

文章编号: 1009-6248(2009)03-0036-11

## 论洞穴石笋结构构造转变

林玉石<sup>1</sup>, 张美良<sup>1</sup>, 覃家铭<sup>1</sup>, 姜光辉<sup>1</sup>, 舒丽<sup>1</sup>, 刘玉<sup>1</sup>,  
杨琰<sup>1</sup>, 彭稳<sup>1</sup>, 黄新跃<sup>2</sup>, 黄芬<sup>1</sup>

(1. 国土资源部岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;  
2. 国土资源部宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443000)

**摘要:** 大量大型石笋纵剖面研究表明, 石笋矿物组成有方解石、文石、文石(方解石)-方解石(文石)三种类型, 三类的结构、纹(微)层和放射状构造、结构构造转变等特征类同, 并存在于碳酸盐沉积石笋生长的全过程, 但文石笋的细微粒针(柱)状(微粒)结构、放射状、纹(微)层构造更显著。石笋结构构造转变的主要表现是: 文石转变成方解石; 文石、方解石次生增大, 呈现不断晶化的成晶过程。文石转变为方解石, 常保留文石的针状、针柱状结构和柱状聚晶体, 呈文石假象, 文石次生加大仍保存其结构构造和聚晶; 方解石次生增大, 常保存其粒状、菱面体、偏三角面体、聚片双晶和柱状、板状聚晶。石笋结构构造转变及其晶化强度, 受控于洞穴温度、湿度、滴水和凝结水对石笋的渗透、淋漓, 主要受石笋含水度大的制约。组成石笋的碳酸盐沉积、组合、结晶、晶化次生增大等, 结构构造的形成及其弱、中、强转变, 都在常(低)温常(低)压的洞穴气候环境中进行, 是自调整作用的沉积、成晶、成岩晶化过程, 没有外来物质加入, 因而不影响同位素分馏和古气候环境记录。石笋结构构造转变研究, 对古气候环境重建与生态修复、成晶成矿理论和实践、同位素测年校正和运用都有重要意义。

**关键词:** 洞穴石笋; 结构构造; 方解石化; 转变; 残余结构构造

**中图分类号:** P642.25 **文献标识码:** A

多年来, 作者通过观测研究岩溶型矿床、岩溶沉积建造, 特别是石笋的结构构造(邓自强等, 1988, 1993; 林玉石等, 1996)发现, 碳酸盐主要成岩矿物方解石、文石的沉积、结晶、成岩(笋)作用是在常(低)温常(低)压下, 特别是在洞穴气候环境中形成的, 沉积成岩全过程结构构造不断转变, 是典型的晶化成岩(笋)过程。碳酸盐组成矿物的结构构造容易转变是重要特征。我国南方石笋组成矿物、化学成分、成色、结构构造、层厚及其各自的地质、气候、环境意义, 我们曾反复论述过(林玉石等, 1996; 覃嘉铭等, 1997, 2004; 李彬等, 2000;

张美良等, 2001, 2004; 袁道先等, 2002), 对石笋组成的观测研究, 早期侧重于化学成分和微(痕)量元素测试, 李彬(1997)在挪威测试了石笋的发光性, 证实石笋组成有有机碳成分。之后, 王先锋(1999)利用二次离子质谱进一步确定存在大、小分子有机碳。谢树成、胡超勇(2005)进而确定存在分子化石。这些研究分别解释了有关气候、环境意义, 但没有改变石笋是方解石组成的认识。伴随研究的深入、领域和地域的扩大, 不同地质条件洞穴调研的增多发现, 云、贵、川、湘许多洞穴中, 石笋的组合、组分、结构构造有异, 组合构造类型有

**收稿日期:** 2008-12-11; **修回日期:** 2009-04-14

**基金项目:** 国家自然科学基金(批准号 90511004)和中国科学技术部“中国洞穴石笋样品保护库的建造”项目(编号: 2003D EB 6J 069)资助

**作者简介:** 林玉石(1935-), 男, 福建晋江人, 研究员, 主要从事岩溶环境与古气候环境研究。E-mail: kinyushi139@163.com。

共性和典型性, 并将石笋组成简单称为复合笋、连生笋、附生笋, 巨型方解石柱石笋 (林玉石等, 2002, 2004), 同时根据石笋纵剖面结构构造, 阐明滴水动态特征 (林玉石等, 2004; 张美良等, 2002)。目前已确定石笋矿物组成主要是方解石、文石、方解石文石的不同匹配, 组成 3 个基本类型, 石笋结构、构造自沉积、结晶、成岩 (笋) 全过程不断变化 (林玉石等, 2007)。因此, 研究石笋结构构造及其转变至关重要, 也是我们长期应关注的领域。 (邓自强等, 1988)

### 1 石笋的矿物组成

通过对我国南方大量洞穴石笋 (图 1) 的矿物结

构观测、成分测试、岩矿鉴定, 证实石笋主要矿物组成是文石、方解石、方解石 (文石) - 文石 (方解石) 三类型 (图 2): 方解石石笋占多数。如桂林盘龙洞、云南仙人洞、贵州董哥洞的石笋; 其次是方解石文石笋。如云南葫芦洞、贵州七星洞的石笋; 少数是文石笋。如湘西莲花洞、乌龙洞的部分石笋。文石笋常见微弱方解石化, 有些中一强方解石化, 成为文石方解石笋。在大量石笋沉积特征研究的基础上 (袁道先等, 2002; 张美良等, 2001, 2002; 林玉石等, 2002, 2004, 2007), 确认石笋由含黏土矿物的碳酸盐类沉积而成, 组成文石方解石矿物的结构、纹 (微、壳) 层和放射状构造及其结构构造转变等在沉积形成过程中不断进行, 组合复杂, 旋回明显而级次不同, 铀、钍含量差别更大, 基本特征呈旋回性演变。

