

# 贵州荔波第四纪晚近期石笋地质年表与气候事件

林玉石<sup>1</sup>, 张美良<sup>1</sup>, 程海<sup>2</sup>, 袁道先<sup>1</sup>, 覃嘉铭<sup>1</sup>, 王兆荣<sup>3</sup>, 冉景丞<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 岩溶动力学开放研究实验室, 广西 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 MN55455;

3. 中国科技大学 地球与空间科学系, 安徽 合肥 230023; 4. 国家级茂兰喀斯特森林自然保护区, 贵州 荔波 558400)

**摘要** 南方岩溶区大型石笋年代地层学研究表明石笋是第四纪(系)研究的主要对象之一, 石笋比其他第四纪沉积物更易高精度定年。贵州荔波地区以 68 个 TIMS-U 系正序平行测年, 建立了第四纪晚近期 162.3 ka 以来的地质年表, 确定全新世与晚更新世以 9.363 ka 分界, 而晚更新世与中更新世以 128.5 ka 分界, 提出距今 350 年、2 300 年……和新仙女木、类 Heinrich 等一系列冷事件的跃变年代, 事件的冷暖转(突)变时限具区域对比意义。认定应以大型石笋系统测年建立第四纪地质年表, 不宜用少数测年值按 2~3 个沉积速率推算建年表, 亦不宜以小型石笋“系统”测年建年表, 以免因间断沉积造成自然的、人为的缺层和漏测, 使年表失实。

**关键词** 地质年表; 第四纪晚近期; 石笋; 冷事件; 贵州荔波

**中图分类号** P642.25; P532; P534.63 **文献标识码** A **文章编号** 1005-2321(2003)02-0341-10

洞穴沉积物是第四纪研究的重要内容, 至今硕果累累<sup>[1, 2]</sup>, 随着岩溶学的发展, 以岩溶记录重建古气候环境, 亦很有成效<sup>[3~5]</sup>, 把洞穴石笋作为开创第四纪研究的主要领域, 已引起国内外广泛关注。第四纪研究, 前人做了大量工作, 为时代划分和全球变化研究作出了重要贡献<sup>[6~9]</sup>。笔者倡导石笋纵剖面作第四纪气候地层剖面, 参与第四系层序划分和精确定年<sup>[10]</sup>, 对石笋气候地层学的地位给予重视, 此议有其自身得天独厚的物质基础和环境条件, 亦有坚实的工作积累<sup>[11, 12]</sup>, 还适用热电离质谱 TIMS-U 系高精度测年方法<sup>[13]</sup>。

## 1 洞穴石笋纹层的区域地质意义

石笋沉积纹(壳)层的沉积学特征, 由于洞顶滴水在着落处, 形成滴流水薄层, 水层和流动过程 CO<sub>2</sub> 逸

出, 碳酸钙沉积(淀)呈微纹(壳)层, 逐渐叠覆成柱(锥)状<sup>①</sup>。石笋最小沉积单位是纹(壳)层, 由若干纹(壳)层组成纹(壳)层组, 依级序组成亚旋回、旋回。纹层的组成、结构都源于滴水的携带物质和运动, 滴水汇自大气降水及其渗流过程与生物、土壤、岩石等各类水的交换和补给, 因此, 纹(壳)层主要成分除了方解石外, 还有微量粘土矿物及微量元素、有机碳等, 组成结构既有水下沉积特征也有水流作用的构造特征, 组构呈滴水-流水作用和滴水-流水-汽(气)水漂浮凝结等联合作用的沉积构造特征。除沉积岩中的水平、斜交层理、波纹-脑纹状层面构造、沉积间断或风化壳等, 常态流水-静水状态的沉积构造外, 还有滴水及其飞溅水、凝结水、渗流水、毛细管水等层理和滴蚀坑穴、平凹和凹凸、拱凸等纹层面, 以及各种叠置构造、包容构造、普遍的放射状构造等, 这些特征性结构构造, 是局部环境和洞穴环境或水文地质条件的鉴别标志。总之, 石笋沉积纹层的组分、结构构造及其组合类型、层面构造等。这些沉积特征与降水动态相关, 具区域性地层或全球性和地带性气候意义, 能有效地反映古气候演变与环境变迁特征。从地表水和洞(地下)水流域的地质结构看, 显然, 还受局部气候或地理环境、水文地质条件影响, 从成笋条件看, 还有洞穴气候环境和局部物理化学条件制约。因此, 石笋

收稿日期 2002-09-23, 修订日期 2002-11-22

基金项目: IGCP448 国际对比研究项目; 国家自然科学基金项目 (40152002)

作者简介: 林玉石(1937—), 男, 研究员, 主要从事区域岩溶和古环境变化研究。

① 沉积微纹(壳)层面呈锥状、钟状、倒锅状、倒饼锅状为立体状层面面积小故在“纹”字之前加“微”。之后加(壳)字以区别于海洋、湖泊、河流常态水下的近水平纹层面面积大以下用纹(壳)层表述。

沉积纹层的地质意义,可作区域性,甚至全球气候和地带性对比,还能识别环境条件和洞穴气候环境,应是第四系的主要研究对象之一。

(1) 石笋纹层具测年的优势条件:第四系研究的进展取决于沉积物的广泛代表性和高精度定年。冰芯<sup>[14]</sup>、海洋(含珊瑚礁堆积)和河湖沉积物<sup>[15]</sup>、红土、黄土<sup>[16~19]</sup>和岩溶沉积物,是第四系研究很有代表性的物质。从现代测定技术方法看,唯石笋能满足高精度测年的全面要求,其他沉积物只能以化石地层法和磁性地层法,辅以同位素测年,作为定年和层序划分依据<sup>[20]</sup>。石笋沉积组成以碳酸盐为主,沉积系统性强,组合结构构造及其叠覆构造清晰,与上、下沉积物层序相关明显。成笋后原位保存而不受干扰,较容易沿纹(壳)层或相关纹层采样,获得新鲜测年样品,适宜热电离质谱TIMS-U系法高精度测年,定年时限由几十年至60万年(当铀含量高于 $3\text{ }\mu\text{g/g}$ ),其它第四纪沉积物没有这些优势。

(2) 石笋测年样的选采:筛选测年石笋是重要前提,成笋之后,不再遭洞水浸泡,不发生放射性元素带入或带出,确保岩样新鲜,确定样位是采样的关键,样品必须采在笋心处(轴部),以确保年龄准确和可比度。用电离质谱铀系测年,样量约 $20\sim 200\text{ }\mu\text{g}$ 。若纹层厚度 $<1\text{ mm}$ ,为满足样量可向同一纹层翼部适当延伸,或垮上、下纹层,但不宜垮多层或污染、混样,以确保定年精度,记录和了解样品的纯度或纹层上、下的特征和特定结构构造,确认样位处于纹层组或沉积旋回何位,记录样位和石笋与上、下沉积物的特定关系或相关层序,以确定年龄值的可信度。测年样按石笋沉积旋回的上、中、下选采,分界时(笋)段则按沉积纹层组选采,为使分界年龄更真实,界线上、下两样尽可能接近。此外,为使推断更准确,这两样上下的样位,应尽可能采在相应沉积纹层组内,若分界线有较长时间间断沉积,除界线上、下两样尽可能接近外,最好增采间断沉积纹层组的若干样,最少有 $1\sim 2$ 个样,以确认上下样年值的可信度,如桂林盘龙洞1号石笋的②旋回由间断沉积纹(壳)层组组成,加密采了11个样,确保全新世与晚更新世分界年龄为 $(11\ 080\pm 280)$ 年,以高精度、合理、足量的测年样,确保年龄值准确,奠定沉积层序对比的时间基础。确保建立正常年序、层序、成晶序次。

