

文章编号: 1000-0550(2013)01-0010-10

# 中国豫西寒武系馒头组叠层石的沉积特征及其古环境意义<sup>①</sup>

常玉光 齐永安 郑伟 王敏 代明月

(河南理工大学资源环境学院 河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室 河南焦作 454000)

**摘要** 中国豫西寒武系馒头组一、二段共出露9层叠层石,占寒武纪18层叠层石中的50%,且其特征明显、形态多样,可分为圆柱状、波状、半球状和围绕竹叶状砾屑灰岩生长的叠层石等4大类8小类。本文在逐层分析豫西寒武系馒头组一、二段叠层石相序特征的基础上,通过对不同类型叠层石的宏观、中观形态特征及伴生的其它沉积特征进行详细描述,并以巴哈马 Highborne Cays 现代海相叠层石的生长环境和前寒武纪叠层石的沉积环境等为佐证,建立了豫西寒武系馒头组8小类11种不同叠层石的沉积环境分布模式,其中潮上带以近水平状叠层石为主,少量为缓波状、小柱状和含水平状薄泥层的叠层石;潮间带上部以缓波状、小柱状和含水平状薄泥层的叠层石为主,少量锥柱状叠层石;潮间带中部以圆柱状叠层石为主,含扁平状核形石和竹叶状砾屑,少量为锥柱状和围绕竹叶状砾屑生长的叠层石;潮间带下部至潮下带以含圆形核形石的圆柱状和半球状叠层石为主,少量含核形石的倒锥状叠层石。海平面的变化即水动力条件是叠层石生长类型变化的决定因素。

**关键词** 叠层石 沉积特征 沉积环境分布模式 馒头组 豫西

**第一作者简介** 常玉光 男 1976年出生 副教授 博士研究生 沉积学和遗迹学 E-mail: changyg@hpu.edu.cn

**通讯作者** 齐永安 E-mail: qiya@hpu.edu.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标志码** A

## 0 引言

在地球历史上85%的碳酸盐沉积记录中,叠层石是最重要的沉积特征<sup>[1]</sup>。在地球早期生命演化过程中,叠层石—微生物席生态系统主宰地球海洋近30亿年。叠层石是微生物岩的一种,是蓝细菌等底栖微生物活动与沉积相互作用、结合而成的一种特殊的原生纹层状生物沉积构造,其中记录了大量的微生物、环境、地球化学和地球物理等方面的信息。叠层石的发现距今已有两百多年的历史<sup>[2]</sup>,在这两百多年中,人们对叠层石的认识在不断的深化和发展。叠层石的生长受到很多条件的制约,能够有效反映生长时期的沉积环境和条件,因此叠层石是一种研究古环境和古气候的重要“指示器”<sup>[3]</sup>。

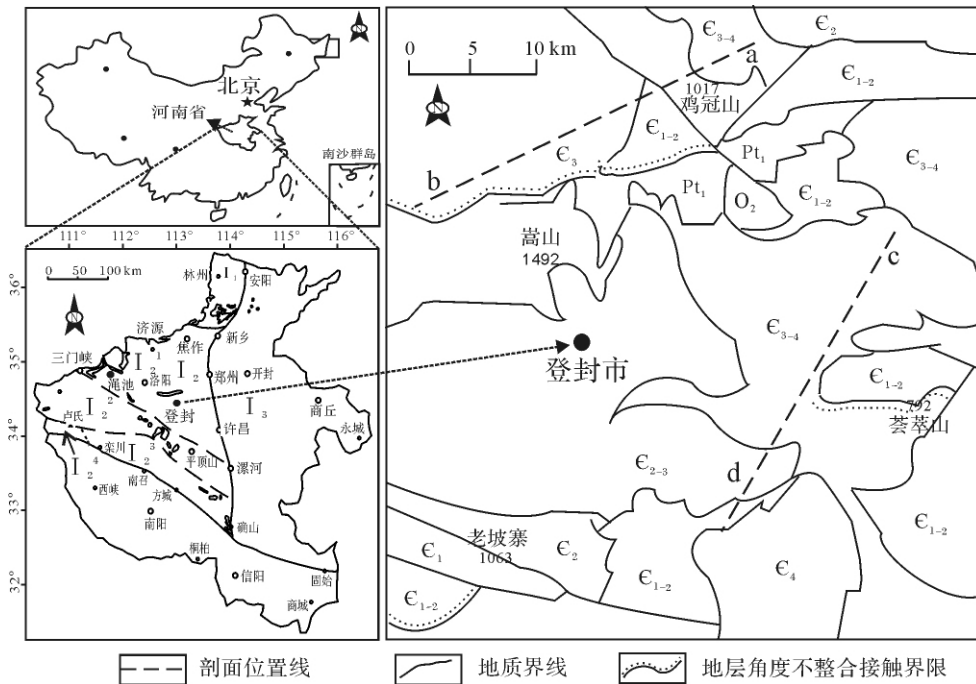
目前,我国叠层石的研究主要集中在元古代,少量新生代和现代,对于古生代等其它时期叠层石研究的报道较少<sup>[4-8]</sup>。近年来,作者在河南省西部的登封关和三门峡渑池等地寒武纪剖面中发现大量叠层石,其中寒武系馒头组共出露11层,馒头组一段为5层,二段为4层。叠层石露头新鲜,宏体形态特征明

显,类型丰富,形状多样,为研究寒武纪叠层石提供了良好的条件。

## 1 地质背景

登封和三门峡所在的豫西地质构造区经历了印支期、燕山期和喜山期等多期构造作用的影响,但地层发育较为完整,由老到新依次为新元古界、寒武系、石炭系、二叠系、三叠系、古近系、新近系及第四系。依据寒武纪古地理和古构造格局,寒武纪岩性组合、沉积特征、岩相和沉积环境、生物群落等进行的综合分析,华北地层区寒武系划分为太行山分区、豫西分区及豫东平原分区,其中豫西分区划分为渑池—登封小区、灵宝—鲁山小区、叶县—确山小区和卢氏小区(图1左)<sup>[9]</sup>。本文研究的寒武纪叠层石主要分布在渑池—登封小区(图1),以登封关口剖面为主要观察剖面,辅以渑池任村剖面。上述剖面寒武纪地层发育连续,寒武纪早期的辛集组为海侵初期的砂砾岩,朱砂洞组为滨—浅海白云岩,馒头组为潮坪相碎屑岩(主)和碳酸盐岩(次)沉积,寒武纪中期张夏组和寒武纪晚期的三山子组为滨—浅海碳酸盐岩和白云岩<sup>[10]</sup>。

