

碳酸盐岩中的鸟眼构造及其环境意义

叶德胜

王恕一

(地矿部 05 项目工程处)

(地矿部无锡中心实验室)

鸟眼构造是指碳酸盐岩中毫米级大小的(常为 1—5mm)、扁平至球形的、多呈定向排列的孔隙。它们常为亮晶方解石或硬石膏等所充填或半充填。因其形态似鸟眼,故称鸟眼构造;又因它常成群密集出现,故又称窗孔构造。由于它常可作为鉴别沉积环境的标志(这些沉积环境常会有地层圈闭油气藏),同时在未被充填时,又作为储集空间,因而研究鸟眼构造具有重要理论和实际意义。

伊林(Illing, 1959)详细研究了鸟眼构造,提出了可能的 6 种成因:(1)灰泥中的水滴;(2)灰泥中的气泡;(3)收缩;(4)藻类;(5)硬石膏;(6)成岩过程中的重结晶,并指出以收缩和气泡成因为主。

目前国内外绝大多数沉积学工作者均认为鸟眼构造仅出现于潮间至潮上带,因而是良好的环境标志,如哈姆(Ham, 1952)、拉波特(Laport, 1969)、希恩(Shinn, 1968)甚至指出鸟眼构造主要出现于潮上带,少许在潮间带,不出现于潮下带。

笔者等在研究贵州泥盆纪沉积相的过程中,在中、上泥盆统中发现大量鸟眼构造。其中中泥盆统独山组鸡泡段的鸟眼构造,分布于潮下带半封闭泻湖环境。因此,笔者曾指出,鸟眼构造不仅可分布于潮间至潮上带,也可分布于潮下带,在应用鸟眼构造进行环境分析时,必须谨慎从事,应结合其它标志进行综合分析(叶德胜等, 1983)^①。

近年来在巴哈马滩地区现代潮下环境中鸟眼构造的发现(Shinn, 1983)以及薛耀松等(1984)所作鸟眼构造的实验研究,均证实了笔者等的推断是正确的。本文侧重介绍贵州中泥盆统独山组鸡泡段中分布于潮下环境中的鸟眼构造,并与分布于潮坪环境中的鸟眼构造作一对比,阐明其特征及成因上的区别。

一、潮下环境中的鸟眼构造

(一)地质背景

贵州泥盆系是位于古陆边缘的陆表海或内陆海沉积。其北为黔中古陆,东为雪峰古陆,西和南分别与云南和广西泥盆纪陆表海相连。中泥盆世独山期鸡泡亚期(中、上泥盆统对比见表 1)是海浸较广的时期之一,碳酸盐沉积、礁滩发育。按岩性、古生物、沉积构造、指相矿物等特征,可将鸡泡段划分为以下相带(图 1):

① 周隽良、叶德胜, 1978, 贵州泥盆纪岩相古地理研究报告

表 1 贵州中、上泥盆统对比简表

Table 1 Correlation of the Middle and Upper Devonian strata in Guizhou

统	阶	组及段	
		布 寨 地 区	独 立 地 区
上统	法门阶	冗 降 组	尧 梭 组
	弗拉斯阶	拉 岩 组	望 城 坡 组
中统	古维特阶	王 佑 组	独山组
			鸡 窝 寨 组
			宋 家 桥 组
	艾菲尔阶	罐 子 窑 组	鸡 泡 组
			大 河 口 段
			龙 洞 水 段

