

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.521



扬子台地西北缘志留纪奥氏笔石属新种及地层对比意义

王欣^{1,2,3}, 王健^{1,2,3}, 张举^{1,2,3}

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054
2. 中国地质调查局造山带地质研究中心, 陕西西安 710054
3. 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西西安 710054

摘要: *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842) 是志留系兰多维列统特列奇阶的笔石带化石分子, 其独特的盘旋生长模式易于识别, 在世界范围内广泛分布, 地层意义重大。然而, 关于 *Oktavites spiralis* 的首现位置始终存在争议, 不利于地层的精确对比。在陕西紫阳、岚皋地区, *Oktavites spiralis* 笔石带可以通过带化石丰度变化进行识别, 而不是依靠带化石的首现。近来, 对陕西紫阳、岚皋地区多个志留系特列奇阶剖面研究后认为, 通过幼体特征和盘旋形态对比, 一个奥氏笔石新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 可以从 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 中进一步区分出来。新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 化石延限仅限于 *Oktavites spiralis* 笔石带, 延限较短, 并具有重要的演化意义和较强的地层划分对比潜力。

关键词: 志留系; 特列奇阶; *Oktavites spiralis*; *Oktavites longtanensis* sp. nov.; 弓笔石; 古生物学; 地层学。

中图分类号: P52

文章编号: 1000-2383(2018)12-4399-12

收稿日期: 2018-01-08

A New Silurian Graptolite Species of *Oktavites* from Northwestern Margin of Yangtze Platform, and Its Stratigraphic Significance

Wang Xin^{1,2,3}, Wang Jian^{1,2,3}, Zhang Ju^{1,2,3}

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China
2. Orogen Research Center, China Geological Survey, Xi'an 710054, China
3. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, China

Abstract: *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842) is an index graptolite species of the Telychian age (late Llandovery, Silurian) that combined marked spiral morphology as well as a global distribution, making it stratigraphically significant. However, the first appearance datum of *Oktavites spiralis* is controversial, and consequently it is much difficult for regional stratigraphic correlations. In the Ziyang-Langao area of Shaanxi Province, *Oktavites spiralis* graptolite zone belongs to an abundance zone, rather than the FAD (first appearance datum) of this index fossil. Recent investigations in multiple Telychian profiles in the Ziyang-Langao area, along the northern margin of South China, reveal that a new species *Oktavites longtanensis* sp. nov. can be further distinguished from typical form of *Oktavites spiralis* and *Oktavites contortus* according to the larvae and coiled model. The new species *Oktavites longtanensis* sp. nov. is of a shorter stratigraphic range with great evolutionary significance, therefore has a great potential for accurate correlation of *Oktavites spiralis* Zone.

Key words: Silurian; Telychian stage; *Oktavites spiralis*; *Oktavites longtanensis* sp. nov.; *Cyrtograptus*; paleontology; stratigraphy.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(No.41302006); 中国地质调查局项目(No.121201011000150006)。

作者简介: 王欣(1984—), 男, 在读博士生, 助理研究员, 主要从事古生物学与地层学相关专业研究。ORCID: 0000-0002-2547-4515。

E-mail: wx200315046@163.com

引用格式: 王欣, 王健, 张举, 2018. 扬子台地西北缘志留纪奥氏笔石属新种及地层对比意义. 地球科学, 43(12): 4399-4410.

0 引言

紫阳、岚皋地区地处陕西省南部,大地构造位置位于扬子台地西北缘,区域内志留纪兰多维列统特列奇阶笔石相地层序列发育相对完整、化石丰富、笔石带较为连续、研究程度较高(邓宝,1979;雒昆利和邓宝,1992;Tang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015).傅力浦等(2004, 2005, 2006)对紫阳、岚皋地区志留系进行了长期而深入的笔石专题研究,将该地区特列奇阶划分出 *Spirograptus guerichi* 至 *Cyrtograptus centrifugus* 共计 9 个笔石带,并将其与同时期国际标准化石带进行对比。

Oktavites spiralis 作为特列奇阶(Telychian)的标准带化石分子,其独特的盘绕生长模式易于识别,加之在全球范围内的广泛分布,具有十分重要的地层对比意义和笔石系统演化意义。然而,关于 *Oktavites spiralis* 的化石延限始终存在争议,Rickards(1970)指出,*Oktavites spiralis* 的化石延限很可能跨越了整个特列奇阶,甚至出现的更早,而该种不确定的首现位置不能被视作该笔石带的底界。同时,*Oktavites spiralis* 笔石带在世界范围内普遍延限较长,地层沉积厚度偏大(Loydell, 1993;Zalasiewicz *et al.*, 2009),在紫阳芭蕉口剖面该笔石带厚度也在 300 m 以上(傅力浦等,2006)。英国特列奇阶的研究成果长期以来被作为该段地层划分对比的国际标准(Zalasiewicz *et al.*, 2009;陈旭,2010),然而,英国地区的 *Oktavites spiralis* 笔石带普遍发育较差(Loydell and Cave, 1996;戎嘉余,2005),而我国的 *Oktavites spiralis* 笔石带则相对发育完整,并存在进一步划分的潜力(陈旭和戎嘉余,1996)。

笔者曾对紫阳、岚皋地区 *Oktavites spiralis* 的地层延限及演化过程进行研究,该地区 *Oktavites spiralis* 的首现位置为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 笔石带,距 *Oktavites spiralis* 笔石带之间相隔了 6 个笔石带(Wang *et al.*, 2017)。笔者认为,尽管通过带化石丰度变化和胞管形态的演化可以对 *Oktavites spiralis* 笔石带进行识别,但仍有必要在该笔石带内寻找具有地层判别意义的特征笔石分子对其进行辅助识别。近来,笔者通过对陕西紫阳龙潭剖面 *Oktavites spiralis* 笔石带进行更为细致的化石采集后认为,通过对幼体发育特征、笔石体盘旋方式以及原胞管增宽速率进行了更为精确的限定,一个奥氏笔石属新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 可以从传统的 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 进一步识别出来。该种的延限仅限于 *Oktavites*

spiralis 笔石带,在形态上与 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 均存在一定的相似性,自身具备较强的地层划分对比潜力,并具有重要的演化意义,也为 *Oktavites spiralis* 笔石带的识别和进一步划分提供了更多化石依据,具体讨论如下。

1 地质背景

广西运动是指华南地区普遍存在的泥盆系与下伏地层存在的不整合所指示的构造抬升作用,具有阶段性和方向性,总体表现为自南向北、自东向西,分阶段发生的一系列构造事件(Chen *et al.*, 2010, 2012, 2014)。受广西运动引起的抬升作用影响,扬子台地志留纪兰多维列统特列奇阶的笔石相地层序列普遍发育较差(Rong *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2014;陆扬博等,2017)。陕西紫阳地区大地构造位置位于扬子台地西北缘,构造抬升作用发生相对较晚,斜坡相环境水体相对较深,区域内志留纪特列奇阶笔石相地层序列发育较为完整,笔石含量丰富,化石带相对连续,这也为该段地层的高分辨率笔石分带研究提供了珍贵的化石材料。Loydell(1993)在总结全球范围内特列奇阶笔石分带和对比时也曾指出,“中国紫阳地区可能拥有世界上最完整的特列奇阶笔石相地层,具备较高的研究价值”。

