

洞穴石笋地质事件的定年及意义

林玉石¹⁾, 张美良¹⁾, 覃嘉铭¹⁾, 程海²⁾, 冉景丞³⁾, 陈会明³⁾, 朱虹燕¹⁾, 余登利³⁾

1) 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 桂林, 541004

2) 美国明尼苏达大学, 地质与地球物理系同位素室, 美国 MN5545

3) 国家级茂兰喀斯特森林自然保护区, 荔波, 558400

内容提要: 本文以贵州荔波董歌洞 3 号石笋第 6、1 次和 4 号石笋第 2 次主要沉积间断为例, 说明依序发生于 89.96 ka BP、128.65 ka BP、113.40 ka BP, 结束于 0.32 ka BP、128.21 ka BP、65.50 ka BP, 延续时间 89.65 ka、0.44 ka、47.90 ka 的沉积间断, 具多级次的地质、气候演变属性, 沉积间断时间长, 显示度明显, 气候事件复杂, 间断频发, 必有更丰富的气候、环境、地质内涵。贵州都匀凯西七星洞 2 号石笋 Q_2F_1 、 Q_2F_2 , 5 号石笋 Q_3F_3 是碰断面, 依序发生于 74.24 ka BP、60.72 ka BP、36.80 ka BP, 彼此相间隔 13.52 ka、23.92 ka, 断面及其上、下石笋段的沉积特征, 属突变(灾害)性事件, 也有其古气候环境意义。系列事件的测年, 须在系统测年基础上, 于间断、碰断面上下加密测试, 及石笋沉积特征的综合观测, 以提高事件测年和定性的可信度, 增加古气候环境信息量。

关键词: 石笋沉积; 事件; 定年; 华南

地质、气候事件是地球演变的主要形迹之一。以地层、古生物化石研究为基础建立的始太古宙至新生代地质年表(全国地层委员会办公室, 1998), 是地球形成过程的时标。岩浆侵入、火山喷发、岩石变质和断裂破碎、地壳褶皱或升降等(吴珍汉等, 1998; 邓起东等, 2000; 袁万明等, 2002), 这些地质作用的年代, 都根据与地层的相关性而定, 20 世纪 60 年代以来, 有了同位素测年, 使地质作用年代数字化, 但精度和起、止时间都难确切。随着测年方法的改进、多样化及其精度的提高, 有些地质作用时间的确定、活动期的划分较确切, 但时限仍很长(邓起东等, 2000; 吴珍汉等, 2001; 袁万明等, 2002), 测年精度低或方法不当, 其渐变或跃变的准确时间仍难定。科学技术的综合运用, 以考古和物候、文字、仪器方法记录气候冷热、洪泛、火灾、虫害等各类自然灾害(竺可桢, 1979)以及海啸、火山喷发、地震、山崩或滑坡、地裂、塌陷等灾害性气候、地质事件的定年, 由于有记录的时段极短, 且从现代到百年、千年前的记录渐少, 越古老可信度越低。近 20 年来, 随着测年研究方法的改进、增加、精度的提高, 特别是放射性测年方法精度的提高, 用于气候事件测年, 有很多高精度高分辨率成果(袁道先等, 1999, 2002), 但地质成果

尤其是具体事件、气候演变或突变点的年代成果, 仍很难精确测定。受地质作用慢时间长的思想影响, 以往不注意对其短暂过程或突变事件的测年, 岩溶地质作用的研究, 特别是在岩溶动力学研究实践中, 我们重视对岩石(含土)圈、水圈、生物圈、气圈等 4 圈层, 彼此成生联系的观测, 揭示事件的时空联系, 无论其过程是渐变或突变都有特定意义, 因此, 受 4 圈层控制的洞穴石笋沉积界面和断面的精确测年, 成为我们探索地质、气候事件的首选目标。

1 石笋记录的地质、气候事件

在我国南方洞穴、岩溶沉积堆积建造研究的基础上, 发现桂林地区特别是盘龙洞、水南洞、罗田大岩的洞穴沉(堆)积(含次生化学沉积)物和洞外岩溶沉(堆)积建造, 系统记录了区域岩溶演变史, 建立前印支、印支、燕山、喜马拉雅期各地质时期的岩溶发育史(邓自强等, 1988), 并在西南岩溶区得到证实, 其中洞内、外的沉(堆)积组成、结构构造和多旋回沉积过程等, 是重要记录依据。为深入研究岩溶作用过程, 我们综合研究了大量洞穴石笋纵剖面, 石笋组成的碳酸盐沉积, 由成分、结构变化, 形成沉积纹(壳)层、纹(微)层组、多旋回。纹(微)层(组)叠复构

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 90511004、40152002)资助成果。

收稿日期: 2006-03-09; 改回日期: 2006-08-09; 责任编辑: 周健。

作者简介: 林玉石, 男, 1935 年生, 研究员, 从事区域岩溶、古气候环境研究。电话: 0773-5837965; Email: Linyushi1935@163.com。

造类型多,其中的纹层面、风化(壳)面、沉积间断面、碰断面等,这些构造面具复杂相关性,彼此关系清楚,是地质作用、气候演变及其过程、相关事件的记录,易观测研究,这是洞外河流相、湖相等陆相沉积剖面,甚至海相沉积剖面不好代替的。因此,我们反复研究大型石笋剖面,以其记录的地质、气候表现特征,阐明地质、气候、环境、形成石笋的滴流水动力条件等。将石笋旋回转变、沉积中断、沉积层(组)成分突变、沉积层结构构造突变、风化壳等,作为地质事件;把气候旋回(含期、阶段)、转变、短暂异常高温或低温、降水周期转变、降水量突减造成严重干旱、突增造成严重洪涝等,作为气候事件。并以石笋物质组成、结构构造、旋回、纹(微)层(组)、纹(微)层叠复构造类型等记录为依据,解释地质、气候演变、环境意义(袁道先等,2001,2002,2003;林玉石等,2003;张美良等,1999,2001,2002;覃嘉铭等,1998,2001a,2001b,2002)。同时指出旋回底部到顶年龄,是其沉积时间,间断面下、上年龄,分别是地质或气候发生、终止的时间。沉积间断分为瞬时、短期、长期3类,以间断标志、表现特征、地质、环境、古气候综合显示(林玉石等,2002)。以下精选董歌洞(荔波洞穴研究)和七星洞(陈建庚,2001)石笋的部分典型沉积间断或碰断面,侧重说明测年研究及其意义。