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号:41072003,41202071)、河南省基础与前沿项目(编号:112300413213)、高校博士点基金博导类联合课题(编号:20114116110001)和河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室开放基金项目(编号:OTMP1002)资助成果  
收稿日期:2012-03-14;收修稿日期:2012-04-24



右图为登封地区寒武系剖面位置: ab 为登封王窑剖面, cd 为登封关口剖面;

左下图分区: I<sub>1</sub>. 太行山分区; I<sub>2</sub>. 豫西分区; I<sub>3</sub>. 豫东平原分区; I<sub>2</sub><sup>1</sup>. 滎池—登封小区; I<sub>2</sub><sup>2</sup>. 灵宝—鲁山小区; I<sub>2</sub><sup>3</sup>. 叶县—确山小区; I<sub>2</sub><sup>4</sup>. 卢氏小区

图 1 中国豫西寒武纪地层分布及剖面位置图(据刘印环, 1991 修改<sup>[9]</sup>)

Fig. 1 Geological map showing the Cambrian stratigraphic distribution and section localities in the western Henan Province, China

## 2 豫西寒武系馒头组叠层石类型及沉积特征

豫西寒武纪馒头组可分为三段,一段为褐黄色、紫红色薄层泥灰岩、泥晶灰岩夹紫红色页岩,含大量藻纹层和 5 层叠层石;二段以暗紫色云母页岩、粉砂岩为主,夹灰岩和薄层砂岩,在中上部出露 4 层叠层石;三段以紫灰色页岩、灰绿色粉砂岩为主,夹多层鲕粒灰岩,其顶部出露多层微生物岩,含 2 层叠层石。

叠层石的总体构造特征不但与建造生物有关,而且更多地受到水动力条件和沉积环境的制约<sup>[11-13]</sup>。馒头组一、二段的叠层石在寒武纪各组段中最为发育,且宏体形态特征明显,在野外易于识别,包括柱状、缓波状、半球状等沉积类型(图 2 和图版 I,图版 II)。根据每类叠层石与围岩的关系、以及围岩岩性的变化和层理结构、化石等,可以推测出不同类型叠层石的沉积和生长环境。

### 2.1 豫西寒武系馒头组叠层石相序特征

馒头组一段第一层叠层石:顶底皆为土黄色藻纹层,其下部为 15~20 cm 的大柱状叠层石,被 0.3 cm 的红色薄泥层打断,薄泥层局部相变增厚,上部为 10

cm 的半球状叠层石,中间夹多层土黄色泥,叠层石间夹不规则土黄色竹叶状灰岩和叠砾(见图 2,一段第一层)。

馒头组一段第二层叠层石:下部为 15~20 cm 不规则大缓波状、半球状叠层石,夹多层红色泥,见大块红色、灰色泥砾;中间为 10 cm 较规则缓波状叠层石,叠层石间和内部多红色泥;上部为 20~30 cm 次圆柱体或倒锥柱状叠层石,叠层石内多红色泥,柱体间多填充红色泥和砾屑,红色泥较下层少(见图 2,一段第二层)。

馒头组一段第三层叠层石:下部为红色竹叶状泥灰岩丛中的叠层石层,层厚 15 cm,叠层石主要围绕竹叶状泥灰岩生长,竹叶状泥灰岩上方生长的多为半球状和缓波状叠层石,沿竹叶状泥灰岩顶端生长的叠层石多为锥形叠层石;中间为含砾石的土黄色厚层藻纹层;上部为 30 cm 大缓波状叠层石(见图 2,一段第三层)。

馒头组一段第四层叠层石:下部为缓波状叠层石,厚 15 cm;中部为近水平缓波状,厚 6 cm;上部为厚 14 cm 的半球状和缓波状叠层石,多处见融合生长现象(见图 2,一段第四层)。

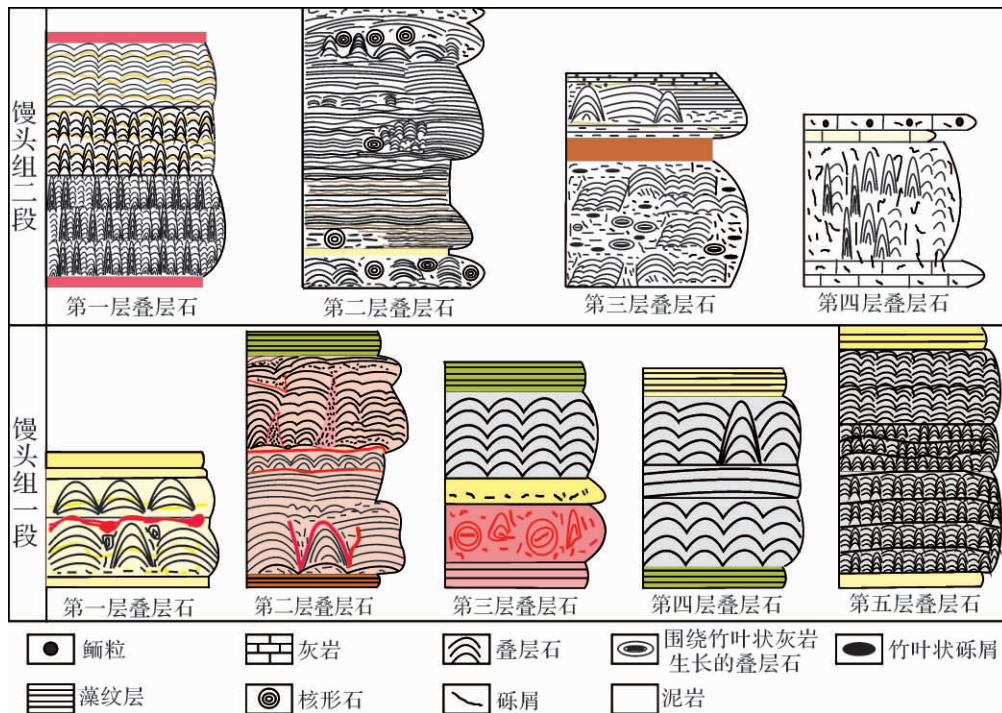


图 2 中国豫西寒武系馒头组叠层石岩性柱状及相序特征

Fig. 2 The lithological column and sedimentary features of stromatolite-bearing strata from the Cambrian Mantou Formation, western Henan, China

