

扬子西缘中元古界黑山组 MISS 构造的发现及其古环境意义



Pre-pub. online: www.
geojournals.cn/georev

刘军平^{1, 2, 3)}, 刘卫东^{1, 3)}, 李维科^{1, 3)}, 李健²⁾, 何世军⁴⁾, 莫雄^{1, 3)}, 关奇^{1, 3)}

1) 云南省地质调查院, 昆明, 650216;

2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083;

3) 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明, 650051;

4) 中国冶金地质总局第二地质勘查院, 福州, 350108

内容提要:通过 1:5 万区域地质调查及剖面研究,在扬子西缘云南东川地区黑山组发现大套流纹质凝灰质板岩夹层,获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄加权平均值为 1522 ± 15 Ma,同时在中元古界黑山组泥质板岩中发现微生物成因沉积构造(MISS),通过对 MISS 及围岩进行电子探针、XRF 分析及能谱分析,研究发现 MISS 主要成分为 P、S、Fe、Cr,明显是微生物沉积过程中形成的化合物特征;而围岩主要为 Al、Si、K、Mg、Ti,为正常黏土质矿物组成元素,两者存在较大差别。笔者等发现的 MISS 是目前扬子西南缘已知发现的最古老的 MISS;MISS 在黑山组的出现表明了中元古代时期微生物群落的繁盛,反映了当时沉积环境为滨岸浅水潮上带,在凹陷的位置微生物参与形成了这样不规则的条带皱饰构造,为中元古代地层微生物区域对比、古环境研究提供重要的参考资料,对于恢复康滇裂谷盆地的生物—沉积作用和环境演化具有重要意义。

关键词:微生物成因沉积构造;古环境;锆石 U-Pb;中元古界;黑山组;东川地区

前寒武纪生物界是以微生物为主体,是后生动物起源和进化的基础,在硬体骨骼出现以前处于软体进化阶段的早期微生物的印痕和踪迹就更为重要,而微生物所引起的生物沉积构造的研究一直受到地质学家重视(Bose and Chafetz, 2009; 邢智峰等, 2011; 李晓波等; 2020; Liu Junping et al., 2020)。随着古生物研究发展,发育在碎屑岩地层为主的微生物成因沉积构造(Microbially Induced Sedimentary Structures, 简称 MISS)成为地学界的研究热点。目前我国中元古界地层中的 MISS 构造报道于豫西鲁山中元古界云梦山组(胡健民等, 1991; 邢智峰等, 2011)、山西黎城中元古界(郑元等, 2009; 郑伟, 邢智峰, 2015; 李晓波等; 2020)、河北兴隆中元古界大红峪组(梅冥相等, 2007; 陈留勤, 2013)、贺兰山中元古界黄旗口组(史晓颖等, 2008)、天津蓟县高于庄组(孙淑芬等, 2005, 2006; 田辉等, 2015),辽东地

区中—新元古界桥头组(吴子杰等, 2022)。MISS 集中发育在华北地块中元古界地层,而扬子西缘目前很少报道。

云南东川地区是中元古代地层发育完整且沉积连续,是研究其地层层序、构造格架、沉积环境及资源效应理想的场所,是古元古代末期扬子克拉通化后的第一套沉积盖层,和其他地区相比,变质程度低,能够较好地保存当时的沉积特征(刘军平等, 2020a, b, 2021, 2022c)。近期滇中地区大量 1:5 万区域地质调查项目^{①②}及云南省古生物化石开发保护调查项目开展,云南滇中地区古元古代易门多细胞生物群、中元古代晚期宏体藻类化石相继报道(刘军平等, 2018, 2019, 2022a, b; 李静等, 2018),与美国苏必利尔地区的古元古代卷曲藻(Grypania)、加蓬的弗朗斯维尔的古元古代多细胞古生物化石时代相当。云南化石保存丰富,特别是滇中地区自古

注:本文为云南省自然资源厅项目“云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅区域地质调查(编号: D201905)、云南 1:5 万大庄幅、法裱幅、底土幅、甸中幅 4 幅区域地质调查项目(编号: D202207)、云南省古生物化石开发保护调查(编号: 53000021000000021416)”、中国地质环境监测院项目“云南古生物化石产地示范调查(编号: DD20190601)”以及“云南省技术创新人才培养对象项目(编号: 202205AD160073)的成果。

收稿日期: 2022-07-27; 改回日期: 2022-12-16; 网络首发: 2023-01-20; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2023.01.001

作者简介: 刘军平, 男, 1983 年生, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事早期生命演化及前寒武纪地层研究; Email: 271090834@qq.com。通讯作者: 刘卫东, 男, 1971 年生, 本科, 高级工程师, 主要从事早期生命演化及项目管理研究; Email: 1628132428@qq.com。

