文章编号: 1674-9057 (2011) 03-0412-06

岩溶洞穴旅游开发对生态环境影响分析

——以巴马水晶宫为例

邓亚东1,2,陈伟海2,张远海2,陈 旺1,易旭敏1

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院,贵阳 550001; 2. 中国地质科学院 岩溶地质研究所,广西 桂林 541004)

摘 要: 为了揭示岩溶洞穴旅游开发对洞穴生态环境的影响,对巴马水晶宫开发前后水环境、气环 境、土岩环境、动植物等进行对比调查,发现洞穴在开发后:洞穴流水、滴水、池水数量点减少,水 中 pH 值降低, HCO3 - 、SO42 - 、Ca2 + 增加;洞穴温度升高、湿度降低, CO2浓度增加,空气负离子浓 度减小;洞穴土岩部分被开挖、切割、覆盖,部分钟乳石脱皮掉块,砂状风化,变黑变暗;洞中蝙 蝠、斑灶马、蜘蛛数量减少,大蚊增加,且洞内多处滋生藻类、苔藓、蕨类等低等灯光植物。针对上 述变化规律,提出有利于洞穴生态环境保护的相关措施,为科学合理保护开发旅游洞穴提供参考。

关键词:岩溶洞穴;旅游开发;生态环境;水晶宫;广西

中图分类号: X143; X820; P642.25

文献标志码: A

我国是一个岩溶大国,碳酸盐岩出露面积为90 余万 km²,约占国土面积的 1/10,发育有数以万计 的岩溶洞穴,洞穴资源极为丰富,尤其在岩溶广为 分布的西部地区。近些年来,随着旅游业的发展, 特别是我国政府提出西部大开发战略以来,西部地 区很多地方把旅游业作为支柱产业或先导产业来 发展,而洞穴旅游因其开发和再生产所需的投入不 多,是一种低耗高效的旅游产业,所以越来越多的 岩溶洞穴被开发为游览洞穴。许多旅游洞穴在开 放前往往处于相对封闭和稳定状态。然而,在洞穴 旅游开发中,建立景观和游道的灯光照明系统,游 道的拓宽夷平改直,开凿出入口隧道,在洞厅中修 建娱乐设施,游客的涌入,这些在很大程度上改变 了洞穴与外界物质、能量和物理化学场的交流路径 和结构,直接强烈地冲击了洞穴生态系统的稳定性 和安全性。因此,一些洞穴开放仅仅几年的时间, 洞内碳酸钙景观就遭到了强烈的风化和破坏,变成 了濒危洞穴,洞穴的科学和美学价值丧失殆尽。为 此,本文以巴马水晶宫为例,通过对比旅游洞穴开

发前后水环境、大气环境、土岩环境、动植物变化状 况,分析其影响因素,提出旅游洞穴开发保护方案 措施,为科学合理保护开发旅游洞穴提供参考。

1 研究区概况

水晶宫位于广西巴马县城西北的那社乡大洛 村牛洞屯, 距县城 44 km。水晶宫地层主要为下二 叠统(P₁)浅灰、灰白色中层--厚层灰岩,灰黑 色薄层泥质灰岩,局部含燧石结核,岩溶发育十分 强烈,其洞口位于岩溶峰簇的山坡上,约高出现代 侵蚀基准面 150 m。水晶宫长 600 m, 宽 8~40 m, 高 10~35 m,为廊道状中型洞穴(图 1),洞道高低 起伏不大,基本顺岩层层面发育,洞内具有较多 晶莹剔透、造型奇特且正在发育的石毛发、卷曲石、 石花等非重力水沉积物,也有规模宏大的石瀑、石 柱,以及鹅管、石钟乳、石笋、石旗、石幔、石盾等各 类重力水沉积物,极具观赏价值、美学价值和科 研价值。水晶宫于2006年探测规划设计,2007年 对外开放,现今每年游客稳定在80万人次。

收稿日期: 2010-10-10

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻0719005-1-5);中国地质科学院岩溶地质研究所项目(2007015; 2009021)

作者简介:邓亚东 (1980—),男,硕士,助理研究员,研究方向:岩溶水文水资源,dengyadong@karst.ac.cn。

引文格式:邓亚东,陈伟海,张远海,等. 岩溶洞穴旅游开发对生态环境影响分析——以巴马水晶宫为例 [J]. 桂林理工大

学学报, 2011, 31 (3): 412-417.

