

# 岩溶峡谷区溶洞发育特征及水动力条件<sup>\*</sup>

杨明德

(贵州师范大学资源与环境科学系, 贵阳 550001)

**摘 要** 本文首先阐述了岩溶峡谷的特性及其洞穴发育的特征,在此基础上进一步划分了岩溶峡谷区 6 种洞穴成因类型——暗河型、伏流型、穿洞型、顺河潜流型、渗流入水洞型和瀑布钙华型。同时还分析了洞穴形成与水动力过程间的相互关系,提出了外源水和水系演变是岩溶峡谷区形成大、长洞的必要水文因素的观点。

**关键词** 岩溶峡谷 洞穴成因类型 洞穴形成 水动力条件

## 1 岩溶峡谷特性简述

岩溶峡谷是岩溶高原山区最普遍的一种地貌类型,除具有谷深远大于谷宽的基本形态特征外,它还在形态结构、水动力条件、物质能量交换、传输方式以及空间地域结构上与非岩溶峡谷相比具有内涵上的三大差异。

其一,复杂的形态结构:由峡谷形态指数  $R_G^{\text{①}}$  的临界转化和营力组合强度对比变化(即下切侵蚀作用、溶蚀作用、崩塌作用间的强度比重变化)而表现出不同的形态结构类型<sup>[1]</sup>,主要有隙谷、障谷、峡谷和箱形谷四大类型和峡谷套嶂谷、峡谷套箱形谷和箱形谷套隙谷三大复合类型。不同的峡谷类型反映了岩溶峡谷的形成过程、发育阶段,并形成相应的溶洞成因类型。

其二,独特的水动力过程:岩溶峡谷区是水流—形态—基面水文地貌场过程响应最敏感区,在侵蚀基面(或排泄基面)不断下降的大水力坡降下,因河流的强烈下切侵蚀和岩溶水强烈垂直循环的溶、侵蚀作用以及地表水向地下水迅速转换并力图适应下降的排泄基面的向深性发育而塑造的一类独特的岩溶形态——成因地貌类型。

其三,双重结构空间地域系统:由于岩溶峡谷区是地表水流与地下水流的水平与垂直强烈交替、转换的物质能量异常空间界面,是侵蚀基面(或排泄基面)变化响应极为敏感的三维地域空间场,所以岩溶峡谷的空间范围常由干流基面向两侧(谷坡区或支流)扩展到地表、地下水力坡降急剧变化的裂点带<sup>[1]</sup>。在湿热带岩溶发育区,如我国南方,即表现为峰丛峡谷和峰丛洼地。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(No. 59569001)、省自然科学基金(1997)资助项目。

作者简介:杨明德,男,1933年生,教授,1957年华东师范大学地理系自然地理(地貌)研究生毕业,长期从事岩溶研究。通讯地址:贵阳市外环东路 270 号。

<sup>①</sup>  $R_G = h/w, h$ ——峡谷深(m);  $w$ ——峡谷宽(m)

有序组合的一个地貌水文区带(图 1),且该带会随着水系(地表、地下)的消长和地貌发育阶段的不同,其范围会扩大或缩小。因此,岩溶峡谷也是岩溶地貌处于地貌逆向演化(地貌上升发育)<sup>[2]</sup>的必然产物。

