

四川省康定市金汤地区一种新型溶洞及其发育机制

邓朝燕 刘顺

成都理工大学地球科学学院

DOI:10.12238/gmsm.v5i2.1324

[摘要] 在四川省康定市金汤镇境内发现与岩溶洞穴相比有许多独特之处的新型溶洞,了解其发育与形成对溶洞的研究有着重要意义。本文以野外考察为基础,介绍了金汤新型溶洞的形态特征,分析了其发育过程。研究表明:金汤新型溶洞发育于页岩(板岩)之上,位于山体之外,平行于峡谷边缘沿北西-南东方向水平延伸,整体呈单通道廊道式。地下水溶蚀本溶洞南西侧碳酸盐岩,受地貌、岩性及断裂影响,岩溶水向南东以地表、地下两种形式排泄流至金汤新型溶洞所在的峡谷谷坡陡崖处沉积,地表径流岩溶水沉积较快,地下渗流岩溶水沉积较慢,差异性沉积使得溶洞形成。

[关键词] 金汤新型溶洞; 形态特征; 成因机制

中图分类号: P2 文献标识码: A

A New Type of Karst Cave and Its Development Mechanism in Jintang Area, Kangding City, Sichuan Province

Chaoyan Deng Shun Liu

College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology

[Abstract] Compared with common karst caves, a new type of karst cave has been found in Jintang town, Kangding City, Sichuan Province. It is of great significance to understand its development and formation. Based on field investigation, this paper introduces characteristics of the new karst cave in Jintang and analyzes its development process. The research shows that the new karst cave in Jintang is developed on shale (slate), outside the mountain, and extends horizontally along the northwest-southeast direction parallel to the edge of the canyon, presents a single channel corridor type. Groundwater erodes the carbonated rocks in southwest side of the cave. Affected by landform, lithology and fractures, the karst water drains to the south-east in the form of surface and underground to the canyon valley slope and cliff where the new Jintang karst cave is located. The earth's surface runoff karst water deposits faster, the underground seepage karst water deposits slowly, and the differential deposition makes the formation of karst caves.

[Key words] new karst cave in Jintang; morphological characteristics; formation mechanism

引言

四川省康定市金汤镇河坝村SE向大沟,发育一种与岩溶洞穴相比有许多独特之处的新型溶洞,它们无论在构造背景、形态特征还是成因机制上都与典型的岩溶洞穴不同,研究它们将有助于我们识别和推断地貌发育,对于研究溶洞的成因与演化有着重要意义。

溶洞作为岩溶地貌最重要的研究内容之一,成为国内外众多地质学家的研究对象。近年来,国内岩溶洞穴的研

究集中于洞穴的成因类型、演化机制等(朱德浩,1993;陈伟海,2006;欧阳军勇等,2021)。朱德浩认为形成洞穴的作用过程主要有三种:溶蚀作用、侵蚀作用、崩塌作用,其中溶蚀作用最为重要(朱德浩,1993)。而陈伟海从洞穴形成作用差异性出发,将洞穴分为三大成因类型:雨水型洞穴,地下热水形成洞穴,不同化学类型水混合溶蚀作用而形成(陈伟海,2006)。国外科学家研究时总结溶洞或溶洞系统的定义,认为其地下

水的输入与其形态是密切相关的(Ford,1988;Davis,1930;Swinnerton,1932等),Bogli.A认为洞穴的形成是涉及地下天然空洞的产生和演化的所有过程作用的结果,同时洞穴的成因还受到气候、构造等因素的影响(Bogli.A,1980)。本文发现的新型溶洞主要由沉积作用形成,是一种溶洞的新类型,暂将其命名为金汤新型溶洞。目前暂未发现关于本文提及的新型溶洞相关文献以及关于本区溶洞的研究内容。

