

文章编号:1001-4810(2013)03-0345-13

广西巴马县水晶宫洞穴沉积物特征及其沉积环境

张美良, 朱晓燕, 吴夏, 阳和平, 潘谋成

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要:巴马县水晶宫洞内次生化学沉积物景观丰富, 类型多样, 有石钟乳、石幔、石瀑布、石笋、石柱、石盾等特色景观; 尤其是近期仍在发育的洞顶鹤管、卷曲石、石花等是国内外较为罕见的洞穴奇景。据沉积物的沉积类型、物质成分、沉积序次及测年等资料研究表明, 水晶宫洞穴沉积物形成于晚第三纪以来。晚第三纪和第四纪早更新世早期, 洞内沉积主要为外源水携带的硅质岩、砂岩类砾石沉积形成的钙华砾石层。早更新世中期—中更新世气候温暖湿润, 是水晶宫洞穴主要景观的形成期, 沉积物景观宏大而壮观。 $^{230}\text{Th}-\text{U}$ 系测年得出其分别形成于 100~35 万年前。晚更新世早期 12.5~9 万年的末次间冰期主要为温暖气候环境, 洞内仅有少量的石笋沉积, 且极少保存; 9 万年后气候环境发生突变, 更不利沉积物发育和保存; 自 4 万年后气候环境开始表现为温暖湿润, 化学沉积活跃, 洞穴沉积物主要由高约 50~150 cm 的纯白色石笋群和钟乳石组成, 为洞穴奇景的形成期, $^{230}\text{Th}-\text{U}$ 系测年得出其分别形成于 40 ka BP 和 7 500 a BP 以及 1 450 a BP。晚更新世晚期以来形成的洞穴沉积物景观, 不仅为水晶宫提供了丰富的旅游资源和价值, 同时也为广西重建古气候环境提供了重要的信息载体。

关键词:水晶宫洞穴; 沉积物景观; 沉积环境; 形成时期; 广西巴马县

中图分类号:P931.5 **文献标识码:**A

0 引言

岩溶洞穴是岩溶学、水文地质学、工程地质学领域的重要组成部分, 因此, 洞穴研究在工程实践(水坝、铁路、机场和城市建设等)和理论研究上倍受关注, 并已发展成一门独立的学科——洞穴学。

岩溶洞穴是岩溶地下水沿断裂和裂隙溶蚀、侵蚀扩大的结果, 是赋存于地下岩石圈中的一种结构复杂的空间, 也是固体、气体、液体物质迁移和运输的通道和岩溶矿产资源、水资源、(风、热)能量、生物和旅游资源等聚集的场所。

岩溶洞穴资源是一种特殊的地下旅游资源, 它具有不可再生性、可持续利用性和资源的不可替代性, 同时存在一定的类似性以及资源的高度变异性等特

点。岩溶洞穴长期以来以其资源的独特性, 曲径幽深、变幻莫测和美不胜收的景观吸引游客前往, 因此洞穴游览在旅游事业中占有重要的地位, 并取得了良好的经济和社会效益。随着人们逐渐对洞穴、洞穴沉积物等的形成过程、形成机理的深入研究, 以及利用洞穴沉积物对过去气候和环境变化的深入研究, 岩溶洞穴沉积物已经成为全球变化研究中的重要信息库。

本文将依据巴马水晶宫洞穴中的沉积物类型、成岩度、形态、规模、时序和次生化学沉积物的铀系测年等资料, 重建广西巴马水晶宫岩溶洞穴沉积物的发育历史, 并探讨不同地质时期形成的洞穴景观、形态和类型特征以及影响因素。

基金项目:国家自然科学基金(批准号 40772216 和 40802042)和地调局“中国气候变化洞穴沉积记录研究”(编号:12120113005700)

第一作者简介:张美良(1956—),男,研究员,主要从事岩溶环境与全球变化研究。E-mail:mlzh2010@163.com。

收稿日期:2013-01-17

1 概况

广西巴马属亚热带季风气候区,年平均气温 20.4°C ,多年平均降雨量 $1\,560\text{ mm}$ (1959—2002年)。降雨主要集中在5—9月,占全年的76%。水晶宫洞穴位于巴马县城西北的那社乡大洛村牛洞屯,距县城44 km,交通便利。水晶宫洞穴发于下二叠统(P_1m)浅色、灰白色中厚层、厚层灰岩中。洞口海拔高程约650 m,洞长近800 m,洞宽4~40 m,洞高1.5~35 m,为廊道状的中型洞穴。洞内深处气温在 $18.5\sim 19.6^{\circ}\text{C}$ 之间,湿度95%以上,利于洞穴次生化学沉积物形成和景观的保护。

水晶宫洞穴位于凤山县的坡心地下河系右支流,即那社—江洲地下河支流的上游,地表水从那社乡北、大洛村两伏流口流入,经凤山县的江洲,最后从坡心地下河流出(图1)。洞穴的发育主要受层面裂隙及北(北)东向的断裂、裂隙构造控制,局部受北西西、北(北)东向的断裂、裂隙构造控制,在交汇处形成宽

敞的大厅堂(图2)。洞穴顶板覆盖厚度一般50~200 m,最厚达200 m以上,地表基岩基本裸露,土壤层零星分布在裂隙、石缝中,局部分布有3~20 cm的土层。洞穴顶部及周围山体植被主要为次生灌丛,局部受人类活动的影响——植被被砍伐而耕种玉米,局部发生石漠化或水土流失,使洞穴沉积物景观的色调和美学价值受到一定的影响,同时也不利于洞穴次生化学沉积物的形成和景观的保护。

2 洞穴沉积物

广西巴马水晶宫洞穴沉积物极为丰富,包括有次生化学沉(淀)积、流水机械沉积和重力崩塌堆积等3大类。

2.1 流水机械沉积

流水机械沉积物,按其组分可分为砂岩、砾石类沉积和(亚)黏土沉积。



图1 广西巴马—凤山江洲洞穴系统分布图(据张远海,2008)^[1]