## 2 石笋地质年表的厘定

国内外的第四纪研究表明,深海沉积物的层序时代,以磁性地层法为主,结合生物化石和同位素定年方法,建立基本可信的第四系层序和年序,虽基本框架可信,但断代量化不足。极地冰芯和各陆块冰芯的氧同位素记录、陆地河湖沉积物的层序认定等,都与深海沉积剖面类比,起验证磁性地层为主的第四系层序划分的正确性。我国的红粘土特别是黄土研究,华北平原巨厚的河湖相地层泥河湾层的研究<sup>[21]</sup>,河西走廊厚达 $536\text{ m}$ 的河湖相地层的研究<sup>[15]</sup>,都为建立我国第四系层序和断代作出了贡献。北京猿人洞、石花洞、广西巨猿洞和水南洞、茅茅头大岩、贵州犀牛洞和郑家大洞、浙江瑶琳洞、福建天鹅洞等的洞穴沉积物特别是石笋沉积纹层研究,都有新进展,为第四纪定年走了一大步,但受测试方法和石笋或研究条件的限制,均用 $\alpha$ -U系法计年,并辅以其它方法,虽测年精度和数量均难确切定年,仍探索了年代分界的量化方法,也向老年代或较新年代量化延伸。

### 2.1 石笋的选择和定年

为证实我国南方峰林平原到云贵高原的峰丛洼(谷)地和溶峰(丘)洼(谷)地洞穴石笋定年和古气候环境信息的可信度、石笋年序区域对比的可能性,笔者在海拔 $400, 1\ 200, 1\ 700, 2\ 300$ 和 $3\ 600\text{ m}$ 上、下的岩溶台面,对洞穴石笋均作纵切笋心剖面综合研究和测年,同时预研究岩溶斜坡地带海拔 $600\sim 800\text{ m}$ 上下的洞穴石笋,从10个大型石笋纵剖面对比研究中,选沉积时段长、沉积旋回多的董歌洞4号石笋进行TIMS-U系高精度系统测年和综合研究。为减少不必要的重复,对一些沉积组成、结构构造基本一致或沉积旋回和纹层组夹层少的笋段,样距放宽,但各旋回都有供计速的年龄,若暗色纹层夹层特多、纹层组不明显或过细,可不按纹层组采样,但必须加密,确保浅色、暗色纹层都有若干样,因这类纹(壳)层组合的沉积类型,往往是冷气候期的沉积标志和一些环境因素转变或剧变的反映,沉积速率小,且变化大而频繁,易因缺层和漏测,而缺失断代年龄或冷暖气候转换(跃变)点失控,甚至会漏测间断沉积时段。总之,石笋纹(壳)层组成、结构构造复杂或组构类型变化的笋段,都是主要气候事件频发的时(笋)段,务必加密测年样,确保各时(笋)段有充分测年依据。按这些原则,董歌洞4号笋采了37个测年样,为确保样品质量和

可比度,用 8 mm 空心钻采样,岩芯长 5~8 mm,样位如表 1 图示。由(美)明尼苏达大学地球与地球物理系同位素室用 TIMS-U 系法测定,测试误差为  $2\sigma$ ,获得了  $(147.6 \pm 1.3) \sim (0.128 \pm 0.44) \text{ ka B P}$  的 36 个正常年序的年龄(表 1),紧贴基底钙华粘土层的样品,因受接触面渗流水浸泡干扰,年龄略偏新为  $(146.7 \pm 4.0) \text{ ka B P}$  4 号石笋上、中、下时段都有其它石笋的平行沉积测年值。测年结果表明:高 304 cm 的 4 号笋,自底部①旋回至顶部⑨旋回的年序正常,主要时段(世、期)分界都有地质依据:石笋沉积旋回分界明显,有沉积转变标志或沉积间断;重要时(笋)段界线上是暗色纹(壳)层或泥化层,富含有机质、Fe、Mn 质或是碳氧同位素跃变点,界线上、下纹层组组分、结构、纹层叠复构造类型不同,甚至纹层理呈斜交,如②与③旋回间;界线上、下纹层组叠复轴线呈“S”型,显示滴、落点位明显转换,时(笋)段间有沉积间断,间断时间有万年级、千年级、百年级之分,如③与④、⑦与⑧、⑧与⑨旋回之间,显示冷事件的起始至终止,或冷暖跃变年代,③旋回末滴落水点位移太大,偏离笋体,界线上、下碳氧同位素组成不同等。这些是地质界线断代分界的地质依据,也是气候演变的标志,界线上、下测年有差值,则是地质气候演化的时间证据。因此,石笋沉积纹(壳)层的韵律性转(跃)变,特别是断代界线,成为气候演变旋回、阶段、期序划分的依据。总之 4 号笋的年序和沉积旋回、亚旋回、纹(壳)层组与气候旋回、阶段、气候期序演变彼此对应,协同表明:距今 128.5 ka 前后是晚与中更新世的分界年龄,也是中与早大理冰期的分界年龄,距今 85 ka 前后是晚与中大理冰期的分界年龄,距今 9 100 年前后是全新世与晚更新世的分界年龄,也是晚大理冰期末新仙女木冰期回暖的跃变年龄,显然比桂林盘龙洞石笋记录的 11 080 年回暖晚 2 000 年,两地区新仙女木冰期的起止时间正在研究中;石笋沉积旋回的沉积时段有  $10^4 \text{ a}$  级、 $10^3 \text{ a}$  级、 $10^2 \text{ a}$  级之分,组成旋回的纹层组的沉积时段级次更多。这些不同级次的沉积时段,都有级序性的气候演变意义。