1.1 贵州荔波董歌洞石笋的气候地质事件

董歌洞石笋比钟乳石多,规模大,高逾1 m的大型石笋近百根,研究成果较多(张美良等,2003;林玉石等,2003,2004;覃嘉铭等,2004)。

3号石笋(D₃)是董哥洞南北向断续分布石笋群北端的单株石笋,高210 cm,直径13~18 cm,顶端仍在沉积。从石笋纵剖面观测,微晶、巨晶方解石组成纹(壳)层,纹(微)层面上拱为主,平顶为辅,周边向下渐收敛。由暗色、灰白色与淡黄—粉红黄色纹(壳)层相间,组成7个沉积旋回,②~⑥旋回为主体,③旋回以上白—灰白色间夹淡黄—红黄色纹(微)层,粗晶—巨晶方解石,沉积厚度达183 cm,时间仅31.53 ka,速率8.70~11.82 mm/100 a,代表中大理冰期中期温暖气候阶段的快速沉积。①旋回灰白、暗灰色、灰黑色微—粉粒方解石纹(微)层,厚度24 cm,沉积时间达34.50 ka,速率0.44~1.05 mm/100 a,平均0.70 mm/100 a,代表早大理冰期晚期寒冷阶段的缓慢沉积。⑦旋回现代正沉积,方解石呈白色,中—粗粒结构,是温凉气候的沉积。因此,①~⑦旋回是7个地质作用期和相应的气候演变期的沉积记录(张美良等,2001)。22个系统测年

表明,3号石笋形成于 $162.9 \pm 4.6 \sim 0.049 \pm 0.021$ ka间。旋回间暗色层、风化壳等特征性纹(壳)层显示6次主沉积间断,期间无沉积记录,是气候演(突)变记录。第6次间断达89.65 ka,形成1~2 mm厚风化壳和2~5 mm深的滴蚀穴。第1次沉积间断仅0.44 ka,是温暖与寒冷气候期的转(跃)变时间。除6次主要沉积间断外,①旋回中间、②旋回底、③和④、⑤、⑥旋回结束前都有1~2次次要沉积间断,表明3号石笋形成过程曾发生十多次沉积间断,其中第6次、1次主要沉积间断是断代界线,也是冷暖气候转(跃)变的气候地质事件记录。

4号石笋(D₄)是NNE—NE向断续分布石笋群的单体石笋,高302 cm,直径由下而上14~23~5 cm,长柱锥体,顶端仍在沉积。从纵剖面观测,方解石微晶—巨晶,组成纹(壳)层为灰色、灰白、白色间夹暗灰色、灰黑色,组成9旋回,沉积72.23 ka,期间8次主要沉积间断累计达75.80 ka,占石笋形成时间51.21%(林玉石等,2003)。第2次间断47.90 ka,期间有若干沉积纹层组及次要沉积间断,组成间歇性沉积,相关特征待研究。4号石笋以9个旋回沉积特征记录地质(主)、气候事件,8次主沉积间断记录气候事件为主。沉积间断的特征纹(壳)层、风化壳、间歇沉积纹(壳)层组、旋回沉积特征等都是重要记录。特征性暗色纹层、风化壳;断面上、下的纹(壳)层组分、结构、构造类型差异明显;间歇性断续沉积纹(壳)层(组),这3类主要形迹,协调显示气候演变、滴流水动态或水动力条件转化、洞内外气候环境变化或洞穴地质条件、洞(穴)道水文地质条件变化等地质过程。

1.2 贵州都匀凯西七星洞石笋的灾变(害)地质事件

七星洞(陈建庚,2001;张美良等,2000)受S—N走向压扭挤压破裂带控制,破裂带复合在箱状背斜及其伴生的北西西、北东向网状节理裂隙上,洞穴顶板碳酸盐岩网络状裂隙、角砾化明显,利于汇水和洞穴发育、演化。洞穴温度,近洞口变化大,内部变化小。洞口海拔1100 m。洞长逾250 m,宽15~40 m,高15~35 m。洞穴钙华、粘土层、坍塌块石等沉(堆)积成垅岗,其上沉积(生长)石笋、石柱等滴石类、流(边)石类、石(晶)花等。大型石笋(柱)数百根,有单根、连生、碰断、斜歪、再(复)生等石笋,纵剖面综合研究表明,气候、地质事件记录很复杂(覃嘉铭等,2004;张美良等,2003)。

2号石笋位于沉(堆)积垅西坡,高219 cm,直径

14~20 cm,顶端4 cm。方解石微晶—巨晶,组成灰白、白色间夹暗灰、灰黑色沉积纹(壳)层,10旋回,生长于 $151.3 \pm 1.7 \sim 1.3 \pm 0.01$ ka间,8次主要沉积间断,2次(F_1 、 F_2)碰断,记录9个沉积作用期的地质事件、8次冷暖气候跃变事件、2次灾害(变)性(碰断)事件。

5号石笋位于沉(堆)积垅西坡,于2号石笋东南10 m,高187 cm,直径12~14 cm,顶端上部6.5 cm。方解石微晶—粗晶,组成灰白—白色间夹灰—灰黑色沉积纹(壳)层,叠复成拱顶、平顶构造。生长于 $78.7 \pm 4.5 \sim 0.6 \pm 0.01$ ka间。7旋回之间6次主要沉积间断,记录7个地质事件、6个冷暖演变气候事件、1次(F_3)突发(灾害)性(碰断)事件。

总之, Q_2 石笋 Q_2F_2 、 Q_2F_1 , Q_5 石笋 Q_5F_3 断面均平而曲折,断面上、下的纹(微)层层理截然不同,显示断面形成具突发(灾害)性。碰断后立即沿断面下的纹(微)层层理、裂隙充填沉积,上、下的纹(微)层组成、结构、构造不同,记录沉积时段的地质、气候、环境不同,显示当时不同气候阶段冷暖转(突)变、灾变(害)事件。

