

文章编号: 1000-0550(2000)-01-0068-05

塔里木盆地西北缘中奥陶统其浪组风暴岩中 遗迹化石及其环境意义

方国庆¹ 刘德良²

1(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000) 2(中国科学技术大学地球与空间科学系 合肥 230026)

摘要 塔里木盆地西北缘柯坪断隆中奥陶统其浪组中上段 L-M 灰泥互层沉积地层中发育远源钙质风暴岩, 其中发育属 *Zoophycos* 遗迹相的 *Phycodes-Megagraption* 遗迹组合, 包括 *Belorhape*, *Circulichnus*, *Dendrichnites*, *Gordia*, *Granularia*, *Megagraption*, *Phycodes*, *Planolites*, *Protopalaeodictyon*, *Rhabdoglyphas* 等遗迹属。该组合遗迹形态主要为分枝迹, 习性以觅食迹为主, 显著特点是包含多种深水遗迹分子。这些特征与以往报道的风暴岩中遗迹组合特征有明显的差别。该组合反映其浪组风暴岩形成于滨外风暴浪基面以下水体较深且水动力较弱的静水地带。此组合可以成为判定远源风暴岩以及区分事件和正常灰岩的良好辅助标志。

关键词 遗迹化石 风暴岩 中奥陶统 塔里木盆地

第一作者简介 方国庆 男 1963 年出生 副研究员 沉积及构造地质学

中图分类号 Q911.28 P534.42 **文献标识码** A

1 引言

风暴岩广泛发育于浅海环境之中, 其相关遗迹化石以浅水分子为主, 可归入 *Skolithos* 和 *Cruziana* 遗迹相。但是形态以分枝迹为主, 行为以觅食迹为主, 并且包含多种深水遗迹分子的遗迹组合未见报道。有意义的是在塔里木盆地西北缘柯坪断隆中奥陶统其浪组钙质风暴岩中发育该类遗迹组合。这一发现有助于深化其浪组风暴岩系沉积环境的研究, 同时将丰富风暴遗迹相的研究内容。

2 遗迹化石宿主岩系的地层及沉积学特征

研究剖面为位于新疆柯坪因干村西北大湾沟的因干剖面。这里奥陶系地层出露较好, 含有丰富的笔石、三叶虫和腕足类等化石, 是塔里木盆地奥陶系典型剖面。其浪组与下部坎岭组以及上部因干组呈连续沉积, 厚约 180 余米。岩性较为单调, 主要为灰岩与泥层的薄互层沉积, 其中部分灰岩具有瘤状灰岩的特征。沉积相分析表明该组形成于陆棚—浅海较深水地带。该类灰岩与泥岩的薄互层沉积属典型

的 L—M 旋回^[1,2], 是研究旋回及事件地层的极好实例。其中发育笔石、三叶虫、疑源类、腹足和腕足类等化石。三叶虫代表分子有 *Nileus*, *Xiushuilithus*, *Dionide*, *Birmantes*, *Xiushuilithus*, *Stenopareia* 和 *Cycolpyge*, 笔石带为 *Corynoides americanus*, 时代属 Caradoc 中期, 三叶虫生物相分析表明为陆棚斜坡 Nileid 相^[3,4]。该组地层中遗迹化石较为丰富, 可惜的是以往研究多以“见虫迹”或“有遗迹化石”一笔带过而忽视对它们的研究。

在其浪组中上段发育三十余层钙质风暴岩, 其风暴岩特征明显: ①风暴岩序列明显, 可以与 Aigner 风暴层序进行对比^[5]。主要发育 bce、ce 和 cde 等组合(图版 I -1, 2); ②丘状层理发育(图版 I -1, 2)。虽然该层理报道在诸多沉积环境中都有发育, 但主要发育在风暴环境之中; ③层面波浪发育; ④横向上厚度变化较大(图版 I -3)。据以上特征可将该类风暴岩与薄层浊积岩区别开来。

