

鸟眼构造的成因及其环境意义

薛耀松 唐天福 俞从流

(中国科学院南京地质古生物研究所)

“鸟眼”(Birdseyes)是古代碳酸盐岩地层中一种常见的沉积构造现象。有些人把鸟眼构造作为潮上干燥环境的典型标志。对于“鸟眼”的定义及其成因, Deelman (1972)认为, 鸟眼构造是沉积期间或刚刚沉积之后由物理的、化学的、生物的作用形成的一种(原生的和准同生的)沉积构造。只有确定了其成因方式之后才能进一步论述其形成环境。也就是说, 不能把次生作用(如成岩后的溶解作用)形成的孔洞称作鸟眼, 也不能一见鸟眼构造就认为是潮上环境。笔者赞同这种观点。本文仅对我国震旦系和白垩系—第三系碳酸盐岩中的鸟眼构造特征、成因及古环境意义作初步探讨。

一、鸟眼构造的基本类型及特征

1. 震旦系灯影组的鸟眼构造

西南地区及苏、皖一带, 震旦系灯影组下段的白云岩中, 鸟眼构造普遍比较发育(唐天福等, 1980)。归纳起来, 有下列几种形态类型:

1) **孤立类型** 典型的孤立型鸟眼呈毫米级大小的斑点大体均匀地分布于团粒泥晶白云岩中, 鸟眼孔被亮晶白云石充填, 孔壁有或没有带状或玛瑙纹状环边, 通常缺乏基底沉积物(图版 I, 6)。泥晶基质中所含的团粒数量不等(百分之几到几十), 常可见到初具同心纹的锥核形石状藻团粒或藻屑。一般呈深灰至黑色, 具纹理或纹理不发育。黑白相映, 十分清晰。人们习称“雪花状白云岩”。

团粒或砂(藻)屑组成的颗粒岩也常有孤立型鸟眼分布, 鸟眼孔具明显的二世代充填物。这类具鸟眼构造的颗粒岩, 特别是团粒亮晶白云岩, 常常与“雪花状”团粒泥晶白云岩呈互层产出。

层纹状藻白云岩中的孤立类型鸟眼主要分布在团粒纹层中, 而这种纹层顶部的碳酸盐泥(由一种薄的藻层所成)则起一定的封隔作用(图版 I, 3)。各纹层(或纹层组)中鸟眼发育程度不等。其组构特征与澳大利亚萨克湾下潮间带的“光滑藻席”颇为类似(Monty, 1976)。

2) **板状-条纹状类型** 一般发育在具微波状层纹的藻白云岩中, 鸟眼孔呈条纹状或板状平行延伸, 其底一般较平整, 而顶不规则甚至锯齿状, 宽1毫米至10毫米左右, 长可数十厘米至数米, 通常具带状边(图版 I, 7)。这可能就是某些人所称的层孔构造(Pettijohn, 1975), 笔者称为“条纹状花边构造”(唐天福等, 1980)。

3) **蠕虫状类型** 一般发育在层纹状藻白云岩及团粒泥晶白云岩中, 鸟眼孔呈蠕虫

状大体平行分布于纹层间或泥晶基质内(图版 I, 1、2、6)。孔宽自不足 1 毫米至 1—2 毫米,长数毫米至 1 厘米左右。有时在水平方向上呈类似雁行式排列(图版 I, 2)。这类鸟眼具明显的干燥收缩性质,泥晶基质与所含的砂屑之间,有时可见收缩造成的“脱壳”孔隙(图版 I, 1)。

4) **不规则类型** 通常在富含团粒或具凝块状组构(Monty, 1976)的藻碳酸盐岩及藻-渗流豆粒白云岩中发育,鸟眼孔较大(直径数毫米至 1—2 厘米),较多不规则状,常有缝隙连通,孔壁一般有栉状或玛瑙纹状环边(图版 I, 4),或其顶、底壁有渗流层纹(唐天福等, 1980, 图 2)。这类鸟眼的形成时间应早于渗流豆,而充填则晚于渗流豆及渗流层纹的形成。因其有多孔及不规则分布的特点,笔者称之为海绵状构造(唐天福等, 1980)。

2. 白垩系-第三系碳酸盐岩的鸟眼构造

新疆塔里木盆地西南缘的上白垩统依格孜牙组上部,肉红色团粒泥晶灰岩中的鸟眼构造比较发育,江苏金湖地区井下的下第三系阜宁群二组的某些碳酸盐岩中也可见到。主要有下列类型:

1) **孤立类型** 基本特征与震旦系的孤立类型鸟眼构造相似。鸟眼孔分布于团粒泥晶灰岩中,由亮晶方解石充填,没有明显的栉状环边,在基质内含有孔虫(以小粟虫类为主),介形类、腹足类、偶见甲壳类、瓣鳃类、鱼骨等化石碎片。有的团粒也具锥核形石式藻团粒性质(图版 I, 1、2)。某些藻叠层石及砂(藻)屑亮晶灰岩中,也有少量孤立类型鸟眼分布。

