

文章编号 1001-7410(2005)02-208-08

贵州凉风洞洞穴滴水水文水化学过程分析^{*}

周运超 王世杰

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要 通过对贵州荔波凉风洞 5 个滴水点进行为期 1 年的动态监测, 表明除大气降雨携带的较少物质成份外, 凉风洞滴水中的物质主要来源于土壤, 同时, 示踪结果显示凉风洞滴水对大气降雨的响应较快, 滴水的物质组成直接源自于洞穴环境。洞穴滴水的化学组成中元素含量的变化主要由水运移过程中水-土、水-岩作用导致的方解石溶解-沉淀过程所控制, 稀释作用、水来源的差异或者活塞流产生了一定的效果, 但其影响较弱, 表明凉风洞滴水点的次生沉积物可能记录了环境变化信息。但水在洞穴顶板内运移过程中发生的水文地球化学过程(岩石的溶解、方解石沉淀作用过程)以及洞穴滴水响应大气降雨的时间尺度、水动力过程、水流形式等因素, 影响到凉风洞洞穴次生沉积物过去环境记录指标。因此, 岩溶次生沉积物过去环境变化指标的解译应该有洞穴滴水水动力地球化学过程的结果作为支撑。这些过程的清晰化可以更好地为研究洞穴环境次生沉积记录的高分辨率、短时间尺度的过去变化提供依据。

关键词 贵州凉风洞 洞穴滴水 水动力过程 作用特点

中图分类号 P534 P592 **文献标识码** A

岩溶次生沉积物已经成为研究岩溶地区过去环境变化记录的重要载体^[1-5], 尤其体现在高分辨率、短时间尺度研究上。爱尔兰西部洞穴一石笋的 Sr 和 P 第 1 级变化中指示了发生在 8 200 年前后的持续 37 年的变冷事件, 在第 2 级的月时间尺度高分辨率 P 和 Sr 振荡记录了降雨量的季节变化^[6]。洪都拉斯伯利兹洞穴一石笋稳定碳同位素年、季及以下时间尺度的高分辨率过去记录指示了厄尔尼诺和南方涛动现象^[7]。苏格兰北部洞穴一石笋年季 Mg/Ca Sr/Ca 和 Ba/Ca 比振荡记录了季节的温度变化^[8]。北京石花洞石笋微层记录了年季、十年、百年尺度的气候变化^[9]。所有这些均表明岩溶洞穴次生沉积记录在高分辨率、短时间尺度记录研究上的重大意义。但是, 也有人已经注意到岩溶次生沉积记录与环境的不一致现象, 英国洞穴系统中水与洞穴顶板基质之间作用时间的长短或含 CO₂ 水在含水层的脱气作用将导致岩溶洞穴次生沉积物 $\delta^{13}C$ 值记录 2‰ 的变化, 这一变化可能大于洞穴环境植被变化产生的结果^[10]。桂林地区降水及盘龙洞滴水 and 现代碳酸盐的氧碳同位素研究表明, 在水动力条

件不好、沉积十分缓慢的条件下, 洞穴次生沉积物指标的环境指示较差^[11-12]。美国南达科他州黑山 Reed 洞的两根同时代石笋稳定同位素的过去环境指示研究, 表明由于对稳定碳同位素的影响因素太多, 其测定结果不一致且难于指示其所指征的环境变化^[13]。差异存在的原因就在于岩溶水动力过程对次生沉积记录的影响, 而实际上, 岩溶次生沉积物记录的物质来源受到岩溶水动力的巨大影响^[14], 洞穴不同滴水点滴水的水动力过程存在着较大的差异^[15]。随着分辨率的提高、时间尺度的缩短, 环境对岩溶次生沉积记录指标的影响加强, 而这些影响对于岩溶次生沉积记录指标的解译具有决定性的作用, 因此, 岩溶水动力学地球化学过程的研究是必须优先解决的问题。

1 研究点概况及研究方法

1.1 研究点概况

通过对贵州岩溶洞穴的广泛调查, 并结合国内对贵州岩溶洞穴的研究^[5-16-17], 在贵州珠江流域荔

第一作者简介: 周运超 男 40 岁 教授 地球化学专业 E-mail: zhouyunchao@21.cn.cn

* 中国科学院地球化学研究所知识创新工程前沿领域项目(批准号: K2004-01)和国家自然科学基金项目(批准号: 90202003)资助
2004-12-01 收稿, 2004-12-17 收修改稿

