

贵州施秉喀斯特世界自然遗产地地质遗迹类型和特征*

陈武¹, 肖加飞^{2▲}, 谯文浪¹, 李艳桃², 唐佐其¹, 刘凌云¹

(¹贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550005; ²中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 贵州省施秉县云台山世界自然遗产地, 因其独特的白云岩喀斯特地貌而备受关注。遗产地内地质遗迹类型多样、特征明显。研究发现, 云台山世界自然遗产地及周边地质遗迹可分为地质地貌遗迹、沉积地质遗迹、构造地质遗迹、地球生物遗迹和水文地质遗迹 5 个大类。其中, 典型地质遗迹为白云岩峰丛、峰林地貌, 与灰岩地貌相比较, 其由于总体溶蚀相对较低, 而岩石节理、裂隙广泛发育, 故溶蚀作用相对较弱, 而崩塌作用较为显著, 故形成陡峭的峰丛-峰林景观以及高耸孤立的石柱景观等。

关键词: 地质遗迹, 峰丛-峰林, 白云岩, 云台山, 贵州施秉

中图分类号: P66 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2020)01-0062-09

Types and characteristics of geological relics of Yuntaishan World Natural Heritage in Shibing, Guizhou*

CHEN Wu¹, XIAO Jiafei^{2▲}, QIAO Wenlang¹, LI Yantao², TANG Zuoqi¹, LIU Lingyun¹

(¹Guizhou Institute of Geological Survey, Guiyang 550005, China; ²State Key Laboratory of Institute of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: Yuntaishan World Natural Heritage is famous for its unique dolomite karst landform. The geological relics in this area have varied types and obvious feature. The geological relics in this area and the surrounding areas can be divided into five types, including geology and geomorphology relics, sedimentary relics, structural relics, biological relics and hydrogeological relics. The typical landforms of Yuntaishan are dolomite cone karst and tower karst. Comparing with the limestone landform, the joints and cracks are widely developed, the collapse effect is relatively strong and the erosion is weak, thus forming steep cone karst, tower karst and tall columns.

Keywords: geological relics, cone karst and tower karst, dolomite, Yuntaishan, Shibing County

0 引言

地质遗迹是指在地球演化的漫长地质历史中, 由于内外动力地质作用形成、发展并在地层中保存下来的珍贵的不可再生的自然遗产, 是地球演化的重要证据^[1]。云台山及周边最为典型的地质遗迹

是由中寒武世白云岩经溶蚀及相应构造作用形成的别具特色的喀斯特地貌, 其有别于其他岩溶地区的地貌和岩溶演化过程。2014年6月23日, 第38届世界遗产大会审批通过了包括贵州施秉喀斯特在内的中国南方喀斯特二期为世界自然遗产。为了进一步保护和开发这一世界自然遗产, 加强对区内各类地质遗迹的调查和研究显得异常重要。

为了申报世界自然遗产,贵州省组织了相关专家对施秉云台山进行了较为系统的调查和研究。其中李世奇、李伟、李高聪、熊康宁等^[2-5]对云台山地区地貌及其演化进行了研究,基本查明了云台山地貌的类型、分布、控制因素及演化过程,并对研究区的美学价值和科学价值进行了评判。此外,谯文浪等^[6]对研究区地质背景和地质演化进行了研究,李晓娜等^[7]对研究区生物多样性进行了研究,这些文章为研究云台山地貌环境提供了良好的科学依据。在地质遗迹方面,董颖等^[8]在对贵州黔东南苗岭国家地质公园进行地质遗迹调查时对研究区有所涉及,但针对云台山地貌的调查和研究有待进一步加深。

作者对施秉云台山地区进行了实地调查,收集了研究区地质遗迹的形态、分布、规模等资料,并详细调查了研究区内的出露地层、岩层产状、岩性特征、成景岩石的结构与构造等情况。对主要成景地层以及主要地质遗迹进行了取样,进行了岩矿鉴定和相关地球化学分析,以期揭示研究区地质遗迹的形成机理和演化模式。

1 施秉喀斯特世界自然遗产地地质地貌概况

贵州施秉喀斯特世界自然遗产地位于贵州省东部施秉县,由云台山、外营台、轿顶山及大田垸等群峰组成,总面积 282.95 km²,其中核心区 102.8 km² (介于 E108° 01' 36.80" ~ 108° 10' 52.06", N27° 13' 56.02" ~ 27° 04' 51.53"之间),缓冲区 180.15 平方公里(本次主要对其核心区进行了系统的调查研究)。云台山为一相对独立的峰丛,海拔 1040~1080 m,四周为切割较深的谷地,因其具有“四面削成,独出于云霄之半”的特点,且山巅如台,云雾缭绕,故名“云台山”。该世界自然遗产地在大地构造上属扬子陆块范畴^[9-11],相关研究认为区域内可能存在有新元古代以前的结晶岩系组成的刚性基底^[12-13],新元古代早期地层主要为一套浅变质岩系,而作为盖层的是新元古代晚期及古生代沉积的一套以海相碳酸盐岩为主的地层。地质地貌受燕山期造山进程的影响深刻,与此同时喜山期造山及其后的面型隆升亦较为强烈。