2) **似孤立类型** 鸟眼孔呈斑状或水平方向略长的孔洞,大体平行层理方向,分布于团粒泥晶灰岩中,其下部常有渗流粉砂堆积的水平层,上部由亮晶方解石充填。鸟眼孔较小,一般不大于 5 毫米,且大都由细的缝隙沟通,以致水平方向相邻的若干鸟眼孔中的渗流粉砂堆积物表面常处于同一水平面上(图版 I, 4、5)。基质中亦可见到有孔虫、介形类、腹足类、瓣鳃类等化石及碎片。推测渗流粉砂堆积物所表现出来的水平面可能代表了当时的潜水面。渗流水所携带的碳酸盐粉砂到达潜水面时,由于缺乏向下携带的动力而堆积在处于潜水面上的鸟眼孔下部。在手标本和薄片,可见明显的水平(为主)和垂直收缩缝(图版 I, 3),甚至在鸟眼孔下部的渗流粉砂中,也可见到垂直干裂缝(图版 I, 4, a)。可见,团粒泥晶灰岩堆积后曾经历以干燥为主、干湿交替的暴露环境。干裂缝及渗流水的溶解作用,使部分鸟眼孔沟通。多个渗流粉砂水平面的存在,表明潜水面的位置经常变动。

3) **断续层纹状类型** 这类鸟眼分布于层纹状藻白云岩或非隐藻成因的层纹状泥晶白云岩中,呈断续点线状沿纹理分布。苏北局部地区下第三系发育层纹状白云岩,其中的泥晶白云石构成“疏松”状组构,并为方解石充填,方解石晶体呈较大的嵌晶结构。层纹顶面常有薄的藻膜,鸟眼孔断断续续沿层纹分布(图版 I, 6),某些具生物屑或颗粒轮廓,可能与准同生淋溶作用有关。纹层间有细长的干缩缝。部分鸟眼孔中有示底沉积物。

层纹状藻白云岩中的这类鸟眼也甚发育,呈较长的线条状沿层纹断续延伸,纹层中有蠕虫状鸟眼伴生。

除了上述地区震旦系和上白垩统及下第三系碳酸盐岩层外，黔中中泥盆统独山组和黔西南中三叠统¹⁾，川西北中三叠统雷口坡组（董贞环等，1981），均有鸟眼构造发育，基本特征与上述几种类型相似。

二、现代松散砂样中的鸟眼构造

1981年夏，笔者参加了对我国南海西沙群岛及海南岛三亚湾现代沉积物的考察，采集了若干松散砂样（装在塑料袋内），回到室内后将其装入500毫升的广口磨口瓶中，砂样表面保留有3—5毫米的薄水层。搁置2—3个月后，发现其中一个砂样（主要为陆源粉细砂，含骨屑砂）产生了分层现象，上部大致三分之一的砂样为浅褐黄色，下部三分之二变为浅黄灰色。浅黄灰色砂层中，因有机质分解产生气体，并聚集形成1毫米至大于10毫米（长径）的气泡（图1，图版I，5a、5b）。这些气泡远远大于支撑颗粒的直径，其特征与孤立类型鸟眼构造相同，只是尚未被方解石充填。其中一些气泡下部表面有少量极细的“渗流”粉砂出现。由于气泡的表面张力和粉砂的重力作用，这些“渗流”粉砂依附于气泡下部表面，尚未沉淀至气孔的底部（图2）。这些气孔，就是“鸟眼”形成的初期阶段。

必须说明，砂样装入瓶中时是混合的，并没有分层现象。这样的颜色分层显然是样品在瓶中进行氧化-还原作用的结果。如果浅褐黄色与浅黄灰色分界线大体上代表氧化-还原界面的话，则鸟眼孔基本上产生并分布于这条界线的下面，只有个别气孔在界面以上附近出现（图1）。随着时间的延长，少数气泡因聚集的气体压力加大而逐渐迁移到砂样表层。由此推断，造成这类鸟眼构造的气体主要是有机质在还原条件下嫌氧菌分解的产物，而不是氧化作用的结果。同时，鸟眼孔分布带之上必须有一定厚度和粒径较细的沉积物覆盖，粒间毛细孔充水后的毛吸力和上覆压力使所产生的气体不致逸出。

另外，似乎也表明鸟眼孔中的“渗流”粉砂不一定是暴露条件下渗流水作用的结果。

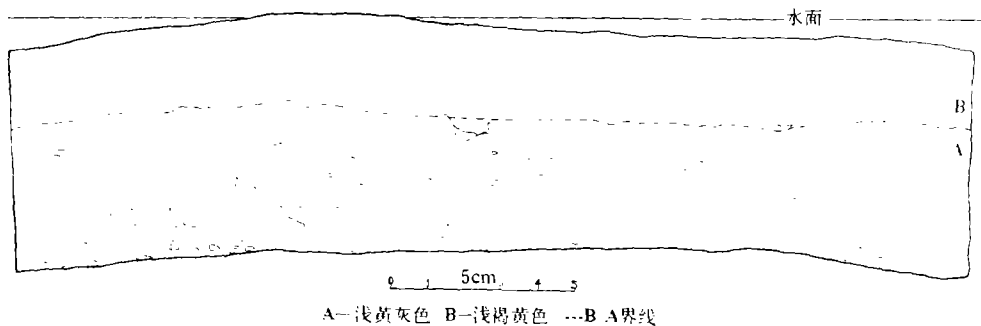


图1 松散砂样中的鸟眼构造（瓶壁素描展开图）

Fig.1 The birdseye pores in the unconsolidated sand sample
(unfolded sketch on the surface of the bottle)

