

贵州省威宁县老干洞洞穴成因与价值研究

黎有为 贺卫 钱治 吴克华 高占冬 江波 李坡

(贵州省山地资源研究所, 贵州贵阳 550001;

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】威宁一带尚未有可供开发的洞穴旅游资源报道。对威宁县老干洞进行实地测量并绘制洞穴图, 结果显示, 老干洞呈 NE-SW 向发育于下二叠统茅口组 (P₂m) 灰岩中, 由 1 条主洞及 4 条支洞组成, 实测长度为 1038m, 深度为 24.67m。洞穴总共分为三层, 二、三层洞穴洞底发育季节性地下河, 第一层洞底终年积水。洞道坡降较小, 形态呈拱形、三角形、椭圆形、楔形、梯形等, 滴石类及流石类洞穴次生化学沉积物发育, 冲积物主要为粘土及粉砂。老干洞为一大型洞穴, 在适宜的气候、岩性、构造及水文条件下形成, 洞穴形成经历了深潜期、渗流期及半悬托期三个阶段, 具备一定的开发价值, 可整合周边旅游资源综合开发, 将带动区域经济发展。

【关键词】地质遗迹, 洞穴成因, 价值, 旅游, 威宁

【中图分类号】P642.25 **【文献标识码】**A

【文章编号】1003-6563(2016)05-0025-07

0 引言

地质遗迹是指在地球演化的漫长地质历史时期, 由于各种内外动力地质作用形成、发展并遗留下来的地质现象, 可用以追索地球演化历史。岩溶洞穴作为大自然留给我们宝贵的地质遗迹, 是一种不可再生的、具有多方面价值的国土资源。

我国西南地区是世界最大的喀斯特集中连片分布带, 该地区碳酸盐岩广布, 气候温暖湿润, 在特殊的构造背景及水动力条件下发育了数以万计的岩溶洞穴, 对该地区洞穴研究已成为地学界广泛关注的课题。目前威宁县一带尚未有可供开发的洞穴旅游资源报道。老干洞是威宁县新发现的一处优秀洞穴资源, 仅有村民进洞踏勘, 尚未有人做出细致的调查, 本文在 1:500 洞穴调查基础上, 对老干洞测量制图, 分析其特征, 探讨其成因, 并对其价值进行研究。一方面为威宁县洞穴资源开发及保护提供科技支撑, 另一方面为我国洞穴探险爱好者、洞穴旅游工作者及科研工作者提供技术参考。

1 地质地理概况

老干洞地理位置位于乌蒙山北段, 交通位置位于贵州省威宁彝族回族苗族自治县西南部麻乍镇乐利村马百大河北岸, 处于滇黔交接部位(图 1), 距威宁县城 30km, 距六盘水市 70km, 距昭通市 80km

，洞 1：!地理坐标:东经 104° 09' 59.36"，北纬 26° 38' 42.41"。该地区属亚热带气候区，据气象数据统计，威宁县年平均气温 10~12t，极端最低气温-15.3 尤，极端最高气温 32.3T，降水量丰富，年平均降水量 950.9mm，降雨主要集中在 5-10 月，降水量占全年的 88%。



图 1 老干洞地区地质图

Fig. 1 Geomap of Laogan cave region

区域地质上，老干洞一带位于上扬子古陆块之扬子陆块南部碳酸盐背台地内。晋宁期以来，随着 Rwlinia 超大陆的裂解，该区经历了加里东期 (Z-S)、海西-印支期 (D-T2) 两个旋回构造运动及多类型盆地叠加作用，接受了巨厚的海相碳酸盐岩沉积，为区内洞穴的形成奠定了物质基础。中生代印支-燕山期扬子板内雪峰陆内印支-燕山期 SE-NW 向扩展运动使得区域地层再次发生褶皱和断裂，形成 NE、EW 和进 SN 向宽缓叠加-复合构造，奠定目前构造格局。新生代之后，随着威宁地区抬升，河流深切，形成现今地貌形态。在老干洞一带，主要出露下二叠统茅口组 (P₂m) 中厚层灰岩、上二叠统峨眉山组 (P₂e) 玄武岩、火山角砾岩(前人区调资料为“二叠二分法”，本文沿用前人资料)，碳酸盐岩周围被火山岩、火山碎屑岩覆盖。该地区构造主要发育 NE 向、NW 向断层 (图 1)、三组共轭节理及宽缓背斜，在老干洞附近岩层倾角近于水平，为形成大型洞穴有利的构造条件。

