

清江流域溶洞发育特征

王增银 万军伟 姚长宏

(中国地质大学, 武汉 430074)

摘 要 清江流域是我国岩溶最发育的地区之一, 国内第一大洞——腾龙洞即位于其中。文中着重分析了区内溶洞发育的区域特征及形成条件, 从物质与能量输入—输出系统的水动力条件出发, 将溶洞划分为伏流型和汇流型两类, 并分析了各类溶洞的发育特征。

关键词 溶洞 水动力条件 伏流型溶洞 汇流型溶洞 清江流域

1 自然地理与地质概况

清江流域位于江汉盆地与云贵高原的过渡带, 介于北纬 $29^{\circ}4'$ ~ $30^{\circ}48'$ 和东经 $108^{\circ}30'$ ~ $111^{\circ}20'$ 之间, 流域总面积 17000km^2 。清江发源于川鄂边界齐耀山脉东麓, 自西向东蜿蜒于高山峻岭之间, 并不断汇集两岸支流之河水, 于枝城市汇入长江。干流全长 423km , 总落差 1430m , 平均坡降为 3.07% 。清江上游(腾龙洞以上)河谷开阔平缓, 河道蜿蜒曲折, 阶地发育。清江中游(隔河岩以上)河谷为深切峡谷, 两岸陡峻, 多呈“V”型或“U”型谷, 相对高差多在 1000m 以上。清江下游河道曲折多变, 河谷宽缓, 漫滩发育, 高差为 $500\sim 150\text{m}$ 。

清江流域位于新华夏系第三隆起带内。自古生代至中三叠世, 本区是较为稳定的地台区, 区域上以稳定沉降为主, 堆积了巨厚的海相碳酸盐岩。中三叠世后期在印支运动影响下区域大面积隆起, 结束了漫长的海浸历史, 形成了局部隆起和凹陷。燕山运动是一次具有造山运动性质的构造运动。燕山主期构造应力场以近 S—N 向挤压为主, 形成了 EW 向的褶皱; 燕山中期在 NW—SE 向引张应力场作用下, 形成了江汉坳陷盆地和恩施、建始断陷盆地。盆地形成后成为当地排泄基准面, 并不断形成各个盆地自成系统的水文网, 将山区剥蚀的物质搬运到盆地内堆积形成了白垩系和第三系内陆湖相堆积物。

自更新世以来, 受江汉盆地排泄基准面远低于恩施盆地排泄基准面的影响, 向江汉盆地排泄的水系逐渐蚕食了恩施盆地的水系, 至中更新世形成了现在自西向东流的清江水系。自清江形成以来, 区内构造运动以振荡抬升为主, 在清江下游形成了 7 级阶地^①。