馒头组一段第五层叠层石:下部为厚 45 cm 的毫米级杂乱微小柱状叠层石,直径小于 1 cm,高为 1~3 cm;中间为厚 20 cm 的夹多层薄泥层的微小柱状叠层石,直径小于 1 cm,但略大于下部;上部为厚 35 cm 的较清楚柱状叠层石,直径为 2~4 cm,多见融合生长现象,均未见分叉(见图 2,一段第五层)。

馒头组二段第一层叠层石:下部为 35 cm 厚含泥细微型小柱状叠层石,中部为夹泥质条带小柱状叠层石,直径约 3 mm,上部为 20 cm 夹泥质条带小缓波状叠层石,顶底皆为紫红色泥页岩(见图 2,二段第一层)。

馒头组二段第二层叠层石:自下而上可细分为 6 层,依次为夹不规则核形石的缓波状和柱状叠层石层,厚为 25 cm; 30 cm 土黄色薄层泥岩;以竹叶状灰岩作底的夹竹叶状灰岩和少量核形石的缓波状叠层石层,厚为 25 cm;含不规则泥质条带水平层状叠层石,厚为 40 cm;浅灰色含少量红色泥的小柱状、偶见大柱状叠层石,叠间填充亮晶方解石,夹长卵状核形石的叠层石灰岩层,厚为 30 cm;大半球状、大柱状、大锥状叠层石层,夹大量以圆形为主的核形石,偶见竹叶状灰岩,叠层石间填充大量生物碎屑,厚为 20 cm;顶为不连续的 3 cm 生物碎屑层(见图 2,二段第

二层)。

馒头组二段第三层叠层石:下部为厚 80 cm 的夹大小不等竹叶状灰岩叠层石层,叠层石为缓波状,整体透镜状,局部见围绕竹叶状灰岩生长的叠层石;中间夹紫红色泥岩;上部为含水平竹叶状灰岩和鲕粒的藻纹层灰岩层,夹薄泥层,局部见大缓波状、大半球状大叠层石,顶部见大土黄色和浅灰色鲕粒,见多层叠层石间填充为方解石(见图 2,二段第三层)。

馒头组二段第四层叠层石:为夹泥质条带和生物碎屑的不规则微小叠层石层,叠层石不明显,偶见小柱状、半球状叠层石,直径不超过 5 mm,整体不规则,杂乱似藻灰岩(见图 2,二段第四层)。

## 2.2 豫西寒武系馒头组叠层石沉积特征

### 2.2.1 柱状叠层石

柱状叠层石为豫西寒武纪叠层石的主要宏体形态特征,在馒头组一、二段占有较大比例,依据其柱体的大小和形态,又可细分为圆柱状(含次圆柱状)、锥柱状、倒锥柱状、小型柱状叠层石四种类型。

#### ①圆柱状叠层石(含次圆柱状)

圆柱状或次圆柱状叠层石在馒头组一、二段分布广泛,主要出露在馒头组一段的第一、二、五层和馒头组二段的第一、二、四层叠层石层中(图 2)。其岩性

为含核形石、砾屑和生物碎屑的灰岩。圆柱状叠层石高度一般不大, 常为 10~20 cm, 单个直径 2~10 cm 不等, 个别直径达 30 cm 左右, 其柱体剖面和平面形态特征明显, 剖面为垂直柱状或微倾斜柱状; 平面多为同心圆或同心椭圆状, 在馒头组二段多见柱体融合生长, 平面表现为连环生长现象, 似藕节状或对称肾形。层理多为侧向断开穹形, 也见侧向连接的穹形或箱形, 具局部壁或多层壁(图版 I-a-e)。

### ②锥柱状叠层石

锥柱状叠层石出现在馒头组一段的第三层和馒头组二段的第二、三层(图 2), 岩性主要为含核形石、竹叶状砾屑的灰岩。叠层石围绕竹叶状砾屑顶端生长, 直径多为 1~3 cm, 高度一般不超过 4 cm, 但在馒头组二段中见大柱状, 直径达 10 cm, 高度超过 12 cm。层理多为侧向连接的锥穹形, 也见侧向断开锥穹形, 具多层壁(图版 I-f-h)。

### ③倒锥柱状叠层石

倒锥柱状叠层石主要出露在馒头组一段的第二层和馒头组二段的第二层叠层石层中(图 2), 岩性主要为含核形石、竹叶状砾屑或薄层泥的灰岩或泥灰岩。与次圆柱状或半球状叠层石共生, 形状似火把状或倒锥状, 明显的上宽下窄, 直径大小不一, 高度 10~30 cm 不等, 平面多处见叠层石联合生长现象(图版 I-j), 呈椭圆形或对称圆形, 层理为侧向断开穹形、箱形或侧向连接箱形, 具明显的局部壁、多层壁或不具壁(图版 I-i-l)。

### ④小柱状叠层石

小柱状叠层石生长相对杂乱, 包括微型柱状和微型小柱状叠层石(直径小于 1 cm), 主要出露在馒头组一段顶部和馒头组二段的顶、底部多个叠层石层中(图 2), 岩性主要为含泥或鲕粒的泥灰岩或灰岩。底部叠层石不明显, 叠层石上下连续性一般, 层厚大多不超过 10 cm, 往往被泥或其它填充物所打断, 向上叠层石逐步增大至明显大柱状或缓波状, 整体叠层石层理不十分明显(图版 II-a-d)。

## 2.2.2 缓波状叠层石

在豫西登封剖面出露的叠层石中, 缓波状叠层石较为常见, 依据其波状起伏程度, 概略分为近水平缓波状和缓波状叠层石。

### ①近水平缓波状叠层石

近水平缓波状叠层石出露在馒头组一段第四层的中部和馒头组二段的第二层(图 2), 岩性主要为含少量泥的泥灰岩或灰岩。层理界限明显, 波状起伏较

小呈近水平分布, 但一般整体厚度不大, 上下层逐步过渡为缓波状叠层石(图版 II-e-g)。

### ②缓波状叠层石

缓波状叠层石在野外露头较普遍, 馒头组主要出露在一段的二、三、四层和二段的一、二、三层叠层石层中(图 2), 岩性主要为含少量泥的泥灰岩或灰岩。有一定波状起伏, 其层理界限一般较清楚, 可见均匀缓波状(图版 II-i), 在野外常见柱状叠层石顶部被泥等打断后融合生长为缓波状叠层石(图版 II-h), 局部可见大缓波状。

