

文章编号:1001-4810(2006)02-0101-05

川东北石笋记录的38~39 kaB. P. 活动事件^①

周厚云^{1,2}, 赵建新^{1,2}, 朱照宇¹, 俸月星², 迟宝泉^{1,3}, 闫峻¹, 周国庆¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 澳大利亚昆士兰大学同位素年代学实验室, Brisbane 4072, Australia; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:通过川东北诺水河溶洞群石笋的年代学分析,发现多支时代跨越35~40 kaB. P. 的石笋记录了发生在38~39 kaB. P. 的事件;有的石笋发育中断,有的石笋生长轴心发生了变化,有的石笋则刚刚开始发育。初步的证据显示该事件不是气候成因所为,也不像由于洞穴局部塌陷引起。考虑到秦岭山地是新构造活动十分发育的地区,为此我们推测该事件很可能与某一次构造活动有关,也可能是由一次大规模重力地貌过程(如滑坡)造成。因此,洞穴沉积物(包括石笋、石钟乳和流石等)可望为川东北地区的新构造活动尤其是地震事件研究提供一种新的依据。

关键词:川东北; 石笋; 活动事件; 地震活动

中图分类号:P597 **文献标识码:**A

0 引言

洞穴沉积作为一种载体,近年来在古气候环境演化研究中发挥了巨大作用^[1~4]。在亚洲季风区,石笋的氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}$)近年来被证明为指示夏季风强度的一种良好替代性指标^[1~4]。但洞穴沉积除了记录古气候演化信息外,也是进行构造活动研究的一种很好的对象。一方面,因为溶洞的发育与地下水面位置有关^[5],根据不同溶洞的海拔高度和年龄差异,可以分析区域构造抬升活动速度及其变化^[6,7];另一方面,一些强烈的构造活动事件,如在强烈地震活动中,洞穴沉积往往会留下一些特殊的“烙印”^[8~10],为重建和分析研究这些事件提供了线索。例如,有些石笋和石钟乳可能在地震活动中被震断,有些溶洞的顶板可能在地震活动中被震落^[10],而有些石笋在地震活动中由于接受滴水位置的改变,使得石笋的生长方向也发生了相应的变化^[8]。被震断坠落的石笋、石钟乳和洞穴顶板等在洞穴沉积(多为flowstone,一般翻译为流石)中形成一些特殊的沉积层^[10]。由于石灰岩洞

穴沉积中往往有较纯净的碳酸盐可以用于精确定年^[11],这为构造活动研究提供了一种新方法。

本文部分作者于2004年在川东北采集了部分石笋样品,并于2005年在澳大利亚昆士兰大学(The University of Queensland)同位素年代学实验室进行了年代测定工作。根据这些石笋的年代测定结果,我们发现所有沉积时代跨越35~40 kaB. P. 的石笋样品均记录了发生在38~39 kaB. P. 的一次事件。本文对这一事件的多种表现形式和年代估算进行了介绍,并对其可能的成因和意义进行了探讨。

1 研究地点、样品与方法

石笋样品采集于四川东北部的诺水河溶洞群万家洞。该洞发育于晚二叠纪石灰岩中^[12],全长700余米,目前远高于临近河水面,仅在雨季有较强地下水活动。

该研究地点位于秦岭山地南坡,地处四川、陕西两省交界处。区域气候为典型的半湿润夏季风气候,

^① 基金项目:国家自然科学基金重点项目(40331009)、国家自然科学基金海外杰出青年基金项目(40028302)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-152)、中国科学院广州地球化学研究所创新项目(GIGCX-04-01)、ARC LP0453664

第一作者周厚云(1967-),男,副研究员,长期从事古气候古环境研究。E-mail:hyzhou@gig.ac.cn.