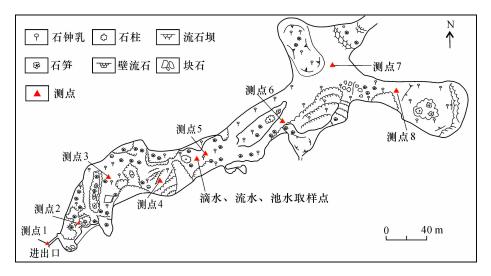


图 1 水晶宫平面图及监测点

Fig. 1 Plan of Shuijinggong cave and monitoring sites inside

2 研究方法

在 2006 - 07 - 01 - 10 和 2009 - 07 - 01 - 10 对 水晶宫进行实地调查,内容主要包括:(1)对水环 境中滴水点、流水点、池水点数量,及滴水点滴 速、流水点流量、池水体积进行调查,并选择景 区典型流水点、滴水点、池水点取样进行化学分 析。(2)对水晶宫本着易于监测、不妨碍游客观赏 的原则,沿着主要旅游线路走向布置,共选择8 个监测点(图1)。考虑到距离洞口越近,环境要 素的变化越大, 距离洞口越远, 环境要素变化较 小的特点,接近洞口处,观测点布设相对密集; 远离洞口, 观测点之间的距离也逐渐加大。选取 CENT 313 型数字温湿度计, TEL - 7001 型二氧化 碳分析仪, KEC-900型负离子检测仪, 监测空气 温度、湿度、CO₂、负离子浓度。测量时手持观测 仪器探头距地面高 2 m。要求测点周围无游客, 仪 器数字稳定在10 s 以上方可读数。(3)对洞穴沉积 物钙化、砂化、变黑变暗状况进行调查。(4)对水 晶宫洞内动、植物进行实地调查取样,调查的对 象主要为肉眼能看到的软体动物、节肢动物、脊 索动物、苔藓、地衣、蕨类等。

3 结果分析

3.1 水环境变化

3.1.1 洞穴流水、滴水、池水变化 洞穴流水、滴水、池水是形成洞穴沉积物的必备条件,当洞穴滴水、流水、池水的碳酸钙溶液达到饱和或过

饱和状态时,将不断地沉淀出次生的碳酸盐沉积物,构成形态各异、绚丽多彩的洞穴景观。对比2006、2009年水晶宫中流水、滴水、池水调查结果(表1),可见水晶宫开发3年后洞穴流水、滴水、池水均有所减少。这主要是水晶宫开发时在洞顶取土及砍伐植被,破坏了洞顶部分渗漏裂隙管道,同时景区大量取用地下水,破坏了洞穴的输水平衡,导致部分裂隙管道无水可输;其中水晶宫滴水在3种水流状态中减少量最大,滴水点减少66个,减少点达40%,滴速减少13滴/min,减少量达23%,除上述原因外,还与洞穴开发后鹅管这类以滴水为主的钟乳石在高热灯光的长时间照射下气化失水有关。

表 1 2006、2009 年水晶宫洞穴滴水、流水、 池水调查结果

Table 1 Surveyed features of dripping water, flowing water and pool water in Shuijinggong cave in 2006 and 2009

| | 流水点 | | 滴水点 | | 池 | 水 |
|------|-----|-------------------------------|-----|------------------------|-----|-------|
| 年份 | 数量/ | 平均流量/ | 数量/ | 平均滴速/ | 数量/ | 体积/ |
| | 条 | $(mL\boldsymbol{\cdot}s^{1})$ | 个 | (滴·min ⁻¹) | 个 | m^3 |
| 2006 | 38 | 3. 1 | 163 | 56 | 17 | 13.6 |
| 2009 | 31 | 3.0 | 97 | 43 | 15 | 11.2 |

3.1.2 洞穴水 pH 值、HCO₃ 、SO₄ 、Ca²⁺ 变化 洞穴 CaCO₃ 沉积物是含有碳酸盐岩的洞穴水溶液中 CO₂ 逸出,溶液过饱和沉积结晶形成的,其沉积作用的化学反应过程