本文通过野外露头的观测, 结合区域地质背景及相关文献资料, 对金汤新型溶洞形态特征进行描述, 并探讨其形成发育过程。

1 研究区域概况

金汤新型溶洞位于康定县城30°方向, 属康定市三合乡河坝村, 溶洞地理坐标为: 东经102°19.226', 北纬30°17.299', 海拔高度2576m。

1.1 自然地理条件

研究区地处四川盆地西缘山地和青藏高原的过渡地带, 地势由西向东倾斜。东部为高山峡谷, 西部是青藏高原东缘, 西北部为丘状高原区, 地貌上以宽阔的丘状高原区镶嵌宽浅河谷为特征(孙凯, 2010)。境内最高点为贡嘎山主峰, 海拔为7556m, 境内最低点为大渡河, 海拔高度为1390米, 由于地壳间歇性抬升, 区内地形切割强烈, 沟谷纵横发育。

研究区按地理纬度应属亚热带气候, 因地处川西高山峡谷区, 且在盆地向高原过渡区域, 所以形成了典型的青藏高原原型季风气候, 垂直分带特征较为明显, 随着海拔高度的增加, 气温逐渐降低、降水量增多, 蒸发量减少(熊小康, 2020)。区内年降水量丰富, 但分配不均, 主要集中于夏季, 年平均降雨量为830mm。年平均气温7.5℃, 年平均最低温度3℃, 年平均最高温度12℃, 年日照数1738小时, 无霜期177天。

区内地表水系发达, 境内河流密集, 共有大渡河、金汤河等大小河流溪涧共一百余条, 流域面积从几平方公里到上千平方公里。主要的流水方向为南北向、北东向、北西向, 河流接受大气降水及冰雪融水补给, 水量丰富, 但径流量空间和季节分布不均, 丰枯变化较显著, 丰水期主要集中在降雨量丰富的5~9月, 枯水期则在降雨量较少的12月份至次2月份。

1.2 地质条件

研究区位于四川盆地以西、松潘-甘孜造山带南段, 地层区划属扬子地层分区九顶山小区。金汤新型溶洞及附近地区出露地层主要为下泥盆统(D₁)、中泥盆统(D₂)、中二叠统(P₂)、中三叠统(T₂)、上志留统(S₃), 其中金汤新型溶洞

