

文章编号:1001-4810(2004)02-0113-07

桂林市芦笛岩、大岩洞穴环境特征^①

陈伟海¹, 邓亚东¹, 韩道山¹, 房锋保¹, 刘 学²

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2. 桂林市芦笛景区管理处, 广西 桂林 541001)

摘 要:对桂林市西郊的芦笛岩和大岩洞穴环境长期观测的结果表明,作为游览洞穴的芦笛岩与洞外空气交换频繁,洞穴 CO₂ 的含量较低,温、湿度变化频繁而且幅度大。游览活动导致洞内 CO₂ 含量显著增加,但是回落十分迅速,不会引起洞内温度、CO₂ 的累积效应。作为非游览洞穴的大岩与外界交换弱且缓慢,保持着相对恒定的原始环境,有较好的洞穴气候分带,空气温度、湿度比较稳定,CO₂ 的含量呈规律性季节变化;最近 20 多年来,洞内气温、湿度有明显的降低。

关键词:洞穴环境;观测研究;温湿度;二氧化碳;桂林市

中图分类号:X141;X83 **文献标识码:**A

0 前 言

洞穴环境系统是陆地自然环境中的一个子系统,包括多种要素,比较敏感的因子是空气、水及生物等。洞穴空气环境包括温度、湿度、CO₂、正负离子、气溶胶、气流等要素。近一二十年来,我国的洞穴环境研究主要结合游览洞穴保护和洞穴医疗工作而进行^[1~3]。据有关资料,我国现有 300 多个游览洞穴,年接待游客 4000 万人以上,直接经济效益数十亿元。随着洞穴的开放,洞穴环境发生了显著的变化,洞内景观受到不同程度破坏,洞穴保护已成为当务之急。对游览活动所引起的洞内环境变化及其自净能力作系统的观测研究,可以为游览洞穴保护和科学管理提供依据。此外,洞穴环境的某些特殊性,比如较高的负氧离子浓度、特殊的物理化学场等,对某些疾病,特别是对慢性呼吸道疾病有积极的正向效果。因此,洞穴环境的观测和研究,在医学上也有重要意义。

为了探讨洞穴环境特征以及旅游活动对它的影响,我们从 2003 年 9 月份开始,对桂林芦笛岩洞穴空气环境要素进行长期的定时、定位观测,并与洞外相关因素进行数值测定和比较。在不同部位共设置了 8

处观测点,目前采用人工巡回方法,监测空气的温度、湿度、CO₂、负离子、氡及其子体浓度、放射性、气流(风速)、照明度等要素,每 5 天测量一次。研究洞穴环境要素的时、空变化及相互关系,分析人为因素对洞穴环境的影响及系统的稳定性,以提出洞穴保护措施。同时,对附近处于同样地质环境背景中的大岩(未开放游览的洞穴)作同步对照监测,设置了 10 处观测点。限于篇幅,本文仅对这两处洞穴的空气温度、湿度和 CO₂ 的观测结果作分析和对比研究。

1 洞穴分布及形态特征

1.1 洞穴分布

芦笛岩和大岩位于桂林市西北桃花江右岸的光明山南侧。光明山是桂林峰林平原上一个较大的峰簇,面积 0.92km²,峰顶最大标高 404.4m,平原地面标高 151m。出露地层为上泥盆统融县组灰岩,质纯层厚,岩溶发育强烈。地层产状较缓,倾角多在 15°以下。山体之中自南而北分布有芦笛岩、大岩、飞丝岩和穿岩 4 个洞穴(图 1)。对这几个洞穴,前人曾做过系统的调查研究^[4]。

① 基金项目:中国—斯洛文尼亚政府间科技合作项目——洞穴环境系统研究(P05:10)部分成果
作者简介:陈伟海(1968—),男,副研究员,1988年毕业于北京大学地质系,主要从事岩溶景观与洞穴资源调查研究。E-mail:chenwei hai@mail.karst.ac.cn
收稿日期:2003-12-25

