

黄龙洞年轻石笋的 ^{210}Pb 测年研究

杨勋林^{1,2)}, 张平中²⁾, 袁道先^{1,3)}, 程海⁴⁾

1) 西南大学地理科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 中国重庆, 400715;

2) 兰州大学资源环境学院, 西部环境教育部重点实验室, 中国兰州, 730000;

3) 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, 中国广西桂林, 541004;

4) 美国明尼苏达大学地质与地球物理系, 美国明尼苏达, MN55455

内容提要: 利用 ^{210}Pb 测年法对来自亚洲季风系统相互作用的青藏高原边缘区、高海拔的黄龙洞两根年轻石笋进行了测年研究, 数据分析结果显示黄龙洞石笋顶部的 ^{210}Pb 放射性活度随距离呈指数衰变, 衰变的趋势逐渐减缓, 表明所研究的石笋中含有过剩的 ^{210}Pb , 样品顶部年龄小于100a。对黄龙洞石笋过剩 ^{210}Pb 数据进行非线性拟合, 计算出两根石笋的平均沉积速率分别为0.104mm/a和0.143mm/a, 与利用 ^{230}Th 测年法得到的沉积速率在定年误差范围之内一致, 表明黄龙洞的 ^{210}Pb 测年数据是可靠的, 通过计算石笋的沉积速率, 可以建立近百年的石笋记录。研究表明, 利用 ^{210}Pb 测年方法可以判断石笋(或石笋顶部)是否为100a内沉积的年轻石笋, 弥补 ^{230}Th 法测定年轻石笋年龄的不足, 有利于建立更加精确的石笋年代标尺, 对探讨洞穴现代沉积记录和现代气象数据之间的相关性, 明确洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值所指示的气候环境含义具有重要意义。

关键词: ^{210}Pb 测年; 年轻石笋; 沉积速率; 黄龙洞

洞穴石笋具有高分辨率、精确定年等优点, 是重建气候变化历史的良好信息载体(谭明等1998; 覃嘉铭等, 2000; 蔡演军等, 2001; 林玉石等, 2005; 周厚云等, 2006; Yuan et al., 2004; Hu et al., 2008)。石笋测年主要采用铀系 ^{230}Th 定年方法(Shen et al., 2002; 杨琰等, 2008; Wang et al., 2001, 2008), 此方法在测量近100年(a)内生长的年轻石笋时, 测年误差较大, 没有显示出石笋精确定年的优点。 ^{210}Pb 测年法也是铀系测年方法的一种, 半衰期为22.3a, 适用于测量近100a内沉积物的年龄和沉积速率, 被广泛地用于测定海洋、海湾、河口、湖泊等现代沉积物的年龄和沉积速率(段凌云等, 2005; 游海涛等, 2007)。Baskaran等(1993)首次将其引入洞穴碳酸盐领域, 测定了近150a内生长的蛾管年龄, 并指出 ^{210}Pb 测年法在此范围内测年精度要优于其他长周期核素的放射性测年法(如 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, ^{14}C); Condomines等(2006)利用 $^{226}\text{Ra} - ^{210}\text{Pb}$ 测年方法计

算了法国Cornadore洞的年轻石笋的年龄和沉积速率, 结果与纹层计年数据一致。不过, 由于 ^{210}Pb 测年法在石笋上的应用还比较少, 人们对其测年数据的准确性和可靠性还存在着怀疑, 对其在石笋定年上的应用价值也认识不足(王华等, 2008)。本文利用 ^{210}Pb 测年法对黄龙洞年轻石笋进行测年, 分析 ^{210}Pb 定年数据的可靠性和 ^{210}Pb 测年法对于年轻石笋定年的适用性, 为建立高精度年轻石笋时间序列, 探讨洞穴现代沉积记录和器测气象数据之间的相关性(程海等, 2005), 明确洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值所指示的气候环境意义提供科学依据和实验案例。

1 研究区概况和实验方法

黄龙洞($32^{\circ}43'\text{N}$, $103^{\circ}49'\text{E}$, 3588ma. s. l.)位于青藏高原东部的黄龙沟, 形成于第四纪的石灰华中。黄龙沟气候属于高寒山区型, 年均降水量为759mm, 年均气温 4°C ; 处于典型季风系统交互作用

