

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.04.015

陕西紫阳志留系温洛克统莫企森弓笔石 (*Cyrtograptus purchisoni*) 及地层意义

王健^{1,2}, 王欣¹, 李银华³

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 自然资源部中志留统底界层型剖面-陕西紫阳野外科学观测基地, 陕西 西安 710054; 3. 陕西自然博物馆, 陕西 西安 710061)

摘要:在紫阳芭蕉口-A 剖面上发现了多个完整的莫企森弓笔石(*Cyrtograptus purchisoni*)。笔者对其始部、主枝、一级幼枝、二级幼枝、胞管等特征进行了描述和数据统计,并与国内外相似的弓笔石类群进行了详细得对比。该种弓笔石是志留系重要的带化石,同时它的首现是国际温洛克统底界的标志;该种化石的特点是笔石主枝粗壮,幼枝发育,常见二级胞管幼枝,始部有旋圈,胞管形态鸟喙状,口刺较短。对该种化石的深入研究为中国和国际温洛克统底界的对比和弓笔石演化研究提供了重要依据。

关键词: *Cyrtograptus purchisoni*; 中志留统; 温洛克统; 陕西紫阳地区

中图分类号: [P52] **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-6248(2022)04-0175-08

New Material of Wenlock Graptolite *Cyrtograptus purchisoni* from Ziyang County, Shaanxi Province, China and Its Stratigraphic Significance

WANG Jian^{1,2}, WANG Xin¹, LI Yinhu³

(1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Field Observation Site on Strata type Section for the Bottom of Wenlock in Ziyang, Shaanxi, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Nature Museum, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Several well-preserved, complete specimens of *Cyrtograptus purchisoni* Caruthers, 1867 are discovered in the Bajiaokou-A section in Ziyang County, southern Shaanxi Province. In this paper, we describe these specimens, especially the characteristics of the proximal end, main stipe, the primary cladium, secondary cladium and theca, by a comparison with those specimens from elsewhere in the world. The species is characterized by its thick main stipe and cladia. The secondary cladia are common, with spiral circles in the proximal end, bird beak-shaped theca with short apertural spines. The first occurrence of the index species indicate precisely the base boundary of the Wenlock Series of Silurian in China.

Keywords: *Cyrtograptus purchisoni*; Middle Silurian; Wenlock series; Ziyang area, Shaanxi

收稿日期:2022-01-20;修回日期:2022-05-23;网络发表日期:2022-11-15;责任编辑:姜寒冰

基金项目:中国地质调查局项目“陕西安康地区地质遗迹调查(DD20190078)”,“西北地区自然资源动态监测与风险评估(DD20211393)”,中国科学院南京地质与古生物研究所国家重点实验室开放基金“扬子板块北缘志留系温洛克统底界生物地层学研究(213121)”联合资助。

作者简介:王健(1976-),男,博士,正高级工程师,主要从事笔石演化研究及地质遗迹调查。E-mail:wangjian_7610@163.com。

对地层学研究的过程中,建立各个地质时期全球标准层型剖面 and 点位(GSSP,俗称“金钉子”)是国际地层委员会的重要工作内容,也是全球地层与古生物学专家追求的主要目标之一。位于陕西紫阳芭蕉口的志留系多个典型剖面,经过几代古生物学者持续的工作,已经取得较多研究成果(邓宝,1979;傅力浦等,1980,1983,1984;葛梅钰等,1984,1994;穆恩之等,2002)。近年来,在任河东岸剖面采集到大量的弓笔石(*Cyrtograptus*)化石标本,这些都成为研究志留系温洛克统底界层型剖面重要化石依据。其中,*Cyrtograptus centrifugus* 和 *C. murchisoni* 化石是温洛克统底界上、下的关键带化石。

相对其他笔石属种而言,弓笔石体型较大,因此很难获得完整的化石标本。例如,*C. murchisoni* 化石完整的标本一般在 30~40 cm,不容易获得完整标本。笔者经过多年在陕西紫阳地区开展志留纪化

石采集及研究工作,终于采集到了最为完整的 *C. murchisoni* 化石标本(图1、图2)。笔者通过对该化石进行详细的特征描述和对比研究,深入讨论其地层意义,为今后该种化石的鉴定提供参考,也为温洛克统底界的层型研究提供支撑。

