

# 洞穴化与洞石堆积的非线性特征

杨汉奎 田维新

(贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘 要** 碳酸盐岩洞穴化与洞石堆积是同一个系统相反两种表象。其机理很简单,即系统序参量活度积。但过程复杂,受制于造洞环境的多样性与多变性。形态的同步异相集、世代叠加集,具分形特征。动力的多样性与涨落对全球变化响应而具混沌有序。洞石堆积的非线性特征,为认识和研究洞穴开拓了一个新的方向。

**关键词** 洞穴化 洞石堆积 系统分析 协同效应 非线性特征

碳酸盐岩洞穴化 (cavitation) 与洞石 (speleothems) 堆积, 是洞穴学研究得最多、最深、最广的问题。笔者将其置于地球表层学研究范畴, 作为一种自然作用与过程看待。早在 1930 年 W. M. Davis 提出了灰岩洞成因的双循环论。其后, 不少学者提出了多成因观点<sup>[1]</sup>, 特别是 Ford 和 Ewers 的多成因多模式<sup>[2]</sup>造洞。次生的洞石, 历来是按照渗滴水的流态划分, 已在许多著作中罗列过, 其中以 A. Bogli (1978)<sup>[3]</sup>最为详细。近年不少学者认为洞石是复合形成的<sup>[4,5]</sup>, 朱学稳专门提出了协同沉积类型<sup>[6]</sup>, 戎昆方等<sup>[7]</sup>、李景阳等<sup>[8]</sup>提出了微生物沉积成因等。很明显, 这是一个机理简单、过程复杂的问题<sup>[9]</sup>。本文试图用非线性科学的方法, 对其进行分析和认识, 开拓一些思路。

## 1 造洞环境与动力

将洞穴形成与演变进行系统动态分析, 必然涉及它在形成与演化过程中的物质、能量的输运与转换, 传统上将这些作为洞穴形成的条件。

### 1.1 造洞环境

碳酸盐岩是造洞的一种物质, 而且是最为普适的。而石膏、岩盐只能在干旱区成洞。非水溶性岩石, 如花岗岩、砂岩、泥岩, 只能形成浪蚀穴、风蚀穴、崩积穴。就碳酸盐岩而言, 灰岩和白云岩在溶蚀过程表现出的方式差别, 在洞腔形态及残留物质也有差异。前者为分异溶蚀, 后者

第一作者简介: 杨汉奎, 男, 1996 年不幸病逝, 生前任贵州省政协常委、贵州科学院山地资源研究所研究员、中国科学院环境地球化学国家重点实验室 (HDH) 客座研究员等职, 主持参加科研项目近 20 项, 获省部级科技进步奖 8 项, 公开发表论文 70 余篇, 专著 3 部。

为扩散溶蚀<sup>[11]</sup>。因而所见的灰岩洞多叉,空腔极不均匀和极不规则;白云岩洞分叉少,断面较规则,但粗糙,很难见到微蚀形态(贝窝、石刺、溶痕),多见崩塌大厅与白云砂。碳酸盐岩组内的泥页岩,通常是隔水的,往往作为地下水系的分水岭看待的,但是在断层切割、裂隙水泥化与高压条件下,也曾见近百米厚的梁山组砂页岩潜蚀成伏流洞。在粤北连县清江乡的红岩洞,发育在灰岩砾岩(当地称为顶砾岩,笔者认为它是始新统之底界,整合在上白垩统的泥页岩上)中,因伏流坡降大而具下切侵蚀力,已切入砂页岩层 1.5m<sup>①</sup>。它说明不利的岩性在特殊的水动力条件下,也可“击穿”非水溶岩。这对穿过碳酸盐岩的隧洞掘进有特殊意义。

岩石的结构对溶解速率影响超过组分,生物碎屑(砾、砂屑)礁岩比泥晶易溶。

断裂旁侧影响带、缓倾角的层面与不太密的“X”节理,往往被喀斯特裂隙水追踪,汇流而形成洞穴。在多条溶隙中,选定那一组,又如何转折起伏,可以认为是随机的,既有舍近求远者,也有截弯取直者。一旦联成一个流动通道后,就自组织成地下径流沿所择通道扩展成洞。

