

云南宁蒗泸沽湖地区的古环境重建^①

林玉石,张美良,覃嘉铭

(中国地质科学院岩溶地质研究所、国土资源部岩溶动力学开放研究实验室,桂林 541004)

摘要:在以岩溶记录重建区域岩溶发育史的基础上,以洞穴沉(堆)积物(特别是高分辨率)的洞穴沉积物提取石笋的气候、环境记录,建立了泸沽湖地区全新世以来气候环境演化过程:6568a 前凉湿间暖,偏冷,植(草)被较好。至 4184a 间,凉温湿润间凉干,是转暖过渡期,主跃变在 4396~4749a 间,植被好。4184a 至今,温暖湿润间冷(凉)干,转冷,植(草)被良好,局部转草被,近期趋向荒漠化,且局部已极严重。植被演化和干旱化趋势,源于自然因素,人类因素仅在局部范围或有限时段是主导因素。

关键词:古环境;石笋;泸沽湖地区;云南

中图分类号:P931.5:P532 **文献标识码:**A

泸沽湖地区的洞穴系统,伴随 4600m 以上的高岩溶台面,向中、低岩溶台面和现今岩溶台面间峡谷地貌演化,隧道由 4400m、3500m、2800m 高程上下的洞穴层逐级演化至今,高、中、低层洞水或泉群汇入峡谷,主水道形成以湖为核心的“同”字壳状岩溶水系。水系演变过程导致岩溶台面解体、洞穴层(系统)串通演变,以及洞内外白垩纪—第四纪的岩溶建造的沉(堆)积^[1]。这些岩溶记录,蕴含白垩纪以来区域岩溶发育框架的信息,利用中、低洞穴层的沉(堆)积物以及石笋记录,可揭示第四纪大理冰期后气候冷暖变化的规程和转冷趋势*。

1 洞穴及其沉(堆)积物发育概况

区域岩溶研究表明,高洞穴层零星分布在南北高岩溶台面附近,成洞期间白垩纪红色建造多数呈断陷盆地沉(堆)积,分布在永宁—宁蒗断裂带中,属溶裂和断陷充填物,有些呈不规则状或窄条状,是洞穴充填物,显露在山腰或陡崖间或崖坎处,如狮子山东狮子湾峡谷一带,有的洞穴充填物中还混杂基岩残体,如泸沽湖西侧落水三家村西,蚂蟥沟仙人洞附近的红色溶积钙砾岩。这些分布零散,规模不大,产状特殊的

红色建造,是高层洞穴系统在白垩纪的伴生建造。分布在狮子湾峡谷和拖支畜牧场峡谷的灰褐色和少量微粉红色溶积钙砾岩,以及格落洞群的黄褐色溶积钙砾岩,属较典型的洞穴沉(堆)积物,其中混杂较多钙华和滴一流石类等次生化学沉积物,分别伴生于中低岩溶台面及中、低洞穴层,应是第三纪的岩溶建造。至于发育在中、低洞穴层中的沉(堆)积物,其分布广、规模大、类型多,应为第四纪沉积建造。根据相关沉积层序、风化程度,特别是洞穴次生化学沉积物的形体、组合、复合及其类型差异,第四纪的沉积建造,可分为早、中、晚、近期沉(堆)积物(层)。上述三个成洞期的洞穴沉(堆)积物组合、沉积时序与洞穴类型的关系,不同类型的发育程度等,详见前文^[1],其分布如图 1。不同时期的岩溶建造,记录了岩溶地貌,特别是岩溶洞穴发育的相关时序,为重建古气候环境奠定了基础。

2 洞穴石笋的期序及其晚期沉积特征

据狮子山仙人洞、狮子湾洞群、狮子山南麓格落洞群,泸沽湖落水三家村西仙人洞群、拖支畜牧场峡谷洞群的石笋观测,以石笋表层的风化程度、滴(侵)蚀坑(穴、杯)发育度、笋表晶(石)花组合和粘结、笋体组

^① 基金项目:袁道先院士主持的 IGCP-379、448、国家自然科学基金项目(编号 49632100)和国土资源部项目(编号 9501104)资助
作者简介:林玉石(1935—),男,研究员。1964 年北京地质学院研究生毕业。

