

昆明二村下奥陶统红石崖组顶部 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落的沉积环境和生态特征

江新胜¹, 王小兵^{2,3}, 王子正¹, 刘易阳^{2,3}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 自然资源部东北亚古生物演化重点实验室化石修复与研究中心, 四川 崇州 611247; 3. 四川崇州天演博物馆, 四川 崇州 611247)

摘要: *Cruziana* 及其相关的遗迹化石是由底栖三叶虫在沉积物表面停歇、爬行所留下的遗迹, 一般认为产于潮下带至浅海陆棚环境, 具有古水深指示意义。然而, 本文通过对昆明富民二村下奥陶统红石崖组顶部含 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落层位的沉积环境分析却发现, *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落的沉积环境为潮上带—潮间带, 说明三叶虫可以在短暂暴露环境中活动。三叶虫的这种适应性活动可能为节肢动物从海洋走向陆地做好了进化准备。

关键词: 下奥陶统; 红石崖组; *Cruziana* 遗迹化石群落; 沉积环境; 生态特征

中图分类号: P534.42

文献标识码: A

引言

遗迹化石是指地史时期各类生物死亡前生命活动在沉积岩中遗留下来的痕迹, 包括足迹、移迹、潜穴、钻孔、粪化石等化石^[1,2]。*Cruziana* 也称二叶石 (Bilobites), 为双侧对称的节肢动物在沉积物表面活动留下的痕迹, 造迹生物为三叶虫^[1-9]。除 *Cruziana* 外, 三叶虫的不同行为还可形成其他几种不同的遗迹化石, 形成了一个具有相对固定的遗迹化石组合, 称为 *Cruziana* 遗迹化石群落^[4-9]。*Cruziana* 在康滇古陆东侧早奥陶世分布广泛, 并以 *Cruziana rugosa* 居多, 因而命名为 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落^[10,11]。据研究, 遗迹化石组合受水深控制, 自滨岸线向广海依次为 *Scoyenia* 遗迹相、*Skolithos* 遗迹相、*Glossifungites* 遗迹相、*Cruziana* 遗迹相、*Zoophycus* 遗迹相和 *Nereites* 遗迹相, 已被广泛用于古环境、古地理重建^[1,2]。然而, 通过深入研究发现, 上述遗迹化石群落分布的古地理环境有很多例外, 影响了古地理重建的精度和造迹生物生态习性的复原。

红石崖组创名于昆明市富民县二村红石崖剖

面, 下与下奥陶统汤池组灰色砂岩和灰绿色云母质页岩整合接触, 上与泥盆系海口组石英砂岩超覆平行不整合接触, 厚 227.4m, 由杂色 (紫红色、灰绿色、土黄色) 条带状页岩、砂岩组成, 其顶部含大量 *Cruziana* 等遗迹化石^[12], 其时代应为早奥陶世弗洛期 (Floian Stage) 早中期^[13]。杨式溥和傅绍萍在 1985 年研究了云南武定红石崖组 *Cruziana* 遗迹化石群并建立了 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落, 该群落不仅广泛分布川滇黔地区, 在世界各地也广泛分布^[10]。罗惠麟 1993 年也对昆明二村红山崖组层型剖面的 *Cruziana* 遗迹化石做了详细的研究, 在红山崖组顶部发现了 *Cruziana rugosa*, *C. yini*, *Dimorphichnus* sp. 和 *Rusophycus* sp. 等遗迹化石^[14]。沈志达等研究了康滇古陆东侧早奥陶世遗迹化石组合分布规律并总结了遗迹化石的指相意义^[11]。上述研究极大地提高了早奥陶世 *Cruziana* 群落的研究程度, 但关于 *Cruziana* 遗迹化石的沉积环境有一定的分歧, 对生态特征的判定也有不同的看法。鉴于此, 本文对二村剖面顶部的 *Cruziana* 群落化石进行了采集, 对其沉积环境进行了观察, 对三叶虫的生态位进行了分析, 以期对古生物、古生态、古地理研