通讯联系人: 王世杰 E-mail: sjwang@ms.gy.ig.ac.cn

波原生性森林生态系统下选择与董哥洞紧临的凉风洞进行研究。凉风洞(25°16'21"N, 108°02'29"E)位于荔波县洞塘乡尧所村, 石炭系地层, 为灰色、浅灰色厚层块状生物灰岩, 有白云岩夹层。年均温度15.3℃, 年均降雨量1752mm, 洞口海拔约580m; 洞长近1km; 宽2~40m, 但一般10m; 高0.5~50.0m, 但一般大于15m; 盖层厚将近100m。主洞呈北西向、北西西向、北东向转折, 支洞近东西向, 局部成网络状。多数洞厅塌积物、侵(溶)蚀形态或残体、石笋、石柱及流石类叠覆丛生, 簇状汇集。根据滴速、滴距、落水点类型、滴水出水点类型等选定5个滴点进行定位监测, 编号方式由洞口向内按顺序分别为LFD-1#LFD-2#LFD-3#LFD-4和LFD-5#

1.2 研究方法

1.2.1 示踪研究

水与洞穴顶板的作用时间长短影响到次生沉积记录^[8-10], 因此, 对凉风洞LFD-1滴水点采用食盐进行示踪研究。示踪前, 即从2003年4月至2003年6月之间, 进行过多次示踪滴水点Na⁺和Cl⁻的采样测定, 结果分别为0.51±0.12mg/L和1.37±0.05mg/L(n=3)。通过对洞内滴点位置进行充分明确之后, 仔细考查洞顶地貌、岩石产状、节理发育及分布特点等, 分析出大气降水在洞穴顶板的可能路径, 为了能够达到示踪效果, 将100kg食盐粗略分成20份, 在40~60m²的范围内, 以点状埋设的方式, 选择20个有土壤覆盖的点, 在每个点将表层土壤挖开, 施入1份示踪剂后, 覆土。这样做的目的是: 1)降低地表径流对示踪剂的冲刷作用; 2)直接研究通过大气降雨-土壤渗透-岩石运移过程。示踪剂的施放时间为2003年6月8日。

1.2.2 样品采集

对示踪点滴水的样品采集为隔天采集一个分析样, 持续到检测出一个完整的示踪过程为止(2003年6月到2003年10月)。同时, 在洞穴滴水点上部埋设土壤水收集器(3次重复), 定期每月进行1次采样和测定。并对已经选择好的点LFD-2#LFD-3#LFD-4#和LFD-5#示踪点LFD-1#每月1次采样测定。监测时间自2003年4月到2004年5月。

1.2.3 测定

在洞穴环境下, 现场测定滴水点滴率、pH值和HCO₃⁻等项目, HCO₃⁻采用标准酸混合指示剂滴定法。阳离子分析样品装入50ml塑料瓶, 加入约1ml重蒸浓HNO₃, 密闭。阴离子分析样品装入塑料瓶, 密闭。

样品采集好后, 在实验室内进行阴阳离子的测定工作, SO₄²⁻和Cl⁻采用HP1100型高效液相色谱仪测定, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺和K⁺采用PE5100PC型原子吸收光谱仪测定, 阴阳离子间的测定误差控制在±5%以内。所有结果的分析均是在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

在进行示踪滴水点样品采集的同时, 采用简易的大气降雨测定器皿和测定方法测定大气降雨量。将已知直径的塑料园桶洗净后, 置于屋顶(无树枝遮拦)承接大气降雨, 并记录起止降雨时间, 降雨结束时, 测量桶内水量ml数, 换算成mm雨量。

2 结果

2.1 洞穴滴水示踪结果

示踪结果(图1)显示出, 在施用示踪剂后的第二天就有一次高达71.64mm的降雨, 紧接着的示踪点样品中检测出高含量的示踪剂, 即凉风洞滴水对大气降雨的响应速度较快, 但其峰值出现的时间在7月16日(NaCl)。示踪剂峰值前后的变化动态与之前的大气降雨最高量前后动态间的对应关系明显, 因此, 凉风洞洞穴滴水LFD-1#对大气降雨的响应时间为0~36天^[18]。图1还显示出在针对LFD-1滴水点进行的示踪研究过程中, 另外4个滴水点同样检测出了高过平均值的示踪剂含量, 意味着凉风洞5个滴水点的物质来源间有着一定程度的联系, 但从图1可以看出, LFD-3滴水点在8月份调查时Na⁺含量较高, 而9月份调查时LFD-2滴水点Cl⁻含量也高, 且均与LFD-1滴水点的峰值持平, 表明各滴水点示踪剂的多少及响应时间尺度存在较大差异, 这一方面说明了源自同一区域的物质由于运移路径的不同导致运移量的差异, 另一方面也表示出各滴水点对大气降雨响应的的时间尺度可能由于水运移路径的差异而有区别^[18]。

2.2 洞穴滴水滴率与元素间的关系

从图2可以看出, 凉风洞5个滴水点的滴率表现出3种类型的关系, 即LFD-2#和LFD-4#滴点滴率的较小变异, LFD-1#和LFD-3#滴点滴率的中等变异, 而LFD-5#滴点滴率的较大变异。元素含量则表现出滴率较小的含量相对较高, 表明水运移过程中水-土、水-岩作用的差异影响到滴水的化学组成。从滴率与元素含量的关系来看, LFD-2#和LFD-4#表现出滴率较小的变化而元素含量在变化, LFD-1#和