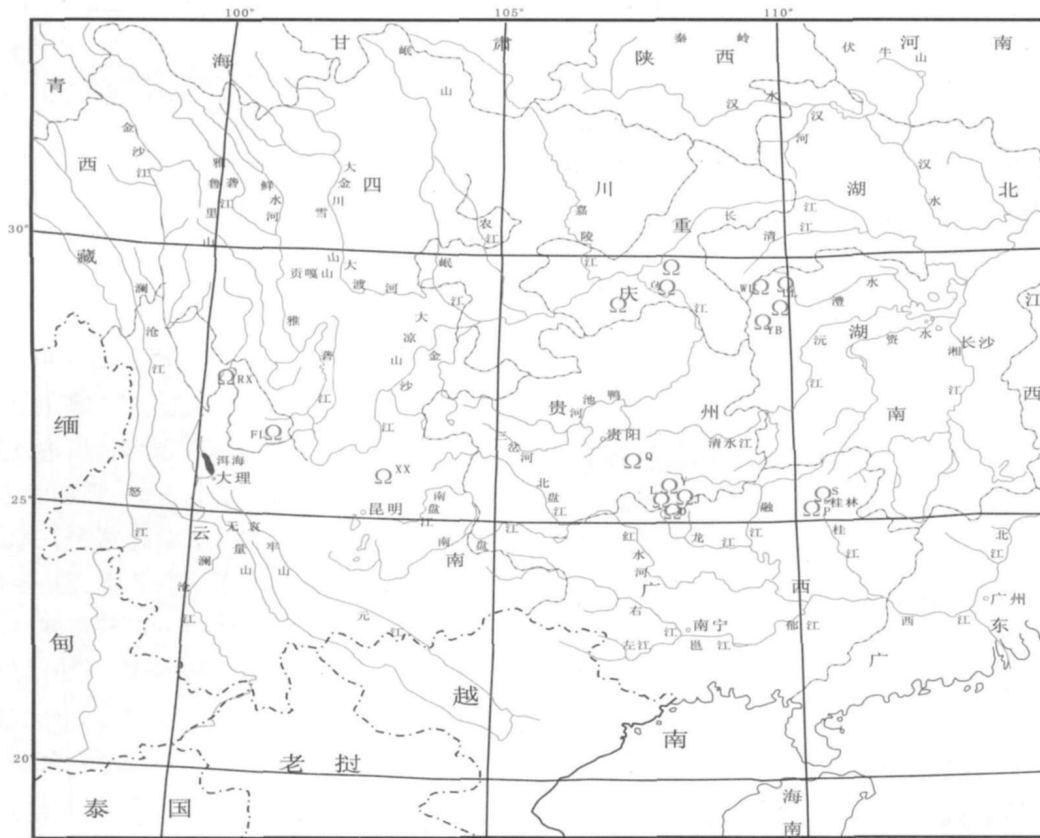


图 1 中国南方洞穴石笋分布图

Fig. 1 Distribution of cave stalagmite in southern China

- Y. 贵州荔波衙门洞 (1 号石笋); L. 荔波龙泉洞 (1、2 号石笋); D. 荔波董哥洞 (6、7 号石笋); J. 荔波金狮洞 (1、2 号石笋); Q. 都匀七星洞 (1- 16 号石笋); P. 广西桂林盘龙 (2 号石笋); S. 桂林水南洞 (1 号石笋); XL. 灌阳响水岩 (1 号石笋); YB. 湖南保靖要坝洞 (1 号石笋); LL. 龙山莲花洞 (1、5 号石笋); WL. 龙山乌龙洞 (1 号石笋); RX. 云南泸沽湖狮子洞 (1 号石笋); XX. 寻甸仙人洞 (1 号石笋); FL. 华坪葫芦洞 (1- 4 号石笋)

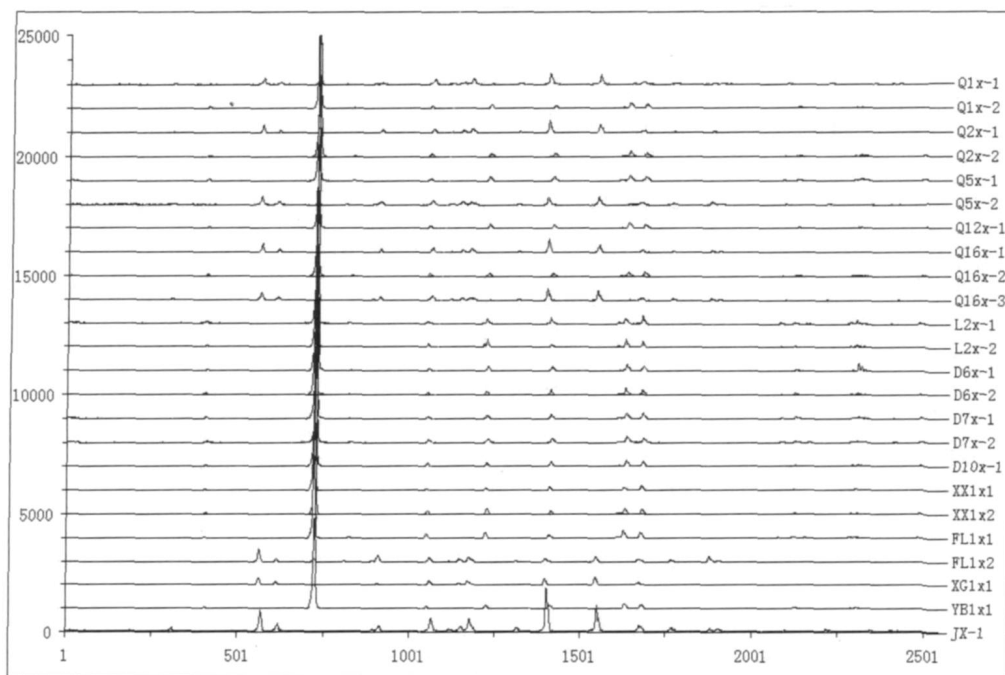


图2 我国南方石笋X射线衍射谱线图

Fig. 2 X-rays chart of stalagmite in southern China

1. 文石笋类型: XG1x1湖南莲花洞1号石笋, JX-1 贵州金狮洞1号石笋; 2. 方解石石笋类型: D6x-1, 6x-2, 7x-1, 7x-2, 10x-1 贵州董哥洞6、7、10号石笋; L2x-1, x-2 贵州龙泉洞2号石笋; XX1x1, x2 云南仙人洞1、2号石笋; YB1x1 湖南要坝洞1号石笋; 3. 方解石(文石)-文石(方解石)石笋类型: FL1x1, x2 云南葫芦洞1、2号石笋; Q1x-1, x-2, 2x-1, x-2, 5x-1, x-2, 12x-1, 16x-1, x-2, x-3 贵州七星洞1、2、5、12、16号石笋

## 2 石笋的结构构造转变

石笋结构构造转变受洞穴滴水动态和石笋含水量控制。滴水稳定含水量大的石笋有利于文石转变成方解石和文石, 方解石次生晶化增大。石笋结构构造转变主要是方解石化, 转变程度分为强、中、弱, 晶体粒度组成不同(表1)。

### 2.1 方解石石笋结构构造转变

这类石笋的结构构造转变度(图3)分为强( $Y_1$ )、中( $D_6$ )、弱( $RX_1$ )。

(1) 强转变是强烈方解石化。广西盘龙洞2号( $P_2$ )、贵州衙门洞1号( $Y_1$ )、龙泉洞2号( $L_2$ )等石笋是强方解石化的典型代表。 $P_1$ 、 $Y_1$ 石笋周围有流石坝(池)群, 坝高10~50cm, 池中有积水, 石笋已停止生长。 $L_2$ 石笋周围三水塘连通地下河, 枯水期水塘底显露小流石坝(池)、池中有积水, 石笋在生长。3个石笋所在洞段封闭好, 沉积(生长)时湿度大, 滴水量大而匀速, 温度20℃, 这些综合条

