

上寒武统 *Dictyonema wutingshanense* 带的 树形笔石及其三翼漂浮构造

林尧坤

(中国科学院南京地质古生物研究所)

梁宗伟

(山东省地质科学研究所)

一、笔石分布与特征

1953年,穆恩之在研究辽宁太子河流域寒武纪和奥陶纪笔石时,将上寒武统凤山组燕州层顶部发现的笔石进行了初步研究,建立了我国第一个寒武纪笔石带——*Dictyonema wutingshanense* 带(包括在三叶虫 *Quadrancephalus* 带中)。1955年,他对此带笔石进行了详细描述,其中包括辽宁辽阳五顶山的 *Dictyonema wutingshanense* Mu, *Dendrograptus* spp., 山西偏关与内蒙古清水河之间黄河峡区的 *Callograptus staufferi* Ruedemann 和 *Dictyonema* sp. A。

三十余年来,特别是近几年来在华北和东北不少地点陆续发现和描述了此带的树形笔石。

1980年安徽萧县庄里发现的有 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* Lin, *Callograptus pennatus* Lin。

1982年山东新泰发现的有 *Callograptus ramusculus* Lin, *C. turriculatus* Lin, *Dendrograptus cepaceus* Lin。1987年,该地又发现了 *Dictyonema* sp. (cf. *D. wutingshanense anhuiense* Lin), *Callograptus pennatus* Lin, *C. villus* Lin。

1983年,辽宁辽阳五顶山(系穆恩之五十年代的采集点)发现有 *Dictyonema wutingsha-*

nense Mu, *Airograptus longispinus* Lin, *Dendrograptus* sp.。本溪田师付腰堡附近见有 *Dictyonema wutingshanense* Mu, *D. wutingshanense major* Lin, *Airograptus anfractus* Lin, *Callograptus epipterus* Lin, *C. obtortus* Lin, *C. flabelliscus* Lin, *C. staufferi* Ruedemann, *Dendrograptus hallianus marcidus* Lin。

综上所述,此带共包括 *Dictyonema* (4种或亚种), *Callograptus* (8种), *Airograptus* (2种)和 *Dendrograptus* (2种或亚种) 4属16种或亚种。

本文描述了 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* Lin, *Callograptus* cf. *ramusculus* Lin, *C. turriculatus* Lin 和 *C. sp.* 等4种和亚种。这些标本都是笔者之一(梁宗伟)于1984年夏采自山东新泰汶南纸坊庄村边采石场上寒武统凤山组中部 *Dictyonema wutingshanense* 带(相当三叶虫 *Quadrancephalus* 带)。以炭质薄膜状保存于黑灰色、褐色和黄灰色薄层灰岩中。虽系旧种或未定种,但笔石体完整,保存良好,特别是不少标本的笔石体始端具有明显的漂浮器官——三翼漂浮构造(Three-vented floating structure)。拥有这种漂浮器官的树形笔石在国内外寒武纪树形笔石中尚属首次发现,这对研究这个时期树形笔石的古生态及其生存的环境是很有意义的。

如上所述, *Dictyonema wutingshanense* 带

的树形笔石的分布,东起辽宁本溪、辽阳,西达山西与内蒙古之间的黄河峡区,南达皖北萧县和鲁中南新泰,它们的产地基本上都环绕着华北地台的边缘。如此辽阔海域彼此相连贯通,同一时期的古生物面貌何其相似,笔者认为当时海域环境也是非常相似的。从古生物(笔石、三叶虫、海百合、腕足类等)生态面貌和它们的围岩碳酸盐岩和钙质页岩来看,这是一种正常浅海,海底平坦,洋流风浪和水流循环作用影响甚强,氧气充足,透光性强,食物丰富,适宜于树形笔石、三叶虫等底栖生物的大量繁衍和生活。同时这种海域还有一定深度,在受洋流影响动荡的同时与外洋相比又相对稳定,一些原始的,脱离固着状态不久的漂浮笔石,可以生存于海水表层和水下。在华北区晚寒武世凤山期中期是寒武纪树形笔石初步繁盛的时期,在有营底栖固着生活的笔石的同时,也有漂浮于表层和水下的原始的漂浮笔石。

底栖的树形笔石具有明显的根形、蹼形或钩爪形等附着海底或其他物体之上的附着盘,如 *Callograptus pennatus*, *Airograptus anfractus* 和 *Dendrograptus cepateous* 等,根形基盘的形式在很大程度上取决于海底的性质,这类笔石的笔石体一般较大,笔石枝粗壮和原始的漂浮笔石有一定的类似和差异。穆恩之(1955)在描述 *D. wutingshanense* 时就明确指出这种笔石具有显著的胎管和浮泡,表示着这种原始的漂浮笔石生长的状况。同时代的某些 *Callograptus* 和 *Dictyonema* 等也都具有此类特征。本文描述的山东新泰的 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* 和 *Callograptus turriculatus* 中有不少标本保存着裸露的胎管以及胎管顶端和周围拥有作为漂浮器官的翼片,说明它们亦是营漂浮生活的。穆恩之曾一再强调它们漂浮可能是底层的或水下的,可以推测它们的漂浮能力远远不如奥陶纪早期的 *Dictyonema flabelliforme* (s. l.) 和正笔石式树形笔石 *Staurograptus* 和 *Anisograptus*。从这些笔石的笔石体大,轴角小,笔石枝粗壮,平行性差、杂乱或