清江流域碳酸盐岩出露面积约占流域总面积的 72%, 具有独特的岩溶地质背景条件, 岩溶

第一作者简介: 王增银, 男, 1945 年生, 副教授, 1969 年毕业于北京地质学院水文地质与工程地质专业。通讯地址: 武汉市喻家山中国地质大学工程学院。

收稿日期: 1999-04-10

① 长江水利委员会三峡区勘测大队. 湖北省清江高坝洲水利枢纽可行性研究阶段工程地质勘察报告. 1988

特别发育,地表岩溶类型齐全、形态各异,地下岩溶洞穴随处可见,规模宏伟,是我国岩溶最发育的地区之一(图 1)。

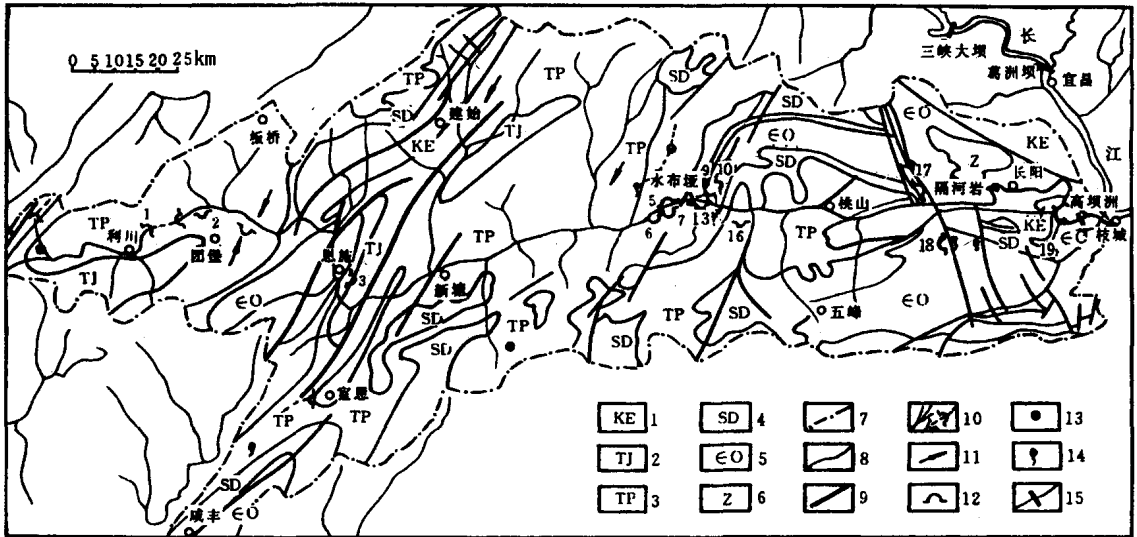


图 1 清江流域岩溶地质略图

Fig. 1 Karst hydrogeological map in Qingjiang river basin

1. 白垩—第三系碎屑岩组; 2. 侏罗系碎屑岩组; 3. 三叠系—二叠系碳酸盐岩组; 4. 志留—泥盆系非碳酸盐岩组; 5. 寒武—奥陶系碳酸盐岩组; 6. 震旦系不纯碳酸盐岩组; 7. 流域界线; 8. 岩组界线; 9. 断层; 10. 河流及地下暗河; 11. 地下水流向;
12. 溶洞; 13. 岩溶湖; 14. 岩溶泉; 15. 水电枢纽坝址

2 溶洞发育的区域特征

清江流域范围内均属于裸露型岩溶区,溶洞主要由大气降水交替循环作用形成。由于不同地区地层岩性、地质构造、地形切割程度、水动力条件以及它们的组合型式不同,使溶洞发育具有明显的区域性特征。

2.1 平面上具有地带性

据溶洞调查资料来看,规模大延伸长的大型溶洞主要分布在清江及支流岸边地带 2~4km 范围内(表 1),远离岸边地带溶洞规模一般较小。这主要是清江及其支流多是深切峡谷,在岸边地带地下水水力梯度大,水交替强烈,又有外源地表水和远处地下水的补给,水对碳酸盐岩介质溶蚀和侵蚀能力强,因此使得岸边地带溶洞规模大。远离岸边地带相对水力梯度小,汇水面积也较小,岩溶作用相对较弱,因此溶洞规模较小。

从溶洞发育的构造部位来看,溶洞大多位于褶皱构造的核部和近翼部,而且溶洞走向与褶皱轴向一致。这主要是背斜核部一般形成宽和长度较大的巨型裂隙,常是地下水的汇集径流场所。背斜翼部一般走向断层发育,断层破碎带是地下水强径流带。因此背斜核部和翼部岩溶强烈发育,常形成大型洞穴系统。如半峡背斜核部及两翼溶洞特别发育(如图 1 中的 9~15 号溶洞),形成洞穴密集发育带。向斜构造一般形成谷地,是地表水和地下水的集水构造,特别是当有相对隔水层构成隔水底板时,往往有外源水流入,更增加了溶蚀和侵蚀能力,有利于形成规

模较大的洞穴系统。如左泉洞(图 1 中的 16 号溶洞)发育于大龙坪向斜核部,形成环形展布的厅—廊组合型洞穴系统^[1]。水布垭地区由于三友坪向斜盆地核部为下二叠统灰岩,周边为泥盆—志留系砂页岩,砂页岩区形成的地表水流入灰岩区后渗入地下,逐渐形成了与向斜轴向一致的洞穴系统(图 1 中的 5~8 号溶洞)。

