力, 主要是  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$ , 沉淀时所需要的 pH 值条件主要是靠微生物生命活动调节 (Reitner, 1993; 戴永定等, 1994, 1996; Flügel, 2004)。生物泥晶的垂向生长具有凝块石、核形石、均一石、叠层石和块状硬底构造。

## 2 Riding 的微生物碳酸盐岩的分类

在野外, 不同微生物碳酸盐岩的宏观构造明显并易于识别。过去有的学者把微生物碳酸盐中的凝块石称为花纹石, 把与它共生的核形石统称为微植石 (杜汝霖, 1992), 陈晋镛则将具有凝块结构的凝块石称为斑粒石 (陈晋镛, 1994), 但目前都没有得到广泛的认可。Walter (1976) 发表关于叠层石的文

章在 20 世纪 70 年代得到认可, 随着具有斑块状构造的“凝块石”这一术语逐渐被学者接受, 当涉及到纹层状叠层石和斑块状凝块石时, 需要一个更广泛的术语来囊括 (Awramik et al, 1974)。于是 Burne 和 Moore (1987) 提出了一个全新的概念: 微生物碳酸盐岩, 也叫微生物岩 (Microbialite)。这一术语不仅包括叠层石和凝块石, 而且后来还创造性地应用于其他宏观构造: 树枝状的树形石 (Riding, 1991b) 和隐晶质的均一石 (Braga, 1995)。据此 Riding (2000) 将微生物碳酸盐岩划分为叠层石、凝块石、树形石和均一石四类。

### 2.1 叠层石

1908 年 Kalkowsky 命名“叠层石”就认识到它具有纹层构造和生物成因两个重要特征, 但并没有赋予它精确的定义。直到 20 世纪 70 年代研究才表明: 并不是所有的微生物沉积都显示纹层。在一些古代微生物碳酸盐岩中证明存在生物迹象具有很大的难度 (Walter, 1976)。于是出现了两种观点: 一种观点是把叠层石扩展为包括所有与宏观构造无关的微生物沉积岩 (Awramik et al, 1974); 另一种观点则试图避开叠层石的生物成因问题, 即只要有纹层构造就可归为叠层石, 该定义可应用于生物和非生物的层状沉积 (Semikhatov, 1979)。这两种观点分别仅强调 Kalkowsky 叠层石双重特征的一个方面, 后者的观点否认了叠层石重要的微生物本质, 将叠层石与一些钙质结壳、洞穴堆积物, 甚至泥质碎屑岩沉积都等价起来, 因此其意义不大。目前国内大多数学者关于叠层石的概念与 Kalkowsky 提到的基本一致, 这样看来, Kalkowsky 关于叠层石的概念较为贴切 (Riding, 2000)。

叠层石整体一般呈丘状和柱状, 在各个地质时期均有分布, 广泛存在于碳酸盐岩中。不同的叠层石其形成过程、组分以及纹层质量方面差异很大, 纹层构造的增长和季节性生长与周期性沉积有关。前寒武纪叠层石一般具有清晰连续的纹层, 存在于潮上或潮间环境的叠层石经常由于干燥或生物扰动而使纹层变得模糊或紊乱。

根据宏观组构和形成机制可将叠层石进行次一级的划分: 骨骼叠层石: 由钙化的微生物化石组成, 化石可以是生物膜或微生物的其他部分, 也可以是微生物席捕捉的颗粒和早期的胶结物, 微生物以蓝绿藻为主。广泛发育于古生代和中生代海洋环

