

贵州中部埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组的颤藻化石^{*}

刘 晖 聂晓芹 董 琳

(北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

提要 在我国贵州省麻江县埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期的留茶坡组硅质岩中, 发现了丰富的丝状蓝藻化石。通过观察岩石薄片共鉴定出蓝藻门颤藻科的 6 个种, 包括 *Calyptothrix perfecta*, *Calyptothrix major*, *Megathrix longus*, *Obruchevella* sp., *Palaeolynghya barghoorniana*, 以及 *Palaeolynghya* sp.。此外, 还发现一种未定名的丝状微体化石, 经观察与对比, 认为该丝状化石形态接近于现代鞘丝藻 *Lynghya*, 由于其胶鞘具有独特的规则环纹, 可能为鞘丝藻属的一个新种, 在本组硅质岩中为首次发现。该发现丰富了留茶坡组的微体生物化石资料, 为埃迪卡拉纪—早寒武世的生物演化提供新的化石材料。

关键词 颤藻 硅质岩 留茶坡组 羊跳 贵州

埃迪卡拉纪—寒武纪(前寒武纪—寒武纪)界线是地球历史上的一个重大的转折阶段。继雪球事件结束以后, 出现了大规模的海洋氧化事件和最大的碳同位素负漂移等一系列环境演化事件, 导致全球性的气候环境剧变, 海洋生物地球化学循环经历了一次显著的扰动(朱茂炎, 2010; 戎嘉余、黄冰, 2014; Narbonne, 2005)。与此同时, 该时期也是后生动物起源和早期演化的重要阶段, 完成了由微体生物为主的元古代生物圈向以后生动物为代表的显生宙生物圈的转变(朱茂炎, 2010; 唐烽等, 2015; Hua *et al.*, 2005; Shu, 2008)。在我国华南地区, 埃迪卡拉纪—寒武纪地层可以划分为两个沉积相区。在湖北、四川、重庆、陕南、云南、黔北等地区, 沉积了一套以灯影组为代表的浅水台地相碳酸盐岩地层; 而在其东南方的湖南、桂北、黔东南、黔南, 以及皖南浙西等地区则以留茶坡组及其相对应的(比如老堡组和皮园村组等)层状硅质岩沉积为代表。现有的观点认为, 留茶坡组硅质岩是穿时的, 即埃迪卡拉系—寒武系界线位于留茶坡组内部(杨艳飞等, 2009; Zhou *et al.*, 2013)。在国际地层划分中, 以遗迹化石 *Trep-tichnus pedum* 的首次出现作为埃迪卡拉系—寒武系的界线(Narbonne and Myrow, 1988; Droser *et al.*, 2002; Gradstein *et al.*, 2004)。而在我国南方的浅

水台地相地区则通常以小壳化石的出现作为寒武纪—前寒武纪界线划分的标志(Jensen *et al.*, 2005, 2006; Chen *et al.*, 2013)。然而, 由于遗迹化石和小壳化石很难在斜坡相和盆地相地层中发现, 这两种划分方案均很难有效地应用到留茶坡组硅质岩地层的划分中。通过对早寒武世岩家河组和玉尔吐斯组地层中硅质结核的研究, 发现可以使用 *Asteridium-Comasphaeridium-Heliosphaeridium* 疑源类化石组合和与之同时代的 *Megathrix longa* 作为寒武纪最早阶段的典型化石(尹磊明, 1995; Yao *et al.*, 2005; Dong *et al.*, 2009)。

在本项研究中, 我们对贵州省麻江县羊跳剖面留茶坡组硅质岩的微体古生物学进行了系统研究。在羊跳剖面, 留茶坡组主要由夹页岩的薄层硅质岩组成。前人已在羊跳剖面的留茶坡组硅质岩中零星发现了疑源类化石(谢小敏等, 2015)、小壳动物化石、海绵骨针化石(杨兴莲、赵元龙, 2000), 以及解释为水母的薄片状微体化石(Yin *et al.*, 2016); 同时在留茶坡组之上的牛蹄塘组黑色页岩中, 发现有大量的宏观藻类化石(杨瑞东等, 1999, 2004)。但对羊跳剖面留茶坡组硅质岩中的微体藻类化石并未展开系统研究。本次研究从留茶坡组硅质岩中, 鉴定出蓝藻门颤藻科的 4 个属 6 个种, 分别是: *Calypto-*

收稿日期: 2017-02-15

^{*} 国家自然科学基金项目(批准号: 41402025)和中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室课题基金项目(编号: 133103)联合资助。

thrix 属的 *Calypthothrix perfecta*, *Calypthothrix major*; *Megathrix longus*; *Obruchevella* 属的 1 个未定种; *Palaeolynghya* 属的 *Palaeolynghya barghoorniana* 和 1 个未定种。此外,还有一类未定名的丝状化石,其形态类似于现代鞘丝藻 *Lynghya*,是首次在留茶坡组硅质岩中发现。本次研究丰富了留茶坡组硅质岩的生物化石种类,为寒武纪最早期生物演化的研究提供了新材料,在埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期的生物多样性认识及全球对比上具有重要意义。

1 地质背景

本文报道的材料来自贵州省麻江县羊跳剖面(插图 1)的留茶坡组硅质岩(插图 2)。研究区域在埃迪卡拉纪晚期到寒武纪早期,位于扬子海与江南海边缘海的过渡地带(李胜荣、高振敏,1995),属于斜坡相,较深水硅质岩相沉积(张位华等,2003)。羊跳剖面的留茶坡组约 3.1 m 厚,为黑色薄层硅质岩与页岩互层,与下伏地层埃迪卡拉系陡山沱组的薄层灰色微晶白云岩(约 76 m 厚, Yin *et al.*, 2016)假整合接触,与上覆的牛蹄塘组炭质泥岩(约 28.8 m 厚)为整合接触(谢晓敏等,2015)。在牛蹄塘组下部

炭质泥岩中,产出有大量的宏体生物化石,包括宏观藻类化石、长管状化石 *Platysolenites*、双壳动物化石、类 Ediacaran 化石、高肌虫化石、海绵生物化石、海绵骨针化石,以及蠕虫状化石组合等,其中以海绵动物化石为主要分子(杨瑞东等,1999,2004;杨兴莲、赵元龙,2000;庞艳春等,2016),位于小壳动物群和澄江生物群之间(赵元龙等,1999)。本次研究从距留茶坡组底界之上 1 m 处开始采样,谢小敏等(2015)在该剖面距底 44 cm 处观察到了疑源类化石 *Heliosphaeridium* 的首次出现(插图 2 箭头),可大致以此作为埃迪卡拉系与寒武系的界线。

2 颤藻简介

颤藻属于蓝藻门藻殖段纲颤藻目,为原核生物的多细胞集合体,是蓝藻门最庞大的一类分支。现代颤藻在形态上表现为:藻体为单列、无分枝的丝状,较直、或呈规则螺旋形缠绕,由等大的扁柱状或柱状细胞规律排列组成,顶端细胞为钝圆或半球形,无异形胞,细胞直径一般为 8—60 μm (插图 3A)(Schopf,2012)。某些藻体外部包裹有胶质鞘(胞外聚合物 EPS)(插图 3B),胶鞘主要由多糖组成,可防止内部细胞变得干燥,并使藻体可以附着于基质上

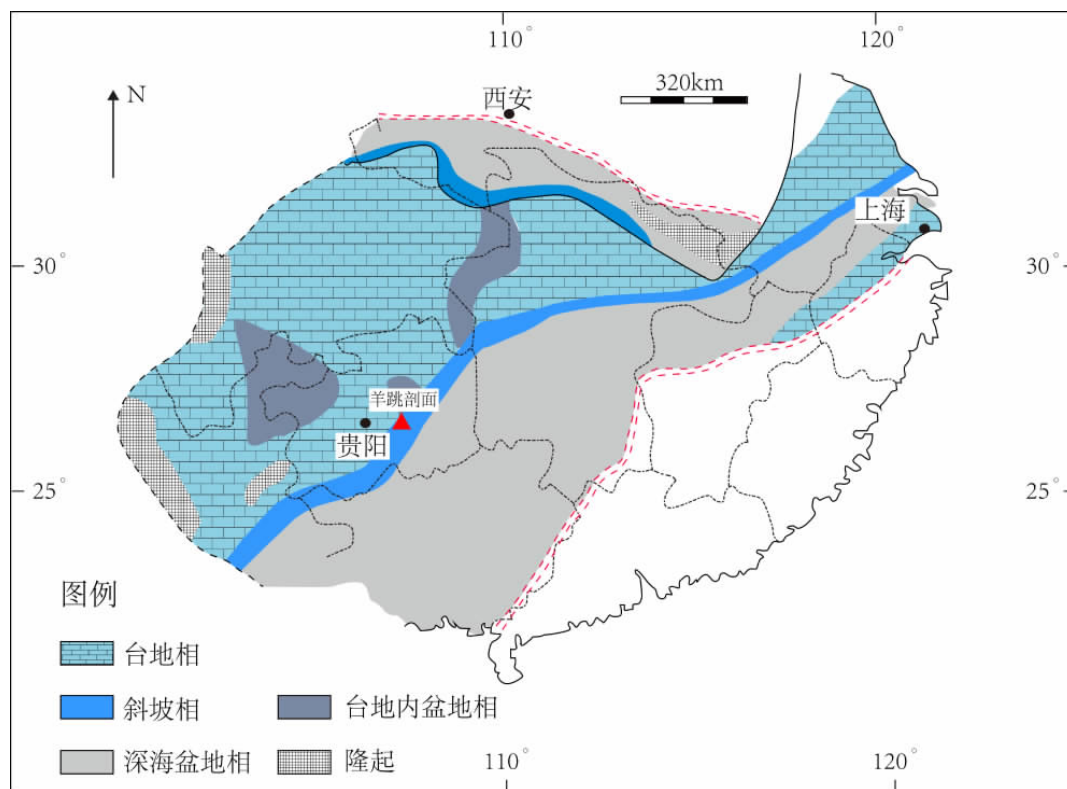


插图 1 华南埃迪卡拉纪—早寒武世岩相古地理图(据冯增昭,2002)

