

卫敏洁,姜光辉,郭芳.洞穴遗址保存环境的探测与研究:以桂林甑皮岩遗址为例[J].中国岩溶,2020,39(1):54-61.
DOI:10.11932/karst20200102

洞穴遗址保存环境的探测与研究 ——以桂林甑皮岩遗址为例

卫敏洁^{1,2},姜光辉¹,郭芳¹

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004; 2. 西南大学地理科学学院岩溶环境重庆市重点实验室, 重庆 400715)

摘 要:合理开发、利用并保护洞穴遗址是传承和发扬遗址文化的重要前提。文章以桂林甑皮岩洞穴遗址为例,通过对遗址的探测与监测,在认识遗址水文地质单元和地下水特征的基础上,识别其在保存与开发过程中存在的问题,从而提出保护遗址的可能措施,同时也为类似条件洞穴遗址的保护提供参考。研究结果表明甑皮岩遗址的三个保护区存在的问题各不相同:核心保护区主要面临化学侵蚀的风险;一级保护区现有的保护手段缺乏多样性;二级保护区存在监测力度不够的问题。据此提出以下措施:(1)核心保护区应深入研究地下水和还原环境对文化层侵蚀作用的机制;(2)一级保护区应加强对污水排放的管理,增多保护洞穴遗址的形式和手段;(3)二级保护区应加大对环境指标的监测力度,管控保护区范围内工程的建设。由此扩展到一般性洞穴遗址的保护措施有:建立能够显示环境动态的长期监测体系;采用 3S 技术建立监测网络并辅助规划决策;规范洞穴遗址的勘查与规划管理;多途径提高洞穴遗址保护的宣传力度和公众的参与乐趣。

关键词:甑皮岩;洞穴遗址;保存环境;探测;保护

中图分类号:X143 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2020)01-0054-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引 言

甑皮岩古人类洞穴遗址位于桂林市象山区一座石峰的山脚。自 1965 年发现以来,遗址经历过多次挖掘工作,出土了大量珍贵的文化遗物。该遗址是新石器时代洞穴遗址的典型代表^[1-3]。历史上遗址所处环境的气候、地质及生态条件几经变迁,这些信息都由植物孢粉和动植物遗体等记录在不同年代的文化堆积层中。因此,保护好洞穴遗址是研究史前文化,以及桂林乃至华南地区的气候-环境变迁的重要前提^[4-5]。甑皮岩遗址的保护问题自考古发掘之后就存在,突出表现在探方隔梁的坍塌、洞顶滴水对文化层的侵蚀、地下水涨落对文化层的浸泡破坏以及地

下岩溶塌陷危害等^[6]。多年来,相关单位先后采取了探坑隔梁支护、探坑回填、洞顶防渗等多种工程防护措施^[7],但是由于遗址周边岩溶水文地质条件复杂,仍未对地下水的侵蚀破坏作用完全研究清楚。在遗址的保护工作上,国际步入正轨始于近代时期,先后出台了一系列相关的宪章和公约^[8-10],这对遗址保护工作的发展具有推动作用。我国遗址保护研究虽起步较晚,但是随着改革开放的深入,国外先进的经验传到国内,遗址保护的重视程度得到提升^[11-12],制定了相关法律及管理条例^[13-15]。但这些内容多侧重于旅游洞穴和遗址公园的开发与保护^[16],而对于古人类洞穴遗址的保护则研究较少。因此,本文从洞穴遗址保护的角度出发,以甑皮岩洞穴遗址为例,采用

基金项目:国家自然科学基金项目(41772269,41977168)

第一作者简介:卫敏洁(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向为岩溶环境变化。E-mail:450544233@qq.com。

通信作者:姜光辉(1977-),男,博士,研究员,主要研究方向为岩溶水文地质。E-mail:bmnxz@126.com。

收稿日期:2019-01-29

地面测绘、物探、水文、水化学监测等技术方法,认识遗址在保存与开发中存在的问题,提出保护措施,同时对类似地质背景的洞穴遗址保护进行一般性的探讨。

1 研究区概况

甌皮岩遗址是华南乃至东南亚地区史前考古最重要的标尺和资料库之一,是华南地区唯一的国家洞穴考古遗址公园^[17]。甌皮岩遗址所处的石峰为岩层向东南缓倾斜的岩溶单面山^[18]。遗址洞口高程 156 m,与峰林平原面海拔相当。

甌皮岩洞穴遗址位于泥盆系上统桂林组和融县组碳酸盐岩中。遗址周围被第四系覆盖,盖层岩性为含粉砂黏土、黏土、砾石等,厚度很不均匀,为 0~30 m^[6]。甌皮岩遗址覆盖层下部碳酸盐岩含水层富水性良好,含水介质主要为第四系孔隙、网络状岩溶裂隙和溶洞。该地区地下水除大气降水补给外,还接受西部峰丛洼地地下水的侧向补给。地下水排泄则受漓江及其支流控制,沿北东向岩溶裂隙向漓江河谷排泄^[19](图 1)。甌皮岩遗址洞穴包括中间的主洞及

