

# 红藻石和蓝藻石概念及分类归属的综述和修订

刘丽, 郭荣涛, 吴和源, 文立坤

(中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 在分析和总结前人对红藻石和蓝藻石研究成果基础上, 结合岩石薄片显微镜下观察实例, 发现在以往碳酸盐岩颗粒分类中没有红藻石和蓝藻石的合适位置。鉴于红藻石重要的成因意义和造礁作用, 有必要明确红藻石的概念和归属。珊瑚藻本身极易钙化, 经生物矿化作用最终保存下来的珊瑚藻屑一直放在生物碎屑中, 而红藻石是由非固着的珊瑚藻构成的钙质独立结核, 因此也可以被划分到生物碎屑中。蓝藻石作为蓝细菌钙化作用的产物, 同时鉴于蓝藻石的广泛存在, 把钙化蓝细菌形成的核形石命名为蓝藻石, 这一重要概念从提出到现在一直被使用。然而蓝绿藻概念已变更为蓝细菌, 蓝藻石的形成与藻类无关, 显然将其称作蓝菌石更加确切。因此, 应将红藻石和蓝藻石分别归为生物碎屑和核形石当中, 并用新的术语蓝菌石替代蓝藻石。其意义在于使红藻石和蓝藻石的概念及归属更为规范, 并为碳酸盐岩颗粒的深入研究提供有益线索。

**关键词:** 碳酸盐岩; 生物碎屑; 红藻石; 蓝藻石; 珊瑚藻; 蓝细菌; 核形石

中图分类号: P58 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2011)02-0137-05

## Review and Modification of Definition and Classification of Rhodoid and Cyanoid

LIU Li, GUO Rong-tao, WU He-yuan, WEN Li-kun

(School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the formers' research results about the rhodoid and cyanoid, there is no suitable position for them in the previous classification of carbonate particle according to the observation of rock slice with microscope. In view of the genetic significance and reef-forming role, it is necessary to give rhodoid and cyanoid a definite concept and position individually. Coralgals are easily calcified, and the finally preserved coralgals detritus is classified as biotritus; however, rhodoid is independent calcareous nodule composed by unattached coralgals, so that it could belong to the biotritus. Cyanoid is the product of cyanobacteria calcification, and in view of the special origin and massive development of cyanoid, the oncolite formed by calcified cyanobacteria is named cyanoid; the above concept has been in use since it was proposed. However, the concept cyanobacteria has substituted for blue-green algae, and then the above concept cyanoid is unsuitable. According to the origin and morphology of rhodoid and cyanoid, it is reasonable to classify rhodoid as bioclast and cyanoid as oncolite, and the new term cyanobacteria corallite is a substitute for cyanoid. The concept and classification of rhodoid and cyanoid could be more normative, and some important clues for the study on carbonate grains are also provided.

**Key words:** carbonate; biotritus; rhodoid; cyanoid; coralgals; cyanobacteria; oncolite

## 0 引言

虽然灰岩具有简单化学成分( $\text{CaCO}_3$ )和矿物组成(文石和方解石)的特点, 但是碳酸盐岩复杂的颗粒类型及由此反映的各种沉积作用和成岩作用特

征, 得到众多学者的持续关注<sup>[1]</sup>。目前, 碳酸盐岩颗粒已经形成包括生物碎屑、包覆颗粒、内碎屑和凝聚颗粒等在内的比较完善的分类系统<sup>[2]</sup>。前人把红藻石和蓝藻石作为单独颗粒类型命名, 把主要由珊瑚藻形成的结核形状的生长支称为红藻石<sup>[3]</sup>, 而将

收稿日期: 2010-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472065; 49802012)