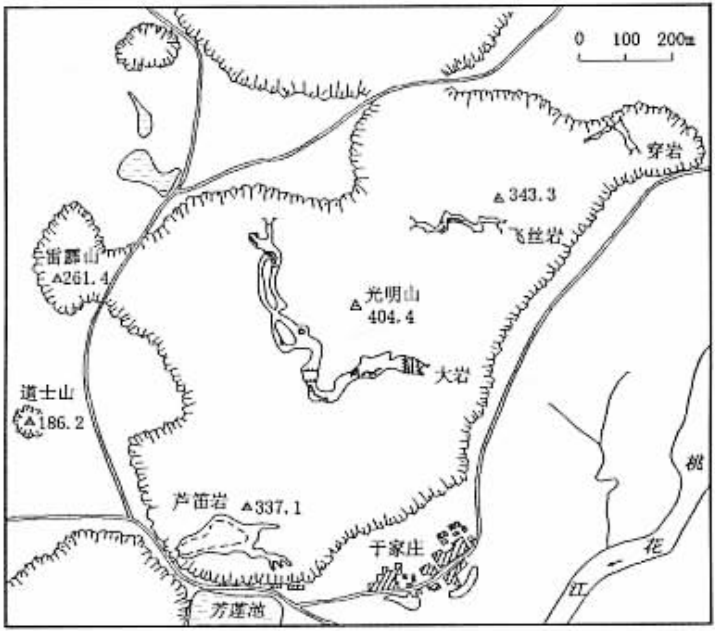


图 1 桂林光明山洞穴分布图

Fig. 1 Caves distribution in Guangming hill, Guilin

1.2 芦笛岩形态特征

芦笛岩为一个厅堂式洞穴(图 2), 东西长 240m, 南北宽 50~90m, 洞高 10~18m; 洞底高出平原地面 15~25m, 底部面积 $1.49 \times 10^4 \text{m}^2$ 。芦笛岩内的次生化学沉积物非常发育, 石笋、石柱密集成林, 在滴水、飞溅水和流水的协同作用下, 各类沉积形态变化万千, 拟人状物, 惟妙惟肖, 构成了一系列意境奇绝的景观, 而且景观密集, 气势雄伟, 令人目不暇接, 被誉为“大

自然艺术之宫”。在芦笛岩洞厅的西侧有并排的相距仅数米的游览进出口, 其中位于北端的出口为人工开拓而成。此外, 在洞厅的北侧和东南侧有两处较大的支洞, 其中东南侧的支洞有一小通道贯穿地表, 安装有小型排风扇。芦笛岩于 1962 年建立公园对外开放, 近几年来每年游客量 100 万人左右, 是我国游客人数最多的著名游览洞穴。



图 2 桂林芦笛岩平面及观测点布设图

Fig. 2 Plan map of the Reed Flute Cave and location of monitoring spots

1.3 大岩形态特征

大岩位于芦笛岩的北东侧,光明山的东南麓(图 1),洞道长 975m,洞高一般为 15~20m,宽 5~30m,洞底总面积 $1.43\times10^4\text{m}^2$ 。洞穴呈廊道状(图 3),进口段东西走向,后半段洞穴走向北偏西。洞穴中段洞道

分叉,使洞穴呈双层状,上下两层洞道的底部高差约 7~10m,上层洞规模较小。大岩有二个洞口,一为东口,高出洞穴平坦的底部 21m,洞口筑有石墙;一为北口,洞口窄小,较隐蔽,现已被人工堵填。