两侧的水洞与矮洞,它们之间相互连通,属于一个洞穴系统。遗址主洞属于脚洞型洞穴^[20],其顶、底板为厚层状灰岩(D₃r),面积约 220 m²。遗址文化堆积土层主要分布在主洞,厚度在 1~3.2 m。洞穴附近有四个人工水塘,是遗址公园内的主要地表水^[21],水塘与地下水的水力联系紧密(图 2)。

目前对甌皮岩遗址保护存在的主要问题有:①由于遗址处于地下水的集中径流带上,地下水活动强烈,每年丰枯季地下水涨落产生的水动力引起遗址文化层的冲刷与浸泡,严重影响文化层的保存。②洞穴面临化学侵蚀的风险。受历史遗留因素的影响,甌皮岩上游区堆放的煤渣导致遗址区硫酸盐含量较高。而部分地下水环境处于还原条件,在微生物的作用下可能发生硫酸盐还原,产生的侵蚀性气体可能加剧文化层的化学侵蚀。③主洞内未回填的探坑侧壁表面出现风化脱落,部分探坑内夹在土壤或钙华层中的螺蛳壳出现松动或脱落现象。在潮湿的雨季,遗址表面出现霉菌或苔藓,地下水出露地表。④甌皮岩上游区存在大规模的建设,钻孔等监测设施受到破坏,影响后续科学研究。

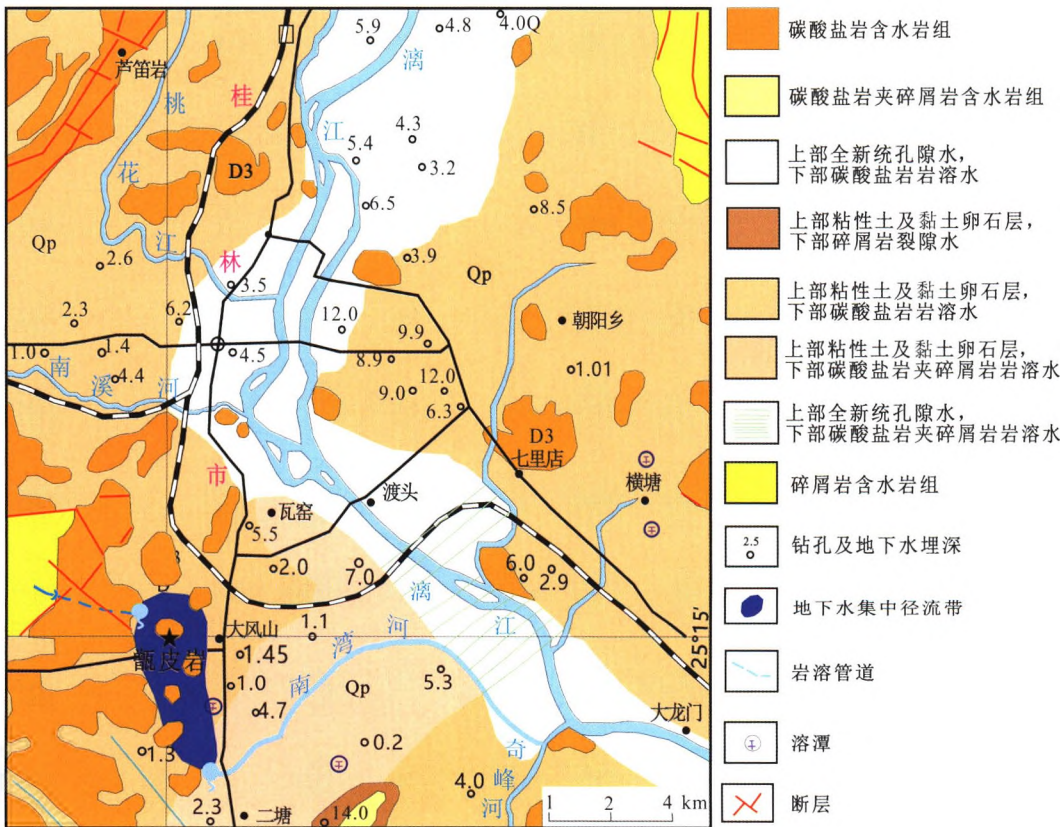


图 1 区域水文地质图(改编自覃政教等,2011)

Fig. 1 Regional hydrogeological map of Zengpiyan area (modified from Qin, et al, 2011)