本文建立的新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 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。陡山沟组现定义为整合于斑鸠关组(以黑色碳质板岩、硅质板岩为主)之上,整合于五峡河组(碳质板岩、粉砂岩)或白崖垭组(生物碎屑灰岩)之下的一套地层,岩性以灰色厚层砂岩、粉砂岩为主,夹少量板岩,时代为早志留世(马润华,1998)。陡山沟组分布范围受到构造盆地控制,主要出露于红春坝—岚皋大断裂以北的高滩、兵房街地层小区。该组顶界具有穿时性,在岚皋小镇地区,其上部相变为以生物碎屑灰岩为主的白崖垭组(李荣社,1990)。

Chen *et al.* (2014) 在讨论广西运动的阶段性时曾经指出,扬子地台西北缘(宁强—广元地区)的抬升时间大致为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 笔石带之后。陡山沟组区别于斑鸠关组和五峡河组的重要标志是厚层砂岩的出现(马润华,1998),而该组的底界也大致为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 笔石带(傅力浦等,2006)。在生物相和岩相上与典型台地相沉积均存在明显不同的是,陡山沟组

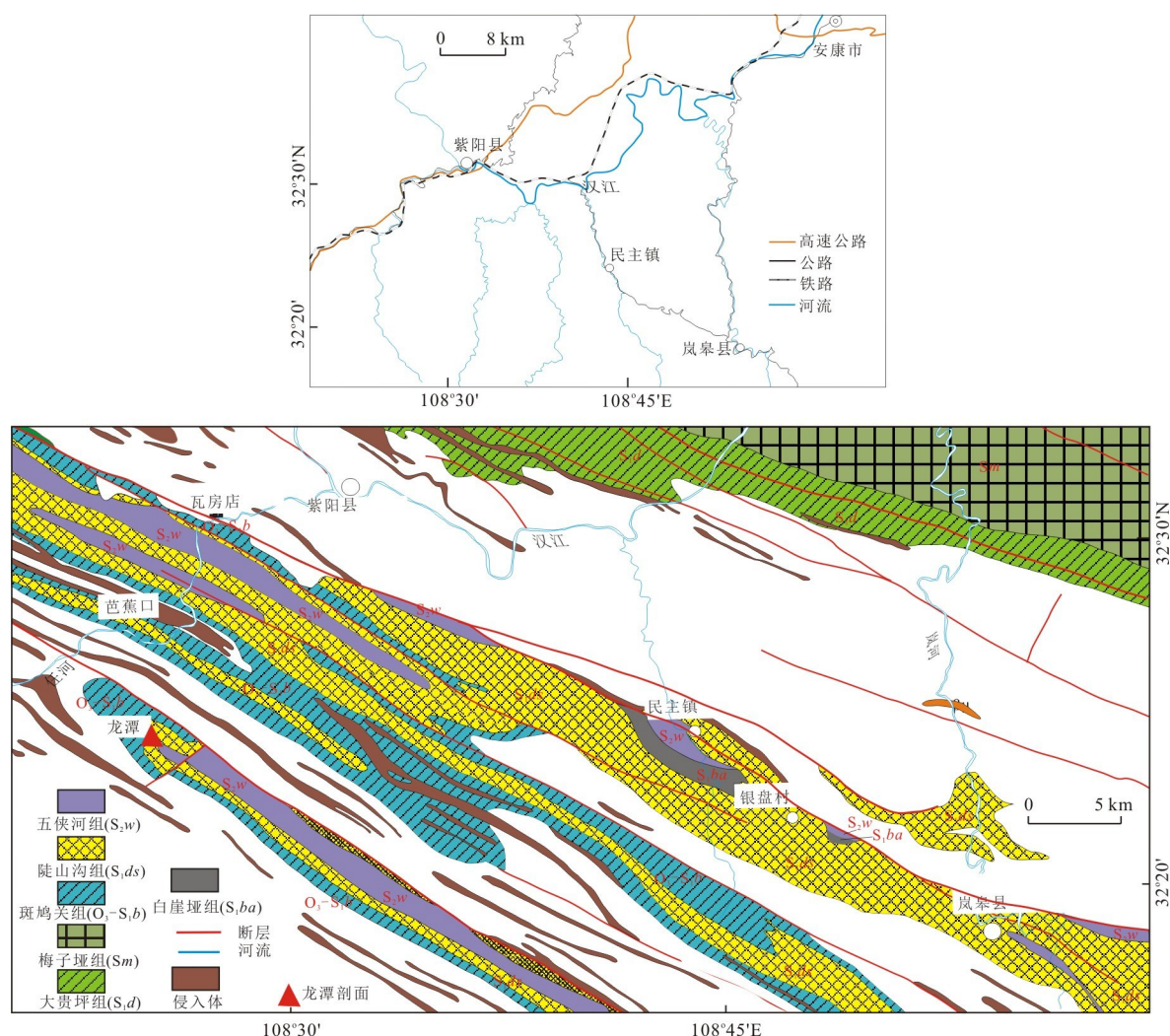


图 1 研究区域的地质简图及剖面位置

Fig.1 Geological map showing the locations of the studied sections

是一套典型的深水斜坡相浊流沉积,该组中沟模、槽模、重荷模、平行层理、包卷层理、水平层理等经典鲍马序列沉积构造十分发育(赵健,1987;孟庆仁,1991)。笔者推测,陡山沟组厚层砂岩的出现可能预示着广西运动在紫阳地区的沉积响应,抬升作用发生时间大致为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 笔石带(图 1)。

2 系统古生物

正笔石目 Order GRAPTOLIDEA 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 笔石体呈螺旋或半旋生长。胞管为典型的奥氏笔石式,即胞管口部具有横向扩展的口片。

时代与分布 早志留世;全球范围内分布。

Oktavites longtanensis sp. nov. (图 3; 图 4; 图 5c, 5f; 图 6b)

2009 *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842); Zalasiewicz *et al.*, P. 34, Fig. 16—295.