2 石笋间断的定年

沉积、沉积间断反复重现于石笋形成过程,两者以不同形式记录不同时段的地质、气候特性,少数石笋还有突发性碰断面,记录某瞬间发生的突(灾)变性事件。石笋沉积间断的表现,取决定于沉积间断长短和地质、气候属性及转变方式:间断时间长,断面极明显,其上、下的纹(壳)层层理、组合构造不协调,纹(微)层为暗色壳,甚至形成风化壳(图版 I-D₃₋₆),若间断期有断续沉积,则形成间歇纹(壳)层(组),如图版 I-f₂、D₄的②旋回;时间短,断面不明显,其上、下的纹(壳)层层理、组合较协调,面上暗色层(壳)为淡化微(纹)层(图版 I-D₃₋₁);常态短暂(极短)沉积间断是石笋普遍存在的,只有弱化纹(微)壳层,其下、上纹(壳)层层理一致。由于沉积、沉积间断通常受气候冷暖演化的主导因素控制,有起、止、延续时间,具多级次和环境意义,沉积间断面上、下年龄必有差异(林玉石等,2002),石笋碰断面虽然极明显,其上、下的纹(微)层截然不同,组合构造极不协调,但断面清新,且有沿断面下的纹(层)理缝隙注入充填现象,属瞬间突变(碰断)事件,能确定发生时间。随着测年数据的积累和研究方法的改进,我们以断面下、上旋回的顶、底年龄,推算沉积速率,分别确定年龄,以断面下、上的年龄,作断面发生

起、止时间,下、上年龄差值,为间断时间。这样既确定地质、气候事件发生、结束和延续时限,又能精确确定间断年龄,进而帮助认定事件属性,探索成因和意义。

2.1 石笋沉积间断的确定及其意义

石笋沉积特征表明,物质组成、多旋回是地质作用、气候演变、环境条件的综合显示。旋回的形成转(跃)变常是地质、气候事件的起止,受地质、气候、环境制约的沉积间断,均发生在旋回或亚旋回间,有其特定意义。云南宣威凤巢洞2号石笋第1、2间断及其间的沉积(图版 I-f₂)、董歌洞4号石笋第2间断及其间的沉积(图版 I-D₄)、桂林盘龙洞1号石笋第1、2间断面及其间的②旋回、2号石笋第8、9间断面及其间的⑨旋回、都匀七星洞7号石笋的沉积间断(林玉石等,2001)。这些沉积间断曾从不同侧面作过论述(林玉石等,2002;张美良等,2001,2002),在系统测年、综合观测的基础上,择代表性、典型性断面上下加密测年,确定断面(间断)发生、延续、结束时间,对断面属性及其地质、气候的确定,很有意义。因此,断面上、下的测年样品位,应尽可能贴近断面,为防止越层污染,距断面(界线)必须有点距离,贴近断面两样位上下,还必须增采1~2个样,以计算断面上、下的沉积速率,推算断面上、下的年龄或断面年龄,分别加于、减去断面上、下的年龄值,作为间断发生、结束时间。

董歌洞石笋沉积间断(表1):3号石笋系统测年22个,底 162.3 ± 4.5 ka,顶 0.049 ± 0.021 ka,7旋回6次主要沉积间断,主间断发生前后都有1~2次次要间断,次间断只形成弱暗化纹(壳)层,主间断则有明显风化壳、暗色纹(壳)层,如第6次沉积间断有两次主要间断,发生于89.96 ka BP,至0.32 ka BP结束,经89.65 ka风化,形成1~2 mm厚褐黑色风化壳,5~7 mm深的滴蚀穴(图版 I-D₃₋₆)。第3次主间断发生在119.66 ka BP,119.60 ka BP结束,只延续0.06 ka,形成灰黄色纹(壳)层。第1次主间断发生在128.65 ka BP,128.21 ka BP年结束,延长0.44 ka,形成不足0.1 mm厚暗色纹(壳)层,其上②旋回、下①旋回组分、成色、结构构造等,彼此差别特大(图版 I-D₃₋₁);其余间断恕不赘述。4号石笋系统测年37个,底 147.838 ± 2.6 ka BP,顶 0.128 ± 0.044 ka BP,9旋回8次主要沉积间断,每次主间断前后均有1~2次次要间断。第2次主间断,发生于113.40 ka BP,至65.50 ka BP结束,延续47.90 ka(图版 I-D₄),形成间歇沉积纹(壳)层

表 1 贵州荔波董哥洞石笋沉积间断年表
Table 1 The hiatus ages from stalagmite deposits in Dongge Cave of Libo, Guizhou

名 称	样位(断面)及 距笋顶距离(cm)	年 龄(ka)	间断序次	间断发生时间(ka)		类 比	图 版
				起 止	延 续		
D ₃ 号石笋	D _{3μ-25} 0.5	0.079±0.011	6	89.96~0.32	89.65	地域意义	图版 I -D ₃₋₆
	间断 2	(89.65)					
	D _{3μ-24} 4	91.0±0.4					
	D _{3μ-9} 17.9	98.2±0.5					
	D _{3μ-17} 181.1	124.1±0.6	1	128.65~128.21	0.44	地域意义	图版 I -D ₃₋₁
	D _{3μ-16} 181.5	127.8±1.0					
	间断 183.0	(0.44)					
	D _{3μ-15} 185.9	129.5±1.8					
	D _{3μ-14} 187.3	132.7±1.0					
	D ₄₋₉ 222	59.1±0.3	2	113.40~65.50	47.90	地域意义	图版 I -D ₄
D ₄ 号石笋	D _{4μ-35} 232.5	64.7±0.5					
	间断 234.5	(47.90)					
	D _{4μ-36} 236	113.8±1.1					
	D ₄₋₈ 240	114.3±0.7					

注:本文测年为 TIMS-U 系法,由美国明尼苏达大学程海博士完成,括弧内数字为石笋沉积间断时间(ka)。

(组),由暗灰黑色夹灰白灰色方解石纹(壳)层组成,厚 2~7 mm,纹(壳)层(组)顶、底是主断面,有 0.5~1.5 mm 厚暗色纹(壳)层,组内还有 3 次次间断,断面亦很明显,间歇沉积纹(壳)层(组)轴心线与石笋中心线呈 45°交角,显示滴水向一侧位移,偏离石笋中心,滴水离开笋体而无沉积,偏离笋体的沉积呈偏心线与石笋中心线呈 30°交角,滴落水点迅速移向石笋中心,直至重合。