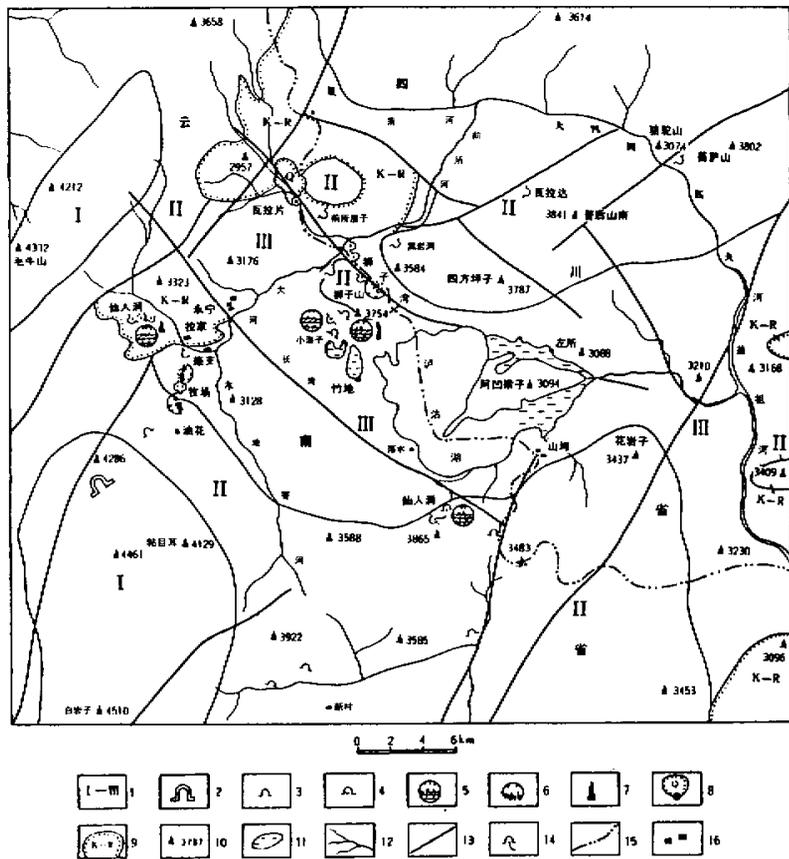


图 1 泸沽湖地区岩溶洞穴分布图

Fig. 1 The distribution of karst caves in the Lugu lake area, Ninglang county

1. 由石炭系—三叠系碳酸盐岩形成的高(I)、中(II)、低(III)岩溶台面; 2. 高层洞; 3. 中层洞; 4. 低层洞; 5. 已调研的洞穴沉(堆)积物; 6. 已调研的洞内、外岩溶崩(塌)塌复成因岩溶沉(堆)积物; 7. 综合研究的石笋样; 8. 温泉第四系钙华层; 9. 白垩—第三系岩溶沉(堆)积物建造和洞穴沉(堆)积物建造; 10. 峰顶海拔高程(m); 11. 泸沽湖水面及其沼泽化水体; 12. 水系; 13. 主干断裂(层); 14. 地下河出口; 15. 省界; 16. 乡镇(村)

(复)合特征,分为早、中、晚、近期石笋。本文仅介绍两个晚期石笋的沉积特征。

2.1 狮子山仙人洞 1 号石笋的沉积特征

仙人洞发育在上二叠统碳酸盐岩中,洞口高程 3500m。1 号石笋距洞口 350m,笋高大于 66cm,笋径 8~9.5cm,底部 13cm,顶部 3.5cm。石笋的纹(壳)层组成、沉积速率、结构构造等沉积特征见表 1,标志性特征是:沉积纹(壳)层组合韵律性明显,由笋底至顶组成 8 个沉积旋回,由 2~3 个亚旋回或 2~6 个纹层组构成旋回;纹(壳)层组或亚旋回间,特别是旋回间等,有结构构造、同位素组成或纹(壳)层组合差异,显示沉积时水量及其动态或古气候环境有变化,甚至有沉积间断,如③与④旋回间约存在 245a 间断沉积,⑤旋回结束前不仅水量最少,而且滴落点位移、间断沉积等动态

变化大;沉积纹(壳)层组合构成复(组)合笋段至单笋段。石笋下段由三个小笋体组(复)合成①~③旋回笋段,至中下段由 3~2 个小笋体组成③~⑤笋段,并渐变成单笋段,直至中上段为⑥~⑧单笋段,表明石笋早期沉积时至少有三个滴(落)水点,且水量较大,至中期由两个渐变成一个滴(落)水点,直至晚期仍保存一个滴(落)点,但有间歇性位移,且其水量渐减,但⑥~⑦旋回渐增;组成纹(壳)层的方解石粒度微小,质纯,间夹半透明纹层,纹层厚度 0.01~0.5mm,个别达 1~1.2mm,纹层组或亚旋回厚度均极小,旋回厚度仅 7~8cm,小者 5cm,大者仅 14cm,显示距今 9244~180a 间成笋的滴流量总量不大,变幅亦不大,滴落匀速,无污染。

表1 云南宁蒗永宁狮子山仙人洞1号石笋沉积特征表

Tab.1 The sedimentary characteristics of No.1 stalagmite from the Xianren cave of the lion mountain in Ninglang, Yunnan