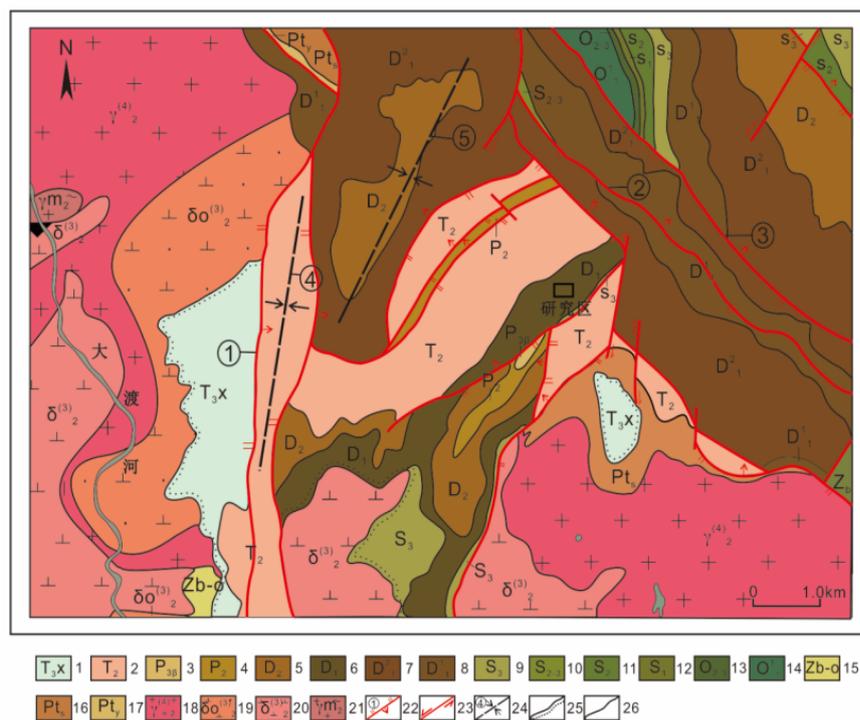


图1 研究区构造简图

- 1 上三叠统须家河组; 2 中三叠统; 3 上二叠统峨眉山玄武岩组 4 中二叠统; 5 中泥盆统; 6 下泥盆统; 7 下泥盆统上段; 8 下泥盆统下段; 9 上志留统; 10 志留系中上统; 11 中志留统; 12 奥陶系中上统; 13 奥陶系下统下段; 14 震旦系-奥陶系; 15 前震旦系井群石门坎组; 16 前震旦系井群雅斯德组; 17 澄江-晋宁期花岗岩; 18 澄江-晋宁期石英闪长岩; 19 澄江-晋宁期闪长岩; 20 澄江-晋宁期混合花岗岩; 21 逆断层及编号; 22 平移断层; 23 向斜及编号; 24 沉积不整合界线; 25 地层界线; ① 昌昌逆断层; ② 黑悬沟弧形逆断层; ③ 贝母山弧形逆断层; ④ 昌昌向斜; ⑤ 二郎向斜

主要发育于下泥盆统(D₁)。

溶洞南西侧主要出露泥盆系中统(D₂)、二叠系中统(P₂)、二叠系上统峨眉山玄武岩组(P_{3β})。其中泥盆系中统(D₂)岩性主要为浅灰色变质灰岩、白云岩夹千枚岩、泥质灰岩等。二叠系中统(P₂)岩性主要为中厚层灰岩夹页岩、泥灰岩、粉砂质板岩等。二叠系上统峨眉山玄武岩组(P_{3β})主要出露暗灰色杏仁状玄武岩。

三叠系中统(T₂)围绕溶洞南、北西侧, 主要出露中厚层白云岩、泥质白云岩夹灰岩。志留系上统(S₃)主要分布在溶洞南东侧, 中层为白云岩、结晶灰岩、生物碎屑灰岩底部为黑色钙质页岩。

泥盆系中统上段(D₁²)分布于溶洞南东、东侧, 主要岩性为浅灰色薄-中厚层灰岩、白云岩, 生物灰岩夹泥质页岩。

区域内褶皱及断裂较为发育, 主要的背、向斜有: 二郎向斜、昌昌向斜、和菩萨山背斜和二郎东背斜等。断层多为弧形压性、压扭性断裂, 主要断裂有: 昌昌逆断层、贝母山弧形逆断层、黑悬沟弧形逆断层(图1)。

区域上岩浆岩出露广泛, 岩浆活动强烈, 以喷出、侵入及贯入三种方式为主。主要有中条期、晋宁期及澄江期的岩浆活动(张锐、张人栖等, 2017)。

2 溶洞发育特征

可溶性的碳酸盐岩, 是岩溶洞穴发育的基础。受地形地貌、地质构造、水动力条件等的综合影响, 岩溶洞穴常以溶洞群形式出现, 溶洞的分布表现出明显的平面分带性和垂向成层性(罗利川、梁杏等, 2017)。且岩溶洞穴通常发育于山体内部, 伴随着溶蚀、侵蚀等作用, 溶洞

往往高、宽数米到数十米,长达数百米至数十公里。

而金汤新型溶洞发育于下泥盆统(D₁),主要以黑灰、灰褐色碎屑岩为主,厚度约为580米,岩层总体为倾向南东、倾角40°~60°的单斜构造。周边断裂构造密集,主要发育北东向褶皱及一系列小型冲断裂。由志留、泥盆、二叠等系地层组成的褶皱,走向北东,但其形态被与褶皱平行的一组冲断层所破坏。冲断层断面倾向北西,倾角大于60°,断裂两旁均有破碎、牵引等挤压现象。

金汤新型溶洞发育于山体外,平行于峡谷边缘,沿北西-南东方向水平延伸,平直且无支洞,形态简单,面积较小。洞穴总长大于10米,洞内断面最大处高约2~3米,宽约3~4米,呈单通道廊道式。洞内偶有出露口,位于陡崖峭壁上,出露口高约2.5米,宽约2米,为不规则垂向椭圆形(图2)。

洞内次生碳酸钙沉积较发育,主要有石钟乳、石笋、石柱等,规模较小且形态各异,洞壁多有钙化沉积,洞底偶有散乱堆积角砾碎屑等(图3)。洞外可见大量钙化沉积、钙质胶结物,偶可见溶塌角砾及燧石结核。在洞顶地面岩石上,可见大量股状流水,水顺陡崖呈线状下泻,流量较大,约为0.8升/秒。