收稿日期: 2019-12-15; 改回日期: 2020-1-5

作者简介: 江新胜 (1956—), 男, 研究员, 从事古生物、古气候、古地理研究。E-mail: cdjxinsheng@126.com

资助项目: 中国地质调查局项目 (DD20190524)

究提供新的信息。

1 化石描述

经前人研究,二村红石崖组顶部的 *Cruziana rugosa* 遗迹群落含有以下遗迹化石属:*Cruziana*, *Rusophycus*, *Teichichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Isopodichnus*, *Diplichnites*, *Monomorphichnus*^[10,14]。经本文研究,上述化石基本可以见及,个别属种可由下伏汤池组上延至本组顶部。现将关键属种描述如下:

戈德福塞克鲁兹迹 *Cruziana goldfussi* (Rouault), 1850

(图版 1, 图 a, b)

1990 *Cruziana goldfussi* (Rouault), 杨式溥, 140 页, 图版 4, 图 3, 6^[2]

1993 *Cruziana goldfussi* (Rouault), 罗惠麟, 66 页, 图版 1, 图 3, 6^[14]

2004 *Cruziana goldfussi* (Rouault), 杨式溥, 127 页, 图版 11, 图 2^[1]

描述:为纵长二叶形犁沟,宽约 4cm,后倾抓痕细密,难以区分,抓痕相互近平行,V 字形角度 60°~75°,中沟较窄深,两侧边缘具有明显肋沟,保存为内模底迹凸起。化石密集,来回穿梭,上下叠覆。化石表面具雨痕。罗惠麟^[14]曾发现于下伏地层下奥陶统汤池组,在二村剖面红石崖组顶部为首次发现。

产地层位:昆明二村,下奥陶统汤池组和红石崖组。

皱饰克鲁兹迹 *Cruziana rugosa* D'Orbigny, 1842

(图版 1, 图 c, d)

1932 *Cruziana* sp. A, B 型, Yin, pl. I, fig. 2^[3]

1985 *Cruziana rugosa* D'Orbigny, 杨式溥、傅绍萍, 48 页, 图版 I, 图 2, 3^[10]

1993 *Cruziana rugosa* D'Orbigny, 罗惠麟, 66 页, 图版 1, 图 10, 11^[14]

描述:为纵长二叶形犁沟,一般长约 14cm,宽 5~6cm,表面具清晰的内肢抓痕,在一定间隔上形成连续褶皱的横脊,抓痕与中沟近平行或大角度相交,未见肋沟。

产地层位:昆明二村,下奥陶统红石崖组顶部。

皱饰迹未定种 *Rusophycus* sp. Hall, 1852

(图版 1, 图 e)

描述:为短二叶型遗迹,呈卵圆形,双叶宽约

15cm,保存为岩层底部凸起,中沟深,抓痕细或不显,为三叶虫停歇迹。与罗惠麟图版^[14]相比,本文的 *Rusophycus* 标本凸度更大,抓痕不显。

产地层位:云南昆明,下奥陶统红石崖组顶部。

尹氏克鲁兹迹 *Cruziana yini* Yang, 1985

(图版 1, 图 f)

1985 *Cruziana rugosa* D'Orbigny, 杨式溥、傅绍萍, 48 页, 图版 I, 图 5, 6^[10]

1993 *Cruziana rugosa* D'Orbigny, 罗惠麟, 67 页, 图版 1, 图 12^[14]

2004 *Cruziana yini* Yang, 杨式溥, 129 页, 图版 12, 图 3, 4^[1]

描述:纵长二叶形爬痕,两侧叶抓痕直达中沟附近,抓痕与中沟交角 70°~80°,接近垂直,抓痕略成弧形弯曲,弧形凹面为动物运动前进方向。抓痕在始端可分叉,抓痕清晰,中沟浅而宽,略有弯曲,两侧无肋沟。

产地层位:昆明二村,下奥陶统红石崖组顶部。

双线单形迹 *Monomorphichnus bilinearis* Crimes, 1970

(图版 1, 图 f)

