

北京永定河谷中新元古界雾迷山组 叠层石生长控制因素探讨*

黄敏¹⁾ 苏德辰²⁾ 蒋子堃^{1)*} 刘本培³⁾ 陆晨明³⁾ 赵彦旭⁴⁾ 孙爱萍²⁾ 褚智慧⁵⁾

1) 中国地质科学院, 北京 100037, huangmin0528@163.com, jiangmaomao_925@sina.com;

2) 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

3) 中国地质大学, 北京 100083;

4) 河南省洛阳地震台, 洛阳 471021;

5) 同济大学海洋科学与技术学院, 上海 200092

提要 北京永定河谷庄户洼剖面中新元古界雾迷山组产出大量叠层石。本文对其形态进行分析测量, 获得叠层石优势生长方向的雷达图, 结合雾迷山组时期古板块方位、波痕构造所指示古水流方向及当时的构造应力方向等信息进行分析, 对叠层石形态生长控制因素进行综合探讨。分析表明, 因雾迷山组形成时期华北板块位于赤道附近, 永定河谷庄户洼剖面雾迷山组叠层石形态不受阳光控制, 控制其形态的主要因素是古水流。另外, 构造应力活跃所引起的古地震频发导致了软沉积物向深海滑塌也影响了叠层石的生长形态, 硅质填充物在后期破坏了叠层石的形态。对叠层石形态生长控制因素进行分析探讨, 可帮助理解叠层石形态生长机理和古环境, 具有重要的地球生态学意义。

关键词 叠层石 生长控制因素 生态学 雾迷山组 华北板块

1 前言

叠层石(Stromatolites)是一类特殊的层纹状生物沉积构造, 从最初发现到现在已经有两百多年的研究历史(Monty, 1977)。1974年, Awramik等将叠层石定义为:“叠层石是以蓝菌(蓝藻)为主的微生物, 在生长和新陈代谢活动过程中粘附和沉淀矿物质或捕获矿物的颗粒而形成的一种生物沉积构造”(见Walter, 1976), 现在则被解释为微生物碳酸盐岩的典型代表(Riding, 2000, 2006)。目前, 普遍认为叠层石礁和柱体某些宏体特征受生长环境影响较大(曹瑞骥、袁训来, 2009)。这些生长因素多样且复杂, 包括水流、基本层的微生物群落变更、藻植物生活的排气能力、周期性水深、沉积速率变化、潮汐、光照等。

排除掉微生物自身的生长因素, 如生长速率、排

气作用等, 能影响其生长的外在因素包括阳光、水深、水流、基岩、沉积速率等。前人对现生及化石叠层石向阳性有过探讨, 但仍存在一些争议, 如Monty(1967, 1976)通过对巴哈马 Andros 岛的现生叠层石研究后, 认为 *Phormidium hendersonii* 丝体随着日照变化而运动的习性造成了叠层石韵律层的产生, 这表明形成叠层石的微生物与植物相似, 都受到日光的影响而产生形态变化。Kusky 和 Vanyo(1991)研究认为黄石公园中“微生物束倾斜的原因不是水流方向, 而是来自南方的光照”, 因为无论公园内的水流方向是什么, 公园内生长的倾斜体都倾向地理南方。Kusky 和 Vanyo(1991)认为叠层石的向阳性包含了倾斜的叠层石柱和(或)正弦曲线柱的平面, 并可利用其记录太阳与其生长地层位置, 从而推测古经度线。除了阳光之外, 其他因素也可能是柱体倾斜的原因。Hoffman(1976)报道了单个柱体向水流方向倾斜和许多小柱群体丘沿水流方向拉长

收稿日期: 2016-11-18

* 中国地质科学院基本科研业务费项目(编号 YWF201608 和 201609)和国家自然科学基金青年基金项目(编号 4140020745)资助。

** 通讯作者。

的现象。Williams 等(2007)研究澳大利亚阿玛尼斯盆地中的现生柱状叠层石后,却认为“柱状叠层石不具向阳性的特征,而水流和生长速度才是干扰其生长的主要因素”。对叠层石形态生长控制因素进行分析探讨,可帮助理解叠层石形态生长机理和古环境,具有重要的地球生态学意义。

现生叠层石分布较为局限,著名产地有巴哈马的 Andros 岛和澳大利亚的鲨鱼湾。国内现生叠层石也有局部分布,如福建东山岛海滩,但生长不如前二者良好。华北地区是巨厚中、新元古界的沉积区。中、新元古界包括长城系、蓟县系、青白口系,在华北地区,包括北京周边、天津、河北等地区广泛分布。长城系、蓟县系有丰富的生长于平静水体环境下、沉积序列连续完整的叠层石化石,因此华北地区的中元古代地层中的叠层石是研究叠层石生长控制因素的良好材料。

2 地质概况

雾迷山组是北京地区出露面积最广、沉积厚度最大的地层单元,永定河谷雾迷山组厚 1 800 m,形成于相对广阔且长期沉降稳定的浅水沉积环境中,岩性以白云岩为主,还有一些硅质白云岩。乔秀夫等(2007)、高林志等(2007)、李怀坤等(2014)重新厘定了中新元古代划分方案与时限,确定雾迷山组的形成时间约为 1 485 Ma。

永定河谷雾迷山组剖面位于北京市门头沟区永定河流域庄户洼村(插图 1),苏德辰和孙爱萍(2011)对该剖面软沉积物变形层进行了研究,识别出 29 个可能由古地震引起的变形层,如环状层、板刺构造、丘-槽构造等,并对当时古地震发生频率进行了初步估算,约为 3.2—2 万年一次地震。剖面位