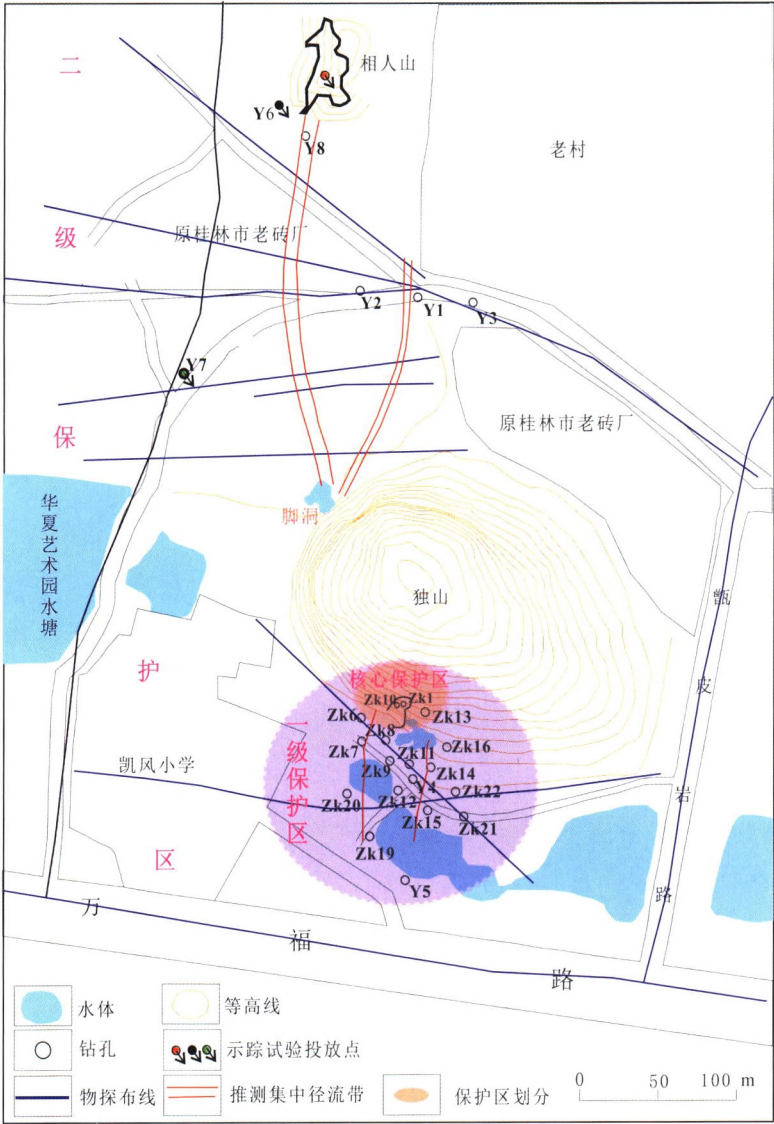


图2 研究区采样点示意图
Fig. 2 Schematics of sampling points in study area

2 研究方法

甌皮岩洞穴遗址的保护是以认清其所处的水文地质条件为前提,为此需运用多种技术手段,获取反映区域岩溶水文地质结构的参数,评估地下水对遗址的危害。

2.1 区域水文地质条件和岩溶发育的探测

采用GIS制图和空间分析方法获取遗址区地貌特征,提取出山脊、地表水系、河网等地貌特征,根据河网的结构和空间展布状态判断地下水径流方向和水文地质单元边界。在甌皮岩遗址区及上游布置了23个水文地质钻孔。部分钻孔开展了高密度电法、地质雷达和钻孔间CT电磁波透视等探测工作,结合岩芯编录,了解岩溶管道和洞穴形态,以及地下水的运动状况。

2.2 水文、水化学监测与试验

采用示踪试验判断甌皮岩水洞内水的来源及钻孔、脚洞和水洞之间的连通性,并分析地下水污染源和运移路径。总共进行过三次示踪试验,三次试验的示踪剂投放点分别位于甌皮岩的北部、西北部和公园景区厕所^[22]。在甌皮岩遗址公园内安装HOB0小型气象站,自动记录降雨量、温度、湿度等基本气象参数,时间间隔为15分钟。部分钻孔内安装Mini Diver或HOB0水位自动记录仪记录水位和温度,时间间隔为15分钟。

从2012年12月开始,陆续对甌皮岩钻孔地下水及周边水塘、水洞进行现场测试与取样分析,现场测试指标包括HCO₃⁻、Ca²⁺、pH、电导率、温度、氧化还原电位等,室内分析项目包括阴离子(Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻)、阳离子(K⁺、Na⁺、Mg²⁺)等指标。2016年1月在遗址洞的不同部位放置标准石灰岩试片,于2017年5月取回,计

算溶蚀速率。自 2017 年开始,每季度对遗址洞及部分钻孔地下水的水-气界面采集气体样品一次,检测 H₂S、CO₂ 及 CH₄ 浓度,其中 H₂S 浓度测定采用亚甲蓝分光光度法,所用仪器为紫外分光光度计(T6 新世纪),CO₂ 和 CH₄ 浓度的测定使用 Picarro G2131-I CO₂ 同位素分析仪。

3 结果与讨论

3.1 甌皮岩遗址地区地下水的径流特征

甌皮岩水文地质单元的划分是以甌皮岩遗址为中心,向北到达南溪河,西边以黄村背斜出露的砂岩为边界,东边到达漓江,南边则延伸至常家村、阳家和谭南村一带。受地形控制,范围内地表水系的源头是西部的砂岩山区,地表水以湖塘和青狮潭水库西灌渠为主体,此外还有小溪流等短小河流,自西向东注入漓江或相思江。

受地形控制,西部砂岩山区的外源水向四周流入岩溶含水层,地下水和地表水存在相互转化的状况。在峰丛洼地分布区,因河流渗漏,部分河水在枯季干枯,而在河床中的溶潭可见到地下水水位。在平原地区则是地下水补给地表水。示踪试验表明,甌皮岩地区岩溶发育特征以裂隙发育为主,地下水主要沿具有双重含水介质的石灰岩流动,裂隙发育呈网络式,但存在主径流带,主径流带的方向为西北到东南^[7]。由此可见,甌皮岩遗址研究区内水系发育良好,地表水与地下水丰富且交替频繁,水动力作用强烈,水岩交互作用发育,为遗址发生水患问题提供了条件。