研究区内出露地层主要为下古生界及前寒武系(图 1),主要包括震旦系的灯影组,寒武系的牛蹄塘

组、明心寺组、金顶山组、杷榔组、清虚洞组、高台组、石冷水组、娄山关组以及奥陶系的桐梓组、红花园组、大湾组等。褶皱轴向主要为北北东,褶曲形态以舒缓开阔型为主,两翼对称,倾角多在 20°以下,一般只有 10°~20°,云台山核心区地层产状一般小于 10°,主干褶皱跨幅多 ≥ 10 km,长度 > 40 km,且向斜多被走向断层破坏,背斜枢纽则起伏急剧,高隆地段常为穹隆状。研究区的核心地区广泛分布寒武系石冷水组,岩性主要为中厚层细粒白云岩、砂屑白云岩夹泥质条带白云岩、角砾状白云岩等,发育有典型的白云岩喀斯特地貌。

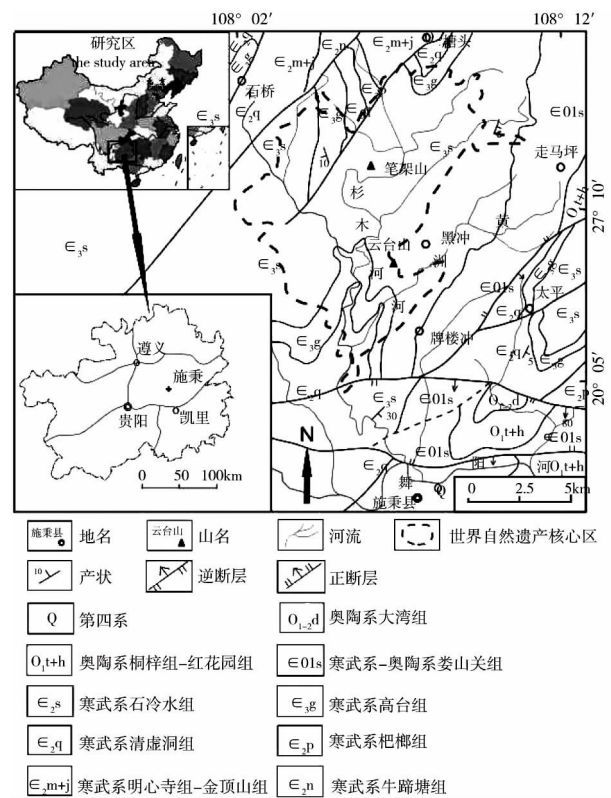


图 1 研究区地质略图

Fig.1 Geological map of the target area

根据王明章等^[14]的研究成果,云台山世界自然遗产地及周边为中等偏弱发育强度的岩溶地貌地区,其中中上寒武世白云岩分布区的地下河发育密度为 0.023 km/km²,相对于其下伏的早寒武世晚期灰岩(高达 0.2397 km/km²)地下河发育密度而言,低了十倍左右。其境内岩溶主要发育于背斜核部及两翼寒武纪白云岩中,由于地层产状较为平缓(多小于 10°),故常形成峰丛谷地地貌,但谷地底部多不平坦。

2 地质遗迹的类型和统计

赵逊、赵汀等^[15-17]对我国地质遗迹的特征及分类进行过一系列的研究,为我国地质遗迹调查和地质公园保护起到了指导作用,但随着地质遗迹调查工作的不断细化,中国地质调查局组织专家对地质

遗迹的分类进行了重新定义,并制定了《中国地质调查局地质遗迹调查技术要求(暂行) 2013》^[18]。本文通过对研究区地质遗迹的调查和分析,参照最新的分类标准,并结合研究区的实际,将研究区地质遗迹分为两个大类,分别为基础地质大类和地貌景观大类,并对每个类型又进一步细分,具体分类情况如表 1 所示。

表 1 云台山世界自然遗产地地质遗迹分类及统计

Tab.1 Classification and statistics of geological relics in Yuntaishan World Natural Heritage