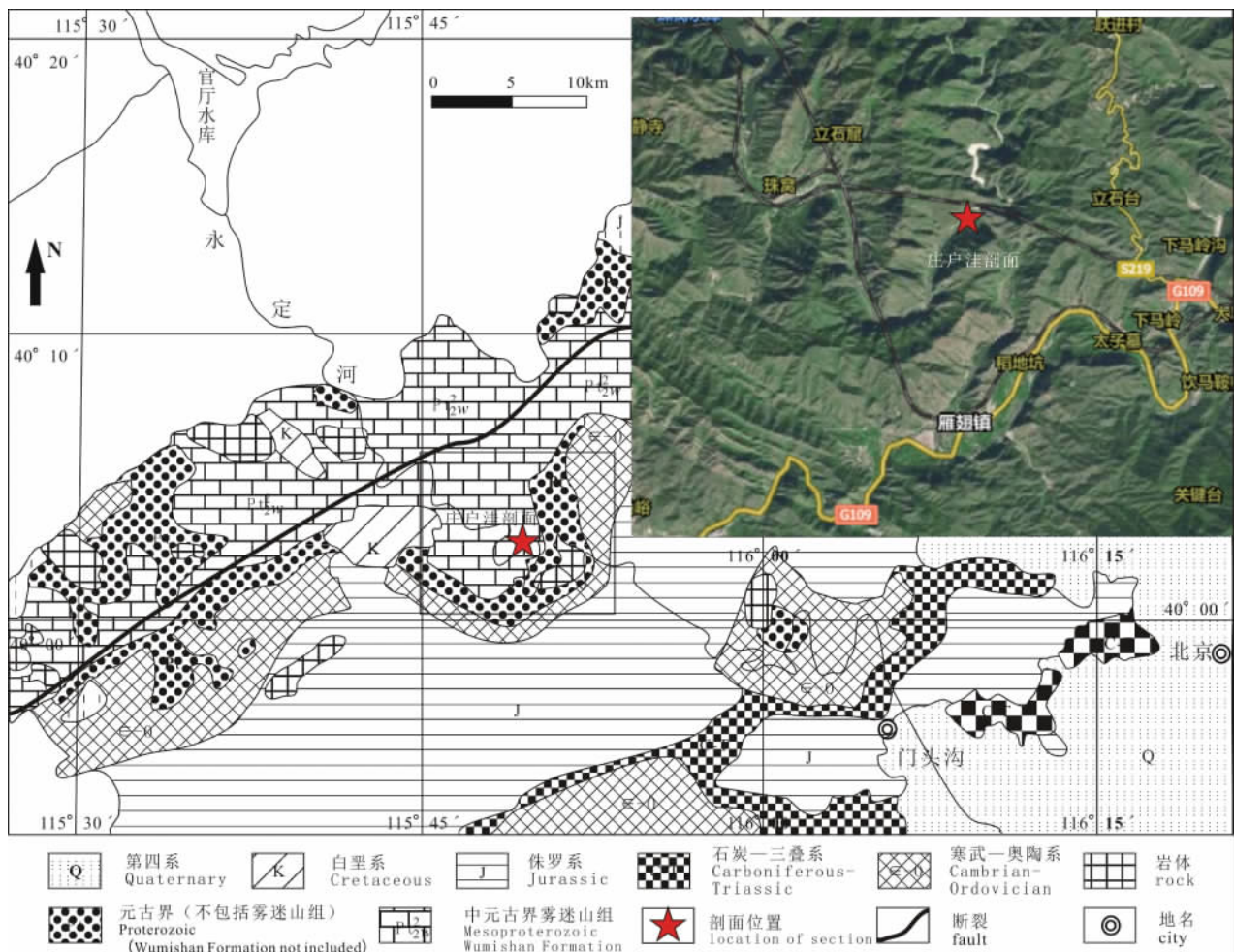


插图 1 北京永定河谷庄户洼剖面地质图及地理位置示意图(修改自苏德辰、孙爱萍,2001)

Geological map and location of the Zhuanghuwa section in Yongding River Valley, Beijing(modified from Su and Sun,2001)

于永定河谷的河床内,露头点 GPS 参考坐标为 $115^{\circ}49'36''\text{E}$, $40^{\circ}2'52''\text{N}$ 。该剖面厚度约为 20 m,主要为中厚层的白云岩、硅质白云岩、角砾白云岩等组成,可见清晰且完好的波痕、斜层理、泥裂等构造,广泛发育叠层石。叠层石主要可分为两层:一是位于苏德辰和孙爱萍(2011)文中所指 K 层(环状层)附近的大平台上,即本文所建立的岩性柱状图 J 段(插图 2),以层圈状藻席为主要发育状态,藻席均被后期硅化,同时因构造运动,又叠加了呈隆起状态的二次硅质条带;二是位于苏德辰和孙爱萍(2011)文中所指 P 层(大型地裂缝)附近的柱状叠层石,即本文所建立的岩性柱状图 O 段,呈硅化或未完全硅化状态。

2016 年 4 月,笔者同项目组成员对永定河谷庄户洼剖面进行了考察与复核,建立了岩性柱状图(插图 2)。同时,主要对前述大平台处的第一层叠层石形态进行了分析测量,以期对叠层石形态生长控制因素进行综合分析。

3 叠层石形态描述与统计分析

3.1 叠层石形态描述

在苏德辰和孙爱萍(2011)文中所指 K 层(环状层)附近的大平台上,即本文所建立的岩性柱状图 J 段,发育大量叠层石。在岩性为白云岩的大平台,即层理面上,可见大量硅化叠层石层圈结构,形状呈不规则圆形、椭圆形,分布密集,少数叠层石层圈结构连在一起,直径大约为 10—30 cm,共约有 100 余个,大多数已被完全硅化,少数呈未完全硅化状态,此为前述第一层叠层石大平台。多数叠层石纹层中心存在呈隆起状态的二次硅质条带,总体来看,硅质条带具有一定的方向性,可能为后期沉积作用形成的硅质充填。第一层大平台上的叠层石形态可见插图 3a。

在苏德辰和孙爱萍(2011)文中所指 P 层(大型地裂缝)附近,即本文所建立的岩性柱状图 O 段,发育大量柱状叠层石,共有 3 个柱状叠层石小层,呈硅化或未完全硅化状态,每层厚约为 10 cm。柱状叠层石个体大小较为均匀,直径约为 8—15 cm,纹层清晰可见,且不少纹层存在左右不对称的现象,如插图 3b 所示,由于在剖面上观察无法确认其立体形态,因此无法确认柱状叠层石具体的偏心角度,但可大致看出 SE 方向为优势生长方向。

3.2 叠层石形态统计分析

为了对叠层石形态生长控制因素进行综合分析

讨论,在野外,我们用相机将大平台上每个叠层石层圈结构均拍摄下来,拍摄时记录北方的方向。接下来,在电脑上对每张含有层圈结构的照片在 photoshop 中进行旋转、对比、分析与测量,找出每个层圈结构的优势生长方向(即长轴方向),并对其进行测量,测量方法见插图 4a。绝大多数叠层石层圈结构都拥有不止一个优势生长方向,笔者将所有优势生长方向的数据都进行了记录,共获得 200 余个数据。将所有数据分别为以 1° 为一个单位, 6° 为一个单位, 10° 为一个单位,然后统计落入相应角度区间的数据的数量,并做雷达图,获得所有优势生长方向的图示(插图 4b, 4c, 4d)。例如,其中,以 6° 为一个单位将 360° 进行了区分,所以图件中的数字 60 应该代表 360° 。圆盘上的数字 0 或 60 代表正北方,数字 15 代表正东方,30 代表正南方,45 代表正西方,最终获得的图形见插图 4。从图中可以明显看出叠层石形态有几个方向比较突出,可代表叠层石在受不同因素控制下的优势生长方向。