沉积剖面	沉积厚度(cm)			沉积时间 (a)	沉积速率 (mm/100a)	纹(壳)层特征	纹(壳)层结构	年代 (年)	碳氧同位素平均值 (PDB) ‰		气候 旋回		
	旋回	亚旋回	纹层组						$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	冰期	冰阶	
	⑧ 5		0.3	529.3	5.67	灰白、乳白色夹无色半透明微、粉粒方解石组成纹(壳)层,顶部为棕褐色和无色半透明(壳)层,厚0.01~0.2mm(顶)	纹(壳)层组叠复呈对称状叠柱锥笋体(段),纹(壳)层由拱顶向上渐变为微拱顶,棕色纹(壳)层为风化壳纹层	179.0 180±120	-15.31	-3.59	温暖阶段		
			0.5										0.2
			2.8										2.8
			1.7										1.7
	⑦ 5.7		2.5	2.5	1005.7	5.67	无色半透明微、粉粒,重晶为细粒方解石组成纹(壳)层,中、下段有灰白色微、粉粒方解石纹层,中、下段有灰白色微、粉粒方解石纹层残余,厚0.01~0.1mm,晶(粒)间孔较多	纹(壳)层组由下而上叠复呈对称状叠柱笋(段),纹层组间为含Fe、泥质重晶间断纹(壳)层	708.3	-15.73			-3.42
			3.2	3.2									
	⑥ 14		5.6	2	2470	5.67	无色半透明夹灰白色和灰白色夹无色,顶部无色微、粉粒方解石组成纹(壳)层,厚0.1~0.5mm,顶、底部(段)为重晶方解石晶粒呈细粒状	纹(壳)层组由下而上叠复呈不对称状叠柱笋(段),仅底部纹(壳)层组向左倾,2组向右倾,自3-6组均居中,顶底部重晶明显	1714	-16.43			-3.53
				3.6									
			2.5										
			1.5										
		5		2.5									
		3.4		1.9									
	⑤ 7		1.2	1.2~1.6	1235	5.67	灰白色乳白色夹无色透明微、粉粒方解石组成纹(壳)层,往上夹层增多,至上部两间断纹(壳)层,厚0.5~1mm,其余厚<0.1mm	纹(壳)层组由下而上叠复,呈顶端明显右倾的叠柱锥笋(段)	4184	-17.89			-4.21
				1.8									
			4	4									
④ 8		1.1	1.1	1129.2	5.67	灰白色偶夹无色半透明微、粉粒方解石组成纹(壳)层,厚0.1~0.01mm,纹层轴部晶(粒)间孔较多,Φ0.1~1.2mm,方解石呈细粉粒状	纹(壳)层组由下而上叠复呈不对称微斜柱笋(段),拱顶纹层面自中段向上渐变为微拱平凹状顶面	5419	-18.22	-4.80			
		2.6	2.6										
		3.3	3.3										
③ 8.3		2.2	2.2	772.9	10.74	灰白色间无色半透明微、粉粒状方解石组成纹(壳)层,厚0.1mm,两亚旋回,下部粒间孔较多,Φ0.1~0.1mm,纹层向周沿缓慢变薄	纹(壳)层组叠复呈拱顶柱锥笋体(段),自中段较快生长,与侧笋分开,上旋回顶部中部沉积间断明显	6568.3	-18.7	-4.88			
			1.4										
		2.6	1.2										
	3.5	3.5											
		1.8	1.8	959.1	10.74	灰白色下中段以上间无色方解石渐多,呈微粉粒状,组成纹(壳)层组,层厚0.01~0.1mm,向周缘变缓慢	纹(壳)层由下而上叠复略呈“S”拱顶叠柱锥笋(段),自下中段起一侧与连生笋同步沉积,放射构造明显	7341.2	-18.68	-5.10			
		3.5	3.5										
		5	5										
① 7.5		2.5	2.5	558.7	10.74	灰白色间无色半透明方解石微粉粒组成纹(壳)层,厚0.01~0.1mm,向一侧变薄,但不明显	由下而上叠复呈略不对称微拱叠柱笋(段),是连生笋的中期笋连早期笋,一侧纹层较平,放射构造时隐时现	8300.3 8859±370 9243.7	-18.71	-5.03			
		3	3										
		2											
			2										

2.2 拉家仙人洞中洞 1 号石笋的沉积特征

仙人洞中洞发育在白垩系红色碎屑建造的碳酸盐岩砾岩中, 洞口高程 2900m。1 号石笋距洞口 20m, 笋高 35cm, 笋径底部 17~18cm, 顶部 7~9cm, 一侧略外凸。石笋表面呈暗灰色, 内部纹层呈乳白色间夹灰红色和灰黑色, 亦以韵律性纹层组合(图 2)。石笋沉积特征见表 2, 主要标志性特征是: 沉(淀)积的方解石晶粒极微小, 以质纯微粒组成纹层为主, 间夹含微量粘土矿物和炭质的纹层, 纹层厚仅 0.01~0.1mm, 显示滴流量小, 纹层组厚以 1cm 以下为主, 沉积旋回厚仅几厘米, 显然滴流量自③旋回后由大变小, 且渐减趋势明显; 沉积纹层韵律性组合具旋回性, 显示气候变化的周期性。距今 4200~2100a 间, 由笋底至笋顶沉积 6 个旋回(图 2), ①~③旋回纹层组合特征类似, 自④~⑥旋回减小、变复杂趋势明显, 且向一侧偏移。①~③旋回以间夹红灰黄色纹层为主, 至③旋回顶部被 2 灰黑色纹(壳)层取代之后, ④~⑥旋回灰黑色纹(壳)层夹层增多, 变厚, 沉积间断频繁, 特别是④旋回顶部和⑤旋回灰红色纹(壳)层呈微量或浸染状。6 个旋回的组合及同位素组成、厚度、纹层组和亚旋回等都有差异, 特别是旋回间或亚旋回或纹(壳)层组间的间断面变换频繁, 均从③旋回之后, 差异大、频率快, 显示 3000a 前

后气候演变的周期性, 特别是短周期跃变强度、频率增强, 如滴流量由大变小, 还呈现冷跃变化频繁及变冷趋势。

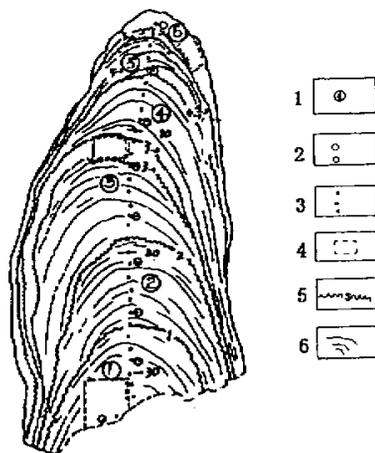


图 2 云南宁蒗拉家仙人洞中洞 1 号石笋纵剖面图
Fig. 2 The profile of No. 1 stalagmite from the middle Xianren cave in Ninglang, Yunnan
1. 沉积旋回序号; 2. 微(痕)量元素样位置; 3. 碳同位素样位置; 4. 测年样位置; 5. 沉积不整合序号; 6. 暗化、泥粒化纹(壳)层

