

文章编号: 1009-3850(2012)02-0089-05

叠层石研究现状及进展

常玉光, 郑伟

(河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 在地球早期生命演化过程中, 叠层石-微生物席生态系统主宰地球海洋近 30 亿年, 叠层石作为微生物岩, 是一种特殊的生物沉积构造, 记录了大量的微生物、环境、地球化学和地球物理等方面的信息。叠层石研究经历了迂回曲折的道路, 本文在综述国内外叠层石研究现状的基础上, 重点阐述了中国叠层石研究取得的主要成绩和存在的不足, 并从多学科交叉融合的角度, 结合上下地层岩相变化, 提出叠层石研究的新方法和新思路, 为我国今后叠层石的研究和古环境的重建提供参考。

关键词: 叠层石; 微生物岩; 研究现状; 岩相变化

中图分类号: Q913.2

文献标识码: A

叠层石的发现距今已有两百多年的历史 (Monty, 1977), 在这两百多年中, 人们对叠层石的认识在不断的深化和发展^[1, 2, 6]。Kalkow Sky (1908) 首先定义了“叠层石 (stromatolite)”这一术语, 主要用来描述生物成因、成层、钙质的岩石构造, 现在一般认为叠层石是一种成层的生物沉积构造, 由蓝细菌、真核藻类和微生物的生命活动引起的周期性矿物沉淀、沉积物捕捉和胶结作用所形成^[3, 4]。叠层石的生长受到很多条件的制约, 其能够有效地反映生长时期的沉积环境和条件, 因此被作为一种研究古环境和古气候的最佳“指示器” (Flügel and Kiessling, 2002)^[17]。

1 叠层石成因研究

最初, 科学家们围绕叠层石的成因问题, 进行了长时间的研究和探讨, 1825 年 Steel 报道了美国纽约萨拉托加泉附近晚寒武纪地层中分布一种具纹层构造的钙质体 (即后来的叠层石), 并认为这些钙质体可能是无机成因的结核, 这种认识持续了半个世纪, 直到 1883 年, 科学家们才查明这些钙质体应是生物化石, 但猜测它们可能是层孔虫类^[6]。

1891 年至 1897 年, 一些古生物学家对这些钙质体成因提出了疑问, 并认为这些具纹层构造的钙质体不是层孔虫, 可能是一些与原生动物有亲缘关系的化石, 并将它们归于原生动物门。在启蒙期对叠层石研究中, Kalkow Sky (1908) 不仅创造了“叠层石 (stromatolites)”名称, 并认为叠层石“或是由纯粹的叠层纹层 (stromatoids) 组成, 或者是由厚或薄的夹有少量矿囊、鲕石和数量不等的岩屑的许多薄层叠层组成”。接着, Walcott (1914) 在一个元古宙硅质叠层石纹层中首次发现似蓝菌的微化石, 因而他认为叠层石是在非海相环境下碳酸钙通过蓝菌的作用沉淀而成的, 他还按照叠层石形态提出了一个分类系统, 建立了 *Collenia*, *Newlandia*, *Cryptozoon* 等 3 个形态属, 并断定它们都是沉积石灰质的蓝菌生命活动产生的结核, Walcott 对叠层石形成环境上的认识是片面的, 但这种观点对叠层石研究的影响持续到 20 世纪 30 年代^[5, 7]。Black (1933) 在巴哈马群岛安德罗斯岛的藻类沉积物中发现了在海相潮间带和稍咸的水体里同样存在具纹层构造的蓝菌形成物, 从而证实了在海相环境中同样适合叠层石的生长; 随后, Ginsburg (1955) 研究了佛罗里达潮坪的

收稿日期: 2011-04-20; 改回日期: 2011-06-23

作者简介: 常玉光 (1976-) 男, 副教授, 在读博士, 主要从事沉积学和遗迹学等方面的教学研究工作

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41072003) 河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室开放基金 (编号: OTMP1002)

微生物席, Logan (1961) 研究了西澳大利亚 Shark Bay 潮间带的叠层石, 这些资料提供了大量现代叠层石产于海相环境。总之, 叠层石能够在海相、湖相和淡水环境中生长, 只是对条件要求相对严格。