表 1 清江流域主要溶洞统计表

Tab. 1 The statistical table of the major caves in Qingjiang river basin

编号	溶洞名称	位 置	发育 层位	洞口高程(m)		溶洞规模(m)			距河谷 距离(m)
				绝对	相对	长	宽	高	
1	腾龙洞 旱洞	利川市团堡	J _{2j}	1090	29	8694	25~80	50~70	75
			T _{1d}	1061	0	130000	10~25	20~35	0
2	玉龙洞	利川市团堡	J _{2j}	1200	260	1000	5~20	2~10	750
3	龙洞	恩施市龙洞河	J _{2j}	460	35	>140	5~20	6~15	200
4	高桥出水洞	恩施市白果坝	← ₃	480	50	>100	20	15	300
5	上出水洞	巴东县水布垭	P _{1q}	287	90	1240	5~30	5~10	0
6	清水洞	巴东县水布垭	P _{1q}	292	100	660	7~50	2~14	0
7	鲢鱼洞	巴东县水布垭	P _{1q}	200	10	300	5~10	4~8	0
8	硝洞	巴东县水布垭	P _{1q}	257	67	427	4~30	2~20	0
9	虎洞	长阳县半峡肖儿河	← ₃	226	3	>1100	3~12	4~18	0
10	神女洞	半峡肖儿河	O ₁	470	250	700	5~20	5~30	0
11	海螺洞	半峡	← ₃	425	240	200	10~30	10~20	0
12	穿心洞	半峡	O ₁	250	60	150	7~20	5~15	0
13	迷水洞	半峡	← ₃	193	8	1000	5~20	4~12	0
14	和尚洞	半峡	O ₁	205	20	250	10~20	5~15	0
15	榨洞	半峡	O ₁	218	38	350	7~27	7~11	0
16	左泉洞	长阳县大龙坪	J _{2j}	1180	1000	>1100	1~20	2~30	3000
17	万人洞	长阳县东流溪	O ₁	720	180	270	8~40	1~10	0
18	猫子洞	长阳县大龙潭	← ₃	700	200	494	10~27	8~30	0
19	风洞	长阳县磨市	O ₁	80	30	60	0.5~4	0.7~7	0
20	盆景洞	枝城市高坝洲	← ₃	120	70	30	1~7	1~5	0

从清江流域溶洞区域分布来看,大型溶洞都位于中上游地区,长度大于数百、数千米的溶洞屡见不鲜。下游地区溶洞规模一般较小,溶洞长度均小于百米。形成这种分布特征的原因主要有:(1)中上游地区地势较高,清江及支流切割深度大,地下水水力梯度大,有利于形成规模大的洞穴系统;下游地区地形向江汉盆地逐渐降低,河谷切割浅,地下水水力梯度较小,不利于形成大的洞穴系统。(2)中上游地区主要为新华夏构造体系,清江与褶皱轴向近于直交,受走向裂隙和顺层裂隙发育影响,特别是受断层裂隙控制,往往形成延伸较长的地下水集中径流,能够汇集较大面积的径流补给,有利于形成规模大的洞穴系统;中下游地区主要处于东西向构造带中,清江走向与褶皱轴向近于平行,受非岩溶地层及相对弱透土层相隔,不利于形成延伸很长的集中径流,因此不利于形成规模大的洞穴系统。(3)下游地区是鄂西高原向江汉盆地的过渡带,地形由 1800~2000m 高程迅速降到 200~300m,地形坡度大,地表沟谷发育,降雨主要

形成地表径流排泄,不利于形成规模大的洞穴系统;而中上游地区地势高耸,地形变化小,溶蚀洼地和岩溶槽谷发育,降雨主要汇入这些负地形中补给地下水,有利形成集中径流,因此有利于形成规模大的洞穴系统。