注: 本文为国家自然科学基金创新群体项目(编号40421101)、国家自然科学基金项目(编号40471137)、重庆市自然科学基金(编号CSTC, 2009BB7107)、中国博士后科学基金(编号20090460713)、国土资源部岩溶动力学重点实验室开放基金(编号桂科能0842008, kdl2008-07)和西南大学博士基金(编号SWUB2007043)的成果。

收稿日期: 2009-12-27; 改回日期: 2010-05-05; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 杨勋林, 男, 1974年生。博士, 副教授, 硕士生导师。主要从事石笋记录与生态环境变化研究。电话: 023-68254443; Email: xlyang9999@163.com。

的青藏高原东部边缘地带,对季风变化十分敏感,是研究石笋记录与气候环境变化的理想位置(Yoshimura et al., 2004; 张平中等, 2004;)。

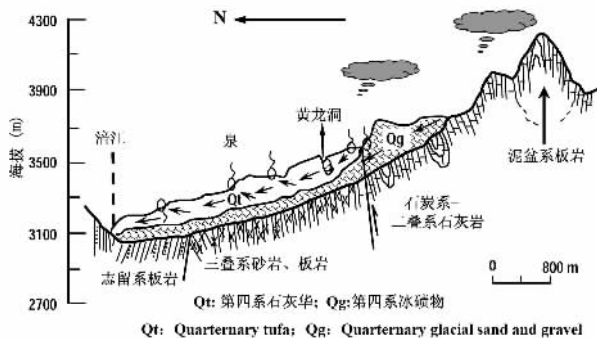


图 1 四川松潘黄龙洞附近地质剖面图

(Yoshimura et al., 2004)

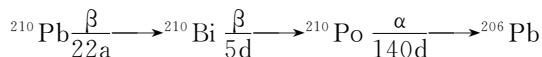
Fig. 1 Geological profile of Huanglong cave in Huanglong Ravine, Songpan, Sichuan

本研究采用的石笋材料是利用轻便岩芯取样机分别在两根大型石笋顶部中央沿着生长轴方向,由上向下垂直钻取直径为 30mm,长度分别为 300mm (HL021) 和 135mm (HL022) 的两根石笋岩芯(Yang et al., 2007; Liu et al., 2008)。采集时洞穴内有丰富的滴水,石笋顶面存在大量的水膜,显示石笋可能正在接受洞顶滴水沉积作用,仍处于生长时期(张美良等, 2003)。两根石笋岩芯顶部均为暗灰色较紧密结晶,中间有浅灰色条带,沉积速率快,质地紧密。石笋 HL021 的 ^{210}Pb 年代分析样品是从石笋顶端向下间隔为 2.5mm 均匀采样,HL021 采集 8 个年代样品;石笋 HL022 则根据纹层的变化,从顶层向下分别在 1.50mm、4.75mm、8.25mm、11.25mm、13.75mm、16.25mm、18.75mm 处共采集 7 个年代样品,采集方式是用刻刀沿石笋的生长纹层刮削(Yang et al., 2007)。同时,在黄龙洞石笋抛光面上沿着生长轴方向,根据颜色变化在石笋 HL021 和 HL022 上分别刻取两个 ^{230}Th 测年样品。黄龙洞石笋的 ^{210}Pb 年代分析实验方法见文献(Baskaran et al., 1993; Paulsen et al., 2003), ^{210}Pb 年代的测定是在台北“中央研究院”放射性同位素实验室利用低本底多道 alpha 谱仪测量完成。石笋的 ^{230}Th 年代测试方法见文献(Shen et al., 2002; 杨琰等, 2008),分析仪器为 MC-ICP-MS,在美国 Minnesota 大学地质和地球物理系同位素年代学实验室完成,年龄误差为 2σ 。

2 结果和讨论

2.1 石笋沉积速率计算

在 ^{238}U 衰变到稳定同位素 ^{206}Pb 的衰变系列中, ^{226}Ra 可衰变成 ^{222}Rn ,气态的 ^{222}Rn 由于反冲作用易进入到大气和水体中,大气和水体中的 ^{222}Rn 衰变为放射性的 ^{210}Pb ,有一部分 ^{222}Rn 和 ^{210}Pb 随着土壤渗流水进入洞穴沉积在洞穴沉积物中。 ^{210}Pb 是 U—Th 系之子体, ^{210}Pb 继续发生衰变过程如下:



同时,洞穴内部表面由 ^{226}Ra 产生的 ^{222}Rn 也进入到洞穴空气中,使得洞穴空气中及洞穴滴水中含有较高浓度的 ^{222}Rn 和 ^{210}Pb ,这些 ^{210}Pb 也沉积到洞穴沉积物中。这两种来源的 ^{210}Pb 与进入次生碳酸盐晶格中的 ^{226}Ra 没有达到放射性平衡,处于一种相对过剩的状态,与由 Ra—Rn—Pb 平衡衰变体系产生的 Pb 的浓度相比处于过剩,因此,被称为过剩 ^{210}Pb (杨伟锋等, 2009)。由于 ^{210}Pb 的半衰期仅为 22.3a,这样经过 5 个半衰期即约 100a 之后,这些过剩 ^{210}Pb 将所剩无几。洞穴沉积物中还有一部分 ^{210}Pb 来自于沉积物本身和洞穴内部岩石所含 ^{238}U 的衰变系列,这些 ^{210}Pb 在样品中与其长半衰期母体 ^{226}Ra (半衰期为 1620a)处于放射性平衡,因此这些 ^{210}Pb 被称为支持 ^{210}Pb (本底值)。

黄龙洞石笋 HL021 和 HL022 都是比较年轻的石笋,而且铀含量较高,质地致密,无重结晶、溶蚀等现象,无明显的沉积间断,适合 ^{210}Pb 法和 ^{230}Th 法测年。石笋 HL021 和 HL022 从顶部至下方 50mm 部分,颜色比较单一,说明黄龙洞石笋在短时间尺度内沉积比较均匀,可以利用 ^{210}Pb 放射性活度随取样距离变化的数据计算出它们在顶部 20mm 内的年平均沉积速率(图 2),建立起石笋 HL021 和 HL022 的近 100a 来的时间序列(Yang et al., 2007; Zhang et al., 2008)。

^{210}Pb 测年法一般通过测定随沉积物深度变化的过剩 ^{210}Pb 放射性强度来计算沉积物年龄和沉积速率(Baskaran et al., 1993; Condomines, 2006; 游海涛等, 2007)。黄龙洞石笋的 ^{210}Pb 放射性活度随距离呈指数衰变,衰变的趋势逐渐减缓,在 20mm 处放射性活度最为平缓,可以认为在 20mm 以下部分的 ^{210}Pb 放射性活度是由 ^{226}Ra 衰变的支持 ^{210}Pb (本底值)所贡献的(Baskaran et al., 1993; 游海涛等, 2007; Yang et al., 2007)。过剩 ^{210}Pb 的存在表明选