横靶少,排列不匀以及横靶宽度和相邻笔石枝宽度相差无几等特征都说明了这类漂浮笔石的原始特征。它们是从固着底栖的树形笔石演化而来的,是脱离固着状态不久的新生笔石。笔石体生长方向的改变,是笔石演化史的重大事件。反映出晚寒武世是笔石从固着底栖向漂浮生涯演化的交替时期。值得一提的是 *Callograptus turriculatus* 的笔石体形状,先是轴角很小的细长锥体,向末部生长时迅速扩展成宽阔的锥体,使笔石体成带颈瓶形或倒漏斗形。笔石体本身的变化也反映出锥形笔石体演化的趋势,它们的趋向是向水平伸展铺开,从而加强笔石体的浮力和虫体摄取食物的方便。从这种笔石的笔石体变化本身也同样可以看到漂浮树形笔石的演化趋势——扩大轴角,向水平方向展开,笔石枝变细、缩减(减轻笔石体重量);网格笔石则还反映出横靶的增加、变细和排列有规律性等。这种演化趋势在奥陶纪早期的漂浮树形笔石中反映更为强烈和明显,因而它们得以演化、生存、发展和在世界范围内繁衍。反之寒武纪的树形笔石(包括漂浮类型的)往往区域性很强,分布范围局限,故在地层学研究和对比上意义不大。

笔者在工作中得到穆恩之老师和笔石组同志的指导和关心;徐建周同志代为标本照相,在此热忱致谢。

二、原始漂浮树形笔石的漂浮器官 ——三翼漂浮构造

笔石标本保存漂浮器官是非常少的,树形笔石中更为罕见。漂浮树形笔石在我国最早见于上寒武统凤山组的 *Dictyonema wutingshanense* (穆恩之,1953,1955;林尧坤,1983),带有裸露的胎管和小豆圆形的浮泡。奥陶系底部的漂浮树形笔石在挪威奥斯陆(Oslo)地区,英国威尔士(Wales)的特马豆克阶(Tremadocian)发现有 *Dictyonema flabelliforme* (s. l.), Stormer (1933,1935), Bulman 和 Stormer (1971) 前后共记述了 17 个标本。Sto-

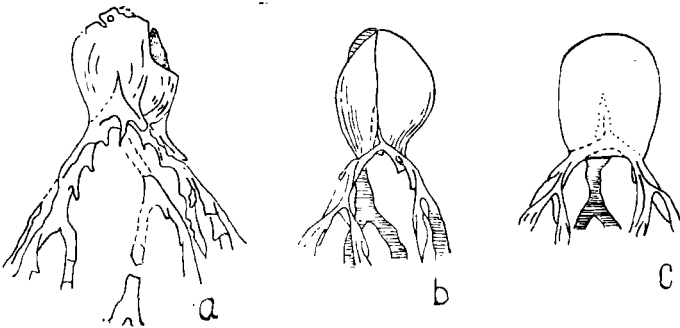


插图 1 *Dictyonema flabelliforme* (Eichwald)
(据 Bulman 和 Stormer, 1971)

a. 挪威奥斯陆 (Oslo) 的标本, 显示胎管, 生长线和笔石体始部的原始枝 (Oslo, $\times 5$, Showing sicula, growth-lines and primary stipes of the rhabdosome)
b, c. 理想再造图: 翼片构造(b)和球形浮泡 (c) (Diagrams illustrating alternative interpretation of the “basal organ” as a vane structure (b) or a sphaeroidal vesicle (c) respectively)

rmmer (1933, 1935) 首先把奥斯陆附近 *Dictyonema* Shale 中 *Dictyonema flabelliforme* (s. l.) 3 个标本的“基部构造解释为浮泡或气泡, 而不是根形构造, 但因保存于黑色页岩中, 薄膜构造难于细述”。Bulman (1938) 一直认为这种基部构造是偶然的包卷或笔石体始部短茎上的附着盘 (Attachment disc) 压缩而成, 至 1964 年, Bulman 还认为是反常状态, 是罕见的现象 (Bulman, 1964, p. 466)。直到 1971 年, Bulman 和 Stormer 一起研究挪威奥斯陆和英国威尔士特马豆克期的具有漂浮器官的 *Dictyonema flabelliforme*, *Dictyonema flabelliforme anglicum* 和 *Dictyonema flabelliforme norvegicum* 时才发现由翼囊或翼片组成漂浮器官, 他们推测翼囊或翼片由 3—4 片组成 (插图上是 3 片), 互成 120° 夹角, 并认为数目的多少受笔石体原始枝数目的制控。简言之, 它们是从原始枝始部生出的。由于薄膜保存, 看不到翼囊或翼片与胎管的关系 (插图 1)。Obut (1961) 描述的苏联南乌拉尔特马豆克阶的 *Dictyonema uralense* (2 个标本) 具有类似的构造, 他亦认为是气囊 (pneumatocyst), 但未加详述。

本文作者之一 (林尧坤) 在吉林浑江大阳岔进行寒武-奥陶系界线工作时, 在奥陶纪冶里组底部 *Dictyonema flabelliforme-Staurograptus*

dichotomus 带的下部发现带有三翼漂浮构造的 *Dictyonema proparabola* 动物群, 数量众多且

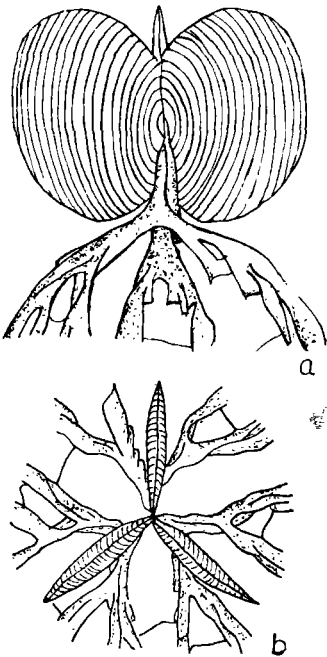


插图 2 三翼漂浮构造及笔石体始端理想再造图
(Structural diagram displaying three-vaned floating structure and proximal end of the rhabdosome)
(据林尧坤, 1986)

a. 侧视 (Lateral view); b. 上视 (Top view)