如前所述,排除掉微生物自身的生长因素,如生长速度、排气作用等,能影响叠层石生长的外在因素包括了阳光、水深、水流、基岩、沉积速率等。在雾迷山组时期,燕辽裂陷槽内水体相对广阔,叠层石生长处为长期沉降稳定的浅水沉积环境(乔秀夫等, 2007),即可排除水深、基岩、沉积速度的影响,阳光、水流便成为需要考虑的主要控制因素。另外,鉴于该时期地震活动比较频繁,震积作用也可能后期叠加在叠层石形态上,因此还需要考虑构造应力的影响。接下来便对相关因素做详细分析。

4 讨 论

4.1 阳光

向阳性(趋光性, Phototropism)是植物器官对光刺激的倾向性生长(Liscum and Stowe-Evans, 2000)。一般来说,植物茎干和有花植物的茎状器官有显著的向阳性(Melanie and John, 2002),这种现象从高纬度至少到南北回归线($\text{N}23.6^{\circ}$, $\text{S}23.6^{\circ}$)附近均可识别,赤道两侧($\text{N}10^{\circ}$ — $\text{S}10^{\circ}$)则见不到树轮偏移现象。Jiang 等(2014)通过对华北板块侏罗纪硅化木向阳性的研究以及与云南、武汉及北京周边地区的现生树木对比,获得了 $\text{SW}230^{\circ}$ 的趋光性朝向,很好地对应了华北板块的旋转过程(杨振宇等, 1998; Fang *et al.*, 1990)。张在明等(2015)通过野外定向标本采集和室内薄片观察,获得新元古代九

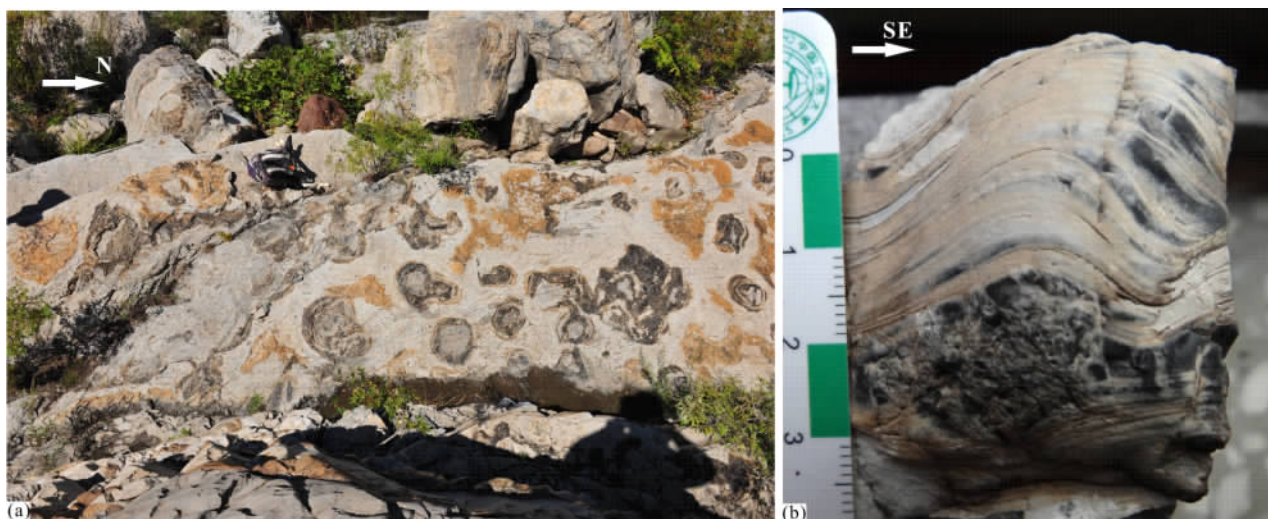


插图3 北京永定河谷庄户洼剖面第一层叠层石大平台(a)和第二层柱状叠层石(b)形态照片

The morphology of 1st stromatolites platform(a) and 2nd columnar stromatolites(b) in Yongding River Valley, Beijing

