

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20181115.001

韦跃龙,李成展,陈伟海,等.广西岩溶景观特征及其形成演化分析[J].广西科学,2018,25(5):465-504.

WEI Y L,LI C Z,CHEN W H,et al.Characteristics and formation and evolution analysis of the karst landscape of Guangxi[J]. Guangxi Sciences,2018,25(5):465-504.

广西岩溶景观特征及其形成演化分析*

Characteristics and Formation and Evolution Analysis of the Karst Landscape of Guangxi

韦跃龙,李成展,陈伟海,罗劭侃,朱德浩,潘天望

WEI Yuelong,LI Chengzhan,CHEN Weihai,LUO Qukan,ZHU Dehao,
PAN Tianwang

(中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004)

(Institute of Karst Geology,Chinese Academy of Geological Sciences/Key Laboratory of Karst Dynamics,Ministry of Natural Resources & Guangxi Zhuang Autonomous Region,Guilin, Guangxi,541004,China)

摘要:广西岩溶景观主要分布于桂东北、桂中、桂西北和桂西南地区,有峰丛、峰林、孤峰、丘陵、天生桥、石林、象形山、崖壁、洞穴及各类洞穴次生化学沉积物、地下河、穿洞、洼(谷)地、漏斗、坡立谷、盆地、地表河、峡谷、天坑、天窗、竖井、瀑布、泉、湖泊、湿地等类型齐全、形态典型的岩溶景观,囊括所有岩溶景观的类型。它们主要以中上寒武统至中三叠统的碳酸盐岩为物质基础,首先以地表河流域(如红水河、柳江、漓江等)为主线,其次以岩溶地貌区划特征为区域划分标准,然后以所处行政区和所处流域位置(如上、中、下游)为辅线,呈线状有序、集中分布于各典型岩溶景观区及岩溶景区/公园/景点内。它们或以峰丛-峰林,或以岩溶风景河段,或以天坑群,或以地下河天窗群,或以峰丛平原,或以洞穴,或以天生桥,或以跨国瀑布等为核心,组合成多个特色突出,形态优美、珍稀、雄伟、典型,且类型齐全的流域岩溶景观带,并形成独具广西特色的“岛链式”岩溶景观分布格局。它们是全球亚热带岩溶地貌及景观典型集中发育区和杰出范例,是目前世界上展现塔状峰丛-峰林、锥状峰丛、高峰丛深洼地、峰林/孤峰平原、洞穴、天坑、天窗、地下河、天生桥、岩溶风景河段、瀑布、崖壁等岩溶景观美景最杰出的代表地,堪称全球“洞穴天坑之窗,地下河天窗之王,天生桥瀑布之奇,风景河段之美,峰丛峰林之魂”。同时,自晚三叠世以来,广西各区域(即各岩溶孤岛)的碳酸盐岩地层相继出露地表,分别进入各自的岩溶地貌/景观形成演化时代,历经自上而下或自下而上等不同方向、不同时期、不同区域的岩溶过程,分别形成峰丛-峰林、地下河洞穴、天坑-天窗-天生桥等各类典型的岩溶景观;并按时间序列和区域分异特征,以广西各岩溶区以及它们内部各岩溶地带相互之间水力联系的演变及区域地壳的间歇性隆升为时间界限和主线,将广西岩溶的形成演化过程划分为初始阶段(晚三叠世以来,碳酸盐岩地层出露,不同岩溶区始于不同地质时期)→雏形阶段(分轴型离散岛屿式成景过程,不同岩溶区始于不同地质时期)→重要发育阶段(主轴型离散岛屿式,不同岩溶区始于不同地质时期;集合型岛屿式成景过程,中更新世中晚期至全新世)→现代岩溶阶段(全新世以来至今)等4大成景阶段,分别表现出不同的成景过程、特征和机制,总体可概括为分轴型、主轴型、离散型、集合型等4种岛屿式成景机制,并将其成景模式归纳为“岛链式成景模式”。

收稿日期:2018-08-29

作者简介:韦跃龙(1973—),男,正高级工程师,博士,长期从事地质遗迹资源探测、研究、开发和保护,E-mail:wylw2@126.com。

*中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2015033)和中国地质调查局地质调查项目(DD20160285,DD20160061和DD20179313)资助。

分别表现出不同的成景过程、特征和机制,总体可概括为分轴型、主轴型、离散型、集合型等4种岛屿式成景机制,并将其成景模式归纳为“岛链式成景模式”。

关键词:岩溶景观 形成演化分析 流域岩溶景观带 岛链式 广西

中图分类号:P931.5,P901 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)05-0465-40

Abstract: The karst landscape mainly distributed in northeast, central, northwest and southwest parts of Guangxi. There is a complete range of karst landscapes in a typical shape, such as peak forests, peak clusters, isolated peaks, hills, natural bridges, stone forests, pictographic mountains, cliffs, caves and various types of cave secondary chemical deposits, underground rivers, light-through caves, depressions (valley), dolines, poljes, basins, surface rivers, gorges, tiankengs, natural skylights, shafts, waterfalls, springs, lakes, and wetland, which cover all types of karst landscapes. They mainly use the carbonate rocks of the Middle and Upper Cambrian to the Middle Triassic as the material basis. Firstly the drainage basins of surface rivers (Red River, Liu River, and Li River etc) are taken as principal lines, and karst landscape regional features as standards for zoning secondly, then administrative divisions and the locations to drainage basins (upper reach, middle reach and lower reach) as subordinate line. The karst landscapes are distributed orderly and concentrated in various typical karst scenic spots/parks. All of them are characterized by different core features, like peak forest-peak cluster, karst-landscape river section, tiankeng group, natural skylight group of underground rivers, peak-cluster plains, caves, natural bridges, cross-border waterfalls and so on. It combines a variety of karst landscapes with distinctive features, rare, majestic, typical, and complete types, and forms a "island-chain" karst landscape distribution pattern with unique characteristics in Guangxi. Guangxi karst landscape is the global subtropical karst landforms and typical concentrated development areas of the landscape and outstanding examples. It is the most typical representative for presenting tower-like peak cluster-peak forest, cone peak cluster, high peak cluster-deep depression, peak forest/isolated peak-plain, cave, tiankeng, natural skylight, underground river, natural bridge, karst-landscape river section, waterfall, cliff wall and so on. It could be admired as window for cave and tiankeng, king for underground natural skylight, marvel for natural bridge and waterfall, beauty for karst-landscape river section and soul for peak cluster and peak forest. At the same time, since the Late Triassic, the carbonate strata in various regions of Guangxi (that is, each karst island) have successively exposed the surface, respectively entering their respective karst landform/landscape formation and evolution times, from top to bottom or bottom down. The karst processes in different directions, different periods and different regions and forms peak plexus-peak forest, underground river cave, tiankeng-skylight-Tianshengqiao and other typical karst landscapes. According to time series and regional features, taking Guangxi karst areas and their internal hydraulic relationships evolution as well as regional crust intermittent uplift as time line to classify the formation and evolution of Guangxi karst into 4 periods: Preliminary period (the exposure of carbonate rocks since late Triassic, different karst areas started at different geologic time) → rudiment period (split-axle discrete-island landscape formation, different karst areas started at different geologic time) → important developing period (main-axle discrete-island landscape formation, different karst areas started at different geologic time; concentrated-island landscape formation, middle-late mid Pleistocene to Holocene) → modern karst period (since Holocene), the different landscape formation process, features and mechanism are reflected. The overall can be summarized as four types of island-type framing mechanisms, such as split-axis type, main-axis type, discrete type and collective type, and the scene-forming mode is summarized as "island chain style mode".

Key words: karst landscape, analysis of formation and evolution, drainage basins landscape zone, island chain, Guangxi

0 引言

岩溶作用所形成的地下形态和地表形态统称岩溶地貌^[1-3]。其中一些造型各异的山(如峰林、峰丛、石林等)、水(如河流、瀑布、泉、湖等)、洞(如洞穴群、地下河等)、井(如天坑、峡谷、竖井等)、桥(如天生桥

等),或它们的组合地貌(如岩溶风景河段等),具有较高的观赏、美学、科考和科研价值,即岩溶景观(表1和图1),是岩溶地貌的重要组成部分之一(两者之间是包含与被包含的关系^[4-6]),日益成为一种重要的地质遗迹资源和旅游资源,直接进入生产、消费和科研过程^[4-15]。

表1 岩溶地貌/景观形态组合方式

Table 1 The shape-compound modes of karst landforms/landscapes

景观大类 Landscape types	岩溶地貌/景观单体形态类型 Monomer shape types of karst landforms/landscapes	组合方式 Shape-compound modes
山景 Mountain scenery	峰林、峰丛、石林、孤峰、崖壁、丘陵、象形山等 Peak forest, peak cluster, stone forest, isolated peak, cliff, hill and pictographic mountain etc	山水、山洞、山桥、山井、水洞、水井、水桥、洞桥、洞井、桥井、山水洞、山水桥、山水井、山洞桥、山洞井、水洞井、山桥井、水洞桥、水洞井、洞桥井、山水洞桥、山水洞井、山洞桥井、水洞桥井、山水桥井和山水洞桥井等 25 种 There are 25 types of shape - compound modes: Mountain- water, mountain - cave, mountain - bridge, mountain-well, water-cave, water-well, water-bridge, cave-bridge, cave-well, bridge-well, mountain-water-cave, mountain-water-bridge, mountain-water-well, mountain-cave-bridge, mountain-cave-well, water-cave-well, mountain-bridge-well, mountain-water-bridge-well, mountain-water-well, mountain-cave-bridge-well, mountain-cave-well, water-cave-well, mountain-bridge-well, water-cave-bridge-well, mountain-water-cave-bridge-well, mountain-water-cave-well, mountain-cave-bridge-well, water-cave-bridge-well, mountain-water-bridge-well and mountain-water-cave-bridge-well etc
水景 Waterscape	地表河、瀑布、湖泊、泉、湿地等 Surface river, waterfall, lake, spring and wetland etc	
洞景 Cave scenery	洞穴、洞穴次生化学沉积物、地下河、穿洞等 Cave, cave speleothems, underground river, light-through cave etc	
桥景 Bridge scenery	天生桥等 Natural bridge etc	
井景 Well scenery	天坑、天窗、漏斗、竖井、洼(谷)地、坡立谷、盆地、峡谷(含地缝)等 Tiankeng, natural sylvight, doline, shaft, depression (valley), polje, shaft, basin, gorge etc	

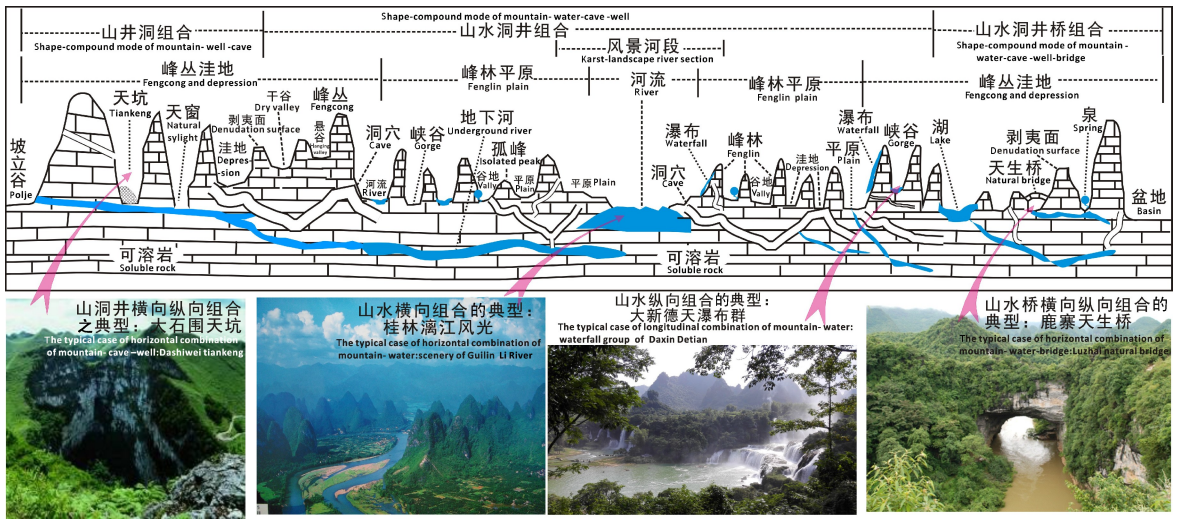


图1 岩溶景观形态示意图(据韦跃龙,2009,有增删)

Fig. 1 Schematic diagrams of shapes of karst landscapes(According to Wei Yuelong,2009, revised)

广西岩溶景观分布面积广,形态优美、典型,类型齐全,包括山、水、洞、桥、井等类型及各种不同的组合方式(表1),既是广西各级地质公园和绝大多数风景名胜区的物质基础,又是广西“绿水青山”和“山水林田湖生命共同体”的重要组成部分,还是广西“绿水青山”和“山水林田湖生命共同体”存在、延续、保持或改善的物质基础和前提之一,更为“守护绿水青山,建设美丽广西”提供强有力资源支撑。

长期以来,国内外众多研究者从各种不同的角度

对广西岩溶景观和岩溶地貌进行了广泛的研究。(1)运用地层学、沉积学、构造地质学、水文地质学等传统地质理论,较系统全面地调查研究广西众多典型岩溶区,如都安、桂林、来宾等的岩溶地质,基本探明广西岩溶地下水赋存条件与资源状况、岩溶地貌分布特征、洞穴分布概况、石漠化分布特征等,并探讨了广西岩溶形成演化的机理及其与碳酸岩、地质构造、冰川等之间的关系^[16-18]。(2)运用景观学、旅游学、规划学等多种学科交叉的研究方法,从资源类型特征、资源

特色价值、资源开发保护、开发模式^[4-15,18-19]等方面进行众多研究,为广西岩溶景观的科学、合理开发和保护,以及向世人推广等方面作出贡献,涌现出近百个以岩溶景观为主体的省级/国家/世界地质公园、世界自然遗产地及风景名胜区等,它们基本涵盖了广西不同地质地理背景下形成的各类典型岩溶景观:目前,广西以岩溶景观为主或为辅组建了6处国家地质公园(乐业大石围天坑群、凤山、鹿寨香桥、大化七百弄、都安地下河、桂平)、1处世界地质公园(乐业-凤山)、2处世界自然遗产地(即桂林、环江于2014年申报的“中国南方喀斯特世界自然遗产地(第2期)”)、多处国家级和省级风景区,它们各自具有独特的景观组合特征,辅以各区各具特色的历史人文风情,构筑成有别于其他地区的岩溶景观特色^[4-6,13,18]。通过它们,既展示了岩溶景观的奇、险、雄、秀、幽,又使各类典型、珍稀、罕见的岩溶奇观得到了科学、有效、合理的开发和保护,并且是探讨各种不同典型岩溶景观形成演化的天然实验室。

1 广西区域地质地理概况

1.1 区域自然地理特征

广西壮族自治区,简称“桂”,地处中国南疆,位于 $104^{\circ}29' \sim 112^{\circ}04'E$, $20^{\circ}54' \sim 26^{\circ}20'N$,面积23.67万 km^2 ,地势西北高,东南低,其东、北、西三面分别与广东、湖南、贵州和云南等省毗连,西南与越南接壤,南濒北部湾;全境属高温多雨的亚热带气候区,多年平均气温为 $16.5 \sim 23.1^{\circ}\text{C}$,各地年降水量均在1070mm以上,大部分地区为1500~2000mm。

1.2 区域地质背景

1.2.1 区域构造特征

广西处于滨太平洋构造带与古地中海-喜马拉雅构造带的复合部位,南岭构造带的中西段,以及南华准地台西南部,地质构造较复杂,具有多期多次构造运动的特征^[16-17]:(1)晚三叠世末的印支运动结束了广西海相沉积历史,大部分区域抬升为陆地,同时形成一系列褶皱和断裂,奠定了广西全境地质构造的基本格架^[16-17];(2)白垩纪末的燕山运动时期,褶皱、断裂紧密伴生,广西地质构造最终成型^[16-17];(3)古近纪至新近纪期间的喜山运动时期,区域内各褶皱、断裂继承性活动与活化的强度极大^[16-17];(4)第四纪以来,构造运动总体表现为区域间歇性隆升,区域内各褶皱、断裂继续间歇性活化和活动^[16-17]。广西各岩溶区内的多级洞穴、多级阶地、岩溶剥夷面、天坑、天窗群、干谷、盲谷、悬谷和穿洞等是区域构造运动多期抬升的结果和直接证据。

1.2.2 区域地层及岩溶地质特征

广西各时代地层发育齐全,自中元古界的至第四系均有出露,岩性以碳酸盐岩、碎屑岩和花岗岩等三大类岩石为主。其中含有碳酸盐岩的地层层位有8个系和1个相当于系的岩群,自距今10亿年的晚元古界丹洲群白竹组开始,向上依次有下古生界的中上寒武统、中奥陶统,上古生界泥盆系、石炭系、二叠系,中生界的下中三叠统、下侏罗统,新生界古近系始新统,累计厚度为 $10\,677 \sim 24\,790\text{m}$ ^[16-17]。它们主要分布于桂中、桂西、桂西北和桂西南的80多个县、市,面积达 $9.87\text{万}\text{km}^2$,占总面积的41.57%,其中裸露型碳酸盐岩 $7.47\text{万}\text{km}^2$,占碳酸盐岩总面积的75.7%;覆盖型碳酸盐岩 $2.41\text{万}\text{km}^2$,占碳酸盐岩总面积的24.3%^[16-17]。

广西碳酸盐岩地层主要由灰岩、白云岩及其过渡岩石(如白云质灰岩、灰质白云岩等)组成,总体以灰岩为主^[16-17]。其中:自中寒武统至中泥盆统下部,总体以白云岩为主,灰岩次之;中泥盆统上部至石炭系,除石炭系的大埔组为白云岩外,其余各层位以灰岩为主,燧石灰岩普遍出现,灰岩、白云岩过渡类型较常见;二叠系以灰岩、燧石灰岩为主,灰岩、白云岩过渡类型相对减少;三叠系以灰岩、白云岩为主,不纯灰岩较多。

1.2.3 区域水文地质简要特征

丰沛的降水是广西地表水和地下水的主要补给来源。广西年平均径流深 795.7mm ^[17],多年平均天然产水量 $1\,880\text{亿}\text{m}^3$ ^[17],居全国第5位;广西地下水天然补给资源 $792.51\text{亿}\text{m}^3/\text{a}$,最枯年排泄量为 $281.76\text{亿}\text{m}^3$ ^[17]。

1.2.3.1 地表水

广西境内主要河流分属珠江的西江水系、长江洞庭湖水系(湘江、资江)、桂南沿海诸河水系和百都河水系^[17],水域面积约 $8\,026\text{km}^2$,占陆地总面积的3.4%,集水面积在 50km^2 以上的河流有987条,集水面积 $1\,000\text{km}^2$ 以上的地表河有69条,河流总长约 $3.4\text{万}\text{km}$,河网密度为 $0.144\text{km}/\text{km}^2$ 。其中流经广西各岩溶区的红水河、柳江、郁江、桂江等,及其各支流均属西江水系;它们流域面积达 $202\,427\text{km}^2$,约占广西总面积85.7%,多年平均径流量 $2\,240\text{亿}\text{m}^3$ 。

1.2.3.2 地下水

广西已发现地下河604条,总长1万多千米,总排泄量 $191\text{m}^3/\text{s}$ ^[17],其中枯季流量 $500\text{L}/\text{s}$ 以上的有94条,排泄量为 $139\text{m}^3/\text{s}$;长度超过 10km 的有248条,如地苏地下河系、百郎地下河系等。

2 广西岩溶景观类型及发育、分布特征和特色分析

2.1 岩溶景观类型和分布特征

广西岩溶景观丰富,至今已发现的、比较重要和典型的岩溶景观资源实体达 600 余处,主要分布于桂东北、桂中、桂西北和桂西南地区,有峰丛、峰林、孤峰、丘陵、天生桥、石林、石柱峰、象形山、崖壁、洞穴及各类洞穴次生化学沉积物、地下河、穿洞、洼(谷)地、漏斗、坡立谷、盆地、地表河、峡谷(含地缝)、天坑、天窗、竖井、瀑布、泉、湖泊、湿地等岩溶景观,囊括所有岩溶景观的类型。它们主要以中上寒武统至中三叠统的碳酸盐岩为物质基础,首先以地表河流域(如红水河、柳江、漓江等)为主线,其次以岩溶地貌区划特征^[17](如桂东北山间盆地谷地岩溶地貌区、桂中盆地地貌区、桂西南低中山地岩溶地貌区、桂西北高原斜坡岩溶地貌区等)为区域划分标准,然后以所处行政区(如桂林、柳州、都安、乐业等)和所处流域位置(如上、中、下游)为辅线,呈线状有序、集中分布于各典型岩溶景观区及岩溶景区/公园/景点内(表 2),并以山、水、洞、桥、井等为工具(表 1),在大自然的精巧安排之下,勾勒出一幅幅浑然天成、意境幽雅的组合画卷(图 1),而各岩溶区各具特色的民族风情、历史人

表 2 广西岩溶景观分布特征

Table 2 Distribution characteristics of karst landscapes in Guangxi

流域 Watershed		岩溶地貌 区划 ^[17] Compartment of karst landform ^[17]	主要岩溶 景观类型 Main types of karst landscapes	典型岩溶 景观区 Typical karst landscapes area	典型岩溶景区/公园/景点 Typical karst scenic areas/ parks/scenic spots	最具代表性的 岩溶景观 The most representative karst landscapes
红水河 流域 Watershed of Red river	上中游 Up- stream and mid- stream	桂西北高原斜坡岩溶地 貌区 I Plateau slope karst land- form compartment of northwest of Guangxi I	天坑、天窗、天生桥、穿洞、地下河、 洞穴、峡谷、高峰丛深洼地、地表 河、湿地、坡立谷、竖井、石柱峰、 瀑布 Tiankeng, natural sylvight, natural bridge, light-through cave, under- ground river, cave, gorge, high peak cluster-deep depression, sur- face river, wetland, polje, shaft, pillar-like peak, waterfall	天峨-乐业-凌 云一带 Zone of Tian'e- Leyue-Lingyun	天峨龙滩水电站(○)、川洞 河燕子湖景区(☆)、天生桥 (☆) Hydropower station of Tian'e longtan(○), scenic area of Chuandong River and Swallow Lake (☆), natural bridge(☆)	深切峡谷(○)、洞穴、天生 桥(☆) Deep-cutting gorge(○), cave, natural bridge(☆)
					乐业国家地质公园(以百郎 地下河系为主线) Leye na- tional geopark (taking Bailang underground rivers as principal lines) (●,○)	超大型天坑群、地下河 (●), 天生桥、洞穴(○) Extra large tiangkeng group, underground river (●), natural bridge, cave (○)
					凌云纳灵洞景区、浩坤湖湿 地公园 Naling cave scenic area of Lingyun, Haokun wetland park(○)	湖泊、湿地(○) Lake, wetland park(○)
					凤山一带 Zone of Feng- shan	凤山国家地质公园(以坡 月、坡心地下河系为主线) Fengshan national geopark (taking Poyue and Poxin underground rivers as prin- cipal lines) (●,○)
				巴马一带 Zone of Bama	巴马百么洞、水晶宫、百鸟 岩景区 Baimo cave, Crystal palace cave, Bainiao cave(○)	洞穴 Cave(○)

文特色,则给这些组合注入一丝丝灵气和人文气息。它们或以目前中国乃至世界上最优美、最壮观、最典型的峰丛-峰林,或以目前全球分布密度最高的天坑群,或以目前国内外分布密度最大、观赏性极好的地下河天窗群,或以目前国内形态最典型、观赏性极好的峰林平原,或以目前国内外类型齐全、形态典型且数量众多的旅游洞穴,或以形态典型的天生桥,或以目前亚洲第一的跨国瀑布,或以峰峦高耸、水阔清幽的岩溶风景河段等为核心,组合成多个特色突出,形态优美、珍稀、雄伟、典型,且类型齐全的岩溶景观带,以及独具广西特色的“岛链式”岩溶景观分布格局。它们是全球最重要的亚热带岩溶景观分布区之一。其中,广西的峰丛-峰林、锥状峰丛、高峰丛深洼地、峰林/孤峰平原、洞穴、天坑、天窗、地下河、天生桥、岩溶风景河段、瀑布、崖壁等是全球同类地质遗迹的典型代表和佼佼者^[4-15,18-19]。

