

一个陆表海的潮坪沉积模式

赵 震

(地质矿产部天津地质矿产研究所)

内容提要 本文从三个方面探讨了晚前寒武纪陆表海碳酸盐岩潮坪的清水沉积环境,并归纳出了中元古宙雾迷山组于该环境中的沉积模式:(1)岩石类型,基本上是由沉积白云岩组成,厚达三千余米,伴生有硅岩及微量陆源碎屑;(2)显示了浅水及潮坪沉积环境的叠层石组合及其它各种沉积形相;(3)旋(韵)律性组合,在纵向层序中可以见到多级次套叠的旋(韵)律性沉积,每一部段都寓示着若干赋存于各有既定层位的信息,即它的沉积物、古生物及沉积形相大致上是经常固定的组合。通过上述资料分析,综合归纳出了雾迷山组的陆表海潮坪沉积模式,它是在进积的背景上经历了海侵—海退的演化。

主题词 碳酸盐岩陆表海潮坪沉积模式 海侵—海退 中元古宙蓟县纪 蓟县
作者简介 赵震男 54岁 副研究员 沉积学及岩相古地理学

天津市蓟县是我国上前寒武系¹⁾最为发育地区之一^[1],也是我国晚元古宙层型所在地,位处燕山中部天津市北缘(图1)。该区此套地层以沉积碳酸盐岩为最。在蓟县厚近9200m的剖面内,它几可占3/4,而又以富镁碳酸盐岩居绝对优势。

这一巨厚的层状钙镁碳酸盐岩堆积,显示了与陆地毗连的陆表海^[2]沉积环境,多属滨海区产物。本文所论述的雾迷山组,即为此套中元古宙中的一个组(图1),基本上为碳酸盐的沉积物,厚三千余米,几达蓟县剖面整个上前寒武系碳酸盐岩地层厚度的一半。从岩石类型、组构特征、沉积构造及藻类生物等清楚地显示出了潮汐作用的特色,受到宽广平坦的台地所制约,岩石垂向序列上具有明显的旋律、韵律性^[3],并形成了确著地潮坪环境的沉积相模式,兹论述如下。

一、岩石类型及组构特征

蓟县雾迷山组岩石类型以原生白云岩最发育,并常伴生形态繁多的硅岩,碎屑岩也时有出露。据作者1977年野外实测剖面计算,总厚度达3009.9m,此诸岩石组成的百分比是:

