

文章编号:1001-4810(2009)04-0348-07

本溪水洞洞穴空气CO₂浓度与温、湿度的 空间分布和昼夜变化特征^①

蔡炳贵¹, 沈凇梅², 郑伟³, 李克普³, 白云志³, 董春志³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所、新生代地质与环境院重点实验室, 北京 100029;
2. 辽宁省本溪市园林管理处, 辽宁 本溪 171000; 3. 辽宁省本溪市水洞风景区管理处, 辽宁 本溪 171100)

摘要:洞穴空气CO₂浓度是影响洞穴次生化学沉积物沉积和溶蚀的重要因素之一。基于对本溪水洞洞穴空气CO₂浓度、温度和湿度连续两个昼夜的系统观测结果,结合洞外大气CO₂浓度、温度和湿度数据,初步分析了本溪水洞洞穴空气CO₂浓度空间分布特征和昼夜变化规律:(1)洞穴空气CO₂浓度自洞口开始快速增高至一定深度后趋于稳定,这个快速升高的距离与不同季节洞穴交换能力有关,秋季大约是370 m。洞穴CO₂浓度稳定区的空间差异可能主要与洞穴结构和裂隙发育情况有关,在洞体变小的倚天长剑景点附近出现峰值,而在洞体变大的石瀑布景点和游客无法进入的源头区出现低谷。(2)观测期间,洞穴空气CO₂浓度总体上呈递降趋势,基本上与游客数量有关。(3)在洞穴空气CO₂浓度急剧上升的近洞口段,洞穴空气CO₂浓度每个昼夜出现两个峰值,分别对应正午12时和午夜前后。本溪水洞洞穴空气CO₂浓度的这种变化特点,受游客与工作人员的呼吸排放和洞穴与大气间的气体交换作用的双重影响。

关键词:CO₂浓度;空间分布;昼夜变化;本溪水洞;辽宁

中图分类号:X83 **文献标识码:**A

0 引言

洞穴空气CO₂浓度是影响洞穴次生化学沉积物沉积和溶蚀的重要因素之一,洞穴空气CO₂浓度升高,可以增高水溶液的钙离子饱和浓度,抑制滴水CO₂的溢出,从而抑制方解石生长(Baker and Genty 1998; Banner, Guilfoyle et al. 2007)。对于旅游洞穴,过高浓度的CO₂还可能引起游客的不适,引起洞穴碳酸钙景观的凝结水发生溶蚀作用,破坏碳酸钙景观和其它洞穴景观。因此,游客对洞穴景观生态环境的冲击是值得重视的问题。

过去国内外关于洞穴CO₂的研究较多(例如袁道先等,1988;杨汉奎,1993;张蕾等,1997;朱文孝等,1993,2000;宋林华等,2003;Baker and Genty,1998;

Banner等,2007),但主要是集中在季节性变化特征及其对洞穴次生化学沉积物的影响,而对于洞穴CO₂的昼夜变化的研究相对较少。在旅游洞穴,人类活动是影响洞穴空气的物质和能量变化最重要的因素之一,由于这些人为影响主要发生在白天,所以,洞穴空气昼夜变化特征是考察旅游洞穴空气自净能力的基本数据,同时也是旅游洞穴管理的重要参考依据。本溪水洞是我国北方最为著名的几大旅游洞穴之一,同时也是已知最长的可乘船游览的地下暗河之一。近年来,随着国民经济的高速增长和地方政府对旅游业的深度开发,游客数量逐年攀升,给洞穴管理和保护提出了更高的要求。

基于上述原因,本研究对本溪水洞洞穴空气CO₂浓度、温度和湿度进行了连续两个昼夜(2008年10月

① 基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:90502009, 40602021)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号:KZCX2-YW-316)
第一作者简介:蔡炳贵(1974-),男,博士,从事岩溶洞穴沉积与古气候研究。E-mail: cai-bg@mail.iggcas.ac.cn.
收稿日期:2009-04-24

