

志留纪笔石 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975) 的古生物学特征及地层意义*

王欣^{1,2)} 王健¹⁾ 张举¹⁾ 李忠煜¹⁾

1) 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局造山带地质研究中心,

西安地质调查中心, 西安 710054, wx200315046@163.com;

2) 早期生命研究所, 大陆动力实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069

摘要 陕西紫阳地区在古地理上位于扬子台地西北缘, 区域内志留纪地层发育, 其中志留系兰多维列统(Llandovery)特列奇阶(Telychian)笔石相地层出露较为完整, 笔石带较为连续。*Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975) 是特列奇阶 *Oktavites spiralis* 笔石带重要的伴生分子, 在世界范围内广泛分布。文中通过对紫阳地区一系列特列奇阶剖面研究后认为, *Oktavites excentricus* 较短的化石延限和广泛的古地理分布使其具备地层对比潜力, 这将为 *Oktavites spiralis* 笔石带的进一步细分提供依据。同时, *Oktavites excentricus* 胞管为典型的奥氏笔石式, 其笔石体的盘旋方式又与稍晚的 *Cyrtograptus lapworthi* (Tullberg, 1883)(笔石带化石, 弓笔石类的早期代表)十分接近, 因此, 对该种的演化过程的研究也为讨论弓笔石的起源过程提供了更多参考。

关键词 *Oktavites excentricus* 特列奇阶 志留系 陕南

1 引言

笔石是一类营浮游生活为主的海洋群体生物, 具有分布广、丰度高、演化迅速等特点, 是奥陶系、志留系划分对比的标准化石。陕西紫阳、岚皋地区在古地理上位于扬子台地西北缘, 区域内志留纪笔石相生物地层发育, 研究工作开展较早(邓宝, 1979; 葛梅钰、李崇楼, 1984)。其中志留系兰多维列统(Llandovery)特列奇阶(Telychian)笔石相生物地层, 以紫阳芭蕉口地区任河两岸剖面出露最为完整, 化石丰富, 笔石带连续, 傅力浦等(傅力浦、宋礼生, 1983; 傅力浦等, 2004, 2005, 2006)通过长期的研究工作, 划分出 9 个笔石带 5 个笔石亚带, 并将其与英国该段地层进行对比。

奥氏笔石属(*Oktavites*)是早志留世的一个重要笔石类群, 其中 *Oktavites spiralis* (螺旋奥氏笔石)是志留系特列奇阶重要的带化石, 其形态特征明显, 分布广泛, 演化迅速, 地层对比意义较强。*Oktavites*

spiralis (Geinitz, 1842) 由 Geinitz 首次描述, 此后, 该种在威尔士、波西米亚、美国、丹麦、中国、加拿大、意大利、爱沙尼亚、拉脱维亚和西班牙等地相继被发现和描述(Elles and Wood, 1913; Přibyl, 1944; Berry and Murphy, 1975; Bjerreskov, 1975; 汪啸风, 1978; Lenz, 1982; 傅力浦、宋礼生, 1983; 刘渭洲, 1986; Melchin, 1989; 雒昆利等, 1992; Loydell and Cave, 1993, 1996; Štorch, 1994; Gutiérrez-Marco and Štorch, 1998; Loydell *et al.*, 1998, 2003, 2009, 2010; 穆恩之等, 2002; Štorch *et al.*, 2002; 傅力浦等, 2006; Blumenstengel *et al.*, 2006; Zalasiewicz *et al.*, 2009; 王欣等, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2017)。

在世界范围内, *Oktavites spiralis* 笔石带层位的地层沉积厚度普遍较大(Bouček 1953; Loydell, 1993; Zalasiewicz *et al.*, 2009), 在紫阳芭蕉口地区任河两岸的该段地层厚度更是超过了 300 m(傅力浦等, 2006)。Bouček(1953)曾根据该笔石带内伴生种 *Monograptus parapriodon* (Bouček, 1931),

收稿日期: 2018-01-10

* 国家自然科学基金青年基金项目(41302006)、中国地质调查局项目(1212011120144, 121201011000150006)和中国地层委员会项目(1212011120142)联合资助。

Streptograptus anguinus (Přibyl, 1941) 和 *Monoclimacis geinitzi* (Bouček, 1932) 的化石延限, 将波西米亚地区的 *Oktavites spiralis* 笔石带划分为三个亚带。Loydell(1993)通过对威尔士地区的 *Oktavites spiralis* 笔石带进行研究, 继续沿用了这一划分方案。陈旭、戎嘉余(1996)曾经指出, 中国的 *Oktavites spiralis* 笔石带具有进一步细分的潜力。

近期, 笔者通过对陕西紫阳、岚皋地区多个志留系剖面的笔石化石采集和研究, 在 *Oktavites spiralis* 带内获得数量较多的 *Oktavites excentricus* 笔石化石。*Oktavites excentricus* 通常首现于 *Oktavites spiralis* 带中-上部, 并在该笔石带上部绝灭, 其独特的盘旋形态易于识别, 并具有较高的化石丰度, 较短的化石延限和在世界范围内的广泛分布使其自身具备较强的地层划分对比潜力, 也为 *Oktavites spiralis* 笔石带的进一步划分提供了可能。弓笔石(*Cyrtograptus*)动物群是笔石演化过程中的一个重要阶段, 通常认为, 奥氏笔石属与弓笔石属之间存在一定

的亲缘和演化关系(Rickards, 1977)。*Oktavites excentricus* 胞管形态为典型的奥氏笔石式, 即口部存在横向扩展的口片, 其笔石枝盘旋特征又与 *Oktavites spiralis* 笔石带之上的笔石带化石分子 *Cyrtograptus lapworthi* 十分接近。因此, 作为奥氏笔石属向弓笔石属演化的重要阶段, *Oktavites excentricus* 演化意义也不言而喻。

2 地质背景

由于构造抬升引起的海退事件影响, 扬子台地志留系特列奇阶中上部的笔石相沉积地层在很多地区存在缺失(Rong *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2010)。陕西紫阳、岚皋地区在古地理上处于扬子台地西北缘斜坡地带(插图 1), 水体相对较深, 且受构造抬升事件影响相对较晚, 区域内志留系特列奇阶的笔石相地层较发育, 笔石带较为连续, 化石含量丰富, 为研究该段地层提供了珍贵的化石材料。