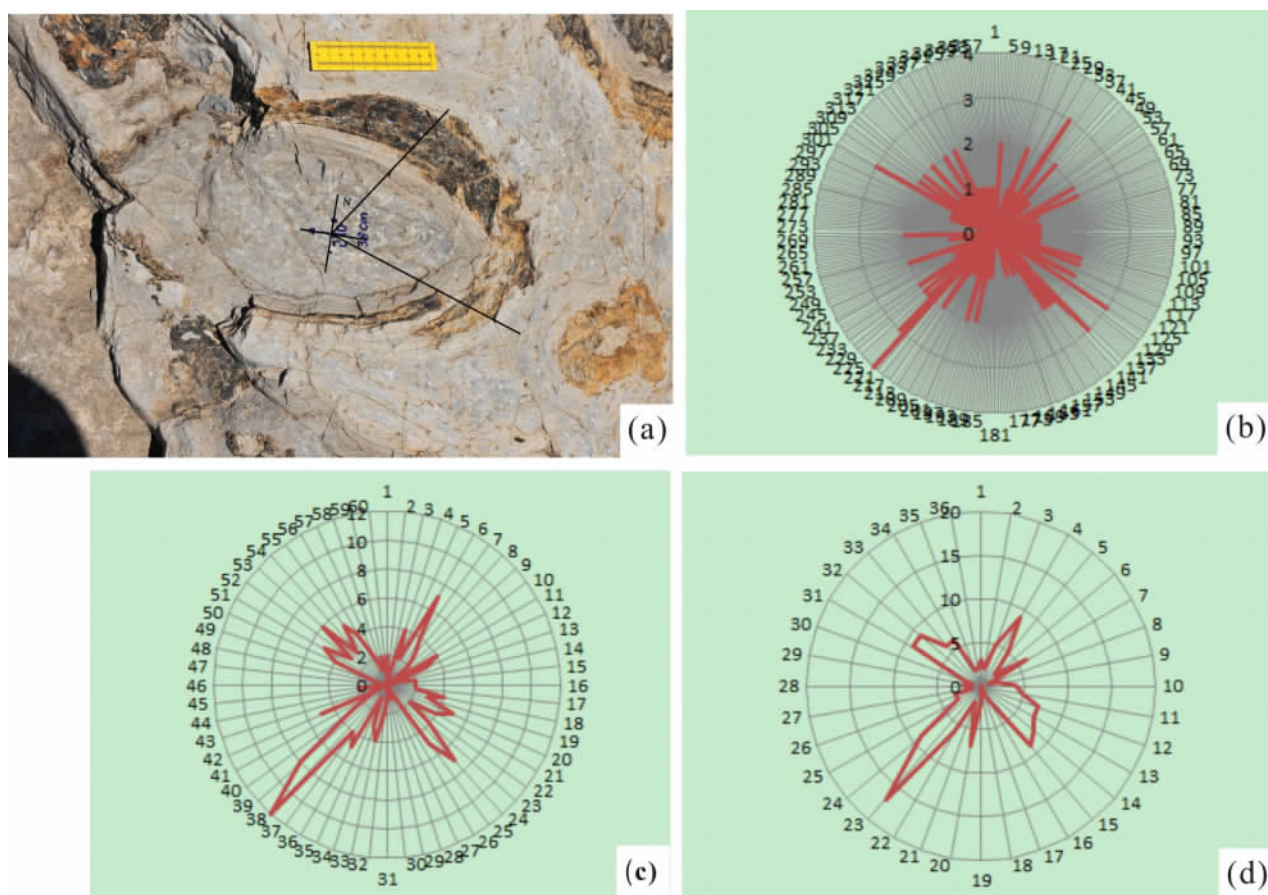


插图4 北京永定河谷庄户洼剖面叠层石优势生长方向测量方法(a)与不同标准下测量结果雷达图(b,c,d)

The measurement of dominant growth direction(a) and radar map(b,c,d) of different standards of stromatolites in Yongding River Valley, Beijing

顶山组锥叠层石的古向阳性方向为现今地理坐标的NE45°,支持了近年华北板块的新元古代古地磁研究成果,即从九顶山组时期到现今华北板块发生了近180°的旋转。雾迷山组时期的叠层石生长是否会受阳光控制呢?

吴怀春(2005)、吴怀春等(2005)、Zhang Shi-hong 等(2012)对华北地区中新元古代地层进行了古地磁研究,华北板块作为 NUNA 超大陆的一部分,在1800Ma至约1450Ma前均逆时针转动,并向赤道靠近,甚至可能跨越了赤道,杨庄组时期、雾

迷山组时期均在此内,在约 1 450—1 380Ma 时期为顺时针转动,并离开赤道向北漂移,铁岭组时期在此内,但其间转动幅度都不是很大。据笔者与吴怀春教授探讨所知,华北板块在雾迷山组时期极有可能位于赤道附近,具体推测方位如插图 5。如前所述,

在赤道附近植物和微生物的向阳性不易识别,因此,虽然阳光对雾迷山期的华北古板块上叠层石的生长存在影响,但因当时华北古板块位于赤道附近,阳光对叠层石各方向生长的控制较为均衡,因此无法识别由阳光产生的偏心现象。

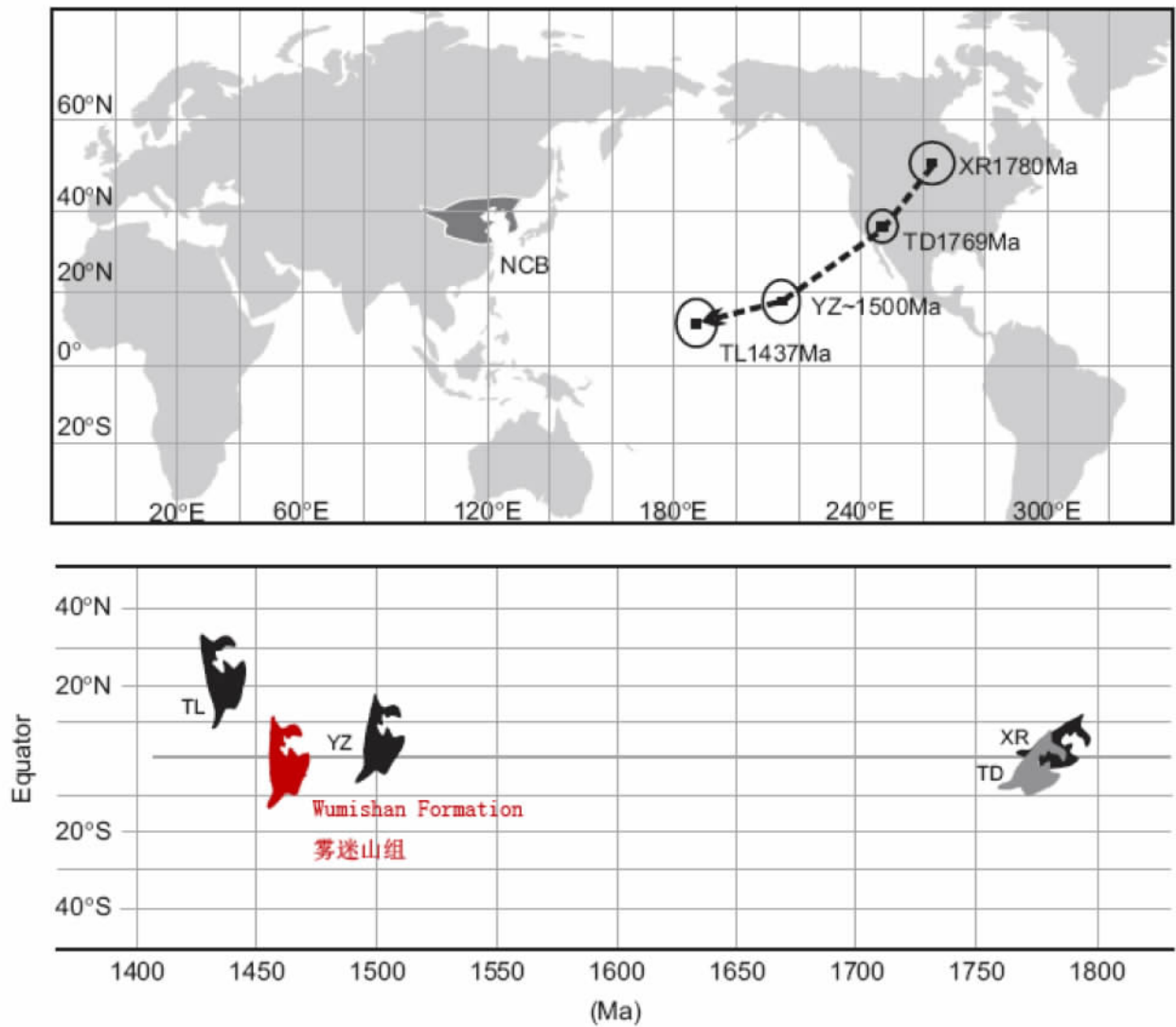


插图 5 雾迷山组时期华北板块推测位置图(修改自 Zhang Shihong *et al.*, 2012)

