

# 福建宁化天鹅洞石笋年代和古温度<sup>①</sup>

李平<sup>1</sup> 彭子成<sup>1</sup> 文启彬<sup>2</sup> 李玉成<sup>2</sup> 杨辉<sup>2</sup> 洪阿实<sup>3</sup>  
许志峰<sup>3</sup> 王明亮<sup>2</sup> 业渝光<sup>4</sup> 和杰<sup>4</sup> 刁少波<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (中国科技大学, 合肥 230026)

<sup>2</sup> (中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 兰州 730000)

<sup>3</sup> (国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)      <sup>4</sup> (地矿部海洋地质所, 青岛 266071)

**提 要** 石笋的实测年龄和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化同深海岩芯 V 28—238 对比相吻合, 大于 25 万年前生长, 1.8 万年后停止, 属中更新世产物, 该区和全球古气候变化同步。同台湾海峡、中国南海古环境相同。 $\delta^{13}\text{C}$  的变化在  $\delta^{18}\text{O}$  7—6、5—4、3—2 段界期有明显的不同, 对温度变化和年代划分亦有参考价值。

**关键词** 石笋 年代 氧同位素 古温度

**第一作者简介** 李平 男 58 岁 工程师 质谱学和同位素地球化学

洞穴沉积生长的石笋是研究几十万年以来环境变化的好对象, 石笋生长过程中受大气圈和水圈环境影响, 因地史较短, 很少受干扰和破坏, 真实地保留了当时环境变化, 用高精度的同位素测温技术对石笋进行研究, 可获得可靠温度变化, 恢复本来的环境。众所周知, 人类的生活生产诸多方面受气候变化的直接和间接的影响。如沙漠扩大, 动植物变迁, 海平面的升降等, 特别是近十多年来世界气候的异常, 发生了许多自然灾害, 更引起了人们的关注, 所以研究古环境的变迁史, 了解气候的波动规律, 对于预测当代气候的变化具有重要意义和参考价值。

宁化县位于福建省西部的武夷山区, 靠近江西省, 处于丽水-龙岩-梅山大断裂带上, 这里有震旦纪以来一套岩石, 加里东及燕山期, 岩浆活动强烈, 因而 NNE、NE、NW 向构造发育, 本区属亚热带, 雨水充沛, 植被茂盛, 岩溶发育, 龙岩、永安、将乐和三明等地都有岩溶。

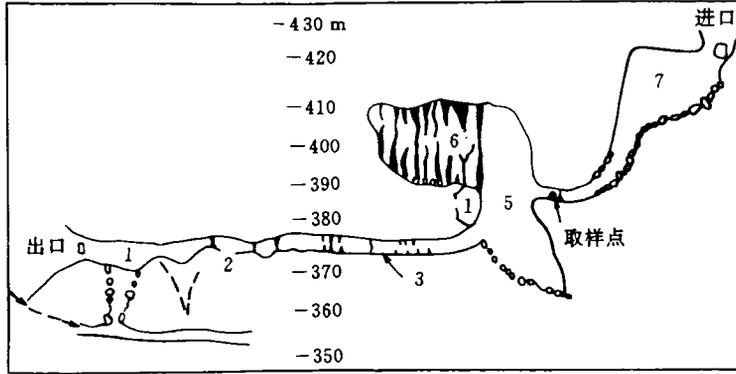
宁化天鹅洞在石炭二叠纪岩石中, 该地发现 14 个洞群, 天鹅洞是其中之一, 位于湖村乡石峡村东约 500 m, 洞属楼台型, 有五层, 洞高 30 m, 洞深 1 km, 全洞 7 个厅, 长有钟乳石, 石笋等, 形态各异绚丽多姿, 非常美丽, 在洞中有高 20 多米的石瀑布, 非常壮观而具特色。

## 1 石笋年代

本石笋采自洞穴第 7 厅, 见图 1, 高 67 cm, 直径 40 cm, 似葫芦状, 石笋切开后生长轮明显, 从顶沿垂直生长线向下 20、40、60 cm 处, 由明显的凹形生长到弧形生长, 这之间没有沉

① 1) 中国科学院兰州地质所气体地球化学国家重点实验室资助。  
2) 国家自然科学基金资助。

积间断,反映了气候和水量的变化,就在这三处位置取了样品用<sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U 法测年,顶部用<sup>14</sup>C 测年,(见图 2-a)测量结果如下:



(1) 1—7 表示洞中厅的位置 (2) 负号数表示峰顶向下距离

图 1 福建省宁化县湖村天鹅洞纵剖面图

Fig. 1 Vertical section of the TianE cave, Ninghua County, Fujian Province

### 1.1 铀系<sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U 法测年

利用 U、Th 核素在地表地球化学性质不同测年,U 易溶于水,在碳酸水中形成铀酰碳酸络合物,保存在方解石格架中,Th 则相反,被水带走,<sup>234</sup>U 衰变为<sup>230</sup>Th 的时间就可计算出来。样品用化学方法处理,经离子交换树脂分离萃取等多道程序,分别提取 U、Th 在 a 谱仪上测量,最后得出年龄值<sup>(1)</sup>。测得结果是:

距顶 20—22.5 cm	样量重 50g	年龄 6.2±0.3 万年
距顶 40—42.5 cm	样量重 50g	年龄 16.56 <sup>+3.62</sup> <sub>-2.67</sub> 万年
距顶 60—64 cm	样量重 100g	年龄 21.5±6 万年

U 含量 0.2—0.1×10<sup>-6</sup>,<sup>230</sup>Th/<sup>232</sup>Th 在 10—18,扣除<sup>232</sup>Th,长达一个星期的测量,数据是可信的,和 V28—238 对比可说明数据可信度。

### 1.2 石笋的 δ<sup>18</sup>O 变化和年龄同 V28—238 对比

从石笋顶部沿垂直生长线向下,系统的取 45 个样,分析结果列在表 1 中,并绘制 δ<sup>18</sup>O 和 δ<sup>13</sup>C 随时间不同而变化的曲线见图 2-a。δ<sup>18</sup>O 实际上是反映气候变化的信息地层气候学,这和深海岩芯 δ<sup>18</sup>O 曲线意义相同,由 Shackleton 等<sup>(2)</sup>测得太平洋深海岩芯 V28—238 内的有孔虫 δ<sup>18</sup>O 和年代已成为第四纪标准剖面,石笋的 δ<sup>18</sup>O 和年代同它对比,可看出是吻合的,见图 2-a、b。由石笋下部向上叙述:

(1)石笋 60—64 cm 年龄为 21±6 万年,误差较大些,下部 64 cm 处年龄定在 25 万年是可行的,因为在误差之内。此时 δ<sup>18</sup>O 曲线表明开始进入升温期,V28—238 的 8 段低温期进到 7 段的升温时年龄也是 21.5 万年,石笋年代和它相同。

(2)V28—238 的 δ<sup>18</sup>O 5 段是特征的温暖期,有五个亚期,一般用作对比标准,5—6 段界年龄为 12.8 万年。石笋 40—42.5cm 年龄为 16.45 万年,而 39cm 处按最小年龄值计算可在

13.5 万年,正是  $\delta^{18}\text{O}$  的 5—6 段界年龄,石笋  $\delta^{18}\text{O}$  的 5—6 段也是温暖期,并有 5 个亚期,两者相一致。