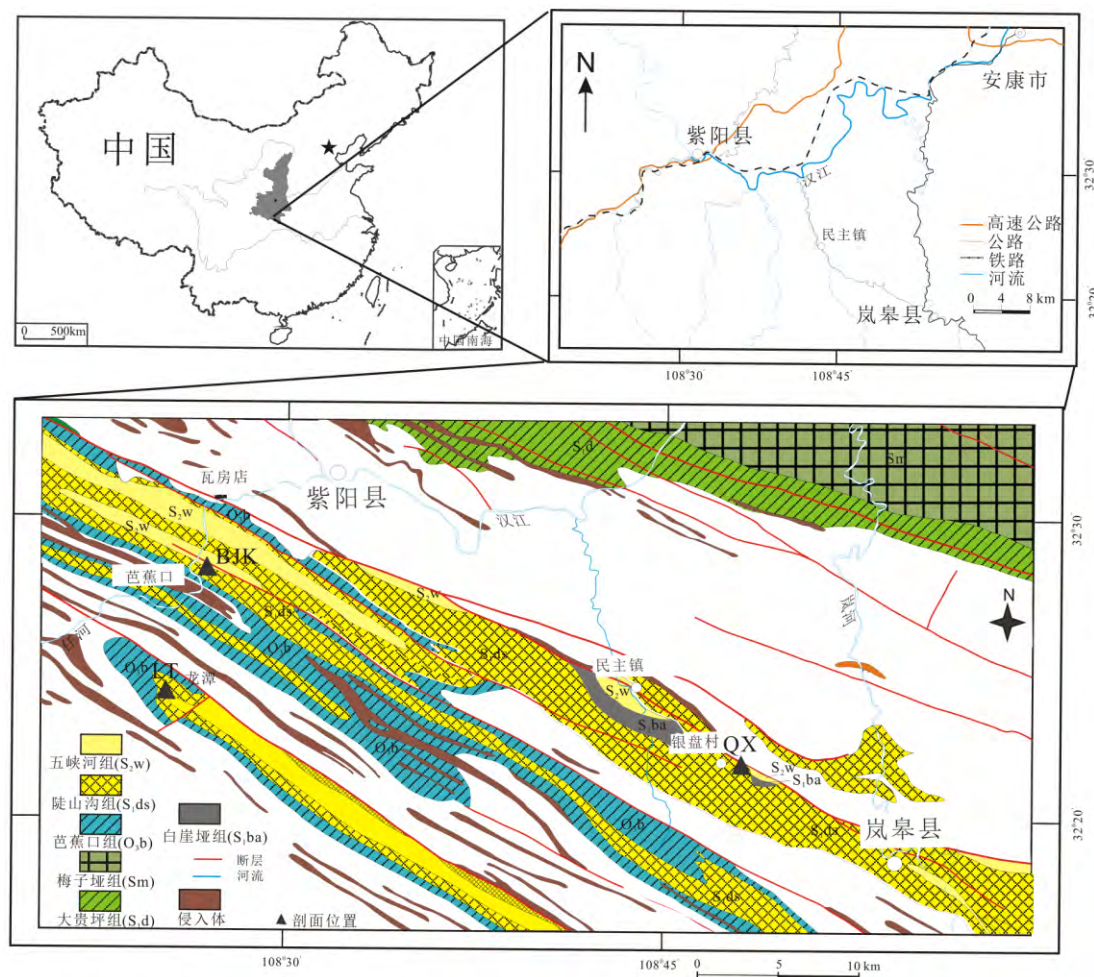


插图 1 研究区地质简图及剖面位置

Simplified geological map showing the locations of the studied sections.

Oktavites excentricus 标本均采自陕西紫阳龙潭剖面陡山沟组,层位为志留系兰多维列统特列奇阶 *Oktavites spiralis* 笔石带。陡山沟组为中国地质科学院第三研究室于 1961 年在秦岭工作时创建,现定义为整合于斑鸠关组之上、五峡河组之下的一套地层。该组岩性较为简单,主要为灰白色中-厚层长石石英砂岩、黑色薄层粉砂质板岩与黑色薄层泥质板岩的不等厚互层(插图 2),时代为早志留世;该

组的标志是以中-厚层砂岩的出现或斑鸠关组硅质板岩的结束作为底界,以砂岩的结束作为顶界标志。陡山沟组主要分布在紫阳县高桥、芭蕉口、斑鸠关、高桥和岚皋县麦溪街一带,呈北西-南东向条带状展布,在芭蕉口地区厚度约为 1 070 m,斑鸠关地区为 728 m,高桥地区不足 100 m。区域上陡山沟组具有穿时性,其上部向岚皋地区逐渐相变为以灰岩为主的白崖垭组(马润华等,1998)。

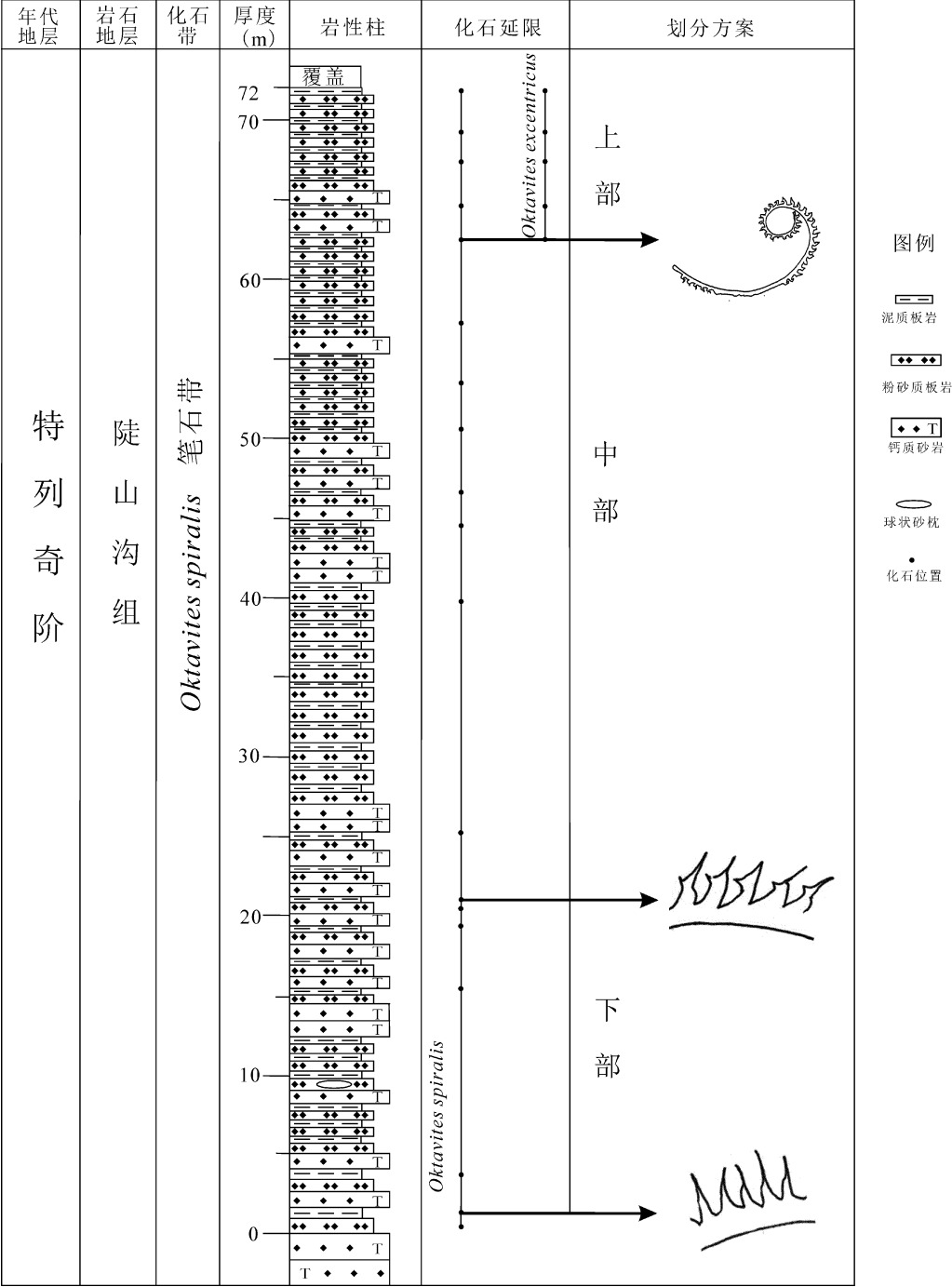


插图 2 紫阳-岚皋地区剖面综合柱状图
Biostratigraphy and lithological characters of the studied sections in the Ziyang-Langao area.

3 系统古生物学

正笔石目 Order Graptoloidea Lapworth, 1875

单笔石超科 Superfamily Monograptacea Lapworth, 1873

单笔石科 Family Monograptidae Lapworth, 1873

奥氏笔石属 Genus *Oktavites* Levina, 1928
(= *Obutograptus* Mu, 1955)

模式种 *Graptolithus spiralis* Geinitz, 1842

属征 笔石体半旋或螺旋生长。胞管整体呈三角形, 胞管口部具有横向扩展的口片, 相邻胞管掩盖少或无掩盖。

分布及时代 世界各大洲; 志留系兰多维列统。

偏心奥氏笔石 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975)

(插图 3-b, c, e, f; 4-b)

1975 *Monograptus spiralis excentricus* Bjerreskov, p. 73, figs. 20G, 20H.