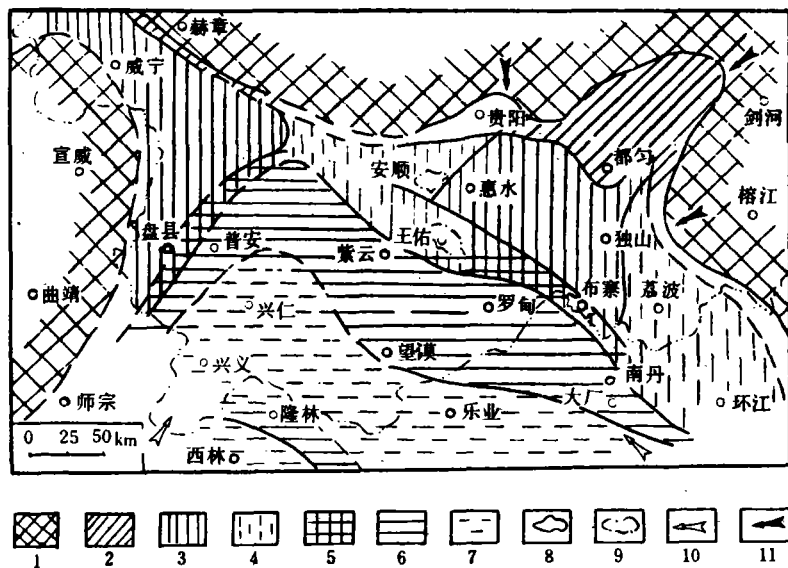


图 1 中泥盆世晚期鸡泡亚期沉积相古地理略图

1—陆地, 2—潮坪, 3—局限台地, 4—开放台地, 5—台地边缘, 6—盆地, 7—开阔陆棚;
8—生物礁, 9—生物滩, 10—海浸方向, 11—陆源物质供给方向

Fig. 1 Sketch map showing sedimentary facies and palaeogeography during the Jipao substage of late Middle Devonian times

1=land; 2=tidal flat; 3=restricted platform; 4=open platform;
5=platform margin; 6=basin; 7=open-sea shelf; 8=organic reefs;
9=organic bank; 10=transgression direction; 11=supply direction of terrigenous debris

1. 潮坪相

主要分布于黔中古陆边缘。岩性以黄灰色含泥质细砂岩、细砂岩与泥岩的频繁薄互层为主, 间夹粉砂岩及泥岩。脉状、波状及透镜状等潮汐层理极为发育。生物稀少, 仅偶见保存不

好的厚壳腕足类、瓣鳃类及植物碎屑。

2. 浅海台地相

可进一步划分为潮下浅水和半封闭泻湖亚相。

潮下浅水亚相(开阔台地亚相):以含生物泥晶灰岩及生物屑泥晶灰岩为主,含较多腕足类、珊瑚、层孔虫、苔藓虫等底栖生物。反映一个海水畅通、氧气充足、营养丰富、海水能量较低、宜于各种底栖生物发育的正常浅海环境。

半封闭泻湖亚相(局限台地亚相):以藻球粒灰岩、含生物屑泥晶灰岩为主。早期成岩阶段的白云化作用较强,故多形成白云化灰岩及白云岩。鸟眼构造发育,并具示底构造及渗流粉砂。生物主要为钙球、介形虫、有孔虫、双孔层孔虫等能适应一定盐度变化的组合;并有少许基本保持原始生长状态的腕足类及四射珊瑚。反映其沉积环境为浅海台地上海水循环受一定限制的半封闭泻湖。

3. 台地边缘相

此相位于台地与盆地的过渡地带。礁滩发育,形成断续相连障壁,将其南北分隔成截然不同的沉积环境。

4. 盆地相

岩性主要为暗色粘土岩、粘土质泥晶灰岩。微细水平层理及微波状层理发育。生物较丰富,以薄壳竹节石、三叶虫及菊石等浮游—游泳生物为主。这些特征反映海水宁静、水流停滞、缺氧、光照不足、水体较深的盆地环境。

5. 开阔陆棚相

此相主要有三种岩石—生物组合:(1)含生物灰岩、生物屑灰岩——珊瑚、层孔虫、腕足类组合;(2)具鸟眼构造的球粒灰岩——双孔层孔虫、双孔层孔虫组合。

(二)鸟眼构造特征及成因

鸡泡段的鸟眼构造主要为断续相连的层纹状鸟眼,具以下特征:

(1)鸟眼往往成群出现,而非单个出现。

(2)鸟眼空间轮廓清晰、外形不规则,一般均大于粒间孔隙。

(3)它们不仅分布于微晶灰岩中,而常分布于颗粒灰岩中,如藻球粒灰岩。

(4)鸟眼常为亮晶方解石所充填,有时其下部充填微晶方解石等内部沉积物,上部充填亮晶方解石,即构成示底构造。

(5)鸟眼常彼此相连,显示纹层外观(多与层理近于平行),或呈不规则的蠕虫状。

(6)往往与大量钙球伴生,一般认为钙球是藻类的孢子或生殖器官,因此也称“藻钙球”。Rupp(1967)指出,无刺钙球酷似现代伞藻(*Acecalaria*)的生殖囊。此外还常与介形虫、有孔虫、双孔层孔虫以及蓝绿藻屑等伴生。

据以上特征推断,鸡泡段的鸟眼系一种非钙化的藻类,经溶解、腐烂或干涸后,被稍后的亮晶方解石充填而成。因此可将鸟眼看作是一种非钙化的藻类。Machielsh(1972)在研究加拿大西部阿尔伯达盆地泥盆纪的鸟眼构造时也有这种认识。