件, 有利结构构造转变。3个石笋都由巨型、超巨型方解石组成, 纹(微)层、放射状、多旋回构造、残余构造显露程度不同, 旋回顶部、周边残余构造较明显, 石笋周边(缘)比中(轴)部层状构造明显。

显微观测, 结构构造残余差别大,  $P_2$ 、 $Y_1$ 方解石是块状、菱形板状聚晶, 保留偏三角面体、菱面体结构残余, 局部有微(纹)层构造残余, 边(周缘)部的针状、菱面体结构和纹(微)层构造残余明显。 $L_2$ 方解石呈板状、柱状聚晶, 柱状比板状聚晶保留粒状结构, 微(纹)层构造残余多, 石笋周边比中(轴)部层状构造残余多而明显。

这类石笋板状(块状、菱形状)、柱状聚晶微粒状、粒状结构和微(纹)层残余, 柱状聚晶中多而明显。板状聚晶是强方解石化次生晶化增大的终结, 晶体微粒经粒状、菱面体、偏三角面体、板状(块状、菱形状)聚晶, 由弱-强转变而成。石笋轴部比周边, 下部比中、上部板状、柱状聚晶多, 纹(微)层构造残余不明显, 结构构造转变由强而弱,

转变析出的铁、锰、黏土矿物等暗色矿物, 断续分布, 基本保存沉积纹(微)层构造, 显示程度同样是柱状聚晶多而明显, 板状聚晶少而不明显。石笋轴部主要是板状聚晶, 层状构造残余少或消失。

表 1 石笋基本要素表

Tab. 2 Stalagmite's basic factors

石笋号	高度 (cm)	直径 (cm)	年龄 (ka)	矿物组成	沉积旋回	结构 转变强度
Y1	310	8~ 18	1.09~ 52.76 (62)	方解石	8	巨晶粒, 强
L2	204	11~ 18	0.039~ 1.216 (24)	方解石	7	粗 巨晶粒, 强
P2	305	25~ 45	100~ > 350 (67)	方解石	10	巨晶粒, 强
S1	246	35~ 45	147.9~ 245.2 (122)	方解石	11	中、粗晶粒, 中
D7	362	3.5~ 20	215.9~ 332.7 (31)	方解石	22	中、粗晶粒, 中
D6	569	8~ 25	127.62~ 283.70 (81)	方解石	21	中、粗晶粒, 中
YB1	43.0	5~ 10	19.01~ 30.31 (5)	方解石	7	细 中晶粒, 弱
RX1	65	4~ 9	0.18~ 8.86 (3)	方解石	8	粉 细晶粒, 弱
XX1	66	11~ 15	2.10~ 30.15 (4)	方解石	15	粉 细晶粒, 弱
X1	200	6~ 12	0.49~ 56.2 (16)	方解石	22	细 粉晶粒, 弱
LL5	225	6.5~ 15.5 (一般 12)	59.91~ 79.86 (22)	文石	13	微针状, 细 粉粒, 弱
LL1	390	10~ 25 (一般 22)	0.021~ 6.15 (70)	文石方解石	18	微针状, 细粉晶粒少, 中、粗晶粒为主, 强
Q2	220	3.5~ 12	1.3~ 151.3 (9)	文石方解石	10	微针状, 细 中晶粒为主, 中
Q16	244	11~ 15	148.76~ 188.49 (11)	文石方解石	19	微针状, 细 中晶粒为主, 中
FL2	79	7~ 12	90.26~ 112.60 (4)	文石方解石	10	针状、柱状、细 粗晶粒, 中
J1	135	5~ 10	6.0~ 6.8	文石方解石	> 4	微针状, 弱

注: 同位素年龄多数由(美)明尼苏达大学同位素室程海教授、部分是杨琰博士在(美)测试完成; 年龄系列括弧内为样品数。

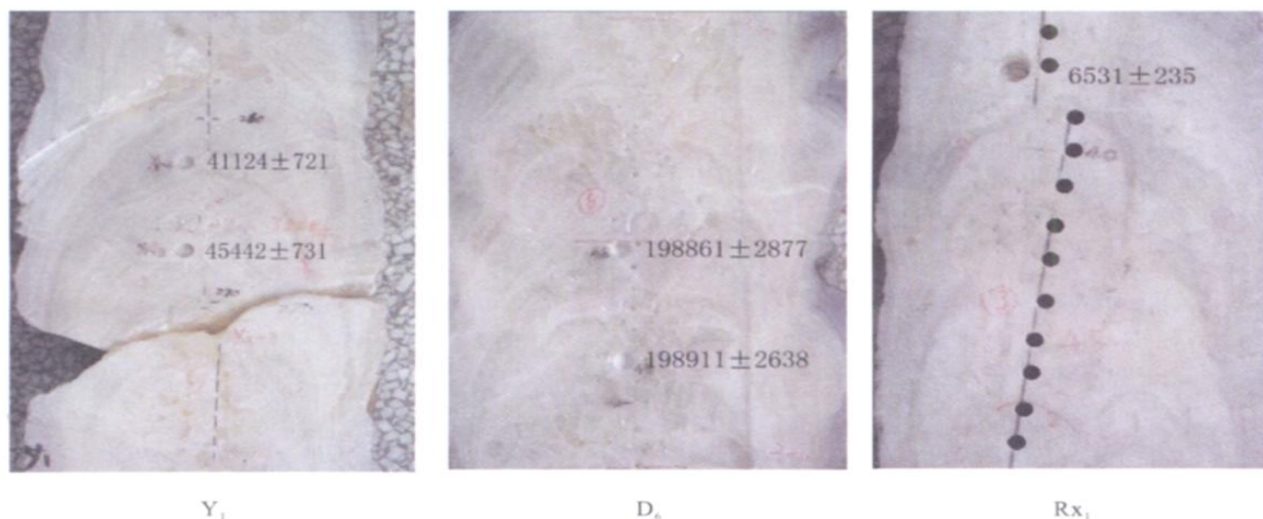


图 3 方解石石笋结构构造图

Fig. 3 Texture and structure map of calcite stalagmite

Y1. 衙门洞 1 号石笋- 强方解石化; D6. 董哥洞 6 号石笋- 中方解石化; RX1. 泸沽湖 1 号石笋- 弱方解石化; 6. 沉积旋回序号; . 同位素样位年龄; . 碳氧同位素样位

强方解石化的结构构造转变与沉积粒度有关。粒状方解石, 次生增大越过中、粗粒状菱面体、菱柱体阶段, 直接转变成巨型块状和菱柱状聚晶, 但 $L_2$ 石笋轴部原沉积是微针状微晶, 次生加大通常经历粒状菱面体、菱柱体、板状(块、菱形)聚晶, 转变程度强弱有序: 石笋轴部强、边沿减弱; 石笋底、中、顶部转变趋势强、弱; 残余结构构造显示由消失、不明显、明显。