境。粘结核叠层石 (Riding, 1991b): 由微生物席捕捉和粘结核泥级至砾级颗粒沉积物而产生, 粗颗粒含量较高常使纹层显得更粗糙, 这些生物丘体和柱体由颗粒相互胶结而成。细密纹层叠层石: 这种叠层石在前寒武纪比较常见, 由于缺乏直接的化石证据和现代岩层的对照物, 对它的形成机制的解释还具有一定的难度。纹层相对比较连续、细密和清楚, 可以出现在从潮湿滨岸到干旱萨布哈的各种热带环境中, 潮间带的细密纹层叠层石大部分由细颗粒组成。泉华叠层石: 呈团块状, 主要由河流中钙化的蓝藻菌形成, 也包括刚毛藻、无隔藻和链瘤藻等, 席底之上又接受其他外来矿物颗粒的沉积。陆地叠层石: 由苔藓等微生物生命活动而形成的层状钙质结壳, 一般认为是由蒸发作用造成  $\text{CaCO}_3$  在结壳发生沉淀 (Riding, 2000)。

### 2.2 凝块石

凝块石是以加拿大南部落基山寒武—奥陶纪岩石为依据命名的 (Aitken, 1967)。跟叠层石一样, 凝块石也是由微生物钙化和粘结核颗粒组成, 形成整体显示丘状、柱状和层状的岩层。不同的是, 凝块石具有肉眼可见的斑块构造, 在颜色和组构上与周围岩石存在明显的区别, 大至米级的圆顶状凝块石集合体形似帽状, 主要分布在潮坪环境中, 在元古宇和寒武系界线附近很常见, 并且在整个寒武纪—早奥陶世都很重要 (Kennard, 1994), 古近纪和新近纪的凝块石一般都受到后生动物干扰作用而形成 (Walter et al, 1985)。晚元古—早古生代的凝块石是否为后生动物对叠层石扰动而形成的观点仍存在争议, 存在的证据是早古生代凝块石有大量明显的骨骼化石。Feldman 和 McKenzie (1998) 认为古老的凝块石代表真核生物的结构。根据组构可将凝块石划分为微生物钙化凝块石、粗粒粘结核凝块石、树枝状凝块石、泉华凝块石和后沉积凝块石。其中, 树枝状凝块石可看作是凝块石到树形石的过渡, 呈分米级树枝构造, 而树形石常为厘米级大小。后沉积凝块石是同沉积形成的凝块石在后期受到重结晶作用和 (或) 交代作用而增大的 (Riding, 2000)。

### 2.3 树形石

树形石 (Riding, 1991b) 具有肉眼可见的厘米级灌木丛状构造, 一般由微生物钙化形成, 很难由颗粒粘结核而成。与叠层石和凝块石一样, 树形石也可构成大型的丘状体和柱状体以及帽状体。另外与

凝块石类似的是: 树形石也由不同的颜色、组分和结构组成, 而且不显示纹层构造, 但凝块石一般呈不规则的圆块状, 而树形石呈直立或放射状排列的树丛状或树枝状。但在切面上, 凝块石跟树形石的形状相似。树形石尺度一般小于凝块石, 大型树形石有时被看作凝块石。最早的树形石保存在下寒武统中, 广泛分布于寒武纪—早奥陶世和晚泥盆世岩层中 (Riding, 2000)。

## 2.4 均一石

均一石这一名字来源于西班牙东南部中新世岩石 (Braga et al, 1995), 相对而言缺乏宏观构造, 呈隐晶质或泥晶质, 可能反映了微生物的不规则生长, 可形成与叠层石和凝块石相关的大型丘体, 在野外有时与纹层不明显的叠层石难以区别 (高建平等, 1998; Riding, 2000)。

## 3 对微生物碳酸盐岩分类的补充

微生物作用在碳酸盐岩建造中起了举足轻重的作用, 然而由于微生物种类和数量的多样性, 以及微生物对碳酸盐岩作用的复杂性, 对微生物碳酸盐岩形成过程的认识有待进一步加深。