笔者将鸡泡段的鸟眼灰岩划为局限台地相(半封闭泻湖相)的主要依据为:

(1)从鸡泡段的岩石—生物组合看,其底部为一套生物泥晶灰岩,产较多珊瑚、腕足类及层孔虫等,属潮下带无疑。其上逐渐变为一套含生物较少的球粒灰岩、泥晶灰岩等,其中鸟眼发育,常含双孔层孔虫、钙球、介形虫、有孔虫、藻类等适应一定盐度变化的生物。但也含少许

基本保持原始生长状态的腕足类、四射珊瑚等。自下而上其环境变化反映在海水循环由通畅至较为闭塞。因此,其沉积环境不可能属潮上至潮间带。

(2)从沉积构造上看,鸡泡段缺乏干裂、雨痕、虫孔以及小冲刷面、侵蚀面等潮上至潮间带所特有的暴露或间歇暴露的标志。

(3)从沉积序列看,潮坪沉积物通常由1m或更薄的单层组成的旋回。然而鸡泡段的沉积物缺乏这种旋回。

(4)从鸡泡段平面上相的展布看(图1),鸟眼灰岩分布区之南侧为台缘礁滩相。正是由于生物礁滩所构成的障壁限制了海水的正常循环流通,而使鸟眼灰岩分布区成为半封闭的泻湖环境;而在其南生物礁、滩不发育的东西两侧(安顺及荔波地区)均为开放台地相。而在鸟眼灰岩分布区之北(贵阳至都匀一带)才是潮坪发育的地区。

(5)从鸟眼成因上看,鸡泡段的鸟眼属藻成因。既然藻类不仅可分布于潮坪,亦可分布于潮下浅水地区,鸟眼自然也可分布于潮下带。

二、潮间至潮上带的鸟眼构造

分布于潮间至潮上带的鸟眼构造国内外报道甚多,如安德罗斯岛现代碳酸盐潮坪(Shinn和Lloyd,1969)、我国南方震旦系灯影组(杨万容等,1978;唐天福等,1980),川西北中三叠统雷口坡组(董贞环等,1981),黔西南中三叠统等的鸟眼构造。下面仅以贵州独山飞凤井及独山布寨上泥盆统尧梭组及冗降组为例简要介绍发育于潮间至潮上带中鸟眼构造的特征,并与分布于潮下带中的鸟眼构造对比。

(一)独山飞凤井尧梭组的鸟眼构造

该地尧梭组主要为一套白云岩,顶部为泥晶灰岩。

白云岩具如下特征:白云石结晶细,多为微晶至粉晶级,一般均小于0.05mm;自形程度中等,常呈半自形银嵌结构。层纹构造极发育,多为水平状,层纹厚度一般0.2—1mm,部分达数毫米。局部具角砾构造,系溶蚀垮塌或干裂收缩而成。生物罕见,局部见萤石及石膏等膏盐矿物。靠古陆边缘尚见干裂等构造。

顶部泥晶灰岩的特征为:部分具层纹构造(由方解石及白云石交替组成);时见干裂及鸟眼等沉积构造。生物以介形虫、蓝绿藻(包括叠层藻、核形石、层孔类及绵层类等)为主,并有少量红藻、球状藻、虫管及钙球等,均为广盐性生物。

由上述特征可见该剖面尧梭组为典型的潮坪沉积(以潮上带为主)。其中所含鸟眼的特征为:

(1)均产于细结构的泥晶灰岩中;

(2)呈毫米级大小的斑点,大体均匀地分布于泥晶灰岩之中,彼此不相连,呈孤立或似孤立状;

(3)鸟眼多被亮晶方解石所充填,有时也可见到鸟眼下部充填内部沉积物,而上部充填亮晶方解石,组成示底构造。

许多学者论述了这种孤立状鸟眼构造的成因,如Deelman(1972)认为这种鸟眼构造是在沉积物尚未完全固结,表面有水覆盖的条件下,沉积物中有机质分解所产生的气体聚集而成。现代松散砂样中有机质分解产生的气体所形成的鸟眼构造(薛耀松等,1984)与这种孤立

