

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0565-10

# 北京延庆千沟中元古代高于庄组第三段: 一个典型的前寒武纪非叠层石碳酸盐岩沉积序列<sup>①</sup>

梅冥相<sup>1, 2</sup>

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室 北京 100083 2. 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083)

**摘要** 在前寒武纪碳酸盐岩中, 最为普遍的是叠层石碳酸盐岩沉积序列, 而以潮下相沉积为主的非叠层石碳酸盐岩沉积序列与前者形成了较大的差异; 因此, 与叠层石碳酸盐岩沉积序列一样, 非叠层石序列成为了解前寒武纪复杂多变的碳酸盐世界的重要线索。燕山地区中元古代高于庄组为一套厚度千余米的碳酸盐沉积序列, 包括四大部分: 第一段(或称为官地亚组)为发育在海侵砂岩上的叠层石白云岩地层; 第二段(或称为桑树鞍亚组)为发育少量叠层石的含锰白云岩地层; 第三段又称为张家峪亚组, 为一套以发育灰岩为主的非叠层石碳酸盐岩沉积序列; 第四段以叠层石岩礁和叠层石礁白云岩为特征。延庆千沟剖面的高于庄组第三段的非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 贫乏叠层石是其基本特点, 包含 3 个三级层序, 在三级层序的海侵体系域和早期高水位体系域中, 层面上发育席底构造的中层均一石灰岩(隐藻泥晶灰岩)和灰黑色薄层泥灰岩组成若干潮下型米级旋回, 晚期高水位体系域则以厚层块状纹理石灰质白云岩和白云质灰岩为特征; 三级层序的凝缩段单元则以薄层泥灰岩和泥页岩构成的 L—M 型米级旋回为特征。因此, 每一个三级层序均以有一个有序的沉积相序列为特征。高于庄组的分布时限大致为 200 Ma (1 600~ 1 400 Ma), 考虑到下伏的大红峪组和高于庄组之间的地层间断时限大致为 50 Ma 至 100 Ma, 所以推断高于庄组的堆积作用时限为 100 Ma (1 500~ 1 400 Ma) 左右, 其中高于庄组第一段与第二段的分界线正好处于该组的中部而可以推断该界线的大致为 1 450 Ma 左右; 因此, 高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列的发育表明, 在 1 450 Ma 左右可能发生过一次可以与前寒武纪其他已经被识别出的三次叠层石衰减事件(2 000 Ma, 1 000 Ma 和 675 Ma)相比拟的又一次叠层石衰减事件。延庆千沟剖面高于庄组第三段的非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 可以大致与北美地区的起始时限为 1 450 Ma 左右、Belk 超群中的 Helena 组非叠层石碳酸盐岩沉积序列相对比, 表明了 1 450 Ma 左右的叠层石衰减事件具有全球性, 从而赋予高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列重要的沉积学意义。延庆千沟剖面高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 特别的岩石类型和沉积构造, 成为前寒武纪碳酸盐岩沉积中非叠层石碳酸盐岩沉积序列的典型代表, 由其所代表的沉积学特点将有助于深入理解漫长的前寒武纪碳酸盐沉积作用的变化规律而具有重要意义。

**关键词** 非叠层石碳酸盐岩序列 高于庄组 中元古代 延庆千沟剖面

**作者简介** 梅冥相 男 1965 年出生 博士 教授 沉积学与地层学 E-mail: meimingxiang@263.net

**中图分类号** P534.1 **文献标识码** A

## 0 引言

在漫长的前寒武纪, 大致在 3 450 Ma 左右就开始发育叠层石, 而且 2 800~ 1 000 Ma 这一段时间内是叠层石生长发育的黄金时段; 作为一种正向生长的与微生物作用相关的原生沉积构造, 叠层石的成因至今还未得出一个合理的解释而成为一个显著的“前寒武纪谜”<sup>[1]</sup>。在叠层石生长的黄金时段中, 除了在新元古代 675 Ma 左右的叠层石衰减事件<sup>[2]</sup>和古生代 460 Ma 左右的叠层石衰减事件<sup>[3]</sup>以外, 随着对叠层石类型研究的深入, 地质学家们又确定了两次发生在

元古代的叠层石衰减事件: 2 000 Ma 左右一次<sup>[4]</sup>, 1 000 Ma 一次<sup>[5]</sup>。叠层石衰减事件具有深刻的地质涵义, 所代表的地球表层生物圈、大气圈、水圈的变化, 成为了解前寒武纪碳酸盐沉积作用演变规律的重要线索。但是, 在叠层石生长发育的黄金时段(2 800~ 1 000 Ma)内, 在我国燕山地区, 高于庄组第三段则组成一个厚度为数百米的非叠层石碳酸盐岩沉积序列<sup>[6~8]</sup>, 而且以延庆千沟剖面最为典型; 千沟剖面的高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 以特别的均一石灰岩及其层面上奇形怪状的席底构造的普遍发育为特征<sup>[9, 10]</sup>, 与前寒武纪普遍发育的叠层石碳

①国家自然科学基金会项目(批准号: 49802012, 40472065)资助。

收稿日期: 2007-06-14 收修修改稿日期: 2007-10-27

酸盐岩沉积序列形成极为强烈的反差,有可能代表其形成时期的初期(1 450 Ma左右)曾经发生过另一次叠层石衰减事件。更为重要的是,延庆干沟剖面高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列,大致可以与北美地区 Belt超群中的 Helena组及其相应地层的贫乏叠层石的碳酸盐岩沉积序列<sup>[11, 12]</sup>相对比,有可能表明了 1 450 Ma 上所发生的叠层石衰减事件是一次全球性事件。该次事件,发生在被认为是叠层石发育的黄金时期(2 800~ 1 000 Ma),对其所进行的甄别与确定对于更进一步了解复杂的前寒武纪碳酸盐沉积作用所蕴含的地球表层生物圈、大气圈、水圈的长时间周期性演变具有较为重要的意义。在前寒武

纪碳酸盐岩中,最为普遍的是叠层石碳酸盐岩沉积序列,而以潮下相沉积为主的非叠层石碳酸盐岩沉积序列与前者形成了较大的差异;因此,与叠层石碳酸盐岩沉积序列一样,非叠层石碳酸盐岩序列也为了了解前寒武纪复杂多变的碳酸盐世界<sup>[13]</sup>提供了重要线索而意义重大。