19—21日)的系统观测,探讨水洞洞穴空气CO₂浓度空间分布特征和昼夜变化规律,并分析了其可能的影响因素。

1 背景与方法

1.1 水洞概况

本溪水洞位于辽宁省本溪市本溪县小市镇谢家崴子村,东距小市5 km,西距本溪市35 km(图1)。洞口经纬度分别为E124°4.28',N41°17.83',海拔高程约为262 m。水洞发育于太子河与其支流汤河之间的奥陶系和寒武系碳酸盐岩地层中,是一个典型的流出型洞穴,根据本溪水洞洞穴科学研究结果^[1],广义上的水洞可分为上、下游段。上游以暗洞形式存在。下游为地下水位洞穴,长2 226 m,围岩主要为奥陶系马家沟组层状白云质灰岩,局部见有上寒武统长山组夹层型不纯碳酸盐岩和岩浆岩(二长斑岩),现已全部开放游览。本文所讨论的是游船可进入的下游段,即狭义上的水洞。

本溪水洞发育主要受控于北西向、东西向和南北

向断层和节理,因此,洞穴呈北西—东南向展布^[1](图1)。洞道一般为厅堂—隧洞状,平均高度约为9 m,最高处超过30 m,一般宽度为10~20 m,最宽处为45~50 m。支洞不发育,且主要发育于地下河的左岸(西南侧),总面积约为5万m²,总体积约为40万m³。主要的厅堂为(以景观名称命名):洞口—芙蓉壁;南海观音—擎天玉柱;仙丹石—石笋王;织女石—八仙过海和千佛盛会—聚仙岛。连接这些厅堂之间的洞道较为狭窄,特别是在银河潮涌和之字湾附近的洞道截面积最为狭小。

本区属中温带湿润季风气候区,根据本溪气象站1956—2000年资料统计,年均温度为7.8℃,一月为最冷月,平均为-11.8℃,最热的七月平均为24.1℃,年降水量为511.2~1 243.5 mm,平均788.5 mm,降水在全年均有分布,但是主要降水集中在夏季风来临的七八两个月,占全年总降水量的50%。本区植被属辽东半岛落叶阔叶林。