1989 *Monograptus spiralis excentricus* (Bjerreskov), Melchin, p. 1742, fig. 13L.

2009 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov), Loydell *et al.*, p. 191, fig. 3a.

2009 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov), Zalasiewicz *et al.*, p. 34,

fig. 16, 299.

2010 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov), Loydell *et al.*, p. 3, fig. 2I.

描述 笔石枝较为纤细, 始部盘旋相对较紧, 1—1.5 周后打开, 打开部分呈相对松弛盘旋生长。测得始部盘旋形成的圆环内直径平均值为 3.3—3.5 mm, 观察到笔石枝最大长度超过 15 cm。胎管呈三角形, 顶端伸至第 2 胞管 2/3 处, 胎管长约 1.3 mm, 口部宽 0.2 mm。胞管为典型的奥氏笔石式, 亚胞管整体呈三角形, 掩盖较少, 胞管口部存在的横向扩展口片, 压扁后呈旗状, 胞管口刺较短。横过第 1 胞管处笔石枝背-腹宽度约为 0.65 mm, 在第 1—10 胞管内测得笔石枝背-腹最大宽度在 0.9 mm, 第 11—20 胞管内测得笔石枝背-腹最大宽度在 1.3 mm, 第 21—30 胞管内测得笔石枝背-腹最大宽度为 1.5 mm, 此后笔石枝背-腹最大宽度几乎不再增加(笔石枝背-腹宽度测量包括胞管横向扩展的口片, 但不包括胞管口刺)。在第 1—10 胞管内原胞管宽度范围在 0.2—0.35 mm, 第 11—20 胞管内宽度范围在 0.35—0.45 mm, 第 21—30 胞管内宽度范围在 0.45—0.55 mm, 此后原胞管宽度几乎不再增加(表 I)。2TRD(相间的两胞管口之间的距离)值在第 1—10 胞管内范围为 1.45—1.65 mm, 11—20 胞管内范围为 1.65—1.8 mm, 21—30 胞管内范围在 1.65—1.95 mm。

表 I *Oktavites excentricus* 笔石体背-腹最大宽度、原胞管宽度以及 2TRD 值测量

Measurements of maximum dorso-ventral width, prothecal width and thecal spacing in *Oktavites excentricus*.

胞管	1—10	11—20	21—30
笔石体背-腹最大宽度(mm)	0.9	1.3	1.5
原胞管宽度(mm)	0.2—0.35	0.35—0.45	0.45—0.55
2TRD 值(mm)	1.45—1.65	1.65—1.8	1.65—1.95

讨论 *Oktavites excentricus* 与 *Cyrtograptus lapworthi* Tullberg, 1883 在笔石枝的盘旋形态上较为接近, 特别是与那些未生长出一级幼枝的 *Cyrtograptus lapworthi* 幼年期个体(插图 3-g)更为相近, 二者区别在于 *Oktavites excentricus* 胞管为典型的奥氏笔石式, 胞管口部存在横向扩展的口片(插图 4-b), 而 *Cyrtograptus lapworthi* 的胞管形态更接近于单笔石式(插图 4-c), 胞管简单的弯曲呈钩状, 胞管口部未见横向扩展现象。一些盘旋

较为松弛的奥氏笔石类群, 也可能在埋藏因素的作用下保存成类似 *Oktavites excentricus* 的形态(插图 3-h), 甚至一定程度上影响到 *Oktavites excentricus* 延限的判断, 区别在于 *Oktavites excentricus* 具有稳定的盘旋形态和一定的化石丰度, 而在埋藏因素作用下保存的类似形态的标本不具有这些特征。

化石延限 志留系特列奇阶 *Oktavites spiralis* 笔石带。

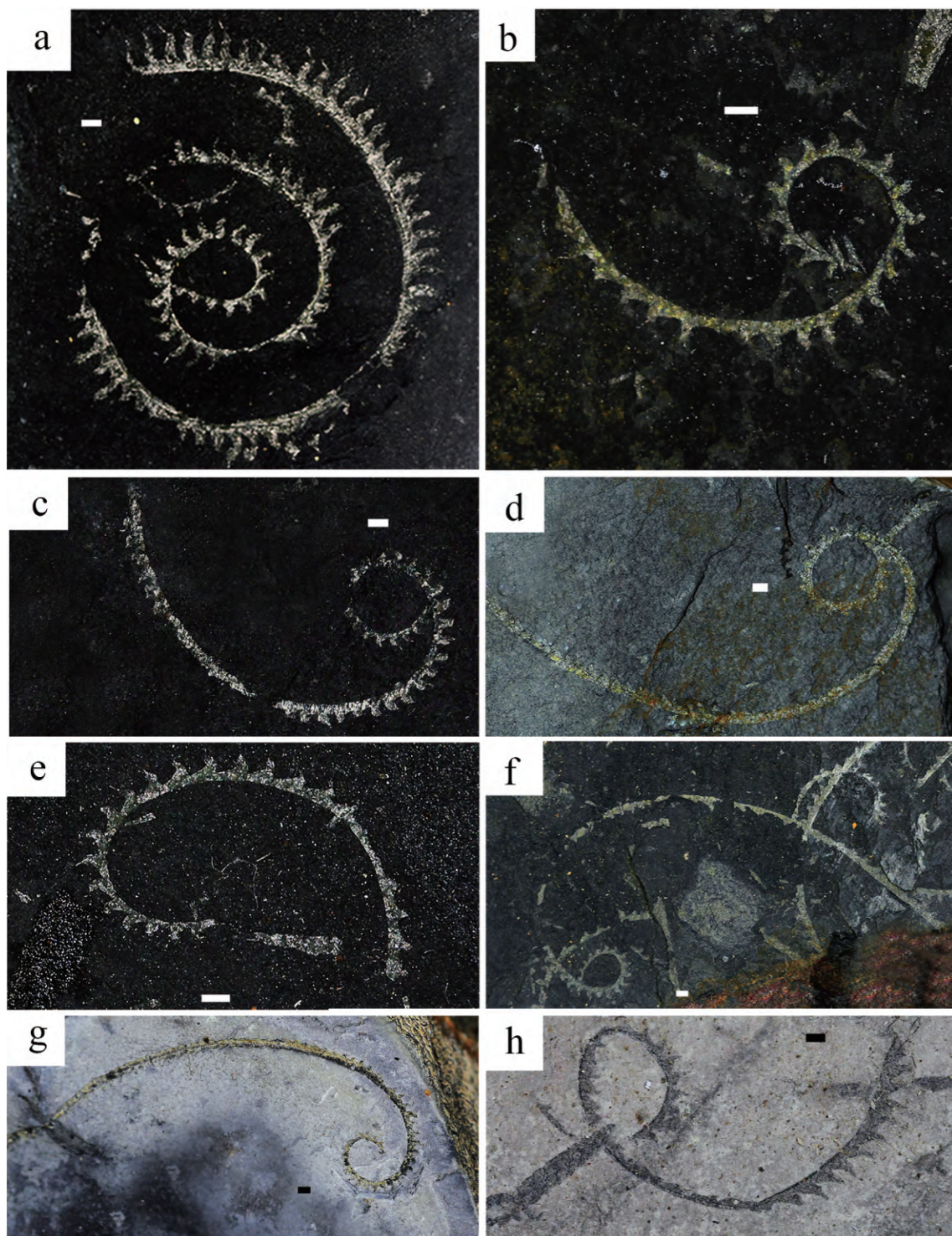
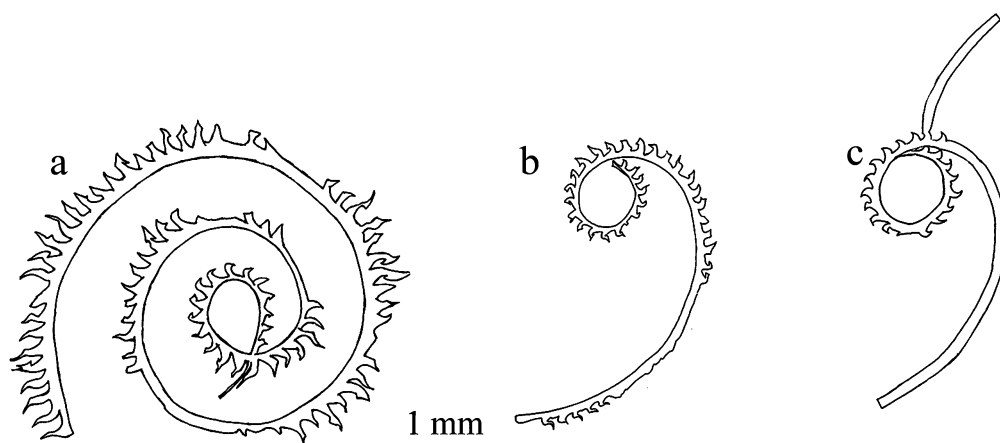