据下述特征, 可将该类风暴岩归为远源风暴岩类型, 其形成于距风暴中心较远的主要风暴浪基面以下的滨外较深水地带。①底面较为平静, 冲刷搅动能力弱, 多为单层而且薄, 一般为 5~15 cm, 很少

超过 20 cm; ②以发育 bce、ce、cde 组合为主, a 段薄且少见(图版 I-4); ③背景岩系为形成于陆棚水体较深低能环境下的灰泥(L-M)互层沉积。该类风暴岩与甘肃天祝斜壕地区上奥陶统远源钙质风暴岩特征极为相似^[6]。

3 遗迹化石概述

在其浪组中上段远源钙质风暴岩中共发现 10 个遗迹化石属, 分别为: *Belorhape*, *Circulichnus*, *Dendrichnites*, *Gordia*, *Granularia*, *Megagraption*, *Phycodes*, *Planolites*, *Protopaleodictyon*, *Rhabdoglyphas*。

锯齿迹 *Belorhape* Fuchs 1895(图版 I-5)。

锯齿状曲线形移迹, 锯齿呈三角形, 顶角 60~70°, 直径 2~3 mm, 锯齿顶端呈突起状, 保存为下凹痕或顶凸痕。

环形迹 *Circulichnus* Vylov, 1971(图版 I-6)。

圆形或椭圆形潜穴, 构成完全闭合的圆环形遗迹。环形直径 5~8 cm, 潜穴直径 2 mm, 保存为顶凹痕。

树枝迹 *Dendrichnites* Hantzschel, 1967(图版 I-7、8)。

细长分枝潜穴, 粗细较为稳定, 直径 3~5 mm, 分支与主干角度 70~90°, 无更次级的分支。保存为下凸痕。

线形迹 *Gordia* Emmons, 1844(图版 I-9)。

光滑细长的蠕形移迹, 宽度粗细一致, 直径 3 mm。在层面上呈任意弯曲的形态。保存为顶凸痕。

瘤粒迹 *Granularia* Pomel, 1849(图版 I-10)。

细长分枝充填潜穴, 直径宽度 5~10 mm, 潜穴壁上粘有颗粒, 当枝状潜穴被剥离后, 留印在母岩上并沿分枝成富集排列的瘤粒印痕。保存为下凸痕。

巨画迹 *Megagraption* Ksiazkiewicz, 1986(图版 I-11a)。

直而微弯的潜穴通道, 分枝近直角, 由不规则的多边形或矩形构成网孔状, 但网孔并不闭合, 通道直径 3~5 mm。保存为下凸痕。

拟藻迹 *Phycodes* Richter, 1850(图版 I-12、13)。

水平束状的潜穴, 整体形态呈扇形或扫帚形。分枝潜穴直径 2~4 mm, 长约 2~3 cm, 潜穴分枝为锐角, 保存为顶凸痕。

平管迹 *Planolites* Nicholson, 1973(图版 I-14)。

呈直线或微弯曲的柱形潜穴, 潜穴不分枝, 有时交叉排列, 无纹饰, 直径 6~8 mm, 粗细不稳定。保存为下凸痕。

始网迹 *Protopaleodictyon* Ksiazkiewicz, 1970(图版 I-15)。

形状不规则的古网迹, 未形成完整的多边形网格, 大部分蛇曲形通道在其弯曲顶端没有各自的分枝。直径 2 mm 左右, 保存为下凸痕。

棒枝迹 *Rhabdoglyphus* Vassoerich 1951(图版 I-11b)。

圆柱状杆枝管迹, 由直而短穗状管套叠组成, 顶部略粗, 形成棒状, 直径 4~7 mm。保存为下凸痕。

以上遗迹化石以 *Phycodes* 和 *Megagraption* 发育典型、丰度高且引人瞩目, 因此称之为 *Phycodes-Megagraption* 遗迹组合。

4 遗迹化石的环境意义

4.1 遗迹化石的形态、习性与环境

其浪组钙质风暴岩中遗迹化石的行为习性、形态及保存状态见表 1。由该表可以明显看出该组合遗迹以觅食迹占绝对优势, 形态以分枝迹为主, 分异度较高, 大多保存在钙质风暴岩底面, 少数在顶面。这些特征反映出遗迹形成于海水较深且较为宁静的低能环境。这与背景沉积灰泥薄互层所反映的静水

表 1 其浪组钙质风暴岩中遗迹化石的行为习性、形态及保存状态

Table 1 Behavior, morphology and preservation forms of trace fossils in calcareous tempestites of the Qilang Fm.