Map of lithofacies palaeogeography of the Ediacaran-early Cambrian in South China(after Feng,2002)

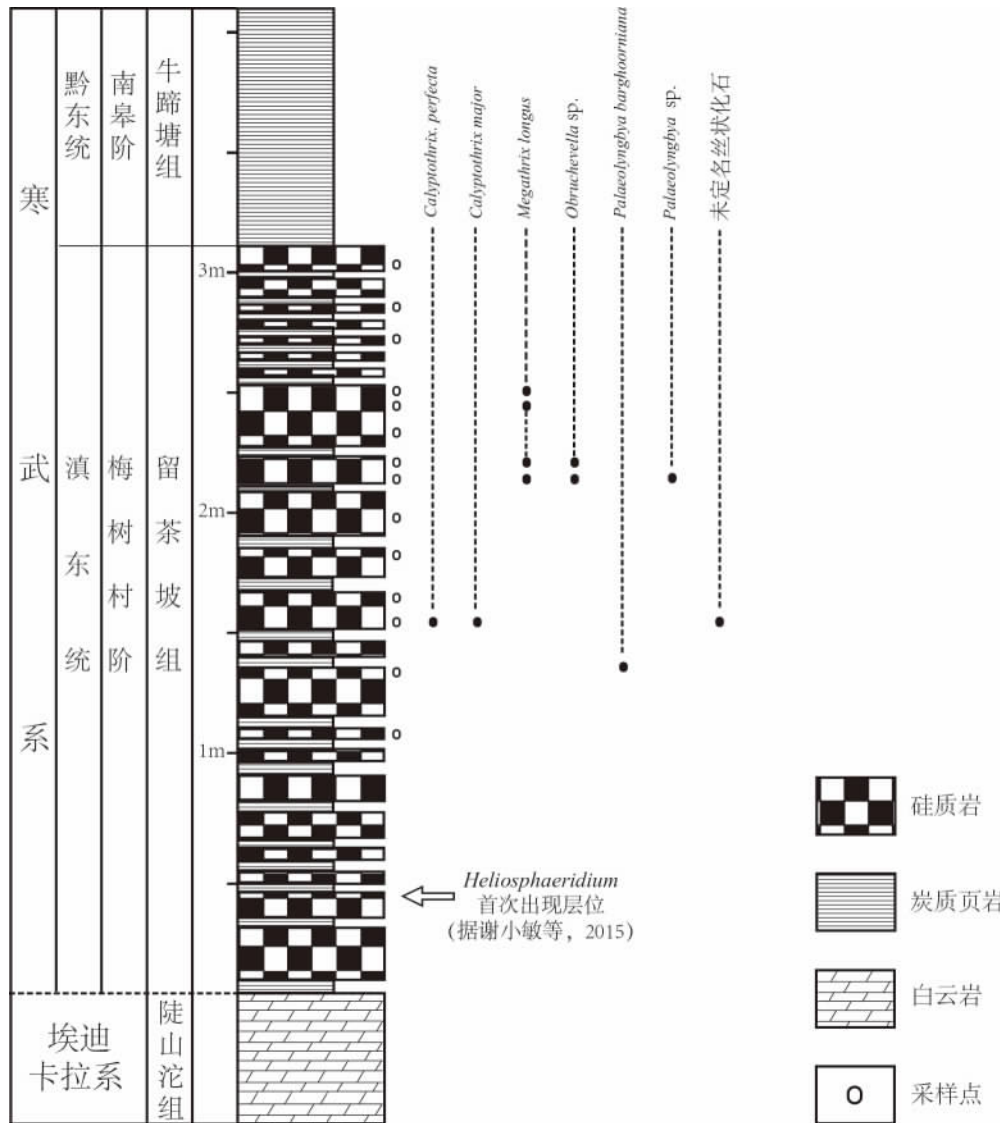


插图 2 贵州麻江羊跳剖面埃迪卡拉系—寒武系下部留茶坡组柱状图

The columnar section of the Ediacaran-lower Cambrian Liuchapo Formation at Yangtiao, Majiang, Guizhou Province

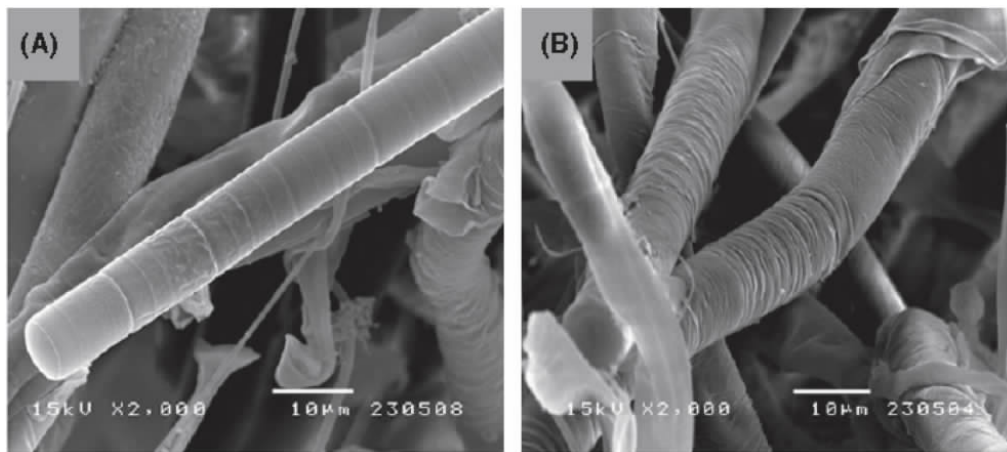


插图 3 现代颤藻(鞘丝藻属)扫描电镜下结构(据 Rajesh and Incharoensakdi, 2013)

Scanning electron microscopic structure of Oscillatoriaceae (*Lyngbya*) filament(after Rajesh and Incharoensakdi, 2013)

A. 组成藻体的盘状细胞; B. 外胶鞘。

A. The disk-shaped cells; B. the fairly firm sheath.

(Kathrin *et al.*, 2011)。胶鞘中的伪枝藻素具有吸收紫外线辐射的保护作用(Garcia-Pichel and Castenholz, 2004), 这可能是它们可以生活在早期地球的极端环境中的一个重要原因。

颤藻类的胶鞘主要组成成分为碳水化合物, 具有较高的抗降解能力(Flugel, 1984)。而同样坚固且富含有机质的细胞壁却不易被保存下来; 细胞壁富含肽聚糖, 一个完整细胞个体的细胞壁相比于分裂期产生的隔膜更厚, 更易保存。而细胞内的生化和结构成分(如核糖体, 蛋白质, DNA 链, RNA 等)则非常难以在化石中保存下来(Schopf, 2012)。此外, 具鞘的颤藻具有能滑出鞘外而形成藻殖段的能力, 可以推测, 胶鞘较细胞结构在沉积物里有更高的几率保存为化石(Flugel, 1984)。因此, 带鞘颤藻的化石中大多保存下来的是外胶鞘部分, 而内部的细胞往往不容易保存, 或者遭到不同程度的降解和破坏。

3 化石描述

在羊跳剖面的留茶坡组硅质岩中, 共发现颤藻的4个属6个种, 以及一种未定名的丝状化石。

原核生物界 Kingdom Eubacteria Woese and Fox, 1977

蓝藻门 Phylum Cyanobacteria Stanier *et al.*, 1978

藻殖段纲 Class Hormogoneae Thuret, 1875

颤藻目 Order Oscillatoriales Elenkin, 1949

颤藻科 Family Oscillatoriaceae (S. F. Gray) Kirchner, 1900

具冒丝藻属 Genus *Calypothrix* Schopf, 1968

模式种 *Calypothrix annulata* Schopf, 1968

属征 无分支的单层空鞘, 鞘表面有环形脊状突起。

分布和时代 澳大利亚中部, 俄罗斯西伯利亚、乌拉尔南部, 中国湖北、贵州; 新元古代。

完美具冒丝藻 *Calypothrix perfecta* Veis, 1984

(插图 4a)

1984 *Calypothrix perfecta* Veis, p. 105-106.