 $Ca^{2+} + 2HCO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2 \uparrow$ 。(1) 相反, 当洞穴水溶液未达到饱和时, 洞穴水具有溶 蚀 - 侵蚀性,对岩石及早期形成的洞穴沉积物进行 溶蚀 - 侵蚀破坏和改造作用,其溶解作用的化学反 应过程

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^{-}$$
 (2)

如果洞穴水溶液中还含 SO_4^{2-} ,则可能存在如下 反应过程

$$Ca(Mg)CO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + SO_4^{2-} + 2HCO_3^{-}$$
(3)

对比 2006、2009 年水晶宫洞穴水化学特征 (表2)可知,洞穴开发后水中 pH 值减小至接近中性, HCO₃ 、SO₄ 、Ca²⁺浓度增加,使得水溶液中化学反应式(2)、(3)向正方向进行,说明洞穴水溶液的沉积速率降低,对灰岩的溶蚀性加强。这主要是因为:水晶宫土壤植被的破坏缩短了不饱和雨水进入洞内时间;景区和游客丢弃的垃圾中含酸物质溶于雨水并随雨水渗入洞内。

表 2 2006、2009 年水晶宫洞穴滴水、流水、 池水水化学特征

Table 2 Chemical features of dripping water, flowing water and pool water in Shuijinggong cave in 2006 and 2009

| | | | , | | |
|------|----|-----------|---|-----------------------------|--|
| 年份 | 化学 | рН | $c(\mathrm{HCO_3^-})/$ | $ ho(\mathrm{Ca}^{^{2+}})/$ | $c(\mathrm{SO_4^{2-}})/$ |
| | 离子 | pm | $(mmol \boldsymbol{\cdot} L^{-1})$ | $(mg \cdot L^{-1})$ | $(\text{mmol}\boldsymbol{\cdot}L^{\scriptscriptstyle -1})$ |
| | 流水 | 7.6~8.0 | 2.3 ~ 2.7 | 43.7 ~55.3 | $0.03 \sim 0.05$ |
| 2006 | 滴水 | 7.6~7.9 | 2.0 ~ 2.4 | 51.2 ~59.7 | $0.03 \sim 0.04$ |
| | 池水 | 7.3 ~ 7.8 | 2.0~2.5 | 51.0 ~55.2 | 0.03 ~0.05 |
| | 流水 | 7.2~7.5 | 3.3~4.3 | 46.3 ~60.1 | 0.07 ~0.13 |
| 2009 | 滴水 | 7.3 ~ 7.6 | 3.0~4.7 | 55.7 ~63.5 | 0.07 ~0.11 |
| | 池水 | 7.0~7.2 | 2.5 ~ 3.2 | 53.0 ~58.8 | 0.13 ~0.27 |
| | | | | | |

3.2 空气环境变化

3.2.1 湿度、温度、CO₂ 变化 洞穴空气不受干扰时流动性差,温度稳定,湿度高,CO₂ 含量高,空气清洁,形成具有自身特点的洞穴小气候;当洞穴开发后,由于施工、游客进入,洞穴灯光的使用,改变了洞内空气环境。研究发现,洞穴空气中温度、湿度、CO₂ 等要素的变化会对沉积物景观产生影响^[1-6] (表3)。

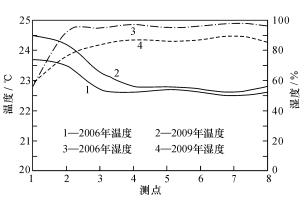
根据 2006 - 07 - 01—10 与 2009 - 07 - 01—10 观测数据,取平均值绘制成温度、湿度随洞道变化曲线(图 2)及 CO₂ 随洞道变化曲线(图 3),可以得出以下几个结论:

(1) 2009 年温度比 2006 年各点都升高,尤其 在进洞口段的 3 个测点,温度升高在 0.7 % 左右, 后 5 个测点升高幅度较小,在 0.1 % 左右,这主 要是由于洞内灯光及游客释放的热能聚集洞内,使 得洞内温度整体升高;而进洞口段由于进出洞口扩