表 1 石笋的同位素值,温度值和年龄值

Table 1 Isotopic composition, temperature and age of the studied stalagmite

编号	距顶 CM	$\delta^{18}\text{O}\%$ PDB	$\delta^{18}\text{O}\%$ SMOW	$\delta^{13}\text{C}\%$ PDB	温度 C	年代 万年	编号	距顶 CM	$\delta^{18}\text{O}\%$ PDB	$\delta^{18}\text{O}\%$ SMOW	$\delta^{13}\text{C}\%$ PDB	温度 C	年代 万年
						1.8	90-24	34.5	-9.71	20.85	10.67	23.2	
							90-25	35	-9.70	20.86	-10.67	23.1	
90-1	2.5	-8.6	22.00	-8.02	18.1		90-26	37	-8.84	21.75	-9.72	19.2	
90-2	4	-8.9	21.69	-8.87	19.5		90-27	38	-9.55	21.02	-8.99	22.4	
90-3	5	-9.4	21.17	-8.00	21.7	3.2	90-28	39	-9.54	21.03	-9.12	22.4	
90-4	6.5	-9.5	21.07	-7.97	22.2		90-29	40	-7.78	22.84	-9.50	14.6	-3.6
90-5	8	-9.6	20.96	-8.38	22.7		90-30	42.5	-8.31	22.29	-9.24	16.9	16.56
90-6	9	-10.0	20.55	-7.20	24.5		90-31	44	-8.40	22.2	-9.10	17.3	-3.6
90-7	10.5	-9.5	21.07	-10.18	22.2		90-32-1	45	中-9.28	21.28	-10.20	21.2	
90-8	12	-10.4	20.14	-10.75	26.4		90-32-2	左-8.04			-10.81		
90-9	13.5	-10.3	20.24	-9.23	26.0		90-32-3	右-7.86			-9.75		
90-10	14.5	-9.9	20.66	-9.26	24.1		90-33	47	-8.39	22.2	-8.61	17.2	
90-11	16.5	-10.3	20.24	-9.46	26.0		90-34	48.5	-8.86	22.73	-10.10	19.3	
90-13-1	右 18.5	-6.69		-7.49			90-35	50	-8.39	22.21	-8.92	17.2	
90-13-2	中 18.5	-8.95	21.63	-9.76	19.29		90-36	52	-7.21	23.43	-8.28	12.2	
90-13-3	左 18.5	-8.86	21.73	-9.85	19.3		90-37-2	54	-9.26	21.31	-7.96	21.1	
90-14	20	-8.84	21.75	-9.55	19.2		90-38	55	-8.11	22.50	-7.20	16.0	
90-15	22	-7.75	22.87	-8.81	14.4	6.25±0.3	90-39	56	-8.13	22.48	-6.92	16.1	
90-16	24	-7.29	23.35	-9.76	12.5		90-40	57.5	-8.37	22.23	-7.55	17.1	
90-17	25	-7.45	23.18	-8.96	13.2		90-41	59	-8.17	22.44	-7.05	16.1	
90-18	26.5	-6.99	23.65	-7.87	11.3		90-42	60	-8.41	22.19	-7.82	17.3	
90-19	28	-9.55	21.02	-8.99	22.4		90-43	63	-8.88	21.76	-7.29	19.4	21±6
90-20	29	-7.58	23.05	-9.58	13.7		90-44	64	-6.67	23.96	-7.12	9.95	
90-21	30	-6.89	23.76	-8.90	10.8		90-45	65	-7.89	22.73	-7.08	15.0	
90-22	31.5	-9.82	20.74	-9.18	23.6		石笋滴水			-8.32			
90-23	33	-8.84	21.75	-10.48	19.2		洞穴		-8.48		-0.6		

(3)石笋 20—22.5cm 处年龄为  $6.2 \pm 0.3$  万年,正是由寒冷向温暖转化时期。V28—238 的  $\delta^{18}\text{O}$  的 3—4 段界年龄 6.4 万年,两者也是一致的。

(4)在石笋 20 cm、40 cm、60cm 位置实测了年代,并划出石笋  $\delta^{18}\text{O}$  的 8—7、6—5、4—3 段界和年代,和 V28—238 对比是吻合的,那么石笋  $\delta^{18}\text{O}$  的 7—6、5—4 段划分和年龄确定就容易了。依据是:首先我们知道  $\delta^{13}\text{C}$  的 7—6、5—4 段界并确定年代,其次是依据石笋各段生长率来计算确定年龄,第三是  $\delta^{18}\text{C}$  的变化,可看出石笋 7—6、5—4 分界处和氧同位素变化有明显的不同,所以石笋  $\delta^{18}\text{O}$  的 7—6 段年龄为 19 万年,5—4 段界年龄是 8 万年。

(5)石笋为棕色,镜下鉴定为结晶方解石,但在石笋顶部一侧又生长了一块灰色透明的方解石,显然是后生的, $^{14}\text{C}$  测得年龄是  $18651 \pm 303$  年,它的下端斜距 2.2—5.5 cm 的棕色方解石年龄是  $32032 \pm 453$  万年;表明两者之间有短时的沉积间断,显示出冰川条件。