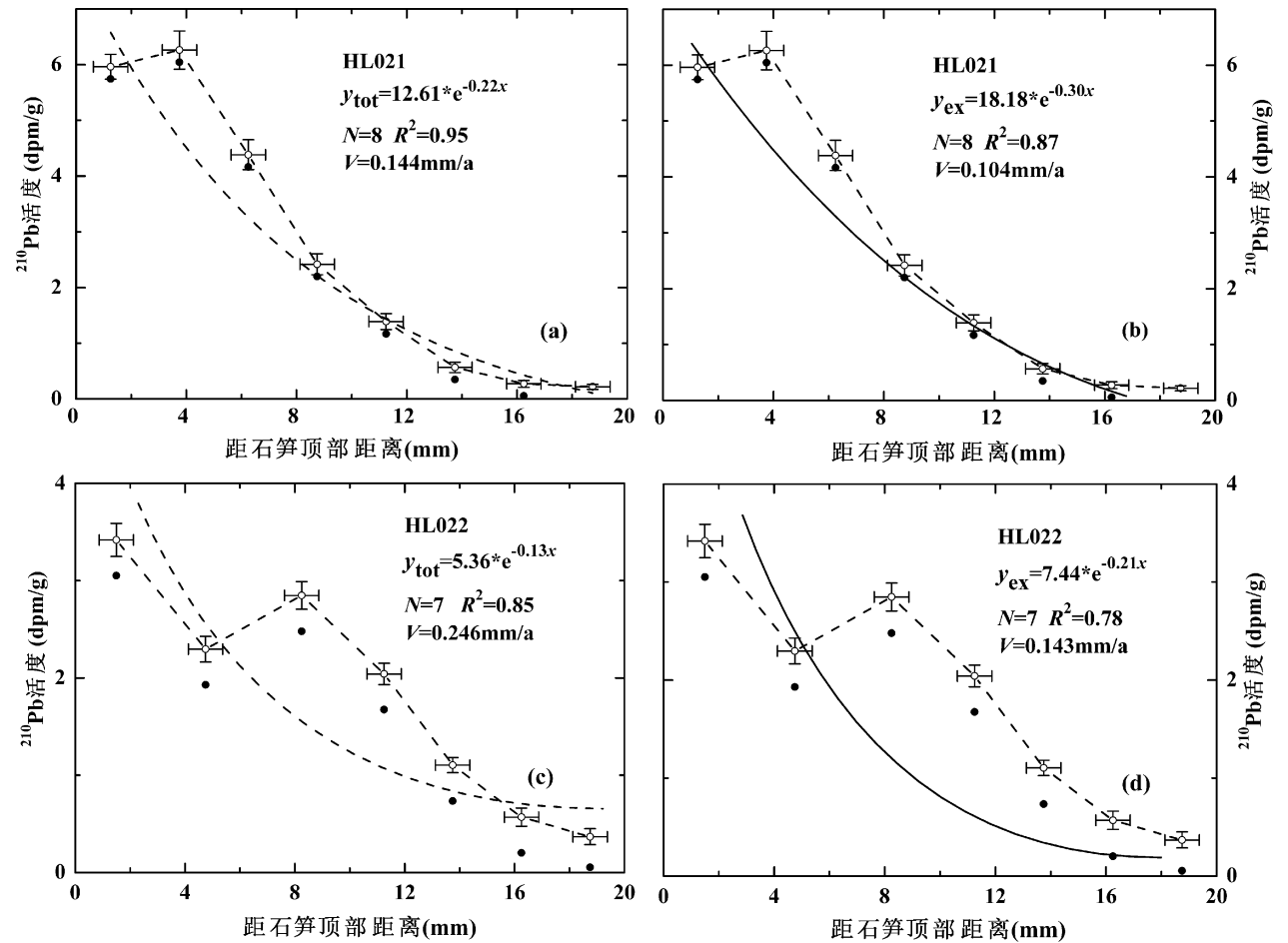


图 2 黄龙洞石笋 HL021(a,b)和 HL022(c,d)的²¹⁰Pb放射性活度随距石笋顶部距离衰变关系
Fig. 2 ²¹⁰Pb activity plotted against the depth from the top of HL021 (a,b)and HL022 (c,d)

圆圈代表总的²¹⁰Pb,圆点代表过剩²¹⁰Pb;有误差短线的虚线分别指示 HL021 和 HL022 放射性活度随距离的衰变关系,没有误差短线的虚线分别指示指数拟合的 HL021 和 HL022 放射性活度随距离的衰变关系,实线分别指示指数拟合的 HL021 和 HL022 过剩放射性活度随距离的衰变关系(Yang et al. , 2007)

The circle represents total ²¹⁰Pb, the dot represents excess ²¹⁰Pb; dash lines with error bars indicate the ²¹⁰Pb activity against the depth of stalagmite;dash curves and solid curves using the exponential fitting indicate the total ²¹⁰Pb activity and excess ²¹⁰Pb activity against the depth of stalagmite,respectively(Yang et al. , 2007)

取的石笋样品年龄小于 100a 的年轻石笋。当石笋样品的年龄大于 100a 时,过剩²¹⁰Pb衰变殆尽,沉积样品中只含有支持²¹⁰Pb,由于支持²¹⁰Pb不断得到补充,它的放射性活度随时间变化很小,在近 1000a 内的沉积序列中几乎恒定。如果用总的²¹⁰Pb(y_{tot})放射性活度来拟合石笋沉积速率,可得到石笋 HL021 和 HL022 的最大沉积速率分别为 0.144mm/a 和 0.246mm/a。而用 20.00mm 以下的²¹⁰Pb值代表²¹⁰Pb本底值,由过剩²¹⁰Pb(y_{ex})非线性拟合出两根石笋的平均沉积速率分别为 0.104mm/a 和 0.143mm/a。HL021 与 HL022 生长速率不同,可能由于洞穴渗水通道、滴水 CO₂ 释放过程以及石笋