Fig. 1 Distribution of the Jiangzhou cave system in Bama-Fengshan, Guangxi

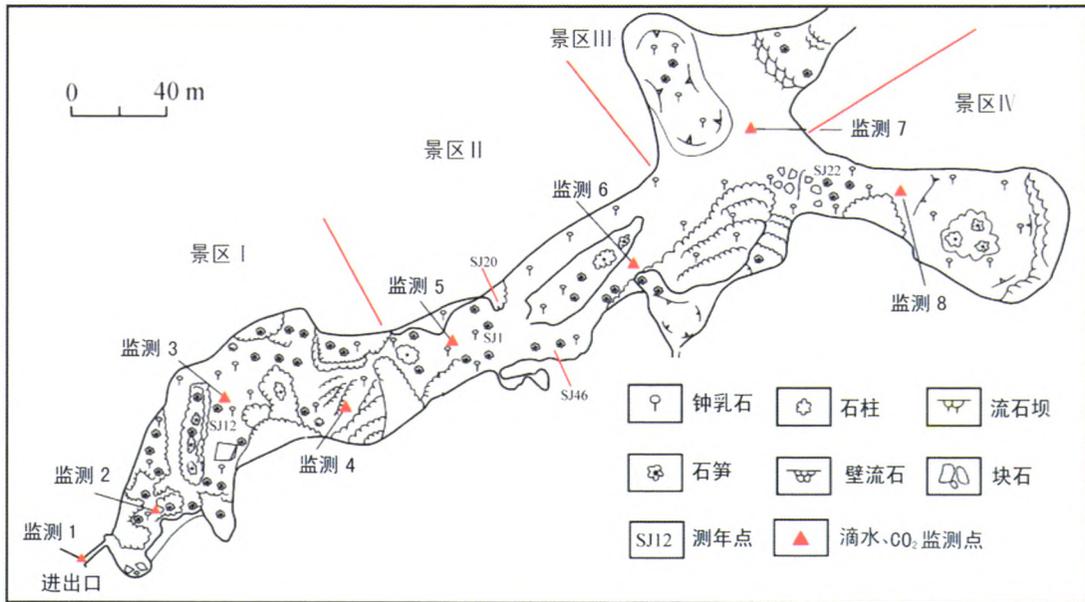
图 2 巴马水晶宫洞穴平面图(据邓亚东^[2]图修改)

Fig. 2 Plan of the Shuijingong cave in Bama

2.1.1 砾石类沉积

钙华砾石类沉积主要分布在洞口两侧和洞口附近约 10 m, 主要由半成岩的黄色砂岩、砂砾岩以及古钙华胶结砾石组成, 厚 4~6 m, 具成层性。砾石主要来自非碳酸盐岩区的碎屑岩, 砾石浑圆, 砾径 2~8 cm。

砂砾石类沉积, 主要分布在洞穴内的 II 与 III 景区(图 2)之间, 由砂-砾石-黏土组成, 为未胶结的松散层, 厚 1~3 m, 砂砾石层与砂质黏土互层分布, 属典型的岩溶地下河沉积。砾石磨圆度差, 无分选, 砾径为 1~20 cm, 成分主要为硅质岩、砂岩或粉砂岩等碎屑岩。这些物质来自南部的非碳酸盐岩分布区, 由外源水携入。

2.1.2 (亚)黏土沉积

黏土类物质主要沉积于岩溶洞穴底部的水动力较弱的积水池或地下岩溶湖中。水晶宫洞穴中的(亚)黏土主要分布在 III 景区南部的低凹处, 由褐黄色、褐灰色亚砂土、亚黏土或(钙质或含钙质)黏土等组成, 具微细纹层, 呈半固结状态, 厚 2~4 m 不等, 顶部为 20~100 cm 厚的钙华层所覆盖。

2.2 重力崩塌堆积

水晶宫洞穴形成后发生过两次重大的崩塌阶段, 第一次大约是在 60~100 万年前, 主要发生在第 I 景区的南部, 有大量的巨型石笋、钟乳石(高约 2~5 m, 直径约 1~3 m 不等)等发生崩塌堆积, 堆积高度 1~4 m 不等, 造成洞底凹凸不平。后期在洞底平躺或斜躺着巨型石笋、钟乳石上又沉积了高 0.5 m、1.5 m、3

m 和 5 m 不等、直径 20~70 cm 的石笋, 经对 SJ8、SJ12 石笋等的铀系测年, 得出其形成年代为 50~100 万年。第二次大约是在 4 万年前, 主要发生在第 II 与 III 景区之间, 崩塌物主要为洞顶巨大的灰岩块石, 块石呈方形或不规则状, 棱角明显, 无分选和磨圆, 未经流水搬动, 岩块长为 2~15 m, 高 2~5 m 和宽 1~2 m。后期在洞底堆积的巨大灰岩块上沉积了高约 50~200 cm、直径为 5~20 cm 的纯白色石笋, 经对 SJ21、SJ22 石笋的铀系测年, 得出其形成年代为距今 4 万年以来。

2.3 化学沉积物

巴马水晶宫是广西西部洞穴旅游中最具特色的洞穴, 是旅游洞穴的一颗明珠, 为巴马创造了大量的财富, 而且带动了巴马及周边地区旅游业和经济的快速发展, 这都得益于巴马水晶宫内美轮美奂的化学沉积物。

本洞穴碳酸盐次生化学沉积物类型多而齐全, 滴石类是水晶宫洞穴中的主要类型, 如钟乳石、石笋、石柱、石旗和鹅管; 其次是毛细水形成的卷曲石、石毛和凝结水形成的石花等。布满洞顶和洞壁的纯白色或乳白色的钟乳石、石旗等, 是本洞穴的特色景观。

流石类以壁流石、钙华和流石坝(池)沉积为主, 其中, 石瀑布或石幕分布较局限, 但规模较大, 呈悬挂的雨篷状, 别具一格, 具有一定的观赏价值。钙华层或流石坝、石田形成于洞穴底部, 呈片状(面状)分布, 构成堤坝式景观。