2 国外叠层石研究现状

20 世纪 60 ~ 70 年代是叠层石研究的黄金时期。据 Walter (1976) 不完全统计, 从 19 世纪末至 20 世纪 70 年代中期, 全球发表研究论文达到 2034 篇。在研究中, 由于不同学者立足于不同的角度和不同的思考方式, 对叠层石总体形态变化规律的认识上产生了分歧, 主要表现为环境派(澳大利亚 Logan 等, 1964) 和古生物地层学派(原苏联 Krylov 等, 1963) [6, 7, 8]。但是随着研究的不断深入, 叠层石学家基本达成两点共识: 一是叠层石形态学特征既受环境因素的影响, 又受建造叠层石的微生物类群所制约; 二是叠层石礁(或生物层)和叠层石柱体的宏体特征受环境影响较大。而叠层石的细小特征, 如柱体分叉、侧部装饰、层理和微构造等主要受制于微生物群的进化所控制。

在叠层石的长期研究过程中, 对于叠层石的定义一直没有形成统一的意见。1974 年 Awramik 等对叠层石的定义做出了厘定(Walter, 1976), 认为“叠层石是以蓝菌为主的微生物, 在生长和新陈代谢活动过程中粘附和沉淀矿物质或捕获矿物的颗粒而形成的生物沉积构造”, 此定义已被地质学家广泛认可, 但该定义明显侧重于成因的解释[9, 10]。1979 年 Semikhatov 等提出叠层石的形态学上的定义, “叠层石是从一个点或一个有限的表面上增长, 并固定于该点之上的石化了的纹层状沉积构造”。Burne 和 Moore (1987) 提出了微生物岩(microbolite)的新术语, 并认为叠层石是微生物岩的一种, 是由微生物群落在原地自一个点或一个表面单向增长, 构成具纹层的层状体或具明确边界的不同形态柱体。

叠层石最明显的形态学特征是层理, 许多地质学家认为叠层石的层理是由微生物席与机械沉积(碎屑层)交替造成的, 近年来, Grotzinger 和 Knoll (1999), Knoll 和 Semikhatov (1998) 对叠层石的层理和与其相关的微构造研究做了大量工作[11, 12, 13]。随着对叠层石认识的深入, 在研究中逐步应用了微生物学、沉积学、地球物理学等相关理论和方法。Reid 等(2000) [12] 对巴哈马 Highborne 沙洲的现代海相叠层石进行了研究, 认为现代海相叠层石的生长

实际上代表蓝菌的沉积作用和间歇成岩作用之间的动力学平衡, 同时也认为现代海相叠层石的生长模式同样适用于古代叠层石。Visscher 等(2000) 开展了现代海相叠层石微生物活动导致硫酸盐还原的试验, 发现现代海相叠层石中硫酸盐的高还原作用往往发生在 CaCO_3 沉淀带, 在近叠层石表面微生物对硫的还原活动导致泥晶灰岩纹层的沉淀。在现代叠层石成因研究过程中, 科学家创建了胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS), 并认为胞外聚合物是由细菌、蓝菌及硅藻等微生物分泌产生的, 对微生物碳酸盐的形成具有重要影响(Riding, 2000)。

此外, Semikhatov 和 Raaben (2000) 在前人研究的基础上再次开展了对元古代叠层石分类学的研究, 提出了叠层石分类的相关原则, Raaben, Sinha 和 Sharm (2001) 依据俄罗斯和印度的叠层石资料, 按照生物学分类系统, 建立了叠层石群(形态属)以上的“科”、“目”和“纲”一级的分类单元[4, 6, 14, 15]。

3 我国叠层石研究现状及进展

3.1 我国叠层石研究现状

我国叠层石研究起步较早, 20 世纪 20 年代, 葛利普引进叠层石概念以后, 许多学者就已经发现大量叠层石出现在中国前寒武纪地层中。田奇瑞(1923) 报道了北京西山晚前寒武纪地层中产出叠层石, 相继, 高振西等(Kao et al., 1934) 确认蓟县震旦纪高于庄组产出叠层石 *Collenia cylindrical Grabau*, 并在铁岭组鉴定了一个叠层石新种, 命名为 *Collenia chihhsienensis Kao et al.*, 杨杰(1936) 在山西五台地区滹沱群中发现 *Gymnosolen* 属的叠层石[16]。

