

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

分叉波痕在广西上泥盆统钙质浊积岩中的发现及意义

龚一鸣¹⁾ 徐冉¹⁾ 李保华²⁾

1) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074; 2) 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海, 200092

内容提要 小型不对称分叉波痕(简称分叉波痕)发现于桂林杨堤剖面上泥盆统弗拉斯阶 *linguiformis* 牙形石带, 桂林碳酸盐台地东南缘斜坡相钙质浊积岩鲍马序列 C 段。波长 7.5~8.0 cm, 波高 0.5~0.8 cm, 波痕指数 15~10; 向流面长 5.0~7.0 cm, 背流面长 2.5~4.0 cm, 波痕对称指数 2.0~1.8; 背流面向东倾; 波脊较圆滑、缓曲, 且具明显的分叉现象。是浊流流速减缓, 密度流转化为牵引流后在低流态条件下, 并叠加有推进型风暴浪作用形成的复合成因波痕。根据该波痕和寄主地层特征, 推断含分叉波痕的阳朔碳酸盐盆地的最大水深约 100 m, 极限水深小于 200 m。这一估计值应能代表广西乃至华南板块泥盆纪广泛发育的含牙形石动物群和钙质浊积岩碳酸盐沉积盆地的定量水深, 可能也代表了弗拉斯阶—法门阶之交受集群绝灭事件重创的浅水海相生物与基本未受影响的深水海相生物的水深分界线。

关键词 波痕 浊积岩 碳酸盐 定量水深 集群绝灭 泥盆系 广西

波痕是陆源碎屑沉积岩中的常见物理沉积构造, 广泛分布于海相、陆相和过渡相中 (Reineck et al., 1973; Allen, 1982), 常被地质工作者误认为是浅水沉积的相标志。近年来, 在我国天山—准噶尔造山带和秦岭造山带的深海—一半深海陆源碎屑沉积岩中波痕的发现 (张晓宝等, 1994; 晋慧娟等, 1995)。但在钙质浊积岩中尚很少见有波痕、特别是复合成因波痕的报道。上泥盆统弗拉斯阶—法门阶 (F—F) 之交分叉波痕 (小型不对称分叉波痕的简称) 的发现不仅丰富了钙质浊积岩和波痕的研究内容, 而且为定量阐明广西泥盆纪碳酸盐沉积盆地水深这一长期围绕沉积学界的问题和深刻认识 F—F 之交选择性生物集群绝灭的环境背景提供了新资料。

1 波痕及寄主地层特征

分叉波痕发育于桂林杨堤剖面上泥盆统弗拉斯阶 *linguiformis* 牙形石带, 桂林碳酸盐台地东南缘斜坡相细砂状钙质浊积岩中 (图 1、2)。由多个鲍马序列构成的浊积岩层序韵律清楚, 单个鲍马序列的厚度 5.0~16.0 cm, 波痕所在鲍马序列厚度 14.0 cm (图 2; 图版 I-1); 在鲍马序列中, 可见冲刷面构造, 正递变层理, 小型砂纹层理和水平层理及 *Palaeophycus*

遗迹组构 (图版 I-2), 遗迹组构指数 (Droser et al., 1993; Gong et al., 2001) 为 2~3; 岩性为粒泥灰岩和泥灰岩。地层中富含牙形石 *Palmatolepis*, *Polygnathus* 和 *Icriodus*, 其中以较深水型牙形石 *Palmatolepis* 最为丰富, 约占三者总量的 80% (Wang et al., 2002)。

分叉波痕发育于鲍马序列 C 段 (图 2, 图版 I-3), 波长 7.5~8.0 cm, 波高 0.5~0.8 cm, 波痕指数 15.0~10.0; 向流面长 5.0~7.0 cm, 背流面长 2.5~4.0 cm, 波痕对称指数 2.0~1.8; 背流面向东倾; 波脊较圆滑、缓曲, 波脊具明显的分叉现象, 在波痕面上覆盖有浊积岩 E 段的钙质泥岩薄层 (图版 I-3), 为小型不对称分叉波痕。