1988 *Monomorphichnus bilinearis* Crimes, 李日辉、杨式溥, 166 页, 图版 2, 图 4^[15]

描述:抓痕粗壮,略呈弧形,成对出现,中沟浅而清晰。

产地层位:昆明二村,下奥陶统红石崖组顶部。

除上述描述的遗迹化石外,尚可见大量水平或斜穿层面的管状潜穴,未见垂直层面的针管迹 (*Skolithos*)。

2 沉积环境

关于红石崖组顶部的沉积环境前人多有涉及。罗惠麟根据该组含有波痕和交错层理,将其划为浅海潮下低能带的沉积,位于滨岸至浪基面之上的地区^[14]。杨式溥和傅绍萍根据 *Cruziana* 群落的水深和沉积构造判定为潮间带之下至波基面之上的浅海临滨地区,甚至是浅海陆棚环境^[2,10]。沈志达等在红石崖组发现了雨痕和干裂,说明沉积表面时而露出海面,具有潮上泥坪的特征^[11]。据笔者观察,红石崖组顶部总体岩性为紫红色泥岩、粉砂岩和泥质细砂岩,中薄层条带状,氧化特征明显,生物扰动强烈。断面上可见潮汐作用形成的透镜状层理和波状层理,层面上可见流水波痕,化石表面上可见

雨痕和泥裂(图 1h),显然属于局部暴露低能海岸环境。还应提到的是,所有化石均保留在砂岩层的底面,呈印模形式产出,说明原生痕迹是形成于泥页岩之上。砂岩应该属于潮间带沙坪环境沉积,而泥页岩则为潮上带泥坪环境沉积。按照常规的沉积模式,其古地理位置应该位于潮上泥坪和潮间沙坪环境。

3 生态特征

不同的生物具有不同的生态环境适应能力,因而造成了不同的生物分带。对海洋生物来说,海水深度是其重要的控制因素,生物群落的分带性十分明显,其结果就形成了许多分布模式。其中遗迹化石相带受水深控制尤为明显,对古水深分析、古地理重建起到了重要作用(图 1)^[2]。按照该分布模式,从陆地到深海遗迹化石从垂直层面逐渐过渡到平行层面分布,生物类型也从内栖转变为表栖。其中 *Cruziana* 遗迹相就是以表栖生物为主,包括了三叶虫觅食、停歇、运动留下的各种遗迹,主要分布于潮间带以下的浅海陆棚区。虽然这种深度分带模式总体还是准确的,但也遭到质疑,甚至有人认为与水深没有固定关系^[16]。红石崖组顶部的 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落的水深就与该模式产生了矛盾。虽然该群落遗迹化石多数是顺层分布,看似处于安静的深水环境,但在化石表面可见到雨痕、泥裂等暴露标志,说明当时处于海平面之上,相当于陆相红层—潮上带 *Scoyenia* 遗迹相的生态位置(图 1)。

研究表明,三叶虫与海生动物如珊瑚、海百合、

腕足动物、头足动物等共生,只产于海相沉积岩中,从未在陆相地层中发现过,说明三叶虫为海生生物^[17]。三叶虫大多适于浅海底栖爬行或半游泳生活,另一些可在远洋中游泳或漂游,少数可营挖掘生活。因而认为 *Cruziana* 为三叶虫在沉积物中觅食挖掘的潜穴^[1,2]。然而本文所发现的雨痕和干裂构造却表明, *Cruziana* 等化石的形成环境存在阶段性暴露,属于潮上带和潮间带沉积。可以说明, *Cruziana* 并非潜穴,而是爬痕,三叶虫并非完全生存于海平面之下,也可以在水上暴露环境生存。由于化石保存的原因,对三叶虫生态位的认识可能存在误区,就目前看三叶虫的活动范围可能扩展到潮上短暂暴露环境。三叶虫在暴露环境生存的生态适应可能为节肢动物从海洋走向陆地奠定演化基础。