洞域的自然环境控制着造洞动力。就目前所知,海拔在 2500 m 以上的地方,干旱区(除石膏、岩盐洞外),寒带及北温带内,很少发育 > 5km 长的洞穴。大洞、长洞、深洞几乎分布在热带、亚热带湿润的中低山与喀斯特高原的坡折带及大峡谷两岸。洞穴化不仅只是降水多少的问题,还关系到光照、热量、土壤、植被、地壳运动形式与速度,可以说是一种 D. Balazs 指出的“地质-气候”最佳的协同(组合)效应。

视岩石( $R$ )、构造( $T$ )、新构造( $NT$ )、气候( $C$ )、水文( $H$ )、地貌( $M$ )、土壤( $S$ )、植被( $P$ )等为造洞环境参数,则有洞域环境集合  $E_g$ :

$$E_g = [R, T, NT, C, H, M, S, P]$$

每一参数又有各种类型,组构成一种相互促进或阻碍洞穴发育的协同效应。

## 1.2 造洞动力

将岩石掏空成洞的动力,讨论最多的是水流的溶蚀作用,包括混合溶蚀<sup>[13]</sup>。仅就溶蚀而论,活度积是“ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$ ”三相平衡的临界值,方程在此点上为“静态”。自然界并不存在平衡,只有随时空变化的非平衡系统。活度积象一个吸引子,当系统偏离到不饱和区时,水流将自主地去获取  $\text{CaCO}_3$ ,表现为洞穴化。反之,水溶液过饱和要盐析卸荷,产生洞石堆积。天然水流的活度与其所含侵蚀性  $\text{CO}_2$  正相关。 $\text{CO}_2$  的来源,大多是土壤细菌。水对  $\text{CO}_2$  的溶解又与水流的温度、压力、水层厚度、水滴表面积突变、细菌吸收、混合效应、同离子效应诸参数协同相关。这些参数变化又与洞外自然环境耦合在一起,并对全球变化响应,具有类似于黄土、湖泊沉积物、深海岩心、冰心那样记忆全球变化的可比性<sup>[12,13]</sup>。

除了溶蚀外,还有侵蚀、风化剥落、风沙磨蚀、波浪冲蚀、重力崩积与生物钻洞和腐蚀。就一个结构简单的小洞穴而言,它可能是某种动力造成的。作为人能进入、结构比较复杂的洞穴(> 1km 长者),往往是几种动力协同形成的,或者是叠加的。按造洞动力对洞穴成因分类如表 1 所示。

## 1.3 洞腔形态与古信息

这是研究较多,特别是洞腔断面几何形态记忆了洞穴化过程结束时的动力信息。本文只想从整体的形迹上作些讨论。

① 杨汉奎,岩溶形态分析,1979年。

表 1 造洞动力与洞穴成因类型

Tab. 1 The cavitation dynamics and genetic types of caves

动	力	行	为	能	源	形	迹
机械侵蚀	(海、湖)波浪	冲刷掏蚀		天体引力场		浪蚀穴	
	风沙吹扬	磨蚀旋刷		气压、气流运动		风蚀穴	
	冰冻	膨胀破裂		体积膨胀		风化凹穴、崩穴	
	树根	胀裂		生长楔裂		崩岩堆穴	
	重力	崩塌		重力场		崩积穴、陷洞	
	流水	侵蚀		重力场		地下河洞	
化学溶蚀	天然水流	溶蚀		地球化学场		溶管、溶痕	
	混合水流	混合溶蚀		地球化学场		交叉溶道	
	掺合水流	同离子效应		地球化学场		白云岩洞	
	热泉流	溶蚀—交代		化学—热力场		热水洞	
	细菌	腐蚀		有机酸		溶痕、石刺	
	外源水	溶蚀		地球化学场		伏流洞(之一)	

### 1.3.1 洞穴分层问题

洞穴分层涉及到洞穴发展史和造洞过程中的地壳运动。过去将洞口按不同高程划分层状洞,并与洞外相应的阶地进行对比,作为区域新构造间歇抬升的古信息依据。这种十分粗糙、可信度极低的方法,逐渐被年代测定、沉积物与微体化石所代替。因为地貌与洞穴形态存在世代叠加,如刘金荣对桂林洞穴堆积的某些红层分析那样<sup>[14]</sup>,第四纪的洞与晚白垩世的洞,叠加在一起。沿乌江渡水库,可以观察到一些从洞口流出的伏流,形成高差极不相同的瀑布,从 30~180m 不等,怎能将它们划分成不同时代的几层洞呢?虽然它们均以乌江水面为排泄基准面,但各洞域面积不一,地下河的动力不等,较大者洞口低,反之洞口很高。