保存精美。之后,进行了详细的描述和讨论 (Lin Yao-kun, 1986), 并使用三翼漂浮构造 (Three-vented floating structure) 的术语来代表这种原始的漂浮器官 (插图 2)。

这种三翼漂浮构造可以包括如下几个特点: 1) 翼片不受笔石体原始枝 (3 或 4 枝) 制约, 均为 3 片, 位于胎管顶端, 以胎管和纤短的线管为轴, 相互之间夹角 120° 左右, 局部或全部地包裹胎管或线管; 2) 翼片呈半圆形或肾圆形, 保存好的标本可以见到以胎管或线管顶端为圆心的清晰的同心圆形的生长线, 这种现象说明翼片是由胎管通过线管顶孔分泌外胞管组织 (extrathecal tissue) 而成的; 3) 翼片下伸最大限度可达笔石体始部的原始枝, 向上分裂成花瓣状; 4) 在笔石体幼年阶段翼片可能随笔石体的增大而增大, 但一定时期后生长缓慢或停止, 说明翼片不是无限生长的。三翼构造除作为漂浮器官的功能之外, 可能在其幼年阶段还起到笔石体的平衡稳定作用。

本文描述的 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* 和 *Callograptus turriculatus* 的若干标本亦具有这种三翼漂浮构造的特征 (插图 3, 4), 在有的标本上偶见翼片一直接触到笔石体始部的原始枝, 似呈包裹状 (插图 4c), 这和 *Dictyonema proparabola* 动物群的笔石翼片略有差异。但它们无疑是真正原始的漂浮笔石。从地层时代来看, 它们比早奥陶世最早期的 *Dictyonema proparabola* 动物群还要古老, 是至今中国以致世界上最古老的带三翼构造的漂浮树形笔石。

漂浮树形笔石由底栖树形笔石演化而来, 使人联想到固着底栖笔石的基盘或基部器官 (Basal disc or basal organ) 演变为漂浮器官 (Floating organ) 或称作浮泡或气囊 (vesicle or pneumatocyst) 而成为漂浮型树形笔石。从形态上说, 这种观点似乎还能接受。最近 Kirk (1979) 提出假说, 她认为底栖的 *Dictyonema* 蹼形的基盘 (Basal disc) “拔地而起”而形成三翼漂浮构造的漂浮的 *Dictyonema flabellifor-*

me, 但她无实例和化石依据。我们在晚寒武世-早奥陶世发现带三翼构造的 *Dictyonema* 或其它漂浮笔石 (如 *Callograptus*) 无疑是对她的假设提供了有力的证据, 当然我们还是认为固着底栖演变为漂浮生长最关键的问题是笔石体生长方向随之改变。这是和 Kirk 的假说最根本的差别。这类原始漂浮笔石刚脱离固着生活状态, 刚演化为漂浮生活方式, 它们的漂浮状态可能先水下, 后表层, 可能忽上忽下, 东歪西倒, 它们的漂浮能力极微弱, 与奥陶纪初期漂浮的树形笔石、正笔石类是无法比拟的。

晚寒武世带三翼构造的漂浮树形笔石群的发现, 更加深了穆恩之 (1953, 1955) 所提出的 *Dictyonema wutingshanense* Mu 是最早的漂浮笔石动物群的论证, 说明此时底栖固着海底的树形笔石已开始向漂浮类型演化, 但它们全盛时期是在寒武-奥陶纪转换之时。穆恩之 (1984) 把上寒武统的树形笔石作为一个独特演化阶段的产物, 称为树形笔石动物 (Dendrograptid fauna), 作为笔石演化阶段中第一个笔石动物群, 和反称笔石动物群 (Anisograptid fauna)、对笔石动物群 (Didymograptid fauna)、叉笔石动物群 (Dicellograptid fauna) 和单笔石动物群 (Monograptid fauna) 相对应。

三、属种描述

网络笔石亚科 *Dictyoneminae* Mu, 1953

网络笔石属 Genus *Dictyonema* Hall,

1851

五顶山网络笔石安徽亚种 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* Lin

(图版 I, 图 1—6; 图版 II, 图 5; 插图 3)

1980 *Dictyonema wutingshanense anhuiense* Lin, 陈均远等, 190 页, 图版 VI, 图 11。

1982 *Dictyonema wutingshanense anhuiense*, 安徽省地质局区域地质调查队, 16 页, 图版 1, 图 5。

1987 *Dictyonema* sp. (cf. *Dictyonema wutingshanense anhuiense*), 林尧坤, 163 页, 图版 1, 图 4; 插图 4。