材料 2 枚标本, 保存较完整。

描述 单列、丝状的空鞘, 鞘表面具有密集环形脊状突起, 丝体有弯曲, 鞘厚约 $0.5\ \mu\text{m}$ 。鞘宽(直径) $7.0\text{—}7.5\ \mu\text{m}$, 表面环形突起间距 $0.5\text{—}1.0\ \mu\text{m}$

不等。

比较 *Calypothrix* 属为 Schopf(1968)建立, 认为是属征为单列, 具有突出环形脊的藻体。然而, Sergeev 等(2012)发现, 一种命名为 *C. annulata* 的标本实为空鞘, 环形脊存在于鞘体表面, 并非如先前所解释的藻体, 认为环形脊可能是细胞在鞘体留下的印痕, 因此, 将该属特征修订为: 具有蓝藻型空胶鞘, 且鞘表面有环形脊, 并以此与光滑空鞘型的 *Siphonophycus* 属区别开。在进行种的划分时依据鞘体直径与环脊特征(Sergeev *et al.*, 2012), 目前包括 *C. alternata*, *C. annulata*, *C. geminata*, *C. perfecta*, *C. obsoletus*, *C. major* 等多个种, 主要见于澳大利亚中部, 俄罗斯西伯利亚、乌拉尔南部以及中国湖北的新元古代地层中(曹芳, 1985; Schopf, 1968; Veis, 1984; Mikhailova, 1986; Yankauskas, 1980)。根据羊跳剖面留茶坡组中发现的化石外形特征将其划分为 *Calypothrix* 属, 根据直径范围在 $7.0\text{—}7.5\ \mu\text{m}$ 之间, 认为其可以与俄罗斯西伯利亚地区(Veis, 1984)发现的 *C. perfecta* 对比, 故定为 *C. perfecta*。

产地与层位 贵州麻江羊跳村, 埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

较大具冒丝藻 *Calypothrix major* Cao, 1985

(插图 4b-c)

1985 *Calypothrix major* Cao, p. 186, pl. II, fig. 1.

材料 2 枚标本, 保存较完整。

描述 单列、丝状空鞘, 鞘表面具有密集环形脊状突起, 丝体有弯曲, 表面有细颗粒, 鞘厚约 $0.5\ \mu\text{m}$ 。鞘宽(直径) $8.0\text{—}11.4\ \mu\text{m}$, 环脊间距在 $0.5\text{—}1.1\ \mu\text{m}$ 不等。

比较 根据本次标本的形态特征, 将其划分为 *Calypothrix* 属, 直径与曹芳(1985)在湖北宜昌陡山沱组发现的 *Calypothrix major* 相近, 区别在于前者表面环形脊间距在 $0.5\text{—}1.1\ \mu\text{m}$ 之间, 而后者平均约 $3.75\ \mu\text{m}$, 依据二者相似的直径, 将该标本归入 *Calypothrix major*。

产地与层位 贵州麻江羊跳村, 埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

超斯瑞克斯管属 Genus *Megathrix* Yin, 1987, emend Shang *et al.*, 2016

模式种 *Megathrix longus* Yin, 1987, emend Shang *et al.*, 2016

属征(修订) 丝体单列,横切面为圆形,直径 35—85 μm ,长度可达几百微米,两末端封闭,为圆弧形。丝体体壁与横隔板均为单层。具有完整和不完整两种类型的横隔板。横隔板形态平整,间距稳定,不完整的横隔板规则地插层分布,长度不一。两完整隔板间距在 10—22 μm 之间,且与插层的不完整隔板长度呈正相关。由于不完整横隔板的存在,在横截面上可以观察到“中央圆形穿孔”,“穿孔”的大小与不完整横隔板长度相关。

分布和时代 中国三峡、塔里木地区;早寒武世。

长超斯瑞克斯管 *Megathrix longus* Yin, 1987, emend Shang *et al.*, 2016

(插图 4d—f)

- 1986 unnamed filamentous fossils, Yin, p. 269, pl. 2, figs. 2, 8, 10.
 1987 *Megathrix longus* Yin, p. 476, pl. 16, figs. 1-7; pl. 17, figs. 2-5, 7-8, 10.
 1987 *Megathrix* sp. A, Yin, p. 477, pl. 17, figs. 1, 6; pl. 19, fig. 4.
 1987 *Megathrix* sp. B, Yin, p. 477, pl. 18, figs. 1-2, 4-6; pl. 20, figs. 2-3, 7.
 1987 *Megathrix* sp. C, Yin, p. 478, pl. 20, figs. 1, 4-6, 8.
 1987 *Megathrix* sp. D, Yin, p. 478, pl. 19, figs. 1-3, 5-8.
 1987 *Megathrix* sp., Yin, p. 478, pl. 18, fig. 3.
 1992 *Megathrix longus* Yin, Yin *et al.*, p. 380, pl. 2, fig. 9.
 1997 *Megathrix longus* Yin, Yin, p. 222, fig. 11.
 2003 *Megathrix longus* Yin, Yin *et al.*, pl. 3, figs. 12-13.
 2005 *Megathrix longus* Yin, Yao *et al.*, p. 697-700, pl. 2, figs. 3-8.
 2009 *Megathrix longus* Yin, Dong *et al.*, p. 40, fig. 8.
 2016 *Megathrix longus* Yin, Shang *et al.*, p. 15-22, figs. 2, 4-6, figs. 3A-L.

材料 20 枚标本,多数保存不完整,4 枚保存了完整末端。

描述 单列丝体,横截面为近似的圆形,直径 75—108 μm ,保存长度 170—317 μm 不等。部分标本保存了完整的末端,可观察到丝体两末端为封闭的圆弧形。纵切面可观察到完整隔板与不完整隔板,完整隔板间距约为 11.7 μm ,不完整隔板长度(单侧)7—15 μm 不等。

比较 *Megathrix* 为 Yin(1987)将产于中国三峡地区岩家河组中的管状化石与现代颤藻进行对比时建立的。Yao 等(2005)和 Dong 等(2009)将 *Megathrix* 完整隔板的褶皱现象解释为生物本身的特征,而非后期埋藏过程中造成的挤压,另外,其完整隔板与不完整隔板间隔出现,且具有相对较大的

直径,这些特征指示 *Megathrix longus* 可能不属于丝状蓝藻。尽管 *Megathrix* 在形态上与新元古代管状微体化石 *Sinocyclocyclicus guizhouensis* (薛耀松等, 1992) 比较相似,但是后者的直径(150—240 μm)要显著大于前者,因此 *Megathrix* 的亲缘关系尚不清楚。Shang 等(2016)对产自三峡地区岩家河组中的上千枚 *Megathrix* 标本进行了分析,认为其在形态上与现代颤藻 *Oscillatoriaceae* 极为相似,包括细胞本身的形态、排列方式以及丝体末端的圆弧闭合结构等。另外,他们认为完整隔板的褶皱可能是后期成岩过程中形成的“保存假象”,根据观察到的不完整隔板的长度有所不同,并且在横隔板与纵向丝体相交的地方有与现代颤藻在发生细胞分裂时产生的收缢现象极为相似的特征,认为 *Megathrix* 可能与现代颤藻有类似的繁殖方式,不完整隔板为藻体细胞在分裂过程中产生的横膜。综合对羊跳留茶坡组化石和前人文献中 *Megathrix* 标本的观察得知,即使是平直、外形规则的丝体,即未发生挤压变形或弯曲的个体,其内部细胞横隔板仍可以存在较为复杂的褶皱现象。这一点也可从横截面插图 4e(Dong *et al.*, 2009)得到佐证:标本的横截面为饱满圆形,未有明显挤压变形的证据,其中的隔板也具有褶皱现象,因此很难将这种简单褶皱归结于后期成岩或保存过程中形成的假象。另外,颤藻类化石或现代颤藻也并未观察到藻体细胞壁的强烈褶皱现象。本次发现的标本与三峡地区岩家河组(Yin, 1987; Dong *et al.*, 2009; Shang *et al.*, 2016),以及塔里木玉尔吐斯组和西山布拉克组(Yao *et al.*, 2005; Dong *et al.*, 2009)发现的 *Megathrix longus* 形态特征极为相似,故定为该种。

产地与层位 贵州麻江羊跳村,埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

奥勃鲁契夫藻属 Genus *Obruchevella* Reitlinger, 1948, emend Yakschin and Luchinina, 1981, emend Kolosov, 1984, emend Yankauskas, 1989, emend Burzin, 1995, emend Nagovitsin, 2000, emend Sergeev *et al.*, 2012

模式种 *Obruchevella delicata* Reitlinger, 1948

属征 空管,管体螺旋弯曲,整体呈圆柱形,有时向末端变窄或变宽。大部分类型的管壁间以极小的螺距紧密相贴,少数管壁间有一定的间隔,螺距较大。

分布和时代 俄罗斯 Patom 隆起、乌拉尔中部、西伯利亚, 芬兰海路奥托, 乌克兰波多利亚, 美国阿拉斯加, 中国江苏北部等地区; 新元古代。

奥勃鲁契夫藻属未定种 *Obruchevella* sp.