收稿日期:2006-01-24

年均气温约 15℃, 年降水量 1000~1200mm。区域植被以乔木为主。秦岭山地是我国构造活动十分活跃的地区, 区内新构造活动表现十分强烈^[13]。

2004 年底在该地区不同溶洞中共采集石笋样品 11 支。采用 TIMS U-Th 方法对这些石笋的发育年代

进行了测定, 发现这些石笋分别发育于中更新世中晚期到全新世, 其中多数发育在晚更新世。这些发育在晚更新世的石笋中, 有 4 支(SJ1、SJ3、SJ4 及 SJ5)其发育年代跨越了 35~40 kaB. P. 这一时间范围(图1)。在这 4 支石笋上获得的年代数据共有 30 个(图1)。

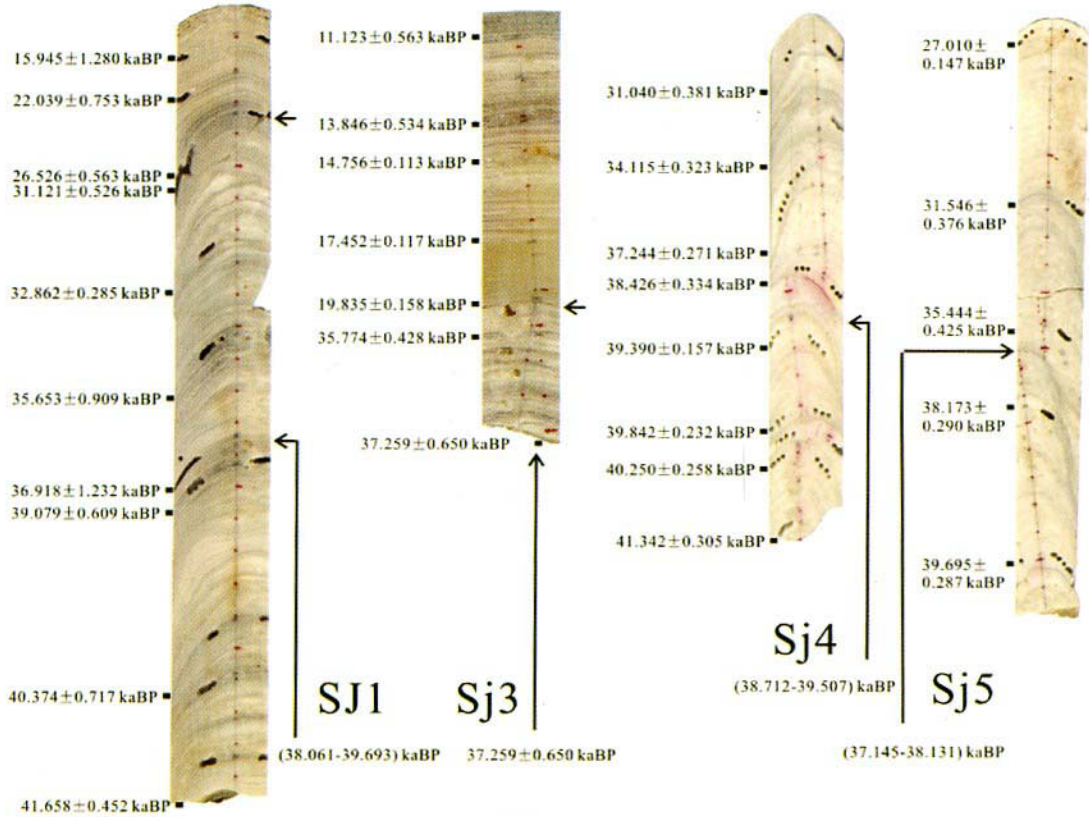


图1 川东北诺水河溶洞群石笋剖面图

Fig. 1 Profile of stalagmites from Nuoshuihe karst cave groups, NE Sichuan
(笋中直线点与点间相距为1cm; SJ1 和 SJ3 石笋的短箭头指示沉积间断位置; 数据旁的黑点对应年代层位位置)

2 石笋中的事件记录

这些采集于川东北的石笋样品的一个显著特征是经常记录到一些事件, 如有些发生沉积间断, 有些发生偏转, 即生长点在某个时间突然发生变化。其中的 SJ1、SJ3、SJ4、SJ5 4 支石笋共同表明在 38~39 kaB. P. 左右川东北地区曾发生过一次事件。