## 2.2.3 半球状叠层石

半球状叠层石主要出露在馒头组一段的一、二、三层和二段的二、三层叠层石层中(图 2), 岩性主要为夹核形石、砾屑或竹叶状砾屑的灰岩或泥灰岩。叠层石呈半球状, 但有时野外露头不十分规则, 个体高度 5~15 cm, 直径 5~20 cm 不等, 平面为较规则同心圆状(图版 II-l), 叠层石与围岩界限明显, 层理多为侧向断开穹形或侧向断开箱形, 不具壁或没有明显的壁(图版 II-j-m)。

## 2.2.4 围绕竹叶状泥灰岩砾屑生长的叠层石

围绕竹叶状泥灰岩砾屑生长的叠层石只出露在馒头组一段第三层的底部和二段第三层叠层石层中(图 2), 竹叶状泥灰岩砾屑一般为 5~8 cm, 有一定磨圆度, 主要呈水平状, 形体较小的呈微倾斜。叠层石形状受竹叶状泥灰岩砾屑外形影响较大, 剖面一般为椭圆形, 主要围绕竹叶状泥灰岩砾屑表面生长, 两端稍尖, 在其上方生长的一般为小半球状, 高度一般不大, 多小于 3 cm(图版 I-f-h)。

## 3 豫西寒武系馒头组叠层石的沉积环境分布模式

巴哈马 Highborne Cays 的现代海相叠层石和前寒武纪叠层石为分析豫西寒武系馒头组叠层石的沉积环境提供了有力佐证。Andres 和 Reid、Bowlin 等以巴哈马 Highborne Cays 的柱状和锥状叠层石为例, 对控制现代海相叠层石生长形态的主要环境因素进行研究, 表明: 柱状叠层石生长在水动力相对较低的水体较深的后礁泻湖环境, 而锥状叠层石则生长在水体较浅但水动力较强的潮汐水道内<sup>[14, 15]</sup>; Allwood A C 等利用西澳大利亚最古老叠层石与现代海相的对比<sup>[16, 17]</sup>、曹瑞骥和袁训来借鉴 Donaldson 等对前寒武纪叠层石的宏观形态与水动力条件的关系进行了阐述<sup>[18~21]</sup>, 其结论为: 近水平缓波状叠层石与石盐和石

膏假晶相伴生,故沉积环境主要为水动力很弱的潮上带;缓波状叠层石往往与波痕、交错层、石盐和石膏假晶、砾石等相伴生,故沉积环境主要为水动力较弱的潮间带,少量潮上带和潮下带;柱状叠层石与波痕、交错层、鲕粒和砾石相伴生,故其沉积环境主要为水动力较强的潮间带,少量潮上带下部;半球状和圆锥状叠层石与波痕、交错层、鲕粒、砾石等相伴生,故其沉积环境主要为水动力很强的潮间带环境。

### 3.1 叠层石的沉积环境分析

#### 3.1.1 柱状叠层石

##### ①圆柱状叠层石(含次圆柱状)

圆柱状或次圆柱状叠层石的围岩岩性变化较大,在叠层石其顶部出现有薄泥层,而在叠层石柱体之间和底部则较多出现磨圆度较高且形体大小不等的竹叶状砾屑灰岩,一般底部较大,向上也有明显变小趋势(图版 I-b, d)。在馒头组二段第二层圆柱状叠层石柱体之间见有大量核形石、生物碎屑和砾屑(图版 I-a, e)核形石直径约 2 cm,呈圆形,核心为生物介壳,圈层规则。生物碎屑和砾屑磨圆度较高,分布无定向。由此可见,圆柱状或次圆柱状叠层石生长在水动力很强的潮间带下部环境<sup>[18-23]</sup>;纹层状泥岩和藻纹层的出现说明水体的快速变迁和水动力条件的降低,也意味着圆柱状或次圆柱状叠层石的消失<sup>[18-22]</sup>。

##### ②锥柱状叠层石

锥柱状叠层石周围有大量竹叶状砾屑或核形石存在,竹叶状砾屑一般形体较大、磨圆度较差且呈水平状或低角度分布(图版 I-f, h)。馒头组一段的锥柱状叠层石的上下层为近水平条带状泥灰岩互层(图版 I-h)。馒头组二段的锥圆柱状叠层石间填充大量同心圆状核形石(图版 I-g),且核形石为原地同期生长所致,由此可见锥圆柱状叠层石生长在水动力较强的潮间带中部至上部环境<sup>[18-22]</sup>。

##### ③倒锥柱状叠层石

倒锥柱状叠层石与围岩界限一般较明显,围岩岩性变化较大。在馒头组一段第二层叠层石间填充粉红色泥和形状较小且磨圆度较高的泥砾(图版 I-j, l),顶底皆被粉红色薄泥层所打断,顶部薄泥层上为连续性很好的缓波状叠层石,底部为粉红色薄泥层上形状较小的矮柱状叠层石,同时叠层石也为粉红色,粉红色泥和泥砾为同期风暴沉积填充。在馒头组二段第二层倒锥柱状叠层石间填充大量同期生成的核形石(图版 I-k),核形石直径较大,且见破碎程度较高的生物碎屑,反映了倒锥柱状叠层石形成于长期风

暴作用影响的潮下带上部环境<sup>[22]</sup>。

##### ④小柱状叠层石

小柱状叠层石向上直径逐步变大且形态明显,往往与泥质条带相伴生且泥含量较高,相序上底部为藻纹层,而后出现小柱状叠层石,叠层石间多填充大量鲕粒(图版 II-a, b),顶部多为泥或被泥打断后出现藻纹层。局部偶见石盐石膏假晶及鸟眼构造等,小柱状叠层石生长在水体较浅且有一定水动力条件的潮间带顶部至潮上带下部环境<sup>[22-23]</sup>。