3.2 地下水化学特征

对甌皮岩地区 2016-2017 年的水化学数据作 Piper 三线图(图 3),可以看出甌皮岩地区地表水和地

下水的阴阳离子数据点基本都落在三角图的左下角。Ca²⁺和 Mg²⁺是主要阳离子,含量大于 90%,其中以 Ca²⁺ 含量最高,K⁺和 Na⁺ 含量小于 10%。HCO₃⁻ 占阴离子的比重最高,含量大于 70%。地下水的化学性质主要表现为 HCO₃-Ca 型。而在某些部位地下水表现为 HCO₃+SO₄-Ca+Mg 或 HCO₃+SO₄-Ca 型。

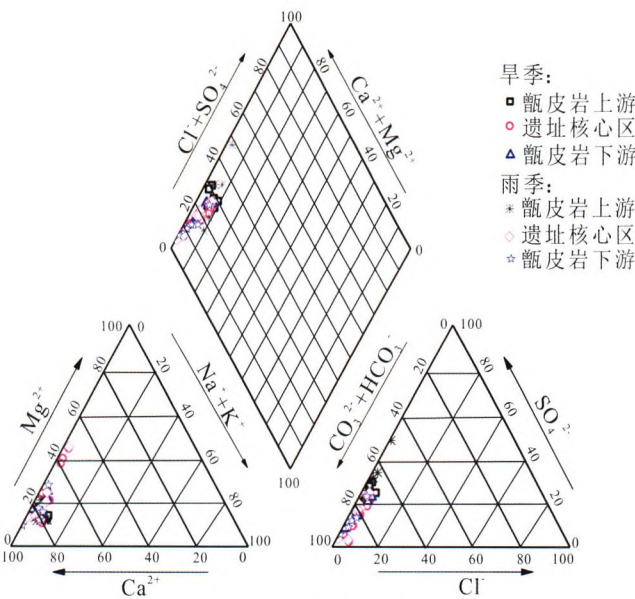


图 3 甌皮岩地区水化学类型图

Fig. 3 Hydrochemical characteristics of Zengpiyan area

统计 2016-2017 年甌皮岩地区地下水 SO₄²⁻ 平均浓度(表 1),发现甌皮岩地下水的硫酸盐含量远高于桂林市的环境背景值,说明甌皮岩地下水面临硫酸盐污染问题,因而水化学类型中有 SO₄²⁻ 参与。甌皮岩地区地表水和地下水中 [Ca²⁺+Mg²⁺]/[HCO₃⁻] 的当量浓度比值为 1.064~1.947,平均值为 1.274,大于 1;而 [Ca²⁺+Mg²⁺]/[HCO₃⁻+SO₄²⁻] 的比值介于 0.917~1.077 之间,平均值为 1.010。进一步证明甌皮岩地区碳酸盐岩的风化是由碳酸与硫酸共同作用而成。

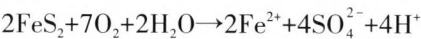
表 1 甌皮岩地区地下水 SO₄²⁻ 浓度表(单位:mg·L⁻¹)

Table 1 SO₄²⁻ concentrations of groundwater in Zengpiyan area

采样点	Y1	Y2	Y3	Y6	Y8	脚洞	ZK6	ZK7	ZK8	ZK9
SO ₄ ²⁻ 浓度	121.89	199.90	73.82	64.50	77.93	89.26	44.49	30.06	31.95	62.34
采样点	ZK10	ZK11	ZK14	ZK16	水洞	矮洞	ZK15	ZK20	ZK21	ZK22
SO ₄ ²⁻ 浓度	6.11	61.97	51.31	13.07	62.35	61.22	39.88	39.06	31.09	21.55

Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻ 主要来源于碳酸盐岩的风化溶解。由于甌皮岩地区地层中无石膏存在,因而硫酸盐的来源只能是大气降水与人类活动成因^[23]。甌皮岩上游桂林市砖厂虽已关闭,但之前运营中生成的粉煤灰和锅炉底渣就地堆积,其中含有黄铁矿

(FeS₂),很容易发生氧化而生成硫酸盐,其反应式为^[24]:



在雨水的淋滤作用下,硫酸盐容易透过土壤层进入地下水,导致甌皮岩地区高硫酸盐含量地下水

的产生。此外,酸雨中的硫酸盐也是甌皮岩地区高硫酸盐浓度形成的一个重要因素^[25]。同时,表1显示,钻孔ZK10地下水的硫酸盐含量呈现异常低值,结合其他指标分析认为,ZK10位于遗址主洞内部,且该处地下水运动速度缓慢,滞留时间较长,空间密闭,致使地下水处于还原环境,可能发生 SO_4^{2-} 还原作用而使 SO_4^{2-} 浓度降低。