2.1 事件的表现

这次事件在石笋 SJ1 的表现是距离顶部 135.5mm 处的沉积间断(图2-a), 间断面上下的沉积纹层呈平行关系, 而且从外观看其颜色、层厚等变化不大(图2-a), 但间断层面的颜色明显变深, 肉眼可以看到少量碎屑物质的存在, 指示了短时间沉积间断的存在。根据间断面上年代数据按距离进行线性插值, 估算出的间断时间约为 2ka。

石笋 SJ4 和 SJ5 对此事件的响应是事件之后滴水

的位置都偏离了早期石笋的生长中心(图2-b,c)。石笋 SJ4 中, 发生偏转在距离顶部 95mm 处。新的生长中心偏离早期的生长中心至少 1.5cm 以上, 而且生长的轴向也有一定偏转(图2-b)。从肉眼看, 该偏转面上看不到明显的沉积间断。根据这一偏转发生之前和之后的年龄数据看, 也显示在这一偏转发生前后基本上没有沉积间断过。石笋 SJ5 发生偏转的位置距离顶部 125mm 处。发生偏转之后新的接受滴水位置偏离早期位置约 1.0cm, 新的生长轴向也与早期略有差异(图2-c)。偏转前后的沉积纹层之间, 有的位置(早期生长中心)肉眼可见一层面, 并有少量碎屑物质, 指示有过沉积间断。但其它位置(尤其新的生长中心附近)从外观看不到明显的沉积间断(图2-c)。推测在发生偏转之后滴水并没有停止, 但早期的生长中心由于石笋形态等因素影响在一段时间内没有接受滴水 and 碳酸盐沉积。根据这一偏转发生前后的年代数据

看,如果按照生长轴线距离进行线性插值,显示在发生偏转的同时该石笋有过约1ka 左右的沉积间断。但是应该考虑到,偏转事件发生后一段时间内滴水落在石笋的侧面而不是早期的生长中心,而且这种情形要一直持续到石笋新的生长中心建立起来为止,以及这一时期石笋生长的厚度比滴水落在生长中心的正常