### 1.3.2 洞穴形态与信息

洞穴形态是一种极不完整的“病态”分形,一维的线曲折多拐;二维面非方非圆;三维空间非球非柱,有人对洞穴长度的 1~100m 标度内进行研究,其分维值为 1~1.5 之间<sup>[15]</sup>,具分形特征。现在还不清楚洞穴形态分形的真实内涵是什么。

洞穴断面作为古流演变的信息是毋庸置疑的。如圆形表示有压的溶管,峡谷状表示连续下切,锁孔状或葫芦状则代表间歇性下切。但是洞内情况十分复杂,渗流洞也可能有全充水的洞段,并且有多层同时排水的洞口(图 1)。有的洞穴有多条地下河,彼此间没有水力联系,水位可差 10m,上层洞道曾连成相通的网络,而下层水洞却分异发育。如 21.48km 长的多缤洞洞穴,有 6 条伏流、地下河洞<sup>[4]</sup>。它们的断面形态有锁孔状、阳台状、钟状、半圆状、矩形、犬齿状等等近似的形状,反映出它们有过复杂的溶蚀—侵蚀过程,不能仅就某形状就断定它的成因类型。这一高悬乌江南岸洞系,包含了多种水动力的同步协同作用,又有多种成因的不同时期洞段的叠加。

总之对洞穴化的研究,首先应查清其过程的序次及其成因,具体分析,才可认识其历史。

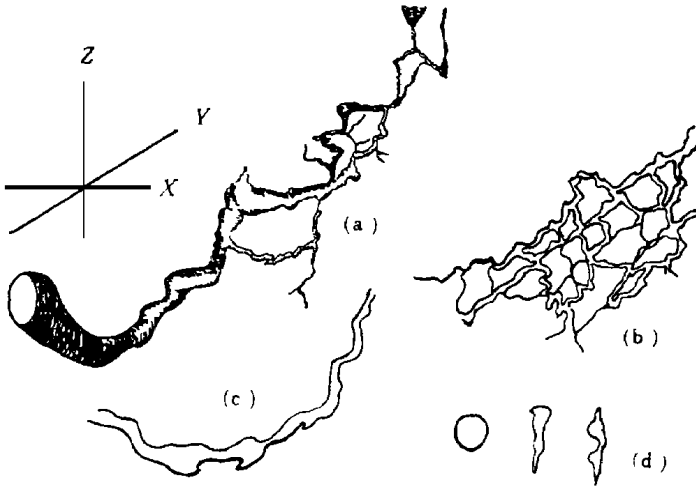


图 1 洞穴的古流演变断面示意图

Fig. 1 Sketch section of palaeo-flow evolution of caves

a 示一维线曲折多拐; b 示二维面非方非圆; c 示三维空间非球非柱;

d 示洞穴断面, 从左至右依次为圆形、峡谷状、锁孔状(葫芦状)

