

岩溶作用对环境变化的敏感性及其记录*

袁道先

(地质矿产部岩溶地质研究所, 桂林 541004)

关键词 岩溶作用 碳循环 全球变化 岩溶记录 钙华

自70年代以来逐步发展起来的现代岩溶学具有以下两个特点:一是引入了地球系统科学;二是从全球的角度研究岩溶.国际地质对比计划299项目“地质、气候、水文和岩溶形成”(1990~1994年)被认为是这一趋势的里程碑.通过现场测试,已清楚地认识到了碳循环与岩溶形成之间的相关关系.作为地球上最大碳贮库的全球碳酸盐岩,其总含碳量为 $10^{16}\text{t}^{[1]}$.它们曾被认为只在地质历史时期是活跃的,而在人类时间尺度上并不重要,但已有的发现清楚地表明这种认识可能是错误的.现代岩溶学的新发展使其在全球变化研究中具有两方面的意义:一是岩溶作用在大气温室气体 CO_2 源汇关系中的效应,它既可是汇(碳酸盐溶蚀),又可是源(碳酸盐沉积中的 CO_2 脱气作用);二是岩溶记录可提供高分辨率环境变化信息.在中国南方,有证据说明晚白垩纪的红色碳酸盐岩角砾(它反映了一种干旱气候)曾广泛地覆盖在广西、湖南、湖北、贵州、云南等省的岩溶地形上,对它们的详细研究会更好地揭示该地区的行星风系统是怎样转变为现代季风系统的.中国南方一大型石笋的纹层综合研究揭示了过去3.5万年来的气候突变事件.众所周知,现代火山区、地热区及活动断裂带释放着大量的 CO_2 ,而在岩溶地区则留下大量的钙华,它可作为一种估算 CO_2 释放量的方法,同时为研究现代地壳运动提供信息.因此,在未来几年中,岩溶作用在大气源汇关系中的地位应作出恰当的评价,岩溶记录在全球变化研究中应得到更好的应用.

1 岩溶作用对环境变化的敏感性和全球岩溶差异性

岩溶作用发生在一种三相不平衡的开放系统中.在自然界,这种作用必然与碳循环即 CO_2 -有机碳-碳酸盐系统相耦联.因此,从地球系统科学的观点出发,岩溶作用是全球碳循环的一部分(图1(a)).也许在很久以前人们即已知道了这一简单道理,但直到一套便携的仪器——温度自动补偿pH计、 CO_2 探测器和暂时硬度测试装置的引入,并在野外联合测试,人们才真正地了解到该系统对于环境变化是多么敏感.图1(b)可更好地描述该系统的特征,它显示了岩溶动力系统中大气圈、水圈及岩石圈之间通过碳循环而耦联形成的密切关系.该系统的特征可用3个参数加以描述,即大气圈中的 CO_2 浓度(P_{CO_2})、水圈中的pH, HCO_3^- 浓度,这3种参数用便携式仪器在野外很容易取得,并能很好地反映岩溶作用的方向和强度.大量野外调查表明该系统对于环境是非常敏感的.许多环境因素(如大气中的 P_{CO_2} ,它与生物作用过

1994-12-14收稿, 1995-01-13收修改稿

*国家自然科学基金和 UNESCO/IUGS IGCP, 地质矿产部基金资助项目

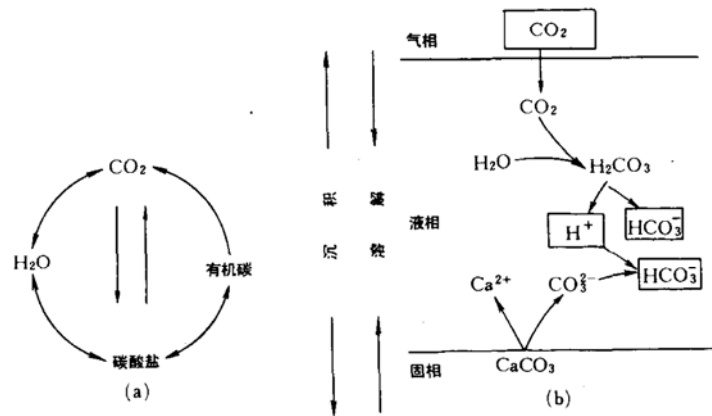


图 1 碳循环(a)与岩溶动力系统(b)

程有密切关系,水流状态、深度、温度、扰动程度等)都可改变 CO_2 的运移方向,继而改变岩溶作用的强度、方式甚至方向(溶蚀或沉积)。

岩溶区大量的野外测量表明碳酸盐岩在当今的全球碳循环中仍是很活跃的,且在温室气体的源汇关系中起着很大的作用。例如在桂林岩溶水文地质试验场岩溶水中 HCO_3^- 浓度与上覆土壤中 CO_2 含量的月变化存在着很好的正相关关系。所有的岩溶形态,包括溶蚀形态或沉积形态都是碳循环的记录,它们包括大气温室气体的变化及相关的气候、地质、水文、生物环境的时空变化。