20 世纪 70 ~ 80 年代我国的叠层石研究进入大发展时期, 在学术思想上主要接受了前苏联 Krylov 和澳大利亚 Walter 等的观点, 结合中国实际资料进行了详实的研究, 曹瑞骥(1974, 1979, 1981)、朱士兴(1987)、梁玉左(1985) 等对元古宙蓟县层型剖面和辽东辅助层型剖面上的叠层石进行了深入研究和系统描述, 初步建立我国北方晚前寒武纪叠层石组合序列; 区域性前寒武纪叠层石的研究也逐步开展, 如: 邱树玉和刘洪福(1982, 1987) 研究了小秦岭地区晚前寒武纪的叠层石; 高振家和缪长泉(1987) 对新疆晚前寒武纪叠层石的组合序列进行了详细分析; 曹仁关(1982) 研究了云南震旦和四川西南部的晚前寒武纪; 曹瑞骥等(1985) 对安徽北部晚前寒武

纪叠层石进行了深入研究,等等,都取得了一定的研究成果^[18,19]。

20世纪后期,萧宗正(1981)、朱士兴等(1984)、曹瑞骥(1986)、曹仁关(1988)、骆云生等(1992)开展了大量含叠层石形态学、古生物学和同位素地球化学等方面的综合研究,对宣龙地区古元古代铁质叠层石、晋中北上寒武统含铁叠层石、开阳一带震旦纪陡山沱组磷质叠层石及东川元古宙铜矿化叠层石的成矿机制进行综合分析,探索了叠层石在经济地质学方面的潜在意义;刘志礼和刘雪娴(1993)、张昀等(1992)对现代微生物席的生态学和沉积学开展了研究;朱士兴和高建平(1993)、曹瑞骥(1997)、曹瑞骥及袁训来(2003)探索了元古宙燧石质叠层石中微生物生长、运动和造席过程^[15];杜汝霖等(1993)、曹瑞骥(1987,1993)等对华北早古生代的叠层石礁进行了深入分析和全面比较,对中、新生代陆相盆地叠层石形成环境进行了探索;华洪和曹瑞骥(2004)对新元古代十三里台期至马家屯期(估计为850~800Ma)叠层石进行研究,发现其面貌变化较大,叠层石的微构造也发生某些突变,以半球状放射纤维组构的微构造突然在不同类型的叠层石中出现,认为其原因是全球海洋化学条件变化所致^[20,21]。

进入21世纪,随着叠层石研究方法和手段的不断更新,中国叠层石的研究日新月异,据不完全统计,近10年来有关研究叠层石的70余篇论文中,有近50%的论文从叠层石碳酸岩沉积序列、叠层石的形态学特征及其微构造等角度,结合上下地层变化关系,研究分析了元古代叠层石的成因及其衰减机理,如:曹瑞骥及袁训来等(2001,2003,2009)^[31]、华洪等(2001,2004)^[24]、梅冥相等(2007,2008)^[27,28]、钱迈平及袁训来等(2001,2002)、贾志海和洪天求(2005,2008)^[26]等等;近20%的论文研究了新生代湖相叠层石的沉积组合、沉积特征和其古环境意义,采用了形态学分析、地球化学元素、孢粉分析以及生物化石等研究方法,首次发现保存完好的微生物化石,对新生代叠层石的微生物成因给予了有力的佐证,以温志峰及钟建华等(2004,2005,2010)、闵隆瑞(2001,2002)^[23]等为代表;近10%的论文研究了现代深海半深海环境和淡水钙华等特殊环境条件下叠层石和藻席的种类及其特征等;近10%的论文讨论了叠层石的藻席在生长过程中对 Fe^{2+} 与 S^{2-} 的吸附和还原作用,从而认为黄铁矿叠层石丘堆体是寻找富矿的显著标志^[22]。

3.2 我国叠层石研究取得的主要成就

经过我国古生物学家的共同努力,总的来看,对叠层石研究的成就主要集中在以下几个方面:①建立了华北元古宙叠层石组合序列^[24];②对某些新元古代叠层石的微生物组分和微生物席特征进行了初步揭示^[29,30];③从理论上对矿化叠层石的成因提出了解释;④提出假裸枝叠层石科可作为中元古代地层对比的重要标志^[31];⑤利用雾迷山组的叠层石标本开展了古生物钟研究的尝试^[28];⑥探明新元古代一种特殊的叠层石微构造可能具等时性;⑦利用现代叠层石的生长推测了古代叠层石的成长过程及其形态特征原因;⑧揭示了新生代湖相叠层石的沉积特征及其环境意义^[25]。

