

湖北松滋地区下奥陶统生物扰动型凝块石的发现及其成因探讨

肖传桃,肖云鹏,宋振宇,黄云飞,董 曼

(长江大学地球科学学院,湖北 武汉 430100)

摘要:首次在下奥陶统中发现生物扰动成因的凝块石,该发现有可能填补扬子地区奥陶纪该领域的空白,为凝块石成因的研究提供新的材料,并且对于探索凝块石演化与后生动物辐射之间关系具有重要理论意义。根据凝块石的外观特征和结构,将其划分为斑状凝块石、条带状凝块石和网状凝块石,其中,斑状凝块石又可以划分为豹斑状、花斑状和斑片状。在详细阐述豹斑状和网状凝块石沉积特征基础上,详细阐述了凝块石在纵向和横向上的发育与分布特征,并分析了凝块石的沉积环境,认为斑状凝块石可能形成于较为局限的具有一定能量的潮间带环境中,网状凝块石可能形成于潮下低能环境中。依据上述2种凝块石中发现的许多食草动物 *Ecculiomphalus* 化石以及由钻孔动物所形成的生物扰动痕迹等现象,指出由于后生动物的多样性的不断增加,导致食草动物不仅啃食了形成叠层石的菌藻类微生物,造成叠层石数量的不断减少,而且破坏了叠层石的生长状态,结果形成了研究区独具特征的生物扰动型凝块石。

关键词:凝块石;生物扰动;叠层石;下奥陶统;松滋地区

中图分类号:TE121.3

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2018)08-1078-07

引用格式:Xiao Chuantao, Xiao Yunpeng, Song Zhenyu, *et al.* Discovery of bioturbated thrombolites in the Lower Ordovician of Songzi area, Hubei Province[J]. Natural Gas Geoscience, 2018, 29(8):1078-1084.[肖传桃,肖云鹏,宋振宇,等.湖北松滋地区下奥陶统生物扰动型凝块石的发现及其成因探讨[J].天然气地球科学,2018,29(8):1078-1084.]

0 引言

凝块石术语是 Aitken^[1]以加拿大南部落基山寒武纪—奥陶纪具有宏观凝块状组构为特征的岩石为依据而命名的,它们具有与叠层石相似的层状、柱状及丘状等大型构造,并以斑块状、网状等宏观构造与其他微生物碳酸盐岩相区别。凝块石灰岩作为微生物碳酸盐岩的主要类型之一,以其特殊的岩性、复杂的宏观形态和颇具争议的形成机制,已成为继叠层石以外微生物碳酸盐岩的另一研究热点。作为微生物岩中的一种重要类型,凝块石在寒武系和下奥

陶统广泛发育。凝块石的斑块构造呈杂乱分布,且形态多为不规则状,在颜色与组构上都与围岩存在较为明显的差别。对于凝块石灰岩的形成机制,目前还没有统一的认识。20世纪70年代有些学者认为凝块石灰岩应属于被生物扰动潜穴破坏的叠层石^[2-4],也有的学者认为其形成可能与真核生物参与有关^[5]。随着近年来的研究,一些学者认为凝块石灰岩是由原生微生物自身钙化和黏聚碳酸盐岩颗粒形成^[6,7],但对于凝块石中不规则凝块的形成机理和原因始终却难以解释,没有统一的认识^[8]。我国关于凝块石的研究目前主要集中于苏、鲁、川、晋地

收稿日期:2018-02-14;修回日期:2018-05-20.

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41572322);湖北省创新群体基金(编号:2015CFA024)联合资助。

作者简介:肖传桃(1965-),男,江西九江人,教授,博士,博士生导师,主要从事生物礁地质学及勘探地层学研究。

E-mail: ctxiao@yangtzeu.edu.cn.

通信作者:宋振宇(1992-),男,山东东营人,博士研究生,主要从事生物礁地质学及勘探地层学研究。E-mail: 646112604@qq.com.