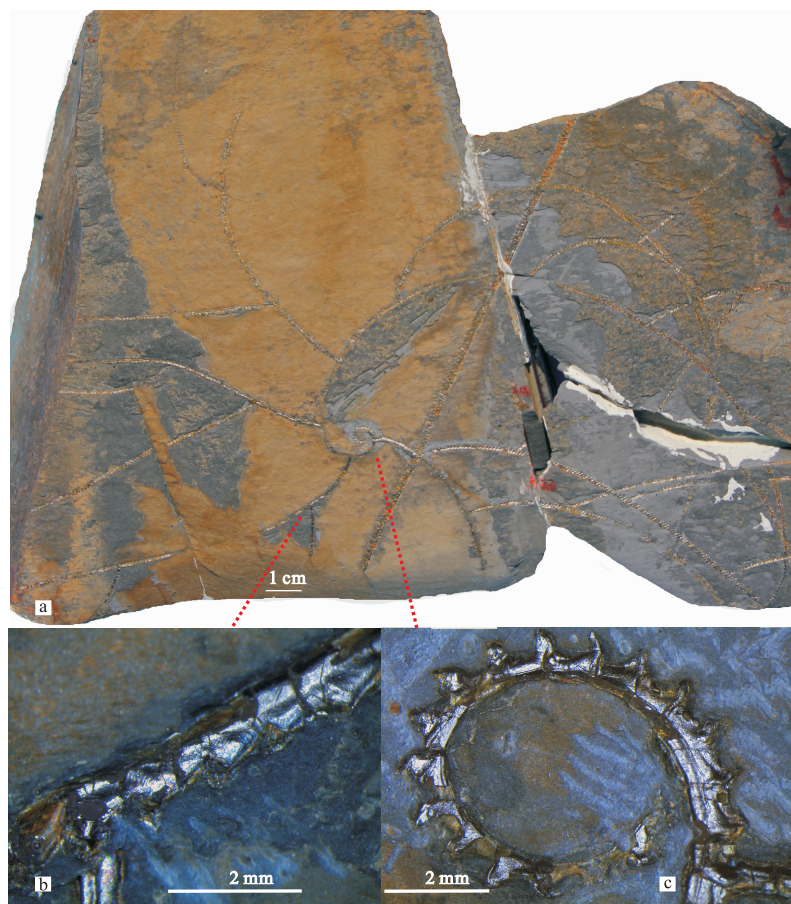
莫企森弓笔石 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, 1867(图1-2)

non 1833 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, Tullberg, p. 35, pl. 4, figs. 9-11. (= *Cyrtograptus insectus* Bouček)

1867 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, p. 540, fig. 1.

1914 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Elles and Wood, p. 505, pl. 51, figs. 3a-b.

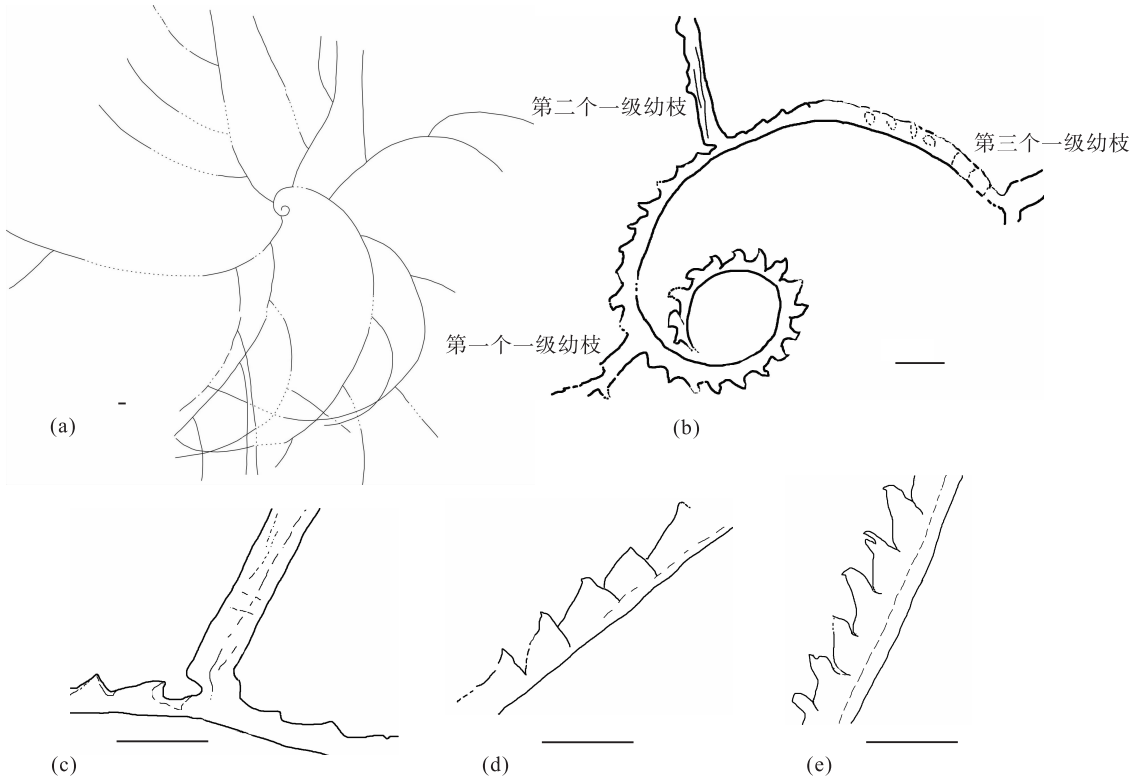
1933 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, Bouček, p. 30, pl. 2, figs. 1-3, text-figs. 5e-f.