状鸟眼构造之特征极为相似,这是该种鸟眼构造成因的有力证据。

(二)独山布寨元降组的鸟眼构造

该地元降组岩性为亮晶颗粒灰岩与含颗粒泥晶灰岩互层。前者以亮晶碎屑灰岩为主,并有亮晶球(团)粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩;后者有含钙球泥晶灰岩、球(团)粒泥晶灰岩及泥晶灰岩等。亮晶碎屑灰岩中之砂屑多为机械破碎的产物,部分系干裂、收缩而成。部分层位发育鸟眼构造、小型交错层理,部分泥晶灰岩具微细水平层理。生物较少且单调,以钙球、介形虫为主,并有少许有孔虫、蓝绿藻、红藻、棘皮类、腹足类等碎屑。上述特征反映其为潮间带沉积环境。

发育于其中的鸟眼构造,有的分布于含颗粒泥晶灰岩之中,鸟眼孔多呈蠕虫状,孔宽1—2mm,长数毫米。这类鸟眼具明显的干裂收缩性质。

此外,有的鸟眼则分布于颗粒灰岩之中,其特征是:

(1)通常发育于富含球(团)粒的颗粒灰岩之中;

(2)鸟眼孔较大,直径可达数毫米至1—2mm;

(3)鸟眼的形态与分布均不规则。Monty 和 Hardie(1976)研究了安得罗斯岛和萨克湾潮坪碳酸盐沉积物,对不规则鸟眼的成因作了详细研究。认为非钙化的蓝绿藻的生长活动,可能是这类鸟眼构造的主要成因。独山布寨元降组中不规则状鸟眼构造的特征与上述现代碳酸盐沉积物中的鸟眼构造十分相似。因此它们应具有相同的成因并反映相似的环境。

三、鸟眼构造的环境意义

已于前述,鸟眼构造通常被认为是潮坪环境(特别是潮上带)可靠的相标志。但随着研究程度的逐步深入,人们对这一相标志提出异议。如叶德胜等(1983)指出,“鸟眼构造不仅可分布于潮间至潮上带,也可分布于潮下带”。Shian(1983)报道了巴哈马滩地区现代潮下环境中的鸟眼构造,并指出“潮下环境中鸟眼构造的发现表明,需要重新评价将鸟眼构造看作潮坪环境标志的传统观念。”薛耀松等(1984)也指出,“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。”

因此,重要的问题是如何区分潮坪与潮下环境的鸟眼构造。

无论是潮坪还是潮下环境中鸟眼构造的充填物均为等轴粒状亮晶方解石或白云石,另外两种环境中的鸟眼均可充填由部分沉积物,而构成示底构造。因此用上述特征是不能区别其沉积环境的。

在对比不同环境的鸟眼构造后,笔者提出鸟眼形态及其伴生的岩石类型可以作为鉴别鸟眼成因及其形成环境的标志。

从形态和成因上分析,鸟眼构造主要可划分为以下四种类型:

(1)孤立状鸟眼构造,其成因已于上述,主要为气泡成因,即沉积物中有机质分解所产生的气体或沉积物本身所含气体聚集而成。如独山飞凤井上泥盆统亮梭组的鸟眼即属此类。这类鸟眼属潮坪环境,特别是潮上环境的产物。

(2)蠕虫状鸟眼,如独山布寨上泥盆统元降组的鸟眼构造。这类鸟眼主要为干裂收缩成因,它们主要是潮坪环境产物。

(3)不规则状鸟眼构造,主要为腐藻成因,即非钙化的藻类经溶解、腐烂或干涸而成。这

种鸟眼构造主要分布于潮坪环境(如独山布塞上泥盆统冗降组的鸟眼构造)。它们也可分布于潮下环境(如独山大河口等地中泥盆统鸡泡段的鸟眼)。

(4)断续相连的层纺状鸟眼,其成因与藻类密切相关(特别是藻席)。它们主要分布于潮下环境(如独山大河口等地中泥盆统鸡泡段的鸟眼),同时也可分布于潮坪环境。

从伴生的岩石类型分析,潮上环境中的鸟眼构造通常与细结构的岩石伴生(即准同生的白云岩及泥晶灰岩等),如独山布寨亮梭组的鸟眼构造。潮间环境中的鸟眼构造既可与细结构的岩石伴生,也可与粗结构的岩石伴生,如独山布寨冗降组的鸟眼构造。同样,潮下环境中的鸟眼构造既可与粗结构的颗粒灰岩(主要为球粒灰岩)伴生(如巴哈马滩现代碳酸盐环境及独山中泥盆统鸡泡段的鸟眼构造),也可与细结构的岩石伴生(如鸡泡段的鸟眼构造)。