3.3 水-气界面侵蚀性气体的产生

甌皮岩地区部分地下水为还原环境,且散发刺鼻的气味,推测地下水的某些离子发生了化学反应产生了气体。2016年11月至2018年1月的观测发现,所有观测点均能检出 H_2S 气体(图4),但是 H_2S 浓度存在时空差异,说明甌皮岩遗址区地下水存在不同程度的微生物参与的硫酸盐还原反应^[26]。还原产物 H_2S 易氧化为硫酸,与碳酸共同作用于遗址文化层的化学侵蚀过程。

H_2S 平均浓度在下水道中最高,其次为钻孔ZK10和矮洞。下水道是遗址公园的排污管道,污水中有机浓度高,可为硫酸盐还原菌提供充足的能量来源,因此产生高浓度的还原物质 H_2S 气体。除下水道以外,对比钻孔及洞穴环境发现 H_2S 浓度还与氧化还原电位有关。ZK10还原性最强, H_2S 气体浓度为最高。矮洞因其赋存空间小,不利于空气的流通,故相比洞内其他

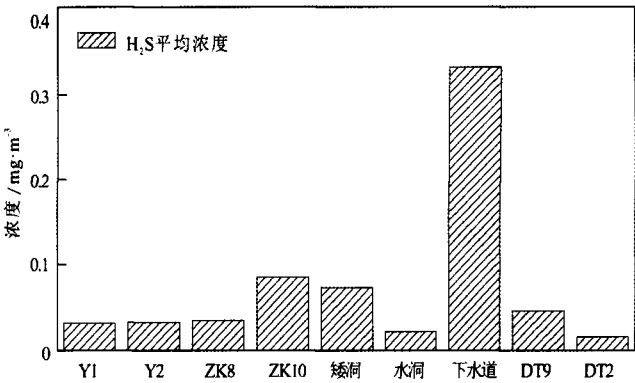


图4 甌皮岩地区 H_2S 平均浓度图
Fig. 4 H_2S average concentrations in Zengpiyan area

开放环境的采样点聚集较高浓度的 H_2S 气体。DT9是遗址洞内未回填的探坑,深度较大,空气流通较弱,有利于还原作用的发生,因而, H_2S 浓度相对较高。

硫酸盐还原反应需要有机质的参与,而 CH_4 是有机质分解的产物^[27], CO_2 则是碳酸盐岩溶解的反应物,因此,对洞穴环境及部分钻孔进行 CO_2 和 CH_4 的监测。以2018年8月为例, CO_2 浓度较高的观测点有钻孔ZK6、ZK7、ZK8,其次为水洞、钻孔ZK10(图5),这是因为钻孔水位埋深大,与外界空气交换能力弱,故 CO_2 浓度高。从图4、图5可知, H_2S 和 CH_4 浓度均较高的地点有下水道和钻孔ZK10,可能原因不再赘述。因此,研究甌皮岩地区地下水的有机质对洞穴环境的影响显得很有必要。

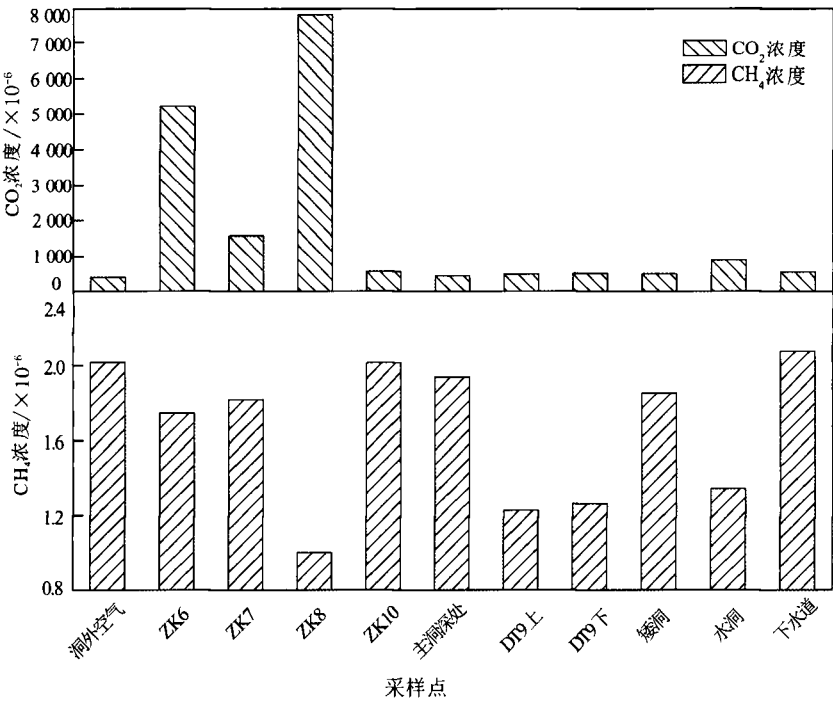


图5 2018年8月甌皮岩钻孔和洞穴气体浓度图
Fig. 5 Gas concentrations of some monitoring points in Zengpiyan area in August 2018