地貌上，老干洞一带发育喀斯特山地谷地地貌形态，该区喀斯特地貌外_被非岩溶地貌区包围。洞口周围主要表现为受地表溶蚀-侵蚀作用形成浑圆状山顶、长垣状山脊，山间见有 U 形峡谷 (干谷)、锥状漏斗、船状洼地、坡立谷、落水洞，两岸缓坡上见有溶沟、溶槽、石芽等。峰顶海拔在 2000m~2400m，谷底海拔在 1600m~1900m，马百河北岸地带谷深 300m~500m，在马百河处，峡谷切割深度达 600m~800m。侵蚀河流两岸仅见一、二级阶地分布，堆积物具二元结构，1：部为亚粘土、亚砂土，下部为砂砾石层。该地区地下溶蚀作用较显著，河谷地带常发育有出水溶洞，形成地下河，谷底有伏流，地下水埋深多大于 200m。

2 研究方法

主要运用野外调查及综合分析方法。调查研究工具包括:地质锤、罗盘、倾角仪、皮尺、GPS、数码相机、对讲机、闪光灯(神牛威客 AD360 闪光系统及引闪器)、红外激光测距仪、防水记录本、铅笔、CO₂ 测定仪(OLDHAMC1100)、温湿度测定仪(HC520)、地形图(1:50000)、地质图(1:50000)、探洞装备(包括探洞头盔、手电筒、探洞服、水鞋等)。调查人员包括前测手、后测手、记录员、摄影师、辅助人员 2 名。由洞口至洞内选取并标记同定测点进行测量,两测点间连线为导线。后测手以前测手为参照物,手持激光测距仪测量方位角、坡角、上高、下洼、左右宽等数据;前测手用罗盘对方位角、坡角数据进行再次测量(减少误差)并告之记录员;记录员负责记录测 M 数据、照片位置、采样位置、微地貌特征、沉积物类型及特征、岩层岩性、构造形迹、水文等,记录后绘制信手图(包括平面图、横剖面图及相关素描图);摄影师负责灯光布置及摄影。调查时,测量精度需控制在 1%以内。

野外调查后填写测量表,测量表内容包括:测量内容、调查人、时间、天气、点号、上高、下洼、左宽、右宽、方位角、坡角、岩层产状、备注(素描图及图号、照片及照片号、采样点号及样品名称等)、点间描述等。将数据输入 GHTOP0_chs_v1.2 软件生成测量导线及玫瑰花图,后依据野外信手平剖面阁和记录,运用 MAPGIS6.7 及 CoreldrawX4 等软件进行洞穴图矢量化,最后综合分析其成因,探讨其价值。