本溪水洞旅游开发始于1982年底,1983年正式开放,是目前乘船游览路线最长的地下河洞穴,1994年被列为国家重点风景名胜区。

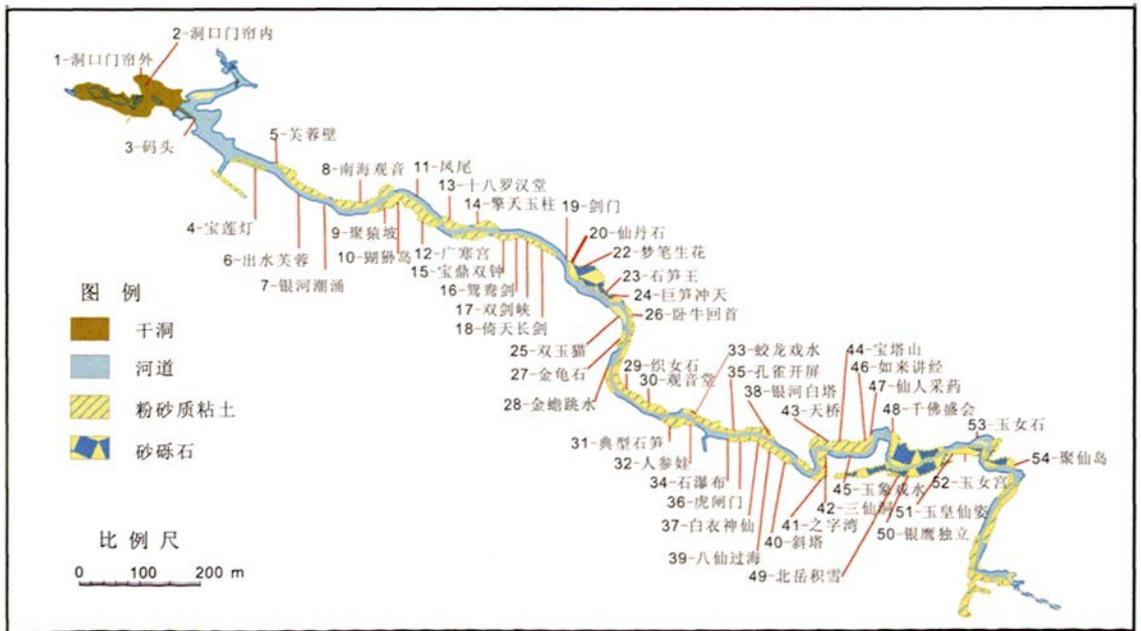


图1 辽宁本溪水洞洞道平面分布图(根据文献[1]改编)

Fig. 1 Plan view of the Water Cave, Benxi, Liaoning. Numbers 1~54 and their labels refer to location of scenic spots (Adapted from reference[1])

1.2 研究方法

实验从2008年10月19日开始,到21日止,共进行3天,包括了完整的两个昼夜。每天分别在第一批

游客进入洞穴之前,中午和下午最后一批游客出洞之后进行3次观测,每次观测从洞口开始,沿着旅游路线测试洞穴不同深处的空气温度、湿度和CO₂浓度。

在近洞口处,由于洞穴和大气之间的空气交换频繁,洞穴空气温度、湿度和CO₂浓度昼夜波动较大,为了获取此洞段的空气变化昼夜信息(洞穴呼吸),在距离洞口约250 m处,安放一台CO₂自动记录测试仪,连续记录洞穴空气温湿度和CO₂浓度,为了对比洞穴内外的温度差,在洞口外安置温湿度自动记录仪,连续记录大气的温度和相对湿度变化。

洞穴空气中的CO₂浓度使用 Telaire-7001 型便携式红外CO₂仪测定,仪器分辨率为1 ppm,量程为0~10 000 ppm,精确度为±50 ppm(或者读数的±5%),重复性测试误差小于20 ppm,实验前,使用标准气体(0 ppm)校准,并用电子气压计实测大气压值进行气压校准。洞穴温度和相对湿度使用哈纳 HI8564 温湿度计测定,分辨率分别为0.1℃和0.1%,精确度分别为±0.4℃和±2%。测试时,为了避免操作者呼吸对CO₂测试的影响,将便携式红外CO₂仪和温湿度计置于船头距离操作者大约2~3 m处。CO₂自动记录使用专用连线(Cable-CO₂)连接Telaire CO₂测试仪和HOBO U12-012 数据记录仪,可以连续自动记录空气温度、湿度和CO₂浓度,采样时间间隔为40秒,温度传感器测量精度为±0.35°,相对湿度传感器精度为±2.5%RH。大气温湿度通过放置在通风良好的小木屋屋檐下的HOBO-H8 温湿度自动记录仪获取,采样时间间隔为10秒,温度测量精度为±0.7°,相对湿度传感器精度为±5%RH。

2 结果

2.1 洞穴空气CO₂浓度、温度和湿度的空间分布和日际变化特征

不同时间内洞穴空气CO₂浓度随距离洞口深度变化特征如图2所示。

从图2看,洞穴空气CO₂分压随距离洞口深度变化总体上可以距离洞口约370 m左右的银河潮涌景点为拐点分为两段。从洞口到银河潮涌,洞穴空气与洞外大气之间的交换作用非常显著,CO₂浓度从近洞口的500 ppm左右急剧上升到4 300 ppm左右。值得注意的是,从银河潮涌开始到游览路线的尽头(仙女石景观),CO₂浓度变化幅度虽然只有500 ppm左右,但出现两个明显的极大值和两个极小值。第一个极大值也是整个洞穴空气CO₂浓度的最大值,出现在倚天长剑景观点(距离洞口约700 m)附近,之后缓慢下降,到石瀑布景观附近(距洞口约1 250 m)出现第一个极小值,然后又缓慢上升,到之字湾景观附近(距洞口1 400 m)出现第二个极大值点,之后逐渐下降。