3.4 碳酸盐岩的溶蚀速率

遗址洞内放置的 13 块试片,统计显示回收的 11 块试片重量均有一定程度的减少,试片溶蚀速率见表 2。由表 2 可以看出,水洞水中的溶蚀量最高;两处钻孔均表现为钻孔空气中的溶蚀量大于钻孔地下水的溶蚀量。水洞位于甌皮岩地区地下水的主径流带上,水动力作用强,且地下水贮存空间大,对碳酸盐岩的侵蚀能力强,因而水洞水中的溶蚀速率最高,说明水动力条件是影响甌皮岩洞穴化学风化的一个重要因素。探坑 DT9 由于深度较大,接近地下水位,雨季易受到地下水的侵蚀,故该处溶蚀量较高。钻孔 ZK1、ZK10 地下水处于还原环境,SO₄²⁻ 部分还原为 H₂S 气体后,可能与水气作用而氧化为 H₂SO₄,参与到碳酸风化碳酸盐岩的过程中,因而钻孔空气中的溶蚀量大于钻孔地下水的溶蚀量。与桂林自然条件下的溶蚀速率(桂林地区平均速率为 0.153 3 mg·d⁻¹^[28])作对比,甌皮岩遗址洞内的平均溶蚀速率低于桂林地区溶蚀平均值,但是钻孔空气中的溶蚀速率高于钻孔地下水中的溶蚀速率,说明如果地下水的水-气界面 H₂S 的产生继续增强,将可能产生更高的溶蚀速率,最终影响遗址的保存环境,因此需要更深入研究地下水和还原环境的侵蚀机理。

表 2 甌皮岩遗址洞不同地点试片溶蚀速率

Table 2 Dissolution rates of test strips at different locations in Zengpiyan cave site

编号	放置地点	放置环境	溶蚀速率/mg·d ⁻¹
1	水洞	水中	0.284 3
2	水洞	近洞口的空气中	0.005 3
3	水洞	洞中部的空气中	0.019 1
4	水洞	洞深部的空气中	0.094 9
5	主洞	探坑 DT9	0.107 0
6	主洞	ZK1 水中	0.004 5
7	主洞	ZK1 空气	0.006 8
8	主洞	ZK10 水中	0.028 9
9	主洞	ZK10 空气	0.044 0
10	主洞	边槽	0.010 4
11	主洞	边石坝	0.009 1

3.5 洞穴遗址的保护

3.5.1 甌皮岩洞穴遗址的保护

根据甌皮岩的自然和历史文化价值,结合遗址洞穴周边环境特点,为方便规划管理,划分为核心保护区、一级保护区、二级保护区三个保护等级^[29](图

2)。核心保护区为遗址洞,包括主洞、矮洞、水洞;一级保护区为遗址公园内自遗址洞洞口至水塘的区域;二级保护区为公园内遗址区铁门以外,北至相人山,西达华夏艺术园,东至甌皮岩路,南到万福路之间的区域。

不同等级的保护区存在的问题和采取的保护措施不同。研究表明,核心保护区现阶段主要面临化学侵蚀的问题,因此应查明遗址洞内 H₂S 气体的来源,认清 H₂S 气体对洞穴的侵蚀作用机制,评估还原产物对遗址保护的影响。而探坑内壁土壤颗粒和螺蛳壳的脱落及霉菌苔藓的产生与地下水的存在和变动有关^[30],因此,还需要创新技术手段,控制影响水位升降运动速度的因素,监测潜蚀破坏的发展过程,制定行之有效的保护措施。一级保护区现有的保护措施缺乏多样性,可增加遗址公园标语和警示牌的警示提醒,适当增加标识和解说系统^[31],使游客在游览过程中既能了解甌皮岩的文化价值,又能提高保护遗址的意识。此外,遗址公园运营中产生的污水需要经过严格处理再排放。二级保护区存在监测力度不够的问题,区内建有居民区、日化用品厂等,生产生活产生的污水很容易通过主径流带扩散到核心保护区。因此,整个水文地质单元必须长期严格监测水质,重视地下水有机物质、还原性物质等指标的监测。对已建立的地质钻孔等监测设施加强保护管理。在遗址保护范围内,所有的建设活动都必须受到严格的审查管理,严格评估项目建设内容,力求将对遗址本体具有损害的行为降到最低^[32]。

3.5.2 其他洞穴遗址的保护

甌皮岩洞穴遗址是受到地下水波动影响的岩溶洞穴,对其进行研究和保护会为类似条件下的洞穴遗址保护提供一定的参考,因此提出以下保护措施:

(1)建立能够显示环境动态的长期监测体系。对洞穴遗址的温度、湿度、气体等环境指标进行长期监测,掌握环境参数的变动情况,合理配置多种技术手段,维持洞内环境的相对稳定。经常遭受地下水活动影响的洞穴遗址,宜建立水质监测站,加大对地下水侵蚀作用防范机理的研究,严格控制地下水水质,重视污水的排放管理,特别关注极端天气事件对地下水径流场产生的短时间、高强度的影响。

(2)采用 3S 技术建立监测网络并辅助规划决策。通过全球定位系统、地理信息系统、遥感等现代技术,结合田野考古等传统方式,精确地提取人类历史文化遗产的空间信息,并监测文化遗产地在人类和