## 1 高于庄组第三段的地层学特征

北京延庆干沟剖面的高于庄组包括四个段,组成一个发育在海侵石英砂岩地层上的厚度近千米的碳酸盐沉积序列。其中,第一段以海侵砂岩系地层为主,顶部为叠层石白云岩地层,厚度 120 余米;第二段

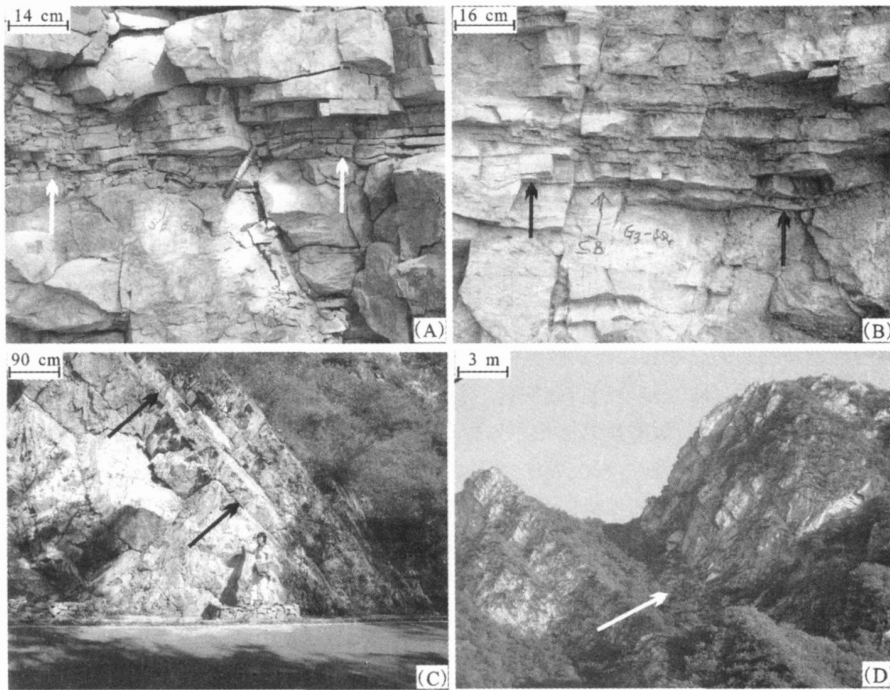


图 1 延庆干沟剖面高于庄组第三段的宏观岩石特征及典型层序界面

照片中箭头所指处表示层序界面。照片(A) SQ<sub>5</sub>的顶界面,表现为 SQ<sub>5</sub>顶部的潮坪相叠层石白云岩突然变化为 SQ<sub>6</sub>底部的中缓坡相中薄层灰岩地层,也是高于庄组第一段和第二段的分界面; (B) SQ<sub>6</sub>的顶界面,为一个从潮坪相厚层块状微生物席灰质白云岩到 SQ<sub>7</sub>底部的中缓坡相中薄层均一石灰岩地层的突然相变面; (C) SQ<sub>7</sub>的顶界面,其特征与 SQ<sub>6</sub>的顶界面类似; (D) SQ<sub>8</sub>的顶界面,也是高于庄组第三段与第四段的分界面,表现为 SQ<sub>8</sub>顶部的潮坪相泥晶白云岩地层与第四段潮下相块状叠层石礁白云岩之间的突然相变关系

Fig 1 Images showing macroscopic lithological features and some typical sequence boundaries of the third member of Gaoyuzhuang Fm. at the Qiangou section of Yanqing County

In the figure, the arrowed refer to sequence boundaries. Photo (A) refers to the top boundary of the SQ<sub>5</sub> that is also interface between the second and the third members of the Gaoyuzhuang Fm., which is reflected by the abrupt change from the tidal-flat stromatolitic dolomites in the top part of the SQ<sub>5</sub> to the medium- and thin-bedded ramp limestones in the bottom part of the SQ<sub>6</sub>. Photo (B) and (C) respectively refer to the top boundaries of the SQ<sub>6</sub> and SQ<sub>7</sub>, which are demonstrated by the abrupt change from the underlying tidal-flat fine dolomites with microblasts to the overlying ramp medium- and thin-bedded leiolite limestones. Photo (D) refers to the top boundary of the SQ<sub>8</sub> that is also interface between the third and the fourth members of the Gaoyuzhuang Fm., which is reflected by the abrupt change from the tidal-flat micritic dolomites in the top part of the SQ<sub>8</sub> to the subtidal massive dolomites of stromatolite reef in the bottom part of the SQ<sub>9</sub>.

为含锰叠层石白云岩地层, 厚度 160 m 左右; 第三段组成一个非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 厚度 300 余米; 第四段为一个发育叠层石生物礁的白云岩序列, 厚度近 600 m。高于庄组的顶、底界面均为明显的区域平行不整合面, 代表明显的构造抬升并分别命名为滦县上升和青龙上升<sup>[14-16]</sup>。多年来的研究表明, 高于庄组的分布时限大致为 200 Ma (1 600~1 400 Ma), 考虑到下伏的大红峪组和高于庄组之间的地层间断时限大致为 50~100 Ma 所以推断高于庄组的堆积作用时限为 100 Ma (1 500~1 400 Ma) 左右<sup>[15]</sup>。

高于庄组第三段为一个以灰岩为主的非叠层石碳酸盐岩沉积序列 (图 1 所示), 厚度 300 余米。立足于不同级别海平面变化旋回的沉积学相应<sup>[17, 18]</sup>, 参照燕山其他地区如河北兴隆和天津蓟县一带的层序划分<sup>[6-8, 19-22]</sup>, 从岩相序列到米级旋回<sup>[23]</sup>, 从沉积相序列到三级层序划分, 可以将北京延庆千沟剖面的高于庄组第三段划分为 3 个三级层序 (图 2 的 SQ<sub>1</sub> 至 SQ<sub>3</sub> 所示) 而进一步归为 1 个二级层序 (图 1)。三级层序的基本特征是: 在三级层序的海侵体系域和早期高水位体系域中, 均一石灰岩层常常与薄层灰黑色泥灰岩一起构成若干潮下型碳酸盐米级旋回<sup>[23, 24]</sup>; 在层序的晚期高水位体系域中, 发育厚层块状水平微生物席 (纹理石或层纹石) 白云质灰岩和灰质白云岩。如图 1 的照片 (B) 和照片 (C) 所示, 高于庄组第三段内部的层序界面, 总是表现为下伏层序顶部的潮坪相厚层块状微生物席或纹理石的白云质灰岩和灰质白云岩与上覆层序底部的中缓坡相中薄层均一石灰岩之间的突然相变, 即下伏地层向上变浅、上覆地层向上加深的转换面; 而第三段与第二段的分界面 (图 1 的 (A))、以及第三段与第四段的分界面 (图 1 的 (D)), 不但具有上述特点, 而且是大套岩系之间的变化面, 从而成为二级层序的分界面。