综上所述,4 号石笋这些现象和间断与基本同时段的 3 号石笋相比,差异甚大,显然,这时段的气候和洞内外环境对董歌洞的影响是一样的,差异在于洞穴地质构造控制的洞(水)道裂隙系统不同或有改变,影响了滴水、流水动态。因 128.5 ka BP 前后是中、晚更新世断代分界,中更新世末严寒冰期转为晚更新世早期的间冰期(阶)温暖气候,气候环境演变上具区域性甚至有全球意义,并以千年级、百年级冷暖气候周期交替,气候转变影响洞(水)道的平衡状态,温暖气候水量大,促进主挤压破碎带、裂隙密集带洞(水)道系统发生调整,改变滴水动态,因而滴水增大、减少变化频繁,甚至滴、停相间、停止滴水、出现新滴水点等,地质上特别是水文地质方面具局部意义。总之,受主挤压带裂隙滴水动态影响,旋回是冰期气候的沉积,晚期曾有短暂回暖,水量大,滴水沿顶板往下位移,当着落点离开笋体而停止沉积,而水量小,滴落水点向上移,滴水落在笋体一侧,呈偏心沉积,如此往复停、滴相间,且水量渐少,还形成间歇沉积纹(壳)层组,其轴线与石笋中心线呈 45°交角,至③旋回,都以冰期冷气候为主,滴水恢复至

原处,直至晚更新世末③旋回结束。总之,4 号石笋沉积过程,气候多次反复冷暖转变,特别是③与④旋回间的万年级停滴,洞(水)道仍处于平衡状态,直至全新世。而 3 号石笋的风化壳和沉积纹(壳)层(组)的成分,结构构造、组合类型、构造类型等特征表明,第 6 次主要沉积间断,停止滴水达 89.65 ka,形成了风化壳。之前,间冰阶滴水较大,是灰黄、暗色纹(壳)层(组),洞(水)道畅通,晚期滴水量减少,暗色沉积夹层渐多,是冰期寒冷气候的沉积特征,至洞(水)道被堵塞或改道或遭破坏,无滴水而停止沉积,直至 0.316 ka BP 前后,基本恢复原洞穴洞(水)道系统,近期⑦旋回开始温凉气候的沉积。因此,石笋沉积、沉积间断记录的气候、环境演变特征,具区域性、地带性、甚至是全球性意义(覃嘉铭等,2001a, 2001b, 2004; 张美良, 2001, 2003, 2004),在其影响下的地质环境变化以区域性特征为主,而水文地质或洞穴地质、洞穴气候环境变化特征则具局部意义。

2.2 石笋碰断的确定及其意义

石笋沉积间断,多数是滴流水停止而无沉积,形成间断面、风化壳、间歇沉积纹(壳)层(组)等特征性结构面。但有的石笋因灾(突)变性事件,造成早成石笋打断,残留石笋段原位不变,由于滴流水不断或瞬间停止沉积,随即很快恢复正常沉积状态,形成上部晚期形成石笋段与下部早期形成石笋段界线截然明显,其上、下的纹(壳)层(组)成分、结构、构造特别是构造类型截然不同(图版 II-Q₂、Q₃F₃),对此作者曾作过总结(林玉石等,2002),但测年不足,故表述不详。如今,在 Q₂ 石笋系统测年的基础上,在

表 2 贵州都匀七星洞石笋碰断年表

Table 2 The ages broke by stalagmites in Qixin Cave of Duyun, Guizhou

名 称	样位(断面)及 距笋顶距离(cm)	年 龄(ka)	碰断面序	碰断时间 (ka)	碰断相隔 (ka)	类 比	照 片
Q ₂ 号石笋	Q _{2u-7} 127	46.9±0.2	F ₂	(60.72)	13.52	末次冰期中期温暖 间冰阶	图版 II-Q ₂ F ₂
	Q _{2u-8} 157	60.4±0.5					
	断面 157.9	(60.72) (60.74)					
	Q _{2u-9} 158.8	71.9±0.4					
	Q _{2u-10} 159	72.4±0.7					
	Q _{2u-11} 179	74.1±0.7	F ₁	(74.24)			图版 II-Q ₂ F ₁
	Q _{2u-12} 183.5	74.1±0.4					
	断面 184.3	(74.24) (114.16)					
	Q _{2u-13} 186.5	121.7±0.8					
	Q _{2u-14} 187	130.5±1.2					
Q ₅ 号 石笋	Q ₅₋₃ 165.5	36.8+1.4-1.5	F ₃	36.80	23.92	末次冰期晚期 极冷气候频发 期	图版 II-Q ₅ F ₃
	断面 167.2	(36.97) (72.73)					
	Q ₅₋₈ 169.1	72.9+2.9-2.8					

注:括弧内数字为推算年龄(ka); Q₅ 号石笋测年为 α-U 系方法,由岩溶地质研究所完成。

Q₂F₁、Q₂F₂ 碰断面上下加密测年,推算碰(打)断年龄,同时与 Q₅ 石笋重现的 Q₅F₃ 断面及其上下的特征综合对比,对碰断时古气候环境的认识更趋于全面(表 2)。

2.2.1 两次碰断

2 号(图版 II-Q₂)石笋(Q₂)发生两次碰断(图版 II-Q₂F₁、Q₂F₂),首次(Q₂F₁)发生在距石笋顶184.3 cm 处,二次(Q₂F₂)在 157.9 cm 处。Q₂F₁、Q₂F₂ 断面上、下均加密测年,确定 Q₂F₁ 发生在 74.24 ka BP,残存笋段断口处最小年龄为 114.16 ka, Q₂F₂ 发生在 60.72 ka BP,残存笋段断口处最小年龄为 67.4 ka,两次碰断间隔 13.52 ka。两断面年龄确定之后,参照断面上下沉积纹(壳)层(组)的组成、沉积特征,认定碰断前的古气候环境,甚至推算断落石笋段的长度。

Q₂F₁ 断面发生在①、②旋回,③旋回底部白色方解石微粒紧贴断面,并沿②旋回、①旋回的纹层层理向下灌注。按③旋回中下部年龄计算沉积速率,推算③旋回底部年龄为 74.24 ka,是 Q₂F₁ 碰断时间。按①旋回顶的沉积速率,推算 Q₂F₁ 断面年龄 114.10 ka,而断面下 2 cm 处②旋回顶部实测年龄为 121.7±0.8 ka,所以至 Q₂F₁ 断面的年龄宜取平均值 117.8 ka,作为残存原地笋体终止沉积的年龄,并与②、①旋回的分界年龄 129.24 ka 计算②旋回的速率,为 0.07 cm/100 a,推算②旋回折断石笋段为 3.1 cm。③旋回为纯白色粒状方解石组成纹