自然因素作用下的时空变化,运用ArcGIS技术,对遗址景观进行三维可视化技术处理,为遗址保护提供更加科学、精准的决策支持^[33-34]。

(3)规范洞穴遗址的勘查与规划管理。在详细了解遗址区域水文地质背景的基础上进行勘查工作。勘查过程中尽量减少对遗址本体文化层的扰动,秉持“开发与保护并存”的原则,开发利用人类文化遗产。严格遵守相关法律法规,将保存完好、内涵丰富、价值重大的洞穴遗址列为文物保护单位,对发掘的文物进行妥善保存。结合当地自然人文环境合理规划,分地段划分保护区范围和建设控制地带。若为规模较大、示范意义较深刻的洞穴遗址,可选取有代表性的部位进行复建,或依条件申报建立国家考古遗址公园。此外,借鉴国内外先进的管理经验,重视对遗址周边环境的保护^[35],完善遗址保护管理体系,加强对管理人员的专业性培训^[36]。若不具备展示条件且占地面积较小,建议进行就地掩埋,以减轻考古遗址的损失^[37]。

(4)多途径提高洞穴遗址保护的宣传力度和公众的参与乐趣。当地政府要发挥在遗址保护工作中的主导作用,对遗址的保护规划工作给予支持和配合,提供资金投入,加强对遗址保护的宣传。条件成熟的考古遗址公园,可与高校共同建立科研基地,建构学术交流平台,模拟考古实验,增加社会各阶层参与遗址复原与保护工作的机会^[38]。此外,以公众考古与科普旅游为切入点,串联当地分布较为分散的洞穴遗址共同开发,将有利于洞穴遗址保护与城市建设的同步发展^[39]。

4 结 论

在认识甌皮岩洞穴遗址水文地质单元和地下水特征等的基础上,发现研究区内水系发育良好,水动力作用强烈,地下水的化学性质表现为 HCO_3^- - Ca 、 $\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Ca}+\text{Mg}$ 或 $\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$ - Ca 型,其中,硫酸盐含量远高于桂林市环境背景值,地下水面临硫酸盐污染的问题。甌皮岩地区部分地下水处于还原环境,水气界面存在还原性气体 H_2S ,浓度具有时空差异,监测期内各样点 H_2S 浓度介于 $0.016\sim 0.085\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间。遗址洞中碳酸盐岩平均溶蚀速率虽低于桂林地区平均值,但若地下水水气界面 H_2S 的产生能力继续增强,将可能产生更高的溶蚀速率,从而影响遗址的保存。

在甌皮岩洞穴遗址,应对不同等级的保护区采取不同的保护措施。建议核心保护区重点解决侵蚀

问题,应研究地下水和还原环境对遗址文化层侵蚀作用的机理;一级保护区要提高对污水排放的管理能力与净化,增加保护遗址的形式和手段;二级保护区应加大对环境指标的监测力度,管控保护区内工程的建设。

此外,本文还提出了对类似地质背景下洞穴遗址的保护措施:①建立能够显示环境动态的长期监测体系;②采用3S技术建立监测网络并辅助规划决策;③规范洞穴遗址的勘查与规划管理;④多途径提高洞穴遗址保护的宣传力度和公众的参与乐趣。

参考文献

- [1] 王丽娟. 桂林甌皮岩洞穴遗址第四纪孢粉分析[J]. 人类学报, 1989, 8(1): 69-76, 106.
- [2] 巫惠民, 阳吉昌. 广西桂林甌皮岩洞穴遗址的试掘[J]. 考古, 1976(3): 175-179, 160.
- [3] 王华, 张会领, 涂林玲, 等. 桂林甌皮岩洞穴遗址钙华板 ^{14}C 年代学研究[J]. 地球学报, 2005, 26(4): 333-336.
- [4] 张美良, 朱晓燕, 覃军干, 等. 桂林甌皮岩洞穴的形成、演化及古人类文化遗址堆积浅议[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 305-312.
- [5] 史习刚. 甌皮岩遗址生态环境的初步研究[J]. 史前研究, 2013(0): 203-211.
- [6] 覃政教, 林玉石, 高明刚, 等. 桂林甌皮岩遗址岩溶地下水害成因及防治对策[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 107-113.
- [7] 中国地质科学院岩溶地质研究所. 甌皮岩遗址地下水害防治工程水文地质勘查成果报告[R]. 桂林: 中国地质科学院岩溶地质研究所, 2014.
- [8] 佚名. 关于保护景观和遗址的风貌与特性的建议[C]// 中国长城博物馆, 2013, 50(2): 27-29.
- [9] 赵元春. 保护世界文化和自然遗产公约[J]. 南方文物, 2005(4): 79.
- [10] 佚名. 关于历史地区的保护及其当代作用的建议[C]// 中国长城博物馆, 2013, 50(2): 8-13.
- [11] 杨檬. 国家考古遗址公园保护研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [12] 李静怡, 张笑楠. 史前聚落遗址展示利用研究: 以雕龙碑遗址为例[J]. 艺术与设计(理论), 2015, 2(11): 72-74.
- [13] 《国家考古遗址公园管理办法(试行)》发布[J]. 中外文化交流, 2010(2): 92.
- [14] 《西安宣言》[J]. 风景园林, 2005(3): 118.
- [15] 良渚遗址管委会. 杭州市良渚遗址保护管理条例.[EB/OL]. http://www.yuhang.gov.cn/xxgk/zcfg/zcjd_14455/201312/t20131217_888415.html, 2013-12-17.
- [16] 滕磊. 国家考古遗址公园的实践与思考[J]. 博物院, 2018(5): 93-98.
- [17] 蒋远金. 广西洞穴遗址: 兼论西江—珠江流域中石器时代[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2015.
- [18] 翁金桃. 桂林岩溶与碳酸盐岩[M]. 重庆: 重庆出版社, 1987.
- [19] Guo F, Jiang G H, Lo K, et al. Hazard of sinkhole flooding to a cave hominin site and its control countermeasures in a tower karst area, south China [C]// National Cave and Karst Re-