在前寒武纪碳酸盐岩地层中, 叠层石碳酸盐岩沉积序列最为普遍; 而厚度数百米的高于庄组第三段所构成的非叠层石碳酸盐岩沉积序列, 则代表了一种特殊的沉积现象。

## 2 非叠层石序列的沉积特征

### 2.1 宏观特征

如上文所述, 延庆千沟剖面高于庄组第三段所构成的非叠层石碳酸盐岩沉积序列可以进一步划分为三个三级层序 (图 2 的 SQ<sub>1</sub> 至 SQ<sub>3</sub>)。在这些三级层序的海侵体系域和早期高水位体系域中, 中层及少量

厚层均一石灰岩与薄层灰黑色泥灰岩构成若干潮下型碳酸盐米级旋回 (图 3 的 (A) 所示)<sup>[23, 24]</sup>, 它们不但代表了由该段地层所组成的非叠层石碳酸盐岩沉积序列的基本地层结构特点, 而且表明其沉积环境总体上属于潮下环境而与第二段的潮坪相含锰叠层石白云岩、第四段的高能潮坪相叠层石礁白云岩形成了明显的区别。

更为特别的是, 常常在均一石灰岩层面上发育奇形怪状的大型皱饰构造、变余波痕和帐篷脊 (图 3)。这些可能由微生物席稳化作用和夷平作用所形成的奇形怪状的沉积构造 (图 3 之 (B) 至 (E) 所示)<sup>[9-10]</sup>, 表明了灰岩层面上曾经发育过微生物席。从形态上观察, 它们可以进一步划分为: (1) 分布杂乱的大型皱饰构造 (图 3 之 (C) 所示); (2) 呈不规则网状分布的大型帐篷脊 (图 4 之 (D) 所示); (3) 波痕指数较低的变余波痕 (图 3 之 (E) 所示)。它们的成因可以进行以下大致推断:

第一、对于分布杂乱的大型皱饰构造, 皱痕最高点处可以达到 5 mm, 是发育在沉积面上的微生物席受到多向水流改造的结果, 即富水和富柔软性的微生物席在水流作用下发生皱褶的产物。

第二、呈不规则网状分布的大型帐篷脊, 脊的最高点处可以达到 5 mm, 则是富水和柔软性的微生物席在短暂地露出水面之后, 有可能发生干裂, 而且在脱水过程之中使被下伏被微生物席封闭的碳酸盐泥晶上涌而形成。

第三、那些波痕指数较低的变余波痕, 波高 2~4 mm, 波宽 10~20 cm, 其波痕指数较低; 类似于大型皱饰构造, 只是由于水流的方向性沿着一个方向较强, 微生物席在沉积面上形成具有一定方向的皱褶, 致使这些变余波痕大致平行分布。类似的构造曾经被描述为“肯尼亚波痕” (Kinneyia ripples) 而误作为叠层石的一种类型<sup>[9, 10, 25-27]</sup>, 由于常常与皱饰构造共生而且容易混淆, 再加上这种变余波痕与皱饰构造均代表了相近沉积构造的终端形式, 所以也可以归为广义的皱饰构造。由于缺乏现代的类比物, 皱饰构造与变余波痕的确切成因机制还存在一些争议<sup>[9, 10, 25-27]</sup>。

在层序的晚期高水位体系域中发育厚层块状水平微生物席和纹理石的白云质灰岩和灰质白云岩 (图 4 的 (A) 所示), 其中所发育的水平状及微波状微生物席, 单个纹层厚度为 0.5 至 1 mm 左右, 不但可以归为水平状叠层石, 也可以归为纹理石。之所以称之为水平状和微波状微生物席, 是因为它们的单个纹