大类	类别	亚类	遗迹类型	分布范围	典型遗迹数量	美学评价
地貌景观类地质遗迹	地质地貌遗迹	喀斯特地貌	白云岩峰丛、峰林峡谷地貌遗迹	云台山世界自然遗产地	4	形成独具一格的白云岩峰丛、峰林地貌景观,气势浑厚,在云雾的承托之下更显超凡脱俗的意境,是云台山的主景
		侵蚀地貌	白云岩-碎屑岩互层地区溶蚀-侵蚀地貌	云台山世界自然遗产地外围	2	形成富有生机的山林生态系统,层峦叠嶂生机盎然,为云台山增添了更多绿意
	水文地质遗迹	河流	杉木河、黄洲河等	位于云台山世界自然遗产地核心区	2	环绕于云台山核心地区,集奇秀险于一体,是串联云台山地貌景观的重要纽带,且杉木河漂流已经商业开发
		下降泉	杉木河边的下降泉	仅见分布杉木河一带	1	虽然分布局限,且流量较小,但为云台山山川旅游增添了泉水的灵动之美
基础地质类地质遗迹	沉积地质遗迹	沉积地层剖面	新近系翁哨组地层层型剖面	翁哨村	1	作为层型剖面,是研究该时期古环境和古气候的重要解剖窗口
		沉积岩及岩相	石冷水组波痕、水平层理及水平条带层理	广泛分布于云台山世界自然遗产地	5	较为常见的沉积结构,由于分布广泛、形态优美,为云台山旅游增添了更多的科考内涵
	构造地质遗迹	构造界面	各级河谷阶地	分布于舞阳河及其相关支流	1	各阶地多为耕地,多生长了繁盛的农作物,是开展乡村旅游的理想地
构造样式		层状地貌	云台山世界自然遗产地四境	2	因地层产状平缓,大地构造以升降运动为主,形成了顶部平缓,整体气势磅礴的山川地貌,为云台山成景的主要因素	
地球生命遗迹		实体化石	杷榔组中的实体化石	云台山世界自然遗产地外围	1	深藏在岩石中的远古生灵,探索远古生物,为云台山旅游增添了生机与活力
	遗迹化石	杷榔组中的遗迹化石	云台山世界自然遗产地外围	1	是远古生物在岩石中留下的遗迹,给广大游客一种考古探索般的体验	

2.1 地貌景观类地质遗迹

2.1.1 地质地貌遗迹

云台山世界自然遗产地地质地貌遗迹包括喀斯特地貌和溶蚀-侵蚀地貌两类。其中,喀斯特地貌在云台山世界自然遗产地广泛分布,其主要是由中寒武统石冷水组白云岩经由溶蚀、风化、剥蚀、崩塌等外动力作用所形成的峰丛、峰林遗迹(图 2、图 3)。此类地貌景观有别于常见的灰岩喀斯特地貌,所形成的地貌外观气势浑厚,诸如平顶山、五指峰、



图 2 云台山世界自然遗产地峰丛洼地地貌

Fig.2 Cone karst and depression in Yuntaishan

云台山、笔架峰等景观,成为景点的不下几十处,与云雾相映照,更彰显了云台山的神奇与秀美,是云台山的主要景观类型,也是云台山世界自然遗产的主体。



图3 云台山峰林地貌
Fig.3 Tower karst in Yuntaishan

而溶蚀-侵蚀地貌则零星分布于云台山世界自然遗产地的外围,由于出露地层主要为寒武系高台组、清虚洞组、杷榔组的碳酸盐岩夹碎屑岩或较纯碎屑岩的组合,在溶蚀作用和侵蚀作用影响下,特别是地表水侵蚀和风化的共同作用下,形成了溶蚀-侵蚀地貌,发育有各类的峡谷地貌景观。其中在研究区杉木河与黄洲河交汇处,由于其出露地层岩性为寒武系高台组泥质白云岩夹粘土岩的组合,故形成了宽缓的峡谷景观。而在研究区南部临区舞阳河一带,其出露多为寒武系清虚洞组的一大套灰岩及中上寒武统的白云岩,在区域地壳抬升及舞阳河的切割下,形成了更为壮观的峡谷地貌景观。

2.1.2 水文地质遗迹

包括河流和下降泉两类。前者在云台山世界自然遗产地较常见,尤其以杉木河、黄洲河等最具美学价值,它们也是当地旅游开发的核心地区。其中,杉木河是云台山世界自然遗产地的核心景观,其河谷既有宽缓的蜿蜒美,又有激流勇进的奔放,加上峡谷两岸险峻优美的白云岩峰丛-峰林景观,现已被开发为著名的漂流基地,每年吸引了大量的游客。下降泉是由无压含水层补给的泉,在杉木河流域,由于地形切割较深,局部达到了含水层隔水底板,地下水被迫从含水层与隔水层接触处出露成泉,下降泉仅在杉木河下游局部地方可见,且规模不大,成景远景