遗迹属	习性	形态	保存
环形迹 <i>Circulichnus</i>	觅食迹	环曲形	顶凹痕
锯齿迹 <i>Belorhape</i>	爬行	曲线形	顶凸痕
树枝迹 <i>Dendrichnites</i>	觅食迹	分枝形	底凸痕
线形迹 <i>Gordia</i>	觅食迹	曲线形	顶凸痕
瘤粒迹 <i>Granularia</i>	停息/觅食迹	分枝形	底凸痕
巨画迹 <i>Megagraption</i>	觅食/耕作迹	分枝形	底凸痕
平管迹 <i>Planolites</i>	觅食迹	直或弯曲形	底凸痕
始网迹 <i>Protopaleodictyon</i>	觅食/耕作迹	分枝形	底凸痕
拟藻迹 <i>Phycodes</i>	觅食迹	分枝形	顶凸痕
棒枝迹 <i>Rhabdoglyphus</i>	觅食迹	分枝形	底凸痕

低能环境是一致的,说明其浪组形成于滨外风暴浪基面以下海水较深且安静的沉积环境之中。

4.2 遗迹相与环境分析

风暴岩系之中的遗迹化石研究起步较晚,只是从70年代后期到80年代伴随风暴岩的兴起才有专门研究。目前认为,风暴岩系之中遗迹化石的基本面貌是以进食迹、觅食迹、爬行迹为主,有少量居住迹,以浅水分子为主,归属 *Cruziana* 和 *Skolithos* 遗迹相^[7~11]。其浪组风暴岩中遗迹化石仅 *Planolites*, *Phycodes* 为 *Cruziana* 相常见分子,其他大多数行为习性、形态及其反映的环境特征与之相去甚远,难以归入 *Cruziana* 或 *Skolithos* 遗迹相。

其浪组风暴岩所产遗迹化石中, *Gordia*、*Planolites*、*Dendrichnites*、*Rhabdolyphus* 和 *Phycodes* 为穿相分子,可以出现在多种环境之中; *Granularia*、*Circulichmus* 虽然也是穿相分子,但大多数发现在深水浊积岩之中;而 *Megagraption*、*Protopaleodictyon* 和 *Belorhaphe* 则为典型的发育于复理石岩系中的深水分子。如不考虑宿主岩系的沉积及岩石学特征,那么这些遗迹化石可能划归属于 *Nerites* 遗迹相的深水遗迹组合,但这显然与其浪组不是浊积岩系和深海沉积的地质事实不符。此外,该遗迹化石组合中典型的雕画迹较少,因此将其归入 *Nerites* 相显然是不妥的。

虽然未发现典型的 *Zoophycos* 遗迹化石,本研究认为其浪组风暴岩中遗迹化石组合应属于 *Zoophycos* 相。这是因为:1) *Planolites* 虽然是穿相分子,但是属 *Zoophycos* 相的常见分子。2) *Phycodes* 也是 *Zoophycos* 相常见分子,而且常常覆盖整个层面形成分异度低且丰度高的现象,而这正是 *Zoophycos* 相的典型特征。3) *Zoophycos* 相属于 *Cruziana* 相与 *Nerites* 相之间的过渡组合。尽管 *Zoophycos* 相在多种环境中都可出现,但其位于 *Cruziana* 相与 *Nerites* 相之间的过渡性质仍然是其显著特征。当其出现在滨外未受限制的较深水盆地中,往往伴生有深水遗迹分子^[12]。因此,将其归入 *Zoophycos* 相是合适的。