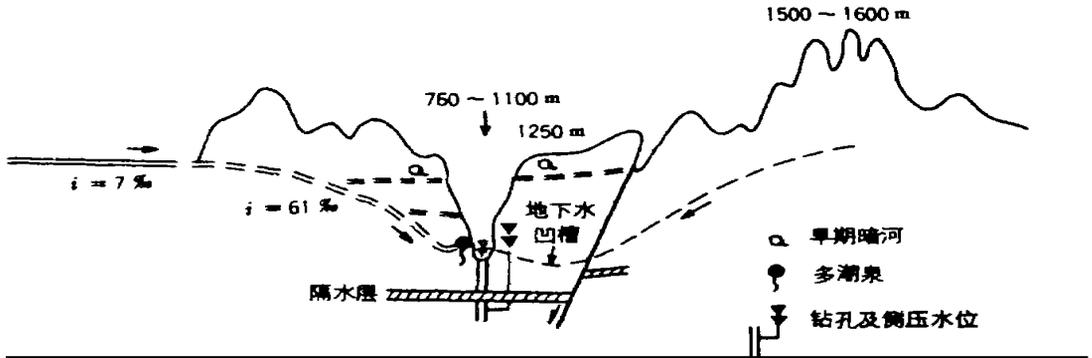


图 1 贵州猫跳河岩溶峡谷区水动力特征

Fig. 1 Hydrodynamics in the karst gorge at Maotiao river of Guizhou

位于岩溶峡谷区的洞穴,也是在这样的水动力条件和地域空间结构状态下形成、发育和演化的。洞穴的不同形态结构、成因类型和分布规律,不仅反映了岩溶峡谷发育演化特征,而且也是识别岩溶峡谷发育演化阶段地貌特征的形态标志。

## 2 岩溶峡谷区溶洞发育基本特征

在不同的气候环境下,例如在冰川条件或冰缘气候条件与湿热带(热带、亚热带)气候条件下溶洞的发育是很不相同的,因为气候(主要是降水量和温度)不仅影响到溶洞形成过程的溶蚀强度及碳、钙、 $\text{CO}_2$  的交换、转移、平衡、储积临界状态,也影响到溶洞发育的水动力状况和形态结构。气候效应已为许多岩溶学家的全球或区域性对比研究所证实<sup>[3-11]</sup>,但是在任一气候带内的峡谷区与岩溶化地块的河间地区或分水岭地区,溶洞发育也有重大的差别,例如湿润亚热带的贵州岩溶峡谷区与高原区(分水岭区),发育的溶洞就有很大的差别,其特征主要表现在:

### 2.1 溶洞具多成因类型

岩溶峡谷区溶洞不仅是次生溶蚀性溶洞大量生成的地区,也是原生钙华堆积型洞穴形成区,而且由于溶洞的形态结构、成因和形成的主导水动力过程不同,可以形成多种成因类型洞穴,仅水平溶洞就有暗河型、伏流型、穿洞型、顺河潜流型、渗流入水洞型和瀑水钙华型等<sup>[12]</sup>。这些不同类型的洞穴,虽有其形成时的特定条件和水动力、地貌部位,但在现实的空间分布上,却会出现复杂的交错,使具潜流水位带的洞穴、深饱水带虹吸管道成因的洞穴,出露在强渗流带上,造成溶洞成因类型与水动力分带分布上的错位。

### 2.2 溶洞的层楼状结构显著

岩溶峡谷区同一洞系常具多层性,在贵州峡谷区规模较大的洞穴,一般都有 3~4 层以上,不同分层的水平通道又为垂直通道相串联,这些水平通道形态结构和规模可以千差万别,但大都具有昔日地下河或潜流洞的性质。

有的溶洞还表现出洞口的多层性,最下层是地下河出口,即现在的水洞;中层是泄洪洞,平时干涸,甚至一般洪水也不出流;上层是干洞,常高悬在峡谷陡崖上,钟乳石类的滴流沉积有相当的发育。这种溶洞口的多层状正是暗河型溶洞受基面和水动力变化控制下,使排泄口向下迁移的结果。

### 2.3 溶洞垂直分布上的多层性

在岩溶峡谷两侧,常可见到不同年代、不同规模、不同形态结构的溶洞成多层状分布。例如乌江北源六冲河中、下游(九洞天、洪家渡)峡谷即有四层不同高程、不同年代形成的溶洞层(表 1)。

表 1 贵州六冲河岩溶峡谷溶洞层及年代对比

Tab. 1 Correlation of the karstic cave levels with ages along the Liuchonghe river karstic gorge of Guizhou

溶洞层位	洞名	拔河高度(m)	铀系测年(ka)	注
I	底纳河洞	15	48.6±2.8	钙华板
II	K40	25~30	?	样品报废(钙板)
III	三硝洞	62~71	164±4.8	老石笋
III	大硝洞 <sup>1)</sup>	58~65	182±4.2	老石笋
IV	仙人洞	160	>350	风化石笋