## 2.2 石笋地质年表的确定

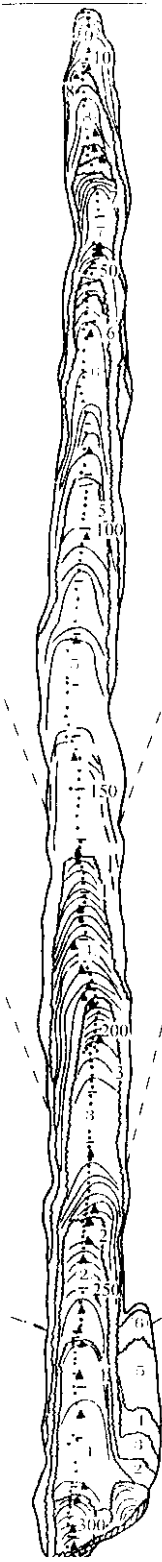
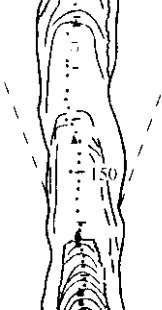
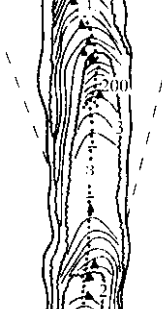
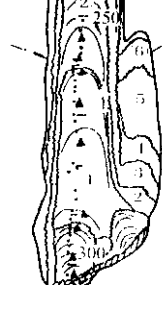
荔波经预研究的大型石笋纵剖面,以董歌洞 4 号笋纵剖面最有代表性,除系统同位素测年外,各时段还有其他石笋的沉积组分、结构构造、组合作类比。

其沉积旋回最多,连续性好、时限长,且时空上各时段都有平行沉积沉积时(笋)段,可与凉风洞、金狮洞和白鹇洞等石笋、衙门洞 1 号笋、龙泉洞 2 号笋、龙洞和董歌洞的石笋作区域对比。董歌洞 4 号笋下段①、②旋回与该洞 3 号笋的①~⑥旋回基本同时段,属中更新世,同是早、中大理冰期的沉积物,但两笋的沉积特征差异大(表 2,3),显示冰(冷)期气候石笋沉积慢、暗色纹层多的气候标志,沉积差异揭示两石笋的滴水源、水量不同,地下水运移特征及水文地质条件不同。4 号笋中段③、④旋回则与衙门洞 1 号笋①~⑧旋回为同时段,属晚更新世晚大理冰期的沉积物,两笋的沉积差异大(表 4),不仅显示冰(冷)期气候沉积特征,其差异还揭示两笋位于不同地貌环境和降水量不同,滴水补给量及水源亦不同。即董歌洞位于海拔 700~900 m 的中岩溶台面,属海拔 700 m 上下的中层洞,滴水源于降水补给,成笋期滴流水动态变化大,滴、停交替频繁,有  $10^4 \text{ a}$  级、 $10^3 \text{ a}$  级、 $10^2 \text{ a}$  级停滴时间,成笋速率较小,笋段暗纹层较多,不少笋段特别是旋回中上部、顶部多而密集。而衙门洞位于复合槽谷带,属中下层洞,滴水源于降水和槽谷两侧高、中、低岩溶台面的洞水、溶裂、溶隙、裂隙、溶孔等地下水的汇集补给,滴-流水量较大,成笋期滴-流水动态变化小,且洞内湿度大,停滴时段少,且时间短, $10^2 \text{ a}$  级、 $10 \text{ a}$  级或年际间断时间为主,个别达  $10^3 \text{ a}$  级,沉积速率大,笋段仅少量土黄色或灰黄色纹层夹层。4 号笋上段⑤~⑨旋回,与该洞 3 号笋⑦旋回、龙泉洞 2 号笋②~⑤旋回为同时段,属全新世冰后(间冰)期的沉积物,三石笋的沉积差异明显,4 号笋⑤~⑨旋回时段沉积连续性好,在 7 934 年间,沉积生长 163.8 cm,最小沉积速率  $10.28 \text{ mm}/100 \text{ a}$ ,最大  $39.03 \text{ mm}/100 \text{ a}$ ,一般均  $25.06 \text{ mm}/100 \text{ a}$  以上。而该洞 3 号石笋,自 91.0 ka B P 之后,长期间断直至近 110 年来,才开始⑦旋回的沉积。龙泉(船)洞 2 号石笋,从 6.8 万年后长期间断,直至距今 1 741 年前开始沉积②~⑤旋回,厚达(笋高)192 cm,沉积速率达  $75.51 \sim 89.63 \text{ mm}/100 \text{ a}$ 。

此外,距今 5 000 年以来,还有竺可桢院士的观测统计作对比。显示冰后期以来,荔波地区处于温暖潮湿气候,石笋沉积速率很大,都是白—雪白的方解石纹(壳)层,仅晚期个别沉积旋回顶端有少量灰—灰褐色或灰黄色纹(壳)层。由于龙泉(船)洞处于复合槽谷带,洞穴石笋沉积速率比岩溶台面的董歌洞石笋沉积速率更大,如上所述,石笋沉积差异源于

表 1 贵州荔波地区第四纪晚近期石笋地质年代表

Table 1 Geological ages from stalagmites of Quaternary neoid period in Libo area, Guizhou Province

地质(时代) 年表*/ka				D4 石笋**		其他石笋年龄**/ka		备注
				剖面	年龄/ka	D3	L2	
第	全	冰后 新世 或 间冰期	0.079 ± 0.011		0.128 ± 0.44	0.079 ± 0.011	0.221 ± 0.079 0.466 ± 0.073 1.035 ± 0.146 1.741 ± 0.147	* 部分年龄合并或删除; * * TIMS-U 系法测年, 由(美)明尼苏达大学同位素室程海博士测定, 个别由中国科技大学同位素室测定。  D <sub>3</sub> 、D <sub>4</sub> 分别是董歌洞 3 号、4 号石笋。 4 号石笋高为 304 cm, 3 号石笋高为 210 cm。
			0.128 ± 0.44		0.397 ± 0.012			
			0.221 ± 0.079		0.420 ± 0.029			
			0.397 ± 0.012		1.539 ± 0.028			
			0.420 ± 0.029		2.39 ± 0.700			
			0.466 ± 0.073		2.284 ± 0.037			
			1.035 ± 0.146		3.911 ± 0.031			
			1.539 ± 0.028		4.136 ± 0.032			
			1.741 ± 0.019 7		5.296 ± 0.037			
			2.337 ± 0.366		6.263 ± 0.147			
四	晚	大理冰期	3.991 ± 0.031		6.703 ± 0.042	Y1	10.8 ± 0.86 12.3 ± 0.342	D <sub>3</sub> 、D <sub>4</sub> 分别是董歌洞 3 号、4 号石笋。 4 号石笋高为 304 cm, 3 号石笋高为 210 cm。
			4.136 ± 0.032		6.703 ± 0.042			
			5.296 ± 0.037		7.432 ± 0.043			
			6.236 ± 0.147		8.310 ± 0.045			
			6.703 ± 0.042		9.023 ± 0.064			
			7.433 ± 0.043		9.363 ± 0.040			
			8.310 ± 0.045		11.578 ± 0.084			
			9.023 ± 0.064		11.910 ± 0.074			
					12.600 ± 0.136			
					13.418 ± 0.051			
纪	晚更新世	中大理冰期	10.8 ± 0.86		11.578 ± 0.084	91.0 ± 0.4 98.2 ± 0.5 101.0 ± 0.5 110.8 ± 0.6 113.9 ± 0.6 118.2 ± 0.6 121.9 ± 0.6 123.7 ± 0.8 124.1 ± 0.6 127.8 ± 1.0 128.5 ± 0.85	28.5 ± 2.8 36.7 ± 0.74 50.9 ± 1.4	③石笋沉积旋回及其序号; —石笋沉积纹(壳)层; ●碳、氧同位素样位; ▲9.023 ± 0.064 测年样位及其同位素年龄(ka), 测年误差 ≈ 2σ。
			11.578 ± 0.084		11.910 ± 0.074			
			11.910 ± 0.074		12.600 ± 0.136			
			12.600 ± 0.136		13.418 ± 0.051			
			13.418 ± 0.051		14.388 ± 0.100			
			14.388 ± 0.100		15.473 ± 0.129			
			15.473 ± 0.129		43.3 ± 0.2			
			43.3 ± 0.2		51.21			
			50.9 ± 1.4		59.1 ± 0.3			
			59.1 ± 0.3		64.7 ± 0.5			
中更新世	早大理冰期		64.7 ± 0.5		91.0 ± 0.4	129.3 ± 0.90 131.9 ± 0.9 136.5 ± 1.0 138.1 ± 1.2 146.2 ± 1.3 147.6 ± 1.3 146.7 ± 4.0	129.5 ± 1.8 132.7 ± 1.0 136.6 ± 1.1 145.2 ± 1.0 144.7 ± 1.1 149.8 ± 0.9 158.9 ± 5.1 162.3 ± 4.5	
			91.0 ± 0.4		98.2 ± 0.5			
			98.2 ± 0.5		101.0 ± 0.5			
			101.0 ± 0.5		110.8 ± 0.6			
			110.8 ± 0.6		113.8 ± 1.1			
			113.8 ± 1.1		114.3 ± 0.7			
			114.3 ± 0.7		124.7 ± 0.7			
			118.2 ± 0.6		126.9 ± 0.9			
			119.6 ± 0.6		128.5 ± 0.85			
			121.9 ± 0.6					