- search Institute Symposium, 2015: 447-454.
- [20] 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.
- [21] 王紫燕.甌皮岩遗址地下水污染场地氧化还原作用与H₂S气体释放特征[D].重庆:西南大学,2018.
- [22] 曾莘茹,姜光辉,郭芳,等.桂林甌皮岩洞穴遗址地下水示踪及污染源分析[J].中国岩溶,2016,35(3): 245-253.
- [23] 曾莘茹.桂林甌皮岩遗址地下水水化学特征及成因分析[D].重庆:西南大学,2017.
- [24] Bottrell S H, Newton R J. Reconstruction of changes in global sulfur cycling from marine sulfate isotopes[J]. Earth—Science Reviews, 2006, 75(1): 59-83.
- [25] 孙平安,李秀存,于爽,等.酸雨溶蚀碳酸盐岩的源汇效应分析:以广西典型岩溶区为例[J].中国岩溶,2017,36(1): 101-108.
- [26] 樊广锋,戴金星,戚厚发.中国硫化氢天然气研究[J].天然气地球科学,1992(3): 1-10.
- [27] 刘建朝,张林,王行运,等.固市凹陷非常规水溶甲烷气成因及来源[J].地质力学学报,2014,20(1): 61-69.
- [28] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1988.
- [29] 甌皮岩遗址保护区划图[Z].广西文物保护研究设计中心、桂林市城市规划设计研究院,2010.
- [30] 周双林.谈谈考古遗址的展示保护[J].文物保护与考古科学,2006,18(1): 47-51.
- [31] 曹新,张凡,韩梅,等.圆明园遗址公园保护利用现状调查与研究[J].中国园林,2008,24(11):34-41.
- [32] 国家文物局.中华人民共和国文物保护法[EB/OL].http://www.sach.gov.cn/art/2017/11/28/art_1034_121351.html, 2017-11-28.
- [33] 聂跃平,杨林.中国遥感技术在考古中的应用与发展[J].遥感学报,2009,13(5): 940-962.
- [34] 冯铁宏,刘新宇,李晓蕾. GIS技术在萨拉乌苏考古遗址公园规划设计中的应用[J].文物保护与考古科学,2014,26(4): 62-69.
- [35] 朱晓渭.国外经验对陕西考古遗址公园建设的启示[J].江汉考古,2011(2): 119-122.
- [36] 柯晓雯.贵安新区史前洞穴遗址群的利用问题[J].遗产与保护研究,2018,3(6): 23-30.
- [37] Nickens P R. Technologies for in—Place protection and long-term conservation of archaeological sites[J]. Archives & Museum Informatics, 1999, 13: 383-405.
- [38] 黄可佳,韩建业.考古遗址的活态展示与公众参与:以德国杜佩遗址公园的展示和运营为例[J].东南文化,2014(3):40-45.
- [39] 周海.以小见大,小遗址融入城市建设发展大格局:以桂林史前洞穴遗址保护与利用为例[J].史前研究,2013.

Exploration and research on the preservation environment of cave sites: An example of the Zengpiyan site in Guilin

WEI Minjie^{1,2}, JIANG Guanghui², GUO Fang²

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Karst Environment, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract Reasonable exploitation, utilization and protection of cave sites are important premises for heritage and development of site culture. Taking the Zengpiyan cave site in Guilin as an example, this work identifies the problems in the process of preservation and development based on the detection and monitoring of the site and the recognition of the hydrogeological units and groundwater characteristics of the site. Then possible measures were suggested for the protection of the site, which will aid in the protection of cave sites under similar conditions. The results show that there are different problems in the three protected areas of the Zengpiyan site, i.e. the core protected area is facing the risk of chemical erosion, the existing protection methods of the first-class protected area lack diversity and the second-class protected area lacks sufficient monitoring. Accordingly, the following measures are put forward, (1) The mechanism of groundwater and reductive environment on the cultural layer erosion should be studied in depth in the core protected area. (2) The management of sewage discharge should be strengthened and the forms and means of cave site protection should be increased in the first-class protected area. (3) The monitoring of environmental indicators should be strengthened and the construction of projects within protected areas should be controlled in the second-class protected area. Furthermore, the protection measures should be extended to general cave sites, including establishing a long-term monitoring system that can show the environmental dynamics; using 3S technology to establish a monitoring network and assist planning; standardizing the exploration and planning management of cave sites; and improving the publicity of cave site protection and public participation capacity through multiple ways.

Key words Zengpiyan, cave site, preservation environment, exploration, protection

(编辑 张玲)