材料 包括成体和幼体在内共计 23 个标本,均产自陕西省紫阳县龙潭剖面陡山沟组。

正模式标本 化石编号 Gr20300(图 3f, 图 4e, 图 5c)。

词源说明 Longtan(龙潭),化石采集剖面位于陕西省紫阳县高桥镇龙潭村附近。

化石层位 志留系兰多维列统特列奇阶 *Oktavites*

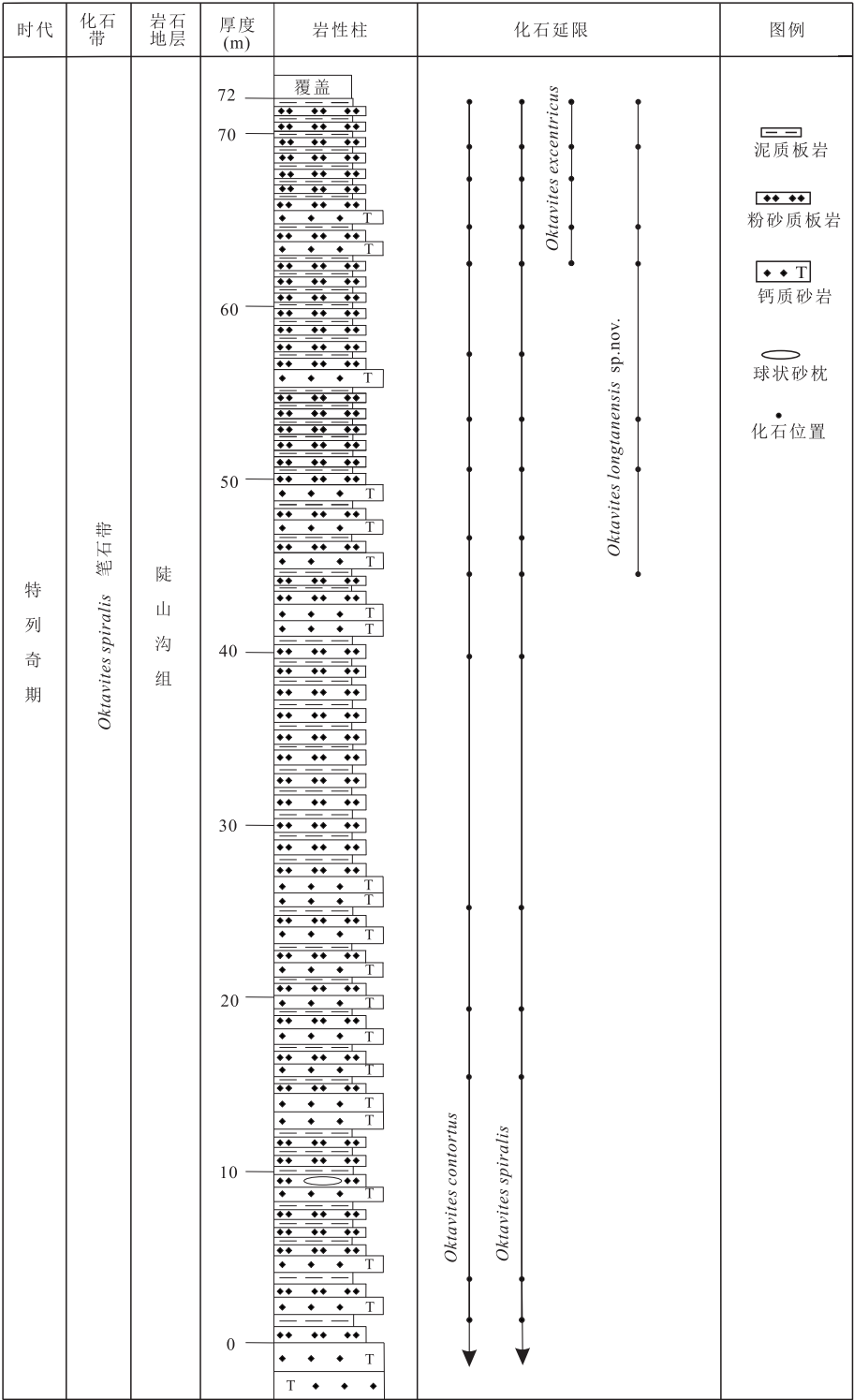


图 2 综合剖面柱状图

Fig.2 Comprehensive profile histogram of the studied sections in the Ziyang area

vites spiralis 笔石带.

化石描述 笔石枝较为纤细,整体呈盘香状螺旋生长.标本通常盘绕 3 周左右,体型较大的个体圈数可达 5 周.笔石体始部盘旋相对较紧,盘旋 1 周后部分逐渐呈相对松弛盘旋生长,测得始部盘旋形成

的圆环短轴直径为 1.6~1.9 mm.胎管呈尖锐三角形,长约 1.2 mm,口部宽约 0.18 mm,胎管顶端伸至第 2 胞管约 2/3 处.胞管为典型的奥氏笔石式,相邻胞管掩盖较少,胞管口部存在横向扩展的口片,压扁后呈“红旗”状,胞管口刺发育.测得笔石体盘旋形成

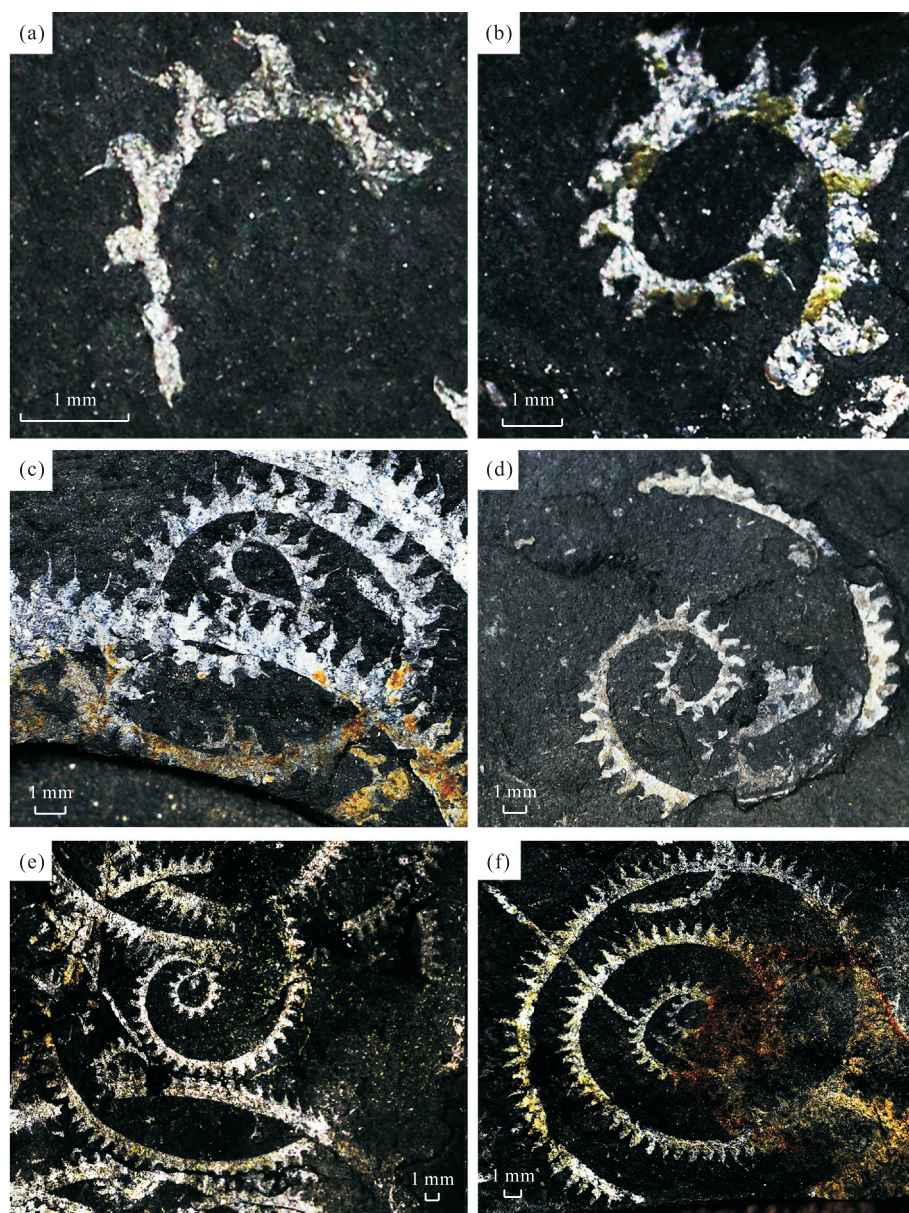


图 3 新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 的不同发育阶段

Fig.3 *Oktavites longtanensis* sp. nov. in different developmental stages

a. Gr20303, 50.50 m; b. Gr23621, 70.00 m; c. Gr21444, 50.50 m; d. Gr20304, 50.50 m; e. Gr20305, 50.50 m; f. Gr20300, 44.60 m; 标本均采自龙潭剖面 *O. spiralis* 笔石带

