

张 结, 周忠发, 李 坡, 等. 喀斯特洞穴窝穴的形态对比与成因分析——以贵州省双河洞为例[J]. 中国岩溶, 2016, 35(4): 432—438.
DOI: 10. 11932/karst20160411

喀斯特洞穴窝穴的形态对比与成因分析

——以贵州省双河洞为例

张 结^{1,2}, 周忠发^{1,2}, 李 坡^{1,3,4}, 曹明达^{1,2}, 殷 超^{1,2}, 张绍云^{1,2}, 张 强^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001;
3. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 4. 贵州省喀斯特洞穴(旅游)资源开发利用工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

摘 要:喀斯特洞穴窝穴作为洞穴小形态的一种, 记录了喀斯特地区地下河的演变过程和洞穴的发育状况。通过对双河洞系统中阴河洞、响水洞洞穴窝穴的规模、形态大小进行统计, 对比了两洞穴窝穴形态的差异性并分析其成因。结果表明: 在规模上, 阴河洞窝穴分布面积较小, 但窝穴数量相当可观, 响水洞窝穴分布数量巨大, 范围广泛, 成千上万的窝穴沿洞穴通道两侧分布; 在平面形态上, 阴河洞内窝穴扁率要高于响水洞; 在垂直剖面上, 阴河洞内窝穴深宽比要比响水洞的偏大, 且阴河洞窝穴以“V”型、倒“Ω”型窝穴为主, 响水洞窝穴以倒“Ω”型窝穴为主, 这与两洞穴水动力条件、地质构造、推移质、基岩、风化溶蚀作用等因素的不同密切相关。

关键词:双河洞; 形态特征; 对比; 影响因素; 窝穴

中图分类号: P931.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—4810(2016)04—0432—07

0 引 言

洞穴小形态, 是指地下水或洞穴水流的侵蚀和溶蚀作用在洞穴周壁上形成并遗留下来的各种痕迹, 窝穴就是其中的一种小形态^[1]。窝穴是洞穴周壁上各种大小的类圆形、半球形凹坑和洼坑, 包括直径小于 2 cm 的麻窝到直径数米的天锅, 均属窝穴类。目前对于窝穴的形态研究主要停留在定性的描述上^[2], 仅有国外对于“pothole”有相关的定量研究^[3-4]。而窝穴的形成是多成因的, 按不同原则可将窝穴分为 4 种起源, 即溶蚀和混合溶蚀类、流水侵蚀类、磨蚀类和滴水侵蚀类^[2]。但无论是侵蚀、溶蚀、磨蚀还是滴水, 窝穴的形成与演化明显受水量的控制^[5], 因此其形成与演化对过去的气候、水文的变化具有一定的指示作用。在洞穴窝穴的成因问题上, 早期学者多认为是由

水流侵蚀而成^[6], 但也有学者持反对意见, 如 Bögli 等^[7]认为窝穴主要形成于静水中, 其特别强调混合溶蚀对窝穴的形成作用。本文以贵州省绥阳县双河洞系统的洞穴窝穴为研究对象, 分别对双河洞系的两条支洞(阴河洞、响水洞)的窝穴进行了详细测量与统计, 试图通过定量分析比较两洞穴窝穴形态的差异性并探讨其成因, 以期丰富与完善洞穴窝穴地貌的非地带性特征, 为地下河地貌演化过程提供依据。

1 研究区概况

双河洞位于贵州省绥阳县境内温泉镇偏西 12 km 处(图 1)。目前为亚洲第二长洞(161. 788 km), 是一座多层洞穴系统, 属芙蓉江支流池武溪地下河系。在地质构造上位于扬子准地台的风冈 NNE 向

资助项目: 国家自然科学基金地区项目“岩溶洞穴 CO₂ 迁移变化机制及对洞穴岩溶环境的影响研究”(41361081); 贵州省科技计划“贵州省洞穴调查数据技术服务”(黔科合 G 字[2014]4004—2 号); 贵州省重大应用基础研究项目“喀斯特石漠化生态修复及生态经济系统优化调控研究—岩土类型格局”(黔科合 JZ 字[2014]200201)

第一作者简介: 张结(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 喀斯特地貌与洞穴。E-mail: 975479386@qq.com。

通讯作者: 周忠发(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事喀斯特资源环境、GIS 与遥感研究。E-mail: fa6897@163.com。