方解石矿物结晶作用等因素不同而引起的。由于黄龙洞沉积环境稳定,石笋在短时间内沉积速率变化不大,可利用由过剩²¹⁰Pb(y_{ex})拟合出的平均沉积速率分别建立黄龙洞石笋 HL021 和 HL022 近 100a 来的时间序列(Baskaran M et al. , 1993; Yang et al. , 2007; 吴玉玲等,2009)。

2.2 数据验证和²¹⁰Pb定年法适用性分析

应用²¹⁰Pb测年法来测定沉积物的年龄和沉积速率,基于两个基本假设:① 沉积物处于一个封闭体系中,即沉积物中的²¹⁰Pb与外界无交换;② 沉积环境相对稳定,不会发生层间扰动,沉积物物源、沉积物堆积速率和²¹⁰Pb大气输送通量均保持恒定。

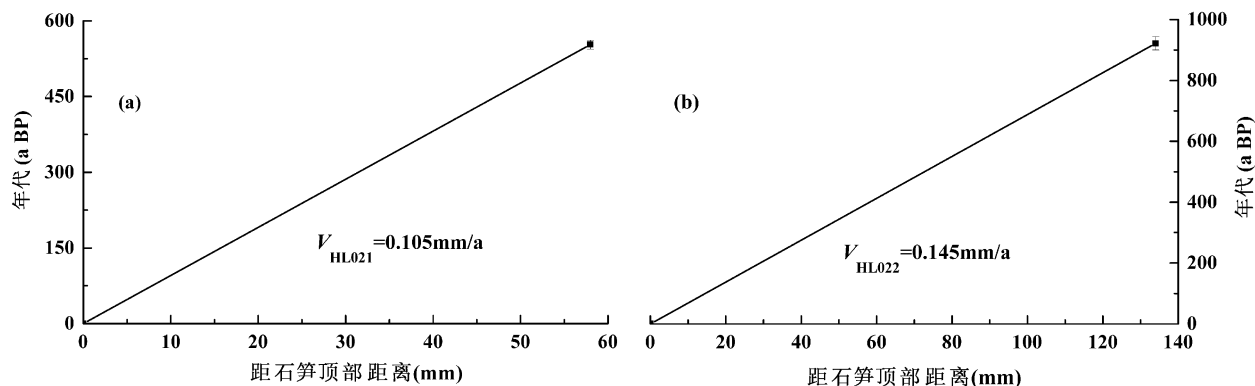


图 3 黄龙洞石笋生长速率图

Fig. 3 Two lines of growth rate of HL021 and HL022

黑点表示测年点位置;黑点上线段的长度表示误差值

The vertical bars with diamond indicate dating errors; the diamond represents the location of dating; the length of the bar represents error values

洞穴碳酸盐沉积物形成后,基本无后期扰动,沉积环境比较稳定,沉积物中的 ^{210}Pb 与外界无交换;相较于其他沉积物,年轻的洞穴碳酸盐沉积物更加适合于 ^{210}Pb 测年。

为了检验黄龙洞 ^{210}Pb 测年结果的可靠性,同时又采用 ^{230}Th 测年法对黄龙洞石笋进行测年,通过 ^{230}Th 的测年数据估算黄龙洞石笋的平均沉积速率(Yang et al., 2007)。黄龙洞石笋 HL021 和 HL022 采样剖面上的 ^{230}Th 测年结果见图 3。从黄龙洞的 ^{230}Th 测年数据中可以看出,石笋顶部的年龄误差都比较大,甚至石笋 HL021 顶部的年龄还出现了负值,说明当石笋年龄小于 100a 时, ^{230}Th 测年带来的误差较大,特别是对铀含量较低的石笋;当年龄大于 100a 时,黄龙洞的石笋 ^{230}Th 测年误差相对较小。对石笋顶部的 ^{210}Pb 放射性活度测定和洞穴内部现代碳酸钙的沉积实验,表明两根石笋仍处于生长时期,因此可以把采集石笋的时间作为石笋顶部的年龄;再根据黄龙洞石笋的 ^{230}Th 测年结果,计算出石笋 HL021 在 0~58mm 的平均沉积速率为 0.105mm/a,HL022 在 0~134mm 的平均沉积速率为 0.145mm/a。可以看出利用 ^{230}Th 测年得到的沉积速率与利用过剩 $^{210}\text{Pb}(y_{\text{ex}})$ 非线性拟合得到的沉积速率在定年误差范围之内是一致的。黄龙洞石笋近 100a 的平均沉积速率与 Paulsen 等(2003)利用 ^{210}Pb 法在陕南佛爷洞计算的石笋平均沉积速率接近。同时,两根石笋在 1963 年附近出现 ^{210}Pb 放射性活度异常峰值,可能与 1963 年核试验造成大规模的放射性物质扩散有关,生成的 ^{210}Pb 随着洞穴滴