材料 共 7 个比较完整的标本, 呈炭质薄膜或部分地黄铁矿化半立体状保存于灰黑色、

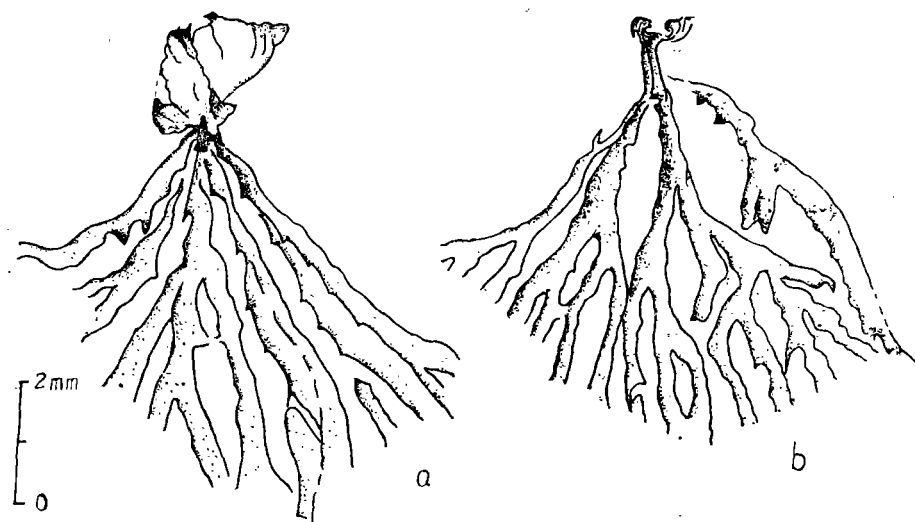


插图3 *Dictyonema wutingshanense anhuense* Lin; 示笔石始部, 胎管和三翼漂浮构造 (Showing proximal end, sicula, and three-vented floating structure)

登记号: a. 103520; b. 103525。

灰褐色、灰黄色薄层灰岩中。

描述 笔石体为圆锥形, 轴角 80° — 100° , 长宽之比为 6:4—10:9, 最大的标本高 30—60 mm, 宽 27—30 mm, 可见到 3 个原始枝。笔石枝纤细, 直或微曲, 排列平行, 枝宽约 0.3—0.5 mm, 分枝角 5° — 10° , 始部似呈分枝带, 向末部分枝距离不等, 分枝带不显, 相邻两枝间距大于枝宽 (2 倍) 或等于枝宽, 10 mm 距离内有 12—14 枝。横靶稀少, 纤细, 其宽与笔石枝接近或略细, 与相邻笔石枝相垂直或斜交。一般仅见于笔石体的末部。胎管为细长锥形, 原始枝的始芽从胎管近顶部的原胎管部分生出, 沿胎管壁向下到胎管口部时分枝, 成 3 个原始枝。胎管顶端为漂浮器官——三翼构造的基部所包裹, 保存高度为 2 mm, 宽 2 mm, 似豆形, 其表面似有同心圆形的生长线 (插图 3)。

胞管 (正胞管) 直管状, 仅见于侧压的笔石枝上, 呈锯齿状, 腹缘直, 口缘平, 口尖外突, 正压枝上只见一连串圆形印痕, 为胞管口部痕迹, 5 mm 内具有 7—8 个胞管。副胞管为细小维管, 相间交错于正胞管的一侧。

比较 当前所描述的标本和笔者之一 (林

尧坤, 1980) 所描述安徽萧县庄里的 *Dictyonema wutingshanense anhuense* Lin 的正模标本无论在笔石体形状还是基本特征上均最为接近。但后者始部断去, 对笔石体始部特征, 原始枝数目, 胎管的形状, 漂浮器官等方面性质都无法推测。当前标本多 (7 个), 保存较好, 其中有 2 个具较清楚的漂浮翼片。

当前标本和穆恩之 (1953, 1955) 所描述辽宁辽阳五顶山上寒武统凤山组的 *Dictyonema wutingshanense* Mu 的正模标本相比较, 前者同样具有明显的 3 个原始枝, 纤细的笔石枝和笔石体末部具有明显的、稀疏的横靶, 但笔石体较大, 分枝较多。*D. wutingshanense* 的模式标本具有浮泡位于胎管顶端。由于这种标本太少 (仅 1 个), 到底是浮泡还是翼片尚待今后有较多的标本时进行深入研究。

从笔石体的大小看, 当前种与 *Dictyonema wutingshanense mojar* Lin (1983) 较接近, 但后者笔石枝较为粗壮 (0.4 mm), 笔石枝平行性质明显, 胞管排列疏松, 特征差别是明显的。

上述 3 种 (或亚种) 网格笔石的特征数据比较, 可见林尧坤 (1983) 的附表。

产地层位 山东新泰纸坊庄; 上寒武统凤山组 *Dictyonema wulingshanense* 带(相当三叶虫带 *Quadrancephalus* 带)。

无羽笔石亚科 *Callograptinae* Mu, 1953

无羽笔石属 *Genus Callograptus*

Hall, 1865

塔形无羽笔石 *Callograptus turriculatus* Lin

(图版 II, 图 1—4; 插图 4)

1982 *Callograptus turriculatus* Lin, 林尧坤, 679 页, 图版 II, 图 7。

材料 共 4 个比较完整的标本, 呈炭质薄膜状保存于褐灰色薄层灰岩中。

描述 笔石体为细长锥形, 末部加宽呈扇形, 长宽之比为 1:1, 完整的标本高 30—26mm, 宽 32—27.5mm, 轴角 50° — 60° , 向末部扩大为 100° — 110° , 从胎管生出 3 个原始枝。笔石枝直或微弯曲, 正压宽度 0.4mm, 侧压 0.5—0.6mm, 正分枝, 始部分枝带明晰, 向末部分枝较少, 相邻两枝间间距小, 和笔石枝宽相当或略

宽于枝宽, 10mm 内有 12—14 枝。未见横靶(插图 4)。

胎管为细长锥管, 其顶端有 1 个卵圆形浮泡或翼片, 直径 1.1—1.2mm。

胞管(正胞管)直管状, 仅见侧压枝上保存为锯齿形; 正压枝上只见一系列圆孔, 为胞管的口部印痕, 腹缘直, 口缘平, 口尖不显, 相邻胞管掩盖为其长的 $1/4$, 倾角 20° — 25° , 10mm 内有 15—16 个胞管。副胞管性质不明。