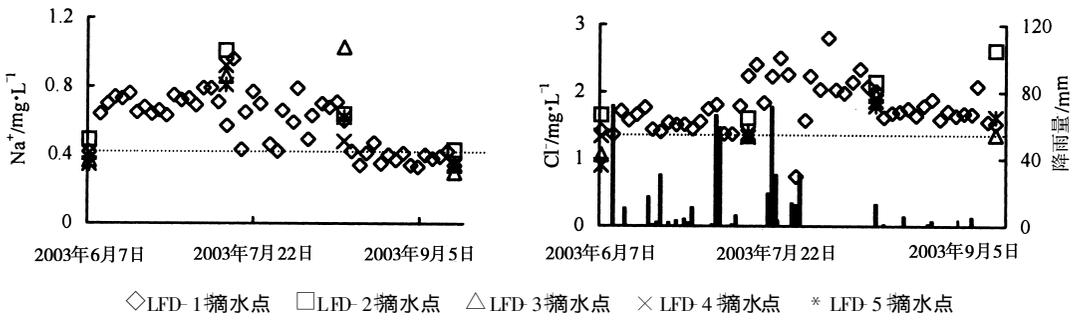


图 1 凉风洞 Na⁺和 Cl⁻示踪结果
 图中虚线示意 LFD-1滴水点示踪元素本底值
 Fig 1 Tracing results in the Liangfeng cave

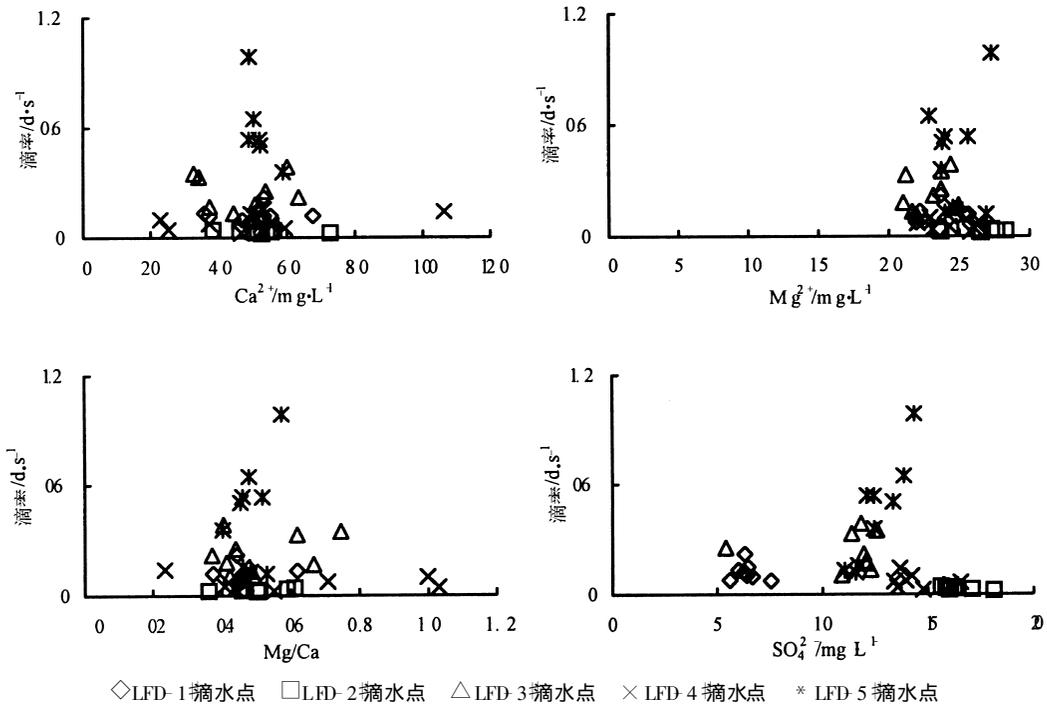


图 2 凉风洞滴率与滴水元素间的关系
 Fig 2 Correlation between drip rate and element contents in the Liangfeng cave

LFD-3 则表现出滴率与元素含量间的无规律变化, 而滴点 LFD-5 则表现出一种随着滴率的增加, 元素含量也增加 (Ca²⁺的变化较小) 的变化。

2.3 洞穴系统大气降雨、土壤水和滴水主要元素动态

图 3 中列出了凉风洞示踪点 (LFD-1 井) 和元素含量最高的滴水点的动态曲线, 显示出 Ca²⁺ 在降雨量较大的 7 月份含量有所下降, Mg²⁺ 也表现出了相同的趋势, 但其变化较之 Ca²⁺ 的变化微弱得多, 其余时间则显示出较为稳定的状态。土壤水中这两个元素也表现出了相同的趋势。除了一定的稀释作用外, 由于凉风洞雨季始于 4 月, 至 7 月土壤经过了长达 3 个月