根据洞内次生化学沉积物的时空分布特征、沉积时序和景观类型,可将水晶宫分为4个大景区(图2):分别为①宏伟壮观的石笋、石柱林景区;②玲珑剔透的鹅管、卷曲石、石花、石毛等景区,其中伴随有大石柱、中小型石笋林或钟乳石;③垂向倒挂洞顶纯白色精美的鹅管、石钟乳景区;④精美而细长的中小型石笋林、钟乳石景区等。整个水晶宫景区包括有几十处景点。

2.3.1 第Ⅰ景区:宏伟壮观的石笋、石柱林景区

由进口洞段的第一个大厅至长寿门等洞段的十几处景点构成,本洞厅还有两个直径1~2 m的地下排水口。此景区是本洞最高的、最大的第一厅堂。以



照片1 石笋群

Photo 1 Stalagmite groups

宏大、粗犷而壮观的流石瀑布和大石笋、大石柱、大石幕、大石旗等次生化学沉积物组成多彩多姿、登峰造极的景观为特色(照片1,2,3,4)。洞穴次生化学沉积物集中分布在洞顶、洞底和洞壁,其神韵千姿百态、景象万千、拟人状物、惟妙惟肖,意境奇绝,具有较高的观赏价值。

据取自洞穴沉积于早期坍塌的巨型石笋、钟乳石断块上的SJ8、SJ12和SJ14石笋(高约50~100 cm)等样品的铀系测年结果,其形成年代分别为100万年前、50~38万年前和10万年前,这些沉积物的表面新鲜,为黄白色,显示洞穴封闭条件极好,没有遭受后期风化作用的影响。



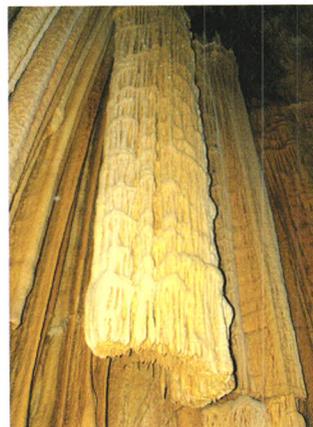
照片2 壁流石、石幔

Photo 2 Wall flowstones and stone drapery



照片3 石柱群

Photo 3 Stalacto-stalagmite groups



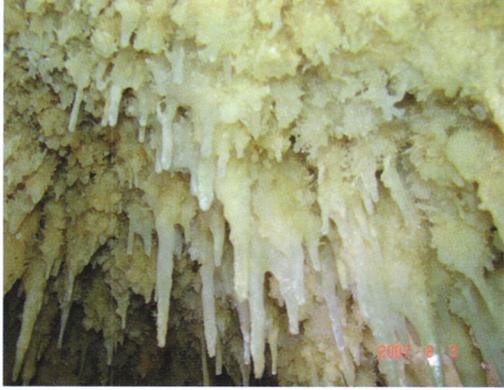
照片4 石幔、石幕

Photo 4 Stone drapery and stone curtain

2.3.2 第Ⅱ景区:玲珑剔透的鹅管、卷曲石、石花、石毛等景区

本景区位于中部,是水晶宫洞内景观的精华区,不仅有由重力水沉积的高大宏伟、顶天立地的石柱,也有低矮的石柱群、石笋群;而在洞顶悬挂、呈片分布、千姿百态的纯白色石钟乳、鹅管(照片5,6,7,8,

9),以及非重力水沉积的卷曲石(照片10)、石花(照片11)、石毛(照片12)等,体态玲珑剔透、造型奇特,是极为罕见的洞穴特色景观;同时,在宏伟的石柱群和低矮的石柱群下部,伴有新沉积的雪白纯净的、中一小型石笋群等。



照片 5 钟乳石及石花
Photo 5 Stalactites and stone flowers



照片 6 白色纯钟乳石
Photo 6 Pure white stalactites



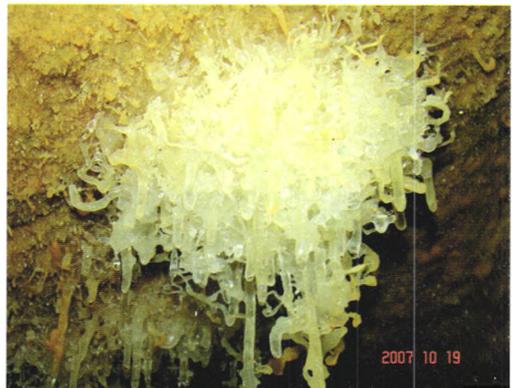
照片 7 钟乳石、白色鹅管
Photo 7 Stalactites and white soda straws



照片 8 纯白色钟乳石上的石花
Photo 8 Stone flowers on pure white stalactites



照片 9 细一长条状纯白色鹅管
Photo 9 Fine-long and pure white soda straws



照片 10 纯白色卷曲石
Photo 10 Pure white helictite



照片 11 洞壁上纯白色石花
Photo 11 Pure white stone flowers on the cave wall



照片 12 洞顶或鹅管上纯白色石毛
Photo 12 Pure white cave hair on the cave roof and soda straw

据采自坍塌巨石岩块上的纯白色石笋和石柱群下部生长的石笋样的铀系测年结果,石笋分别生长于4万年前和0.70万年前。这些石笋的表面新鲜、为雪白色,现仍在生长,说明洞穴封闭条件极好。近3年的洞穴滴水 and 现代碳酸盐沉积的动态监测表明,水晶宫湿度大(95%以上),滴水供给物源丰富, Ca^{2+} 浓度高(为72~83 mg/L),饱和指数(SIc)大(为0.4~0.9),沉积速率快。水晶宫的这种洞穴环境条件对本景区特色景观的形成贡献较大。