比较 所描述标本和 *Callograptus turriculatus* Lin 正模标本(林尧坤, 1982)最为接近, 可视为同一种。这种笔石的笔石体始部尖削(轴角 50° — 60°) 然后迅速增宽(100° — 110°), 使其形成瓢形或瓶颈形笔石体, 可与其同层位的 *Callograptus* 相区别。

笔石体始部胎管顶端有 1 个卵圆形浮泡或翼片显示出这是一种营漂浮生活的无羽笔石。从笔石体形状分析, 这种笔石起初是下垂生长, 轴角很小; 向末部锥体加宽, 轴角加大。明显地向水平方向拉开和水平向生长的趋势。这样可使笔石体增强漂浮能力和使笔石虫体有更多

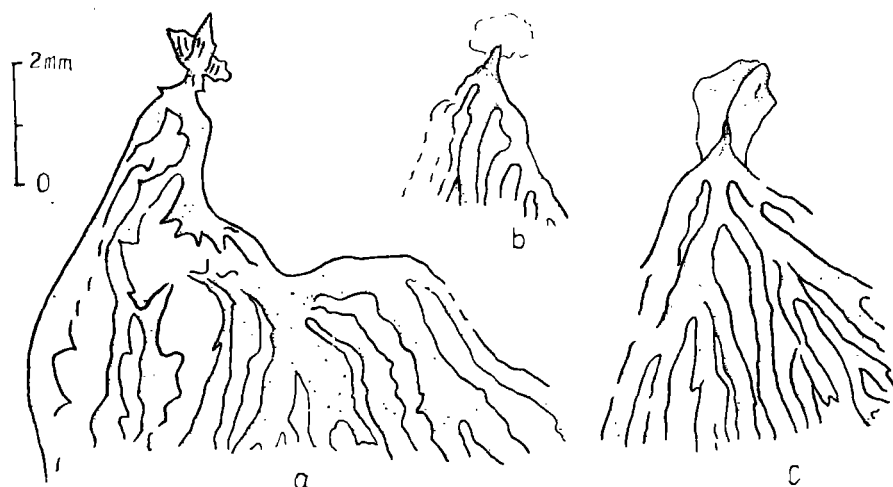


插图 4 *Callograptus turriculatus* Lin 示笔石体始部、胎管和三翼漂浮构造 (Showing proximal part of rhabdosome, sicular and three-vaned floating structure)

- 三翼构造的三翼片 (three-vaned of floating structure); 登记号: 103529。
- 胎管和部分翼片 (Sicular and parts of vanes); 登记号: 103531。
- 胎管和二个翼片 (Sicular and two vanes); 登记号: 103530。

的机会摄取食物和营养, 促进笔石动物更好地繁衍。同时也可得知这是一种原始的、脱离固着状态生活不久的漂浮无羽笔石。从笔石体锥形的改变、轴角的增大和笔石枝的增多反映出这种原始漂浮笔石的特点。

产地层位 同上。

细枝无羽笔石(比较种) *Callograptus* *cf. ramusculus* Lin

(图版 II, 图 7)

Cf. 1982 *Callograptus ramusculus* Lin, 林尧坤, 678—679 页, 图版 II, 图 8, 9; 插图 2。

材料 一个残破的笔石标本, 炭质薄膜状保存于薄层灰岩中。

描述 笔石体不全, 但可见其形状为锥体, 保存高度 17mm, 宽 16mm, 轴角约 70°。笔石枝劲直, 正压时宽度为 0.3—0.4mm, 侧压约 0.6mm, 正分枝, 分枝规则, 似呈分枝带, 分枝角 30°—40°, 相邻两枝间的距离大于枝宽 2—3 倍, 5mm 内有 6—7 个枝。

胞管(正胞管)位于侧压的笔石枝的一侧, 呈锯齿状, 腹缘内凹, 口缘平, 口尖外突醒目, 相邻胞管掩盖约为其长的 1/3, 倾角 20°, 2.5mm 内有 3 个胞管(5mm 内约 6 个)。副胞管性质不明。

比较 这次描述的标本比较破碎, 但其基本特征和 *Callograptus ramusculus* Lin 较为接近, 差别在于当前标本笔石体较大, 笔石枝的宽度略小于后者的模式标本。这可能也是一种营漂浮生活的 *Callograptus*, 但我们的标本始部未保存下来。

产地层位 同前一种。

无羽笔石(未定种) *Callograptus* sp.

(图版 I, 图 7)

材料 仅有 1 个比较完整的标本(始端未保存), 保存于灰褐色灰岩中。

描述 笔石体呈宽锥形、扇形, 始端残缺, 保存高度 27mm, 宽 48mm, 轴角 130°, 笔石枝直、粗壮, 正压宽度 0.5—0.6mm, 侧压为

0.8—1.0mm, 正分枝, 始部分枝有规则, 间距为 4—5mm, 分枝角 15°—20°, 向末部分枝少, 不规则, 分枝带不显, 相邻两笔石枝间距离不等, 因笔石体不同部位而不同, 10mm 内有 7—11 枝, 未见绞结和横靶。

胞管(正胞管)见于侧压枝的末枝上, 保存为锯齿状, 腹缘内凹或挺直, 口缘平或外突, 口尖明显, 似带钩形, 相邻胞管掩盖少, 约为其长的 1/4, 倾角 20°左右, 5mm 内有 5—6 个胞管。副胞管性质不明。