叠层石在前寒武纪分布广泛, 具有清晰的纹层构造, 其特征指示叠层石明显属于微生物碳酸盐岩, 但一直以来, 国内外学者没有在前寒武纪叠层石中发现钙化的微生物, 这就是沉积学中的“前寒武纪叠层石之谜” (Riding, 2000; 王勇, 2006)。这一基本而又重要的问题没有得到解决, 引起沉积学家开始重新思考叠层石的成因, 叠层石究竟是否属于微生物碳酸盐岩? 一些学者认为叠层石为非生物成因, 但更多的学者还是趋向于承认叠层石的微生物成因并试图寻找钙化微生物失踪的原因。

核形石一般呈球状和椭球状, 毫米至厘米级大小, 由核心和纹层构成, 纹层围绕核心层层生长而显示同心纹层状, 核心物质以藻碎片、藻类结粘体、灰岩屑等为主, 核形石通过藻类为主的微生物以核心为基础进行生长和分泌粘液而粘结碎屑加积作用而形成 (李熙哲等, 2000; 王尚彦等, 2002), 一般认为核形石为“球状叠层石” (Riding, 2000)。显然, 核形石是微生物碳酸盐岩, 但因具有独特的宏观构造且单独产出而与叠层石相区别, 因此, 核形石不应该看作“球状叠层石”, 而应该与叠层石、凝块石、

树形石和均一石一并纳入到微生物碳酸盐岩的分类体系中 (表 1)。另外, 纹理石是一种发育纹理化构造的碳酸盐岩, 广泛分布于各个地质时代。梅冥相等 (2006) 认为, 纹理构造代表了未受改造的微生物席, 显示了“灾后泛滥” (梅冥相等, 2007) 的特点而具有重要的地质意义, 这样看来, 纹理石似乎也归入微生物碳酸盐岩类型中 (表 1)。

表 1 微生物碳酸盐岩分类表

Tab. 1 Classification of Microbialites

微生物碳酸盐岩	<i>Microbialite</i>
叠层石	<i>Stromatolite</i>
凝块石	<i>Thrombolite</i>
树形石	<i>Dendrolite</i>
均一石	<i>Leiolite</i>
核形石	<i>Oncolite</i>
纹理石	<i>Laminite</i>

尽管碳酸盐岩的矿物组分非常简单, 但是碳酸盐岩的形成过程很复杂, 尤其是一些碳酸盐岩的生物作用更未得到圆满的解释, 导致碳酸盐沉积学中许多谜一样的问题的出现, 这也使得目前已建立的灰岩成因结构分类具有不完善性。只有深刻揭示成因联系分类才是最科学的分类, 微生物碳酸盐岩的分类将会随着认识的深入而日趋完善。

## 参考文献 (References):

- 王尚彦, 王宁, 罗永明, 等. 贵州关岭上三叠统瓦窑组中碳酸盐岩结核形成的生物作用 [J]. 地质通报, 2002, 21 (12): 855-857.
- 王勇. “白云岩问题”与“前寒武纪之谜”研究进展 [J]. 地球科学进展, 2006, 21 (8): 857-861.
- 冯东, 陈多福, 苏正, 等. 海底天然气渗漏系统微生物作用及冷泉碳酸盐岩的特征 [J]. 现代地质, 2005, 19 (1): 26-32.
- 李熙哲, 管守锐, 谢庆宾, 等. 平邑盆地下第三系官中段核形石成因分析 [J]. 岩石学报, 2000, 16 (2): 261-268.
- 杜汝霖. 前寒武纪古生物学及地史学 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 36-40.
- 陈晋镛. 论叠层石的地层学意义 [J]. 甘肃地质学报, 1994, 3 (1): 1-10.
- 高建平, 朱士兴. 晋东北地区寒武系微生物岩及其与沉积环境的关系 [J]. 微体古生物学报, 1998, 15 (2): 166-177.