2.3.3 第Ⅲ景区:垂向倒挂洞顶纯白色精美的鹅管、石钟乳景区

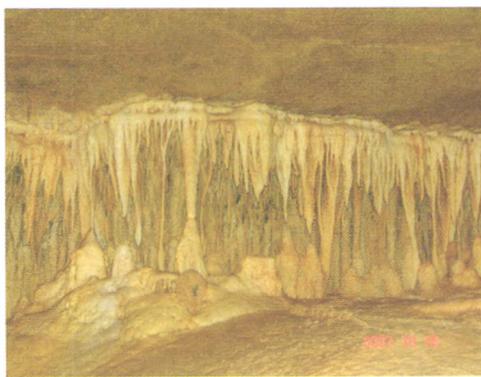
本景区位于北东端最大的第二个大厅内,洞厅西

南端有一个直径1~2 m的地下排水口。本景区在洞顶上发育了大量雪白或乳白色的钟乳石、鹅管等洞穴次生化学沉积物,其中,主要由垂向倒挂洞顶的纯白色的、呈片分布的、细长的(长30~80 cm)鹅管、石钟乳等构成,特色十分鲜明。其中,细长的鹅管如倒挂龙须,栩栩如生,蔚为壮观(照片13)。此外,在洞厅的周缘及洞壁处零星分布有纯白色的年轻石笋群(照片14)等,又构成另类组合景观。在洞底还零星分布有50~100 cm高的老石笋以及古老的钙化层和流石坝。这些沉积物表皮发黑、风化较强,经取样测年得出其形成年代均大于50万年。



照片13 雪白色的细长鹅管,呈倒挂龙须

Photo 13 Snow-white and fine-long soda straws, hanging upside down in shape of dragon beard



照片14 洞壁黄色、白色的钟乳石、石笋群

Photo 14 Yellow and white stalactites and stalagmites groups on the cave wall

2.3.4 第Ⅳ景区:精美而细长的中小型石笋林、钟乳石景区

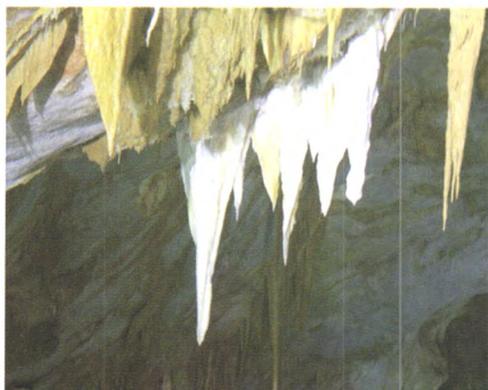
本景区位于水晶宫末端东南深凹陷的洞厅,洞厅深约10~15 m。本洞厅的景观,在洞顶主要由纯白色的、垂向倒挂洞顶的鹅管、钟乳石等景观组成(照

片15,16);洞底及斜坡地带的特色景观主要由黄、白色高低错落的石笋群或石笋林组成;洞厅周缘的洞壁景观,则以流石瀑布、纯白色的年轻石笋、钟乳石等构成(照片17,18)。据取自洞壁高约100 cm的石笋的U系测年结果,这些纯白色石笋形成于40 ka以前。



照片 15 雪白色的鹅管照片、钟乳石

Photo 15 Snow-white soda straws and stalactites



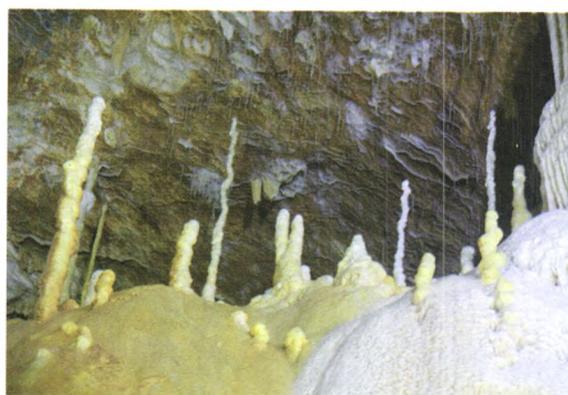
照片 16 纯白色钟乳石或石旗

Photo 16 Pure white stalactites or stone flags



照片 17 纯白色的年轻石笋群

Photo 17 Pure white and young stalagmites groups



照片 18 白色的、细长年轻石笋群

Photo 18 White, fine-long and young stalagmites groups

3 洞穴沉积环境

洞穴沉(堆)积物是某一地质时期形成的产物,同洞外第四纪沉积物一样,都是确定地质时代的物质基础,也是确定岩溶发育历史最好的物质证据及信息记录。所以,通过对洞穴沉积物进行微体古生物、植物孢粉组合、同位素测年、古地磁极性分析以及进行重矿物和黏土矿的分析,可以确定沉积物的形成年龄,重建古气候环境,进而推测岩溶洞穴的形成年代。洞穴沉积物中以化学沉积物最能直接反映洞穴和岩溶发育的地质、水文、气候和环境特征,其中又以滴水类的石笋沉积剖面为好。石笋具有沉积连续、环境信息以及年龄信息易保存等特性,是综合研究古气候环境的理想载体。

据区域地质资料、洞穴沉(堆)积物的沉积特征及 $^{230}\text{Th}-\text{U}$ 系测年研究表明^[3-6],广西巴马县水晶宫洞穴发育的历史可以追溯到第三纪。

3.1 第三纪洞穴沉积环境

据广西区域地质资料^[3-8]分析表明,第三纪是广西南宁盆地、百色盆地、乐业盆地等的形成期,沉积物由河流相、湖相的砂岩、泥岩、泥灰岩、煤系地层等构成。该时期也是广西岩溶发育的强盛时期——广泛发育岩溶峰丛地貌、洞穴,并在岩溶洼地、洞穴中广泛沉积了河流相的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、粗砂岩、砂砾岩及砾石层,而且沉积物成岩度好,具沉积韵律^[3-4]。在巴马县水晶宫洞口西侧,其洞穴沉积物主要由一套厚 4~6 m 的河流相半成岩的黄色砂岩、砂砾岩以及古钙华胶结砾石层、洞穴古钙华层等构成(照片 19,20),这一套沉积物可以与广西乐业蚂蜂洞第 13 层的“溶洞崩塌岩块堆积层”、百色盆地上第三系上新统的灰白色泥岩及砖红色泥质粉砂岩沉积(第Ⅶ孢粉组合层)以及平果敢沫洞内的晚第三纪的河流相沉积物相当(相当于蚂蜂洞 39-5 与 39-6 晚第三纪孢粉层之间的第 13 层的“溶洞崩塌岩块堆积层”,厚 3.0 m)^[3-4],表明广西巴马水晶宫洞穴发育的时期可以追溯到早第三纪^[3-5]。