通过 IGCP 299 项目广泛的国际对比和研究,我们对全球岩溶记录与环境的相关关系已取得了广泛的认识。为了避免异质同象上的混淆,该对比计划提出了以岩溶形态组合作为国际对比的依据。所谓岩溶形态组合,即在类似环境条件下形成的一组相匹配的岩溶形态,它们包括宏观的和微观的形态、地表的和地下的形态,以及溶蚀的和沉积的形态。

俄罗斯彼尔姆的冷温潮湿带岩溶,碳循环很不活跃,因此岩溶形态组合则以溶蚀形态为特征,如漏斗、地表溶痕、大型洞穴、塌陷,而洞穴次生碳酸盐沉积物则较少。

中国大陆地区的岩溶有 3 种主要类型,即北方的干旱、半干旱型岩溶,南方的亚热带潮湿型岩溶及西南高山和高原型岩溶。处于中国中部的秦岭是北方半干旱型岩溶与南方亚热带潮湿型岩溶的分界线。干旱、半干旱型岩溶位于北纬 35° 以北,岩溶形态组合以常态山、微溶痕、钙结核和灰岩角砾为特征,洞穴及洞穴次生碳酸盐沉积物则较少。一些具有大型洞穴次生碳酸盐沉积物、贝窝和外源砾石的大型洞穴则是以前潮湿时期的产物,这对于古环境的研究很有用。

中国南方的亚热带潮湿型岩溶属于广泛分布于东南亚地区的相同类型的一部分。该类型岩溶以强烈的碳循环为特征,其形态包括峰林地形、漏斗、深尖溶痕、红色土、大量地表钙华、具有大量洞穴次生碳酸盐沉积物的大型洞穴系统和地下河系统。

西藏高原的现代岩溶作用以机械风化作用为特征,被称为高山或高原型岩溶。它以大量与灰岩岩屑堆配套的散布于山坡上的灰岩峰、墙和石拱为特征。但近几年来已发现一些记录着西藏高原以前温暖、潮湿环境的证据,如灰岩裂隙中的红色土、洞穴中的化学沉积物及三趾马化石等^[2]。

日本的秋吉台地区与中国北方的半干旱型岩溶处于同一纬度上(北纬 34°), 其年均气温相似(15°C), 但由于该地区的年均降雨量高达 $1\,800\text{ mm}$, 因此这里形成了一种典型的温带潮湿型岩溶, 以大量漏斗、深尖溶痕、大型洞穴和地下河及洞穴次生碳酸盐沉积物为特征, 但不见典型的热带潮湿型峰林地形。

澳大利亚的岩溶有3种类型, 即北昆士兰的亚热带岩溶、维多利亚东部及新南威尔士的温带岩溶和纽拉伯的半干旱-干旱型岩溶。在纽拉伯平原区的一些洞穴中沉积着大量的碳酸盐或石盐洞穴沉积物。其方解石的年代为 $30\sim 53$ 万年之间, 而石盐的年代则为 $2\sim 3.7$ 万年, 或在全新世期间。它可揭示该地区的更新世以来的气候变化^[3]。

2 中国南方气候变化的岩溶记录

2.1 灰岩角砾

不同气候环境下现代岩溶作用的全球对比表明灰岩岩屑堆只形成于以机械风化作用为主的干旱或寒冷条件下(不包括沿崖脚线状分布的崩塌堆积)。

在桂林地区 $2\,000\text{ km}^2$ 范围的岩溶区内, 白垩纪红层除机场附近的约 1 km^2 外大多已被剥蚀掉, 但还有 100 多片红色角砾岩散布于不同的标高上, 甚至在一些孤立的灰岩石峰顶部也有分布, 每一片的分布面积仅为几平方米到 100 m^2 , 但灰岩角砾中胶结物纹层则表明它们形成于水下。经鉴定, 胶结物中含有大量轮藻化石, 其时代为晚白垩世^[4]。这种类型的红色灰岩角砾广泛分布于中国南方岩溶区。通过对代表性地区作详细工作, 有可能对重建该地区重要的气候变化历史, 了解全球大气环流系统的变化的背景及其与西藏高原抬升的关系提供重要证据。