碳酸盐岩 89.7%, 硅岩 10%, 碎屑岩 0.3%, 泥质岩 微量

1) 时代年限615±30—1950±50百万年之间。

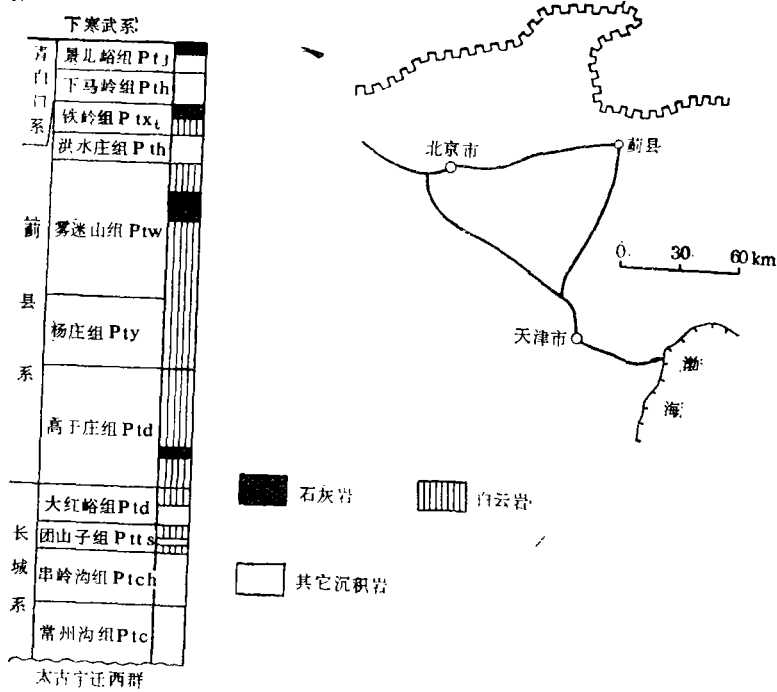


图1 蓟县上元古宇岩性柱状图及地理位置略图

Fig. 1 Upper Proterozoic column and geographic position sketch of Jixian County

(一) 碎屑岩〔4〕

为白云质石英砂岩，厚层状构造，颗粒支撑结构。陆源碎屑是石英砂夹泥晶含灰云岩，杂基粉屑泥晶含灰云岩、石英粉砂及泥质；胶结物系亮晶状的白云石。石英粒圆度中等，粒度0.1—0.2mm，含量60%左右。亮晶白云石较为干净透明，粒度0.05mm，孔隙式胶结。这是一种高能离岸浅滩环境下堆积的沉积物；当杂基混有较多泥晶含灰云岩时，则是形成于具有似障壁的低能局限水盆地内，为滩后环境。本类岩石只见于雾迷山组上部，处于潮坪上的海退序列地层中，呈断续的透镜体状。

(二) 硅岩〔5〕

是与碳酸盐岩密切共生的一种岩石，形态多种多样，但其分布范围则远逊于它。矿物组成以隐晶质的玉髓为主，构成燧石岩，具有浅灰、灰白等色，常与泥晶云岩组成厚1 mm左右的韵律层，二者具不同程度的混杂。

在雾迷山组地层的基本韵律层（详见下述“相模式”）内，硅岩于不同部位呈现的

形态各异。宏观上在基本韵律层的下部为断续波状的燧石条纹、条带，上部则呈规整平直连续的燧石条纹、条带，均顺层理分布，燧石内含有大量的藻丝体。至基本韵律层的顶部是为断续的燧石层状体（成壤作用造成硅胶稳定持续沉积而成）或燧石结核，颜色呈灰黑，与碳酸盐砾混生。上述硅岩主要是一种滨海开阔潮坪的产物，岩石中常见流水波痕及干裂。

（三）碳酸盐岩

原生沉积白云岩为主，灰岩少量，依其成分、组构、产状，最主要的有：

1. 机械碎屑云岩

球粒状云岩：这是剖面中较发育的一种白云岩，常含粉砂，见之于雾迷山组的不同层位，处于基本韵律层的最下部。宏观灰白色、少量紫红色，页片状的纹层理，富含陆源泥、砂。偏光镜下是灰色泥晶鲕球粒相聚积，粒径0.5—1 mm，一般0.2—0.5 mm。鲕球粒中心往往为石英砂粒，隐见模糊状的二、三圈包壳纹及很稀疏的幅射纹。有时此诸泥晶鲕球粒围绕石英砂屑组成了3 mm上下的复鲕球粒，也有无石英砂者，仅只泥晶球粒呈复合颗粒状，也可经由聚积作用使复合颗粒组成团块，胶结物为细晶白云石。本类岩石是在海洋波浪及水流弱动荡环境中所堆积，赋存于潮间带至潮上带能量不高处，多见流水小波痕。

内碎屑云岩：剖面中不同的层位内断续见到，各具不同的产状。其组成以盆内碳酸盐岩砾屑为主，砂屑、粉屑次之。主要见于基本韵律层顶、底部位，而上、下部位次之，组分上稍显差异。位于顶层者与灰黑色硅岩相伴生，为含石英砂（圆度高）角砾状泥晶云岩；位于底层者为泥砂（次棱角状）质砾屑泥晶云岩；位于上层及下层者为板砾状硅质砾屑泥晶云岩。顶、底层位的岩石系潮间、潮上破碎的产物；上、下层位的板砾状云岩是强波浪风暴环境中形成的准同生浅水碳酸盐风暴岩¹⁾，显示出水动力较强的底冲刷环境，当属一种同生砾（图版 I，1）。

陆源砂屑云岩：这是本区碳酸盐岩中比较特殊者，见于雾迷山组上部海退序列中，在基本韵律层的底部层位。它是由下伏杨庄组紫红色泥晶云岩的剥离、搬运、磨削、堆积而成，当滨岸抬升侵蚀的结果，具有底部为粗粒屑的特征，偶见干裂、岩盐假晶（图版 I，2）。