表 3 空气要素对沉积物景观的影响机理

Table 3 Influenced mechanism of atmospheric elements to speleothems

| 空气 要素 | 对沉积物景观影响机理 |
|----------|--|
| 温度 | 洞穴温度升高会使钟乳石干涸失水,质地变得粗糙,色泽暗淡,很快造成脱水干裂钙化;散失的水分和空气中 CO ₂ 结合,对景观进行溶蚀软化;温差迅速变化致钟乳石表面受热不均时,钟乳石易开裂脱皮掉块;温差变化引起压力差变化,加速空气流动,能加速钟乳石的钙化 |
| 湿度 | 当管状的卷曲石、石枝、鹅管及石毛发等年轻态钟 乳石景观所处部位的空气湿度降低到60%以下,钟 乳石表面的凝结水、雾滴水等会向洞穴空气中转 移,很快造成钟乳石脱水钙化,表面出现白色粉末 |
| CO_2 | CO_2 浓度升高时,洞穴空气中 CO_2 分压力增大,导致水溶液对 CO_2 吸收系数增大,反应式: CO_2 + H_2O + $CaCO_3$ $\rightarrow Ca^{2+}$ + $2HCO_3$ $^-$ 向正方向进行,不利于碳酸钙沉积,从而对已形成的碳酸钙沉积景观造成溶 |



蚀作用

图 2 2006、2009 年水晶宫温度、湿度随洞道变化曲线 Fig. 2 Variation curve of temperature, humidity by the path to Shuijinggong cave entrance in 2006 and 2009

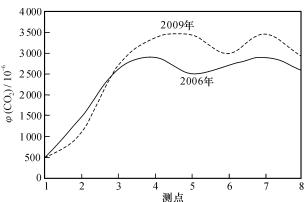


图 3 2006、2009 年水晶宫 CO₂ 随洞道变化曲线

Fig. 3 Variation curve of CO₂ concentration by the path to Shuijinggong cave entrance in 2006 and 2009

大,洞外7月份高热空气与进洞口段空气交换量 较开发前大, 故进洞口段温度变幅较大。

- (2) 2006 年洞内湿度都在95% 左右, 而2009 年则下降到86%左右,这主要是一方面游客带入 洞中的尘埃与水分子结合成水滴降落地面,减少 了空气中水分子;另一方面,进出洞口空气交换 量的加剧, 使得洞外低湿度的空气与洞内高湿度 空气交换后降低了洞内湿度。
- (3) 2006 年洞内 CO₂ 除受洞外影响明显的进 出口测点 1、测点 2 较低外,其余测点都在(2 000~ 3 000) × 10⁻⁶, 这时洞中 CO₂ 主要来自于洞顶滴 水、流水沉积结晶释放的 CO₂, 当洞穴开放后洞 内 CO。除来自洞顶滴水、流水沉积结晶释放外, 还有游客呼出的 CO₂, 虽然受进洞口处洞内空气 与洞外空气相交换影响,但整个洞穴还是处于封 闭状态, 故 CO₂ 除受洞外影响明显的进出口测点 1、测点 2 较低外, 其余测点都在 (2 500~3 500) ×10⁻⁶,说明受游客影响 CO,浓度较洞穴开放前 略有增加。
- 3.2.2 空气负离子浓度变化 空气中负离子被誉 为空气维生素、生长素和长寿素,具有降尘、杀 菌、除臭、净化空气的作用,于人体健康、周边 环境十分有益,它在医疗保健方面的作用随着生 态旅游的兴起而日益受到重视。许多国家已将空 气负离子含量值列为空气清洁的评价指标。洞穴 是一种特殊的自然环境, 其独特的环境使得某些 洞穴含有很高的空气负离子,因此,世界上已有 许多国家利用这类高负离子浓度的洞穴作为疗养、 休闲保健场所。

根据 2006 - 07 - 01-10 与 2009 - 07 - 01-10 观测数据,取平均值绘制成负离子浓度随洞道变化 曲线,从图4可知:洞穴开发后各测点负离子浓度 均减小,其中第1点减少最小,为300个/cm³,约减 少 29%; 第 5 点减少最多,减少 2~000~个/cm 3 ,约减 少47%。这主要是一方面游人从洞外进入洞内时, 身上所携带的尘埃与洞中空气负离子结合成粒径 较大、迁移率低的(重)粒子沉降到地面,减少了负 离子数量[7],另一方面洞穴滴水、流水、池水的减 少,也减少了负离子的来源[8]。