Inferred location of North China Plate during of the Wumishan Formation(modified from Zhang Shihong *et al.*, 2012)

4.2 水流

中新元古代时期,燕辽裂陷槽内海呈近似三角形,其西北侧边界在京西地区呈 NE-SW 走向,北侧边界在蓟县地区近 EW 走向,其内海面相对平静且浅。燕辽裂陷槽开口在京西地区的东北方向,由于涨落潮,海水从开口处进出裂陷槽内海,海水在京西地区和蓟县地区应该沿海岸线流动并大致与海岸线平齐,在内海东南海岸线则应该与此海岸线垂直(乔

秀夫等,2007)。因此在京西地区水流方向应主要为 NE-SW 方向,推测古水流方向见插图 6。本文中所说的方向若未特别指明均为现今方向。

在庄户洼剖面将近 20 m 厚的地层中,产出两层波痕构造:①第一层位于苏德辰和孙爱萍(2011)文章中所指 A、B 层之间,相当于本文岩性柱状图中的 A 段,呈网状波痕产出;②第二层位于苏德辰和孙爱萍(2011)文章中所指 P 层之上,相当于本文岩性柱状图中的 L 段,为一层大波痕面,波痕现象非

常明显和壮观。笔者与项目组成员共同对该剖面进行考察时,对波痕构造所指示水流方向进行了辨识,显示这两层水流方向均大致为从东北流向西南,对第二层大波痕面测量得到水流方向为 230° ,与前述推测结论一致。

同时在前述白云岩大平台的下方,笔者观测到几组斜层理,如插图7a。通常情况下,顶截底切的斜层理可指示水流方向,一般为从顶部向底部流动。白云岩大平台下方仅可辨识出少量清晰的斜层理,且只能在剖面这一个二维方向上进行观测,所以无法由斜层理复原古水流的方向,但仍可从顶截底切的现象中判断出大致的方向,即为水从北往南流动,这或可佐证波痕所反映的古水流方向。

根据笔者之前所获得的雷达图所显示,存在4个叠层石生长优势方向,分别为 40° 、 150° 、 230° 、 320° ,其中 230° 这一方向优势最为明显,应视为主要优势方向。结合前述分析,可知 40° 、 230° 这两个生长优势方向主要受水流控制,特别是 230° 为主要的

水流方向,对应了雷达图中的主要生长优势方向。

叠层石生长形态受水流影响的情况已有不少学者报道。Hoffman(1976)报道了单个柱体向水流方向倾斜和许多小柱群体丘向水流方向加长的现象。Williams等(2007)研究澳大利亚阿玛尼斯盆地中的现生柱状叠层石后,认为“柱状叠层石不具向阳性的特征,而水流和生长速度才是干扰其生长的主要因素”。澳大利亚鲨鱼湾现生叠层石与天津蓟县中新元古代层型剖面中铁岭组的叠层石化石中均可见受水流影响而形成的纵向加长现象(Huang *et al.*, 2017),皆可佐证雾迷山组叠层石化石形态生长也受NE-SW向水流影响产生了相应的生长优势方向,且因波痕显示水流方向主要为东北流向西南,因此可见 230° 为最显著的主要生长优势方向, 40° 为次要的生长优势方向。类似于共轭剪应力那样,古水流方向其实对四个优势生长方向均产生了不同程度的影响,NW-SE这组生长方向也是受水流影响,只是相比而言作用较弱一些。