收稿日期: 2016—04—10

构造变形区西侧,岩层产状微偏东倾斜,倾角 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。尤其在娄山关组地层中喀斯特极度发育,地貌类型丰富,为洞穴主要发育层位,双河洞洞穴系统就发育在该地层中。地层岩性主要以台地蒸发相白云岩、白云质灰岩及夹燧石和泥质白云岩为主。地貌以岩溶峰丛洼地、峰丛谷地和峰丛峡谷地貌为主^[8-9]。洞系处于宽阔平缓箱状的背斜翼部,因受不同方向构造应力作用,形成 NE、NW 及 SN 向褶皱断裂带,将洞区围

成三角形地块。因受多次间歇性的构造抬升运动,洞区断层、节理较为发育,节理方向为 NS 和 NW,节理密度为 1.7~8 条/m。洞区气候类型属于中亚热带季风气候,兼有亚热带山地季风气候的特点,1 月均温 4°C ,7 月均温 22.5°C ,年均温在 15.5°C 左右;年降水量约 1 210 mm,大多集中于 5—10 月,且降水强度大^[2,10]。

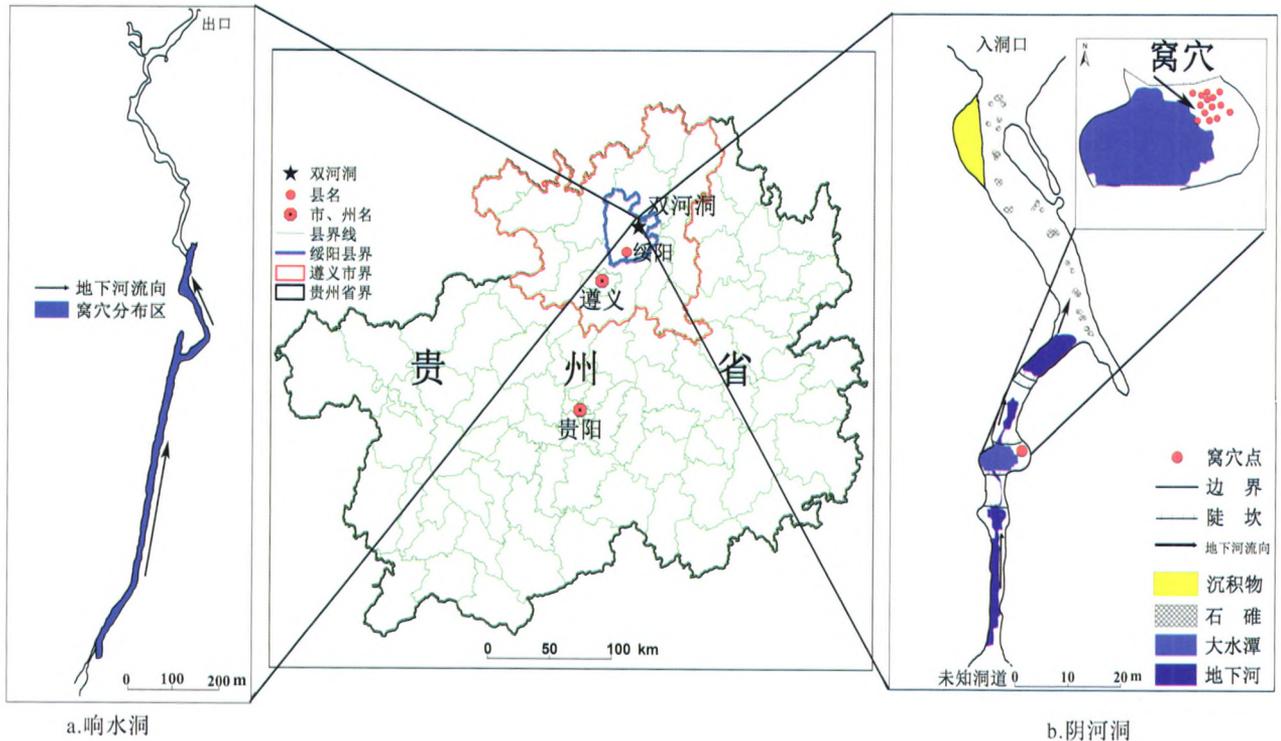


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch of the study area

2 数据来源与处理方法

选取阴河洞(图 2a)洞内和响水洞(图 2b)洞内的窝穴为研究对象。用卷尺、激光测距仪分别对窝穴规模、形态(平面形态和垂直形态)等进行实地观测,即对两类岩性区河成窝穴的长轴(L_c)、短轴(L_d)、深度(h)、平均口径(L_p)、颈径(L_j)、肚径(L_b)和长轴走向进行测量,其中激光测距仪精确度为 1° ,测量时依次对每个窝穴进行编号,并记录每个窝穴的垂直剖面形态,共测量 106 个窝穴,其中阴河洞洞口内附近测得 53 个,响水洞洞内测得 53 个。按统计学方法对数据进行对比和相关分析,通过对参数进行计算,分析其形态和空间特征,数据处理主要运用 Excel、Origin 等软件。