区,这些地区寒武系一下奥陶统中发育许多凝块石,且主要以生物丘的形式产出,随着对这些地区的凝块石及生物丘研究的深入,在造丘生物、发育条件和沉积环境等方面取得了较多成果^[9-14],但有关生物扰动型凝块石的成果在上述地区未见报道。生物扰动成因的凝块石在显生宙地层中已有报道^[6,7],但主要发现于侏罗系等新地层中。本次生物扰动型凝块石发现于扬子地区的奥陶系中尚属首次,该发现不仅为凝块石成因的研究提供新的材料,有可能填补扬子地区该领域的空白,而且对于探索凝块石在时间上的演化特征及其与后生动物复苏至辐射之间的关系具有重要理论意义。

1 区域地质概况

本次发现的凝块石位于湖北松滋南部地区下奥陶统,研究区在大地构造位置上位于中扬子地区的南部,研究区奥陶系三统齐全,地层序列与长江三峡地区基本一致,下奥陶统自下而上包括南津关组、分乡组和红花园组,中奥陶统包括大湾组和牯牛潭组,上奥陶统包括大田坝组、宝塔组和临湘组,缺失五峰组。研究区奥陶系以碳酸盐岩沉积为主,间夹页岩或钙质页岩,总厚约为 463m。在奥陶纪研究区经历了局限台地、开阔台地、淹没台地、广海陆棚以及奥陶纪末期深水盆地环境的演化过程^[15-17]。其中,南津关组和分乡组均发育凝块石,形成了研究区早奥陶世最具特征的微生物岩沉积(图 1)。

2 凝块石类型与特征

本次发现的凝块石均产于研究区下奥陶统,根据凝块石的大型和中型结构,大致可将研究区凝块石划分为斑状、条带状和网状凝块石 3 种类型(图 2)。其中,斑状凝块石又可以分为豹斑状[图 2(a),图 2(b)]、花斑状[图 2(d),图 2(e)]、斑片状[图 2(f)]3 个小类。条带状凝块石均见于南津关组[图 2(c)],斑状凝块石见于南津关组和红花园组,网状凝块石见于分乡组[图 2(g),图 2(h)]。研究认为,豹斑状凝块石和网状凝块石属于生物扰动成因的凝块石,因此,本文重点对这 2 种凝块石的特征进行阐述。

2.1 豹斑状凝块石

豹斑状凝块石发现于刘家场地区下奥陶统南津关组二段底部[图 2(a),图 2(b)],其风化面呈浅灰色,新鲜面呈深灰色。凝块石大型结构呈厚层状至块状,厚约为 50~110cm 不等,在剖面上凝块石的