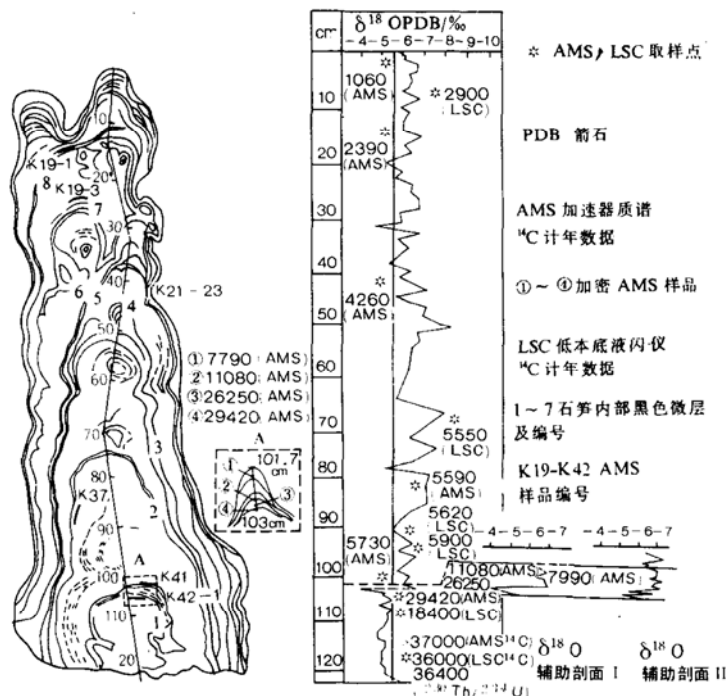


图2 桂林盘龙洞石笋加速质谱计 ^{14}C 测年及同位素综合研究成果示意图

由覃嘉铭整理, 1994

2.2 石笋

盘龙洞位于桂林市南约 37km, 由该洞采回一高 1.2m 的石笋. 为了了解其内部结构, 采取了沿中心线剖开的方法, 并对其微细层理进行了详细的沉积学研究. 在此基础上, 对重点层位进行了加速质谱计 ^{14}C 测年、地球化学、稳定同位素的综合研究. 研究成果如图 2 所示. 由测年数据所示, 该石笋的生长速度在距今 7990 年后显著加快. 距今 7990 年前, 其平均生长速度为 0.1mm/10a, 而其后其速度在 3mm/10a, 这清楚地表明了该地区全新世气候总的潮湿和温暖的趋势. 稳定同位素研究的结果也清楚地显示了这一趋势(图 2). 在距今 35000 万年(石笋底部)到距今 1.1 万年期间为较冷期, 其后则逐渐变暖. 此外, 稳定同位素曲线还表明了几次突变事件, 如在距今约 11000 年前, $\delta^{18}\text{O}$ 值显著增加.

通过对不同颜色纹层的地球化学研究表明在距今 28960~7990 年的较寒冷期的深色纹层中, 其 Mn, Zn, Co, Fe_2O_3 , P_2O_5 及有机质含量存在显著的高异常, 这表明古环境变化的地球化学记录同样在石笋中有所反映.

铀系不平衡法及古地磁法的初步研究表明在桂林地区有许多早于 30 万年的石笋. 因此, 这就很有可能通过中国南方岩溶记录来重建过去 20 万年来的高分辨率环境变迁史. 由于这些地区缺乏冰芯、黄土或湖泊沉积物, 因此, 利用岩溶记录显得尤为有意义.

2.3 钙华

幔源 CO_2 释放及新构造运动的记录. 现已发现许多现代活动断层正释放着浓度约为 30%~90% 的大量 CO_2 , 在岩溶区, 这种作用伴随了大量钙华沉积. 由化学分子式很容易看出, 沉积 1t 钙华就意味着向大气释放了约 120kg 的碳. 例如, 四川黄龙沟就是以许多钙华瀑布为特征的. 野外测试表明, 该地区的两个地热泉的表面 CO_2 浓度分别为 23% 和 78%, 其 $\delta^{13}\text{C}$ (-6.79‰~-4.82‰) 表明可能存在幔源成因. 显然, 钙华的沉积速度与断层的活动性的变化有关^[9].

在板块构造接触带附近的岩溶地区, 这种现象非常普遍, 如意大利中部、土耳其、伊朗北部的 Alborz 山, 西藏高原, 加拿大育空地区. 这些地区所保存的钙华量表明在温室气体 CO_2 的源汇评价中这种现象是不容忽视的.

致谢 岩溶研究所的同事林玉石、覃嘉铭、李彬、张美良、徐胜友、何师意为桂林石笋做了大量工作, 刘再华、徐胜友、何师意做了黄龙沟 CO_2 的释放研究. 加速质谱计 ^{14}C 测年由北京大学技术物理系完成.

参 考 文 献

- 1 Berner E K, Berner R A. The global water cycle. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1987. 38
- 2 Yuan Daoxian. Karst of China. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 57~105
- 3 Gillieson D. Guidebook for IGCP 299 Field Symposium in Australia, Canberra, Australia. The University of New South Wales Special Publication, No. 4, 1992. 1~115
- 4 邓自强, 林玉石, 张美良等. 桂林岩溶与地质构造. 重庆: 重庆出版社, 1988. 16~17
- 5 刘再华, 袁道先, Dreybrodt W 等. 四川黄龙钙华的成因. 中国岩溶, 1993, 12(3): 185~191