#### 3.1.2 缓波状叠层石

##### ①近水平缓波状叠层石

近水平缓波状叠层石上下层为波状起伏明显增大的缓波状或接近柱状叠层石,层理间填充薄层泥,反映了水动力条件的变化且本层明显偏弱,由于有大量菌藻类等微生物存在,且有石盐、石膏假晶和干裂等标志出现,可见近水平缓波状叠层石生长在间歇性暴露的潮上带环境<sup>[18-20-22]</sup>。

##### ②缓波状叠层石

缓波状叠层石常出露在柱状叠层石的上下层中,常为被泥打断后融合生长,或者为藻纹层泥岩中局部相变,围岩中可见泥质条带或水平竹叶状灰岩,也见与大缓波状伴生的半球状叠层石,反映了有一定水动力条件,根据其波状起伏程度,可以判别其生长环境主要为水体较浅的潮上带下部或潮间带上部环境<sup>[18-22-23]</sup>。

#### 3.1.3 半球状叠层石

半球状叠层石层常伴生大量竹叶状砾屑、核形石、叠层石砾屑和生物碎屑层等(图版 II-j-k),叠层石间多填充圆形或椭圆形核形石,也见破碎程度较高的生物碎屑层,反映了半球状叠层石生长时期水动力条件很强,说明半球状叠层石形成于潮间带下部高能环境<sup>[19-22-23]</sup>。

#### 3.1.4 围绕竹叶状泥灰岩砾屑生长的叠层石

叠层石主要是围绕竹叶状泥灰岩砾屑四周生长,表明强水动力条件使竹叶状泥灰岩长期悬浮在水中,但水动力又不足以把大块的竹叶状灰岩打碎,可见围绕竹叶状泥灰岩生长的叠层石主要在水动力较强的潮间带中部环境<sup>[22]</sup>。

### 3.2 寒武系馒头组叠层石的沉积环境分布模式

根据豫西寒武纪馒头组各类型叠层石的宏观形态特征及其围岩的岩性、成分、层理等原生沉积构造,借助巴哈马现代海相叠层石和前寒武纪叠层石的沉积环境分析方式、方法及其佐证,可以判断豫西寒武

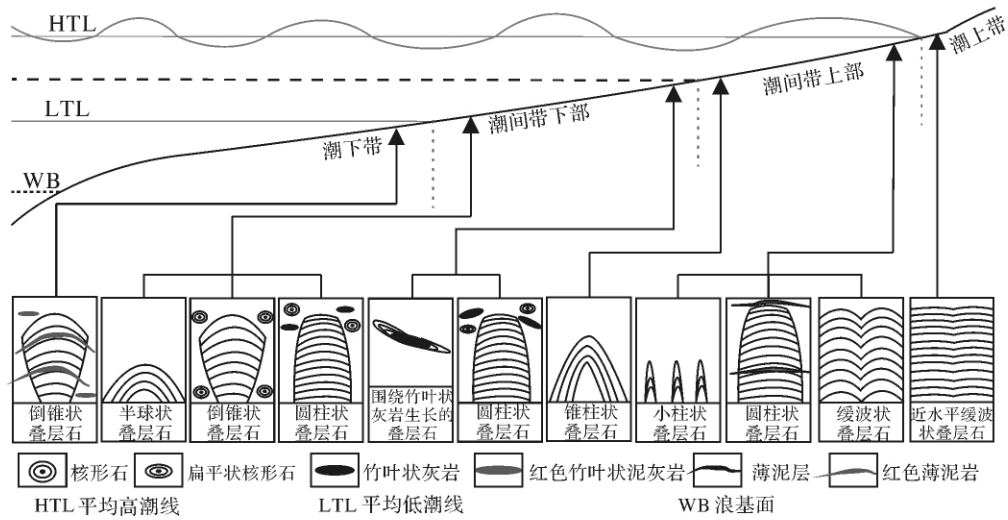


图 3 豫西早中寒武世馒头组叠层石的沉积环境分布模式

Fig. 3 The distribution model of sedimentary environments of stromatolites from Early-Middle Cambrian Mantou Formation, Western Henan

纪馒头组不同类型叠层石的沉积特征,其沉积环境分布模式图如图 3。

从叠层石的沉积环境分布模式图可以看出,叠层石主要生长在潮坪环境,相对集中在潮间带,依据其不同的沉积环境特征可以把叠层石的沉积相分成不同的沉积相带,具体如下:

(1) 潮上带叠层石: 在潮上带,叠层石以近水平状为主,少量缓波状、小柱状和含水平状薄泥层的叠层石,偶见石盐和石膏假晶等蒸发环境产物以及干裂等暴露标志,特别是在近水平状叠层石中较常见,反映了间歇性暴露、水动力很弱或短期较平静的沉积特征。

(2) 潮间带上部叠层石: 叠层石以缓波状、小柱状和含水平状薄泥层的叠层石为主,少量锥柱状叠层石,整体以含一定量的薄泥层或缓波状为特征,反映了水动力条件较弱的沉积特征。

(3) 潮间带中部叠层石: 叠层石以圆柱状为主,含扁平状核形石或竹叶状砾屑,少量为锥柱状和围绕竹叶状砾屑生长的叠层石,反映了水动力条件较强,竹叶状砾屑灰岩能长期漂浮在水中,但又不足以打碎竹叶状砾屑灰岩或形成圆形核形石的沉积特征。

(4) 潮间带下部至潮下带叠层石: 叠层石以含圆形核形石的圆柱状和半球状叠层石为主,少量含核形石的倒锥状叠层石,反映了水动力条件很强,且长期处于动荡之中的沉积环境特征。

### 4 结论

叠层石是环境变化的“灵敏指示器”,豫西寒武纪馒头组一、二段 9 层叠层石的幕式生长有其较复杂的类型变化,主要有圆柱状、波状、半球状和围绕竹叶状砾屑灰岩生长的叠层石等 4 大类 8 小类,这些叠层石和与其相伴生的其它沉积特征,反映了不同类型叠层石的不同沉积环境条件,同时通过建立馒头组 8 小类 11 种叠层石的沉积环境分布模式,为研究叠层石的生长条件及其沉积环境提供参考。