2 讨论及意义

产于鲍马序列 C 段的分叉波痕, 背流面倾向与桂林碳酸盐台地东南缘斜坡倾向 (向东倾) 一致 (图 1), 在形态上, 该波痕兼有水流波痕和波浪波痕的复合成因特征, 即较小的波高 ($\ll 4.0$ cm), 较大的波痕指数 (> 7) 和对称指数 (水流波痕特征), 波脊较圆滑、明显分叉 (波浪波痕特征)。这里报道的波痕除波脊明显分叉外, 其他波痕参数与发现于我国天山—

注: 本文为国家自然科学基金 (编号 40072041)、中国主要断代地层建阶研究项目和国家“九五”攀登计划专项“SSER”项目联合资助成果。

收稿日期: 2003-03-03; 改回日期: 2003-05-09; 责任编辑: 周健。

作者简介: 龚一鸣, 男, 1958年生, 博士。现任中国地质大学教授, 主要从事沉积地层学、遗迹化石和泥盆系方面的教学和研究工作。通讯地址: 430074, 武汉市, 中国地质大学地球科学学院地古教研室; Email: ymgong@cug.edu.cn。

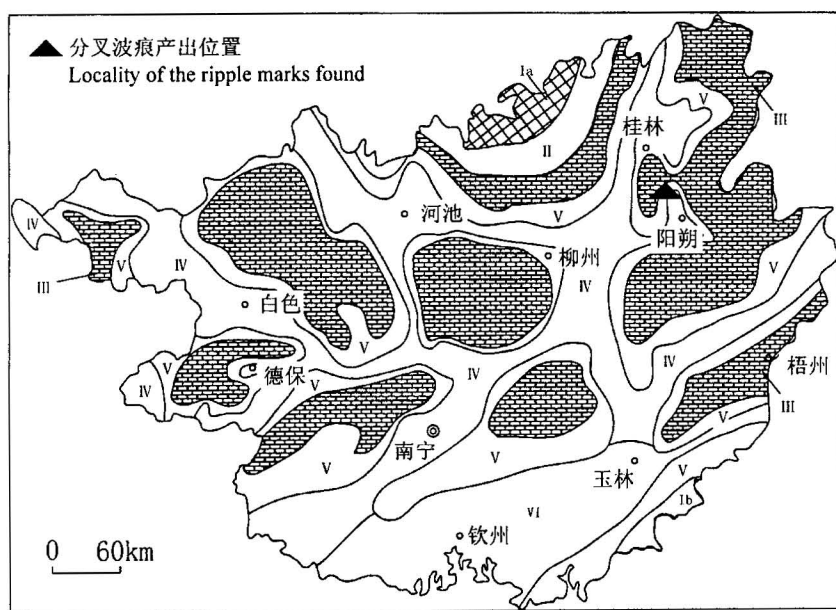


图 1 广西晚泥盆世中期岩相古地理及分叉波痕产地

Fig. 1 Lithofacies and palaeogeography of the middle Late Devonian in Guangxi, and the locality of the ripple marks

- I a, I b—水上、水下隆起; II—局限台地相; III—半局限台地相; IV—一台间海槽相;
V—台地前缘斜坡相; VI—海槽相; ▲—分叉波痕产出位置
I a, I b—Uplift, submarine uplift; II—restricted platform; III—semi-restricted platform;
IV—trough between carbonate platforms; V—front slope of carbonate platform;
VI—marine trough; ▲—locality of the ripple marks found