生长厚度要薄。因此,我们认为该石笋在偏转前后即使发生了沉积间断,时间也比较短;也有可能与 SJ4 类似,在偏转发生时没有出现明显的沉积间断。

这次事件在石笋 SJ3 上的表现就是该石笋正好在该事件发生之后开始发育。

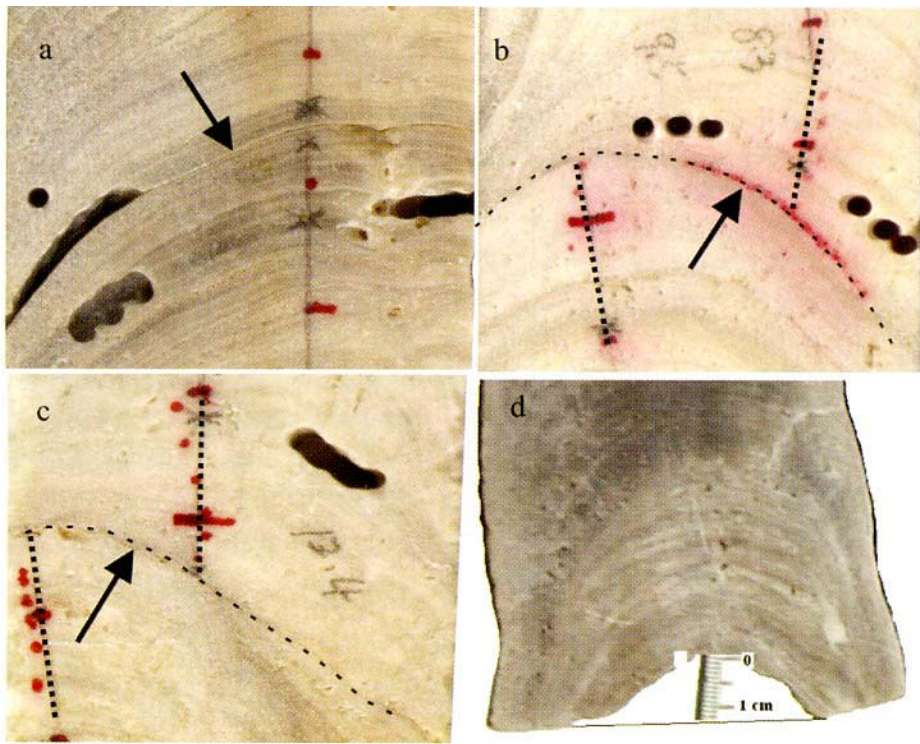


图 2 38~39 kaB. P. 事件的石笋沉积记录

Fig. 2 Record of the event in 38~39 kaB. P. in stalagmites

a 为 SJ1 石笋,箭头所指为间断;b、c 分别为 SJ4、SJ5 石笋,其中箭头所指细虚线表示偏转面,粗虚线表示偏转前后石笋生长中心和轴线;d 为 SJ3 石笋,显示底部细节(约 1.25cm 没有采集到)。

2. 2 事件年代的确定

在对这些石笋进行年代测定时,测年位置的选择考虑了多种因素:如纹层的变化(如纹层颜色、厚度)、年代范围、结构面(如间断面、偏转面)、碳酸盐的纯净程度等。如果结构面附近的纹层为比较纯净的碳酸盐,我们就选择这些纹层测年;如果结构面附近的纹层较脏,我们选择最近的较纯净的纹层测年。因此,很多情况下年龄数据的分布并不是紧靠结构面,这些结构面的年龄需要根据邻近的年龄进行估算。

我们的估算方法是:对于每一支石笋,根据事件发生之前,例如沉积间断或沉积中心发生偏转之前最近的两个年龄数据,按照线性插值的方法,计算该间断面或偏转面的年龄即事件的开始发生时间。如图 3 所示,假设间断或者偏转发生在距离石笋顶部 c 处,在此之前最近的两个年龄是在距离石笋顶部 a 和 b 处

测定的。采用如图 3 所示的两个线性方程,我们得到各石笋记录的事件开始发生时间的范围分别为: SJ1, 38.06~39.69 kaB. P. ; SJ4, 38.71~39.51kaB. P. ; SJ5, 37.15~38.13 ka. B. P. 。

对于石笋 SJ3,测量到的其底部年龄为 37.26±0.65 kaB. P. 。但是,在采样过程中其底部有部分没有采集到(图 2—d)。可以假设石笋生长位置最初为一平面,则该部分没有采集到的高度约 12.5mm(图 2—d)。根据随后的石笋生长速率计算,12.5mm 高度对应沉积时间为 0.56 ka。因此, SJ3 开始生长的真正时间应为 37.82±0.65 kaB. P. 。

我们将各支石笋记录的事件开始发生时间的范围投影到同一图上(图 4),可以看到,这些记录明显具有同步性,一致指示了该事件开始发生的时间在 38~39 kaB. P. 。

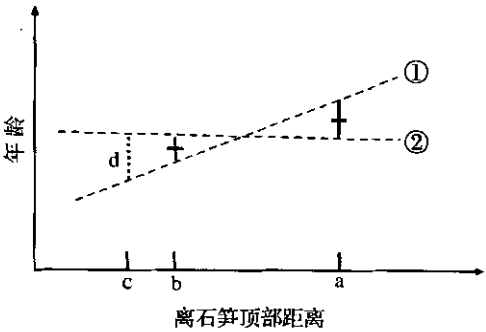


图3 石笋记录事件的开始时间计算模式

Fig. 3 The model used to calculate the timing of the event
c 为事件开始发生点(间断面或偏转面)距离石笋顶部距离;b、a 为事件发生前测年点,其上的十字的中心指示年龄,垂直范围表示年龄误差(2);两条虚线①、②用于线性推算事件开始发生时间的下限和上限;垂直虚线d表示得到的事件开始时间的范围

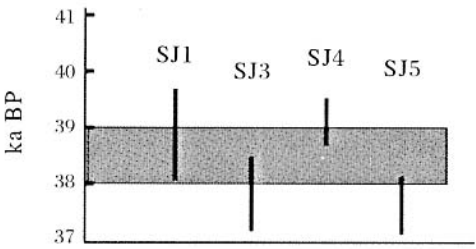


图4 发生于38~39 kaB. P. 事件的石笋的时间响应

Fig. 4 Timing of the event in 38~39 kaB. P.
recorded by stalagmites

(水平灰色条带表示事件开始时间范围,即38~39 kaB. P.)