综上所述,金汤新型溶洞发育于碎屑岩之上,位于山体之外,平行于峡谷边缘沿北西-南东方向水平延伸,形态简单且面积较小,整体呈单通道廊道式。

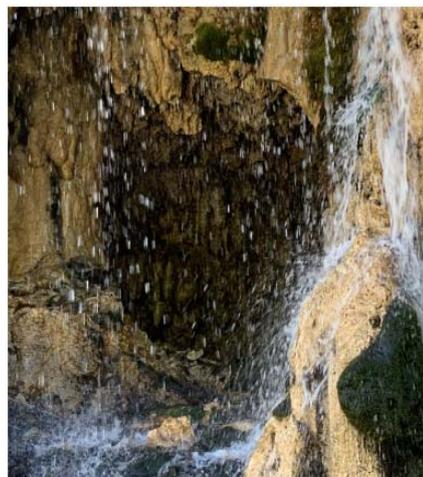


图2 溶洞洞口形态

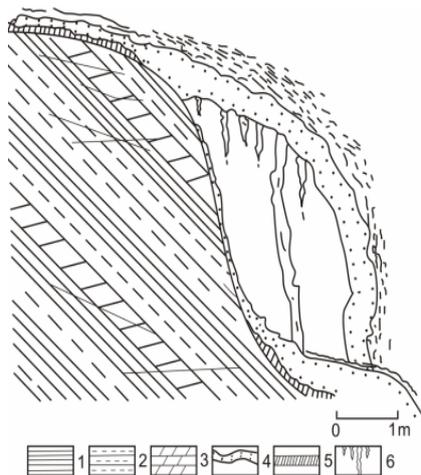


图3 溶洞剖面形态

1页岩(板岩); 2泥岩; 3泥灰岩; 4钙华沉积物; 5黏土类沉积物; 6石钟乳或石柱

3 溶洞成因探讨

岩溶洞穴的发育、演化及形成,是长期地质、水文地质作用的结果。它的发育程度在特定的水动力条件下,受岩性、岩石结构、构造、地貌和化学成分制约(李明辉、郑光琳,2007)。

而金汤新型溶洞的发育,同样须具备一定条件。溶有碳酸盐岩的水为金汤新型溶洞带来丰富的物源,而地形地貌、地质构造、地下水的参与决定了其发育程度。

3.1 可溶岩层

金汤新型溶洞发育于下泥盆统(D₁),主要岩性为灰黑色页岩、板岩,中厚层石英砂岩夹粉砂岩等。从可溶岩的纯度来看,该区岩石的可溶性较差,不具备溶洞发育的条件。

研究发现,金汤新型溶洞南西侧普遍出露泥盆系中统(D₂)、二叠系中统(P₂)、二叠系上统峨眉山玄武岩组(P_{3β})。其中二叠系中统(P₂)岩性主要以深灰色中厚层石灰岩夹生物碎屑灰岩、中厚层白云质灰岩、灰质白云岩等碳酸盐岩为主。由于其自身的化学组成和矿物成分,在自然体制下,易溶于水,为金汤新型溶洞的发育提供了基本的物质条件(欧阳军勇,2021)。

3.2 地质构造

金汤新型溶洞南东侧断裂构造密集,主要发育北东向、北北东向断裂。其中

北东向断裂,走向40°~60°,倾向南东,倾角60°~70°,为逆断层,以压扭性为主;北北东向断裂,走向20°~30°,倾向南东,倾角50°~60°。断裂构造使得岩层产生大量裂隙带,为岩溶作用提供了极为有利的通道,控制岩溶的发育形态等(谭周地,1978)。在具备丰富的补给源条件下,为区内地下水形成强径流和频繁交换提供导水通道,对金汤新型溶洞的发育起到加速作用。

3.3 地形地貌

金汤新型溶洞位于川西高山峡谷间,受地质构造及新构造运动的影响,地表起伏不平,其中南西侧主山峰海拔约3800米,与金汤新型溶洞所在地相对高差1225米,从南往北逐渐降低,西高东低略有掀斜。沟谷切割深,水系坡降大,使地块接受的大气降水在地表、地下形成天然水头势差,有利于地下水沿着北东、北北东向节理裂隙从南西往北东流动,为地下水径流提供了良好的径流条件和势能。