2. 生物云岩

本组中的真核、原核藻类生物曾已多次作过报道^[6、7]，由藻类生物参予所成的碳酸盐岩，微观可见到藻类遗体，宏观则具有不同样式的叠层或其变态，它几乎占了全组厚度的一半多，依据藻类集体沉积构造样式及充填物等的特征^[8、9、10]可划分为：

叠层云岩：广泛见于基本韵律层上、下层，叠层石有层纹状、波纹状、穹状、柱状、锥状等，前三者形成于潮间-潮上带，后者见于潮间-潮上带的沼泽（小柱状、小杯状叠层石——图版 I，3）或潮间-潮下带的高能环境（大型锥状、柱状叠层石——图版 I，4）。岩层内波痕、雨痕、干裂等常见。

1) 刘宝珺, 1984, 重力流、风暴流、等深流及其沉积, 地质学术讲演汇编, 地质矿产部成都地质矿产研究所。

弥散粒云岩^[3]：这是雾迷山组生物云岩中一种独特的类型，岩石坚硬抗风化力强，出现于基本韵律层的中层，少量见于上层（在大的海退序列层位中）。岩石块层状，可见到富含有机质的白云石聚积成似粒状体，大小、形态不一，在基质中若隐若现，边界常呈模糊状，与胶结物存在着不同程度的过渡，故称弥散粒云岩。它主要是一种与藻类直接、间接作用有关而成的层礁状藻类生物岩或成锥、柱状叠层石基本层的填积物，此时弥散粒长轴平行层面优选分布。弥散粒直径0.5—5 mm，一般是1—3 mm，近卵圆形。

另外，也可见到由蓝藻作用凝结成外形轮廓不规则的复合颗粒，习称藻团块或凝块石，大小不一，不显内部构造。

本类岩石前者一般产于潮下带至潮间带的高能区，后者形成于潮下带动能不强的场所。

藻鲕云岩及核形石云岩：是由生物作用而形成的包粒状云岩，多见于基本韵律层的上层。它们都是一些浅潮下的产物，尤其是区域性海退层序中更为常见。

3. 化学云岩：以化学作用为主的产物，即一般习见的泥晶云岩、鲕粒云岩、硅质云岩等，见于基本韵律层的下层、上层及其顶层，形成环境除鲕粒云岩见于浅滩、潮渠（具人字形交错层理，图版 I，5）外，余均为较稳定场所的产物，见有流水波痕、偶见干裂、岩盐假晶、雨痕（图版 I，6）。

综上所述，碳酸盐岩的组成均较纯净，而碎屑岩、硅岩也是少量并与之相伴生。故从雾迷山组岩石特征看，基本上是一套与生物作用密切相关的层状碳酸盐岩，侧向稳定，厚度均匀，旋（韵）律性清楚。此中的水下流动及水上暴露标志——流水波痕、人字形交错层理、雨痕、干裂、岩盐假晶等极为清晰。反映了沉积场所既开阔无垠、没有什么障壁存在，又表征了水体浅而清彻、潮汐波动明显，呈现着一种地势广袤坦荡，陆表海性质的潮坪沉积面貌。

二、相 模 式

燕山地区的雾迷山组是一套与陆地毗连的、以潮汐作用为主、向上变浅的台地型沉积。此中波浪、水流强度一般，但生物活动明显，化学作用也较强，其中尤以蓟县的近岸海侵型沉积更是突出。根据微观特征及宏观产状并考虑到陆表海的潮汐作用，本组海侵型沉积可以划分成三个具有不同特色的沉积相带，赋存有相应的标志^[2]。

（一）潮上带

这是开阔坪台中的潮上环境。沉积物主要为含有陆源颗粒的砂屑碳酸盐岩及砾屑碳酸盐岩，组合成了前者在上后者在下或相反的沉积序列。粒屑-灰泥比率一般是1：2或粒屑更多些。

主要岩石类型：泥晶砾屑云岩、泥晶球粒状云岩，均含少量陆源碎屑，以石英砂为主。

主要沉积构造及层理：泥晶球粒状云岩宏观为纹层至页片状薄层，微观鲕球粒状构造。泥晶砾屑云岩宏观是灰色块层状，具有干裂等构造。有的显紫红色，表征了蚀源区沉积物中富含铁质。