表 2 云南宁蒗永宁拉家仙人洞 1 号石笋沉积特征表

Tab. 2 The sedimentary characteristics of No. 1 stalagmite from the middle Xianren cave in Ninglang, Yunnan

沉积厚度(cm)			沉积时间 (a)	沉积速率 (mm/100a)	纹(壳)层特征	纹(壳)层组构造	地质年代 (ka)	气候旋回	
旋回	亚旋回	纹层组						冰期	冰阶
⑥	>1.5	>1.5	123		乳白间灰白色微粉粒状方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1mm, 轴心略向一侧倾斜, 纹层略层, 纹层组中下部间夹灰色纹(壳)层	纹(壳)层由下而上叠复呈略斜歪叠锥型纹(壳)层组, 中、下部个别纹层间有微孔隙, 拱顶略对称叠复, 隐放射构造	2.06 2.1±0.2	温 暖 阶 段	末 次 冰 期 之 后
⑤	3.9	1.1	319.7		乳白间灰白色和灰白间乳白与灰白, 灰黑间灰色微粉粒状方解石组成纹层, 厚 0.1~0.01mm, 灰黑色间夹层除炭屑外, 可能有沥青质	上部两纹(壳)层组与下部两纹(壳)层组呈“S”形略斜不对称叠复, 呈拱顶略不对称叠复锥体(段), 纹(壳)层组间均为沉积间断, 以 5~2 间断长	2.18		
④	6.1	1.4	500	12.2	灰白色间乳白色, 顶部为灰色间灰黑色微粉粒方解石组成, 层厚 0.1~0.01mm, 纹(壳)层组间均夹一粉红色含 Fe、Mn 质纹(壳)层	由下而上纹(壳)层呈斜歪不对称叠复, 成斜歪锥体(段), 4 个纹(壳)层组间均有沉积间断, 以 4~1 间断长, 具间歇沉积, 暗色纹(壳)层组	2.5		
③	8.3	1.5	497		灰白色间乳白色偶夹粉红色微粉粒状方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1mm, 呈细微丝状层	上纹(壳)层组与下两纹(壳)层组呈“S”形斜歪不对称叠复, 成歪拱顶略不对称叠复锥体(段), 旋回顶部斜歪, 由滴水点转换而成	3.0±0.3 0.2		
②	7.6	2.7	455.1	16.7	灰白间乳白与灰白间微细灰白色微粉粒方解石组成纹(壳)层组, 并以微红-红白夹层多为旋回顶界, 含少量粘土矿物	由上(居中), 中(左倾), 下(右倾)旋回叠复呈“S”形微斜略不对称叠复锥体(段), 拱顶波状, 平顶微波状纹层面	3.84		
①	7.6	3.6	260.5 194.6 >455.1	18.2	乳白间灰白色夹粉红, 白色微粉粒状方解石组成纹(壳)层, 厚 0.1mm, 个别纹(壳)层含微量粘土矿物	由下而上纹(壳)层组叠复呈略斜歪不对称叠复锥体(段), 微波状拱顶纹(壳)层层面构造	3.94 4.2±0.3		

3 石笋年代及古气候环境记录

狮子山仙人洞 1 号石笋测年(表 3)表明:距今 8859~180a 间石笋沉积(生长)61cm。在以距笋顶 38cm 处 6531a 与底部 63cm 处 8859a 计算沉积速率,推算此笋段的组成①~③沉积旋回顶部的年代依序为

8300a、7341a、6568a,旋回间有 200~300a 级的沉积间断,以笋顶 2cm 处 180a 计速,依序获得④~⑧沉积旋回顶部的年代为 5419a、4184a、1714a、708a、179a。这些年值也是笋底至笋顶①~⑧旋回依序终止沉积的年代,其中⑤旋回晚期两次沉积间断依序为 4396a、4113a 前后,⑧旋回末有 70a 沉积间断。

表 3 云南泸沽湖地区洞穴石笋测年表

Tab. 3 The stalagmite ages in the Lugu lake area, Yunnan

洞穴石笋	距石笋顶 (cm)	样号	铀含量 (ppb)	钍含量 (ppt)	比 值				校正年代 (ka)
					$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	
拉家仙人洞 1 号**	0.5~1.5	Lx1-1	56		1.2861	0.0225	5.7894	2.1±0.2	
拉家仙人洞 1 号**	11~12.5	Lx1-2			1.3480	0.0407	2.8214	3.0± $^{0.3}_{0.2}$	
	15~18	Lx1-4			1.4067	0.0432	1130000	4.8±0.5	
	31~33	Lx1-5			1.3120	0.0364	18.9994	3.8±0.5	
	30~33.5	Lx1-3			1.2073	0.0525	3.1489	4.2±0.3	
狮子山仙人洞 1 号*	2	RxLu-3	19.89±0.59	63±9	0.0034±0.0016			0.18±0.12	
狮子山仙人洞 1 号*	38	RxLu-2	15.11±0.08	79±10	0.0941±0.0031			6.531±0.235	
狮子山仙人洞 1 号*	63	RxLu-1	11.45±0.04	165±10	0.1299±0.0045			8.859±0.37	