$\lambda_{230} = 9.1577 \times 10^{-6} \text{a}^{-1}$ ;  $\lambda_{234} = 2.8263 \times 10^{-6} \text{a}^{-1}$ ;  $\lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-6} \text{a}^{-1}$

表 2 荔波董歌洞早大理冰期石笋沉积差异表

Table 2 Stalagmites depositional difference of the early Dali glacial period in Dongge cave, Libo

编号	旋回时(笋)段/ka	厚度/cm	时间/a	速率 $v/(10^{-2}\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	暗色纹(壳)层夹层
4号(D4)石笋	①旋回 147.6~129.3	40.3	18 947	0.34(最小), 8.75(最大)	下部、中上部较多
3号(D3)石笋	①旋回 162.3~129.5	24	34 500	0.44(最小), 1.83(最大)	旋回底至顶多而密集

表 3 荔波董歌洞中大理冰期石笋沉积差异表

Table 3 Stalagmites depositional difference of the middle Dali glacial period in Dongge Cave, Libo

编号	旋回时(笋)段/ka	厚度/cm	时间/a	速率 $v/(10^{-2}\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	暗色纹(壳)层夹层
4号(D4)石笋	②旋回 128.5~113.8	26.4	15 258	0.39(最小), 8.00(最大)	中部灰黄色纹(壳)层多而密集, 顶部灰黑色纹(壳)层较密集, 因滴落水点位移大而中断沉积
3号(D3)石笋	②~⑥旋回 127.8~91.0	183	31 500	1.75(最小), 18.95(最大)	各旋回顶部均有若干灰黄色~灰褐色纹(壳)层

表 4 荔波董歌洞和衙门洞晚大理冰期石笋沉积差异表

Table 4 Stalagmites depositional difference of the late Dali glacial period in Dongge cave and Yamen cave, Libo

编号	旋回时(笋)段/ka	厚度/cm	时间/a	速率 $v/(10^{-2}\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	暗色纹(壳)层夹层
4号(D4)石笋	③、④旋回 64.7~9.363	69.8	29 975	1.11(最小), 7.25(最大)	③旋回底部、中上部、顶部较多 ④旋回底至顶多而密集
1号(Y1)石笋	①~⑧旋回 50.9~10.8	310	40 100	6.13(最小), 22.33(最大)	各旋回顶部或中上部少量灰黄色纹(壳)层

滴水补给不同。总之,荔波地区洞穴石笋年表以董歌洞 4 号石笋纵剖面为基础,上、中、下笋段有平行沉积剖面,断代时(笋)段明确(图 2)。石笋时段下延至该洞 3 号石笋底部 162.3 ka B P,上延至 3 号石笋顶部 0.079 ka B P 和龙泉洞 2 号笋顶部 0.221 ka B P。据石笋对比剖面累计,此时段石笋由 9 个沉积旋回,122 个沉积纹(壳)层组成,沉积纹(壳)层特征详见表 5,其间 113.8~64.7 ka B P 的间断,由 3 号石笋⑤、⑥旋回沉积补充,而 43.3~15.473 ka B P 的间断,由衙门洞 1 号笋①旋回上部至⑥旋回中部的沉积补充,这些石笋的沉积补充,确保 162.3~0.079 ka BP 时段石笋沉积在荔波地区具连续性,呈现石笋地质年表的区域和气候地层学意义。

总之,石笋地质年表以实测同位素年龄值为依据,石笋沉积韵律旋回或纹(壳)层组为基础,气候环境演化响应明显的成分、组构踪迹是特别突变的标志层,如暗色层或间断沉积纹(壳)层(组)等特征性纹(壳)层为标志。这些实测年龄、沉积韵律、演变踪迹、标志层等的定年划分,均具区域意义并可对比,如桂林、云南泸沽湖、贵州盘县等地冰后期温暖潮湿气候沉积的石笋,都很洁白,暗色纹(壳)层极少,仅出现在

中晚期沉积旋回中上部或顶部,沉积速率很快,而大理冰期寒冷干燥或冷湿气候沉积的石笋,呈灰白色夹很多暗色纹(壳)层,沉积速率很慢。此外,各旋回或纹(壳)层组的碳、氧同位素组成亦不同。石笋这些宏观、微观沉积特征,从粤桂的峰林平原或峰丛洼地,到岩溶高原斜坡带、岩溶高原多级岩溶台面的洞穴石笋,都有综合显示。因此,岩溶斜坡上荔波地区的石笋沉积特征很有代表性,既与云贵川岩溶高原和粤桂峰林平原的石笋沉积类同,亦显示不同气候环境、不同地貌、地质构造、水文地质条件甚至洞穴环境、局部环境条件的差异,石笋各项沉积特征呈现强弱不同,组合有异,甚至个别缺失,但综合集成的沉积特征是类同的,能以时(笋)段特征综合对比。

### 2.3 石笋地质年表的断代与气候事件的确定

石笋生长(沉积)受洞外气候、地貌、植被、地质构造和洞穴环境气候、滴水点水文地质条件或洞(水)道系统、滴-流水动态等综合因素制约,观测表明,多数石笋在滴、停交替频繁变态中沉积而成,普遍有月际、季际、年际停滴现象,测年表明,还有 10a、10<sup>2</sup>a、10<sup>3</sup>a、10<sup>4</sup>a 级停滴,甚至形成风化壳以后再沉积。如 4 号笋②与③、③与④旋回间、3 号笋⑥与⑦旋回间、2 号