作者简介: 刘丽(1984-), 女, 辽宁辽阳人, 理学硕士研究生, 从事沉积学研究。E-mail: tliuliy@sina.com

含有钙化丝状体的蓝细菌形成的孔层状核形石称为蓝藻石<sup>[4]</sup>。依此类推,其他钙质藻体及其碎屑也应该具有绿藻石、褐藻石等类似的名称。但是这会导致碳酸盐岩颗粒分类概念体系变得更为复杂,甚至可能产生一些不必要的混乱<sup>[4-11]</sup>。红藻石和蓝藻石作为两种具有特殊沉积学意义的碳酸盐岩颗粒类型,对沉积环境、古气候和海平面变化等具有良好的指示作用<sup>[12]</sup>,同时也是生物礁储层重要的组成部分。鉴于红藻石和蓝藻石重要的理论意义和现实意义,有必要对它们的基本涵义和分类位置进行系统研究和总结。

## 1 碳酸盐岩颗粒

到目前为止,碳酸盐岩沉积体系还存在许多成因机制尚未得到明确解释的科学命题,比如凝块石

表 1 碳酸盐岩颗粒的分类体系

Tab. 1 Classification System of Carbonate Grains

颗粒类型	颗粒描述
生物碎屑	完整的或者是破碎的生物骨骼,包括植物碎片、孢粉体、降解的有机质和微体动物化石。粒径 0.5~100 mm
鲕粒	球形或卵形颗粒,平滑的和规则的纹层以一个核心为中心连续包卷而成。纹层可成切线或放射状纤维结构。粒径 0.2~2 mm,一般 0.5~1 mm
包覆颗粒	大小不等,外形不规则的球形包粒。由纹层和核心两部分组成,同心纹层不规则,宽窄不一,核心多为生物碎屑或碳酸盐岩屑。粒径毫米级到厘米级
核形石	
豆粒	大的次球形和不规则外形的颗粒,主要由非生物颗粒和厚的包壳组成,纹层浓密且呈现切向、放射状显微结构,可以无核心。粒径多大于 2 mm
碎屑	成岩或半成岩的碳酸盐岩碎块,来源于盆地中准同生期沉积物的侵蚀作用,并且再沉积在相同的位置。粒径毫米级到厘米级
内碎屑	
外碎屑	来源于沉积区以外的陆地中暴露并遭侵蚀的古代碳酸盐岩碎块。粒径毫米级到厘米级
葡萄石	复合颗粒,由两个或两个以上原先独立的颗粒连结在一起形成的,形成葡萄状或圆形团块。内部颗粒间充填着微晶或亮晶。外形不规则,粒径 0.5~30 mm
凝聚颗粒	富含有机质、没有明显的内部结构和外形的暗色泥晶碳酸盐聚合物。粒径 1~10 cm
团块(凝块石)	
球粒	小的微晶或泥晶碳酸盐凝聚构成的颗粒,一般没有内部结构。次圆形,球形,卵形或不规则形态。粒径 0.02~1 mm

注:引自文献[12]。

## 2 红藻石

为了区分不同成因和不同沉积环境下形成的富有包壳的结核状颗粒,Bosellini 等首先把主要由珊瑚藻组成的结核形状的生长分枝称为红榴石(rhodolite),因为红榴石是石榴子石矿物优先使用,所以后来由 rhodolith 代替<sup>[3]</sup>。到 18 世纪后半叶,红藻石的概念被描述为由珊瑚藻组成的结核(nodule)<sup>[4]</sup>,强调红藻石结核状的形态结构<sup>[5]</sup>。而后,Peryt 提议把主要由珊瑚藻组成兼有其他红藻的结壳颗粒,命名为红藻石(rhodoid)<sup>[6]</sup>。这一概念宽泛地指出红藻石不仅由珊瑚藻形成,也可以由其他红藻形成,而且其形成的时期从前寒武到新生代。