3 结果与分析

3.1 窝穴规模、形态比较

3.1.1 规模比较

两洞穴窝穴规模有显著差异,主要表现为窝穴分布的面积大小和数量的多寡,以及长轴、短轴长度和深度的整体差异。阴河洞地下河河床上窝穴分布面积较小,仅 11m^2 ,窝穴数量为 200 个左右,因此密度相对较大;响水洞洞内泥质白云岩河床上窝穴分布数量极多,范围广,成千上万的窝穴沿洞穴通道两侧分布。

两洞穴窝穴的长、短轴的差异主要表现在长轴与短轴的范围上。两地窝穴的长、短轴范围:响水洞($6 \leq L_c \leq 30, 6 \leq L_d \leq 25$),阴河洞($3 \leq L_c \leq 18, 5 \leq L_d \leq 26$)。从图 3 中可以看出响水洞洞内窝穴要比阴河洞洞内窝穴的长短轴分布范围相对大一些。由于阴河洞有部分窝穴是相连通的(图 2a),故在测量过程中

连体窝穴仍只算单个窝穴。同时对阴河洞和响水洞长短轴作相关性分析,发现响水洞长短轴之间的相关

性较阴河洞高,分别为 0.952 和 0.821,表明响水洞长轴和短轴发育相对于阴河洞一致性更强。

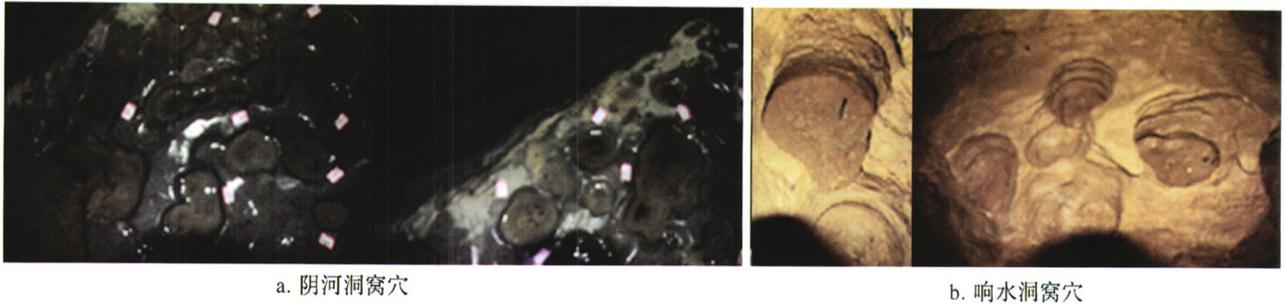


图2 阴河洞和响水洞窝穴

Fig. 2 Potholes of Yinhe cave and Xiangshui cave

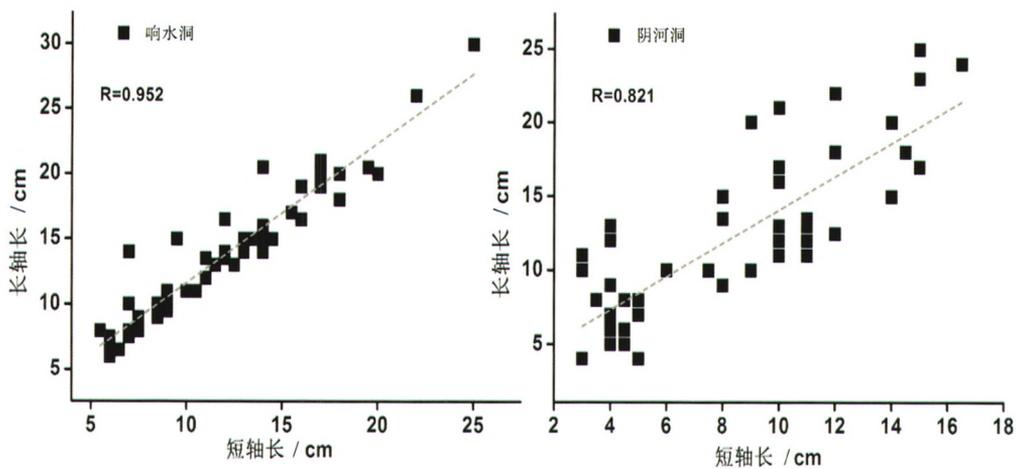


图3 窝穴长短轴关系及分布图

Fig. 3 Regional distribution and relation of long and short axes of potholes

对窝穴深度进行统计分析(图4),可知阴河洞洞内窝穴深度在 1~9 cm 之间,大部分在 2~4 cm 之间,约占 76%,范围比较集中,说明阴河洞窝穴发育相对年轻;响水洞洞内窝穴深度在 3~35 cm 之间,以 5~10 cm 居多,约占 44%。从深度上看,响水洞窝穴发育比阴河洞要成熟。