(插图 4g, h)

材料 2 枚标本。

描述 藻体为螺旋体, 管状丝体作规则螺旋形成, 螺距较宽, 整体略有弯曲, 且无明显的细胞结构, 管壁有暗色印痕。管体直径为 $5.6\text{--}6.4\ \mu\text{m}$, 螺旋体外围直径平均约为 $27.7\ \mu\text{m}$, 内围直径平均约为 $16.4\ \mu\text{m}$ 。螺距约为 $12.2\ \mu\text{m}$ 。

比较 *Obruchevella* 最早由 Reitlinger (1948) 报道于西伯利亚埃迪卡拉系一下寒武统 Sinna 组中, 当时被解释为有孔虫。自该属建立以来, 经历了多次修订。Yankauskas (1989) 将这些化石类比于现代蓝藻 *Spirulina* 属, 解释为颤藻类的残余。而事实上除了 *Spirulina* 属以外, 现代颤藻中的 *Phormidium*, *Lyngbya* 和 *Romeria* 属也具有类似的螺旋结构 (Knoll, 1992)。Nagovitsin (2000) 曾将另一种具螺旋结构的 *Heliconema* 属归入 *Obruchevella* 属, 而 Sergeev 等 (2012) 则认为这两种螺旋结构成因不同: *Obruchevella* 的规则螺旋形为生物本身的特征, 如现代蓝藻 *Spirulina*; 而 *Heliconema* 疏松且不规则的螺旋是生物死亡后的扭曲表现, 可能是颤藻 *Lyngbya* 的弃置胶鞘, 建议保留二者各自的属。 *Obruchevella* 属目前包括 *O. delicata*, *O. exilis*, *O. magna*, *O. parva* 等 21 个种。根据本次发现的标本的形态特征将其划分入 *Obruchevella* 属, 管体表面的暗色印痕可能为细胞的痕迹。但参考其管体与螺旋体直径, 并未找到已知对应种, 由于标本数较少且发生了弯曲, 暂定为未定种。

产地与层位 贵州麻江羊跳村, 埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

古鞘丝藻属 Genus *Palaeolyngbya* Schopf, 1968, emend Butterfield, 1994

模式种 *Palaeolyngbya barghoorniana* Schopf, 1968

属征 (修订) 藻体为单列, 不分支, 由圆盘状或圆柱状细胞组成, 细胞分隔处无收缢。藻体外部为单层或多层明显而光滑的胶鞘。以未被破坏的胶鞘直径作为划分不同种的标准。

分布和时代 澳大利亚中部, 印度, 中国河北; 中元古代—新元古代。

巴洪古鞘丝藻 *Palaeolyngbya barghoorniana* Schopf, 1968

(插图 4i)

1968 *Palaeolyngbya barghoorniana* Schopf, p. 665-666, pl. 77, figs. 1-5.

1972 *Palaeolyngbya barghoorniana*, Schopf, figs. 8, 11.

1984 *Palaeolyngbya barghoorniana*, 张鹏远等, 199 页, 图版 1, 图 9。

1990 *Palaeolyngbya barghoorniana*, Venkatachala *et al.*, p. 32, pl. 1, fig. 4.

1990 *Palaeolyngbya barghoorniana*, Nautiyal, pl. II, fig. 15.

1992 *Palaeolyngbya barghoorniana*, Schopf, pl. 32, fig. C.

2012 *Palaeolyngbya barghoorniana*, Sergeev *et al.*, p. 300-301, fig. 43A.

材料 3 枚标本, 保存不完整, 细胞与胶鞘比较清晰。

描述 藻体不分叉, 单列, 由柱状细胞组成, 向末端细胞逐渐变窄, 且末端细胞呈圆弧形, 细胞分隔较清晰, 无收缢; 藻体外为一层紧贴内部细胞的管状胶鞘, 胶鞘透明, 表面有颗粒无纹饰。藻体仅保存中后部, 长 $107.5\ \mu\text{m}$, 细胞直径变化范围 $9.56\text{--}12.13\ \mu\text{m}$, 平均 $11.1\ \mu\text{m}$, 高度 $3.9\text{--}5\ \mu\text{m}$, 平均 $4.5\ \mu\text{m}$, 宽高比约为 2.6。细胞壁半透明, 厚度约为 $0.5\ \mu\text{m}$ 。外胶鞘明显, 厚度在末端可达 $1.8\ \mu\text{m}$ 。

比较 Schopf (1968) 将澳大利亚中部苦泉组中的标本与现代鞘丝藻 *Lyngbya* Agardh 相对比, 建立了 *Palaeolyngbya* 属。该属藻体宽阔、单列无分叉、由多细胞组成, 在细胞连接处有轻微或强烈的收缢; 胶鞘透明、不分层, 在藻体末端最明显, 与末端细胞距离可达 $1\ \mu\text{m}$; 藻体直或轻微弯曲, 常在中部断开, 保存不完整; 中部细胞较大、呈柱状, 细胞宽高比在 3—4 之间, 细胞壁厚小于 $0.5\ \mu\text{m}$ 。Butterfield 等 (1994) 对该属进行了修订, 认为属征为单列、不分叉的多细胞丝状体, 外部为一层光滑无纹饰的胶鞘, 并依据丝体的直径进行种的划分, 目前包括 *P. barghoorniana*, *P. catenata*, *P. hebeiensis*, *P. giganteus* 四个种, 主要见于澳大利亚中部, 以及中国河北、安徽地区的元古代地层中 (Schopf, 1968; 张鹏远等, 1984; 李培菊等, 1994)。贵州麻江羊跳剖面留茶坡组中发现的标本, 与澳大利亚中部苦泉组 (Schopf, 1968)、河北涞水高于庄组 (张鹏远等, 1984) 发现的 *P. barghoorniana* 非常相似。丝体单列、不分支, 由柱状细胞组成, 细胞分隔处无收缢, 末端细胞呈圆

弧形,胶鞘透明且光滑,细胞壁半透明,但也有一些细微差异,如澳大利亚古鞘丝藻化石 *P. barghoorniana* 的细胞高度 $2.6\text{--}3.1\ \mu\text{m}$,直径 $8.3\text{--}10.9\ \mu\text{m}$,本次发现的藻体细胞略大,可能与细胞死亡后的收缩程度有关,但二者宽高比较一致,因此划分为同一种。

产地与层位 贵州麻江羊跳村,埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

古鞘丝藻属未定种 *Palaeolynghya* sp.

(插图 4j)

材料 1 枚标本,保存不完整,细胞与胶鞘比较清晰,细胞有变形。

描述 藻体不分叉,单列,稍有弯曲,由柱状细胞组成,向末端细胞变窄,且末端细胞呈圆弧形,细胞分隔处无收缢;藻体外为一层管状胶鞘,胶鞘透明无纹饰。藻体保存不完整,该段应该为中后部,长 $110.2\ \mu\text{m}$,细胞已有变形,直径变化范围 $7\text{--}10.5\ \mu\text{m}$,高度 $5\text{--}8.5\ \mu\text{m}$,宽高比约为 1.1。细胞壁几乎不透明,表面有颗粒。胶鞘明显,厚度在末端可达 $1.1\ \mu\text{m}$ 。

比较 根据该标本的胶鞘以及细胞基本特征将其划分为 *Palaeolynghya* 属。但是由于宽高比略近似于 1.1,区别于已知种,其原因可能与细胞变形有关,但目前仅发现有一个标本,暂定为未定种。

产地与层位 贵州麻江羊跳村,埃迪卡拉系—寒武系留茶坡组。

如上文所述,古鞘丝藻 *Palaeolynghya* 属是在将藻化石与现代鞘丝藻 *Lynghya* Ag. 相比较的基础上建立起来的,*Palaeolynghya* 属的定义是胶鞘透明,且无纹饰。除上述发现的古鞘丝藻外,本次在羊跳留茶坡组硅质岩中,还发现一种未定名的丝状化石大量产出,这种丝状化石在大小、形态上类似于现代鞘丝藻 *Lynghya*,却有别于 *Palaeolynghya*。

化石为细长的丝状(插图 5a,b),单个个体无分枝现象,形态平直或有弯曲,常成群出现。在同一张薄片中发现有圆形化石(插图 5c,d),直径与丝状化石相同、成群出现,调焦时直径不发生变化,因此判断为丝状化石的横截面,可以看出,丝状化石内部不贯通。丝体长度不一,最长可达 $620\ \mu\text{m}$,直径为 $7.20\text{--}13.75\ \mu\text{m}$ (平均约为 $11\ \mu\text{m}$)(插图 6a)。该丝状化石具有双层结构(插图 5d,f),外壁较内部颜色更深、呈黑色,较薄,厚度只有 $0.3\text{--}0.5\ \mu\text{m}$ (平均约为 $0.45\ \mu\text{m}$)。外壁上发育有规律的环纹(插

图 5e),环纹之间间距 $1.0\text{--}2.3\ \mu\text{m}$ (平均约为 $1.7\ \mu\text{m}$)(插图 6b),在丝体不同部位,环纹间距略有差别,在弯曲处,伸展侧环纹较疏,而挤压侧环纹较密,说明其具有一定的伸缩性,部分外壁已不完整(插图 5f)。内部丝体发育有规律的明暗相间的条纹(插图 5b,f),暗条纹高度为 $3.0\text{--}3.9\ \mu\text{m}$ (平均约为 $3.45\ \mu\text{m}$)(插图 6c),宽高比约为 3.2(插图 6d)。目前发现的丝状化石两端均未见封闭。据镜下观察,丝状生物化石的内部主要为硅质所充填。

根据该丝状化石的特征,其大小及形态与现代颤藻科中鞘丝藻 *Lynghya* 可以较好对比。虽然完整的鞘丝藻末端的胶鞘封闭且细胞呈圆弧形,但是考虑到鞘丝藻的繁殖方式——一个完整个体断开形成多个藻殖段,我们观察到的丝状化石可能是藻体断裂形成的藻殖段片段。从该丝状化石具有双层结构来看,内部暗色条纹可能为构成藻体的柱状细胞,外壁为一层薄胶鞘,由于降解作用,部分胶鞘已不完整,以独特而规则的环纹特征区别于已知种,判断其可能为鞘丝藻属中的一个新种。