作为一种碳酸盐岩颗粒类型<sup>[13]</sup>、叠层石成因和时空发育<sup>[14]</sup>、臼齿状构造成因模式<sup>[15]</sup>、白云石成因机制<sup>[16]</sup>等,都给碳酸盐岩沉积学研究带来了复杂性。一般来说,对研究对象进行分类的目的有两个:一是从无序状态到有序,加深理解和记忆;二是清楚了解成因过程<sup>[17]</sup>。碳酸盐岩颗粒主要分为骨骼颗粒和非骨骼颗粒(表 1)。非骨骼颗粒大致分为包覆颗粒、内碎屑和凝聚颗粒;骨骼颗粒主要是介壳及骨骼生物产生的生物骨骼型颗粒,也可称为生物碎屑<sup>[2]</sup>。Flügel 把碳酸盐岩颗粒分为生物碎屑(骨粒)、球粒、包壳粒、碎屑和集合颗粒,把红藻石和蓝藻石作为两种较为特殊的碳酸盐结壳状包壳颗粒类型赋予特殊位置并进行系统阐释<sup>[12]</sup>。但是,从表 1 的分类体系中,似乎找不到红藻石和蓝藻石的合理位置,因此两种颗粒类型需要进一步阐述。

在此基础上,Flügel 又把红藻石概念总结为主要由非固着的结壳钙质红藻构成的独立结核,既限定了红藻石的组成又指出了红藻石的形态<sup>[12]</sup>。

红藻石主要是由珊瑚藻组成,珊瑚藻科可分为红筴藻亚科(无节的)和珊瑚藻亚科(有节的)。红筴藻亚科多呈包壳、皮壳、瘤等状,不分枝,多附着生长。珊瑚藻亚科多呈圆柱状,也有棒状、圆锥等状,多固着或直立生长<sup>[12,18]</sup>。珊瑚藻本身极易钙化,经生物矿化作用最终保存下来的珊瑚藻屑一直放在生物碎屑类中,而红藻石的归属却未曾定论。红藻石是由非固着的珊瑚藻构成的独立钙质结核,因此也可以被划分到生物碎屑中。王正瑛等在对碳酸盐岩颗粒分类时并未提到红藻石的概念,而是把绿

藻、红藻、轮藻、硅藻、颗石藻等为主的称藻屑结构,归入到生物结构大类<sup>[19]</sup>。梅冥相等把碳酸盐岩颗粒分为非骨骼颗粒和骨骼颗粒,认为鲕粒、核形石、球粒、团块等属于非骨骼颗粒,而地史时期中几乎每一种介壳及骨骼生物都会产生生物骨骼型颗粒,而广义上的生物硬体本身就是生物碎屑的来源<sup>[2]</sup>。但是考虑到红藻石的形态结构,不能简单的把所有珊瑚藻碎屑都认为是红藻石。由于珊瑚藻本身就是重要的造礁生物,如珠江口盆地中新世流花生物礁中,造礁生物主要是珊瑚藻科,发现11个属41个种<sup>[20,21]</sup>。其中一些具有强烈的披覆黏结性和抗浪性,这些珊瑚藻可以称为生物碎屑(骨粒),但是它们不能被称为红藻石。从上述研究可以看出红藻石概念具有争议性。

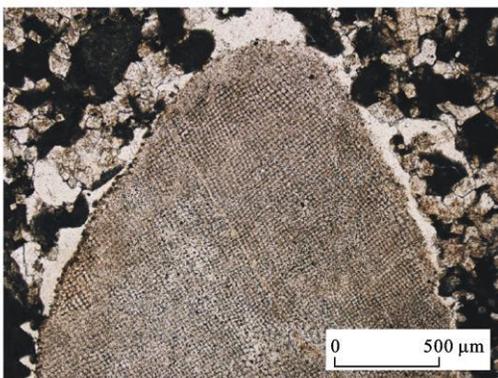
因为组成红藻石的珊瑚藻具有细网状结构<sup>[22]</sup>,所以可以通过非常细小微晶网的显微结构轻易识别红藻石<sup>[12]</sup>。如在土库曼斯坦上侏罗纪牛津阶生物礁储层中发现的红藻石,在显微镜下呈现明显的网状结构(图1)。红藻石的内部结构主要受红藻叶状体的内部生长模式控制,因此红藻石不一定发育纹层状构造<sup>[12]</sup>。红藻石多呈球状、椭球状或盘状,形态的多种多样反映了沉积环境的差异性。在一般情况下,椭球形的、球形的和纹层状的生长模式代表高水能的沉积环境,而平圆形和扁平外部形态以及多分枝和柱形的内部生长模式普遍见于较低水能沉积环境<sup>[7]</sup>。