2.2 典型岩溶景观发育特征

2.2.1 峰丛洼地与峰林平原

峰丛洼地与峰林平原连续、广泛分布于广西各岩溶区,是所处流域景观带的主体和骨架,也是广西最具特色的岩溶景观之一,并共同构筑所处岩溶景观区优美环境的自然大背景。

Continue table 2

流域 Watershed	岩溶地貌 区划 ^[17] Compartment of karst landform ^[17]	主要岩溶 景观类型 Main types of karst landscapes	典型岩溶 景观区 Typical karst landscapes area	典型岩溶景区/公园/景点 Typical karst scenic areas/ parks/scenic spots	最具代表性的 岩溶景观 The most representative karst landscapes
	桂西中低山Ⅳ+桂中盆地Ⅱ岩溶地貌区 Middle and lower mountain karst landform compartment of west of Guangxi Ⅳ+basin karst landform compartment of central Guangxi Ⅱ	天坑、天窗、天生桥、穿洞、地下河、洞穴、峡谷、高峰丛深洼地、地表河、湿地、坡立谷、竖井、石柱峰、瀑布 Tiankeng, natural sylvight, natural bridge, light-through cave, underground river, cave, gorge, high peak cluster-deep depression, surface river, wetland, polje, shaft, pillar-like peak, waterfall	大化-都安-马山一带 Zone of Dahua-Du'an-Mashan	大化七百弄国家地质公园(●)、岩滩景区(○) Dahua Qibainong national geopark(●), scenic area of Yantan(○)	高峰丛深洼地(●)、深切峡谷(○) High peak cluster - deep depression(●), deep-cutting gorge(○)
				都安地下河地质公园(以地苏地下河系为主线)(●)、澄江国家湿地公园(○) Du'an underground river national geopark (taking Disu underground rivers as principal lines) (●), Chengjiang river national wetland park(○)	地下河、天窗群(●), 湿地(○) Underground river and natural sylvight group (●), wetland(○)
				马山金伦洞(○)、金钗石林(☆)、永州暗河景区(☆) Mashan Jinlun cave (○), Jinchai stone forest (☆), underground river scenic area of Yongzhou(☆)	洞穴(○), 石林(☆) Cave (○), stone forest (☆)
			上林一带 Zone of Shang-lin	上林大龙湖(○)、木棉水库(☆) Dalong lake (○), Mumian Reservoir(☆)	湖泊和湿地(○) Lake and wetland(○)
下游 Down-stream	桂中盆地岩溶地貌区Ⅱ Basin karst landform compartment of central Guangxi Ⅱ	峰林-峰丛盆地、孤峰、地表河、峡谷、湿地、峰丛洼地、坡立谷、泉 Peak forest-peak cluster basin, isolated peak, surface river, gorge, wetland, peak cluster-depression, polje, spring	合山-兴宾区一带 Zone of Heshan-Lingbin	合山洛灵湖国家湿地公园(○)、龙王清泉(☆) Luoling national wetland park(○), Longwang clear spring(☆)	湿地(○)、泉(☆) Wetland(○), spring(☆)
				兴宾区红水河一带 Zone of Red river of Lingbin(○, ☆)	峰林-峰丛盆地(○), 峡谷(☆) Peak forest - peak cluster basin(○), gorge(☆)
柳江流域 Watershed of Liujiang River	桂中盆地Ⅱ+桂西北高原斜坡Ⅰ岩溶地貌区 Basin karst landform compartment of central Guangxi Ⅱ + Plateau slope karst landform compartment of north-west of Guangxi Ⅰ	峰林/孤峰平原、地表河、峡谷、洞穴、天生桥、盆地、峰丛洼地、象形山、天窗、湖泊、温泉 Peak forest/isolated peakplain, surface river, gorge, cave, natural bridge, basin, peak cluster-depression, pictographic mountain, natural sylvight, lake, hot spring	环江/南丹-宜山一带(龙江小流域) Zone of Huanjiang/Nandan-Yishan (Little watershed of Longjiang river)	环江世界自然遗产地 Huanjiang World Natural Heritages site(●)	锥状峰丛、岩溶森林(●) Cone peak cluster, karst forest(●)
				南丹珍珠洞、洞湖天生桥(○)、瑶里洞天、九洞天、八穿河(☆) Nandan Zhenzhu cave, Donghu natural bridge (○), Yaoli natural sylvight, Qiu natural sylvight, Ba natural sylvight(☆)	洞穴、天生桥(○), 天窗(☆) Cave, natural bridge(○), natural sylvight(☆)
				金城江龙江小三峡风景区 Little three gorges scenic area of Longjiang of Jinchengjiang(○)	岩溶风景河段 Karst-landscape river section(○)
				宜山下枧河、龙江水上石林(○) Xiajian river of Yishan, water stone forest of Longjiang(○)	岩溶风景河段、水上石林(○) Karst-landscape river section, water stone forest (○)
				罗城剑江(☆)、天门山(☆)、天生桥(○)、崖宜(☆)、武阳(☆) Jianjiang River of Luocheng, Tianmen mountain (☆), natural bridge(○), Yayi(☆), Wuyang(☆)	天生桥(○), 风景河段(☆) Natural bridge(○), karst-landscape river section (☆)

Continue table 2

流域 Watershed	岩溶地貌 区划 ^[17] Compartment of karst landform ^[17]	主要岩溶 景观类型 Main types of karst landscapes	典型岩溶 景观区 Typical karst landscapes area	典型岩溶景区/公园/景点 Typical karst scenic areas/ parks/scenic spots	最具代表性的 岩溶景观 The most representative karst landscapes	
	桂中盆地岩溶地貌区 II Basin karst landform compartment of central Guangxi II	峰林/孤峰平原、地表河、峡谷、洞 穴、天生桥、盆地、峰丛洼地、象形 山、天窗、湖泊、温泉 Peak forest/isolated peakplain, surface river, gorge, cave, natural bridge, basin, peak cluster-depres- sion, pictographic mountain, natu- ral sylight, lake, hot spring	永福-鹿寨一带 (洛清江小 流域) Zone of Yong- fu Luzhai (Lit- tle watershed of Luoqingjiang River)	永福永福岩(☆)、百寿岩 景区 Yongfuyan cave of Yongfu (☆), scenic area of Baishou cave	洞穴(☆) Cave(☆)	
				鹿寨香桥岩国家地质公园 Luzhai Xiangqiaoyuan na- tional geopark(○)	峰丛-峰林平原、天窗群、 天生桥(○) Peak cluster-peak forest plain, natural sylight group, natural bridge(○)	
			融水-柳城一带 (融江小流域) Zone of Rong- shui - Liucheng (little water- shed of Rongjiang Riv- er)	融水融江一带 Zone of Rongjiang River of Rongshui(☆)	峰丛峡谷、象形山(☆) Peak cluster gorge, picto- graphic mountain(☆)	
				柳城金洞、龙寨水岩(☆)、 柳城巨猿洞、洛崖 Jin cave of Liucheng, un- derground river cave of Longzhai(☆), Juyuan ca- ve, Luoya cliff	峰丛洼地、洞穴(☆) Peak cluster- depression, cave(☆)	
下游 Down- stream	桂中盆地岩溶地貌区 II Basin karst landform compartment of central Guangxi II	峰林/孤峰平原、地表河、峡谷、洞 穴、天生桥、盆地、峰丛洼地、象形 山、天窗、湖泊、温泉 Peak forest/isolated peakplain, surface river, gorge, cave, natural bridge, basin, peak cluster-depres- sion, pictographic mountain, natu- ral sylight, lake, hot spring	柳州市一带(柳 江流域) Zone of Li- uzhou (water- shed of Liu- jiang River)	柳州都乐岩、大龙潭、白莲 洞、鱼峰山、雀山(○)、百里 柳江(●)、红花谷湿地(○) 等公园/景区 Dule cave, Dalongtan, Baili- andong cave, Yufeng mountain, Queshan moun- tain of Liuzhou(○), one- hundred miles karst-land- scape river section of Liu- jiang river(●), Honghua- gu national wetland park (○)	峰林/孤峰平原、岩溶风景 河段(●)、洞穴、象形山、 湖泊(○) Peak forest/isolated peak- plain, karst-landscape riv- er section(●), cave, pic- tographic mountain, lake (○)	
			象州一带 Zone of Xiang- zhou	象州温泉、凉泉景区(○) Xiangzhou hot spring(○), scenic area of Liang spring	温泉 Hot spring(○)	
			黔江流域 Watershed of Qian- jiang River	桂中盆地岩溶地貌区 II Basin karst landform compartment of central Guangxi II	峰林/孤峰盆地、地表河、峡谷、坡 立谷、峰丛洼地、泉、湖泊 Peak forest/isolated peak basin, surface river, gorge, polje, peak cluster-depression, spring, lake	武宣-桂平一带 Zone of Wuxu- an-Guiping
		桂平大藤峡 Dateng gorge of Guiping (○)				
郁江 流域 Water- shed of Yujiang River	右江 You- jiang River	西江谷地岩溶地貌区 VI Xijiang valley karst land- form compartment VI	瀑布、泉、石林、峰丛洼地、峰林、地 表河、峡谷、坡立谷、湖泊 Waterfall, spring, stone forest, peak cluster-depression, peak for- est, surface river, gorge, polje, lake	平果-隆安一带 Zone of Ping- guo-Longan	平果敢沫岩景区、芦仙湖湿 地公园(☆) Ganmo cave scenic area of Pingguo, wetland park of Luxianhu lake(☆)	峰丛洼地、湿地(☆) Peak cluster- depression, wetland(☆)
					隆安更望湖、布泉 Gengwang lake and bu spring of Longan(☆)	峰丛洼地、泉(☆) Peak cluster- depression, spring(☆)
		桂西南低中山地岩溶地 貌区 V Middle and lower moun- tain karst landform com- partment of southwest of Guangxi V	瀑布、泉、石林、峰丛洼地、峰林、地 表河、峡谷、坡立谷、湖泊 Waterfall, spring, stone forest, peak cluster-depression, peak for- est, surface river, gorge, polje, lake	天等一带 Zone of Tian- deng	安吉岩(☆)、保安峰丛/石 林(☆)、龙角天池 Anji cave(☆), peak clus- ter/ stone forest of Bao'an (☆), Longjian lake	洞穴、峰丛(☆) Cave, peak cluster(☆) karst forest(☆)
				德保一带 Zone of Debao	吉星岩(☆)、独秀峰(☆)、 红叶国家森林公园(○) Jixing cave(☆), Duxiu peak(☆), Hongye national forest park(○)	洞穴、峰丛(☆)、岩溶森林 (○) Peak cluster, cave(☆) karst forest(○)

Continue table 2

流域 Watershed		岩溶地貌 区划 ^[17] Compartment of karst landform ^[17]	主要岩溶 景观类型 Main types of karst landscapes	典型岩溶 景观区 Typical karst landscapes area	典型岩溶景区/公园/景点 Typical karst scenic areas/ parks/scenic spots	最具代表性的 岩溶景观 The most representative karst landscapes		
左江 Zuojiang River	桂西北高原斜坡 I 和桂西南低中山地 V 岩溶地貌区 Plateau slope karst landform compartment of northwest of Guangxi I + middle and lower mountain karst landform compartment of southwest of Guangxi V	瀑布、泉、石林、峰丛洼地、峰林、地表河、峡谷、坡立谷、湖泊 Waterfall, spring, stone forest, peak cluster-depression, peak forest, surface river, gorge, polje, lake	靖西-大新(黑水河小流域) Zone of Jingxi-Daxin (Little watershed of Heishui River)	靖西鹅泉、通灵大峡谷和瀑布(○) Espring of Jingxi, big gorge and waterfall of tongling (○)	泉、峰丛峡谷、瀑布(○) Spring, peak cluster gorge, waterfall(○)			
						大新德天瀑布(●)、明仕田园、黑水河国家湿地公园、龙宫仙境景区、恩城自然保护区(○) Detian waterfall (●), Mingshi countryside, Heishui River national wetland park, scenic area of Longgong xianjing, Encheng natural reserve	瀑布(●)、峰丛-峰林洼地、峰丛峡谷、岩溶风景河段(○) Waterfall(●), peak cluster-peak forest-depression, peak cluster gorge, karst-landscape river section(○)	
						龙州-崇左-扶绥一带 Zone of Longzhou-Chongzuo-Fusui	龙州明江风景区、弄岗国家级自然保护区(○)、小连城、紫霞洞 Mingjiang scenic area of Longzhou, Nonggang national natural reserve(○), little lian city, Zixia cave	峰丛峡谷、岩溶风景河段、岩溶森林(○) Peak cluster gorge, karst-landscape river section, karst forest(○)
						崇左花山风景名胜(●)、左江风景区、石林景区(☆) Huashan scenic area of Chongzuo(●), scenic area of Zuojiang River, Shilin scenic area(☆)	崖壁(●)、石林、峰丛峡谷、岩溶风景河段(☆) Cliff(●), stone forest, peak cluster gorge, karst-landscape river section(☆)	
邕江 Yongjiang River	桂西中低山岩溶地貌区 IV Middle and lower mountain karst landform compartment of west of Guangxi IV	瀑布、泉、石林、峰丛洼地、峰林、地表河、峡谷、坡立谷、湖泊 Waterfall, spring, stone forest, peak cluster-depression, peak forest, surface river, gorge, polje, lake	武鸣一带 Zone of Wuming	武鸣灵水湖、伊岭岩(☆) Lingshui lake of Wuming, Yiling cave(☆)	湖泊、洞穴(☆) Lake, cave(☆)			
						邕宁至六景的邕江段 Yongjiang River section from Yongning to Liujing	邕江风景河段(☆)、六景石林 Karst-landscape river section of Yongjiang River(☆), stone forest of Liujing	岩溶风景河段(☆) Karst-landscape river section(☆)
郁江 Yujiang River	西江谷地岩溶地貌区 VI Xijiang valley karst landform compartment of Guangxi VI	瀑布、泉、石林、峰丛洼地、峰林、地表河、峡谷、坡立谷、湖泊 Waterfall, spring, stone forest, peak cluster-depression, peak forest, surface river, gorge, polje, lake	横县-贵港-桂平一带(郁江) Zone of Hengxian-Guigang-Guiping(Yujiang River)	横县郁江风景区 Yujiang River scenic area of Hengxian(☆)	峰丛峡谷(☆) Peak cluster gorg(☆)			
						贵港龙岩洞 Longyuan cave of Guigang	洞穴 Cave	
桂江 流域 Watershed of Gui- jiang River	漓江 Li River	桂东北山间盆地谷地岩溶地貌区 III Intermontane basin-valley karst landform compartment of northeast of Guangxi	桂林-昭平一带(漓江小流域) Zone of Guilin-Zhaoping (Little watershed of Lijiang River)	桂林世界自然遗产地、漓江(●)、象山景区、独秀峰、芦笛岩、七星岩、月亮山等,以及会仙国家湿地公园(○)等 Guilin world natural heritage site, Lijiang River(●), Xiangshan scenic area, Duxiu peak, Ludiyuan cave, Qixingyan cave, Moon hill, Huixian national wetland park(○)	塔状峰丛-峰林、岩溶风景河段(●)、洞穴、象形山、穿洞(○) Tower-like peak cluster-peak forest, karst-landscape river section(●), cave, pictographic mountain, light-through cave(○)			
						荔浦银子岩、丰鱼岩等 Yinziyan cave and Fengyuyan cave of Lipu (○)	洞穴(○) Cave(○)	

Continue table 2

流域 Watershed	岩溶地貌 区划 ^[17] Compartment of karst landform ^[17]	主要岩溶 景观类型 Main types of karst landscapes	典型岩溶 景观区 Typical karst landscapes area	典型岩溶景区/公园/景点 Typical karst scenic areas/ parks/scenic spots	最具代表性的 岩溶景观 The most representative karst landscapes
				平乐朝天岩、狮子岩、冷水石景等(☆) Zhaotianyan cave, Shiziyuan cave and Lengshui rock-scene of Pingle(☆)	洞穴、象形山(☆) Cave, pictographic mountain(☆)
				昭平九如洞 Jiuru cave of Zhaoping	洞穴 Cave

注:表中“☆、○、●”分别表示具有省级、国家级和世界级价值的代表性岩溶景观

Note: "☆, ○, ●" in the table respectively expresses representative karst landscape which respectively possesses province-class value, national-class value and world-class value

2.2.1.1 峰丛洼地

中国的峰丛洼地,广泛分布于南岭-苗岭-云贵高原斜坡以南地区,以广西西北部、西南部,广东西北部,湖南南部,贵州南部与云南东南部的高原边缘及斜坡地带最为集中,98%以上峰丛洼地见于这些地区;它们海拔高程为260~2445 m,相对高差为210~1160 m,年均气温在16℃以上,年降水量大于1200 mm。

广西的峰丛洼地,分布面积达49642 km²,海拔200~1830 m,相对高差80~1260 m,坡度15°~45°^[17],广泛分布于各岩溶区域,尤其集中分布于广西西北部、西南部等,如都安、大化、靖西、大新、南丹、德保、天等、环江、宜州、马山、河池、柳州、龙州、平果、忻城、罗城、田阳、来宾、东兰、隆安、巴马等地;山体多呈锥形、塔形、筒形,呈簇状分布,有连座,山脊为锯齿状;洼(谷)地为向内凹下的多边形,以长条形及浑圆状为主;而洼(谷)地、峡谷、天坑、坡立谷等负地貌纵横交错分布于各峰体之间,相互组合成峰丛洼地的典型形态。

同时,某一岩溶区的峰丛洼地,从其所处小流域

的上游至下游(指早期地表水流经的区域,以下相同),大体上由高峰丛深洼地(峰顶海拔≥1100 m,相对高度430~950 m)→中峰丛洼地(峰顶海拔650~1100 m,相对高度200~500 m)→低峰丛洼地(峰顶海拔多在650 m以下,相对高度50~350 m)→高峰林平原/谷地(峰顶海拔多350~650 m,相对高度150~250 m)→低峰林/孤峰平原(峰顶海拔多在350 m以下,相对高度50~150 m)依次过渡,多层、多期协同共生,有序分布于同一流域的岩溶系统内(表3和图2)。其中,高峰丛主要分布于所处小流域的分水岭上,即上游流经的区域;中、低峰丛主要分布于中游流经的区域;峰林分布于下游流经的区域。纵向上,随着海拔的降低,既反映在不同地质历史时期,由幼年期→青年期→中年期→老年期等多期完整的地表岩溶演变系列(峰丛→峰林→孤峰),也反映同一流域不同水文地质条件对岩溶过程的具体控制和影响。横向上,不同类型且处于不同发育阶段的多种地表岩溶地貌同生共存、依次过渡,则反映现代多期岩溶作用同时、平行演化的关系,典型的有乐业、大化、都安、大新、柳州、桂林等峰丛洼地^[4-6,13]。

表3 广西不同岩溶区域典型峰丛洼地简要形态特征

名称与位置 Name and location		分带发育特征 Growing characteristics of zoning		
		峰丛高程 Elevation of fengcong(m)	洼地高程 Elevation of depression(m)	洼地深度 Depth of depression(m)
桂西北乐业地区 Leye area of northwest of Guangxi	分水岭地带 Zone of watershed	1320~1540	980~1260	240~530
	中游地带 Zone of midstream	1150~1350	940~1170	280~360
	下游地带 Zone of downstream	1180~1270	920~940	230~320
桂西北凤山地区 Fengshan area of north-west of Guangxi	分水岭地带 Zone of watershed	720~950	520~640	200~430
	中游地带 Zone of midstream	680~910	480~510	200~380
	下游地带 Zone of downstream	680~850	460~490	200~360

Continue table 3

名称与位置 Name and location		分带发育特征 Growing characteristics of zoning		
		峰丛高程 Elevation of fengcong (m)	洼地高程 Elevation of depression (m)	洼地深度 Depth of depression (m)
桂西北都安峰丛 Du'an fengcong of north-west of Guangxi	上游地带 Zone of upstream	750~100	300~940	430~950
	上、中游地带 Zone of upstream and mid-stream	650~750	300~680	200~500
	中游地带 Zone of midstream	<650	<300	100~350
	中、下游地带 Zone of midstream and down-stream	580~640	300~250	430~490
	下游地带 Zone of downstream	400~600	190~160	200~300
桂西南靖西峰丛 Jingxi fengcong of southwest of Guangxi		900~1 200	680~740	220~460
桂中忻城峰丛 Xincheng fengcong of central Guangxi		500~700	160~180	340~500
桂西南龙州峰丛 Longzhou fengcong of southwest of Guangxi		400~600	140~160	260~440
桂东北桂林峰丛 Guilin fengcong of northeast of Guangxi		450~630	160~300	60~180

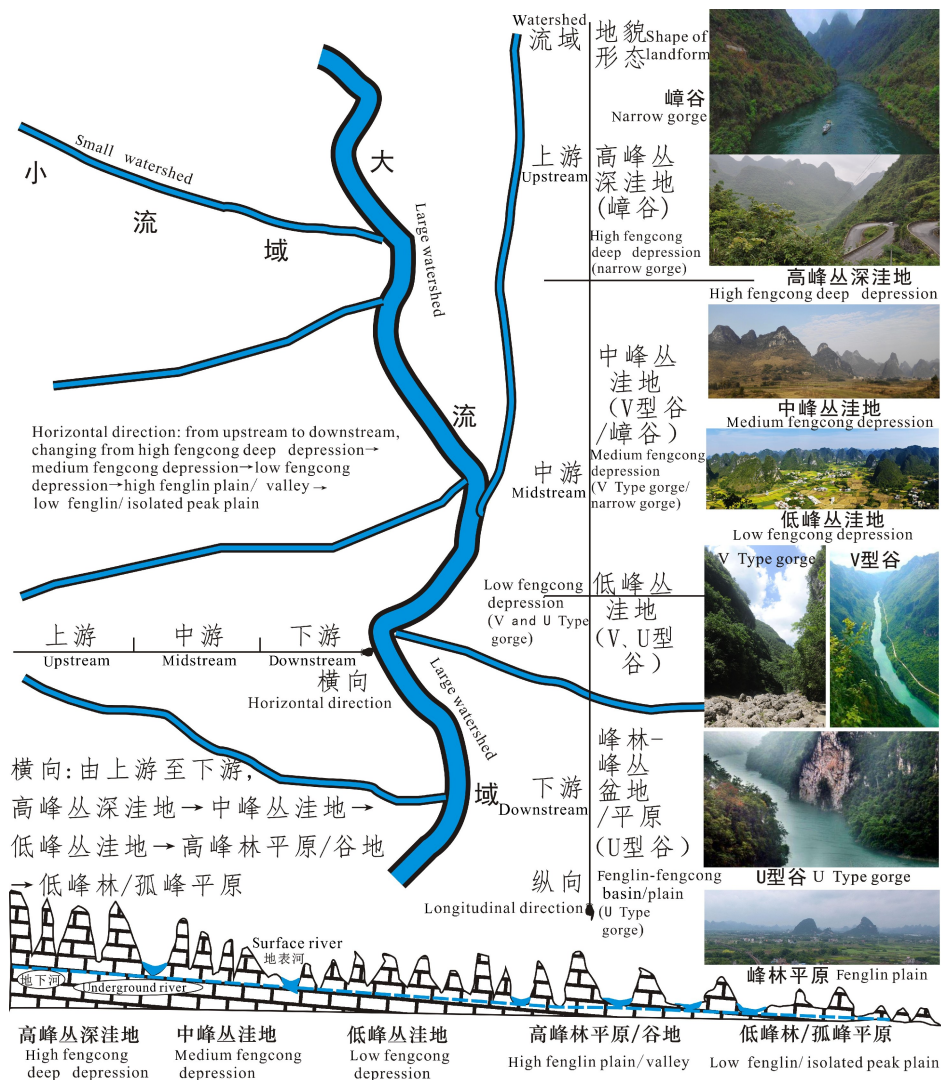


图 2 流域岩溶景观带分布示意图

Fig. 2 Schematic diagrams of distribution of karst landscape band of drainage basin

2.2.1.2 峰林平原

中国的峰林平原主要出现于地势相对比较低平而又有利于汇水的纯碳酸盐岩地区,98%集中在广西,其余部分零星见于湖南的零陵、宁远、江永及黔南的都匀与独山等地^[17]。它们海拔高程为40~1160 m,相对高度一般为50~250 m。

广西的峰林平原^[17],分布面积达13118.73 km²,海拔60~870 m,一般仅比所处岩溶区域地下水位高出几米(<10 m),广泛分布于各岩溶区内;山体多呈塔状、锥状、柱状,或密集成林状,或孤峰林立于谷地中,山体表面山石嶙峋,植被稀疏。典型的有桂林-阳朔、平乐-钟山-贺州、宜州-柳城、柳江-柳州-来宾、隆安-扶绥、大新-崇左、武宣-贵港、龙州等峰林平原,连片分布,面积均达几百至千余平方千米;永福三皇、宜山德胜、罗城东门、东兰武篆-江平、都安地苏、忻城大塘-思练、柳江三都、马山永州、田阳波洪、靖西魁圩、德保足荣、龙州武德、天等都康等峰林平原,面积相对较小,多为几平方千米至十几平方千米,个别可达60~70 km²。