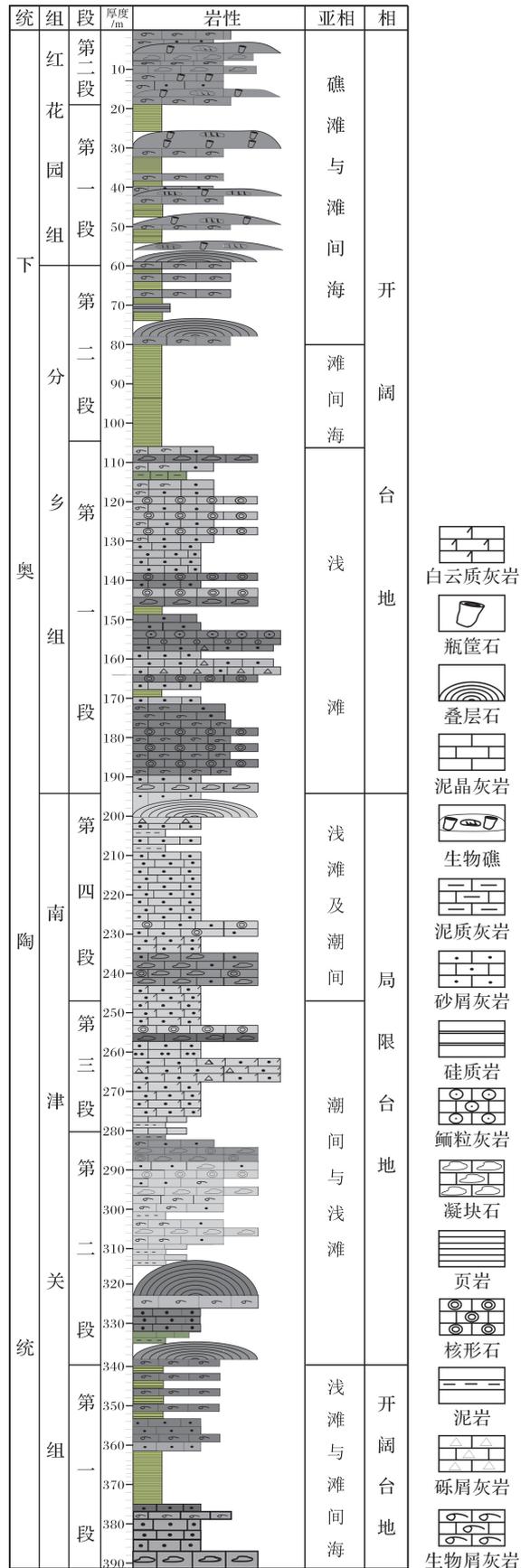


图 1 松滋地区下奥陶统岩性柱状图

Fig.1 Lithologic column of Lower Ordovician in Songzi area

中型结构呈豹斑状、凝块状、斑块状以及不规则状断续分布,大小为 $2\text{cm} \times 3\text{cm}$ 至 $7\text{cm} \times 22\text{cm}$ 不等,含量约占其地层的 $20\% \sim 35\%$ 。该类凝块石平面上与剖面上形态基本相似,也呈豹斑状或不规则状等。

有意义的是在剖面上、在该类凝块石的凝块之间隐约可见断续的纹层状构造,纹层具有明暗相间特征,且亮纹层较暗纹层发育好些,其纹层对厚薄不一,纹层间可见少量生物屑及粉屑等。