(壳)层,无灰—暗色纹(壳)层,厚 0.1~1 mm,“S”状叠复叠柱构造,轴部重结晶细粒化,有残留纹(微)层,晶(粒)间孔发育,孔径 0.2~1.2 mm,个别达 2~3 mm,显示滴水较快,薄膜水层稍厚,往还飘落,水量缓减,这些特征和速率表明是间冰阶(期)沉积。Q₂F₁ 碰断前①旋回沉积速率为 1.52~1.47 mm/100 a,灰黑色夹白色粉状和针状方解石组成纹(壳)层,层厚 0.1~0.5 mm,夹灰白色纹(壳)层(组),叠柱锥构造,示滴水缓慢减少,类似②旋回沉积特征,属冰期沉积。

Q₂F₂ 断面发生在③旋回,其上④旋回底部沉积组分、特征与③旋回截然不同,底部灌注入断面下③旋回纹层层间,按④旋回沉积速率推算, Q₂F₂ 断面年龄为 60.72 ka,是④旋回底部年龄,也是 Q₂F₂ 发生碰断时间。按③旋回残存石笋段年龄底 74.1±0.4 ka(183.5 cm 处)、顶 72.4±0.7 ka(158.9 cm 处),求得沉积速率为 14.41 mm/100 a,推算残存笋段③旋回至 Q₂F₂ 断面,年龄为 72.33 ka,而顶部实测年龄为 71.90±0.4 ka,因此,可作为③旋回的最小年龄。此年龄比 Q₂F₂ 断面发生时间早 11.19 ka,是断落石笋段的沉积时间,求得断落石笋段 161.2 cm,③旋回残存 26.8 cm,总长达 188 cm,从 74.25 ka BP 开始沉积,至 60.72 ka BP 停止,时间 13.42 ka,与实测年龄符合。Q₂F₂ 后④旋回,沉积速率 2.22 mm/100 a,暗灰、灰褐色间灰白色纹(壳)层(组),呈不对称叠锥间叠柱构造,显示滴水缓慢减

少,也属冰期沉积特征。

总之,2号石笋(Q_2)两次碰断(Q_2F_1 、 Q_2F_2), Q_2F_1 前沉积速率 $0.07\sim 1.52\text{ mm}/100\text{ a}$ 、 Q_2F_2 后 $2.22\text{ mm}/100\text{ a}$ 和沉积特征,均呈现冰期寒冷气候的沉积特征。 74.25 ka BP 、 60.72 ka BP 两次碰断之间的 13.52 ka 间,正值间冰阶(期),沉积速率 $14.41\text{ mm}/100\text{ a}$ 和上述沉积特征,则是暖气候沉积特征。 Q_2F_1 前和 Q_2F_2 后、 Q_2F_1 至 Q_2F_2 之间石笋沉积特征、速率,符合我国南方气候冰期(阶)、间冰期温暖期(冰阶)石笋的沉积特征。

2.2.2 一次碰断

5号石笋(Q_5)只发生一次(Q_5F_3)碰断, Q_5F_3 发生在 $36.8(+1.4-1.5)\text{ ka BP}$ 前后,碰断面在 167.4 cm 处,其下①旋回中上段距断面 $0.5\sim 4\text{ cm}$ 处为 $72.9(+2.9-2.8)\text{ ka}$,其下 25 cm 处为 $78.7(+4.5-4.4)\text{ ka}$,与2号石笋 Q_2F_1 至 Q_2F_2 之间的沉积特征相似,是同时段的间冰期(阶)温暖气候的沉积特征。同时,①旋回外壳在断面两端 $2\sim 3\text{ cm}$ 剖面段,为灰白色、灰黑色夹灰色纹(壳)层,和 Q_5F_3 断面上④旋回的组成、结构构造、组合构造类型相似,也是冰期(阶)沉积特征。因此,与2号石笋 Q_2F_1 断面上、 Q_2F_2 下的沉积特征相似,显示间冰阶(温暖期)、冰阶交替的冰期沉积。 Q_5F_3 断面上 $7\sim 18\text{ mm}$ 处 $36.8(+1.4-1.5)\text{ ka}$ 是③旋回底部的年龄,也是 Q_5F_3 碰断时间,这是末次冰期冷气候事件频发时段。

综上所述, Q_2F_1 发生在 74.24 ka BP 、 Q_2F_2 在 60.72 ka BP , Q_2F_1 与 Q_2F_2 间隔 13.52 ka ,是末次冰期间冰期(阶)较温暖气候期。 Q_2F_1 碰断于 114.16 ka BP 前后,正是中、晚更新世转变时, Q_2F_2 之后也是冷气候沉积特征。 Q_5F_3 发生在 36.8 ka BP 前后,正处于严寒冰期气候期,断面下①旋回、 Q_2F_1 前、 Q_2F_2 后的沉积特征及其速率,都是冰期气候特征。气候冷暖转化或冷事件突变前后,滴流水增大,滴水流态失衡,导致洞顶裂隙破裂带局部岩块、水、土匹配组合的结合力失衡而脱落,脱落岩块撞击或滚动撞击石笋,形成3次灾害(变)性断面,这不是真正意义上的石笋沉积间断,而是滴流水突变,诱发洞穴顶板岩块脱落引发的地质灾害碰断面,由于不具普遍同时性,不宜以地震诱发解释。

3 结论

洞穴石笋的组分、结构构造、纹(壳)层(组)、多旋回、纹层叠复构造类型、沉积间断、层面构造、风化

壳、间歇沉积纹(壳)层(组)等,这些以多旋回多级次组合变化,综合记录了石笋沉积(生长)特征与过程、和气候特征与演变的协调对应关系,显示地质、气候事件的对应协调性。受局部环境、地质条件、洞穴气候的影响,记录的特征或过程及其显示度不同,但基本特征和规律性一致。