插图 3 紫阳-岚皋地区的志留纪笔石 *Oktavites contortus*, *Oktavites excentricus* 和 *Cyrtograptus lapworthi*

Silurian graptolite *Oktavites contortus*, *Oktavites excentricus* and *Cyrtograptus lapworthi* from the Ziyang-Langao area.

a. *Oktavites contortus* (Perner, 1897), 龙潭剖面 (Longtan section), 38.10 m, *O. spiralis* 笔石带中部 (middle *O. spiralis* Zone), 标本编号 (Specimen number): Gr21259. b, c, e, f. *Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975), 龙潭剖面 (Longtan section), 72.0 m, 63.5 m, 68.5 m, 72.0 m, *O. spiralis* 笔石带上部 (upper *O. spiralis* Zone), 标本编号 (Specimen number): Gr21394, Gr21303, Gr21312, Gr21337. d, g. *Cyrtograptus lapworthi* (Tullberg, 1883), d. 芭蕉口剖面 (Bajiaokou section), 546.0 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带 (*Cyr. lapworthi* Zone), 标本编号 (Specimen number): Gr20166; g. 桥西剖面 (Qiaoxi section), 2.5 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带 (*Cyr. lapworthi* Zone), 标本编号 (Specimen number): Gr21660. h. *Oktavites* sp., 紫黄剖面 (Zihuang section), 13.8 m, *Stimulograptus sedgwickii* 笔石带 (*Stimulograptus sedgwickii* Zone), 标本编号 (Specimen number): Gr23239.

插图4 *Cyrtograptus lapworthi* 弓笔石的起源过程推测Proposed origin process of *Cyrtograptus lapworthi*.

- a. *Oktavites contortus* (Perner, 1897), 龙潭剖面 (Longtan section), 38.10 m, *O. spiralis* 笔石带中部 (middle *O. spiralis* Zone), Gr21259。
 b. *Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975), 龙潭剖面 (Longtan section), 63.5 m, *O. spiralis* 笔石带上部 (upper *O. spiralis* Zone), Gr21303。
 c. *Cyrtograptus lapworthi* (Tullberg, 1883), 芭蕉口剖面 (Bajiaokou section), 546.0 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带 (*Cyr. lapworthi* Zone), Gr20166。

4 讨论

4.1 *Oktavites excentricus* 的地层学意义

Oktavites spiralis 独特的盘旋形态和广泛的古地理分布使其成为特列奇阶重要的带化石分子之一。大多数观点认为, *Oktavites spiralis* 首现可作为该化石带开始的标志, 而在更低层位出现的标本应归 *Oktavites contortus* Perner, 1897。Bjerreskov (1975) 通过对丹麦特列奇阶笔石带研究后认为, *Oktavites spiralis* 延限为 *Oktavites spiralis* 笔石带至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带下部。在美国内华达、拉脱维亚、西班牙以及英国, *Oktavites spiralis* 首现被认为可作为该化石带开始的标志, 该种上延至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带上部绝灭 (Berry and Murphy, 1975; Zalasiewicz, 1994; Loydell and Cave, 1996; Gutiérrez-Marco and Štorch, 1998; Loydell et al., 2003, 2008; Zalasiewicz et al., 2009)。然而, 关于 *Oktavites spiralis* 的延限仍存在不同观点, Plřibyl (1944) 认为 *Oktavites spiralis* 在 *Monograptus crispus* 笔石带和 *Monoclimacis griestoniensis* 笔石带化石丰度较低, 上延至 *Monoclimacis crenulata* 笔石带化石丰度开始变得较高。Rickards (1970) 认为该种首现于 *Spirograptus turriculatus* 笔石带, 其延限甚至可能跨越了整个特列奇阶。在加拿大, *Oktavites spiralis* 首现于 *Spirograptus turriculatus* 笔石带, 但数量十分稀少, 该种上延至 *Oktavites spiralis* 笔石带丰度急剧增加, 而再上延至 *Cyrtograptus sakmaricus* 笔石带后该

种数量再次变得十分稀少 (Lenz, 1982; Melchin, 1989)。Štorch (1994) 认为, *Oktavites spiralis* 在 *Touquigraptus tullbergi* 笔石带上部开始出现, 但是丰度极低, 随后急剧增加的丰度可作为 *Oktavites spiralis* 笔石带开始的标志, 而该种不确定的首现位置不能作为化石带开始的标志。

笔者曾对 *Oktavites spiralis* 延限及其演化过程进行研究, 该种在陕西紫阳、岚皋地区首现于 *Spirograptus turriculatus* 笔石带下部, 至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带上部灭绝, 带化石的首现位置并不能作为该笔石带的开始 (Wang et al., 2017)。笔者认为, 在陕西紫阳、岚皋地区, 尽管 *Oktavites spiralis* 具有更低的首现位置和较长的化石延限, 但该种胞管的快速演化特征和丰度变化可以对该笔石带进行准确识别, 该化石也仍不失地层精确对比意义 (Wang et al., 2017)。考虑到该带化石具有如此之低的首现位置 (跨越 6 个笔石带), 有必要在 *Oktavites spiralis* 笔石带内, 寻找那些形态特征明显、延限较短、分布范围较广且具有重要演化意义的伴生笔石分子对该笔石带进行识别。

同时, 在世界范围内, *Oktavites spiralis* 笔石带层位的地层沉积厚度通常较大, 需要通过更多的工作对该笔石带做进一步的划分。近期, 笔者通过对陕西紫阳、岚皋地区多个志留系剖面的笔石化石采集和研究, 在 *Oktavites spiralis* 笔石带内获得数量较多的 *Oktavites excentricus* 标本。 *Oktavites excentricus* 在丹麦的 Bornholm 岛志留纪地层中首次被发现和描述 (Bjerreskov, 1975)。此后, 该种在中国、加拿大、西班牙、英国、拉脱维亚等地相继被发现

和报道(陈旭, 1984; Melchin, 1989; 陈旭、戎嘉余, 1996; Loydell *et al.*, 2008; Zalasiewicz *et al.*, 2009; Loydell *et al.*, 2010)。该种在各地延限差异不大, 在丹麦、西班牙、英国、拉脱维亚延限为 *Oktavites spiralis* 笔石带中部(Bjerreskov, 1975; Loydell *et al.*, 2008; Zalasiewicz *et al.*, 2009; Loydell *et al.*, 2010); 在加拿大和中国该种首现于 *Oktavites spiralis* 笔石带并在该笔石带内绝灭(Melchin, 1989; 陈旭、戎嘉余, 1996)。综上所述, 该种延限在世界范围内近乎一致, 均为 *Oktavites spiralis* 笔石带, 较短的化石延限和广泛的古地理分布使其自身具备地层划分对比的潜力, 也为 *Oktavites spiralis* 笔石带的进一步划分提供了可能。