A—brownish grey layer. B—brownish yellow layer. ---the bound between A and B

1) 贵州第八普查勘探大队，1979，贵州碳酸盐岩图册。

果。在被水体覆盖的松散沉积物中,由于轻微的振动和粉砂的重力作用,也可使极细的粉砂通过粒间孔向下移动,并在适当的部位堆积下来,形成示底构造和栖息构造。

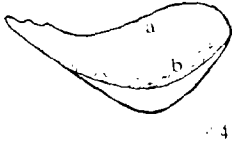


图2 鸟眼孔中保留的气泡(a)及其下部的渗流粉砂(b)

Fig. 2 Remained vesicle(a) in a birdseye pore space and vadose silt(b) on the lower surface of the vesicle

在松散砂样中,还获得了鸟眼成因的另一种模式。干燥的砂样装入样品瓶后,徐徐注水(不使砂样扰动)直到砂样完全被水浸没,原来粒间孔中的空气部分被阻留下来并形成气泡。甚至在骨屑砂砾样品中(砾屑含量达30%),由砾屑架成的较大孔隙中也有气泡被封存下来。气泡的大小一般不超过组成该砂样的最大颗粒直径。这些气泡及大的格架孔,构成支撑颗粒间的鸟眼状孔洞。在较细的砂样中,气泡表面均有极细的粉砂附着,把气泡的轮廓勾画得十分清楚。经过一定时期以后,这些气泡表面的粉砂会因重力作用而逐渐移至气泡的下部表面,达到如图2所示的那种状态。

笔者作了一个小小的试验。将细长的尖锥形玻璃管插入水中后提出,尖端因毛吸力而保存一水柱,其上端直径约3毫米。由此可以推断,直径小于3毫米的粒间孔喉道,其毛吸力即具把气泡阻留下来的能力。但是,在比较粗大的砂砾样品中,以不规则粒间(支撑格架)孔的性质表现得更为突出,而基本不含砾的骨屑砂样的鸟眼状气泡才比较显著,并可逐步聚集成大于支撑颗粒的似孤立型鸟眼孔。这种鸟眼状气泡的分布并不限于砂样下部,自砂样底直达最表层均有出现,并可因有机质分解时产生气体而得到加强和改造。

三、鸟眼构造成因的探讨

关于鸟眼构造的形成, Illing (1959) 提出了六种可能的原因,并认为气泡和收缩作用是最主要的。Deelman (1972) 对许多研究者提出的鸟眼成因模式进行了分析讨论,否定胶体脱水和生物钻孔形成鸟眼构造的可能性。他的结论是,有机质分解产生的气体、干燥沉积物被水体淹没时毛吸力所阻留的气泡及干燥收缩作用才是鸟眼构造形成的主要因素。笔者在研究灯影组的鸟眼构造后也曾提出(有机质分解后产生的)气泡和干缩是鸟眼构造的两种主要成因模式(唐天福等, 1980)。下面就上述各类鸟眼构造的成因作初步讨论。

孤立类型鸟眼构造 由沉积物中有机质分解产生的气体聚集而成。现代松散砂样中有机质分解的气体形成的鸟眼构造与古代碳酸盐岩的孤立类型鸟眼构造特征极为相似,可以作为这种类型鸟眼构造成因的有力证据。而且,古代的鸟眼团粒泥晶碳酸盐岩的薄片,可以看到气体移动的迹象(图版Ⅰ, 1)。推测这类鸟眼是在沉积物尚未固结、表面有水覆盖的条件下形成的。因为,分解有机质的细菌的大量繁殖需要有足够的水分。暴露的蒸发条件,会使毛细孔中的水不断蒸发,所产生的气体必定会通过没有水的毛细孔,或随着水在毛细孔中的上升运动而跑掉。晒干而硬化或半硬化的碳酸盐泥不仅产气能力受到抑制,而且产生的气体很难有足够的力聚集扩展成大的鸟眼孔。

暴露的干燥沉积物被水重新淹没时,粒间孔(毛细孔及非毛细孔)中的空气,许多将逸出沉积物表面,部分因毛细孔吸水而阻留在沉积物中。被毛吸力阻留的空气与有机

质分解而不断产生的气体不同，其压力较低，不易推动支撑颗粒或泥晶基质而聚集成远远大于支撑颗粒直径的鸟眼孔。因此，泥状岩或次泥状岩中的孤立型鸟眼构造，主要是由这种方式形成的。