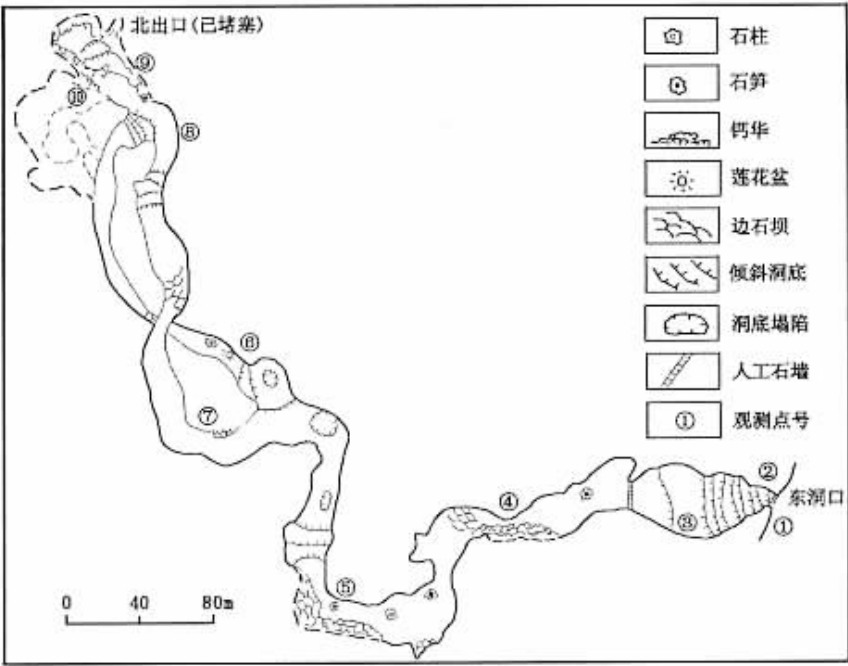


图 3 桂林大岩平面及观测点布设图

Fig. 3 Plan map of the Great Cave and location of monitoring spots

2 洞穴环境特征

2.1 芦笛岩

2.1.1 时间变化

根据目前的观测结果,芦笛岩主要环境因子随时间的变化十分显著,温、湿度变化频繁。以位于芦笛岩大厅深处的 5 号测点(位于洞穴大厅内,即“锦秀河

山”景点附近)为代表,在 2003 年 9 月至 2004 年 3 月间,该测点的平均气温为 16.6℃,其中月平均气温最高为 23.0℃,最低为 11.9℃,变化幅度较大,达到 11.1℃;湿度的变化范围为 63.4%~90.1%,变幅达 27.7%;CO₂ 的变化范围为 533~636ppm(表 1、图 4)。

表 1 桂林芦笛岩 5 号测点空气环境特征

Tab. 1 Characteristics of the air environment in No. 5 monitoring spot of the Reed Flute Cave

测 点	项 目	2003 年				2004 年			测 量 平均值
		9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
1 点 (洞口外)	温度(℃)	25.6	21.8	16.9	11.5	8.8	11.6	14.9	15.9
	湿度(%)	66.3	54.5	63.7	48.8	67.4	66.2	72.3	55.8
	CO ₂ (ppm)	448	423	507	505	510	507	431	476
5 点 (洞内大厅)	温度(℃)	23.0	20.9	17.7	14.2	11.9	13.3	15.2	16.6
	湿度(%)	63.4	73.3	87.5	84.6	90.1	84.1	84.3	81.0
	CO ₂ (ppm)	601	636	604	533	657	538	544	588

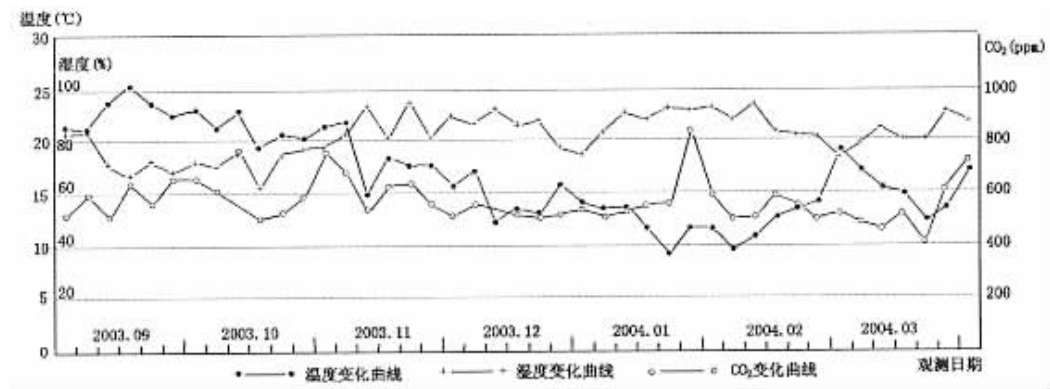


图 4 桂林芦笛岩 5 号观测点空气环境变化曲线(2003.9—2004.3)

Fig. 4 Curve of the air environmental change in No. 5 monitoring spot of the Reed Flute Cave