如上面所述,广西的峰丛洼地、峰林平原,是全球陆地上分布面积最大、景观美学价值最高,具有典型性、珍稀性和不可替代性的岩溶地貌/景观类型,系统地记录峰丛洼地和峰林平原在不同地质时代和地质地理环境下的形成演化过程,是全球亚热带气候区峰丛洼地、峰林平原岩溶地貌深演化的杰出范例及最为独特的自然美景和重要的美学价值区之一,堪称峰丛峰林之魂。

2.2.2 天坑

2.2.2.1 国内外岩溶天坑分布特征

截止2016年,中国已发现的、经过科学认定的天坑,主要分布于西南部的岩溶峰丛区,尤其是具有深

表4 全球发育有7个(含7个)以上天坑的岩溶区域^[5,18-19]

Table 4 The karst area which has more than 7(including 7) tiankengs in the world^[5,18-19]

序号 SN	天坑群所在地 Tiankeng group location	数量(个) Quantity (site)	国家/地区 Country/region
1	乐业 Leye	>27	中国/广西/乐业 Leye/Guangxi Zhuang Autonomous Region/China
2	武隆 Wulong	15	中国/重庆/武隆 Wulong/Chongqing/China
3	Atea	10	巴布亚新几内亚 Muller 高原 Muller plateau, Papua New Guinea
4	Nakanai	9	巴布亚新几内亚新不列颠岛 Nakanai Nakanai, New Britain, Papua New Guinea
5	奉节 Fengjie	7	中国/重庆/奉节 Fengjie/Chongqing /China
6	织金 Zhijin	7	中国/贵州/织金 Zhijin/Guizhou Province/China

注:据陈伟海等,2004;韦跃龙等,2009,2012;有修改

Note: According to Chen Weihai, et al., 2004, Wei Yuelong, et al., 2009, 2012; revised

切特征的长江和红水河流域,总数达66个(约占全球已发现天坑总数92个的72%)^[5,18-19];全球发育有7个(含7个)以上天坑的岩溶区域共有6处,其中中国4处(表4)。

而目前除中国外,世界上的天坑(26个)多出现于低纬度地区,如巴布亚新几内亚新不列颠岛、马来西亚沙捞越州及墨西哥等地,但形态不典型,四壁较缓,深度较小,底部堆积物较厚^[5,18-19]。

2.2.2.2 广西天坑的分布和发育特征

目前广西已发现的、经过科学认定的天坑约有32个,分别约占中国和全球已发现天坑总数的一半和三分之一。它们呈点群状密集分布于广西红水河流域内的岩溶区,均为塌陷型天坑,形态从小型到超巨型,发育状态从已停止发育至正在发育之中,分别代表着天坑不同的形成环境和过程;它们各自之间既有很好的空间分布规律,又有时间上先后生成、发展的序列可追寻,是地球上罕见的、极好的天坑天然博物馆和科学研究的天然实验基地。

同时,广西拥有多处堪称世界珍品的天坑:(1)乐业天坑群,发育在110 km²的区域内,是目前世界天坑分布密度最高的地区(表4);(2)乐业大石围天坑和巴马交乐天坑,其容积分别位列全球第三和第二位(表5),深度也分别位列全球第二和第六位(表6),是国内外规模最大的天坑之一。

广西天坑四周陡崖圈闭,形态典型,具备雄、奇、险、幽、奥等形象美,同时它与地下河、瀑布、洞穴、峰丛、复合式峡谷等各类典型的岩溶地貌相伴发育,交相辉映,共同构成广西最具特色的岩溶景观之一;游人行走于坑壁、坑底、天坑森林之间,展现出深邃天坑极高的可亲近性和较好的观赏性^[18]。

表 5 全球容积大于 40 Mm³ 的天坑

Table 5 The tiangkengs which volume is greater than 40 Mm³ in the world

序号 SN	天坑名称 Tiankeng name	天坑容积 Capacity of tiangkeng (Mm ³)	坑口大小 Size of opening	坑口面积 Opening area (×10 ³ m ²)	天坑深度 Depth of tiangkeng (m)		国家/地区 Country/region
			长/宽 Length/width (m)		最大 Max	最小 Min	
1	小寨 Xiaozhai	119	625/535	274	662	511	中国/重庆/奉节 Fengjie/Chongqing/China
2	号龙 Haolong	110	800/600	320	509.3	185.4	中国/广西/巴马 Bama/Guangxi Zhuang Autono- mous Region/China
3	大石围 Dashuiwei	67.1	600/420	166.6	613	510	中国/广西/乐业 Leye/Guangxi Zhuang Autono- mous Region/China
4	Lusé	61	800/600	350	250	224	巴布亚新几内亚 Papua New Guinea
5	大槽口 Dacaokou	55.65	905/370	226.8	330	265	中国/贵州/织金 Zhijin/Guizhou Province/China
6	小岩湾 Xiaoyanwan	40	625/475	200	248	178	中国/四川/兴文 Xingwen/Sichuan Province/China

注:据陈伟海等,2004;韦跃龙等,2009,2012;有修改

Note:According to Chen Weihai,et al.,2004,Wei Yuelong,et al.,2009,2012;revised

表 6 全球深度大于 500 m 的天坑

Table 6 The tiangkengs which depth is greater than 500 m in the world

序号 SN	天坑名称 Tiankeng name	天坑深度 Depth of tiangkeng (m)		国家/地区 Country/region
		最大 Max	最小 Min	
1	小寨 Xiaozhai	662	511	中国/重庆/奉节 Fengjie/Chongqing/China
2	大石围 Dashuiwei	613	510	中国/广西/乐业 Leye/Guangxi Zhuang Autonomous Region/Chi- na
3	Crveno Jezero	528	431	克罗地亚 Croatia
4	Minyé	510	400	巴布亚新几内亚新不列颠岛 New Britain,Papua New Guinea
5	Grveno Jezero(Red Lake)	528	—	Dinaric,Croatia
6	号龙 Haolong	509.3	185.4	中国/广西/巴马 Bama/Guangxi Zhuang Autonomous Region/Chi- na

注:据陈伟海等,2004;韦跃龙等,2009,2012;有修改

Note:According to Chen Weihai,et al.,2004,Wei Yuelong,et al.,2009,2012;revised

2.2.3 天窗

目前,国外地下河天窗数量少,尚未发现有开发成旅游景区的天窗景观;而国内发现的天窗则较多,并开发成多处典型的天窗景区,广西有 3 处(表 7)。其中:(1)都安天窗群,500 多个规模、形态各异的天窗呈线状串珠式分布于 241 km 的地苏地下河系河道上,是目前国内外分布密度最大、观赏性极好的地下河天窗群,名副其实的世界地下河天窗最典型的天然博物馆,堪称世界第一的地下河天窗群^[13];(2)凤

山三门海天窗群,7 个天窗呈线状串珠式分布于 700 m 地下段内,天窗直径、深度多在百米以上,形态优美,可乘船或步行于其间,“坐井观天”的感觉真实而震撼,堪称世界最美的天窗群。

同时,东兰燕子洞天窗(508 m)、乐业风岩天窗(369 m)和冒气洞天窗(365 m)分别位列中国最深天窗的第 3,7,9 位(表 8)。但它们单独发育于所处区域地下河河道上,需专业人员指导和借助专业工具方可进入,基本上不具备可进入性。

表 7 中国典型天窗景区间的对比

Table 7 Contrast of typical natural sylights in China

天窗名称 Natural sylight name	对应地下 河长度 Length of cor- responding un- der ground riv- er(km)	天窗个数(个) Natural sylight quantity (site)	主要特征 Main characteristics
广西都安天窗群 Du'an natural sylight group of Guangxi	241	>500	天窗口部多介于 40~80 m×80~100 m,深度多介于 10~60 m,其中规模较大、形态典型的有 136 个,可进入性较好的达 47 个,国内外极为罕见 The size of opening of natural sylights are mainly between 40~80 m×80~100 m,the depth is mainly between 10~60 m. Among them there are 136 natural sylights which have larger scale and typical shape, and 47 natural sylights which are easily accessible. They are rare to be found internationally
广西凤山三门海天窗群 Sanmenhai natural slylight group of Feng- shan,Guangxi	0.7	7	天窗直径、深度多介于 130~150 m,形态优美,可进性较好,国内外较为罕见 The diameter and depth of natural sylights are mainly between 130~150 m, with typical shape and preferably accessible,relatively rare at home and a-broad
广西鹿寨香桥岩天窗群 Xiangqianyan natural slylight group of Luzhai, Guangxi	5	28	规模、形态各异的天窗,直径、深度介于 20~50 m,可进性一般,国内外较为少见 The diameter and depth of natural sylights are mainly between 20~50 m, with differentl shape and scale,ordinary accessible,seldom be found at home and abroad
贵州九洞天天窗群 Jiudongtian natural slylight group of Guizhou	2	9	天窗直径、深度多介于 100~120 m,形态优美,可进性较好,国内外较为少见 The diameter and depth of natural sylights are mainly between 100~120 m, with graceful shape and preferably accessible,seldom be found at home and a-broad
重庆黔江蒲花天窗群 Puhua natural sylight group of Qianjiang, Chongqing	0.4	3	天窗,直径、深度介于 110~120 m,可进性较好,国内外较为少见 The diameter and depth of natural sylights are mainly between 110~120 m, with preferably accessible,seldom be found at home and abroad

表 8 中国深度大于 330 m 的天窗

Table 8 The natural sylights which depth is greater than 330 m in China

序号 SN	天窗名称 Name of natural sylight	所在地区 Region	深度 Depth(m)
1	气坑洞天窗 Qikengdong natural sylight	重庆武隆 Wulong,Chongqing	>710
2	寨洞天窗 Zhaidong natural sylight	湖北鹤峰 Hefeng,Hubei	552
3	燕子洞天窗 Yanzidong natural sylight	广西东兰 Donglan,Guangxi	508
4	格比河洞天窗 Gebihedong natural sylight	贵州紫云 Ziyun,Guizhou	445
5	吴家洞天窗 Wujiadong natural sylight	贵州水城 Shuicheng,Guizhou	430
7	东西天窗 Dongxi natural sylight	湖北五峰 Wufeng,Hubei	382
8	风岩天窗 Fengyan natural sylight	广西乐业 Leye,Guangxi	369
9	洞河天窗 Donghe natural sylight	湖北鹤峰 Hefeng,Hubei	366
10	冒气洞天窗 Maoqidong natural sylight	广西乐业 Leye,Guangxi	365
11	大天坑消水洞天窗 Datiankeng Xiaoshuidong natural sylight	湖北鹤峰 Hefeng,Hubei	333

2.2.4 地下河

目前,中国至少有地下河 2 836 条,地下河总长度约 13 919 km,流量达 1 482 m³/s。其中已探测的总长超过 80 km 地下河系有 10 条,它们均地处红水河及其支流的流域内,发育于泥盆系至三叠系的碳酸盐岩地层内,具有流程长、汇水面积大、埋深大、结构形态复杂、管道规模壮观、集中排泄量大的特点^[20-22];而它们各自的长度、流域面积、流量、海拔等间有着较大的差异。

在总长超过 80 km 的 10 条地下河系中,广西占 7 条^[20-22],是目前国内巨型地下河系分布最密集的区域,是地球上的一处极好、罕见的地下河天然博物馆和科学研究的天然实验基地(表 9)。其中,都安地苏地下河系是目前广西、红水河流域、西南八省区,乃至中国已探测的最长地下河(表 9),堪称中国地下河之王,也是海拔较低的地下河,还是世界上首条在学术上被命名的地下河系,是全球岩溶地下河的典型代表和佼佼者。

表 9 中国总长度 > 80 km 巨型地下河系 (截止 2015 年 12 月)

Table 9 Underground rivers which length is longer than 80 km in China (By December 2015)

序号 SN	总长度 Total length (km)	地下河 系名称 Name of underground rivers	地理 位置 Location	发育 地层 Develop- mental stratum	流域面积 Area of watershed (km ²)	枯季流量 Flow of dry season (L/s)	海拔 Altitude (m)	所属水系 River system which is belonged to
1	241.1	地苏 Disu	广西都安 Duan, Guangxi	D ₂ -P ₂	1 004	4 860	110~350	红水河 Red River
2	159	百郎 Bailang	广西乐业 Leye, Guangxi	D ₃ -P ₁	835.5	3 182	375~1 050	红水河 Red River
3	142	布泉 Buquan	广西隆安 Long'an, Guangxi	D ₃ -P ₁	913	2 346	170~550	右江 Youjiang River
4	110	六郎洞 Liulangdong	云南邱北 Qiubei, Yunnan	D ₂ -T ₂	2 064	10 600	1 400~2 300	南盘江 Nanpanjiang River
5	102.9	作登 Zuodeng	广西德保 Debao, Guangxi	D ₂ -T ₁	783	3 679.7	120~780	右江 Youjiang River
6	88	洛帆 Luofan	贵州册亨 Ceheng, Guizhou	T ₂	1 240	8 400	450~1 380	北盘江 Beipanjiang River
7	85	大小井 Daxiaoqing	贵州罗甸 Luodian, Guizhou	D ₃ -T ₂	1 560	6 600	1 100~1 500	红水河 Red River
8	81.5	谷布 Gubu	广西田阳 Tianyang, Guangxi	D ₃ -T ₂	873.1	5 633.4	470~900	右江 Youjiang River
9	81.5	坡月 Poyue	广西巴马 Bama, Guangxi	C ₂ -P ₂	1 484.5	5 797	350~650	红水河 Red River
10	80.1	水源洞 Shuiyuandong	广西凌云 Lingyun, Guangxi	D ₃ -P ₁	291.2	1 620.5	650~1 200	右江 Youjiang River

注:资料来源于广西壮族自治区地质矿产局^[16,20],云南省地质局^[21]和贵州省地质环境监测总站^[22]

Note: Data come from Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources^[16,20], Geology Bureau of Yunnan Province^[21], Geological Environment Monitoring Centre of Guizhou Province^[22]

2.2.5 洞穴

广西岩溶洞穴众多,广泛分布于各岩溶区,若按洞穴发育密度 0.8~1 个/km²,至少有 6 万多个。截止目前,全国已开发的 403 处旅游洞穴中,广西有 56 处,是目前国内外旅游洞穴分布数量最多的区域^[4,7,9,11-12];同时也是旅游洞穴类型最齐全(有旱洞、

水洞,或灰岩、白云岩洞穴之分;有分别以钟乳石景观、古人类遗址、红色文化等为主的洞穴)、钟乳石景观最丰富(囊括各种类型、形态的钟乳石)、游览方式最多的区域(有陆路、水路游览,可步行、乘船及乘坐洞穴小火车、电梯等方式游览)^[7,11-12](表 10),是全球洞穴旅游的最佳目的地之一。

表 10 广西典型旅游洞穴景观资源特征和开发特色

Table 10 Distribution pattern and characteristics of landscape resources and development topics of typical show caves in Guangxi

典型洞穴 Typical caves	洞穴类型 Types of cave	主要洞穴景观特征 Main characteristics of cave landscapes	开发主题 Development topics	游览方式 Tourism styles
桂林芦笛岩 Guilin Ludiyancave	旱洞 Fossil cave	以棕榈状石笋和洞穴大厅为主(水晶宫:最宽达 93 m) Mainly dominated by its Palmlike stalagmites and cave hall (The crystal palace; Broad to 93 m)	大自然艺术之宫 Palaces of Nature's art	步行 Walk
桂林七星岩 Guilin Qixingyan cave	旱洞 Fossil cave	以石笋(卧狮)和洞穴大厅(北斗七星)为主 Mainly dominated by the stalagmites (lie down as a lion) and cave halls (The Big Dippe)	神仙洞府 Abode of fairies and immortals	步行 Walk
桂林甑皮岩 Guilin Zhenpiyan cave	旱洞 Fossil cave	目前中国发现人类居住时间跨度最长的新石器时代洞穴遗址;发现 35 具先民遗骸及众多动物遗骨、石器和骨器等 It is a Neolithiccave in which mankind had been resided the longest time span that had been discovered in China till now. 35 remains of ancestors and numerous animal bones, stone implements and bone artifacts and so on had been discovered in it	史前人类遗址 Prehistoric hominid site	步行 Walk
桂林冠岩 Guilin Guanyan cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	峡谷状洞道,棕榈(石笋)大厅,河道多变的地下河 Canyon-like cave, hall that are filled by Palmlike stalagmite, underground river that has fickle riverway	地下河洞穴 Underground river	乘船+步行+洞穴电梯+小火车 Boat + walk + cave elevator + puddle-jumper
荔蒲丰鱼岩 Lipu Fengyuyan cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	以细长石笋(高 9.8 m,直径 14 cm)和长达 3 000 m 的地下河 Mainly dominated by itstenuous stalagmite (9.8 m high, 14 cm in diameter) and underground river(3 000 m long) reach a length to 3 000 m buried river	水程路线最长的洞穴 Cave that has the longest watertour route	步行+乘船 Walk+boat

Continue table 10

典型洞穴 Typical caves	洞穴类型 Types of cave	主要洞穴景观特征 Main characteristics of cave landscapes	开发主题 Development topics	游览方式 Tourism styles
荔蒲银子岩 Lipu Yinziyan cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	钟乳石晶莹剔透,呈银白色 Stalactites that are crystal clear and silver white	世界岩溶艺术宝库 Art treasure house of karst in the world	步行+乘船 Walk+boat
永福永福岩 Yongfu Yongfuyan cave	旱洞 Fossil cave	数量众多,形态、类型丰富的石笋、石柱、石幔等各类钟乳石 It has various stalactites which are rich in number, type and shape, such as stalagmites, stone columns and curtains and so on	洞穴奇观 Wonders of cave	步行+洞穴 电梯 Walk + cave elevator
巴马水晶宫 Bama Crystal Palace cave	旱洞 Fossil cave	石毛发、卷曲石等形态多彩多姿,雪白纯净,且正在生长之中 It has colorful and various stone hair, helictites and so on which are white and pure, and are still under growing	水晶宫 Crystal palace	步行+观光玻 璃隧道 Walk + sight- seeing glass- tunnel
巴马百么洞 Bama Baimo cave	旱洞 Fossil cave	洞-坑-洞相连的洞穴结构,宏大的洞穴大厅,庞大浑圆的石笋、石柱,清新的洞穴空气 Mainly dominated by its cave structures that are consist of cave-tiankeng-cave, grand cave hall, huge and roundstalagmites and stone columns, fresh cave air	养生洞穴 Regimen cave	步行 Walk
东兰列宁岩 Donglan Lening cave	旱洞 Fossil cave	洞穴大厅和广西农民运动讲习所旧址 Mainly dominated by its cave hall and former site of the national peasant movement	爱国主义教育基地 Patriotic education base	步行 Walk
柳州都乐岩 Liuzhou Dule cave	旱洞 fossil cave	由盘龙洞、通天洞、水云洞 3 个洞穴组成,钟乳石类型齐全,形态丰富,数量众多的白云岩洞穴 It is consist of Panlong cave, Tongtian cave, Shuiyun cave, and is dolomite cave which has various stalactites which are rich in number, type and shape	大自然奇幻艺术 之宫 Palace of Nature's art	步行 Walk
柳州白莲洞 Liuzhou Bai-liandong cave	旱洞 Fossil cave	文化堆积物厚达 3 m,出土动物骨化石,牙齿化石和石器、石制装饰、原始夹砂陶片等文化遗物 Cultural deposits are up to 3 meters thick. Unearthed animal bone fossils, teeth fossils and stone tools, stone decoration, original sandy pottery and other cultural relics are also discovered in it	旧石器时代的文化 遗址 Paleolithic sites	步行 Walk
鹿寨九龙洞 Luzhai Jiulong cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	连续发育有 9 条蜿蜒曲折的流石坝,形似九龙戏水 It has 9 continuous and winding flowstone dam which are similar in form of 9 dragon that are playing with water	桂中洞穴奇观 Cave wonders in central Guangxi	步行 Walk
宜州荔枝洞 Yizhou Litchi cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	莲花盆及石笋林 Lotus flower and stalagmite forest	——	步行 Walk
南丹珍珠洞 Nandan Zhenzhu ca- ve	旱洞 Fossil cave	几乎每个厅堂都有穴珠,穴珠直径 2~100 mm,分布面积约 600 m ² ,数量约 1 000 万颗 Cave pearl, that is can be almost discovered in every hall, which is 2~100 mm in diameter, about 600 m ² in distribu- tion area, about 10 million in numbe	——	步行 Walk
凤山鸳鸯洞 Fengshan Yuanyang cave	旱洞 Fossil cave	面积达 25 200 m ² 的大厅,以及高达 2 m 和 36.4 m 的两根石笋 Mainly dominated by its hall (area is up to 25 200 m ²) and two stalagmites (high is 2 m and 36.4 m)	——	步行 Walk
凤山马王洞 Fengshan Mawang cave	旱洞 Fossil cave	面积达 38 400 m ² 的大厅 Mainly dominated by its hall (area is up to 38 400 m ²)	——	步行 Walk
凤山穿龙岩 Fengshan Chuan- long cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	面积达 41 500 m ² 的大厅 Mainly dominated by its hall (area is up to 41 500 m ²)	洞穴博物馆 Cave museum	步行 Walk
乐业罗妹洞 Leye Luomei cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	莲花盆在数量、规模、形态多样性上堪称世界之最,其中直径达 9.2 m 的莲花盆被视为“世界莲花盆之王” Its Lotus flowers which are rich in number, scale and shape are the top of the world, among which the Lotus flower whose diameter of 9.2 m is called as "the king of Lotus flower in the world"	——	步行 Walk
乐业大曹天坑洞 Leye Dacao Tian- keng cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	面积达 50 700 m ² 的大厅 Mainly dominated by its hall (area is up to 50 700 m ²)	洞穴探险 Cave expedition	单绳技术 SRT

Continue table 10

典型洞穴 Typical caves	洞穴类型 Types of cave	主要洞穴景观特征 Main characteristics of cave landscapes	开发主题 Development topics	游览方式 Tourism styles
乐业冒气洞 Leye Maoqi cave	旱洞 Fossil cave	面积达 27 600 m ² 的大厅 Mainly dominated by its hall (area is up to 27 600 m ²)	洞穴探险 Cave expedition	SRT
凌云纳灵洞 Lingyun Naling cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	218 个“莲花盆”，其形状、规模、品位、数量均具有较高的欣赏和科学考察价值 There are 218 Lotus flowers in the cave. They have high values of appreciation and scientific investigation for their shape, scale, grade and number	——	步行 Walk
平果敢沫岩 Pingguo Ganmo cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	峡谷状洞道，时而是旱洞，时而为水洞，彼此交替 It is Canyon-like cave, and fossil cave is alternating with underground river cave	——	步行 Walk
贺州紫云洞 Hezhou Ziyun cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	数量众多、形态丰富的石柱和石幕 Its stone columns and curtains are rich in number and shape	——	步行 Walk
隆林雪莲洞 Longlin Xuelian cave	旱洞+水洞 Fossil cave + underground river cave	白色莲花盆 40 余个；国内首次发现、数量众多、较为罕见的洞底溅水环 There are more than 40 Lotus flowers in the cave, and their splashing rings in the bottom are first discovered in China, which are numerous and rare. More than 40 white lotus. And num	——	步行 Walk
武鸣伊岭岩 Wuming Yiling cave	旱洞 Fossil cave	数量众多、形态丰富的石笋、石柱、石幔等各类钟乳石 It has various stalactites which are rich in number and shape, such as stalagmites, stone columns and curtains and so on	——	步行 Walk
马山金伦洞 Mashan Jinlun cave	旱洞 Fossil cave	各种石钟乳、石笋、石柱、石花、构成了宏伟壮观的“洞内十里画廊” There are various stalactites, stalagmites, stone columns and flowers, and they make up "ten mile of Cave Gallery"	——	步行 Walk

注：表中除柳州都乐岩注明为白云岩洞穴之外，其余总体上均为灰岩洞穴

Note: The caves in the table belong to limestone cave as a whole, with the exception of Liuzhou Duleyuan cave which is dolomite cave

其中桂林芦笛岩、七星岩的旅游始于唐代，是目前有记载的最早用于旅游的洞穴之一，也是目前国内外领导人参观次数最多的洞穴。另外，广西拥有多种堪称世界珍品的钟乳石：①巴马水晶宫分布面积近千平方米，且有正在生长之中的石毛发、卷曲石等；②巴马百么洞，拥有体量巨大的石笋（群）及形状独特、世所罕见的扁平状石笋；③南丹珍珠洞，分布面积约 600 m²，约有 1 000 万颗的穴珠；④风山鸳鸯洞，拥有高达 20 m 和 36.4 m 的两根石笋；⑤乐业罗妹洞，拥有在数量、规模、形态多样性上堪称世界之最佳的莲花盆，以及直径达 9.2 m 的“世界莲花盆之王”；⑥隆林