准噶尔造山带和秦岭造山带深海—半深海陆源碎屑浊积岩中的波痕参数(张晓宝等,1994;晋慧娟等,1995)非常类似,即波痕对称指数1.6左右,波痕指数10~15。

水力学实验和海底底流测量结果表明,细砂中产生小波痕的流速范围为20~40 cm/s(晋慧娟等,1995)。因此,这里的小型不对称分叉波痕是在浊流流速减缓,密度流转化为牵引流后在低流态条件下,并叠加有推进型风暴浪作用形成的。地层记录和现代沉积资料表明,风暴浪能影响的水深范围通常在5.0~80.0 m之间,最深不超过200 m(龚一鸣,1987;刘本培等,1990)。考虑到含波痕的鲍马序列厚度及其上覆和下伏鲍马序列厚度(5.0~8.0 cm)和岩性(图版 I-1),该浊积岩的产出部位应相当于桂林碳酸盐台地东南缘斜坡的中下部,据此,推断含小型不对称分叉波痕的阳朔碳酸盐盆地的最大水深应在风暴浪基面以下,其水深约100 m,极限水深小于200 m。这一水深估计值应能代表广西乃至华南板块泥盆纪含牙形石动物群和钙质浊积岩碳酸盐沉积盆地的定量水深估计。

20世纪90年代以来,随着内潮汐和内波沉积相

继在深水地层记录中的发现(Gao et al., 1991; 高振中等,1997),沉积学研究者已初步总结出区分内潮汐、内波沉积与浊积岩、等深积岩以及与表面波(如:正常波浪和风暴浪)沉积的主要识别标志(何幼斌等,1998)。这里报道的分叉波痕是在浊流流速减缓,密度流转化为牵引流后在低流态条件下,并叠加有推进型风暴浪作用而不是内波作用形成的,主要有3点证据:①分叉波痕发育于鲍马序列C段,鲍马序列均表现为单向正递变,未见双向递变(图2,图版 I-1);②分叉波痕背流面倾向向东,与古斜坡倾向和浊流运动方向一致,在产出分叉波痕的浊积岩序列中未见内波沉积的特征古流向构造,如双向古流向构造,或指向古斜坡上游方向的古流向构造;③内波沉积常发育于海平面上升期,缺乏生物扰动(何幼斌等,1998),这里报道的分叉波痕发育于进积序列中,且发育生物扰动(图2,

图版 I-2)。

加里东运动后,在拉张构造背景下形成的碳酸盐台地与盆地间列的古地理格局是广西乃至华南泥盆纪的显著特征(钟铿等,1992;曾允孚等,1993;刘宝珩等,1993;吴诒等,1997;Gong et al., 1997)。但泥盆纪广泛发育的含牙形石和钙质浊积岩的碳酸盐沉积盆地(图1)水有多深,一直是困扰广西泥盆系研究的难题。广西泥盆纪碳酸盐沉积盆地水深的定量确定不仅直接影响其古地理和古生态的定量解释,而且关系到对泥盆纪华南板块沉积盆地基底构造拉伸量和拉伸强度的认定。从分叉波痕对阳朔碳酸盐沉积盆地水深的估计来看,其构造拉伸量是比较小的,沉积盆地基底不仅是陆壳,而且含牙形石和钙质浊积岩的碳酸盐沉积盆地的水深也没有超过浅海的水深范围。正是这一特殊的构造古地理背景和泥盆纪华南板块处于热带—亚热带气候带(赵锡文,1992;龚一鸣等,2002)、风暴沉积发育(龚一鸣等,1996)才使得斜坡相和盆地相沉积物能同时遭受到浊流和巨型风暴浪的复合影响。