Zoophycos 相的确定说明其浪组形成时的水体较深,应是滨外风暴浪基面以下较深水低能地带。深水分子的较大比重反映盆地封闭性并不很强,开放性较受限制盆地要好。这与缺乏代表水体循环性差的 *Zoophycos* 遗迹化石是吻合的,与整个组合分异度较高亦是一致的。

需要说明的是,本文强调风暴岩中遗迹组合的研究,不仅是因为其类型多,保存好,更重要的是它们发育在同一事件沉积层上,记录着事件沉积前后造迹生物的活动,可将事件沉积与背景沉积联系在一起,具有很高的时间精度和环境判定的准确性。风暴岩中丰富的遗迹化石已满足这一要求。此外,背景沉积中遗迹类型少,而且个体不完整,仅发现有 *Skolithos*、*Gordia*、*Phycodes* 和 *Scalarituba* 等遗迹。它们尚不足以影响上述环境分析的结论。

由于远源风暴岩与薄层浊积岩较为类似,加之“典型”深水遗迹组合的存在,该类风暴岩往往会被误认为薄层浊积岩。本文的研究将有助于正确认识和区分远源风暴岩和薄层浊积岩,而两者的正确区分对再造古地理环境有重要意义^[13]。

4.3 事件沉积与遗迹化石

关于事件沉积中遗迹化石形成保存与事件的关系已有许多研究^[14~17]。认为,遗迹化石在事件层底面高产出及高发现率不是偶然的,因为事件沉积对遗迹化石形成和保存有重要影响:①突然而来的事件层盖在早先沉积之上,使早先形成的遗迹得以保存。②事件层突然形成之后,一些先前的造迹生物适应下来沿着事件层与先前沉积的界面生存下来。此外,事件带来的异地机会生物分子可以在松软的富有养分的事件层中活动造迹。正是由于事件层中记录了事件前均衡种和事件后机会种的遗迹,因而,其中遗迹化石较为丰富。这就是为什么浊积岩中遗迹化石发育的重要原因。其浪组遗迹化石发育亦是如此。基于事件沉积与遗迹化石有密切关系这一客观地质事实,本文认为, *Phycodes*-*Megagraption* 遗迹组合可以成为判定远源风暴岩以及区分事件和正常灰岩的良好辅助标志。

致谢:遗迹化石鉴定得到了杨式溥和晋慧娟教授的帮助,特致谢忱。

参 考 文 献

- Einsele G. Limestone-marls cycles (periodites): diagnosis, significance, causes; an overview [A]. In: Einsele G, Seilacher A, eds. Cycles and events stratigraphy [C]. Springer-Verlag, Berlin, 1982. 3~18
- Einsele G. Limestone-marls alternation; an overview [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy [C]. Springer-Verlag Berlin, 1991. 23~47
- 周志毅, 陈丕基. 塔里木生物地层和地质演化 [M]. 北京: 科学出版社, 1991
- 周志毅, 林焕令. 西北地区地层、古地理和板块构造 [M]. 南京: 南