3.4 地下水的参与

区内地下水主要有碎屑岩类裂隙水、碳酸盐类岩溶水两类。裂隙水主要赋存于构造裂隙中,埋藏较浅,接受大气降水、河流湖泊下渗。岩溶水主要接受大气降水和上部裂隙水补给,通过落水洞灌入式或溶蚀裂隙渗入式补给到地下水(Mingming Luo、Zhihua Chen,2016)。

地下水顺着地形坡向北东运动,裂隙流转为脉状流,在断裂附近通过泉口流出地表转为地表水。地下径流与地表径流相互转换,使可溶性岩石溶于水,形成溶液,被水荷载迁移或者被水机械冲刷,破碎成碎屑物(欧阳军勇,2021),在水动力作用下通过裂隙节理搬运迁移至金汤新型溶洞附近。

4 溶洞的形成过程

岩溶洞穴,是可溶岩(主要为碳酸盐岩)因水的运移、溶蚀、侵蚀和重力崩塌作用在原地而形成的。而金汤新型溶洞在高原山地气候环境下,经历多期地质构造运动,各类岩石发生强烈的变形,产生褶皱及断裂。微酸性的地表水通过落水洞下渗到溶洞南西侧地层中,地表水

流部分转为地下水,不断沿着裂隙对石灰岩进行溶蚀,形成溶液。随着岩溶作用的进行,裂隙不断扩大,石灰岩岩体内开始形成独立的洞穴。此时,岩溶作用不断加强,大量岩溶水不断沿着节理裂隙由南西往北东运动。

由于海拔的变化及北东向断裂的阻隔,大部分岩溶水自地下以泉水形式排泄至地表。地下岩溶水转为地表岩溶水,由于温度、压力的骤变,水中的 CaCO_3 呈现过饱和状态,重新沉积,产生泉化。随着地貌变化,大量地表岩溶水流经陡崖,形成小型瀑布,水流流速急速增大,内压力减小,导致 CO_2 逸散,过饱和的 CaCO_3 迅速沉积,形成瀑布华沉积。而小部分岩溶水沿着节理裂隙在地下运动,水流量较小且动力较弱,出露地表后,沿着崖壁上漫流,因 CO_2 的逸散,在崖壁上缓慢产生 CaCO_3 沉积。由于地表及地下岩溶水沉积速率不同,使得四周沉积较快,中间沉积较慢,差异性的沉积逐渐在崖壁上形成圆弧状空洞(图4)。

随着沉积作用不断加强,岩溶水逐渐渗透至空洞顶部出露时,水滴失去部分 CO_2 呈现过饱和状态,逐渐在洞内顶板处产生 CaCO_3 沉积,形成倒置锥状石钟乳。当水滴顺着石钟乳跌落至洞内底部时,形成正置锤状石笋。随着石钟乳及石笋的不断增长,两者逐渐对接形成石柱。岩溶水顺着石柱不断下流, CaCO_3 附着石柱不断沉积,在长期的沉积作用过程中,圆弧状空洞逐渐被封闭,最终形成“溶洞”。