(a). Gr23025 整个笔石体;(b). 二级胞管幼枝附近胞管形态;(c). 笔石体始部胞管形态

图1 莫企森弓笔石的笔石体和胞管形态特征图

Fig. 1 *Cyrtograptus. murchisoni* from Ziyang County, Shaanxi Province



(a). Gr23025 整个笔石体(虚线为推测链接部分,同时略去其上可能的幼枝);(b). 笔石始端形态;(c). 幼枝发育处胞管形态;
(d~e). 末端胞管形态;(比例尺:2 mm)

图2 莫企森弓笔石素描图

Fig. 2 Sketch of *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers

non 1940 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Laursen, pl. 29, pl. 4, fig. 1. (= *Cyrtograptus bohemicus* Bouček)

1945 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Waterlot, p. 93, pl. 47, fig. 461.

1952 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Munch, p. 134, pl. 47, fig. 1a.

1968 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Schouer, p. 37, pl. 1, fig. 4, pl. 5, fig. 3.

1969 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Strachan, p. 202, pl. 5, figs. 8-9.

1976 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Tsegelynuik, p. 242, pl. 2, fig. 7, text-fig. 7.

1980 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Fu, p. 107, fig. 1.

1982 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; 地质矿产部西安地质矿产研究所, 346 页, 图版 3, 图 3.

1985 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; 傅力浦, 325 页, 图版 1, 图 4, 插图 3.

1986 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; 傅力浦和宋礼生, 143 页, 图版 23, 图 3.

1986 *Cyrtograptus insectus* Bouček; 傅力浦和宋礼生, 138 页, 插图 18.

1994 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, Ge Meiyu, p. 103, pl. 1, figs. A, C, D, E, pl. 2, fig. D, pl. 3, fig. E.

1994 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Loydell and Cave, p. 438, Fig. 1B, 2.

2002 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers, 穆恩之, 李积金, 葛梅钰等, p. 936, pl. 254, fig. 1.

2004 *Cyrtograptus murchisoni* Carruthers; Williams and Zaiasiewicz, P. 247, Text-figure 9A-N.

1 材料和研究方法

该化石标本采自陕西紫阳芭蕉口剖面, 岩性为粉砂质板岩。化石保存相对完整, 为半立体状态, 有黄铁矿化现象, 标本幼枝完整, 胞管清晰, 仅部分缺失, 是理

想的研究标本。登记号:Gr23025, Gr20006, Gr200061。

通过对化石进行整体光学拍照和局部微观照相,展示标本的自然特点和局部特征。利用描绘仪进行主要特征素描,以准确反映该种类化石特征。详细统计幼枝间胞管数目和二级幼枝的变化,通过这些方法进一步说明笔石体的主枝、幼枝、胞管和主枝旋展特点,利于鉴定,便于对比。

2 描述

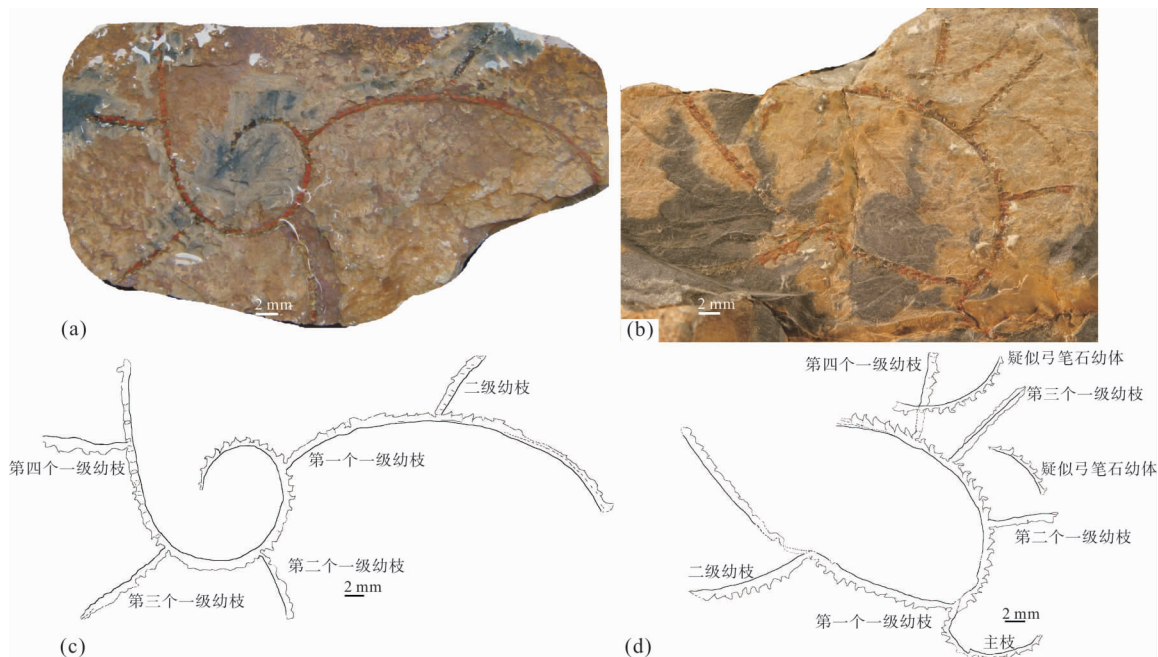
Cyrtograptus purchisoni Carruthers 的正模标本产于英国威尔士中部的 BUILT Wells 地区的 *C. purchisoni* 带,该种发表时的图(Carruthers in Murchison 1867, Fig. 1)是理想化的,不太准确,所以 Strachan(1969)找到标本后将该标本及其反对面编号为 GSM 10717-10718,并后来由 Williams 和 Zalasiewicz(2004)绘制了准确详细的素描图。