2.2 垂向上具有成层性

对裸露岩溶区来说,溶洞的形成受排泄基准面控制。清江流域在新生代以来一直处于间断性抬升过程中,清江及其支流河床不断下切,在每一相对稳定时期都会形成与排泄基准面相一致的水平洞穴系统。因此在清江河谷两岸形成了多层水平溶洞。如水布垭—半峡地区就发育了 5 层水平溶洞(图 2)。

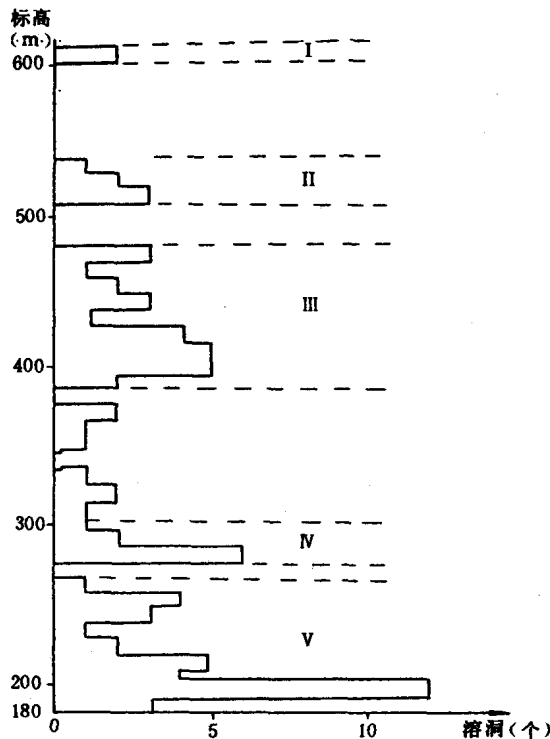


图 2 水布垭—半峡地区水平溶洞洞口高程分布图

Fig. 2 The distributions of the elevations of the horizontal caves at Shuibuya-Banxia area

对于一个洞穴来说,不少地段表现为层楼状结构,上层和下层都有自己的出口,它们之间通过竖井状或倾斜通道相联结。这种层楼溶洞是多期岩溶作用的结果,反映了岩溶作用的阶段性、继承性和向深性。

3 溶洞类型及特征

岩溶洞穴的分类是不少学者都在研究的问题。有的学者根据洞穴形成时所处水动力剖面的位置将岩溶洞穴划分为渗流洞,水面洞和潜流洞^[2]。有的学者根据水流运动形式和途径将岩溶洞穴划分为流入型洞穴、流出型洞穴和含水层洞穴^[3]。

根据清江流域溶洞形成条件来看,溶洞形成主要受清江及其支流排泄基准面控制,地下水总体流向是自分水岭向清江及支流河谷径流。在径流过程中地下水对碳酸盐岩介质进行溶蚀和侵蚀,不断扩大裂隙介质,最终形成岩溶管道。因此,从系统观点来看,自大气降雨或地表水进入碳酸盐岩后,它就开始对碳酸盐介质进行化学溶蚀作用,不断扩大裂隙介质空间,然后将溶蚀的物质随着水流带出含水层,这是一个完整的物质和能量输入—输出过程。当排泄基准面相对稳定时期,一个物质能量输入—输出系统则形成一个完整的洞穴系统。因此应以物质能量输入—输出系统的水动力条件作为溶洞分类的依据。按照溶洞形成的水动力条件可将洞穴分为伏流型溶洞和汇流型溶洞两类。

3.1 伏流型溶洞

伏流型溶洞是有明显入口和出口的洞穴。这是由地表水向地下水转化,然后又转化为地表水的条件下形成的^[4]。也就是说,由地表水的集中流入—流出系统形成的溶洞称为伏流型溶洞。清江流域这类溶洞相当发育,表 1 所列的 1、5、6、7、8、9、12、13、13、15 号溶洞都属此类。其中规模最大的是腾龙洞^[5]。腾龙洞是清江的伏流段,洞穴整体走向呈 NEE 向展布。该洞穴分上、下两层,上层为旱洞,是早期清江的伏流段;下层为水洞,是现代清江伏流段。经实测该洞穴系统总长度 37km,是目前我国已知的最长岩溶洞穴(图 3)。旱洞入口为腾龙洞,出口为白洞,洞内宽敞宏伟,洞底平坦开阔,只是由于后期洞顶坍塌堆积成山,形成洞内山体林立、大厅分隔现象。水洞入口为卧龙洞,是洞垂直巨型裂隙发育的倾斜式落水洞,出口为黑洞,全长为 13km,洞底呈阶梯状、多急流跌水和深潭。因此从垂向上看整个洞穴系统分上(旱洞)、下(水洞)两层,主干洞相互连通,构成一个规模巨大、形态各异的洞穴系统。