## 2 洞石堆积的协同效应

本文不再赘述众所周知的洞石堆积, 只是着重剖析堆积动力的协同效应、形态的集合。

### 2.1 渗流特征

洞穴化后的管流疏干后(下层洞袭夺或其它管道抢水)转化成为干洞, 如有洞顶洞壁的裂隙水补给, 便开始了各类洞石堆积。这些溶隙水是由当地降水补给的, 其汇水面积只限于洞顶及其有裂隙沟通的高地。水流渗滴持续时间与洞顶的岩层厚度、有无土壤、植被和年降水量相关。但在我们调研过的洞穴中, 除了个别的洞内泉点, 即使埋深  $> 300\text{m}$  的洞穴, 每到冬末春初, 洞顶渗滴水干涸, 成为洞内干旱季节。这几乎成为一种“模糊”周期, 是对洞顶环境和水文年周期的一种响应。除了像镇宁火牛洞内地地下湖常年有喀斯特上升泉补给外, 滴石、流石和晶池  $\text{CaCO}_3$  堆积都因断流而间断堆积, 使洞石堆积出现微纹层韵律。我们发现贵州洞穴有过一次快速堆积时期, 那些巨大(直径  $1.5\sim 10\text{m}$ , 高  $20\sim 50\text{m}$ )石笋正是该快速堆积时期堆积的, 其时代  $> 350\text{ka}$ 。从  $350\text{ka}$  到  $2\text{ka}$ , 洞石堆积时期与湖泊沉积物、海底岩心记忆的变化是可比的<sup>[16]</sup>, 具同步性。这样我们有理由推论洞石堆积具有混沌动力学的特征。问题是要进行高分辨率的测试手段, 揭示洞石记忆的全球变化信息(响应)。

### 2.2 渗流的协同性

通常将渗流水划分为滴流、水池流水、壁流、溅滴。朱学稳还划出一种协同沉积, 对莲盆进行解释<sup>[6]</sup>。在我们对洞石堆积研究中见到, 绝大多数洞石是几种动力协同堆积的。

#### 2.2.1 云盆堆积

最早报道和被研究的是广西阳朔莲花岩停止堆积了的莲花盆(即云盆)<sup>[19]</sup>。其后陆续在者斗洞<sup>[18]</sup>、多缤洞(1983)、云门洞(1987)、星云宫(洞)(1995, 朱文孝等), 发现了浅水池水下云盆(比水池水面低  $20\sim 40\text{cm}$ )。当我们取样分析后, 滴水为过饱和溶液, 池水为饱和溶液, 并用碳素墨水滴入清水中, 观察滴流扩散从环状到不规则的带状过程, 得出了“异重流”从扩散经吸附

到堆积的协同效应<sup>[18]</sup>。当然,在一个浅水池中有多个云盆同步堆积,反映出在某一扩散与混合之前,滴水的高浓度的波互不干涉,各自孤立地存在浅水池中,有孤立子的特点,是否属孤波及其堆积,有待更进一步研究。以加速度自由落体溅落在池中的高浓度的水滴,所获得的动能与马蹄踏在小溪中所产生的孤波可比(但水池深应小于 40cm) 一水池中可形成多个互不相接的、自相似有序分布的云盆群,如多缤洞云盆群、阳朔莲花岩云盆群。显然在一定的时限内,这些溅落的过饱和和具动能的“浊流”环,自成孤环而互不干涉,甚至协同成带环“耳”的环(图 2),如岑巩的云门洞云环盆,由侧向流动力、吸附力与扩散力协同而成。

关于云盆是否作为孤波堆积,以及这种现象能否作为孤子,还有进一步研究的必要

2.2.2 滴一流石的协同堆积

洞顶下滴的水,流速与流量差别很大。一种是下滴极为缓慢,而且流量很小,只在洞顶形成石管、乳房状钟乳、大部分石枝及卷曲石。另一种是滴速较快,顶部没有悬挂物堆积,从洞床向上,有 3 种类型: (1)滴水供给量大,从石笋顶沿周边向下流,形成帽式叠层石状的皮壳套叠,外形粗大而无分节的塔柱状,是一种滴水转化为流水的皮壳堆积,包括丘状、盔状石笋(图 3a) (2)滴水量有限,往往形成竹节状石笋。竹节间距不等,也不一定呈环状。但每一节的顶部厚,向下尖灭,或呈水母状,反映出很有限的流石特征;而毫无例外的上粗下细,则代表盐析量由多变少,水流的蒸发干涸(图 3b) 这是一种滴水转化为流水的吸附、摩擦、表面积增大和水膜蒸发协同的盐析。(3)溅一滴一毛细水,在滴水下落时,水滴飞溅,顺初始外伸的  $CaCO_3$ , 凸突部分发生浸润,逐渐形成棕榈