笋①与②旋回间都有  $10^4$  a 级沉积间断。3 号笋④与⑤、⑤与⑥旋回间呈  $10^3$  a 级沉积间断。4 号笋除⑧与⑨旋回间为 23 年间断外, 多数旋回间为  $10^2$  a 级间断, 其中⑦与⑧旋回间间断时间达 705 年, 据 4 号石笋①~⑨旋回沉积时间累计 68 682 a (未扣除旋回内

间没有沉积(生长), 处于沉积间断。旋回间的沉积间断是纹(壳)层组、旋回的分界, 也是断代分层的主要地质依据, 还是气候演化转(跃)变特别是冷极点或冷跃变点的综合显示。此外, 其他特征性纹(壳)层或标志, 还有碳、氧同位素组成差异和跃变点等, 均与断代分界线吻合, 如冰后期与晚大理冰期的分界, 以新仙女木冰阶(期)的极冷回暖点分界, 桂林盘龙洞 1 号石笋冷期极值为  $\delta^{18}\text{O}$  为  $-4.53\text{‰PDB}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-1.27\text{‰PDB}$ , 以 11.08 ka 为分界年龄, 而荔波 4 号石笋的跃变值为  $\delta^{18}\text{O}$  为  $-8.77\text{‰PDB}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-4.54\text{‰PDB}$ , 以 9.1 ka 为分界年龄, 但碳、氧极值分别在 12.6ka、11.91 ka 因碳、氧极值没有其他综合地质现象作证, 而不宜作分界年值。同样原因, 中与晚更新世即中与早大理冰期分界年龄为 128.5 ka, 碳氧同位素跃变值分别为  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-5.20\text{‰PDB}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  为  $-8.10\text{‰PDB}$ , 但其极值分别在 148.0 ka、131.9 ka, 若分界年龄在 130 ka 虽碳、氧同步转变, 但至 128.5 ka 时段冷暖值波动大, 呈现转变过渡时(笋)段碳同位素呈剧变式跳动, 而且与石笋沉积旋回转换不协调, 但自 128.5 ka 起, 碳、氧同位素同步稳定显示回暖转变点与沉积旋回转换重合。董歌洞 3 号石笋此时(笋)段的变化特征与 4 号石笋类似, 两笋的分界年龄均为 128.5 ka。总之, 石笋同位素测年值和这些综合地质依据协调一致, 转变点彼此重(吻)合, 方可作主要地质事件的世、期断代分界和建年表的依据。切勿用单因素断代或建年表, 因石笋沉积成笋时处于滴、停频繁交替, 间断时限年际至万年际, 甚至占成笋时段 50% 以上, 即使碳、氧、微(痕)量元素呈同步转化, 也难免漏缺层或少测, 更何况碳、氧同位素、微(痕)量元素对气候、环境的响应有超前、滞后现象常出现位错时(笋)段或过渡性时(笋)段。

此外, 全新世温暖期的转冷事件, 发生在距今 350 a 和 1 300 a、2 300 a 和 3 500 a、5 000 a、6 500 a 前后, 分别有⑧与⑨旋回间的第 8 间断、⑦与⑧旋回间的第 6 间断, 以及这些间断前的沉积速率变小及其滴一流水量减小, 或滴落水点位移, 有暗至灰色纹(壳)层夹层等, 各种综合地质现象均有突出显示, 甚至沉积速率最大的⑤旋回时(笋)段, 在 8 000 年前后还有一次短暂冷事件, 显示在⑤旋回中下部聚集少量灰色纹(壳)层, 滴水点既位移又飘散着落, 形成平凹顶层面构造。这些宏观现象在石笋纵剖面上清晰可看, 在微观上有碳、氧同位素差异为证(表 6)。若

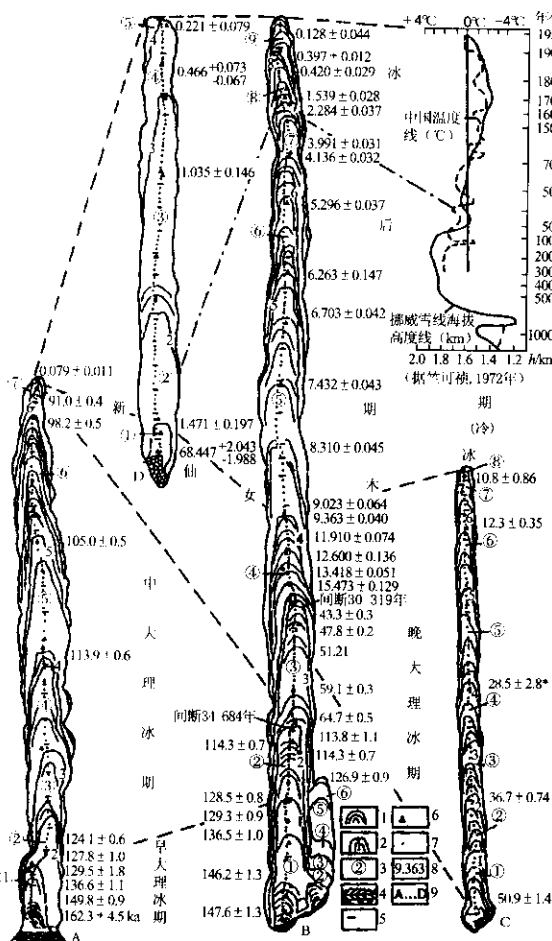


图 1 贵州荔波洞穴石笋沉积时代对比图

Fig.1 The contrast of stalagmite deposit ages

in caves of Libo, Guizhou Province

1—石笋沉积纹(壳)层; 2—石笋沉积间断及其序号; 3—石笋沉积旋回及其序号; 4—钙华粘土层; 5—石笋每 10cm 高度标志; 6—测年样位; 7—碳、氧同位素样位; 8—年龄值(ka); 9—石笋编号; A、B 分别为董歌洞 4 号、3 号石笋; C 为衙门洞 1 号石笋; D 为龙泉(船)洞 2 号石笋

\*  $\alpha$  能谱 U 系测年方法岩溶动力学开放研究实验室同位素室测定其他均为 TIMS-U 系法(美)明尼苏达大学程海博士测定

短暂间断时间), 占成笋时段 46.42%。而①~⑨各旋回间, 间断时间累计达 79 264 年(未加旋回内短暂间断时间), 占成笋时段 53.58%。按旋回或纹(壳)层组顶、底沉积速率计算年龄, 其差值累计的沉积时间为 72 222 a 占 48.79%; 而间断时间累计为 75 804 a, 占 51.21%, 后者真实地说明成笋时段有 50% 以上的时

表 5 贵州荔波石笋沉积特征表  
Table 5 Depositional characteristics from stalagmites in Libo area, Guizhou Province