笔石体(标本 Gr23025)大而粗壮,由一个典型的螺旋形主枝和 8 个以上一级胞管幼枝及二级、三级胞管幼枝组成。主枝长 300 mm 以上,始部主枝宽 0.72 mm,旋转大致 1.5 圈,第一圈内径为 4.3 mm;在距始端 10 个胞管前达到最大宽度 1.1 mm,远端

最大宽度可达 1.2 mm;2TRD(相隔胞管距离)在 1.8~2.1 mm。主枝按对数螺旋线伸展,迅即松旋,中末部呈弓形,末部近直。第一个胞管幼枝约在第 19 胞管后生出,第一幼枝与第二幼枝间有 8 个胞管,第二幼枝与第三幼枝之间有 13 个胞管,第三与第四幼枝间约 13 个胞管。第一至第四一级幼枝与主枝接近垂直,然后向外略呈弓形伸展。第五幼枝之后与主枝明显呈锐角伸出。第一幼枝上有 2 个二级幼枝,第一个二级幼枝在第 15 个胞管生出,相邻二级幼枝间相隔约 27 个胞管;二级幼枝上有三级幼枝,第一个三级幼枝发生于第 27 个胞管处。同一个一级幼枝上的二级幼枝伸展方向大致相同。胎管未见(推测始部立体保存,平面上难以观测到)。大部分胞管保存较差,但笔石体始部和末端有部分胞管保存完整;始部的胞管大致呈三角形,口部有弯钩,胞管刺短而且少;远端的胞管大致呈圆锤状或者管状(图 3)。

3 讨论

此种成年体以具有一级和二级胞管幼枝最为特征,但其幼年体因胞管幼枝发育不多等原因,易被误认为 *Cyrtograptus insectus* Bouček。例如, Bouček



(a). Gr200061 整个笔石体; (b). Gr20006 主枝发生反转的笔石体; (c). Gr200061 笔石素描图; (d). Gr20006 笔石素描图

图 3 莫企森弓笔石照片及素描图

Fig. 3 *Cyrtograptus purchisoni* Carruthers and sketches

(1933, pl. 6, fig. 1) 和 Lenz and Melchin (1990, Figs. 3b-c)发表的来自捷克和加拿大的、定为 *Cyrtograptus insectus* Bouček 的这些标本都应归入 *C. purchisoni* Carruthers。

陕西紫阳所产标本为一个成年笔石体,始部旋转不够紧密,第一圈内径大小与该种模式标本(GSM10717,英国威尔士)内径相当,小于捷克标本(L30159)的内径(表1)。标本具有较多的一级幼枝和二级幼枝,甚至还有三级乃至四级幼枝(幼枝极为发育),这些多级幼枝特点都与模式标本相同。从保存较为完整的始部胞管可以看出,始部胞管呈特征的三角状且口部呈弯曲钩状,与该种模式标本相同;但与捷克标本略有差别,这可能与紫阳标本处于半

立体保存有关,而捷克的是平面标本(Bouček, 1933)。笔石体从始端到末端 2TRD 变化不大,不同地区的标本也大致相同(表2)。胞管刺不发育,从保存较好的胞管隐约可见特别短小的胞管刺,从紫阳、捷克和该种的模式标本都可以看出,该种成体标本胞管刺不发育,但个别幼体胞管刺保存比较明显。主枝上第一个幼枝发出都在第20个胞管以内(始部大致旋转一周后发出),捷克标本第一幼枝发出相对较早。第一幼枝与第二幼枝间隔胞管数均小于8个,在模式标本上更少一些,仅为4个;第二幼枝与第三幼枝间隔13个胞管,模式标本与捷克标本均在8以内。三地标本从多个不同的鉴定因素进行了比对(表2),结果显示较为相似。