(2) 中转变是中等方解石化。广西水南洞1号(S1)、贵州董哥洞6、7号(D<sub>6,7</sub>)石笋为典型中等方解石化。石笋所在的洞穴封闭好, 温度稳定, 湿度大, 滴水较大, 滴量基本稳定, 亦有利结构构造转变。石笋已停止生长, 均由块状、菱形状、板状聚晶组成, 具有粒状菱面体结构残余、纹(微)层、放射状、旋回构造残余。石笋结构构造, 周边部(缘)比中(轴)部清楚, 中下石笋段不如上段明显, 旋回中上段和周边层状构造明显。

显微观测, S<sub>1</sub>、D<sub>6</sub>、D<sub>7</sub>号石笋轴部比周边部(缘)、中一下段比上段结构构造残余多而明显, 板状、柱状聚晶有粒状残余、纹(微)层构造残余, 板状聚晶的结构构造残余更少。粒状菱面体、板状聚晶次生加大过程, 析出的铁、锰、黏土矿物等暗色矿物断续分布, 显示的层状构造基本保存原沉积纹层构造。石笋轴部主要是板状聚晶, 层状构造残余少或消失。总之, 中等转变的粒状菱面体、板状聚晶依序转变增强, 石笋轴部、周边(部)和底、中、顶部晶化强度逐渐减弱, 结构构造转变由强渐弱。

弱转变是微弱方解石化。广西桂林响水岩1号(X<sub>1</sub>)、云南泸沽湖仙人洞1号(RX<sub>1</sub>)、寻甸仙人洞1号(XX<sub>1</sub>)石笋是弱方解石化的代表。石笋所在洞穴封闭好, 温度稳定, 滴水量小而稳定。石笋均由微粒、细粒方解石组成, 纹(微)层及其组合、层面、放射状、旋回等构造都很清楚, 旋回中上段和石笋周边纹(微)层构造更明显。结构构造显示度, 取决于组成方解石粒度和混杂物: X<sub>1</sub>号石笋方解石呈微粒、细粒, 组成纹(微)层, 混杂黏土矿物、碳质的呈暗色纹(微)层, 纹(微)层构造明显; RX<sub>1</sub>石笋方解石呈细粒、微粒, 组成纹(微)层, 含碳者纹(微)层构造更明显; XX<sub>1</sub>石笋方解石微粒组成微薄层, 粒状、针状、菱面体结构隐约可见, 局部板状聚晶保留粒状、针柱状结构残余, 放射状、纹

(微)层、暗色纹(微)层构造明显。总之, 三石笋结构构造显示不同, 响水岩1号最明显, 泸沽湖仙人洞1号明显, 寻甸仙人洞1号一般。显微观测表明, 方解石微细粒次生增大主要成柱状聚晶, 其中有针状、粒状残余, 纹(微)层构造保存较好, 展示微弱方解石化。

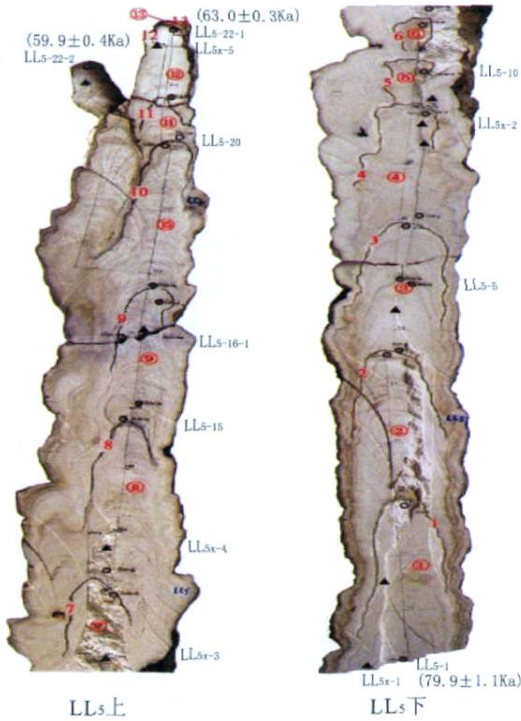
综上所述, 方解石石笋结构构造转变表现为弱、中、强方解石化, 晶粒分别为细、中、粗、巨—超巨晶组成或成聚晶, 其晶化过程与沉积粒度有关。沉积微细粒状方解石, 次生增大经历粒状、菱面体、偏三角面体、板状聚晶; 原为微粒、针状、针柱状方解石, 次生增大成粒状、柱状和板状聚晶。方解石化强度由石笋轴部向边缘、底、顶部减弱。

## 2.2 文石笋结构构造转变

湘西莲花洞5号(LL<sub>5</sub>)、1号(LL<sub>1</sub>)是典型的文石笋, 高分别为2.23m、3.90m, 直径分别为12cm、22cm, 顶端都分叉成两小石笋, 长约20cm。分叉后, LL<sub>5</sub>滴水渐少直至没滴水, 而LL<sub>1</sub>至今仍有滴水。文石笋结构构造转变, 主要表现是文石转变成方解石及文石方解石晶化次生增大。两文石笋结构构造转变差异极大: LL<sub>5</sub>(图版I)和LL<sub>1</sub>上石笋段(图版II-LL<sub>1</sub>顶)为转变微弱; LL<sub>1</sub>中段中等(图版II-LL<sub>1</sub>中)和LL<sub>1</sub>中一下段强烈(图版II-LL<sub>1</sub>底)转变, 即LL<sub>5</sub>微弱转变, LL<sub>1</sub>中一下石笋段强烈转变。

弱转变是微弱方解石化。LL<sub>5</sub>文石笋13个旋回和LL<sub>1</sub>16~18旋回, 由文石组成(图版II、图版II-LL<sub>1</sub>顶), 微针状文石0.01mm, 其中LL<sub>5</sub>~旋回个别纹(微)层文石转变为方解石, 晶粒0.1mm, ~旋回部分石笋心次生增大达1mm; 13个旋回纹(微)层、放射构造特别明显, 层厚小于1mm, 连个别纹(微)层文石转变的少量粒状方解石仍保留文石微针状结构、纹(微)层构造残余。总之, 如此完整而明显的文石结构构造是已研究的大型石笋中仅有的, 也是结构构造弱方解石化的典型。

中转变是中等方解石化。LL<sub>1</sub>12~15是中方解石化的文石笋段(图版II-LL<sub>1</sub>中上), 尤以12旋回为典型代表。此段60%~30%文石转变成微细粒—细—粗菱面体、偏三角面体和针柱状聚晶, 12旋回>90%文石亦转变成微粒—细粒菱面体。这些微—细—粗粒菱角面体三角面体和聚晶都保留不明显的文



图版 I LL<sub>5</sub> 文石笋结构构造

LL<sub>5</sub>X- 1, 2, 3, 4, 5 为 X 光衍射样编号, 分别距石笋底  
0.4, 96.9, 117.3, 13.0, 216.8cm; LL<sub>5</sub>X<sub>1-23</sub> 为  
同位素年龄样序号, 括弧内数值为代表性年龄,  
· 沉积旋回序号; 3. 沉积旋回间沉积间断序号