从二村剖面红石崖组顶部 *Cruziana* 化石的密集程度来看,当时的潮坪上三叶虫个体密度极大,三叶虫布满潮坪滩表面,来回穿梭,呈现出一派繁忙景象。估计是因为潮水退却过程在沉积物表面留下了丰富的食物,引起三叶虫集体“赶海”现象,形成了大量盘根错节的爬行迹(*Cruziana*)。随着潮水的退去,多数三叶虫也随波逐流,退入潮下和浅海陆棚区。少量三叶虫不幸搁浅,为了保持身体潮湿,不断向下挖掘,潜伏于坑中等待下一次涨潮,因而形成了较深的坑状停歇迹(*Rusophycus*)。也许有很多三叶虫个体经受不住长时间的暴晒而死亡,但其尸体可能随着下一次退潮而带走。这也许是潮坪环境存在大量三叶虫活动遗迹而罕见实体三叶虫化石保存的根本原因。

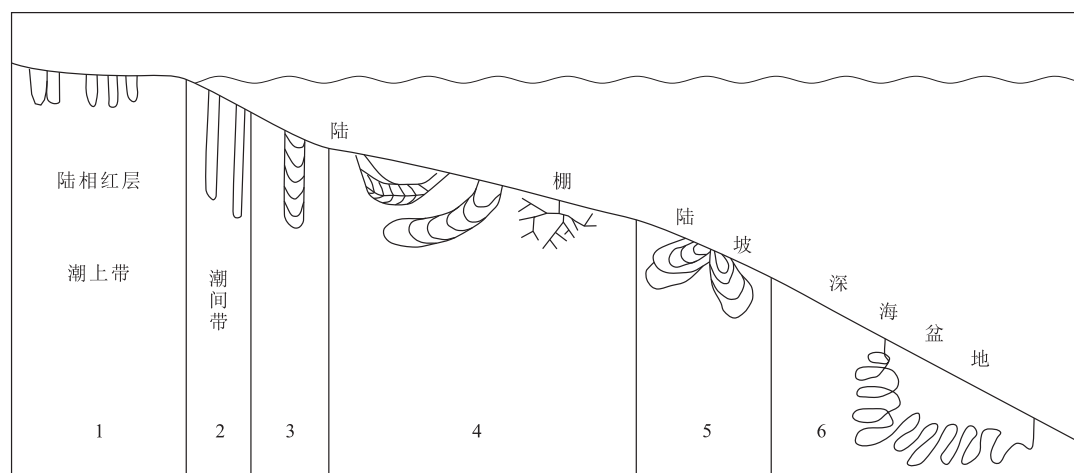


图 1 海洋环境遗迹化石相带深度分带模式(据杨式浦,1986 修改)

1. *Scoyenia* 遗迹相;2. *Skolithos* 遗迹相;3. *Glossifungites* 遗迹相;4. *Cruziana* 遗迹相;5. *Zoophycus* 遗迹相;6. *Nereites* 遗迹相

Fig. 1 Depth distribution model for trace fossils in marine environment (modified from Yang Shipu, 1986)

4 结论

(1)研究剖面 *Cruziana rugosa* 遗迹化石群落的沉积环境为潮上带泥坪和潮间带沙坪,并非处于潮下带至广海陆棚环境。

(2)三叶虫可生存于短暂暴露的海岸环境,这种适应性活动可能为节肢动物从海洋走向陆地做好了进化准备。

致谢:四川崇州天演博物馆张快、范祖昌和陈子华参与了野外化石采集工作,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 杨式溥,张建平,杨美芳. 中国遗迹化石[M]. 北京:科学出版社,2004:1-353.
- [2] 杨式溥. 古遗迹学[M]. 北京:地质出版社,1990:1-177.
- [3] 尹赞勳. On the Occurrence of *Cruziana* (Bilobites) in Yunan and Szechuan[J]. 中国地质学会志,1933,(00):81-89.
- [4] 杨式溥. 古生态学的发展现状和研究途径[J]. 地球科学,1981,(02):1-8.
- [5] 杨式溥. 遗迹化石及其对古环境分析的意义[J]. 沉积学报,1984,(04):8-18+127-129.