该丝状化石在外部形态上,与薛耀松等人在 1992 年于陡山沱组磷灰岩中发现的圆茎化石 *Sinocyclocyclicus guizhouensis* 比较相似,二者均具有双层结构,且外壁上有环纹,对于 *Sinocyclocyclicus guizhouensis* 主要有两不同的解释:薛耀松等(1992)认为其为海百合茎的断枝和节片;而 Xiao 等(2000)认为其为腔肠动物(床板珊瑚)的管状房室内膜;Liu 等(2008)对 *Sinocyclocyclicus* 进行重新厘定,将其中具有分枝特征的标本归入 *Ramitubus* 属,*Sinocyclocyclicus* 属征为单列锥形管,管内具有密集、平直的横隔板,不完整横隔板长度不一,且规则地穿插于完整隔板之间,虽然 *Sinocyclocyclicus* 具有一些类似于现代蓝藻的形态特征(Liu *et al.*, 2006),但考虑到同层产出的其他管状化石:*Quadratitubus*,*Crassitubus* 和 *Ramitubus* 的特征,以及 *Sinocyclocyclicus* 与它们在特征上的相似性,认为床板珊瑚的解释更加合理(刘鹏举等,2010;Liu *et al.*, 2008)。*Sinocyclocyclicus guizhouensis* 的直径一般为 $150\text{--}240\ \mu\text{m}$,管体内部呈片状紧密排列,每片厚 $10\text{--}60\ \mu\text{m}$,部分标本具有不完整横隔板(薛耀松等,1992;刘鹏举等,2010;Xiao *et al.*, 2000;Liu *et al.*, 2008, 2009),而本次发现的丝状化石直径仅为约 $11\ \mu\text{m}$ 、细胞呈柱状,且管内未见不完整横隔板,二者形态上仍有区别,因此判断二者并非属同一种。

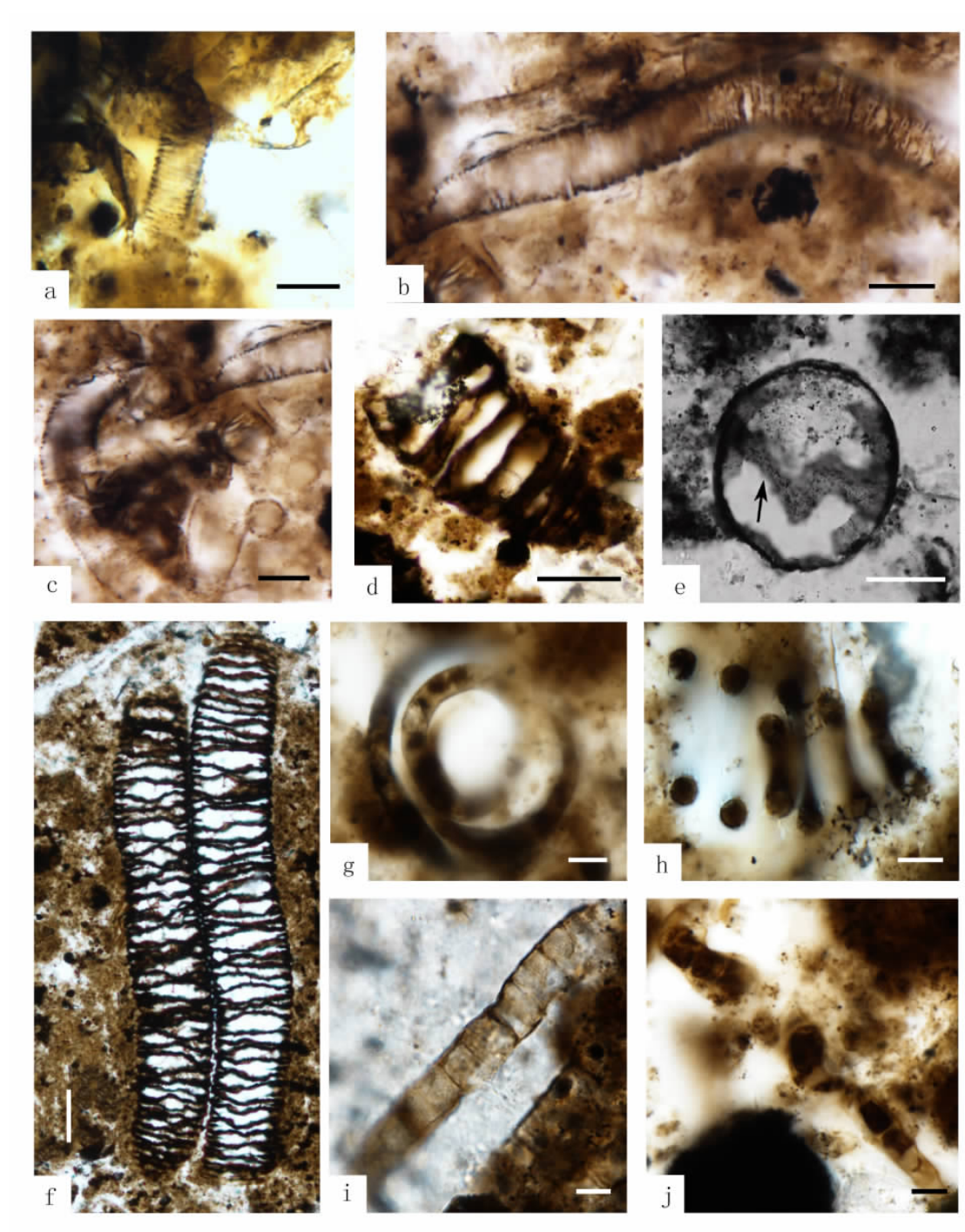


插图4 羊跳留茶坡组(寒武系下部)的颤藻化石

Oscillatoriaceae in the Liuchapo Formation (lower Cambrian) at Yangtiao

a—c. *Calyptothrix*; a. *C. perfecta*, b, c. *C. major*; d—f. *Megathrix longus*; d, f. 纵切面, e. 横切面(据 Dong *et al.*, 2009); g—h. *Obruchevella* sp.; g. 横切面, h. 纵切面; i—j. *Palaeolynghya*; i. *Palaeolynghya barghoorniana*, j. *Palaeolynghya* sp.。比例尺 a—c, g—j 为 10 μm ; d—f 为 50 μm 。样品号及坐标: a. 13YT-LCP-3(58.6, 20.1), b—c. 13YT-LCP-3(49.8, 16.9), d. 13YT-LCP-8(44.5, 13.2), f. 13YT-LCP-9(42.9, 14.2), g. 13YT-LCP-7(42.9, 16.4), h. 13YT-LCP-8(59.8, 20.6), i. 13YT-LCP-2(55, 18.5), j. 13YT-LCP-7(49.7, 10.2)。薄片放置方式: 标签向右, 刻度盘 0°。

a—c. *Calyptothrix*; a. *C. perfecta*, b, c. *C. major*; d—f. *Megathrix longus*; d, f. longitudinal section, e. transverse section(Dong *et al.*, 2009); g—h. *Obruchevella* sp.; g. transverse section, h. longitudinal section; i—j. *Palaeolynghya*; i. *Palaeolynghya barghoorniana*, j. *Palaeolynghya* sp.. Scale bars for a—c, g—j = 10 μm ; d—f = 50 μm . Sample numbers and coordinates; a. 13YT-LCP-3(58.6, 20.1), b—c. 13YT-LCP-3(49.8, 16.9), d. 13YT-LCP-8(44.5, 13.2), f. 13YT-LCP-9(42.9, 14.2), g. 13YT-LCP-7(42.9, 16.4), h. 13YT-LCP-8(59.8, 20.6), i. 13YT-LCP-2(55, 18.5), j. 13YT-LCP-7(49.7, 10.2). Thin section placement; label right, dial 0°.