不被看好。但这类遗迹对研究区内水文地质特征具有重要的意义。

2.2 基础地质类地质遗迹

2.2.1 沉积地质遗迹

沉积地质遗迹包括沉积地层剖面和沉积岩岩相两类,前者的显著代表有云台山世界自然遗产地南部翁哨村新近系翁哨组地层层型剖面,其中采集到轮藻、介形类、腹足类、脊椎动物、昆虫及孢粉等化石,为研究新近纪生物演化和气候变迁提供了有利的场所;后者则主要是广泛分布于云台山世界自然遗产地内部石冷水组中的波痕遗迹和水平层理及水平条带层理,其分布广、外观清晰,具有较高的观赏性和科研价值。

在我们实地调查翁哨村新近系翁哨组地层层型剖面时发现,由于人为活动的影响,剖面遭受了一定的破坏,但其周边未能找到更好的剖面,故仍以该剖面作为本地区研究新近系翁哨组时期古生物及古环境的重要窗口。而发育于石冷水组中的各种沉积构造,在整个遗产地都有一定的分布,本次调查在排云关、周公殿、野牛洞、凉风洞及五指峰一带可见清晰的水平层理、水平条带层理、波痕等,尤其是在野牛洞一带的旅游步道上,清晰的不对称波痕随处可见(图4),连续展布可达数百米,为旅客停歇观赏提供了良好的科普素材。

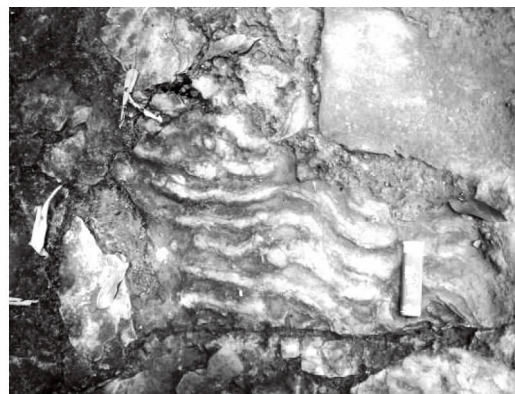


图4 不对称波痕(野牛洞)
Fig.4 Asymmetrical ripple mark in Yeniu Cave

2.2.2 构造地质遗迹

构造地质遗迹包括构造界面和构造样式两类。前者在研究区主要指分布于舞阳河及其相关支流的各级河谷阶地,其可以很好地反映新构造运动以来

区域大地隆升的各种信息,较为典型的为施秉县城附近的舞阳河河谷阶地;后者指云台山层状地貌(图 5),是新构造运动间歇性上升过程中,由外营力作用形成的呈层状分布的地貌单元,不仅具有很好的美学景观价值,而且也为我们研究新构造运动提供了依据,主要的遗迹点有云台山和平顶山两处。



图 5 云台山层状地貌

Fig. 5 Stratified landform in Yuntaishan

2.2.3 地球生命遗迹

包括实体化石和遗迹化石。前者主要有杷榔组中的实体化石——三叶虫,以及翁哨组中的腹足类化石等,具有较高的科学研究价值;后者指地史时期生物生活活动时产生在岩层表面或内部的各种活动记录所形成的化石,该类遗迹在杷榔组中有所见及,对研究古生物及古生态有一定的价值。我们在调查中发现,云台山世界自然遗产地北部黑冲一带的杷榔组中有较多的三叶虫化石以及相应的遗迹化石,但规模均较小,仅能起到旅游标志点展示的作用。

3 施秉白云岩喀斯特地貌特征和成因

与其他类型的喀斯特地貌遗迹景观相比,施秉云台山白云岩峰丛、峰林地貌的独特之处在于其物质基础为各类白云岩(图 6),而非常见的灰岩。调查发现,云台山世界自然遗产地地貌类型主要可分为峰丛和峰林两大类,前者为峰丛洼地类型,洼地四周石峰参差成簇,基座相连,相对高差为 100~250 m,洼地呈环形,但洼地不平,有沟谷发育,并有出口,与典型的通过漏斗和落水洞排水的封闭洼地有所区别,与此同时,由于水文地质条件的优越性,常形成了茂密的森林生态系统;后者为孤立状散布于宽广喀斯特准平原上的锥峰组合(图 7),其正地形所占的面积远远小于负地形的面积,锥峰(丘峰)呈