3.1.2 平面形态比较

两洞穴窝穴的平面形态有明显差别,主要表现在窝穴扁率和长轴走向方面。首先窝穴扁率是长短半轴的差值与长半轴的比值,反映了椭球体的扁平程度。其计算公式为:

$$e = [1/2L_c - 1/2L_d] / (1/2L_c) = (L_c - L_d) / L_c \quad (1)$$

式中: L_c 为长轴长, L_d 为短轴长, e 为窝穴扁率。当 $e = 0$ 时,为圆形窝穴;当 $0 < e \leq 0.1$ 时,为近圆形窝穴;当 $0.1 < e \leq 0.5$ 时,为椭圆形窝穴;当 $0.5 < e < 1$ 时,为极椭圆形窝穴。根据表 1 可知,阴河洞洞内椭圆形窝穴数量最多,占 54.05%,其次是极椭圆形和近椭圆形窝穴均占 21.62%,最少的为正圆形,仅占 2.70%。而响

水洞洞内也以椭圆形窝穴最多,占 56.60%,其次是近椭圆形窝穴和正圆形窝穴,分别占 32.07%和 9.43%,最少为极椭圆形窝穴,占 1.85%。

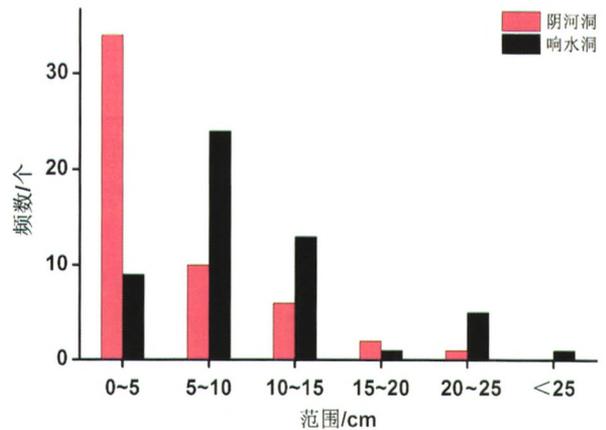


图4 窝穴深度频数分布图

Fig. 4 Frequency histograms of potholes depths

表1 窝穴扁率统计表

Table 1 Statistics of potholes oblateness

地点	岩性	窝穴扁率(e)/%			
		正圆形窝穴 ($e=0$)	近圆形窝穴 ($0 < e \leq 0.1$)	椭圆形窝穴 ($0.1 < e \leq 0.5$)	极椭圆形窝穴 ($0.5 < e < 1$)
阴河洞	白云岩	2.7	21.62	54.05	21.62
响水洞	泥质白云岩	9.43	32.07	56.6	1.85