红藻石一般形成于深度不大于100 m的非泥质海洋环境<sup>[8]</sup>。现代的红藻石生长在潮间水池到正常浪基面以下有利于形成台地、斜坡和礁的潮下陆架环境,局部水体深度可超过200 m。文献报道中

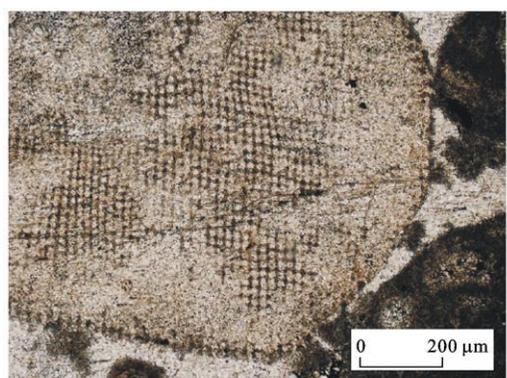
大多数化石红藻核形石产自新生代陆架碳酸盐岩和生物礁沉积环境,仅少数红藻石来自寒武纪。晚石炭纪和二叠纪的红藻石因对近岸和较浅环境的选择性而与新生代的红藻石不同<sup>[12]</sup>。张水昌等在河北张家口下花园青白口系下马岭组发现的前寒武纪红藻石与古生代和中生代红藻石不同,这类红藻石的中心充填着沥青质,称为沥青饼<sup>[11]</sup>。周传明等在贵州瓮安上震旦统陡山沱组描述的磷质似红藻石,可能是硬质基底上生长的红藻原叶体被水流剥出或红藻体出生的“芽球”脱落而形成的<sup>[6]</sup>。因此,考虑到红藻这种较高级藻类特殊骨骼化作用以及在中、新生代生物礁中重要的造礁作用,前人将红藻石单独作为一种碳酸盐岩颗粒类型。

### 3 蓝藻石

Riding把孔层状核形石命名为蓝藻石岩(cyanolith)或蓝藻石(cyanoid),主要由钙化丝状体和普遍保存在管中的球菌状蓝细菌形成孔层类核形石,相应的叠层石被称为骨骼叠层石<sup>[4]</sup>,而将含有不能识别蓝细菌体细小管状微化石的核形石称为孔层类核形石。可见,蓝藻石是核形石中较为特别的孔层状核形石。Flügel总结的蓝藻石概念进一步拉近了蓝藻石与核形石的关系,认为核形石中有可鉴别的蓝细菌则可称为蓝藻石(图2a),典型的蓝藻石是葛万藻核形石,从寒武纪到侏罗纪都发育<sup>[12]</sup>。显然前寒武纪钙化蓝细菌形成的核形石不能称为蓝藻石。边立曾等又把主要由葛万菌(*Girvanella*)为代表组分的核形石,葛万菌匍匐交缠状形成的核形石壳层命名为葛万藻石,而把垂直于壳层方向生长的藻丝体为代表组分的核形石称为蓝藻石<sup>[23]</sup>。蓝藻石是蓝



a 球粒亮晶颗粒灰岩(单偏光)