孤立状点缀在平坦的碳酸盐岩面上,相对高差 50~150 m 不等,峰顶等齐,没有明显的倾向,石峰基部现代地下河式洞穴较为发育,地下水系开始向地表转化。

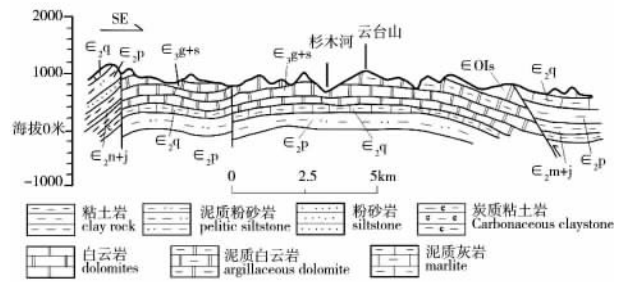


图 6 云台山地貌形态及地层剖面图

Fig.6 Geomorphologic shape and stratigraphic section of Yuntaishan



图 7 黑冲一带孤立的锥峰

Fig.7 The isolated karst cones in Heichong

喀斯特地貌在区域上的演化受到了水流作用的强烈影响。以杉木河锥状喀斯特峰丛峡谷(图 8)为例,从舞阳河河谷向北溯源至塘头附近的分水岭,直线距离约 25 km,地形高差 1000 m 左右。从塘头附近的高原分水岭向南至舞阳河谷,锥状喀斯特地貌的演化模式从峰林谷地→峰丛槽谷→峰丛洼地(可见峰丛顶部残留的塔状峰林景观,图 9)→峰丛峡谷呈有序回春式逆向进行。

就整个地质地貌遗迹景观而言,其境内峰峦叠嶂,悬崖奇峰林立,陡峭的崖壁与近水平的岩层形成鲜明对照,在悬崖下多可见不同时期崩塌堆积而成的倒石堆。景区的奇峰可分为石柱、石柱林、石柱式峰林几个形态。其中,岩柱(图 10),为一列四周陡峭,峰顶参差不齐的岩柱,岩柱高出基坡约 80 m,高出谷底约 300 m;独秀峰的形成是由于沟谷深切,四周基岩沿垂直节理不断崩塌后退,残留下圆筒状的

独立山峰,四周坡度大于 70°,沟底相对高差达 350 m 以上,地势险奇;平顶峰(图 11)的形成是云台山区因产状平缓,在沟谷切割山体后退过程中多留下四周陡峻的平顶孤峰,顶峰面积数十平方米不等,有的峰顶呈墙垛状,似天然碉堡;石柱峰的形成是由于山体边缘垂直节理发育,经溶蚀和崩塌作用形成的若干柱状石峰,高数十米,有的与山体相连构成柱状边缘。



图 8 杉木河峰丛峡谷地貌
Fig.8 Cone karst canyon along Shamu River



图 9 白朵一带峰丛顶部残余峰林
Fig.9 Residual tower karst on the top of cone karst in Baiduo

在成因及演化方面,云台山世界自然遗产地内各类喀斯特地貌景观的形成是白云岩经过溶蚀、崩塌作用形成的。首先,在成景物质组成上,研究区各类喀斯特景观主要赋存在中寒武世白云岩上,其岩性为中厚层细粒白云岩、砂屑白云岩夹泥质条带白云岩、角砾状白云岩等,其岩石内部裂隙较为发育,有利于岩石节理的形成。张之淦^[19]研究表明,白云岩的溶蚀是沿白云岩镶嵌结晶进行的,使得岩石发生整体的分解,形成了所谓的“砂糖状”风化外观,白云岩的溶蚀产生了溶余物质——白云岩粉,且形成次生方解石脉,使得白云岩喀斯特分异作用的

弱化,故而能形成云台山一带浑厚的喀斯特地貌景观。此外,景区内该类岩层产状平缓,倾角一般为 5°~7°,层面裂隙和垂直节理十分发育,特别是广泛发育的北北东向、北东向和近东西向共轭节理,使岩石被切割,在地表径流的作用下有利于岩石溶蚀-崩塌成景作用的发生。



图 10 云台山岩柱景观
Fig.10 Rock columns in Yuntaishan



图 11 云台山世界自然遗产地平顶峰景观
Fig.11 The flat peak in Yuntaishan

4 施秉云台山白云岩喀斯特地貌的独特性

为了探寻施秉云台山白云岩喀斯特地貌的独特性,选择施秉-镇远舞阳河峡谷、兴义万峰林以及思南石林三处喀斯特地貌与之对比。三者均位于贵州省境内,且气候条件不存在显著的差异。