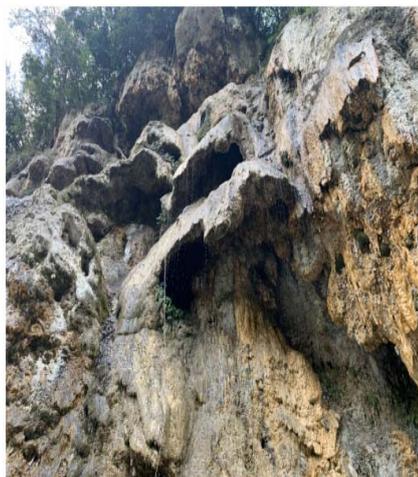


图4 溶洞早期形态

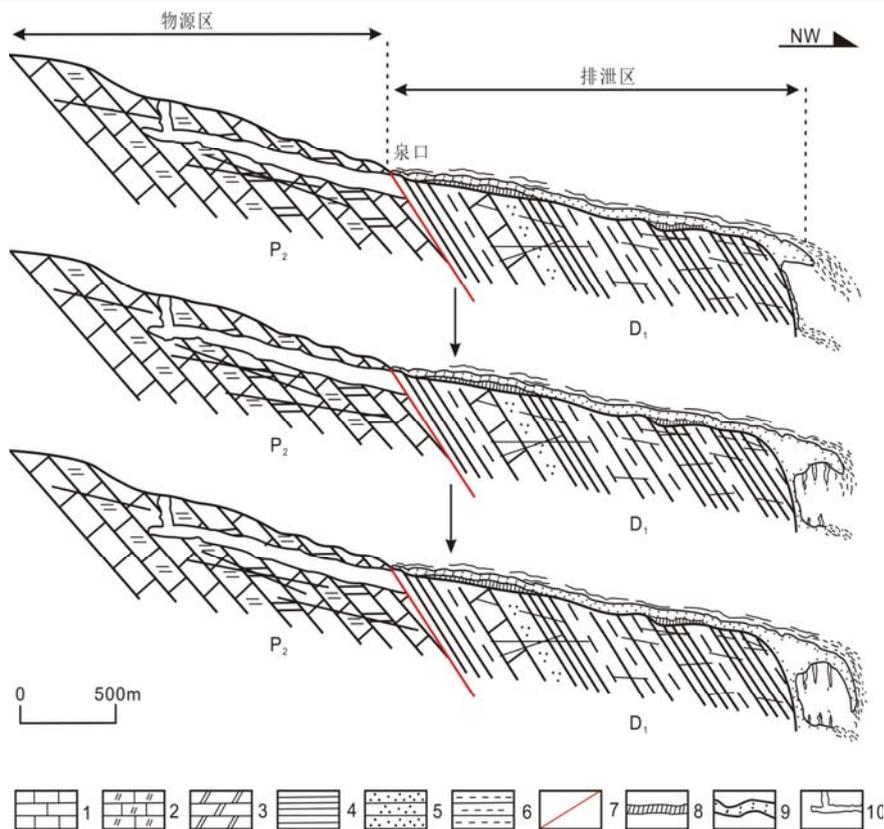


图5 溶洞发育过程

1 石灰岩; 2 白云质灰岩; 3 白云岩; 4 页岩(板岩); 5 石英砂岩; 6 泥岩; 7 断层; 8 黏土类沉积物; 9 钙华沉积物; 10 落水洞及溶洞

总结分析,金汤新型溶洞的形成过程为:构造裂隙发育→地下水溶蚀南东侧碳酸盐岩→岩溶水以地表、地下两种形式流经泥页岩区至陡崖处沉积→地表岩溶水流量大、流速大、沉积快、沉积于外侧,地下岩溶水流量小、流速小、沉积慢、沉积于内侧→差异性沉积形成溶洞早期形态→逐渐封闭,溶洞形成。

5 结论

金汤新型溶洞与岩溶洞穴在地质背景、形态特征、发育过程都有较大的差异。本文研究了金汤新型溶洞的形态特征,探讨了溶洞的形成演化过程,得出以下几点结论:

(1) 金汤新型溶洞发育于黑色页岩(板岩)等岩层上,位于山体外,平行于峡谷边缘呈北西-南东方向水平延伸,形态简单且面积较小,整体呈单通道廊道式。

(2) 金汤新型溶洞南西侧地层普遍发育石灰岩、灰岩等碳酸盐岩,为溶洞的发育提供了基本的物质条件。周边断裂

构造密集,为岩溶水的运移及补给提供天然通道。且溶洞位于川西高山峡谷间,地势总体呈现南西高北东低,有利于地表水、地下水沿着裂隙由南西往北东运动,为地下水径流提供了良好的径流条件和势能。

(3) 金汤新型溶洞是由地下水溶蚀溶洞南西侧碳酸盐岩,受地貌、岩性及断裂影响,大部分岩溶水自地下以泉水形式排泄至地表,流至金汤新型溶洞所在的峡谷谷坡陡崖处沉积,流量和流速大, CaCO_3 沉积迅速。小部分岩溶水沿着节理裂隙在地下运动,水流较小,动力较弱, CaCO_3 沉积缓慢。差异性沉积使得陡崖外侧沉积快,中间沉积慢,逐渐形成圆弧状空洞。空洞中同时形成石钟乳、石笋、石柱等碳酸钙沉积。空洞逐渐封闭,最终形成溶洞。

[参考文献]

[1] Ford D C. Characteristics of Dissolutional Cave Systems in Carbonate

Geological and Mineral Surveying and Mapping

Rocks[M].In:Paleokarst (James N P ed.). Berlin: Springer-Ver-ag,1988:25-57.