的第 1 周内原胞管宽度范围为 0.2~0.3 mm, 第 2 周内宽度范围为 0.3~0.6 mm, 第 3 周内宽度范围为 0.6~0.8 mm, 第 4 周内宽度范围为 0.80~1.00 mm. 2TRD 值测量(相邻两胞管口之间的距离)在第 1 周内范围为 1.0~1.4 mm, 第 2 周内范围为 1.40~1.85 mm, 第 3 周内范围为 1.80~2.2 mm, 第 4 周内测量值为 1.8~2.3 mm. 笔石枝背—腹宽度在第 1 周内宽度从 0.65 mm 增宽至 1.55 mm, 第 2 周内宽度范围为 1.55~2.40 mm, 第 3 周内宽度范围为 2.4~2.8 mm, 第 4 周内宽度范围为 2.8~3.1 mm

(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).

比较 新种 *Oktavites longtanensis* 在整体形态上与 *Oktavites spiralis* 存在一定的相似性, 均为螺旋状盘绕生长, 更为重要的是, 新种 *Oktavites longtanensis* 的笔石体最大宽度也可以达到 3~3.5 mm, 与 *Oktavites spiralis* 的化石定义一致, 因此需要更为精确的定义, 从而对二者进行限定. 相比于新种, *Oktavites spiralis* 盘旋更为紧密, 笔石枝更为粗壮, 在笔石体盘旋 3 周后, *Oktavites spiralis* 的

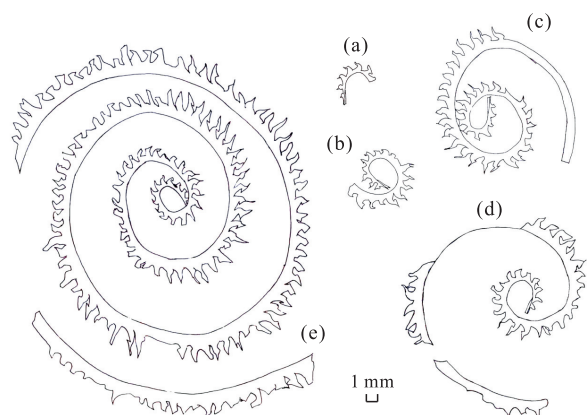


图 4 新种 *Oktavites longtanensis* sp. nov. 的不同发育阶段
Fig.4 *Oktavites longtanensis* sp. nov. in different developmental stages

a.Gr20303, 50.50 m; b.Gr23621, 70.00 m; c.Gr21444, 50.50 m; d. Gr20304, 50.50 m; e.Gr20300, 44.60 m; 以上标本均采自龙潭剖面 *O. spiralis* 笔石带

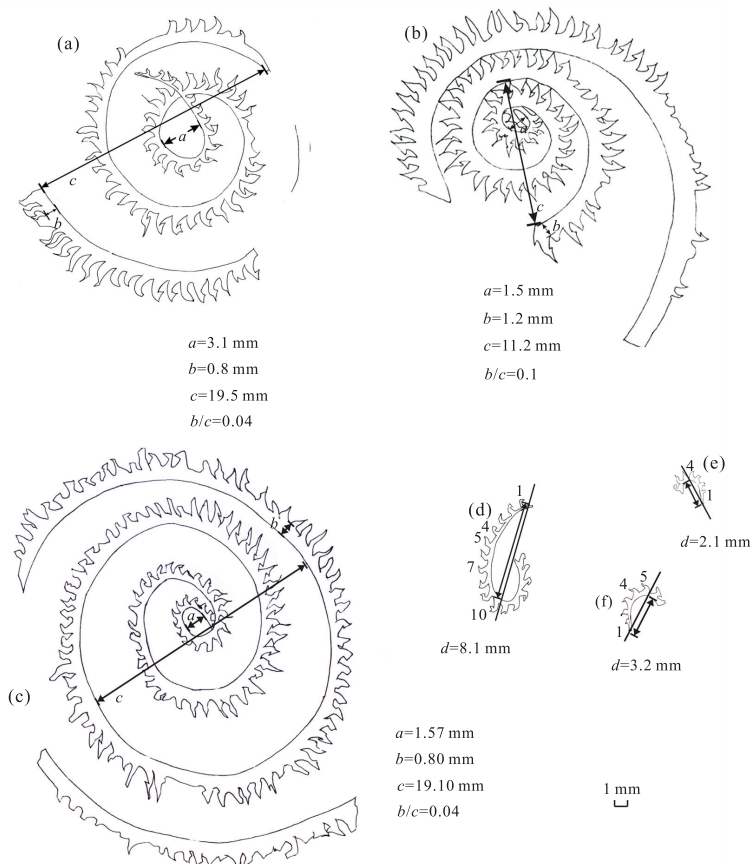


图 5 陕西紫阳—岚皋地区 *Oktavites spiralis*, *Oktavites longtanensis* sp. nov. 和 *Oktavites contortus* 之间的比较

Fig.5 Comparison among *Oktavites spiralis*, *Oktavites longtanensis* sp. nov. and *Oktavites contortus* in the Ziyang-Langao area
a.*Oktavites contortus* (Perner, 1897), 龙潭剖面, 38.10 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21454; b.*Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842), 龙潭剖面, 64.15 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21424; c.*Oktavites longtanensis* sp. nov., 龙潭剖面, 44.60 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr20300; d.*Oktavites contortus* (Perner, 1897), 桥西剖面, 2.10 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带, Gr21700; e.*Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842), 龙潭剖面, 65.00 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21420; f.*Oktavites longtanensis* sp. nov., 龙潭剖面, 50.50 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr20303

原胞管宽度可达 1.2 mm, 形成的圆环内径约为 11.2 mm; 而 *Oktavites longtanensis* 原胞管宽度仅为 0.8 mm, 形成的圆环内径约为 19.1 mm (图 5, 图 7)。在幼体阶段二者较为相似, *Oktavites longtanensis* 在第 5 个胞管处发生明显的弯折, *Oktavites spiralis* 在第 4 个胞管处就发生明显的弯折 (图 5)。