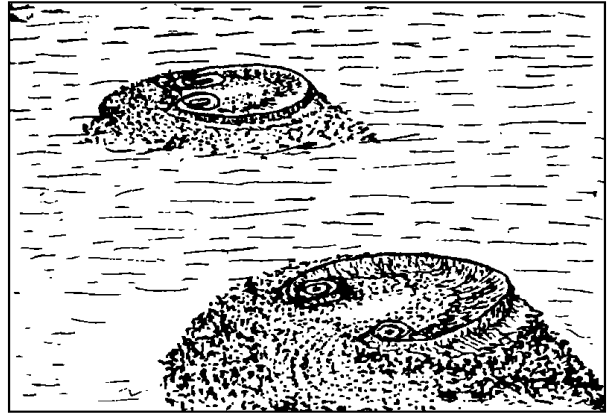


图 2 协同堆积的云环

Fig. 2 The ring of synergetic deposit

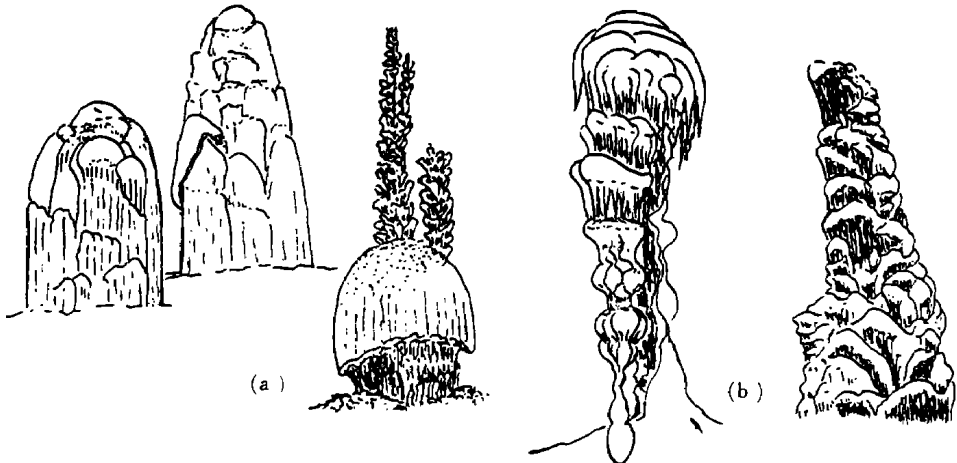


图 3 滴水转化成的流水形态

Fig. 3 The state of waterflow transformed from drip water

树状“叶片”, 松球状“鳞片”, 被认为是蓝藻细菌的微生物  $\text{CaCO}_3$  堆积。无论是细菌, 还是非生物的这类形态, 都不可能离开物能载体的水滴。即使在微米级的电镜扫描中, 仍能见到鞘管(细菌体)吸附方解石微晶。因此我们仍认为堆积系统的序参量是水滴, 其余的是伺服参量。它们协同堆积了这些石笋。

### 3 洞石的非线性特征

洞石的非线性特征是很明显的, 主要反映在它们几何形态的非整数维尺度与堆积过程的不连续性, 迭代性与自组织有序。

#### 3.1 洞石形态的分形问题

几乎没有那种洞石堆积的几何形态是光滑和完整无隙的。但人们又可以从各类洞石的形态的相似性——每种形态内部的自相似性 (self-similarity) 区分出它们。同时这种自相似性是其堆积过程的自迭代生成机理, 不连续的分形迭代。可举几例表示之。

##### 3.1.1 方解石晶簇的分形

黄果树的天星洞顶, 堆积了一批悬挂于洞顶的方解石晶簇球(图 4), 它是由三方晶系的菱形方解石晶粒组成的不规则球体, 每个球体断面与其周长之间可能存在着分形分维。在双河洞系统的卷曲石洞、云门洞水池等所见的锥状(犬牙状)及针状方解石晶簇, 有胖与瘦分形之别。如果切片观察卷曲石、钟乳石、石笋、石盾、穴珠等, 在一定的阈值内, 有一定量的嵌套和迭代, 都是研究分形的好材料, 而且多为多重分维。



图 4 天星洞方解石晶球的自相似

Fig. 4 The self-similarity of calcite crystal in Tianxingdong cave

在一些洞内, 如芙蓉洞、石花洞、鸡冠

洞、宝晶宫(蟠龙洞), 所见的文石针晶簇, 决不是杂乱无章的, 很可能是混沌有序的。那些晶针分叉夹角随级序增加而变小, 1级夹角  $> 30^\circ$ , 3-4级的夹角  $< 15^\circ$ (图 5)。石幔的卷迭, 往往也有 2-4级分叉。