圆柱状、波状、半球状和围绕竹叶状砾屑灰岩生长的叠层石的类型以及亚类型变化多是受水体深度变化引起的,不同类型的叠层石生长在不同水动力条件下,水体深度变化主要体现在水动力条件的改变,但是个别类型叠层石如圆柱状叠层石具有较大的适应性,从上下潮间带到潮上带下部都能生长,总的看来不同类型具有不同的生长和沉积环境。同时在馒头组二段的第二层叠层石中,缓波状叠层石向上发生改变,出现了破碎程度较高的生物碎屑和竹叶状砾屑灰岩及大量圆形或近圆形核形石,表明水动力条件明显加强,叠层石的形态类型也发生了明显变化,有缓波状改变为半球状和大柱状等。由此可见,海平面的变化即水动力条件是叠层石生长类型变化的决定因素。

## 参考文献(References)

- 1 Dupraz C, Pattisina R, Verrecchia E P. Translation of energy into morphology: simulation of stromatolite morphospace using a stochastic model[J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 185(03): 185-203
- 2 Monty C L V. Evolving Concepts on the Nature and the Ecological Significance of Stromatolites [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1977: 15-35
- 3 Flügel E and Kiessling W. A new look at ancient reefs [C]//Kiessling W, Flügel E Golonka. eds Phanerozoic Reef Patterns. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 2002, 72: 1-50
- 4 陈荣坤. 华北地台中晚寒武世沉积层序中生物丘构造研究[J]. *沉积学报*, 1996, 14(2): 49-56 [Chen Rongkun. Study on the bioherm structure of Middle-Late Cambrian sedimentary sequences in the north China Platform [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(2): 49-56]
- 5 曹瑞骥, 袁训来. 中国叠层石研究进展[J]. *古生物学报*, 2009, 48(3): 314-32 [Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Advances of stromatolite study in China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(3): 314-32]
- 6 温志峰, 钟建华, 刘云田, 等. 柴达木盆地中新世叠层石沉积特征及其环境和构造意义[J]. *地质科学*, 2005, 40(4): 547-557 [Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Liu Yuntian, et al. Sedimentary features and tectono-environmental significance of the Miocene stromatolites in western Qaidam Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005, 40(4): 547-557]
- 7 贾志海, 洪天求, 王伟. 淮南地区新元古代九里桥组叠层石成礁过程及其影响因素[J]. *古生物学报*, 2008, 47(1): 47-57 [Jia Zhihai, Hong Tianqiu, Wang Wei. The building process and influential factors of the stromatolite reefs in the Neoproterozoic Jiuliquao Formation in Huainan Region, Anhui [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2008, 47(1): 47-57]
- 8 韩喜球. 东太平洋多金属结核的叠层石包壳及其沉积环境意义[J]. *海洋学报*, 2009, 22(5): 73-81 [Han Xiqiu. The stromatolite coats of manganese nodules from the East Pacific Ocean and their sedimentary environment significance [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 22(5): 73-81]
- 9 刘印环, 王建平, 张海清, 等. 河南的寒武系和奥陶系[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-206 [Liu Yinhuang, Wang Jianping, Zhang Haiqing, et al. The Cambrian and Ordovician Systems of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1-206]
- 10 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 1-200 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies Paleogeography of the Cambrian and Ordovician in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 1-200]
- 11 巩恩普, 韩书和, 关广岳. 河北柳江盆地中晚寒武世藻类丘礁的演化[J]. *沉积学报*, 1995, 13(1): 75-81 [Gong Enpu, Han Shuhe, Guan Guangyue. Evolution and sedimentary environment of algal bioherms from Middle to Upper Cambrian in Liujiang Basin, Hebei [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13(1): 75-81]
- 12 闵隆瑞, 迟振卿, 朱关祥, 等. 河北阳原东目连第四纪叠层石古环境分析[J]. *地质学报*, 2002, 76(4): 446-454 [Min Longrui, Chi Zhenqing, Zhu Guanxiang, et al. Analysis of the palaeoenvironment of Quaternary stromatolites at Dongmulian, Yangyuan County of Hebei Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(4): 446-454]
- 13 曹瑞骥, 袁训来. 中国叠层石研究的历史和现状[J]. *微体古生物学报*, 2003, 20(1): 5-14 [Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Brief history and current status of stromatolites study in China [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2003, 20(1): 5-14]
- 14 Andres M S and Reid R P. Growth morphologies of modern marine stromatolites: a case study from Highborne Cay, Bahamas [J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 185(03): 319-328
- 15 Bowlin E M, Klaus J S, Foster J S, et al. Environmental controls on microbial community cycling in modern marine stromatolites [J]. *Sedimentary Geology*, 2012, 263-264: 45-55
- 16 Allwood A C, Walter M R, Kamber B S, et al. Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia [J]. *Nature*, 2006, 441(7094): 714-718
- 17 Allwood A C, Walter M R, Burch I W, et al. Billion-year-old stromatolite reef from the Pilbara Craton of western Australia: ecosystem-scale insight to early life on earth [J]. *Precambrian Research*, 2007, 358: 198-227
- 18 郭华, 杜远生, 黄俊华, 等. 河北平泉中元古界高于庄组生境型及古环境[J]. *古地理学报*, 2010, 12(3): 269-280 [Guo Hua, Du Yuansheng, Huang Junhua, et al. Habitat types and palaeoenvironments of the Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in Pingquan, Hebei Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(3): 269-280]
- 19 高危言, 李江海, 白翔, 等. 五台山古元古代巨型叠层石的结构特征及成因意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(3): 667-674 [Gao Weiyan, Li Jianghai, Bai Xiang, et al. Structural characteristic of a huge Paleoproterozoic stromatolite in Mt. Wutai, and its genetic implication [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(3): 667-674]
- 20 党皓文, 刘建波, 袁鑫鹏. 湖北兴山中寒武统覃家庙群微生物岩及其古环境意义[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(2): 289-298 [Dang Haowen, Liu Jianbo, Yuan Xinpeng. Microbialites in the Middle Cambrian Qinjiamiao Group in Xingshan, Hubei Province: Implication for paleoenvironmental reconstruction [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(2): 289-298]
- 21 曹瑞骥, 袁训来. 叠层石[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006: 1-368 [Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Stromatolites [M]. Hefei: University of Technology and Science Press, 2006: 1-368]
- 22 王英华, 张秀莲, 杨承运. 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学[M]. 北京: 地震出版社, 1988: 1-136 [Wang Yinghua, Zhang Xiulian, Yang Chengyun. Petrology on Early Paleozoic Carbonate from North China [M]. Beijing: Seismological Press, 1988: 1-136]
- 23 江茂生, 沙庆安. 苏鲁地区中寒武统张夏组藻灰岩及沉积相[J]. *岩相古地理*, 1996, 15(5): 12-17 [Jiang Maosheng, Sha Qingan. Algal limestone and their sedimentary facies in the Zhangxia Formation, North Jiangsu-West Shandong Region [J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1996, 15(5): 12-17]