董哥洞洞穴系统3、4号石笋9旋回、10多次沉积间断,8次主要沉积间断,记录了荔波地区8个地质、气候事件,以3号石笋第6次、3号和4号石笋第1、2、3次主要沉积间断最具典型性、代表性,两石笋沉积间断表现特征、显示度差异大,记录事件的侧面和意义也不同。如3号石笋第6次沉积间断,发生在 89.96 ka BP ,延续了 89.68 ka ,形成风化壳明显、深的滴蚀穴,第1次间断发生在 128.65 ka BP ,延续 0.44 ka ,风化不明显,间断面上下纹(壳)层成分、组合、构造类型差异很大,第3次间断发生在 119.66 ka BP ,只延续 0.06 ka ,风化更不明显,其上下纹(壳)层成分、组合、构造类型差异大,虽然都记录了气候、地质事件,但是间断时间越长,显示度越明显,地质综合显示亦然,因此,6、1、3次间断主要从记录气候事件为主。4号石笋的主要间断也记录气候事件,如第1次沉积间断,发生在 128.93 ka BP ,延续 0.11 ka ,其上下纹(壳)层成分、组合、构造类型差异较大,2次间断发生在 113.40 ka BP ,延续达 47.90 ka ,形成风化壳、间歇沉积纹(壳)层(组),风化壳上、下的纹(微)层成分、组合、构造类型等差异很大,3次间断亦然(林玉石等,2003,),明显是地质(主)、气候事件记录。若间歇沉积纹(壳)层组及其顶、底也有间断,如盘龙洞1号石笋(P_1)1、2次间断及其间的②旋回,2号石笋(P_2)8、9次间断及其间的⑨旋回,凤巢洞2号石笋(f_2)1、2次间断及其间的②旋回,则地质、气候事件同样有明显记录。

石笋除记录地质、气候事件外,还有断面平而曲折的碰断面,其上、下沉积纹(壳)层(组)、组合构造类型截然不同,记录了断面发生的时间和属性,如七星洞2号石笋 Q_2F_2 断面,发生在 60.72 ka BP , Q_2F_1 发生在 74.24 ka BP , Q_2F_1 与 Q_2F_2 相隔 13.52 ka ,5号石笋 Q_5F_3 断面,发生在 36.80 ka BP 前后, Q_5F_3 与 Q_2F_2 相隔 23.92 ka ,根据断面构造、断面上下纹(微)层成分、结构构造、组合构造类型的特征、差异等,可以确定石笋断面发生具瞬时突发(变)性,洞穴岩溶地质及其水文地质特征等显示,是顶板脱落岩块碰断石笋,引起的地质灾害事故。总之,石笋的成分、结构构造、沉积纹(壳)层及其组合、构造

类型、纹(壳)层面和断面及其构造特征等,综合记录了石笋的沉积(生长)过程。地质、气候事件及其演变过程、转(演)化(变)方式等,协调演变规律,受地质作用岩溶动力过程、大气运动动力过程制约。

石笋纹(壳)层及其构造面(含断面)的测年,必须在旋回系统测年的基础上,加密构造面上下的测年,样品位于石笋纵剖面中(轴)心,距断面宜在毫米级,以确保沉积间断面、碰断面测年精度和可信度。

参 考 文 献

陈建庚, 2001. 都匀凯口溶洞群的发育特征及旅游开发. 中国岩溶, 20(1): 58~63.

邓起东, 张培震, 2000. 史前古地震的逆断层崩积楔. 科学通报, 45(6): 650~655.

林玉石, 张美良, 覃嘉铭, 2002. 洞穴石笋沉积间断类型研究. 地质学报, 76(1): 138~144.

林玉石, 张美良, 程海, 等, 2003. 贵州荔波第四纪晚期石笋地质年表与气候事件. 地学前缘, 10(2): 341~350.

林玉石, 袁道先, 张美良, 等, 2004. 洞穴石笋沉积特征研究——以贵州荔波董歌洞 4 号石笋为例. 地球学报, 2004, 25(4): 459~466.

全国地层委员会办公室, 1998. 关于推荐《中国地质年代表》修订稿的通知. 地质论评, 44(5): 560~561.

覃嘉铭, 袁道先, 林玉石, 等, 2001a. 我国南方黔桂地区最近 16 万年高分辨率石笋记录的气候事件. 地学前沿, 8(1): 99~105.

覃嘉铭, 袁道先, 林玉石, 等, 2001b. 次冰期短尺度气候突发事件: 西南地区石笋记录的证据. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 391~393.

覃嘉铭, 袁道先, 程海, 等, 2004. 新仙女木及全新世早中期气候突变事件: 贵州茂蓝石笋氧同位素记录. 中国科学(D 辑), 34(1): 69~74.

吴珍汉, 江万, 周继荣, 2001. 青藏高原腹地典型岩体热历史与构造-地貌演化过程的热化学分析. 地质学报, 75(4): 468~476.

袁道先, 覃嘉铭, 林玉石, 等, 1999. 桂林 20 万年石笋高分辨率古环境重建. 桂林: 广西师范大学出版社, 17~30.

袁道先, 刘再华, 林玉石, 等, 2002. 中国岩溶动力系统. 北京: 地质出版社, 162~177.

袁道先, 刘再华, 蒋忠诚, 等, 2003. 碳循环与岩溶地质环境. 北京: 科学出版社, 95~175.

袁万明, 王连成, 李胜荣, 等, 2002. 雅鲁藏布江逆冲带活动的裂变径迹定年证据. 科学通报, 47(2): 147~150.

张美良, 林玉石, 覃嘉铭, 等, 2000. 贵州荔波岩溶洞穴发育特征. 中国岩溶, 19(1): 13~20.

张美良, 林玉石, 覃嘉铭, 等, 2001. 贵州荔波董哥洞 3 号石笋的同位素年龄及古气候信息. 沉积学报, 19(3): 426~432.

张美良, 林玉石, 覃嘉铭, 等, 2002. 洞穴石笋纹层组类型研究. 沉积学报, 20(3): 435~441.

张美良, 袁道先, 程海, 等, 2003. 黔南洞穴石笋古气候变化记录及终止点 II 的确定. 中国科学(D 辑), 32(11): 942~950.

张美良, 程海, 林玉石, 等, 2004. 贵州荔波 1.5 万年以来石笋高分辨率古气候记录. 地球化学, 33(1): 65~74.

竺可桢, 1979. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 412~498.

Chen Jianguang, 2001. The law of development and tourist value of Kaikou caves in Duyun, Guizhou. Carsologica Sinica, 20(1): 58~63 (in Chinese with English abstract).

Deng Qidong, Zhang Peizhen, 2000. Colluvial wedges associated

with pre-historical reverse faulting paleoearthquakes. Chinese Science Bulletin, 45(17): 1598~1604 (in Chinese).

Lin Yushi, Zhang Meiliang, Qin Jiaming, 2002. Study on the sediment disconnected types of stalagmite in cave. Acta Geologica Sinica, 76(1): 138~144 (in Chinese with English abstract).