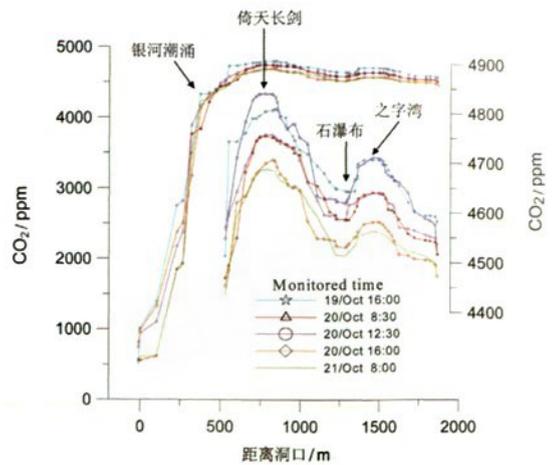


图2 洞穴空气CO₂浓度随洞穴深度变化图

(图的右坐标及其左侧下面一组曲线为银河潮涌至洞末CO₂变化的精细描述)

Fig. 2 Curve of CO₂ concentration in cave air against the distance from the entrance (The lower panel indicates the detail variation of CO₂ concentration in the inner section of cave channel)

时间上,尽管3天不同时刻共6次测得的洞穴空气CO₂浓度绝对值差别较小,只有200 ppm左右,但是从图2可以明显看出,这6次测得数值可以分成3组,随测试时间逐渐递减。19日中午洞穴空气CO₂浓度的值最高,19日下午4点与之相当,构成第一组;20日上午和中午洞穴空气CO₂浓度的值大致相同,为第二组,较先前测定的值低100 ppm;20日下午和21日上午CO₂浓度值最低,比前一组又低了100 ppm左右。

图3为不同时间测定的洞穴空气温度和相对湿度

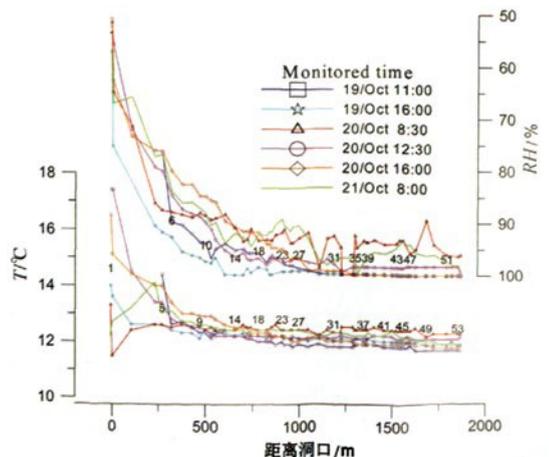


图3 洞穴空气温度和相对湿度随深度变化图

Fig. 3 Curve of temperature and relative humidity in cave air against distances from entrance

度随距离洞口深度变化曲线。从图中可以看出,不论是温度还是相对湿度都显示出与CO₂浓度一致的空间分布特征。从洞口到银河潮涌,相对湿度从50%~70%增加到90%以上。受大气昼夜温差变化的影响,温度变化幅度很大。从银河潮涌开始,各种空气参数逐渐趋于稳定,温度稳定在12.5℃左右,相对湿度在95%左右。

2.2 洞穴空气CO₂浓度昼夜变化特征

图4是安置在距离洞口约250 m处的自动记录仪测得空气CO₂浓度、温度和湿度随时间变化曲线。该点地处上述的洞口到银河潮涌景观之间,空气CO₂浓度昼夜变化非常显著。