沉积厚度/cm		沉积时间 /ka	沉积速率 $v$ ( $10^{-2}\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	纹(壳)层特征	纹(壳)层组构
旋回	纹层组				
⑨ 11.8 或 37	2, 3.1, 3.1, 6	0.269	39.03 或 75.51	雪白、白色间夹白—灰白色, 微—细粒(粗晶)方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~1 mm 或 2 mm 轴部残余纹层明显。	3 个纹(壳)层组呈平凹间平顶状—平凹状—拱隆状叠置, 构成叠锥笋体, 轴部粒间孔 $\Phi=0.5\sim3\text{ cm}_0$ 。
⑧ 14.3 或 14.7	3.1 5.2 6	1.212	10.72 或 89.63	灰色间暗灰浅灰色, 细—微粒方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~0.2 mm, 旋回、亚旋回、纹层组顶部暗灰色纹层增多。	3 或 8 个纹层组构成旋回, 呈平顶微凹状—平顶脑纹状—平隆状叠覆锥柱状笋体, 轴线呈“S”型晶间孔 $\Phi=0.5\sim2\text{ cm}_0$ 。
⑦ 27.7	3.1, 6, 0.6, 1.2, 1.1, 6, 12.4, 6.3	2.205	10.28  10.35	灰白色, 中上段为灰白间暗灰色, 微—细粒方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~0.2 mm, 上段以 1 mm 为主。	8 个纹(壳)层组, 构成三个亚旋回, 呈斜歪对称—斜歪不对称—水平脑纹状—拱隆状叠锥叠柱笋体, 轴线呈“S”型轴部粒间孔 $\Phi=0.5\sim1.5\text{ cm}_0$ 。
⑥ 35.4	3.4, 4.6, 9.4, 9.6, 8.4	1.569	24.82	灰白色间浅灰色, 上段灰白间暗灰色, 微—细粒方解石, 轴部和中上段为细—中粒有残余纹层, 边部和中下段纹层明显, 厚 0.1~0.2 mm, 底部为 0.5 mm, 顶部间 0.1~0.2 mm, 暗色纹(壳)层。	5 个纹(壳)层组, 构成 2 个亚旋回, 呈斜歪不对称拱隆状—平顶间平凹顶拱顶—平顶状纹(壳)层叠, 呈复锥柱状—柱状—柱锥状笋体, 轴线呈“S”型, 底部和中上段轴部, 粒间孔 $\Phi=1\sim3\text{ mm}$ , 个别 0.5~1.5 $\text{cm}_0$ 。
⑤ 74.6	4.1, 9, 2.6, 7.5, 2.6, 9.8, 2.4, 12, 19 和 8.6	2.793	27.44 25.06 25.25	白—灰白间浅色—白色, 微—细粒方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~1 mm, 轴部为中—粗晶, 纹层残余不明显, 轴缘至笋边纹层很明显。	10 个纹(壳)层组, 构成 5 个亚旋回, 呈凹顶—平顶拱隆间平凹顶—微拱平顶拱纹(壳)层叠覆成柱(锥)笋体, 轴线呈“S”型, 上、下段轴部粒间孔大而多, $\Phi=(2\sim5)\times30\text{ mm}$ , 中段多而小。
④ 29.7 或 147.1	8.2 1.9 6.1 9 4.5	6.585	4.52 6.02 7.25 6.11 4.12 2.75 或 7.7~22.3	暗灰间浅灰色, 顶部浅灰间暗灰色偶夹灰黄色, 微粒方解石或具残余纹层的巨晶方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~0.2 mm, 轴部纹层较明显。	10 个纹(壳)层组, 构成 3 个亚旋回, 或 14 个纹(壳)层组构成 4 个旋回。呈微拱平顶—拱顶间拱平顶—微平不对称隆拱叠覆成柱(锥)笋体, 轴线基本呈垂直轴部粒间孔 $\Phi=0.5\sim1.5\text{ mm}$ , 个别 3~5 mm, 分布均匀。
③ 40.1 或 163.2	1.9 4.3 1.8 5.5 22.6 4	23.39	1.11 1.95 1.88 或 6.13~7.7	灰白间白色偶夹浅灰色, 微—细粒方解石或具残余纹层的巨晶方解石组成纹(壳)层, 厚(重结晶前)0.1~0.5 mm, 轴部纹层残余较明显。	6 个纹(壳)层组, 构成 3 个亚旋回, 或 21 个纹(壳)层组构成 4 个旋回, 由拱隆—平顶间拱隆—拱平顶纹(壳)层叠覆, 呈对称状叠锥(柱)笋体, 轴线呈“S”型, 重晶(粒)间孔, $\Phi=1\sim5\text{ mm}$ 中段大而多。
② 26.4 或 184.8	1.2 7 3.3 5.9 2 7	15.258	8.00 0.39 4.55 3.13 或 1.64~19.4	灰白夹灰黄雪白夹浅灰色, 微—细粒或细—粗(巨)晶方解石方解石组成纹(壳)层, 厚 0.5~1 mm, 轴部偶有残余纹层, 边部和亚旋回顶部纹层明显。	6 个纹(壳)层组, 构成 3 个亚旋回, 或 39 个纹(壳)层组构成 5 个旋回, 其顶部分别向一侧偏转, 组成顶略不对称叠覆柱锥状笋体, 轴线呈“S”线, 重晶粒大, 粒间孔 $\Phi=1\sim5\text{ mm}_0$ 。
① 40.2 或 24.1	2.3 8 4 16.4 1.5 8	18.947	2.69 1.74 8.75 0.36 5.45 或 0.44~1.83	暗灰夹灰色, 中上部灰白间夹灰色, 亚旋回顶均呈暗灰色, 微—细粒方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1~0.2 mm, 个别 2 mm, 中下段轴部具残余纹层。	6 个纹(壳)层组构成 3 个亚旋回, 其顶分别向一侧偏转, 组成基本对称的叠覆锥柱状笋体轴心, 呈“S”线, 轴部重晶, 粒晶孔多而大, 下旋回则少而小 $\Phi=1\sim5\text{ mm}$ , 个别 0.3~3 cm, 亚旋回顶部纹层明显。

将全笋碳、氧同位素平均值分别作为冷暖气候转(跃)变的临界值,全新世时(笋)段为温暖、湿润气候,笋段同位素比全笋偏轻,但表中数字说明碳、氧同位素偏重、转冷趋势明显,从早至晚的冷趋势极明显,其中⑨旋回碳同位素的暖异常,可能是生态系统特别是植被对环境适应(生)性的反映。关于中晚更新世大理冰期类 Heinrich 事件和不同级序冷暖转变的不稳定性特征等,冷时(笋)段显示都很突出,其中以 9 100 年(1 万年前后)、12 100 年、14 700 年、22 300 年、27 800 年、32 500 年、37 000 年、42 000 年、51 000 年、65 000 年、80 000 年、128 500 年、150 000 年前后的冷事件为主。其断代依据同样有上述综合地质现象和测年差值,亦有同位素差异及其转(跃)值,并与地质事件重合。