雪莲洞，拥有国内首次发现、数量众多、较为罕见的洞底溅水环；⑦巴马万福洞，拥有国内首次发现、形态典型、极为罕见的毛笔状石笋。其次，据初步统计全球面积大于 25 000 m² 的洞穴大厅有 20 个，其中广西占有 7 个（表 11）。再者，柳州白莲洞和桂林甑皮岩，分别是旧石器时代和新石器时代的文化遗址，系统反映了中国南方古人类的进化历程。综上所述，广西洞穴是反映洞穴及洞穴钟乳石演化历程的杰出范例之一，是全球洞穴中最为独特的自然美景和重要的美学价值区，还是反映古人类进化历程的典型范例之一。

表 11 全球面积大于 25 000 m² 的洞穴大厅

Table 11 The cave chambers which acreage is greater than 25 000 m² in the world

序号 SN	面积 Area(m ²)	厅高 Height of hall (m)	洞厅名称 Name of hall	行政区 Administrative region	所在国家 Country
1	162 700	100(169)	洞沙捞越大厅 Lubang Nasib Bagus	姆鲁 Mulu	马来西亚 Malaysia
2	116 000	70	格必河洞—苗厅 Gebihe River cave—Miao hall	贵州紫云 Ziyun, Guizhou	中国 China
3	115 000	36(125)	Torca del Carlista	托尔卡 Torca	西班牙 Spain

Continue table 11

序号 SN	面积 Area(m ²)	厅高 Height of hall (m)	洞厅名称 Name of hall	行政区 Administrative region	所在国家 Country
4	400 * 200	60	犀牛洞—犀牛大厅 Rhinoceros cave—Rhinoceros hall	贵州安龙 Anlong, Guizhou	中国 China
5	58 000	120	Majlis al Jinn	Quriyat	阿曼 Oman
6	50 700	200	大曹天坑洞—红玫瑰大厅 Dacao Tiankeng Cave—Red Rose hall	广西乐业 Leye, Guangxi	中国 China
7	50 050	80	Belize 厅 Belize hall	伯利兹 Belize	洪都拉斯 Honduras
8	46 200	50(78)	织金洞—十万大山(含广寒宫、银雨宫) Zhijindong cave—Shiwan Mountain (Inc. Moon Palace and Silver Rain Palace)	贵州织金 Zhijin, Guizhou	中国 China
9	45 270	50	Salle de la Verna	Atlantiques	法国 France
10	41 500	40	穿龙岩—大厅 Chuanlongyan cave—hall	广西凤山 Fengshan, Guangxi	中国 China
11	40 820	80	Gruta de Villa Garcia	蒙特雷 Montret	墨西哥 Mexico
12	39 730	30	Gruta de Palmito	布斯塔曼特 Bustamante	墨西哥 Mexico
13	38 400	150	马王洞—南天门大厅 Mawangdong cave—South Heaven Gate hall	广西凤山 Fengshan, Guangxi	中国 China
14	37 200	60	Kocain	Antalya	土耳其 Turkey
15	33 500	20	卧龙洞—卧龙大厅 Wolongdong cave—Wolong hall	广西靖西 Jingxi, Guangxi	中国 China
16	33 210	78	Calsbad 洞 Big room Calsbad cave, Big room	新墨西哥州 New Mexico	美国 USA
17	32 090	80	Cebada 洞 Chiquibul 厅 Cebada cave, Chiquibul hall	Chiquibul	洪都拉斯 Honduras
18	25 200	50	鸳鸯洞—大厅 Yuanyang (Mandarin Duck) cave—Hall	广西凤山 Fengshan, Guangxi	中国 China
19	27 600	260(365)	冒气洞—阳光大厅 Maoqi cave—Sunshine hall	广西乐业 Leye, Guangxi	中国 China
20	26 240	50	八洞—八腊大厅 Ba cave—Bala hall	广西天峨 Tian'e, Guangxi	中国 China

注:括号内数字为最新数据

Note: The data in brackets is the latest data

2.2.6 天生桥

近年来我国发现的天生桥数量较多,其中岩溶天生桥占绝大多数,且集中分布于中国西南岩溶区,尤其是广西、重庆、贵州、云南等,而其他岩溶区域仅有零星分布,具有集中性、差异性和地区性等空间分布特征^[8](表 12 和图 3)。

目前广西典型的岩溶天生桥有 9 座(表 12),其中:(1)乐业仙人桥,是地表河成因天生桥的最杰出的代表,其余 8 座则是地下河成因天生桥的典型代表;(2)凤山的江洲天生桥、社更天桥、蚂拐洞天生桥,是名副其实的桥,或公路直接从桥下(江洲和社更天生

桥)穿过,或公路直接修建于天生桥桥面之上(蚂拐洞天生桥);(3)香桥岩天生桥,被誉称为中国形态最典型的天生桥,被岩溶学家作为典范收录进《岩溶学词典》(1988 年地质出版社出版)中;(4)广西岩溶天生桥,人们既可乘船穿行于其下,如乐业仙人桥、罗城天生桥等;亦可开车穿行于其间,如江洲天生桥、社更天桥、洞湖天生桥,或开车行于其上,如蚂拐洞天生桥;还可漫步于其下,如香桥岩天生桥等。这些天生桥尽显了岩溶天生桥之奇,是全球同类地质遗迹的典型代表和佼佼者。

表 12 国内外典型岩溶天生桥规模参数及对比表(据韦跃龙等,2012,有增删)

Table 12 Scale parameter and contrast of typical karst natural bridges in the world(According to Wei Yuelong, et al., 2012; revised)

所处区域 Region located	名称 Name	桥高 Height of bridge (m)	拱孔高度 Height of arch pore (m)	拱孔跨度 Span of arch pore (m)	桥面厚度 Deck thickness (m)	桥面宽度 Deck width (m)	规模级别 Scale level	
中国 China	广西乐业 Leye, Guangxi	仙人桥 Fairy bridge	165	87	177.14	78	19.3	巨型 Huge
	广西凤山 Fengshan, Guangxi	江洲天生桥 Jiangzhou natural bridge	150	25~35	70	8~19	150	中型 Medium
	广西凤山 Fengshan, Guangxi	社更天生桥 Shengeng natural bridge	80	60~76	78~142	25~100	120	中型 Medium
	广西凤山 Fengshan, Guangxi	猛里天生桥 Mengli natural bridge	75~168	60~80	110~150	15~18	70~80	大型 Large
	广西凤山 Fengshan, Guangxi	蚂拐洞天生桥 Maguai Cave natural bridge	68.2	57.1	36	11.1	10	中型 Medium
	广西兴安 Xing'an, Guangxi	白石乡天生桥群 Baishixiang natural bridge group	—	40~105	30~60	—	50~150	大型 Large
	广西鹿寨 Luzhai, Guangxi	香桥岩 Xiangqiaoyan	60	50	40	10	40	中型 Medium
	广西南丹 Nandan, Guangxi	洞湖天生桥 Donghu natural bridge	19.7	14.5	10.6~17.2	5.2	8.6	小型 Small
	广西罗城 Luocheng, Guangxi	罗城天生桥 Luocheng natural bridge	76~87	51	33	25~36	21~36	中型 Medium
	重庆武隆 Wulong, Chongqing	青龙桥 Qinglong bridge	281	96~110	13~58	168	124	巨型 Huge
	重庆武隆 Wulong, Chongqing	天龙桥 Tianlong bridge	235	84~123	20~75	150	147	巨型 Huge
	重庆武隆 Wulong, Chongqing	黑龙桥 Heilong bridge	223	90~141	16~49	107	193	巨型 Huge
	重庆黔江 Qianjiang, Chongqing	蒲花天生一桥 Puhua No. 1 natural bridge	>113	>76	48	37	135	大型 Large
	重庆黔江 Qianjiang, Chongqing	蒲花天生二桥 Puhua No. 2 natural bridge	>99	>76	21	23	25	中型 Medium
	贵州大方 Dafang, Guizhou	羊场天生桥 Yangchang natural bridge	178.25	105.58	77.69~127.35	35	200	巨型 Huge
	贵州黎平 Liping, Guizhou	高屯天生桥 Gaotun natural bridge	77.34	37.34	88.5~118.92	40	98~138	大型 Large
	贵州水城 Shuicheng, Guizhou	干河天生桥 Ganhe natural bridge	136	121	55	15	35	巨型 Huge
	贵州织金 Zhi jin, Guizhou	天谷天生桥 Tiangu natural bridge	67	137	90	70	65	巨型 Huge
	贵州织金 Zhi jin, Guizhou	犀牛望月天生桥 Xiniu Wangyue natural bridge	157	55~85	71~105	85~120	510	巨型 Huge
	贵州铜仁 Tongren, Guizhou	川洞天生桥 Chuandong natural bridge	约 110 About 110	约 50 About 50	约 30 About 30	—	—	中型 Medium
	贵州绥阳 Suiyang, Guizhou	石天生桥 Shi natural bridge	约 80 About 80	—	约 60 About 60	—	—	中型 Medium
	贵州荔波 Libo, Guizhou	大七孔天生桥 Daqikong (large seven - pore) natural bridge	60	—	约 20 About 20	约 10 About 10	20	中型 Medium
	云南曲靖 Qujing, Yunnan	马龙天生桥 Malong natural bridge	21.2	—	11.3	—	6.51	小型 Small
	云南大理 Dali, Yunnan	弥渡天生桥 Midu natural bridge	30	7	17	23	—	小型 Small
	云南中甸 Zhongdian, Yunnan	中甸天生桥 Zhongdian natural bridge	70	—	200	—	10	大型 Large
	云南麻栗坡 Masupo, Yunnan	文山天生桥 Wenshan natural bridge	—	约 8 About 8	—	—	—	小型 Small

Continue table 12

所处区域 Region located	名称 Name	桥高 Height of bridge (m)	拱孔高度 Height of arch pore (m)	拱孔跨度 Span of arch pore (m)	桥面厚度 Deck thickness (m)	桥面宽度 Deck width (m)	规模级别 Scale level	
湖北宜昌 Yichang, Hubei	神农架天生桥 Shennongjia natural bridge	约 27 About 27	17	4~5	13.8~17.9	—	小型 Small	
国外 Abroad	法国 France	Bous del Biel 天生桥 Bous del Biel natural bridges	100	70	60	30	—	大型 Large
	美国弗吉尼亚州 Virginia, USA	Cedar 天生桥 Cedar natural bridge	67	—	—	27	中型 Medium	
	美国亚利桑那州 Arizona, USA	Tonto 天生桥 Tonto natural bridge	56	—	—	122	中型 Medium	

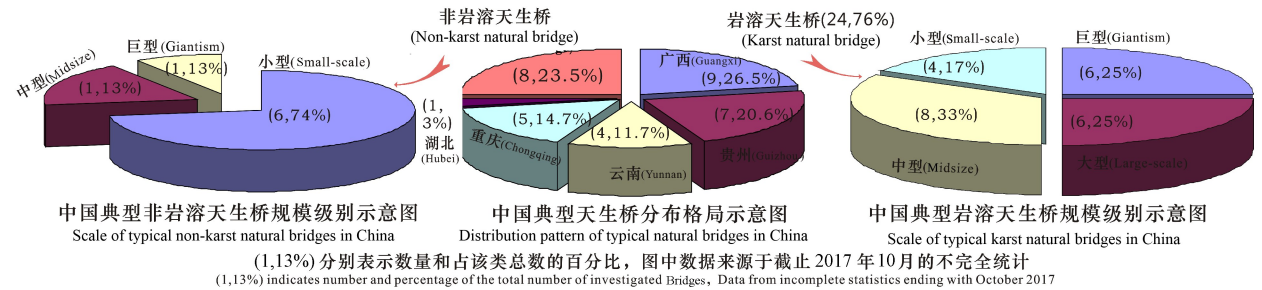


图 3 中国典型天生桥分布格局示意图(据韦跃龙等,2012,有增删)

Fig. 3 Schematic diagrams of distribution of typical natural bridges in China(According to Wei Yuelong, et al., 2012; revised)

2.2.7 岩溶风景河段

近年来,中国开发成景区的岩溶风景河段较多,且集中分布于中国西南岩溶区,尤其是广西、重庆、贵州、云南等。目前,广西典型的岩溶风景河段有近 20 多处,组成一幅幅风格迥异的岩溶山水画,有“峰岳起伏、变化无穷”“深寂清幽、群峰耸立”“山势峻峭,烟雾蒙蒙”“群峰耸立、景物寥寥”等不同之意境,或集雄、险、奇、秀于一身,或集美、秀、幽于一身等(表 13);它们是全球岩溶风景河段的典型代表及最为独特的自然美景和重要的美学价值区,是岩溶山水旅游的最佳目的地之一。

2.2.8 岩溶瀑布

瀑布是广西各岩溶区常见的景观之一,有落差不到 1 m 的微型瀑布,也有高达 165 m 的巨型瀑布,水量从几立方毫米每秒至几十立方米每秒。它们既有季节性和常年性瀑布之分,又有悬空型、垂直型和倾斜型瀑布之别,还有单级和多级瀑布之分,是岩溶瀑布的集中发育区。其中:(1)大新德天瀑布,是垂直型和倾斜型瀑布的混合体,由上至下分为 4 级,总高度为 49 m,总的瀑水面宽度超过 250 m,多年平均流量达 55.2 m³/s(远大于贵州黄果树瀑布的 18.2 m³/s),是目前亚洲第一、世界第四大跨国瀑布;(2)靖西

通灵大峡谷瀑布,既是悬空型瀑布,又是垂直型瀑布,高达 165 m,瀑水面宽度约 30 m,是目前中国岩溶区落差最高的瀑布(远大于贵州黄果树瀑布的 77.8 m)。此二处瀑布,充分展示了岩溶瀑布之奇,是全球岩溶瀑布的典型代表和佼佼者,有着最为独特的自然美景和重要的美学价值区,是瀑布旅游的最佳目的地之一。

2.2.9 岩溶湿地

广西各岩溶区内,湿地分布广,主要集中分布于各岩溶区内部河流、湖泊或水库两侧,典型的有柳州红花谷水库、都安澄江、平果芦仙湖、大新黑水河、凌云浩坤湖、合山洛灵湖、桂林会仙等多处国家湿地公园(表 14)。它们既构成所在岩溶区域秀丽的天然屏障和自然环境大背景,也是所在水系的重要组成部分,具有保持水源、净化水质、蓄洪抗旱、维护生物多样性等重要环境调节功能和生态效益,对构建和保存完整、系统的岩溶生态系统具有重要的意义,是广西各岩溶区“绿水青山”和“山水林田湖生命共同体”存在、延续、保持或改善的物质基础和前提之一,是世界亚热带岩溶湿地中的典型代表和佼佼者,是湿地生态旅游的最佳目的地之一。

表 13 广西典型岩溶风景河段景观资源特征

Table 13 Resource characteristics of typical karst-landscape river section in Guangxi

流域 Watershed		典型岩溶风景河段 Typical karst-landscape river section	景观主要特征 Main characteristics of landscapes
红水河 Red river	上中游 Upstream-midstream	红水河(天峨段、大化段、都安段、兴宾段) Red River (section of Tian'e, Dahua, Du'an, Xingbin)	以红水河及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底。两岸高峰林立,植被繁茂、疏密相间,集雄、险、奇、秀于一身,组合成“峰岳起伏、变化无穷”的岩溶山水画 Taking Red River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks stand in great numbers, luxuriant vegetation is density interaction. So the river is a composite of majestic, precipitous, peculiar and beautiful, and combines into karst mountains-and-waters painting in which mountains ranges rise and fall and change is boundless
		巴马盘阳河 Panyang River of Bama	以盘阳河为主线,河水清澈见底。两岸或稻浪滚滚,或油菜花烂漫盛开,远处高峰耸立,时而炊烟袅袅,组合成一幅幅静雅的岩溶田园风光图 Taking Panyang River as the main line, the river is clear to the bottom, and on both sides of river waves of rice keep rolling or rape flowers are in full bloom, high peaks stand out in sharp relief, sometimes the smoke is curling up from the chimney. So the river combines into quiet and elegant karst countryside Wallpapers
	下游 Downstream	红水河(兴宾段) Red River (section of Xingbin)	以红水河及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底。两岸或高峰林立,或为广阔的盆地,或为繁华的城镇 Taking Red River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks stand in great numbers, or there are spacious basins, or there are prosperous cities and towns
柳江 Liu River	上中游 Upstream-midstream	下枳河、龙江 Xiajian River, Longjiang River	以下枳河、龙江及对应峡谷为主线,河流时而湍急,时而清澈见底,两岸峰丛、峰林林立,植被繁茂 Taking Xiajian River and Longjiang River and their corresponding gorge as the main line, the river sometimes is swift, sometimes is clear to the bottom, and on both sides of river peak forests and peak clusters stand in great numbers, vegetation is luxuriant
		洛清江 Luoqing River	以洛清江、融江为主线,河流湍急。两岸或高峰林立,植被繁茂、疏密相间,或稻浪滚滚,村庄点缀其间,组合成“深寂清幽、群峰耸立”之岩溶山水画 Taking Luoqing River and Rongjiang River and their corresponding gorge as the main line, the river is swift, and on both sides of river peaks stand in great numbers, luxuriant vegetation is density interaction, or waves of rice keep rolling and is interspersed with villages. So the river combines into karst mountains-and-waters painting in which mountains rise straight up and keep silence and elegant
	融江 Rongjiang River		
下游 Downstream	百里柳江 One-hundred miles karst-landscape river section of Liu River	以柳江为主线,河流湍急,深不见底。两岸或峰丛、峰林林立,植被繁茂,组合成峰峦高耸、水阔清幽、瀑布飞流的岩溶山水画;或为繁华的城市,白天车水马龙,晚上繁灯掠影,组合成繁华、和谐的岩溶山水城市 Taking Liu River as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river peak forests and peak clusters stand in great numbers, vegetation is luxuriant. So the river combines into karst mountains-and-waters painting in which the river is broad, quiet and beautiful, waterfall is plunging to the bottom, or combines into karst mountains-and-waters city which is prosperous and crowded with people and vehicles in in the daytime, and ablazed with numerous lights in the night	
黔江 Qianjiang River		大藤峡 Dateng gorge	以黔江及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底。两岸高峰林立,植被繁茂,乘船行于其间,“山势峻峭,烟雾蒙蒙”之感尤为强烈而真实 Taking Qianjiang River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks stand in great numbers, luxuriant vegetation is density interaction. The feeling of steepness and smoggy is very intensity and real when you cross it on a boat
郁江 Yujiang River	右江 Youjiang River	右江(平果段和隆安段) Youjiang River (section of Pingguo and Long'an)	以右江及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底。两岸或高峰圆浑清幽,或为繁华的城镇 Taking Youjiang River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks are rounded, quiet and beautiful, or there are prosperous cities and towns
	左江 Zuojiang River	黑水河 Heishui River	以黑水河及其峡谷为主线,河流时而湍急,时而清澈见底,时而为奔腾的瀑布。两岸或峰丛、峰林林立,或稻浪滚滚,村庄点缀其间,组合成朴素、简单、和谐的岩溶山水村庄 Taking Heishui River and its gorge as the main line, the river sometimes is swift, sometimes is clear to the bottom, sometimes is impetuous waterfall, and on both sides of river peak forests and peak clusters stand in great numbers, or waves of rice keep rolling and is interspersed with villages. So the river combines into karst mountains-and-waters village which is frugal, simple and harmonious.
		左江(龙州-崇左-扶绥) Zuojiang River (section of Longzhou, Chongzuo and Fusui)	以左江及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底。两岸或高峰林立,或为繁华的城镇 Taking Zuojiang River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks stand in great numbers, or there are prosperous cities and towns

Continue table 13

流域 Watershed	典型岩溶风景河段 Typical karst-landscape river section	景观主要特征 Main characteristics of landscapes
郁江 Yujiang River	郁江(横县段) Yujiang River (section of Hengxian)	以郁江及其深切峡谷为主线,河流湍急,深不见底,两岸或高峰林立,或为广阔的盆地,或为繁华的城镇,组合成“群峰耸立、景物寥寥”之岩溶山水画 Taking Yujiang River and its deep-cutting gorge as the main line, the river is swift and bottomless, and on both sides of river high peaks stand in great numbers, or there are spacious basins, or there are prosperous cities and towns. So the river combines into karst mountains-and-waters painting in which mountains rise straight up and scenery is sparse
桂江 Guijiang River	桂林漓江 Guilin Li River	以漓江为主线,河水幽幽,两岸峰丛、峰林林立,植被繁茂,组合成如梦如画的岩溶山水国画意境,其之美,之秀,之幽,堪称世界一绝 Taking Li River as the main line, the river is faint, and on both sides of river peak forests and peak clusters stand in great numbers, vegetation is luxuriant. So the river combines into dreamlike and picturesque karst mountains-and-waters painting which is the most delicious in the world for its beauty, elegance and deepandserene

表 14 广西典型喀斯特湿地主要特征

Table 14 Main characteristics among typical karst wetlands in Guangxi

湿地名称 Name of wetland	总面积 Total area (km ²)	水域面积 Water area (km ²)	湿地类型 Types of wetland	周边主要地貌 Main landforms around its ambitus	对应河流 Corresponding rivers	开发现状 Status quo of development
都安澄江湿地 Chengjiang wetland of Duan	8.64	3.89	河流湿地 Riverine wetland	峰丛 Peak cluster	澄江 Chengjiang River	国家湿地公园 (建设中) National Wetland Park (under construction)
平果芦仙湖湿地 Luxianhu wetland of Pingguo	9.67	5.42	河流/湖泊湿地 Riverine wetland/ Lake wetland	峰丛/峰林 Peak cluster/Peak forest	芦仙湖 Luxian Lake	
凌云浩坤湖湿地 Haokunhu wetland of Linyun	13.12	10.65	河流/湖泊湿地 Riverine wetland/ Lake wetland	峰丛/峰林 Peak cluster/Peak forest	浩坤湖 Haokun Lake	
大新黑水河湿地 Heishuihe wetland of Daxin	9.63	4.5	河流湿地 Riverine wetland	峰丛/峰林 Peak cluster/Peak forest	黑水河 Heishuihe River	
合山洛灵湖湿地 Luolinghu wetland of Heshan	3.75	3.0	湖泊湿地 Lake wetland	峰丛/峰林 Peak cluster/Peak forest	怀集、桶桥、独山 3 个水库 Huaji, Tongqiao and Dushan three reservoirs	
临桂会仙湿地 Huixian wetland of Lingui	5.87	4.05	湖泊湿地 Lake wetland	峰丛 Peak cluster	漓江 Li River	
柳州红花谷湿地 Honghuigu wetland in Liuzhou	13.65	12.77	河流湿地 Riverine wetland	峰林平原 Peak forest plain	柳江 Liu River	

2.2.10 穿洞、象形山及岩溶泉和岩溶湖

穿洞、象形山及岩溶泉和岩溶湖,是广西各岩溶区常见的景观之一。在这些景观中:(1)典型的穿洞有凤山社更穿洞(长、宽、高分别为 239 m、220 m、60 m)、桂林月亮山穿洞(长、宽、高均约为 50 m)、桂林象鼻山穿洞(长、宽、高分别约为 17 m、9.5 m、12 m)等;(2)典型的象形山有桂林独秀峰、桂林象鼻山、桂林骆驼山、阳朔画山、柳州鱼峰山、柳州马鞍山、凤山阴阳山、宾阳铜钱山等;(3)典型的岩溶泉有凤山鸳鸯泉(两泉一蓝一绿,流量为 0.2 m³/s)、靖西鹅泉(泉水碧绿、洁净,流量为 1.2 m³/s)、合山龙王清泉(水量季节性变化明显)等;(4)典型的岩溶湖有柳江洛满龙潭(长、宽分别约 65 m、45 m,水深 3~25 m)、柳州

大龙潭(长、宽分别约 50 m、55 m,水深 15~5 m)、上林大龙湖(长 17 km,总库容为 1.51 亿 m³,水面面积 560 万 m²,正常水位时最深达 182.14 m,是中国十大岩溶水库之一)、上林木棉水库(长约 5 km,水面面积 33 万 m²,正常水位时最深约 100 m)、武鸣灵水湖(水面总面积 2.93 万 m²,水深 2~3 m,周长约 1 km,水温常年保持 23℃ 左右,是中国三大恒温泉水湖之一)、阳朔西塘(长、宽分别约 1 300 m、500 m,水面面积约 50 万 m²)等。它们均分别是穿洞、象形山、岩溶泉和岩溶湖在广西乃至全国的典型代表和佼佼者,是闻名中外的典型岩溶景观。