通过与芦笛岩洞外测点(1 号测点)的对比分析,可以看出,芦笛岩空气环境受洞外变化的影响很大,洞外气候波动对芦笛岩洞穴环境系统产生强烈的扰动,不断地发生物质和能量的交换。这是芦笛岩进、出洞口、洞厅东南侧贯穿地表的支洞发生空气对流,以及人工排风造成的。正因为这样,尽管芦笛岩是我国游客人数最多的洞穴,与国内一些游览洞穴相比^[5,6],芦笛岩中 CO₂ 的含量却较低。有些研究者将这种与洞外发生频繁的物质和能量交换的洞穴划分为高能型洞穴^[7]。这类洞穴的特点是与洞外空气交换通畅,热传递作用频繁。普遍认为洞穴通风条件的改善,有利于降低 CO₂ 的含量,但是,洞内温、湿度的频繁变化,会加速钟乳石的风化,破坏洞穴景观^[8]。目前,芦笛岩洞穴内相对恒定的原始环境已发生了较大的变化,洞内钟乳石已出现光泽差,外壳风化,局部变黄、变黑等现象,为了这一著名游览洞穴的可持续利用,当引起足够重视。

2.1.2 空间变化

作为一个厅堂式洞穴,除了洞穴进出口以及钟乳石生长密集的局部气流不通畅的地段外,芦笛岩主要

环境因子(温度、湿度、CO₂)的空间变化趋势不明显。

2.1.3 游客的影响

2003 年国庆黄金周期间,我们对洞穴的温度、湿度、CO₂ 以每隔一小时一次的频率监测,同时对进入洞穴的游客人数作分时段统计。10 月 2 日游客数为 10000 人;10 月 3 日游客数达 11000 人,在每天上午和下午的游览高峰期,客流量达 800~1200 人/h 左右,最高达 1372 人/h。图 5 是 2003 年 10 月 2~3 日芦笛岩的 5 号测点曲线。

游客是洞穴 CO₂ 的主要来源。10 月 2 日上午 8 时,测点的 CO₂ 为 530ppm,随着游客增加,洞内 CO₂ 的含量显著提高,呈等幅度上升,到当天下午 18 时,最高达到 1650ppm,相当于平时的 3 倍左右;同时,测点的湿度也有较大的提高,而温度的增幅不很显著。随着游客减少和游览停止,在经过一个晚上的扩散和对流以后,到 10 月 3 日上午开放游览前,洞内 CO₂ 含量已迅速下落到原来的水平,只有 576ppm;温度和湿度也显著降低。与国内一些游览洞穴不同,如北京石花洞开放 20 年后,洞穴的平均温度提高了 3℃ 以上。芦笛岩未见到明显的温度增高和 CO₂ 累积等现象。

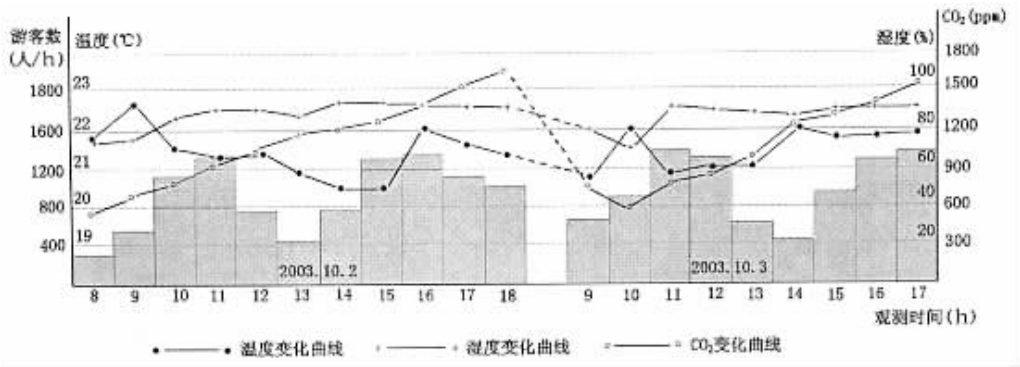


图 5 2003 年国庆节期间桂林芦笛岩 5 号测点空气 CO₂、温度、湿度与游客量变化图

Fig. 5 CO₂, temperature, humidity with the amount of tourist in No. 5 monitoring spot of the Reed Flute Cave during 2003's National Day