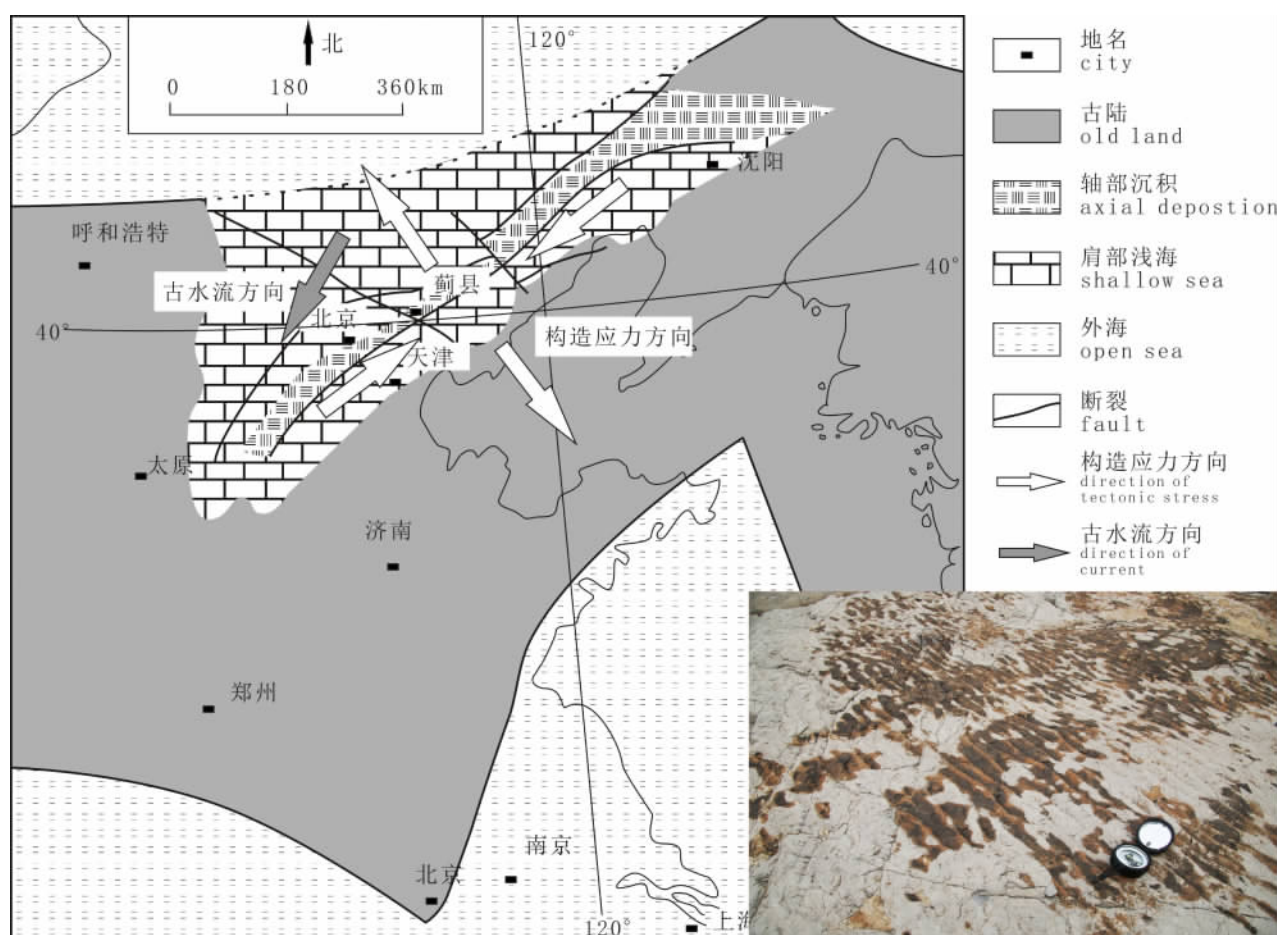


插图6 燕辽裂陷槽古地理图和推测古水流与构造应力方向示意图(据乔秀夫,2002;乔秀夫、高林志,2007 修改)

Palaeogeographic map of Yan-Liao aulacogen and inferred directions of tectonic stress and palaeo-current(modified from Qiao,2002; Qiao and Gao,2007)

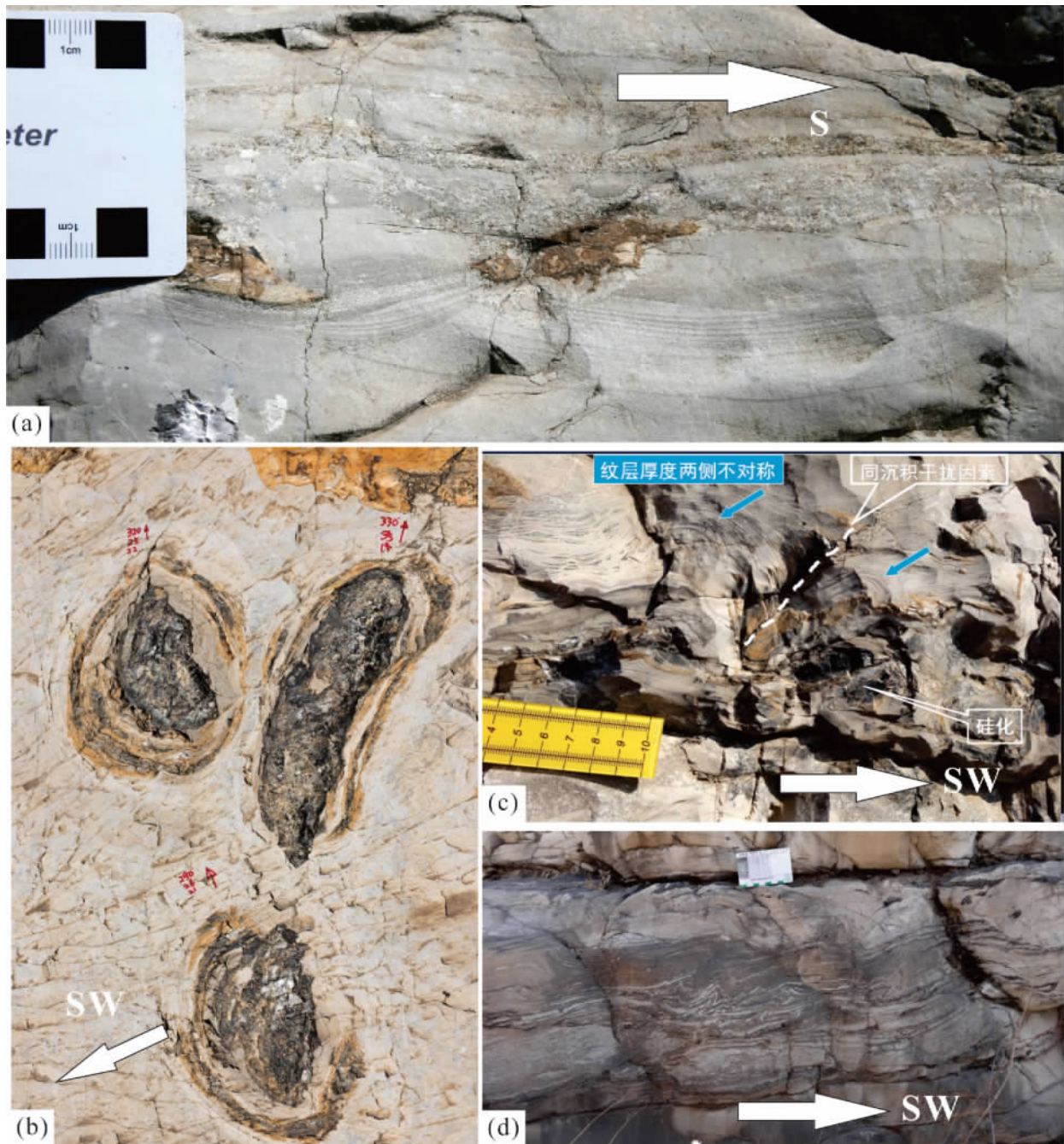


插图 7 北京永定河谷庄户洼剖面斜层理(a)、叠层石被次生硅质穿刺和撕裂现象(b)、
叠层石软变形现象与古坡向一致(c)、震积滑塌指示古坡向(d)照片

Pictures of cross-bedding(a), stromatolites punctured and torn by siliceous chert(b), soft-sediment deformation of stromatolites coincident with paleo-aspect(c), paleo-aspect indicated by soft-sediment deformation(d) in Yongding River Valley, Beijing

图 b 箭头长约 2 cm。

Arrow length is about 2 cm in fig. b.