2.3 事件的可能原因及意义

洞穴沉积的发育,尤其是石笋、石钟乳的生长与岩溶地下水的活动密不可分。因此,这些石笋发育所记录的事件,都和洞穴水文状况的变化有关。石笋发育的终止或者短暂间断,反映了地下水流路的长期或者短时间中断;而石笋的开始发育表明一条新的流路的形成。这种地下水流路的中断或者形成,可能是气候的原因,例如降水减少或者增加;也可能是构造活动的原因,例如构造活动造成地下水流路的堵塞或者新的流路的形成;也不排除大规模山体滑坡对地下水流路变化的影响(本文研究地点在秦岭山地,这种可能性也存在)。至于石笋生长中心的转移和生长轴向的偏转,则应该与石笋基座的掀斜^[8]有关。石笋基座的掀斜可能是由构造活动等引起的^[8],但也可能是地下水溶蚀后洞穴局部塌陷的成因,或者是溶洞所在山体的大规模滑坡造成。

上述跨越35~40 kaB. P. 的4支石笋中均记录了一次发生在38~39 kaB. P. 的事件。虽然这些石笋来自同一洞穴,但它们采自不同部位。因此该事件难以

用地下水溶蚀后洞穴局部塌陷的原因进行解释。此外,从现有证据看,这一事件用气候变解释其成因也有难以说明之处。首先是石笋生长轴方向的变化(图2—b,c)反映了石笋基座的掀斜^[8],这似乎不能用气候变化进行解释;其次,根据南京葫芦洞的研究结果^[1],38~39 kaB. P. 是一个夏季风不断增强的时间段。从这一时期开始SJ1的发育突然间断了约2ka,而且在间断前后沉积的纹层并没有明显的变化(图2—a)。这似乎用气候变化也难以解释;还有,SJ1的间断和SJ3的开始发育,反映的应该是两种相反的地下水水文状况变化(一个是流路中断,一个是流路形成),这也是用气候变化难以解释之处。

因此,图2所示4支石笋所记录的事件,可能代表了一次构造活动(如地震),或者溶洞所在山体的一次滑坡(当然规模比较大)。在这次事件中,有些石笋原来的地下水流路被短暂堵塞,石笋的生长发育出现了间断(SJ1);有些地方形成了新的流路,发育了新的石笋(SJ3);而有些石笋的基座发生了掀斜,石笋的生长中心和生长轴方向均发生了变化(SJ4和SJ5)。我们现在还缺乏其它证据证明该事件究竟代表一次构造活动还是一次重力地貌过程(如滑坡),因此不妨暂时称之为一次活动事件。不过,秦岭山地一直是构造活动十分活跃的地区^[14],这一地区的新构造活动也十分强烈^[13]。构造活动不仅会影响到岩溶洞穴的发育^[6,7],也会影响到洞穴内沉积物的发育。因此,洞穴和洞穴内沉积物如石笋和石钟乳的发育完全有可能记录到一些构造活动事件。如Kagan et al. ^[10]对以色列Soreq和Har-Tuv溶洞记录的地震研究结果得到了来自湖泊记录的地震活动的验证。对于图2所示石笋记录的事件,我们还没有发现其它方面的证据,这也许和我们的工作积累有关。这些证据有待我们今后去寻找,去发掘。如寻找其它洞穴沉积类型或者来自其它洞穴的沉积记录对这一事件的反应记录,或选择一些非常年轻的石笋进行研究,将其事件记录与历史文献(如地震记录)进行比较,以探讨这些石笋记录构造活动的特征。这些工作,也许会为研究秦岭山地的构造活动尤其是地震活动历史提供一种新的方法。

3 结 语

采集于川东北诺水河溶洞群的多支石笋同时记录了开始发生在38~39kaB. P. 的一次事件。该事件在不同的石笋中有不同的表现形式(如间断、偏转、开始生长)。现有的证据显示该事件不是气候成因,也不像是由于地下水溶蚀引起洞穴局部塌陷造成的。考虑

到秦岭山地是新构造活动十分发育的地区,我们推测该事件很可能与某一次构造活动有关,也可能反映了一次大规模重力地貌过程(如滑坡)。本文工作显示,洞穴沉积可望能为这一地区的新构造活动研究和地震活动历史重建提供一种新的依据。

参考文献

[1] Wang Y. J. , Cheng H. , Edwards R. L. , et al. , A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China[J]. Science, 2001, 294(5550):2345—2347.