水带入洞内并沉积在洞穴的沉积物里,造成这一时段的 ^{210}Pb 丰度异常,这间接证明了石笋 ^{210}Pb 测年数据的可靠性,也显示了 ^{210}Pb 测年法适合沉积环境相对于 ^{210}Pb 封闭的洞穴碳酸盐沉积系统在短时间尺度的精确定年(赵焯等,1995)。

以上分析显示,黄龙洞石笋的 ^{210}Pb 测年数据在定年误差内是可靠的,通过计算近百年的石笋沉积速率,可以建立近百年的石笋记录,分析气候环境变化趋势。最重要的是,利用 ^{210}Pb 测年方法可以判断石笋(或石笋顶部)是否为 100a 沉积的年轻石笋。在对较年轻的石笋进行研究时,利用 ^{230}Th 法定年较难判断出其停止生长的时间, ^{210}Pb 法可以弥补 ^{230}Th 测年法在一些铀含量比较低的年轻石笋应用上的不足。利用 ^{210}Pb 法对石笋进行测年,样品必须含可检测的 ^{210}Pb 的量,而且质地致密,无重结晶、溶蚀等现象,沉积连续性好等条件。由于目前主要采用 alpha 能谱仪测量 ^{210}Pb 放射性强度,灵敏度和精度不高(测量误差 σ 为 $\pm 2\% \sim 3\%$),所需样品量较大(0.2~0.5g),带来的测年误差也较大;另外,在利用 ^{210}Pb 测年方法对石笋进行测年和计算沉积速率时,还需要其他测年方法(^{230}Th 测年法或纹层计年法)来验证,尚不能独立建立年际分辨率的年代标尺,这在一定程度上也限制了 ^{210}Pb 测年方法在洞穴石笋研究中的应用。因此,改进测量技术和实验流程,减少对样品的需求量,提高 ^{210}Pb 测年数据的精确度,将会扩大 ^{210}Pb 测年方法在洞穴石笋研究中的应用。

3 结论

(1) 本文利用 ^{210}Pb 测年法对黄龙洞两根年轻石

笋进行了测年,结果显示黄龙洞石笋顶部的²¹⁰Pb放射性活度随距离呈指数衰变,衰变的趋势逐渐减缓,表明石笋中含有过剩的²¹⁰Pb;石笋中过剩的²¹⁰Pb的存在,表明选取的石笋样品顶部年龄小于 100a。

(2) 利用黄龙洞石笋过剩²¹⁰Pb数据通过非线性拟合,计算出两根石笋的平均沉积速率分别为 0.104mm/a 和 0.143mm/a,与利用²³⁰Th测年法得到的沉积速率在定年误差范围之内是一致的,表明²¹⁰Pb测年法适用于沉积环境相对于²¹⁰Pb封闭的洞穴碳酸盐沉积系统在短时间尺度的精确定年,通过计算石笋的沉积速率,可以建立近百年的石笋记录;也显示了,利用²¹⁰Pb测年方法可以判断石笋是否为 100a 沉积的年轻石笋,弥补²³⁰Th测年法在一些铀含量比较低的年轻石笋应用上的不足。

(3) 目前,利用²¹⁰Pb法对石笋进行测年,对样品要求较高,所需样品量较大,带来的测年误差也较大,尚不能独立建立年际分辨率的年代标尺,这在一定程度上也限制了²¹⁰Pb测年方法在洞穴石笋研究中的应用。

致谢:中国台湾成功大学地球科学系李红春教授和台北“中央研究院”地球科学研究所扈治安研究员为本文石笋年龄样品的²¹⁰Pb测试顺利完成提供了大力的技术支持和帮助,在此向他们致以深深的谢意。

参 考 文 献 / References

蔡演军,彭子成,安芷生,张兆峰,曹蕴宁. 2001. 贵州七星洞全新世石笋的氧同位素记录及其指示的季风气候变化. 科学通报, 46(16): 1398~1402.