的淋滤, 这很可能是造成土壤 Ca²⁺ 7 月下降的主要原因。这种现象过去也曾证实^[19]。而滴水中 Ca²⁺ 的变化继承了土壤水的特点。洞穴滴水的 SO₄²⁻ 显示出较 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 元素更稳定的动态过程, 土壤水则表现出雨季低旱季高的动态特点。大气降雨中 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 元素相较于滴水的含量低且更稳定, 而 SO₄²⁻ 则低于或接近滴水的含量, 季节变化也较大。

3 讨论

3.1 洞穴滴水的物质来源

从图 3 可以知道, 通过大气降雨输入岩溶系统

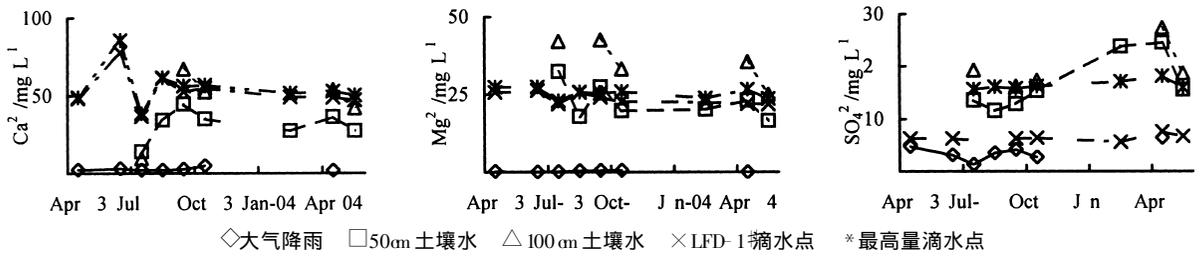


图 3 大气降雨、土壤水和滴水主要元素 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 的动态

Fig 3 Kinetics of main elements in rainfall, soil water and drips

的金属元素离子极低,变化也较小。 SO_4^{2-} 的输入较之金属离子高,表现出干季输入量高,雨季输入量低的特点。同时,大气降雨输入的 SO_4^{2-} 进入土壤后,很快被土壤固定,根据 Dail 等采用无机盐 $\text{Na}^{35}\text{SO}_4$ 作为示踪剂,研究了土壤对硫酸盐的吸附作用,结果有 48% 左右的硫酸盐在极短的时间内被土壤固定,而固定的机理存在于两个方面,其一是土壤的物理化学吸附,其二是转化为有机态硫^[20]。从 50cm 土壤水与滴水 SO_4^{2-} 含量上可以看出,土壤水 SO_4^{2-} 含量大于示踪点滴水中的含量,而与凉风洞最高 SO_4^{2-} 含量滴水点的值相差不大,从 100cm 土壤水的含量来看,基本上均高出凉风洞最高滴水点 SO_4^{2-} 的含量水平。

对于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量而言,滴水中的含量均低于土壤水,而示踪研究表明凉风洞滴水对大气降雨的响应时间为 0~36 天(见图 1),表明水与岩石作用的时间不长,源自于岩石的金属离子相对较少,大气降雨中携带输入的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子较少(见图 3)。以优先流(指以通过土壤大孔隙和岩石裂隙为主的水流形式)为主的凉风洞水直接携带了土壤中的离子,根据室内的模拟淋滤试验研究,岩溶系统中土壤条件下的岩溶作用首先表现为土壤易移动性 Ca^{2+} 的快速淋失过程与可交换的缓慢交换释放过程^[19]。而滴水与土壤水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子含量在

动态上的一致性,显示出土壤的物理、化学及生物学特性控制了滴水的元素含量,表明凉风洞滴水中的物质主要源自于土壤。

3.2 洞穴滴水的水动力学过程

在岩溶洞穴顶板内发生的水动力学作用一般包括水源改变、稀释作用、方解石沉淀和活塞效应等过程^[14 15 21 22]。对 LFD-1 滴水点的示踪结果表明洞穴滴水对于大气降雨的响应时间较快(见图 1),为 0~36 天,意味着水在洞穴顶板的运移方式以快速的优先流为主。这种特点显示在森林覆盖条件下的凉风洞地区与土壤疏松、具良好通透性,岩石节理发育,以及大气降雨受到森林作用而分散均匀等特点具有非常大的联系。图 1 同样可以看出 5 个滴水点均显示出示踪剂含量升高的特点,而这其中对大气降雨响应最快的还应该是 LFD-2 # LFD-3 和 LFD-4 # 就 pH 值而言,5 个滴水点的动态基本一致,但 2003 年 4 月 12 日的测定结果表现出 LFD-2 # LFD-3 和 LFD-4 的 pH 值明显偏低;在 2003 年 7 月 14 日滴水的测定结果中,又以 LFD-2 # LFD-3 和 LFD-4 滴水中的 Na^+ 含量高于 LFD-1 和 LFD-5 # (见表 1 和图 1)。这一结果实际指示了洞穴滴水受到不同源的水的影响,因此, LFD-2 # LFD-3 和 LFD-4 在较大降雨发生的初期会得到不同源的水的补充,但这种因素影响的时间较短,只发生在较大