2.2 大岩

2.2.1 时间变化

大岩洞内主要环境因子(温度、湿度、CO₂)随时间变化不甚显著。以位于大岩 900m 深处的 8 号测点为例,2003 年 9 月至 2004 年 3 月期间,测得多月平均气温为 17.5℃,其中月平均最高为 19.0℃,最低为 16.6℃,变化幅度只有 2.4℃;湿度较高,变化范围为 84.5%~96.8%,变化幅度也只有 12.3%;CO₂ 的变化范围为 539~839ppm(表 2、图 6)。总体的变化趋势是:随着洞外温度降低,洞内温度缓慢降低,湿度有所升高。

大岩保持着相对恒定的原始环境,反映出大型横向洞穴的环境变化特征。随着洞外季节暖冷交替的变化,大岩内部带的空气环境因子(温度、湿度)季节性变化缓慢,变化幅度较小,说明地表气候波动对洞穴环境系统的扰动不甚强烈,这与芦笛岩形成鲜明的对比。

监测结果显示,从 2003 年 9 月至 2004 年 3 月,大岩洞内 CO₂ 的月平均含量呈不断降低的趋势,月

平均值从 839ppm 降低到 539ppm,变化幅度在 30%左右。从表 2 看出,这种变化趋势与洞外(1 号测点)空气中 CO₂ 的变化没有相关关系。推测这一变化规律与洞穴围岩及土壤 CO₂ 对洞穴的释放状况有关。土壤 CO₂ 含量与受土层温度、湿度控制的生物活动性强弱有关,而土层温度、湿度直接受气温和降雨影响。9 月份以后,气温降低,降雨量减少,植被生长减缓,土壤以及洞顶滴水的二氧化碳含量减少,从而引起洞内 CO₂ 的含量逐步降低。前人的有关观测研究也曾取得类似的结果^[6,9]。

2.2.2 空间变化

大岩的洞穴气候分带十分明显^[4],能较好地区分出洞外(观测点①)、过渡带(观测点②~④)和内部带(观测点⑤~⑩)。根据 2003 年 9 月至 2004 年 3 月测量值统计平均,从东洞口往里,月平均气温逐渐增高,从 16.4℃提高到 18.4℃;平均湿度从 68.2%逐渐提高到 90.9%,二氧化碳含量从 487.6ppm 提高到 676.6ppm(表 3、图 7),空间变化趋势十分明显。

表 2 桂林大岩 8 号测点空气环境变化特征

Tab. 2 Characteristic of the air environmental change in No. 8 monitoring spot of the Great Cave

测 点	项 目	2003 年				2004 年			测 量 平均值
		9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
1 点 (洞口外)	温度(℃)	26.2	20.5	16.8	12.1	8.8	13.1	14.3	16.0
	湿度(%)	74.1	67.5	63	49.0	69.4	71.6	76.6	67.3
	CO ₂ (ppm)	503	461	502	503	504	504	437	416
8 点 (洞内大厅)	温度(℃)	19.0	18.7	18.3	16.7	16.6	16.7	16.7	17.5
	湿度(%)	86.3	84.5	86.5	89.5	96.8	94.7	88.9	89.6
	CO ₂ (ppm)	839	707	679	662	587	580	539	656