表1 莫企森弓笔石的测量统计表

Tab. 1 Measurement of *Cyrtograptus purchisoni* Carruthers

标本编号	幼枝数量(个)	第一旋圈直径(mm)	远端相隔胞管距与宽度(mm)	第一、二幼枝间胞管数(个)	第一胞管幼枝发育位置	第二胞管幼枝发育位置	第三胞管幼枝发育位置	第四胞管幼枝发育位置
Gr23025	8	4.3	2. 1/1. 2	8	+19th	+27	+40	+53
Gr200061	4	8.1	2. 2/1. 1	8	+11th	+19	+27?	+35?
Gr20006	4	?	2. 2/1. 0	9	+12th	+21	+28	+32
GSM10717	4?	3. 5?	2. 1/1. 1	5	+12th	+17	+26	+33?
L30159	6	6. 20	2. 1/1. 0	8	+13th	+21	+28	+35

注:GSM10717 是 *Cyrtograptus purchisoni* Carruthers 模式标本(Williams & Zalsiewicz, 2004),保存在伦敦。L30159 存于捷克共和国自然博物馆。Gr23025 为当前紫阳最完整的标本;Gr200061 和 Gr20006 均为紫阳剖面标本,前者胞管保存不够清晰,后者主枝始部发生了翻转。

表2 世界上不同区域莫企森弓笔石标本多因素比较表

Tab. 2 Multiple parameters comparison of *Cyrtograptus purchisoni* from different regions of the world

	GSM10717 (英国)	L30159 (捷克)	Gr23025 (陕西紫阳)
胞管形态	带短刺的 三角状	带短刺的 三角状	带短刺的 三角状
始部旋转程度	450°	450°	450°
一级胞管数量	4	6	8
主枝宽度	1.1 mm	1.0 mm	1.1 mm
第一胞管幼枝发育位置	第12胞管后 +12th	第13胞管后 +13th	第19胞管后 +19th
第一、二胞管幼枝间胞管数	5	8	8
主枝伸展方向	第3胞管幼枝后变直	第4胞管幼枝后变直	第3胞管幼枝后变直
二级胞管幼枝数量	+4	+5	+13
胎管形态	缺失	缺失	未知
胞管口刺	少而短小	少而短小	少而短小

该标本与 *C. insectus* Bouček 较为相似,但 *C. insectus* 模式标本(Bouček, 1933)仅有一个一级幼枝,在主枝始部第26个胞管生出,捷克典型的 *C. insectus* 具有3个一级幼枝,而且相邻间隔为15个胞管,这些都远远大于本文描述紫阳 *C. purchisoni* 标本。紫阳 *C. purchisoni* 标本第一幼枝上发育多个二级幼枝间隔较小,明显区别于 *C. insectus*。

该标本与 *C. centrifugus* Bouček 的区别是前者始部明显旋转不够紧密,表现在第一圈内径比较大;同时具有较多的一级幼枝和二级幼枝,而 *C. centrifugus* 一级幼枝较少,而且几乎没有看到二级幼枝。

4 *C. purchisoni* 地层意义

笔石 *C. purchisoni* 最有可能代替 *C. centrifugus* 成为国际温洛克统底界的定义化石。

全球志留系温洛克统(Wenlock Series)命名于英格兰西部威尔士边界地区,被国际地层委员会批准分成下部的申伍德阶(Sheinwoodian)和上部侯默阶(Homerian)。国际标准层型剖面上几丁类的研究表明,位于英国威尔逊的“金钉子”剖面的贝德沃斯组底界(与温洛克统底界一致)相当于*C. centrifugus*带上部或*C. murchisoni*带下部(Mullins & Loydell, 2004)。

爱沙尼亚和拉脱维亚的相关地层所含斑脱岩中的透长石分析对比研究表明,温洛克统底界大致在*C. murchisoni*带内的上部位置(Männik et al., 2002)。穆恩之等(2002)将*C. insectus*带作为中志留统(温洛克统)最下部的笔石带,这与英国早期文献分带相同。Williams(2004)将*C. centrifugus*带作为温洛克统最下部的笔石带,但是由于*C. centrifugus*化石在欧洲只有部分区域发现,而在世界其他地区(包括北美和中国)很少发现,加上世界上有关几丁石、斑脱岩的最新研究成果,世界上多数专家更加倾向将*C. murchisoni*化石首现作为志留系温洛克统的底界。英国笔石专家Loydell(2011)总结全球志留系笔石分带时提出,将*C. centrifugus*带作为兰多维列统最上笔石带,而将*C. murchisoni*带作为温洛克统最下的笔石带。也就是说*C. murchisoni*化石的首现层位代表温洛克统底界,该界线对应中国传统的志留统底界。笔者建议以此观点在陕南地区开展温洛克统底界全球界线层型剖面 and 点位(GSSP, 俗称“金钉子”)的再研究工作。