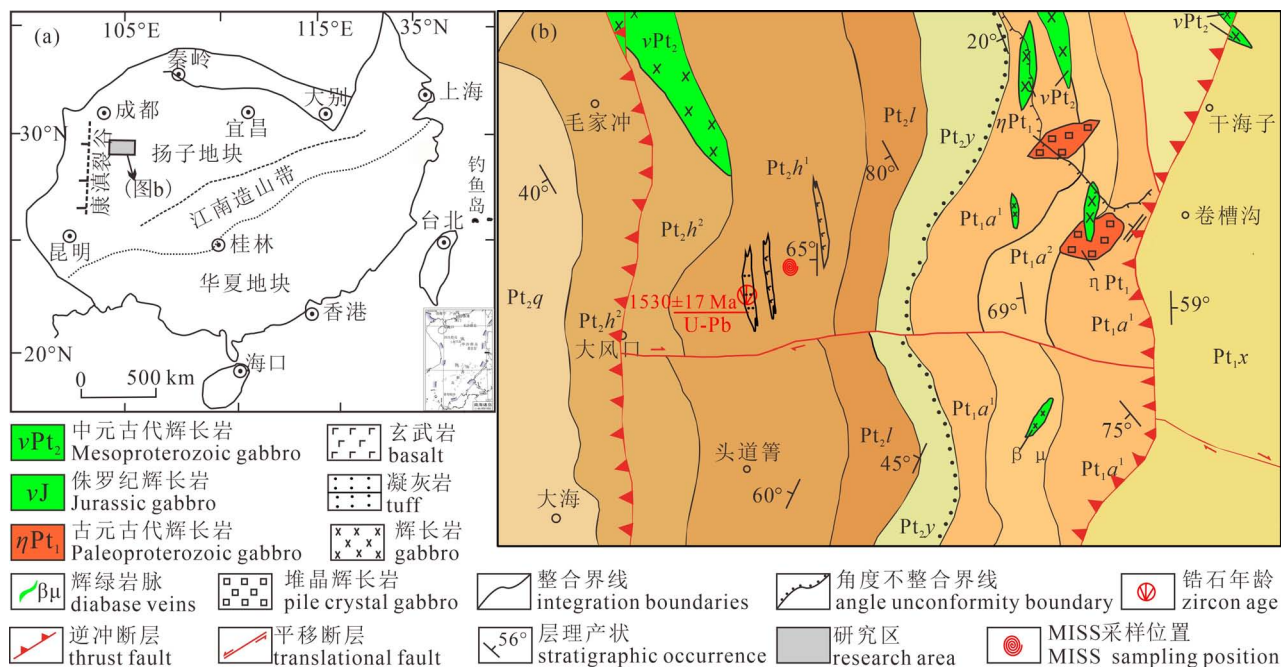


图 1 华南板块大地构造位置图(a) (据 Cawood et al., 2017 修改)、云南东川地区地质简图及采样点(b)

Fig. 1 Geotectonic location map of South China Block(a) (modified after Cawood et al., 2017) and Geological map and sampling points in Dongchuan, Yunnan (b)

Pt_{1a}—古元古界阿不都组; Pt_{1s}—古元古界西山村组; Pt_{2y}—中元古界因民组; Pt_{2l}—中元古界落雪组;

Pt_{2h}—中元古界黑山组; Pt_{2q}—中元古界青龙山组

Pt_{1a}—Paleoproterozoic Abudou Formation; Pt_{1s}—Paleoproterozoic Kishancun Formation; Pt_{2y}—Mesoproterozoic Yinmin Formation;

Pt_{2l}—Mesoproterozoic Luoxue Formation; Pt_{2h}—Mesoproterozoic Heishan Formation; Pt_{2q}—Mesoproterozoic Qinglongshan Formation

元古代到新生代化石均有分布(罗惠麟等, 1994; 唐烽等, 2015; Liu Junping et al., 2020), 由此滇中地区早前寒武纪层位是探索地球早期生命与地球环境相互作用的重要窗口。本文在云南东川地区中元古界黑山组首次发现微生物成因沉积构造(MISS), 不仅为该地区地层对比划分提供依据, 还可以为该地区中、新元古代沉积古地理的恢复提供重要依据, 同时对于恢复康滇裂谷盆地的生物—沉积作用和环境演化具有重要意义。

1 区域背景

扬子陆块是中国东部大陆重要的组成部分之一, 主要由太古宙—古元古代结晶基底岩系、中元古代褶皱基底岩系、古生代—新生代盖层以及古元古代、中元古代花岗岩类及基性岩类等组成(Liu Junping et al., 2020, 2021, 2022)。研究区位于扬子西缘云南东川地区(图 1a), 位于扬子陆块之上扬子古陆块的楚雄陆内盆地和康滇基底断隆带二个三级构造单元的接壤地段, 地层区划隶属华南地层

大区扬子地层区康滇地层分区之楚雄地层小区和昆明地层小区的结合部。区域出露地层以元古界为主, 少量基性岩岩体(图 1b)。古元古界易门群为一套碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩建造, 为康滇古裂谷环境的沉积, 在全球 Columbia 超大陆、Rodinia 超大陆汇聚的背景下, 遭受了二次区域低温动力变质作用的改造, 岩石变质程度普遍达低绿片岩相, 构成上扬子古陆块的结晶基底。东川群主要为一套浅变质的陆源碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩, 时代为中元古代, 为古裂谷(后期或转化为古弧—盆系)环境的沉积, 在全球 Rodinia 超大陆汇聚的背景下, 遭受了区域低温动力变质作用的改造, 岩石变质程度普遍达低绿片岩相, 构成上扬子古陆块的褶皱基底。共划分为 4 个组级岩石地层单位。自下而上包括因民组、落雪组、黑山组、青龙山组^{①②}(图 2a)。因民组岩性为灰紫色变质砂岩、泥质板岩, 偶夹大理岩化白云岩; 落雪组岩性为灰白色叠层石白云岩、含铜白云岩, 发育大量叠层石(图 2d); 黑山组岩性为灰色泥质板岩、变质粉砂岩、变质砂岩夹流纹质凝灰质板