比较 这是一种笔石体宽大、轴角大的宽锥形无羽笔石, 以此可与同层位发现的 *Callograptus* 相区别。但仅 1 个标本, 且胎管、笔石体始部特征未曾保存, 故暂不定种名。

当前的 *Callograptus* sp. 从笔石体形状、特别是始部分枝等特征看, 与 Berry 和 Norford (1976) 所描述的加拿大育空地区西北部上寒武统 Road River Formation 下部的 *Callograptus* sp. 2 比较接近, Berry 等当时也因标本(仅 2 个)保存较差而未定种名。我们的标本和 *Callograptus* sp. 2 的一个末部标本(Pl. II, fig. 1)的笔石枝分枝和宽度等特征(为 0.4—0.6mm)比较接近。和另一个标本(Pl. I, fig. 5)相比, 后者笔石枝纤细, 仅 0.3—0.4mm, 相邻枝之间距离变化较大(0.7—7mm 之间)。总之, 两者之间相近, 但由于标本少和残缺, 难于确切对比。

产地层位 同前一种。

参 考 文 献

- 王 钰、卢衍豪、杨敬之、穆恩之、盛金章, 1954: 辽东太子河流域地层(1)。地质学报, 34 卷, 1 期, 17—64 页。
- 安徽省地质局区域地质调查队, 1982: 安徽笔石化石。1—166 页。安徽科学技术出版社。
- 朱兆玲、林尧坤、梁宗伟, 1986: 鲁中南地区上寒武统树形笔石及其与三叶虫带的关系。山东古生物地层论文集, 11—15 页。海洋出版社。
- 陈均远、周志毅、邹西平、林尧坤、杨学长、李自堃、齐敦伦、王树桓、许华忠、朱训道, 1980: 苏鲁皖北方型奥陶纪地层及古生物特征。中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 16 号, 159—195 页。科学出版社。
- 林尧坤, 1980: 中国寒武纪笔石和笔石序列。地层学杂志, 4 卷, 2 期, 129—135 页。

- , 1982: 寒武纪树形笔石的记述。古生物学报, 21 卷, 6 期, 672—684 页。
- , 1983: 辽宁太子河流域上寒武统笔石。古生物学报, 22 卷, 3 期, 262—277 页。
- , 1983: 华北区寒武-奥陶纪笔石序列并论寒武-奥陶系界线。安徽地层古生物, 第一期, 7—11 页。
- , 1987: 鲁中南地区上寒武统树形笔石。中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 23 号, 155—186 页。科学出版社。
- 穆恩之, 1953: 辽东太子河流域笔石的初步研究。古生物学报, 1 卷, 1 期, 23—35 页。
- , 1955: 中国树形笔石。中国古生物志, 新乙种, 第 5 号, 1—62 页。科学出版社。
- , 1974: 正笔石及正笔石式树形笔石的演化、分类和分布。中国科学, 2 期, 174—183 页。
- , 1986: 许杰教授对笔石的研究。中国地质科学院院报, 12 号, 5—20 页。
- Berry, W. B. N. and Norford, B. C., 1975: Early Late Cambrian dendroid graptolites from Northern Yukon. -Bull. 256, Geol. Surv. Canada, Contribution to Canadian Soc. London, pp. 1—7.
- Bulman, O. M. B., 1964: Lower Palaeozoic Plankton. -Quart. Jour. Geol. Soc. Lond., 120: 455—476.
- and Stormer, L., 1971: Buoyancy structures in rhabdosomes of *Dictyonema flabelliforme* (Eichwald). -Norsk Geol. Tidssk, 51: 25—31.
- Kirk, N. H., 1979: Thoughts on coloniality in the Graptolithina. In Larwood, G. and Rosen, B. R. (ed.), Biology and systematics of colonial organisms. Systematics Association Special, 11: 411—432. -Acad. Press, London and New York.
- Lin Yao-kun, 1986: A new planktonic graptolite fauna. In Chen Jun-yuan (ed.): Aspects of Cambrian-Ordovician Boundary in Dayangcha, China. pp. 224—254. China Prospect Publishing House.
- Mu En-zhi, 1984: Development stages of graptolites and stratigraphic boundaries. Academia Sinica Developments in Geoscience Contribution to 27th International Geological Congress 1984, Moscow, pp. 79—85. Science Press, Beijing.
- Obut, A. M., 1961: Graptolity tremadokckikh i smezhnykh s nimi otlozheni Aktubinskoy i Orenbyrgskoy Oblac-tei. Tr. Inst. Geol. Acad. Nauk SSSR, 18: 146—150.
- Rickards, R. B., 1975: Palaeoecology of the Graptolithina, an extinct class of the phylum Hemichordata. -Biol. Rev., 50: 397—436.
- Ruedemann, R., 1933: The Cambrian of the Upper Mississippian Valley, Pt. III, Graptolitoidea. -Bull. Pub. Mus. Milwaukee, 12(3): 307—348.
- Stormer, L., 1933: A floating organ in *Dictyonema*. -Norsk Geol. Tidsskr., 13: 102—112.
- , 1935: Additional remarks on the presence of a floating organ in *Dictyonema flabelliforme* (Eichw.). -Ibid., 14: 316—318.