F—F之交是显生宙5次重大集群绝灭之一,该绝灭在生物类群、地理纬度和生态环境上具明显选

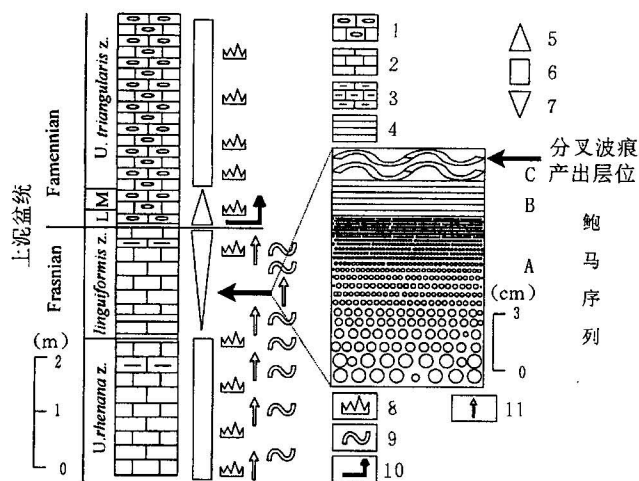


图2 广西杨堤剖面分叉波痕产出层位及其地层特征

Fig. 2 The horizon of the ripple marks occurring and stratigraphical features of the Devonian Yangdi section in Guangxi

1—扁豆灰岩; 2—中—薄层灰岩; 3—泥灰岩; 4—钙质页岩; 5—退积; 6—加积; 7—进积; 8—牙形石; 9—*Palaeophycus* 遗迹组构; 10—阶跃型海平面上升; 11—正递变层理

1—Nodular limestone; 2—middle- to thin-bedded limestone; 3—marl; 4—calcareous shale; 5—retrogradation; 6—aggradation; 7—progradation; 8—conodont; 9—*Palaeophycus* ichnofabric; 10—saltatory sea-level rise; 11—graded bedding; 12—horizon of the ripple mark

择性。受重创的是低纬度礁生态系、浅水海相生物, 而高纬度生态系、深水生物和陆生动、植物受影响甚小(白顺良, 1998; Sepkoski, 1986; Walliser, 1996; Hallam et al., 1997; Racki, 1999)。从广西上泥盆统钙质浊积岩中分叉波痕反映的水深来看, 受重创的浅水海相生物与基本未受影响的深水海相生物的水深分界线可能为巨型风暴浪基面附近, 其水深通常不超过100m。F—F之交在不同深度带生活的牙形石(季强, 1994)、腕足(McGhee, 1996)和珊瑚(郭胜哲, 1990)类群的绝灭特征似乎支持了这一推论。

参 考 文 献

- 白顺良. 1998. 泥盆纪弗拉斯阶—法门阶事件的化学—生物地层学研究. 北京大学学报(自然科学版), 34(2~3): 363~369.
- 高振中, 何幼斌, 李建明, 等. 1997. 我国发现内潮汐沉积. 科学通报, 42(13): 1418~1421.
- 龚一鸣. 1987. 事件沉积. 地质科技情报, 6(3): 21~26.
- 龚一鸣, 杜远生, 冯庆来, 颜佳新. 1996. 造山带沉积地质与圈层耦合. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~146.
- 龚一鸣, 李保华, 司远兰, 吴治. 2002. 晚泥盆世赤潮与生物集群绝灭. 科学通报, 47(7): 454~560.
- 郭胜哲. 1990. 弗拉斯期k 法门期生物事件与大兴安岭晚泥盆世珊瑚化石. 古生物学报, 29(4): 427~433.
- 何幼斌, 高振中. 1998. 内潮汐、内波沉积的特征与鉴别. 科学通报, 43

(9): 903~908.

- 季强. 1994. 从牙形类研究论华南弗拉斯阶k 法门阶生物绝灭事件. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编辑委员会编. 地层古生物论文集. 北京: 地质出版社, 79~107.
- 晋慧娟, 李育慈. 1995. 深海沉积中的几种“特殊”原生沉积构造. 中国科学(B辑), 25(8): 890~897.
- 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1~236.
- 刘本培, 龚一鸣, 李翔, 阎毅. 1990. 新疆北部泥盆纪火山碎屑风暴岩及其古地理意义. 新疆地质科学, 1(1): 90~102.
- 吴治, 龚一鸣, 杜远生. 1997. 华南泥盆纪层序地层及海平面变化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~110.
- 曾允孚, 张锦泉, 刘文均, 等. 1993. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1~123.
- 张晓宝, 方国庆, 何海清. 1994. 西秦岭上三叠统浊积岩系中波痕的主要特征及其成因探讨. 沉积学报, 12(4): 124~131.
- 赵锡文. 1992. 古气候学概论. 北京: 地质出版社, 1~176.
- 钟铿, 吴治, 殷保安, 等. 1992. 广西的泥盆系. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~384.