总体寓示着陆表海近岸相,为潮汐坪台上部环境,系水动力条件较为动荡的情况下沉积所成,有时它也包含了台地边缘的浅滩环境。

(二) 潮间带

是前述潮上带坪台向海延伸部分的沉积部位。沉积物主要是含有硅质及藻类产物的细粒碳酸盐物质。粒屑-灰泥比率一般接近1:1左右,见有岩盐假晶(图版I, 2)。

主要岩石类型:硅质条纹-条带的细晶-中晶叠层云岩、白云质石英砂岩、泥晶鲕粒云岩及少量风暴产物——砾屑泥晶云岩。

主要沉积构造及层理:浪成,流水及干涉波痕常见,也见再造面,潮汐层理。浅滩上鲕粒泥晶云岩呈似层状,而潮渠中鲕粒亮晶云岩以人字形构造(图版I, 5)最醒目。

生物是由蓝绿藻活动所形成的各种叠层遗迹。

总体展现了陆表海近岸相潮汐坪台的环境,系水动力条件较强的情况下沉积所成。

(三) 潮下带

它既有一种比较开阔的高能带为主的水下坪台沉积场所,又存在着坪台上较高能带的斜坡拗陷区。粒屑-灰泥比率多数是2:1或粒屑量更高些。主要岩石为弥散粒云岩

主要沉积构造:以生物搅动构造、大的锥-柱状叠层构造及弥散粒状构造最特征,形成了块层状及厚层状层理,具浪成砂纹。

蓝绿藻生物极为发育,形成了多种多样的弥散粒及叠层沉积构造,构成了生物礁。前者略显优选方位的排列着,后者垂直地层层面生长。总体表征为陆表海近岸相潮汐坪台下部的环境。

蓟县雾迷山组岩石地层基本上是上述三种沉积环境的产物。在随着时间推进而伴生的潮汐涨落过程中,岩石地层在垂向序列上就组合成了螺旋式的重叠性堆积。宏观上可

表1 雾迷山组基本韵律层模式赋存特征(海侵型)

Table 1 Features of the basic rhythmic model of Wumishan formation

岩石特征 模式层	颜色	岩性	单层厚	断口	层理	沉积形相	藻类沉积构造	厚度 (cm)	沉积相带
顶层	灰黑	硅岩、含圆的陆屑砂砾屑云岩	薄层	参差	波状	泥裂,岩盐假晶、水流小波痕	球粒状硅岩(?)	5—10	潮上-潮间
上层	黑灰	含硅质条纹条带细晶云岩	厚层	贝壳	平整	浪成大波痕、菊花状板砾、缝合线	锥、柱状叠层云岩	50—200	潮间(潮下)
中层	深灰	中、粗晶弥散粒云岩	块层	参差	较平整	浪成砂纹	弥散粒状云岩	30—300	潮下
下层	灰	富含沥青硅质条纹条带细晶云岩	中层	不平坦	波状	水流波痕、雨痕痕、菊花状板砾	层纹、波、穹状叠层云岩	30—200	潮间
底层	浅灰	含棱角陆屑砂砾屑云岩球粒状云岩	薄、页片层	参差	较平整	泥裂、水流小波痕、冲刷槽模	球粒状云岩	10—150	潮上-潮间