- 梅冥相, 高金汉, 孟庆芬. 从席底构造到第五类原生沉积构造: 沉积学中具有重要意义的概念 [J]. 现代地质, 2006, 20 (3): 413-422.
- 梅冥相. 燕山地区中元古代高于庄组非叠层石碳酸盐岩序列的沉积特征及其重要意义 [J]. 现代地质, 2007, 21 (1): 45-56.
- 温志峰, 钟建华, 李勇, 等. 叠层石成因和形成条件的研究综述 [J]. 高校地质学报, 2004, 10 (3): 418-428.
- 戴永定, 陈孟莪, 王尧. 微生物岩研究的发展和展望 [J]. 地球科学进展, 1996, 11 (2): 209-215.
- 戴永定, 刘铁兵, 沈继英. 生物成矿作用和生物矿化作用 [J]. 古生物学报, 1994, 33 (5): 575-594.
- Aitken J D. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta [J]. *Sedim.*, 1967, 37: 1163-1178.
- Awarik SM, Margulis L. Stromatolite [J]. *New sletter*, 1974, 2: 5-6.
- Braga J C, Martín J M, Riding R. Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, S.E. Spain [J]. *Palaïos*, 1995, 10: 347-361.
- Burne R V, Moore L S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities [J]. *Palaïos*, 1987, 2: 241-254.
- Cavagna S, Clari P, Martire L. The role of in the formation of cold seep carbonates: geological evidence from Monferrato (Tertiary, NW Italy) [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 126 (1-4): 253-270.
- CHEN Jinbiao. On the stratigraphical significance of stromatolites [J]. *Acta Geologica Gansu*. 1994, 3 (1): 1-10.
- DAI Yongding, CHEN Meng'e, WANG Yao. Development and perspective of research for microbialites [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, 11 (2): 209-215.
- DAI Yongding, LI Tiebing, SHEN Jiying. Bio-ore formation and biomineralization [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1994, 33 (5): 575-594.
- FENG Dong, CHENG Duofu, SU Zheng, et al. Characteristics of gold seep carbonates and microbial processes in gas seep system [J]. *Geoscience*, 2005, 19 (1): 26-32.
- Flügel E. *Microfacies of carbonate rocks*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2004, 339-364.
- GAO Jianping, ZHU Shixing. Cambrian microbialites from the northeastern Shanxi Province and their relation to sedimentary environments [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1998, 15 (2): 166-177.
- Kazmierczak J, Coleman M L, Gruszczynski M, et al. Cyanobacterial key to the genesis of micritic and peloidal limestones in ancient seas [J]. *Acta Palaeontologica Polonica*, 1996, 41: 319-338.
- Kennard J M. Thrombolites and stromatolites within shale-carbonate cycles, Middle-Late Cambrian Shannon Formation, Amadeus Basin, central Australia [A]. Bertrand-Sarfati, Monty C. *Phanerozoic Stromatolites II (C)*. Kluwer, 1994: 443-471.
- LI Xizhe, GUAN Shourui, XIE Qingbin, et al. The oncoids genesis in the middle member of the Guanzhong formation of Eocene in Pingyi Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16 (2): 261-268.
- MEI Mingxiang. Sedimentary features and their implication for the depositional succession of non-stromatolitic carbonates, Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in Yanshan area of North China [J]. *Geoscience*, 2007, 21 (1): 45-56.
- MEI Mingxiang, GAO Jinhan, MENG Qingfen. From matground structures to the primary sedimentary structures of a fifth category: significant concepts on sedimentology [J]. *Geoscience*, 2006, 20(3): 413-422.
- Reitner J. Modern cryptic microbialite/Metazoan facies from Lizard Island (Great Barrier Reef, Australia): formation and concepts [J]. *Facies*, 1993, 29: 3-39.
- Riding R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms [J]. *Sedimentology*, 2000, 47 (s1): 179-214.
- Riding R. Calcified cyanobacteria [A]. Riding R. *Calcareous Algae and Stromatolites (C)*. Springer-Verlag, 1991a: 55-87.
- Riding R. Classification of microbial carbonates [A]. Riding R. *Calcareous Algae and Stromatolites (C)*. Springer-Verlag, 1991b: 21-51.
- Roberts J A, Bennett P C, Gonzalez L A, et al. Microbial precipitation of dolomite in methanogenic groundwater [J]. *Geology*, 2004, 32 (4): 277-280.
- Semikhatov M A, Gebelein C D, Cloud P, et al. Stromatolite morphogenesis progress and problems [J]. *Earth Sci.*, 1979, 16: 992-1015.
- Van Lithy Y, Warthmann R, Vasconcelos C, et al. Microbial fossilization in carbonate sediments: a result of the bacterial surface involvement in dolomite precipitation [J]. *Sedimentology*, 2003a, 50: 237-245.