似孤立型鸟眼构造 这类鸟眼孔的形态特征及分布方式与孤立型鸟眼相似，但因连通性好而有渗流粉砂充填，并常有收缩缝叠加（图版 I，3、4、5）。典型的孤立型鸟眼构造虽有时有蠕虫状鸟眼孔叠加，但一般缺乏示底沉积物。因此，认为这类鸟眼构造可能主要是在干湿交替的条件下形成。水淹进时，被阻留的空气气泡形成鸟眼孔，干燥期则暴露，受到蒸发作用和渗流作用的改造。

蠕虫状鸟眼构造 这类鸟眼较易识别，它实际上是干燥成因的一种水平收缩孔，一般发生在横向上结合力强，垂向上结合力弱的沉积物中，如层纹状藻席及层纹状碳酸盐泥。

不规则类型鸟眼构造 孔隙度大、颗粒支撑状态不良的海绵状藻白云岩的鸟眼构造，鸟眼孔形态及分布均不规则，其成因显然难于用上述三种机理来解释。无钙化鞘藻类的生长活动可能是这类鸟眼构造形成的主要成因。Monty (1976) 研究了安德罗斯岛和萨克湾潮坪藻碳酸盐沉积物，对这种成因的鸟眼构造作了详细的叙述。

Monty 和 Hardie (1976) 还描述了安德罗斯岛西北端近海潮上淡水沼泽的全新世沉积物中的孔洞构造。在沼泽的向海边缘，无钙化鞘的丝状蓝绿藻层或藻头被海水淹进时堆积的团粒层覆盖，部分团粒可“侵入”到丝状群体之间，随后进入一个干燥期，强烈的蒸发作用造成团粒间的致密微晶胶结，团粒层表面可产生干裂和收缩，被覆盖的藻体氧化消失，留下孔洞。其特点是团粒支撑显得很不完全（因为主要的原始支撑格架是蓝绿藻群体），鸟眼孔大且连通性好，孔底常有泥晶针状文石的层纹。灯影组某些藻白云岩的组构特征与之几乎完全一样。具有此类组构特征是现代藻碳酸盐沉积物，主要是由疱疹状藻席形成的。

灯影组具不规则鸟眼构造的各种藻白云岩，组构特征与这些现代藻碳酸盐沉积物十分相像。因此，推测它们具有相同的成因并反映相似的沉积环境。但是，震旦系海绵状藻白云岩中常可见到白云石交代了的石膏假晶或团块（图版 I，4），表明当时潮坪藻席微环境中的盐度是相当高的。

板状或条纹状类型鸟眼构造 这类鸟眼构造可能也是由藻类活动造成的，否则很难想像，不宽但延伸相当广的席状孔隙在被充填之前会有如此大的支撑力而不垮塌。安德罗斯岛潮汐沼泽及萨克湾哈默林海塘（Hamelin Pool）的下潮间带，由于藻席（毛毡状的、光滑的或疹状的）中非钙化藻的生长活动，形成了具层纹状鸟眼的藻碳酸盐沉积物。无钙化鞘的丝状蓝藻 *Scytonema* 席状群落被海水带来的团粒和砂屑、或 *Schizothrix* 藻席（光滑的）覆盖，覆盖层很快胶结、钙化，而 *Scytonema* 群落则氧化消失，并为微晶碳酸盐矿物充填，形成了纹层状鸟眼构造（Monty, 1976）。孔的底平而顶不规则，正是某些藻席生长特点的表现。

四、鸟眼构造的环境意义

Illing (1959) 认为“鸟眼构造与极浅水或沉积时间断暴露地区沉积的岩石有关”。

Shinn (1968) 指出, “方解石或硬石膏充填的鸟眼构造主要保存于潮上沉积物中, 有时在潮间沉积物中, 但决不在潮下沉积物中出现。” Deelman (1972) 则对鸟眼构造是潮上或潮间环境的有效标志这一点提出异议, 认为“由分解作用模式形成的鸟眼不能为沉积环境提供很多资料”。

我国南方震旦系、泥盆系、三叠系的鸟眼构造大部发育于藻碳酸盐岩, 表明其形成与藻类活动关系密切。因而对现代藻碳酸盐沉积物中鸟眼及鸟眼状孔洞的研究, 为研究古代鸟眼构造的环境意义提供了有用资料。

各种藻席, 在缺乏陆源物输入的受限制的潮坪上广泛发育, 可以分布于潮下-潮间-潮上带的各种环境。这些环境中的隐藻碳酸盐沉积物都有可能发育鸟眼构造。层纹状藻席(疱疹状的和光滑的)主要分布于潮间带和潮上沼泽, 高盐度条件下可到潮下带(Kinsman和Park, 1976)。疱疹状藻席形成的碳酸盐沉积物以发育不规则类型鸟眼构造为特征, 有时有板状或条纹状类型鸟眼分布。光滑藻席(平直的和微波状的)可能发育孤立类型、板状或条纹状类型、及蠕虫状类型鸟眼。萨克湾潮下藻叠层石的层纹中, 鸟眼构造亦较发育(Monty, 1976)。加拿大西南部落基山脉泥盆系的层孔虫—Renalcid生物岩礁, 发育具孤立类型鸟眼构造的Renalcid泥晶灰岩, 认为形成于水深30—50米的波基面附近(Mountjoy和Riding, 1981)。