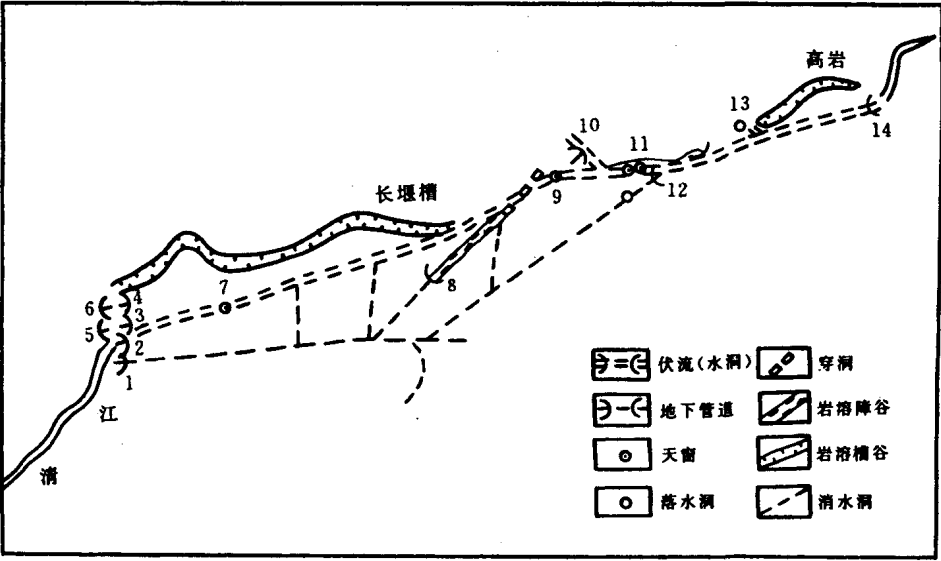


图 3 腾龙洞洞穴系统平面展布图(引自文献 5)
Fig. 3 The plane map of Tenglongdong cave system

该类溶洞具有下面的特点:①溶洞多以单管道为主,即一个入口一个出口。个别也有侧枝管道,即多个入口一个出口,如虎洞系统(9)有 3 个入口,它们都汇入虎洞。②由于有外源水的流入和流量一般较大,所以溶洞规模一般较大。其溶洞长度视地质结构而定,一般为数百米至

数千米,有的也可达 10 余公里。③洞穴系统入口一般位于非碳酸盐岩地层与碳酸盐岩地层或弱透水层与强透水层接触带附近,入口段一般为竖井状落水洞,洞内以一定坡度向出口倾斜。出口段为向洞内底板逐渐抬高的水平溶洞。④洞穴系统的入口规模一般比出口大。这主要是入口段水流的水力坡度大和饱和系数小,溶蚀侵蚀能力强,因此形成溶洞规模较大;而出口段因水力坡度小及水中 CaCO_3 已接近饱和,溶蚀侵蚀能力相对较弱,因此溶洞规模一般较小。⑤出口段溶洞多为层楼状结构,彼此间多以竖井状或倾斜管道连通。一般最下层为现代水流洞穴,上层为旱洞。这是地壳不断抬升、河谷侵蚀基准面不断下降的结果,也是溶洞发育阶段性、继承性和向深性的体现。⑥洞内机械堆积物发育,砾石成分一般较复杂,均有圆化现象,并有从入口向出口砾径逐渐变小和磨圆度逐渐变好的规律。出口段多有阶地现象。