层较厚(毫米级),而不同于水平状叠层石<sup>[15-28]</sup>,更不同于那些具有特定形态的叠层石<sup>[29]</sup>,而与中国南方

震旦系灯影组中的“非叠层石蓝细菌白云岩”<sup>[30-31]</sup>较为相似。

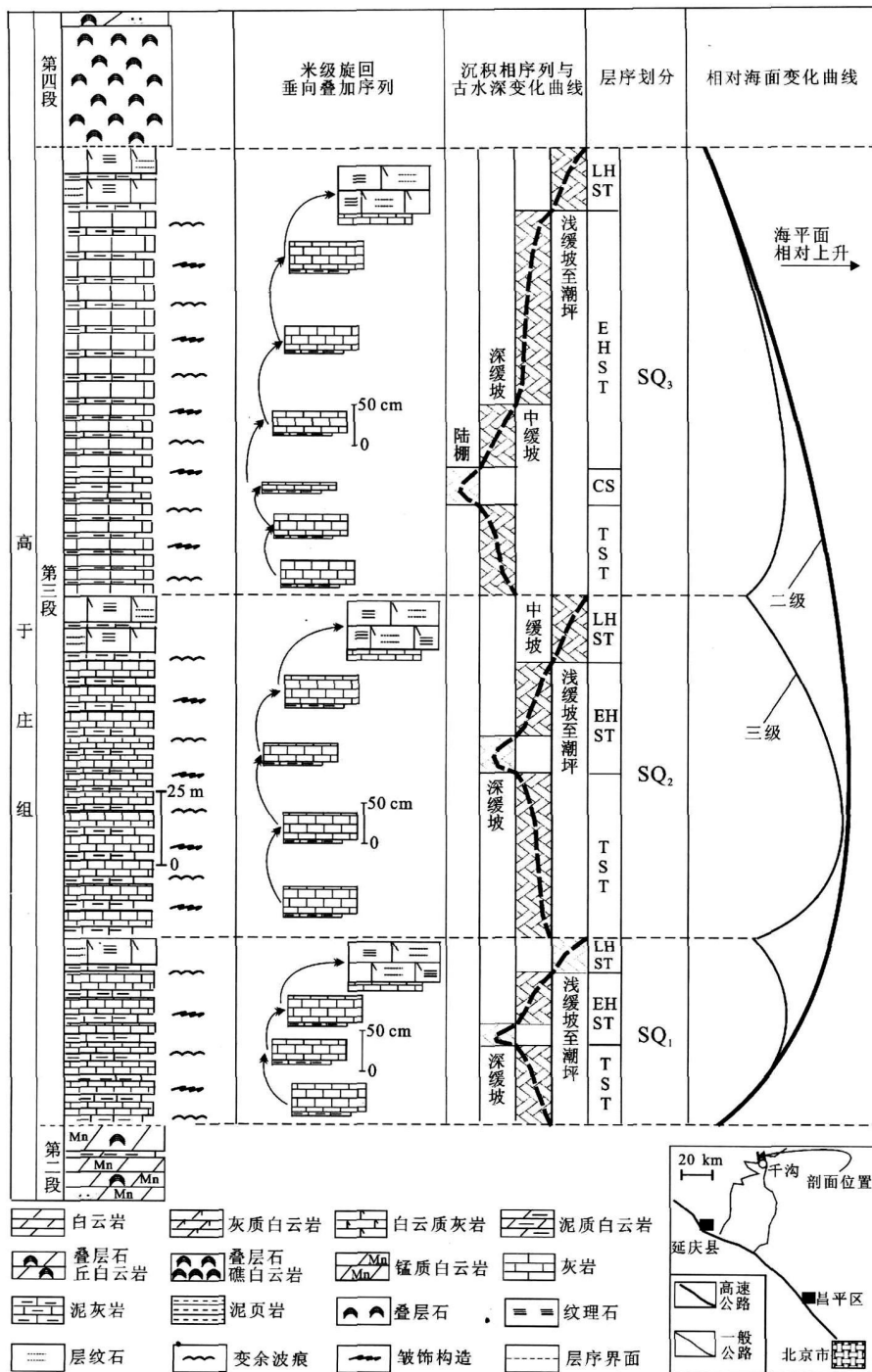


图 2 北京延庆千沟剖面高于庄组第三段的层序划分

SQ<sub>1</sub>至 SQ<sub>3</sub>代表 3个三级层序,它们构成一个二级层序。TST:海侵体系域;CS 凝缩段;EHST:早期高水位体系域;LHST:晚期高水位体系域

Fig 2 Sequence-stratigraphic division for the third member of Gaoyuzhuang Formation at the Qiangou section of Yanqing County in Beijing

SQ<sub>1</sub> to SQ<sub>3</sub>, respectively refer to three third-order sequences discerned in the third member of Gaoyuzhuang Formation and they make up one second-order sequence TSE transgressive system tract CS condensed section; EHST early high-stand system tract LHST late high-stand system tract

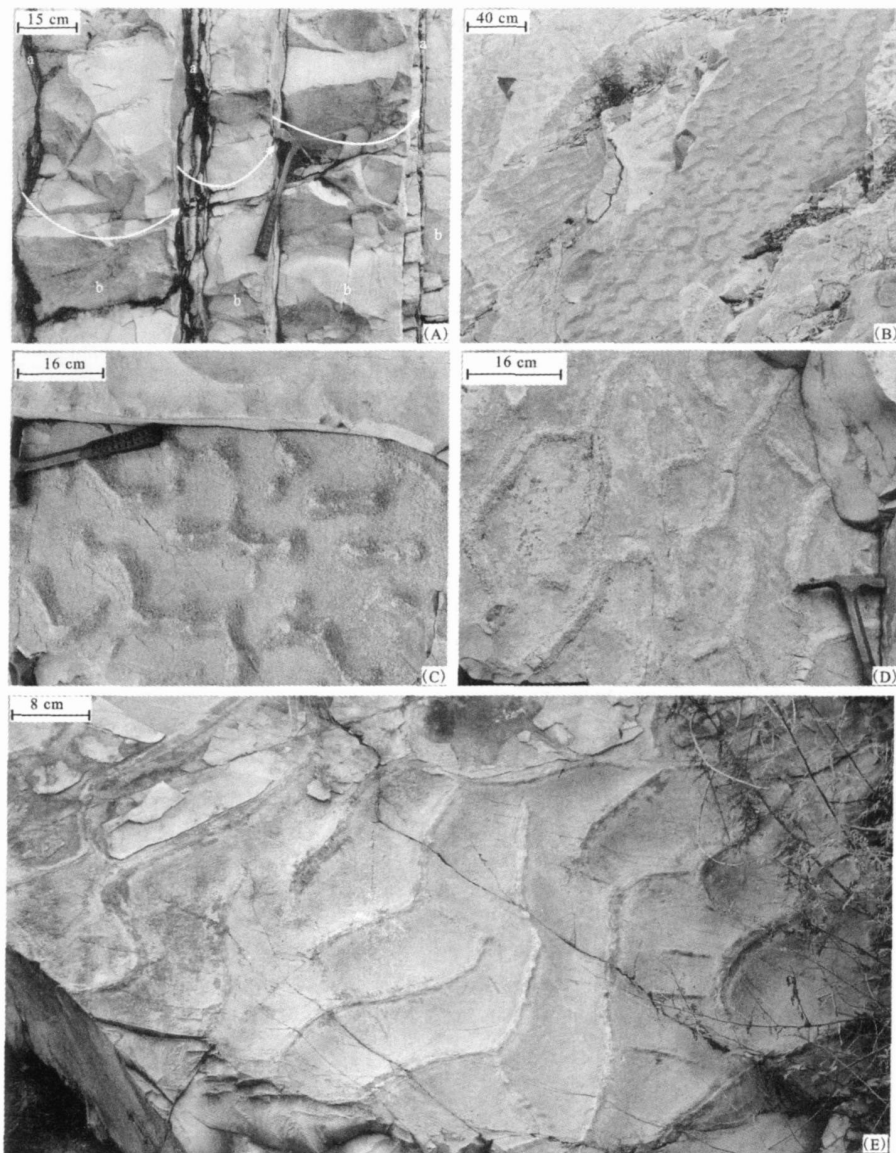


图 3 北京西郊延庆千沟剖面高于庄组非叠层石灰岩序列中均一石灰岩层面上的席底构造

(A) 薄层泥灰岩 (a) 与中厚层隐藻泥晶灰岩 (均一石灰岩; b) 构成的潮下型米级旋回; (B) 在灰岩层面上发育的各种奇形怪状的席底构造;  
(C) 分布杂乱的大型皱饰构造; (D) 大型帐篷脊; (E) 由帐篷脊经水流改造而形成的变余波痕