团粒泥晶碳酸盐岩的现代类似沉积物, 在海塘及潮上沼泽中十分发育, 但海塘中的沉积物更细、团粒少、缺乏原始沉积纹理、色暗并具硫化氢气味(Shinn和Lloyd, 1969)。这两种环境中的沉积物都可产生孤立型鸟眼, 但若有蠕虫状鸟眼或干缩缝叠加, 则可能主要形成于干湿交替的潮上沼泽环境。

基本上属非隐藻成因的层纹状白云岩形成于潮上带。安德罗斯岛现代碳酸盐潮坪上, 滩脊和自然堤的平缓内侧的潮上带下部, 就有具鸟眼构造的类似沉积物形成(Shinn和Lloyd, 1969)。海塘和潮沟间的自然堤沉积物全由团粒组成, 具粒序纹层及鸟眼状晶簇。

我国南方震旦系灯影组下段, 白云岩类型多样(杨万容等, 1978; 唐天福等, 1980), 鸟眼构造发育的有海绵状藻白云岩、层纹状藻白云岩、藻-渗流豆粒白云岩、藻屑亮晶白云岩、团粒泥晶白云岩及含屑泥晶白云岩等, 并常见鸟眼构造不发育的层纹状泥晶-微晶白云岩、砾屑亮晶白云岩、鲕粒亮晶白云岩等; 常见白云石化的石膏假晶及团块, 尤其在海绵状藻白云岩的凝块状团粒(块)及藻-渗流豆粒白云岩的豆粒中比较丰富。总的反映一种宽广而蒸发作用较强的潮坪环境, 藻席发育, 并分别代表了潮下浅水、海塘、潮沟、潮间坪、潮上坪、自然堤、潮上沼泽等多种沉积亚环境。除了潮下高能鲕滩(鲕粒亮晶白云岩)及潮沟(藻砾屑-内碎屑亮晶白云岩)外, 基本上反映低能条件。在地层柱状剖面中, 这些岩层常常构成各种韵律性互层, 反映各种亚环境是经常变迁的。

塔里木盆地西南地区的上白垩统依格孜牙组有几层鸟眼构造发育的岩层。除个别固着蛤小“礁”块含少量鸟眼外, 主要分布于团粒泥晶灰岩, 且以依格孜牙组中部和顶部发育最好。中部为具孤立类型鸟眼的浅灰色团粒泥晶灰岩, 未见收缩孔隙叠加, 鸟眼孔为亮晶方解石充填而无示底沉积物, 有时可见气体移动的迹象(图版 I、1、2), 可能代表海塘或泻湖环境。顶部肉红色团粒泥晶灰岩的鸟眼属似孤立类型, 横向略长, 不

仅有渗流粉砂充填，并有垂直和水平干缩缝叠加（图版 I，3、4），可能代表潮间坪、潮上坪、潮上沼泽等干湿交替的沉积-成岩环境。上部至顶部的鸟眼团粒泥晶灰岩均呈肉红色，可能就是经常暴露氧化所致。因此，依格孜牙组中、晚期，海水是逐步退缩的。

五、结 语

据上所述，可以归纳下列几点：

1. 鸟眼的成因以非钙化藻类的生长活动、有机质分解产生的气体的聚集、干燥收缩及海水淹进时毛吸力阻留的空气气泡四种方式为主，几种成因方式可以先后起作用。

2. 鸟眼构造可以形成于自潮下至潮上的各种低能条件的沉积环境。

3. 必须首先确定鸟眼构造的成因方式，并结合岩石学特征的研究，才能对其形成时的沉积环境作出较为恰当的解释。

（收稿日期1982年11月5日）

参 考 文 献

杨万容、唐天福、张俊明、丘金玉、周仰康，1978，我国西南地区震旦系灯影组碳酸盐岩石学特征及其储集性，地球化学，第4期，247—262页

唐天福、薛耀松、俞从流，1980，中国南方震旦纪藻碳酸盐岩的特征及环境意义。科学通报，第25卷第18期，853—855页

董贞环、黄恒铨，1981，碳酸盐岩图册——显微结构与化石碎片。地质出版社。

中国科学院南京地质古生物研究所，1974，西南地区地层古生物手册。科学出版社。

Deelman, J. C., 1972, On mechanisms causing birdseye structures, N. Jb. Geol. Paläont. Mh., Jg. 1972, H. 10, P. 582-595

Illing, L.V., 1959, Deposition and diagenesis of some upper Palaeozoic carbonate sediments in Western Canada, Fifth World Petroleum Congress Proceeding, Section I. paper 2.