表 6 董歌洞 4 号笋上段同位素组成差异表

Table 6 Carbon and oxygen isotopic difference from the upper part of No.4 stalagmite in Dongge cave Libo

时(笋)段	*/ka	旋回	同位素组成 PDB*		备 注
			$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	
0.128		⑨	-6.8(11)	-7.94(11)	* 岩溶地质研究所同位素测试;
全		⑧	-5.22	-7.42	
新世			-5.9(15)	-7.54(15)	* * 长(厚)度 163.8 cm; ( ) 内为样数; [ ] 内为旋回间转(跃)变值。
			-4.22	-7.35	
		⑦	-5.5(26)	-7.8(26)	
			-4.68	-8.32	
世		⑥	-5.8(23)	-8.53(23)	
			-6.53	-8.94	
9.023		⑤	-6.2(38)	-8.9(38)	
⑤~⑨平均			-6.04(113)	-8.33(113)	
4 号笋平均			-4.95(325)	-7.37(325)	

3 结论

石笋以地层气候学参与第四纪(系)研究是成功的,比海洋和湖泊、河流沉积物、冰川和北方黄土或南方红土更易获得平行沉积剖面,以补充间断沉积时(笋)段,更有利高精度系统测年,应成为第四纪(系)研究领域的主要“成员”之一。石笋不仅是世界性分布的岩溶区的典型代表,而且是岩溶沉积建造中沉积韵律级序最明显,气候、环境、地质等信息记录最丰富的沉积物。荔波石笋地质年表,已建立距今 0.079~162.3 ka BP 中更新世晚期以来的精确时段,期间全新世(冰后期)与晚更新世晚大理冰期的分界断代为

9.363 ka 是准确的,晚更新世中大理冰期与中更新世早大理冰期的分界断代为 128.5 ka,也较准确。这些断代年龄与国内最新研究的断代框架不谋而合<sup>[22-23]</sup>,是否更接近自然,可供研究校正。期间还有距今 350 年、2 300 年、5 000 年、10 000 年左右的新仙女木、14 700 年和 22 300 年、27 800 年前后……类 Heinrich、80 000 年和 128 500 年、150 000 年前后的冷事件。这些不同级别的冷暖气候变化及其转(跃)变的不稳定性很突出,其起始和终止时间虽不明确,但冷跃变时段多数有断代年龄,而且与石笋沉积旋回、速率、暗色纹(壳)层夹层数量与分布、纹(壳)层组构类型和层面构造、碳氧同位素组成差异及其冷暖转变呈综合显示协调变化。

以石笋沉积纹(壳)层测年组建地质年表,必须选择沉积时(笋)段最长,连续沉积的大型石笋,其组成的纹(壳)层组最多,以免漏缺层或漏测,若个别时(笋)段间断沉积,甚至间断较长,必须有相应时(笋)段的石笋平行沉积。代表性石笋成笋之后,不遭洞水改造,确保测年原岩新鲜,样必须采在笋心的纹(壳)层轴部,岩芯样不宜跨纹(壳)层,更不得混样、受污染,以确保测年值精确可信。为保证年表质量,宜以系统测年建地质年表,尽可能逐一文(壳)层组或旋回的上、中、下均测年,主要断代界线上、下必须测年并尽可能加密或增测间断纹(壳)层组的年龄,避免测石笋上、中、下少数年龄,以内插法建表,更不宜用小型石笋建长时段年表,因石笋在滴一流水滴、停频繁变动中成笋,既有缺漏纹(壳)层也会漏测,只有大型石笋能较好地保持沉积连续和减少漏缺层以及漏测。

石笋沉积纹(壳)层组间、亚旋回间、旋回间的同位素年龄,特别是具断代意义的分界年龄,往往是石笋沉积间断的时间,也是气候、环境转(跃)变的时间,时间级序差异是气候演变期次不稳定性的表现。分界时(笋)段,必是气候环境变化剧烈或频繁的时段,也是冷跃(突)变的时段,因分界处各种冷标志和特征性纹(壳)层明显,碳、氧同位素偏重明显,从宏观、微观方面显示冷暖转化特征。在具备综合冷标志的地质条件下,可将碳、氧同步偏重作冷气候事件、冷暖转化的特征,紧邻其转化时(笋)的碳、氧分别超前或滞后偏重,则分别作为冷气候事件起始或终止的时间。因此,断代分界的时(笋)段是气候演变冷事件的显示。



