

# 旅游洞穴环境的变异与保护之研究

汪训一 杨日英

(国土资源部岩溶地质研究所, 桂林 541004)

**摘 要** 本文重点讨论了旅游洞穴中“人”与“洞”的相互关系及由人类活动导致的环境变异,简单地介绍了洞穴环境监测的内容与方法,讨论了旅游洞穴的保护等问题。

**关键词** 旅游洞穴 环境监测 环境保护

环境问题是当今人类的重要课题,为各国政府、部门和学者们所重视。洞穴环境是地球大环境中的一个极其特殊的组成部分。洞穴环境,尤其是旅游洞穴环境有其特殊性,表现在:

(1)洞穴环境是一个相对封闭或半封闭的自然系统,它与地表环境有一定的联系,但又是单独的、非常特殊的系统<sup>[1]</sup>。

(2)作为岩溶地区的一个独特的地下空间,洞穴环境也是很脆弱的,一旦受到污染,就很难恢复,甚至比地表环境更难恢复。

(3)当一个溶洞开发开放作为游览观光点之后,由于洞内工程和大量游客的涌入,洞穴环境产生了很大的变异、污染、甚至破坏。因此,旅游洞穴环境的变异与保研究,就是研究“人”与“洞”这一对矛盾,其目的是掌握洞穴环境的动态规律、改善旅游洞穴的环境质量、保护好洞穴,使其长期地服务于人类,为子孙后代造福。下面谈谈几个问题。

## 1 洞穴环境的构成

洞穴是一个加了“盖”的地下空间,有其独立性。洞穴的环境是由四个层圈构成的(图 1)

(1)岩石圈:构成洞穴空间的格架,主要由围岩、洞穴土壤和钟乳石等组成的固态物质。碳酸盐岩围岩的纯度和岩层单层厚度对洞穴的环境及稳定性有很大的影响。钟乳石是游览洞穴美学观赏的重要组成部分,它的数量多寡及造型特点是游览洞穴赖以吸引游人的关键。

(2)水圈:即在洞内各种形式的包气带的水流,有地下河(或湖)水、水塘、滴水、片状流水、飞溅水、毛细水等。

(3)大气圈:即洞内大气,在不同洞段、大厅、廊道和支洞内,微气候都有差异。

(4)生物圈:包括洞穴动物和洞穴植物,有其独特的、有别于地表的生态环境。

第一作者简介:汪训一,男,1938年5月生,1961年毕业于原苏联列宁格勒大学地质系,现为岩溶地质研究所研究员。

通讯地址:广西桂林市七星路50号。

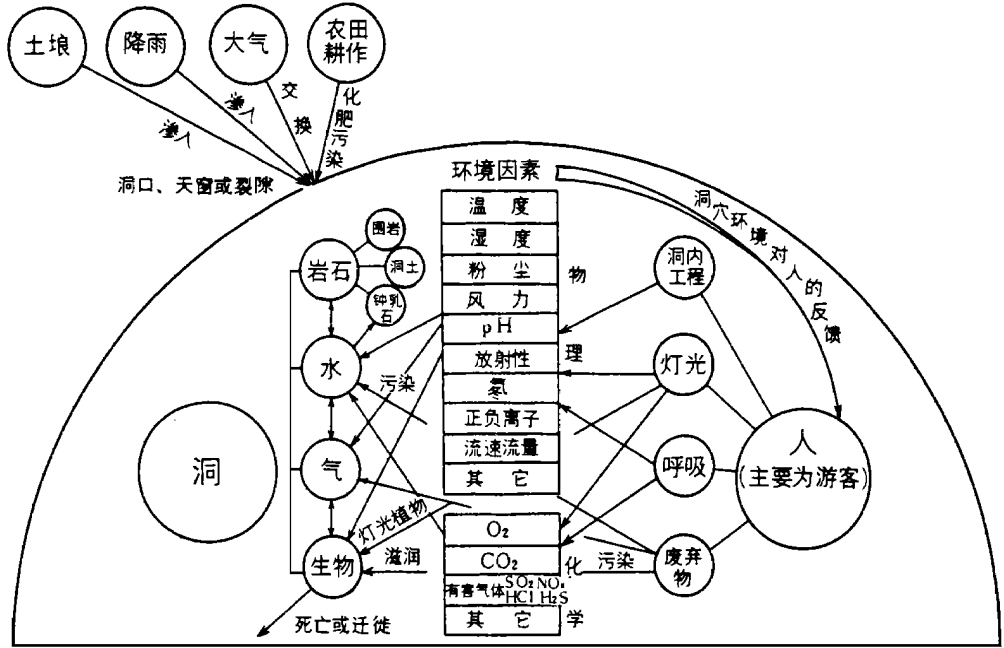


图 1 洞穴环境构成框图

Fig. 1 Component of cave environment

### 2 洞外环境对洞穴的影响

因为洞穴处于相对封闭或半封闭的条件,所以洞外环境对洞穴影响较小,而且往往有滞后现象。表现为通过洞口、天窗或裂隙与洞内进行物质和能量的交换。包括以下四个方面:

- (1)降雨: 以渗入方式为主,补给洞穴包气带水流,当然,地下河河水补给是大量的、快速的,也可能给洞穴带来直接的污染
- (2)土壤: 洞穴上部岩层及地表的土壤沿裂隙渗入洞中。
- (3)大气: 洞外大气变化无常,但洞内较为恒定。通过洞口、天窗和裂隙,洞内外大气进行交换。单洞口的洞穴,洞外大气对洞内的影响的衰变程度与距离的平方成反比,即越往里走,影响越来越小
- (4)洞穴上部工农业生产的影响: 这是人为因素,如农田耕作带来的有机、无机肥渗透污染;工业三废对洞穴渗透污染(如煤层的煤灰、煤矸石等)。

### 3 人类活动给洞穴带来的影响

旅游洞穴供民众观光游览,由于大量的人流涌入洞穴(主要是游客,也包括导游员和洞穴工作人员),给洞穴的环境带来的影响是“立竿见影”的,使其产生变异、污染,甚至景观衰老和破坏。主要有以下几个方面:

(1) 洞内工程: 为游人游览方便起见, 在洞内投入一定的工程是必要的, 如修路、建栏杆、扶梯甚至电梯, 但要避免大量开挖, 严禁洞内使用炸药爆破。开凿人工洞口要非常慎重, 能不开的, 尽量不打新洞口。因为一个新洞口开凿后, 洞穴环境会大大地变化, 滴水减少了, 形成了几百米新的气候过渡带, 钟乳石停止生长, 甚至产生强烈的风化。国内外洞穴开发总结出一条经验是尽量避免打人工洞口, 最好在洞内想办法开迂回线路, 从原洞口进, 再从原洞口出来。

(2) 灯光: 变电箱和灯具都散发热量, 提高温度, 降低湿度。旅客身上带进去的孢粉散落在灯具附近, 滋生“灯光植物”, 污染和侵蚀钟乳石及环境。

(3) 游客大量涌入, 带进能量。一个普通成年人, 每天 24 小时需要吸氧气  $5 \sim 8 \text{ m}^3$ 。若平均一个游客在洞内逗留时间为 1~2 小时, 每天几百人, 几千人, 甚至上万人进洞, 对洞穴的影响是巨大的, 旅客在洞内吸收氧气, 呼出二氧化碳, 造成  $\text{CO}_2$  含量急剧增加。

(4) 废弃物: 即旅游垃圾, 在洞内发霉、腐烂、变质, 影响环境。甚至还有人在洞内方便等不文明现象。

(5) 敲打钟乳石, 窃为己有。这是人为破坏行为。有的人为了好奇, 折断鹅管, 捡走穴珠也是常事。

## 4 环境因素的研究内容

旅游洞穴环境研究的核心就是研究“人”与“洞”这一对矛盾, 即人类活动会对洞穴带来什么样的影响。必须通过对“环境因素”的特征进行研究, 摸索一下洞穴的“脾气”, 它的承载能力, 它的复原的功能, 以便采取一定的措施, 减小人为对洞穴环境造成的变异, 达到保护洞穴, 延长使用寿命之目的。要做到这一点, 唯一的办法就是对洞穴环境进行长期的监测(至少要有有一个水文年的长观资料), 结合旅客的进洞人数和频率, 进行一天 24 小时的动态观测, 然后对这些观测资料进行分析对比, 找出规律性的东西, 找出环境变异的“熵”值。

洞内环境因素监测项目很多, 大致可分为两大类, 即物理因素和化学因素。在洞内有些因素一年内变化不大, 如粉尘、pH 有害气体 ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ……), 可以每季度观测一次或几次; 而另外一些因素, 如温度、湿度、氡、 $\text{CO}_2$  等, 对人类活动关系敏感, 所以要做每日观测(最好每天三次, 早上游客未来以前, 中午游客高峰时和晚上收工之前), 或 24 小时连续观测, (每隔 2 小时一次, 在旅游旺季、淡季和节假日高峰期进行)。要根据每个洞穴的具体情况, 布置适当的观测点。仪器要放在距洞底 1.5m 的高度上。一种是自动记录, 一种是人工记录, 但都要对仪器零点进行校正, 以便资料可以对比。

