

洞穴研究与洞穴开发保护^{*}

杨汉奎^① 田维新^① 杨 斌^②

① 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001; ② 贵州轮胎厂计算中心, 贵阳 550008)

摘 要 本文认为洞穴是一种不可再生的自然资源,属于自然遗产。洞穴化过程持续愈长,形态结构愈复杂,相应的资源结构和洞穴环境就愈多样化和分异。洞穴“形态—过程”是洞穴系统内物流、能流运动的轨迹,也是一种“化石”信息流。研究和查明各洞段的形成演变,实为洞穴开发与保护的基础。

关键词 洞穴学 洞穴资源 洞穴环境 洞穴保护

我国是个洞穴极多、洞穴类型与资源丰富的国家。但在近 20 年的大量开发中,由于缺乏技术储备和科技人员,加之管理紊乱,不少的洞穴在开发与营运中破坏严重,在某些洞穴开发中迷信与伪科学反而还占据了一定的市场。最近几年,中国地质学会、中国地理学会专门召开过多次学术会议讨论这个难题。本文议题可谓“老生常谈”。但在问题尚未获得有效解决前,还要继续呼吁和论理,将研究专门问题与普及洞穴知识结合起来,使中国游览洞 (show cave) 的开发与保护跟上国际水准,以为子孙后代能持续利用。

1 洞穴化的物流和能流

洞穴被定义为能人进入的地下空间,通常指的是天然洞穴。

1.1 洞穴化的物流与能流

有关洞穴化的围岩与造洞动力已被广泛讨论^[1,2]。现将搜集到的我国洞穴,按造洞围岩与造洞动力两组因子,即物流与能流列出它们的成因类型(表 1)。这个分类方案比 ДУБЛЯНСКИЙ В. Н(1993)^[3]和林钧枢等^[11]的要简单些。

除了 karst cave 和 lava cave 外,一般的洞穴结构简单、规模较小,可粗视为单成因洞穴 karst cave,尤其是 cavern,往往由成因不一的及处于不同发育阶段的支洞或洞段组成,构成一个结构复杂、环境分异的统一洞穴系统。由于各种洞穴成因不同,其洞穴化的物流、能流也有差

* N SFC 基金项目 (49361002) 部分成果

第一作者简介:杨汉奎,男,1996 年不幸病逝,生前任贵州省政协常委、贵州科学院山地资源研究所研究员、中国科学院环境地球化学国家重点实验室 (HDH) 客座研究员等职,主持参加科研项目近 20 项,获省部级科技进步奖 8 项,公开发表论文 70 余篇,专著 3 部。

表 1 中国洞穴的成因类型

Tab. 1 The genetic types of caves in China

动力 \ 围岩	C	NaCl	R. S. Sh	m. (s. sh)	G	β
风化剥蚀	高山小洞		丹霞洞	差异风化洞		
风(磨)蚀	高山小洞					
潜蚀				泥化洞		
溶蚀	饱水带洞	盐湖洞				
侵蚀	伏流洞		丹霞洞		河流壶穴	
浪蚀	海磨房				浪蚀穴	
崩堆	倒石穴		丹霞洞		石蛋洞	
同生	灰华洞					熔岩管
构造				石膏巨晶洞		

表中 G 碳酸盐岩岩块; NaCl 盐层(察尔汗湖); R. S. Sh 红层砂页岩; m(s. sh): 千枚岩、板岩(以及砂页岩);
G 花岗岩; β 玄武岩(琼北、五大莲池、腾冲)

异(见下节)

1.2 造洞的“形态—过程”

形态是物质分布不连续的界面,而且只有固体才有形态。洞穴形态是指岩块内的空间与次生洞穴堆积的形态。这种形态随其洞穴发育过程而变化。所有洞穴中尤数 karst cave 的“形态—过程”最为复杂,系统“记忆”的信息量特别丰富。不论是 W. M. Davis^[4]的“双循环”模式,还是 Ford 和 Ewers^[5]的“两类四态”模式,都表明了(karst cave)形成过程之复杂和有几种造洞动力的迭加。溶蚀、侵蚀及崩塌可以迭加,甚至转换。例如造洞初期依靠溶蚀贯通各种溶隙,当溶管断面小于汇水流量时,其上游洞道全充水,作用在岩水界面上进行,以溶蚀为特征;当溶管断面大于汇水流量断面时,其洞道为自由流,侵蚀作用占主导地位。由于过程中的突发事件(崩塌、滑落)改变洞道断面,又会使伏流洞变成局段管压洞。