- [6] 杨式溥. 我国遗迹化石研究的新进展[J]. 地质论评,1985,(03):197-203+291-292.
- [7] 杨式溥. 遗迹相及其古环境的意义[J]. 地球科学,1986,(05):455-463+551-552.
- [8] 杨式溥. *Cruziana* 在中国的地层和地理分布及其沉积环境[J]. 地球科学,1990,(03):263-273+347-348.
- [9] 杨式溥. 遗迹化石的古环境和古地理意义[J]. 古地理学报,1999,(01):7-19.
- [10] 杨式溥,傅绍萍. 云南武定下奥陶统 *Cruziana* 遗迹化石群落及其地层和地理分布[J]. 地质科学,1985,(01):43-52+113-114.
- [11] 沈志达,曾羽,梅冥相,沈建. 康滇古陆东侧早奥陶世遗迹化石及其指相意义[J]. 沉积学报,1990,(03):110-120.
- [12] 张远志. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996:1-366.
- [13] 张举,张元动,宋妍妍. 滇东地区奥陶系红石崖组的时代[J]. 地层学杂志,2013,37(01):8-17.
- [14] 罗惠麟. 昆明二村早奥陶世遗迹化石[J]. 成都地质学院学报,1993,(02):64-68.
- [15] 李日辉,杨式溥. 滇东、川中地区震旦系——寒武系界线附近的遗迹化石[J]. 现代地质,1988,(02):158-174.
- [16] Robert W. Frey,刘金华. 遗迹相与水深没有固定关系[J]. 地质科学译丛,1991,(04):31-33.
- [17] 林天瑞. 三叶虫概论[M]. 北京:科学出版社,2017:1-213.

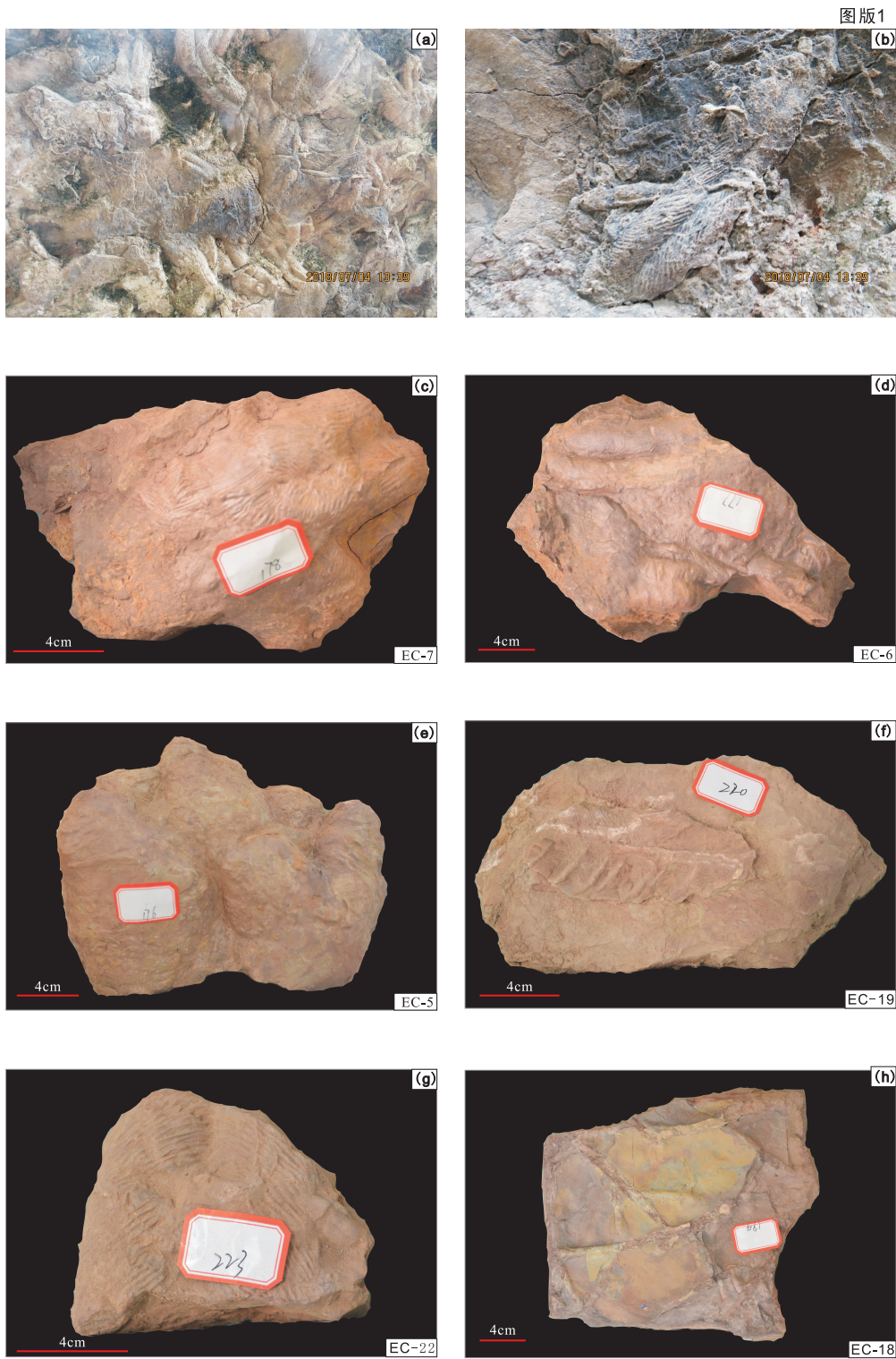
Trace Fossil Community *Cruziana rugosa*, sedimentary environment and ecological characteristics in the top of the Early Ordovician Hongshiya Formation in Erchun, Kunming