Kinsman, D.J.J. and Park, R.T., 1976, Algal belt and coastal sabkha evolution, Trucial Coast, Persian Gulf. In: *Stromatolites* (edited by M. R. Walter), p.421-433 Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York

Monty, C. L. V., 1976, The origin and development of cryptalgal facies, In: *Stromatolites* (edited by M. R. Walter), p. 193-249. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York

Monty, C. L. V. and Hardie, L. A., 1976, The geological significance of the freshwater blue-green algal calcareous marsh, In: *Stromatolites* (edited by M. R. Walter), p. 447-477. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York

Mountjoy, E. W. and Riding, R., 1981, Foreslope stromatoporoid-renalcid bioherm with evidence of early cementation, Devonian Ancient Wall reef complex, Rocky Mountains, *Sedimentology*, Vol. 28, No. 3, P. 299-319

Pettijohn, F. J., 1975, *Sedimentary rocks*, Harper International Edition, Publishers, New York, Evanston, San Francisco, and London

Shinn, E. A., 1968, Practical significance of birdseye structure in carbonate rocks. *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 38, No. 1, p. 215-223

Shinn, E. A. and Lloyd, R. M., 1969 Anatomy of a modern carbonate tidal-flat, Andros Island, Bahamas. *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 39, No. 3, p. 1202-1228.

THE ORIGIN AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF BIRDSEYE STRUCTURES

Xue Yaosong, Tang Tianfu, Yu Congliu

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica)

Abstract

Birdseye structure is a sedimentary structure formed by physical, chemical and biological processes. Based on the studies of the carbonate rocks of the Upper Sinian in southern China and the Upper Cretaceous-Lower Tertiary in southern Xinjing and northern Jiangsu, this Paper sums up six birdseye structural categories: isolate, isolate-like, irregular, tabular-and-stripped, vermiform, and discontinuously laminated.

The isolate-type birdseye structure in mudstone and wackestone was formed by the aggregation of gases produced by decomposition of organic matter in the sediments. The birdseye pores of this type are characteristic of isolated spots of mm level in distribution, filling sparry dolomite or calcite and normally lacking rim cement and geotropic sediments. In packstone and grainstone it might result from the aggregation of gases or air bubbles sealed by capillarity when drying sediments were flooded. The former might occur in various environments from subtidal zone to intertidal zone and supratidal marsh, but the latter mostly developed in the intertidal zone and flooded supratidal marsh.

The isolate-like-type birdseye pores, usually in wackestone, exhibit laterally elongate patches which are roughly parallel to stratification and better link up with each other, and in which there are commonly geotropic sediments of vadose silts. This type of birdseye pores might result from the air bubbles sealed by means of capillarity under the condition alternating drying with wetting. The surfaces of geotropic sediments in the birdseye pore spaces appear often to be at the same level which might roughly represent groundwater level at that time.

Irregular type and tabular-and-stripped type of birdseye structures, which developed commonly in various cryptalgal carbonate rocks, were formed by non-calcified growth of blue-green algae. The host rock with irregular birdseyes appear to be distinctly characteristic of abundant peloids and clots and of the irregular birdseye pores linking up each other very well which occupy relatively high percentage in volume so that the rocks exhibit poorly supporting state in thin section. They

develop best in both of lower intertidal zone and seaward edge of supratidal marsh (Monty, 1976; Monty and Hardie, 1976), and sometimes they can occur in the upper subtidal zone (Kinsman and Park, 1976).

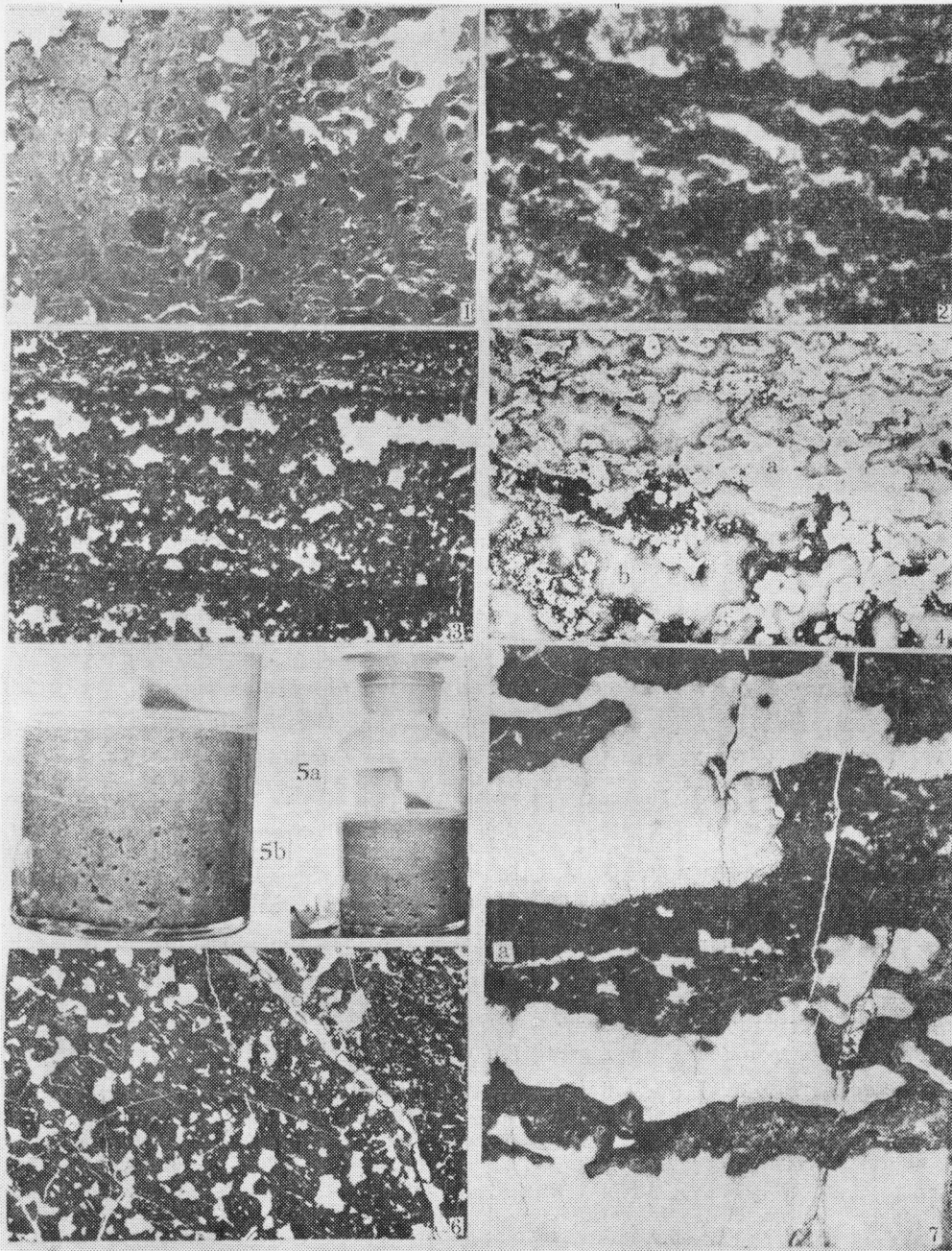
Vermiform-type birdseye structure was caused clearly by drying and shrinking and usually developed in the carbonate muds and laminated cryptalgal carbonate sediments of intertidal or supratidal zone.