陕西紫阳志留系笔石相地层发育广泛,研究历史较长,研究程度较高,有望成为温洛克统底界的全球界线层型的候选剖面。

1986年,傅力浦和宋礼生发表了《陕西紫阳地区(过渡带)志留纪地层及古生物》总结报告,受到了国际地层委员会的高度重视。戎嘉余(1985, 2000, 2005)对中国志留系也进行了系统的总结,提出了紫阳芭蕉口一带建立该界线层型剖面的可能性。2000年10月,全国地层委员会在紫阳主持召开了现场讨论会,建立了安康阶和紫阳阶,分别相当于国际上的特列奇阶(兰多维列统上部)和申伍德阶(温洛克统下部)。傅力浦和张子福等(2004, 2006)通过对紫阳地区连续的工作,建立了晚奥陶世—志留纪温洛克世30个笔石带9个亚带,其中温洛克统6个笔石带,包括申伍德阶4个带,自下而上:*Cyrtograptus*

*centrifugus*带、*Cyrtograptus murchisoni*带、*Monograptus belophorus*带、*Cyrtograptus falcatulus*带;侯默阶2个带自下而上:*Cyrtograptus lundgreni*带、*Colonograptus ludensis*带。

笔者自2008年来一直专注紫阳志留系温洛克统底界层型的相关研究,原来的紫阳芭蕉口任河左、右岸志留系剖面虽然被安康水库蓄水所淹,但后来在任河对岸较高的位置发现了一条新剖面,命名为紫阳芭蕉口A剖面(Tang et al., 2015)。在该芭蕉口A剖面上发现了大量的弓笔石化石,其中包括本文研究的*C. murchisoni*。这些为该剖面开展国际温洛克统界线层型剖面研究提供了重要的化石依据。

Loydell(2011)对全球志留纪笔石带进行了对比和统计,提议*C. murchisoni*笔石带作为温洛克统(对应中国传统中志留统)底界的重要标志(表3),在全球可以进行大范围的对比。该种笔石在波罗的海(Štorch, 1994)、英国(Zalasiewicz, 1999)、加拿大(Lenz, 1990)和中国均有发现。在研究紫阳芭蕉口-A剖面时,笔者发现,中志留统底界界线应该位于五峡河组内部,而不是陡山沟组和五峡河组界线(Wang et al., 2015; Tang et al., 2015)。后期采集的化石和研究结果也说明这一点,这也符合在建标准层型剖面的过程中,界线必须位于连续的剖面岩层中,而不是沉积事件所指示界线。按照文献资料和剖面研究结果,画出紫阳志留系与国际志留系笔石分带的对比表,*C. murchisoni*带作为中志留统底界笔石带(表3)。

在紫阳—岚皋一带,偶尔看到志留系以灰岩为主的岩石组合——白垩崖组,它属于高滩—兵房街小区,多见于岚皋民主镇一带,位于陡山沟组的上部(Chen et al., 2021),在区域上展布很小,呈透镜状展布,时间上相当于紫阳—平利小区中的大贵坪组和梅子亚组内某一段,未曾发现*C. murchisoni*化石。陡山沟组顶界在区域上侧向延伸具有明显的穿时现象(李荣社, 1990),在实践中与五峡河组是整合接触,在化石研究上也证明了这种关系,化石带比较齐全,没有缺失。

在岚皋民主镇桥西剖面和桥东剖面虽然没有发现弓笔石*C. murchisoni*,但是发现了几丁石*Angochitina longicollis*(Tang et al., 2015)。同时,在剖面下部发现了大量的弓笔石*C. sakmaricus*,上部发现了*C. murchisoni*带之上的*Monograptus riccartonensis*

表 3 莫企森弓笔带在志留系笔石带的位置表
Tab. 3 *Cyrtograptus munchisoni* in graptolite zone of Silurian