说明: 1)系九洞天处样品,其余为洪家渡处样品。样品测年均由中国科学院地质研究所铀系室分析测定。

位于洪家渡上游峡谷区的高层溶洞打鸡洞,对上层老钙华板测年均为 260±28.7ka,而新的石笋测年仅为 30.4±1.41ka,表明峡谷区的高层溶洞早在中更新世中期就已经发育成形,并已处于包气带滴石堆积阶段,也就是说六冲河峡谷的形成主要是在中更新世,峡谷区的各层溶洞形成年代自然也应在中、晚更新世。

而且由基面控制发育的溶洞,特别是暗河型出流型洞,还能与相应高程的河流阶地对比(表 2)。

表 2 乌江岩溶峡谷溶洞层与阶地对比

Tab. 2 Comparison between the karstic cave levels and terraces along the Wujiang valley of Guizhou

河名	阶地			溶洞	
	级序及性质	高程(m)	层位	洞名	高程(m)
乌江渡	河面	625	I	暗河、KW42 白水洞、KW53	625~630
	I(堆积)	650~655	II	D21洞	666~670
	II(基座)	675~685	III	K29下铁锁洞	682~705
	III(侵蚀)	725~745	IV	铁锁洞、D24洞	725~741
	IV(侵蚀)	795~820	V	无名洞	790~815
鸭池河	河漫滩	835~840	I	下层凉风洞水洞、W34	848~836
	I(堆积)	850~860	II	鱼洞、虾洞上层凉风洞	878~855
	II(基座)	900~950	III	千龙洞、无名洞	889~950
	III(侵蚀)	1050~1100	IV	坝二洞、石膏洞、金鸡洞	1078~1047
	IV(侵蚀)	1150~1175	V		

## 2.4 为长、大、深洞的主要分布区

岩溶峡谷区不仅是长洞、大洞的主要分布区,更是深洞的集中分布区。在贵州凡实测有据的大规模长洞和深洞几乎都无例外地在峡谷区。例如绥阳温泉水双河河系,全长 35.2km,最大高度 15m,最大宽度 30m;修文乌江峡谷区花榔河上多缤洞总长 21.1km,最高达 110m,最宽 60m;安龙板洞长 17.6km,最宽处 200m,最高 95m;平坝挂多三岔河峡谷区躲兵洞系长 5.6km,最高处 70m,最宽处 200m;位于水城北盘江支流法那河峡谷区的潜水洞吴家洞,实测深度 430m,呈梯级状向下发育;清镇辛店乌江峡谷区的落水洞竖井深 270m;红水河支流格必河峡谷区摆通洞深 280m等(见表 3),无不位于河流深切的岩溶峡谷区。

表 3 贵州岩溶峡谷区溶洞特征简表

Tab. 3 A summary of the karstic caves developed in the karstic gorge area of Gui zhou

洞名	位置	形态测量			洞穴结构特征	溶蚀、沉积形态发育状况	成因类型	注
		总长	最宽	最高				
多缤洞	修文花榔河	21100	110	60	支洞发育,有四层,底层水洞	极发育,类型多	暗河型	实测
双河洞	绥阳双河	35200	35	40	支洞发育,有四层,底层水洞	发育类型多	暗河型	实测
板洞	安龙板寨	17600	200	95	有支洞,有三层,底层水洞	较发育	暗河型	实测
白水洞	江口闵孝河	22450	50	30	支洞少,属水洞	沉积形态不发育	暗河型	实测
躲兵洞	平坝挂多	5600	200	70	有支洞,有三层,下层水洞	较发育	暗河型	实测
打鸡洞	织金绮结河	4215	135	57	有支洞,有四层,	极发育,	暗河型	实测
神仙洞	独山基长	4965	50	50	底层有水 多支洞,有四层,	类型丰富 极发育	暗河型	实测
龙宫洞	安顺龙宫	4000	36	58	单一性洞道	较发育	伏流型	实测
九龙洞	铜仁锦江	1410	100	80	有支洞,二层下层水洞廊道峡谷	较发育	伏流型	实测
底纳河洞	织金六冲河	1800	40	80	单一性,二层	少量发育	伏流型	实测
水帘洞	黄果树瀑布	天然长 42	3	16	单一性,不规则	不发育	瀑水钙华型	实测
穿洞	瓮安穿洞河	70	2	12	同上	同上	同上	考察
飞云洞	黄平东坡	100	5	14	同上	有滴石类 发育	同上	考察
青龙洞	舞阳河畔	150	5	18	同上	同上	同上	考察
K18洞	修文猫跳河	3000	35	20	分三层, 下层水洞	有一定程度 发育	顺河 潜流型	考察
三硝洞	洪家渡六冲河	350	18	20	单一洞道	沉积形态少	同上	考察
吴家洞	九洞天六冲河	800	18	25	有支洞,二层	均有发育	同上	考察
穿洞	安顺油菜河	170	20	40	单一穿洞	不发育	穿洞型	考察
大硝沿	水城三岔河	580	70	60	单一通道型	少量发育	穿洞型	考察
穿洞	天生桥 纳拥野卢山 穿洞河	135	8	25	单通道水洞	有边槽及 流痕发育	穿洞型	考察
洞名	位置	深度 (m)	洞道特征	溶蚀、沉积形态发育状况	类型	注		
摆通洞	罗甸格必河	280	洞道有梯坎	极少	竖井	实测		
落水洞	清镇辛店	270	垂直通道	极少	竖井	实测		
吴家洞	水城蟠龙	430	梯级状下伸	极少	落水洞	实测		
落水洞	大方六冲河大土	134	梯级状下	极少	落水洞	实测		