石针状结构、放射状、微(纹)层状构造残余, 除 12 旋回外, 其他旋回都明显。总之, 放射状、微(纹)层构造明显而密集, 显示中等方解石化晶体呈微针状、针柱状方解石的文石假象, 和细粒—中粗菱面体、柱状、板状聚晶混杂, 但纹层和局部文石的微层构造清楚, 构成中等转变的结构构造特征。

强转变为强烈方解石化。LL<sub>1</sub> ~ 11 旋回方解石化强烈, 次生增大的方解石都由文石转变而成, 文石及其转变的方解石, 两者晶化次生增大、结构构造、转变的残余结构构造、不均匀分布等特征, 都显示文石、方解石次生晶化极强烈。因此, LL<sub>1</sub> 是文石由弱~ 强方解石化的典型代表(图版 II- LL<sub>1</sub>- 中下, LL<sub>1</sub> 底), 石笋顶—底 18 旋回的文石转变成方解石由少到多, 结构构造转变由弱而强, 方解石呈微针状-微粒-中粗粒菱面体、块状和板状聚晶, 中—下段成为方解石(文石)—文石(方解石)石笋, 仅顶段保留文石笋的原貌。

总之, LL<sub>1</sub> 文石笋 18 个旋回的层状构造都明

显, 微(纹)层上段多而密集, 中、下段方解石多、晶粒增大, 局部文石的微纹层仍很清楚, 文石和微(纹)层构造残余减少, 或文石呈不规则状散布特别是石笋周缘, 是文石笋结构构造转变、方解石化由弱而强的典型。

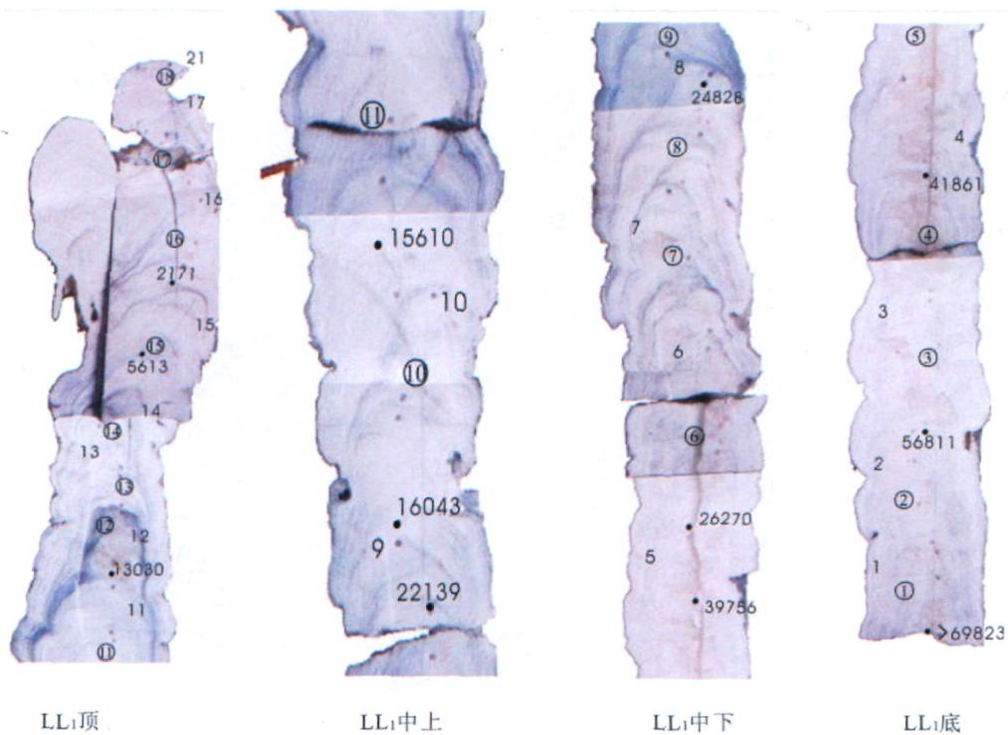
LL<sub>5</sub>、LL<sub>1</sub> 石笋相距不足 50m, 结构构造转变、方解石化强度差别这么大, 源于两石笋滴水动态不同、滴水渗透(流)度和含水度差别大, 促使两石笋差异大: LL<sub>5</sub> 沉积 13 旋回之后, 在 6 万年左右停止滴水, 没有滴水淋漓渗透, 表面形成 0.5~ 1.5mm 暗色风化壳, 并黏结 0.5~ 1.5cm 长的石花, 阻碍潮湿水、凝结水渗入石笋。因此, 石笋含水减少, 不利文石转变成方解石, 减弱方解石化; LL<sub>1</sub> 形成时滴水量较大, 从距今 6 万年开始成型至今仍有滴水, 石笋长期淋洗(滤)渗透, 含水度比 LL<sub>5</sub> 大, 富含水有利文石转变、文石、方解石次生晶化, 中、下段较多文石转变成方解石, 并次生晶化成块状聚晶, 但保留文石结构残余和放射状、微(纹)层构造, 构成了 LL<sub>1</sub> 18 旋回层状构造明显, 微(纹)层上段多而密集而中下段局部仍保留完好的文石结构构造特征。

### 2.3 文石(方解石)-方解石(文石)石笋结构构造转变

贵州七星洞 1、2、5、16 号(Q<sub>1,2,5,16</sub>)、金狮洞 1 号(J<sub>1</sub>) 和云南葫芦洞 1、2、3 号(FL<sub>1,2,3</sub>) 石笋是这类结构构造的代表, 都由文石(方解石)-方解石(文石)组成, 文石、方解石分别以约 50%~ 70% 彼此匹配。七星洞 5、2、1 号(图 4a, 图 4d, 图 4e) 和金狮洞 1 号石笋顶部 20cm 上下、七星洞 16 号(图 4c) 石笋底部 15cm 左右, 这些文石笋段, 以文石为主, 其他石笋段以方解石为主, 方解石、文石混杂不均, 是这类石笋的主要特征。有的文石聚集在顶、底, 或成为不同石笋段的旋回、纹(微)层或层组(图 4e); 有些呈文石、方解石斑块杂乱分布于各石笋段(图 4d, 图 4b) 特别是周边(缘)(图 4d)。文石方解石呈不规则、斑块状(图 4f), 呈现文石转变成方解石及两者次生增大共存, 显示这类石笋结构构造的不均匀性及其强、中、弱转变特征。

(1) 强转变为强烈方解石化。文石 70% 以上转变成方解石, 并次生增大为粗粒菱面体、偏三角面体、板状聚晶, 如七星洞 1、5(Q<sub>1,5</sub>) 号石笋中、下段, 16 号(Q<sub>16</sub>) 石笋中、上段特别是轴部, 均以方