照片 19 第三纪沉积的砾石钙华层

Photo 19 Gravel-tufa layers deposited in the Tertiary period



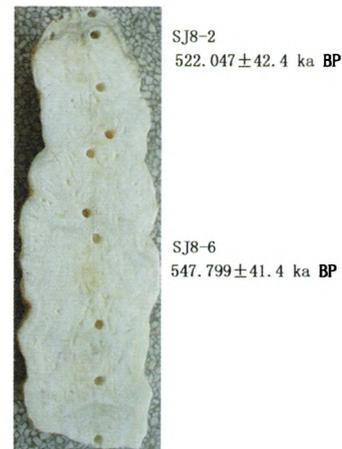
照片 20 钙华胶结砾石层及钙华层互层

Photo 20 Tufa-cemented gravel layer interbedded with tufa layer

3.2 早—中更新世时期洞穴沉积环境

在更新世时期,巴马水晶宫洞穴已脱离水体,位于地下水位之上,是洞穴次生化学沉积物大量沉积阶段。在更新世初期,水晶宫仍为地下河沉积,有 4 m 厚的砂砾石层、约 2 m 厚的砂质黏土或黏土层堆积,少量砂砾石为后期钙质胶结,其上沉积有 10~15 m 高的巨型石笋(柱),轴系测年大于 100 万年。在早更新世晚期至中更新世,在水晶宫洞穴的不同部位沉积出大量的大石笋、石柱群、钟乳石、巨型石幔、石幕、钙华等次生化学沉积物(照片 2,3,4),构成形态各异的洞穴景观。对取自第 I 景区崩塌的巨型石笋、钟乳石上沉积的 4 根石笋进行²³⁰Th—U 系测年,分别获得 4 根石笋的形成年代为: SJ12 石笋在其顶部就大大超出测年值范围(顶>60 万年,底 98.6±22 万年,年代太老,测年误差大),按其生长速率计算, SJ12 石笋的底部大于 100 万年; SJ8 石笋为 52~60 万年(照片 21)、SJ14 石笋为 40~37 万年(照片 22)和 SJ38 石笋为 37~35 万年(照片 23),表明水晶

宫洞穴的沉积物——石笋大约在 100~35 万年之间较发育,而那些高 2~10 m 的巨大石笋、石柱群的形成年代会更老,可以追溯到更新世早期,这些大型石笋、石柱群与崩塌的巨型石笋(柱)为同时期的产物。大量洞穴次生化学沉积物的形成,说明早—中更新世时期的气候温暖湿润、降水极丰富、洞穴滴水补给充足、滴水量大而快速,地表生态环境及洞穴环境非常利于次生化学沉积物沉积,类似于深海同位素 MIS11、MIS13 阶段间冰期的温暖湿润气候环境。



照片 21 SJ8 石笋剖面年代

Photo 21 The age of SJ8 stalagmite profile



照片 22 SJ14 石笋剖面年代

Photo 22 The age of SJ14 stalagmite profile

3.3 晚更新世早期洞穴沉积环境

巴马水晶宫沉积物的分布特征及石笋的²³⁰Th—U 系测年资料表明,在晚更新世早期洞穴次生化学沉积物的沉积和保存极少,大约在 35 万年后水晶宫洞穴内发生过长期的沉积间断,直到末次间冰期 MIS5e 阶段——大约在 13 万年之后再次发生沉积或生长(图片 23),并一直延续到 8.8 万年前(MIS5b)。据 SJ46 和 SJ47 石笋的²³⁰Th—U 系测年结果,其形

成年代为 $11.07 \pm 0.26 \sim 9.72 \pm 0.088$ 万年(SJ46, 照片 24)和 $9.54 \pm 0.087 \sim 8.81 \pm 0.073$ 万年(SJ47)。另外,测年结果还显示从 8.8 万年以后再次发生沉积间断。此阶段(末次间冰期 MIS5e~5b)形成的石笋保存极少,仅在第Ⅲ景区的洞底及洞壁有极少的石笋分布,且大部分都塌坍被破坏,这一现象可以由与它相距 500 m 的后洞一大山洞内保存的沉积物来证实,在大山洞内发现了大量的被黏土所掩埋的塌坍石笋群(照片 25),塌坍石笋高约 50~150 cm,直径 5~15 cm,经²³⁰Th-U 系测年确定为 11~9 万年期间所形成,但没有发现有 9~4 万年之间的石笋沉积,说明 9 万年后气候环境发生了突变。洞穴内发现大量 11~9 万年期间所形成的石笋被黏土所掩埋(照片 25),这些现象反映在 9~7.5 万年(深海同位素 MIS5a 亚间冰期)降水极充沛或多暴雨发生,地表大量降水补



照片 25 黏土掩埋的塌坍石笋

Photo 25 Collapse stalagmites buried by clays

给洞穴发生洪水事件,造成石笋倒塌被黏土掩埋;另一方面地表降水量大,补给洞穴滴水量过大,导致滴水的稀释效应,电导率、 $[Ca^{2+}]$ 和 $[HCO_3^-]$ 浓度偏低(石笋顶部有滴蚀凹、坑现象),滴水处于未饱和状态,不仅不会发生沉积,相反,对早期形成的沉积物——石笋(未塌坍的石笋)上产生滴蚀作用。而且在 7.5~4 万年间属于末次冰期的早期阶段,表现为干旱寒冷的气候环境,由此说明在 9~4 万年时期不利于次生化学沉积物的发育和保存。