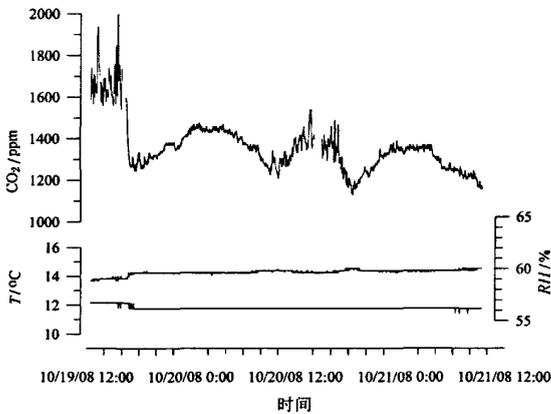


图4 距离洞口约250 m处的洞穴空气CO₂浓度随时间变化曲线

Fig. 4 Time series of CO₂ concentration, temperature and relative humidity in cave air observed at 250 m from the cave entrance

从图4中可以看出,观测期间CO₂浓度总体上存在逐渐降低的趋势,与上述日际变化特征相同。值得注意的是,CO₂浓度在每个昼夜周期中出现两个峰值和两个低谷。第一个峰值出现在每天的中午12时至午后16时,这之后,CO₂浓度快速降低,到傍晚18时到达谷底,然后,CO₂浓度逐渐升高,直到午夜24时左右出现第二个较小的峰值,在第二天凌晨2时左右开始,CO₂浓度逐渐下降,直到8时左右CO₂浓度到达第二个谷底。相对于CO₂浓度的周期变化,此处的空气温度和湿度基本保持不变,温度稳定在12℃度左右,湿度维持在60%。

3 讨论

洞穴CO₂浓度高低主要取决于洞内CO₂释放和洞穴空气与洞外大气之间的交换(洞穴呼吸)。水洞洞穴CO₂的来源主要由两部分组成,一是洞穴上覆土壤中高浓度CO₂,二是洞穴生物的呼吸排放。土壤CO₂溶于下渗的雨水,形成高CO₂浓度的地下水进入洞穴,并通过脱气作用释放出CO₂,有时土壤CO₂还可能通过连通洞穴和土壤的裂隙以气相的形式直接向洞穴扩散。考虑到观测期间和实验之前较长时间内没有降水事件发生,洞穴内滴水的CO₂释放贡献相对较小而稳定,本溪水洞是一个典型的流出型洞穴,其洞穴结构简单,洞道横截面大,空气流通顺畅,因此,对于本文所讨论的短时间尺度的CO₂浓度波动而言,滴水的贡献可以忽略。

生物呼吸在本溪水洞主要是洞穴工作人员和游客,这部分的CO₂贡献与游客和工作人员数量及其在洞穴中的滞留时间和地点有关,取决于水洞旅游管理方式。来水洞观光的游客进入洞穴后,必须经过长约100 m的洞道,然后在码头处登船,乘坐由船工操纵的游船游览,到聚仙岛(距洞口约1 863 m)后沿原路返回,整个水路游览过程大约耗时40分钟。工作人员除驾驶游船的船工外,其它的主要集中在洞口至码头的旱道中。因此,水洞的人为CO₂排放可以分成洞口至码头的旱道区和乘船观光的水道区。旱道区主要为工作人员和游客的呼吸排放,工作人员以30人计算,平均每人工作8小时,游客在这一区段平均滞留15分钟,每人每小时排放的CO₂以0.05 m³计算,洞穴体积大约4万m³。水道区主要是游客和船工,平均每5个游客乘坐一艘船,水路游程平均耗时40分钟,每人每小时排放的CO₂以0.02 m³计算,洞穴体积大约为35万m³。上述人为CO₂排放贡献可以用经验公式来表示:

$$E = E_1 + E_2 = \{ [W \times 8 + V \times 0.25] \times 0.05 / 40000 + [6/5 \times V \times 0.67] \times 0.02 / 350000 \} \times 10^6$$