表 1 5 个滴水点对大气降雨的响应比较

Table 1 Comparisons of 5 drip points responding to the rainfall

滴水点	2003-4-11 降雨量/mm	2003-4-12 滴水 pH 值	2003-7-11 降雨量/mm	2003-7-14 滴水 Na^+ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
LFD-1 #		8.61		0.57
LFD-2 #		7.04		1.01
LFD-3 #	16.7	7.30	6.3	0.86
LFD-4 #		7.27		0.92
LFD-5 #		8.55		0.81

降雨的初期阶段。

Tooth等采用滴水中 SO_4^{2-} 含量的变化来评价洞穴滴水是否发生稀释作用, 他们认为滴水中的 SO_4^{2-} 源自于碳酸盐岩石中的黄铁矿风化而缓慢释放出来^[15], 不过他们没有对土壤水进行研究。凉风洞滴水中的 SO_4^{2-} 源自于土壤(见图 3), 其含量的变化受到土壤学及土壤生物化学过程所控制, 从图 2 还可以看出, 滴水 SO_4^{2-} 含量的改变并未表现出与滴速的改变一致的现象。因此, 凉风洞滴水中的 SO_4^{2-} 没能指示水动力过程中是否发生了稀释作用, 图 3 显示出 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 在 7 月下降, 一方面受土壤离子供应的影响, 另一方面可能存在一定的稀释作用, 但其影响微弱。

在碳酸盐的岩石节理中常常可以看到一种缝合线的构造, 这是一种水运移过程中的方解石沉淀过程的指示。根据对凉风洞土壤水的分析测试, 大气降雨进入土壤后, 由于土壤中的生物作用, 大量 CO_2 溶解于水, 土壤水具有极高的 CO_2 分压(表 2), 运移到 50cm 土壤深度时, 土壤水的方解石饱和指数(SIC)已经接近或达到饱和状态, 且 100cm 土壤水的 SIC 值高于 50cm 土壤水, 意味着土壤水进入到岩

石后可能在极短的时间内就会达到 SIC 饱和, 即水进入岩石的最初阶段对岩石有溶解作用, 更进一步的运移过程中就会发生方解石沉淀作用, 而洞穴滴水的 SIC 值除个别时间段少数滴水点呈现出负值外, 多数均显示为正值(表 3)。为此, 对凉风洞 5 个滴水点滴水中 Ca^{2+} 和 Mg/Ca 比值进行了相关性研究, 结果见图 4。随着 Ca^{2+} 含量的下降, 滴水中的 Mg/Ca 比值升高, 这一结果指示了凉风洞 5 个滴水点水在洞顶流出前在岩石中发生了方解石的溶解-沉淀作用。这种相关性在 LFD-1 至 LFD-4 滴水点均非常的显著, 相关系数均在 0.9 以上, 而仅 LFD-5 点显著性较差, 相关系数只达到 0.8 表明 LFD-5 还存在着其他的水动力作用影响过程。

活塞效应一般是指水动力过程中由于洞穴顶板内存在着较老的水源, 在大气降雨进入的过程中以活塞作用的方式将贮存在顶板内的老水(饱和且离子含量较高的水)推入滴水的运移路径, 从而影响到滴水的化学特性。上文提到 LFD-5 滴水点水动力作用过程中发生的方解石沉淀作用相对于其他滴水点而言较弱, 而从滴水的滴率变化过程与滴水中离子的含量变化来看, 随着滴率的增加, LFD-5 滴

表 2 土壤水、滴水 CO_2 分压

Table 2 Partial pressures of drip water and soil water

时间 年-月	土 壤 水				滴 水				
	LFF(50)1	LFF(50)2	LFF(50)3	LFF(100)1	LFD-1#	LFD-2#	LFD-3#	LFD-4#	LFD-5#
2003-7	1 643.30			1 398.67	106.10	99.02	106.10	80.49	143.13
2003-8	3 852.27	1 275.61			351.33	292.22	248.72	367.89	343.33
2003-9	990.19			1 431.25	108.57	88.25	106.10	86.24	82.36
2003-10	2 166.29	1 760.83	2 375.29	3 678.89	216.63	335.52	176.08	260.45	197.57
2004-2	306.00				473.93	124.66	127.56	248.72	327.88
2004-3	1 335.72			1 498.71	84.28	70.10	66.94	63.93	106.10
2004-5	6 850.41	3 595.15	4 526.02	6 542.09	610.54	596.65	544.15	519.66	804.85