3.4 晚更新世晚期(大约 4 万年)洞穴沉积环境

据水晶宫沉积物的分布特征及石笋的²³⁰Th-U 系测年资料表明,在晚更新世晚期大约从 4 万年开始是水晶宫沉积物的主要形成期,本阶段洞穴内的滴水补给量、滴速、 Ca^{2+} 浓度等的升高,促进大量的洞穴次生化学沉积物——石笋、钟乳石生长。本时期形成的石笋主要分布在第Ⅱ景区西侧的坍塌巨石块上,石笋为纯白色,呈石笋群或线状排列分布,高度约 100~170 cm,直径 6~8 cm(照片 26, 27)。对 SJ20 和 SJ21 石笋进行²³⁰Th-U 系测年,得出石笋形成始于 4 万年前并一直延续到 2 万年前(照片 28),石笋沉积连续,结构致密,由纯白色的巨晶—粗晶粒状方解石组成。由于生长环境极好,石笋沉积速率为 8~10 mm/100 a。1999 年以来发表的文献^[9-12] 已经明确 30~40 ka BP,相当于末次冰期(75~10 ka BP)中的大间冰阶或海洋氧同位素第 3 阶段的晚期(MIS 3a),揭示西南地区气候温暖湿润,西南季风降水旺盛,以至可称为高温大降水期,发现西北、华北、长江流域等地区的降水量、气温普遍高于现代,这对当时的湖泊与河流也有重大影响。



照片 23 SJ38 石笋剖面年代

Photo 23 The age of SJ38 stalagmite profile



照片 24 SJ46 石笋剖面年代

Photo 24 The age of SJ46 stalagmite profile



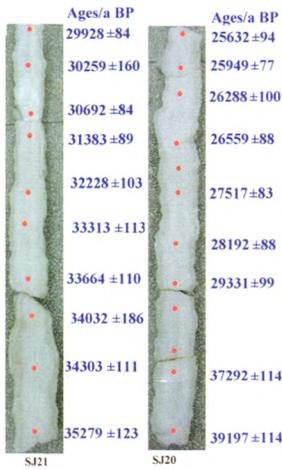
照片 26 白色石笋群

Photo 26 White stalagmite groups



照片 27 纯白色石笋

Photo 27 Pure white stalagmite groups



照片 28 SJ21 和 SJ20 石笋年代

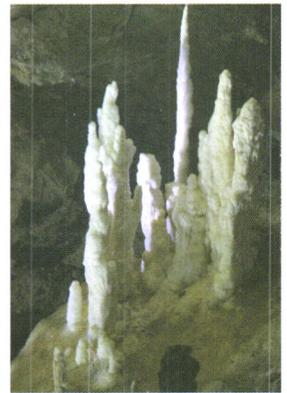
Photo 28 The formation age of SJ21 and SJ20 stalagmites

本阶段温暖湿润的气候环境非常利于洞穴次生化学沉积物的发育和保存,形成纯白色石笋群以及钟

乳石类特色景观,为洞穴旅游提供了重要的观赏资源,同时也为当地的古气候环境重建提供了重要的信息载体。

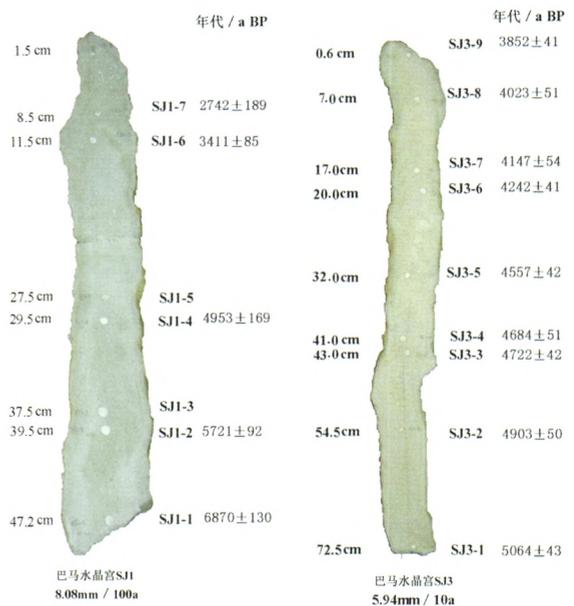
3.5 全新世时期洞穴次生化学沉积

全新世以来温暖湿润的气候环境,为水晶宫洞穴次生化学沉积物——石笋、钟乳石等(照片 2-9)的形成提供极好的条件;特别是在 7 000 a BP 左右的中全新世以来,在巴马水晶宫洞穴中形成了大量的纯白色石笋群及钟乳石类沉积物,并构成了洞穴内最有观赏价值的特色景观(照片 29)。经对 6 个石笋底部的铀系测年,揭示石笋形成的年代,它们生长始于 10 500 a BP,7 000 a BP 和 5 000 a BP 以来,而且生长快,沉积速率为 15~35 mm/100a(其中,SJ1 石笋为 15 mm/100a, SJ3 石笋为 35 mm/100a)(照片 30)。



照片 29 后期沿破裂面渗出滴水形成的石笋

Photo 29 Stalagmites formed by water-drop exuded along the rupture plane in the later period



照片 30 SJ1 和 SJ3 石笋形成年代

Photo 30 The formation age of SJ1 and SJ3 stalagmites

据 SJ1 和 SJ3 石笋的沉积结构、颜色、沉积速率以及近几年洞穴滴水的物化指标动态监测表明,水晶宫在早一中全新世阶段洞穴下渗水的滴水补给量大、滴速或滴率快、电导率、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度极高,滴水处于饱和或过饱和状态,这些特征为洞穴次生化学沉积物——石笋、钟乳石等的形成提供了极有利的条件。