其中: E 、 E_1 和 E_2 分别为总的、旱道区和水道区的人为CO₂排放贡献,单位为ppm; W 为工作人员人数; V 为游客数量。

根据观测前一天和观测期间的游客数量,估算出的日均人为CO₂排放贡献结果如表1所列。将银河潮涌景观至游览路线尽头的所有观测值平均作为洞穴CO₂浓度的平均值,其结果和码头处的观测值也列于表1。

洞穴空气是一个开放的耗散体系,它时刻与外界进行着物质和能量的交换。洞穴CO₂运移途径主要通

过扩散和对流的方式,以气相的形式排向大气,小部分溶于水中以液相形式移出洞穴。由于大气CO₂浓度较洞穴空气低的多,本溪水洞洞口宽大,因此,洞穴空气与大气之间的交换作用显著,导致产生较大幅度的昼夜变化(图4)。

表1 观测期间日均人为CO₂排放贡献估算和洞穴空气CO₂浓度实测结果

Tab. 1 Results of the calculated CO₂ concentration from people's respiration and the actual observed CO₂ concentration

日期	游客量 (人)	E (ppm)	E1 (ppm)	E2 (ppm)	上午8时实测(ppm)		中午12时实测(ppm)		下午16时实测(ppm)	
					码头	平均	码头	平均	码头	平均
18日	2166	1076	977	100	—	—	—	—	—	—
19日	1933	993	904	89	—	—	4684	1401	4680	—
20日	634	527	498	29	624	4616	1106	4630	1340	4571
21日	—	—	—	—	628	4563	—	—	—	—

3.1 水洞洞穴空气CO₂浓度空间分布特征分析

水洞流出型洞穴结构决定了洞内CO₂浓度的空间分布特征(图2)。码头区的游客和工作人员的CO₂排放量很大(表1),但是由于靠近洞口,CO₂与周围的空气(大气或者洞穴深处)交换作用强,因此,洞口区CO₂浓度绝对值比洞穴深处小的多,越往洞穴深处,空气的交换作用逐渐减弱,到达一定距离后趋于稳定。对比以往实测记录(图5),笔者认为这个距离与不同季节的洞穴空气交换能力有关。本次观测期间,这个距离大约是370 m(银河潮涌景点)(图2),而在1996年4月份约为1 200 m,5月份约为500 m(图5)。过了这个拐点,洞穴空气的波动可能主要受控于洞内CO₂排放和局部空气运移。游客在这一区段的呼吸排放可

以视为均匀排放,游船和地下水体的运动会引起周围空气的整体运移(对流),其作用类似空气搅拌器,使得这一区段的CO₂浓度绝对值波动很小。这一区段的CO₂空间差异可能主要与洞穴结构有关,倚天长剑景点处的峰值可能与周围洞体变小有关,游船终点处CO₂浓度逐渐变小可以用空气向未开放区的源头区扩散来解释。对于滴水点的空间分布是否与这一区段CO₂的空间差异有关,需要对滴水分布、流量和水化学性质进行进一步的调查。

3.2 洞穴空气CO₂浓度日变化

以2008年10月20日为例,码头的空气CO₂浓度在白天接待游客之前约为624 ppm,而在下午最后一批游客离开洞穴时,升高到1 340 ppm,增加了大约700 ppm,而经过一个晚上的净化,20日早上实测值已经恢复到19日早上相当的水平(表1和图2),说明码头区与洞外大气和水道区的交换作用相当强。

银河潮涌景观至游览路线尽头的平均CO₂浓度值19日为4 680 ppm,经过一个晚上的净化,20日早上降到4 616 ppm,减少了大约70 ppm,20日白天接待了近527名旅客,估算游客排放贡献了29 ppm,与实测结果相当。从20日晚上到21日上午降低了大约90 ppm(表1和图2)。