表 3 50~100cm 土壤水、滴水方解石饱和指数(SIC)结果汇总

Table 3 Saturation index of Calcite (SIC) of drip water and 50~100cm soil water

时间 年-月	土 壤 水				滴 水				
	LFF(50cm)1	LFF(50cm)2	LFF(50cm)3	LFF(100cm)1	LFD-1#	LFD-2#	LFD-3#	LFD-4#	LFD-5#
2003-7	-1.03			-1.03	0.50	0.58	0.49	0.21	0.42
2003-8	-0.59	-0.56			0.54	0.60	0.25	0.56	0.50
2003-9	0.05			0.33	0.90	1.03	0.93	0.43	0.96
2003-10	-0.82	-0.30	-0.55	-0.52	0.58	0.44	0.68	0.56	0.65
2004-2	-0.21				0.16	0.73	0.64	0.40	0.33
2004-3	-0.61			-0.11	0.89	1.04	0.99	1.03	0.87
2004-5	-1.38	-1.30	-0.80	-0.92	0.05	0.14	0.11	0.22	-0.01

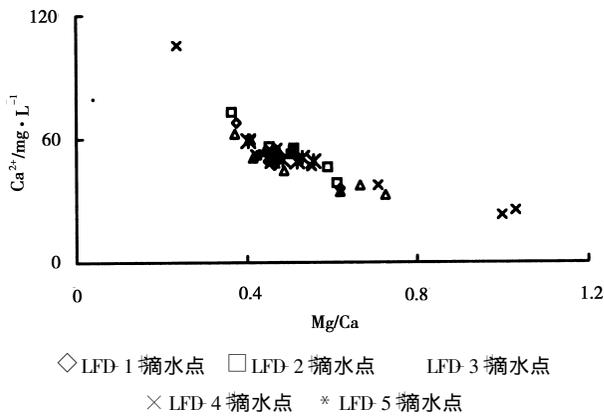


图 4 洞穴滴水 Ca^{2+} 与 Mg/Ca 的相关性

Fig 4 Correlation between drips Ca^{2+} with Mg/Ca

水离子含量也存在着增加的趋势,但这种趋势较弱(见图 2),即离子含量的增加较少,而这一结果也正好与方解石沉淀的结果(见图 4)一致,表明 LFD-5 还发生了一定程度的活塞效应,但效果较弱,也就意味着 LFD-5 滴水的水动力作用过程也仍是以沉淀作用为主。

综上所述,凉风洞 5 个监测滴水点滴水的水动力作用过程存在着较大的差异,首先表现在虽然都对大气降雨响应的的时间尺度较短,但点间响应时间尺度仍存在着差异,其次水在洞穴顶板运移的过程中,水-土、水-岩作用类型也存在着差异,表现在 5 个点都存在着方解石的溶解-沉淀作用,且主导了水运移过程的作用特点,但 LFD-2 和 LFD-3 和 LFD-4 还在较大降雨量的初期会受到不同来源的水的影响,而 LFD-5 还存在着活塞效应的影响,虽然影响相对较弱,但对于滴水的物质来源、数量等产生影响,表明凉风洞 5 个滴水点的水动力作用过程存在一定差异。

3.3 洞穴滴水水动力过程指征

岩溶次生沉积物记录能够指示岩溶地区的过去环境变化,但所得出的结果多数来自于洞穴内一个点的次生沉积物记录^[1,3,4,6-8],虽然也存在着岩溶过去环境变化的指示在洞穴内多点重现的记载,但也存在着很大程度的变异^[2,21],同样还发生了各点间次生沉积记录指标重现性较差的记录^[13]。原因就在于各个滴水点水动力过程存在着较大差异,同时,水运移过程中发生的作用类型也存在较大差异,这种差异使得滴水的物质来源、数量多少、作用类型、水运移途径等过程在不同的滴水点间存在差别,从而导致岩溶次生沉积物保存的环境信息的差异。

凉风洞 5 个滴水点的主要水动力过程中的作用类型由方解石的溶解-沉淀过程所控制,因此,这 5 个点的次生沉积记录具有一定的规律性,如 Mg/Ca 比值雨季较高而旱季较低等,但由于不同滴点还受到其他诸如在短时间内不同来源水的影响、贮存在洞穴顶板内的先前贮存水的影响,尤其是滴水对大气降雨响应时间尺度的差异,势必造成岩溶次生沉积记录指标的变异而影响到结果的解译^[8,10,11,24,25],因此,对于岩溶次生沉积记录指标的解译需要对滴水点水动力作用过程详细了解为前提,尤其需要注意发生稀释作用、水来源变异等作用类型的滴水点。