Oktavites longtanensis 在形态上与 *Oktavites contortus* 也存在相似性, 特别是笔石体整体的盘旋松紧程度以及原胞管的增宽速率均十分接近。主要区别在于 *Oktavites longtanensis* 始部盘旋相对较紧密, 形成的第 1 圈内径较小, 笔石枝在第 5 个胞管处就发生明显的弯折, 而 *Oktavites contortus* 在第 10~11 个胞管处才发生明显的弯折 (图 5, 图 7)。

Oktavites longtanensis 在与“*Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842)” (Zalasiewicz et al., 2009) 形态特征相似, 同为笔石枝相对纤细, 笔石枝始部盘旋相对

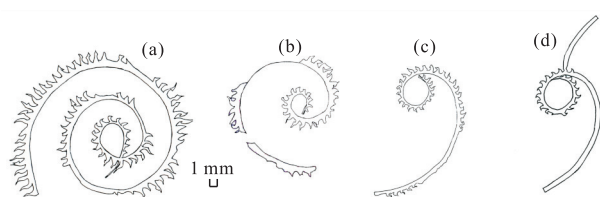


图 6 *Cyrtograptus lapworthi* 弓笔石的起源过程推测

Fig.6 Potential origin process of *Cyrtograptus lapworthi*
a.*Oktavites contortus* (Perner, 1897), 龙潭剖面, 38.10 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21259; b.*Oktavites longtanensis* sp. nov., 龙潭剖面, 50.5 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr20304; c.*Oktavites excentritus* (Bjerreskov, 1975), 龙潭剖面, 63.5 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21303; d.*Cyrtograptus lapworthi* (Tullberg, 1883), 芭蕉口剖面, 546.0 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带, Gr20166

紧密.不同之处在于, Zalasiewicz *et al.* (2009) 发表的标本保存情况相对较差, 始部不甚完整, 胞管形态也并非典型的奥氏笔石式, 胞管口部未见横向扩展的口片, 可能是埋藏因素导致, 因此笔者将“*Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842)” (Zalasiewicz *et al.*, 2009) 暂归为 *Oktavites longtanensis*.

3 讨论

3.1 新种 *Oktavites longtanensis* 的亲缘关系

Oktavites spiralis 最早报道于德国的志留纪地层中 (Geinitz, 1842), 模式标本枝形粗壮, 胞管为螺旋笔石式 (笔者根据胞管形态特征推测模式标本可能产自 *Oktavites spiralis* 笔石带下部). Přibyl (1944) 根据笔石枝宽度变化将 *Oktavites spiralis* 区分为两个种, 即 *Oktavites contortus* (Perner, 1897) 和 *Oktavites spiralis*. 通常认为, *Oktavites contortus* 与 *Oktavites spiralis* 在笔石枝盘旋模式和胞管形态上近乎一致, 区别在于 *Oktavites contortus* 出现的层位相对较低, 笔石体背—腹最大宽度小于 1.5 mm; *Oktavites spiralis* 出现的层位相对较高, 笔石体背—腹最大宽度可达 3.0~3.5 mm, 而二者可能存在演化上的关系 (Loydell, 1992; 傅力浦等, 2006). 而前人关于 *Oktavites spiralis* 演化过程的研究也多关注于笔石体背—腹宽度的变化 (Elles and Wood, 1913; 雒昆利和邓宝, 1992; 傅力浦等, 2006), 而对笔石枝盘旋模式、胞管形态变化等则关注较少.

笔者认为, 讨论 *Oktavites spiralis* 演化过程的基础, 首先是通过更为精确的定义将 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 进行更好的区分. 在紫

阳、岚皋地区, *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 在层位上存在共生关系, 更为重要的是, 随着亚胞管的演化, *Oktavites contortus* 背腹最大宽度同样增加到 3.0~3.5 mm, 符合 *Oktavites spiralis* 的定义, 因此, 宽泛的化石定义并不能满足属种鉴定的需要 (Wang *et al.*, 2017). 事实上, *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 的确为两个独立的种, 二者拥有不同的化石延限, 并在不同的层位表现出不同的相对丰度, 而根据笔石的幼体发育特征、原胞管增宽速率特征或笔石枝的生长特点都可以对二者进行区别 (王欣等, 2017).

综上所述, 仅通过背—腹最大宽度的限定并不能将 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 区分, 事实上, 笔石体最大宽度的测量还会受到化石保存状况、相对丰度变化等多方面因素的影响 (王欣等, 2017). 同理, 此次建立的新种 *Oktavites longtanensis* 笔石体最大宽度也可以达到 3.0~3.5 mm, 即原 *Oktavites spiralis* 的化石定义, 也进一步说明精确定义的必要性.

通过标本观察, *Oktavites longtanensis* 的幼体特征与 *Oktavites spiralis* 更为接近, 二者笔石枝分别第 5 和第 4 胞管处就发生明显的弯折, 而 *Oktavites contortus* 在第 10~11 胞管处才发生明显的弯折. 在笔石枝整体的盘旋模式和原胞管增宽速率上, *Oktavites longtanensis* 则更接近于 *Oktavites contortus*, 即笔石枝盘旋相对较为松弛, 原胞管增宽速率相对较慢 (图 5, 图 7), 而 *Oktavites spiralis* 则表现为较为紧密盘旋和相对粗壮的笔石枝. 基于笔石“深水起源和浅水扩散”的演化—扩散模式 (Zhang *et al.*, 2010), 笔者曾对 *Oktavites spiralis* 与 *Oktavites contortus* 的古生态进行推测, 认为二者可能生存于不同水体深度. 盘旋相对较为紧密且枝形相对粗壮的 *Oktavites spiralis* 更适合生存于海洋表面动荡的水体环境, 并最终演化成为盘旋同样紧密、枝形同样粗壮的弓笔石类群; 而 *Oktavites contortus* 纤细的笔石枝可能更适合生存在相对安静的水体环境, 并可能最终演化成笔石枝同样纤细、盘旋较为松弛的弓笔石类群 (王欣等, 2017). 因此, 笔者认为, 在 *Oktavites* 的居群分类和系统演化过程中, 笔石枝盘旋方式和枝形的粗细程度 (原胞管宽度) 在亲缘关系判别中占据更为重要的地位, 据此推测, *Oktavites longtanensis* 可能起源于枝形相对纤细的 *Oktavites contortus* 谱系.