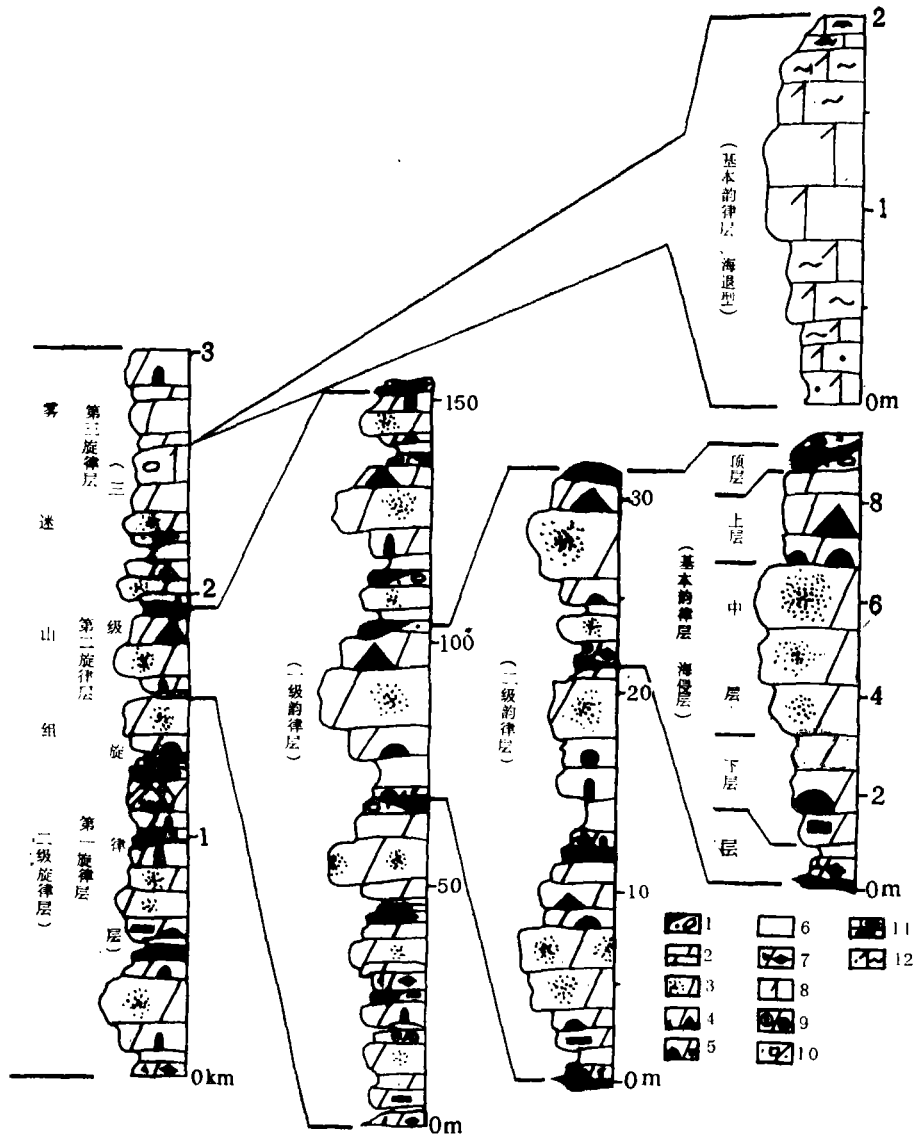
分析出岩石地层组合内最小、最基本的单元，特称之为基本韵律层（图版 I，7），分海侵型及海退型。一个海侵型，综合性的基本韵律层理想垂直层序剖面结构及相关的沉积环境如表 1 所示，其厚度大致代表了当时的潮差。

海退型基本韵律层垂直层序的剖面结构以雾迷山组上部最发育，它与海侵型最突出的区别是顶层及上层部位的岩石为竹叶状砾屑云岩。从基本韵律层的整体组成来看也有差异，下部层位虽然还是以具陆源沉积为特征，但中、上部层位碳酸盐内碎屑沉积由下而上则是从原地盆内沉积逐渐变为异地盆内沉积，随之陆源灰砂组分显著增加。

上述由潮汐作用所成的基本韵律层只是岩石地层组合的最小单元，它还表现出由基本韵律层（三级）组成了高一级的次者（二级、35个），再套叠成 9 个一级韵律层，这些均是潮汐作用中由物理、化学、生物等诸因素影响所造成的局部环境产物，当进一步研究时，又可看到在垂向序列上尚能组合成三个更高级次的岩石地层单元，相当雾迷山组三个岩石地层的“段”，可称之为旋律层（三级），进而可归并为较高级次的二级旋律层，对应于雾迷山组，它是蓟县层型整体沉积——一级旋律层的次级组合^[9]，这些旋律层的变化基因已不同于韵律层，而是沉积构造盆地整体运动的结果，兹以旋律柱状图（图 2）示之。