Fig. 3 M atground structures developed in the bed planes of leiolite limestones in the non-stromatolitic limestone succession of the third Member of the Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation at the Qiangou section of Yanqing County in Beijing

Photo (A) shows the subtidal carbonate meter-scale cycles that are made up by the thin-bedded marls

(a) and medium to thick-bedded leiolite limestone (b); (B) indicates the grotesque matground structures

(C) demonstrates the large-scale winkle structures (D) shows the large-scale tepee ridges (E) reflects the palimpsest ripples

在三级层序的凝缩段单元中, 较多较厚的灰黑色中薄层炭质泥岩和薄层泥灰岩组成若干 L-M 型米级旋回<sup>[23]</sup>。炭质泥岩和泥灰岩均发育水平纹层, 反映了较深水陆棚环境的沉积特点, 在炭质泥岩中局部密集发育特别的大型球状和椭球状灰岩结核 (图 4 之 (B) 至 (D) 所示)。这些球状或椭球状灰岩结核体, 大小在数厘米至数十厘米之间, 曾经被认为是溶

解作用的结果<sup>[32]</sup>, 但仔细观察则具有环状纹层而显示出“核形石”的特点 (图 4 的 (D) 所示), 极为有可能是形成在较深背景中的一种特殊的碳酸盐筑积体, 即较深水背景中 (陆棚) 的碳酸盐泥丘<sup>[33 34]</sup>, 从而成为一种特别的微生物碳酸盐岩<sup>[1]</sup>。发育球状或椭球状灰岩结核体陆棚相炭质泥岩和泥灰岩、发育席底构造的潮下相 (中至浅缓坡相) 均一石灰岩、发育微生物

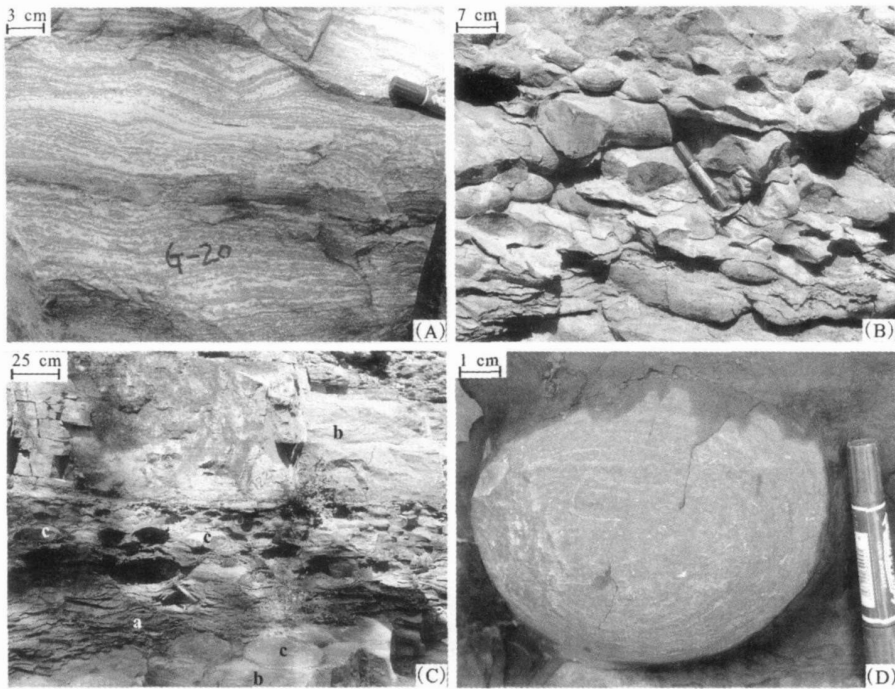


图 4 千沟剖面高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩序列的主要岩石类型及宏观沉积特征  
 照片 (A) 厚层块状潮坪相水平微生物席白云质灰岩及灰质白云岩; (B) 陆棚相泥灰岩中发育的球状或椭球状碳酸盐泥丘;  
 (C) 陆棚相泥灰岩 (a) 及其中的球状或椭球状碳酸盐泥丘 (c)、与均一石灰岩层 (b) 所构成的潮下型碳酸盐岩米级旋回;  
 (D) 具有环状纹层的球状或椭球状碳酸盐泥丘筑积体

Fig 4 Images showing the megascopic sedimentary features and the main lithological types for the non-stromatolitic carbonate succession of the third member of the Gaoyuzhuang Fm at the Qiangou section

Photo (A) refers to tidal-flat dolomitic limestones and lime dolomites with microbial mats. Photo (B) demonstrates lots of spherical or sub-spherical carbonate mounds in shelf marls. Photo (C) illustrates the meter-scale cycle made up by the shelf marl (a) and the leiolite limestone (b), and lots of spherical or sub-spherical carbonate mounds (c) in shelf marls. Photo (D) demonstrates a typical spherical carbonate mound.

物席的潮坪相厚层块状灰质白云岩和白云质灰岩 (图 4), 组成高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列的主要岩石类型, 代表了 3 种形成背景不同的非叠层石微生物碳酸盐岩。

## 2.2 微观特征

在显微镜下, 那些被称为均一石灰岩的隐晶质泥晶灰岩 (图 5 的 (A) 和 (B) 所示), 见不到任何沉积结构如颗粒、纹层、凝块状结构等, 几乎全由迷雾状碳酸盐泥晶所构成, 从而显示出“均一”的基本特点。我们将这种灰岩称为均一石灰岩, 与 Riding<sup>[11]</sup> 的原始定义还存在一些差异: 最早定义和描述均一石的是 Braga 等<sup>[35]</sup> 对西班牙东南部晚中新世叠层石—凝块石组合中的那些大型穹窿状筑积体, 这些筑积体以贫乏沉积结构的均一碳酸盐泥晶为特征, 被称为“均一石”而区别于叠层石和凝块石。而高于庄组第三段非叠层石序列中的均一石灰岩, 则呈层状产出 (图 3 的 (A) 所示); 如图 5 的照片 (A) 所示, 均一石灰岩局部