下面简要叙述一下洞内的“环境因素”。

### 4.1 物理因素

#### 4.1.1 温度:

单洞口的洞穴分为洞口带、过渡带、内部带。温度衰减与距离的平方成反比, 即内部带温度变化很小, 与当地的年平均气温接近。常年变化小于  $\pm 1^\circ\text{C}$ , 老百姓称洞穴“冬暖夏凉”。多洞口的洞穴情况比较复杂, 洞穴开发开放之后, 洞内恒温现象就被破坏了。以北京石花洞为例, 1983~1984 年未开放以前, 洞内  $t = 13^\circ\text{C}$  左右<sup>[2]</sup>。现在, 每天早上开门之前的温度比原来增加  $2.5 \sim 3.5^\circ\text{C}$ , 平均增加了  $3^\circ\text{C}$ 。另外, 每天还有瞬时变化, 与进洞游客人数成正比。1995 年 4 月 30 日进洞游客人数最多的一天达 7000 人, 在洞内“大竖琴”观测点, 当日中午比早晨增温  $2^\circ\text{C}$ 。经过

一年多的观测结果统计,我们发现进洞人数与增温呈正相关直线关系。此外,每天观测点增温情况略有不同,与所在点的洞体形态和体积有关,窄的廊道或小的厅堂里升温快,升得高;宽的廊道和大厅,体积大,散热均匀,升温低。

另外,我们通过一年多的观测发现,游客在日流量 3000人以下,每天的暂时升温经过一昼夜的自然调节后,第二天又恢复原样。但是,在 3000人以上就会造成洞内温度的“超负荷”,经过一昼夜自然调节后,第二天早上仍有  $0.1 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$  的滞留温度,不能恢复正常。连续几个节假日游客高峰,会使洞内积温不断升高。但高峰过去之后,游客回落,洞内温度又恢复到原来的水平。因此,石花洞最佳的日游客人数应控制在 3000人以下。

#### 4.1.2 湿度

洞穴内的湿度一般都超过 90%。已开发开放的洞穴调查表明,灯光对湿度影响最大。

#### 4.1.3 pH

岩溶地区各种水的一般  $\text{pH} = 7.2 \sim 8.4$ ,为偏碱性。 $\text{pH}$ 变化时,要考虑是否有外来的污染问题。

#### 4.1.4 风力

是洞内空气对流的表征。石花洞属多层洞,“烟囱效应”很显著,在洞道缩小的峡口处,风力最高可达  $0.2 \sim 1.37\text{m/s}$ 。不同季节的风力大小和风向都有不同,需要做详细观察记录。

#### 4.1.5 放射性

纯灰岩洞穴内的放射性低,土壤提供的放射性略高,钟乳石最低。每个洞穴的放射性一年内需要做几次测量,进行对比和评价,以保证洞内工作人员的健康。

#### 4.1.6 氡含量

氡是无色无味的惰性气体,具有放射性。洞穴空气中含有微量的氡,一般对游客不会造成危害。但是,长期在高浓度氡的洞穴空气中工作,就要考虑对导游员和洞内工作人员的影响了。美国于 70年代中期至 80年代早期对一批开放洞穴进行了氡的测量和评估。我国卫生防疫部门从 80年代后期,对居民住宅和地下工程建筑的内外空气中的氡及其子体含量做了系统测定,并估算了所致居民内照射剂量当量。作为对比研究,有些地区(如北京、贵州)也做了洞穴中氡的随机取样<sup>[3]</sup>。洞穴中氡含量变化很大,与地质构造背景有关,与季节有关(有人认为是与太阳黑子活动有关),与洞道形态及通风程度有关。在高浓度空气中由于氡长期积累,容易导致肺癌产生。李彬等人(1995)<sup>[4]</sup>在桂林地区几个洞内测得氡含量  $339 \sim 620\text{Bq/m}^3$ ,这可能与桂林地区碳酸盐岩地层的岩性纯、放射性背景值低有关。前人曾对北京石花洞做了系统监测和评估,认为石花洞的一、二层游览部分氡含量还是比较低的<sup>[3]</sup>,但其它部分是否偏高尚需继续监测。我们建议全国所有的旅游洞穴都应该进行氡含量的监测和评估,为游人负责,也为导游员的健康负责。