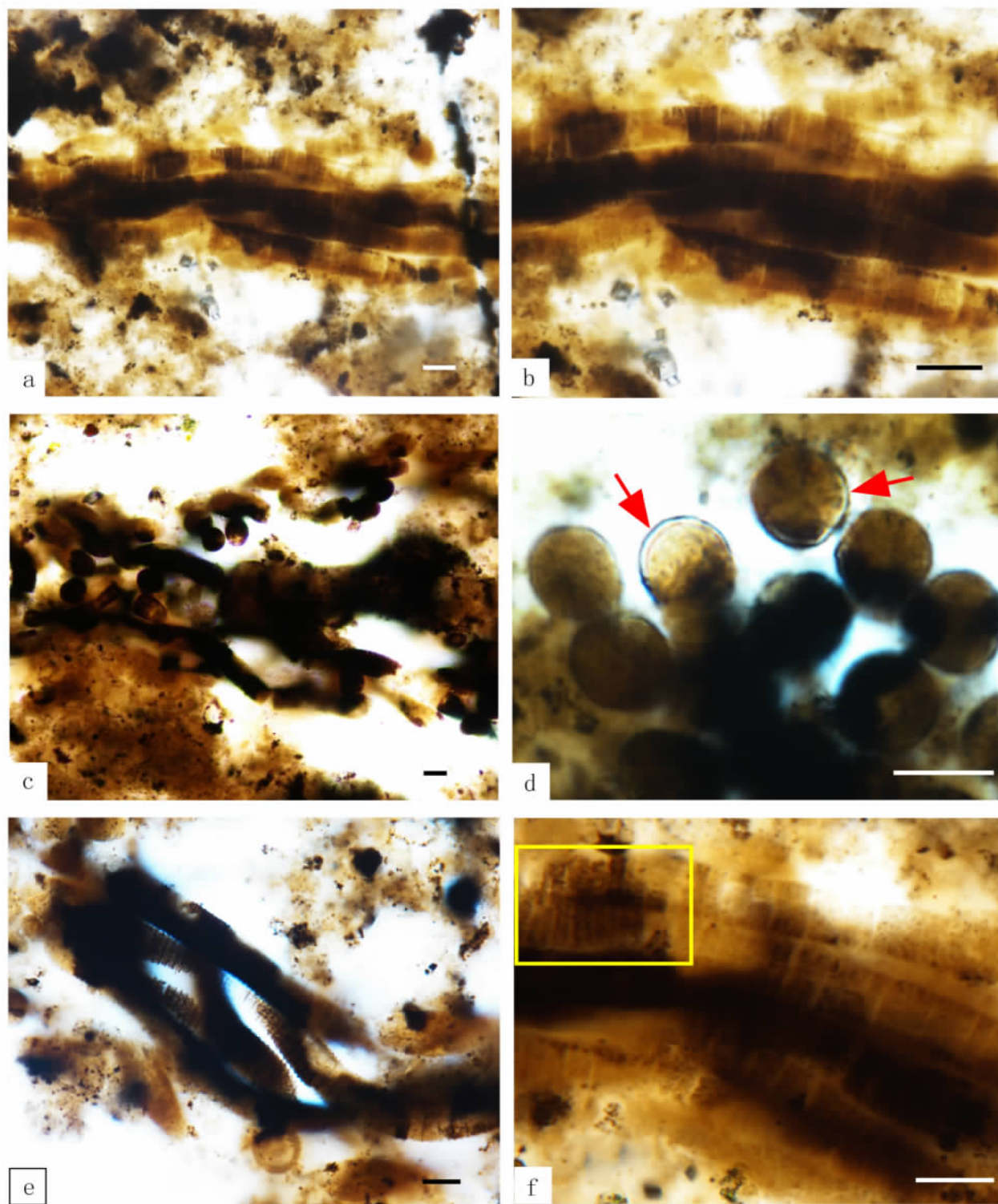


插图 5 羊跳留茶坡组(寒武系下部)的未定名丝状化石

Unnamed filiform fossil in the Liuchapo Formation (lower Cambrian) at Yangtiao

a, b. 纵切面; c, d. 横切面(箭头部分指示双层结构); e. 具环纹的外壁; f. 部分残留的具环纹外壁(黄色框内深色部分以及内部的暗色条纹)。图中比例尺为 $10\ \mu\text{m}$ 。样品号及坐标: a, f. 13YT-LCP-3-4(46.9, 7.1); b. 13YT-LCP-3-4(46.5, 7); c. 13YT-LCP-3-4(49.8); d. 13YT-LCP-3-4(49.5, 9.6); e. 13YT-LCP-3-4(48.5, 8.1)。薄片放置方式: 标签向右, 刻度盘 0° 。

a, b. Longitudinal sections; c, d. Cross sections; e. The wrinkled surface; f. Both surface with annules and the inside dark stripe. Scale bars = $10\ \mu\text{m}$. Sample numbers and coordinates: a, f. 13YT-LCP-3-4(46.9, 7.1); b. 13YT-LCP-3-4(46.5, 7); c. 13YT-LCP-3-4(49.8); d. 13YT-LCP-3-4(49.5, 9.6); e. 13YT-LCP-3-4(48.5, 8.1). Thin section placement: label right, dial 0° .

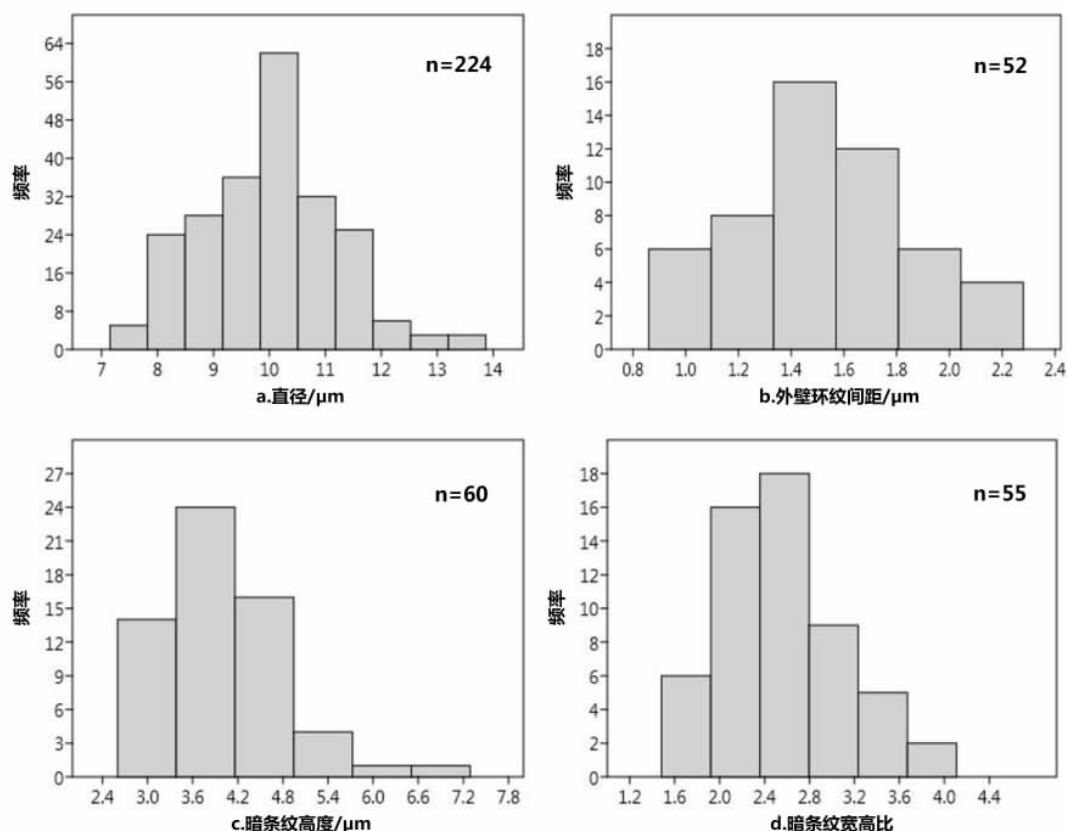


插图6 未定名丝状化石相关数据频率分布直方图

Frequency distribution histograms of the unnamed filiform fossil

a. 直径, b. 外壁环纹间距, c. 暗条纹高度, d. 暗条纹宽高比。

a. Diameter, b. annulets interval, c. dark stripe height, d. width/height of dark stripe.

此外,颤藻科的 *Salome* 属(Knoll, 1982)也为单支不分叉的丝状个体,且具有胶鞘结构,可以类比于现代颤藻(Knoll, 1982; Butterfield, 2001),根据细胞结构是否保存及直径大小进行区分,主要包括: *S. nunavutensis*, *S. svalbardensis* 和 *S. hubeiensis* 三个种。*Salome* 属以多层厚鞘以及宽大的藻丝为特征,一般胶鞘有2层以上,胶鞘较厚,其中 *S. nunavutensis* 未保存细胞结构,直径8—80 μm (周传明等, 2002; 叶琴等, 2015; Butterfield, 2001); *S. svalbardensis* 具有细胞结构,内直径8—16 μm ,外直径23—65 μm (Knoll, 1982); *S. hubeiensis* 具有细胞结构,直径30—200 μm (张忠英, 1986; Liu *et al.*, 2014)。而本次发现的丝状化石,仅具有一层胶鞘,胶鞘较薄,厚度仅为0.3—0.5 μm ,整体直径也小于 *Salome*,因此判断该丝状化石并非属于 *Salome* 属。

4 讨 论

在贵州麻江羊跳剖面留茶坡组硅质岩中共鉴定

出颤藻科的4个属, *Calypthothrix*, *Obruchevella*, *Palaeolynghya*, 与 *Megathrix*, 均产于寒武纪地层。其中 *Megathrix longus* 可以与三峡地区岩家河组、塔里木玉尔吐斯组和西山布拉克组的化石进行对比。由于保存原因,本次发现的化石主要为颤藻的残余鞘体, *Calypthothrix*, *Obruchevella*, *Palaeolynghya* 为带鞘颤藻,仅保留了鞘体的部分,鞘体宽度均比较小,总体在5.6—11.4 μm 之间; *Megathrix* 不具胶鞘,保存了较好的细胞结构,细胞较宽,在75 μm 以上。

在本文报道的颤藻的4个属中,古鞘丝藻属 *Palaeolynghya* 在中元古界也有产出,优势种为 *P. giganteus* 与 *P. hebeiensis*, 直径主要在30—80 μm 之间(张鹏远等, 1984; Yakschin, 1991), 而新元古代—早寒武世的优势种为 *P. helva* 与 *P. barghoorniana*, *P. helva* 直径为11—14 μm (Hermann, 1981), 本文发现的 *P. barghoorniana* 平均直径为11.1 μm 。可见新元古代—早寒武世时, *Palaeolynghya* 的藻体有明显变窄的趋势,推测其可能与环境的变化有

关。Huntley 等(2006)与 Xiao 和 Dong(2006)分别对元古代的疑源类和宏观藻类进行了研究,发现在新元古代,宏观藻类与疑源类的体表比(表面积/体积)均突然变大,与本文发现的微体藻类 *Palaeolynghya* 呈现相同的趋势,这种变化可能受控于二氧化碳的浓度,这些水生植物可能不具备碳浓缩机制,只能通过贮存二氧化碳作为碳源(Raven, 2003),新元古代—早寒武世时期,二氧化碳浓度较中元古代低,因此在该时期,部分藻类可能通过变窄以获得更大的体表比,提高吸收二氧化碳的效率(Graham and Wilcox, 2000; Xiao and Dong, 2006)。