总之，雾迷山组沉积环境主要是濒临于古陆的滨海区，水浅而清，没有大的河流注入，因之陆源混入物少，潮汐引起的波浪和水流作用明显，整个雾迷山期多是处于节奏性地缓慢升降波动作用的过程中，所以常常见到古老片麻岩基底上覆之以富镁碳酸盐为主的一套旋（韵）律性明显的岩石地层组合，显示了海潮周期性地、频繁地涨落于古陆的边缘。早期缓慢下沉过程中不时被破浪高能海退相所复杂化，主要形成了中—厚层状硅质泥晶云岩夹含多层各种组合形态的砾屑云岩，其间出现有雨痕、岩盐假晶、干裂、水流小波痕以及由小型杯、柱状叠层石演变为一般的锥、柱状叠层石的产物；中期具有厚层状硅质条纹—硅质条带—硅质条块的泥晶云岩，局部见有鲕粒云岩，它们赋含了干裂、鸟眼、再造面、水流—波动波痕、人字形交错层理以及由穹状叠层石至柱状叠层石而后锥状叠层石的演化，尤以块层状弥散粒云岩和集合体达数米高的巨型锥状叠层石的出现最著目，是属于一个海潮波动逐渐增强的合地抬升期；晚期是为破浪低能海退相所贯穿，以白云质石英砂岩的出现为启始，随之伴生了一系列薄—中层状近平行层面排列的竹叶状含灰云岩及核形石含灰云岩，显示了沉积区节奏式缓慢的上隆。这一环绕古陆边缘的场所既提供了潮汐作用的地域，又控制了沉积岩相的展布发育。

综上所述，雾迷山组基本上是一稳定补偿性质的、多级次多类型的旋（韵）律层，厚约三千米。下、中部层位以海侵型序列为主，上部层位则以海退型序列显著。由于本区此时潮坪系一单向倾斜的宽广缓坡区，并被微地貌——潮渠、浅滩、斜坡拗陷等所雕饰，故海水循环多处受到干扰，产生了不同的水体能量带，遂显示了类型各异的潮坪层序结构，如大的海水进退的潮坪区沉积序列以及反映了涨、落潮流强水力条件和平潮弱水力条件交替变化的透镜状、波状、脉状层理；标志着流向相反的涨、落潮流作用的人字形交错层理；显示沉积物表面间歇出露水面的干裂、雨痕；代表潮流活动在时、速度上不对称的再造面；反映潮间下部至潮下高能中生成的鲕粒，趋向低能环境中生成的弥散粒石和各种形态的叠层石组合等等，此诸潮坪特征的沉积广泛发育。当考虑到本组中的

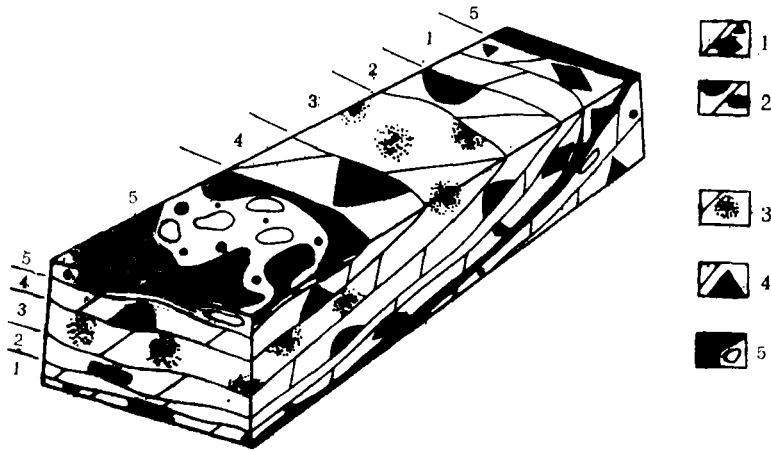


- 1、黑色硅岩及砾屑灰岩 2、灰白色硅质条纹-条带云岩 3、深灰色弥散粒云岩 4、柱、锥状叠层石云岩
- 5、灰黑色富含沥青硅质波状叠层云岩 6、页片状含粉砂球粒状云岩 7、含棱角状陆屑的砂砾屑云岩
- 8、原层状白云质泥晶灰岩 9、桶状云岩 10、白云质石英砂岩 11、竹叶状砾屑灰岩 12、含砂或硅质条纹白云质灰岩

图2、雾迷山组沉积旋(韵)律柱状图

Fig. 2 Column of sedimentary spiral rhythm of Wumishan Formation

包粒、核形石比较丰富，而又常伴生着碳酸盐岩砾石，显示了局部短时期能量较强的环境，与之相随形成了巨型生物碳酸盐岩的叠层沉积构造时则说明了雾迷山组虽然具有着潮坪单元为主的、向上变浅的岩石序列，但也不时遭到除潮汐以外的大波浪、风暴作用的影响，这种陆表海式的潮坪面貌，是与近代潮坪不太相同的。归纳起来，它的理想沉