窝穴长轴走向的统计主要通过节理玫瑰图来呈现。阴河洞洞内窝穴的长轴走向主要集中在 NNE 方向(图 5a);响水洞洞内窝穴的长轴走向则集中在

NNE、NE 方向(图 5b)。这与两洞穴地下河的流向大致相当,说明窝穴的发育受到河流流向的控制。

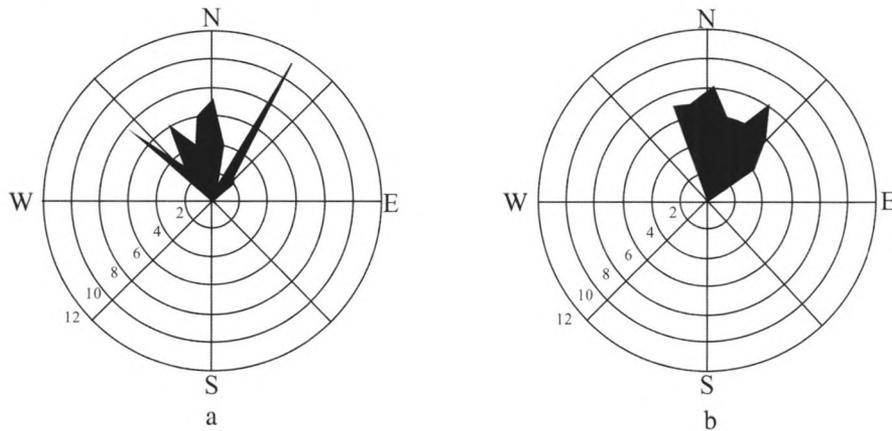


图 5 阴河洞(a)、响水洞(b)窝穴长轴走向

Fig. 5 Directions of the long axes of potholes in Yinhe cave(a) and Xiangshui cave(b)

3.1.3 垂直剖面形态比较

窝穴的垂直剖面形态主要有“倒Ω”型窝穴、“V”型窝穴和“U”型窝穴。以正圆形窝穴为例,当 $L_p > L_j < L_b$ 或 $L_p = L_j < L_b$ 时,窝穴的垂直剖面形态为“倒Ω”型;当 $L_p > L_j > L_b$ 或 $L_p > L_j = L_b$ 时,窝穴的垂直剖面形态为“V”型;当 $L_p = L_j \geq L_b$ 时,窝穴的垂直剖面形态为“U”型。窝穴发育过程按垂直剖面形态可分为三个时期:幼年期(碟状)、青年期(“U”型)、成年期(倒“Ω”型)。窝穴的垂直剖面形态亦有较大差异,主要表现在垂直剖面组合和深宽比的不同。阴河洞洞内白云岩地下河床上窝穴的垂直剖面形态以“V”型窝穴为主,占 50.34%,其次为“倒Ω”型窝穴,

占 32.21%。

而响水洞洞内白云质泥岩地下河床两侧的窝穴垂直剖面形态主要是“V”型窝穴,占 43.39%,其次是“倒Ω”型窝穴和“U”型窝穴,分别占 24.52%和 22.64%。阴河洞洞内白云岩地下河床上窝穴以浅型窝穴为主,占 52.85%,其次是深型窝穴和极浅型窝穴,分别占 24.52%和 20.75%;极深型窝穴比重较低,占 1.88%。响水洞洞内窝穴泥岩、白云岩地下河床上窝穴以极浅型窝穴占绝对优势,占 89.47%;浅型窝穴、深型窝穴和极深型窝穴比例相对较小,分别为 10.52%和 0(表 2)。

表 2 窝穴垂直剖面形态统计表

Table 2 Statistic of potholes vertical profiles

地点	岩性	窝穴垂直剖面/%			窝穴深宽比/%			
		倒“Ω”型窝穴	“U”型窝穴	“V”型窝穴	极浅型窝穴	浅型窝穴	深型窝穴	极深型窝穴
阴河洞	白云岩	32.21	17.45	50.34	20.75	52.85	24.52	1.88
响水洞	泥质白云岩	24.52	22.64	43.39	89.47	10.52	0	0

3.2 窝穴形态的影响因素

3.2.1 水动力条件与窝穴形态

水动力条件是洞穴窝穴形成的最基本要素之一。阴河洞洞内窝穴发育于阴河洞地下河四级岩坎的第三层,地势落差大,同时窝穴位于地下河转弯且变窄处,容易产生漩涡,同时由于该处有一约 260 m^2 的大水潭,水流季节性变化明显,且强降雨易使洞穴地下河水量大增。如2016年3月5日对阴河洞进行考察时,发现阴河洞水深至洞穴空间的中下部,而至3月7日其水流完全被渗漏。这种间歇性陡涨陡落的水流对基岩具有明显的侵蚀—溶蚀能力,加上该处基岩为白云岩,节理多发育,水流多沿节理进行侵蚀,从而在局部地方形成一定数量的窝穴。但由于窝穴发育区地下河是季节性的,水源主要为大水潭间歇性供给,在左侧水流长期性、持续性的流动,因而很难使窝穴发育,而在右侧因水流是季节性的,窝穴大量发育。响水洞洞内窝穴则发育于狭窄的地下河通道处、洞穴瀑布的下方和地下河转弯变窄处。因水流速度较大,在流经地势高低不平的岩坎时,水流受阻,在河床节理和层理处,水流产生垂向漩涡流,这有利于窝穴的形成与发育。