* 热电质谱 U 系测年方法,由明尼苏达大学(美)同位素室程海测定

** α 谱仪 U 系测年方法,由岩溶地质研究所同位素室测定

狮子山仙人洞 1 号石笋,自笋顶 1cm 往下至笋底,按间距 1cm 取碳、氧同位素测试样品 64 个,获得距今 9244a 以来系统的碳、氧同位素组成资料:全笋氧同位素平均值 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -17.53‰ (PDB),最大值为 -14.7‰ (PDB)、最小值为 -19.37‰ (PDB)。若以平均值作为冷暖气候转(跃)变的临界值,那么,同位素组成曲线由变幅较大的跳跃波转为波峰陡峻的跃变微波,再转为波幅极小的振荡微波,三类波型的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值分别为 -18.69‰ (PDB)、 -18.03‰ (PDB)、 -17.53‰ (PDB),分别显示 6568a 前为凉湿偏冷、6568~4184a 间是凉干温湿、4184a 以来是温暖干湿的气候演化。其韵律性变化,体现在①~⑧旋回的同位素组成上,即 $\delta^{18}\text{O}$ 依序有明显差异,变化范围 -18.71‰ ~ -15.31‰ (PDB)(表 1)。其根本转变点距笋顶 28cm 上下,即 4749a 前后,也是⑤旋回结束前的头次沉积间断前后,经第二次沉积间断之后,结束⑤沉积旋回,变为 $\delta^{18}\text{O}$ 值恒大于平均值 -17.53‰ (PDB) 的上部笋段。而全笋碳同位素平均值 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -4.32‰ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 最大为 -3.03‰ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 最小为 -6.01‰ (PDB)。若以平均值作冷暖气候转(跃)变的临界值,碳同位素组成曲线与氧组成曲线波型类同,虽变幅较大,但频率小,且个别跃变点略滞后,亦呈三段波型,其平

均值分别为 -5.01‰ (PDB)、 -4.48‰ (PDB)、 -4.32‰ (PDB),不仅显示气候周期性变化,还显示了各个旋回的环境的不同。因此,①~⑧旋回的平均值差异更明显,变化范围从 -5.03‰ ~ 3.59‰ (PDB)(表 1)。

拉家仙人洞中洞 1 号石笋测年结果(表 3)表明: Lx1-1、Lx1-2、Lx1-3 为正常年序,其它年龄值仅作参考。石笋自 4200~2100a 间生长 35cm,以 Lx1-2 处 3000a 与 Lx1-3 处 4200a 间的沉积速率计算,分别获得①~③旋回沉积终止年代为 3940a、3484a、3000a,以 Lx1-1 处间的沉积速率计算,分别获得④~⑥旋回沉积终止年代为 2500a、2180a、2057a。自笋顶 2cm 往下,按间距 1cm 取碳氧同位素样 33 个,测试表明:全笋平均值 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -13.55‰ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 为 -6.46‰ (PDB),若以此作为冷暖转换临界值,则 55% 的样品氧同位素偏重,58% 的样品碳同位素值偏重(图 3),均呈现气候偏暖。碳同位素组成曲线,由笋底至笋顶呈小波幅的跳跃波与小波幅的微振荡波相间组成,具韵律性演变,韵律间 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素平均值依序为 -13.84‰ ~ -13.16‰ (PDB),而 $\delta^{13}\text{C}$ 值依序为 -6.39‰ ~ -6.61‰ (PDB),虽然都分别接近彼此的全笋平均值,但阶段性变化趋向明显,3000a 前后是转变年代,其前 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -13.72‰ (PDB),小于平均值,

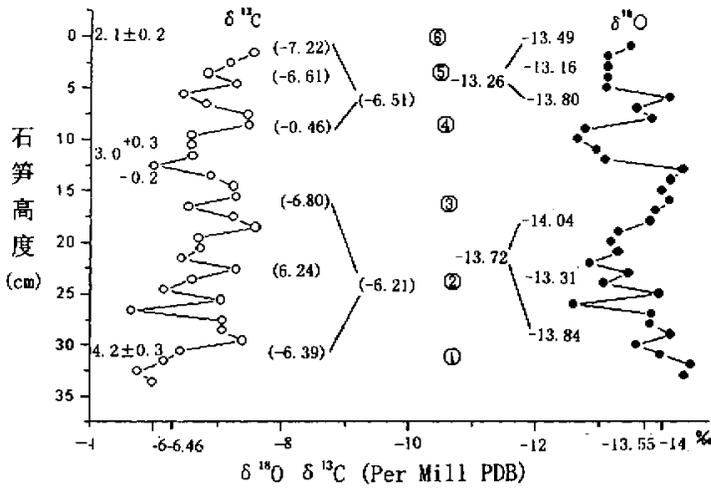


图 3 拉家仙人洞 1 号石笋的碳氧同位素曲线

Fig. 3 The graph of carbon and oxygen isotopes in No. 1 stalagmites of the Xianren cave

①、③为石笋沉积旋回及序号; 4. 2 ± 0. 3 为石笋形成年龄(ka)