[1987 年 5 月 11 日收到]

DENDROID GRAPTOLITES IN *DICTYONEMA WUTINGSHANENSE* ZONE (UPPER CAMBRIAN) AND THEIR THREE-VANED FLOATING STRUCTURE

Lin Yao-kun

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica)

Liang Zong-wei

(Shandong Institute of Geological Sciences)

Summary

In recent years, many Cambrian dendroid graptolites have been discovered in the North China Region with five graptolite horizons worked out from the Upper Cambrian by Mu En-zhi (1953, 1955) and Lin Yao-kun (1980, 1982, 1983). Nearly all these primitive graptolites belong to the family Dendrograptidae, and therefore the

Cambrian graptolite fauna has been named the Dendrograptid fauna, representing the first stage in the development of graptolites (Mu En-zhi, 1984).

Dictyonema wutingshanense was first described in 1953 by Mu En-zhi from the Taizihe valley, Liaoning, China; associated with this graptolite

are the trilobites *Quadricephalus* spp., etc. From this assemblage, it can be seen that the *Dictyonema wulingshanense* Zone erected by Mu En-zhi (1953) is corresponding in age to the trilobite *Quadricephalus* Zone of the Upper Cambrian Fengshan Formation in North China. According to Mu's opinion (1953), the *D. wulingshanense* Zone is probably corresponding to the Lodi Shale graptolite zone of the Trepealeau Formation in North America.

Since Mu En-zhi erected the *D. wulingshanense* Zone, simultaneous faunas have been reported from many localities such as Pianguan of NW Shanxi, Qingshuihe of S. Nei Monggol (Inner Mongolia), Liaoyang and Benxi of Central Liaoning, Xiaoxian of N. Anhui and Xintai of Central-South Shandong in the North China Region. The dendroid graptolites dealt with in the paper were collected from the *D. wulingshanense* Zone in Wennan, Zhifangzhuang village, Xintai county of Shandong by one of the writers (Liang) during a field excursion in the summer of 1983. They comprise 4 species in 2 genera (*Dictyonema* and *Callograptus*) as listed below: *Dictyonema wulingshanense anhuiense* Lin, *Callograptus turriculatus* Lin, *C. cf. ramusculus* Lin and *C. sp.*

The dendroid graptolites of the *D. wulingshanense* Zone in the North China Region are mostly new oriental or endemic species, with only a few forms, such as *Callograptus staufferi* Ruedemann, *Dendrograptus hallianus* (Prout) (s. l.), etc. formerly known from the Upper Cambrian Trempealeau Formation in North America. The presence of a distinct sicula and a floating organ (vesicle or three-vaned floating structure) in *Dictyonema wulingshanense* (s. l.), *Callograptus turriculatus*, etc. indicates that the most primitive *Dictyonema* and *Callograptus* were probably planktonic in habit. On the other hand, the presence of a thickened stem with a disc of attachment in *Callograptus pennatus*, *Airograptus anfractus*, *Dendrograptus cepaceous*, etc. reveal that they were benthonic forms in the Cambrian sea. In addition, the dendroid graptolites as mentioned above and the associated shelly fauna might have lived in shallow water, probably providing evidence of

an euphotic zone environment.

The change in the growth direction of rhabdosome was the main trend in the evolution of dendroid graptolites, which strengthened their floating force when changing their mode of life from benthonic to floating. The benthonic dendroid graptolites were obviously different from the floating ones. Even among the floating dendroids, their forces were, as a matter of fact, quite different. Some Cambrian siculate *Dictyonema* and *Callograptus* with floating organs were certainly living a floating life, but they were not so strong in force as Ordovician dendroids, graptodendroids and graptoloids, probably drifting on or beneath the surface of water.

Among the well-preserved specimens described in the present paper, a majority of the *Dictyonema wulingshanense anhuiense* and *Callograptus turriculatus* consist of a roughly semicircular discoid structure situated in the terminal position of the rhabdosome's proximal end, indicating that the dendroid graptolite fauna from Xintai belongs to a primitive planktonic group, but the graptolites have undergone a sessile to planktonic mode of life which lasted only for a short time. In all cases, when the structures of such organs are known, there are two-dimensional structures with three vanes forming angles of about 120° with one another, attaching along a central axis-nema. The number of vanes has no relation to the number of primary stipes. On the surface of the vane there appear semicircular concentric growthlines around the apex of the sicula or the terminal end of the nema (text-fig. 2), indicating that the vanes have been secreted and extended from the short hollow nema or the apex of the sicula at the proximal end of the rhabdosome. Here the term "three-vaned floating structure" was used by Lin Yao-kun (1986), one of the writers of the paper, for the floating organ. This structure might have evolved from the "basal organ" (disc attachment) of the benthonic dendroids, when they went through a sessile to planktonic mode of life as a stabilizer to rotation (after Kirk, 1979). In our study, evidences reveal the existence of a floating organ, but not a root-like structure at the rhabdo-

some's proximal end; here the floating organ is a three-vaned structure, but not a group of spheroidal vesicles separated from one another. With the growth of the rhabdosome, these vanes gradually grow larger and larger.

Especially, the dendroid graptolites with the three-vaned floating structure in the *Dictyonema wulingshanense* Zone of the Upper Cambrian Fengshan Formation are considered as the oldest ones in China and even in the world up to now.

图 版 说 明

标本均采自山东新泰汶南纸坊庄上寒武统凤山组 *Dictyonema wulingshanense* 带(包括在三叶虫 *Quadricephalus* 带内)。所有标本保存于中国科学院南京地质古生物研究所。图版中的照片未加润饰。

图 版 I

1—6. *Dictyonema wulingshanense anhuiense* Lin

1, 2. $\times 3$, 一个标本的正反面, 笔石体胎管顶端保存有三翼漂浮构造。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103520a-b。

3. $\times 3$, 示笔石体末部带稀疏、排列不规则的横耙。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103521。

4, 5. $\times 2.4$, 二个比较完整的笔石体。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103526, 103527。

6. $\times 3$, 带发育的三翼漂浮构造的笔石体。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103525。

7. *Callograptus* sp.