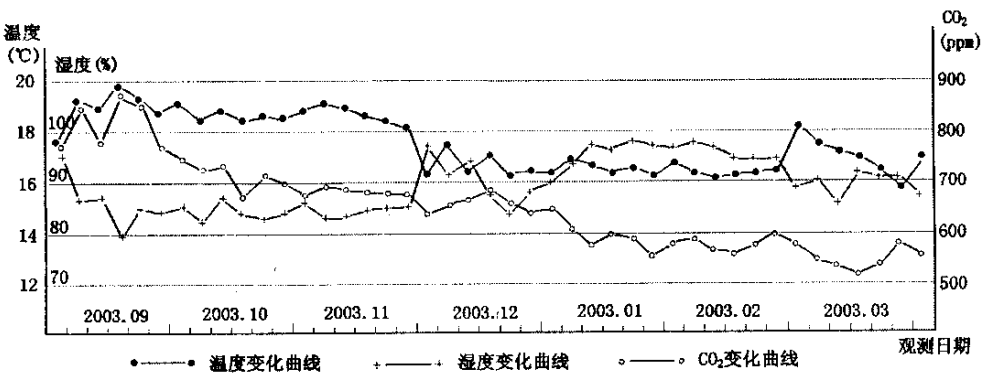


图 6 桂林大岩 8 号观测点空气环境变化曲线(2003.9—2004.3)

Fig. 6 Curve of the air environmental change in No. 8 monitoring spot of the Great Cave, Guilin

表 3 桂林大岩不同测点空气环境平均值(2003. 9~2004. 3)

Tab. 3 The average value of the air environment in different monitoring spots of the Great Cave

项目	点号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度(℃)	16.4	16.6	16.6	17.2	17.1	17.4	17.6	17.6	18.2	18.4
湿度(%)	68.2	74.7	80.2	85.1	86.5	89.6	89.5	89.9	90.3	90.9
CO ₂ (ppm)	487.6	532.6	577.1	628.9	630.8	644.2	637.1	656	669.5	676.6

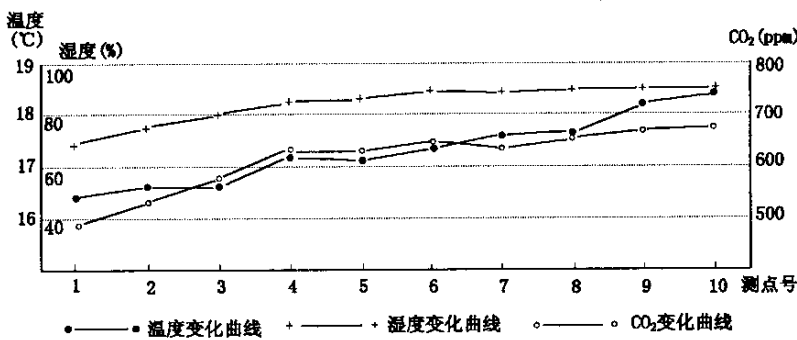


图 7 桂林大岩空气环境因子(平均值)随深度变化曲线(2003. 9—2004. 3)

Fig. 7 Curve of the air environmental change (in average) along with the change of depth in the Great Cave

2. 2. 3 近 20 年来的变化

1980~1981 年,岩溶地质研究所对曾经大岩进行气温和湿度长期观测^[4],大岩内部带的月平均温度变化范围为 18.1~19.3℃,平均值为 18.9℃;湿度平均值为 96.6%;与此对应的时段洞外平均温度为 16.1℃。作为对比,据 2003 年 9 月至 2004 年 3 月测量值

统计,大岩内部带的月平均温度变化范围为 16.1~20.1℃,平均值为 17.8℃;平均湿度为 89.5%(表 4);与此对应的时段洞外平均温度为 16.0℃。排除仪器测量误差的因素,20 多年来,大岩的洞穴气温下降了 1.1℃,湿度减少了 7.1%,产生这种状况的原因有待进一步研究。

表 4 桂林大岩内部带空气环境监测数据

Tab. 4 Monitored data of air environment in the inter zone of the Great Cave

项 目	观测年份	观测月份							平均值
		9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
温度 (℃)	1980—1981	18.6	19.0	19.0	19.3	18.7	18.1	19.3	18.9
	2003—2004	19.4	20.1	18.2	17.6	16.1	16.6	16.7	17.8
湿度 (%)	1980—1981	95.5	97.6	97.8	97.6	95.9	96.3	95.6	96.6
	2003—2004	84.5	83.7	86.3	90.2	96.9	93.6	91.1	89.5

3 结 语

芦笛岩为一个厅堂式的中小型洞穴,与外界环境联系较畅通,洞穴空气主要环境因子的空间变化趋势不明显,但随时间的变化十分显著,温度、湿度的变化幅度较大,CO₂ 的含量较低。随着游客增加,洞内 CO₂ 的含量显著增加,但是,随着游客减少即迅速回落,没有引起洞内温度、CO₂ 的累积效应。由于游览开发,改