## 2.5 洞穴溶蚀形态与沉积形态均较发育

虽然任何次生性溶洞都不同程度地发育洞穴成因的溶蚀形态如流痕、边槽、贝窝、岩吊等和钙质沉积形态如石笋、钟乳石、石柱、边石坝、石幔、石花、石葡萄、石盾、穴珠、卷曲石等,而且随着不同类型的洞穴会有差别,但在岩溶峡谷区,规模大的溶洞中,形态类型多样,组合复杂,规模宏伟,却是其一个重要特征。如贵州织金打鸡洞,洞穴总长 4.2km,最高处达 57m,最宽处达 135m,可明显地分为四层,不同洞道洞穴气象条件有较明显的变化,仅在该洞中即可见到 90% 以上的各种洞穴钙质沉积 (speleothem) 形态,而且有的如石笋、石柱、石幔,其规模和密集连片为其它溶洞所罕见。标志打鸡洞的瑰宝——“银雨树”(棕状石笋),其形态之精美、规模之高大、色泽之纯白、成因之独特也为世界溶洞所少见。至于前述的多缤洞、独山神仙洞、双河洞等也都是溶蚀形态及钙质沉积形态很丰富的洞穴。双河洞的山王洞层在长达 500m 的一段洞道全为卷曲石布满,堪称洞穴一绝。

洞穴溶蚀形态与沉积形态均较发育是因为岩溶峡谷区是造洞水流的集中带,洞道形态组合复杂,空间规模变化大,又经过不同水文条件的多期变化和有利于洞穴古今造石藻类生长的多种洞穴气候环境<sup>①</sup>,从而造成有利于形成各种溶蚀和沉积形态的环境条件的缘故。

## 3 岩溶峡谷区溶洞成因类型的划分

根据溶洞的形态结构、形成的水动力主导过程,初步将岩溶峡谷区溶洞划分为下列 6 种类型:

### 3.1 暗河型溶洞

系由现在或过去的地下河(暗河)的溶蚀、侵蚀和崩塌作用塑造扩展形成,无论它是现在仍在发育的水洞或是已高悬在河水面以上位于渗流带的化石溶洞,其洞道就是原暗河道,是峡谷发育过程中在排泄基面控制下形成的地下水位洞或浅潜流洞,洞道的延伸或走向,总是指向古、今排水网。通常洞道较长,洞内常见暗河砾石层残留,支洞比较发育,洞道结构复杂的长、大洞多属此类洞。

当暗河型溶洞发育因下部有隔水层存在时,河谷深切后,位于隔水层之上的暗河即高悬于河水面之上,并不再受侵蚀基面的控制,而形成悬挂式溶洞,有水时,常以飞瀑形式注入峡谷中,这也是贵州在双层或多层含水层水文地质结构<sup>[13]</sup>地区,易见的一种溶洞类型。