4 结论

凉风洞地区由于喀斯特森林植被的存在,使得洞顶土壤具有良好的通透性,大气降雨均匀分散,水在洞穴顶板的运移以优先流为主,洞穴滴水对大气降雨的响应较快,但不同滴水点间存在着差异,这种差异受控于水-土、水-岩作用而导致滴水点间化学组成的差别。岩溶地球化学研究结果表明,凉风洞滴水的化学组成主要源自于土壤,因此,土壤的物理、化学、以及生物学过程控制了洞穴滴水的物质组成特性,而由于凉风洞土被不连续的特点,土壤的差异同样也会影响到滴水的物质组成。在洞穴顶板内,水运移的动力过程中一般会发生水源改变、稀释作用、方解石沉淀和活塞效应等,是以方解石的溶解-沉淀作用为主。这一过程控制了发生在洞穴顶板内主要的地球化学类型,表明凉风洞滴水点的次生沉积物可能记录了环境变化信息。但由于不同的滴水点还受到其他的作用过程的影响,虽然仅显示出次要的影响效果,然而这些过程对洞穴次生沉积记录信息也存在一定的影响,因此,在对岩溶地区次生沉积记录进行解译的过程中要清楚滴水点的水动力作用过程,尤其应该注意由于水源改变、活塞效应等导致的信息记录的差异。

参考文献 (References)

- 1 Baker A, Smart P L, Edwards R L *et al*. Annual growth banding in a cave stalagmite. *Nature* 1993, 364: 518-520
- 2 Donak JA, Edwards R L, Ito E *et al*. Climate and vegetation history of the Midcontinent from 75 to 25ka: A speleothem record from Crevice cave, Missouri, USA. *Science* 1998, 282: 1871-1874
- 3 McDermott F, Matthey D B, Hawkesworth C. Centennial scale Holocene climate variability revealed by a high resolution speleothem $\delta^{18}\text{O}$ record from SW Ireland. *Science* 2001, 294: 1328-1331
- 4 Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M. Holocene forcing of the Indi

- an monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman *Science* 2003 300 1 737~1 739
- 5 Yuan Daoxian Cheng Hai Edwards R L *et al* Timing duration and transitions of the last interglacial Asian monsoon *Science* 2004 304 575~578
- 6 Baklini J U L McDemott E Fairchild I J Structure of the 8 200 year cold event revealed by a speleothem trace element record *Science* 2002 296 2 203~2 206
- 7 Frappier A Sahagian D González LA *et al* El Niño events recorded by stalagmite carbon isotopes *Science* 2002 298 18
- 8 Roberts M S Smart P L Baker A Annual trace element variations in a Holocene speleothem *Earth and Planetary Science Letters* 1998 154(1~4): 237~246
- 9 Tan Ming Liu Tungsheng Hou Juzhi *et al* Cyclic rapid warming on centennial scale revealed by a 2 650 year stalagmite record of warm season temperature *Geophysical Research Letters* 2003 30 1 617~1 620
- 10 Baker A Ito E Smart P L *et al* Elevated and variable values of ^{13}C in speleothems in a British cave system *Chemical Geology* 1997 136 263~270
- 11 李彬,袁道先,林玉石等. 桂林地区降水、洞穴滴水及现代洞穴碳酸盐氧碳同位素研究及其环境意义. *中国科学(D辑)*, 2000 30(1): 81~87
Li Bin Yuan Daoxian Lin Yushi *et al* Oxygen and carbon isotopic characteristics of rainwater drip water and present speleothems in a cave in Guilin area and their environmental meanings *Science in China (Series D)* 2000 43(3): 277~285
- 12 李彬,袁道先,林玉石等. 桂林地区4万年来石笋高分辨率古生态变化记录. *第四纪研究*, 2000 20(4): 395
Li Bin Yuan Daoxian Lin Yushi *et al* High resolution paleoecological reconstruction up to 40 000a.B.P. with stalagmites from Guilin area *Quaternary Sciences* 2000 20(4): 395
- 13 Serefidin F Schwarz H B Ford D C *et al* Late Pleistocene paleoclimate in the Black Hills of South Dakota from isotope records in speleothems *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleobiology* 2004 203(1~2): 1~17
- 14 Fairchild I J Borsato A Tooth A F *et al* Controls on trace element Sr/Mg compositions of carbonate cave waters: Implications for speleothem climatic records *Chemical Geology* 2000 166 255~269
- 15 Tooth A F Fairchild I J Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem forming drip waters: Crag Cave, Southwest Ireland *Journal of Hydrology* 2003 273 51~68
- 16 张美良,袁道先,林玉石等. 贵州荔波董哥洞3号石笋的同位素年龄及古气候信息. *沉积学报*, 2001 19(3): 425~432
Zhang Meiliang Yuan Daoxian Lin Yushi *et al* Isotopic ages and paleoclimatic implications of No. 3 stalagmite from Dongge Cave in Libo *Acta Sedimentologica Sinica* 2001 19(3): 425~432
- 17 林玉石,张美良,程海等. 贵州荔波第四纪晚近期石笋地质年表与气候事件. *地学前缘* 2003 10(2): 342~350
Lin Yushi Zhang Meiliang Cheng Hai *et al* The geological time scale and climatic events from stalagmites in the late or recent Quaternary period in the Libo area, Guizhou, Southwest China *Earth Science Frontiers* 2003 10(2): 342~350
- 18 周运超,王世杰,谢兴能等. 贵州4个洞穴滴水对大气降雨响应的动力学及其意义. *科学通报*, 2004 49(21): 2 220~2 227
Zhou Yunchao Wang Shijie Xie Xingneng *et al* Significance and dynamics of drip water responding to rainfall in four caves of Guizhou, China *Chinese Science Bulletin* 2004 49(21): 2 220~2 227
- 19 潘根兴,曹建华. 表层带岩溶作用:以土壤为媒介的地球表层生态系统过程,以桂林峰丛洼地岩溶系统为例. *中国岩溶*, 1999 18(4): 287~296
Pan Genxing Cao Jianhua Karstification in epikarst zone: The earth surface ecosystem processes taking soil as a medium——Case of the Yaji karst experiment site, Guilin *Carsoologica Sinica* 1999 18(4): 287~296
- 20 Dail D B Fitzgerald J W. S cycling in soil and stream sediment: Influence of season and in situ concentrations of carbon, nitrogen and sulfur *Soil Biology and Biochemistry* 1999 31(10): 1 395~1 404
- 21 Liu Zaihua Groves Chris Yuan Daoxian *et al* Hydrochemical variations during flood pulses in the Southwest China peak cluster karst: Impacts of $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ interactions *Hydrological Processes* 2004 18(13): 2 423~2 437
- 22 张之淦,黄保健,黄海澎. 亚热带岩溶平原区土壤 CO_2 系统对地下水面升降的响应——活塞效应一例. *第四纪研究*, 2000 20(4): 374~382
Zhang Zhigan Huang Baojian Huang Haipeng Response of soil CO_2 to ground water table changes in a subtropical karst plain region: A case study on piston effect *Quaternary Sciences* 2000 20(4): 374~382
- 23 Frisia S Borsato A Preto N *et al* Late Holocene annual growth in three Alpine stalagmites records the influence of solar activity and the North Atlantic Oscillation on winter climate *Earth and Planetary Science Letters* 2003 216(3): 411~424
- 24 Treble P Shelley J M G Chappell J Comparison of high resolution sub-annual records of trace elements in a modern (1911~1992) speleothem with instrumental climate data from Southwest Australia *Earth and Planetary Science Letters* 2003 216(1~2): 141~153
- 25 Musgrove M L Banner J L Controls on the spatial and temporal variability of vadose drip water geochemistry: Edwards aquifer, central Texas *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2004 68(5): 1 007~1 020