根据 *Oktavites spiralis* 的胞管演化特征和伴生化石 *Oktavites excentricus* 的延限特征, 笔者尝试提出 *Oktavites spiralis* 笔石带的进一步划分方案:

1) 以 *Oktavites spiralis* 的胞管演化出明显的胞管口刺和突然增加的化石丰度作为该笔石带的开始(插图 2, 5-a), 理由如下: 在资料中可见, *Oktavites spiralis* 也曾被定为 *Monograptus spiralis* 或 *Spirograptus spiralis*。陈旭(1984)在讨论奥氏笔石式胞管时特别指出, 奥氏笔石属最突出的特征是胞管口部具有横向扩展的口片, 而不是单笔石(*Monograptus*)式那样简单的向后弯曲。确切的说, 产自该层位的 *Oktavites spiralis* 胞管形态并非典型的奥氏笔石式胞管, 而是与 *Spirograptus*(螺旋笔石属)胞管形态更为接近, 胞管弯曲呈钩状, 口刺较长, 但胞管口部未见横向扩展的口片(插图 5-a), 因此该层位的标本归为“*Spirograptus spiralis*”或许更为合适。而在该层位之下, 即从 *Spirograptus turriculatus* 笔石带就开始出现的标本, 胞管为简单的单笔石式, 未见胞管口刺以及胞管口部横向扩展的口片(Wang *et al.*, 2017), 或可归为“*Monograptus spiralis*”, 同时鉴于具有此类型的胞管形态(单笔石式胞管)的标本延限较长, 且化石丰度极低, 因此并不具有地层对比意义。笔者认为, 归为奥氏笔石属的众多分子胞管形态差异较大, 在后续研究工作中通过胞管性质对该属进行重新厘定十分必要, 限于篇幅在此不予赘述。鉴于 *Oktavites spiralis* 笔石带为国际标志化石带, 笔者在本文中仍沿用该化石带名称, 但建议需考虑胞管特征以及丰度变化予以限定, 即以胞管出现口刺和化石丰度的急剧增加作为该笔石带的开始。

2) 以 *Oktavites spiralis* 的胞管口部演化出明显的横向扩展口片作为该笔石带中部的开始(插图 2, 5-b)。该层位的 *Oktavites spiralis* 胞管口部存在

明显的横向扩展现象, 从 *Oktavites spiralis* 笔石带中部至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带, *Oktavites spiralis* 的胞管口部的横向扩展随层位的增加而逐渐明显(插图 5-d—f), 并具有地层判别意义, 具体测量方法和数值参考 Wang 等(2017)。事实上, 前人的研究中却很少对 *Oktavites spiralis* 胞管形态进行严格限定, 而是更多关注于笔石体背-腹最大宽度的测量, 这也是造成该种延限争议的原因之一, 甚至不同地区产出的 *Oktavites spiralis* 胞管形态存在的区别也被认为是古地理因素的影响(Berry and Murphy, 1975)。笔者认为, 若严格按照奥氏笔石胞管特征进行限定(胞管口部存在横向扩展的口片), 真正的 *Oktavites spiralis* 首现位置的确也可以作为化石带(相对狭义的)开始的标志。

3) 以 *Oktavites excentricus* 的首现位置作为该笔石带上部的开始(插图 2), 理由如下: *Oktavites excentricus* 在紫阳地区属首次描述, 在紫阳龙潭剖面, 该种的首现位置为 63.5 m 处, 并分别在 64.7 m, 65.6 m, 68.5 m 和 72 m 处连续出现, 产出层位为志留系特列奇阶 *Oktavites spiralis* 笔石带(插图 2), 化石丰度极高, 其丰度甚至与带化石分子 *Oktavites spiralis* 不相上下。Bjerreskov(1975)也曾经提到, 在丹麦 Bornholm 岛的 *Oktavites spiralis* 笔石带中部, *Oktavites excentricus* 化石丰度极高, 甚至有取代带化石之势。遗憾的是, 该剖面 72 m 之上覆盖严重, 化石也变得稀少, 很难对 *Oktavites excentricus* 延限进行连续追踪。通过对紫阳芭蕉口剖面、岚皋小镇剖面 *Oktavites spiralis*-*Cyrtograptus lapworthi* 笔石带的化石采集情况来看, 该种延限应仅限于 *Oktavites spiralis* 笔石带。同时, *Oktavites excentricus* 胞管为典型的奥氏笔石式, 其笔石体的盘旋方式又与稍晚的笔石带化石分子 *Cyrtograptus lapworthi* 十分接近, 二者可能存在的演化关系也使其具备地层划分对比潜力。

4.2 *Oktavites excentricus* 与弓笔石之间的演化关系

弓笔石(*Cyrtograptus*)动物群的出现是笔石演化过程的一个重要阶段, 其形态特征明显、演化迅速、全球范围内广泛分布的特点, 使其成为早志留世晚期至中志留世地层划分对比的标准化石。奥氏笔石属(*Oktavites*)是早志留世重要的笔石类群, 该属部分分子在笔石体盘旋方式和胞管形态上与 *Cyrtograptus* 存在相似性, 通常认为, 二者可能存在亲缘演化的关系(Rickards *et al.*, 1977; Lenz and Melchin, 1989)。Rickards 等(1977)通过研究认为,

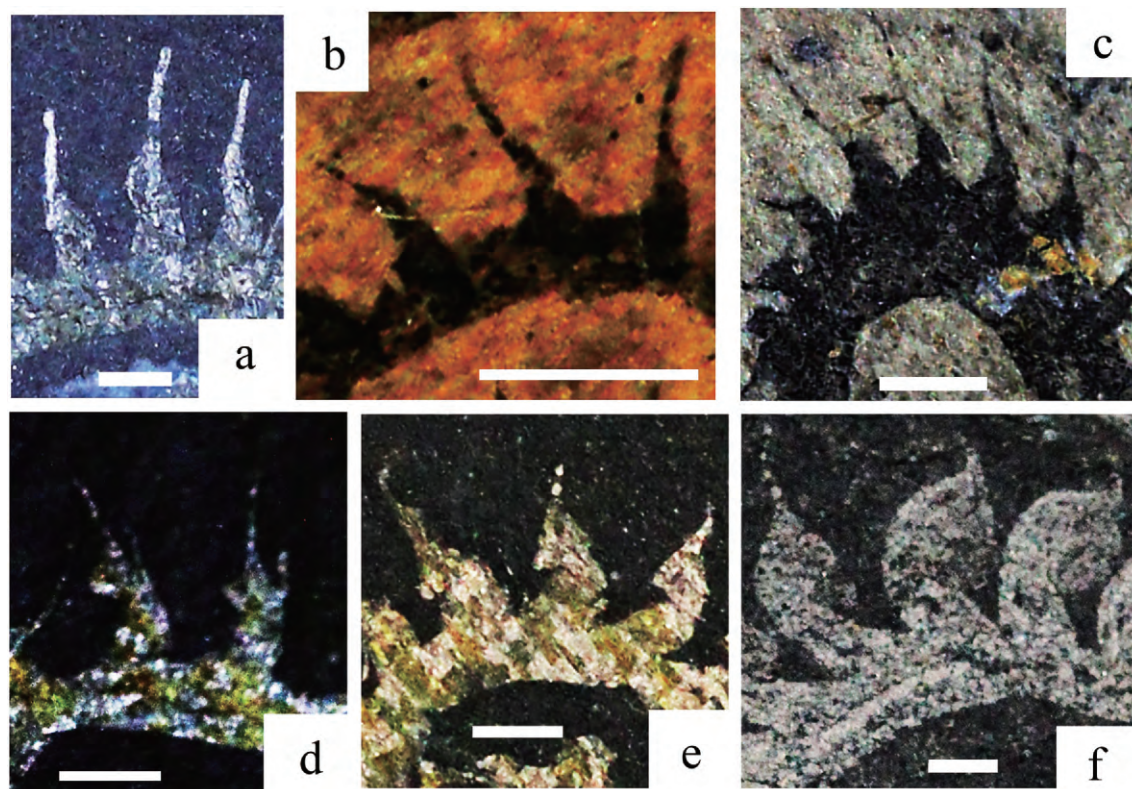


插图 5 胞管演化过程及其对比

Evolutionary process and comparison of the thecae.