- Van Lith Y, Warthmann R, Vasconcelos C et al. Sulphate-reducing bacteria induce low-temperature Ca-dolomite and high Mg-calcite formation [J]. *Geobiology*, 2003b, 1: 71-79.
- Vasconcelos C, McKenzie J A. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil) [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1997, 67 (3): 378-390.
- Vasconcelos C, McKenzie J A, Bernasconi S, et al. Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperature [J]. *Nature*, 1995, 377: 220-222.
- Walter M R, Heys G R. Links between the rise of the Metazoa and the decline of stromatolites [J]. *Precamb. Res.*, 1985, 29: 149-174.
- WANG Yong. Dolomite problem and Precambrian enigma [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21 (8): 857-861.
- WANG Shangyan, WANG Ning, LUO Yongming, et al. Biological processes for the formation of carbonate concretions in the upper Triassic Wayao formation of Guanling, Guizhou [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21 (12): 855-857.
- Warthmann R, Van Lith Y, Vasconcelos C et al. Bacterially induced dolomite precipitation in anoxic culture experiments [J]. *Geology*, 2000, 28: 1091-1094.
- WEN Zhifeng, ZHONG Jianhua, LI Yong, et al. Current study on genesis and formation conditions of stromatolites [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10 (3): 418-428.
- Wright D T, Wacey D. Precipitation of dolomite using sulphate-reducing bacteria from the Coorong region, South Australia: significance and implications [M]. *Sedimentology*, 2005, 52 (5): 987-1008.
- Wright D T. Benthic microbial communities and dolomite formation in marine and lacustrine environments—a new dolomite model. In: Glenn CR, Prevot-Lucas L, Lucas J, editors. *Marine Authigenesis: From Global to Microbial* [M]. Tulsa, Oklahoma: The Society for Sedimentary Geology Special Publication, 2000, 66: 7-20.
- Wright D T. The role of sulphate-reducing bacteria and cyanobacteria in dolomite formation in distal ephemeral lakes of the Coorong region, South Australia [J]. *Sedimentary Geol.*, 1999, 126: 147-157.

## Progress and Problems in Microbial Carbonates Research

DUAN Kai-bo<sup>1,2</sup>, DUAN Dong-sheng<sup>1</sup>, CHEN Liu-qin<sup>1,2</sup>, LIU Mao-fu<sup>1</sup>

(1. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** By extensively reading, contrasting and analyzing a variety of references of the formation and classification methods for microbial carbonate, it is found that some kinds of microbes, such as cyanobacteria, sulphate-reducing bacteria, methanogenic bacteria and so on, in their metabolic activities can change physiochemical conditions of microenvironment, which results in the precipitation of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , microbes also can catch and adhere allochthonous grains and can be self-calcified, all activities above finally cause the formation of microbial carbonate rocks. On the basis of the formation mechanism and macrofabrics microbial carbonate can be classified into stromatolite, thrombolite, dendrolite and leiolite, which preliminarily established classification system and was a great progress in carbonate sedimentology. In addition, Oncolite and Laminite also with special macrofabrics and important geological significance should belong to microbial carbonates in parallel with stromatolite, thrombolite, dendrolite and leiolite.

**Key words:** microbial carbonate; mechanism of formation; classification