系/纪 System /Period	统/世 Series /Epoch	阶/时 Stage /Age	笔石带 Graptolite zones Loydell,2011	中国阶 Chinese stage	紫阳 (岩石地层) Ziyang (Lithostrat Units)	绝对年龄 numerical age(Ma) 参考2020年 国际地层表
志留系 Silurian	S ₄ 普里道利 Pridoli		<i>Istrograptus transgrediens</i> <i>Monograptus bouceki</i> <i>Neocolonograptus parulimus</i>	?	?	419.2±3.2
			<i>Pristiograptus fragmentalis</i> <i>Bohemograptus tenuis</i> <i>Saetograptus linearis</i>			423.0±2.3
	S ₃ 罗德洛 Ludlow	卢德福德 Ludfordian	<i>Lo bograptus scanicus</i> <i>Neodiversograptus nilsoni</i>			
		戈斯特 Gostdian	<i>Colonograptus ludensis</i> <i>C. deubeli + C. praedeubeli</i> <i>Gothograptus nassa</i> <i>Cyrtograptus lundgreni</i>			427.4±0.5
	S ₂ 温洛克 Wenlock	侯默 Homerian	<i>Cyrtograptus perneri</i> <i>Cyrtograptus rigidus</i> <i>Pristiograptus dubius</i> <i>Monograptus riccartonensis</i> <i>Cyrtograptus munchisoni</i>	安康阶	五峡河组	430.5±0.7
		申伍德 Sheiwoodian				433.4±0.8
	S ₁ 兰多维列 Llandovery	特列奇 Telychian	<i>Cyrtograptus centrifugus</i> <i>Cyrtograptus insectus</i> <i>Cyrtograptus sakmaricus</i> <i>Cyrtograptus lapworthi</i> <i>Oktavites spiralis</i> <i>Monoclimacis crenulata</i> <i>Monoclimacis griestoniensis</i> <i>Streptograptus sartorius</i> <i>Streptograptus crispus</i> <i>Spirograptus crispus</i> <i>Spirograptus turriculatus</i> <i>Spirograptus guerichi</i>	紫阳阶	陡山沟组	438.5±1.1
				南塔梁亚阶 马蹄湾亚阶		
		埃隆 Aeronian	<i>Stimulograptus sedgwickii</i> <i>Litograptus convolutus</i> <i>Pribylograptus leptotheca</i> <i>Coronograptus gregarius</i> <i>Demirastrites triangulatus</i>	大中坝阶		440.8±1.2
		鲁丹 Rhuddanian	<i>Coronograptus cyphus</i> <i>Cystograptus vesiculosus</i> <i>Parakidograptus vesiculosus</i> <i>Akidograptus ascensus</i>	龙马溪阶	斑鸠关组	443.8±1.5

和 *C. lundgreni* 带化石,证明中志留统(Wenlock)底界可能位于剖面内。虽然暂时没有发现 *C. munchisoni*,根据野外考察推测,在紫阳-岚皋有些剖面由于原始层理被改变或者破坏,导致笔石这种膜状标本很难保存,像弓笔石这样普遍笔石体较大的化石更难完整保存,往往造成“缺失”表象。而在紫阳-岚皋浅变质区,几丁石和牙形石研究能够有效地弥补这个“缺失”。

总之,*C. munchisoni*(莫企森弓笔石)被重新确立成为温洛克统底界的定义化石非常必要和重要。在紫阳芭蕉口-A剖面上发现完整的该种化石,有利于提高该剖面生物地层研究水平,促进国际温洛克统底界层型剖面的研究。

5 结论

陕西紫阳芭蕉口-A剖面上的 *C. munchisoni*(莫企森弓笔石),笔石体大,主枝粗壮,幼枝发育,尤其二级胞管幼枝发育;胞管为三角形鸟喙状,口刺较短。该化石可以与波罗的海、英国、加拿大等区域所产标本对比,为温洛克统底界研究提供了可靠的带

化石,为建立中国温洛克统底界层型剖面提供了关键化石支撑,具有重要的地层意义。

致谢:感谢中国地质调查局西安地质调查中心傅力浦研究员提供部分资料和指导,感谢张举工程师在化石采集过程中的帮助,也感谢评审专家给与宝贵的意见和建议。

参考文献(References):

邓宝. 陕南紫阳弓笔石的出现[J]. 古生物学报, 1979, 18(3): 308-310.
DENG Bao. On the Occurrence of *Cyrtograptus*(Graptolite) from Ziyang, Shaanxi[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1979, 18(3): 308-310.
傅力浦, 张子福. 陕西文洛克统底界生物地层学新研究[J]. 地质评论, 2004, 50(5): 449-453.
FU Lipu, ZHANG Zifu. A new study on biostratigraphy of the lower boundary of Wenlock in Shaanxi Province[J]. Geological Review, 2004, 50(5): 449-453.
傅力浦. 秦岭地区早和中志留世的笔石分带[J]. 地质评论, 1980, 26(2): 106-111.
FU Lipu. Graptolite zoning of early and Middle Silurian in Qinling area [J]. Geological Review, 1980, 26(2):