$\times 3$, 比较完整的笔石体, 但始端未保存。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103533。

8. *Dendrograptus cepaceus* Lin

$\times 6$, 正模 (Holotype), 始部有根状附着盘。采集号: XWF26a; 登记号: 68093。

图 版 II

1—4. *Callograptus turriculatus* Lin

1. $\times 2.5$, 完整的笔石体, 始端保存翼片。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103529。

2, 3. $\times 3$, 示始端漂浮翼片。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103531, 103532。

4. $\times 2.7$, 完整的笔石体, 始端拥有三翼构造。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103530。

5. *Dictyonema wulingshanense anhuiense* Lin

$\times 3$, 破碎标本, 示笔石体和横耙。采集号: $\times 2-1$; 登记号: 84500。

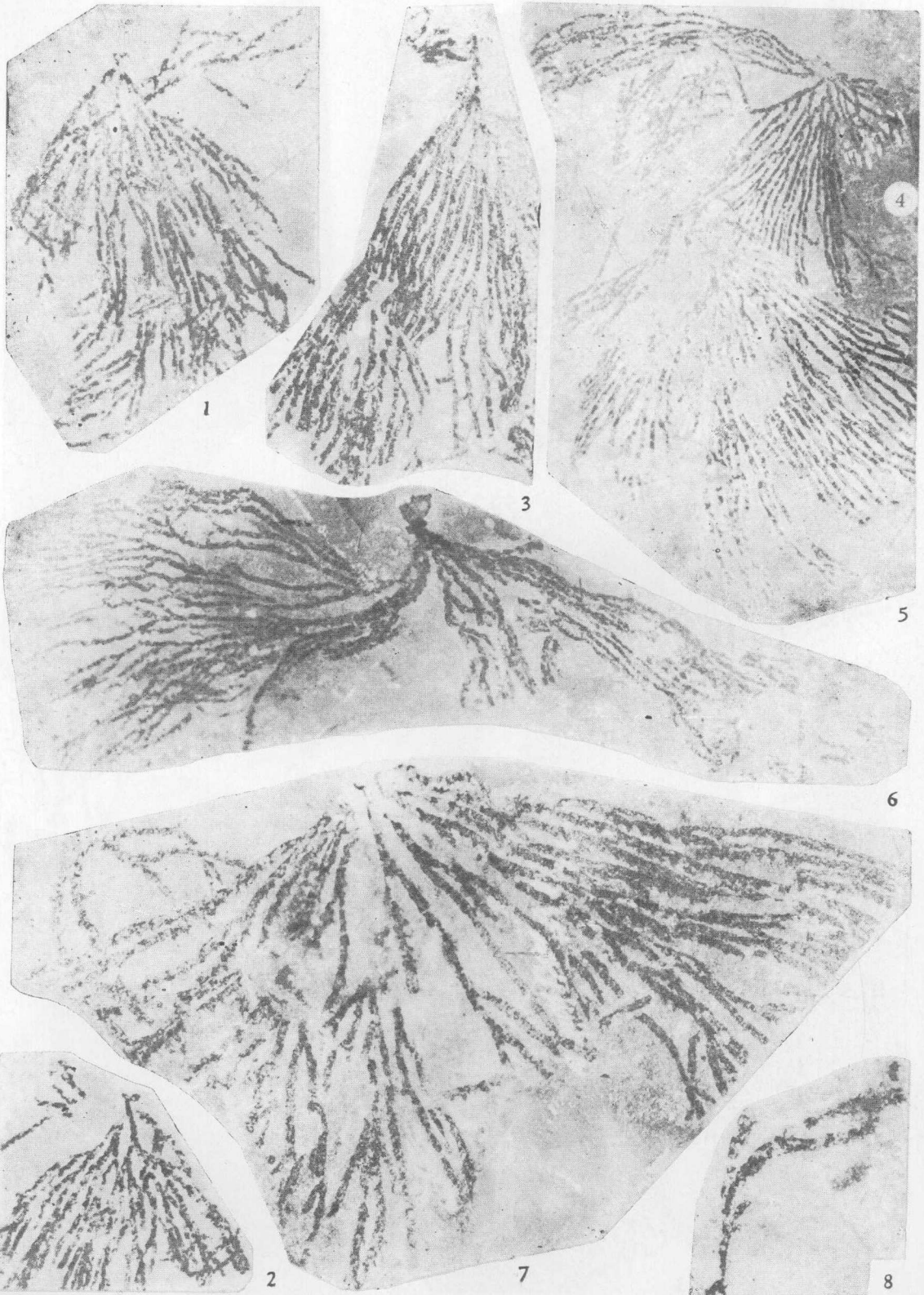
6. *Callograptus pennatus* Lin

$\times 3$, 完整的笔石体, 始部有短茎和锚形附着盘。采集号: $\times Z-1$; 登记号: 84541。

7. *Callograptus* cf. *ramusculus* Lin

$\times 3$, 缺失始部的笔石体。采集号: LXWZ-1; 登记号: 103528。

Dendroid Graptolites in *Dictyonema wulingshanense* Zone (Upper Cambrian) and
Their Three-veded Floating Structure



林尧坤、梁宗伟：上寒武统 *Dictyonema wulingshanense* 带的树形笔石及其三翼漂
浮构造

图版 II

Dendroid Graptolites in *Dictyonema wulingshanense* Zone (Upper Cambrian) and
Their Three-ved Floating Structure

Plate II