3 结果与分析

3.1 老干洞洞穴特征



老干洞洞口位于马百大河北侧的半山腰上，洞穴发育于下二叠统茅口组 (P, m) 中厚层灰黑色块状灰岩中，洞中发育季节性地下河排入可渡河。老干洞由一条主洞及 4 条支洞组成 (图 2a、b)，目前实测总长度为 1038m，深度为 24.67m，主洞走向 NE-NNE，洞道发育较为平缓，主洞及支洞末端由于被积水覆盖，延伸长度不明。该洞目前仅发现一个洞口，洞口朝向 SW225°，横剖面形态近似椭圆形，实测宽度 276mm，高度 197mm，海拔高度为 1655m。2015 年 10 月 14 日在洞口测得空气湿度为 53%，温度 18.8T，CO₂300ppm(晴天)；2016 年 3 月 2 日测得洞口空气湿度 42%，温度 6.31，O₂ 含量为 500PPm(晴天)。根据洞穴的发育方向、沉积物特征、洞穴形态、水文状态，将老干洞分三层，由洞口向洞内前行至约 436m 处的洞穴为第三层 (图 2a)，其余未封水洞道为第二层，主洞及支洞末端封水洞段为第一层 (图 2b、c)。洞内洞穴次沉积物发育较全，规模体量较大，冲积物主要为粘土及粉砂，崩塌物少见，砂、砾石不发育。

第三层洞道主要为拱形、三角形、椭圆形、楔形、梯形，宽 7.5m~34.6m，一般在 15m~20m，高 5.3m~21.7m，一般在 10m~20m，洞道总体呈近 NE-SW 走向发育 (图 2c)。该层洞穴发育有三个洞穴厅堂，洞厅宽 10m~30m，长 40m~100m，面积 600m²~2000m²。第一个洞厅横剖面近似拱形，规模较小，厅内见少量大型石柱、石笋、石钟乳，次生沉积物规模较大，往往受节理构造控制而成线状分布，次生沉积物表面被泥土覆盖其颜色不可见，洞厅内测得空气温度 13.9T，湿度 51%，CO₂ 含量 0.06%(2016 年 3 月 2H 测)。第二个洞厅横剖面呈拱形，仅在洞厅右壁见有少量石笋、石钟乳、石柱。第三个洞厅为第一层洞穴中最美，规模最大的厅堂，在洞顶见有体量较多的乳突状、管状石钟乳及石旗等，两侧洞壁见有石幔、石柱，该洞厅次生沉积物色彩多样，呈褐、黄、灰、绿、白等颜色，洞厅内测得空气温度 12.1 丈，湿度 62%，CO₂ 含量 0.06%(2016 年 3 月 2 日测)。第一层洞道末端经过一个坡角约 40° 的缓坡进入第二层洞道。第二层洞道主要呈拱形、三角形、椭圆形、楔形等，洞道宽 4.132.7m，一般 5m~15m，高 1.4m~20m，一般 5m~15m，洞底常可见 V 型地下河河道。该层洞穴共发育三个洞厅，面积 600~3000m²。第一个洞厅长约 200m，宽约 2030m，在洞道北侧有一个黏土、粉砂质的小缓坡，右侧为一地下河道。在两侧洞壁上见有较多的石幔、石钟乳，较为美观。第二个洞厅长约 200m，宽约 15m~20m，洞顶发育大量石笋，但石笋表明附着大量黑色淤泥，影响了石笋美观。第三个洞厅较小，洞顶石钟乳也较为发育，但经第三洞厅下一缓坡后即进入封水洞段，洞厅内测得温度 17.5t，湿度 79%，CO₂0.09%(2016 年 3 月 3 日测)。第一层洞道发育在主洞及支洞末端，与第二层洞段有缓坡或陡坡相隔，标高小于 1640m，该层洞穴洞底常年封水。

总而言之，老干洞呈 NE-SW 向发育，近于水平，南部稍高。二、三层洞穴洞底发育季节性地下河，丰水季节有水向南排入马百大河中，第一层洞段洞底终年积水。洞道形态呈拱形、三角形、椭圆形、楔形、梯形等。洞内测得温度 12.1T~17.5T，湿度 51%~79%，CO₂ 含量 0.06%~0.09%(2016 年 3 月 2-3 日测)，说明温湿度及 CO₂ 含量高于洞外。洞穴内部有一定量的次生化学沉积物，类型较多，部分具有一定规模，造型较为美观，部分厅堂内次生沉积物规模体量较大，色彩艳丽，具有一定的观赏价值。次生化学沉积类型主要有：滴石类景观有石钟乳、石笋、石柱、鹅管、石旗等；流石类景观有石帘、边石坝等 (表 1)。冲积物仅见粘土、粉砂等，砂、砾石等及崩塌物不可见。