程海,艾思本,王先锋,汪永进,孔兴功,袁道先,张美良,林玉石,覃嘉铭,冉景丞. 2005. 中国南方石笋氧同位素记录的重要意义. 第四纪研究, 25(2): 157~163.

段凌云,王张华,李茂田,潘建明,陈中原, Yishiki S, Yutaka K. 2005. 长江口沉积物²¹⁰Pb分布及沉积环境解释. 沉积学报, 23(3): 514~522.

林玉石,张美良,覃嘉铭,晓燕,程海. 2005. 再论洞穴石笋的沉积速率. 地质论评, 51(4): 435~442.

覃嘉铭,袁道先,林玉石,张美良,李彬. 2000. 桂林 44 ka BP 石笋同位素记录及其环境解释. 地球学报, 21(4): 407~416.

谭明,秦小光,刘东生. 1998. 石笋记录的年际、十年、百年尺度气候变化. 中国科学(D辑), 28(3): 272~276.

王华,李强,覃嘉铭,林玉山,应启和. 2008. ²¹⁰Pb测年方法在岩溶碳酸盐沉积物中的应用研究. 地球学报, 29(6): 719~724.

吴玉玲,王新红,李永玉,洪华生,李和阳,尹明端. 2009. 马来西亚海城安达曼海多环芳烃的百年沉积记录. 环境科学, 30(9): 2512~2519.

杨伟锋,黄奕秀,陈敏,邱雨生,彭安国,张磊. 2009. 基于²¹⁰Po/²¹⁰Pb不平衡的南大洋与南海颗粒有机物的输出与再矿化. 科学通报, 54(11): 1579~1584.

杨琰,袁道先,程海,覃嘉铭,张美良,林玉石,朱晓燕. 2008. 文石—方解石石笋 U/Th 体系的封闭性判断及意义. 地球化学, 37(02): 97~106.

游海涛,刘强,刘嘉麒,储国强,汉景泰. 2007. 纹层计年与¹³⁷Cs、²¹⁰Pb法对比研究东北二龙湾玛珥湖现代沉积速率. 吉林大学学报(地球科学版), 37(1): 59~64.

张美良,袁道先,林玉石,覃嘉铭,章程,程海. 2003. 桂林响水洞 6.00 ka BP 以来石笋高分辨率的气候记录. 地球学报, 24(5): 439~444.

张平中,陈一萌, Johnson K R, 陈发虎, Ingram L, 张欣利, 张成君, 王苏民, 庞福顺, 龙路德. 2004. 甘肃武都万象洞滴水与现代石笋同位素的环境意义. 科学通报, 49(15): 1529~1531.

赵焯,徐翠华. 1995. 南极长城站地区湖泊沉积岩芯的²¹⁰Pb分布特征. 北京师范大学学报, (3): 140~142.

周厚云,赵建新,朱照宇,俸月星,迟宝泉,闫峻,周国庆. 2006. 川东北石笋记录的 38~39 kaB. P. 活动事件. 中国岩溶, 25(2): 101~105.

Baskaran M, Liffé T M. 1993. Age determination of recent cave deposit using excess ²¹⁰Pb—A new technique. Geophysical Research Letter, 20: 603~606.

Condomines M, Rihs S. 2006. First ²²⁶Ra-²¹⁰Pb dating of a young speleothem. Earth Planet Science, 250: 4~10.

Hu Chaoyong, Henderson G M, Huang Junhua, Xie Shucheng, Sun Ying, Johnson K R. 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. Earth and Planetary Science Letters, 266: 221~232.

Liu Jinghua, Zhang Pingzhong, Cheng Hai, Chen Fahu, Yang Xunlin, Zhang Dezhong, Zhou Jing, Jia Jihong, An Chunlei, Sang Wencui, Johnson K R. 2008. Asian summer monsoon precipitation recorded by stalagmite oxygen isotopic composition in the western Loess Plateau during AD1875~2003 and its linkage with ocean-atmosphere system. Chinese Science Bulletin, 53(13): 2041~2049.

Paulsen D E, Li Hongchun, Ku Teh-Lung. 2003. Climate variability in central China over the last 1270 years revealed by high-resolution stalagmite records. Quaternary Science Review, 22: 691~701.