之后为 -13.26‰ (PDB), 大于平均值, 而 $\delta^{13}\text{C}$ 在 3000a 前为 -6.21‰ (PDB), 大于平均值, 之后为 -6.51‰ (PDB), 略小于平均值, 显示气候在 3000a 前较温暖且滴流量较大, 之后较温暖间冷(凉)干, 滴流量减少。 $\delta^{13}\text{C}$ 突出地反映了气候环境效应, 3000a 前保持温暖凉植被环境属性, 之后植被转温暖呈现跃变或转凉。同位素曲线组成波型的变化同石笋组成旋回沉积纹层组的变化一致, 总体看 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅较大, 但转变频率和波幅都较少, 3000a 前呈振荡波型, 之后以跳跃波型为主, 而 $\delta^{13}\text{C}$ 值则变幅小, 但转换频率大, 在 4200~2100a 间, 均以振荡波型为主, 但在 4200a 前后和 2100a 前均具跃变或振荡特征。这些韵律性变化与沉积旋回的纹(壳)层组变化基本协调一致, 虽变幅或转变(换)频率或波幅略不同, 如 $\delta^{18}\text{O}$ 在①、③、⑤旋回的波幅及其转变频率远不如 $\delta^{13}\text{C}$, 显示氧同位素反映的气候由凉温至温暖效应明显, 但碳同位素除具气候效应外还有环境适应性反映, 而且沉积终止与同位素含量转(跃)变重合。因此, ①~⑥沉积旋回及其间的亚旋回或纹层(壳)组, 依序与气候演变周期及其间的短周期一致。沉积旋回终止或气候跃变时间依序是 3940~2057a 前后(表 2)。

4 宁蒗泸沽湖地区全新世以来的古环境重建

竺可桢, 1933 年标明泸沽湖地区盛行西南风及南风^[2], 1935 年明确指出“西藏南部和云南西部, 水气取给于印度洋”^[3], 至今气象、地理、地质、湖泊等学者都确认, 本研究区的气候变化受西南季风的影响^[4,5]。但前人对古气候环境的变化规程涉及不多。北部程海现代沉积物有机质研究表明: 程海水位呈下降趋势, 向干旱化发展, 且和区域气候明显经历干湿变化两阶段, 但变化时间不能确定^[6]; 对南部洱海沉积物作多次全面研究, 确定 8850~5900a 间存在暖湿冷(暖)干和温湿、冷干气候波动, 其间的高、低水位变化, 主要受西南季风强弱与时空迁移控制, 但 7200a 和 5300a 的冷事件与东亚冬季风加强有关, 4000a 以来的冷湿—温干气候变化, 源于东亚夏季风减弱, 西南季风和东亚冬季风相对加强^[6]。

泸沽湖沉积物研究表明: 100a 来气候变迁经历冷—暖—冷—暖波动^[7]。我们在岩溶记录的基础上, 建立湖区前白垩纪、白垩—第三纪、第四纪以来岩溶发育史框架, 以高分辨率的石笋记录(图 4)证实, 区内石笋的碳、氧同位素组成的差异变化与沉积纹(壳)层的组合协调一致, 具旋回性, 亦有重现对比意义(表 1、图 3、4、表 4)。如前述, 距今 9244~180a 间石笋沉积 8 个旋回, 若以全笋同位素平均值 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -17.53‰ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 为 -4.32‰ (PDB) 作冷暖临界值, 则①旋回沉积 559a, 其中 71.4% $\delta^{13}\text{C}$ 的样和 $\delta^{18}\text{O}$ 均显示偏冷, 三个冷暖跃变点与三个沉积亚旋回终止点基本对应。②旋

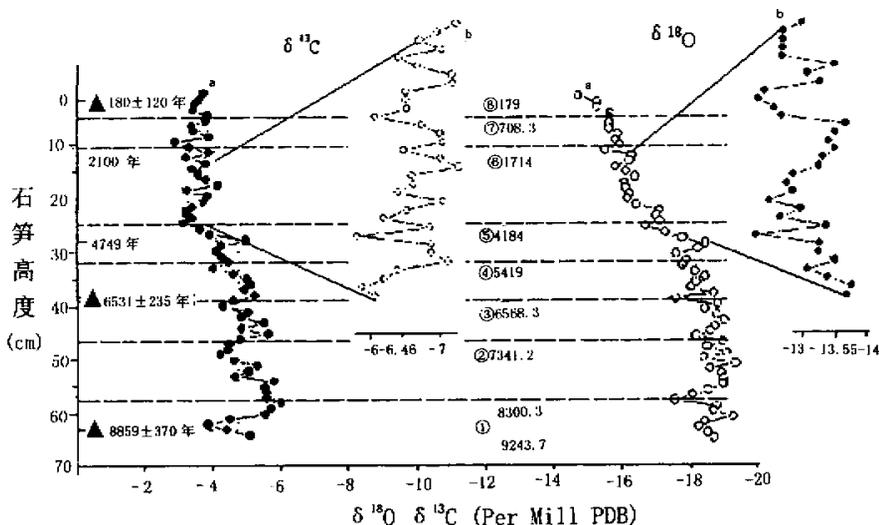


图 4 云南泸沽湖地区石笋碳氧同位素曲线图

Fig. 4 The graph of carbon and oxygen isotopes of stalagmites in the Lugu lake area, Yunnan