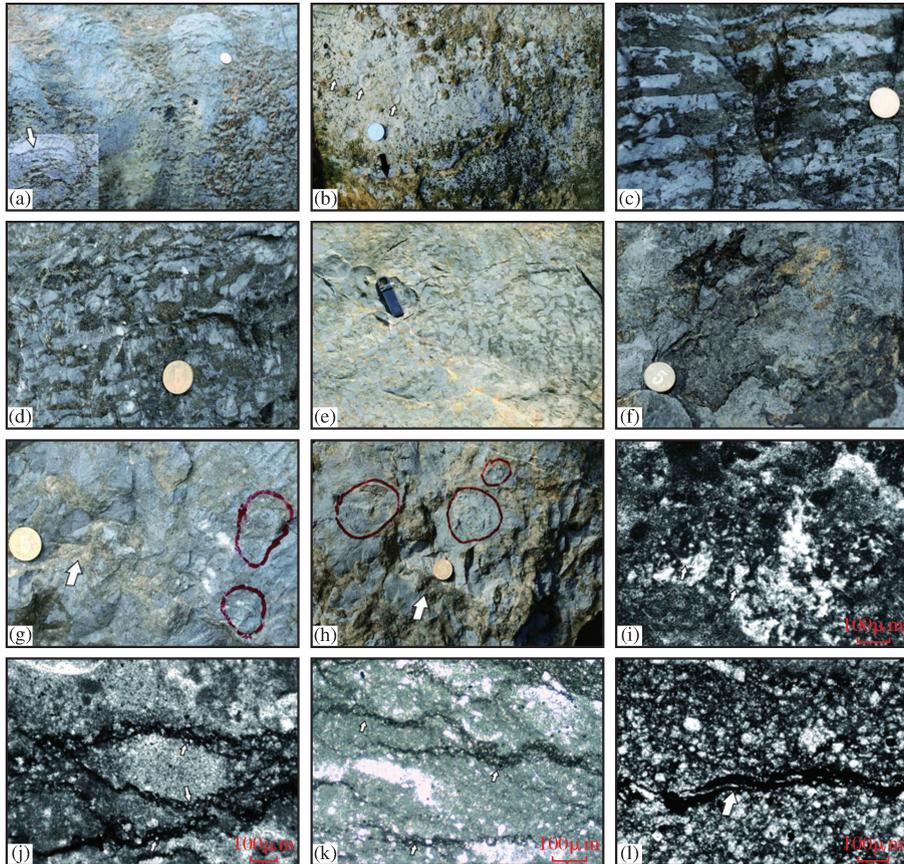


图 2 松滋地区下奥陶统凝块石特征

Fig.2 Characteristics of thrombolites of Lower Ordovician in Songzi area

(a) 豹斑状凝块石,白色箭头为放大的纹层,野外照片,产自南津关组二段;(b) 豹斑状凝块石,白色箭头为钻孔扰动生物 *Ecculiomphalus*,黑色箭头为凝块石,野外照片,产自南津关组二段;(c) 条带状凝块石,野外照片,产南津关组二段;(d)、(e) 花斑状凝块石,野外照片,产自南津关组三段;(f) 斑片状凝块石,野外照片,产自南津关组三段;(g)、(h) 网状凝块石,黑色箭头为凝块石,红色圆圈内为钻孔扰动生物 *Ecculiomphalus*,白色箭头为凝块石,野外照片,产自分乡组一段;(i) 豹斑状凝块石显微照片,白色箭头指示丝状微生物 *Girvanella*,产自南津关组二段;(j)、(k) 条带状凝块石显微照片,白色箭头为围绕小凝块呈丝状相互交织细网状的 *Girvanella*; (l) 花斑状凝块石显微照片,白色箭头指示丝状微生物 *Girvanella*,产自南津关组三段

在显微岩相特征方面,豹斑状凝块石具有不均一的内部结构,且其内部结构与普通凝块石很相似,暗色层多表现为小凝块,并以泥晶团块形式而存在,其间多为微晶—粉晶方解石,其次可见生物碎屑和少量粉屑。纹层间主要组成为泥晶方解石,其次可见少量粉屑和生物碎屑。值得指出的是,在薄片中可见暗色纹层中可见 *Girvanella* 丝状体微生物排列形成的大致呈不完整的细网状格架,其周围多为泥晶方解石[图 2(i)],其次可见少量亮晶方解石。在生长特征方面,此类凝块石主要构筑于砂屑浅滩

之上,与生物礁的生长方式相似,和围岩关系截然,具有独立的生长特征,横向稳定。

非常有意义的是在豹斑状凝块石的内部和层面上均可见很多食草动物腹足类 *Ecculiomphalus* 化石及生物扰动的痕迹[图 2(b)],其豹斑状形态和分布极不规则的凝块以及不规则的纹层展布等特征均为生物扰动所致,所以,笔者认为此类凝块石的成因是生物扰动所致。

2.2 网状凝块石

网状凝块石发现于刘家场地区下奥陶统分乡组

中部[图 2(g),图 2(h)],其风化面呈浅灰色,新鲜面呈深灰色至灰黑色。凝块石大型结构呈厚层至块状,厚约为 52~76cm 不等,在平面上凝块石的中型结构呈不规则的网格状、或不规则状多孔状断续分布,网孔大小从 1.5cm×1.5cm 至 5cm×12cm 不等。在剖面上该类凝块石呈断续相连的不完全封闭的网孔状。与豹斑状凝块石不同的是在网状凝块石发育的地层中未发现明暗纹层构造,但在层面上以及凝块石内部仍然发现不少食草动物腹足类 *Ecculiomphalus* 化石[图 2(g),图 2(h)的红圈内],其中,不规则的网孔和厚薄不一、形态不一的暗色凝块均为生物扰动所致,因此,此类凝块石的成因可能仍是生物扰动所致。

在显微岩相特征方面,网状凝块石也具有不均一的内部结构,且其内部结构与豹斑状凝块石很相似,凝块内部仍以泥晶方解石团块形式存在或连接,其间多为微晶—粉晶方解石,其次可见生物碎屑和少量粉屑。在生长特征方面,此类凝块石也构筑于砂屑浅滩之上,与生物礁的生长方式相似,和围岩关系截然,容易识别和辨认,具有独立的生长特征,横向上较为稳定。

3 凝块石的发育与分布特征

研究区的凝块石主要分布于松滋刘家场地区的南津关组、分乡组和红花园组(图 1),从凝块石的发育和演替情况来看,构成了 3 个凝块石碳酸盐岩建隆旋回,南津关组为第一个旋回,分乡组为第二个旋回,红花园组为第 3 个旋回。