## References[参考文献]:

- [1] YANG Zigeng, MOU Yunzhi. *The Synthetical Study of Beijing Man Site* [M]. Beijing: Science Press, 1985. 1-85 (in Chinese). [杨子庚, 牟昀智. 北京猿人遗址综合研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1-85.]
- [2] HUANG Peihua. Study on the comparison between the ERS dating ages, accumulation cycles of the accumulation formation in Beijing-Man cave and climatic cycles of deep sea cores [A]. *Study on the Comparison Between the Sea and Land* [M]. Beijing: Science Press, 1991. 6: 234-240 (in Chinese). [黄培华. 北京猿人洞堆积层的 ESR 年代、堆积旋回与深海气候旋回的对比研究 [A]. 中国海陆第四纪对比研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 6: 234-240.]
- [3] HUANG Wanbo. Cave deposit and fissure-filling sequence of China [J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(2): 155-163 (in Chinese). [黄万波. 中国的洞穴与裂隙堆积 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(2): 155-163.]
- [4] LIN Yushi, ZHANG Meiliang, QIN Jiaming, et al. The record of paleoclimatic environment in Lugu lake area of Linlan county, Yunnan [J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(3): 174-182 (in Chinese). [林玉石, 张美良, 覃嘉铭, 等. 云南宁蒗泸沽湖地区的古环境重建 [J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 174-182.]
- [5] DENG Ziqian, LIN Yushi, ZHANG Meiliang, et al. *Karst and Geologic Structure in Guilin* [M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988. 60-90 (in Chinese). [邓自强, 林玉石, 张美良, 等. 桂林地质构造与岩溶 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1988. 60-90.]
- [6] LIU Jiajing, LIU Qiang. Quaternary stratigraphy in China [J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(2): 129-141 (in Chinese). [刘嘉麒, 刘强. 中国第四纪地层 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(2): 129-141.]
- [7] SUN Dianqing, WU Xihao. Studies on the Quaternary glacial geology of China [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1986, 15: 121-134 (in Chinese). [孙殿卿, 吴锡浩. 关于中国第四纪冰川地质的研究 [J]. 中国地质科学院学报, 1986, 15: 121-134.]
- [8] WANG Sumin, XUE Bin. Study on the environment evolution of the Zouge basin since the middle Pleistocene epoch and Loess plateau correlation [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 25(7): 772-777 (in Chinese). [王苏民, 薛滨. 中更新世以来若尔盖盆地环境演化与黄土高原比较研究 [J]. 中国科学 (D), 1996, 25(7): 772-777.]
- [9] LIU Dongshen. *Loess, Quaternary geology and the Global change, Part I* [M]. Beijing: Science Press, 1990. 34-46 (in Chinese). [刘东生. 黄土、第四纪地质、全球变化 (第一集) [M]. 北京: 科学出版社, 1990. 34-46.]
- [10] LIN Yushi, ZHANG Meiliang, QIN Jiaming. Geological age and paleo-environmental records of a stalagmite from the Panlongdong cave, Guilin [A]. *Karst and Human Survival, Environment, Resources, and Hazards* [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press, 1996. 71-81 (in Chinese). [林玉石, 张美良, 覃嘉铭. 桂林盘龙洞石笋地质年代与环境 [A]. 岩溶与人类生存、环境、资源和灾害 [M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1996. 71-80.]
- [11] YUAN Daoxian, QIN Jiaming, LIN Yushi, et al. *High Resolution Paleoenvironmental Reconstruction up to 200 000 Years BP with Speleothems from Guilin* [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press, 1999. 20-80 (in Chinese). [袁道先, 覃嘉铭, 林玉石, 等. 桂林 20 万年石笋高分辨率古环境重建 [M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1999. 20-80.]
- [12] ZHANG Meiliang, YUAN Daoxian, LIN Yushi, et al. Isotopic ages and paleoclimatic implications of No. 3 Stalagmite from Dongge cave in Libo [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 425-433 (in Chinese). [张美良, 袁道先, 林玉石, 等. 贵州荔波董歌洞 3 号石笋的同位素年龄及古气候信息 [J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 425-432.]
- [13] PENG Zicheng. New technique of the dating Quaternary material: The development of the thermal ionization mass spectrometry-U series method [J]. *Quaternary Sciences*, 1997(3): 258-262 (in Chinese). [彭子成. 第四纪年龄测定的新技术——热电离质谱铀系法的发展近况 [J]. 第四纪研究, 1997(3): 258-262.]
- [14] YAO Tandong. Oxygen isotope stratigraphy of the Guliya ice core [J]. *Quaternary Sciences*, 1997(1): 52-59 (in Chinese). [姚檀栋. 古里雅冰芯氧同位素地层学 [J]. 第四纪研究, 1997(1): 52-59.]
- [15] CAO Xingshan. The magnetostratigraphy of the Qy1 drill hole of Jiuquan, Gansu [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1997, 21(4): 259-266 (in Chinese). [曹兴山. 甘肃酒泉 Qy1 钻孔磁性地层划分与对比 [J]. 地层学杂志, 1997, 21(4): 259-266.]
- [16] SUI Shuzhen, YAO Xiaofeng. Quaternary red earth stratigraphy in southern China [J]. *Quaternary Sciences*, 1997(1): 52-59 (in Chinese). [隋淑珍, 姚小峰. 中国南方第四纪红土地层 [J]. 第四纪研究, 1997(1): 52-59.]
- [17] ZHU Zhaoyu, XU Yifang, WEN Qizhong, et al. The stratigraphy and chronology of multicycle Quaternary volcanic rock-red soil sequence in Leizhou Peninsula, south China [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(3): 270-276 (in Chinese). [朱照宇, 徐义芳, 文启忠, 等. 华南雷州半岛第四纪旋回火山岩——红土系列的层序与年代 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(3): 270-276.]
- [18] LI Changan, GU Yansheng. Stratigraphic study on the vernicular red earth at Xiushui County, Jiangxi Province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1977, 21(3): 226-232 (in Chinese). [李长安, 顾延生. 江西修水第四纪网络红土的地层学研究 [J]. 地层学杂志, 1977, 21(3): 226-232.]
- [19] LIU Dongshen, ZHENG Honghan, LU Yanchou, et al. *Loess and Environment* [M]. Beijing: Science Press, 1985. 1-481 (in Chinese). [刘东生, 郑洪权, 卢滨涛, 等. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1-481.]
- [20] ZHOU Weijian, XUE Xiangzhao. Developments in studies of international Quaternary geology [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1995, 10(2): 136-142 (in Chinese). [周卫建, 薛祥照. 国际第四纪地质学研究进展 [J]. 地球科学进展, 1995, 10(2): 136-142.]
- [21] XIA Zhengkai. Prospects and status for the researches of Nihewan for-

- mation[ J ]. *Quaternary Sciences* , 2001 21( 3 ) :262-269( in Chinese ).
- [ 夏正楷. 泥河湾层的研究现状和展望[ J ]. 第四纪研究 , [ 23 ] LIU Dongsheng , SHI Yafeng , WANG Rujian , et al. Table of Chinese Quaternary stratigraphic correlation remarked with climate change[ J ]. *Quaternary Sciences* , 2000 20( 2 ) :108-128( in Chinese ). [ 刘东生, 施雅风, 王汝建, 等. 以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表[ J ]. 第四纪研究 2000 20( 2 ) :108-128. ]
- [ 22 ] LIU Jiaqi , WANG Wenyuan. Quaternary geological dating and time scale[ J ]. *Quaternary Sciences* , 1997( 3 ) :193-200( in Chinese ).
- [ 刘嘉麟, 王文远. 第四纪地质定年与地质年表[ J ]. 第四纪研

## THE GEOLOGICAL TIME SCALE AND CLIMATIC EVENTS FROM STALAGMITES IN THE LATE OR RECENT QUATERNARY PERIOD IN THE LIBO AREA , GUIZHOU , SOUTHWEST CHINA

LIN Yu-shi<sup>1</sup> , ZHANG Mei-liang<sup>1</sup> , CHENG Hai<sup>2</sup> , YUAN Dao-xian<sup>1</sup> ,  
QIN Jia-ming<sup>1</sup> , WANG Zhao-rong<sup>3</sup> , RAN Jing-cheng<sup>4</sup>

( 1. *Karst Dynamics Laboratory , Institute of Karst Geology , CAGS , Guilin 541004 , China ;*

*2. Department Geology and Geophysics , Minnesota University , MN 55455 , USA ;*

*3. University of Science and Technology of China , Hefei 230023 , China ;*

*4. The Management of Maolan National Nature Reserve in Guizhou , Libo 558400 , China )*

**Abstract :** The chrono-stratigraphy study of the large stalagmites in the karst area in south China shows that stalagmites are one of the main study object in the Quaternary period. The high-precision estimation of the age of stalagmite is more possible than that of the other sediments in the Quaternary period. From the normal order of the parallel dating age with 68 TIMS-U series samples in the Libo area of South Guizhou the geological time scale has been established since the late or recent Quaternary or since 162.3 ka B P , the boundary age of 128.5ka B P between Holocene and the late Pleistocene has been confirmed ; the jump time of a series cold events which ranges from 350 year B P to 2 300 year B P , the younger Dryas and the similar Heinrich , and so on have been put forward ; the trans-chron of the cold and warm climate is of the region correlation significance . It has been firmly believed that the geological time scale should be established by using the data of the system dating ages of large stalagmites rather than a calculation from two or three sediment rates by using a few dating age value and the “ system ” dating ages of the small stalagmites in order to avoid missing some important information such as depositional break , and the natural lack bed.

**Key words :** geological time scale ; neoid stage of Quaternary period ; stalagmite ; cold events ; Libo , Guizhou Province