a, d, e, f. *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842); a. 螺旋笔石式胞管, 胞管呈钩状, 掩盖较少, 具有 1—2 个口刺, 胞管口部未见横向扩展, 龙潭剖面, 0.05 m, *O. spiralis* 笔石带下部, Gr24385; d. 胞管为典型的奥氏笔石式, 胞管口部存在明显的横向扩展, 龙潭剖面, 21.1 m, *O. spiralis* 笔石带中部, Gr21533; e. 胞管为典型的奥氏笔石式, 胞管口部存在横向扩展且随层位的增加而逐渐明显, 并具有地层判别意义, 龙潭剖面, 64.15 m, *O. spiralis* 笔石带上部, Gr21424; f. 胞管为典型的奥氏笔石式, 胞管口部横向扩展随层位的增加而更加明显, 芭蕉口剖面, 565.1 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带, Gr21368. b. *Spirograptus turriculatus* (Barrande, 1850), 螺旋笔石式胞管, 紫黄剖面, 18.9 m, *S. turriculatus* 笔石带, Gr22585. c. *Cyrtograptus sakmaricus* (Koren, 1968), 螺旋笔石式胞管, 桥西剖面, 4.5—5.5 m, *Cyr. sakmaricus* 笔石带, Gr24601a.

a, d, e, f. *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842), a. the thecal morphology is typical *Spirograptus*-type, the thecae hooked, with negligible overlap, and bearing 1—2 apertural spines, the thecal aperture without horizontal expansion, Longtan section, 0.05 m, lower *O. spiralis* Zone, Gr24385; d. the thecal morphology is typical *Oktavites*-type, the thecal aperture with distinct horizontal expansion, Longtan section, 21.1 m, middle *O. spiralis* Zone, Gr21533; e. the thecal morphology is typical *Oktavites*-type, the marked increase in the horizontal expansion of thecae with increasing stratigraphic position which can be used as a stratigraphic marker for regional correlation, Longtan section, 64.15 m, upper *O. spiralis* Zone, Gr21424; f. the thecal morphology is typical *Oktavites*-type, the marked increase in the horizontal expansion of thecae with increasing stratigraphic position, Bajiaokou section, 565.1 m, *Cyr. lapworthi* Zone, Gr21368. b. *Spirograptus turriculatus* (Barrande, 1850), the thecal morphology is typical *Spirograptus*-type, Zihuang section, 18.90 m, *S. turriculatus* Zone, Gr22585. c. *Cyrtograptus sakmaricus* (Koren, 1968), the thecal morphology is typical *Spirograptus*-type, Qiaoxi section, 4.5—5.5 m, *Cyr. sakmaricus* Zone, Gr24601a.

那些最早期出现的弓笔石类群, 至少包含了三大类群, 其中那些拥有粗壮笔石枝、盘旋较为紧密的弓笔石类群, 诸如 *Cyrtograptus sakmaricus* Koren, 1968, 可能起源于 *Oktavites spiralis*; 而那些笔石体相对纤细、盘旋较为松弛的弓笔石类群, 诸如 *Cyrtograptus lapworthi* 类群, 可能起源于 *Oktavites planus* 或具有类似盘旋特征的类群。

在 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带之下, 与弓笔石类群形态最为接近且极为繁盛的笔石类群当属 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus*。过去资料中对二者进行区分的标准仅限于笔石体最大宽度

的测量, 即 *Oktavites spiralis* (3—3.5 mm) 和 *Oktavites contortus* (1.5 mm)。笔者曾将二者做过进一步区分 (Wang *et al.*, 2017), 结论如下: *Oktavites contortus* 笔石体相对纤细、盘旋较为松弛, *Oktavites spiralis* 笔石枝相对粗壮、盘旋较为紧密, 二者共生层位为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 带至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带。

事实上, *Oktavites planus* 的延限为特列奇阶 *Spirograptus guerichi* 笔石带至 *Spirograptus turriculatus* 笔石带 (Zalasiewicz *et al.*, 2009), 与 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带之间相隔 5—6 个

笔石带。*Oktavites excentricus* 首现于 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带之下的 *Oktavites spiralis* 笔石带, 胞管形态为典型的奥氏笔石式, 其笔石枝盘旋形态又与 *Cyrtograptus lapworthi* 极为接近。据此, 笔者进一步推测, 可能存在着 *Oktavites*

contortus-*Oktavites excentricus*-*Cyrtograptus lapworthi* 的谱系演化过程(插图 4), 而 *Oktavites spiralis* 最终演化为笔石枝较为粗壮、始部盘旋较为紧密的 *Cyrtograptus sakmaricus* 类群(插图 6)。

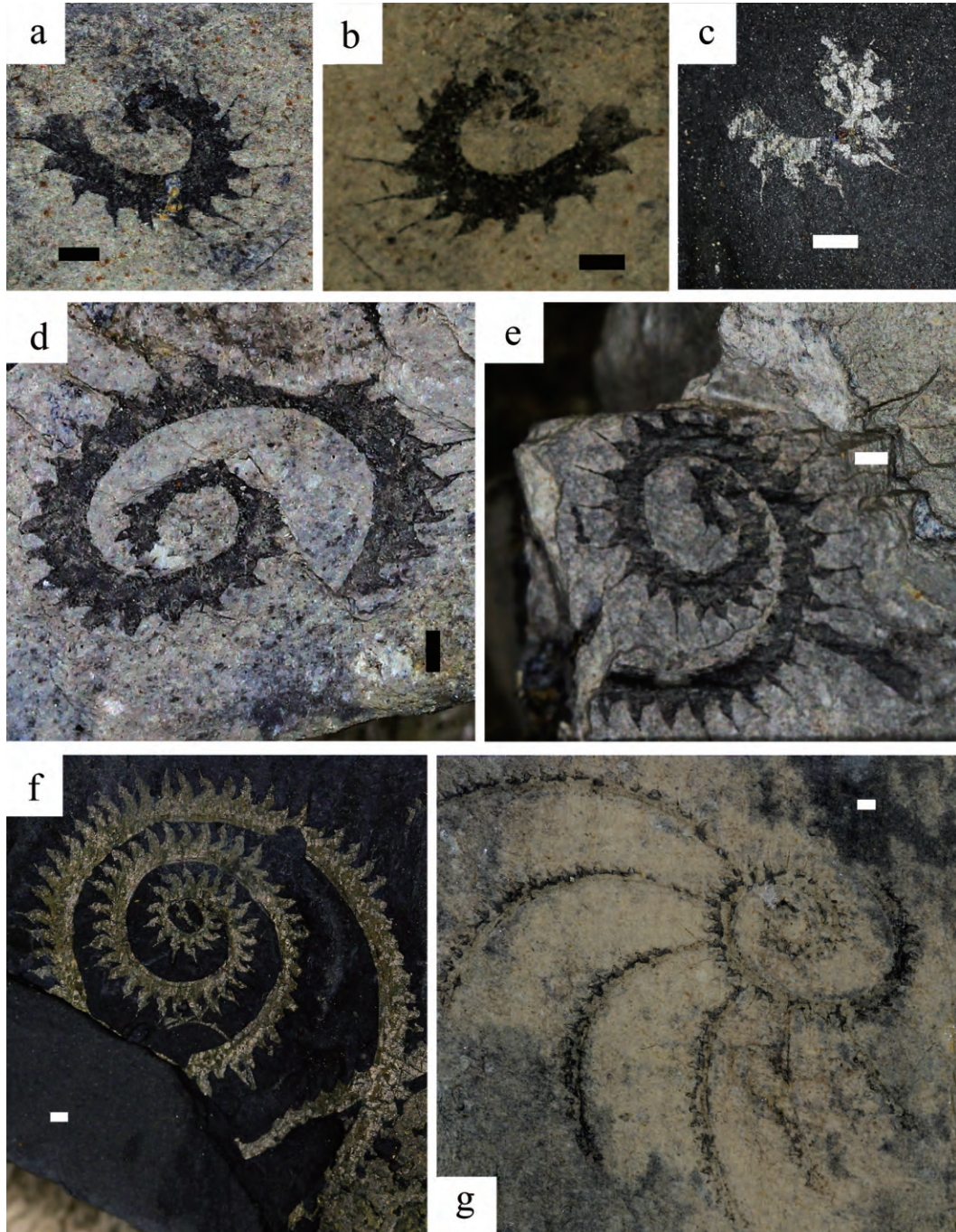


插图 6 *Cyrtograptus sakmaricus* 弓笔石的起源过程推测

Proposed origin process of *Cyrtograptus sakmaricus*.