发育有机质和黄铁矿聚集体组成的残余“黑点”, 有可能代表了某种能产生硫化氢如硫酸盐还原剂的微生物<sup>[36]</sup>。作为一种微生物碳酸盐岩, 均一石灰岩内部组构的贫乏与层面上所发育的各种奇形怪状的席底构造形成了鲜明的对比。高于庄组第三段非叠层石序列中的被称为纹理石的微生物席灰质白云岩和白云质灰岩, 为块状层且具明显的白云石化特点 (图 4 的 (A) 所示), 表明其沉积环境要浅于均一石灰岩。如图 5 的照片 (C) 和 (D) 所示, 微生物席灰质白云岩和白云质灰岩中的纹理, 也显示出与叠层石类似的“亮层”和“暗层”的特点, 只是其纹理的厚度均超过 1 mm 而区别于叠层石; 其中, 在一些亮层之中还可以见到一些乳状泥晶 (图 5 的 (C) 所示), 这些乳状泥晶有可能代表钙化了的微生物细胞外聚合物质的残余物。

总之, 均一石灰岩、微生物席灰质白云岩和白云质灰岩, 不管是宏观还是微观组构方面均显示了一些



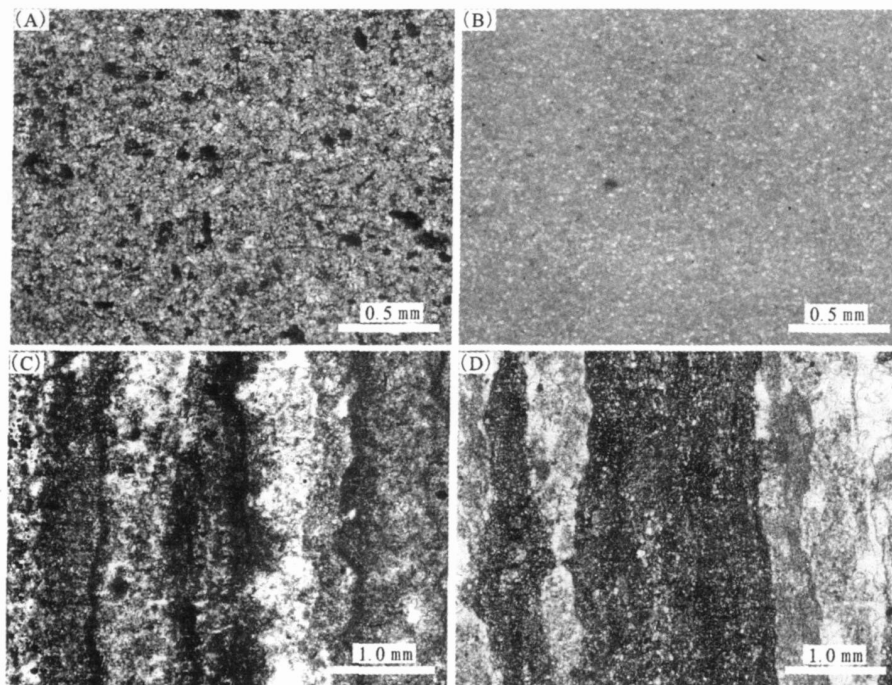


图 5 高于庄组第三段非叠层石序列中的均一石和微生物席碳酸盐岩(纹理石)的显微特征

照片(A)(B)为均一石灰岩,以贫乏沉积结构的隐晶质碳酸盐岩泥晶为特征,照片(A)中的黑点为残余有机质和黄铁矿聚集体;

照片(C)和(D)为微生物席灰质白云岩和白云质灰岩,显示出类似于叠层石的“亮层”和“暗层”的特点

Fig. 5 Photos showing the microscopic features of the leiolite and km inite limestones in the third member of Gaoyuzhuang Fm.

Photos (A) and (B) are the leiolite limestones and photo (A) demonstrates that there are many black gathering bodies constituted by pyrite crystals and organic matters. Photos (C) and (D) refer to lime dolomites or dolomitic limestones with microbial mats reflected by the dark and the light laminations.

较为明显的微生物活动的痕迹;作为另外一些类型的微生物碳酸盐岩,它们与叠层石——“底栖纹层状微生物沉积”形成了较大的差异,应该属于非叠层石微生物生态系的微生物作用的产物<sup>[30, 31]</sup>。

### 3 结语和讨论

在前寒武纪,还存在许多“谜”一样的问题,如前寒武纪白云岩究竟属于原生白云石沉淀作用的产物还是次生白云石化作用的结果的强烈争论<sup>[1, 13, 39, 40]</sup>、由于造叠层石的直接的微生物证据的缺乏造成了叠层石的微生物成因和非生物成因的激烈争论<sup>[1, 13, 39, 40]</sup>、臼齿状构造两种不同解释的成因模式——与微生物活动相关的气泡膨胀与迁移模式<sup>[11, 12]</sup>和地震液化模式<sup>[41~43]</sup>等等。叠层石,作为一种微生物碳酸盐岩的典型代表,在前寒武纪叠层石多发育在浅水潮坪环境中,所以通常具有潮坪相叠层石白云岩的概念;长期研究的积累,得出了叠层石在前寒武纪的 2 800~1 000 Ma 时间段内是其发育的黄金时段,同时又认识到在地球演变历史的长河中分别在 460 Ma、675 Ma、1 000 Ma、2 000 Ma 曾经发育过叠层石衰减事件<sup>[1]</sup>。

延庆千沟剖面高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列,其特殊的岩石组合类型、宏观和微观特征明显不同于潮坪相叠层石碳酸盐岩沉积序列,可能属于特殊的非叠层石微生物生态系的微生物作用下的碳酸盐沉积作用的产物;结合北美地区 Bell 超群中的 Helena 组及其相近层位中几乎与高于庄组第三段大致相当的贫乏叠层石碳酸盐岩沉积序列的资料,认为在 1 450 Ma 左右曾经还发生过一次全球性叠层石衰减事件。尽管该认识尽管是初步的,但是,为前寒武纪沉积学特别是碳酸盐沉积学研究而破解若干“前寒武纪谜”提供了一个有意义的线索,因为以灰岩为主的高于庄组第三段非叠层石碳酸盐岩沉积序列,与潮坪相叠层石碳酸盐岩沉积序列形成了强烈的反差,所以也为更加准确地认识漫长的前寒武纪地球表生环境的演变规律提供一个思考的途径。

### 参考文献 (References)

1. Riding R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacteria-algae mats and biofilms [J]. *Sedimentology*, 2000, 47(1): 179-214.
2. Awramik SM. Precambrian columnar stromatolite diversity: reflection