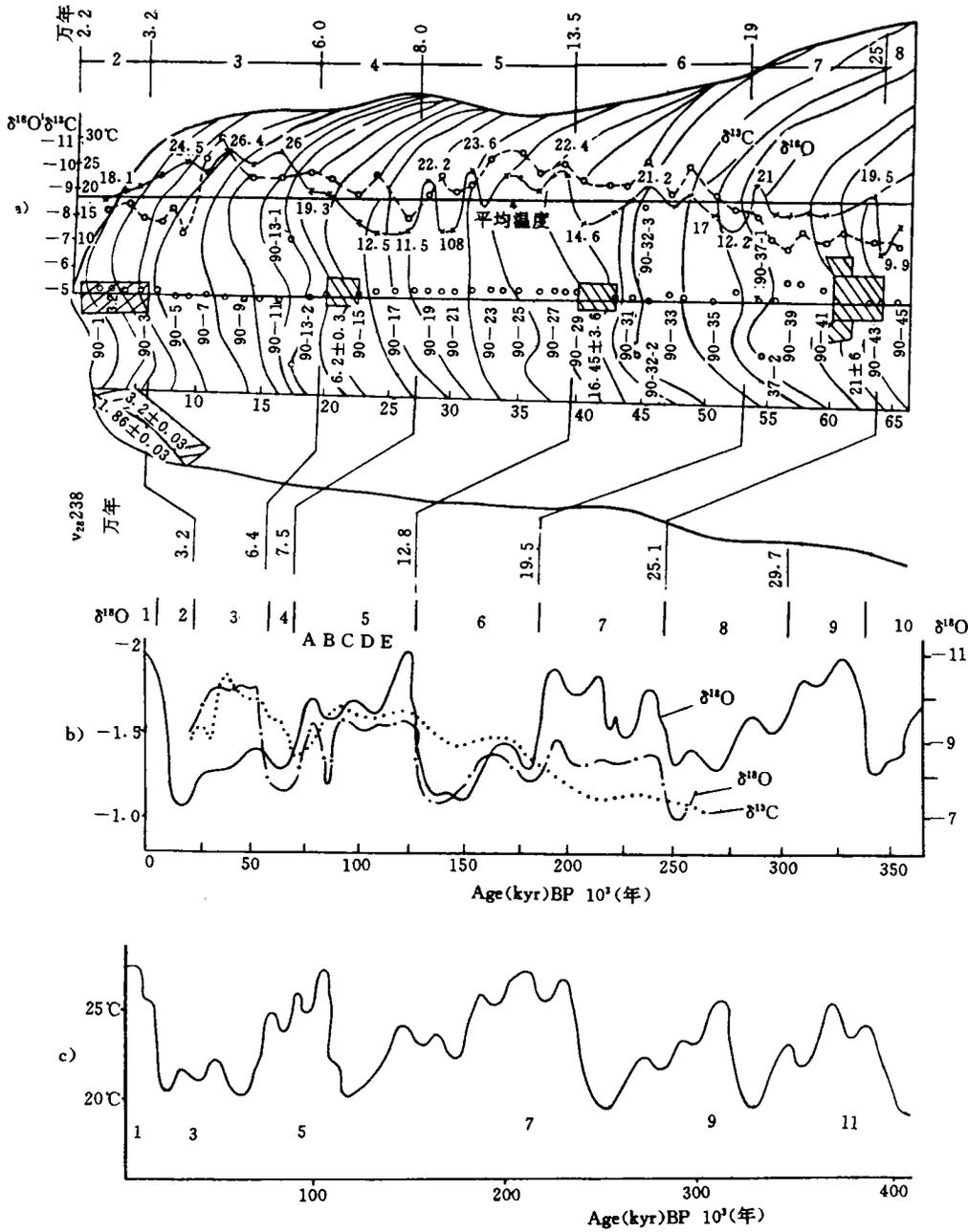


图 2 石笋的  $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$  温度及年龄同 V28—238 对比

a) 石笋剖面(1:5), 年代取样处及年龄,  $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$  变化曲线对比。

b) 海岩芯 V28—238  $\delta^{18}O$  变化。同石笋的  $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$  变化曲线对比。c) 全球综合温度变化。

Fig. 2 Oxygen and carbon isotopic variation age and temperature of the stalagmite compared with V28—238

表 2 列出石笋  $\delta^{18}\text{O}$  段界年代和 V28—238、中国南海<sup>[3]</sup>、中国东海<sup>[4]</sup>对比。可看到 V28—238 各段界年代和氧同位素变化是相同的,说明测试数据是可信的。为了更好的对比,我们依据 V28—238 的年代。用同一比例的座标,绘制了石笋的  $\delta^{18}\text{O}$  变化曲线(见图 2-b)。