Jiang Xinsheng¹, Wang Xiaobing^{2,3}, Wang Zizheng¹, Liu Yiyang^{2,3}

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Center for Fossil Restoration and Research, Key Laboratory of Northeastern Asia Paleontological Evolution, Ministry of Natural Resource, Chongzhou 611247, Sichuan, China; 3. Sichuan Chongzhou Tianyan Museum, Chongzhou 611247, Sichuan, China)

Abstract: *Cruziana* and its related trace fossils usually were formed on sediment surface by benthic trilobite resting and creeping in subtidal zone to neritic continental shelf area, which could indicate ancient water depth. In this paper, the sedimentary environment analysis on the trace fossil community *Cruziana rugosa* in the top of the Early Ordovician Hongshiya Formation in Erchun, Kunming neritic continental, Yunnan Province shows that the sedimentary environment of trace fossil community *Cruziana rugosa* occurs from the supratidal zone to the intertidal zone, indicating that trilobites could live in the short-term exposing environment. This adaptive activity of trilobites may be the evolution preparation for the arthropods advancing from the ocean to the land.

Key words: Early Ordovician; Hongshiya Formation; trace fossil community *Cruziana rugosa*; sedimentary environment; ecological characteristics



图版说明

图版 1 a, b. 戈德福塞克鲁兹迹 *Cruziana goldfussi* (Rouault). 昆明二村下奥陶统红石崖组顶部;

图版 1 c, d. 皱饰克鲁兹迹 *Cruziana rugosa* D'Orbigny. 昆明二村下奥陶统红石崖组顶部;

图版 1 e. 皱饰迹未定种 *Rusophycus* sp. Hall. 昆明二村下奥陶统红石崖组顶部;

图版 1 f. 双线单形迹 *Monomorphichnus bilinearis* Crimes. 昆明二村下奥陶统红石崖组顶部;

图版 1 g. 尹氏克鲁兹迹 *Cruziana yini* Yang. 昆明二村下奥陶统红石崖组顶部;

图版 1 h. 显示暴露环境的多边形泥裂。昆明二村下奥陶统红石崖组顶部。