### 3.2 伏流型溶洞

这是一种发育在伏流段上有明显进水洞和出流洞口溶洞,系由河流的一段伏流形成,多由因干流基面下降,支流由地表河转入地下河过程中形成。洞道坡降具明显的由上游到下游降低,有的甚至就是出现在地下裂点带<sup>[2]</sup>,水洞还能形成地下瀑布,溶洞洞道特征与暗河型有许多相似之处,但通常长度较短,主干道明显,支洞少,以单一性洞道为主,钥匙型的洞道横剖面很易见。贵州安顺龙宫洞是这类溶洞的代表。

### 3.3 穿洞型溶洞

这是一种洞道短(数十米或百余米)两端开口并透光的地下伏流或暗河洞的残留地段,可因地面抬升(或地下水位下降)而脱离地下水位高悬于渗流带中成为横穿锥峰的化石穿洞。现

① 安裕国等,贵州省织金洞洞穴堆积生物建造研究报告,1995(内部资料)

在尚处于发育的水穿洞,常能见到地下河或伏流塌顶。另外尚可见最富地貌演化意义的是穿洞顶侧,为岩溶干谷(昔日的水系),底部是现河道潜流的水洞,在洞道进口及出口两端,有大量崩塌堆积,穿洞也常有典型钥孔型横剖面,保存完好的边槽,这些都确切地反映了水动力的变化,水系变迁和溶洞的形成机制过程。许多天生桥就是穿洞进一步演化的残留地形。

### 3.4 顺河潜流型溶洞

为岩溶峡谷中一种独特成因的洞穴,其特点是只发育在深切的峡谷区。其溶洞延伸方向与峡谷平行,有进出口,洞道结构也可以是双层或多层,洞道内有残留的河流相砾石层或反向坡砾石堆积<sup>[14]</sup>,洞内水流侵蚀溶蚀形态如边槽、贝窝、地下瓠穴易见。其形成是在河床以下侧旁发育强透水带的“地下水凹槽”,构成“岩溶纵向径流带”,在水头差作用下,水流按最小阻力原理,寻求最短的水力途径排泄由上游输入的河水,使溶隙、管道不断扩大,而发展成与原河道平行的地下通道,由于其巨大的水头往往与峡谷崩塌形成“天然堆石坝”有关<sup>[14]</sup>,因此这类溶洞是在特殊的水文过程效应下于潜流带中形成的一种溶洞。当形成后,峡谷继续深切,即可使之抬升到河水面以上,并受到渗流带的改造。在大河的峡谷一侧,高出水面一定高度,顺河平行方向,既有进口,又有出口的潜流特征洞穴,就是保存下来的老顺河潜流洞。六冲河洪家渡峡谷右侧的三硝洞、九洞天段峡谷左侧的大硝洞都是此类洞穴的化石洞,而九洞天大桥左侧的伏流潜流洞道,是正处于发育中的顺河潜流洞,此类洞在猫跳河、猫跳石段同样可以见到,并构成四级电站的渗漏通道。

### 3.5 渗流入流型溶洞

这是一种发育在岩溶峡谷两侧谷岸坡地带的地表小河(常为间歇性河),在最有利的构造部位潜入地下,而在峡谷再次流出所形成的一种具垂直渗流特性的溶洞,由于纵比降很大,常呈梯级状下降,它与落水洞及竖井的渗流带典型垂直洞穴不同的是既有明显的入流洞口,也有明显的出口洞,而且洞道的水平长度远大于垂直长度,但主要形成于渗流带。

另一种位于岩溶干谷(古河道)一侧,通向与干谷平行的深切峡谷的溶洞,是在早期古河谷发育的脚洞基础上,后因河流改道变迁或侵蚀基面下降,由地表河转向地下河,由潜流作用转变为渗流作用时形成,或可称为渗流入流型洞穴的变种,织金打鸡洞地区的绮结河古河谷,左侧发育成排的溶洞,并向西倾延伸至绮结河现深切的地下廊道式峡谷,是此类洞穴的代表。