##### 3.1.2 石笋分形

我们对一些棕榈树叶片状、松球塔状和一些分节的石笋进行测定, 即将它们视为断面呈等腰三角形, 按  $1/2$  边长逐级地分下去, 可以获得一种铺砌的分形图案(图 6a)。

实地测量是繁琐和困难的。我们利用形态的自相似特征, 进行图片上的理想化计算。棕榈状石笋(图 6c)的叶片散开的周长与圆盘面积的分形维  $D = 1.45 \sim 1.64$ ,  $\bar{D} = 1.53$ 。圆盘面积与滴水高度的分形维  $D = 1.39 \sim 1.54$ ,  $\bar{D} = 1.45$ 。松球状者周长与圆盘面积(图 6b)的分形维  $D = 1.35 \sim 1.63$ ,  $\bar{D} = 1.44$ 。串珠状石笋受后期迭代而变形, 若略去变化的推算, 其分形维  $D = 1.42 \sim 1.56$ ,  $\bar{D} = 1.5$ 。当然不少协同形态, 应是多重分形, 这方面还有大量研究待做。

堀井洋一等利用试验模拟了秋芳洞石梯田(日本称为百枚皿), 计算出水池面积与流石坝长之分形维为 0.98。看来人们对洞石的分形研究是一种很有前景的拓展。

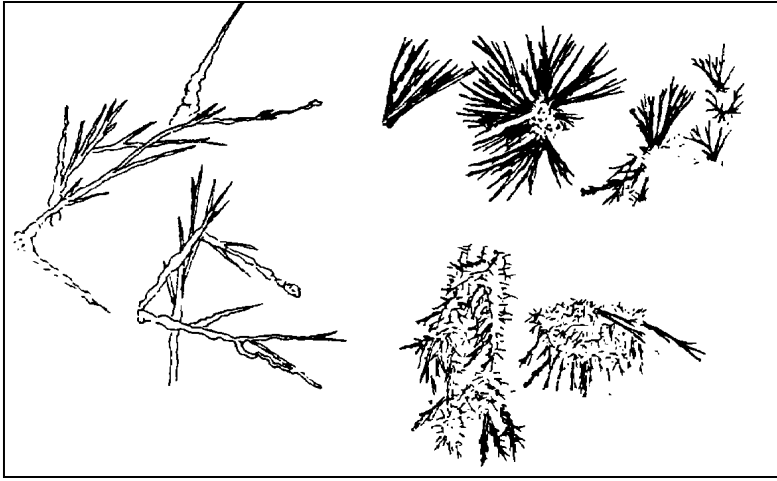


图 5 文石晶针的逐级分叉

Fig. 5 The aragonite crystal needles with branching successively

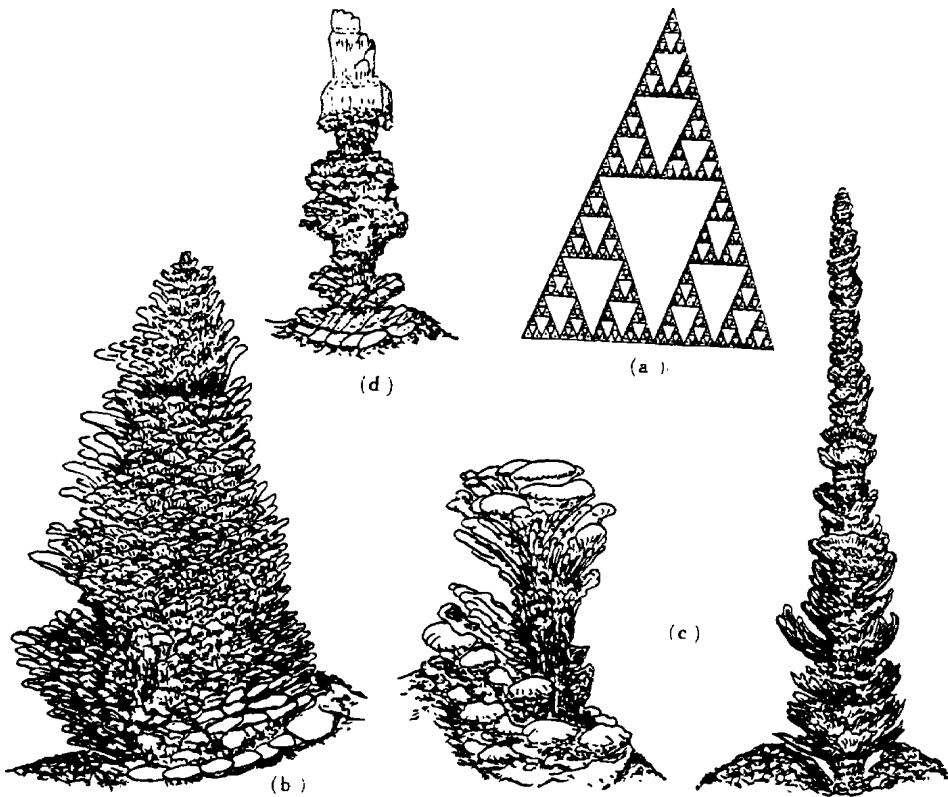


图 6 石笋的分形特征

Fig. 6 Fracture characteristics of stalagmites

(a)等腰三角形分形; (b)棕榈叶片状; (c)松球状, (d)串珠状

### 3.2 洞石堆积的非线性过程

无论是认为洞石的微生物成因,抑或水流流态成因,洞石堆积的物质都是由不同运动态的水流运输的。没有水连蓝藻自身也不能生存。洞石是渗流带的产物,其水来自洞顶雨、雪、霜、雾的渗入,主要是降雨的入渗,十分明显,降雨量具有在一定阈限(对于各地)内有涨落的,有降雨时序上的准周期性。经过洞顶溶隙溶孔含水层的调控而向洞腔输运。