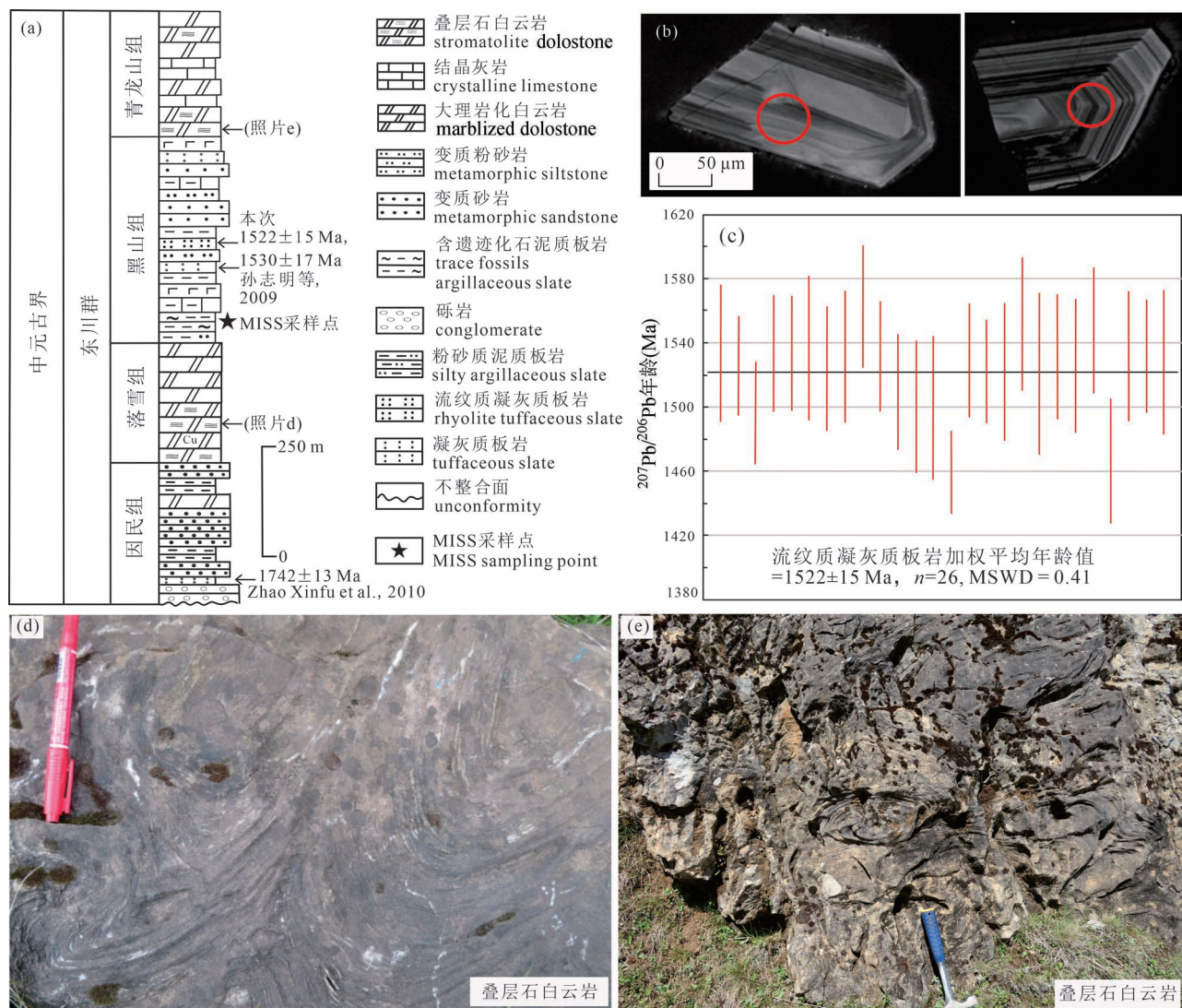


图 2 MISS 采样地层柱状图(a), 黑山组火山岩夹层 CL 图(b) 及锆石 U-Pb 年龄(c) (测年原始数据 见云南省地质调查院^①), 落雪组叠层石(d), 青龙山组叠层石(e)

Fig. 2 MISS sampling stratigraphic histogram (a), CL image of Heishan Formation volcanic rock interlayer (b) and zircon U-Pb age (c) (U-Pb dating data see Note ①), Luoxue Formation stromatolite (d), Qinglongshan Formation stromatolite (e)

岩、凝灰质板、变玄武岩、结晶灰岩, 泥质板岩中含大量遗迹化石; 青龙山组岩性为灰白色叠层石白云岩夹结晶灰岩, 发育大量叠层石(图 2e)。

2 研究方法

笔者等采用 1 : 1000 地质剖面测量、化石鉴定、电子探针、XRF 分析及能谱分析等方法对化石层位野外宏观地质特征、微观特征进行了详细研究; 电子探针、XRF 分析、扫描电镜及能谱分析主要在国土资源部昆明矿产资源监督检测中心实验室和湖北省地质实验室测试中心重点实验室完成。锆石 U-Pb 同位素定年在湖北省地质实验室测试中心、武汉上

谱分析科技有限公司。

电子探针用来分析薄片矿物微区的化学成分, 测试仪器为 Electron Microprobe, 仪器将高度聚焦的电子束聚焦在矿物上, 激发组成矿物元素的特征 X 射线, 用分光器或检波器测定荧光 X 射线的波长, 并将其强度与标准样品对比, 或根据不同强度校正直接计数出组分含量。扫描电镜是利用细聚焦电子束在样品表面扫描时激发出来的各种物理信号来调制成像的; 仪器为蔡司 EVO18, 尽可能使样品的表面结构保存好, 没有变形和污染, 样品干燥并且有良好导电性能。