在那些多层多叉的立体网络的 cavern 中,它们可能穿过不同的地貌单元,处于不同演化阶段中。如双河洞系、织金洞、腾龙洞等,下层正在侵蚀,属于伏流或地下河洞,中层是次生 CaCO_3 堆积很丰富的干洞,上层多是初始期的溶“袋”、盲管。从水流受重力场制约的特征将洞穴按高程分层是个误区^[6],甚至成为所谓地壳间歇抬升、洞穴与阶地的对比的依据。实际上洞穴的阶梯状结构受岩块构造裂隙与层面联合控制,在同一洞系中,因地下河比降与瀑布等的存在,水洞洞段可相差数十米高,往往会误判为两层洞,如多缤洞系统的花榔伏流较桐兴伏流高 3~5m,但比桐兴溪水低 10m,6 条伏流与地下河的水位并不统一,彼此间存在洞内(地下)分水岭,大多数峰丛洼地峡谷近岸带的伏流洞,峡谷岸壁上可有多层洞口,但在伏流上游,洞的层数减少,呈收敛式,往往只有 1~2 层洞。这些现象并不说明洞穴化过程中地壳运动的间歇性,而是该过程的物质、能量的差异性。

2 洞穴资源

洞穴是一种多功能和多用途的天然资源

2.1 空间资源

洞穴有一定空间,而且在离洞口一定距离后变得黑暗和恒温。空间的利用因目的不同而要求不一。最古老的猿人,曾利用洞穴栖息。上代人(半个世纪前)利用洞穴避难,极个别的贫困山民还穴居。

现今利用洞穴空间是做贮藏仓库和地下水库。作为地下仓库或车间,要对围岩稳定性、温度、湿度、空气组分进行本底测定与监测。对于地下水库则要评价其成库条件与水坝枢纽的稳定性及防渗性,还要研究水头压力及调压设施。

2.2 气象资源

洞穴气象是一种尚未充分利用的资源。就洞穴气温而言,有冷洞、暖洞、热洞之分。多口洞的烟囱效应产生廉价无污染的洞风,可以建造微型风力发电站。烟囱效应也曾使某些洞穴的卷曲石、石笋等风化剥落(人工凿洞引起)。洞穴空气中的负氧离子对医疗哮喘、风湿、高血压等疾病有一定的作用。 CO_2 与生物节律对种蘑菇、养鸡、种菜将是有促进的,可提高产量和不受季节影响,但要监控温度和空气组分。

2.3 水资源

洞穴水资源在我国利用是较多的。一是利用地下湖(河)作生活供水的基地,如镇宁城的火牛洞、镇远城的道士贯。另一是利用地下河发电,如六郎洞电站、连县星子地下电站、贵州织金、独山的洞穴电站。湘、黔、桂 60 年代以来修建了不少的洞穴水库,对解决岩溶地区缺水起到一定作用。

2.4 矿产资源

洞穴中的矿产分两大类。一类是沉积的砂矿,如个旧、富贺钟等的洞穴砂锡矿。另一类是生物磷矿、硝、硫酸钙等生物堆积与次生堆积。洞穴矿产几乎都是小型高品位矿床,大多适宜民间开发。

2.5 景观资源

利用洞穴的奇妙、优美和惊险,兴办旅游业已风靡全球。世界上已开放为 show cave 的已达 8000 多个,每年接待游客 2600 多万人次^[7]。我国目前开放的 show cave 约 200 个,但参差不齐,效益相差甚远,洞景衰减及破坏普遍。

3 洞穴环境及变异^[8]