3.3 洞穴空气CO₂浓度昼夜变化分析

大气温度大幅度周期性的变化与洞穴较稳定的温度之间形成的温差变化可以导致洞穴空气流动方向发生周期性的变化,是导致洞穴CO₂浓度出现夏高

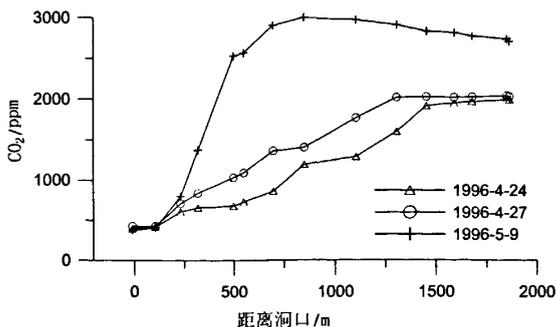


图5 洞穴空气CO₂浓度随洞穴深度变化图(据文献[1])

Fig. 5 Curve of CO₂ concentration against the distance from the entrance (from reference[1])

冬低的季节性变化最重要因素^[10]。这种机理同样可以用来解释近洞口区洞穴空气CO₂浓度在昼夜变化中出现的双峰现象(图4)。观测期间,该地区大气温度的昼夜温差很大(7~18℃)(图6),而洞内温度稳定在12℃。形成图4数据的观测点正好位于码头和洞穴空气CO₂稳定区之间:白天,洞穴温度低于大气温度,气体自洞穴向大气运移,但速率较慢,洞穴内外气体流动受到抑制,码头游客和工作人员排放出大量的CO₂气体向观测点扩散,导致白天游客接待高峰时出现的CO₂峰值,在午后16时后,随着游客和工作人员的撤离,CO₂浓度迅速回落(图4),此后,由于洞穴深处高CO₂浓度的气体向洞口扩散,使得观测点在夜间出现第二个峰值点。而到了午夜,大气温度明显低于洞穴空气,此时气流的流动方向发生了变化,低CO₂的大气流入洞穴,稀释洞穴空气,这种作用持续到第二天的早上洞穴重新接待游客为止。

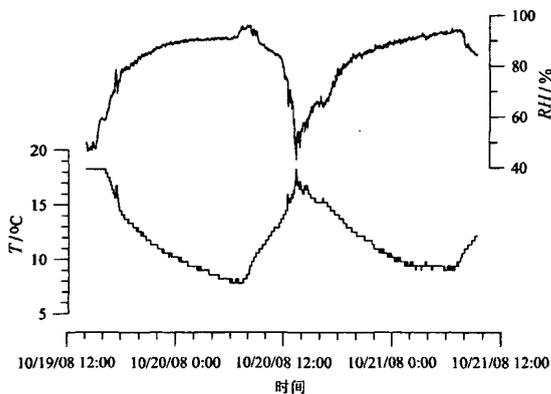


图6 洞外大气温度和湿度随时间变化曲线

Fig. 6 Curve of atmospheric temperature and relative humidity with time observed at 100 m away out of the cave

4 结论

综上所述,可以得到以下几点初步认识:

(1)洞穴空气CO₂浓度自洞口开始快速增高至一定深度后趋于稳定,这个快速增高距离与不同季节洞穴交换能力有关,秋季大约是370米左右。洞穴CO₂

浓度稳定区的空间差异可能主要与洞穴结构和裂隙发育情况有关,在洞体变小的倚天长剑景点附近出现峰值,而在洞体变大的石瀑布景点和游客无法进入的源头区出现低谷。

(2)观测期间,洞穴空气CO₂浓度总体上呈递降趋势,基本上与游客数量下降有关,说明游客对洞穴空气质量的影响显著。

(3)在洞穴空气CO₂浓度急剧上升的近洞口段,洞穴空气CO₂浓度每个昼夜出现两个峰值,分别对应正午12时和午夜前后,受游客与工作人员的呼吸排放和洞穴与大气间的气体交换作用的双重影响。