Discontinuously laminated type of birdseye structure was mostly formed by evaporation, partly by penecontemporaneous leaching process. This type of birdseye structure in laminated cryptalgal carbonate rocks could occur in the intertidal zone and supratidal marsh, but that in laminated non-cryptalgal carbonate rock (mostly dolostone) could be found only in the supratidal zone.

It is considered that the aggregation of gases, noncalcified growth of blue-green algae, drying and shrinking, and sealed air bubbles are the four main origins forming birdseye structures. In the laboratory, two patterns of birdseye structures caused by the aggregation of gases and sealed air bubbles have been obtained.

The sample of recent unconsolidated sediments collected from the intertidal zone of Shanya Bay, Hainan Island, resulted in two layers in colour, brownish yellow layer in upper $1/3$ of the height of the sample in the bottle and brownish grey layer in lower $2/3$, after two to three months. Isolate-type birdseye pores in millimetre size (the largest up to over 1 cm) took place in the lower because of the aggregation of gases produced by decomposition of organic matter in this layer (Plate 1-5 a and 5 b, Fig. 1). In addition, when the samples, skeletal fragments from the reef flats of Xisha Islands, were set into the bottles and then water was slowly poured into it till the samples were covered at all, numerous air bubbles occurred and were kept in intergrain pore spaces, and might later aggregate to form isolate-like type of birdseye structure.

From mentioned above, birdseye structures may be formed by various modes of origin and in various environments, i.e. from subtidal zone to supratidal marsh. Therefore, it is inexact to consider all birdseye structures as a symbol indicating supratidal or intertidal environment. We can give the birdseye structure a more correct paleoenvironmental interpretation only after the mode of origin has been defined and petrological characteristics have been studied.