3.3 土岩环境变化

土岩环境主要是指构成洞穴空间的格架围岩、 土壤和钟乳石等固态物质。

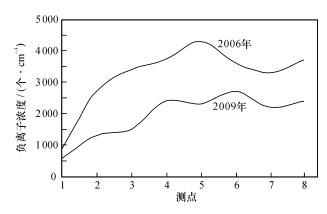


图 4 2006、2009 年水晶宫负离子浓度随洞道变化曲线 Fig. 4 Variation curve of aero-anion concentration by the path to shuijinggong cave entrance in 2006 and 2009

对比 2006 年水晶宫土岩环境调查结果, 2009 年钟乳石砂状风化新增1处,脱皮掉块3处,变 黑变暗 28 处,基岩及钟乳石被切割 7 处,水泥硬 化路面覆盖土岩表层 850 m2。这主要是洞穴开发 过程中、游览道路的铺设使得部分围岩、土壤、 钟乳石被开挖、切割爆破,路面硬化直接对部分 土岩进行了覆盖;此外,洞穴施工及人类活动对 环境的影响使部分钟乳石发生退化, 其表现形式 及破坏机理[1-6] 多样化(表4),这直接影响了钟 乳石的美观。

3.4 动植物变化

洞穴内的大多数动植物,对环境变化十分敏 感,这对洞穴环境特征具有一定的指示作用[9-11]。 对比2006、2009年水晶宫内所观察到动物标本种 类及数量(表5)可见:蝙蝠、螺、斑灶马、蜘蛛 数量减少迅速,其中在2009年调查中未发现蝙蝠。

表 4 2006、2009 年水晶宫沉积物景观破坏的 表现形式及形成机理

Phenomena and developed mechanism to destroy speleothems in Shuijinggong cave in 2006 and 2009

表现形式

沉积物景观破坏机理

钟乳石在温差迅速变化, 其表面受热不均时, 易开裂 脱皮掉块 脱皮掉块

在温差、干湿交替变化频繁作用下, 具有侵蚀性的水 溶液沿着 CaCO、晶洞、结晶颗粒间界面孔隙和方解石 砂状风化 晶体节理, 在毛细力作用下进入岩石体内产生溶解作 用,使其内部溶解,造成钟乳石不断疏松软化,失水 后成砂状

洞穴开发施工中产生的粉尘、烟雾,旅游活动中游客 携带的尘埃、杂物, 伴随空气流动飘落吸附在石钟乳 表面,使其颜色变黑、变暗;枯死植物的有机质残留 在沉积物里会使沉积物变黑、变暗

变黑变暗

表 5 2006、2009年水晶宫动物种类及数量

Table 5 Species and quantity of cave animals in Shuijinggong cave in 2006 and 2009 数量/只

| cave in 2006 | cave in 2006 and 2009 | | |
|--------------|-----------------------|--------|--|
| 种类 | 2006年 | 2009 年 | |
| 蝙蝠 | 36 | 0 | |
| 螺 | 18 | 9 | |
| 蜘蛛 | 11 | 4 | |
| 斑灶马 | 54 | 15 | |
| 蛾 | 5 | 2 | |
| 大蚊 | 39 | 47 | |
| | | | |

这主要是由于洞穴开发后,蝙蝠受到灯光及人为活动的影响而大量迁出,蝙蝠的外迁,螺和斑灶马这些以蝙蝠粪便为食的动物相应减少,同样以斑灶马为食的蜘蛛数量也明显减少,从11只减少到4只。相反,喜光动物大蚊则因洞穴开发后灯光使用明显增加,从39只增加到了47只。

对比 2006、2009 年水晶宫内植物种类及数量调查结果,2006 年洞内未发现植物,这主要是在洞穴开放之前,洞穴深处黑暗无光,不能产生光合作用,也就没有植物生长。2009 年则发现藻类7处,主要分布在可见光范围内有流水的沉积物上,发现苔藓15 处,主要分布在路灯下方粘土上,发现蕨类植物1处,位于测点4前方23 m处175 W 金卤灯旁,这主要是洞穴开发后,洞内使用大量的路灯和景灯,给苔藓、地衣、蕨类植物提供了滋生环境。