4.1 成景物质差异

成景物质的差异是决定一个地貌景观特征的最主要特征。通过调查和资料分析,施秉-镇远舞阳河峡谷发育于中上寒武统(ϵ_{2q} 、 ϵ_{3g} 、 ϵ_{3s} 和 ϵ_{Ols})的白云岩^[20-21];兴义万峰林出露地层主要为中三叠世杨柳井组,岩性主要为泥晶白云岩、泥质白云岩与

泥晶灰岩^[22]；思南石林出露地层主要为中二叠世栖霞组和茅口组地层，岩性为厚层泥晶灰岩、泥质条带灰岩及生物屑灰岩^[23]。相对于舞阳河峡谷、兴义万峰林以及思南石林而言，云台山与舞阳河峡谷的地层和岩性大致一致，但施秉云台山的白云岩更纯，且核心景区地层更为单一。

4.2 地貌形态学差异

在地貌形态方面，施秉云台山和思南石林属于以正地形为主的地貌类型，其中施秉云台山地区则为峰丛和峰林地貌相结合，其兼具有两种地貌景观的特征和美丽，更为难得的是它较为完整地保留了峰丛-峰林地貌演化的过程，造就了区内峰丛-峰林的分区特征，为研究喀斯特地貌演化提供了良好的平台，在峰林发育区，可见呈石柱状的峰林，其高度达数十米，顶部呈近圆形或近矩形，面积数十至数百平方米，峰林崖壁近直立，而在峰丛发育区，形成了基座相连、峰体巨大、顶部平缓开阔，或有残余峰林遗存的峰丛，其山体顶部面积可达数百至数千平方米，尤其在云台山及平顶山最为显著，崖壁陡立，往往与河流形成了深切的河谷；思南石林主要为峰林地貌，是较为罕见的单面山斜坡型石林^[24]，单体主要有剑状、针状、塔状、城堡状及柱状等，包含了石芽发育从青年到老年的各种形态，在景观学方面，其形态外观多惟妙惟肖，极具观赏性。施秉-镇远舞阳河峡谷以喀斯特峡谷景观为特色^[25]，由诸葛峡、龙王峡和西峡组成的“舞阳三峡”最具代表性，其两岸陡崖峭壁，石峰耸峙，峰丛嶙峋，奇峰怪石林立，时而可见有飞瀑流泉高挂其间，沿途的天生桥，穿洞相连成串，独具风情，此外，相对于施秉云台山而言，该地区溶洞较为发育。兴义万峰林由成千上万个锥峰组成的峰林峰丛^[26-27]，是我国锥状喀斯特的典型代表，其总体上气势宏大壮阔，山峰密集奇特，逶迤连绵数千平方公里，根据峰林形态，分为列阵峰林、宝剑峰林、群龙峰林、罗汉峰林、叠帽峰林 5 大类型^[28]。

4.3 地貌景观成因差异

不同的地貌景观存在成因上的差异，这些差异的存在是由于成景物质、地质作用力以及环境^[29-32]的差异引起的。在成景物质方面的差异在前述已经有所阐述，四处岩性各有特色，其中施秉云台山和施秉-镇远舞阳河峡谷均以白云岩为特征，兴义万峰

林为白云岩与灰岩的组合为特征，而思南石林则为较纯的灰岩。除此之外，各地貌景观在成景作用和地貌演化上存在差异。

兴义万峰林地区出露数百平方公里的中三叠世杨柳井组白云岩与灰岩的组合，而其核心地区的地质构造较为简单，仅在周边有北西-南东向的逆断层发育，这为区域内峰林地貌的形成和演化提供了良好的场所，加上万峰林地区充沛的降水为岩溶发育提供了有利条件，从而造就了气势磅礴纵横千里的万峰林景观。

思南石林属于典型的溶洼边坡型石林，为单面山斜坡型石林，区域内存在有南东-北西构造应力，在地质作用力的作用下形成裂隙及节理网，控制了石柱的空间定向展布，为溶蚀创造了流通条件，利于水的下渗和渗流带水的溶蚀作用，而较纯的灰岩也为溶蚀作用的进行提供了物质基础，利于较高大石林的形成和保存。

施秉-镇远舞阳河峡谷毗邻与施秉云台山世界自然遗产地，其出露地层和岩性均与云台山相似，之所以所形成的景观略有差异，是因为自第四纪以来，区域上地壳间歇式上升和舞阳河向下深切，形成了舞阳河峡谷，在舞阳河施秉-镇远一带，舞阳河流经中上寒武统白云岩，除河流对白云岩的溶蚀作用之外，岩石崩塌作用对其形成有着重要作用，这也是造成舞阳河峡谷两岸奇峰怪石林立的原因之一，柱体陡峻、纤细是奇峰怪石的特点。