表 2 石笋的年代和 V28—238 岩石比

Table 2 Comparison of age of stalagmite with Core V28—238

	V28—23	SCS—15A	L2011	214—8	石笋
	[6]	[7]	[12]	[4]	本文
1	1.3	1.1	1.2	1.0	1.8
2	3.2	2.8	3.6	3.2	3.2
3	6.4	5.9	7.8	5.6	6
4	7.5	7.2	12.5	7.5	8
5	12.8	12.8	18.1	12.8	13.5
6	19.5		25		18
7	25.1				25
8					

## 2 25 万年来的古气候

用石笋的氧同位素计算温度,首先,需确定石笋碳酸钙和水之间是否在平衡条件下生长,根据 Hendy<sup>[5]</sup>提出判别石笋生长的平衡条件:①不同层位的氧碳同位素之间缺乏相关性;②同生长层  $\delta^{18}\text{O}$  稳定,由表 1 的 45 个数据计算不同层位  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  值相关系数 0.3465,同层位标准方差  $< 0.25$ ,是很小的,说明石笋是在平衡条件下生长,没有受后来的破坏和影响。古温度的计算是用 O'Neil<sup>[6]</sup>方程:

$$t(c) = 16.9 - 4.38(\delta^{18}\text{O}_{\text{c}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{w}}) + 0.1(\delta^{18}\text{O}_{\text{c}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{w}})^2 \quad (1)$$

或用 O'Neil 的氧同位素温度计方程:

$$\delta\text{O}_{\text{c}} - \delta\text{O}_{\text{w}} = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 3.39 \quad t(^{\circ}\text{C}) = T - 273 \quad (2)$$

式中  $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$  表示  $\text{CaCO}_3$  的  $\delta^{18}\text{O}$  的值,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  表示水的  $\delta^{18}\text{O}$  值,请注意:(1)式是相对 PDB 为标准,(2)式是相对 SMOW 为标准。

要获得  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  还须测石笋中的包体,它表示形成石笋时的水。但据 P. Thompson 等人<sup>[7,8]</sup>研究认为洞穴化学沉积物大部分是夏季渗透水形成的,在整个更新世中洞穴渗透水的  $\delta^{18}\text{O}$  变化很小,主要是季节造成的,因此洞穴生长的方解石的变化,可以表示该地区的相对平均温度。日本学者中井信之提出用现代岩溶水的  $\delta^{18}\text{O}$  值,直接计算古温度,并说明只适合沿海地区<sup>[9]</sup>。我们用现代岩溶内正在生长石笋的滴水  $\delta^{18}\text{O}$  值作为  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  值,用上述两方程计算出温度相同,最大误差  $\pm 0.3$ ,但(2)式中斜率用  $2.86 \times 10^6$ ,斜率的变化,可能由地区差

异造成的。温度值列在表1中,并标在图2-a的 $\delta^{18}\text{O}$ 的曲线上,可以看出 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化也反映了温度的变化。

石笋的生长由寒冷期结束, ( $\delta^{18}\text{O}$ 的8段)转为温暖( $\delta^{18}\text{O}$ 的7段)时,雨水增加开始生长,所以石笋大约25万年开始生长,到1.8万年生长停止,经历了三个升温期,三个降温期,最高温度 $26^\circ\text{C}$ ,最低为 $10^\circ\text{C}$ ,平均温度为 $18.8^\circ\text{C}$ ,比现代年平均气温 $18^\circ\text{C}$ 略高。

25—13.5万年间石笋和世界氧同位素波动相吻合,但石笋温度和全球温度比较相关性没有那么明显。或许陆地和海洋之间存在地区差异,也可能石笋和有孔虫对温度的反映有差异。

13—6万年间石笋温度的波动和全球一致,特别明显是 $\delta^{18}\text{O}$ 的5段期,是高温期有五个特征亚期,不过B亚期有短暂的降温少雨期。在13—6万年台湾海峡也是海侵时期,中国南海、东海 $\delta^{18}\text{O}$ 相似的4段是寒冷期,最低温度 $11^\circ\text{C}$ ,此时全球为冰期,该区也受影响,台湾海峡海退为陆相沉积地层。