Shen C C, Edwards R L, Cheng Hai, Dorale J A, Thomas R B, Moran S B, Weinstein S E, Edmonds H N. 2002. Uranium and thorium isotopic and concentration measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. Chemical Geology, 185: 165~178.

Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L, An Zhisheng, Wu Jiangyin, Shen C C, Dorale J A. 2001. A high-resolution absolute dated Late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave China. Science, 294: 2345~2348.

Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L, Kong Xinggong, Shao Xiaohua, Chen Shitao; Wu Jiangyin, Jiang Xiaoyang, Wang Xianfeng, An Zhisheng. 2008. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224000 years. Nature, 451: 1090~1093.

Yang Xunlin, Zhang Pingzhong, Chen Fahu, HUH Chih-an, Li Hongchun, Cheng Hai, Liu Jinghua, An Chunlei, Johnson K R. 2007. Modern stalagmite oxygen isotopic composition and its implications from a high-elevation cave in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau over the past 50 years. Chinese Science Bulletin, 52(9): 1238~1247.

Yoshimura K, Liu Zaihua, Cao Jianhua, Yuan Daoxian, Inokura Y,

- Noto M. 2004. Deep source CO₂ in natural waters and its role in extensive tufa deposition in the Huanglong Ravines, Sichuan China. *Chemical Geology*, 205:141~153.
- Yuan Daoxian, Cheng Hai, Edwards R L, Dykoski C A, Kelly M J, Zhang Meiliang, Qing Jiaming, Lin Yushi, Wang Yongjin, Wu Jiangyin, Dorale J A, An Zhisheng, Cai Yanjun. 2004. Timing, duration and transitions of the Last Interglacial Asian Monsoon. *Science*, 304:575~578.
- Zhang Pingzhong, Cheng Hai, Edwards R L, Chen Fahu, Wang Yongjin, Yang Xunlin, Liu Jian, Tan Ming, Wang Xianfeng, Liu Jinghua, An Chunlei, Dai Zhibo, Zhou Jing, Zhang Dezhong, Jia Jihong, Jin Liya, Johnson K R. 2008. A test of climate sun and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. *Science*, 322:940~943.

²¹⁰Pb Dating of Young Stalagmite from Huanglong Cave

YANG Xunlin^{1,2)}, ZHANG Pingzhong²⁾, YUAN Daoxian^{1,3)}, CHENG Hai⁴⁾

1) *Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir (Ministry of Education), School of Geographical Sciences, Southwest China University, Chongqing, 400715, China;*

2) *Key Laboratory of Western China's Environmental System of Ministry of Education, College of Resources and environments, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China;*

3) *Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources, Guilin, Guangxi, 541004, China;*

4) *Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minnesota, MN 55455, USA*

Abstract: This paper presents the ²¹⁰Pb dating of two young stalagmites from the Huanglong Cave which is located at the east margin of the Qinghai—Xizang(Tibet) Plateau influenced by the interaction of the southwest monsoon and the East Asian monsoon. The determination of ²¹⁰Pb age and the calculation of stalagmite growth rates are based on the ²¹⁰Pb activity decay with time. The ²¹⁰Pb activity is plotted against the depth and exhibits an exponential decay with the depth, which indicates that the sample is younger than 100 years and the ²¹⁰Pb activity comes mostly from the excess ²¹⁰Pb of the stalagmite. The average growth rates of the two stalagmites determined by excess ²¹⁰Pb activity are 0.104mm/a (HL021) and 0.143mm/a (HL021), respectively, which is almost in agreement with that from the ²³⁰Th dating data, with the average growth rates of 0.105mm/a for HL021 and 0.145mm/a for HL022. The study proves the reliability of the ²¹⁰Pb dating results of stalagmite in Huanglong Cave and demonstrates that ²¹⁰Pb dating could be applied in dating of the stalagmite younger than 100 years while ²³⁰Th dating could not. This has also great significance in investigating correlation between stalagmites δ¹⁸O records and meteorological data, which will provide more definite interpretation on oxygen isotope records of cave stalagmites as environmental indicators. However, the sampling method of large-size drilling with larger dating errors to some extent limits the use of ²¹⁰Pb dating method in the study of cave stalagmites.

Key words: ²¹⁰Pb dating; young stalagmite; growth rates; Huanglong Cave