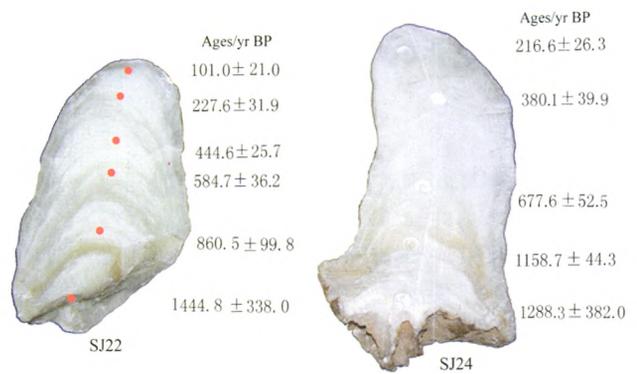
特别是在水晶宫第 III 景区东侧坍塌的巨型岩块上,发育了大量近代的洞穴次生化学沉积,主要为新生长的纯白色小石笋(照片 31,32),呈石笋群或线状排列分布,与在相距水晶宫洞穴 500 m 的大山洞内倒塌的巨型石笋上重新沉积的小石笋的形成时期大体相当。经对洞穴中的多个小石笋(SJ22 和 SJ24 石笋)进行了铀系测年,其年龄约在 1 450 年、1 300 年以来,且沉积一直延续到近 100 年(照片 33),有些小石笋近期仍在生长或沉积。近期仍在生长或沉积的小石笋,为重建近 500 年、100 年以来的古气候环境提供了最理想的载体或材料。



照片 31 坍塌石块上的小石笋群
Photo 31 Small stalagmite groups on the collapsed rocks



照片 32 坍塌巨石块上的小石笋群
Photo 32 Small stalagmite groups on the collapsed giant rocks



照片 33 坍塌巨石块上生长的新 SJ22 和 SJ24 石笋剖面年代
Photo 33 The age of SJ22 and SJ24 stalagmites that are newly formed on the collapsed giant rocks

4 结 语

(1)巴马县水晶宫洞穴次生化学沉积物极为发育,洞穴景观千姿百态,琳琅满目、类型多样,不仅有顶天立地的石柱、规模宏伟的石瀑布、石柱、石幔,还有广泛发育的石笋群(或石笋林)、石钟乳、石盾等特色景观,尤以近期仍在发育的洁白如雪的鹅管、卷曲石、石花、石毛等最为奇特。

(2)早更新世中期一中更新世,即 >100 万年至 35 万年期间,是类似于深海同位素 MIS11、MIS13 阶段间冰期的温暖湿润气候环境,间冰期湿热气候非常利于洞穴次生化学沉积物的形成,是水晶宫洞穴内规模宏伟的石瀑布、石柱、石幔、石笋群等景观的主要形成期。

(3)晚更新世早期(从 12.5 万年至 9 万年的末次间冰期 5e-5b)水晶宫洞主要处于温暖气候环境,洞穴内仅有少量的石笋沉积,且极少保存;9 万年后气候环境发生突变,不利沉积物发育和保存。从末次冰期晚期或 4 万年开始表现为温暖湿润的气候环境,非常利于新的(4 万年至 2 万年前)次生化学沉积物的形成,它们颜色纯白、玲珑剔透、造型奇特,其中的石笋多成群分布。

(4)全新世为温暖湿润的气候环境,本时期水晶宫洞穴沉积的奇特景观主要由悬挂于洞顶、呈片状分布且近期仍在发育的纯白色钟乳石、鹅管及洞底洁白如雪的石笋群等景观组成,尤以玲珑剔透的卷曲石、石花、石毛等非重力水沉积造型最奇特,为水晶宫最具美学价值的奇特景观。

(5)晚第三纪和第四纪早更新世早期,洞内沉积主要由外源水携带来的硅质岩、砂岩类砾石。

致谢: 本文的完成得到了审稿专家、编辑详细的审阅,并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 张远海,韩道山,邓亚东. 洞穴形态量计解析[J]. 中国岩溶, 2008,27(2):151-155.
- [2] 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.
- [3] 张美良,谢运球,姚梦琴,等. 广西乐业大石围大型岩溶漏斗的形成特征[J]. 广西科学, 2000,7(3):217-221.
- [4] 刘金荣,张继淹,梁耀成,等. 乐业县大石围天坑群洞穴第三纪堆积的孢粉组成特征及相关问题的探讨[J]. 中国岩溶, 2004, 23(3): 239-246.
- [5] 杨荣玉. 广西百色盆地第三系孢粉组合及时代[J]. 广西地质, 1994,7(3):1-10.
- [6] 袁鹤然,仇贞,刘俊英,等. 广西百色盆地古近系沉积特征及其古气候意义[J]. 地质学报, 2007,81(12):1692-1697.
- [7] 刘金荣,黄国彬,黄学灵,等. 广西区域热带岩溶地貌不同类型的演化浅议[J]. 中国岩溶, 2001,20(4):247-252.
- [8] 张美良,朱晓燕,阳和平,等. 岩溶洞穴沉积物的地震记录浅析[J]. 中国岩溶, 2009,28(4):340-347.
- [9] Shi Yafeng, Liu Xiaodong, Li Bingyuan, et al. A very strong summer monsoon event during 30 - 40 ka BP in the Qinghai - Xizang (Tibet) Plateau and its relation to precessional cycle [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (20):1 851-1 852.
- [10] Shi Yafeng, Yu Ge, Liu Xiaodong, et al. Reconstruction of the 30 - 40 ka BP enhanced India monsoon climate based geological records from the Tibetan Plateau [J]. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 2001, 169:69-83.
- [11] 施雅风,费玉连,于革,等. 40-30 ka BP 青藏高原及邻区高温大降水事件的特征、影响及原因探讨[J]. 湖泊科学, 2002, 14(1):1-11.
- [12] 施雅风,于革. 30-40 ka BP 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1):1-7.

Characteristics of deposits and the depositional environment in the Shuijingong cave in Bama, Guangxi

ZHANG Mei-liang, ZHU Xiao-yan, WU Xia, YANG He-ping, PAN Mou-cheng

(Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: The Shuijingong cave is located in Niudongtun, Daluo Village at the northwest Bama County, Guangxi, 44 km away from the county (24° 18' 12.3" N and 107° 00' 41.2" E). It is subtropical monsoon climate with an average annual temperature of 20.4 °C, annual rainfall of 1 560 mm. The major stratum is the Maokou formation (P_1m) of the Lower Permian system, and its lithology is light-colored or gray-white, middle-thick-layered or thick-bedded limestone. The next stratum is the Middle Triassic system (T_2), and its lithology is dark gray or gray-black of thin mudstone, tuff and siltstone.