弓笔石 (*Cyrtograptus*) 动物群的出现于笔石系

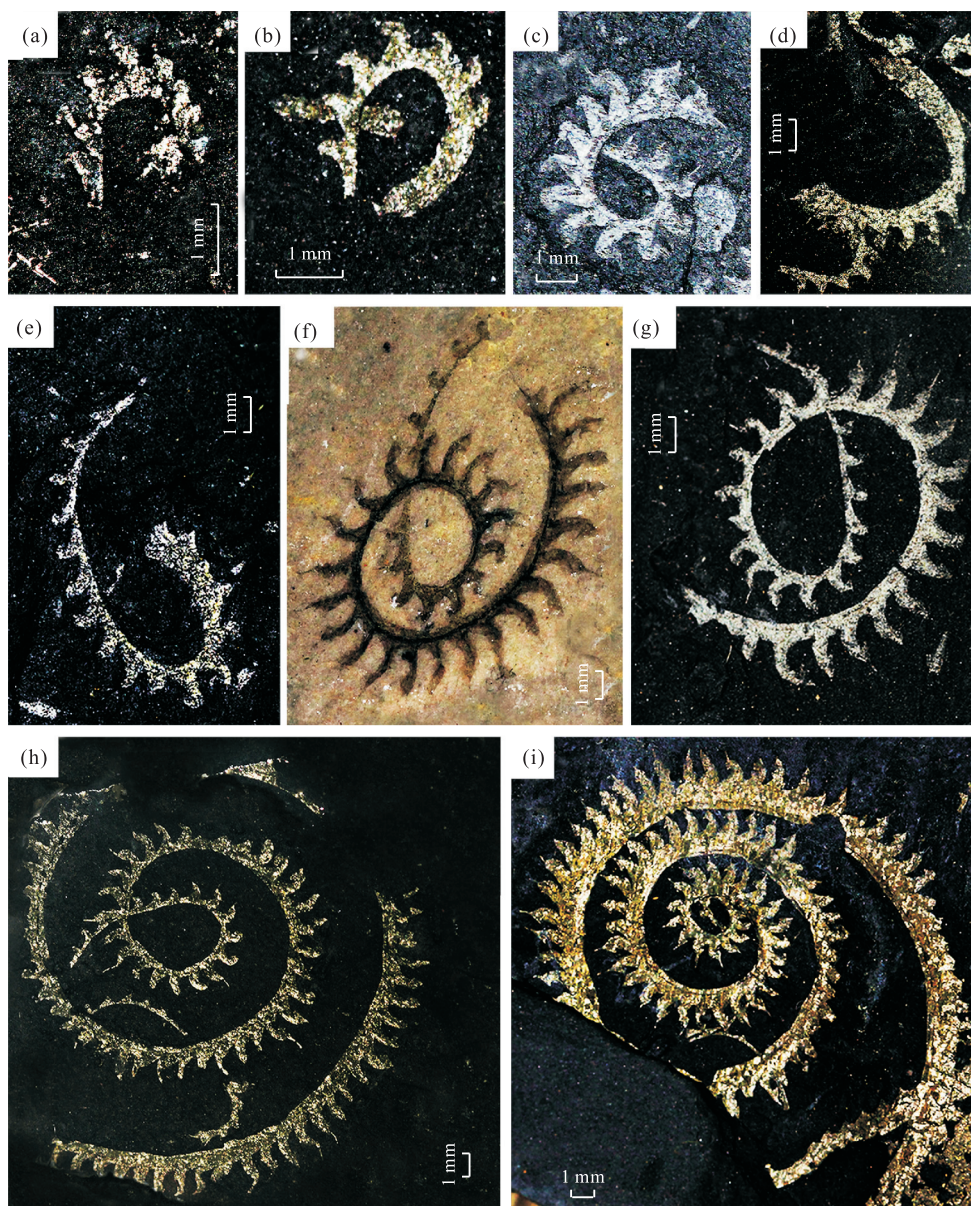


图 7 *Oktavites spiralis* 和 *Oktavites contortus* 的不同发育阶段

Fig.7 *Oktavites spiralis* and *Oktavites contortus* in different developmental stages

a~d,i.*Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842); a.龙潭剖面, 70.00 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21414; b.龙潭剖面, 42.60 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr23583; c.芭蕉口剖面, 545.10 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr20751; d.龙潭剖面, 44.00 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21278; i.龙潭剖面, 64.15 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21424; e~h.*Oktavites contortus* (Perner, 1897); e.芭蕉口剖面, 546.00 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带, Gr23404; f.桥西剖面, 2.10 m, *Cyr. lapworthi* 笔石带, Gr20405; g.龙潭剖面, 53.50 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr23630; h.龙潭剖面, 38.10 m, *O. spiralis* 笔石带, Gr21454

统演化中占据了重要的地位, 弓笔石的首现位置也被认为可以作为兰多维列统(Llandovery)和文洛克统(Wenlock)的分界(陈旭, 2010). 志留纪笔石的主要演化变量是枝形和胞管变量, 而弓笔石动物群的出现则标志着“笔石幼枝变量”在地层判别中将发挥更大的作用. 通常认为, 弓笔石(*Cyrtograptus*)动物群可能起源于奥氏笔石类群(*Oktavites*), 二者在胞管形态和盘旋方式上也极具相似性(Rickards et

al., 1977; Lenz and Melchin, 1989). 笔者在讨论 *Oktavites excentritus* (Bjerreskov, 1975) 的古生物学特征时提出(王欣等, 2018), 最早期的那些笔石体相对纤细、盘旋较为松弛的 *Cyrtograptus lapworthi* (Tullberg, 1883) 谱系弓笔石类群在形态上与 *Oktavites excentritus* 极具相似性, 可能具有亲缘演化关系, 而 *Oktavites excentritus* 则可能起源于盘旋松弛的 *Oktavites contortus* 谱系.

相比于 *Oktavites contortus*, 此次建立的新种 *Oktavites longtanensis* 在形态上与 *Oktavites excentritus* 更为接近(图 6)。*Oktavites longtanensis* 和 *Oktavites excentritus* 始部均盘旋相对紧密, 盘绕 1 周后部分相对松弛。此外, *Oktavites longtanensis* 与 *Oktavites excentritus* 笔石枝始部均在第 5 胞管处发生明显的弯折, 而 *Oktavites contortus* 则在第 11 胞管处才发生弯折。不同之处在于, 在笔石枝盘旋 1 周后, 新种 *Oktavites longtanensis* 盘旋模式几乎与 *Oktavites contortus* 完全一致(图 5), 而 *Oktavites excentritus* 枝形则完全打开, 形态几乎等同于弓笔石(图 6)。笔者推测, 那些最早出现的盘旋松弛、笔石体纤细的 *Cyrtograptus lapworthi* 谱系弓笔石类群, 很可能经历了 *Oktavites contortus*-*Oktavites longtanensis*-*Oktavites excentritus*-*Cyrtograptus lapworthi* 的这一起源演化过程(图 6)。因此, 新种 *Oktavites longtanensis* 作为奥氏笔石向弓笔石演化的重要阶段, 具有较高的系统演化意义, 也为讨论弓笔石的起源和分类提供了更多的参考。

3.2 *Oktavites longtanensis* 地层对比潜力

Oktavites spiralis 长期以来作为特列奇阶的标准带化石分子, 地层意义十分重要。然而, 关于 *Oktavites spiralis* 笔石带尚存在较大争议。主流观点认为, *Oktavites spiralis* 延限较短, 带化石 *Oktavites spiralis* 的首现可视作该化石带开始的标志(Berry and Murphy, 1975; Bjerreskov, 1975; Zalasiewicz, 1994; 陈旭和戎嘉余, 1996; Loydell and Cave, 1996; Gutiérrez-Marco and Štorch, 1998; Loydell *et al.*, 1998, 2003, 2009, 2010; Zalasiewicz *et al.*, 2009)。不同观点认为, *Oktavites spiralis* 笔石带的识别需依靠急剧增加的带化石丰度, 而该种不确定的首现位置不能视作化石带开始的标志(Příbyl, 1944; Rickards, 1970; Lenz, 1982; Melchin, 1989; Štorch, 1994)。