能谱分析是用来对样品微区成分元素种类与含

量分析,配合扫描电子显微镜与透射电子显微镜的使用,能谱仪为布鲁克 XFlash6100,工作距离:13 mm,加速电压:20 kV,电流:500 pA。

XRF 工作原理是 X 射线光管发出的初级 X 射线激发样品中的原子,产生特征 X 射线,通过分析样品中不同元素产生的特征荧光 X 射线波长(或能量)和强度,可以获得样品中的元素组成与含量信息,达到定性定量分析的目的。

锆石 U-Pb 定年测试仪器采用美国 Coherent Inc 公司生产的 GeoLasPro 全自动版 193 nm ArF 准分子激光剥蚀系统(LA)和美国 Agilent 公司生产的 7700X 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)联用构成的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱分析系统

(LA-ICP-MS)。另外激光剥蚀系统配置了由澳大利亚国立大学开发研制的匀化器,由 10 根长度不同的细 PV 管组成,激光剥蚀产生的细小粉末样品通过匀化器装置后,因通过长短不同的管道所需的时间略有不同而使样品脉冲信号得到平滑,从而能有效降低激光脉冲剥蚀样品而产生的信号波动。锆石微量元素含量利用 NIST610 作为外标,Si 作为内标进行定量计算(吴元保和郑永飞,2004;刘军平等,2022c)。锆石 U-Pb 定年分析采用锆石标准年龄物质 91500 作为外标进行同位素分馏校正,每分析 6~8 个样品点分析 2 次 91500。样品测试时,背景信号采集 10 s,样品剥蚀 40 s,管路吹扫 10 s,信号采集时间总共为 60 s。样品的同位素比值和元素含量采

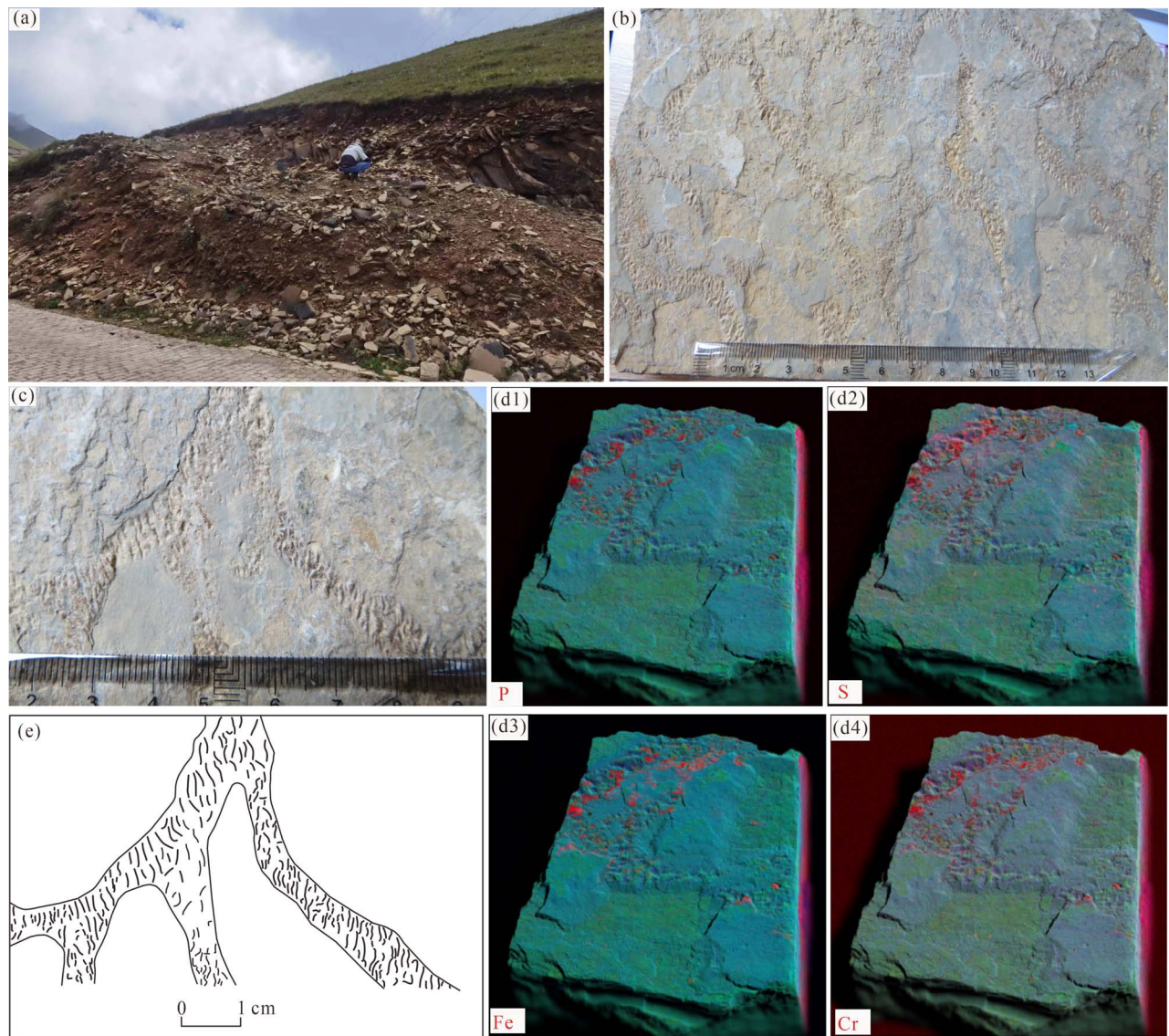


图 3 东川地区 MISS 构造野外露头(a),照片(b)、(c),素描(f)及 XRF 图(d)