- 京大学出版社, 1995
- 5 Aigner T. Calcareous tempestites; storm dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-German) [A]. In: Einsele G, Seilacher A. eds. Cycles and events stratigraphy [C]. Springer-Verlag, Berlin., 1982. 180~198
 - 6 方国庆, 王多云, 张晓宝. 甘肃天祝斜壕地区上奥陶统远源钙质风暴岩的发现[J]. 地层学杂志, 1994, 18(4): 296~298
 - 7 Wu X. Storm generated depositional types and associated trace fossil in Lower Cretaceous shallow marine carbonates of Three Cliffs Bay and Ogmores-by-Sea, South Wales [J]. Palaeograph, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1982, 39: 187~202
 - 8 Pemberton S G, Frey R W. Ichnology of storm-influenced shallow marine sequence, Cardium Fm. (U. Cret.) at Seabø Alberta [A]. In: Stott D F, Glass D J. eds. The Mesozoic of Middle North America [C]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 1984, 9: 281~304
 - 9 Pemberton S G. Ichnology and event stratigraphy; the use of traces fossils in recognizing tempestites. In: Applications of ichnology to petroleum exploration [R]. SEPM Core Workshop No. 17, Calgary. 1992. 85~118
 - 10 Seilacher A, Aigner T. Storm deposition at the bed, facies, and basin scale; the geologic perspective [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy [C]. Springer-Verlag, Berlin; 1991. 249~267
 - 11 吴贤涛, 胡斌, 王冠中等. 豫西焦作地区上石炭统浅海碳酸盐岩中的风暴沉积[J]. 沉积学报, 1987, 5(4): 1~13
 - 12 Frey R W, Seilacher A. Uniformity in marine invertebrate ichnology [J]. Lethaia 1980, 13: 183~207
 - 13 Einsele G, Seilacher A. Distinction of tempestites and turbidites [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy [C]. Springer-Verlag, Berlin. 1991. 377~382
 - 14 Seilacher A. Paleontological on turbidite sedimentation and erosion [J]. Journal of Geology, 1962, 70: 227~234
 - 15 晋慧娟, 李育慈. 浙西上奥陶统于潜组 *Spirodesmos* 遗迹组合的环境意义[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 282~289
 - 16 晋慧娟, 李育慈. 准噶尔盆地西北缘石炭纪生物成因的沉积构造研究[J]. 科学通报, 1998, 43(1): 1888~1891
 - 17 张国成, 李继亮. 东喀拉昆仑北坡三叠纪复理石中遗迹化石及地质意义[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 257~266

Paleoenvironmental Significance of Trace Fossils in Tempestite of Qilang Fm. (Middle Ordovician) of Northwestern Tarim Basin in China

FANG Guo-qing¹ LIU De-liang²

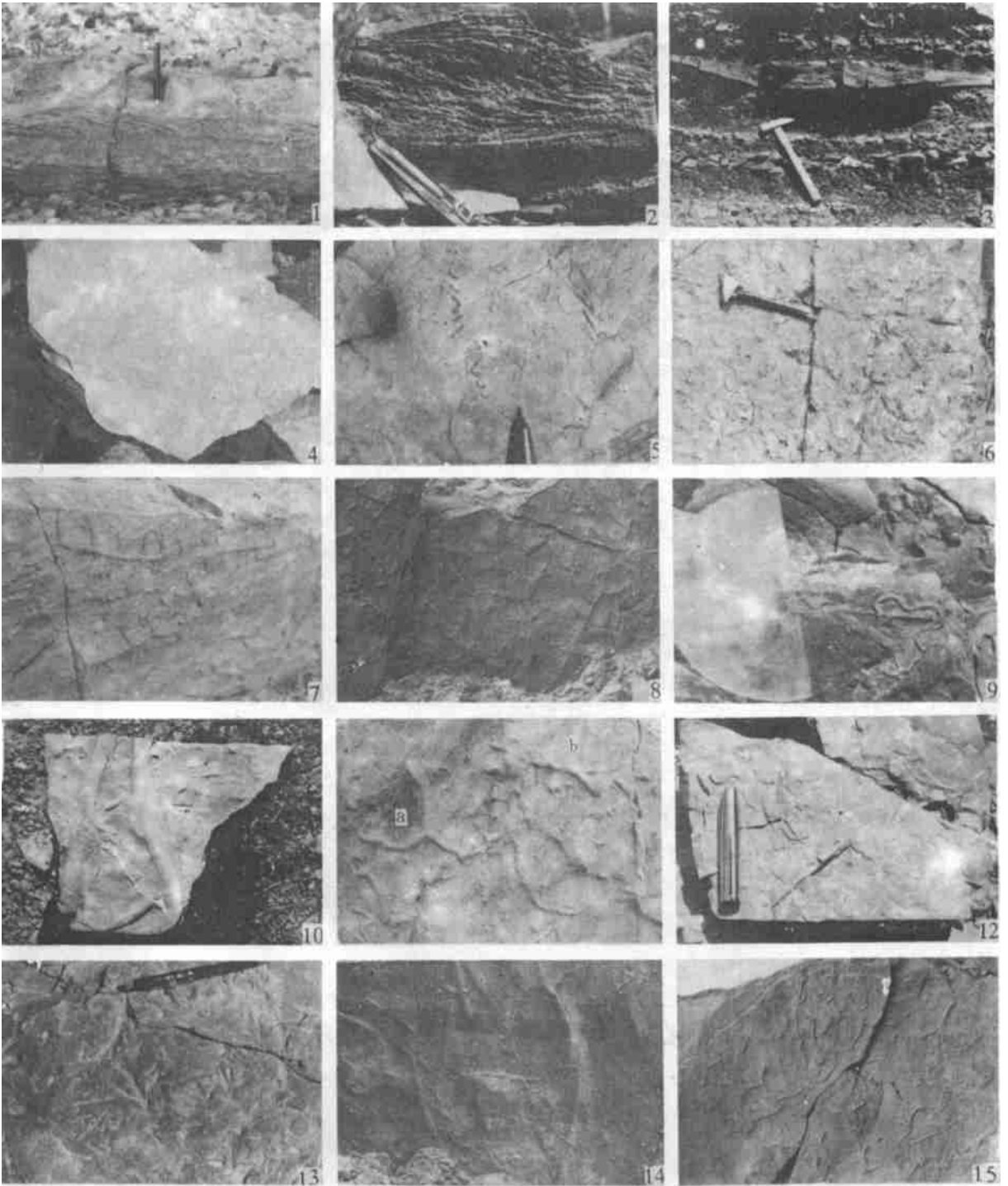
¹(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