References

- Allen J R L. 1982. Sedimentary structures: their character and physical basis, volume 1 (Development in Sedimentology 30 A). Amsterdam: Elsevier, 1~593.
- Bai Shunliang. 1998. Chemo-biostratigraphical study of the Frasnian—Famennian event. Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis, 34(2~3): 363~369 (in Chinese with English abstract).
- Droser M L, Bottjer D J. 1993. Trends and patterns of Phanerozoic ichnofabrics. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 21: 205~225.
- Gao Zhenzhong, Eriksson K A. 1991. Internal-tidal deposits in an Ordovician submarine channel: previously unrecognized facies? Geology, 19(7): 734~737.
- Gao Zhenzhong, He Youbin, Li Jianming, et al. 1997. Internal-tide deposits from China. Chinese Science Bulletin, 42(13): 1418~1421 (in Chinese).
- Gong Yiming. 1987. Event deposits. Geological Science and Technology Information, 6(3): 21~26 (in Chinese).
- Gong Yiming, Du Yuansheng, Feng Qinglai, et al. 1996. Sedimentary geology of the orogenic belts of China and coupling among the earth-spheres. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~146 (in Chinese with English abstract).
- Gong Yiming, Wu Yi, Du Yuansheng, Feng Qinglai, Liu Benpei. 1997. Devonian sea-level change rhythms in South China and coupling relationships among the earth-spheres. Acta Geologica Sinica, 71(4): 370~385.
- Gong Yiming, Droser M L. 2001. Periodic anoxic shelf in the Early—Middle Ordovician transition: ichnosedimentologic evidence from the West-Central Utah, USA. Science in China, 44(11): 979~989.
- Gong Yiming, Li Baohua, Si Yuanlan, Wu Yi. 2002. The Late Devonian red tide and mass extinction. Chinese Science Bulletin, 47(13): 1138~1144.
- Guo S Z. 1990. The Frasnian—Famennian transitional bioevents and Late Devonian corals in Great Khingan Ranges, Northeastern China. Acta Palaeontologica Sinica, 29(4): 427~433 (in Chinese with English abstract).