Lin Yushi, Zhang Meiliang, Cheng Hai, et al. 2003. The geological time scale and climatic events from stalagmites in the late or recent Quaternary Period in the Libo area, Guizhou, southwest China. Earth Science Frontiers, 10(2): 341~350 (in Chinese with English abstract).

Lin Yushi, Yuan Daoxian, Zhang Meiliang, et al. 2004. Study on the characteristics of sedimentary of stalagmite in cave No. 4 stalagmite in the Dongge cave of Libo, Guizhou. Acta Geoscientia Sinica, 25(4): 459~466 (in Chinese with English abstract).

Qin Jiaming, Yuan Daoxian, Lin Yushi, et al. 2001a. Records of high-resolution climate events from stalagmites since 160 000 a B. P. in Guangxi and Guizhou Provinces, China. Earth Science Frontiers, 8(1): 99~105 (in Chinese with English abstract).

Qin Jiaming, Yuan Daoxian, Lin Yushi, et al. 2001b. Short-term abrupt climate events of Last glaciation——The evidences from stalagmite record in Southwest China. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20(4): 391~393 (in Chinese with English abstract).

Qin Jiaming, Yuan Daoxian, Cheng Hai, et al. 2005. The Younger Dryas and climate abrupt events in the Early and Middle Holocene: stalagmite oxygen isotope record from Maolan, Guizhou, China. Science in China (Ser. D), 48(4): 530~537 (in Chinese with English abstract).

Wu Zhenhan, Jiang Wan, Zhou Jirong, et al. 2001. Thermal-chronological dating on the thermal history of plutons and tectonic-landform evolution of the central Tibetan plateau. Acta Geologica Sinica, 75(4): 468~476 (in Chinese with English abstract).

Yuan Daoxian, Qin Jiaming, Lin Yushi, et al. 1999. High Resolution Paleoenvironmental Reconstruction up to 200,000 Years B. P. with Speleothems from Guilin. Nannig: Guangxi Teachers University Press, 17~30 (in Chinese).

Yuan Daoxian, Liu Zhaihu, Lin Yushi, et al. 2002. Karst Dynamic Systems of China. Beijing: Geological Publishing House, 162~177 (in Chinese).

Yuan Daoxian, Liu Zhaihu, Jiang Zhongcheng, et al. 2003. The Carbon Cycle and Karst Geological Environment. Beijing: Science Press, 95~175 (in Chinese).

Yuan Wanming, Wang Liancheng, Li Shengrong, et al. 2002. Apatite fission track dating evidence on the tectonization of Gangdese block, south Qinghai—Tibetan Plateau. Chinese Science Bulletin, 47(3): 231~235 (in Chinese).

Zhang Meiliang, Lin Yushi, Qin Jiaming, et al. 2000. The characteristics of karst cave development in Libo, Guizhou. Carsologica Sinica, 19(1): 13~20 (in Chinese with English abstract).

Zhang Meiliang, Lin Yushi, Qin Jiaming, et al. 2001. Isotopic ages and paleoclimatic implications of No. 3 stalagmite from Dongge cave in Libo. Acta Sedimentologica Sinica, 19(3): 426~432 (in Chinese with English abstract).

Zhang Meiliang, Lin Yushi, Qin Jiaming, 2002. Study on the

laminae or lamella groups and types of stalagmite in cave. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20 (3): 435 ~ 441 (in Chinese with English abstract).

Zhang Meiliang, Cheng Hai, Lin Yushi, et al. 2004. High resolution paleoclimatic environment records from a stalagmite of Dongge cave since 15000 a in Libo, Guizhou Province, China. *Geochimica*, 33 (1): 65 ~ 74 (in Chinese with English abstract).

Zhang Meiliang, Yuan Daoxian, Cheng Hai, et al. 2004. The record of paleoclimatic change from stalagmites and the determination of termination II in the south of Guizhou Province. *China Science in China (Ser. D)*, 47(11):1~11.

Zhu Kezhen. 1979. *Collected Works from Zhu Kezhen*. Beijing: Science Press, 412~498 (in Chinese).

**Ages and Significance of Geological Events from Stalagmites
in Caves, Southern China**

LIN Yushi¹⁾, ZHANG Meiliang¹⁾, QIN Jiaming¹⁾, CHENG Hai²⁾,
RAN Jingcheng³⁾, CHEN Huiming³⁾, ZHU Hongyan¹⁾, YU Dengli³⁾

- 1) *Karst Dynamics Laboratory, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi, 541004, China*
- 2) *Geology and Geophysics Department, Minnesota University, MN55455, USA*
- 3) *The Management of Maolan National Nature Reserve in Guizhou, Libo, Guizhou, 558400, China*

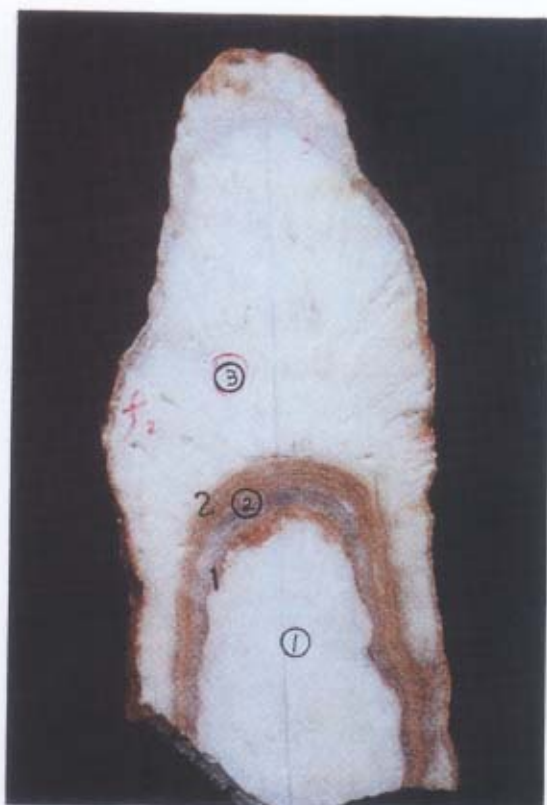
Abstract

This paper took the main deposition interruption of the sixth, third and first order from D₃ stalagmite and the second order from D₄ stalagmite in the Dongge cave as the examples to show that interruptions occurred in 89964 a, 119658 a, 128650 a and 113399 a and ended in 316 a, 11960 a, 128211 a and 65500 a respectively according to the forming order. The age of the duration of 89684 a, 58 a, 439 a and 47899 a respectively indicated that the deposition interruptions and sedimentary cycles from the stalagmites have the property of the multiple orders and climate events, and also that the time of the deposition interruption is very long, and the property of climate events is complex. If there is interrupted sedimentation, it certainly adds more complicated connotation of climate, environment and geology, for instance, the second deposition interruption from D₄ stalagmite is an integrated indication of climate, environment and geological events. The three collision events from Q₂ stalagmite occurred in 74253 a, 60738 a, and 36800~40000 a respectively and the interval time is 13515 a and 22639 a. These data and sedimentary characteristics of the interruption interface from the upper part and lower part of stalagmite represented the calamitous property of the collision interface and contained information of paleoclimate environment. Dating of serial events must be carried out on the upper part and lower part of sedimentary interruption and collision interface together with observation of synthetic sedimentary characteristics of stalagmite parts on the basis of systematic dating, to enhance the dating and qualitative reliability and information of paleoclimatic environment.