表 1 老干洞次生碳酸钙积物一览表

Tab. 1 Deposit type of secondary calcium carbonate

沉积水流	洞顶	洞壁	洞床	
			干洞床	洞池
重力水	悬滴水	乳突状、管状、倒锥状、弯状、丛状钟乳石	塔状、丘状、杆状、锥状石笋	
	溅滴水	石榴、小石珠		
	薄片漫流水	石旗、石帘、石幔	钙板	
非重力水	水池			边石坝
	水池静水及极缓或非流			洞穴钙膜
	毛细水	卷曲石、石枝、石枝、石枝丛		
	凝结小水珠	小石毛、小石珠		

3.2 洞穴成因讨论

喀斯特洞穴是特殊岩性、构造、气候及水动力等条件耦合的产物。从洞穴形成条件上来看，老干洞一带属亚热带气候区，气候适宜，雨量较充沛，另外在独特的构造背景下形成了一套碳酸盐岩建造，为大型洞穴的形成及演化创造了良好的物质、介质条件。构造是控制洞穴发育的重要条件，断裂、节理等构造薄弱地带常为地下水提供运移空间，该地区 NE-SW 向构造发育（图 1），洞穴总体洞穴走向为 NE-SW 向（图 2c），与区域构造走向一致，说明 NE-SW 向构造可能为主要的控洞构造，而洞穴调查过程中在洞内发现的节理裂隙则有助于洞穴网络的发展扩大。老干洞位于非岩溶地貌间的块状岩溶地貌带，为外源水的进入及相应的水文地质和水文地球化学环境的形成创造了有利条件。由于碳酸盐岩地层质纯而层厚，岩石透水性好，加之玄武岩地层覆盖于碳酸盐岩地层之上新生代被逐渐剥蚀，在侵蚀性外源水长期侵蚀及溶蚀作用下，老干洞地区岩溶洞穴发育强烈，地下洞穴化程度高。

洞穴系统是一系列活动管道网络随时间演化的结果，结合地质、地貌、洞穴轮廓及沉积物形态类型，老干洞系统主要经过了以下演化过程。

深潜期

老干洞发育于下二叠统茅 U 组 (P, m) 灰岩中, t 覆地层为峨眉山玄武岩, 下伏地层为下二叠统梁山组碎屑岩。洞穴发育地层犹如“三明治夹心层”, 为一孤立水文地质单元。该时期洞穴正处在一个深部岩溶区, 由于裂隙不太发育, 整个水文环境是一个封闭的系统, 岩层完全饱水, 地下水在特殊的流体力学及流体静力学压力下跨越褶皱层层面流动。该时期水力梯度较小, 运动无方向性, 混合溶蚀是主导的洞穴生长方式, 溶蚀下来的物质不易于搬运。该时期形成的岩溶管道主要为溶隙, 尔后随着溶蚀作用的进行, 岩溶管道不断被扩大, 岩溶水作用不断增强, 侵蚀作用渐渐开始出现。

渗流期

新生代威宁地区地壳正处于强烈的抬升剥蚀期, 随着河流的下切, 包气带增厚, 老干洞一带岩溶水逐渐由承压水转为渗流水。随着地表玄武岩不透水层被剥蚀, 初期节理等裂隙不断扩大, 山顶玄武岩等隔水层逐渐被剥蚀, 卸荷节理慢慢发育, 扩大并与初期节理相连接, 洞穴雏形开始形成。这时侧蚀作用为主要的营力, 地表河流逐渐被地下河袭夺, 形成老干洞地下河, 洞穴周边发育的干谷就是古地表河流被袭夺的证据。随着马百河的深切, 岩溶管道继续扩大, 地下水排泄基准面开始下降, 老干洞岩溶作用主要动力开始由溶蚀为主转化为沿构造薄弱面开始下蚀及崩塌作用, 溶蚀残余物逐渐被搬运排泄, 拱形、椭圆形、近三角形等洞穴形态由此形成, 洞穴次生沉积物在这一阶段开始逐渐生长。