a, b, d, e, g. *Cyrtograptus sakmaricus* (Koren, 1968), 胞管为典型的螺旋笔石式, 胞管口部未见横向扩展现象 (the thecal morphology is typical *Spirograptus*-type, the thecal aperture without horizontal expansion), 桥西剖面 (Qiaoxi section), 4.5—5.5 m, *Cyr. sakmaricus* 笔石带 (*Cyr. sakmaricus* Zone), Gr24601a, Gr24601b, Gr24603, Gr20389, Gr20143. c, f. *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842), 胞管为典型的奥氏笔石式, 胞管口部存在明显的横向扩展 (the thecal morphology is typical *Oktavites*-type, the thecal aperture with distinct horizontal expansion), 龙潭剖面 (Longtan section), 66.0 m, 64.15 m, *O. spiralis* 笔石带上部 (upper *O. spiralis* Zone), Gr21449, Gr21424.

奥氏笔石属长期以来存在争议,其胞管形态被认为与单笔石式胞管十分接近,因此该属分子常被归为 *Monograptus* (单笔石属) 或 *Spirograptus* (螺旋笔石属)。然而,真正的奥氏笔石式胞管并非像单笔石一样简单的向后弯曲,而是存在横向扩展的口片(Pribyl, 1944; 穆恩之, 1955; 陈旭, 1984; Lenz and Melchin, 1989)。弓笔石类的胞管也被认为是奥氏笔石式,然而通过观察笔者认为,早期的弓笔石类群,如 *Cyrtograptus sakmaricus* 的胞管类型更接近于 *Spirograptus* 式,与本文中所限定 *Oktavites spiralis* 笔石带下部的 *Oktavites spiralis* 胞管形态较为接近,即口部横向扩展现象不明显,而与真正的奥氏笔石式胞管存在较大区别(插图 5)。前文曾经提到, *Cyrtograptus lapworthi* 的幼年期个体与 *Oktavites excentricus* 不易区分,可能会对 *Oktavites excentricus* 的化石延限判定造成影响,区别在于 *Cyrtograptus lapworthi* 胞管更接近于单笔石式,口刺不发育,而 *Oktavites excentricus* 胞管类型为典型的奥氏笔石式。同理,在紫阳-岚皋地区, *Oktavites spiralis* 至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带上部绝灭, *Cyrtograptus sakmaricus* 谱系弓笔石的幼体与 *Oktavites spiralis* 标本盘旋方式也极为相似,区别在于该层位的 *Oktavites spiralis* 胞管类型为典型的奥氏笔石式,而 *Cyrtograptus sakmaricus* 谱系的弓笔石胞管更接近于螺旋笔石属(插图 6)。

通过标本观察,奥氏笔石类群向早期弓笔石类群的演化过程中,胞管更多呈现的是退化或返祖现象,而笔石体的盘旋形态特征和笔石枝的粗细程度变化也并非演化的主要方向。笔者认为,笔石枝盘旋形态和胞管类型在弓笔石的演化和鉴定中的作用应进一步削弱,而更应强调弓笔石幼枝演化在地层判别中所起的作用。弓笔石类群的起源是多源的,因此,对奥氏笔石属的种和种群的研究,也对讨论弓笔石的起源、分类、演化以及特列奇期地层的精确划分具有重要的意义。

致谢 两位审稿老师和编辑老师在论文评审过程中提出诸多宝贵意见和建议,西安地质调查中心傅力浦研究员、西北大学张兴亮教授、华洪教授、中国科学院南京地质古生物研究所黄冰研究员对本文提出宝贵意见,陕西紫阳野外观测基地提供平台支持,在此一并致谢。

参 考 文 献 (References)

- Berry W B N, Murphy M A, 1975. Silurian and Devonian graptolites of central Nevada. University of California Publications Geological Sciences, **110**: 1—110.
- Bjerreskov M, 1975. Llandoveryan and Wenlockian graptolites from Bornholm. Fossils and Strata, **8**: 1—94.
- Blumenstengel H, Hansch W, Heuse T, Leonhardt D, Maletz J, Meisel S, Samuelsson J, Sarmiento G N, Sehnert M, Tröger K A, Verniers J, Walter H, 2006. Fauna und flora im Silur Deutschlands. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, **46**: 130—137.
- Bouček B, 1953. Biostratigraphy, development and correlation of the Želkovice and Motol Beds in the Silurian of Bohemia. Sborník Ústředního Ústavu Geologického, **20**: 473—480.
- Chen Xu (陈 旭), 1984. Silurian graptolites from southern Shaanxi and northern Sichuan with special reference to classification of monograptidae. Palaeontologia Sinica (中国古生物志), New Series B, **166**: 1—102 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xu (陈 旭), Rong Jia-yu (戎嘉余), 1996. Telychian Stage of Llandovery Series of Yangtze Region China. Beijing: Science Press. 1—189 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xu, Zhang Yong-dong, Fan Jun-xuan, Cheng Jun-feng, Li Qijian, 2010. Ordovician graptolite-bearing strata in southern Jiangxi with a special reference to the Kwangsi Orogeny. Science China Earth Sciences, **53**: 1602—1610.
- Deng Bao (邓 宝), 1979. On the occurrence of *Cyrtograptus* (Graptolite) from Ziyang, Shaanxi. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), **18**(3): 308—311 (in Chinese with English abstract).
- Elles G L, Wood E M R, 1913. A monograph of British Graptolites. London: Palaeontographical Society, **9**: 414—506.
- Fu Li-pu (傅力浦), Song Li-sheng (宋礼生), 1983. Stratigraphy and palaeontology of Silurian in Ziyang Region (Transitional Belt). Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences (中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊), **14**: 1—198 (in Chinese with English abstract).
- Fu Li-pu (傅力浦), Zhang Zi-fu (张子福), Geng Liang-yu (耿良玉), 2006. Silurian High Resolution Graptolite Biostratigraphy and Biotic Recovery in Ziyang, China. Beijing: Geological Publishing House. 1—151 (in Chinese with English abstract).
- Fu Li-pu (傅力浦), Zhang Zi-fu (张子福), Xie Cong-rui (谢从瑞), 2004. Cyrtograptid zones near the lower boundary of the Silurian Wenlock Series in Ziyang, Shaanxi. Geological Bulletin of China (地质通报), **23**(8): 795—798 (in Chinese with English abstract).
- Fu Li-pu (傅力浦), Zhang Zi-fu (张子福), Xie Cong-rui (谢从瑞), 2005. The Telychian zonal graptolites from Ziyang, China. Acta Geoscientia Sinica (地球学报), **26**(1): 45—52 (in Chinese with English abstract).
- Ge Mei-yu (葛梅钰), Li Chong-lou (李崇楼), 1984. Silurian graptolites-bearing strata in Ziyang, southern Shaanxi. Bulletin of

- Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica (中国科学院南京地质古生物研究所丛刊), **9**: 145—168 (in Chinese with English abstract).
- Geinitz H B, 1842. Über Graptolithen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakten-Kunde, 1842; 697—701 (in German).
- Gutiérrez-Marco J C, Štorch P, 1998. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery) shelf deposits of the Western Iberian Cordillera, Spain. Geological Magazine, **135**: 71—92.
- Lapworth C, 1873. Notes on the British graptolites and their allies. 1. On an improved classification of the Rhabdophora. Geological Magazine, **1**: 500—560.
- Lapworth C, 1876. On Scottish Monograptidae. Geological Magazine, **10**: 308—507.
- Lenz A C, 1982. Llandoveryan graptolites of the northern Canadian Cordillera: *Petalograptus*, *Cephalograptus*, *Rhaphidograptus*, *Dimorphograptus*, Retiolitidae, Monograptidae. Royal Ontario Museum Life Sciences Contributions, **130**: 1—154.
- Lenz A C, Melchin M J, 1989. *Monograptus spiralis* and its phylogenetic relationship to early Cyrtograptids. Journal of Paleontology, **63**: 341—348.
- Liu Wei-zhou (刘渭洲), 1986. Early Silurian *Oktavites* and *Spirograptus* from Taoshan of Yitong, Jilin. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), **25**(3): 180—191 (in Chinese with English abstract).
- Loydell D K, Cave R, 1993. The Telychian (Upper Llandovery) stratigraphy of Buttington Brick Pit, Wales. Newsletters on Stratigraphy, **29**: 91—103.
- Loydell D K, Cave R, 1996. The Llandovery-Wenlock boundary and related stratigraphy in eastern mid-Wales with special reference to the Banwy River section. Newsletters on Stratigraphy, **34**: 39—64.
- Loydell D K, Kaljo D, Männik P, 1998. Integrated biostratigraphy of the lower Silurian of the Ohesaare core, Saaremaa, Estonia. Geological Magazine, **135**: 769—783.
- Loydell D K, Männik P, Nestor V, 2003. Integrated biostratigraphy of the lower Silurian of the Aizpute-41core, Latvia. Geological Magazine, **140**: 205—229.
- Loydell D K, Nestor V, Männik P, 2010. Integrated biostratigraphy of the lower Silurian of the Kolka-54 core, Latvia. Geological Magazine, **147**: 1—28.
- Loydell D K, Sarniento G N, Štorch P, Gutiérrez-Marco J C, 2009. Graptolite and conodont biostratigraphy of the upper Telychian-lower Sheinwoodian (Llandovery—Wenlock) strata Jabalon River section, Corral de Calatrava, central Spain. Geological Magazine, **146**: 187—198.
- Luo Kun-li (雒昆利), Deng Bao (邓宝), 1992. Evolution and classification of Silurian *Oktavites spiralis* from South Shaanxi with special reference to its stratigraphical sequence. Journal of Xi'an Mining Institute (西安矿业学院学报), **12**(2): 79—87 (in Chinese with English abstract).
- Ma Run-hua (马润华), 1998. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (61): Stratigraphy (Lithostratic) of Shaanxi Province. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1—291 (in Chinese).
- Melchin M J, 1989. Llandovery graptolite biostratigraphy and paleobiogeography, Cape Philips Formation, Canadian Arctic Island. Canadian Journal of Earth Science, **26**: 1726—1746.
- Mu En-zhi (穆恩之), 1955. On *Spirograptus* Gürich. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), **31**(1): 1—10 (in both Chinese and English).
- Mu En-zhi (穆恩之), Li Ji-jin (李积金), Ge Mei-yu (葛梅钰), 2002. Fossil Graptolites of China. Beijing: Science Press. 1—1205 (in Chinese).
- Pribyl A, 1944. The Middle-European monograptids of the genus *Spirograptus* Gürich. Rozprawy II. Trída České Akademievěd, **19**: 1—46.
- Rickards R B, 1970. The Llandovery (Silurian) graptolites of the Howgill Fells, Northern England. London: Palaeontographical Society. 1—108.
- Rickards R B, Hutt J E, Berry W B N, 1977. Evolution of Silurian and Devonian graptolids. Bulletin of the British Museum (Natural History). Geology, **28**: 1—120.
- Rong Jia-yu, Chen Xu, Su Yang-zheng, Ni Yu-nan, Zhan Ren-bin, Chen Ting-en, Fu Li-pu, Fan Juan-xuan, 2003. Silurian paleogeography of China, Silurian lands and seas paleogeography outside of Laurentia. New York State Museum Bulletin, **493**: 243—298.
- Štorch P, 1994. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery and Wenlock) of Bohemia. Geological Journal, **29**: 137—165.
- Štorch P, Serpagli E, Barca S, 2002. Silurian graptolites of the *spiralis* and *lapworthi* biozones (upper Telychian, Llandovery) in the Aulcis area, SW Sardinia. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, **41**: 97—107.
- Wang Xiao-feng (汪啸风), 1978. A restudy on the graptolites and the age of the Wentoushan Formation from Liantan, Kwangtung. Acta Geologica Sinica (地质学报), **4**: 303—319 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xin, Wang Jian, Zhang Ju, 2017. First appearance datum of the Silurian graptolite *Oktavites spiralis*, and its evolution on the northern margin of South China. Alcheringa, **41**: 30—45.
- Wang Xin (王欣), Wang Jian (王健), Zhang Ju (张举), Fu Li-pu (傅力浦), Meng Yong (孟勇), Zhang Xin (张欣), 2013. Preliminary study on the development of *Oktavites spiralis* in Langao area (Shaanxi Province). Chinese Journal of Geology (地质科学), **48**(4): 1295—1301 (in Chinese with English abstract).
- Zalasiewicz J A, Taylor L S, Rushton A W A, Loydell D K, Rickards R B, Williams M, 2009. Graptolites in British stratigraphy. Geological Magazine, **146**: 785—850.
- Zhang Yuan-dong, Fan Jun-xuan, Wang Yi, Song Yan-yan, Cheng Jun-feng, 2013. A mid Telychian (Llandovery) graptolite fauna from Mojiang, Yunnan Province, southwestern China. Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, **44**: 123—142.

PALAEONTOLOGY AND BIOSTRATIGRAPHIC SIGNIFICANCE OF SILURIAN GRAPTOLITE *OKTAVITES EXCENTRICUS*

WANG Xin^{1, 2)}, WANG Jian¹⁾, ZHANG Ju¹⁾ and LI Zhong-yu¹⁾

1) Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposit, MLR,
Research Center for Orogenic Geology, Xi'an Geological Survey Center, China Geological Survey,
Xi'an 710054, China, wx200315046@163.com;

2) Early Life Institute and State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of
Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Key words *Oktavites excentricus*, Telychian Stage, Silurian, southern Shaanxi Province

Abstract

The Ziyang-Langao area, in southern Shaanxi Province, is palaeogeographically located on the northwestern margin of the Yangtze Platform, where Telychian rocks (upper Llandovery, Silurian) with abundant graptolites are beautifully exposed. *Oktavites excentricus* Bjerreskov, 1975 is an important associated graptolite species of the *Oktavites spiralis* Zone, Telychian stage. Recent investigations in multiple Telychian profiles in the

Ziyang-Langao area reveal that *Oktavites excentricus*, the species that combined rapid evolution with a global distribution, has a great potential for accurate subdivision of *Oktavites spiralis* Zone. In addition, the thecae of *Oktavites excentricus* is typical morphology of *Oktavites*, however, the morphologic rhabdosome of this species is similar to the latter graptolite index species *Cyrtograptus lapworthi* Tullberg, 1883 (the representative of early Cyrtograptids), which having a great significance for discussing the origin of *Cyrtograptus*.