图版 II LL<sub>1</sub> 文石笋结构构造

2171- > 69823 (同位素年龄值) (年), 测 70 个年龄; ~ 18 为沉积旋回序号, 1~ 17 为旋回间沉积间断序号

解石为主, 从下到上特别是轴部, 中下部是中、粗粒菱面体、板状聚晶。结构构造转变强烈, 菱面体比板状聚晶结构构造残余多而明显, 总趋势是石笋轴部强—周边弱, 残余结构构造不明显—明显。

(2) 中转变是中等方解石化。以华坪 1、2 (FL<sub>1,2</sub>) 号石笋、七星洞 16 号石笋底部为代表, 50%~60% 文石转变成针状、微粒方解石, 并次生增大成菱柱面体、偏三角面体、柱状聚晶, 保留明显的放射、纹(微)层构造。微粒、针状、柱状晶体 X 光射线衍射分析有文石也有方解石, 具有放射状、纹(微)层、多旋回构造, 中—粗粒菱面体、偏三角面体、板状、柱状聚晶保留文石、方解石结构构造残余都不明显, 显现了中等转变特征。

总之, 这类石笋结构构造转变呈中等, 10%~60% 文石转变成方解石。方解石呈微粒(针)粒状菱面体、偏三角面体、针柱面体、板状、柱状聚晶, 原碳酸盐微晶(针)粒状结构和微(纹)层构造残余, 由多而明显到少而不明显甚至消失, 放射、微(纹)层构造显现极不均匀, 通常轴部不明显或消失, 周缘(边)明显而多, 呈现文石转变成

方解石及其次生增大, 不均匀叠加共存, 再现了方解石笋、文石笋的结构构造转变。

(3) 弱转变是微弱方解石化。以石笋顶部文石笋段为代表, 方解石化较弱, 方解石累计不足 10%。如七星洞 1、5 号 (Q<sub>1,5</sub>)、金狮洞 1、2 号 (J<sub>1,2</sub>) 顶部文石笋段, 放射、微(纹)层构造明显, 显微镜观测, 少量粒状方解石保留放射、微(纹)层构造呈文石假象, 表现了结构构造转变微弱。

综上所述, 石笋结构构造转变的标志: 文石转变成方解石、文石方解石晶化次生增大, 粒度为微细的针(粒)状、细粒、粗粒菱面体、偏三角面体、针柱体、柱状、板(块、菱形)状聚晶。晶粒增大后, 晚期晶体含早期晶体结构构造残迹, 如板状(块状、菱形)聚晶有粒状、针柱状结构残余, 或消失; 构造及其组合类型转变后, 纹(微)层、层面、放射等构造残存或消失; 结构构造及其转变残余混杂不均。强、中、弱转变的结构构造残余依序减弱、消失, 或残余由无、少、多, 或不明显、明显。转变强度为石笋中(轴)心比周边(缘)强, 底部较顶部强, 旋回中下比上强, 中部比边缘强。

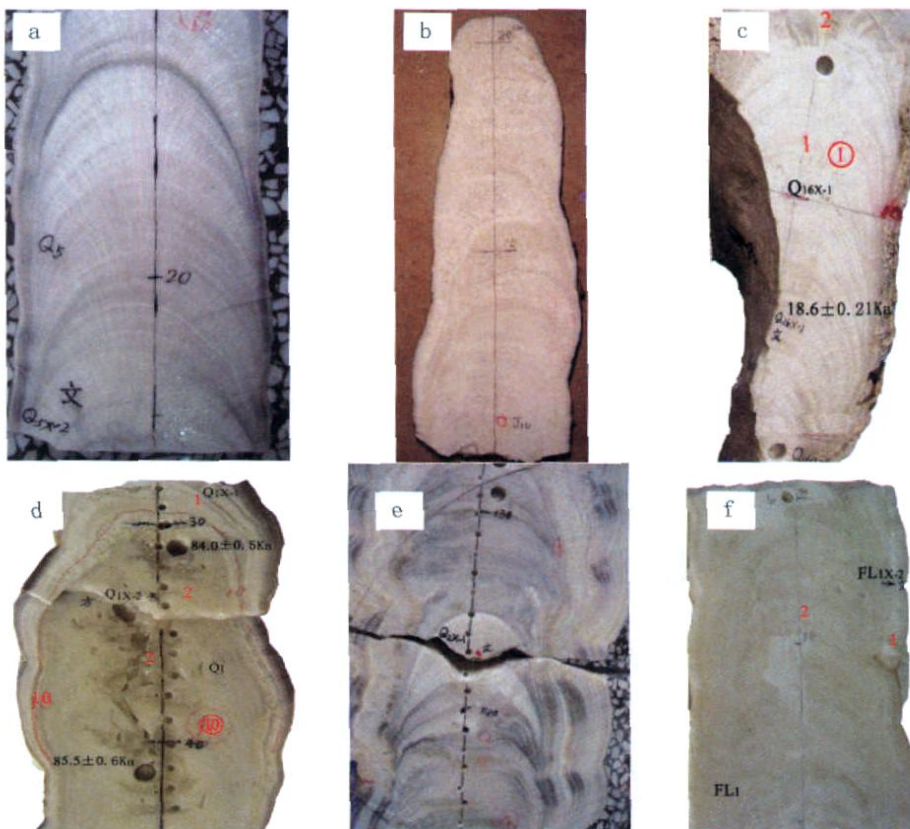


图4 文石(方解石)-方解石(文石)石笋结构构造图

Fig. 4 Texture and structure map of aragonite and calcite stalagmite

a. 贵州七星洞5号石笋; b. 贵州金狮洞1号石笋; c. 贵州七星洞16号石笋; d. 贵州七星洞1号石笋; e. 贵州七星洞2号石笋; f. 云南葫芦洞1号石笋。Q<sub>2X-1X</sub>光衍射样位(1文石); Q<sub>2X-2X</sub>光衍射样位(2方解石); Q<sub>16X-1X</sub>光衍射样位(1文石); Q<sub>19X-1X</sub>光衍射样位(1文石); Q<sub>19X-2X</sub>光衍射样位(2方解石); Q<sub>16X-2X</sub>光衍射样位(2方解石); FL<sub>19X-1X</sub>光衍射样位(1文石); FL<sub>19X-2X</sub>光衍射样位(2方解石); XG<sub>19X-1X</sub>光衍射样位(1文石)。O. 测年样位, 年龄(千年); . 石笋沉积旋回及序号

### 3 石笋结构构造转变研究的意义——石笋结构构造涉及多领域的基础地质问题

首先, 证实常(低)温常(低)压下能成岩成矿。石笋形成于洞穴气候环境中, 在滴水-流水作用下, CO<sub>2</sub>不断逸出, 水溶液达到饱和, 沉积了文石、方解石, 不断沉积堆积成(纹、微)层, 并向上聚集呈微凸起层面, 增大扩散边界层(刘再华等, 2007)的面积, 若水量、水化学基本稳定, 沉积在界面的碳酸盐逐渐趋向层面中心聚集增厚, 向周边变薄至收敛, 石笋不断增(长)高。洞穴是与大气连通的开放系统, 洞内外压力一样, 洞穴温度是所在地的年均温度, 处于常(低)温常(低)压条件