2.2.11 石林、石柱峰与崖壁

石林(岩体相对高度介于 5~20 m)、石柱峰(高

达数十米乃至百余米,呈上下截面大致一致的柱状(峰)与崖壁,是广西各岩溶区常见的景观之一。其中:(1)典型的石林有贺州玉石林(总面积约 25 万 m²,形态以柱状、锥状、尖峰状、剑状、刀脊状等为主,高 5~12 m,石林中常见直径 0.8~1.5 m、深超过 10 m 竖井,是目前中国唯一的由大理岩构成的石林)、崇左石林(面积约 1 km²,形态以屏风状为主,塔状、柱状、剑状、不规则状等形态为辅,高多数介于 5~15 m,部分达 15~20 m,是目前广西面积最大的连片石林)、宜州水上石林(分布于长约 8 km 龙江河道内,面积约 1.2 km²;形态以柱状、锥状、屏风状等为主,尖峰状、剑状、刀脊状不规则状等形态为辅,高多数为 5~10 m,是目前国内面积最大的水上石林)、鹿寨响水石林(面积约 0.3 km²,形态以锥状为主,柱状、剑状、不规则状等形态为辅,高 6~20 m);(2)石柱峰,以方柱形为主,少数呈尖锥状,高 50~120 m,柱身宽 20~30 m,多呈单体分布于峰丛边缘或峡谷两岸,在广西与贵州的交界处,如金城江、南丹等,以及桂西南沿边地区,如大新、靖西等,尤为典型;(3)崖壁,往往呈陡立状分布于峰丛、峰林边缘或峡谷两岸,高多介于 20~150 m,最高可达几百米;其中尤以崇左花山崖壁最为典型,他延绵左江两岸 200 多千米,既有崖壁之险峻,更蕴含着具有重大考古意义的壁画,目前已被列为世界文化遗产地。除上述外,还有桂林西山摩崖(现存 98 龛 242 尊浅龛浮雕佛像),以及桂林龙隐岩和龙隐洞(保留了自唐以来摩崖石刻几百件),桂林鸚鵡山崖壁(当今中国仅存宋代两件石刻城图之一),桂林宝积山、叠彩山、伏波山、独秀峰、南溪山、普陀山等崖壁(保留有唐、宋以来的众多记游题名与题诗),柳州大龙潭崖壁(留下历代文人的墨宝)等。

2.2.12 岩溶丘陵

典型的岩溶丘陵由丘陵与溶蚀洼地组合而成,其形态呈现为顶部浑圆,斜坡缓和,丘陵底部宽度大于高度,相对高度 100~150 m。广西岩溶丘陵,地形和缓,岭坡小于 25°,海拔 140~480 m,相对高度 40~195 m,主要发育于不纯的碳酸盐岩(主要为含泥质、硅质、炭质的灰岩及白云岩、泥灰岩)及间互夹层型碳酸盐岩地层之中,分布面积 10 238.2 km²,主要集中于桂东北、桂中和桂西南,如扶绥、鹿寨、来宾、象州、崇左、宜州、环江、全州、灵川、马山、临桂、荔浦等地^[16-17]。它们多与峰丛一起相伴相生,交错发育,互有彼此,并一起构成广西岩溶地貌/景观的骨架。

2.2.13 岩溶坡立谷

广西各岩溶区内坡立谷分布广泛,规模巨大,四周山峰陡立,谷底平坦,发育有季节性、常年性地表

河。它们与峰丛、地表河等地貌相伴相生,一起构成一幅幅优美的岩溶奇景,如乐业武称、牛坪、夏福等坡立谷,都安澄江坡立谷,凤山中亭坡立谷;或构成优美的农耕图,如乐业甘田坡立谷,都安地苏、拉棠-南江坡立谷等;或成为人类耕作、居住、生活与工程建设的场所。目前绝大多数坡立谷已被开辟成农田,少数成为城镇所在地,如广西都安县城、乐业县城、凤山县城等。它们是广西及国内外典型、较为罕见的大型/巨型坡立谷,并和峰丛、峰林等一起共同构筑所处岩溶景观区优美环境的自然大背景。

2.2.14 其他岩溶景观

广西各岩溶区发育有单面山、石芽、漏斗、盲谷、悬谷、干谷、竖井、塌陷坑、落水洞、溶蚀裂隙、溶痕、溶沟、溶坑与溶槽等其他各类岩溶景观。它们是各岩溶区在不同地质地理环境下(如差异性风化侵蚀、区域地壳间歇上升、崩塌作用、生物作用等)形成演化过程中的产物,是不可多得的岩溶地质科普点和科研对象。

2.2.15 岩溶文化景观

广西各岩溶区内还可见多处岩溶文化景观,典型的有:(1)岩壁类,如崇左花山崖壁,桂林西山摩崖,桂林龙隐岩和龙隐洞,桂林鸚鵡山崖壁,桂林宝积山、叠彩山、伏波山、独秀峰、南溪山、普陀山等,以及柳州大龙潭崖壁等(详见 2.2.11 所述);(2)古人类遗迹,如柳州白莲洞(旧石器时代的文化遗址)、柳州大龙潭鲤鱼嘴(新石器时代遗址)、柳江通天岩(发现柳江人化石)、柳城巨猿洞(世界上迄今发现巨猿化石最多的遗址)、桂林甑皮岩(目前中国发现人类居住时间跨度最长的新石器时代洞穴遗址)等。它们对研究东亚早期人类的起源、现代人类的起源以及中国南方史前文化和古人类进化等,具有重要的价值。

2.3 广西岩溶景观组合特征

广西各岩溶区之间被各类非可溶岩(如页岩、泥岩及砂岩、砾岩等碎屑岩)分隔成多个相对独立的“岩溶孤岛”,它们以所处流域为主线,组合成各具特色的流域景观带;同时各岩溶区(即各岩溶孤岛)之间以红水河/柳江/黔江/桂江/西江等为连接通道和纽带,相互连为一个整体,即岛链,组合成独具广西特色的“岛链式”岩溶景观分布格局(表 2)。

2.3.1 红水河流域岩溶景观带

该流域岩溶景观带自天峨、乐业开始,经凌云、凤山、巴马、大化、都安、马山、兴宾一带。此景观带以峰丛洼地、峡谷作为区域雄、险、奇、秀的自然环境大背景,以天坑群、洞穴群、地下河系、天窗群、天生桥等为特色。自上游至下游,该景观带总体上逐渐由桂西北

高原斜坡岩溶地貌区(Ⅰ)→桂西中低山岩溶地貌区(Ⅳ)→桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),由高峰丛深洼地→中峰丛洼地→低峰丛洼地→峰林-峰丛盆地,峡谷由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型、嶂谷→U型,各类特色景观数量也趋少(表2、图2)。

2.3.1.1 红水河流域上中游岩溶景观带

此景观带自天峨、乐业开始,经凌云、凤山、巴马、大化、都安,至马山一带,总体处于桂西北高原斜坡岩溶地貌区(Ⅰ)、桂西中低山岩溶地貌区(Ⅳ)和桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ)岩溶地貌区,以高峰丛深洼地和深切峡谷作为区域的自然环境大背景,以天坑群、洞穴群、地下河系、天窗群、天生桥等为特色;且纵向上自天峨到马山,横向上从流域内各岩溶区(如乐业、都安等)所处小流域的上游至下游(指早期地表水流经的区域,以下相同),总体上逐渐由高峰丛深洼地→中峰丛洼地→低峰丛洼地,局部区域可见峰林谷地,峡谷总体仍以V型和嶂谷为主,但逐渐变宽(表2、图2);其中天坑群(如大石围天坑群,表4,5,6)、洞穴群(罗妹洞、水晶宫、百么洞、鸳鸯洞等,表10,11)、地下河系(地苏、百郎等地下河系,表9)、天窗群(都安天窗群、三门海天窗群等,表7,8)、天生桥(仙人桥、江洲天生桥、社更天桥等,表12)等是全球同类地质遗迹的典型代表和佼佼者。

2.3.1.2 红水河流域下游岩溶景观带

此景观带自合山开始,经兴宾区至象州石龙镇一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),以低峰丛洼地、峰林-峰丛盆地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰林-峰丛盆地和孤峰为特色;且纵向上自合山至石龙镇,横向上从流域内各岩溶区(如合山、兴宾等)所处小流域的上游至下游,由中/低峰丛洼地→峰林-峰丛盆地,峡谷总体以U型为主;其广阔、典型的峰林-峰丛盆地是此类岩溶地貌/景观的典型代表(表2、图2)。

2.3.2 柳江流域岩溶景观带

该流域岩溶景观带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ)和桂西北高原斜坡岩溶地貌区(Ⅰ),以低峰丛洼地、峰林平原和峡谷为区域自然环境大背景,以峰林/孤峰平原、锥状峰丛、风景河段、洞穴、象形山等为特色;且自上游至下游,总体上逐渐由低峰丛洼地→峰林/孤峰平原,峡谷由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型→U型(表2、图2)。

2.3.2.1 柳江上中游流域岩溶景观带

(1)龙江小流域岩溶景观带

此景观带自环江/南丹至宜山一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ)和桂西北高原斜坡岩溶地貌

广西科学 2018年10月 第25卷第5期

区(Ⅰ),以低峰丛洼地和峡谷作为区域自然环境大背景,以锥状峰丛、风景河段、水上石林、洞穴等为特色;且纵向上自金城江至宜山,横向上从流域内各岩溶区(如环江、南丹、金城江、宜山等)所处小流域的上游至下游,大体上由高峰丛洼地→中/低峰丛洼地→峰林谷地,峡谷总体仍以V型和嶂谷为主,但逐渐变宽(表2、图2)。其中环江的锥状峰丛是全球同类地质遗迹的典型范例,而天生桥(如洞湖天生桥、罗城天生桥等,表2)、风景河段(如下枳河、龙江等,表13)、水上石林、洞穴(如南丹珍珠洞、宜州荔枝洞等,表10)等是国内同类岩溶景观的典型代表。

(2)洛清江流域岩溶景观带

此景观带主要包括永福至鹿寨一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),以低峰丛洼地、峰丛-峰林平原和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰丛-峰林平原、天窗群、天生桥和洞穴等为特色;且纵向上自永福至鹿寨,横向上从流域内各岩溶区(如永福、鹿寨等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林平原,峡谷总体以U型为主(表2、图2);其中鹿寨一带的峰丛-峰林平原、天窗群(如香桥岩天窗群,表7,8)、天生桥(如香桥岩天生桥,表12)和洞穴(如永福岩、九龙洞等,表10,11)等是国内同类岩溶景观的典型代表。

(3)融江流域岩溶景观带

此景观带自融水至柳城一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),以峰丛洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰丛峡谷、象形山、洞穴等为特色;且纵向上自融水至柳城,横向上从流域内各岩溶区(如融水、柳城等)所处小流域的上游至下游,大体上由中峰丛洼地→低峰丛洼地,峡谷由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型→U型(表2、图2);其中峰丛峡谷、象形山、洞穴等是广西同类岩溶景观的典型代表。

2.3.2.2 柳江流域岩溶景观带(下游)

此景观带主要包括柳州市一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),以峰林平原和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰林/孤峰平原、风景河段、洞穴、象形山等为特色;且纵向上自柳州至象州石龙镇,总体上以峰林/孤峰平原为主,局部区域可见低峰丛洼地,峡谷宽广,总体以U型为主;而横向上自柳江两侧的分水岭至柳江,大体上由中/低峰丛洼地→高峰林平原→低峰林/孤峰平原(表2、图2);其中柳州市及其周边的峰林/孤峰平原是全球同类地质遗迹的杰出代表地,而风景河段(如百里柳江等,表13)、洞穴(如都乐岩、白莲洞等,表10,11)、象形山(如鱼峰山等)等则是广西乃至全国同类地质遗迹的典型代表。

2.3.3 黔江流域岩溶景观带

此景观带自武宣至桂平一带,总体处于桂中盆地岩溶地貌区(Ⅱ),以峰林/孤峰盆地、峰丛洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰林/孤峰盆地、岩溶风景河段、峡谷等为特色;且纵向上自武宣至桂平,横向上从流域内各岩溶区(如武宣、桂平等)所处小流域的上游至下游,大体上由中峰丛洼地→低峰丛洼地→峰林/孤峰盆地,峡谷由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型→U型(表2、图2);其中武宣一带的峰林/孤峰盆地、大藤峡及其风景河段(表2、13)等是国内同类岩溶景观的典型代表。

2.3.4 郁江流域岩溶景观带

该流域岩溶景观带,包括左江、右江、邕江及郁江4条河流,总体处于桂西北高原斜坡岩溶地貌区(Ⅰ)、桂西南低中山地岩溶地貌区(Ⅴ)、西江谷地岩溶地貌区(Ⅵ)和桂西中低山地岩溶地貌区(Ⅳ),以峰丛洼地、峰林洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰丛峡谷、瀑布、泉、风景河段、崖壁、湖泊为特色;且自上游至下游,总体上逐渐由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林洼地,峡谷由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型→U型(表2、图2)。

2.3.4.1 右江流域岩溶景观带

此景观带自平果至隆安一带及右江西南侧的天等、德保一带,总体处于西江谷地岩溶地貌区(Ⅵ)和桂西南低中山地岩溶地貌区(Ⅴ),以峰丛洼地、峰林洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以湿地、峰丛峡谷等为特色;且纵向上自平果至隆安,横向上从流域内各岩溶区(如天等、德保等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林洼地,峡谷总体以V型为主(但逐渐变宽);其中湿地(如芦仙湖等湿地)等是国内同类景观的典型代表,而右江一带(平果段落和隆安段)以及右江西南侧天等、德保一带的峰丛峡谷则是广西岩溶峰丛峡谷的典型代表(表2、图2)。

2.3.4.2 左江流域岩溶景观带

(1)黑水河流域岩溶景观带

此景观带自靖西至大新一带,总体处于桂西北高原斜坡岩溶地貌区(Ⅰ)和桂西南低中山地岩溶地貌区(Ⅴ),以峰丛洼地、峰林洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以瀑布、泉、峰丛-峰林洼地、峰丛峡谷、风景河段等为特色;且纵向上自靖西至大新,横向上从流域内各岩溶区(如靖西、大新等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林洼地,峡谷总体以峰谷和V型为主(但逐渐变宽);其中德天瀑布、通灵大峡谷瀑布等是国内及至全球岩溶瀑

布的典型代表和佼佼者,而黑水河峡谷及其风景河段(表13),通灵大峡谷,明仕、恩城一带的峰林洼地等则是国内同类岩溶景观的典型代表(表2、图2)。

(2)左江流域岩溶景观带

此景观带自龙州起,经崇左至扶绥一带,总体处于桂西南低中山地岩溶地貌区(Ⅴ)和西江谷地岩溶地貌区(Ⅵ),以峰丛洼地、峰林洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以崖壁、峰丛峡谷、岩溶风景河段、石林等为特色;且纵向上自龙州至扶绥,横向上从流域内各岩溶区(如龙州、崇左、扶绥等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林洼地,峡谷总体以由深、窄逐渐演变为深、宽,形态总体由V型→U型;其中崇左花山崖壁及其岩画是全球同类地质遗迹的典型代表和佼佼者,而左江一带的峰丛峡谷、岩溶风景河段及崇左石林等是广西乃至全国同类岩溶景观的典型代表(表2、图2)。

2.3.4.3 邕江流域岩溶景观带

此景观带主要位于邕江北岸的武鸣一带及邕宁至六景的邕江段,总体处于桂西中低山地岩溶地貌区(Ⅳ)和西江谷地岩溶地貌区(Ⅵ),以峰丛洼地、峰林洼地作为区域的自然环境大背景,以湖泊、洞穴、石林、峰丛等为特色;其中灵水湖、伊岭岩等是广西同类岩溶景观的典型代表(表2、图2)。

2.3.4.4 郁江流域岩溶景观带

此景观带自横县起,经贵港至桂平一带,总体处于西江谷地岩溶地貌区(Ⅵ),以峰丛洼地、峰林洼地和峡谷作为区域的自然环境大背景,以峰丛峡谷等为特色;且纵向上自横县至桂平,横向上从流域内各岩溶区(如横县、贵港等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林洼地,峡谷总体以U型为主;其中郁江一带的峰丛峡谷等是广西同类岩溶景观的典型代表(表2、图2)。

2.3.5 漓江流域岩溶景观带

此景观带自桂林至昭平一带,总体处于桂东北山间盆地谷地岩溶地貌区(Ⅲ),以峰丛洼地、峰林平原和峡谷作为区域的自然环境大背景,以塔状峰丛-峰林、岩溶风景河段,洞穴、象形山、穿洞等为特色;且纵向上自桂林至昭平,横向上从流域内各岩溶区(如桂林等)所处小流域的上游至下游,大体上由中/低峰丛洼地→峰丛-峰林平原,峡谷总体以U型为主;其中塔状峰丛-峰林、漓江岩溶风景河段是全球同类地质遗迹的典型代表和佼佼者,而洞穴(如芦笛岩、七星岩、丰鱼岩等,表10)、象形山(如象鼻山、独秀峰、骆驼山等)、穿洞(如月亮山等)等是全国同类岩溶景观的典型代表(表2、图2)。

2.4 广西岩溶景观特色分析

综上,广西岩溶景观是全球亚热带岩溶地貌及景观典型集中发育区和杰出范例,是全球岩溶景观中最为独特的自然美景和重要的美学价值区之一,是目前世界上展现塔状峰丛-峰林、锥状峰丛、高峰丛深洼地、峰林/孤峰平原、洞穴、天坑、天窗、地下河、天生桥、岩溶风景河段、瀑布、崖壁等岩溶景观美景最杰出的代表地,堪称全球“洞穴天坑之窗,地下河天窗之王,天生桥瀑布之奇,风景河段之美,峰丛峰林之魂”(图1至图4,表1至表14)。

3 广西岩溶景观形成演化分析

岩溶景观发育过程是沉积过程、岩溶过程、构造运动和气候变化的统一复合体,是一个富反馈的系统。在影响和控制岩溶景观发育的各因素间,即沉积过程(可溶性岩的形成、分布、发育、岩性等)、构造(地势、高度、比降、基准面等)、岩溶过程和气候(降水、流量、地下水、植被、CO₂等)各因素之间存在着复杂的反馈关系,它们的共同作用对象为可溶性成景地层,它们四者之间的相互作用构成一个动态的、复杂的成景耦合过程^[4-6]。因此岩溶景观的形成与演化不是静止孤立的,是随着时间和空间的运动而变化,它演化的直接动力是富含CO₂和其他酸性物质的运动水,演化的方向和空间分布受所处区域可溶岩石结构和

分布、地质构造和构造运动性质、气候变化及岩溶过程所支配,因而目前的岩溶景观形态,是岩溶景观发育、演化过程中某一阶段地表形态的呈现,是动态演化过程中某一瞬间形态,并表现出明显的区域/流域分异特征。

3.1 广西各岩溶区岩溶景观形成演化背景分析

3.1.1 碳酸盐岩地层岩溶特征

广西各岩溶区,主要出露中上寒武统至中三叠统的碳酸盐岩地层,总体以灰岩、白云质灰岩和白云岩等为主,连续沉积,岩性变化不大,总厚度达10 677~24 790 m^[16-17],刚性和抗应变能力较强,具有极高的孔隙率、渗透率和富水性,大多呈连续片状(如桂林、柳州等岩溶区域),少数呈孤岛状(如乐业等)分布于碎屑岩中,属强可溶性地区。

3.1.2 区域构造及演化

晚三叠世开始的印支运动,基本奠定广西各岩溶区构造形迹的基本框架;随后,历经印支、燕山、喜山等强弱程度不一、由多期极强至稳定的周期性构造运动,以继承性改造和发育为主,具体表现为广西各岩溶区及其周边断裂和褶皱的周期性活化和活动^[16-17](图4),且褶皱、断裂、节理、裂隙等十分发育,大大提高可溶性岩石的次生渗透性,为大气降雨的入渗、地下水运动创造了良好的内力条件,利于纵向、横向岩溶过程的进行。

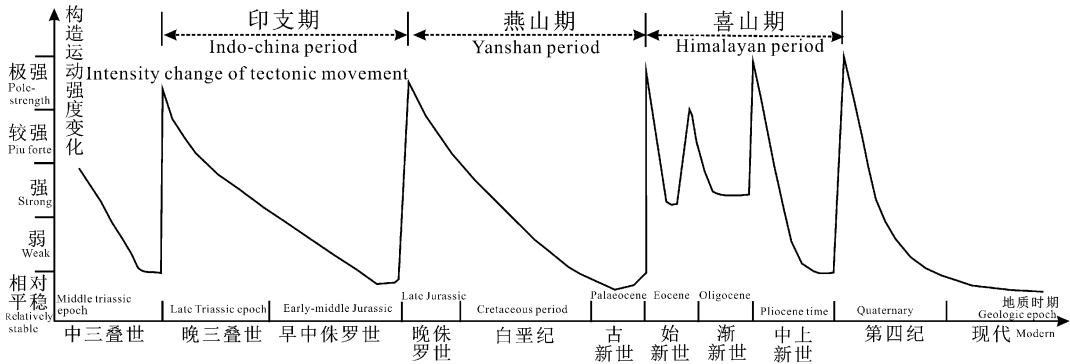


图4 广西自晚三叠世以来构造运动演变示意图(据韦跃龙,2009,有增删)

Fig. 4 Schematic diagrams of tectonic evolution since Late Triassic epoch in Guangxi(According to Wei Yuelong,2009, revised)

3.1.3 区域气候及水文条件分析

3.1.3.1 区域气候特征及演变

晚三叠世以来,广西各岩溶区总体属湿润-潮湿亚热带、热带气候,炎热潮湿、水量充沛、生物繁盛^[16]。现代,广西各岩溶区均属高温多雨的亚热带气候区,多年平均气温为16.5~23.1℃,各岩溶区年降水量多介于1 250~2 000 mm,5—9月为主要雨季(占全年总降水量的51%~59%),11月下旬至第二年4月上旬为旱季(仅占全年总降水量的10%),其余月份为平水期,为地表和地下岩溶水提供了良好的

补给来源。

3.1.3.2 地表水演变及发育特征

晚三叠世以来,广西各岩溶区暂时性、季节性和常年性等各种形式的地表水均十分发育,并分别在不同的地质时代相互袭夺,首先在各岩溶区形成各自相对独立的地表河,形成局部统一的地表水系;然后各地表河间及地表河与地下河之间又相互袭夺、相连成整体统一,却仍保持各区域相对独立的西江水系及其支流,包括红水河、柳江、郁江、桂江等及其支流;它们多年平均径流量达2 240亿m³^[17],流量大,水动力十

分强劲,水循环条件极好,为各类地表岩溶景观,如峰丛洼(谷)地、峰林平原/谷地等的发育提供了极强的水动力条件。

3.1.3.3 地下水演变及发育特征

晚三叠世以来,广西各岩溶区的地下水历经浅层地下水→各向流动和局部统一的地下河→区域统一的地下河系,如地苏地下河系、百郎地下河系等;它们总排泄量达 $191 \text{ m}^3/\text{s}$,流量大,水动力十分强劲,水循环条件极好,为各类地下岩溶景观,如洞穴、地下河系等的发育提供极强的水动力条件。

3.2 广西岩溶景观形成演化过程分析

3.2.1 区域地质演化简史

自距今 10 亿年的晚元古代至距今约 2.5 亿的中三叠世期间,广西部分区域分别于不同的地质时代处于浅海沉积环境,分别沉积形成时代不同、厚度巨大、连片分布、岩性略有差异的碳酸盐岩地层^[16]。晚三叠世,受强烈印支运动的影响,部分区域的碳酸盐岩地层露出地表,开始进入持续至今 2 亿多年岩溶地貌/景观形成演化时代^[16-17],如桂林、柳州等岩溶区;

随后相继发生燕山运动和喜山运动,区域地壳隆起,更多区域的碳酸盐岩地层相继出露地表,分别进入各自的岩溶地貌/景观形成演化时代,如乐业、都安岩溶区(大致于古近纪期间开始进入岩溶发育时代)^[5-6,13];至古新世末,广西各岩溶区基本都出露于地表,并全部进入岩溶发育时代;古新世末至晚更新世期间,广西各岩溶区进入岩溶地貌/景观重要发育阶段,进行着多期规模、强度较大的岩溶过程,逐渐形成广西各类岩溶地貌/景观的分布格局和发育特征,并保持至今;全新世以来极短地质时期内(历时约一万年),总体以继承性改造和发育为主。

3.2.2 峰丛-峰林形成演化分析

广西各岩溶区峰丛洼地、峰林平原及与它们共生、伴生的其他各类地表岩溶地貌(峡谷、坡立谷、漏斗、竖井、落水洞等),规模形态各异,但它们具有一个共同的成景特征,即它们都是由地表流水向地下侵蚀、溶蚀、冲蚀、潜蚀、搬运而成,因此将它们统称为自上而下式岩溶地貌/景观,其形成演化过程可总体概括为如下几个阶段(图 5)。