#### 4.1.7 正、负离子

为由滴水的“瀑布效应”和洞内微量放射性所引起的。负离子被称为“空气的维生素”,对人体有益。洞穴里能自发产生较高含量的负离子,这是进行洞穴医疗的主要依据。

### 4.2 化学因素

#### 4.2.1 氧

游客进洞呼吸耗氧,使洞内氧气含量降低。

#### 4.2.2 $\text{CO}_2$ 含量

这是洞穴环境研究中非常重要的一个项目。全球大气中  $\text{CO}_2$  平均含量为 330ppm 北京房山地区大气  $\text{CO}_2$  背景值较高,达 700~ 900ppm 北京气象科学研究所张蕾等人 (1997)<sup>[5]</sup>对石花洞内做了系统的长期监测,洞内  $\text{CO}_2$  一般含量 800~ 1500ppm  $\text{CO}_2$  含量增高与日客流量成正比,高潮时可达 2000~ 3000ppm,在局部较窄廊道和“盲肠状”洞道(如西支洞),游客骤增时可能超过 3000ppm,最高时测得 6100ppm,显然已经超过卫生防疫标准。这种暂时性的  $\text{CO}_2$  滞留现象在平时日客流量较低时,会自动恢复到正常水平 ( $< 3000\text{ppm}$ ) 以下。 $\text{CO}_2$  在洞内日变化是复杂的,它有沉底现象 ( $\text{CO}_2$  的比重为 1.65),也能随着空气的“烟囱效应”排出洞外。 $\text{CO}_2$  浓度对钟乳石的具体影响问题尚须具体工作给予揭示。

#### 4.2.3 有害气体

如  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  等 其来源是: (1)洞口带入; (2)生物及其排泄物分解; (3)岩石和土壤氧化分解 大部分游览洞中有害气体含量很低或没有,但是也要做测试后才能得出定性评价。

#### 4.3 有关灯光植物问题

一般洞穴深处无光线,没有光合作用,所以没有植物生长。但是在游览洞穴中,在洞壁、钟乳石等被灯光照射到的地方,很快滋生一种藻类、菌类为主,蕨类较少的低等植物,称为灯光植物。它生长条件必须是: (1)由游客身上带进去的“种子”; (2)在灯光附近进行光合作用; (3)有水,环境比较潮湿。在桂林芦笛岩、北京石花洞和其它的游览洞穴中都有灯光植物生长,有的地方甚至相当严重,污染环境带来不美观的感觉。另外,灯光植物的生长能释放出  $\text{CO}_2$  和腐植酸,使钟乳石产生溶蚀。

处理灯光植物的最好方法是改造灯光,换一个新位置,这样,原来位置上就不生长了,但是在新位置上又会滋生。所以,最简单的办法就是人工刷洗,用水冲净,把洗刷下来的脏物集中起来拿到洞外倒掉。

## 5 洞穴环境保护

根据每个洞穴对环境监测和研究的结果,有针对性地采取一些保护性工程措施。这方面要因地制宜,切实可行。

(1)控制日客流量,最好控制在每个洞穴研究结果得出的最佳客流量之下(如石花洞为 3000 人),采取预约订票方式,把节假日高峰转化成平时稳定最佳客流量。

(2)洞口修建过渡廊道,游客经过时,吹吹风,净化身上的粉尘、孢粉,减少洞内钟乳石污染变黑和灯光植物。

(3)洞内要有自来水系统,便于冲洗。

(4)洞区范围山顶上植树造林。北方降雨少,还可以增加喷灌工程,涵养包气带水流,可使洞内钟乳石继续生长。

(5)改造洞内灯光,不用散热高的灯具(如碘钨灯),采用冷光源灯降低散热量。

(6)开凿新洞口要慎之又慎,能不打尽量不打。

以上是我们这几年工作的粗浅体会,不当之处,敬请批评指正。

## 参 考 文 献

- 1 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学.重庆出版社,1988
- 2 李铁英.北京石花洞的开发与保护.见:第十一届国际洞穴学大会论文集.北京:1993 163- 164
- 3 林莲卿等.北京地区室内氡浓度研究.环境科学,1992,13(5): 10- 15
- 4 李彬等.桂、湘某些岩溶洞穴氡及其子体分布特征的初步研究.中国岩溶,1995,14(4): 341- 351
- 5 张蕾等.石花洞内  $\text{CO}_2$ 的监测与评价.中国岩溶,1997,16(4): 325- 331

## ENVIRONMENTAL CHANGES AND PROTECTION OF SHOW CAVES

Wang Xunyi Yang Riyang

(*Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004*)

### Abstract

This paper discusses the relationship between “human” and “cave” in show caves, and the environmental changes caused by human activities. The contents and methods about cave environmental monitoring, as well as the protection of show caves are also discussed.

**Key words** Show cave Environmental monitoring Environmental protection