云台山世界自然遗产是以白云岩喀斯特峰丛-峰林地貌为主要特色，其与灰岩地貌不同之处在于，白云岩自身地球化学特征导致其喀斯特分异作用发生弱化，反而由于该地区白云岩节理、裂隙广泛发育，故而受到崩塌作用的影响加大，使得区内可以形成陡峻的峰丛-峰林景观以及高耸孤立的石柱景观等，而难以形成较大洞穴、天坑等负地形景观。在地貌演化方面，施秉云台山世界自然遗产地代表了湿润热带-亚热带典型白云岩锥状喀斯特演化的基本规律，反映了白云岩锥状喀斯特发育区别于石灰岩锥状喀斯特的特征，以及其受岩性、构造、气候、水动力等复杂地质-气候环境变化的不同影响所产生的遗迹的全部过程，是世界性的自然遗产。

5 结论

1) 云台山世界自然遗产地及周边地质遗迹类

型可分为5大类,包括地质地貌遗迹、沉积地质遗迹、构造地质遗迹、地球生物遗迹、水文地质遗迹等。

2) 云台山世界自然遗产地最重要的地质遗迹是地质地貌遗迹——云台山白云岩峰丛、峰林地貌。

3) 云台山白云岩峰丛、峰林地貌的形成是白云岩经过溶蚀-崩塌作用形成的,它的形成受到成景物质组成(白云岩)、岩石内部结构(内部裂隙)、构造(裂隙和节理)以及气候环境等的共同制约。

4) 云台山世界自然遗产地独特的白云岩峰丛、峰林地貌与施秉-镇远舞阳河峡谷、兴义万峰林以及思南石林三处喀斯特地貌相比较,在成景物质、构造背景和气候环境上均存在不同程度的差异,导致了各具特色的岩溶演化模式,云台山地区岩溶演化模式为从峰林谷地→峰丛槽谷→峰丛洼地→峰丛峡谷,呈有序回春式逆向进行。

5) 云台山地区喀斯特分异作用较弱且鲜见大型溶洞等负地形,是由于白云岩的溶蚀是沿白云岩镶嵌结晶进行的,使得岩石发生整体的分解,形成了所谓的“砂糖状”风化外观,白云岩的溶蚀产生了溶余物质——白云岩粉,且形成次生方解石脉,使得白云岩喀斯特分异作用弱化,也正是由于这样的原因形成了云台山一带浑厚的喀斯特地貌景观。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 中国地质矿产部.地质遗迹保护管理规定(地质矿产部第21号令)[A].1995.
- [2] 李世奇,熊康宁,苏孝良,等.世界自然遗产提名地施秉喀斯特地貌及其演化[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2012,30(3):12-17.
- [3] 李伟,熊康宁,周文龙.黔东南施秉喀斯特景观美学特征与世界遗产价值[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2010,28(3):19-22.
- [4] 李高聪,熊康宁,肖时珍.基于世界遗产地貌价值的施秉与环江白云岩喀斯特对比研究[J].中山大学学报(自然科学版),2014,53(5):142-148.
- [5] 李高聪,熊康宁,肖时珍,等.施秉喀斯特地貌世界遗产价值研究[J].热带地理,2013,33(5):562-569.
- [6] 譙文浪,肖加飞,陈武,等.贵州施秉云台山白云岩类型、碳氧同位素组成及沉积环境[J].地球与环境,2014,42(3):347-354.
- [7] 李晓娜,熊康宁,陈许,等.黔东南施秉白云岩喀斯特地区生物多样性与世界遗产价值[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2010,28(3):13-18.
- [8] 董颖,曹晓娟,程凯,等.贵州黔东南苗岭国家地质公园

地质遗迹特征[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(2):129-132.

[9] 程裕淇.中国区域地质概论[M].北京:地质出版社,1993:369-370.

[10] 贵州省地质矿产局.贵州省区域地质志[M].北京:地质出版社,1987:7.

[11] 李宗发,王砚耕.贵州地壳发展及其演化特征[J].贵州科学,2011,29(4):52-56.

[12] 王砚耕.贵州主要地质事件与区域地质特征[J].贵州地质,1996,13(2):99-104.

[13] 杨胜元,张建江.贵州环境地质[M].贵阳:贵州科技出版社,2008.

[14] 王明章,王尚彦.贵州岩溶石山生态地质环境[M].北京:地质出版社,2005.

[15] 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.

[16] 赵逊,赵汀.中国地质公园地质背景浅析和世界地质公园建设[J].地质通报,2003,22(8):620-630.

[17] 赵逊,赵汀.从地质遗迹的保护到世界地质公园的建立[J].地质评论,2003,49(4):389-399.