4 结论与建议

从 2006、2009 年水晶宫开发前后洞内环境变化结果分析可见,水晶宫开发后洞内流水、滴水、池水数量点减少、水中 pH 值降低,HCO₃、SO₄²、Ca²⁺增加;洞内温度升高,湿度降低,CO₂浓度增加,空气负离子浓度减小;洞内土岩部分被开挖、切割、覆盖,部分钟乳石脱皮掉块,砂状风化,变黑变暗;洞中蝙蝠、斑灶马、蜘蛛数量减少,大蚊增加,且洞内多处滋生藻类、苔藓、蕨类等低等灯光植物。

水晶宫开发后的上述环境变化一方面破坏了 洞内生态平衡,另一方面危及水晶宫沉积物景观 科研及美学价值。为了保护好水晶宫生态环境, 实现水晶宫的可持续发展,针对水晶宫开发后环 境变化规律及洞穴环境保护的有利条件,特对巴 马水晶宫环境的保护提出以下措施。

(1) 水晶宫地表环境的保护。

①水晶宫地表系统构建良好植被。洞穴地表良好的乔、灌、草植被,能够调节石灰岩体的储水功能,增加土壤持水时间,有利于土壤水持续沿裂隙流入洞内,促进次生沉积物的生长,还可以改善洞穴空气的湿度,有利于洞内次生沉积物表面长期保持有水膜,减少次生沉积物的风化。为此可在水晶宫流域系统范围内人工构建乔、灌、草结合的植被生态系统,保护水晶宫地表环境。

②人类活动管理。制定规章制度,禁止当地居民在水晶宫周边采伐植被,挖土取石,并指定地点堆放生活垃圾,提高当地居民环保意识,减少对水晶宫地表环境的破坏。

(2) 水晶宫洞内环境的保护。

①水晶宫游览工程施工管理。水晶宫开放过程中如果需要进行施工维护,必须提高施工人员环境保护意识,制定合理的环境保护、景观保护施工方案,在施工中加强监督管理,按制定的方案施工。

②减少洞穴与外部空气交换。在水晶宫入口处安装自动门或其他减少洞内外空气流通的设施,同时禁止人为在水晶宫中安装排风扇或者抽风机一类加速水晶宫空气交换的设备。

③减少游人在洞穴中滞留时间。游客是洞内 尘埃的携入者和热能的释放者,是洞内 CO₂ 增加 的主要原因,为此游客游览水晶宫时应由导游员 控制灯光开关,实行游览进程控制,减少游人在 洞穴中滞留时间。

④调整改造灯光系统。灯光是洞穴热量增加的主要来源,与灯光植物的生长息息相关,因此水晶宫应将金卤灯、碘钨灯等高热灯具更换为LED一类的冷光源灯具,同时灯光应尽可能不使用"长明灯",采用导游员控制开关,随到随开,随走随关,尽量缩短灯光的照射时间,避免洞穴温度增高。

⑤预防和控制灯光植物的滋生。一是严格控制"种子"传播途径,防止种子进入洞内。对此可以在游客进入水晶宫前,用吸尘器清扫身上衣物,避免携带植物孢子体以及尘埃进入洞内。二是经常变换水晶宫灯光位置,避免灯光为植物生长提供的良好环境。三是根据光源对植物作用的出露时间,定期用洁净的中性水进行人工刷洗。

⑥清洁湿润沉积物景观。定期用适当水质对水晶宫景观清洁湿润,可防止灰尘对景观形成污染,也能增强景观表面折光率和美感。

⑦游客游览行为管理。提高导游解说层次及进洞前讲解游览注意事项,使游客在欣赏大自然杰作的同时,还要达到普及洞穴科学知识、增强游客对水晶宫的保护意识,要让游客做到不带入食品和其他化学物质入水晶宫,不在水晶宫内抽烟;不触摸、敲击钟乳石;不随意扔弃垃圾。