综上所述,可将鸟眼构造的形态、成因、伴生岩石类型与其环境分布的关系的归纳如下图(图 2)。我们可以按照这种关系,在一定程度上区别潮坪环境与潮下环境中的鸟眼构造。

形态	伴生岩石	成因	环境分布		
			潮下	潮间	潮上
孤立状	细结构的碳酸盐岩	气泡			
蠕虫状	细结构的碳酸盐岩	干裂收缩			
不规则状	粗结构(特别是球粒灰岩)为主及细结构的碳酸盐岩	藻类			
断续相连的层纹状	粗结构(特别是球粒灰岩)及细结构的碳酸盐岩	藻类			

图 2 鸟眼构造的形态、成因、伴生岩石与其环境分布的关系

Fig. 2 Relationship between shapes, genesis and associated rocks of the bird's-eye structures and their environments

结 语

1. 鸟眼构造不仅分布于潮坪(即潮间至潮上)环境,而且也可分布于潮下带的某些环境,如半封闭泻湖(局限台地)等。这一点已为现代潮下带环境中鸟眼构造的发现所证实,也为实验研究所证实。本文首次提出鸟眼构造分布于古代潮下带碳酸盐岩的实例。

2. 本文提出利用鸟眼构造的形态及其成因特征,并结合其伴生岩石类型,在一定程度上

可以区别潮坪及潮下环境中的鸟眼构造。

3. 由于鸟眼构造可以分布于潮上至潮下的各种环境。本文强调在利用它划分沉积环境时,必须谨慎从事,需要结合其它沉积特征进行综合分析。

参 考 文 献

- [1] 叶德胜、周禄康、邹志福,1983,贵州泥盆系碳酸岩沉积相。沉积学报,第1卷,84—95页。
- [2] 杨万容、唐天福、张俊明、丘金王、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。
- [3] 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,25卷,853—855页。
- [4] 薛耀松、唐天福、俞从流,1984,鸟眼构造的成因及其环境意义。沉积学报,第2卷,85—93页。
- [5] Deelman, J. C., 1972, On mechanisms causing birdseye structure, N. Jb. Geol. Palaeont. Mh., V. 10, P. 582—595
- [6] Ham, W. E., 1952, Algal origin of the birdseye Limestone in the McIlish Formation, Oklahoma Acad., V. 33, P. 200—203
- [7] Illing, L. V., 1959, deposition and diagenesis of some Upper Paleozoic carbonate sediments in western Canada, Fifth World Petroleum Congress Proceedings, Section 1, Paper 2.
- [8] Machielsh, S., 1972, Devonian algae and their contribution to the western Canada sedimentary basin, Canadian Petroleum Geology, V. 20, P. 187—237.
- [9] Monty, C. L. V., and Hardie, L. A., 1976, The geological significance of the freshwater blue-green algal calcareous marsh. In: Stromatolites, P. 447—477
- [10] Rupp, A., 1967, Origin, structure and environmental significance of recent and fossil calcispheres, Geol. Soc. Am. Spec. Papers, 101, 186 (abstract)
- [11] Shinn, E. A., 1968, Practical significance of birdseye structures in carbonate rocks, J. S. P., V. 38, P. 215—223
- [12] Shinn, E. A., 1983, Birdseye, fenestrae, shrinkage pores, and loferites, A reevaluation, J. S. P., V. 53, P. 619—628

Bird's-Eye Structures in Carbonate Rocks and Their Environmental Significance

Ye Desheng

(Engineering Department of the Project 05, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Wang Shuyi

(Wuxi Central Laboratory, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Up to date, bird's-eye structures have long been believed to be characteristic facies criteria for recognition of tidal flat environments including intertidal and supratidal environments.

This paper deals in detail with the bird's-eye structures identified in the Jipao member of the Middle Devonian Dushan Formation, Guizhou Province. In terms of rock textures, sedimentary structures, palaeontology, sedimentary sequences and palaeogeographic settings, the bird's-eye structures tend to be ascribed to the semi-enclosed lagoonal environments within the platform facies. Therefore the discovery and experimental study of the structures in modern subtidal environments show that the bird's-eye structures may be recognized not only in tidal flat environments, but also in some subtidal environments.

The paper also discusses the bird's-eye structures in the intertidal and supratidal environments in the Upper Devonian Yaosuo Formation, Feifengjing and the Upper Devonian Rongjiang Formation, Buzhai, Dushan, Guizhou. By comparison of the bird's-eye structures in tidal flat environments with those in subtidal environments, it is possible to distinguish the bird's-eye structures formed in different environments based on the shapes, genesis and associated rocks, and it is emphasized at the same time that comprehensive environmental analysis should be made by combination with the various facies criteria.