3.2 汇流型溶洞

汇流型溶洞是指只有出口而没有明显入口的洞穴系统。一般是由分散补给,集中排泄的水动力条件形成的。受地质构造和排泄基准面控制,往往在排泄基准面附近形成集中径流排泄,因此在排泄点附近最先形成岩溶管道流。由于管道水流是低水势区,能够汇集周围的岩溶裂隙水向管道径流,形成集中水流,岩溶管道扩大更快,能够袭夺、汇集更大范围的地下径流,最终形成树枝状洞穴系统。该类洞穴在清江流域也有不少。如恩施龙洞洞穴系统发育于恩施盆地东侧柏杨坪—磨刀石向斜的三叠系嘉陵江组岩层中,其出口龙洞位于清江支流龙洞河东岸。据野外调查,该洞穴系统由南、东、北 3 支主通道及众多分支管道组成(图 4)。受地层展布控制,南北两支管道延伸长,东支管道延伸短,在其交汇处一般形成漏斗状落水洞。龙洞分为两层,下层为出水洞,上层为旱洞。

汇流型溶洞一般具有如下特征:①溶洞出口段洞穴明显,补给区仅发育串珠状落水洞,落水洞无地表水流入,洞内有时可见小股水流。②与伏流型溶洞相比,溶洞规模一般较小,延伸长度也有限,向内逐渐过渡为廊道状或大的溶隙,有时被水潭封堵。③受河谷排泄基准面下降控制,溶洞亦有多层结构,这与伏流型溶洞相同。④由于受混合水流溶蚀能力变强的影响,在两股水流交汇处一般形成大厅状溶洞,当大厅扩大到一定程度不能承受上部岩层重力时,即发生塌陷,形成竖井状落水洞或漏斗状落水洞,所以有落水洞的地方一般是管道交汇的场所。⑤溶洞底部一般较平坦,亦有砾石堆积,一般砾石成分较单一,主要为流经岩层的岩石,砾径一般较小。

4 结 语

岩溶洞穴的形成与岩性、构造、地质结构和水动力条件等因素有关,其中水动力条件能综合代表和反映岩溶洞穴的发育环境,因而是最根本的控制因素。水动力条件的优劣与原始渗流通道的特点、排泄基准的位置、集水构造的地质结构与规模以及水流的汇水条件等因素有关,它们的不同组合构成不同的水动力条件,使岩溶发育存在很大差异,因而岩溶洞穴特征也有很大不同。因此按照水动力条件的不同划分溶洞类型最能反映溶洞形成的过程和发育特点,这对于在理论上深化洞穴成层性规律的认识和运用洞穴成层性的分析方法解决水利水电工程地质勘察和岩溶水文地质勘察都有重要的指导意义。因此,按流域进行溶洞研究可以更好的了解岩溶洞穴的发育规律和认识岩溶发育演化历史。