3.1 纵向发育与分布特征

研究区下奥陶统时期存在 3 个凝块石发育旋回,即南津关组、分乡组和红花园组 3 个沉积期。从发育特征来讲,自下而上凝块石的层数、厚度逐渐减少,规模也向上逐渐变小。南津关组凝块石发育的层数和频率以及规模最大,总共发育 5 层,且越往上单层厚度越小,第 1 层凝块石见于南津关组二段底部,为豹斑状凝块石,大型结构呈厚层至块状,中型结构呈豹斑状;第 2 层、第 5 层为花斑状凝块石,见于南津关组二段、三段,其大型结构呈厚层状,中型结构呈花斑状;第 3 层为斑片状凝块石,第 4 层为条带状凝块石,均分布于南津关组三段,其大型结构呈厚层至块状,中型结构呈条带状。分乡组沉积期,发育凝块石 2 层,它们均见于分乡组一段,为网状凝块

石,其大型结构呈厚层状,中型结构呈网状;而红花园组沉积期凝块石规模则明显缩小,且含量更少,主要为花斑状凝块石,在红花园组顶部最终消失,结束了早奥陶世凝块石碳酸盐岩建隆的发育旋回。

3.2 横向发育与分布特征

从横向发育特征来看,南津关组第 1 层凝块石发育在南津关组第二段的底部,为灰色厚层一块状凝块石灰岩,厚约为 2.8~3.1m。其底部为浅灰色—灰白色亮晶生屑含砾砂屑灰岩,顶部为灰色泥质条带灰岩。本层凝块石为豹斑状凝块石,在横向上的发育特征变化较大,不仅其层厚发生一定的变化,而且其中型结构也发生了重要变化,在田舟山西侧的山坡上,其中型结构呈豹斑状,再往东侧延伸约 1km 左右的响水洞周围,该层凝块石横向上相变为波状叠层石,波状纹层清晰可见,明暗相间。在豹斑状凝块石地层中可见食草动物腹足类 *Ecculiomphalus* 等生物化石,因此本文认为该类凝块石属于生物扰动型,其前身实际为叠层石,后来经过生物扰动而变化为凝块石。第 2 层、第 5 层的花斑状凝块石在横向上发育较好,厚度和延伸稳定,其中型结构变化不大,均呈花斑状。第 3 层为斑片状凝块石在横向上分布不稳定,为局部发育的类型。第 4 层的条带状凝块石和花斑状凝块石相似,也基本如此,在横向上发育较好,厚度和延伸较为稳定,但中型结构有一定变化,局部相变为花斑状。

发育在分乡组一段的网状凝块石外观为灰色厚层一块状凝块石灰岩,厚约为 1.5~3.2m,其底部为浅灰色亮晶砂屑与生屑灰岩,顶部为黄绿色泥岩。该类凝块石在横向上发育较好,厚度和延伸稳定,其中型结构变化不大,均呈网状,值得指出的在网状凝块石之中仍然发现不少食草动物腹足类 *Ecculiomphalus* 化石和生物扰动的痕迹,因此本文认为该类凝块石也属于生物扰动型。

红花园组凝块石中型结构呈花斑状为主,厚度较小,层数少,主要见于该组上部,且横向延伸不稳定,属于局部发育。

4 凝块石的沉积环境

根据凝块石发育的形态类型,结合凝块石的微相及其上覆、下伏地层沉积特征,对研究区凝块石的沉积环境进行如下分析。

研究区三大类凝块石均发育于亮晶砂屑、或砂

屑生屑灰岩之上,体现了它们都是构筑于具有一定能量的浅滩之上。凝块石内部均具有泥晶结构,其间多为泥晶至微晶方解石。其中,条带状、斑状凝块石灰岩中局部被粉晶白云石交代,且发育少量粉屑及棘皮动物海百合茎干的碎屑,此外,在凝块石边界的暗层中可见葛万菌 *Girvanella* 丝状微生物,其周围局部发育亮晶方解石,该类生物多半生活于水体不太开阔的水体中,因此,斑状凝块石可能形成于较为局限的具有一定能量的潮间带环境中。分乡组网状凝块石内部总体以泥晶方解石为主,少见白云石,且其上被较细的灰色页岩所覆盖,页岩中可见漂游型的正笔石类化石,体现了水体的加深现象,由其内部的微相及其上覆、下伏地层的沉积特征可知,网状凝块石可能形成于潮下低能环境中。