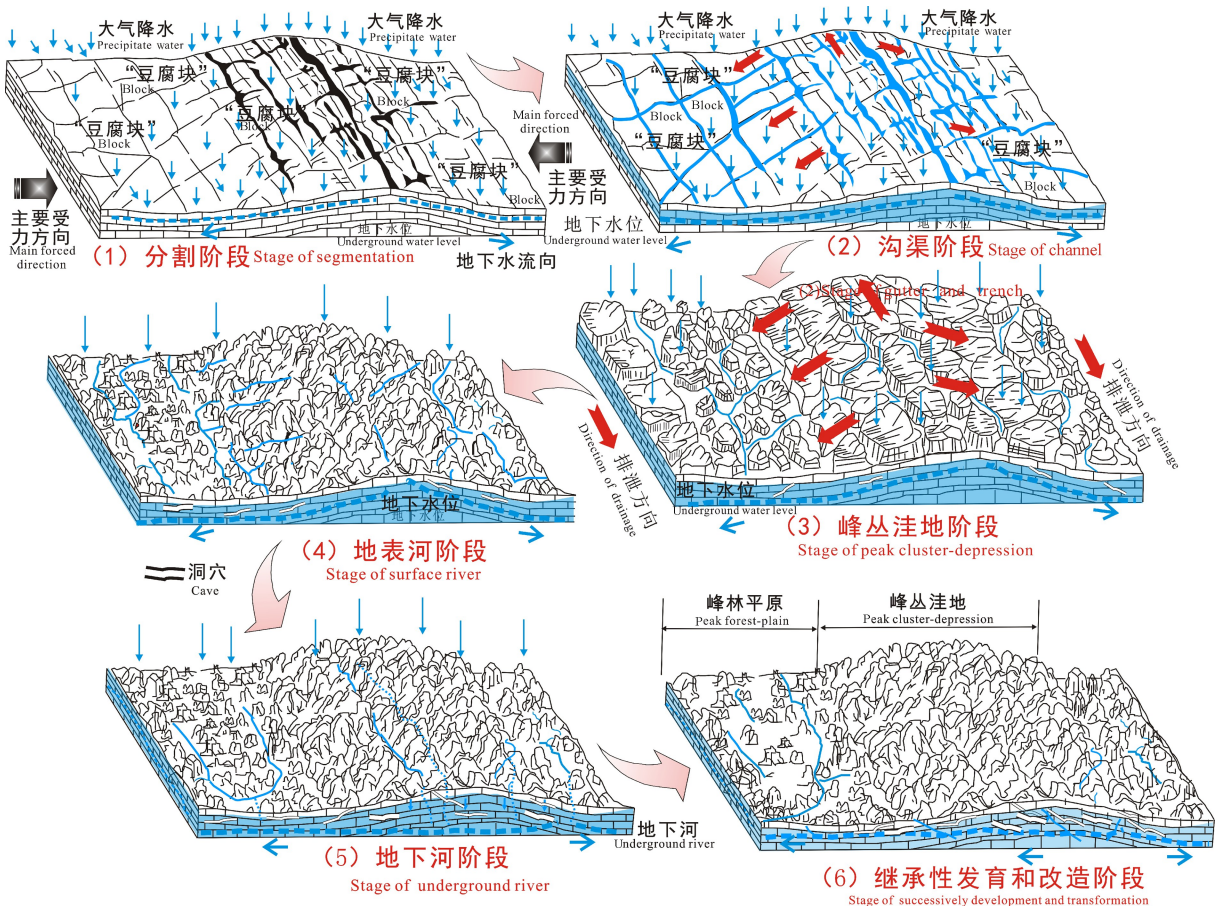


图 5 广西峰丛峰林形成演化过程示意图(据韦跃龙,2009,有增删)

Fig. 5 Schematic diagrams of formation of fengcong and fenglin in Guangxi(According to Wei Yuelong,2009, revised)

3.2.2.1 地块分割阶段

受构造运动控制和影响,平坦的岩溶地块被分割成众多大小不一、软硬不一、破碎不一的“豆腐块”(岩溶小地块),各小地块之间的岩石、地层变形程度相对较大,产状较陡,是各种形式地表流水主要的侵蚀通道,是洼(谷)地、峡谷等负地貌的重要发育区;而各小地块内的岩石、地层变形程度相对较小,产状平缓,厚度巨大,为众多岩溶石峰的发育和保存提供极有利的条件(图5)。此阶段主要发生于如下地质时期^[16-17](图4):①白垩纪末强构造活动的较短时期内(如一级剥夷面的形成);②分别始于古新末、始新世中期、渐新世末和上新世末的喜山运动一幕、二幕、三幕、四幕后的较短地质时期内,断裂、褶皱继承性活动与活化的强度极大,产生极强的势差和高差,前期形成的剥夷面抬升,并被切割、支解,基本被破坏改观;③第四纪以来间歇构造抬升产生后的较短地质时间内,发生的多期间歇性抬升,形成多级不同高程的剥夷面和多层溶洞,如早更新世期间都安的区域间歇隆升,于该岩溶区形成海拔360~380 m的剥夷面和多层溶洞。

3.2.2.2 沟渠阶段

大气降水沿各构造低地、构造破碎带、裂隙带、岩石脆弱带不断侵蚀、冲蚀、溶蚀、潜蚀、搬运,先形成地表细沟(如溶痕、石牙等),再演变为宽度、深度更大的沟渠(如溶沟等),各岩溶区域内各向分散独立流动暂时性、季节性或常年性地表流水逐渐演变、汇聚于各构造盆地(图5),如目前广西各岩溶区境内规模较大的坡立谷、盆地、平原等。此阶段主要发生于上述构造运动由极强→较强的地质时期。

3.2.2.3 峰丛洼地阶段

大量的地表水和地下水由各岩溶区所处小流域的古分水岭一带分别统一汇聚、排泄于中、下游区域(或周边古汇流盆地)的过程中,原沟渠被改造成各种大小、规模、深度不一的洼(谷)地、峡谷、坡立谷等横向负地貌及漏斗、竖井、落水洞等竖向负地貌,同时还形成与各地表水流向基本相似各向浅层地下水(河),在它各自横向分散独立流动,局部统一汇聚、排泄的过程中,往往形成大小、规模、走向及形态各异的早期洞穴,即后面所述的地下河道形成发育阶段;而各构造相对高地、构造稳定带、岩石坚硬带等也不断被改造成错落有致的岩溶峰丛、峰丛群,从而形成本区域峰丛洼地和洞穴等地表和地下岩溶地貌雏形(图5)。此阶段主要发生于上述构造运动由较强→减弱→平稳期间。

3.2.2.4 地表河阶段

受地表水位势差控制和影响,各岩溶区内流动于各洼(谷)地间的季节性、常年性地表流水不断相互袭夺,连接成各向分散独立流动的小型岩溶地表河,但仍汇聚、排泄于所处岩溶区域的下游或古汇流盆地。期间不断改造各类地表岩溶地貌,各岩溶区域的岩溶地貌以继承性改造、发育为主,各区域地貌之间的差异初具雏形(图5)。此阶段主要发生于构造运动趋于平稳的地质时期。

期间,受水力条件、地形、构造位置、水文网位置等不同因素的制约和影响,各岩溶区所处小流域的不同区域间表现出不同的成景特征和发育特征:总体而言,上游区域,各类暂时性、季节性、常年性地表流水的势差大,流速快,以深切作用为主,峰体最高大,海拔高程最高,洼(谷)地深窄,绝大多数属高峰丛深洼地地貌区;中游区域,势差相对较小,流量大,水量、水力较大,横向、纵向侵蚀、溶蚀及搬运的规模、强度较大,山体较小,海拔高程较低,洼(谷)地宽广、较浅,漏斗、波立谷、地表河等其他负地貌比较发育,绝大多数属中、低峰丛洼地地貌区;下游区域,地势平缓,流量巨大,水量、水力最大,横向侵蚀、溶蚀及搬运的规模、强度较大,山体较小,海拔高程较低,洼(谷)地宽广、较浅,漏斗、波立谷、地表河等其他负地貌十分发育,绝大多数属高、低峰林平原地貌区。

同时,各岩溶区所处的大流域,如红水河、柳江等,从上游区域至下游区域也发生着大致相似的岩溶过程,形成高度相似的岩溶地貌/景观分布格局。

3.2.2.5 地下河阶段

受区域间歇性构造运动控制和影响,区域性侵蚀基准面大幅下降,导致各岩溶区域内部部分小型岩溶地表河直接下潜或被地下河袭夺形成新地下河。各岩溶区域的岩溶地貌以继承性改造、发育为主,各区域地貌之间的差异日趋明显。此阶段主要发生于随后的地下河和洞穴早期构造运动强烈活动期间,将在后面详述。

3.2.2.6 继承性发育和改造阶段

各岩溶区内以暂时性地表流水作用为主,各正地貌朝更高、更尖,或更矮、更小方向发育、演变,各负地貌或朝更宽、更平,或更深、更大方向发育、演变,一直延续至今,逐渐形成广西各岩溶区内峰丛洼地、峰林平原、巨型岩溶坡立谷、盆地等典型岩溶地貌/景观,并在同一岩溶系统内相互影响、相互依存平行发展,逐步演化。由各岩溶区所处小流域的上游至下游,大体上由高峰丛深洼地→中峰丛洼地→低峰丛洼地→高峰林平原/谷地→低峰林/孤峰平原等多种地貌协

同共生,有序分布于同一小流域或大流岩溶系统内;其中,高峰丛主要分布于所处小流域或大流域的上游区域;中、低峰丛主要分布于所处小流域或大流域的中游区域;峰林分布于所处小流域或大流域的下游区域(图5)。此阶段主要发生于第四纪至现代的一段地质时期内。

上述6个阶段的形成演化过程(图5),系统完整地揭示晚三叠世以来,广西各岩溶区在不同地质地理环境下各类地表岩溶地貌/景观的形成演化过程,并拥有多个在地质、地貌、水文地质上独立、完整的地表岩溶形成演化系统,典型而稀有,是全球亚热带地表

岩溶地貌/景观形成演化的全球参照地,也是反映在不同河流区域(上游至下游区域)岩溶演化历程的典型示范地之一。

3.2.3 地下河和洞穴形成演化分析

广西各岩溶区地下河和洞穴的形成演化过程,开始是地下流水不断侵蚀、溶蚀、冲蚀、潜蚀、搬运其围岩形成地下河,后因地壳抬升形成旱洞和新的地下河;而此过程形成的地貌统称为自下而上式岩溶地貌(即由地下向地表发育而形成的地貌),明显区别于自上而下式岩溶地貌/景观。它们的形成演化过程可总体可概括为如下5个阶段(图6)。

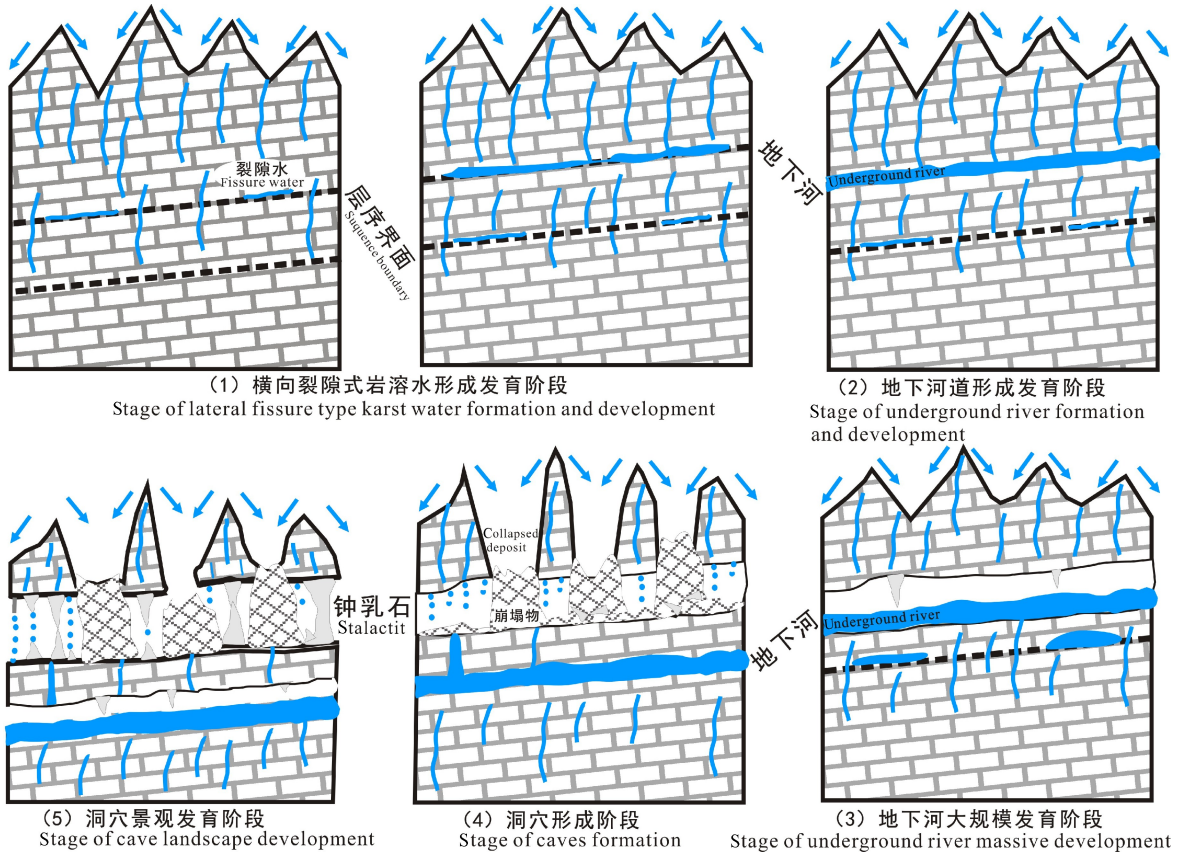


图6 广西地下河和洞穴形成演化过程示意图(据韦跃龙,2009,有增删)

Fig. 6 Schematic diagrams of formation of underground river and cave in Guangxi(According to Wei Yuelong,2009, revised)

3.2.3.1 横向裂隙式岩溶水形成发育阶段

大气降水沿可溶岩纵张性构造裂隙下渗,形成横向裂隙式岩溶水,贮存、汇聚于深部循环带内并形成横向裂隙式岩溶水。虽并不是所有横向裂隙式岩溶水均可发育成后期的地下河,但它是地下河发育的必要前提条件之一,可发生于任何成景时期。而对地下河和洞穴成景过程有重要意义的岩溶水可能主要形成于构造运动趋于平稳的地质时期^[16-17],即古近纪(E)、新近纪(N)、第四纪(Q)等地质时期(图4,6)。

3.2.3.2 地下河道形成发育阶段

横向裂隙式岩溶水沿可溶岩内部层序界面,如层

理面、古风化面、古岩溶面、平行和角度不整合面、古侵蚀面、地层间断面,以及断层、节理、裂隙等进行横向溶蚀、侵蚀和流动,形成地下横向通道,具有一定的方向性和连续性,也具有非均一性和各向异性。后岩溶水越聚越多,水量、水动力及溶蚀力越大,通道逐渐扩大,形成规模不等且各向独立分散流动的地下河道。受地下水位势差、构造位置、古构造面等制约和影响,部分地下河开始袭夺地表各岩溶负地貌间各种形式的地表流水和其他地下河,逐渐形成局部统一的地表地下水文地质单元,开始接受大量大气降水的直接补给。同时也不排除因受强烈构造运动宏观控制

和影响,侵蚀基准面大幅下降,前期大量发育于各横向岩溶负地貌间的季节性、常年性地表流水沿构造带或地层岩石脆弱带直接下潜形成地下河,并形成局部统一的地表地下水地质单元和含水岩体。此阶段主要发生于如下地质时期^[16-17](图4):①白垩纪末强构造活动的较短时期内;②分别始于古新末、始新世中期、渐新世末和上新世末的喜山运动一幕、二幕、三幕、四幕后较短地质时期内;③第四纪以来间歇构造抬升产生后的较短地质时间内,发生的多期间歇性抬升,此时期对广西各岩溶区域如今各地下河系和洞穴系统的形成、发育、演化影响最深^[6,13]。

3.2.3.3 地下河大规模发育阶段

地下河继续接受大气降水的大量直接补给和少量间接补给——补给量充足、流量大、流速快、水循环条件好、水动力强劲,对流经区域的可溶性围岩进行大规模、高强度的流水动力作用和搬运作用,进入地下河道大规模发育阶段,朝更深、更宽、更长的方向发育、演变,进一步深化改造已形成的局部(新近纪)或整体(第四纪至现代)统一的地表地下水地质单元和含水岩体。此改造期主要发生于地下河和洞穴期中期,即构造运动相对平稳的第四纪和现代岩溶作用期间(图4和图6)。

3.2.3.4 洞穴形成阶段

受区域强构造运动控制和影响,地壳整体隆升,侵蚀基准面大幅下降,原地下河继续下潜或改道形成新的地下河,继续新地下河的发育和演变(图6)。而原来的地下河道则可能发生如下变化:①继续发育,在新地下河的侵蚀、溶蚀下形成峡谷状,或上窄下宽,或上宽下窄等形状的地下河道;②局部或全部被抬升形成旱洞,即洞穴;③部分地下河道被抬升,且顶板发生崩塌,形成穿洞、天坑、天生桥、天窗等岩溶景观(图7,8,9);④极端情况,原来宽广的地下河道发生大面积崩塌,最后演变、发育形成峡谷、谷地、洼地等负地貌。这一过程主要发生于地下河和洞穴期后期强构造活动的较短时期内,即上新世末至早更新世,喜山运动第四幕产生后的较短地质时期内^[16-17]。

上新世末,受喜山运动第四幕的控制和影响^[16-17],广西各岩溶区域进入洞穴大规模形成阶段,在形成大量规模形态各异的洞穴系统的同时,也新形成整体统一的地下河系,如都安地苏地下河系^[13]、乐业百郎地下河系等^[5-6]。而此时,各岩溶区域所处小流域内的地表河和地下河逐渐相互袭夺、连接成一个统一、复杂的水文地质单元,进入地下河重新大规模发育阶段,并一直保持至今。

3.2.3.5 洞穴景观发育阶段

新的地下河继续按“地下河道形成发育阶段→地下河大规模发育阶段→洞穴形成阶段”循环发育,进一步深化改造新形成的各地下河系。而被抬升脱离地下水面的洞穴则进入洞穴沉积物(景观)发育阶段,形成各式各样、千姿百态、规模不一的洞穴次生化学沉积物。

洞穴次生化学沉积物具体成景过程:洞穴上升脱离地下水位后,洞穴上部部分地表水沿土壤层渗入裂隙,并在下渗过程中吸收土壤层中的 CO_2 后(大气土壤层 $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{溶解CO}_2, \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$),变成 CO_2 含量更高的岩溶水,其中部分岩溶水沿洞壁或其他地下空腔围岩渗出,压力突降,可能形成洞穴毛细水、滴水、流水、池水和渗水等;而大量含有过饱和碳酸钙的溶液进入洞穴空间,为与洞穴 CO_2 浓度取得平衡,释放出水溶液中的 CO_2 ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$),并沉积形成大量的洞穴次生化学沉积物;对应不同的裂隙、水量及渗出方式,分别形成类型丰富、千姿百态的洞穴化学沉积物,如石笋、石钟乳、石柱、石幕、流石坝、卷曲石、鹅管、莲花盆等钟乳石等(表15和图10)。此阶段主要发生于随后构造运动相对平稳的第四纪和现代岩溶作用期间。

上述5个阶段的形成演化过程(图6),系统完整地揭示了晚三叠世以来,广西各岩溶区在不同地质地理环境下地下河和洞穴的形成演化过程,并拥有多个在地质、地貌、水文地质上独立、完整的地下岩溶形成演化系统,典型而稀有,是全球亚热带地下岩溶地貌/景观形成演化的全球参照地。

3.2.4 天坑-天窗-天生桥形成演化分析

塌陷型天坑、天窗和天生桥形成的基本机制如下:地下河长期、持续的地下侵蚀、溶蚀作用及崩塌、搬运作用,使各地下河的洞腔越来越大,洞腔上覆地层越来越薄,稳定性越来越差,枯(洪)季节水位变化、气爆作用、地壳振动等诱发因素导致地下河洞腔发生局部崩塌并形成塌陷型天坑、天窗和天生桥。期间受区域间歇性隆升的控制和影响,可能会发生多期局部崩塌作用,形成众多位置各异、时代不同、规模形态不一的天坑、天生桥和天窗,如乐业天坑群、都安天窗群、鹿寨香桥岩天生桥等。随后,各个天坑、天窗和天生桥进入缓慢持续的成熟、退化阶段,并表现出不同的演变特征^[5-6,8,10,13-14]。因此,它们的形成演化过程可分为地下河阶段→天塌陷型天坑、天窗和天生桥形成阶段→改造和退化阶段,此过程是渐变性和实变性地表过程的统一过程,是地下和地表岩溶作用相互不

断耦合的综合过程,总体概括为发育渐变(巨大地下洞腔的形成)、形成突变(洞腔崩塌形成天坑、天窗和天生桥)、改造缓慢(后期改造过程)过程(图7,8,9)。

广西天坑-天窗-天生桥的形成和发育,是在不同地质时期、地质地理背景下产生多期作用对象不同,

方向、规模、强度不一,但演变过程基本相似,形成多期类型相似、但规模形态各异的天坑-天窗-天生桥,它们是反映区域水文地质系统不同发育阶段的天然记录者,系统完整,且典型、稀有。

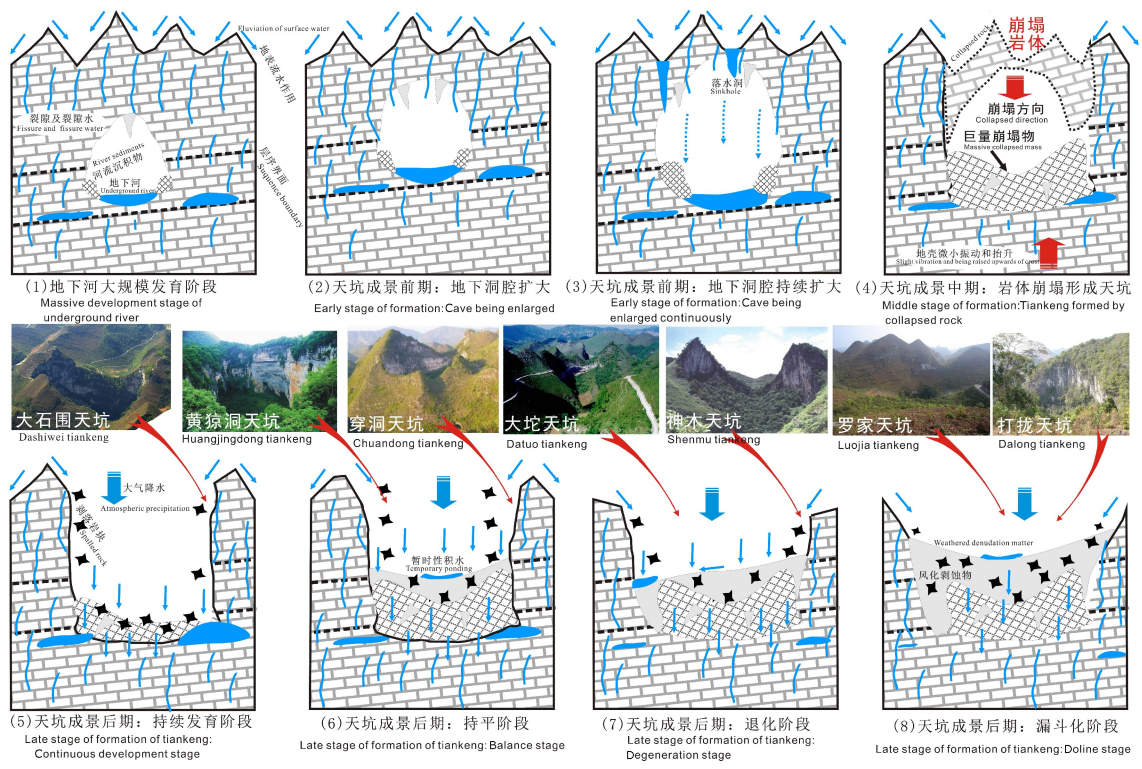


图7 天坑形成演化过程示意图(据韦跃龙,2009,有增删)

Fig.7 Schematic diagrams of formation of Tiankeng(According to Wei Yuelong,2009, revised)