Fig. 3 MISS outcrops (a), photos (b-c), sketches (f) and XRF images (d) in Dongchuan area

用 ICPMSDataCal 9.0 进行处理分析,加权平均年龄的计算及锆石年龄谐和图的绘制采用 Isoplot3.0 (Ludwing,2003)来完成。采用年龄为²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄,其加权平均值的误差为 2σ,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 平均年龄误差为 95%置信度。

3 研究结果及讨论

MISS 作为一种生物沉积构造,是微生物群落与沉积环境相互作用的产物。微生物在生长和新陈代谢、以及物理破坏和生物腐败等过程中,在沉积物中留下的各种形态、一般不突出于底层面的原生沉积构造,广义上也可被视为遗迹化石的一种(Gerdes et al., 2000; Gingras, 2002; Noffke, 2005)。

笔者等在云南东川地区黑山组中发现 2 层 MISS 构造(图 2a),人工开挖露头宽约 10 m(图 3a),这些 MISS 构造分布在泥质板岩层面上,其表面多为杂乱的皱纹,均呈现不规则条带(图 3b、c),宽 0.5~2 cm,部分分枝状,个别排布有一定方向性,呈凹凸有序,有的相互交叉排列成不规则的似网状形(图 3e),应是典型的 MISS 构造。通过对 MISS 及围岩进行电子探针、XRF 分析及能谱分析,研究发现 MISS 主要成分为 P, S, Fe, Cr, 明显是微生物沉积过程中形成的化合物特征;而围岩主要为 Al, Si, K, Mg, Ti(图 3d),为正常黏土质矿物组成元素,两者存在较大差别。这些特征与化学成因沉积构造、雨痕或冰冻裂缝等现象有着明显的差异。

笔者等在云南东川地区黑山组中首次发现流纹质凝灰质板岩夹层(宽约 5~10 m),测得其锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄为 1522±15 Ma(图 2b、c)^①,结合孙志明等在东川地区黑山组凝灰岩获得的 1530±17 Ma 锆石 U-Pb 年龄(孙志明等,2009),指示这些 MISS 构造是目前扬子西南缘已知发现的最古老的微生物成因沉积构造,较好的限定了当时微生物活动时限。

笔者等在中元古界黑山组中发现 MISS 构造,表明当时微生物群落非常繁盛,也反映了当时沉积环境为滨岸浅水潮上带,在凹陷的位置微生物参与形成了这此不规则的条带皱饰构造。这种微生物群落繁盛对当时大气充氧有一定的作用,氧气含量的提高也为后生生物的进化和发展提供基础。与华北地块中元古界云梦山组、常州沟组、大红峪组、黄旗口组、高于庄组 MISS 较为相似且时代相近。因此,研究区 MISS 的发现,对整个华南地区中—新元古代地层对比以及古环境研究有重要的指导意义。

4 结论

(1)首次在云南东川地区中元古界黑山组发现微生物成因沉积构造(MISS),为中元古代地层微生物区域对比、古环境研究提供重要的参考资料,对整个华南地区中—新元古代地层对比以及古环境研究有重要的指导意义。

(2)首次在东川地区黑山组流纹质凝灰质板岩中获得 1522±15 Ma 锆石 U-Pb 年龄,确定了黑山组沉积年龄为中元古代蓟县纪早期,指示是目前扬子西南缘已知发现的最古老的 MISS 构造,为重塑扬子西南缘早前寒武纪地层时代、构造格架提供参考依据,对于恢复康滇裂谷盆地的生物—沉积作用和环境演化具有重要意义。

致谢: 特别感谢吉林大学客座教授黄大一老师提供的化石 XRF 及能谱图,审稿人提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

注 释 / Notes

- ① 云南省地质调查院. 2021. 云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅成果报告.
- ② 云南省地质调查院. 2021. 《云南省区域地质志》(第二版,修编)成果报告.

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈留勤. 2013. 河北兴隆中元古界大红峪组微生物成因构造特征及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 32(3): 366~372.
- 胡健民, 孟庆任. 1991. 豫西长城系遗迹化石及其意义. 地质论评, 37(5): 437~444.
- 李晓波, 王旖旎, 王晗. 2020. 辽宁兴城中元古界常州沟组砂岩中微生物成因沉积构造. 沉积学报, 38(1): 32~45.
- 李静, 刘军平, 孙柏东, 刘桂春, 胡绍斌, 曾文涛, 张虎, 邓仁宏, 俞赛赢. 2018. 滇中易门地区古元古界易门群亮山组多细胞生物的年代学约束. 地质通报, 37(11): 2087~2098.
- 刘军平, 李静, 孙柏东, 胡绍斌, 曾文涛, 刘发刚, 孙志明, 丛峰, 徐云飞. 2018. 滇中易门地区发现化石新物种. 沉积与特提斯地质, 38(1): 37~40.
- 刘军平, 李静, 王伟, 孙柏东, 曾文涛, 宋冬虎, 关学卿, 吕勃烨, 郝学锋, 孙鹏. 2019. 滇中易门地区早前寒武纪地层化石的发现及其意义. 沉积与特提斯地质, 39(4): 57~65.
- 刘军平, 孙柏东, 王晓峰, 刘伟, 马进华, 关学卿, 宋冬虎, 吕勃烨. 2020a. 滇中禄丰地区中元古代早期球颗玄武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义. 地质论评, 66(1): 35~51.
- 刘军平, 李静, 王根厚, 孙柏东, 胡绍斌, 俞赛赢, 王小虎, 宋冬虎. 2020b. 扬子板块西南缘基性侵入岩锆石定年及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应. 地质论评, 66(2): 350~364.