5 凝块石形成原因分析与讨论

有关凝块石的形成机制,目前还没有取得统一的认识。但从成因来讲,凝块石可分为原生和次生两大类,并进一步可以划分为钙化微生物凝块石、粗粒黏聚状凝块石、生物扰动形成的凝块石、树枝状凝块石、钙华凝块石和沉积后的次生凝块石等^[7,8]。

在本区所发现的凝块石中,花斑状凝块石和网状凝块石属于生物扰动成因所形成的凝块石。其证据如下:首先,在上述2种凝块石之中均发现了食草动物 *Ecculiomphalus*,该化石少则零星分布,多则大量局部发育,它们的存在是生物扰动的最直接证据,该类生物因接近平旋,活动较慢,它们一般栖息于浅海海域,在早奥陶世极为繁盛,多生活于碳酸盐岩丘中,它们的大量存在说明其以海藻及微小生物为食;其次,在这2种凝块石中也发现了生物扰动的痕迹,主要体现于凝块石中具有网孔状构造特征,这种网孔状多半都和生物钻孔和扰动有关。生物的钻孔和捕食过程实际就是扰动过程,并造成了豹斑状凝块石的豹斑状形态和分布极不规则的凝块以及不规则的纹层延伸、展布等特征。此外,由于生物的钻孔、扰动,也导致网状凝块石中出现大小不一、形态不规则的网孔和厚薄不一、形态不同的暗色凝块等现象;第三,豹斑状凝块石灰岩内部发育的凝块、豹斑状构造之间可见较细的纹层状构造,且纹层构造的特点和叠层石很类似,具有明暗相间的纹层,由于生物的扰动、啃食和破坏,导致纹层发生断开、或不规则延伸、或仅在局部发育,有时隐约可见,有时不

清晰;第四,作者通过在研究区大范围内横向追踪发现,产豹斑状凝块石所在的岩层在横向上与波状叠层石岩层相连,也就是说,同一层岩层中在同一个地区不仅发育了波状叠层石,而且也发育了豹斑状凝块石,更重要的是在凝块石中发现后生钻孔动物的存在,如果将上述这些现象联系在一起,很好地说明了豹斑状凝块石的成因——生物扰动成因,即由叠层石经过生物扰动作用而形成豹斑状凝块石。

不仅如此,同样的情况也见于我国湖北保康马桥新元古界神龙架群石家冲组中,曹瑞骥等^[18,19]不仅发现并详细描述了多种形态特异的叠层石和凝块石,即叠层石中留下了明显的类似钻孔和食草动物破坏的“疤痕”,而且还发现了较多的叠层石逐步转变为凝块石并形成一套奇异的叠层石、凝块石和叠层石—凝块石联合体的现象,它们的研究为理解生物扰动成因的凝块石形成机制提供了宝贵的资料。

值得指出的是在本区第二种凝块石即分乡组网状凝块石中,除发现较多的后生食草动物 *Ecculiomphalus* 外,未发现纹层构造,那么该类凝块石是否也是由叠层石经过生物扰动作用而形成的呢? 本文认为该类凝块石很有可能也是由叠层石经生物扰动作用所致,从生物多样性来看,在早奥陶世,壳体生物随着时间的推移其多样性不断增多,也正是由于生物多样性在奥陶纪的不断增加,这些后生动物不仅啃食了形成叠层石的菌藻类微生物,造成其数量的不断减少和消失,更重要的是破坏了叠层石原有的生长状态,形成了研究区下奥陶统独具特色生物扰动型的凝块石。因此,分乡组沉积期的生物扰动作用的强度要高于南津关组,如此势必造成叠层石的纹层被完全破坏甚至消失。

6 结论

通过对松滋刘家场地区下奥陶统生物扰动型凝块石沉积特征的研究,取得如下认识。

(1)首次在扬子地区奥陶系中发现生物扰动型凝块石,本发现有可能填补扬子地区奥陶纪该领域的空白,为凝块石成因的研究提供新的材料,而且对于探索凝块石在时间上的演化与后生动物复苏至辐射之间的关系具有重要理论意义。