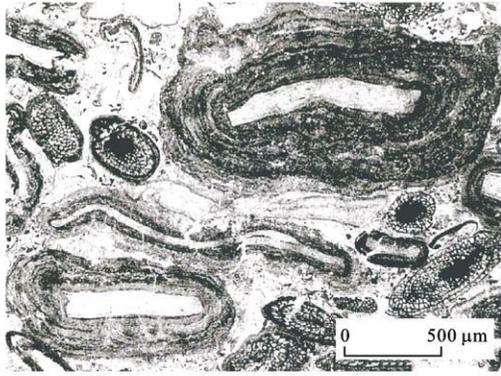


b 凝块石亮晶颗粒灰岩(单偏光)

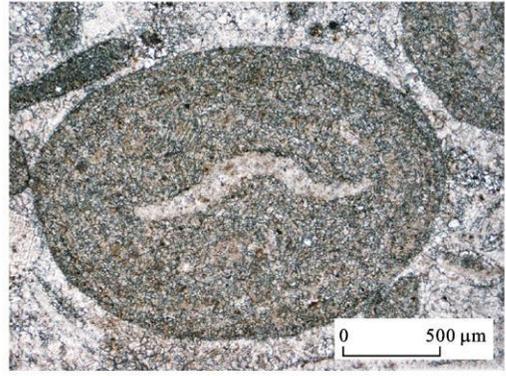
注:亮晶颗粒灰岩均为珊瑚藻钙化而成的红藻石,发育非常细小的微晶网,标本来自土库曼斯坦上侏罗纪牛津阶。

图1 红藻石的显微特征

Fig. 1 Microscopic Features of Rhodoid



a 蓝藻石, 钙化的孔层蓝细菌形成的一组大小小骨架核形石, 见一些包壳的纺锤目有孔虫, 核心是扁平的叶片状钙质藻, 纹层围绕核心呈同心状形成



b 核形石, 以三叶虫碎屑为核心, 略见圈层, 周围发育一些较小的球粒

注: 蓝藻石标本来自意大利/奥地利早二叠世; 核形石标本来自北京西山寒武纪张夏组。

图 2 蓝藻石和核形石

Fig. 2 Cyanoid and Oncolite

细菌钙化作用的产物, 鉴于蓝藻石的广泛存在而把钙化蓝细菌形成的核形石命名为蓝藻石<sup>[12]</sup>, 这一重要概念从提出到现在一直被使用。然而当蓝绿藻的概念变更为蓝细菌时<sup>[24-25]</sup>, 蓝藻石的概念显得颇为不妥, 显然称为蓝菌石更加确切。

Flügel 认为核形石中有可鉴别的蓝细菌则可称为蓝菌石, 典型的蓝菌石是葛万藻核形石, 可见蓝菌石与核形石有着千丝万缕的关系<sup>[12]</sup>。核形石是一个描述性术语, 表示毫米级到厘米级大小呈独立圆形的钙质或非钙质的结核, 由核心和包壳两部分组成<sup>[26]</sup>。核心是它的生长基础, 对核形石的形成有一定影响, 核心物质可以是岩石碎屑、矿物及其碎块, 也可以是生物化石和生物碎屑(图 2b)。纹层是围绕核心的包围物质, 是核形石的重要组成部分, 有时肉眼就可以观察到<sup>[27]</sup>。而蓝菌石是由葛万菌钙化形成的, 钙化的蓝细菌围绕一定的核心可形成核形石, 也可以形成包壳体或独立存在<sup>[6]</sup>。蓝细菌与细菌都为原核生物, 与真核生物的藻类完全不同<sup>[18]</sup>。葛万菌(*Girvanella*) 归属为蓝细菌门(Cyanobacteria), 属于骨骼蓝细菌, 通常呈包壳、碎片等<sup>[28-30]</sup>。蓝细菌自身的多糖为钙化作用提供有利位置, 钙化作用经常与捕获和黏结作用同时进行。葛万菌本身的特点为形成蓝菌石提供了有力条件, 丝状葛万菌在生长过程中捕获、黏结碎屑物质等缠绕核心或独自缠绕成团形成蓝菌石。