[18] 中国地质调查局.中国地质调查局地质遗迹调查技术要求(暂行)[S].2013.

[19] 张之淦.岩溶发生学——理论探索[M].桂林:广西师范大学出版社,2006.

[20] 贵州省地质调查院.1:25万铜仁幅区域地质调查报告[R].2005.

[21] 贵州地矿局区调院.1:20万镇远幅区调报告[R].1965.

[22] 贵州省地质调查院.贵州安龙地区1:5万区调片区总结报告[R].2003.

[23] 1:25万遵义市幅区域地质调查成果报告[R].2004.

[24] 王硕,李启文,曾克峰,等.贵州思南石林资源特征及成景机制探讨[J].中国岩溶,2013,32(3):358-364.

[25] 姚益祥,于宁.贵州省地质遗迹调查报告[R].2010.

[26] 武国辉,杨涛,刘佑平,等.贵州地质遗迹资源[M].北京:冶金工业出版社,2006.

[27] 徐柯健,李兴中,刘嘉麒.贵州兴义喀斯特景观特征[J].中国岩溶,2008,27(2):157-164.

[28] 武国辉,刘幼平.贵州的岩溶峰林[J].理论与当代,2007(1):49-50.

[29] 聂跃平.碳酸盐岩性因素控制下喀斯特发育特征——以黔中南为例[J].中国岩溶,1994,13(1):31-36.

[30] 翁金桃,章程,蒋忠诚,等.北京西山地区岩溶发育史及岩溶环境变迁[J].中国岩溶,1995,14(1):41-48.

[31] 袁道先.论岩溶环境系统[J].中国岩溶,1988,7(3):179-186.

贵州省印江县革底滑坡基本特征及其稳定性评价*

李宗发^{1,2,3}, 吕刚¹, 杜方哥¹

(¹贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550081; ²贵州地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550081; ³贵州地质工程勘察设计院, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 贵州所处的特殊地理环境和脆弱的地质条件, 极端气候的影响, 使得滑坡地质灾害频发, 如何预防和治理滑坡地质灾害仍是目前面临的难题。本文通过对贵州省印江县革底滑坡基本特征的分析认为: 该滑坡为一特大型旋转牵引式顺层岩土体滑坡, 并形成“堰塞湖”, 具有滑坡边界清楚、多级滑面、滑动时间长、多次滑动、滑向转向的特点, 滑面发育在奥陶系下统大湾组泥灰岩间夹泥质条带, 滑床为泥灰岩、滑带土为泥质条带。通过滑坡稳定性计算, 该滑坡体目前处于整体稳定状态, 但“堰塞湖”仍有可能产生次生泥石流地质灾害的灾害链, 威胁下游村庄和公路, 最后提出了该滑坡的综合治理措施。

关键词: 牵引式滑坡, 旋转, 堰塞湖, 稳定性, 印江革底

中图分类号: P642.22 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2020)01-0070-06

Basic characteristics and stability evaluation of Gedi Landslide in Yinjiang County, Guizhou Province

LI Zongfa^{1,2,3}, LÜ Gang¹, DU Fangge¹

(¹Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang 550081, China; ²No. 111 Geological Brigade, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550081, China; ³Guizhou Geological Engineering Investigation Design and Research Institute, Guiyang 550081, China)

Abstract: Due to the special geographical environment, fragile geological condition and the influence of extreme weather in Guizhou Province, geological disasters such as landslides occur frequently. How to prevent and control landslides is still a difficult problem at present. Based on the analysis of the basic characteristics of Gedi Landslide in Yinjiang County, Guizhou Province, we concluded that the landslide was a large-scale rotary retrogressive slide which formed an imprisoned lake, with the characteristics of clear landslide boundaries, multi-level sliding surfaces, long sliding time, multiple sliding and change of sliding direction. The sliding surface developed between the marlstone and mudstone (shale) in Dawan Formation of the Lower Ordovician. The landslide bed was marlstone and the sliding zone was mudstone (shale). Stability calculation indicates that the landslide body is currently in an

[32] 中国地质科学院岩溶地质研究所. 桂林岩溶与碳酸盐岩 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1987.

和矿床地球化学国家重点实验室项目群项目 (SKLODG-ZY125-08) 资助。

作者简介: 陈武 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事地质遗迹、环境地质及区域地质方面的调查和研究工作。

▲通讯作者: 肖加飞 (1961-), 男, 研究员, 主要从事沉积学和地球化学研究。

收稿日期: 2019-07-08; 修回日期: 2019-07-16

基金项目: 贵州省科技厅社会攻关项目 (黔科合字 (2012) 3162 号)