## Sedimentary Characteristics and Palaeoenvironmental Significance on Stromatolites of Mantou Formation in Cambrian , Western Henan , China

CHANG Yu-guang QI Yong-an ZHENG Wei WANG Min DAI Ming-yue

( Institute of Resources & Environment , Key Laboratory of Biogenic Traces & Sedimentary Minerals of Henan Province ,  
Henan Polytechnic University , Jiaozuo , Henan 454000)

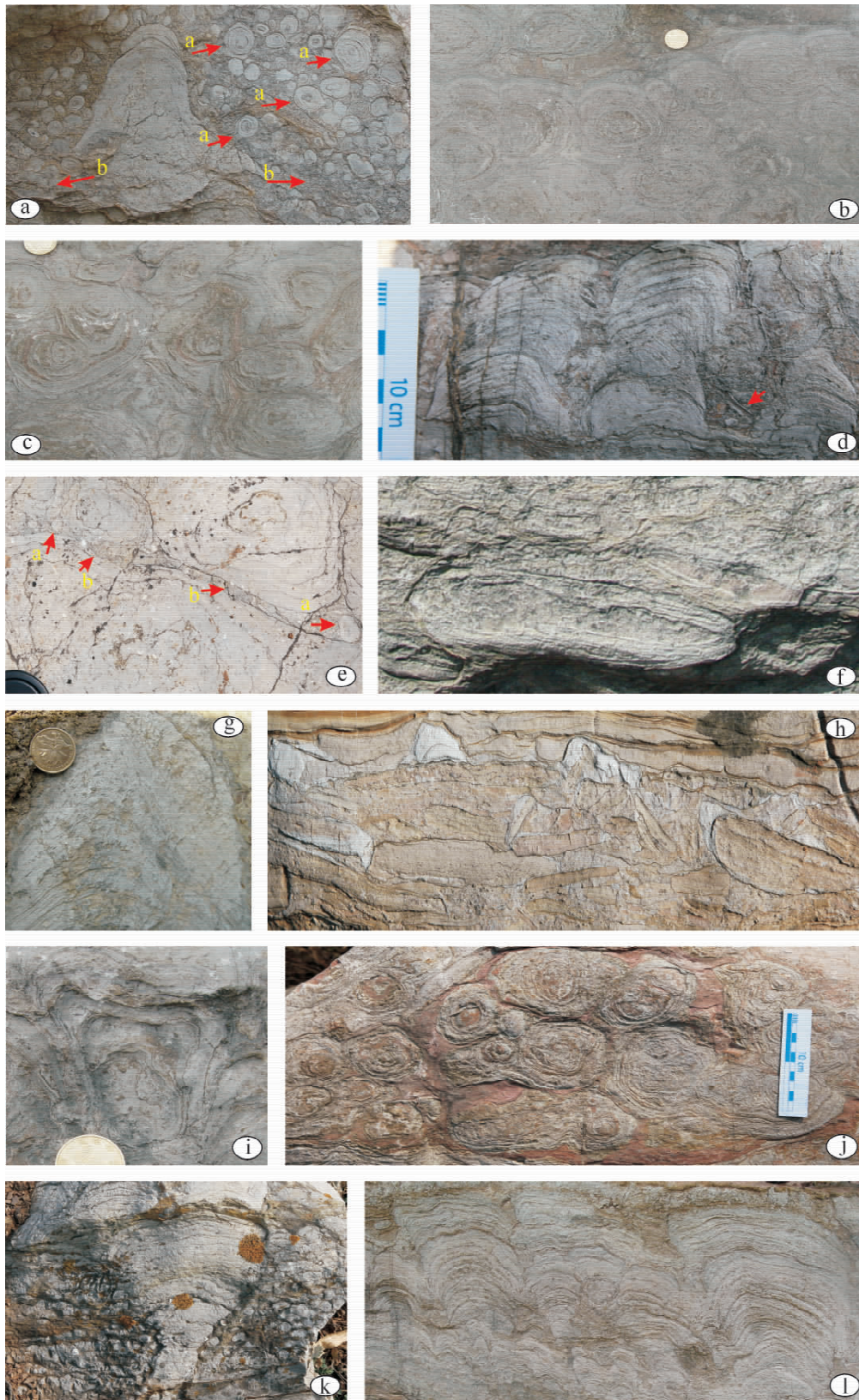
**Abstract:** From Cambrian in the first and second Member of Mantou Formation , 9 layers stromatolites are exposed , half of the 18 layers in Cambrian in the western Henan province , China. The morphological characteristics are rich and notable , mainly column-shaped , wavy-shaped , hemisphere-shaped and surrounding flat-pebble conglomerate limestones shaped , and it can be divided into 4 big and 8 small categories. On the basis of analyzing the characteristics of sedimentary facies of every beds of the first and second Member , Mantou Formation in Cambrian , western Henan Province , the distribution model of sedimentary environments has been established as 8 small categories and 11 types stromatolites in Mantou Formation through detailed description on the macro , meso morphological characteristics of different types of stromatolites and accompanying sedimentary structure. At the same time , the paper proved the distribution model of sedimentary environments with the growth environment of modern marine stromatolites and the sedimentary environment of Precambrian. The gently wavy-shaped stromatolites are dominated by supratidal , with subordinate wavy-shaped , small columnar and having horizontal thin bedded mud stromatolites. The wavy-shaped , small columnar and having horizontal thin bedded mud stromatolites are dominated by upper intertidal , with subordinate conical-shaped stromatolites. The teretifolious stromatolites are dominated of middle intertidal having elliptical oncolites and flat-pebble conglomerate , with subordinate conical-shaped and surrounding flat-pebble conglomerate limestones shaped stromatolites. The teretifolious stromatolites having rounded oncolites and hemisphere -shaped stromatolites are dominated of bottom intertidal to subtidal , with subordinate inverted conical-shaped stromatolites having oncolites. Sea level change i. e. hydrodynamic condition is the decisive factor of the stromatolites growth categories.