致谢:感谢谭明研究员对本工作提出的建设性建议。

参考文献

- [1] 本溪市水洞风景名胜区管理局,地质矿产部岩溶地质研究所.本溪水洞洞穴科学研究[R]. 1996.
- [2] Banner, J. L., Guilfoyle, A., James, E. W., Stern, L. A., And Musgrove, M., Seasonal variations in modern speleothem calcite growth in Central Texas[J]. USA: *Journal of Sedimentary Research*, 2007, 77:615-622.
- [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] 张蕾,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.
- [5] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M]. 重庆出版社, 1988:33.
- [6] 杨汉奎.旅游洞穴的开展与保护[C]//宋林华,丁怀元主编.喀斯特景观与洞穴旅游.中国环境科学出版社, 1993:160.
- [7] 朱文孝,李坡,潘高潮.织金洞气候环境及空气中的CO₂[J]. *中国岩溶*, 1993, 12(4): 409-417.
- [8] 朱文孝,李坡.旅游洞穴次生CaCO₃沉积景观风化剥蚀、变色机理及其改善与保护[J]. *贵州科学*, 2000, 18(1-2): 134-138.
- [9] Baker, A. and D. Genty. Environmental pressures on conserving cave speleothems; effects of changing surface land use and increased cave tourism [J]. *Journal of Environmental Management*, 1998, 53(2): 165-175.
- [10] Milanolo, S., and F. Gabrovšek. Analysis of carbon dioxide variations in the atmosphere of Srednja Bijambarska Cave, Bosnia and Herzegovina [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 2009, 131(3): 479-493.

**Spatial distribution and diurnal variation in CO₂ concentration,
temperature and relative humidity of the cave air
— A case study from Water Cave, Benxi, Liaoning, China**

CAI Bing-gui¹, SHEN Lin-mei², ZHENG Wei³, LI Ke-pu³, BAI Yun-zhi³, DONG Chun-zhi³

(1. *Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*; 2. *Gardens Management Office of Benxi City, Liaoning 171000, China*; 3. *Benxi Administrative Committee of Water Cave, Benxi, Liaoning 171100, China*)

Abstract: CO₂ concentration in cave air is one of major factors controlling the precipitation and erosion of carbonate in caves, especially in show caves. In order to understand the spatial and diurnal variation and the possible controlling factors, CO₂ and temperature as well as relative humidity in cave air are observed by portable CO₂ meter linked with auto data logger and auto temperature as well as RH data logger respectively in the Benxi Water Cave, Liaoning, China. The results show that the spatial distribution of CO₂ concentration in the cave's air can be divided into two situations. Firstly, CO₂ increases abruptly from 500 ppm at the cave entrance to 4 500 ppm at 370 m deep of the cave; secondly, the CO₂ concentration keeps stable with small regimes between 4 500 and 4 800 ppm. Compared with data observed in other seasons, the distance in the first situation differs from one season to another. This may be controlled by seasonal change in temperature led by the exchange of airs between the outside atmosphere and the inner cave air, and also may be modulated by the human activity. The mean values of CO₂ in cave air, in the second situation, decreases slowly during observing period, which corresponding to the decreasing trend of visitor number and indicating that visitor number makes important effect on diurnal variation of CO₂ concentration in cave air. The slight variation of CO₂ concentration in the second situation maybe relates to the change of volume of cave chamber or the distribution of fractures and fissures. The auto data logger set at 250 m away from entrance records two CO₂ concentration peaks every day with one peak at noon and another at mid night more or less. By comparing with the variation of air temperature both inside and outside the cave, this double peak pattern possibly contributes both to respiration of people and exchange of air in cave with atmospheric air.

Key words: CO₂ concentration; spatial distribution; diurnal variation; the Benxi Water Cave; Liaoning