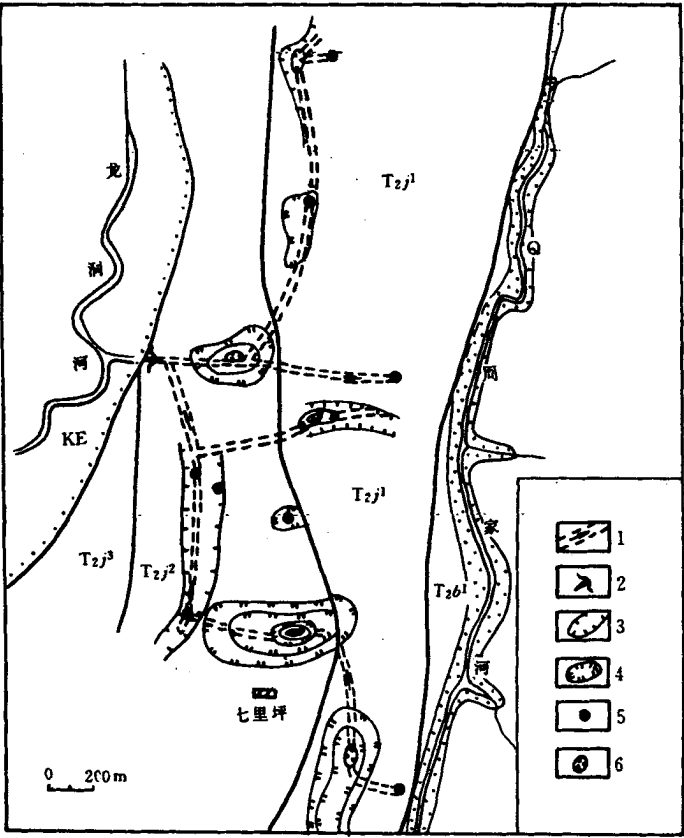


图 4 龙洞洞穴系统平面展布图(据文献 1)

Fig. 4 The plane map of Longdong cave system

1. 暗河及流向; 2. 龙洞; 3. 岩溶槽谷; 4. 岩溶洼地; 5. 漏斗、落水洞; 6. 暗河天窗

参 考 文 献

1 沈继方,李焰云,徐瑞春等.清江流域岩溶研究.北京:地质出版社,1996
2 张英骏,缪钟灵,毛健全等.应用岩溶学及洞穴学.贵阳:贵州人民出版社,1985:196~200
3 张任,岩溶洞穴分类新思考.中国岩溶,1994,13(3):229~236
4 杨明德.伏流型溶洞的形成与演化.中国岩溶,1995,14(增刊):49~55
5 董炳维,腾龙洞洞穴系统及其开发价值.中国岩溶,1987,6(4):323~327

THE DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF KARST CAVES IN QINGJIANG RIVER BASIN

Wang Zengyin Wan Junwei Yao Changhong

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract

Qingjiang river basin, where Tenlongdong cave, the biggest cave in China develops, is one of the regions where karst is best developed in China. This paper places an emphasis on the analysis of the development characteristics and the forming conditions of the caves in this area. Furthermore, according to the hydrodynamic condition of the I & O systems of matter and energy, the authors divide the caves into two types, that is, underground streams, and confluence, and analyse their development characteristics.

Key words Karst caves Hydrodynamic condition Underground stream cave Confluence cave Qingjiang river basin

(上接第 150 页)

序号	引用的 作 者	引用刊物名	引文期次			被引用 的作者	被引文期次		
			年	卷	期		年	卷	期
45	张 蕾	中国岩溶	97	16	04	朱文孝	93	12	04
46	张 捷	中国岩溶	97	16	04	曹建华	93	12	01
47	熊康宁	人类学学报	97	16	03	熊康宁	94	13	03
48	刘东生	第四纪研究	97	00	01	李 彬	94	13	01
49	李 彬	地球学报	97	18	04	李 彬	94	13	01
50	梁 虹	地理科学	97	17	04	梁 虹	94	13	01
51	刘金荣	中国岩溶	97	16	04	刘金荣	95	14	增刊
52	李景阳	贵州工业大学学报	97	26	02	李景阳	95	14	01
53	闵茂中	中国岩溶	97	16	03	闵茂中	95	14	04
54	梁 彬	中国岩溶	97	16	03	李栋臣	95	14	04
55	闵茂中	中国岩溶	97	16	02	闵茂中	95	14	04
56	肖鸿林	中国岩溶	97	16	02	肖鸿林	96	15	04
57	宋晓梅	淮南矿业学院学报	97	17	03	朱学稳	96	15	01
58	田友萍	中国岩溶	97	16	02	田友萍	96	15	03
59	刘再华	地质学报	97	71	03	覃嘉铭	96	15	02
60	刘金荣	中国岩溶	97	16	04	覃嘉铭	96	15	01
61	丁士群	中国岩溶	97	16	01	周洪文	96	15	04
62	李 彬	中国岩溶	97	16	04	李 彬	97	16	02
63	闵茂中	中国岩溶	97	16	03	邓自强	88	07	增刊
64	张祯武	工程勘察	97	00	03	张祯武	95	14	03

《中国岩溶》编辑部