4.3 古地震影响

中新元古代时期,华北地区古地震活动极为活跃。苏德辰和孙爱萍(2011)认为该区雾迷山组沉积期古地震系沿中元古代燕辽裂陷槽轴部的断裂活动触发的,古地震发生频率约为 3.2—2 万年。白瑾等

(1996)、赵澄林等(1997)、乔秀夫(2002)等认为,中元古代早期,包括华北地台、西伯利亚地台在内的克拉通大陆开始了大规模三叉型破裂:北侧两支发展成大洋(古亚洲洋),首次成为华北地台的北缘边界;南侧一支成为夭折的裂谷——燕山裂陷槽,形成了一个北东向半地堑式楔形槽地。其中,高于庄组至

雾迷山组沉积期为裂陷槽向克拉通盆地转化的过渡阶段,总体沉积环境为陆表海。乔秀夫等(2007)认为燕辽裂陷槽是由中元古代中朝板块北部的伸展作用与裂解作用形成的,可分为两期:1 800—1 600 Ma 裂陷槽是一个北东向延伸向北部开放与外海相连的海槽;1 600 Ma 开始裂陷槽进一步向东扩展,1 200 Ma 时裂陷槽最终形成。轴部断裂为密云(北京北部)–兴隆–平泉–凌源北东向断裂,赤城–滦县等北西向断裂为转换断层。由此可知,雾迷山组时期华北地区构造主应力方向应为 NE-SW 向与 SE-NW 方向,见插图 6。

在庄户洼剖面叠层石形态分析图中,可以看到共有 4 组优势生长方向,而有趣的是,这 4 组优势生长方向正好与裂陷槽所受 X 型共轭应力吻合,因此,笔者推测,叠层石的形态生长可能在以下两种情况中受到了构造应力的影响:①在叠层石中的藻类开始在沉积物基底上生长之前或之间,构造应力强烈活动引发古地震,造成了底面软沉积物的变形隆起,进入构造活动平衡期后,藻类开始或继续在沉积物基底上生长,这时,构造应力作用于基底形态上,而基底形态便成为了影响叠层石生长形态的一个重要因素,最终导致如雷达图中所见的优势生长方向;②叠层石中的藻类最初先在平坦的沉积物基底上生长并最终固结为叠层石,后期构造应力强烈活动引发了古地震,使叠层石产生裂隙,硅质物质充填进来形成硅质条带(插图 7b),使叠层石的原始形态发生了变化,这种情况下,构造应力并不能真正算是叠层石形态生长的控制因素,而应该是后期叠加作用影响了其形态。

另外,在野外考察过程中,笔者观测到震积滑塌现象指示古坡向为 SW 方向(插图 7d)、同时,还有叠层石软变形现象与古坡向一致的现象(插图 7c)。这些现象或表明了这样一种过程:在叠层石生长过程中,古构造应力活跃造成古地震频发,由于古坡向的存在,导致软沉积物向深海方向缓慢滑塌,叠层石的生长也受此影响而产生不对称现象;而后期硅质物质的充填也一定程度上影响或破坏了叠层石的形态。

5 结 论

通过对北京庄户洼剖面中新元古界雾迷山组白云岩大平台上的叠层石生长形态进行分析探讨,得出以下结论。

(1)根据前人资料分析,华北板块在雾迷山组时

期位于赤道附近,而在赤道附近植物和微生物的向阳性不明显,因此,庄户洼剖面雾迷山组叠层石形态生长并不受阳光的控制。

(2)庄户洼剖面中所产波痕与斜层理构造综合显示雾迷山组时期古水流方向为 NE-SW 向,且主要为东北流向西南,因此,雾迷山组叠层石的优势生长方向中,230°为最显著的主要优势生长方向,40°为次要的生长优势方向,这两个优势生长方向均受水流影响控制。

(3)雾迷山组时期古构造应力活跃导致古地震活动频发,叠层石最终形态或受到了由古地震引发的软沉积物向深海滑塌的影响,同时可能受后期硅质充填叠加或破坏。

综上所述,雾迷山组叠层石在生长过程中并未受到阳光的影响,其形态主要受水流方向控制,而古构造应力导致古地震并诱发软沉积物变形也影响了叠层石形态,最终形成了目前所见雾迷山组叠层石的复杂形态。

致谢 感谢审稿专家们提出的修改意见。

参 考 文 献 (References)

- Bai Jin(白瑾), Huang Xue-guang(黄学光), Wang Hui-chu(王惠初), 1996. The Precambrian Crustal Evolution of China, 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House. 1—259.
- Cao Rui-ji(曹瑞骥), Yuan Xun-lai(袁训来), 2009. Advances of stromatolite study in China. *Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报)*, 48(3): 314—321(in Chinese with English abstract).
- Fang Da-jun, Tan Xiao-dong, Guo Ya-bin, Yu Gong-hua, 1990. Paleomagnetism and tectonic evolution in Mesozoic for North China Plate. In: Wiley T J, Howell D G, Wong F L(eds.), *Terrane Analysis of China and the Pacific Rim*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science, 13: 359—363.
- Gao Lin-zhi(高林志), Zhang Chuan-heng(张传恒), Shi Xiao-ying(史晓颖), Zhou Hong-rui(周洪瑞), Wang Zi-qiang(王自强), 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikouan System in North China. *Geological Bulletin of China(地质通报)*, 26(3): 249—255(in Chinese with English abstract).
- Hoffman, 1976. Chapter 6. 1 Stromatolites morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter M R(ed.), *Stromatolites, Development in Sedimentology*, Vol 20. Amsterdam: Elsevier. 261—271.
- Huang Min, Lu Chen-ming, Jiang Zi-kun, Liu Ben-pei, Chu Zhi-hui, Zhao Yan-xu, 2017. Investigation of controlling factors for growth in stromatolites of the Tieling Formation, Jixian, Tianjin. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 91(1): 347—348.