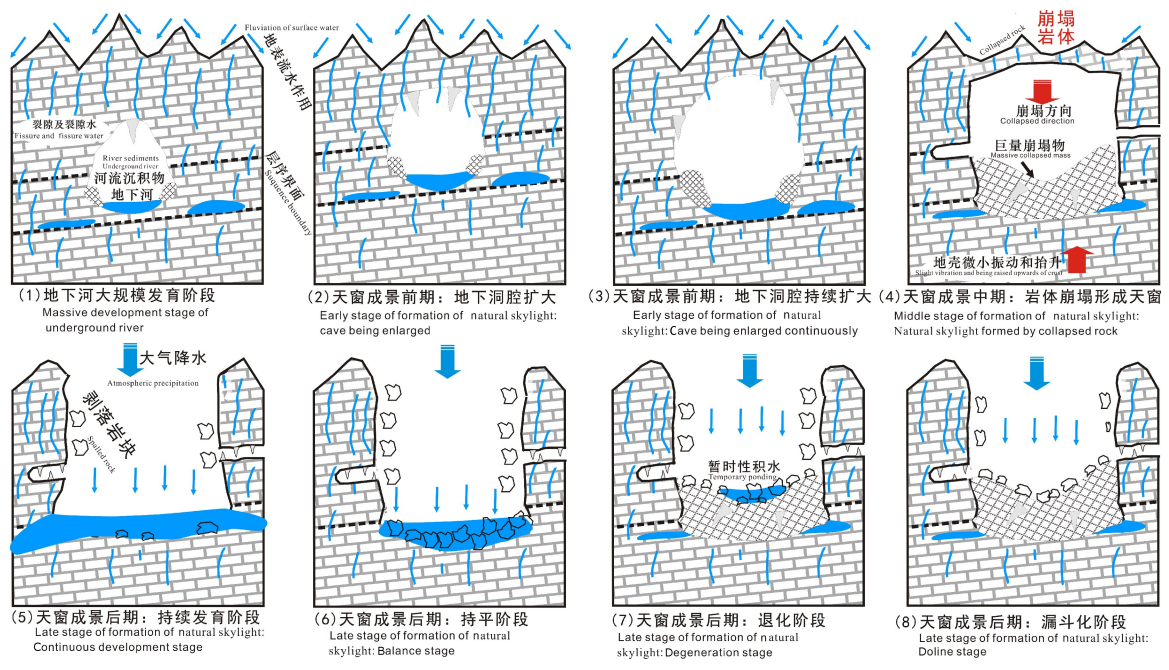


图8 天窗形成演化过程示意图(据韦跃龙等,2018,有增删)

Fig.8 Schematic diagrams of formation of natural skylight(According to Wei Yuelong et al.,2018; revised)

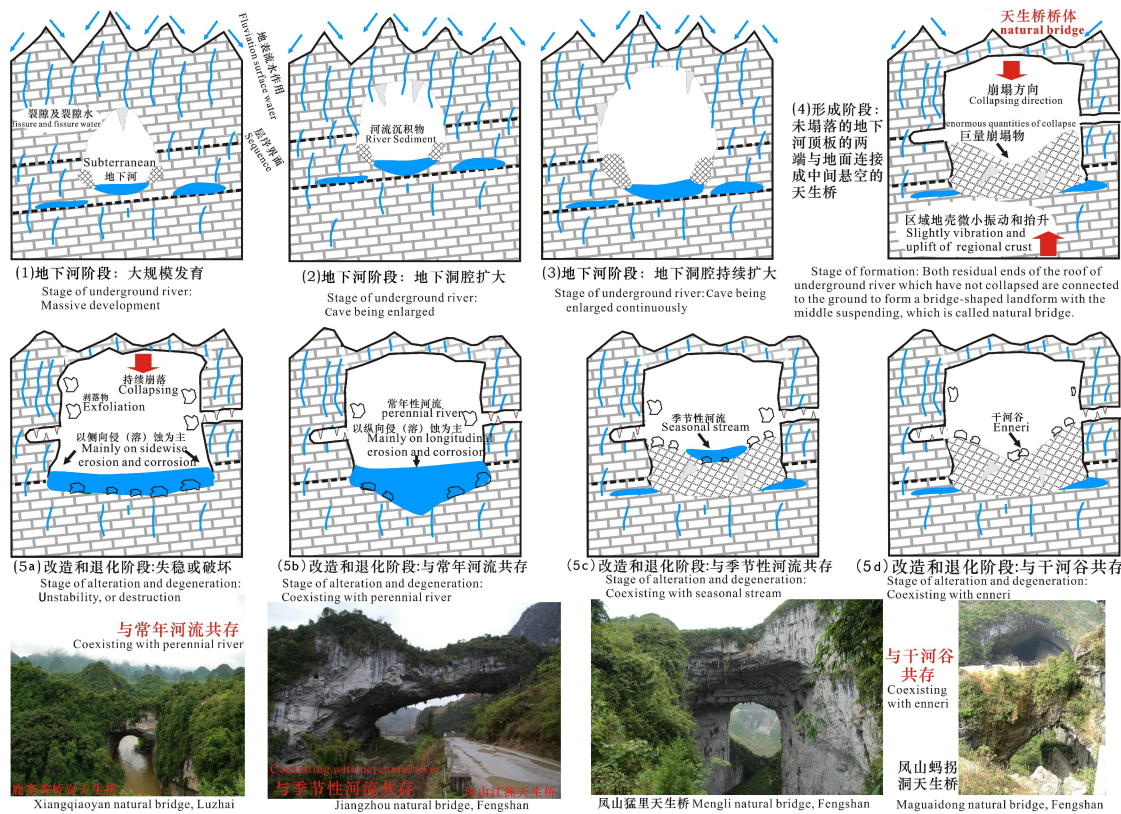


图9 天生桥形成演化过程示意图(据韦跃龙等,2012;有增删)

Fig.9 Schematic diagrams of formation of natural bridge(According to Wei Yuelong, et al., 2012; revised)

表15 主要钟乳石类型形成的基本条件

Table 15 The basic conditions for main stalactite types

类型 Types	基本形成条件和发育特征 Basic formation condition and development features
滴石类 Dripstone	石钟乳 Stalactite 岩溶水沿垂直洞壁的裂隙渗出,形成滴水。不同渗出量往往形成不同粗细,但总体上粗下细、垂直悬挂于洞壁的石钟乳 Karst water oozes along slim fissure on the vertical cave wall, forming dripping water. Different seepages form different stalactites with different thickness, but in general, the stalactite is thick at the top and slim at the bottom, hanging on the cave wall vertically
	石笋 Stalagmite 沿垂直洞壁渗出或流出的岩溶水,往往在洞底对应石钟乳形成石笋。不同渗出或流出量往往形成不同粗细,但总体下粗上细、垂直于洞壁的石笋 Karst water vertically oozes or flows along cave wall, forming stalagmites at the cave bottom corresponding to stalactites. Different seepages form different stalagmites with different thickness, but in general, the stalagmite is slim at the top and thick at the bottom, vertical to the ground
	石柱 Column 上、下相对发育的石钟乳、石笋,可能会相接而成 It is formed through connection of stalactites developed at the top of cave wall and stalagmites developed at the bottom of cave
	鹅管 Soda straw 岩溶水沿垂直洞壁的细小裂隙渗出、量很小,为石钟乳雏形 Karst water oozes along slim fissure on the vertical cave wall, forming a rudiment of stalactite
流石类 Flowstone	石旗、石幕等 Stone waterfalls, Curtains etc 沿与洞壁平行或斜交的方向流出,呈线状、片状及分散状态,流出量多寡控制壁流石的形态规模,多呈瀑布状;其中宽且多有褶皱、厚度薄、形态如旗帜者,称为石旗 They flow out along the direction in parallel to or along the direction of the oblique crossing the cave wall, presenting linear, schistose and dispersed shapes. The shape and size of wall flowstones are subjected to the amount of flow, and most of them are of waterfall shape; the one which is wide, folded, thin and flag-shaped or strip-shaped is called cave flag or stone belt
	流石坝 Pool water sediments 洞底岩溶水因流动过程中遇到障碍物时,过饱和的水不断沉淀析出碳酸钙加积而形成挡水的壁垒,类似滚水坝的沉积物称为流石坝 Flowstone dams: When karst water at the bottom of cave meets obstacles during its flowing process, super saturated water sediments and separates out calcium carbonate continuously, forming a barrier to stop the water, and this kind of dam-shaped sediments is the flowstone dam

Table 15

类型 Types	基本形成条件和发育特征 Basic formation condition and development features
池水类 Pool water sediments	沉积于洞内流石坝水池中,不同的沉积位置往往形成不同形态的沉积物;固定边界上的镶嵌沉积:边石;流水往往和池水、滴水相互协同,结晶沉积生成大小不一的穴珠 It sediments in water pool which is encircled by the flowstone dam, and the shapes of sediment change with sediment positions; Rim stones are mosaic sediments at fixed boundary; cave pearls in different sizes are formed under the synergetic action of flowing water, pool water and dripping water
飞溅水沉积类 Splashing water sediments	由悬挂式滴水或流水在落差条件下形成的溅水,该类沉积物沿沉积中心和分布半径有序分布,常常共生发育于石笋、石柱、壁流石等其他沉积物及洞壁上 The sediments formed by splashing water which is caused by suspended dripping water or flowing water under the fall condition are orderly distributed based on the sediment center and distribution radius. They usually coexist with stalagmites, columns, wall flowstone and other sediments on the cave wall
非重力沉积类 Non-gravitational water sediments	毛细水及更微量的水分,如薄膜水等活动条件下形成,细小,各向发育,多呈鹿角状、树枝状、蠕虫状 It refers to stalactites formed under the action of capillary water and trace amount of water (such as film water). Stone hairs, helictites and coral-shaped products will be formed under high humidity condition, and nodular or ball-shaped stalactites and stone flowers will be formed under low humidity and relative dry condition
协同沉积类 Synergetic sediments	滴水和流水协同沉积形成的纺锤状石笋、石柱 Fusiform curtains and columns are formed by synergetic sedimentation of dripping water and flowing water
	滴水+飞溅水复合沉积,形似倾斜向上的棕榈片 Upward inclining palm slice is formed by combined sedimentation of dripping water and splashing water
	池水+滴水+流水协同沉积,结晶沉积生成大小不一的穴珠 Cave pearls in different sizes are crystal sediments under the synergetic sedimentation of pool water, dripping water and flowing water

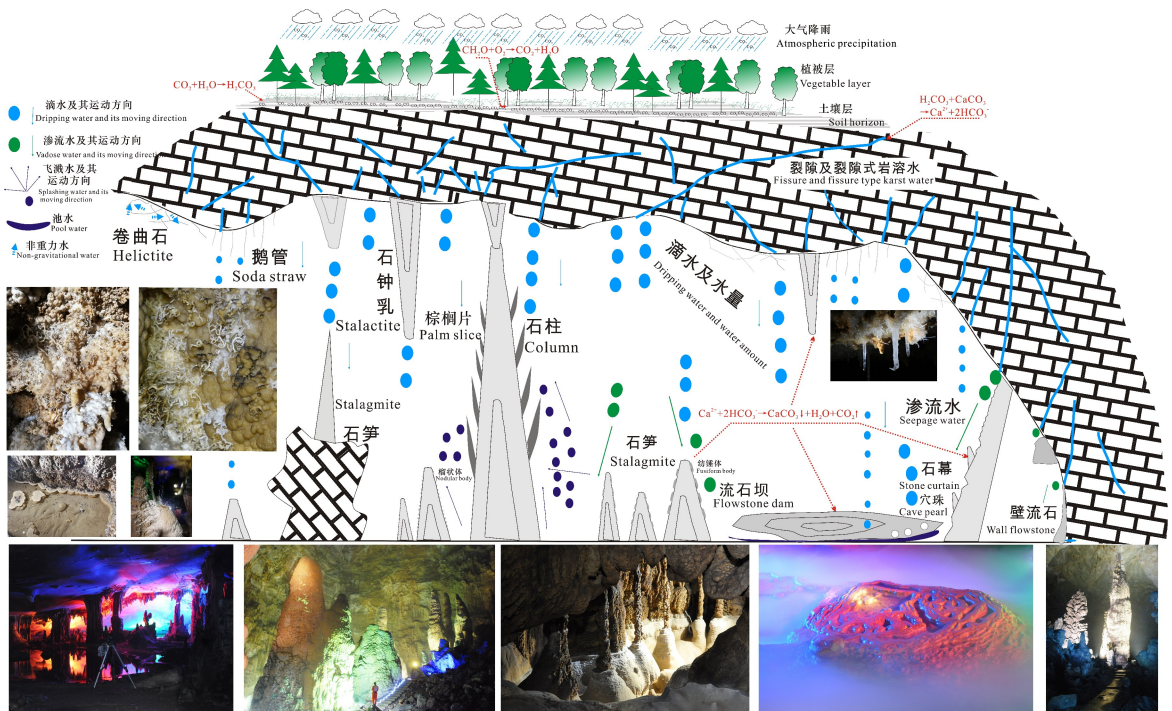


图 10 主要钟乳石类型及形态与裂隙及裂隙式岩溶水关系示意图

Fig. 10 Schematic diagrams of the main stalactite type, structural fractures and fissure karst water

3.2.5 峡谷形成演化分析

岩溶峡谷有两种成因,即地表河成因和地下河成因。

3.2.5.1 地表河成因

此类峡谷,如上述各类岩溶风景河段(表 13),是地表河向地下侵蚀、溶蚀、冲蚀、潜蚀、搬运等作用,以

及两岸基岩的崩塌作用在特定空间尺度上耦合作用的产物,其中地表河的侵蚀作用是主因。地表流水在流动的过程中,寻求最佳的途径,以最大限度降低自己的势能,以获得更大的水力比降,向更低的侵蚀基准面排泄,这导致地表河不断向下侵蚀、切割,直至与侵蚀基准面基本持平。而在其补给、径流和排泄的过

程中,逐渐产生了高度大于宽度的岩溶峡谷(图 11)。

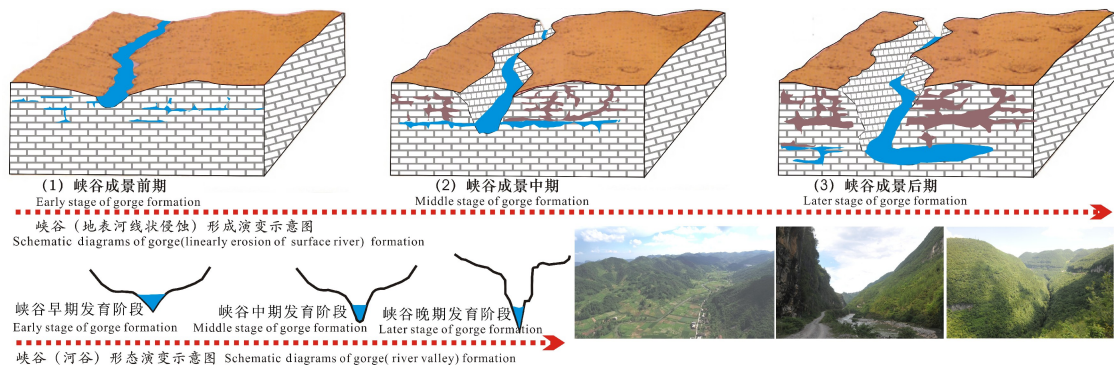


图 11 峡谷形成演化示意图(地表河成因)(据韦跃龙等,2016;有增删)

Fig. 11 Schematic diagrams of gorge(surface river genesis)(According to Wei Yuelong, et al., 2016; revised)

3.2.5.2 地下河成因

此类峡谷,如乐业百郎大峡谷、鹿寨香桥岩峡谷等,是地下河上覆地层发生崩塌作用而形成,其形成

机理和前面天坑、天窗、天生桥的形成演化过程相似,可分为地下河阶段→暴露地表阶段→地表改造和退化阶段(图 12)。

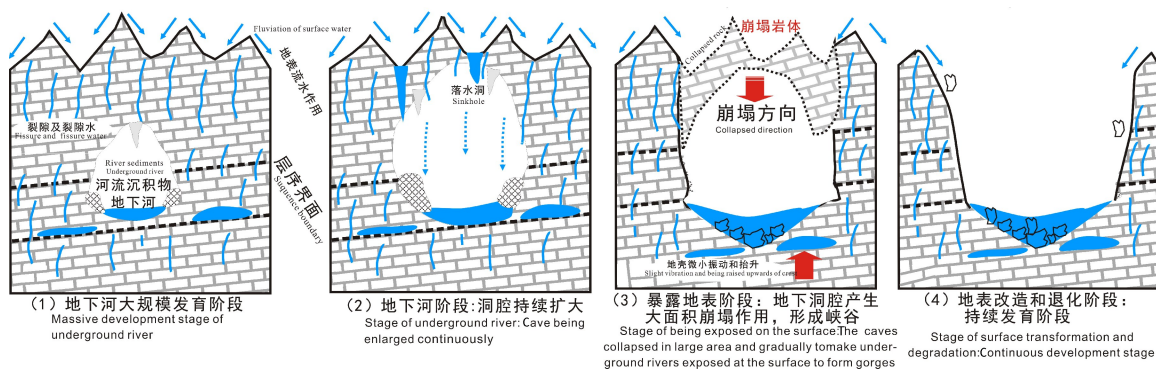


图 12 峡谷形成演化示意图(地下河成因)(据韦跃龙等,2012;有增删)

Fig. 12 Schematic diagrams of gorge(underground genesis)(According to Wei Yuelong, et al., 2016; revised)

广西岩溶峡谷的形成演化,是不同地质时期产生多期作用对象不同,方向、规模、强度不一,且演变过程差异较大的峡谷发育过程,形成多期形态、类型、规模各异的峡谷,科学、系统、完整地展现了不同岩性、气候、地貌部位、水文地质和构造条件下及不同发育时期的峡谷形态及其形成的全过程,也是反映区域水文地质系统不同发育阶段的天然记录者。

3.2.6 现代岩溶发育特征及今后演化的主要趋势

全新世以来极短地质时期内(历时约 1 万年),广西各岩溶区分别进行各种不同的岩溶过程,总体以继续

退化改造和发育为主;地表以各向流动、或定向流动的暂时性地表水及季节性、常年性地表河为主要动力;地下则以各地下河,或地下河系为主要动力,以强劲的岩溶动力过程为主,缓慢的风化过程为辅,对应各类岩溶景观将产生不同方向、强度和规模的退化、演变趋势(表 16)。同时广西各岩溶区各类岩溶景观退化、演变的规模和强度明显受控于降水量:降水量越大,规模和强度也越大;且自上游区域至下游区域,规模和强度也越大。

Table 16 The main trend of degradation and evolution of various typical karst landforms/landscapes of Guangxi

地貌/景观类型 Types of landforms/landscapes		主要退化、演变趋势 Main trends of degradation and evolution	总体趋势 Overall trend	演变规律 Evolution rules
地表 Surface	正地貌或景观 Positive landform or landscape	变矮变小,或变尖变高 Become shorter and smaller, or sharper and higher	变低变小 Become lower and smaller	
	峰丛 Peak cluster	不断后退,削壁变缓 Continuing to retreat and become gentler		
	悬崖 Cliff			

Continue table 16

地貌/景观类型 Types of landforms/landscapes		主要退化、演变趋势 Main trends of degradation and evolution	总体趋势 Overall trend	演变规律 Evolution rules
	峰林、孤峰 Peak forest, isolated peak	变低变小 Become lower and smaller		总体以继承性改造和发育为主;地表以各向流动、或定向流动的暂时性地表水及季节性、常年性地表河为主要动力,地下则以各地下河,或地下河系为主要动力,以强劲的岩溶动力过程为主,缓慢的风化过程为辅,降水量越大,退化、演变的规模、强度越大;且自上游区域至下游区域,规模和强度也越大 As a whole, they are dominated by successively development and transformation. Among which, surface takes temporal surface water, seasonal and perennial surface river that dispersedly or directionally flowed as main driving force, subsurface takes underground river(rivers) as main driving force; and their evolution takes powerful karst dynamic process as main process, slowly weathering process as assistant process; and the more precipitation the stronger scale and strength of degradation and evolution. Meanwhile the scale and strength of degradation and evolution become more stronger from upstream area to downstream area
	天生桥 Natural bridge	桥面不断崩塌、变薄 Bridge deck is continuing to collapse and become thinner		
	丘陵 Hill	变矮变小 Become shorter and smaller		
	石林、石柱峰 Stone forest, pillar - like peak	变矮变小、或变尖变高 Become shorter and smaller, or sharper and higher		
	崖壁 Precipice	崖壁后退,变低变缓 Precipice is continuing to retreat and become lower and gentler		
	地表各类崩塌堆积物 Various collapsed accumulation in surface	变大变大 Become more and more bigger		
负地貌或景观 Negative landform or landscape	洼(谷)地、坡立谷 Depression (valley), polje	变平变宽,或变深变窄 Become flatter and wider, or deeper and narrower	变平/大、变宽/深 Become flatter/big-ger, wider/deeper	
	漏斗、干谷 Doline, dry valley	变平变浅,或变深变宽 Become flatter and shallower, or deeper and wider		
	竖井、落水洞 Shaft, sink-hole	变大变深,或变深变窄 Become bigger and deeper, or deeper and narrower		
	盆地/平原 Basin/Plain	变大变宽 Become bigger and wider		
	峡谷 Gorge	变宽变浅,或变深变窄 Become wider and shallower or deeper and narrower		
	天坑 Tiankeng	峭壁缓慢后退,大部分典型形态得以保持,少部分将慢慢脱离地下河 Precipice will be slowly retreated, most of them will keep its typical shapes, few of them will slowly separate themselves from underground river		
	天窗 Natural sylight	峭壁缓慢后退,大部分典型形态得以保持,少部分朝大型漏斗演变 Precipice will be slowly retreated, most of them will keep its typical shapes, few of them will evolve into big doline		
	水体地貌或景观 Water land-forms or landscape	地表河 Surface river		变大、变宽、变长、变深 Become bigger, wider, longer, deeper
瀑布 Waterfall		大多数水量不变,极少数演化为季节性或干涸 Most of them will remain their water yield, very few of them will evolve into seasonal river or dry up		
泉 Spring				
湖泊 Lake				
湿地 Wetland				

地貌/景观类型 Types of landforms/landscapes		主要退化、演变趋势 Main trends of degradation and evolution	总体趋势 Overall trend	演变规律 Evolution rules
地下 Subsurface	地下河(系) Underground river(rivers)	处于“全充水”的状态(即地下河道中充满水),将继续“变大、变宽、变长、变复杂” They will be kept the state of full of water(i. e. water is filled in their riverway), and become bigger, wider, longer and more complicate	变大、变宽、变长、变复杂 Become bigger, wider, longer and more complicate	
	洞穴及其洞穴空间/大厅 Cave and its interspace/hall	顶部不间断崩塌,洞底崩塌物缓慢增加,洞穴空间/大厅缓慢变小 Their top is continuing to collapse, and collapsed accumulation in their bottom will be slowly increased, their interspace/hall will slowly become smaller	变窄变小 Become narrower and smaller	
	洞穴次生化学沉积物 Stalactites	老的钟乳石不断风化变黑,或局部缓慢脱落;同时不断生成新的小型钟乳石 Old stalactites will be continuing to weathering and become blacker, some of them will be slowly falled off; meanwhile small size new stalactites will be continuing to form	缓慢风化、脱落 Slowly weathering and falled off	

4 广西岩溶景观成景模式的探讨

4.1 广西岩溶成景过程

按时间序列和区域分异特征,以广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)以及它们内部各岩溶地带相互之间水力联系的演变及区域地壳的间歇性隆升为时间界限和主线,将广西岩溶的形成演化过程划分为初始阶段(晚三叠世以来,碳酸盐岩地层出露,不同岩溶区始于不同地质时期)→雏形阶段(分轴型离散岛屿式成景过程,不同岩溶区始于不同地质时期)→重要发育阶段(主轴型离散岛屿式,不同岩溶区始于不同地质时期;集合型岛屿式成景过程,中更新世中晚期至全新世)→现代岩溶阶段(全新世以来至今)等4大成景阶段;期间,广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)以及它们内部各岩溶地带分别产生不同的岩溶响应过程和特征(表 17)。

4.2 成景总特征

(1)区域构造运动宏观控制着各岩溶区岩溶过程的强度和规模

晚三叠世以来,广西依次经历印支运动(晚三叠世至中侏罗世)、燕山运动(晚侏罗世至白垩纪末)、喜山运动(古近纪至新近纪)以及第四纪以来多期区域性间歇性隆升等多期构造运动的控制和影响^[16-17](图 4),从宏观上决定广西各岩溶区可溶岩的出露及其他各类成景要素(如地表水与地下水之间的联系、水动力条件、地形地势、地层结构等),总体控制着各岩溶区各自不同的成景方向、规模、强度和地貌特