洞穴环境与洞穴结构、洞口数量、洞口之间的高差有关。单口及单层洞的洞穴环境比较简单,从洞口向内,有洞口变动带、洞口扰动带和洞内稳定带。多口洞、多层洞及断面形态复杂的洞穴系统,其洞穴环境很复杂,如多缤洞系统、织金洞、双河洞等,洞穴环境都很复杂。我们从物质与能量交换和传输强度,划分出高能洞、低能洞和弱能洞三类^[8]。这些洞穴环境类型大致对应的洞穴形态类型为:

高能洞: 穿洞、伏流洞、地下河洞、烟囱效应洞;

低能洞: 洞厅、季节滴水洞;

弱能洞: 袋状小洞、毛细水洞

这只是人们对洞穴环境自然态的本底认识。所谓洞穴环境变异,是人为输入物质、能量,使其发生涨落。例如将洞穴作为地下水库的库容,使原来的干洞变成了水洞,其环境不可逆地变

异,将洞腔平整衬砌,毁掉了次生 CaCO_3 和堵塞渗滴水流,改变了原来环境。只要进行过论证和评价,这种环境变异是不可避免和允许的。对 show cave 则不允许这类变异,因为这类变异直接导致景观退化衰败,甚至带来危险,使 show cave 的客源下降和关闭。近年来这方面的论著很多,不只是洞穴学与岩溶地质工作者,而且管理部门都开始重视。然而因众所周知的原因,从事研究和实验的投入很不足,真正依靠科学开发者甚微。

4 开 发

洞穴资源开发,作为重点的工程建设和矿产,一般都按一定规范程序进行,出现差错不多。由于 show cave 的开发和小型洞穴水库勘测的技术力量不足(在基层没有这样的技术人员),更主要的是没有建立起一整套程序,甚至将洞景资源划归文物,大多数 show cave 的开发仅靠几幅照片,几篇报道,不经资源管理部门审批,用命令行事屡见不鲜。此外,因局部利益驱使,一些人对洞穴景观资源往往过分夸张,靠哄动效应行事,或者因抓“效益”超负荷运营,使洞穴环境变化而破坏景观也常有发生。

洞穴资源开发中一个很重要的问题是如何调控客流量和灯光的热效应。在许多文章中都提及到照明灯的两大效应,一是灯光植物的出现,另一是热。通常是采用低热的卤灯、低能灯、声控或光控灯、手持电池灯等,不用彩光“修饰”,不在洞内设饮食餐馆和舞厅(但在高能洞内尚可考虑)。过去曾有人打着“市场”需要的幌子,在洞中大搞鬼怪神灵,吸引游客,有些人还想搞虚无缥缈的激光幻影,将一些所谓的“科幻”强加给游客。所有这些低层次开发都应予以制止,还其自然的本来面目。

洞穴开发中的第二大破坏是在其中大兴土木,洞口修建过大,改变洞内外的气流及生境,使洞内热量难以排出。再是大挖大填,破坏原有景观,使景观视觉变坏(如路太宽显示洞体矮小),将一些景观及有价值的堆积物和地层层序破坏掉,如月乃石、微石笋(卷曲笋)、石坝、穴珠等洞底堆积景观。

再则是新开洞口。为了游客走回头路和便于观光路线安排,必须人工开挖洞口。由于不懂得烟囱效应和不重视环境影响评价,一些洞口开挖后引起次生 CaCO_3 断裂、剥落^[8,9]。

基于上述问题,建议洞穴开发必须有洞穴环境影响评价报告才可批准。洞穴开发应有洞穴工作者参加。为了解决这方面人才的不足,可以开办短期培训班,选拔一些工程(地质)人员培训,还应编写这方面的教材,供有关人员参阅。

5 保护与维修^[10]

对于洞穴的维修和保护,应按开发与营运方式不同采取不同的措施。在此只谈 show cave 的保护与维修。

show cave 可视为一个开放系统,其环境变异是因内部发生熵增和 CO_2 、 H_2O 失调。熵增之源一是照明之电能转化而来的热,二是游客。

5.1 洞穴游客流量

洞穴的温度一般而言是恒温的,但也存在人为的温度与 CO_2 增加和自然过程中温度 t 与 CO_2 的耦联问题。有的洞在游客进入的高峰期时,气温会陡升 0.6°C 。目前笔者还没连续观测