在紫阳、岚皋地区, *Oktavites spiralis* 的首现位置为特列奇阶 *Spirograptus turriculatus* 笔石带, 至特列奇阶 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带上部灭绝, 通过带化石激增的丰度以及胞管口部演化出口刺等特征都可以对该笔石带进行精确识别, 而该带化石也不失地层精确对比意义(Wang *et al.*, 2017)。尽管如此, 考虑到带化石 *Oktavites spiralis* 的首现位置距化石带之间相隔了 6 个笔石带, 笔者认为, 有必要在 *Oktavites spiralis* 笔石带内寻找特征伴生分子对该笔石带进行辅助识别。

遗憾的是, 龙潭剖面 72 m 之上垮塌覆盖严重, 很难对 *Oktavites longtanensis* 延限进行连续追索。根据现有的化石材料来看, *Oktavites longtanensis* 首现于 *Oktavites spiralis* 笔石带中部(图 2)。笔者根据对陕西紫阳芭蕉口剖面(BJK)和岚皋小镇桥西剖面(QX)的 *Oktavites spiralis*-*Cyrtograptus lapworthi* 笔石带的化石采集情况来看, 新种 *Oktavites longtanensis* 并未上延至 *Cyrtograptus lapworthi* 笔石带, 延限应仅限于 *Oktavites spiralis* 笔石带, 相比于带化石 *Oktavites spiralis* 拥有更短的化石延限。同时, *Oktavites longtanensis* 独特的盘旋生长模式易于识别(与带化石 *Oktavites spiralis* 较为相似), 相对较高的化石丰度也易于采集, 并具有重要的系统演化意义。综合上述特点, 笔者认为, 新种 *Oktavites longtanensis* 对 *Oktavites spiralis* 笔石带的识别和进一步划分都具有极为重要的意义, 而该化石自身也具备较强的地层划分对比的潜力, 甚至有可能取代 *Oktavites spiralis* 成为国际上判别该段地层的标准带化石分子。

4 结论

通过幼体发育特征、笔石枝盘旋方式以及原胞管增宽速率等特征的比对, 笔者识别出一个奥氏笔石新种 *Oktavites longtanensis*。该种在形态上与 *Oktavites contortus* 和 *Oktavites spiralis* 均存在相似性。同时, 该种笔石体背—腹最大宽度也可以达到 3.0~3.5 mm(原 *Oktavites spiralis* 的定义), 也进一步说明对带化石分子 *Oktavites spiralis* 及其相似类群进行精确定义的必要性。新种 *Oktavites longtanensis* 与 *Oktavites contortus* 更具亲缘关系, 并在奥氏笔石向弓笔石演化的过程中占据重要的地位。同时, 新种 *Oktavites longtanensis* 形态特征易于识别、化石丰度相对较高、化石延限相对较短、加之具有重要的演化意义, 因此极具地层划分对比潜力。

致谢: 本文标本均保存在中国地质调查局西安地质调查中心。感谢 3 位审稿老师提出的诸多宝贵意见和建议, 感谢陕西紫阳野外观测基地提供平台支持。

References

- Berry, W. B. N., Murphy, M. A., 1975. Silurian and Devonian Graptolites of Central Nevada, University of California Publications Geological Sciences, 110: 1—109.

- Bjerreskov, M., 1975. Llandoveryan and Wenlockian Graptolites Form Bornholm. *Fossils and Strata*, 8: 1–94.
- Chen, X., 2010. An Introduction to the New Classification of the British Ordovician and Silurian Graptolite Biozonation. *Journal of Stratigraphy*, 34 (2): 161–164 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Fan, J. X., Chen, Q., et al., 2014. Toward a Step-wise Kwangsian Orogeny. *Science China Earth Sciences*, 57 (3): 379–387. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4815-y>
- Chen, X., Rong, J. Y., 1996. Telychian Stage of Llandovery Series of Yangtze Region, China. Science Press, Beijing, 189 (in Chinese).
- Chen, X., Zhang, Y. D., Fan, J. X., et al., 2010. Ordovician Graptolite-Bearing Strata in Southern Jiangxi with a Special Reference to the Kwangsian Orogeny. *Science China Earth Sciences*, 53 (11): 1602–1610. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4117-6>
- Chen, X., Zhang, Y. D., Fan, J. X., et al., 2012. Onset of the Kwangsian Orogeny as Evidenced by Biofacies and Lithofacies. *Science China Earth Sciences*, 55 (10): 1592–1600. <https://doi.org/10.1007/s11430-012-4490-4>
- Deng, B., 1979. On the Occurrence of *Cyrtograptus* (Graptolite) from Ziyang, Shaanxi. *Acta Palaeontologica Sinica*, 18 (3): 308–311 (in Chinese with English abstract).
- Elles, G. L., Wood, E. M. R., 1913. A Monograph of British Graptolities; Part 9. Monograph of the Palaeontographical Society, London, 506.
- Fu, L. P., Zhang, Z. F., Geng, L. Y., 2006. Silurian High Resolution Graptolite Biostratigraphy and Biotic Recovery in Ziyang, China. Geological Publishing House, Beijing, 151 (in Chinese).
- Fu, L. P., Zhang, Z. F., Xie, C. R., 2004. Cyrtograptid Zones near the Lower Boundary of the Silurian Wenlock Series in Ziyang, Shaanxi. *Geological Bulletin of China*, 23 (8): 795–798 (in Chinese with English abstract).
- Fu, L. P., Zhang, Z. F., Xie, C. R., 2005. The Telychian Zonal Graptolites from Ziyang, China. *Acta Geoscientica Sinica*, 26 (1): 45–52 (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 (1): 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., 1875. 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 (3): 341–348.
- Li, R. S., 1990. On the Diachronism of the Devonian Lithostratigraphic Units in the Ziyang-Langao Area, Shaanxi Province. *Geology of Shaanxi*, 8 (2): 59–64 (in Chinese with English abstract).
- Loydell, D. K., 1992. Upper Aeronian and Lower Telychian Graptolites from Western Mid-Wales. The Palaeontographical Society, London, 180.
- Loydell, D. K., 1993. Worldwide Correlation of Telychian (Upper Llandovery) Strata Using Graptolites. *Geological Society*, 70: 323–340. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1993.070.01.21>
- 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 (1): 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 (6): 769–783.
- Loydell, D. K., Männik, P., Nestor, V., 2003. Integrated Biostratigraphy of the Lower Silurian of the Aizpute-41 Core, Latvia. *Geological Magazine*, 140 (2): 205–229. <https://doi.org/10.1017/S0016756802007264>
- Loydell, D. K., Nestor, V., Männik, P., 2010. Integrated Biostratigraphy of the Lower Silurian of the Kolka-54 Core, Latvia. *Geological Magazine*, 147 (1): 1–28. <https://doi.org/10.1017/S0016756809990574>
- Loydell, D. K., Sarniento, G. N., Štorch, P., et al., 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 (2): 187–198. <https://doi.org/10.1017/S0016756808005840>
- Lu, Y. B., Ma, Y. Q., Wang, Y. X., et al., 2017. The Sedimentary Response to the Major Geological Events and Lithofacies Characteristics of Wufeng Formation-