[2] 谭明,刘东生,秦小光,等. 北京石花洞全新世石笋微生长层与稳定同位素气候意义初步研究[J]. 中国岩溶,1997,16(1):1—10.

[3] 覃嘉铭,林玉石,张美良,等. 末次冰期东亚季风气候的变迁:贵州都匀七星洞石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录[J]. 中国岩溶,2003,22(3):167—173.

[4] 张美良,涂林玲,林玉石,等. 中国西南地区中—晚全新世降温事件的石笋记录[J]. 中国岩溶,2004,23(4):283—289.

[5] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆出版社,1988:79—88.

[6] 王非,李红春,朱日祥,等. 晚第四纪中秦岭下切速率与构造抬升[J]. 科学通报,2002,47(13):1032—1036.

[7] Wang F. , Li H-Ch, Zhu R. et al. , Late Quaternary downcut-

ting rates of the Qianyou River from U/Th speleothem dates, Qinling mountains, China[J], Quaternary Research, 2004, 62(2): 194—200.

[8] Postpischl D. , Agostini S. , Forti P. et al. , Palaeoseismicity from karst sediments: the “Grotta del Cervo” cave case study (Central Italy)[J], Tectonophysics, 1991, 193(1): 33—44.

[9] Morinaga H. , Yonezawa T. , Adachi Y. , et al. , The possibility of inferring paleoseismicity from paleomagnetic dating of speleothems, western Japan[J], Tectonophysics, 1994, 230(3—4): 241—248.

[10] Kagan E. J. , Agnon A. , Bar-Matthews M et al. , Dating large infrequent earthquakes by damaged cave deposits [J]. Geology, 2005, 33(4): 261—264.

[11] 沈冠军,Gahleb B,金林红. 热电离质谱法测定贵州郑家洞石笋的铀系年代及其古气候意义[J]. 中国岩溶,1997,16(4):11—18.

[12] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 地质出版社, 1991.

[13] 周厚云, 韩慕康, 侯建军. 东秦岭铁炉子断裂的新活动特征 [J]. 地震地质, 2001, 23(3):390—398.

[14] 滕瑞增,金瑶泉,李西候,等. 西秦岭北缘断裂带新活动特征 [J]. 西北地震学报,1994,16(2):85—90.

THE 38~39 kaB. P. EVENT RECORDED BY MULTI-STALAGMITES FROM NORTHEAST SICHUAN PROVINCE, CHINA

ZHOU Hou-yun^{1,2}, ZHAO Jian-xin^{1,2}, ZHU Zhao-yu¹, FENG Yue-xing²,
CHI Bao-quan^{1,3}, YAN Jun¹, ZHOU Guo-qing¹

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou, Guangdong 510640, China*; 2. *ACQUIRE, the University of Queensland, Quatraoia, Brisbane 4072*; 3. *The Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China*)

Abstract: TIMS dating were conducted on more than ten stalagmites which were collected in 2004 from northeast Sichuan, Central China. It was found that four stalagmites covering the period 35~40 ka B. P. recorded the event starting from 38~39 kaB. P.. This event was recorded or reflected differently in these stalagmites. One stalagmite (SJ1) was interrupted, one began to grow, and the other two changed their growth centers and axes. This event seems not to be climatically related, nor caused by subsidence of the floor where these stalagmites grew. Considering that the study site, northeast Sichuan lies in Qinling Mountain where neotectonic movement is intensive, we suggest that the event in 38~39 kaB. P. documented by multi-stalagmite recorded a mass movement probably corresponding to a neotectonic event (such as an earthquake), or a massive landslide. Sediments in karst caves here, such as stalagmite, stalactite and flowstone, could provide some new evidences for investigation of the neotectonic movement, especially earthquake in this area.

Key words: NE Sichuan; Stalagmite; Movement event; Earthquake