- Hallam A, Wignall P B. 1997. Mass Extinctions and Their Aftermath. Oxford: Oxford University Press, 1~320.
- He Youbin, Gao Zhenzhong. 1998. Characteristics and diagnosis of Internal-tide and -wave deposits. Chinese Science Bulletin, 43 (9): 903~908 (in Chinese).
- Ji Qiang. 1994. On the Frasnian — Famennian extinction event in South China as viewed in the light of conodont study. In: Proceedings of Stratigraphy and Paleontology. Beijing: Geological Publishing House, 79~107 (in Chinese with English abstract).
- Jin Huijuan, Li Yuci. 1995. Special primary sedimentary structures from the deep-sea deposits. Science in China (B series), 25 (8): 890~897 (in Chinese).
- Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, et al. 1993. Evolution and mineralization of the sedimentary crust of the southern palaeocontinent of China. Beijing: Science Press, 1~236.
- Liu Benpei, Gong Yiming, Li Xiang, Yan Yi. 1990. Devonian pyroclastic tempestite of the northern Xinjiang and their palaeogeographic significance. Geological Science in Xinjiang, 1 (1): 90~102 (in Chinese).
- McGhee G R. 1996. The Late Devonian Mass Extinction: The Frasnian — Famennian Crisis. New York: Columbia University Press.
- Racki G. 1999. The Frasnian — Famennian biotic crisis: How many (if any) bolide impacts? Geol. Rundsch, 87: 617~632.
- Reineck H E, Singh I B. 1973. Depositional sedimentary environments — with reference to terrigenous clastics. Berlin: Springer-Verlag, 1~439.
- Sepkoski J J. 1986. Phanerozoic overview of mass extinctions. In: Raup D M, Jablonski D, eds. Patterns and Processes in the History of Life. Berlin: Springer-Verlag, 277~295.
- Walliser O H. 1996. Global events in the Devonian and Carboniferous. In: Walliser O H, ed. Global Events and Event Stratigraphy. Berlin: Springer-Verlag, 225~250.
- Wang C Y, Ziegler W. 2002. Frasnian — Famennian conodont mass extinction and recovery in South China. Senckenbergiana Lathaea, 82 (2): 463~496.
- Wu Yi, Gong Yiming, Du Yuansheng. 1997. Devonian sequence stratigraphy and sea level change of South China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~110 (in Chinese with English summary).
- Zeng Yunfu, Zhang Jinquan, Liu Wenjun, et al. 1993. Devonian lithofacies paleogeography and mineralization in South China. Beijing: Geological Publishing House, 1~123 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaobao, Fang Guoqing, He Haiqing. 1994. A discussion on main characteristics and origin of the ripple marks of Upper Triassic turbidites in west Qinling Mts. Acta Sedimentologica Sinica, 12 (4): 124~131 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xiwen. 1992. The Paleoclimate of China. Beijing: Geological Publishing House, 1~176 (in Chinese).
- Zhong Keng, Wu Yi, Yin Bao'an, et al. 1992. Devonian of Guangxi. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~384 (in Chinese with English abstract).

Ripple Marks with Bifurcation from the Calcareous Turbidite Sequence of the Upper Devonian in Guangxi, South China