- 刘军平, 宛胜, 戴启, 田素梅, 赵江泰, 吴嘉林. 2021. 滇中地区因民角砾岩类型、特征及找矿意义. *地质论评*, 67(6): 1619~1628.
- 刘军平, 莫雄, 孙载波, 胡绍斌, 曾文涛, 关奇, 王伟. 2022a. 滇中安宁地区海口组鱼类化石的发现及对海西运动的约束 [OL]. *中国地质*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1208.012.html>.
- 刘军平, 赵江泰, 孙载波, 莫雄, 孙志明, 曾文涛. 2022b. 扬子西南缘古元古界亮山组圆盘状化石的发现及其环境意义. *地质论评*, 68(1): 281~286.
- 刘军平, 宛胜, 田素梅, 王伟, 包佳凤. 2022c. 滇西云县地区中二叠世火山岩的发现及其对昌宁—孟连古特提斯洋俯冲作用的约束. *地质学报*, 96(3): 942~953.
- 罗惠麟, 陶永和, 高顺明. 1994. 昆明附近早寒武世遗迹化石, *古生物学报*, 33(6): 676~685.
- 梅冥相, 孟庆芬, 高金汉. 2007. 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. *地学前缘*, 14(2): 197~204.
- 孙淑芬, 朱士兴, 黄学光. 2006. 天津蓟县中元古界高于庄组宏观化石的发现及其地质意义. *古生物学报*, 45(2): 207~220.
- 孙淑芬, 朱士兴, 黄学光. 2005. 天津蓟县高于庄组(约 1450Ma)遗迹化石的新发现. *地质调查与研究*, 28(2): 65~70.
- 孙志明, 尹福光, 关俊雷, 刘建辉, 李军敏, 耿全如, 王立全. 2009. 云南东川地区昆阳群黑山组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义. *地质通报*, 28(7): 898~900.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589~1604.
- 吴子杰, 张德明, 范海滨, 张国仁, 邱隆伟, 王海鹏, 仲米山, 耿树峰, 郑伟, 高福亮, 赵汉卿. 2022. 辽宁东部地区桥头组微生物诱发沉积构造(MISS)的发现及意义. *地质论评*, 68(6): 2405~2408.
- 史晓颖, 王新强, 蒋干清, 刘曲波, 高林志. 2008. 贺兰山地区中元古代微生物席成因构造: 远古时期微生物群活动的沉积标识. *地质论评*, 54(5): 577~586.
- 田辉, 张健, 李怀坤, 苏文博, 周红英, 杨立公, 相振群, 耿建珍, 刘欢, 朱士兴, 许振清. 2015. 蓟县中元古代高于庄组凝灰岩锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 定年及其地质意义. *地球学报*, 36(5): 647~658.
- 唐烽, 高林志, 尹崇玉, 王约, 顾鹏. 2015. 华南伊迪卡拉(震旦)系顶部建阶层型和界线层型新资料. *地质通报*, 34(12): 2150~2162.
- 邢智峰, 齐永安, 郑伟, 袁余洋. 2011. 从微观角度认识微生物席在中元古代的繁盛: 以豫西云梦山组为例. *沉积学报*, 29(5): 857~865.
- 郑伟, 邢智峰. 2015. 山西黎城中元古界常州沟组微生物成因构造(MISS)及其地质意义. *现代地质*, 29(4): 825~832.
- 郑元, 吕洪波, 章雨旭, 王敏, 孙闯. 2009. 山西黎城中元古代砂岩层面多种痕迹特征及成因初析. *地质论评*, 55(1): 1~9.
- Bose S, Chafetz H S. 2009. Topographic control on distribution of modern microbially induced sedimentary structures(MISS): A case study from Texas coast. *Sedimentary Geology*, 213(3/4): 136~149.
- Chen Liuqin. 2013&. Characteristics and geological significance of Microbially Induced Sedimentary Structures (MISS) in Mesoproterozoic Dahongyu Formation of Xinglong county, Hebei province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(3): 366~372.
- Cawood P A, Zhao Guochu, Yao Jinglong, Wang Wei, Xu Yajun, Wang Yuejun. 2017. Reconstructing South China in Phanerozoic and Precambrian supercontinents. *Earth-Science Review*, 186: 173~194.
- Gerdes G, Klenke T, Noffke N. 2000. Microbial signatures in peritidal siliciclastic sediments: A catalogue. *Sedimentology*, 47(2): 279~308.
- Gingras M K. 2002. Microbially induced sedimentary structures—a new category within the classification of primary sedimentary structures—discussion. *Journal of Sedimentary Research*, 72(4): 587~588.
- Hu Jianmin, Meng Qingren. 1991&. Trace fossils from the Changcheng System of western Henan and their significance. *Geological Review*, 37(5): 437~444.
- Li Xiaobo, Wang Yini, Wang Han. 2020&. Microbially induced sedimentary structures (MISS) in Mesoproterozoic Changzhougou Formation sandstone, Xingcheng area, Liaoning Province, China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 38(1): 32~45.
- Li Jing, Liu Junping, Sun Baidong, Liu Guichun, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Zhang Hu, Deng Renhong, Yu Saiying. 2018. Chronological constraints on multi-cellular organism fossil from Liangshan Formation of Paleoproterozoic Yimen Group in central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37(11): 2087~2098.
- Liu Junping, Li Jing, Sun Baidong, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Liu Fagang, Sun Zhiming, Cong Feng, Xu Yunfei. 2018&. The discovery of new fossil species in the Yimen region, central Yunnan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38(1): 37~40.
- Liu Junping, Li Jing, Wang Wei, Sun Baidong, Zeng Wentao, Song Donghu, Guan Xueqing, Lü Boye, Hao Xuefeng, Sun Peng. 2019&. The discovery and significance of the fossils from the Early Precambrian strata in the Yimen region, central Yunnan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 39(4): 57~65.
- Liu Junping, Sun Baidong, Wang Xiaofeng, Liu Wei, Ma Jinhua, Guan Xueqing, Song Donghu, Lü Boye. 2020a&. The zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of the spherical basalt in the early Mesoproterozoic in Lufeng area central Yunnan. *Geological Review*, 66(1): 35~51.
- Liu Junping, Li Jing, Wang Genhou, Sun Baidong, Hu Shaobin, Yu Saiying, Wang Xiaohu, Song Donghu. 2020b&. Geochemistry and U-Pb age of zircons of mafic intrusion in the southwestern margin of the Yangtze plate: Response to breakup of the Columbia supercontinent. *Geological Review*, 66(2): 350~364.
- Liu Junping, Wan Sheng, Dai Qi, Tian Sumei, Zhao Jiangtai, Wu Jialin. 2021&. Yinmin Breccia types, characteristics and prospecting significance in Central Yunnan. *Geological Review*, 67(6): 1619~1628.
- Liu Junping, Mo Xiong, Sun Carrier, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Guan Qi, Wang Wei. 2022a&. Discovery of the fish fossils from Haikou Formation in Anning area of central Yunnan and its constraints on Hercynian movement [OL]. *Geology in China*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1208.012.html>.
- Liu Junping, Zhao Jiangtai, Sun Zaibo, Mo Xiong, Sun Zhiming, Zeng Wentao. 2022b&. Discovery and environmental significance of the discoid fossil from the Paleoproterozoic Liangshan Formation in southwestern margin of Yangtze. *Geological Review*, 68(1): 281~286.
- Liu Junping, Wan Sheng, Tian Sumei, Wang Wei, Bao Jiafeng. 2022c&. Discovery of the Middle Permian volcanic rocks in the Yunxian area, western Yunnan and constraints on subduction of the Changning—Menglian Paleo-Tethys Ocean. *Acta Geologica Sinica*, 96(3): 942~953.