The Shuijingong cave is formed in Maokou formation (P_1m) of the Lower Permian system, the cave is developed along the bedded structure of limestone and near NS trending fault. The height of the cave entrance is 650 m above sea level and the covering layer on the top of cave is about 100 m to 200 m thick. The total length of cave measures 800 m, the width of cave is 4-40 m, and the height of cave tunnel is 1.5-35 m. Cave temperature is 18.5 °C to 19.6 °C, humidity 95 %. This condition is suitable for the formation of the cave sediments and landscape protection. The Shuijingong cave is a newly developed cave with good enclosed conditions and better humidity, there is still a large number of recent carbonate sediments developing in the cave. The landscapes of secondary chemical sediment in the cave is very rich including stalactite, stone curtain, stone waterfall, stalagmites, stone column and stone shield and so on. Furthermore, there are the rarest landscapes of cave sediments at home and abroad, such as the soda straw, helictite and cave flower, which are still growing nowadays on the top of cave. The research also aims to make clear the environmental significance of carbon and oxygen isotope records from sedimentary of modern speleothems. The research results have shown that cave sediments in the Shuijingong cave began to deposit in the late Tertiary period according to sediment character, composition, sedimentary sequence dating, and its sedimentary was mainly travertine gravel. The main formation period of cave landscapes in the Shuijingong cave with magnificence and grand landscape characters is the Early Pleistocene and the Middle Pleistocene periods. These speleothems in the Shuijingong cave, determined by ^{230}Th -U dating age, are formed 1 000 ka BP, 520-600 ka BP and 350-400 ka BP, respectively. Climate at the early stage of the Late Pleistocene or the last interglacial

cial period during 125—90 ka BP mainly is warm and humid, and only a small number of stalagmites in cave formed and rarely saved. The sudden change of climatic environment occurred after 90 ka BP is more unsuitable for sediment formation and preservation in cave. The present speleothems, composed of 50—150 cm high, pure white stalagmites and stalactites with exquisitely carved, sculpt fancy, rare cave landscapes, are mainly formed 40 ka BP, 7 500 a BP and 1 450 a BP respectively, according to ^{230}Th -U dating. The cave sediment landscapes formed since the late stages of the late Pleistocene do not only provide abundant tourism resources and value for the Shuijingong cave, but also provides important information for paleo-climate reconstruction in Guangxi.

Key words: Shuijingong cave in Bama; landscape of the cave deposit; depositional environment; forming time; Bama County, Guangxi

(编辑 韦复才 黄晨晖)

国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学 重点实验室通过国土资源部现场评估

2013年8月26日,由国土资源部咨询研究中心李裕伟研究员任组长,李廷栋院士、王秉承勘察大师等组成的国土资源部评估专家组对国土资源部岩溶动力学重点实验室进行了评估。评估期间,专家组仔细审阅了有关材料、认真听取了实验室主任工作报告和代表性成果汇报,现场考察了实验室、审阅了评估支撑材料。经认真讨论,专家一致认为实验室人才结构合理、充满活力,科研团队建设成效突出,科研创新文化浓郁。评估结果优秀。

岩溶动力学重点实验室以我国岩溶地质环境条件为背景,立足西部,瞄准本领域国际前沿的关键科学技术问题,开展岩溶动力系统的形成和运行规律研究,岩溶动力系统的类型和区域分布规律研究,岩溶动力学与全球变化、岩溶动力学与土地利用、岩溶动力学与水循环、岩溶动力学与生态环境等交叉学科与应用研究。

近5年来岩溶动力学重点实验室以第一单位主持了14项国家自然科学基金、2项国际地质对比计划(IGCP)项目、4项国土资源公益性行业科研专项项目、11项广西自然科学基金和7项广西科技平台建设及开发项目以及12项地质调查项目,总经费7 815万元;发表SCI检索论文42篇、出版专著4部、获13项省部级科学技术奖;入选国土资源部科技创新团队和广西科技创新金源单位;2人入选国土资源部杰出青年科技人才计划,2人入选中国地质调查局百名青年地质英才培养计划,1人当选IAH岩溶专业委员会副主任,1人当选第二届国家气候变化专家

委员会委员;组织召开了4次国际学术研讨会、3次全国学术会议,批准开放课题34项;先后建立了桂林丫吉岩溶试验场、桂林毛村等7个野外观测研究基地,其中2个基地入选国土资源部野外观测基地。在此期间,国家自然科学基金委在年度成果巡礼部分对“岩溶动力系统的的作用机理研究”做了专题报道,《科学通报》专刊介绍了“地质作用与碳循环”研究成果,《Science》以“An Unsung Carbon Sink”介绍了岩溶动力学重点实验室在岩溶碳汇研究上对国际学术界的贡献,从而在国内外岩溶研究领域产生了重要影响,并为联合国教科文组织国际岩溶研究中心的建设和运行作出了贡献。

此外,岩溶动力学重点实验室自2005年加入广西重点实验室行列后,在广西重点实验室专项经费的支持下新购置了LGR同位素仪、Bio-Rad荧光定量PCR仪、微生物多样性分析仪、ICS-900离子色谱仪、Aglient7890-5975c气象色谱—质谱联用仪、multi N/C® 3100分析仪、ZEE nit700P顶级火焰—石墨炉原子吸收光谱仪等大型分析仪器,并顺利加入广西大型仪器协作网,为国内外岩溶领域科研工作人员开展合作与交流提供了更广阔的平台。

最后,专家组针对岩溶动力学重点实验室存在的问题提出以下建议:(1)争取国家重大科技项目,进一步发挥实验室在国内外的重要影响;(2)加强中青年科技领军人才的培养。

(国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室 供稿)