(2)在豹斑状和网状凝块石中,作者均发现了许多食草动物 *Ecculiomphalus* 化石和生物扰动的痕迹。因此认为这2种类型凝块石可能由叠层石经生

物扰动后所形成。

(3)沉积环境分析表明,斑状凝块石可能形成于较为局限的具有一定能量的潮间带环境中,网状凝块石可能形成于潮下低能环境中。

(4)在介绍凝块石发育特征基础上,分析了豹斑状和网状凝块石的成因,指出由于后生动物的多样性的不断增加,导致食草动物不仅啃食了形成叠层石的菌藻类微生物,造成叠层石数量的不断减少,而且破坏了叠层石的生长状态,结果形成了研究区独具特征的生物扰动型凝块石。

参考文献(References)

- [1] Aitken J D. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustration from Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1967, 37(1): 163-178.
- [2] Kennard J M, James N P T. Thrombolites and stromatolites: Two distinct types of microbial structures[J]. *Palaios*, 1986, 1: 492-503
- [3] Awramisk M. Precambrian stromatolite diversity: Reflection on metazoan appearance[J]. *Science*, 1971, 174: 825-827.
- [4] Walter M R, Heys G R. Links between the rise of the metazoan and the decline of stromatolites[J]. *Precambrian Research*, 1985, 29: 149-174
- [5] Feldmann M, McKenzie J A. Stromatolite-thrombolite associations in a modern environment[J]. *Lee Stocking Island, Bahama*. *Palaios*, 1998, 13: 201-212.
- [6] Riding R. *Calcified cyanobacteria*[M]//Riding R. *Calcareous Algae and Stromatolites*. Berlin: Springer-Verlag, 1991: 55-87.
- [7] Riding R. Microbial carbonates: Geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms[J]. *Sedimentology*, 2000, 47 (supplement 1): 179-214.
- [8] Mei Mingxiang. Discussion on advances of microbial carbonates from the terminological change of thrombolites[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(6): 1-9. 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]. *地质科技情况*, 2007, 26(6): 1-9
- [9] Jiang Maosheng, Sha Qingan. Algal limestone and sedimentary facies in Zhangxia Formation (Middle Cambrian), north Jiangsu-west Shandong region[J]. *Lithography*, 1996, 16(5): 12-17. 江茂生, 沙庆安. 苏鲁地区中寒武统张夏组藻灰岩及沉积相[J]. *岩相古地理*, 1996, 16(5): 12-17.
- [10] Sha Qingan, Jiang Maosheng. The deposits of oolitic shoal facies and algal flat facies: Dissect of the Zhangxia Formation of the Middle Cambrian, western Shandong Province[J]. *Acta Sedimentology Sinica*, 1998, 16(4): 62-70. 沙庆安, 江茂生. 鲕粒滩相与藻坪相沉积——鲁西地区中寒武统张夏组剖析[J]. *沉积学报*, 1998, 16(4): 62-70.
- [11] Mu Xinan, Yan Huijun, Li Yue, *et al.* Temporal and spatial distribution of microbial reefs in the Middle Cambrian in the eastern part of the North China Platform[J]. *Acta Micro-palaeontologica Sinica*, 2003, 20(3): 279-285. 穆西南, 严惠君, 李越, 等. 华北地台东部中寒武世微生物礁的时空分布[J]. *微体古生物学报*, 2003, 20(3): 279-285.
- [12] Chen Jinyong, Han Zuozhen, Fan Honghai, *et al.* Characteristics and sedimentary environment of thrombolite in the Zhangxia Formation (Third Series of Cambrian), Shandong Province[J]. *Acta Sedimentology Sinica*, 2014, 32(3): 494-502. 陈金勇, 韩作振, 范洪海, 等. 鲁西寒武系第三统张夏组凝块石特征及其形成环境研究[J]. *沉积学报*, 2014, 32(3): 494-502.
- [13] Mei Mingxiang, Meng Qingfen, Gao Jinhan. Revised classification of microbial carbonates: Complementing the classification of limestones[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 222-234. 梅冥相, 孟庆芬, 高金汉. 前寒武纪海侵砂岩中的微生物砂质碎片——以北京南口虎峪剖面大红峪组为例[J]. *地学前缘*, 2007, 14(2): 197-204.
- [14] Armella C. Thrombolitic-Stromatolitic Cycles of the Cambrian-Ordovician Boundary Sequence, Precordillera Oriental basin, Western Argentina[C]//Bertrand-Sarfati J, Monty C. *Phanerozoic Stromatolites II*. Kluwer (Holland): Kluwer Academic Publishers Group, 1994: 421-441.
- [15] Xiao Chuantao, Jiang Yanwen, Zhu Zhongde, *et al.* Discussion about the sequence stratigraphy of Ordovician and the sedimentary environment of Wufeng Formation in Yangtze area[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1996, 3(2): 339-346. 肖传桃, 姜衍文, 朱忠德, 等. 湖北宜昌地区奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论[J]. *高校地质学报*, 1996, 3(2): 339-346.
- [16] Xu Lunxun, Xiao Chuantao, Gong Wenping, *et al.* Discussion about the origin of deep sea in the Guanyinqiao member of Wufeng Formation in the Upper Ordovician in Yangtze area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(6): 726-732. 徐伦勋, 肖传桃, 龚文平, 等. 论扬子地区上奥陶统五峰组观音桥段的深海成因[J]. *地质学报*, 2004, 78(6): 726-732.
- [17] Zhu Zhongde, Hu Mingyi, Xiao Chuantao, *et al.* Study on Oil Geology of Upper Simian-Ordovician in Southwestern Hubei and Northwestern Hunan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 8-135. 朱忠德, 胡明毅, 肖传桃, 等. 鄂西南湘西地区上震旦统至奥陶系石油地质研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 8-135.
- [18] Cao Ruiji. Evidence for possible metazoan activity in neoproterozoic aberrant stromatolites and thrombolite structures[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1997, 38(3): 294-302.