GONG Yiming¹⁾, XU Ran¹⁾, LI Baohua²⁾

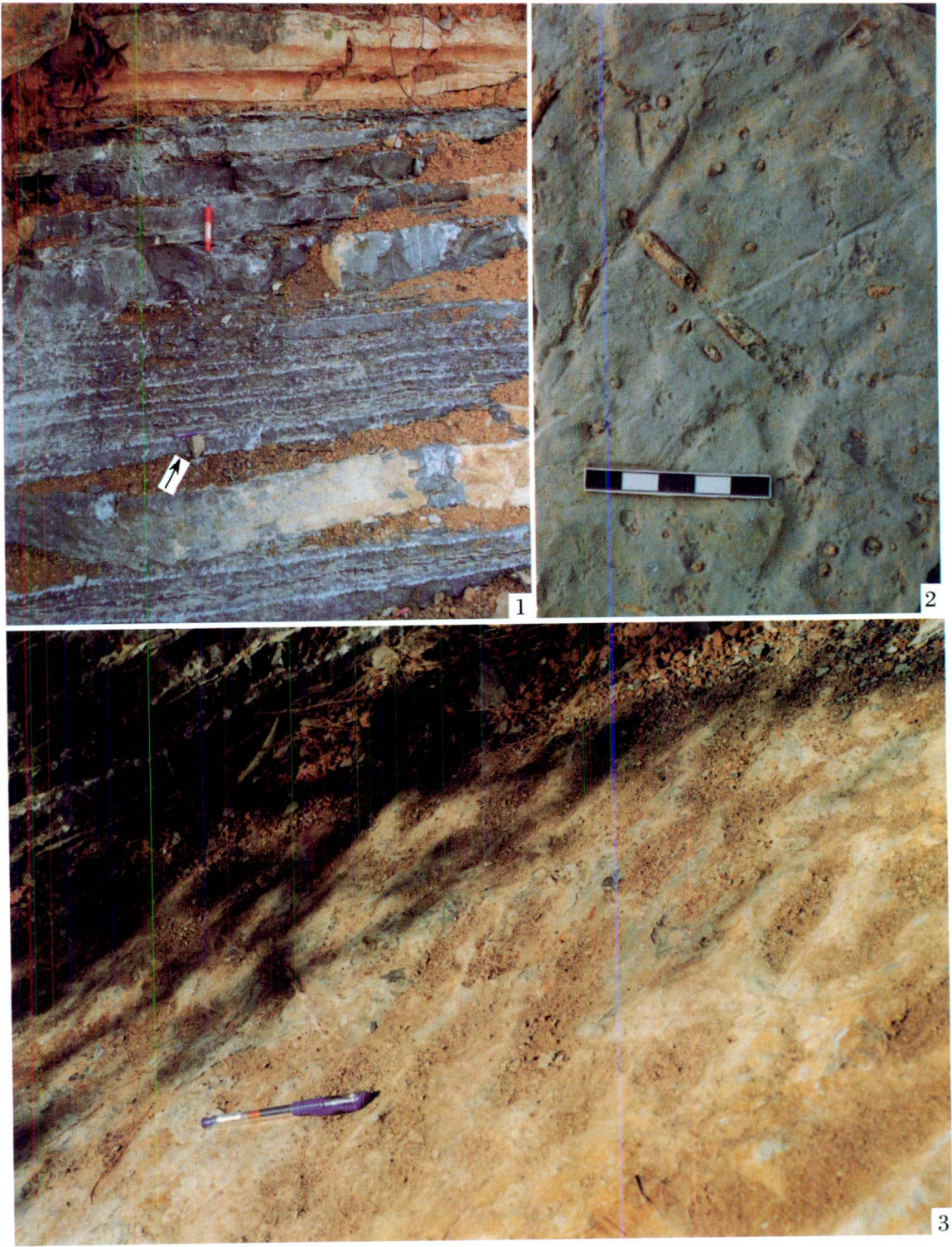
1) China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074

2) Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092

Abstract

Small asymmetric ripple marks with bifurcation (BRM) were found from the C-section of turbidite with the Bouma sequence in the eastern slope of the Guilin carbonate platform. The BRM are 7.5~8.0 cm in wavelength, 0.5~0.8 cm in wave-height, 5.0~7.0 cm in the length of stoss side and 2.5~4.0 cm in the length of lee side. The ripple indices are 15~10 and the ripple symmetry indices are 2.0~1.8. The lee sides slope eastwards. The crests of the BRM are rounded and slightly sinuous and are apparently of bifurcation. The BRM were suggested to be formed under the circumstances of the lower regime with following the lowering of the turbidity-current velocity, the transformation density currents into tractive currents and the superimposition of progradational storm-wave. Based on the characteristics of the BRM and host strata, the maximum or limit water-depth of the Yangsuo carbonate basin containing BRM were estimated to be about 100 m or less than 200 m. The estimations may represent the quantitative water-depth of the Devonian carbonate basin containing the calcareous turbidite and conodont fauna, and may be the water depth boundary between the marine deep fauna almost not influenced and the marine shallow water fauna significantly influenced during the Devonian Frasnian — Famennian transitional events.

Key words: ripple mark; turbidite; carbonate; quantitative water-depth; mass extinction; Devonian; Guangxi



广西杨堤上泥盆统钙质浊积岩中的分叉波痕和遗迹组构：

1. 由多个鲍马序列构成的钙质浊积岩垂向序列，分叉波痕产于照片中下部蓝色笔所在位置(鲍马序列 C 段)层面上，该笔长 15 cm。
2. 保存于层面上的 *Palaeophycus* 遗迹组构，比例尺长 5 cm。
3. 产于鲍马序列 C 段层面上的小型不对称分叉波痕，笔头(右)指向东，与波痕背流面倾向一致。左上角为垂直于波痕面的多个鲍马序列，笔长 15 cm。