- Jiang Zi-kun, Liu Ben-pei, Huang Min, Deng Sheng-hui, Lu Yuan-zheng, Liu Lu, Li Ming-ming, Dong Shu-xin, Wang Yong-dong, 2014. The phototropism of Jurassic petrified wood in North China Plate. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **88**(5): 1352—1355.
- Kusky T M, Vanyo J P, 1991. Plate reconstructions using stromatolite heliotropism: principles and applications. *The Journal of Geology*, **99**(3): 321—335.
- Li Huai-kun(李怀坤), Su Wen-bo(苏文博), Zhou Hong-ying(周红英), Xiang Zhen-qun(相振群), Tian Hui(田 辉), Yang Li-gong(杨立公), Huff W D, Ettensohn F R, 2014. The first precise age constraints on the Jixian System of the Meso- to Neoproterozoic Standard Section of China: SHRIMP zircon U-Pb dating of bentonites from the Wumishan and Tieling formations in the Jixian Section, North China Craton. *Acta Petrologica Sinica (岩石学报)*, **30**(10): 2999—3012 (in Chinese with English abstract).
- Liscum E, Stowe-Evans E, 2000. Phototropism: A “simple” physiological response modulated by multiple interacting photosensory-response pathways. *Photochemistry and Photobiology*, **72**(3): 273—282.
- Melanie J C, John Z K, 2000. Interactions between gravitropism and phototropism in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, **21**: 89—101.
- Monty C L V, 1967. Distribution and structure of recent stromatolites algal mats, eastern Andros Island, Bahamas. *Annales Société Géologique de Belgique*, **90**: 50—100.
- Monty C L V, 1976. The origin and development of cryptalgal fabrics. In: Walter M R (ed.), *Stromatolites, Developments in Sedimentology* 20. Amsterdam; Elsevier. 193—249.
- Monty C L V, 1977. Evolving concepts on the nature and the ecological significance of stromatolites. In: Flugel E (ed.), *Fossil Algae, Recent Results and Developments*. Heidelberg: Springer-Verlag. 15—35.
- Qiao Xiu-fu(乔秀夫), 2002. Intraplate seismic belt and basin framework of Sino-Korean Plate in Proterozoic. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, **9**(3): 141—149 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiu-fu(乔秀夫), Gao Lin-zhi(高林志), 2007. Mesoproterozoic palaeoearthquake and palaeogeography in Yan-Liao Aulacogen. *Journal of Palaeogeography (古地理学报)*, **9**(4): 337—352 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiu-fu(乔秀夫), Gao Lin-zhi(高林志), Zhang Chuan-heng(张传恒), 2007. New idea of the Meso- and Neoproterozoic chronostratigraphic chart and tectonic environment in Sino-Korean Plate. *Geological Bulletin of China (地质通报)*, **26**(5): 503—509 (in Chinese with English abstract).
- Riding, 2000. Microbial carbonates; the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, **47**: 179—214.
- Riding, 2006. Microbial carbonate abundance compared with fluctuations in metazoan diversity over geological time. *Sedimentary Geology*, **185**(3-4): 229—238.
- Su De-chen(苏德辰), Sun Ai-ping(孙爱萍), 2011. Soft-sediment deformation and occurrence frequency of palaeoearthquake in the Mesoproterozoic Wumishan Formation, Yongding River Valley, Beijing. *Journal of Palaeogeography (古地理学报)*, **13**(6): 591—614 (in Chinese with English abstract).
- Walter M R, 1976. *Stromatolites, Developments in Sedimentology*. Amsterdam; Elsevier. 1—696.
- Williams G E, Jenkins R J F, Walter M R, 2007. No heliotropism in Neoproterozoic columnar stromatolite growth, Amadeus Basin, central Australia: Geophysical implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **249**: 80—89.
- Wu Huai-chun(吴怀春), 2005. Paleomagnetic study of Middle Proterozoic in North China Palecontinent Reconstruction in Jixian County Area and Its Significance. Beijing: Ph. D. Thesis of China University of Geosciences(Beijing). 1—133 (in Chinese).
- Wu Huai-chun(吴怀春), Zhang Shi-hong(张世红), Li Zheng-xiang(李正祥), Li Hai-yan(李海燕), Dong Jin(董 进), 2005. New palaeomagnetism results from Yangzhuang Formation, Jixian System in North China Craton and its tectonic significance. *Chinese Science Bulletin (科学通报)*, **50**(13): 1370—1376 (in Chinese).
- Zhang Shi-hong, Li Zheng-xiang, Evans A D, Wu Huai-chun, Li Hai-yan, Dong Jin, 2012. Pre-Rodinia supercontinent Nuna shaping up: A global synthesis with new paleomagnetic results from North China. *Earth and Planetary Science Letters*, **353-354**: 145—155.
- Zhang Zai-ming(张在明), Liu Ben-pei(刘本培), Jiang Zi-kun(蒋子堃), Deng Huai-lin(邓怀林), 2015. Explore the heliotropism of *Conophyton*. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **54**(4): 436—443 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Cheng-lin(赵澄林), Li Ru-feng(李儒峰), Zhou Jin-song(周劲松), 1997. *Sedimentary and Petroleum Geology of the Meso- and Neo-Proterozoic in North China*. Beijing: Geological Publishing House. 1—253 (in Chinese).

INVESTIGATION OF CONTROLLING FACTORS FOR GROWTH IN STROMATOLITES OF THE MIDDLE NEOPROTEROZOIC WUMISHAN FORMATION, YONGDING RIVER VALLEY, BEIJING

HUANG Min¹⁾, SU De-chen²⁾, JIANG Zi-kun¹⁾, LIU Ben-pei³⁾, LU Chen-ming³⁾,
ZHAO Yan-xu⁴⁾, SUN Ai-ping²⁾ and CHU Zhi-hui⁵⁾

1) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China, huangmin 0528@163.com, jiangmaomao_925@sina.com;

2) The Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3) China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4) Seismic Station of Luoyang, Henan Province, Luoyang 471021, China;

5) School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China

Key words Stromatolites, controlling factor for growth, ecology, Wumishan Formation, North China palaeoplate

Abstract

A large amount of stromatolites occur in the Wumishan Formation of Yongding River Valley in Beijing, which provide great materials for this study. In order to investigate the controlling factor for growth in stromatolites, the shape of stromatolites was measured and analyzed, and the radar map of dominant growth directions of stromatolites was gained, and then it was combined with the location of the North China palaeoplate, the direction of palaeo-currents inferred from ripple-mark structures, the direction of palaeo-tectonic stress. This study indicates that the growth of

stromatolites of Wumishan Formation in Zhuanghuwa Section, Yongding River Valley was not controlled by sunlight mainly, because the location of North China palaeoplate was near the equator, and the main controlling factor was palaeo-current. Besides, soft-sediment deformations toward the deep sea induced by the seismic activities which were caused by palaeo-tectonic stress overlaid on stromatolites influenced the shape of them, and siliceous chert filling damaged stromatolites subsequently. By analyzing the controlling factors for growth in stromatolites, we can understand the mechanism of growth of stromatolites and the palaeoenvironment, it has important ecological significance.