- 106-111.
- 傅力浦. 陕西紫阳芭蕉口志留纪地层[J]. 西安地质矿产研究所刊, 1983, 6: 1-8.
- FU Lipu. Silurian strata in Bajiakou, Ziyang, Shaanxi[J]. Journal of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, 1983, 6: 1-8.
- 傅力浦. 陕西紫阳温洛克早期和兰多维列最晚期的弓笔石[J]. 古生物学报, 1985, 24(3): 322-331.
- FU Lipu. *Cyrtograptus* from the early Wenlock and the latest Llandovery in Ziyang, Shaanxi[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1985, 24(3): 322-331.
- 傅力浦, 宋礼生. 陕西紫阳志留纪地层及古生物[J]. 西安地质矿产研究所刊, 1986, 14: 1-198.
- FU Lipu, SONG Lisheng. Silurian strata and Paleontology in Ziyang, Shaanxi Province[J]. Journal of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, 1986, 14: 1-198.
- 傅力浦, 张子福, 谢从瑞. 陕西紫阳志留系文洛克统底界附近弓笔石带的划分[J]. 地质通报, 2004, 23(8): 795-798.
- FU Lipu, ZHANG Zifu, XIE Congrun. Division of graptolite belt near the bottom boundary of Silurian Wenlock Series in Ziyang, Shaanxi Province[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(8): 795-798.
- 傅力浦, 张子福, 耿良玉. 中国紫阳志留系高分辨率笔石生物地层与生物复苏[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- FU Lipu, ZHANG Zifu, GENG Liangyu. Silurian High Resolution Graptolite Biostratigraphy and Biotic Recovery in Ziyang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 葛梅钰, 李崇楼. 陕西紫阳瓦房店志留纪地层[J]. 南京地质古生物研究所丛刊, 1984, 6: 145-168.
- GE Meiyu, LI Conglou. Silurian strata in Wafangdian, Ziyang, Shaanxi Province[J]. Nanjing Institute of Geology and Paleontology Series, 1984, 6: 145-168.
- 李荣社. 陕西紫阳-岚皋地区志留纪岩石地层单位穿时性讨论[J]. 陕西地质, 1990, 8(2): 59-64.
- LI Rongshe. On the Diachronism of the Silurian Lithostratigraphic units in the Ziyang-Langao Area, Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 1990, 8(2): 59-64.
- 雒昆利. 五峡河组、白崖垭组和安坪梁组的再认识[J]. 地层学杂志, 1992, 16(4): 316-319.
- LUO Kunli. Recognition of Wuxiahe formation, Baiyaya formation and Anpingliang formation[J]. Journal of Stratigraphy, 1992, 16(4): 316-319.
- 穆恩之, 李积金, 葛梅钰, 等. 中国笔石[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- MU Enzhi, LI Jijin, GE Meiyu, et al. Fossil Graptolites of China[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- 戎嘉余. 论我国志留系的建阶问题[J]. 地层学杂志, 1985, 9(2): 96-107
- RONG Jiayu. On the establishment of Silurian rank in China[J]. Journal of Stratigraphy, 1985, 9(2): 96-107.
- 戎嘉余, 陈旭. 中国志留纪年代地层学述评[J]. 地层学杂志, 2000, 24(1): 27-35.
- RONG Jiayu, CHEN Xu. A review of Silurian Chronostratigraphy in China[J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(1): 27-35.
- 戎嘉余. 再论志留纪年代地层的统、阶层型研究[J]. 地层学杂志, 2005, 29(2): 160-164.
- RONG Jiayu. On the study of series and stages type of Silurian Chronostratigraphy[J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(2): 160-164.
- Bouček B. Monographie der obersilurischen Graptoliten aus der Familie Cyrtograptidae [M]. Práce Geologicko-Paleontologického Ústavu Karlovy University v Praze, 1933.
- Carruthers W. On Graptolites[D]. 538-541. In MURCHISON, R. I. Siluria. Fourth edition, London. 1867: 566pp.
- Chen Xu, Rong Jiayu. A proposal of the candidate section of the base of the Silurian[R]. Silurian Times, 2002.
- Chen Zhongyang, Peep Männik, Tang Peng, et al. Age of the Silurian Wuxiahe Formation in Langao, Northwest China: New conodont data[J]. Palaeoworld, 2021, 30: 649-658.
- Lenz A. C., McCracken A. D. Wenlock (Silurian) graptolites biostratigraphy of the Cape Phillips Can. J. Formation, Canadian Arctic Islands[J]. Earth Sciences, 1990, 27: 1-13.
- Loydell D. K. Graptolite biozone correlation charts[J]. Geol. Mag., 2011, 1-9. doi:10.1017/S0016756811000513
- Loydell, D. K. Early Telychian changes in graptolite diversity and sea level[J]. Geological Journal, 1994, 29: 355-368.
- Männik P. Evolution and taxonomy of the Silurian conodont *Pterospodus* [J]. Palaeontology, 1998, 41 (5): 1001-1050.
- Mark Williams, Jan Zalasiewicz. The Wenlock *Cyrtograptus* species of the Builth Wells District, Central Wales[J]. Palaeontology, 2004, Vol. 47, Part 2: 223-263.
- Petr Štorch. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery and Wenlock) of Bohemia[J]. Geological Journal, 1994, 29: 137-165.
- Tang Peng, Wang Jian, Wang Chengyuan, et al. Microfossils across the Llandovery-Wenlock boundary in Ziyang-Langao region, Shaanxi, NW China[J]. Palaeoworld, 2015, 24: 221-230.
- Wang Jian, Wang Xin, Petr Štorch, et al. The Important Llandovery-Wenlock Boundary section, Ziyang county, Shaanxi province, China[D]. 5th International Symposium on the Silurian System and 5th Annual Meeting of the IGCP 591-The Lower to Middle Paleozoic Revolution. 2015: 62-63.
- Zalasiewicz J & Williams M. Graptolite biozonation of the Wenlock Series (Silurian) of the Builth Wells district, central Wales[J]. Geological Magazine, 1999, 136(3): 263-283.