阴河洞地下河水流方向大致由西南向东北流出洞口,由图5a可知阴河洞洞内窝穴的长轴走向大多为NNE;响水洞地下河水流与阴河洞大致平行,响水洞洞内窝穴的长轴走向为NNE、NE(图5b)。由此可知窝穴的走向大致与地下河的流向一致,说明水动

力条件是窝穴形成的主控因素之一。

3.2.2 洞道走向和节理、裂隙对窝穴形态的影响

窝穴发育于节理、裂隙处,其长轴走向、长轴长度及扁率均会受到影响。节理是该区最重要的控制性因素,其中节理密度平均 $1.7 \sim 8$ 条,且多交叉节理^[10]。并且,有节理穿过的窝穴长轴走向与节理走向基本一致。由于两处窝穴主要发育于洞穴白云岩层中,加上地壳的多次隆升,使得断层、节理较为发育。在窝穴发育区,因白云岩的物理机械崩解作用相对较强烈,在洞穴地下河的河床中有大量的砂砾石,如在阴河洞洞口有许多崩解的巨砾和砂砾,挟带砂砾石的水流旋转磨蚀河床的过程中,易沿节理冲切,使其长轴变大,故窝穴扁率也较大(表1)。由图6a可知,阴河洞窝穴发育处的节理、裂隙走向平均值为 26° ,主要控制NNE方向,而阴河洞洞内窝穴的长轴走向也大多为NNE,因此节理、裂隙在一定程度上对窝穴的发育有控制作用,但节理、裂隙走向相对集中,而窝穴长轴走向则相对分散,说明除了节理裂隙的影响之外,可能还受定期、定向水流的影响。而响水洞窝穴主要发育于洞壁的两侧,因此在水平面上受节理的影响不是很明显,但是洞道走向对窝穴的发育具有明显的控制作用(图6b),响水洞洞道走向主要有两个控制方向: 4° 和 25° ,而其窝穴长轴走向主要集中在 $0 \sim 30^\circ$ 之间,这说明响水洞洞道走向对窝穴长轴走向有控制作用。

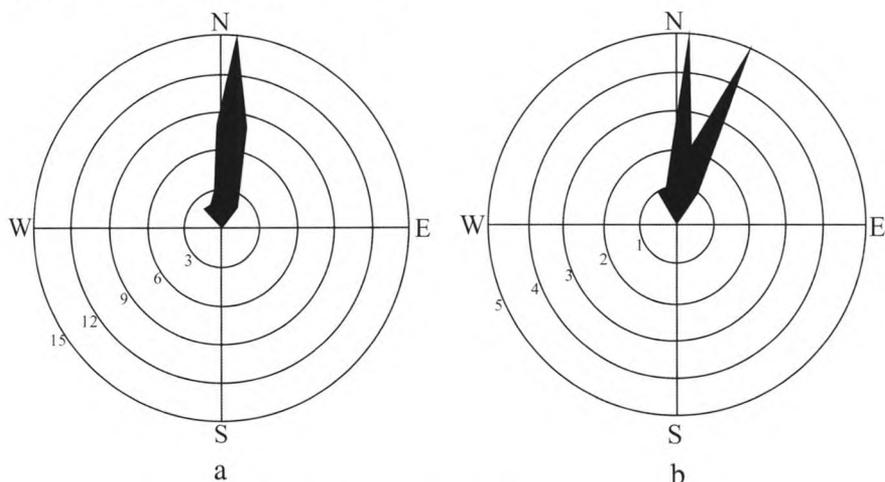


图6 阴河洞地下河床节理、裂隙走向(a)和响水洞洞道走向(b)

Fig. 6 Underground river bed joint and fracture trends in Yinhe cave (a) and cave direction in Xiangshui cave (b)