1、底层：含棱角状陆屑的砂砾屑云岩及页片状含粉砂球粒状云岩 2、下层：富含沥青的含硅质条纹一条带（灰黑色）细晶、泥晶云岩（含层纹、穹、波状叠层石） 3、中层：中晶—粗晶云岩（含弥散粒石） 4、上层：含硅质条纹一条带（灰白色）细晶、泥晶云岩（含锥、柱状叠层石） 5、顶层：硅岩及含滚圆陆屑的砂砾屑云岩

图 3、雾迷山组一个基本的律层模式（海侵型）

Fig. 3 Model of the basic rhythmite of Wumishan Formation (transgressive type)

积模式可综合成为如图 3 所示。模式的勾勒仅只是初步的，在燕辽沉积地区实践中，具有着普遍的意义，期望它能为新区类似岩石序列的成因探讨提供指南与预测的作用。

收稿日期 1986 年 1 月 15 日

参 考 文 献

- [1] 王曰伦等, 1980, 中国震旦亚界, 天津科学技术出版社。
- [2] 欧文·M·L, 1980, 陆表海清水沉积作用的一般原理, 石油地质学译文集第 4 集, 科学出版社。
- [3] 赵 震, 1981, 蓟县震旦亚界雾迷山组沉积碳酸盐岩, 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊第 3 号, 地质出版社。
- [4] 刘宝珺等, 1980, 沉积岩石学, 地质出版社。
- [5] 佩蒂庄, F·J·等, 1978, 砂和砂岩, 科学出版社。
- [6] 张鹏远, 1980, 蓟县震旦亚界雾迷山组真核生物——管状绿藻, 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊第 1 号, 地质出版社。
- [7] 刘志礼, 1982, 河北蓟县雾迷山组微体藻类化石及其地质意义, 南京大学学报, 藻类专辑。
- [8] 奇林格, G·V·等, 1982, 碳酸盐岩, 石油工业出版社。
- [9] 陈昌明等, 1982, 华北地台晚前寒武纪潮汐沉积, 石油与天然气地质, 第 3 卷, 第 2 期。
- [10] Walter, M., 1976, Stromatolites, Developments in sedimentology, 20, New York, p. 193—251
- [11] Petijohn F. J., 1975, Sedimentary rocks (third edition) p. 154—391
- [12] Ginsburg, B. N., Tibal deposits, section v, Ancient carbonate examples, p. 269—330

A SEDIMENTARY MODAL OF THE TIDAL FLAT OF EPICONTINENTAL SEA

Zhao Zhen

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Late-Precambrian sedimentary carbonate rocks are well developed in Jixian County, Tianjin, especially those in the Wumishan Formation. They are about 3000m thick and are dominated by sedimentary dolostone. In terms of the microscopical features and macroscopical occurrences, the transgressive sediments of the Wumishan Formation can be divided into three sedimentary facies zones:

1. Supratidal zone

This is a uppertidal environment in open flat. Sediments are dolarenite and dolrudite which contain terrigenous grains. They are deposited in the environment of low grade momentum of sea water.

2. Intertidal zone

The sedimentary area of this zone is from an extension of the supratidal zone flat mentioned above towards the sea. The sediments of this zone are mainly fine-grained carbonates which contain silicolites and aligites.

Overall, this zone belongs to a tidal flat environment which is shelf-beachy facies of epicontinental sea. Sedimentation happens under a rather strong hydrodynamic environment.

3. Subtidal zone

It has a sedimentary region of underwater flat being dominated by relatively open high energy zone and a slope depression of relatively high energy zone on the flat.

Overall, this zone belongs to an environment of lower tidal flat of shelf-beachy facies of epicontinental sea.