- Longmaxi Formation in the Upper Yangtze Area. *Earth Science*, 42(7): 1169–1184 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.095>
- Luo, K. L., Deng, B., 1992. Evolution and Classification of Silurian *Oktavites spiralis* from South Shaanxi with Special Reference to Its Stratigraphical Sequence. *Journal of Xi'an University of Science & Technology*, 12(2): 145–149 (in Chinese).
- Ma, R. H., 1998. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (61): Stratigraphy (Lithostratic) of Shaanxi Province, China University of Geosciences Press, Wuhan, 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.
- Meng, Q. R., 1991. Study on Silurian Turbidite System in Bajiaokou Area, Shaanxi. *Acta Sedimentologica Sinica*, 9(1): 35–43 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.1991.01.005>
- Mu, E. Z., 1955. On *Spirograptus* Gürich. *Acta Palaeontologica Sinica*, 3(1): 1–10.
- Příbyl, A., 1944. The Middle-European Monograptids of the Genus *Spirograptus* Gürich. *Rozprawy II. Třída České Akademie věd*, 19: 1–46.
- Rickards, R. B., 1970. The Llandovery (Silurian) Graptolites of the Howgill Fells, Northern England. The Palaeontographical Society, London, 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): 1–120.
- Rong, J. Y., 2005. A Reappraisal of the Silurian GSSPs. *Journal of Stratigraphy*, 29(2): 160–164 (in Chinese).
- Rong, J. Y., Chen, X., Su, Y. Z., et al., 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.
- Tang, P., Wang, J., Wang, C. Y., et al., 2015. Microfossils across the Llandovery-Wenlock Boundary in Ziyang-Langao Region, Shaanxi, NW China. *Palaeoworld*, 24(1): 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2015.03.001>
- Wang, J., Štorch, P., Wang, X., et al., 2015. A New Graptolite Species of *Cyrtograptus* from the Uppermost Llandovery of Ziyang, Shaanxi Province, China. *Palaeoworld*, 24(1): 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2015.01.002>
- Wang, X., Wang, J., Zhang, J., 2017. The Astogenies of Silurian Graptolite *Oktavites spiralis* Based on Specimens from the Northwestern Margin of the Yangtze Platform, South China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 56(1): 54–67 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X., Wang, J., Zhang, J., 2017. First Appearance Datum of the Silurian Graptolite *Oktavites spiralis*, and Its Evolution on the Northern Margin of South China. *Alcheringa*, 41(1): 30–45. <https://doi.org/10.1080/03115518.2016.1177290>
- Wang, X., Wang, J., Zhang, J., et al., 2018. Palaeontology and Biostratigraphic Significance of Silurian Graptolite *Oktavites excentricus*. *Acta Palaeontologica Sinica*, 57(1): 40–51 (in Chinese with English abstract).
- Zalasiewicz, J. A., 1994. Middle to Late Telychian (Silurian; Llandovery) Graptolite Assemblages of Central Wales. *Palaeontology*, 37(2): 375–396.
- Zalasiewicz, J. A., Taylor, L. S., Rushton, A. W. A., et al., 2009. Graptolites in British Stratigraphy. *Geological Magazine*, 146(6): 785–850. <https://doi.org/10.1017/S0016756809990434>
- Zhang, Y. D., Chen, X., Dan, G., et al., 2010. Diversity and Paleobiogeographic Distribution Patterns of Early and Middle Ordovician Graptolites in Distinct. *Science China Earth Sciences*, 53(12): 1811–1827. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4088-7>
- Zhao, J., 1987. The Discovery and Preliminary Study of the Turbidite Deposit in the Silurian Beds from Bajiaokou Shaanxi. *Geology of Shaanxi*, 5(2): 13–21 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈旭, 2010. 英国奥陶纪和志留纪笔石带的最新划分方案. 地层学杂志, 34(2): 161–164.
- 陈旭, 戎嘉余, 1996. 中国扬子区兰多维列统特列奇阶及其与英国的对比. 北京: 中国科学出版社, 189.
- 邓宝, 1979. 陕南紫阳弓笔石的出现. 古生物学报, 18(3): 308–311.
- 傅力浦, 张子福, 耿良玉, 2006. 中国紫阳志留系高分辨率笔石生物地层与生物复苏. 北京: 地质出版社, 151.
- 傅力浦, 张子福, 谢从瑞, 2004. 陕西紫阳志留系文洛克统底部附近弓笔石带的划分. 地质通报, 23(8): 795–798.
- 傅力浦, 张子福, 谢从瑞, 2005. 中国紫阳特列奇阶的分带笔石及其层位分布. 地球学报, 26(1): 45–52.
- 李荣社, 1990. 陕西紫阳—岚皋地区志留纪岩石地层单位穿

- 时性讨论.陕西地质,8(2):59—64.
- 陆扬博,马义权,王雨轩,等,2017.上扬子地区五峰组—龙马溪组主要地质事件及岩相沉积响应.地球科学,42(7):1169—1184.
- 雒昆利,邓宝,1992.陕南志留纪 *Oktavites spiralis* 的演化分类及地层意义.西安矿业学院学报,12(2):145—149.
- 马润华,1998.全国地层多重划分对比研究(61):陕西省岩石地层.武汉:中国地质大学出版社,291.
- 孟庆任,1991.陕西紫阳芭蕉口志留纪浊积岩系研究.沉积学报,9(1):35—43.
- 戎嘉余,2005.再论志留纪年代地层的统、阶层型研究.地层学杂志,29(2):160—164.
- 王欣,王健,张举,2017.扬子台地西北缘志留纪笔石 *Oktavites spiralis* (Geinitz, 1842) 发育过程研究.古生物学报,56(1):54—67.
- 王欣,王健,张举,等,2018.志留纪笔石 *Oktavites excentricus* (Bjerreskov, 1975) 的古生物学特征及地层意义.古生物学报,57(1):40—51.
- 赵健,1987.陕西芭蕉口志留系浊流沉积的发现及其初步研究.陕西地质,5(2):13—21.

* * * * *

《地球科学》

2019 年 1 月 第 44 卷 第 1 期 要目预告

- 华北克拉通南缘早白垩世区域大规模岩浆—热液成矿系统 赵新福等
- 华北克拉通怀安杂岩中早前寒武纪两期变质表壳岩的重新厘定:岩石学及锆石 U-Pb 年代学证据
..... 张家辉等
- 内蒙古狼山地区石炭纪—三叠纪岩浆作用及其构造意义 田 健等
- 怀安杂岩中含 BIF 岩石组合的形成时代及产出构造背景 田 辉等
- 内蒙古狼山北部早古生代岩浆岩年代学、地球化学特征及构造意义 张 云等
- 东秦岭加里东期沉积—构造演化过程 江小均等
- 内蒙古宝音图—霍各乞地区宝音图岩群的时代约束及构造属性 腾 飞等
- 内蒙哈珠地区石炭纪白山组火山岩:北山北部晚古生代活动陆缘岩浆作用的产物..... 任云伟等
- 内蒙古狼山地区中三叠世早期 C 型埃达克岩的发现及其构造意义 王文龙等