3.2.3 推移质

喀斯特洞穴中有大量的堆积物,如泥沙,碎屑砂砾石,一般粒径为 $3 \sim 5 \text{ cm}$,松散、无胶结。由于洞穴

所处区域的地下河均为池武溪的上游,地下河搬运距离较小,因而砾石分选性和磨圆度均为一般。其中大量的推移质经地表河流进入地下,在基岩河床上通过

水流冲击,磨蚀基岩的软弱面形成凹坑,凹坑附近的水流产生垂直轴漩涡流,一些推移质在漩涡流的带动下旋转磨蚀,逐渐形成大小不等的窝穴,且在穴壁上有光滑的磨光面。由于两处洞穴均属于双河洞白云岩系统,在阴河洞中有较多砂砾,主要为褐色白云岩;而在响水洞洞内沉积物粒径以砂砾、粉砂为主,主要为泥质白云岩。因此由于推移质的组合差异和岩性差异,窝穴发育的形态、规模均有明显不同。

3.2.4 岩性

窝穴的形成、发展与地下河床基岩的岩性有密切关系。阴河洞、响水洞窝穴虽均属白云岩,但其性质、成分、结构等有差异,因此其岩性也不同^[11]。在阴河洞地下河河床及基岩大体为灰褐色、灰色中厚层灰质白云岩,岩层厚而密,成分结构比较均匀,矿物硬度相对较高,溶蚀速度比较缓慢,保存相对容易^[12],因而窝穴密度大且不同阶段的窝穴同时出现在地下河床上;而响水洞地下河河床两侧为灰黄色中厚层泥质白云岩夹薄层粉砂质泥质白云岩,同时发现有白云岩和石膏或硬石膏等蒸发盐伴生,且实验证明在近地表温

压条件下,与石膏或硬石膏伴生的白云岩将更容易溶解^[13],因而其更易冲蚀、剥离,且其硬度相对较软,不易保存,但由于窝穴位于地下河河床两侧的岩壁上,水流对窝穴的侵蚀只是季节性的(主要在洪水期),有些窝穴甚至位于洪水线以上,故而形成规模相当的窝穴,且在洞壁两侧窝穴密度也较大,不同阶段的窝穴也重叠在一起,甚至有许多“穿心”窝穴。

3.2.5 风化溶蚀作用

风化作用对洞穴窝穴的影响主要体现在物理风化和化学风化(化学溶蚀)。洞穴湿度相对较高,尤其是有地下河经过的洞段,当湿度较高时,使岩石产生水化作用,岩石表面软弱,从而为窝穴的形成和发育提供了良好的条件;其次是水对岩石的溶蚀。阴河洞和响水洞主要发育在白云岩区域,水和二氧化碳共同对白云岩有溶蚀作用,但规模相对较小,如表3显示,两洞穴地下水样中各矿物的饱和指数均明显小于0,说明地下水对地下河床或洞壁基岩具有明显的侵蚀、溶蚀性。

表3 地下河水中各矿物的饱和指数

Table 3 Saturation index of mineral in underwater samples

地点	饱和指数(SI)					
	硬石膏	文石	方解石	白云岩	石膏	岩盐
阴河洞地下河	-2.57	-1.055	-0.74	-0.585	-2.16	-10.08
响水洞地下河	-2.325	-0.869	-0.688	-0.535	-2.346	-10.149

4 结论与讨论

(1) 双河洞系统中洞穴窝穴的形态差异主要表现在窝穴的规模、平面形态、垂直剖面形态等方面,从规模上讲,阴河洞窝穴分布面积较小,但窝穴数量相当可观。响水洞窝穴分布数量巨大,范围广泛,成千上万的窝穴沿洞穴通道两侧分布;在平面形态上,阴河洞窝穴扁率要高于响水洞;在垂直剖面上,阴河洞窝穴深宽比虽比响水洞偏高,但深度与响水洞相比不可同日而语,且阴河洞窝穴以浅“V”型为主,其次为倒“Ω”型窝穴,响水洞窝穴以较深的倒“Ω”型窝穴为主。这说明阴河洞窝穴发育相对年轻,而响水洞窝穴发育相对成熟。

(2) 泥质白云岩上的窝穴深宽比和密度都大于白云岩上的窝穴,且岩性相对较硬的白云岩窝穴较之岩性较软的泥质白云岩窝穴更易保存。

(3) 地貌上,窝穴发育于喀斯特洞穴地下河的河

床上及其河床两侧的洞壁上,在性质上可归为“水成窝穴”,同时在成因上喀斯特洞穴窝穴是多种因素共同耦合的结果,有其独具特色的一面。

(4) 在比较不同洞穴地下河河床的窝穴和岩性对窝穴形态的影响并总结其原因后,仍存在许多不足之处:①对洞穴窝穴测量的数量相对有限,其规模、形态的分布特征可能有些许偏差;②因资料收集和野外数据的采集类型还不完善,对窝穴的成因分析还停留在定性阶段,故今后需加大对洞穴窝穴形态、规模的测量;③对两洞穴窝穴的空间分布未进行详细研究;④对喀斯特洞穴窝穴的具体成因还需深入研究。