下的水, 物理化学基本稳定, 碳酸盐沉积在薄水层利于针状晶体稳定生长, 在厚水体利于形成粒状、菱面体、三角面体沉积生长, 沉积矿物各自按结晶习性垂直层面生长增高, 是自调整作用的沉积、成晶、成岩过程。这种成因机制说明石笋结构、构造及其转变受洞穴气候环境和滴水(量)动态、湿度控制, 其含水度大, 有利文石、方解石沉积与次生增大及文石转变成方解石, 结构构造转变强, 导致石笋轴部常形成粗粒结构或残余纹(微)层构造, 周边(缘)针状、针柱状结构、放射状构造明显。因此, 岩溶矿床、与岩溶作用有关矿床的矿(岩)石(邓自强等, 1993)如同石笋, 结构构造纷繁。像水锌矿、铅锌矿、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、黄铁矿、褐铁矿、针铁矿、褐锰矿、硬锰矿等, 其矿物组成同



样有次生增大的复杂结构,纹(微)层、环带、球状、葡萄状、放射、斑块构造多而杂,类型多变;岩溶沉积堆积建造的次生增大结构,堵截、包绕纹(微)层、环带、放射、斑块构造也极发育,类型多而复杂。这些结构构造不仅具矿物岩石类型意义,还有成因意义。

其次,石笋结构构造转变,没有外来物质加入或交代。在岩溶区碳酸盐沉积、结晶、成岩的物理化学环境中,岩溶作用过程的水、CO<sub>2</sub>是主要驱动力,水携带成矿、成岩溶质,其中CO<sub>2</sub>是催化剂,促进碳酸盐沉积形成石笋,并记录和保存了区域地质和人文条件、洞内外气候环境和生态过程(袁道先,刘再华等,2003)。这些是重建古气候环境、修复生态的科学依据。石笋结构构造虽然不断形成、转变,并存在于全过程,但是,洞穴温度、压力变化微弱,不产生同位素分馏,没有外来物质加入,虽有铁锰质、有机质、泥质等析出聚集,但不影响原记录效果。

其三,石笋结构构造转变的示范性。常温常压成岩成矿是理论,也能指导找矿和开采实践,具有重要意义,广西泗顶铅锌矿,依据矿石结构构造和空间分布特征,属岩溶型矿床,开采坑道基本展示不同规模和结构构造的矿体、矿脉、脉石的空间分布和各种残迹,证实是岩溶水带矿物质沿断裂构造裂隙系统运移沉积充填成矿。同样,石笋结构构造转变特别是方解石化,对同位素测年校正和利用,也有重要意义,笔者已有成功实践(刘玉等,2008)。

## 4 结语

石笋全面记录洞内外气候环境、地质地理、水文、地貌环境和生态景观等演变过程,有丰富的古气候环境信息,是重建古气候环境的重要研究对象之一。

石笋结构构造转变以文石转变成方解石、文石方解石次生增大为主要表现形式,转变标志是:宏观上文石、方解石结构构造及其转变混杂不均,石笋轴部特别是中下段晶粒较粗、微(纹)层不明显,而边部和上段晶粒微细、微(纹)层明显;微观方面,粗粒菱角面体、三角面体、柱状、板状聚晶有微细粒、针状、粒状、针柱状结构残迹和微纹层或黏土、铁锰质断续层等层状构造残余,结构构造残

余亦不均。转变(次生晶化)强度,取决于石笋含水度。洞穴环境常态温压条件下形成的石笋,自调整作用的结构构造转变,没有外来物质加入,不产生同位素分馏,能确保重建古气候环境的可信度。

研究石笋结构构造转变,有助测年数据的合理运用和地质解释,是进行石笋测年地质校正的基本依据,有科学利用测年成果的实际意义。

致谢:这项研究长期在袁道先院士指导下进行,年龄数据由(美)明尼苏达大学程海教授杨琰博士测试,岩溶动力学实验室同志和历届研究生参与相关研究,合作单位参与工作者:王兆荣、冉景丞、余登利、陈会明、张顺治、曾志彪、向光生、龚公安、田爱莲等同志。衷心感谢同志们的真诚帮助!

## 参考文献 (References):

- 邓自强,林玉石,张美良.桂林岩溶与地质构造[M].重庆:重庆出版社,1988:20-66.
- 邓自强,刘功余,张美良,中国岩溶型矿床初步研究[M].桂林:广西师范大学出版社,1993:4-67.
- 林玉石,张美良,覃家铭,1996,桂林盘龙洞石笋地质时代与环境[A].见:袁道先,谢云鹤主编.岩溶与人类生存、环境、资源和灾害[C].桂林:广西师大出版社,1996:71-81.
- 张美良,林玉石,覃家铭.洞穴石笋沉积纹层的形态组合及其滴水的水动力条件[J].西南师范大学学报(自然科学版)2001,26(4):466-470.
- 张美良,林玉石,覃家铭,洞穴石笋纹(壳)层层组类型研究[J].沉积学报2002,20(3):435-441.
- 袁道先,刘再华,林玉石,等.中国岩溶动力系统[M].北京:地质出版社,2002:177-196.
- 李彬,袁道先,林玉石,等,桂林盘龙洞石笋发光性特征及其古环境记录的初步研究[J].地球学报,1997:18(4):400-406.
- 李彬,袁道先,林玉石,等.桂林地区降水、洞穴滴水及现代洞穴碳酸盐氧碳同位素研究及其意义[J].中国科学D辑,2000,30(1):81-87.
- 覃嘉铭.古气候变化的石笋同位素记录研究——以桂林盘龙洞为例[J].地球学报,1997,18(3):255-260.
- 林玉石,黄新跃,张美良,等.中国南方发现大型文石笋[J].地学前缘,2007,14(2):236-241.
- 王先锋,刘东生,梁汉东,等.石笋微层物质组成的二次离子质谱分析及其气候意义[J].第四纪研究,1999,(1):59-65.