**Key words:** stromatolites; sedimentary characteristics; distribution model of sedimentary environments; Mantou Formation; western Henan

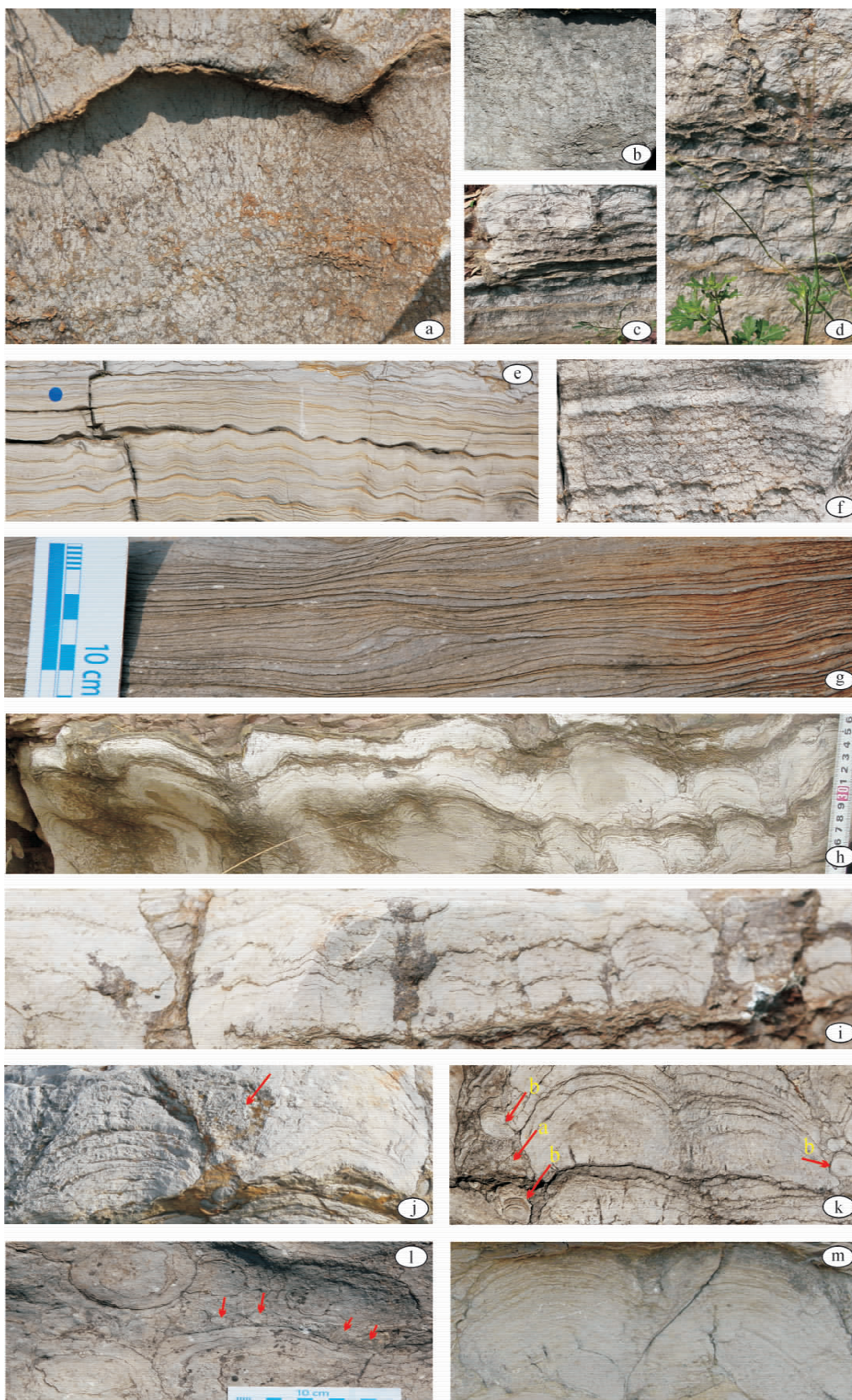
### 图版说明( Explanation of Plates)

本文描述的叠层石标本均采自河南省西部寒武系馒头组 , 藏于河南理工大学河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室





图版 I 说明: a. 圆柱状或次圆柱状叠层石, 叠层石间富含核形石 (a) 和生物碎屑 (b), 为剖面照片; b. 圆柱状或次圆柱状叠层石, 见藕节状连环生长, 为平面照片; c. 圆柱状或次圆柱状叠层石, 见对称肾形, 为平面照片; d. 圆柱状或次圆柱状叠层石, 叠层石间含竹叶状砾屑灰岩, 为剖面照片; e. 圆柱状或次圆柱状叠层石, 叠层石间富含核形石 (a) 和竹叶状砾屑灰岩 (b), 为平面照片; f. 锥柱状叠层石 (围绕竹叶状砾屑灰岩生长的叠层石), 为剖面照片; g. 锥柱状叠层石, 为剖面照片; h. 锥柱状叠层石 (围绕竹叶状砾屑灰岩生长的叠层石), 为剖面照片; i. 倒锥柱状叠层石, 为剖面照片; j. 倒锥柱状叠层石, 为平面照片; k. 倒锥柱状叠层石, 富含核形石, 为剖面照片; l. 倒锥柱状叠层石, 见似火把状和联合生长等现象, 为剖面照片



图版 II 说明: a. 小柱状叠层石,富含鲕粒和泥质条带,为剖面照片; b. 不明显小柱状叠层石,为剖面照片; c. 小柱状叠层石,富含泥质条带,叠层石向上逐步变大,为剖面照片; d. 小柱状叠层石,富含泥质条带,叠层石向上逐步变大,为剖面照片; e. 近水平缓波状叠层石,为剖面照片; f. 近水平缓波状叠层石,含泥质条带,为剖面照片; g. 近水平缓波状叠层石,为剖面照片; h. 缓波状叠层石,为柱状叠层石顶部融合生长,为剖面照片; i. 缓波状叠层石,叠层石间含泥质条带,为剖面照片; j. 半球状叠层石,叠层石间含生物碎屑,为剖面照片; k. 半球状叠层石,叠层石间含生物碎屑 (a) 和核形石 (b),为剖面照片; l. 半球状叠层石,叠层石间富含核形石,为平面照片; m. 半球状叠层石,为剖面照片