### 3.6 瀑水钙华型溶洞

是瀑布高速水流下由“掺气过程”产生的“气泡效应”和“薄水效应”的综合作用下形成瀑水钙华<sup>[15]</sup>时产生的一种原生石灰华洞。

由于在峡谷区,因侵蚀基面下降(即地面抬升),在河流纵剖面上因河流溯源侵蚀而产生裂点(如跌水、瀑布)或因主支流切割速度不等,支流在入干流时也形成裂点(瀑布),由于高速水流下的“气泡效应”和“薄水效应”,使 $\text{CO}_2$ 加速逸出,产生碳酸钙快速沉积,由于沉积时与瀑布基岩常有空隙,从而造成了平行于瀑面的洞道,因此这类洞穴一般长度短,洞道起伏不平,且会因钙华沉积时的不均一而出现水平洞窗。黄果树瀑布内的水帘洞以及6个洞窗就是这样形成的。另外在黔东的黄平东坡飞云崖河上的飞云崖洞、镇远舞阳河峡谷上的青龙洞,都是这种成因洞穴的代表。

## 4 岩溶峡谷区溶洞形成演化的水动力条件分析

虽然任何一类岩溶峡谷区都会有溶洞发育,但是溶洞分布广、规模大、类型多、洞穴形态结构复杂、洞穴沉积丰富,往往只发育在厚度大,而且断裂、裂隙发育的碳酸盐岩出露分布、降水丰沛的温湿气候和挽近构造隆升旋回明显、水动力作用活跃的地区。其中水动力作用又是导致洞穴成因类型、洞穴规模和结构差异的主导因素。对贵州岩溶峡谷区溶洞调查研究表明,水动力的控制作用主要表现在三个方面:

### 4.1 岩溶峡谷地表、地下水转换交替强烈

由于岩溶峡谷区是受侵蚀基面(或排泄基面)控制的地表、地下水汇流集中排泄区,是地表水文网不断解体向地下水文网快速转换界面带,物质、能量相对均衡要素突发转换或异常空间衔接的一个非线性域和强溶蚀动力过程熵控耗散结构功能的变异区,亦即在一个地貌梯度(形态位势的空间改变率  $dh/dl$ )和水文梯度(流量过程的时间改变率  $dQ/dt$ )都迅速变化的高速流场带,在物质能量的强烈交换、转移状态下,促使岩溶峡谷区溶洞产生超常发育,因为河流在塑造河谷纵剖面和地下通道的水动力特点,就是力图不断降低自己的势能,以最佳的水力通道和最高效率达到能量转化,以大比降注入更低的排水基面来实现,而峡谷区的地下通道(溶洞)也正是在这一能量转化过程中的必然产物

### 4.2 岩溶峡谷区岩溶水循环交替强烈

岩溶峡谷区岩溶水无论是垂直循环带还是水平循环带都是十分强烈的。由于岩溶峡谷的向深性发育,不仅造成大厚度的渗流带,发育渗流型溶洞(包括深大的落水洞、竖井等),而且还因巨大的水动力坡降,造成水沿着有利于向深部循环的断裂、构造裂隙产生深潜流带溶洞,贵州乌江渡峡谷河床以下 220m 仍有 9.35m 高的溶洞发育,乌江构皮滩峡谷河水面以下 165m 处有 6m 高的溶洞发育<sup>[13]</sup>和许多深切峡谷存在河下纵向集中径流带就是证明。

需要指出的是,发育大型溶洞的浅潜流带也常因巨大的洪枯水位变化(在贵州 15~25m 的幅度是很普遍的)使地下水位带频繁波动,导致水循环垂直与水平作用交替进行。通过侧向补给进入潜流带的水与垂直渗流补给的水的混合更利于化学溶蚀作用的强化,从而加速溶洞的发育和扩展<sup>[16]</sup>。此外,快速的径流条件,能使界面附近的溶液浓度迅速降低,溶解加快,CO<sub>2</sub> 补充加速,吸碳能力加强,使溶洞加强发育。

当排泄基面高程相对不变(地壳相对稳定时期),地下河出口处由于水流集中排泄,水力坡降大,排泄通畅,则又会形成充水或半充水型出口溶洞,随着排水廊道的发育与发展,使原来地下水位和流线重新调整,当排泄基面下降后,又会再次重复上述过程,形成另一层溶洞<sup>[17]</sup>。