- 刘玉, 林玉石, 张美良, 等. 湘西莲花洞石笋 TMS-U 系年龄校正研究. 西北地质 [J]. 2008, 41 (4): 124-133.
- 谢树成, 黄俊华, 王红梅, 等. 湖北清江和尚洞石笋脂肪酸的古气候意义 [J]. 中国科学D 辑. 2005, 35 (3): 246-251.
- 袁道先, 刘再华, 等. 碳循环与岩溶地质环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-93.
- 刘再华, 等. 岩溶作用动力学与环境 [M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-165.
- 林玉石, 张美良, 覃家铭. 洞穴石笋沉积间断类型研究 [J]. 地质学报. 2002, 76 (1): 138-144.
- 林玉石, 袁道先, 张美良, 等. 洞穴石笋沉积特征研究——以贵州荔波董哥洞 4 号石笋为例 [J]. 地球学报, 2004, 25 (4): 459-466.
- 覃家铭, 袁道先, 程海, 等. 贵州都匀七星洞石笋剖面晚更新世高分辨率的气候地层学 [J]. 第四纪研究, 2004, 24 (3): 318-324.
- 张美良, 程海, 林玉石, 等. 桂林地区水南洞 14~25 万年石笋的碳氧同位素记录和古气候重建 [J]. 古地理学报, 2004, 6 (1): 57-68.
- 林玉石, 张美良, 程海, 等. 贵州荔波第四纪晚近期石笋地质年表与气候事件 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (2): 341-350.
- DENG Ziqiang, L N Yushi, ZHANG Meiliang. Karst and Geologic Structure in Guilin [M]. Chongqing Press, Chongqing, 1988: 20-66.
- DENG Ziqiang, L U Gongyu, ZHANG Meiliang. Preliminary study on karst-type mineral deposits in China [M]. Guangxi Normal University Press, Guilin, 1993: 4-67.
- L N Yushi, ZHANG Meiliang, Q N Jiaming. Geological age and paleo-environmental records of a stalagmite from the Panlongdong cave, Guilin [A]. In Karst and human survival, environment, resources, and hazards [C]. Guangxi Normal University Press, Guilin, 1996: 71-81.
- ZHANG Meiliang, L N Yushi, Q N Jiaming, et al. The form combinations and dynamic conditions of dropping water of deposition laminae from stalagmites in caves [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science). 2001, 114 (4): 466-470.
- ZHANG Meiliang, L N Yushi, Q N Jiaming. Study on the laminae or lamella groups and types of cave stalagmite [J]. Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (3): 435-441.
- YUAN Daoxian, L U Zaihua, L N Yushi, et al. Karst dynamic systems of China. Geological Publishing House, Beijing, 2002: 177-196.
- L I Bin, YUAN Daoxian, L N Yushi, et al. Luminescence and palaeoenvironmental record in a stalagmite in Panlongcaw, Guilin [J]. Acta Geologica Sinica 1997, 18 (4): 400-406.
- L I Bin, YUAN Daoxian, L N Yushi, et al. Oxygen and carbon isotopic characteristics of rainwater, drip water and present speleothems in a cave in Guilin area, and their environmental meanings [J]. Science in China, (D), 2000, 30 (1): 81-87.
- Q N Jiaming. Studies on Stalagmite Isotopic Records of Paleoclimatic Changes [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18 (3): 255-260.
- L N Yushi, HUANG Xinyue, ZHANG Meiliang, et al. Large aragonite stalagmites found in South China [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (2): 236-241.
- WANG Xianfeng, L U Tungsheng, LIANG Handong, et al. Preliminary analyses by SME on trace components of stalagmite microlayers and their climate significance [J]. Quaternary Sciences, 1999, (1): 59-66.
- L U Yu, L N Yushi, ZHANG Meiliang, et al. Study on the TMS-U series age correction of the stalagmite in Lianhua cave, west Hunan, China [J]. Northwestern Geology, 2008, 41 (4): 124-133.
- XIE Shuchen HUANG Junhua WANG Hongmei, et al. Distributions of fatty acids in a stalagmite related to paleo-climate change at Qingjiang in Hubei, southern China [J]. Science in China (D), 2005, 35 (3): 246-251.
- YUAN Daoxian, L U Zaihua, et al. Carbon cycle and Karst Geological environment [M]. Science Press, Beijing, 2003: 1-93.
- L U Zaihua, et al. Karst Process dynamics and Environment [M]. Geological Publishing House, Beijing: 2007: 1-165.
- L N Yushi, ZHANG Meiliang, Q N Jiaming. Study on the sediment disconnected types of stalagmite in cave [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (1): 138-144.
- L N Yushi, YUAN Daoxian, ZHANG Meiliang, et al. Sedimentary characteristics of stalagmite in cave: A case study of No.4 stalagmite in the Dongge cave of Libo, Guizhou Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25 (4): 459-466.
- Q N Jiaming, YUAN Daoxian, CHENG Hai, et al. A high resolution late Pleistocene climato-stratigraphy of 4 stalagmites from Qixin cave, Duyun, Guizhou [J]. Quaternary Sciences. 2004, 24 (3): 318-324.

ZHANG Meiliang, CHENG Hai, L N Yushi, et al The Records of carbon and oxygen Isotope and palaeoclimate reconstruction from a stalagmite of Shuinan cave during 140-250ka B.P. In Guilin [J] . Journal of Palaeogeography, 2004, 6 (1): 57-68.

L N Yushi, ZHANG Meiliang, CHENG Hai, et al The geological time scale and climatic events from stalagmites in the late or recent Quaternary period in the Libo area, Guizhou, southwest China [J] . Earth Science Frontiers, 2003, 10 (2): 341-350.

## On the Transformation of Stalagmite Texture and Structure

L N Yu-shi<sup>1</sup>, ZHANG Meiliang<sup>1</sup>, Q N Jiaming<sup>1</sup>, JIANG Guanghui<sup>1</sup>,  
SHU Li<sup>1</sup>, LIU Yu<sup>1</sup>, YANG Yan<sup>1</sup>, PENG Wen<sup>1</sup>,  
HUANG Xinyue<sup>2</sup>, HUANG Fen<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Karst Dynamics, Institute of Karst Geology, GA GS, Guilin, 541004, Guangxi China; 2. Institute of Geology and Mineral Resource, Yichang, 443000 Hubei, China)

**Abstract:** The study of many profile sections of stalagmites indicates that there are three types of stalagmite mineralogical composition: calcite type, aragonite type, and calcite-aragonite type or aragonite-calcite type. The texture, structure, deposit lamina characteristics of them are similar to each other and exist in the whole growth process, but the microgranular texture, the radiating, lamina (or micro-lamina) structures of aragonite stalagmite are more remarkable. The transformation of the texture and structure represents two aspects chiefly: the crystal transformation of aragonite to calcite; the secondary enlargement of the crystal which lead to the sustained crystallization. The aragonite transform into calcite reserving its acicular and prismatic crystals, presenting the pseudomorphy of aragonite. The calcite recrystallization often reserves the granular, rhombohedron, scalenohedron, multiple twin, prismatic, and tabular crystals. The conversion of the stalagmite texture and structure and the strength of the calcitization depend not only on the climate environment, dripping water (or condensation water) from seepage water in the cave but also on the moisture content of the stalagmite. The crystallization, calcitization, and conversion of the carbonates is completely under the normal (or low) temperature and (or low) pressure conditions in which there is no foreign substances, as well as no effect to the isotopic fractionation and the information of paleo-climatic environment from the stalagmite records. The whole process plays a part of perfect self-regulation. So, the study on the conversion of stalagmite texture and structure is of great theory and practice significance in palaeoclimatic and paleo environmental reconstruction, ecological rehabilitation, mineralogy and crystallography, isotopic dating, and correction and so on.

**Key words:** stalagmite; texture and structure; calcitization; transformation; relict texture and structure