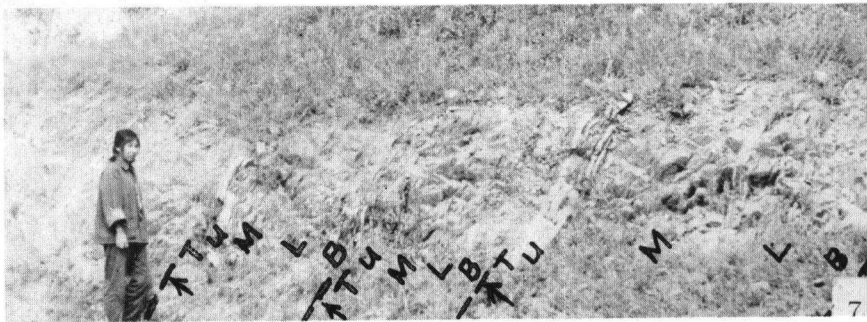
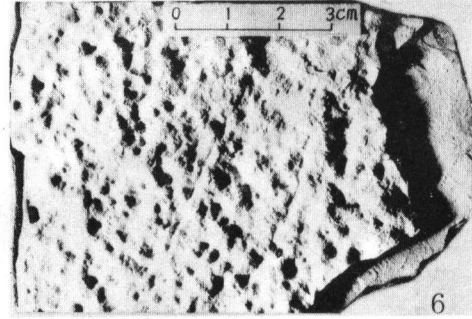
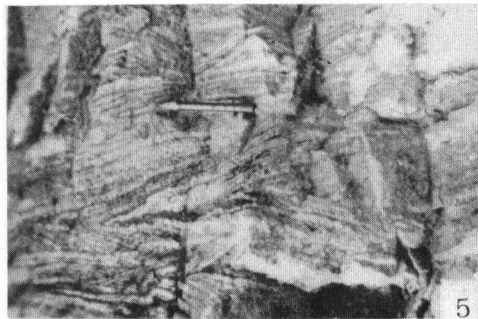
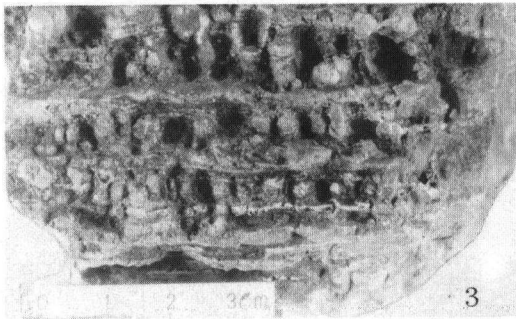
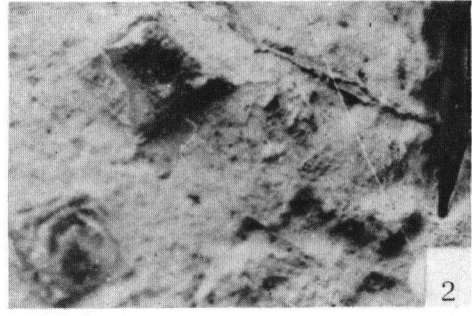
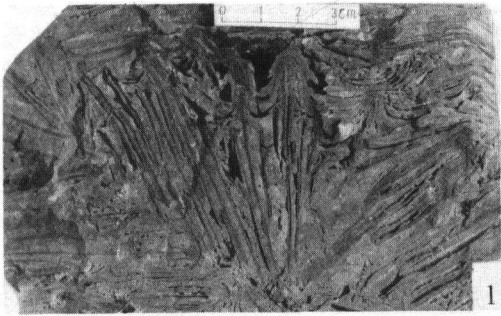
The transgressive sedimentary model of the Wumishan Formation mentioned above can play similar role as Bouma's turbidite sequences in providing guidance and prognosis for further researches and offering bases for genetic explanation.

赵震:

一个陆表海的潮坪沉积模式

图版 I

Zhao Zhen SEDIMENTARY MODAL, TIDAL FLAT EPICONTINENTAL SEA



1 板砾状硅质砾屑泥晶云岩 2. 岩盐假晶 3. 小杯叠层石 4. 巨型锥状叠层石, 钉锤指向锥顶 5. 鲕粒亮晶云岩, 具人字形交错层理 6. 泥晶云岩层面上的雨痕 7. 雾迷山组白云岩的基本韵律层组合. 箭头指向基本韵律层向上变浅的顶部, 由反覆出现的三个基本韵律层组成 (T顶层 U上层 M中层 L下层 B底层).