### 4.3 水系变迁和外源水的强化效应

在岩溶峡谷区的水平溶洞中,常能见到流水成因的砾石堆积层,多被钙质胶结,有的砾石成分来之周围较远距离的非灰岩区。这就是说,这类洞穴在形成过程中有外源水参与。实际上,许多大、长洞几乎都是发育在集水域边缘或一侧常有非灰岩出露,甚至形成分水岭高地,而峡谷则深切于位置相对较低灰岩含水地块中,并构成强集中汇流区,不管是向斜汇流区还是背斜汇流区,发源于碎屑岩区的河流在向深切峡谷汇流中,进入灰岩区不远即潜入地下,这种水文网由地表汇流结构的解体和地下汇流结构的产生和加强所产生的水系变迁,也是由于巨大位势能转化成功能过程中,推动峡谷发育演化和大规模洞穴产生的重要水动力原因(图 2)而且

由于洞穴系统(地下河)有外源水的输入端在一个生成系统中占有物理、化学和生物化学等方面的优势,所以其发育总是处于率先发展且速度较快的地位<sup>①</sup>,输出端(流出洞口)又会因集中排泄地下径流而有相当的侵蚀能量,并在侵蚀基面控制下,产生溯源发展,开拓洞道,使溶洞加快形成。

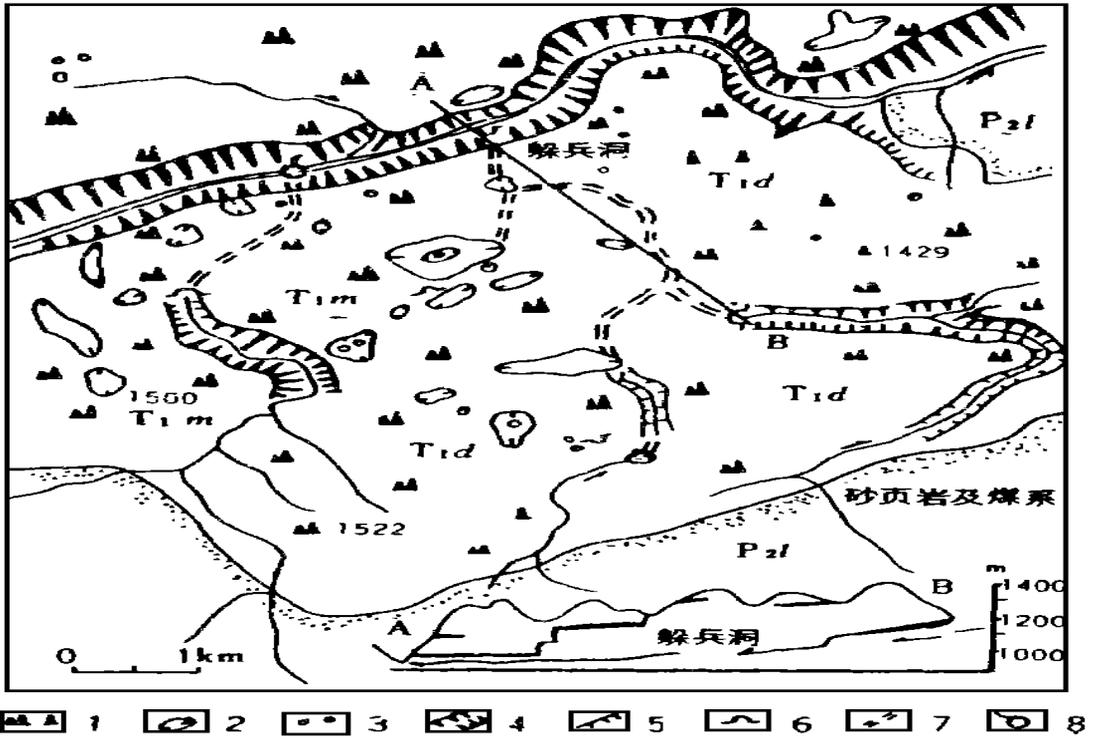


图 2 贵州挂多岩溶峡谷区外源水与溶洞发育关系图

Fig. 2 Diagram showing the relationship between karstic cave development and allogenic water at Guaduo karst gorge of Guizhou

1.峰丛、峰林; 2.洼地; 3.漏斗、落水洞; 4.岩溶峡谷; 5.陡崖; 6.溶洞; 7.地下河及洞道; 8.泉

### 5 结 论

(1)岩溶峡谷由于存在地下汇流结构,强溶蚀—侵蚀动力场效应和复杂的形态结构而与非岩溶峡谷有重大的差别。而发现不同的溶洞成因类型、形态结构也是识别岩溶峡谷形成和演化阶段的一种重要地貌标志