- of metazoan appearance [J]. *Science*, 1971, 174: 825-827
- 3 Fisher A G. Fossils, early life, and atmospheric history [J]. *Proceeding of Natural Academic Science*, 1965, 53: 1205-1215
  - 4 Grotzinger J P. Geochemical model for Proterozoic stromatolite decline [J]. *American Journal of Science*, 1990a, 80-103
  - 5 Walter M R, Heys G R. Links between the rise of the Metazoa and the decline of stromatolites [J]. *Precambrian Research*, 1985, 29: 149-174
  - 6 梅冥相. 天津蓟县中元古界高于庄组中白齿状构造的层序地层位置及其成因的初步研究 [J]. *古地理学报*, 2005, 7(4): 437-447 [Mei Mingxiang. Preliminary study on sequence-stratigraphic position and origin for the molar-tooth structure of the Gaoyuzhuang Formation of Mesoproterozoic at Jixian Section in Tianjin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(4): 437-447]
  - 7 Mei Mingxiang. Origin of molar-tooth structure based on sequence-stratigraphic position and macroscopic features: example from Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation at Jixian section, Tianjin, North China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2006, 17(3): 201-208
  - 8 梅冥相. 燕山地区中元古代高于庄组非叠层石碳酸盐岩序列的沉积特征及其重要意义 [J]. *现代地质*, 2007, 22(1): 1-10 [Mei Mingxiang. Sedimentary features and their implications for the depositional succession of non-stromatolitic carbonates, Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in Yanshan Area of North China [J]. *Geosciences*, 2007, 22(1): 1-10]
  - 9 Noffke N, Gerdes G, Kenke T, *et al*. Microbially induced sedimentary structures: a new category within the classification of primary sedimentary structures [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2001, 71(5): 649-656
  - 10 梅冥相, 高金汉, 孟庆芬. 从席底构造到第五类原生沉积构造: 沉积学中具有重要意义的概念 [J]. *现代地质*, 2006, 20(3): 413-422 [Mei Mingxiang, Gao Jinhua, Meng Qingfen. From the mat-ground structure to the primary sedimentary structure of a fifth category: significant concepts on sedimentology [J]. *Geosciences*, 2006, 20(3): 413-422]
  - 11 Fumiss G, Rittle J F, Winston D. Gas Bubble and expansion crack origin of "MT" structure from the late Precambrian Belt-Purcell Supergroup [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1998, 68: 104-114
  - 12 Pollock M D, Kah L C, Bartley J K. Morphology of MT structures in Precambrian carbonates: influence of substrate rheology and implications for genesis [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 310-323
  - 13 Grotzinger J P, James N P. Precambrian carbonates: Evolution of understanding [C] // Grotzinger J P, James N P, eds. *Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian World*. SEPM Special Publication 67, 2000, 3-22
  - 14 邢裕盛, 高振家, 刘桂枝, 等. 中国的前寒武系 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 69-119 [Xing Yusheng, Gao Zhengjia, Liu Guizhi, *et al*. *The Upper Precambrian in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1-413]
  - 15 朱士兴, 邢裕盛, 张鹏远. 华北地台中上元古界生物地层序列 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-232 [Zhu Shixing, Xing Yusheng, Zhang Pengyuan. *Biostratigraphic Sequence of the Middle-Upper Proterozoic in North-China Platform* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-232 (in Chinese)]
  - 16 陈晋镛, 武铁山. 华北区区域地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 20-44 [Chen Jinyun, Wu Tieshan. *Regional Stratigraphy in North China* [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1997: 20-44]
  - 17 梅冥相, 徐德斌. 沉积地层旋回性记录中几个理论问题的认识——兼论“露头层序地层”的工作方法 [J]. *现代地质*, 1996, 10(3): 85-92 [Mei Mingxiang, Xu Debin. Cognition on some theoretical problems of the cyclic records in depositional strata [J]. *Geosciences*, 1996, 10(3): 85-92]
  - 18 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面变化旋回的分类级别——旋回周期的成因讨论 [J]. *现代地质*, 1998, 12(1): 1-16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of sedimentary sequences and their sea-level cycles: discussion on cyclic periods [J]. *Geosciences*, 1998, 12(1): 1-16]
  - 19 梅冥相, 徐德斌, 孙恺赫. 河北兴隆地区中元古界高于庄组碳酸盐复合海平面变化旋回层序 [J]. *现代地质*, 1998, 12(增): 30-40 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Sun Kaisun. Carbonate cyclic sequences of composite sea-level changes of Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in Xinglong County of Hebei Province [J]. *Geosciences*, 1998, 12(Suppl): 30-40]
  - 20 梅冥相, 周洪瑞, 杜本明, 等. 天津蓟县中新元古代沉积层序的初步研究——前寒武纪 (1800~600Ma) 层序划分及其与古生宙的一致性 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2000, 20(4): 48-59 [Mei Mingxiang, Zhou Hongrui, Du Benming, *et al*. Mesoproterozoic sedimentary sequences in Jixian, Tianjin, Northern China: Division of the first-order sequences of the Precambrian strata (1800-600Ma) and their correlation with the Phanerozoic strata [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2000, 20: 48-59]
  - 21 梅冥相, 马永生, 郭庆银. 天津蓟县雾灵山旋回层的相序组构特征及其马尔科夫链分析 [J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3): 288-299 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Guo Qingyin. Basic lithofacies succession model of Wumishan cyclothems: their Markov chain analysis and regularly vertical stacking pattern in the third-order sequences [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(3): 288-299]
  - 22 高林志, 章雨旭, 王成述, 等. 天津蓟县中上元古界层序地层的初步研究 [J]. *中国区域地质*, 1996, 56(4): 64-74 [Gao Linzhi, Zhang Yuxu, Wang Chengshu, *et al*. Preliminary study on sequence stratigraphy of the Middle and Upper Proterozoic in Jixian of Tianjin [J]. *Regional Geology of China*, 1996, 56: 64-74]
  - 23 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及相序组构特征 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(4): 43-49 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetic types of meter-scale sequences and sabiric natures of facies succession [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(4): 43-49]
  - 24 Osleger D A. Subtidal carbonate cycles: implication for allochthonous versus autocyclic controls [J]. *Geology*, 1990, 19: 917-920