近年来, 蓝菌石受到众多沉积学家的广泛关注。在陕西镇安西口石炭系—二叠系界线剖面中描述的呈椭圆形或不规则形、粒径 5 mm 以上、主要由葛万菌等蓝细菌包裹生物颗粒形成的核形石<sup>[31]</sup> 与在云南永德鱼塘寨石炭—二叠系剖面中所描述的以棘皮

碎屑为核心、被葛万菌包裹的核形石<sup>[32]</sup> 以及在塔北奥陶系内发现的由葛万菌全部包覆或仅部分包覆生物碎屑而成的核形石<sup>[30]</sup>, 都相当于蓝菌石。根据成因和形态结构, 把蓝菌石归入核形石大类中, 可以避免对蓝菌石和核形石概念的混淆, 事实也证明只有深刻揭示成因联系的分类型才能为人类的认识以及碳酸盐岩沉积学的深入发展提供科学依据。

## 4 结语

(1) 红藻石和蓝藻石概念的提出具有积极意义, 然而近年来不规范的分类型命名为认识和理解碳酸盐岩颗粒带来不便。对钙化藻类单独命名的做法可能造成系统分类上的混乱。

(2) 红藻石作为生物矿化作用的典型代表, 由非固着的珊瑚藻形成的独立钙质结核, 多呈圆形、椭圆形和盘形。珊瑚藻藻屑属于生物碎屑, 因此把红藻石归入到生物碎屑中也是合理的, 但也能笼统认为所有的珊瑚藻屑都是红藻石。

(3) 蓝菌石为有机矿化作用形成, 主要由孔层状葛万菌形成, 与藻类无关。另外, 葛万菌最早出现于寒武纪, 显然在前寒武纪蓝细菌形成的核形石就无法用蓝菌石命名, 因此应该把蓝菌石作为核形石的一种, 理解为具有钙化葛万菌化石的核形石更加合理。

(4) 从蓝绿藻到蓝细菌的概念转变不仅是生物学的重要突破, 同时也有利于更加合理地解释许多沉积学问题, 比如微生物席对沉积过程的控制作用等。因此, 若鉴于蓝菌石独特的成因意义而对其单独命名, 应将其命名为蓝菌石。