Liu Junping, Song Sicun, Wang Wei, Tang Feng, Li Jing, Duan Xiangdong, Wang Xiaohu, Sun Baidong, Yu Saiying, Hu Shaobin, Duan Wenting. 2020. Protoconodont fossils for refining the Cambrian bottom and the contribution to shale gas formation along the southwest margin of Yangtze Block. *China Geology*, 3: 558~566.

Liu Junping, Tian Sumei, Zhu Xunzao, Ma Jinhua, Li Jing, Hu Shaobin, Yu Saiying, Zhang Hu, She Zhongming, Li Xugui. 2021. Discovery of rhyolitic tuffaceous slate in the southwestern margin of Yangtze Craton: Zircon U-Pb ages (2491 Ma) and tectonic—thermal events. *China Geology*, 4: 616~629.

Liu Junping, Yin Wei, Yang Shipan, Zhao Jiangtai, Zeng Wentao, Tang Feng, He Shijun, Li Weike. 2022. Response to the Lomagundi—Jatuli Event at the southwestern margin of the Yangtze Block: Evidence from the carbon and oxygen isotopes of the Paleoproterozoic Yongjingshao Formation, *China Geology*, doi: 10. 31035/cg2022033.

Luo Huilin, Tao Yonghe, Gao Shunming. 1994&. Early Cambrian trace fossils near Kunming, Yunnan. *Acta Palaeontologica Sinica*, 33 (6): 676~685.

Ludwing K R. 2003. Isoplot 3. 00: A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkely: Berkeley Geochronology Center, California 39.

Mei Mingxiang, Meng Qingfen, Gao Jinhan. 2007&. Microbial sand chips in transgressive sandstones of the Precambrian: An example from the Dahongyu Formation at the Huyu Section of the Nankou town in Beijing. *Earth Science Frontiers*, 14(2): 197~204.

Noffke N. 2005. Geobiology—A holistic scientific discipline. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219(1/2): 1~3.

Sun Shufen, Zhu Shixing, Huang Xueguang. 2006&. Discovery of Megafossils from the Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in the Jixian section, Tianjin and its stratigraphic significance. *Acta Palaeontologica Sinica*, 45(2): 207~220.

Sun Shufen, Zhu Shixing, Huang Xueguang. 2005&. Discovery of the new trace fossils in Gaoyuzhuang Formation(ca. 1450 Ma) in Jixian Section, China. *Geological Survey and Research*, 28(2): 65~70.

Sun Zhiming, Yin Fuguang, Guan Junlei, Liu Jianhui, Li Junmin, Geng Quanru, Wang Liquan. 2009&. SHRIMP U-Pb dating and its stratigraphic significance of tuff zircons from Heishan Formation of Kunyang Group, Dongchuan area, Yunnan Province, China. *Geological Bulletin of China*, 8(7): 896~900.

Shi Xiaoying, Wang Xinqiang, Jiang Qianqing, Liu Qubo, Gao Linzhi. 2008&. Pervasive microbial mat colonization on Mesoproterozoic peritidal siliciclastic substrates: An example from the Huangqikou Formation(ca 1. 6 Ga) in Helan Mountains, NW China. *Geological Review*, 54(5): 577~586.