征^[4-6,13-15](表 17,18)。

(2)不同的沉积特征(如岩性、地层结构、分布、成分等特征)具体控制着各岩溶区风格迥异的成景格局、过程和极限

横向上,各类非可溶岩(如页岩、泥岩及砂岩、砾岩等碎屑岩)将广西各岩溶区分隔成多个相对独立的“岩溶孤岛”,而各岩溶孤岛又分别具有不同的沉积特征(或分别为寒武系、石炭系(柳州)、泥盆系(桂林)、二叠系(乐业、凤山)的碳酸盐岩地层;或分别为质纯厚层的灰岩(大多数岩溶区)、白云岩(如柳州都乐岩一带);或呈片状连续分布(大多数岩溶区)、孤岛状(如乐业等),表 11),既为各岩溶区岩溶过程的差异奠定了物质基础,也使得它们在相同或高度相似的气候、水文及区域构造格局下,分别进行着方向、规模和强度明显差异的地表、地下岩溶过程(表 17,18),形成形态特征差异明显的地表、地下地貌,如桂西北与桂中岩溶地貌/景观的差异(表 1),乐业罗妹洞(灰岩)与柳州都乐岩(白云岩)洞穴景观的差异(表 10)等。

纵向上,各岩溶区可溶层岩性、厚度等的差异,从物质基础上限定发育的强度和规模(表 11);总体上,可溶岩厚度越大,如红水河上中游流域的各岩溶区,岩溶纵向发育规模、强度相对越强,如众多大型洞穴、地下河系统、高峰丛深洼地、天坑、天窗等多分布于该区域;反之,可溶岩厚度较小,岩溶纵向发育规模、强度相对越弱,如柳州、桂林等岩区洞穴、地下河等的规模远小于前者(表 1、表 18)。

表 17 广西各岩溶区及它们内部各岩溶地带不同的岩溶响应特征

Table 17 different karst response characteristics of different karst areas of Guangxi

区域 Area	上游 Upstream	中游 Midstream	下游 Downstream	对应岩溶过程 Corresponding karst response
不同岩溶阶段的响应特征 Corresponding response characteristics of different karst stages	初始 Primary stage	大气降水沿各构造低地、构造破碎带、裂隙带、岩石脆弱带不断侵蚀、冲蚀、溶蚀、潜蚀、搬运,先形成地表细沟,再演变为宽度、深度更大的沟渠,形成由各地形高地往周边低地各向分散独立流动,流程极短的暂时性、季节性或常年性地表流水;期间少数大气降水沿纵张性裂隙下渗,并沿层间裂隙面、岩层层面等进行分散、独立的横向溶蚀、侵蚀、流动,形成发育程度不一、各向分散的横向裂隙岩溶水 Atmospheric precipitation continually eroded, eroded, dissolved, subsurface eroded, transported along structure low, structural fracture belts, fissure zone and rock fragile zone to form rills firstly, then to form channels that had larger width and depth, finally to form temporal, seasonal and perennial surface water that dispersedly and independently flowed in different directions and ultrashort process. Among which, few atmospheric precipitation infiltrated along longitudinal and tensile fissures, dispersing and independently corroding, eroding as well as laterally running along interformational fissure surface and stratification plane to form horizontal karst fissure water with different development degrees and disperse directions		地表:地块分割和沟渠阶段;地下:横向裂隙水阶段(图5,6) Surface - stage of land masses segmentation and channel; Subsurface-stage of horizontal fissure water (Fig. 5 and Fig. 6)
		成景机制:无轴分散式 Formation mechanism: Type of no axel and dispersive		
	雏形 Original stage	弱地表/地下喀斯特 Weak surface/subsurface karstification		地表:峰丛洼地阶段;地下:地下河形成发育阶段(图5,6) Surface - stage of peak cluster- depression; Subsurface - stage of underground river (Fig. 5 and Fig. 6)
重要和现代 Important and modern stage	弱地表/强地下喀斯特/强洞穴景观形成阶段(不同岩溶区始于不同地质时期)→弱地表/地下喀斯特/强洞穴景观形成阶段(晚更新世早期至全新世) Weak surface karstification/ strong subsurface karstification/ strong cave landscape development stage (different karst areas respectively began with different geologic epoch) → weak surface/subsurface karstification/ strong cave landscape development stage (from early Late Pleistocene to Holocene)		强地表/弱地下喀斯特(不同岩溶区始于不同地质时期)→弱地表/强地下喀斯特(不同岩溶区始于不同地质时期)→强地表/地下喀斯特(晚更新世至全新世) Strong surface karstification / weak subsurface karstification (different karst areas respectively began with different geologic epoch) → weak surface karstification / strong subsurface karstification (different karst areas respectively began with different geologic epoch) → strong surface / subsurface karstification (from early Late Pleistocene to Holocene)	地表:地表河至继承性改造和发育阶段;地下:地下河大规模发育至洞穴景观发育阶段(图5,6) Surface - from stage of surface river to stage of successively development and transformation; underground river massive development to stage of cave landscape development (Fig. 5 and Fig. 6)
	成景机制:主轴型离散岛屿式(不同岩溶区始于不同地质时期)→集合型离散岛屿式(中更新世中晚期至现代) Formation mechanism: Type of main-axel and discrete islands(different geologic epoch) → type of discrete and concentrated islands(from Middle and late of Middle Pleistocene to modern)			
广西岩溶以各岩溶区之间水力联系的演变为主轴,其岩溶作用及岩溶地貌/景观的分布表现出明显的横向分异特征(图2) Guangxi karst takes the evolution of hydraulic connection among respective different karst areas as principal axis, and its karstification and distribution of karst landforms/landscapes have obvious differential characteristics in horizontal direction(Fig. 2)				

(3)水文地质条件的演变和发育特征是广西各岩溶区成景的直接动力和演变主轴,直接控制着各自岩溶作用的方式、强度,以及相互间的差异和关联程度。晚三叠世以来的不同地质时期,广西各岩溶区处于相同或高度相似的气候变化框架内:总体属湿润-潮湿亚热带、热带气候,炎热潮湿、水量充沛、生物繁盛^[16]。广西各岩溶区的地表水和地下水经历了相似的演变过程:由整个区域普遍发育的暂时性、季节性地表水→各向杂乱无章、流量极小的暂时性、季节性地表水小水沟和浅层地下水→各众多短流程、小流

量、各向分散独立流动的小河和地下河→长流程、大流量,贯穿各区域的地表河及局部统一的地下河系^[4-6,13]。

受区域构造特征宏观控制,对应侵蚀基准面和水系流向也经历了多次演变:各岩溶区沿各分水岭四面具有不同的地方性侵蚀基准面,地表水和地下水各向分散独立流动→各岩溶区分别具有各自统一的地方性侵蚀基准面,局部统一流动的地表和地下水系→统一的区域侵蚀基准面——红水河/柳江/黔江/桂江等,并最终统一汇入西江。各岩溶区(即各岩溶孤岛)

内部各自逐渐局部统一的地表和地下水系是它们内部进行物质、能量和信息交流,也是它们与各自周边区域相互制约和影响的通道和纽带,它们犹如由众多不同走向的低等级公路构成的众多一级公路,而红水河/柳江/黔江/桂江/西江等则是多条汇聚更多物质、能量和信息的高速通道和纽带,犹如多条大流量的高速公路,将上述众多一级公路连结成一个紧密联系,却又相对疏散、相互独立的公路网络(整体),具体控制着不同区域同一地质时期、同一区域不同和同一地

质时期喀斯特过程的阶段、方式,以及方向、规模和强度,并成为广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)形成、发育和演化的主轴。如乐业、凤山、都安等岩溶区分别以百郎地下河系、坡心与坡月地下河系、地苏地下河系为演变主轴,桂林、柳州等岩溶区分别以柳州、漓江等为演变主轴,前面所述的各个流域岩溶景观带则以流域内地表水与地下水之间的相互转换为主轴,而广西岩溶区之间则以各岩溶区相互之间水力联系的演变为主轴。

表 18 广西各岩溶区域岩溶过程简要特征

Table 18 The brief characteristics of the karst process in different karst areas of Guangxi

岩溶区域 Karst area	沉积和分布特征 Characteristics of deposition and distribution	构造运动特征 Characteristics of tectonic movement	气候变化特征 Characteristics of climate change	岩溶过程 Karstification	岩溶发育模式 Pattern of karst development	影响岩溶发育的主导因素 Main factors that influence development	岩溶景观主要特征 Main characteristics of karst landscapes
桂西北 I、桂西南 V、桂西 IV Northwest I, southwest V and west IV of Guangxi	多以质纯、厚-巨厚层灰岩、白云岩、白云质灰岩为主,累积厚度达几千米至上万米,强可溶性 I,多呈片状分布,局部呈孤岛状分布 Mainly dominated by limestone, dolomite and Dolomitic limestone which have pure quality and large-ultra thickness that is up to thousands of meters and ten thousands meters, and have highly soluble I, mainly distributes in vast stretches, partly appears to be island-like	A	c	强 Strong	I Ac	厚层可溶岩、强构造运动和地下水系 Thick-layer soluble rock, strong tectonic movement and underground rivers	高峰丛、天坑群和大型洞穴群 High peak cluste, tiankeng group and large-scale cave group
桂中 II、桂东北 III Central II and northeast III of Guangxi	多以质纯、厚-巨厚层灰岩、白云岩、白云质灰岩为主,累积厚度达几千米至上万米,强可溶性 I,呈片状分布 Mainly dominated by limestone, dolomite and Dolomitic limestone which have pure quality and large-ultra thickness that is up to thousands of meters and ten thousands meters, and have highly soluble I, mainly distributes in vast stretches	B	a	强 Strong	I Ba	质纯厚层可溶岩和极强地表水系 Pure-quality and thick-layer soluble rock, pole-strength surface drainage	峰林(丛)平原、岩溶风景河段、洞穴群 Peak forest-peak cluster plain, karst-landscape river section, cave group
西江谷地 VI Xijiang valley VI	以薄-厚层生物碎屑灰岩、白云质灰岩偶夹灰岩为主,易可溶性 II,多呈片状分布 Mainly dominated by bioclastic limestone and Dolomitic limestone which occasionally mingle with limestone, and have easily soluble II, mainly distributes in vast stretches	B	a	中等 Medium	II Ba	极强地表水系 Pole-strength surface drainage	中小型洞穴 Middle and small scale caave

注:表中 1)沉积特征: I 强可溶性, II 易可溶性, III 弱可溶性; 2)构造运动 A: 强构造, B: 中构造, C: 弱构造, D: 极弱构造; 3)气候变化 a: 极强气候, b: 强气候, c: 中气候, d: 弱气候; 4)岩溶发育模式: I Ac: 强可溶、强构造和中气候, I Ba: 强可溶、中构造和极强气候, II Ba: 易可溶、中构造和极强气候

Note: 1) Characteristics of deposition: I highly soluble, II easily soluble, III weak soluble; 2) Tectonic movement: A-strong tectonic movement, B-medium tectonic movement, C-weak tectonic movement; D-very weak tectonic movement; 3) Climate change: a-pole-strength climate change, b-strong climate change, c-medium climate change, d-weak climate change; 4) Pattern of karst development: I Ac-highly soluble, strong tectonic movement, medium climate change; I Ba-highly soluble, medium tectonic movement, pole-strength climate change; II Ba-easily soluble, medium tectonic movement, pole-strength climate change

(4)不同的地面水文网位置直接控制着广西各岩溶区及它们内部各岩溶地带间差异明显,却又相互制约和影响的岩溶过程

的岩溶过程(详见前面 3.2.2 所述),形成不同的岩溶景观(带)(表 1、图 2)。

4.3 成景模式

相对于各自所处的大流域或小流域而言,广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)以及它们内部各岩溶地带分别处于不同的水文网位置,基本沿上游(补给区)→中游(径流区)→下游(排泄区)进行流动,较高地带总是较低地带的主要补给区域,而较低地带则是较高地带的侵蚀基准面和排泄区域,它们分别进行着差异明显,却又相互制约和影响的岩溶过程,表现出明显的横向分异特征和纵向分带性:随海拔高程的降低,水动力条件差异明显,分别产生不同方向、强度和规模

综上所述,广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)以及它们内部各岩溶地带的成景机制和模式,可概括为分轴型、主轴型、离散型、集合型等 4 种岛屿式成景机制,而广西岩溶的成景机制则可归纳为“岛链式成景模式”。

(1)分轴型离散岛屿式成景机制→主轴型离散岛屿式成景机制

在不同和同一地质时期,广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)以及它们内部各岩溶地带分别进行了明显不

同的岩溶过程,但具有高度相似的演变趋势:均由分轴型岛屿(分轴特指各岩溶区内各向分散独立流动的小河和地下河,不同岩溶区始于不同地质时期)→主轴型岛屿式(主轴特指贯穿各岩溶区内部,基本汇聚其内部其他各种形式地表水和地下水,区域内局部统一的单一地表河或地下河,不同岩溶区始于不同地质时期),并产生多期周期性岩溶过程,形成多期岩溶地貌,如同一岩溶区域内的多层洞穴、多级剥夷面、多级阶地等,以及形成于不同时期的天坑、天窗、钟乳石、干谷、悬谷等,就是多期岩溶过程的结果和直接证据。

(2)离散型离散岛屿式成景机制→集合型离散岛屿式成景机制

广西岩溶以各岩溶区之间水力联系的演变为主轴,总体由彼此关系疏松,相对独立、内部水系分散的众多分轴型岛屿→彼此紧密,相对独立、内部水系局部统一的众多主轴型岛屿→以红水河/柳江/黔江/桂江/西江等为连接通道和纽带,各岩溶区(即各岩溶孤岛)相互连为一个整体(即岛链),而各自之间却又相对疏散、独立;即由离散型岛屿(不同岩溶区始于不同地质时期)→集合型岛屿(中更新世中晚期至现代)。

在红水河/柳江/黔江/桂江/西江等尚未成为广西各岩溶区(即各岩溶孤岛)的连接通道和纽带之前,各岩溶区之间是相对独立,彼此分离、分散的众多岛屿,称为“离散型岛屿”,对应着“离散型离散岛屿式成景过程”。

而当众多岩溶区(即各岩溶孤岛)通红水河/柳江/黔江/桂江/西江等连成一个整体(即岛链),各自却又保持相对疏散、独立时(中更新世中晚期至现代),彼此之间关系明确,可视为一个集合,称为“集合型岛屿”,对应着“集合型离散岛屿式成景过程”。各岩溶区则为这一集合的众多元素,同时具有集合元素的一些基本性质:①确定性,均是具有相似演变趋势和特征的岩溶岛屿;②独立性,彼此间相对疏散、相互独立;③互异性,彼此间差异明显。

(3)岛链式岩溶成景模式

综上所述,在漫长的地质历史期间,随着岩溶过程的不断演变,广西各岩溶区之间的关联程度由简单到复杂,疏松到紧密,即由简单的各向分散、独立交流,彼此关系疏松→较为复杂的局部区域统一交流,彼此相连→复杂、统一的整个区域整体交流,连成一个整体。该过程与岛链中各孤岛之间相互制约和影响的演变过程相似,因此将广西岩溶的成景模式概括为“岛链式岩溶成景模式”。

5 结论

通过对广西岩溶景观类型和特征、区域地质地理

背景及各类典型岩溶景观形成演化的详细野外调查和综合研究,本文得出如下主要结论:

(1)广西岩溶景观主要分布于桂东北、桂中、桂西北和桂西南地区,有峰丛、峰林、孤峰、丘陵、天生桥、石林、象形山、崖壁、洞穴及各类洞穴次生化学沉积物、地下河、穿洞、洼(谷)地、漏斗、坡立谷、盆地、地表河、峡谷、天坑、天窗、竖井、瀑布、泉、湖泊、湿地等类型齐全、形态典型的岩溶景观,囊括了所有岩溶景观的类型。

(2)广西岩溶景观以中上寒武统至中三叠统的碳酸盐岩为物质基础,首先以地表河流域(如红水河、柳江、漓江等)为主线,其次以岩溶地貌区划特征为区域划分标准,然后以所处行政区和所处流域位置(如上、中、下游)为辅线,呈线状有序、集中分布于各典型岩溶景观区及岩溶景区/公园/景点内;它们或以峰丛-峰林,或以岩溶风景河段,或以天坑群,或以地下河天窗群,或以峰丛平原,或以洞穴,或以天生桥,或以跨国瀑布等为核心,组合成多个特色突出,形态优美、珍稀、雄伟、典型,且类型齐全的流域岩溶景观群(带),以及独具广西特色的“岛链式”岩溶景观分布格局。

(3)广西岩溶景观是全球亚热带岩溶地貌及景观典型集中发育区和杰出范例,是目前世界上展现塔状峰丛-峰林、锥状峰丛、高峰丛深洼地、峰林/孤峰平原、洞穴、天坑、天窗、地下河、天生桥、岩溶风景河段、瀑布、崖壁等岩溶景观美景最杰出的代表地,堪称全球“洞穴天坑之窗,地下河天窗之王,天生桥瀑布之奇,风景河段之美,峰丛峰林之魂”。

(4)晚三叠世以来,依次经历印运动(晚三叠世至中侏罗世)、燕山运动(晚侏罗世至白垩纪末)、喜山运动(古近纪至新近纪)以及第四纪以来多期区域性间歇性隆升等多期构造运动的控制和影响,广西各区域的碳酸盐岩地层相继出露地表,分别进入各自的岩溶地貌/景观形成演化时代,历经自上而下,或历经自下而上等多种不同方向、不同时期、不同区域的岩溶过程,分别形成峰丛-峰林、地下河洞穴、天坑-天窗-天生桥等各类典型的岩溶景观。

(5)晚三叠世以来,广西各岩溶区的岩溶过程大体可划分为初始→雏形→重要发育→现代等4个阶段;而漫长的地质历史期间,各岩溶区之间的关联程度由简单到复杂,疏松到紧密,即由简单的各向分散、独立交流,彼此关系疏松→较为复杂的局部区域统一交流,彼此相连→复杂、统一的整个区域整体交流,连成一个整体,并分别表现出不同的成景过程、特征和机制,总体可概括为分轴型、主轴型、离散型、集合型等4种岛屿式成景机制,并将广西岩溶的成景机制归

纳为“岛链式成景模式”。

参考文献:

- [1] 任美镔,刘振中.岩溶学概论[M].北京:商务印书馆,1983.
REN M E,LIU Z Z. Introduction to karstology[M]. Beijing: The Commercial Press,1983.
- [2] 袁道先.现代岩溶学在中国的发展[J].地质论评,2006,52(6):15-18.
YUAN D X. The development of modern karstology in China[J]. Geological Review,2006,52(6):15-18.
- [3] 朱学稳.我国峰林喀斯特的若干问题讨论展[J].中国岩溶,2009,28(2):155-168.
ZHU X W. Discussions on fenglin karst in China[J]. Carsologica Sinica,2009,28(2):155-168.
- [4] 韦跃龙,陈伟海,黄保健,等.中国岩溶旅游资源空间格局[J].桂林工学院学报,2008,28(4):473-483.
WEI Y L,CHEN W H,HUANG B J,et al. Spatial pattern of karst tourism resources in China[J]. Journal of Guilin University of Technology,2008,28(4):473-483.
- [5] 韦跃龙.广西乐业国家地质公园地质遗迹成景机制及旅游开发模式研究[D].成都:成都理工大学,2009.
WEI Y L. Study on geological relics formation mechanism and tourism development model of the Leye national geopark, Guangxi, China[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology,2009.
- [6] 韦跃龙,陈伟海,黄保健.广西乐业国家地质公园地质遗迹成景机制及模式[J].地理学报,2010,65(5):580-594.
WEI Y L,CHEN W H,HUANG B J. Geological relics formation mechanism and model of the Leye national geopark, Guangxi[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65 (5):580-594.
- [7] 韦跃龙,陈伟海,黄保健.试论旅游洞穴主题式开发:以广西巴马百么洞为例[J].资源科学,2011,33(7):1398-1407.
WEI Y L,CHEN W H,HUANG B J. Themed development of show cave: A case study on Baimo cave, Guangxi Bama[J]. Resources Science, 2011, 33 (7): 1398-1407.
- [8] 韦跃龙,陈伟海.岩溶天生桥纵向分层旅游开发方式-以重庆黔江蒲花天生桥群为例[J].地球学报,2012,33(1):98-110.
WEI Y L,CHEN W H. Longitudinal tourism development delamination mode of karst natural bridge: A case study of Puhua natural bridge group in Qianjiang, Chongqing[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(1):98-110.
- [9] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃.洞穴次生化学沉积物与地质背景及洞穴环境的耦合关系——以广西巴马水晶宫为例[J].地理学报,2016,71(9):1528-1543.
WEI Y L,CHEN W H,LUO Q K. Coupling relationship among speleothems, geological background and cave environment[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(9): 1528-1543.
- [10] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃,等.贵州织金洞世界地质公园喀斯特景观特征及其形成演化分析[J].地球学报,2016,37(3):368-378.
WEI Y L, CHEN W H, LUO Q K, et al. Characteristics and formation and evolution analysis of the karst landscape of Zhijindong cave global geopark, Guizhou Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37(3): 368-378.
- [11] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃,等.旅游洞穴保护方式演变及保护式开发[J].地域研究与开发,2017,36(2):51-55,67.
WEI Y L,CHEN W H,LUO Q K,et al. Evolution of protection type and protection development mode of show cave[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(2):51-55,67.
- [12] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃,等.洞穴呼吸及其影响因素[J].地质科技情报,2017,36(4):82-94.
WEI Y L,CHEN W H,LUO Q K,et al. Cave respiration and its impacting factors[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(4):82-94.
- [13] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃.广西都安地下河地质公园喀斯特景观特征及其形成演化[J].热带地理,2018,38(1):34-47.
WEI Y L,CHEN W H,LUO Q K. Characteristics, formation and evolution of the karst landscape of Du'an underground river geopark, Guangxi[J]. Tropical Geography, 2018, 38(1):34-47.
- [14] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃,等.贵州织金洞世界地质公园喀斯特成景机制及模式研究[J].地质论评,2018,62(2):457-476.
WEI Y L,CHEN W H,LUO Q K,et al. Study on the karst landscape formation mechanism and model of the Zhijindong cave global geopark, Guizhou Province[J]. Geological Review, 2018, 62(2):457-476.
- [15] 韦跃龙,罗书文,陈伟海,等.贵州绥阳地质公园白云岩喀斯特景观特征及其形成演化分析[J].地球学报,2018,39(3):365-383.
WEI Y L,LUO S W,CHEN W H,et al. Characteristics and formation and evolution analysis of the dolomite karst landscape of Suiyang geopark, Guizhou[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2018, 39(3):365-383.
- [16] 广西壮族自治区地质矿产局.广西壮族自治区地质志[M].北京:地质出版社,1985.
Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources.

- Journal of the regional geology of Guangxi[M]. Beijing:Geology Press,1985.
- [17] 广西壮族自治区地方志编纂委员会. 广西通志:岩溶志[M]. 南宁:广西人民出版社,2000.
Chorography Compilation Committee of Guangxi. Guangxi local record:Record of karst[M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House,2000.
- [18] 韦跃龙,陈伟海,覃建雄,等. 岩溶天坑纵向分带旅游产品开发方式——以广西乐业大石围天坑群为例[J]. 桂林理工大学学报,2011,31(1):52-60.
WEI Y L, CHEN W H, QIN J X, et al. Longitudinal tourism development mode of karst tiankeng—A case study on Leye Dashiwei tiankeng group in Guangxi[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2011, 31 (1):52-60.
- [19] 陈伟海,朱德浩,朱学稳. 重庆市奉节天坑地缝岩溶景观特征及评价[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(4):80-83.
CHEN W H, ZHU D H, ZHU X W. Characteristics and evaluation of karst landscape in Tiankeng-Difeng scenery site, Fengjie, Chongqing [J]. Geography and Geo-Information Science,2004,20(4):80-83.
- [20] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西地苏地下河系[M]. 北京:地质出版社,1989.
Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources. Disu underground river system in Du'an County, Guangxi, China[M]. Beijing:Geology Press,1989.
- [21] 云南省地质局. 邱北幅 G-48-33 1/20 万区域水文地质普查报告[Z]. [S. L. :s. n.],1981.
Geology Bureau of Yunnan Province. Regional hydrogeology report of Qiubei map G-48-33 1/200000[Z]. [S. l. :s. n.],1981.
- [22] 贵州省地质环境监测总站. 贵州省地下水资源评价[Z]. [S. l. :s. n.],2002.
Geological Environment Monitoring Centre of Guizhou Province. Groundwater resource evaluation of Guizhou Province[Z]. [S. l. :s. n.],2002.

(责任编辑:米慧芝)