ANALYSIS OF HYDROCHEMICAL PROCESS OF DRIP WATER IN THE LIANGFENG CAVE, LIBO, GUIZHOU

Zhou Yunchao Wang Shijie

(State Key Laboratory of Environmental Geochimistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract

This paper deals with 5 drip points monitored yearly in the Liangfeng cave, Libo county of Guizhou Province, China. The existence of karst forest and soil covered over the cave has allowed much better permeability and rainfall uniformly dispersed. The result shows that preferential flow is the main type of water transport in the cave roof and the drip water responding to rainfall is much faster, but with differences among the drip points. Active processes of water-soil and water-rock control the diversity so that it results in different chemical compositions of drip water. Simultaneously, according to the research of element geochemistry, water transporting in the cave roof influenced the sources of the substances and the substances in drip water mainly come from the soil in the roof of the Liangfeng cave except that a few content of elements origins from the rainfall. With the temperature rising, accelerating of the activities of organism and the content of soil CO_2 led to a higher CO_2 partial pressure in the soil water and water penetrating rock fissures, dissolving rock till saturated quickly and leading to the precipitation of calcite. The change of element contents of cave drip composition was controlled by all of these processes. Dilution and different sources of water coming from and (or) piston flow had some effects on the drip water composition, however, the effect is much fewer. The result implies that the speleothems of 5 drip points in the Liangfeng cave probably had preserved the information of environmental change. For the reason that different drip point in the cave was also affected by other kinds of actions, the information preserved in speleothemism might be different although they were minor influenced by these factors. At different time scales, action ways and substance sources of water-soil and water-rock interactions of different drip points affected the evaluation standard and substance source of karst speleothem, in addition to the existence of large variance of water dynamic condition among the drips. It implied that hydrogeochemical process of water transport in the roof of cave (rock dissolved and calcite precipitation), time scale of drip water responded to rainfall, hydrodynamic process and ways of water transport in the cave roof etc. influenced the index of past environmental change recorded in karst speleothem. From this point of view, accurate interpretation of the index of past karst environmental change must be supported by clearly understanding hydrogeochemical dynamic process of drip water. The clarification of the process of drip water will contribute to the further studying karst environmental change of high resolution and short time scale of speleothem record.

Key words: Liangfeng cave of Guizhou Province; cave drip water; hydrodynamic process; action characters