的洞穴气温变化的资料,不知道洞穴气温变化的响应问题,也还未能认识气温上升对 CaCO_3 破坏的阈值。但是可以推测洞穴热涨落是个由游客进入间隔、昼夜、季节嵌套的混沌动力过程,其波动 $t < \pm 1^\circ\text{C}$,当波动大于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 后,熵增很难通过洞穴自组织达到气温返回初始态。如织金洞开放后(1985~1988) t 升高 0.6°C , CO_2 增加 $140\sim 200\text{ppm}^{[11]}$,不全是游客造成的,与开发时施工、高能热的照明有关。目前如何确定游客量尚是个值得探讨的课题。

5.2 洞景修整

洞景退色、风化、剥落和断裂与洞穴湿度有关,不仅是 show care,即使是未开放的洞,冬季无滴水时比夏季有浸润水时,次生 CaCO_3 显得苍老,对于一些石枝、卷曲石因热而失水发生重结晶,或沿晶面解理裂开,一些石笋因地震或重溶蚀而倒塌,都有办法修复。对洞景的保护,首先是保护一定的渗滴水流。洞顶严禁开荒垦植,应迅速用藤草覆盖。用打浅孔的方法截留雨水要慎重,特别是酸雨区不能采用,否则将造成酸性渗滴水,反而溶蚀次生 CaCO_3 。可以采用中性或弱碱性水对次生物喷洒,进行修复和保养,但要监测。洞穴散热不可用大功率的通风设备,即使是为了排除 CO_2 和热也只能用小通量的空调,也得多因子地分析其反馈效应,不可顾此失彼,因为在这里是气—液—固三相的耦合运动,涉及动力学与热力学的能量转换。在理论上这类探讨是复杂的,有求于非线性科学方法。在实际中,只能是不间断调控、保护和修复。洞穴景观资源是不可再生的,人们对其开发利用它,必须要引起其系统振荡。洞穴工作者的责任在于寻求它涨落产生发散的门限,并使其较长期的使用。

参 考 文 献

- 1 Bogli A. Karst Hydrology and Physical Speleology. Berlin Heidelberg Springer-Verlag, 1980
- 2 张英骏等.应用岩溶学及洞穴学.贵州人民出版社,1985
- 3 Дублянский В.Н. венецианская классификация подземных подостей по морфологии, 1993 (1): 31~ 38
- 4 Davis M.W. Origin of Limestone Caverns. Geol. Soc. America Bull 41
- 5 Ford DC and Ewers RO. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and breadth Can. J. Earth Sci, 1978. 15
- 6 刘金荣.对岩溶洞穴成层性观念的再思考.中国岩溶,1995, 14(增刊): 107~ 115
- 7 林钧枢.我国喀斯特旅游资源及其地位与潜力.见:喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.地震出版社,1994 173~ 178
- 8 杨汉奎等.旅游洞穴的环境变异.见:喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.地震出版社,1994 73~ 77
- 9 宋林华.旅游洞穴的环境变异与景观保护.见:喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.地震出版社,1994 118~ 125
- 10 杨汉奎.旅游洞穴的开发与保护.见:喀斯特景观与洞穴旅游.中国环境科学出版社,1993 160~ 164
- 11 李坡等.贵州织金洞的监测与评价.见:喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.地震出版社,1994 131~ 137

STUDIES, DEVELOPMENT AND PROTECTION OF CAVES

Yang Hankui^① Tian Weixin^① Yang Bin^②

① *Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001;*

② *Computer Centre of Guizhou Tyre Factory, Guiyang 550008)*

Abstract

A cave is an irreplaceable natural resources. The longer the cavitation process, the more complicated the form and the structure, and the more various of the relevant resources' structure and the cave environment. The "form-process" of a cave is the track of the matter flow and the energy flow in the cave system, and also a information flow of "fossil". To study and investigate the evolutionary process of each stage is the basis of the development and the protection of caves.

Key words Speleology Cave resources Cave environment Cave protection