6—3.2万年时的 $\delta^{18}\text{O}$ 第3段,是该区25万年来气温最高期,温度高 $26^\circ\text{C}$ ,生长速率最快,说明了该区温高,雨水充沛,台湾海峡是温暖湿润气候,但和全球气温明显不同,反映了该区的特征。

3万年后气温下降,石笋沉积间断到停止生长,显示冰期特征。台湾海峡孢粉分析表明气温温凉,中国南海和东海氧同位素表明气温较低,说明中国沿海地区的环境和全球变化是同步的。

石笋中碳同位素改变的原因较复杂,报导不多,但这个信息也有所反映,从图2-a-b上在19、8、3.2万年三处明显变化,是由暖向冷的转化期,也都在氧同位素的段界处,3.2万年时略有提前,这也反映了环境的变化,对 $\delta^{18}\text{O}$ 的段界划分和年代的确定都有参考价值。

综上所述,石笋大约25万年时开始生长,1.8万年生长停止,属于更新世产物,氧碳同位素特征表明该区气温和全球波动一致,但该区也有其独特的特征。

感谢陈承惠、王先彬教授,宁化县旅游局蒋道钟局长和伊何生,将乐县旅游局林局长等同志大力支持,深表感谢。

收稿日期:1994-12-2

## 参 考 文 献

- [1] 夏明等编著铀学年代学方法及实验技术,兰州:兰州大学出版社,1989。
- [2] Shackleton, N. J., and N. D. Opdyke Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial pacific core V28—238: oxygen isotope temperature and ice Volumes on a 10 year and 10 year scale, *Quaternary Res*, 1973, 3:39—55.
- [3] 汪中和、陈民本、罗圣宗、吴荣章,中国南海晚更新世深海沉积物之稳定同位素记录,中央研究院地球科学研究所集刊,第六卷。中华民国七十五年十二月。(中国台湾)。
- [4] 阎军、苍树溪、秦蕴珊,冲绳海槽Z14—6孔氧同位素地层学研究,海洋与湖沼,1990, 21(5):442—447。
- [5] Hendy, C. H., "The isotopic geochemistry of speleothms - I" *Geochim Cosmochim Acta*, 1973, 35:801—824.
- [6] O'Neil, J. R., Clagton, R. N and Mageda, T. K. "Oxygen isotope fractionation in divalent metal Carbonates" *J. chem Physic*, 1969, 51:5547—5558.
- [7] P. Thopson, H. P schwarcz, D. C. Ford: Stable isotopic geochemistry; geothermometry and geochronology of speleothems from west Virginia. *Bull. geol. Soc. Am.* 1976, 87(2):1730—1838.

- [8] 王训一, 桂林洞穴沉积的氧、碳同位素特征, 中国岩溶, 1985, (1—2):149—159。  
[9] 李彬, 日本名古屋大学中井信之教授来我所访问讲学, 中国岩溶, 1986, (4):232。

## Study on the Stalagmite Age and the Paleotemperature of the Tian E Cave in Ninghua, Fujian, China

*Li Ping*<sup>1</sup> *Peng Zicheng*<sup>1</sup> *Wen Qibin*<sup>2</sup> *Li Yucheng*<sup>2</sup>  
*Yang Hui*<sup>2</sup> *Hong Ashi*<sup>3</sup> *Xu Zifeng*<sup>3</sup> *Wang Mingliang*<sup>3</sup>  
*He Jie*<sup>4</sup> *Diao Shaobo*<sup>4</sup> and *Ye Yuguang*<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (*University of Science and Technology of China, Hefei 230026*)

<sup>2</sup> (*State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou 730000*)

<sup>3</sup> (*The Third Institute of National Marine Bureau, Xiamen 361005*)

<sup>4</sup> (*Institute of Marine Geology, Qingdao 266071*)

### Abstract

The  $\delta^{18}\text{O}$  change and the age of the stalagmite of the Tiane cave in Ninghua, Fujian Province, are corresponding to that of the V28—238 core of the deep sea. The growth period of the stalagmite began  $(1.8—25) \times 10^4$  years ago and belonged to the Middle Pleistocene Epoch. The paleoclimate change in Ninghua area, Fujian, synchronizes with that in the globe and is the same as that in the Taiwan strait and the South China sea.

**Key Words:** stalagmite age oxygen isotope paleotemperature