3.3 我国叠层石研究主要不足

近一个世纪以来,我国叠层石学科是在迂回曲折道路上逐步发展起来的,叠层石研究取得了一定的成就,同时也应该看到,我国的叠层石研究还存在许多不足和疑问,主要表现在:①我国叠层石研究相对集中在元古代、少量新生代和现代,对于古生代等其它时期叠层石研究的报道较少;②由我国学者自行创建的在叠层石学科发展中具有一定影响的新理论和新观点不多,对叠层石采用多学科综合研究尝未全面展开;③对于叠层石成因的认识还不完全统一,绝大多数学者承认是微生物作用引起的碳酸盐沉积,但是在新生代以前目前还未见到微生物化石,只是以现在叠层石的生长来推测元古代叠层石的成因;④叠层石的分类、命名不统一,目前国内和国际上还未建立统一的标准和原则;⑤叠层石明暗对偶纹层代表的时间概念不清,多数学者认为是微生物趋光性生长活动引起的昼夜节律,对偶纹层代表的时间长度为一天,但在深海或半深海环境下,由于光线无法到达,这种说法是不可靠的,通过深海环境季节性洋流分析和同位素测定,一些学者支持叠层石的对偶纹层为年纹层成因。

4 结束语

叠层石不仅在形态特征上,而且在组成成分、内部结构、所含化石、围岩性质、甚至其属性本身都能为人们提供十分重要的信息,因此利用叠层石来重建古环境、古气候和古构造可以取得理想的效果。如今叠层石的研究与微生物学、沉积学和地球化学之间的联系越来越紧密,从总的态势来看,叠层石研究应从上下地层岩相变化规律所反映沉积环境变化的角度、以微生物与环境的相互关系为切

入点,应用沉积岩石学、地球微生物学的研究方法,将传统的遗迹学、沉积学与新兴的地球微生物学、分子地球生物学和地球化学相结合,做到多学科的交叉融合;在建立全球统一分类、命名规则的基础上,综合全面研究叠层石的宏观、微观特征及其所反映的古环境、古气候特征,从而拓宽人们对早期微生物世界的认识。

参考文献:

- [1] VISSCHER P T, GRITZER R F, LEADBETTER E R. Low-molecular weight sulfonates: a major substrate for sulfate reducers in marine microbial mats [J]. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1999, 65: 3272 - 3278.
- [2] VISSCHER P T, REID R P, BEBOUT B M. Microscale observations of sulfate reduction; Correlation of microbial activity with lithified micritic laminae in modern marine stromatolites [J]. *Geology*, 2000 28(10): 919 - 922.
- [3] SEMIKHATOV M A, RAABEN M E. Dynamics of the global diversity of Proterozoic stromatolites, Article 2; Africa, Australia, North America, and general synthesis [J]. *Stratigr. Geol. Corr.*, 1996 4: 24 - 50.
- [4] SERMIKHATOV M A, RAABEN M E. Proterozoic stromatolite taxonomy and biostratigraphy [A]. Riding R E, Awramik S M. *Microbial Sediments* [C]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. 295 - 306.
- [5] SHIELD G A. 1999. Working towards a new stratigraphic calibration scheme for the Neoproterozoic - Cambrian [J]. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 1999 92: 221 - 233.
- [6] RAABEN M R, SINHA A K, SHARRMA M. Precambrian Stromatolites of India and Russia (A Catalogue of Type-Form-Genera) [M]. India: Birbal Sahni Institute of Palaeobotany Lucknow, 2001. 1 - 125.
- [7] RIDING R. Microbial carbonates: geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms [J]. *Sedimentology*, 2000 47 (suppl. 1): 179 - 214.
- [8] PERRY C T. Biofilm-related calcification, sediment trapping and constructive micrite envelopes: a criterion for the recognition of ancient grass-bed environments [J]? *Sedimentology*, 1999 46: 33 - 45.
- [9] LEE SEONG-JOO, GOLUBIC S. Microfossil populations in the context of synsedimentary micrite deposition and acicular carbonate precipitation: Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation, China [J]. *Prec. Res.* 1999 96: 183 - 208.
- [10] LEE SEONG-JOO, KATHLEEN M B, GOLUBIC S. On stromatolite lamination [A]. Riding R E, Awramik S M. *Microbial sediments* [C]. Heidelberg: Springer-Verlag 2000.
- [11] GROTZINGER J P, KNOLL A H. Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks [J]. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1999 27: 313 - 358.
- [12] HOFMANN H J. Archean stromatolites as microbial archives [A]. Riding R, Awramik S M. *Microbial sediments* [C]. Heidelberg: Springer-Verlag 2000 315 - 327.
- [13] JAVAUXE J, KNOLL A H, WALTER M R. Morphological and ecological complexity in early eukaryotic ecosystems [J]. *Nature*, 2001, 412: 66 - 69.
- [14] GOLUBIC S, SEONG-JOO L, BROWNE K M. Cyanobacteria: architects of sedimentary structures [A]. Riding R, Awramik S M. *Microbial Sediments* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
- [15] BROCKS J J, LOGEN G A, BUICK R, SUMMONS R E. Archen molecular fossils and the early rise of eukaryotes [J]. *Science*, 1999 285: 1033 - 1036.
- [16] 曹瑞骥,袁训来. 叠层石 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 2006. 1 - 368.
- [15] 朱士兴,黄学光. 13 亿年前叠层石的生长节律和地-日-月动力学 [J]. *微体古生物学报* 2003 20(1): 23 - 30.
- [17] 温志峰,钟建华等. 柴达木盆地中新世叠层石沉积特征及其环境和构造意义 [J]. *地质科学* 2005 40(4): 547 - 557.
- [18] 任晓娟,魏金星等. 柴西南翼山地区藻灰岩层储层特征及成因分析 [J]. *沉积学报* 2006. 24(2): 67 - 72.
- [19] 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.
- [20] 苏玲,陈留勤. 叠层石衰减事件及白齿构造碳酸盐岩作用幕——了解前寒武纪碳酸盐岩世界的重要线索 [J]. *地质科技情报* 2008 27(6): 17 - 23.
- [21] 边千韬,朱士兴等. 东昆仑南带中元古代晚期—新元古代早期叠层石组合的发现 [J]. *地质学报* 2006 41(3): 500 - 510.
- [22] 韩喜球. 东太平洋多金属结核的叠层石包壳及其沉积环境意义 [J]. *海洋学报* 2000 22(5): 73 - 81.
- [23] 阎瑞隆,迟振卿等. 河北阳原东目连第四纪叠层石古环境分析 [J]. *地质学报* 2002 76(4): 446 - 454.
- [24] 华洪,邱树玉. 贺兰山中元古代三个叠层石组合及其地层意义 [J]. *地层学杂志* 2001 25(4): 307 - 311.
- [25] 伊海生,时志强,惠博,等. 湖相叠层石纹层的碳氧同位素特征及其生长节律的古环境意义 [J]. *地学前缘* 2009, 16(6): 168 - 176.
- [26] 贾志海,洪天求等. 淮南地区新元古代九里桥组叠层石成礁过程及其影响因素 [J]. *古生物学报* 2008 47(1): 47 - 57.
- [27] 梅冥相. 北京延庆干沟中元古代高于庄组第三段: 一个典型的前寒武纪非叠层石碳酸盐岩沉积序列 [J]. *沉积学报*, 2008 26(4): 565 - 574.
- [28] 梅冥相,高金汉等. 津蓟县中元古界雾迷山组微指状叠层石及其对 1250Ma ± 叠层石衰减事件的响应 [J]. *古地理学报*, 2008 10(5): 495 - 509.
- [29] 高危言,李江海等. 五台山古元古代巨型叠层石的结构特征及成因意义 [J]. *岩石学报* 2009 25(3): 567 - 74.
- [30] 华洪,曹瑞骥. 新元古代叠层石微构造突变事件及其发生背景 [J]. *古生物学报* 2004 43(2): 234 - 245.
- [31] 曹瑞骥,袁训来. 中国叠层石研究进展 [J]. *古生物学报*, 2009 48(3): 314 - 321.

Stromatolites: progress and problems

CHANG Yu-guang , ZHENG Wei

(*School of Resources and Environment Engineering ,Henan Polytechnic University ,Jiaozuo 454000 ,Henan ,China*)

Abstract: Stromatolites-microbial mats of the ecological system once dominated the oceans nearly 3 billion years in the early evolutionary processes of the Earth. As one of the microbialite ,stromatolites are a special kind of biogenic sedimentary structures ,which recorded a large number of microbial , environmental , geochemical and geophysical information. The present paper gives a systematic description of the progress and problems in the research of stromatolites especially in China. On the basis of the results of research from China and abroad ,the authors offer some thoughts on possible future directions and problems. The highlights should be on the combination of microbialite and lithofacies variations of strata in the future research of stromatolites and reconstruction of palaeoenvironments in the future.

Key words: stromatolite; microbialite; current state of research; lithofacies variation