(2)岩溶峡谷区溶洞不仅具有长、大、深的特点,而且是洞穴形成时不同水动力条件和变化过程的反映。所划分的6种溶洞成因类型——暗河型、伏流型、穿洞型、顺河潜流型、渗流入水洞型和瀑布钙华型是对岩溶峡谷区溶洞成因和演化认识的一次深化

(3)外源水和水系转化变迁对形成岩溶峡谷长、大洞是不可缺少的水文因素。相反,仅由内源水溶蚀成的原生渗流型洞很难发育成长、大洞。

<sup>①</sup> 朱学稳等,地下河洞穴发育的系统演化(第二届洞穴会议文件),1995年

## 参 考 文 献

- 1 杨明德. 岩溶峡谷成因及演化模式. 见: 人类活动与岩溶环境. 北京: 北京科技出版社, 1994 86~ 87
- 2 杨明德. 贵州高原喀斯特地貌结构及演化规律. 见: 喀斯特地貌与洞穴. 北京: 科学出版社, 1985 27~ 28
- 3 Jakucs L. Morphogenetics of Karst Regions. *Adan Hilger Bristol*, 1977 103~ 140
- 4 Smith DI& Atkinson T. Process, land forms and climate in limestone regions. *Geomorphology and Climate. A wiley-Inter-science publication*, 1976 390~ 395
- 5 Ford D& Williams P W. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London Univin Hyman, 1989 466~ 496
- 6 Sweeting M M. Karst and Climate- A rewiw. *Z. Geomorph N. F suppl. Bd 36* 204~ 207
- 7 Balazs D. Main Cave Types in the South Chinese Karst Region. *Karszt Barlong evf. I*, 1990 67~ 70
- 8 张寿越, 何宇彬. 中国岩溶研究. 科学出版社, 1982 148~ 149
- 9 朱学稳. 峰林喀斯特性质及其发育和演化的新思考. *中国岩溶*, 1991, 10(2): 144~ 146
- 10 杨明德. 论热带喀斯特峰林地貌结构及演化特征. 见: 地貌过程与环境. 北京: 地震出版社, 1993 184~ 188
- 11 袁道先等. 碳酸盐岩区域表层岩溶带碳循环. 见: 碳酸盐岩与环境. 北京: 地震出版社, 1995 1~ 15
- 12 Yang Mingde et al. Characteristic of cave devepment in the karst gorge distroct of Guizhou plateau. In 11th Intemational Speleological Congress. Biejing, 1993 23~ 25
- 13 邹成杰 (主编). 水利水电岩溶工程地质. 北京: 水利电力出版社, 1995 33~ 34
- 14 杨明德. 九洞天形成和演化初探. 见: 喀斯特景观与洞穴旅游. 北京: 中国环境科学出版社, 1993 122~ 124
- 15 张英骏等. 石灰华沉积机制的实验研究. *中国岩溶*, 1994, 13(2): 197~ 202
- 16 Palmer A N. Geomorphie interpretation of Karst feature. In *Ground Water as a Geomorphic Agent*. R. G. Lafleur (ed.) Boston Allen & Unwin, 1984 173~ 209
- 17 李景阳等. 暗河型溶洞的形成和演化过程. *贵州工学院学报*, 1991, 20(3): 7~ 8

## CHARACTERISTICS AND HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF CAVE DEVELOPMENT IN KARST GORGE DISTRICTS

Yang Mingde

(Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

### Abstract

This paper first discusses the natures of karst gorges and the characteristics of the cave development along the gorges. On the basis of above recognition, six genetic types of the caves are raised, that is, subterranean river type cave, swallet stream type cave, through cave, phreatic cave along the river valley, vadose cave of sink hole and tufa cave at the waterfall site. And then the relationship between hydrodynamic process and cave formation is analysed. Accordingly, allogenic water and drainage system changes are thought to be the essential hydrologic condition for forming large and long caves in the karst gorge districts.

**Key words** Karst gorge Genetic types of caves Cave formation Hydrodynamic condition