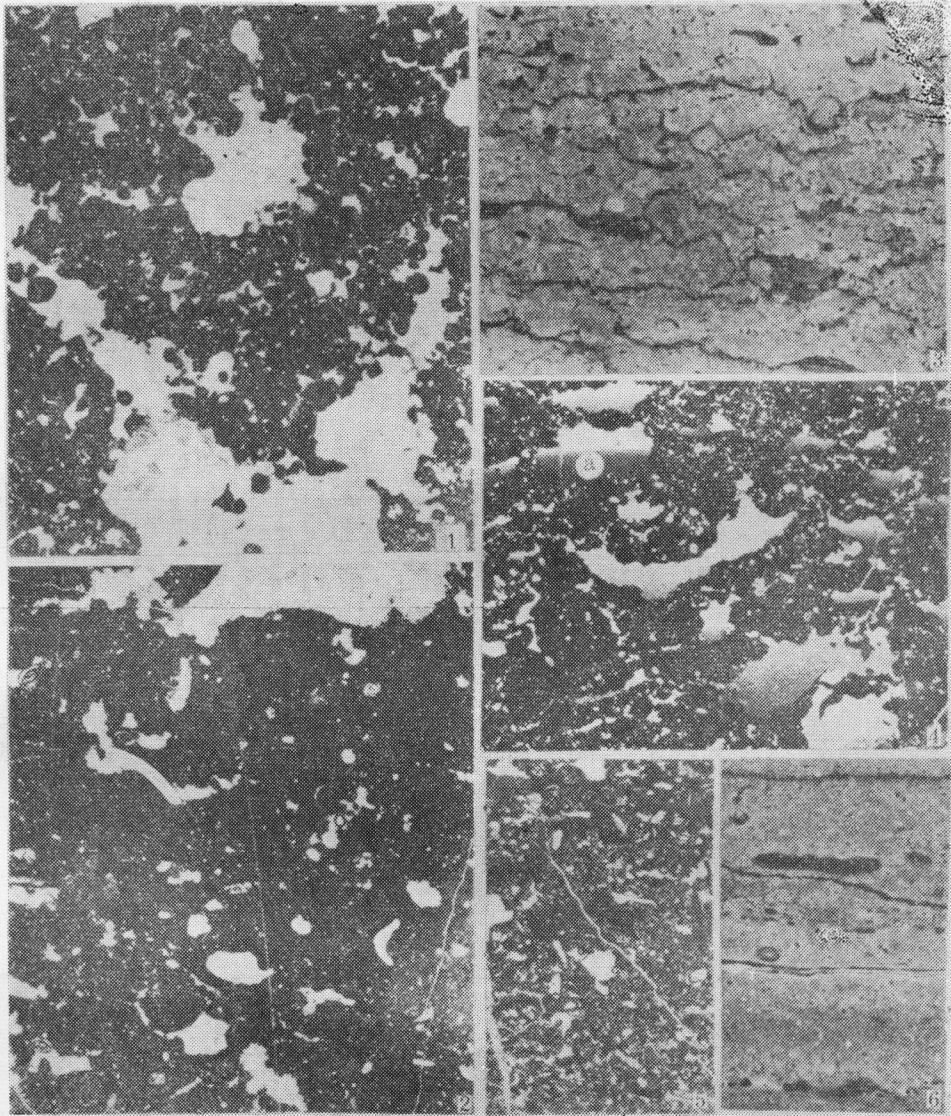


1.含屑泥晶白云岩中的孤立型鸟眼,并有少量蠕虫状鸟眼叠加及渗流作用的痕迹(左上角)。四川南江杨坝,上震旦统灯影组下段。薄片,×3。 2.层纹状藻白云岩中的蠕虫状鸟眼,局部呈类似雁行式排列。产地层位同上。薄片,×56,单偏光。 3.层纹状藻白云岩中的孤立型鸟眼构造。产地层位同图1。薄片,×3。 4.海绵状藻白云岩的不规则鸟眼构造。原始组构多被石膏交代,并已完全白云石化(a)。鸟眼孔具明显的栉状边(b),产地层位同图1。薄片,×5。 5a-5b、装在玻璃瓶中的松散沙样,下部因有机质分解产生气体,聚集形成孤立型鸟眼孔。砂样采自广东海南岛崖县三亚湾。 6.含屑泥晶白云岩的孤立型鸟眼构造,有蠕虫状鸟眼叠加。其上覆盖藻类粘结的砂屑-团粒层,发育不规则鸟眼。安徽巢县泮汤,上震旦统灯影组下段。薄片,×3。 7.藻白云岩中的板状-条状鸟眼构造。鸟眼孔底

较平整，顶面不规则，由亮晶白云石充填，具栉状边，特别在底部较清晰。钙化的隐藻纹层（暗-黑色）中，局部有干缩孔分布（a）。四川南江杨坝，上震旦统灯影组下段，薄片， $\times 5$ 。

薛耀松等：鸟眼构造的成因及其环境意义

图版 II



1. 团粒泥灰岩的孤立型鸟眼构造。为亮晶方解石充填，无显著的栉状环边。新疆乌恰县且木干，上白垩统依格孜牙组。薄片， $\times 10$ 。 2. 孤立型鸟眼构造。产于含骨屑泥晶灰岩。生物骨屑以小粟虫类有孔虫为主，并有介形类及瓣鳃类碎片。产地层位同上。薄片， $\times 10$ 。 3. 肉红色团粒泥晶灰岩，似孤立型鸟眼构造发育，并有以水平方向为主的干燥收缩缝。产地层位同上，依格孜牙组近顶部。光面， $\times 3$ 。 4. 为图3标本的薄片照片。鸟眼孔大都显示横向略长，大致平行分布，其中有渗流粉砂示底沉积物。横向上相邻的若干鸟眼孔中的示底沉积物表面，常显示处于同一水平面上。个别鸟眼孔中的示底沉积物有垂直干裂缝（a）。 $\times 5$ 。 5. 骨屑团粒泥晶灰岩中的似孤立类型鸟眼构造。下部的鸟眼孔具薄的栉状环边，后被渗流粉砂充填。上部鸟眼孔大多由亮晶方解石充填。中部为一明显的渗流粉砂沉积带，其上界面显示为一水平面。新疆莎车县阿尔塔什，上白垩统格孜牙组。薄片， $\times 5$ 。 6. 层纹状灰质白云岩，具断续层纹状鸟眼构造。江苏，盱眙马坝，下第三系阜宁群二组下段。 $\times 5$ 。