通常有干湿季节之分,有月、旬、日、时、分、秒的间断或涨落,有洞顶滴水、隙流的脉冲响应。更有趣的是多缤洞顶有一下降的间歇泉,每年 4 月下旬或 5 月上旬至 10 月中旬才出现,若遇伏旱,也不出流。它每约  $30 \pm 2s$  来潮一次,持续也是  $30 \pm 2s$  (测定不很准确),来水是渐次增大,约从  $10s$  稳定到  $26 \sim 28s$ ,突减而断流。在重安江、弥勒大龙潭、修文三潮水,我们都观察过间歇泉是在一定流量阈限内才会产生的,而且是不对称的曲线(衰减),前缓后陡到中断,显示出渗流水的混沌有序。在对贵州洞石及灰华测年的随机采样中,至少有  $6 \sim 20ka$   $26 \sim 34ka$   $39 \sim 49ka$   $50ka$   $60ka$   $74 \sim 82ka$   $87 \sim 89ka$   $98 \sim 120ka$   $140 \sim 192ka$   $220 \sim 320ka > 350ka$  的 10 多个期次的堆积,其中断开的可能是未取到的样品,也可能是堆积间断。赵树森等认为<sup>[16]</sup>  $4 \sim 13ka$   $35 \sim 60ka$   $75 \sim 120ka$  和  $195 \sim 240ka$  可与深海  $V_{28 \sim 239}$  岩心同位素记录对应(第 1 3 5 7 暖期),其中第 5 暖期中有一次偏冷,距今  $90 \sim 100ka$ 。朱文孝等<sup>[19]</sup>对织金洞粪化石研究,揭示了与北欧大西洋期中的温湿与温干、亚北方期和亚大西洋期的四次气候波动,分别为  $6730 \pm 130a$   $4510 \pm 90a$   $3680 \sim 1885 \pm 70a$   $1680 \pm 100 \sim 1160 \pm 90a$  很明显,同样处在东亚季风与喜马拉雅大幅度抬升的第四纪气候变化的背景中,不是承认洞石堆积动力是混沌与否的问题,而是如何进行有效的高分辨的长程剖面研究,将洞内外次生  $CaCO_3$  对照研究,解决喀斯特发育问题。