5 结 论

1)在贵州羊跳寒武系下部留茶坡组硅质岩中鉴定出颤藻类微体化石 4 属 6 种(含 2 个未定种):包括 *Calyplothrix* 属的 *Calyplothrix perfecta*, *Calyplothrix major*; *Obruchevella* 属的 1 个未定种; *Megathrix longus*; 以及 *Palaeolynghya* 属的 *Palaeolynghya barghoorniana* 和 1 个未定种。它们将进一步丰富贵州中部留茶坡组的化石群内容。

2)在贵州羊跳寒武系下部留茶坡组硅质岩中发现了一种未定名的丝状化石,具有双层结构,经对比,认为其可能类比为鞘丝藻 *Lynghya*, 该化石在本地区属首次发现,丰富了该地区埃迪卡拉纪—寒武纪的微生物群落面貌,为早期生命演化提供了新的材料。

致谢 在成文过程中,得到南京地质古生物研究所尹磊明研究员的指导和热情帮助,在此深表谢意。

参 考 文 献 (References)

- Butterfield N J, 2001. Paleobiology of the late Mesoproterozoic (ca. 1200Ma) Hunting Formation, Somerset Island, Arctic Canada. *Precambrian Research*, **111**(1): 235—256.
- Butterfield N J, Knoll A H, Swett K, 1994. Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfiellet Formation, Spitsbergen. *Fossils and Strata*, **34**: 1—84.
- Cao Fang(曹 芳), 1985. The new data of algal microfossils from Sinian Doushantuo Formation. *Bulletin of Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources*(天津地质矿产研究所所刊), **12**: 183—193(in Chinese with English summary).
- Chen Zhe, Zhou Chuan-ming, Meyer M, Xiang Ke, Schiffbauer J D, Yuan Xun-lai, Xiao Shu-hai, 2013. Trace fossil evidence for Ediacaran bilaterian animals with complex behaviors. *Precambrian Research*, **224**: 690—701.
- Dong Lin, Xiao Shu-hai, Shen Bing, Zhou Chuan-ming, Li Guo-xiang, Yao Jin-xian, 2009. Basal Cambrian microfossils from the Yangtze Gorges area(South China) and the Aksu area(Tarim Block, Northwestern China). *Journal of Paleontology*, **83**(1): 30—44.
- Droser M L, Jensen S, Gehling J G, 2002. Trace fossils and substrates of the terminal Proterozoic-Cambrian transition: implications for the record of early bilaterians and sediment mixing. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **99**(20): 12572—12576.
- Feng Zeng-zhao(冯增昭), Peng Yong-min(彭勇民), Jin Zhen-kui(金振奎), Bao Zhi-dong(鲍志东), 2002. Lithofacies Palaeogeography of the Early Cambrian in China. *Journal of Palaeogeography (古地理学报)*, **4**(1): 1—12, 97—98(in Chinese with English summary).
- Flügel E(ed.), 1984. *Fossil Algae*. Beijing: Science Press. 1—289(in Chinese).
- Garcia-Pichel F, Castenholz R W, 2004. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *Journal of Phycology*, **27**(3): 395—409.
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A, 2004. *A Geologic Time Scale*. Cambridge: Cambridge University Press. 1—588.
- Graham L E, Wilcox L W, 2000. *Algae*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. 1—700.
- Hermann T N, 1981. Filamentous microorganisms of the Lakhanda beds, the Maja river. *Paleontological Journal*, **2**: 94—97(in Russian).
- Hua Hong, Chen Zhe, Yuan Xun-lai, Zhang Lu-yi, Xiao Shu-hai, 2005. Skeletogenesis and asexual reproduction in the earliest biomineralizing animal Cloudina. *Geology*, **33**(4): 277—280.
- Huntley J W, Xiao Shu-hai, Kowalewski M, 2006. On the morphological history of Proterozoic and Cambrian acritarchs. In: Xiao Shu-hai, Kaufman A J(eds.), *Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 23—56.
- Jensen S, Droser M L, Gehling J G, 2005. Trace fossil preservation and the early evolution of animals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **220**(1-2): 19—29.
- Jensen S, Droser M L, Gehling J G, 2006. A critical look at the Ediacaran trace fossil record. In: Xiao Shu-hai, Kaufman A J(eds.), *Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 115—157.
- Kathrin I M, Nicole B, Thomas F, 2011. Cyanobacteria. In: Joachim R, Volker T(eds.), *Encyclopedia of Geobiology*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 306—311.
- Knoll A H, 1982. Microfossils from the late Precambrian Draken Conglomerate, NY Friesland, Svalbard. *Journal of Paleontology*, **56**(3): 755—790.
- Knoll A H, 1992. Vendian microfossils in metasedimentary cherts of the Scotia Group, Prins Karls Forland, Svalbard. *Palaeontology*, **35**: 751—774.

- Li Pei-ju(李培菊), Luo Qi-ling(罗其玲), 1994. Microfossils from the Wumishan Formation in Chicheng County, Hebei, China. *Journal of Hebei College of Geology(河北地质学院学报)*, **17**(3): 213—227.
- Li Sheng-rong(李胜荣), Gao Zhen-min(高振敏), 1995. REE characteristics of black rock series of the lower Cambrian Niutitang Formation in Hunan-Guizhou provinces, China with a discussion on the REE patterns in marine hydrothermal sediments. *Acta Mineralogica Sinica(矿物学报)*, **15**(2): 225—229 (in Chinese with English summary).
- Liu Peng-ju, Xiao Shu-hai, Yin Chong-yu, Chen Shou-ming, Zhou Chuan-ming, Li Meng, 2014. Ediacaran acanthomorphic acritarchs and other microfossils from chert modules of upper Doushantuo Formation in the Yangtze Gorges area, South China. *Journal of Paleontology*, **88**(s72): 1—139.
- Liu Peng-ju, Xiao Shu-hai, Yin Chong-yu, Tang Feng, Gao Lin-zhi, 2009. Silicified tubular microfossils from the upper Doushantuo Formation (Ediacaran) in the Yangtze Gorges area, South China. *Journal of Palaeontology*, **83**(4): 630—633.
- Liu Peng-ju, Xiao Shu-hai, Yin Chong-yu, Zhou Chuan-ming, Gao Lin-zhi, Tang Feng, 2008. Systematic description and phylogenetic affinity of tubular microfossils from the Ediacaran Doushantuo Formation at Weng'an, South China. *Palaeontology*, **51**(2): 339—366.
- Liu Peng-ju(刘鹏举), Yin Chong-yu(尹崇玉), Chen Shou-ming(陈寿铭), Tang Feng(唐 烽), Gao Lin-zhi(高林志), 2010. Affinity, distribution and stratigraphic significance of tubular microfossils from the Ediacaran Doushantuo Formation in South China. *Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报)*, **49**(3): 308—324 (in Chinese with English summary).
- Liu Peng-ju, Yin Chong-yu, Tang Feng, 2006. The possible huge cyanobacteria fossils from Ediacaran Doushantuo Formation at Weng'an, Guizhou, southwest China. In: Yang Qun, Wang Yong-dong, Weldon E A(eds), *Abstracts of the Second International Palaeontological Congress*. Hefei: University of Science and Technology Press. 1—285.
- Mikhailova N S, 1986. New discoveries of microphytofossils from the upper Riphean of the Krasnoyarsk region. In: Sokolov B S (ed.), *Current Questions in Contemporary Palaeontology*. Naukova Dumka, Kiev. 31—37 (in Russian).
- Nagovitsin K E, 2000. Silicified microbiotas of the Upper Riphean of the Yenisei Ridge: News in paleontology and stratigraphy. *Geology and Geophysics*, **41**(S2/3): 7—31 (in Russian with English summary).
- Narbonne G M, 2005. The Ediacara Biota: Neoproterozoic origin of animals and their ecosystems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **33**: 421—442.
- Narbonne G M, Myrow P, 1988. Trace fossil biostratigraphy in the Precambrian-Cambrian boundary interval. *New York State Museum Bulletin*, **463**: 72—76.
- Pang Yan-chun(庞艳春), Lin Li(林 丽), Xu Ke(徐 可), Xue Yuan(薛 园), Zheng Shi-wen(郑世雯), Kui Yan-zhang(隗延章), 2016. Worm-like fossil assemblage from Niutitang Formation of Fuquan County, Guizhou Province. *Earth Science(地球科学)*, **41**(4): 612—618 (in Chinese with English summary).
- Rajesh P R, Incharoensakdi A, 2013. Characterization of UV-screening compounds, mycosporine-like amino acids, and scytonemin in the cyanobacterium *Lyngbya* sp. CU2555. *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Ecology*, **87**(1): 244—256.
- Raven J A, 2003. Inorganic carbon concentrating mechanisms in relation to the biology of algae. *Photosynthesis Research*, **77**(2): 155—171.
- Reitlinger E A, 1948. Cambrian foraminifera of Yakutsk. *Byulleten Moskovskogo Obshchestva Ispytateleya Prirody, Otdel Geologicheskii*, **23**: 77—81 (in Russian).
- Rong Jia-yu(戎嘉余), Huang Bing(黄 冰), 2014. Study of Mass Extinction over the past thirty years: A synopsis. *Scientia Sinica Terrae(中国科学: 地球科学)*, **44**(3): 377—404 (in Chinese).
- Schopf J W, 1968. Microflora of the Bitter Springs Formation, Late Precambrian, Central Australia. *Journal of Paleontology*, **42**: 651—688.
- Schopf J W, 2012. The fossil record of Cyanobacteria. In: Brian A W (ed.), *Ecology of Cyanobacteria II*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 15—36.
- Sergeev V N, Mukund S, Yogmaya S, 2012. Proterozoic fossil cyanobacteria. *The Palaeobotanist*, **61**: 189—358.
- Shang Xiao-dong, Liu Peng-ju, Yang Ben, Chen Shou-ming, Wang Chu-chu, 2016. Ecology and phylogenetic affinity of the early Cambrian tubular microfossil *Megathrix longus*. *Palaeontology*, **59**(1): 13—28.
- Shu De-gan, 2008. Cambrian explosion: Birth of tree of animals. *Gondwana Research*, **14**(1-2): 219—240.
- Tang Feng(唐 烽), Gao Lin-zhi(高林志), Yin Chong-yu(尹崇玉), Wang Yue(王 约), Gu Peng(顾 鹏), 2015. Macrofossil biotas in the Late Ediacaran-Cambrian boundary interval of South China and stratotype correlation. *Geological Bulletin of China(地质通报)*, **34**(12): 2150—2162 (in Chinese with English summary).
- Veis A F, 1984. Microfossils from the Upper Riphean of the Turukhansk Region. *Paleontological Journal*, **2**: 102—108 (in Russian).
- Xiao Shu-hai, Dong Lin, 2006. On the morphological and ecological history of Proterozoic macroalgae. In: Xiao Shu-hai, Kaufman A J (eds), *Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 57—83.
- Xiao Shu-hai, Yuan Xun-lai, Knoll A H, 2000. Eumetazoan fossils in terminal Proterozoic phosphorites? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **97**(25): 13684—13689.
- Xie Xiao-min(谢小敏), Teng Ge-er(腾格尔), Qin Jian-zhong(秦建中), Zhang Qing-zhen(张庆珍), Bian Li-zeng(边立曾), Yin Lei-ming(尹磊明), 2015. Depositional environment, organisms components and source rock formation of siliceous rocks in the