半悬托期

随着马百河的进一步深切, 地下水排泄基准面进一步下降, 老干洞第一层洞穴地下河转变为季节性河流, 开始进入半脱水状态, 这一阶段造成老干洞的成层化, 是由于地壳间歇性抬升及地下河差异性侵蚀形成。此时第二、三层洞穴标高一致, 洞底还是常年封水, 旱季时, 洞底地下河转为地下湖, 沉积了较厚的土壤沉积层, 雨季时, 外源水的进入导致洞穴地下湖泊演变为地下河, 向洞口排出。随着地壳进一步抬升, 第二层洞穴开始进入半悬托状态, 在地下河下切作用下, 在第二层洞穴洞底形成 V 型河道, 第三层下切形成, 0 前第三层洞穴洞底正处于常年封水阶段。但属于渗流末期, 随着地壳的继续抬升及包气带的增厚, 老干洞未来将完全悬托于排泄基准面之上而变为旱洞。

3.3 价值讨论

3.3.1 旅游价值

交通与周边旅游资源环境: 威宁县地理位置特别, 它即是黔西北的“屋脊”, 又是川、滇、黔的交通要道, 已形成由铁路、公路、机场等几种运输方式构成的交通运输网络, 旅游区位优势明显。老干洞位于威宁县麻乍镇乐利村南部的马百大河北岸, 距 G326 国道 15km, 目前出国道有乡道及简易乡村道路通至马百大河, 沿河可步行至洞口。洞穴紧邻马百大山景区, 该景区虽然相对开发程度不高, 但高原岩溶地貌、火山岩地貌并存, 野生动、植物资源丰富, 区域山川秀美, 气候宜人, 山下沟谷连绵, 河流潺潺, 交通方便, 风光秀丽, 开发价值较高。

典型性与稀有性：老干洞经历了溶蚀、侵蚀、崩塌、沉积等物理、化学复杂演化过程，其洞厅较多且规模较大，洞腔体量，沉积物造型丰富、优美，在威宁有一定的稀有性和典型性，是威宁地区 0 前已经探测的最具有开发价值的洞穴。

洞穴规模：老干洞为一天然形成的大型喀斯特洞穴，目前实测总长度 1038m，洞道宽度一般 20m 左右，最窄处宽度 8m，最宽处为 35m，洞道高度一般为 15m 左右，最低处 5m，最高处 22.1m，洞穴内有 8 个洞厅，支洞较为短小。

次生沉积物美观性：老干洞内发育了较丰富的次生化学沉积物，特别是洞穴第一层及第二层后段，沿约 200m 洞道延绵不断，发育密集，形态多样，造型优美，色彩鲜艳，沉积物主体色调为灰白色，也有一些褐色、黄色等碳酸钙沉积，色调和谐。其中洞中石笋、石幔、石柱发育最为典型，形态逼真，规模较大，具有一定的旅游观赏价值，但大部分沉积物上被淤泥覆盖，经清洗后不影响美观。

安全性：老干洞穴以梯形洞道和拱形洞道为主，七个洞穴厅堂，最大洞厅面积约 3000m²，洞穴的发育地层为厚层碳酸盐岩，岩层倾角平缓，基本无软弱夹层，胶结性好，洞道内有少量的构造网格，但基本有次生碳酸盐沉积物胶结充填，与岩层交角也较大。洞穴洞顶有滴水，有季节性地下河。洞顶及侧壁多见基岩，崩塌堆积物发育差，局部有鲜崩塌痕迹，加之洞室部分表面较平整，拱形好，洞内基本无危岩，无现实性崩塌现象，洞底也基本无溶井或漏斗。总体来说，老干洞基本稳定，旅游安全性高。