洞石的堆积是系统自组织临界状态(self-organized criticality,简称 SOC)的偏离。在此 SOC 就是活度。由于自然界的溶剂水是运动的,温度、摩擦、形变, pH Eh 等都是变的。整个系统总是被吸引到 SOC 处,其运动的轨道不是圆和周期性的,所以活度是个混沌吸引子。在图 6 及许多洞石中,不仅看到了嵌套的叠层石和核形石,还见到再溶蚀。从水溶液中盐析出  $CaCO_3$ ,这一过程是个放热反应,即洞石堆积是付出了熵的。再溶蚀反映出水流要从环境中吸收热量,吸收  $CO_2$ ,再对洞石溶蚀,直到溶液饱和。现在我们还弄不清楚,分叉的石枝、石针为何要有由长而短、由大角度向小角度的分形特征;为什么要分节,这些非线性特征的几何—数学模式如何建立,其物理意义、微生物学的意义如何,等等。

将洞穴化与洞石研究引向非线性科学研究才开始,会遇到不少难题,但却有令人振奋的前景。它不仅是一种方法应用,反过来会丰富非线性科学的研究内容,使人们的认识产生飞跃。

### 参 考 文 献

- 1 Sweeting, M M. Karst Landforms. London: Macmillan, 1972
- 2 Ford, D C and Ewers, R O. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and breadth. Can. J. Sci., 1978, 15
- 3 Bogli A. Karst hydrology and speleology. Berlin: Springer, 1980
- 4 杨汉奎,朱文孝.多缤洞系的形态与洞石特征.见:喀斯特地貌与洞穴研究.北京:科学出版社,1990 107~118
- 5 堀井洋一等.秋芳洞における石灰华段丘(百枚皿)の形状解析とその成因. J. speleol. Soc. Japan, 1990, 15 34~41
- 6 朱学稳等.桂林岩溶地貌与洞穴研究.北京:地质出版社,1988.



- 7 戎昆方,安裕国等. 贵州织金洞石类堆积物中的生物建造作用. 贵州工学院学报, 1991(3)
- 8 Li Jingyang ect. Preliminary research of formation characteristics of speleothems in Zhi jin Cave. Guizhou, China. Pro XI ICS. Beijing. 1993. 114
- 9 Yang HanKui. The causes of composite morphology of speleothems. Pro XI ICS. Beijing, 1993 85
- 10 杨汉奎. 卷曲石的形态及其堆积环境. 中国岩溶, 14, (增): 129~ 139
- 11 张寿越等. 中国岩溶研究. 北京: 科学出版社, 1978
- 12 吕厚远等. 2.5Ma以来古气候变化的混沌吸引子. 第四纪研究, 1993, (2): 121~ 127
- 13 刘东生,丁仲札. 二百五十万年来季风环流与大陆冰量变化的阶段性耦合过程. 第四纪研究, 1992(1): 12~ 23
- 14 刘金荣. 对岩溶洞穴成层性观念的再思考. 中国岩溶, 14(增): 107~ 115
- 15 Laverty, M. Fractals in karst. Earth Surface Processes and Landforms. 1987, 12(5): 474~ 480
- 16 赵树森等. 中国东部喀斯特洞穴沉积物铀系年代. 中国岩溶, 1989, 8(1): 53~ 369
- 17 朱学稳等. 阳朔莲花岩洞穴的莲花盆. 地质论评, 1981, 27(4): 368~ 369
- 18 杨汉奎等. 者斗洞云盆堆积过程的剖析. 贵州地质, 1983, 20(1): 60~ 63
- 19 朱文孝,李坡. 织金洞扫尾豪猪粪堆积层的孢粉组合及其地质意义. 中国岩溶, 1994, 13(3): 256~ 260

## NON-LINEAR CHARACTERISTICS BETWEEN KARST CAVITATION AND SPELEOTHEM DEPOSIT

Yang Hankui Tian Weixin

(Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001)

### Abstract

Karst cavitation and speleothem deposit are two contrary phenomena in a cave system. The mechanism is very simple, that is, activity product of order parameters of a system. And the process is complicated, and is controlled by the variousness and changability of cave development environment. The synchronogenic-heteropic set of morphometric features, and the generation superposition set have fracture characteristics. There is chaos-order between the variousness and fluctuation of dynamics and their response to global changes. The non-linear characteristics of speleothem deposit open up a path for understanding and studying caves.

**Key words** Cavitation Speleothem deposit Systematical analysis Synergetic effect Non-linear characteristics