▲测年样位及年龄;②7341.2 石笋沉积旋回序号及其终止年代
 a. 狮子山仙人洞 1 号石笋; b. 拉家仙人洞中洞 1 号石笋

回沉积 959a, 其中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 90.9% $\delta^{13}\text{C}$ 样均显示偏冷, 三个冷跃变点与三个亚旋回终止点基本对应。③旋回沉积 773a, 其中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 87.5% $\delta^{13}\text{C}$ 样均显示偏冷, 三个冷跃变点与三个亚旋回终止点重合。④旋回沉积 1412a, 其中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 71.4% $\delta^{13}\text{C}$ 样显示偏冷, 三个冷跃变点与三个亚旋回终止点重合。⑤旋回沉积 1235a, 其中 57.1% $\delta^{18}\text{O}$ 和 14.3% $\delta^{13}\text{C}$ 样显示偏冷, 而 42.9% $\delta^{18}\text{O}$ 和 85.7% $\delta^{13}\text{C}$ 样偏暖, 说明⑤旋回是气候强烈转变期, 且 $\delta^{13}\text{C}$ 指示环境生态具强烈适暖性。⑥~⑧旋回的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 都显示温暖, 但程度和状态不同, ⑥旋回沉积厚度 14cm, 时间达 2470a, 早期 $\delta^{18}\text{O}$ 偏温 $\delta^{13}\text{C}$ 偏暖, 中期 $\delta^{18}\text{O}$ 偏暖且稳定而 $\delta^{13}\text{C}$ 温暖跃变大, 晚期 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 均温暖跃变, 但 $\delta^{13}\text{C}$ 显示频率大, 呈跳跃、振荡相间的变化模式, 在 4200~2100a 时段内, 狮子山仙人洞 1 号石笋与拉家仙人洞中洞 1 号石笋的变化模式完全重现, 如图 4 中的 b 曲线与相应时段 a 曲线具相似性。⑦旋回沉积 1006a, 早期 $\delta^{18}\text{O}$ 显示略偏温, 变幅极小, $\delta^{13}\text{C}$ 偏温, 变幅较大; 晚期 $\delta^{18}\text{O}$ 偏暖, 稳定, $\delta^{13}\text{C}$ 温暖振荡变化。⑧旋回沉积 529a, $\delta^{18}\text{O}$ 显示温偏暖, $\delta^{13}\text{C}$ 显温偏凉, 转冷趋势明显。总之, 石笋碳氧同位素冷暖显示同沉积纹层组合变化协调一致, 表现在沉积旋回、亚旋回或纹(壳)层组与气候演变周期、短周期彼此对应, 也显示冷暖转(跃)变与沉积突变(终止)重合。此外, $\delta^{13}\text{C}$ 轻重样的比例渐变成以重为主, 标志植被从有限保留冷植被渐变为温暖植被, 冷暖植被交

织演替是植被环境适生特征的反映。

综上所述, 泸沽湖地区第四纪末次冰期后的气候演变规程如表 4 所示。我国南方古环境研究表明^[9], 新仙女木冰期冷跃变之后, 全新世暖温期(间冰期), 以跃变转暖者如桂林, 冷期沉积纹(壳)层间夹很少; 渐变者, 冷期沉积纹(壳)间夹较多, 如桂北、贵州和泸沽湖地区。泸沽湖地区自新仙女木冷跃变之后, 全新世以来气候的冷暖波动呈渐变为主: 9244~6568a 间, 气候凉湿间暖, 偏冷, 植被较好, 6568~4184a 间, 气候凉温湿间凉干, 植(草)被好, 这时期是气候转暖过渡期, 主跃变在 4396~4749a 间, 其前后主要冷跃变则是①~⑧旋回终止年代。4184~179a 间, 气候温暖湿润间冷(凉)干转冷, 植(草)被良好, 局部草被或荒漠化。早、中、晚三个阶段, 分别由 3 个、2 个、3 个周期组成, 各周期均有 2~3 个短周期。演变的阶段性、旋回性明显, 时限演变有序, 阶段性时限 2000~3000a 级, 周期性时限 500~1000a 级, 100a 级的短气候周期显示在石笋沉积旋回的亚旋回或纹(壳)层组中, 如狮子山 1 号石笋②旋回, 沉积 959a, 其间有两次跃变, 三个沉积亚旋回, 亚旋回依序为 500a、300a、200a 左右的沉积时间。再如该石笋的⑥旋回和拉家仙人洞 1 号石笋的①~⑥旋回, 前者沉积时间 2470a, 由 3 个亚旋回 6 个纹(壳)层组组成, 具 400a 级演变的短周期, 而后者沉积 2100a, 6 个旋回, 也有近 400a 级演变周期, 而短周期将降至 100a 级或 10a 级。源于西南季风的控制, 西南温湿气

表 4 云南泸沽湖地区全新世气候演变表

Tab. 4 The climatic evolution of the Holocene epoch in the Lugu lake area, Yunnan

石笋沉积记录(a)	气候期			气候阶段			气候旋回			备注
	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$	表现	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$	表现	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$	表现	
179 ▲ 2cm 处 180 ⑧	-3.59	-15.31	温凉, 干	-4.32	-17.53	凉干 温暖 间冷 干	-4.32	-17.53	末次冰期 后 间冰期	$\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 均为平均值 (‰PDB) 圈码为石笋沉积旋回及其序号 ▲ 测年样位及年龄值: 由明尼苏达大学(美)同位素室程海测定 4184 为石笋沉积旋回终止年龄
708.3 ⑦	-3.42	-15.73	暖温, 冷干							
1714 ⑥	-3.53	-16.43	温干							
4184 ⑤	-4.21	-17.89	凉温, 干	-4.48	-18.03	凉干 温湿	-4.32	-17.53		
5419 ④ ▲ 38cm 处 6531	-4.80	-18.22	温凉, 湿							
6568.3 ③	-4.88	-18.70	凉湿	-5.01	-18.69	凉湿 偏冷 间暖	-4.32	-17.53		
7341.2 ②	-5.10	-18.68	凉暖, 湿							
8300.3 ① ▲ 63cm 处 8895 9243.7	-5.03	-18.71	凉温, 湿							