参考文献

- [1] 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,1988:71.
- [2] 朱学稳. 桂林地区灰岩洞穴的溶蚀形态[J]. 中国岩溶,1982,1(2):93-103.
- [3] Springer G S, Tooth S, Wohl E E. Dynamics of pothole growth

- as defined by field data and geometrical description[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110, F04010.
- [4] Springer G S, Tooth S, Wohl E E. Theoretical modeling of stream potholes based upon empirical observations from the Orange River, Republic of South Africa [J]. *Geomorphology*, 2006, 82(1-2): 160-176.
- [5] Derek Ford, Paul Williams. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*[M]. England: John Wiley & Sons Ltd., 2007: 249-250.
- [6] Alexander H S. Pothole erosion[J]. *Journal of Geology*, 1935, 40(4): 305-337.
- [7] Bögli. *Karst Hydrology and Physical Speleology*[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1978: 160-161.
- [8] 陈建庚, 张英骏. 贵州绥阳双河洞系的发育与成因探讨[J]. *中国岩溶*, 1994, 13(3): 247-254.
- [9] 戴素娟, 郭琳, 刘少伟, 等. 双河洞放线菌多样性和抗菌活性的初步研究: 以阴河洞和杉林洞为例[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(6): 624-630.
- [10] 李坡, 贺卫, 钱治, 等. 双河洞地质公园研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2008: 58-101.
- [11] 龙恩, 陈中吉, 周运超, 等. 降水和滴水条件下碳酸盐岩溶解与主要元素释放规律初步研究[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(5): 452-459.
- [12] 董卫平. 贵州省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 73-74.
- [13] 黄思静, 成欣怡, 赵杰, 等. 近地表温压条件下白云岩溶解过程的实验研究[J]. *中国岩溶*, 2012, 31(4): 349-357.

Morphological comparison and analysis of the causes of pothole formation in karst cave: An example from Shuanghe Cave of Guizhou Province

ZHANG Jie^{1,2}, ZHOU Zhong-fa^{1,2}, LI Po^{1,3,4}, CAO Ming-da^{1,2},
YIN Chao^{1,2}, ZHANG Shao-yun^{1,2}, ZHANG Qiang^{1,2}

(1. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. State Engineering Technology Center of Karst Rock Desertification Rehabilitation, Guiyang, Guizhou 550001, China;

3. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang, Guizhou 550001, China;

4. Guizhou Engineering and Technology Research Center for Development & Utilization of Cave Resources, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract Shuanghe Cave is located in Wenquan town, 12 km west of Suiyang county, Guizhou Province. It is a multi-layer cave system, developed in the dolomite strata in the upper Cambrian Loushanguan group. The landscape of the area comprises peak-cluster depression, peak-cluster valley and peak-cluster canyon. Faults and joints of cave area are well developed, of which joints trend in the direction of NS and NW. Controlled by the lithologies and geological structures, the underground river has been developed, where the potholes occur along the underground river of Yinhe and Xiangshui caves in Shuanghe Cave system. The annual mean temperature of the area is 15.5 °C and annual precipitation is about 1,210 mm. In order to compare the difference in pothole morphology and formation cause in the two caves, the pothole geometric features including the length of hole axes, hole depth and trend direction of the potholes long axis were measured in the field, by using measuring tape and laser range device. Statistical results show that distribution area of the potholes in Yinhe cave is small, with a considerable number of the pothole. However, potholes in Xiangshui cave are widely distributed, with thousands of the holes occur along both sides of the cave channel. Geometrically, the pothole oblateness of Yinhe cave is generally higher than that of Xiangshui cave, while the hole depth/width ratio of the Yinhe cave is higher than that of Xiangshui cave. Morphologically, the potholes are dominated by both “V” and inverted “Ω” types in the Yinhe cave, while in the Xiangshui cave the potholes of inverted “Ω” type are predominant. This is closely related to the two cave water dynamic condition, geological structure, bed load, bedrock, weathering.

Key words Shuanghe Cave, morphological feature, comparison, influencing factors, potholes

(编辑 黄晨晖)