(3) 水晶宫洞内沉积物修复试验及建立环境 监测站。

①沉积物修复试验。利用宋林华等人对浙江 瑶林洞沉积物景观修复试验^[12-13]成果,人工改变 水晶宫喀斯特水的性能,定期对水晶宫洞外表层 进行喷水,以维持洞内滴水、流水状态;同时对 水晶宫内风化沉积物进一步进行修复研究。

②建立环境监测站。在水晶宫洞内建立环境监测站,这可以长期并及时对水晶宫环境变化进行监测,发现异常能及时分析并有针对性地进行调控,防止环境变化振幅超出水晶宫自我调控的范围,引起水晶宫环境发生质的变化和景观破坏。

参考文献:

[1] 朱文孝,李坡. 旅游洞穴次生 CaCO,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.
- [2] 朱文孝,李坡,苏维词. 喀斯特旅游洞穴景观多样性特征 及其保护[J]. 经济地理,2000,20(1):103-107.
- [3] 汪训一,杨日英. 旅游洞穴环境的变异与保护之研究 [J]. 中国岩溶,1998,17 (3):245-250.
- [4] 宋林华. 旅游洞穴的环境变异与景观保护 [C] //宋林华, 丁怀元, 张发明. 喀斯特与洞穴风景旅游资源研究. 北京: 地震出版社, 1994: 118-125.
- [5] 杨汉奎,田维新.旅游洞穴的环境变异[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:73-77.
- [6] Song Linhua, Yang Jinrong, Lin Junshu, et al. The case study on the effect of CO₂ in cave atmosphere on the stability of speleothem scenery in Yaolin cave, Zhejiang Province, China [J]. The Journal of Chinese Geography, 1997, 7(3): 26-36.
- [7] 邓亚东,陈伟海,朱德浩. 桂林市芦笛岩、大岩洞穴空气 负离子浓度分布研究 [J]. 中国岩溶,2005,24 (12): 326-330.
- [8] 吴楚材,郑群明,钟林生. 森林游憩区空气负离子水平的研究[J]. 林业科学,2001,37(5):75-78.
- [9] Chapman P. Caves and Cave Life [M]. London: Harper Collins Publishers, 1993.
- [10] 杨卫诚, 黎道洪, 苏晓梅. 贵州紫云洞和樱桃洞洞内动物的群落结构与洞穴环境关系初步研究 [J]. 四川动物, 2007, 26 (4): 738-745.
- [11] 张朝晖,王智慧,祝安. 黄果树喀斯特洞穴群苔藓植物 岩溶初步研究 [J]. 中国岩溶,1996,15(3):224-232.
- [12] 宋林华,杨京蓉,林钧枢,等. 浙江瑶林洞风化碳酸钙景观 复生试验[J]. 地理研究,1999,18(2): 199-208.
- [13] 宋林华,杨京蓉,林钧枢,等。浙江瑶林洞风化碳酸钙景观复生试验中 CO_2 吸收动力学研究 [J]. 中国岩溶,1999,18 (4): 297 307.

Ecological Environment Influenced by Karst Show Cave Exploitation

—A Case Study on Shuijinggong Cave in Bama

DENG Ya-dong^{1,2}, CHEN Wei-hai², ZHANG Yuan-hai², CHEN wang¹, YI Xu-min¹ (1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to find out the changes of ecological environment in a show cave, investigation and comparison of water, air, rock and soil as well as cave animals and plants are made in Shuijinggong cave before and after tourist exploitation. It is found that the water sites decreased in dripping water, flowing water and pool water in the cave, the pH decreased, while HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} increased in the water. The cave air temperature increased, while the humidity decreased, the cave air CO_2 concentration increased but the aero-anion concentration decreased. Cave soils and rocks are excavated, broken and buried, some stalactites dropped down or is stripped, effloresced to turn into black and dark ones. The cave animals quantity reduced such as bats, crickets and spiders, while the quantity of the tipulia praepotens increased contrarily; Also lots of bryophyte, algae, fern and other lighting lower plants grew inside the cave. According to the changes in Shuijingong cave, some protective measures to conserve cave ecologic environment are put forward for scientific and reasonable exploitation of show cave.

Key words: karst cave; show cave exploitation; ecological environment; Shuijinggong cave; Guangxi