老干洞属大型洞穴，具备旅游开发景观资源条件，有一定的开发价值，但周边交通、旅游等环境不成熟，建议整合周边旅游资源进行综合开发。

3.3.2 科学科普价值

老干洞发育在一相对独立的喀斯特水文单元内，是地质-气候-水动力条件耦合的产物，经长期演化而形成的喀斯特洞穴系统，其发育演化过程中既包括化学溶蚀、机械冲蚀、重力崩塌、生物溶蚀等作用，也涵盖了水流的化学沉积作用，在喀斯特洞穴形成机制与成因中具有非常典型的代表意义。洞穴内有较丰富的碳酸钙沉积物，具有多期沉积的特点，通过对其利用放射性同位素年代学等手段，可较准确的得出沉积物的沉积环境和沉积时间，并可推断老干洞乃至贵州省西部地区古地质构造环境、古气候环境及古水文等。探索该地区地貌-地质-气候演化的过程及三者的耦合关系，可以提高马百大山科普价值，丰富地质科学内容，同时对生态环境保护，资源开发提供科学的借鉴作用。另夕卜，老干洞的形成与演化和单元内构造间歇性抬升、水系变迁、地下河的演化有密切的关系，有其特殊性，典型性和代表性。通过继续对该洞的探测与研究，不仅可了解洞穴的形成和演化过程，还有助于了解区域地下河流变迁、黔西地区新构造演化史等科学问题。老干洞内生物多样性强，空气洁净，具有洞穴生物、洞穴空气、洞穴医疗等方面的科学科普价值。

威宁南部主要由复式褶皱、压扭性质的断裂构成，使地层遭受破坏，次生渗透性增高，为岩溶的

发育提供了较好的条件。洞穴发育的地层岩相、洞内古生物化石对于研究岩相古地理具有一定价值;研究洞穴内部构造形迹等可反演古构造演化史;对次生沉积物的矿物学研究可以了解其矿物形成机理、溶蚀过程等,可以帮助了解这些矿物形成时的古洞穴环境。

综上所述,老干洞在洞穴学、地质学、水文地质学、古气候等研究都具有一定的科学科普价值。

3.3.3 社会经济价值

威宁是贵州西部重要的旅游线路之一,对老干洞一带旅游资源整合开发建设,无疑将为威宁南部旅游业增加一批十分重要的内容,推动当地经济发展。同时,对老干洞合理开发能够为当地创造更多的财富以及就业机会,转变人们的思想观念,地质遗迹、境内水资源及自然屯态环境也将得到保护。

3.3.4 美学与摄影拍摄价值

洞内空间大,沉积物形态多样,五颜六色,地下河流湖泊幽暗深邃,具有雄伟、旷阔、幽深、奇特、野逸等审美风格类型,既有自然美,也有虚幻的意境美,具有一定的美学和摄影拍摄价值。

3.3.5 探险价值

老干洞第三层由于洞底封水,人无法进入,而第三层后的洞穴内正是从未有人涉足过的场所,可进行攀岩、科考探洞、潜水、洞穴划艇等探险活动,具有一定的科考探险价值。

4 结论

老干洞由1条主洞及4条支洞组成,实测长度为1038m,深度为24.67m。洞穴分为三层,二、三层洞穴洞底发育季节性地下河,第一层洞段洞底终年积水。洞道形态呈拱形、三角形、椭圆形、楔形、梯形等,滴石类及流石类洞穴次生化学沉积物发育,冲积物主要为粘土及粉砂。