## 参考文献:

- [ 1 ] 梅冥相. 微生物碳酸盐岩分类体系的修订:对灰岩成因结构分类体系的补充[ J ]. 地学前缘, 2007, 14(5): 222-234.
- [ 2 ] 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论[ M ]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [ 3 ] Bosellini A, Ginsburg R N. Form and Internal Structure of Recent Algal Nodules (Rhodolites) from Bermuda[ J ]. The Journal of Geology, 1971, 79(6): 669-682.
- [ 4 ] Riding R. Cyanoliths (Cyanoids): Oncoid Formed by Calcified Cyanophytes[ C ] //Peryt T M. Coated Grains. Berlin; Springer, 1983: 276-283.
- [ 5 ] Bosence D W J. Description and Classification of Rhodoliths (Rhodoids, Rhodolites)[ C ] //Peryt T M. Coated Grains. Berlin; Springer, 1983: 218-224.
- [ 6 ] 周传明, 薛耀松. 贵州瓮安上震旦统陡山沱组磷质似红藻石[ J ]. 微体古生物学报, 1999, 16(3): 275-280.
- [ 7 ] Peryt T M. Vadoids[ C ] //Peryt T M. Coated Grains. Berlin; Springer, 1983: 437-449.
- [ 8 ] Piller W E, Rasser M. Rhodolith Formation Induced by Reef Erosion in the Red Sea, Egypt[ J ]. Coral Reefs, 1996, 15(3): 191-198.
- [ 9 ] Bosence D W J. The Occurrence and Ecology of Recent Rhodoliths: a Review[ C ] //Peryt T M. Coated Grains. Berlin; Springer, 1983: 225-242.
- [ 10 ] Wehrmann A, Freiwald A, Zankl H. Formation of Cold-temperate Water Multispecies Rhodoliths in Intertidal Gravel Pools from Northern Brittany, France[ J ]. Senckenbergiana Maritima, 1995, 26: 51-57.
- [ 11 ] 张水昌, 张宝民, 边立曾, 等. 河北张家口下花园青白口系下马岭组“红藻石”的发现[ J ]. 微体古生物学报, 2005, 22(2): 121-126.
- [ 12 ] Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application[ M ]. Heidelberg Springer, 2004.
- [ 13 ] 梅冥相. 从凝块石概念的演变论微生物碳酸盐岩的研究进展[ J ]. 地质科技情报, 2007, 26(6): 1-9.
- [ 14 ] 曹瑞骥, 袁训来. 中国叠层石研究的历史和现状[ J ]. 微体古生物学报, 2003, 20(1): 5-14.
- [ 15 ] 陈留勤. 白齿构造主要成因模式及时空分布意义[ J ]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 245-253.
- [ 16 ] Tour J, Soussi M, Troudi H. Polyphased Dolomitization of a Shoal-rimmed Carbonate Platform: Example from the Middle Turonian Bireno Dolomites of Central Tunisia[ J ]. Cretaceous Research, 2009, 30(3): 785-804.
- [ 17 ] Miall A D. In Defense of Facies Classifications and Models[ J ]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(1): 2-5.
- [ 18 ] 戴永定, 李菊英, 蒋光协, 等. 生物矿物学[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [ 19 ] 王正瑛, 张锦泉, 王文才, 等. 沉积岩结构构造图册[ M ]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [ 20 ] 许红, 王玉净, 蔡峰, 等. 西沙中新世生物地层和藻类的造礁作用与生物礁演变特征[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [ 21 ] 陈国威. 南海生物礁及礁油气藏形成的基本特征[ J ]. 海洋地质动态, 2003, 19(7): 32-37.
- [ 22 ] Pratt B R. Calcification of Cyanobacterial Filaments; Girvanella and the Origin of Lower Paleozoic Lime Mud[ J ]. Geology, 2001, 29(9): 763-766.
- [ 23 ] 边立曾, 黄志诚. 核形石的分类及生态研究[ J ]. 古生物学报, 1988, 27(5): 544-552.
- [ 24 ] Krumbein W E. Cyanobakterien Bakterien Oder Algen. Oldenburger Symposium Uber Cyanobakterien[ M ]. Oldenbury; Littman-Druck, 1979.
- [ 25 ] Rippka R E, Demelles J, Waterbury J B, et al. Generic Assignments, Strain Histories and Properties of Pure Cultures of Cyanobacteria[ J ]. Journal of General Microbiology, 1979, 111(1): 1-61.
- [ 26 ] 杨玉芳, 钟建华, 曾石岐, 等. 松辽盆地早白垩世青山口组核形石的特征及其环境意义[ J ]. 地质学报, 2009, 83(4): 558-569.
- [ 27 ] 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.
- [ 28 ] Logan B W, Rezak R, Ginsburg R N. Classification and Environmental Significance of Algal Stromatolites[ J ]. The Journal of Geology, 1964, 72(1): 68-83.
- [ 29 ] Fagerstrom J A. The Evolution of Reef Communities[ M ]. New York: John Wiley and Sons, 1987.
- [ 30 ] 范嘉松, 吴亚生. 从塔北隆起奥陶纪钙藻化石探讨奥陶纪的古环境[ J ]. 微体古生物学报, 2004, 21(3): 251-266.
- [ 31 ] 张海军, 王训练, 夏国英, 等. 陕西镇安西口石炭系/二叠系界线剖面碳酸盐岩微相特征与沉积环境的研究[ J ]. 现代地质, 2003, 17(4): 387-394.
- [ 32 ] 周志澄. 云南永德鱼塘寨石炭系一二叠系界线剖面的生物地层学及沉积环境[ J ]. 地层学杂志, 1995, 19(4): 250-258.