- base of the Cambrian Niutitang Formation, Kaili, Guizhou. *Acta Geologica Sinica*(地质学报), **89**(2): 425—439 (in Chinese with English summary).
- Xue Yao-song(薛耀松), Tang Tian-fu(唐天福), Yu Cong-liu(俞从流), 1992. Discovery of the oldest skeletal fossils from upper Sinian Doushantuo Formation in Weng'an, Guizhou and its significance. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **31**(5): 530—539 (in Chinese with English summary).
- Yakschin M S (ed.), 1991. Algal Microbiota from the Lower Riphean Deposits of the Anabar Uplift. Nauka: Novosibirsk. 1—61 (in Russian).
- Yang Rui-dong(杨瑞东), Mao Jia-ren(毛家仁), Zhang Wei-hua(张位华), Jiang Li-jun(姜立君), Gao Hui(高 慧), 2004. Fossil preservation and palaeoecological research in early Cambrian black shale. *Acta Sedimentologica Sinica*(沉积学报), **22**(4): 664—671 (in Chinese with English summary).
- Yang Rui-dong(杨瑞东), Zhao Yuan-long(赵元龙), Guo Qing-jun(郭庆军), 1999. Algae and acritarchs and their paleoceanographic significance from the early Early Cambrian black shale in Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **38**(2): 145—157 (in Chinese with English summary).
- Yang Xing-lian(杨兴莲), Zhao Yuan-long(赵元龙), 2000. Sponges of the Lower Cambrian Niutitang Formation Biota in Zunyi, Guizhou, China. *Journal of Guizhou University of Technology, Natural Science*(贵州工业大学学报, 自然科学版), **29**(6): 30—38 (in Chinese with English summary).
- Yang Yan-fei(杨艳飞), Xu Yi-fan(徐一帆), Zhou Cheng-yan(周承艳), 2009. Discussion of the relation between Liuchapo Formation and Dengying Formation of Upper Yangtze Platform. *Guizhou Geology*(贵州地质), **26**(4): 248—252 (in Chinese with English summary).
- Yankauskas T V, 1980. New algae from the Upper Riphean of the southern Ural Mountains and Cis-Ural. *Paleontological Journal*, **4**: 122—128 (in Russian).
- Yankauskas T V (ed.), 1989. Precambrian Microfossils of the USSR. Nauka: Leningrad. 1—188 (in Russian).
- Yao Jin-xian, Xiao Shu-hai, Yin Lei-ming, Li Guo-xiang, Yuan Xun-lai, 2005. Basal Cambrian microfossils from the Yurtus and Xishanblaq formations (Tarim, North-West China): systematic revision and biostratigraphic correlation of Micrhystridium-like acritarchs. *Palaeontology*, **48**: 687—708.
- Ye Qin(叶 琴), Tong Jin-nan(童金南), An Zhi-hui(安志辉), Tian Li(田 力), Zhao Xiao-ming(赵小明), Zhu Shi-xing(朱士兴), 2015. Phosphatized fossil assemblage from the Ediacaran Doushantuo Formation in Zhagcunping area, Yichang, Hubei Province. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **54**(1): 43—65 (in Chinese with English summary).
- Yin Lei-ming, 1987. Microbiotas of latest Precambrian sequences in China. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences(中国科学院南京地质古生物研究所) (ed.), *Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Precambrian-Cambrian Boundary* (1). Nanjing: Nanjing University Press. 415—494.
- Yin Lei-ming(尹磊明), 1995. Microflora from the Precambrian-Cambrian boundary strata in the Yangtze Platform. *Journal of Stratigraphy*(地层学杂志), **19**(4): 299—307 (in Chinese with English summary).
- Yin Lei-ming, Tenger Borjigin, Knoll A H, Bian Li-zeng, Xie Xiaomin, Bao Fang, Ou Zhi-ji, 2016. Sheet-like microfossils from hydrothermally influenced basinal cherts of the lower Cambrian (Terreneuvian) Niutitang Formation, Guizhou, South China. *Palaeoworld*, Available online 25 January 2016, ISSN1871-174X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.palwor.2016.01.005>.
- Zhang Peng-yuan(张鹏远), Yan Xiao-li(严晓丽), 1984. Microfossils from the Gaoyuzhuang Formation in Laishui County, Hebei, China. *Acta Geologica Sinica*(地质学报), **3**: 196—203 (in Chinese with English summary).
- Zhang Wei-hua(张位华), Jiang Li-jun(姜立君), Gao Hui(高 慧), Yang Rui-dong(杨瑞东), 2003. Study on sedimentary environment and origin of black siliceous rocks of the lower Cambrian in Guizhou Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, **22**(2): 174—178 (in Chinese with English summary).
- Zhang Zhong-ying(张忠英), 1986. New material of filamentous fossil Cyanophytes from the Doushantuo Formation (Late Sinian) in the eastern Yangtze Gorge. *Scientia Geologica Sinica*(地质科学), **1**: 32—39, 105—106 (in Chinese with English summary).
- Zhao Yuan-long(赵元龙), Steiner M, Yang Rui-dong(杨瑞东), Erdtmann B D, Guo Qing-jun(郭庆军), Zhou Zhen(周 震), Wallis E, 1999. Discovery and significance of the early metazoan biotas from the lower Cambrian Niutitang Formation in Zunyi, Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **38**(Supl.): 132—144 (in Chinese with English summary).
- Zhou Chuan-ming(周传明), Chen Zhe(陈 哲), Xue Yao-song(薛耀松), 2002. New microfossils from the late Neoproterozoic Doushantuo Formation at Chaoyang phosphorite deposit in Jiangxi Province, South China. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **41**(2): 178—192 (in Chinese with English summary).
- Zhou Ming-zhong, Luo Tai-yi, Liu Shi-rong, Qian Zhi-kuan, Xing Le-cai, 2013. SHRIMP zircon age for a K-bentonite in the top of the Laobao Formation at the Pingyin section, Guizhou, South China. *Science China, Earth Sciences*, **56**(10): 1677—1687.
- Zhu Mao-yan(朱茂炎), 2010. The origin and Cambrian Explosion of animals: Fossil evidences from China. *Acta Palaeontologica Sinica*(古生物学报), **49**(3): 269—287 (in Chinese with English summary).

THE FOSSIL RECORD OF OSCILLATORIACEAE FROM THE EDIACARAN-LOWER CAMBRIAN LIUCHAPO FORMATION IN CENTRAL GUIZHOU, CHINA

LIU Hui, NIE Xiao-qin and DONG Lin

(School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Key words Oscillatoriaceae, chert, Liuchapo Formation, Yangtiao, Guizhou

Abstract

Abundant filamentous cyanobacteria have been discovered from the Ediacaran-Cambrian Liuchapo chert at the Yangtiao section, Majiang County, Guizhou Province. Six Oscillatoriaceae species comprising of different genera are identified, including *Calyptothrix perfecta*, *Calyptothrix major*, *Megathrix longus*, *Obruchevella* sp., *Palaeolynbya barghoorniana*, and *Palaeolynbya* sp.. In addition, an unnamed filamentous

microfossil that is morphologically similar to the modern *Lynbya* is also described. Based on its unique finely annulated sheath and coarsely annulated filaments, the unnamed fossil may represent a new species belonging to the genus *Lynbya*. The systematic study of the Oscillatoriaceae adds new palaeontological data to refine the biostratigraphic framework, and improves our understanding of the diversification of the primary producers during this time period transitioning from Proterozoic to Phanerozoic.