- 25 Seilacher A, Pflüger F. From biolites to benthic agriculture: a bioturbative revolution [C] // Krumbein W E, Stal L J. Biostabilization of Sediments. Oldenburg Bibliotheks- und Informations system der Universität Oldenburg, 1994: 97-105
- 26 Nofke N. Multidirectional ripple marks arising from biological and sedimentological processes in modern lower supratidal deposits (Mellum Island, southern North Sea) [J]. *Geology*, 1998, 26: 879-882
- 27 Pflüger F. Magground structures and redox facies [J]. *Palaios*, 1999, 14: 25-39
- 28 温志峰, 钟建华, 李勇, 等. 叠层石成因和形成条件的研究综述 [J]. *高校地质学报*, 2004, 10(3): 418-428 [Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Li Yong, et al. Current study on genesis and formation conditions of stromatolites [J]. *Journal of China Universities*, 2004, 10(3): 418-428]
- 29 曹瑞骥, 袁训来. 叠层石 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006: 1-382 [Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Stromatolites [M]. Hefei University of Technology and Science Press, 2006: 1-382]
- 30 Krumbein W E. Microbial Geochemistry [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 2003: 1-182
- 31 方少仙, 侯方浩, 董兆雄. 上震旦系灯影组非叠层石蓝细菌白云岩 [J]. *沉积学报*, 2003, 21(1): 96-105 [Fang Shaoxian, Hou Fanghao, Dong Zhaoxing. Non-stromatolitic ecological cyanobacteria dolostone in Dengying Formation of Upper Sinian [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 96-105]
- 32 孟祥化, 葛铭. 中朝板块层序·事件·演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-483 [Meng Xianghua, Ge Ming. Sequences, Events and Evolution of the Sino-Korean Plate [J]. Beijing: Science Press, 2004: 1-483]
- 33 Pratt B P. Stromatolitic framework of carbonate mud-mounds [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1982, 52(4): 1203-1227
- 34 Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mudmounds: concepts and categories [J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58: 163-231
- 35 Braga J C, Martín JM, Riding R. Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, S. E. of Spain [J]. *Palaios*, 1995, 10: 347-361
- 36 Bemmerl R A. Sedimentary pyrite formation [J]. *American Journal of Sciences*, 1970, 268: 1-23
- 37 Tucker M E, Wright V P. Carbonate Sedimentology [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1990: 1-482
- 38 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论 [M]. 北京: 地震出版社, 1997: 1-306 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Zhou Pikan, et al. Introduction of Carbonate Sedimentology [M]. Beijing: Seismological Publication, 1997: 1-306]
- 39 Riding R. Evolution of algal and cyanobacterial calcification [C] // Bengtson S. Early Life on Earth. Nobel Symposium 84. New York: Columbia University Press, 1994: 426-438
- 40 Riding R. Stromatolite decline: a brief reassessment [J]. *Facies*, 1997, 36: 227-230
- 41 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [J]. *地质学报*, 1994, 68(1): 29-35 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1): 29-35]
- 42 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 古郑庐断裂带——灾变·层序·生物 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-128 [Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, et al. Neoproterozoic in Paleotanku Fault Zone: Catastrophe·Sequence·Biostatigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-128]
- 43 Pratt B P. Molar-tooth structures in Proterozoic carbonates: origin from synsedimentary earthquakes and implication for the nature and evolution of basin and marine sediments [J]. *GAS Bulletin*, 1998, 110: 1028-1045

## Third Member of Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation at Qiangou Section in Yanqing County of Beijing: a typically non-stromatolitic carbonate succession of the Precambrian

MEI Ming-xiang<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

(2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

**Abstract** In the long Precambrian, the stromatolitic carbonate succession is very common. But the non-stromatolitic carbonate succession that is marked by the subtidal deposits forms a strong contrast to the stromatolitic carbonate succession. Both the non-stromatolitic and the stromatolitic carbonate successions are important clues for the further understanding of the evolving carbonate world of the Precambrian. The Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Fm. in Yanshan Area is a set of more than 1000m-thick carbonate strata that can be divided into four Members (or Subformations): The first Member (or the Guandi Subformation) is marked by a set of stromatolitic dolomites overlying a set of transgressive sandstones. The second Member (or the Sangshuan Subformation) is a set of manganeseiferous dolomites with a

few stromatolites. The third Member is chiefly made up of limestones and is characterized by a particularly non-stromatolitic carbonate succession of the Precambrian. The fourth Member (or the Huanxiusi Subformation) is composed of a set of dolomites of stromatolitic reefs or lithohems. The non-stromatolitic carbonate succession making up the third Member of the Gaoyuzhuang Formation at the Qiangu section in Yanqing County of Beijing can further be subdivided into three third-order sequences that are marked by the regular succession of sedimentary facies. In third-order sequences, lots of subtidal carbonate meter-scale cycles made up of the medium-bedded leplite limestones and the thin-bedded marls constitute their transgressive system tracts (TSTs) and the early high-stand system tracts (EHSTs), lots of meter-scale cycles made up by the thin-bedded limestones and marls constitute their condensed sections (CSs), and thick-bedded to massive dolomitic limestones or lime dolomites make up the late high-stand system tracts (LHSTs). The time span of the Gaoyuzhuang Formation is deduced as 200 Ma (from 1600 Ma to 1400 Ma). An obvious hiatus between the Gaoyuzhuang Formation and the underlying Dahongyu Formation is deduced as 50 Ma to 100 Ma, so the forming duration of the Gaoyuzhuang Formation is thought as the 100 Ma (1500 Ma to 1400 Ma). Furthermore, the subface of the third Member of the Gaoyuzhuang Formation that is just on the mid position of the Gaoyuzhuang Formation and its forming age may be deduced as about 1450 Ma. According to these materials, the non-stromatolitic sedimentary succession make up the third Member of the Gaoyuzhuang Formation may demonstrates a stromatolite decline event occurring at ca. 1450 Ma of the Proterozoic besides other three events that respectively occurred at ca. 2000 Ma, ca. 1000 Ma and ca. 675 Ma. The forming duration of this non-stromatolitic sedimentary succession of the third Member of the Gaoyuzhuang Formation can be generally correlative that of a similar sedimentary succession in North America, i.e. a non-stromatolitic sedimentary succession of the Helena Formation of the Belt Supergroup, which suggests that the stromatolite decline occurring at ca. 1450 Ma is a global event. All of these informations endow the non-stromatolitic sedimentary succession making up the third Member of the Gaoyuzhuang Formation at the Qiangu section with important significance. The particularly non-stromatolitic carbonate succession make up the third Member of the Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation at the Qiangu section might be the representative of the non-stromatolitic carbonate succession of the Precambrian because of its special lithological features and particular sedimentary structures, whose general sedimentary features are helpful and meaningful for the further understanding of changing regularities of the sophisticated and evolving carbonate world of the Precambrian.

**Key words** non-stromatolitic carbonate succession; Gaoyuzhuang Formation; Mesoproterozoic; Qiangu section in Yanqing