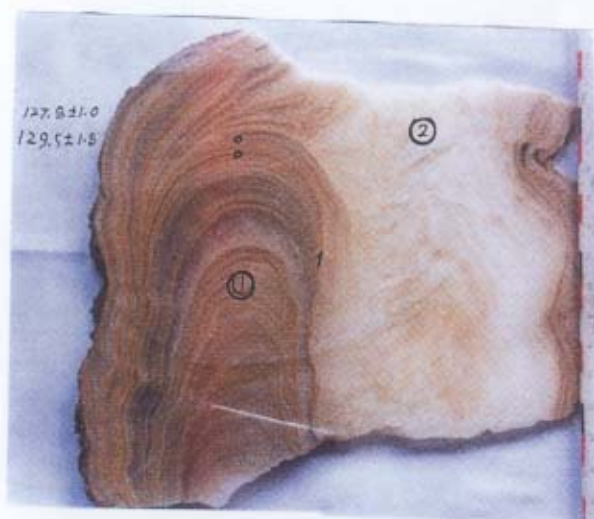
Key words: stalagmite deposit; series events; dating age; South China



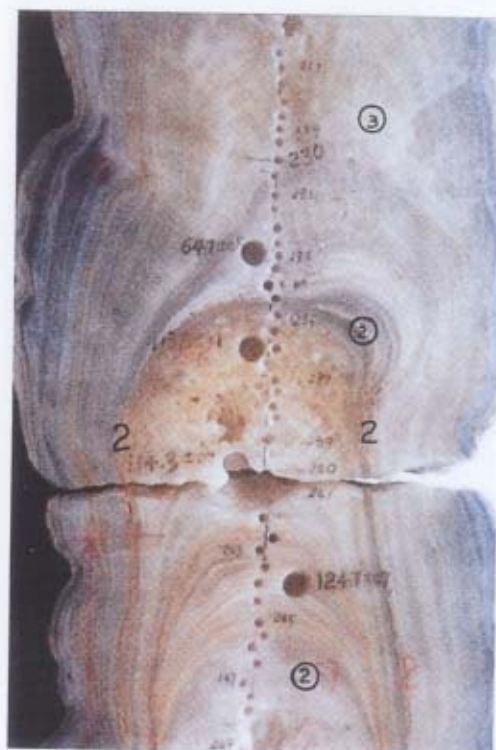
D3-6 荔波董哥洞 3 号石笋第 6 次间断



f₂ 宜威凤巢洞 2 号石笋第 1、2 次间断及其沉积②旋回



D3 荔波董哥洞 3 号石笋第 1 次间断

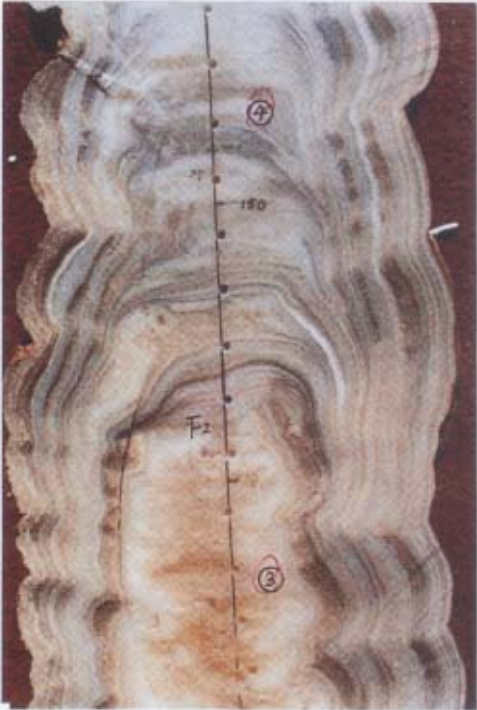


D4 荔波董哥洞 4 号石笋第 2 次间断及其沉积②旋回

注：③各石笋沉积旋回及序号；大圆、方形为测年样位；小圆为碳、氧同位素样位。



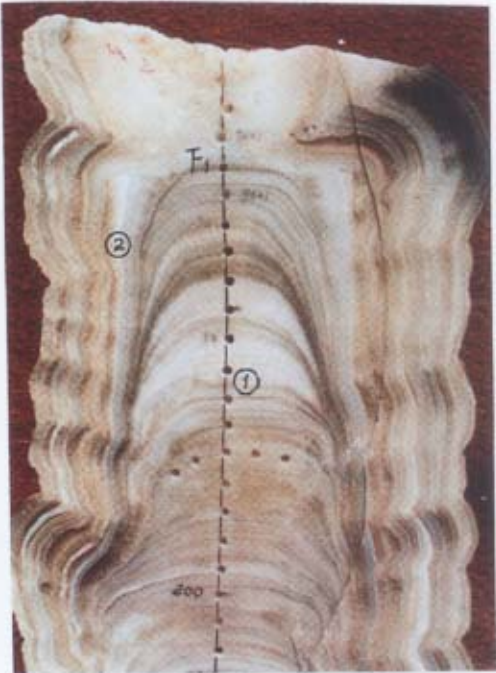
Q₂ 都匀七星洞 2 号石笋下(Q₂F₁)、上(Q₂F₂)两次碰断



Q₂ F₂ 都匀七星洞 2 号石笋上碰断面



Q₃ 都匀七星洞 5 号石笋 Q₃F₃ 碰断面



Q₂ F₁ 都匀七星洞 2 号石笋下碰断面

注：③各石笋沉积旋回及序号；大圆、方形为测年样位；小圆为碳、氧同位素样位。