[2]朱德浩.岩溶洞穴成因研究和实验研究综述[J].中国岩溶,1993,(03):104-110.

[3]陈伟海.洞穴研究进展综述[J].地质论评,2006,(06):783-792.

[4]陈锋,张兵,严俊峰.湖北某公路隧道大型溶洞成因研究[J].路基工程,2020,(03):225-229.

[5]李明辉,郑光琳.河北曲阳灵山溶洞成因浅析[J].科技资讯,2007,(24):218.

[6]冯开禹.龙官水溶洞的成因分析[J].安顺学院学报,2007,(04):87-90.

[7]陈子玉,任晓辉.赤峰市喀喇沁旗月牙山溶洞成因探讨[J].赤峰学院学报(自然科学版),2007,(03):36-37.

[8]庄金波.圆梁山隧道毛坝向斜深埋大型溶洞成因分析[J].西部探矿工程,2006,(01):154-156.

[9]李景阳,安裕国,戎昆方.暗河型溶洞的形成和演化过程——以贵州织金洞等为例[J].贵州工学院学报,1991,(3):1-9.

[10]徐秀登,冯利华,汤虎良.金华北山溶洞的形成条件与分布规律探讨[J].浙江国土资源,1988,(02):49-56.

[11]罗书文,李坡,陈伟海,等.贵州

绥阳双河溶洞系统发育机理与演化研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2019,36(01):111-118+144.

[12]郑炜珊.黄土高原洞穴的发育特征及其影响因素研究[D].兰州大学,2021.

[13]张锐,张人栖,王章翔.四川省康定市二郎东石膏矿地质特征及成因分析[J].西部资源,2017,(06):63-64.

[14]Bogli A.Karst Hydrology and Physical Speleology[M].Springer-Verlag,1980.

[15]Mingming Luo,Zhuhua Chen,Robert E Criss,et al.Dynamics and anthropogenic impacts of multiple karst flow systems in a mountainous area of South China[M].Hydrogeology Journal,2016,24(8):1993-2002.

[16]许国明.四川康定寨子坪铅锌矿床地质特征及成因探讨[D].成都理工大学,2017.

[17]欧阳军勇.喀斯特地貌的形成演化机制及其危害防治[J].甘肃科技,2021,37(14):33-35.

[18]洞穴类型及岩溶洞穴成因研究[C]//.旅游地学的理论与实践——旅游地学论文集第一集.[出版者不详],2006:103-112.

[19]孙凯.康定县金汤河口至宝兴县永富旅游公路工程可行性研究[D].西南交通大学,2010.

[20]熊小康.基于SBAS-InSAR技术的蠕滑型滑坡动态监测及变形特征分析[D].燕山大学,2020.

[21]罗利川,梁杏,周宏,等.香溪河流域岩溶洞穴发育与分布特征[J].中国岩溶,2018,37(03):450-461.

[22]韩庆定,罗锡宜.广东佛山市高明区李家村岩溶塌陷群成因机理分析[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(04):56-64.

[23]何宝夫,王延涛,曾宪明.山西中南部铁路太行山隧道岩溶发育成因分析[J].铁道勘察,2016,42(03):60-64.

[24]Mingming Luo,Zhuhua Chen,Hong Zhou.identifying structure and function of karst aquifer system using multiple field methods in karst trough valley area,South China[J].Environmental Earth Science,2016,27(1):15-21.

作者简介:

邓朝燕(1996--),女,成都人,硕士,研究方向:构造地质学。

*通讯作者:

刘顺(1961--),男,安徽人,硕士生导师,教授、研究方向:构造地质。