曹瑞骥.新元古代奇异叠层石和凝块石中可疑的动物活动证据[J].古生物学报,1997,38(3):294-302.

iversity of Science and Technology Press,2006:45-162.

曹瑞骥,袁训来.叠层石[M].合肥:中国科学技术大学出版社,

2006:45-162.

[19] Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Stromatolite[M]. Hefei: China Uni-

Discovery of bioturbated thrombolites in the Lower Ordovician of Songzi area, Hubei Province

Xiao Chuan-tao, Xiao Yun-peng, Song Zhen-yu, Huang Yun-fei, Dong Man

(Geosciences School of Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: It is the first time that bioturbated thrombolites was discovered from the Lower Ordovician in Songzi area of Hubei Province. This discovery not only fills gaps in the research field of the studying area, providing new material for the study of the genesis of thrombolites, but also has important theoretic meaning for exploring the relationship between the evolution of coagulation stone and the radiation of metazoan. According to the appearance and structure of the thrombolites, porphyritic, reticular and striped clotted limestone was recognized in this paper. Based on the detailed description of the sedimentary characteristics of each type of thrombolite, the sedimentary environment is analyzed. It is thought that the maculosus, striped clotted limestone may be formed in the restricted intertidal zone with certain energy, and the reticulated coagulation stone may be formed in the low energy environment of subtidal zone. Based on a number of drilling predation fossils of mollusks *Ecculiomphalus* found in leopard porphyritic, reticulated thrombolites and traces of bioturbation formed by the drilling animals, the authors suggest that both leopard porphyritic and reticulated coagulation stone are bioturbated thrombolites. The authors believe that the Ordovician thrombolites are decreasing with time, and there is a certain relationship between the decline of thrombolites and the increase of metazoan. The authors also believe that drilled predators not only chew up the bacteria and algae microbes forming thrombolites and stromatolites, resulting in the continuous reduction in the number of stromatolites, but also destroyed the growth state of the stromatolites, resulting in the formation of the unique characteristics of the bioturbation type of thrombolites.

Key words: Thrombolites; Bioturbation; Stromatolites; Lower Ordovician; Songzi area