²(Department of Earth & Space Sciences, China Science and Technology University, Hefei 230026)

Abstract

The Qilang Formation of Middle Ordovician in northwest Tarim basin is composed of laminae marl and laminae limestone with abundance graptolites and trilobites. This kind of marl and limestone thin alternation is typical L-M (limestone-marl) cycle. There are about thirty beds of distal calcareous tempestites in Middle-Upper Qilang Formation. In the plane and bottom of the tempestites ten trace fossils were found and they are: *Belorhapa*, *Circulichnus*, *Dendrichnus*, *Gordia*, *Granularia*, *Megagraption*, *Phycodes*, *Planolites*, *Protopleodictyon* and *Rhabdoglyphas*. Because of abundance of *Phycodes* and *Megagraption*, these trace fossils can be named *Phycodes-Megagraption* assemblage which are predominant in fodinichnia and shape of ramification, and belong to *Zoophycos* ichnofacies proposed by Seilacher. This assemblage represent quiet lower energy sedimentary environments under main storm wave level. Based on the fact that event deposition has close relation to the trace fossils, it is believed that *Phycodes-Megagraption* assemblage can be a fine auxiliary marker to judge distal tempestite and to differentiate the event and normal limestone.

Key words trace fossil tempestite Middle Ordovician Tarim basin



图版说明: 1. 钙质风暴岩 bcde 序列; 2. 丘状层理; 3. 风暴岩厚度变化; 4. 风暴岩底部薄层泥屑; 5. 锯齿迹 *Belorhape*, 下凹痕或顶凸痕; 6. 环形迹 *Circulichnus*, 顶凹痕; 7, 8. 树枝迹 *Dendrichnites*, 下凸痕; 9. 线形迹 *Gordia*, 顶凸痕; 10. 瘤粒迹 *Granularia*, 下凸痕; 11a. 巨画迹 *Megagraption*, 下凸痕; 11b. 棒枝迹 *Rhabdoglyphus*, 下凸痕; 12, 13. 拟藻迹 *Phycodes*, 顶凸痕; 14. 平管迹 *Planolites*, 下凸痕; 15. 始网迹 *Protopa kodictyon*, 下凸痕。