变了洞穴的原始环境,人为增强了气流循环,导致洞穴内外空气交换频繁,洞内温、湿度变化频繁而且幅度大,将会加快钟乳石风化作用的进行,对洞内景观会产生极为不利的影响,应引起重视。
大岩的空间规模较大,保持着相对恒定的原始环境,与外界交换弱且缓慢,有较好的洞穴气候分带,空间变化趋势十分明显。洞穴空气主要环境因子(温度、湿度、CO₂)随时间变化不甚明显,有较为稳定的温

度、湿度值。受气温和降雨的影响,大岩 CO₂ 的含量呈规律性变化。最近 20 多年来,大岩的洞穴空气温度、湿度有明显的降低。

由于目前观测的时段较短,数据量有限,因此所取得的分析结果和认识是初步的和粗浅的,观测发现的一些科学现象的原因有待进一步探讨。需要作 2~3 个气象—水文年(甚至更长久)的长期观测,以取得大量的数据和满意的结果。

致 谢:桂林市芦笛景区管理处协助观测工作,文中还参考、对比了本所朱学稳、汪训一、朱德浩等老专家 20 世纪 80 年代的观测研究成果,朱德浩研究员审阅全文并提出了宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

参考文献

[1] 李坡. 贵州织金洞的环境监测与评价[A]. 宋林华主编. 喀斯特与洞穴风景旅游资源研究[C]. 北京:地震出版社,1994,131—

137.
[2] 朱其光,朱德浩,陈华奇. 洞穴医疗及柳州响水岩洞穴医疗研究[J]. 中国岩溶,1998,17(3):269—277.
[3] 宋林华,韦小宁,梁福源. 河北临城白云洞洞穴旅游对洞穴 CO₂ 浓度及温度的影响[J]. 中国岩溶,2003, 22(3):230—235.
[4] 朱学稳,汪训一,朱德浩,等. 桂林岩溶地貌与洞穴研究[M]. 北京:地质出版社,1988,215—233.
[5] 张蓄,赵淑艳,赵习方. 北京石花洞内 CO₂ 的监测与评价[J]. 中国岩溶,1997,16(4):325—331.
[6] 朱文孝,李坡,潘高潮. 织金洞的气候环境及空气中的二氧化碳[J]. 中国岩溶,1993, 12(4):409—417.
[7] 杨汉奎,田维新. 游览洞穴的环境变异[A]. 宋林华主编. 喀斯特与洞穴风景旅游资源研究[C]. 北京:地震出版社,1994,73—77.
[8] 宋林华,睢树春,陈岗岭,等. 河北临城白云洞洞积石形成与风化现象研究[J]. 地理学与国土研究,2000, 16(3):68—74.
[9] 何师意,徐胜友,张美良. 岩溶土壤中 CO₂ 浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系[J]. 中国岩溶,1997,16(4):319—324.

THE ENVIRONMENT OF THE REED FLUTE CAVE AND THE GREAT CAVE IN GUILIN

CHEN Wei-hai¹, DENG Ya-dong¹, HAN Dao-shan¹; FANG Feng-bao¹; LIU Xue²

(1. *Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;*

2. *The Management Department of the Reed Flute Cave Scenic Spot, Guilin, Guangxi 541001, China)*

Abstract: Depending on long-term cave environmental monitoring to the Reed Flute Cave and the Great Cave in the western suburb of Guilin, it indicates that, as a show cave, the carbon dioxide content in Reed Flute Cave is less, rises by tourist activities apparently and gets down quickly, it does not bring about accumulating effect of temperature and carbon dioxide, but temperature and humidity changes obviously with a high frequency because of frequent air exchange with outside. As a non-opened cave, the air in the Great Cave exchanges slightly and slowly with the outside environment and keeps a relative stable original environment with a perfect cave weather zonation, more invariable air temperature and humidity and regular seasonal change of carbon dioxide content. Air temperature and humidity inside the cave descend obviously in the recent 20 years.

Key words: Cave environment; Monitoring and research; Temperature and humidity; Carbon dioxide; Guilin city