Tian Hui, Zhang Jian, Li Huaikun, Su Wenbo, Zhou Hongying, Yang Ligong, Xiang Zhenqun, Geng Jianzhen, Liu Huan, Zhu Shixing, Xu Zhenqing. 2015&. Zircon LA-MC-ICPMS U-Pb dating of tuff from Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in Jixian County of North China and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 36(5): 647~658.

Tang Feng, Gao Linzhi, Yin Chongyu, Wang Yue, Gu Peng. 2015&. Macrofossil biotas in the Late Ediacaran—Cambrian boundary interval of South China and stratotype correlation. *Geological Bulletin of China*, 34(12): 2150~2162.

Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004&. Study on the mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589~1604.

Wu Zijie, Zhang Deming, Fan Haibin, Zhang Guoren, Qiu Longwei, Wang Haipeng, Zhong Mishan, Geng Shufeng, Zheng Wei, Gao Fuliang, Zhao Hanqing. 2022&. Discovery and significance of microbial induced sedimentary structure (MISS) from the Qiaotou Formation in eastern Liaoning. *Geological Review*, 68(6): 2405~2408.

Xing Zhifeng, Qi Yonggan, Zheng Wei, Yuan Yuyang. 2011&. Microscopic characteristics of extensive microbial mats in Mesoproterozoic Era: An example from the Yunmengshan Formation, western Henan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 29(5): 857~865.

Zheng Wei, Xing Zhifeng. 2015&. Characteristics and geological significance of microbially induced sedimentary structures (MISS) in Changzhougou Formation of Mesoproterozoic in Licheng County, Shanxi province. *Geoscience*, 29(4): 825~832.

Zhao Xinfu, Zhou Meifu, Li Jianwei, Sun Min, Gao Jianfeng, Sun Weihua, Yang Jinhui. 2010. Late Paleoproterozoic to early Mesoproterozoic Dongchuan Group in Yunnan, SW China: Implications for tectonic evolution of the Yangtze Block. *Precambrian Research*, 182: 57~69.

Zheng Yuan, Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Wang Min, Sun Chuang. 2009&. Miscellaneous traces on the bedding planes of Mesoproterozoic sandstones in Licheng, Shanxi: Characteristics and origin analysis. *Geological Review*, 55(1): 1~9.

Discovery and Paleoenvironment significance of the MISS from
the Mesoproterozoic Heishan Formation
in the western margin of the Yangtze

LIU Junping^{1, 2, 3)}, LIU Weidong^{1, 3)}, LI Weike^{1, 3)}, LI Jian²⁾, HE Shijun⁴⁾, MO Xiong^{1, 3)}, GUAN Qi^{1, 3)}

1) Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, 650216;

2) School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083;

3) Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, MNR, Kunming, 650051;

4) The Second Geological Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou, 350108

Objectives: Through the 1 : 50, 000 regional geological survey and cross-sectional study, a large set of rhyolite tuffaceous slate interlayers was discovered in the Heishan Formation in the Dongchuan area of Yunnan

Province in the western margin of the Yangtze River.

Results: The LA-ICP-MS zircon U-Pb age-weighted average of 1522 ± 15 Ma was obtained from the rhyolite tuffaceous slate. At the same time, a microbial sedimentary structure (MISS) was found in the argillaceous slate of the Heishan Formation in the Mesoproterozoic. Through the electron probe, XRF analysis and energy spectrum analysis of the MISS and surrounding rocks, it was found that the main components of the MISS are: P, S, Fe, Cr are obviously the characteristics of compounds formed in the process of microbial deposition. while the surrounding rocks are mainly Al, Si, K, Mg, Ti, which are normal clay minerals, and there is a big difference between the two. The MISS discovered this time is the oldest MISS known to be discovered in the southwestern margin of the Yangtze River.

Conclusions: The appearance of MISS in the Heishan Formation indicates that the microbial community flourished in the Mesoproterozoic period, reflecting that the depositional environment at that time was the coastal shallow water supratidal zone. The microbes at the sag participated in the formation of such an irregular striped wrinkle structure, which provided important reference materials for the regional comparison of Mesoproterozoic stratigraphic microbes and paleoenvironmental research, it is of great significance to restore the bio-sedimentation and environmental evolution of the Kang-Dian rift basin.

Keywords: microbially induced sedimentary structures; paleoenvironment; zircon U-Pb; Mesoproterozoic; Heishan Formation; Dongchuan area

Acknowledgements: This paper is the achievements of regional geological survey of 1 : 50000 Samaki, Yinmin, Guicheng and Shugu in Yunnan Province (No. D201905), regional geological survey of 1 : 50000 Dazhuang, Fabiao, Ditu, and Dianzhong in Yunnan Province(No. D202207), Yunnan Province Paleontological Fossil Development and Protection Survey (No. 530000210000000021416), Yunnan Paleontological Fossil Producing Area Demonstration Survey(No. DD20190601) and Training Object Project of technological innovation talents in Yunnan Province(No. 202205AD160073)

First author: LIU Junping, male, born in 1983, senior engineer, Ph. D. candidate, is mainly engaged in regional geological and structural geological investigation and research; Email: 271090834@qq.com

Corresponding author: Liu Weidong, male, born in 1971, undergraduate, senior engineer, mainly engaged in research on early life evolution and project management; Email: 1628132428@qq.com

Manuscript received on: 2022-07-27; Accepted on: 2022-12-16; Network published on: 2023-01-20

Doi: 10.16509/j. georeview. 2023. 01. 001 **Edited by:** LIU Zhiqiang