流增强, 促使碳 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 变重, 但是否早期受西风干扰, 晚期受东亚较强冬季风干扰, 导致 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 变重, 尚待扩大研究领域, 深入探索。但 30 年来, 泸沽湖区淤填, 湖面缩小; 竹地—长湾谷地洪积物吞占良田、溪沟、桥、路, 变成乱石谷滩, 泉群河道, 如今成为乱石滩中的冒水点(塘), 且东段的中海子、竹地已填满, 接近干涸; 永宁盆地是世界最高海拔 2640m 水稻区, 现洪积物占据旱地、吞没水田, 盆中大河水分支漫流, 因前所峡谷段填塞排泄不畅, 场场洪水都成灾; 地箐河峡谷和拖支河水, 原质纯甘甜, 如今一场大雨, 沿河百姓三天吃不成清水, 洗不成衣服, 所有这些惨重的荒漠报应, 皆源于青山变光(荒)山, 人为的森林砍伐(退化)。

5 结 论

(1) 3500m 高程上下洞穴层中石笋的沉积结构, 碳氧同位素等记录, 是高分辨率重建云贵高原古环境的重要依据。

(2) 石笋同位素组成对气候环境效应的敏感度不同, 氧同位素组成反映气候因素, 碳同位素在配合氧反映气候因素的同时, 还突出反映环境因素的变化, 显示冷、暖植被的演替。

(3) 泸沽湖地区全新世以来古气候环境的演变规律是: 6568a 前凉湿间暖, 偏冷, 植(草)被较好。至 4184a 间, 凉温湿间凉干, 是转暖过渡期, 主跃变在 4396~4749a 间, 植被好。4184a 至今, 温暖湿润间冷(凉)干转冷, 植(草)被良好, 局部转草被, 近期趋向荒漠化, 而且局部极为严重。

(4) 古气候环境演变或恶化, 取决于自然因素, 而人类因素则在近期(代)或某短时段和一定范围起主导作用。

参考文献:

[1] 林玉石等. 云南宁蒗泸沽湖岩溶洞穴特征及泸沽湖成因初探[J]. 中国岩溶, 2000, 19(3): 232-238.
 [2] 竺可桢. 中国气流之运行[A]. 《竺可桢文集》[C], 北京, 科学出版社, 1933, 163-175.
 [3] 竺可桢. 中国气候概论[A]. 《竺可桢文集》[C], 北京, 科学出版社, 1935, 192-210.
 [4] 王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J]. 科学通报, 2000, 44(6): 579-586.
 [5] 徐经志, 万国江等. 云南泸沽湖洱海现代沉积物中²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 的垂直分布及其计年[J]. 湖泊科学, 1999, 17(2): 110-116.
 [6] 陈敬安, 万国江. 云南程海现代沉积物环境记录研究[J]. 矿物学报, 2000, 20(2): 112-115.
 [7] 陈毅凤, 万国江. 泸沽湖沉积物小纤维素的提取及其稳定同位素

研究初探[J].地质地球化学,1999,27(4):72-75.

[8] 张振克等.全新世大暖期云南洱海环境演化的湖泊沉积记录

[J].海洋与湖泊,2000,31(2):210-214.

[9] 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,1999:32-60.

THE RECORD OF PALEO-CLIMATIC ENVIRONMENT IN LUGU LAKE AREA OF NINGLANG COUNTY, YUNNAN

LIN Yu-shi, ZHANG Mei-liang, QIN Jia-ming

(*Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin 541004, China*)

Abstract: On the basis of the karst development history in the regions where karst records are reconstructed, the evolution process of climate and environment since the Holocene epoch in the Lugu lake area has been established by using the records of cave sediments, especially the climatic and environmental records extracted with high resolution from stalagmites. Cool-humid climate was intercalated with the short warm climate period in 6568a B. P., and vegetation covered well. And cool-warm-humid climate was intercalated with dry and cool climate between 6568a and 4148a B. P., which was an interim warm period. The key jump change period is between 4396a and 4749a B. P., vegetation covering well. The climate became cold from 4148a B. P. to the present, including a warm-humid period intercalated with dry cool or cold period, vegetation covering very well. In the near future it exists a trend of desertification, some areas having been very serious. The evolution of vegetation cover and the trend of drought result from natural factors, but human factors are dominant only in some regions or during a limited period.

Key words: Paleo-climatic environment; Stalagmite; Lugu lake; Yunnan

普者黑景区天然大佛

普者黑景区的“天然大佛”座落于云南省邱北县马者龙村一座叫“老妈妈山”的石山上。这个村之所以叫马者龙,是因为这里多怪石,并有九座山相连,群峰拱翠,形似奔腾的俊马和飞龙而得名。在老妈妈山靠近山顶的地方有一面灰白悬崖,整个悬崖就如同一尊完整的佛像,佛像的头高约 14m,宽约 9m,面带微笑,安祥自得,无论是眼睛、耳朵、还是鼻子、嘴唇,都像出自能工巧匠之手似的。佛像结构匀称,形态逼真,自然天成,令人百看不厌。更令人叫绝的是,佛像左眼微闭,似看破红尘,对人间世事睁一只眼闭一只眼,表露出“出家人”宽大的胸怀。

天然大佛距邱北县城仅 10 多公里,是普者黑景区明星景观之一。在“天然大佛”的周围石峰突兀如利剑、玲珑如雕琢,个体形态有的如青龙,如乌龟,如骆驼,有的似天柱,似城堡……在“天然大佛”的视野内还有 16 个湖泊共 2 万亩水面,似粒粒珍珠串连在一起,游人可泛舟其间,饱览大自然鬼斧神工雕琢的幅幅画卷,追寻着那久远、美丽的传说。

据说,到这里来的游人,凡会写文章者,人人都会感到才思敏捷,文如涌泉。

(朱法飞 供稿)