喀斯特洞穴是特殊岩性、构造、气候及水动力等条件耦合的产物。老干洞为一大型洞穴,呈NE-SW向发育于下二叠统茅口组(P₂m)灰岩中,洞穴周边气候适宜,雨量充沛,NE-SW向构造为主要的控洞构造。洞穴位于非岩溶地貌间的块状岩溶地貌带,在侵蚀性外源水长期流入作用下,老干洞地区岩溶洞穴发育强烈,地下洞穴化程度高。老干洞洞穴发育主要经历了深潜期、渗流期及半悬托期三个阶段。

老干洞具备一定的旅游开发价值,可整合周边旅游资源综合开发,将带动区域经济发展。

参考文献:

[1]EDER W. Unescogeoparks-A new initiative for protection and sustainable development of the earth heritages [J].N. JB. Geol. Palaont. Abh, 1999,214(1-2) : 353-358.

[2]赵汀, 赵逊.地质遗迹分类学及其应用[J].地球学报, 2009, 30(3):309-324.

[3]李坡, 贺卫, 郭春艳.洞穴资源及其旅游开发利用方式探讨[J]•贵州科学, 2015, 33(6):92-94.

[4]熊康宁, 刘时珍, 刘子琪, 等中国南方喀斯特”的世界自然遗产价值对比分析[J].中国工程科学, 2008, 10(4): 17-28.

[5]杨汉奎, 田维新, 杨斌.洞穴研究与洞穴开发保护 [J].中国岩溶, 1998, 17(3):239-244.

[6]陈伟海.洞穴研究进展综述[J].地质论评, 2006, 52: 783-792.

[7]PU J B, YUAN D X, ZHAO H P, et al. Hydrochemical and PCO₂ variations of a cave stream in a subtropical karst area, Chongqing, SW China: piston effects, dilution effects, soil CO₂ and buffer effects[J]. Environ Karst Sci, 2014, 71 : 4039-4049.

[8]LI T \ , LI H C, XIANG X J, et al. Transportation characteristics of 813C in the plants-soil-bedrock-cave system in Chongqing karst area [J]. Science China Karst Sciences, 2012, 55(4) : 685-694.

[9]WANG X X, WU Y H, SHEN L C. Influence of air CO₂ on hydrochemistry of drip water and implications for paleoclimate study in a stream-developed cave, SW China[J]. Acta Geochim, 2016, 35(2) : 172-183.

[10]贺卫, 李坡.织金洞发育特征及其科学价值[J].贵州科学, 2016, 34(2):34-36.

[11]陈洪德, 张成弓, 黄福喜, 等.中 t 扬子克拉通海西- 印支期 (泥盆纪-中三叠世) 沉积层序充填过程与演化模式 [J].岩石学报, 2011, 27(8): 2281 -2298.

[12]黄福喜, 陈洪德, 侯明才, 等.中上扬子克拉通加里 东期 (寒武-志留纪) 沉积层序充填过程与演化模式[J]•岩石学报, 2011, 27(8):2299-2317.

[13]YAN D P, ZHANG B, ZHOU M F, et al. Constraints on the depth, geometry and kinematics of blind detachment faults provided by fault-propagation folds, an example from the Mesozoic fold belt of South China[J]. Journal of Structural Geology, 2009, 31:150-160.

[14]DENG B, LIU S G, JANSAL F, et al. Sedimentary record of Late Triassic transpressional tectonics of the Longmen-shan thrust belt, SW China[J]. Journal of Asian Earth Science, 2012, 48:43-55.

[15]DANIF I. B, Montserrat J S, Joaquin G S, et al. Geological methods applied to speleogenetical research in vertical caves: the example of Torca Teyera shaft(Picos de Europa, northern Spain) [J]. Carbonates Evaporites , 2011, 26: 29-40.

[16] Milan M R. A new view on karst genesis[J]. Carbonates Evaporites , 2013, 28: 383-397.

[17]张英骏, 缪钟灵, 毛健全.应用岩溶学及洞穴学[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1985.