

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20181030.003

黄保健,张远海,陈伟海,等.广西岩溶天坑资源及其开发利用[J].广西科学,2018,25(5):567-578.

HUANG B J,ZHANG Y H,CHEN W H,et al.Karst tiangkeng resource of Guangxi and its exploitation[J].Guangxi Sciences,2018,25(5):567-578.

# 广西岩溶天坑资源及其开发利用<sup>\*</sup>

## Karst Tiangkeng Resource of Guangxi and Its Exploitation

黄保健<sup>1,2</sup>,张远海<sup>1,2</sup>,陈伟海<sup>1,2</sup>,韦跃龙<sup>1,2</sup>,张晶<sup>1,2</sup>,翟秀敏<sup>1,2</sup>,罗书文<sup>1,2</sup>

HUANG Baojian<sup>1,2</sup>,ZHANG Yuanhai<sup>1,2</sup>,CHEN Weihai<sup>1,2</sup>,WEI Yuelong<sup>1,2</sup>,ZHANG Jing<sup>1,2</sup>,ZHAI Xiumin<sup>1,2</sup>,LUO Shuwen<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院岩溶地质研究所,广西桂林 541004;2.自然资源部岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004)

(1. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. Key Lab of Karst Dynamics, Ministry of Natural Resources, Guilin, Guangxi, 541004, China)

**摘要:**【目的】查清广西天坑资源状况及其资源可利用性。【方法】通过野外调查测量、考察和资料收集、分析与对比,总结广西区内目前发现的岩溶天坑的发育背景和资源特征,提出广西天坑资源类型划分方案,并在对比分析国内外天坑开发利用现状的基础上,提出广西天坑的开发利用建议。【结果】广西天坑的品质在全国、全球都具有特殊的地位,而且在数量上位居全球、全国之最。广西天坑资源划分为12个类型,具有观光旅游、休闲养生旅游、探险猎奇、科普教育、科学研究、影视拍摄、地下水开发利用等重要价值。【结论】建议进一步查清广西天坑资源家底、统筹规划利用天坑资源、深化与拓展已经开发的天坑资源的利用。

**关键词:**岩溶塌陷型天坑 天坑资源类型 天坑资源开发 广西

**中图分类号:**P967 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)05-0567-12

**Abstract:**【Objective】In order to ascertain the status of the tiangkeng resources in Guangxi and the availability of resources.【Methods】Through the field survey, investigation and data collection, analysis and comparison, the development background and resource characteristics of the karst tiangkeng currently found in Guangxi were summarized and the classification scheme of tiangkeng resources was proposed. Based on the comparative analysis of the status quo of development and utilization of tiangkeng at home and abroad, some suggestions for the development and utilization of tiangkeng in Guangxi was proposed.【Results】The quality of tiangkeng in Guangxi has a special status in the whole country and the whole world, and it ranks the highest in the world and the whole country. The tiangkeng resources in Guangxi can be divided into 12

types, which have important values such as sightseeing, recreation and leisure health tourism, adventure, science popularization and education, scientific research, film and television shooting, groundwater exploitation and utilization.【Conclusion】It is recommended to further investigate the source of the tiangkeng resources in Guangxi, make overall plans for the use of

收稿日期:2018-09-03

作者简介:黄保健(1964—),男,教授级高工,主要从事岩溶资源与环境研究,E-mail:huangbaojian@karst.ac.cn.

<sup>\*</sup>乐业县旅游资源调查项目(2001—2002),武陵喀斯特世界遗产申报项目(2005—2006),中国地质科学院岩溶地质研究所所长基金项目(2007016),乐业-凤山世界地质公园申报项目(2008—2009),中国地质调查局地调项目(DD20179313,水[2014]01-009-027)和陕西省地调中心地调项目(0617-1622FZ000)资助。

tiankeng resources, and the utilization of the exploited tiankeng resources should be deepened and expanded.

**Key words:** karst collapse tiankeng, types of tiankeng resource, exploitation of tiankeng resource, Guangxi

## 0 引言

**【研究意义】**天坑是近 20 年来科学发现并命名的一种特殊岩溶地貌类型,有关天坑及其生态环境的研究成果丰富或刷新了传统岩溶地貌学、水文地质学、新构造运动学、生物学、生态学和环 境学理论,更重要的是天坑的研究对旅游资源的开发利用、地下水资源勘查和地下水资源利用、生物保育有实用意义。**【前人研究进展】**朱学稳及其团队提出并发展了天坑理论<sup>[1-8]</sup>,引发了学术界、旅游界、生物保育界的广泛关注。目前学术界普遍认为天坑的成因类型可划分为岩溶塌陷型、地表水冲蚀型;并认为天坑是一种特殊的、超级的、新兴的旅游资源<sup>[3-4,7]</sup>。因此,多个天坑分布区被开发成地质公园或旅游景区,但是在广西区内基本上以研究乐业大石围天坑群为主<sup>[9-22]</sup>。天坑旅游存在旅游产品单一、生态环境脆弱、基础设施不足等问题,大部分学者建议开展生态旅游,也有部分学者提出体育旅游的主张。部分学者提出了天坑资源价值和分级评价的方法<sup>[8,23]</sup>;作者认为天坑是地下河在地表行迹的反映<sup>[4-6]</sup>,利用这一特性有助于勘查地下河和应急供水;生物学者调查了天坑分布区植物物种多样性及区系的起源和演化,并调查和研究了一些特殊的生物类群资源<sup>[24-35]</sup>,提出了开发与保护的建 议,此外还研究了天坑环境对兰科植物的影响,广西在邻近乐业大石围天坑群分布区设立了国内首家兰科植物保护区和保育基地。环境学者认为天坑在流 体系统中起到活塞作用,可将大气中部分化学污染物 沉降到地下河中<sup>[36-39]</sup>。**【本研究切入点】**本研究是采用资料收集和对比分析的方法,从天坑发育的自然背景 和天坑的表现形式入手,尝试对广西天坑进行分类, 总结每个类型的使用价值,通过论述国内外天坑的 开发利用状况,评述了广西天坑开发利用存在的问 题,并提出建议。**【拟解决的关键问题】**查清广西区内 天坑资源的类型、数量和分布情况,评价其品质禀赋 和开发利用可能性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 实际调查、考察资料

实地调查、考察取得的材料主要有天坑体量测量 数据、天坑特征描述、照片或/和视频(包括部分航拍

影像),部分地区还有地下河测量数据和生物调查数 据。在广西区内实地调查、考察的天坑(群)有乐业大 石围、凌云岩流、凤山三门海、巴马好龙、东兰泗孟、隆 安高峰、那坡燕子洞、德保那录、环江文雅、罗城四把、 全州石脚盆、桂林普陀山等;在区外有重庆的奉节小 寨、武隆天生三桥、武隆后坪、云阳龙缸,四川兴文岩 湾,贵州的安龙半洞、赫章古达、织金大槽口、大方九 洞天 and 清虚洞,陕西汉中(镇巴三元镇、南郑小南海、 西乡骆家坝、宁强禅家岩地洞河),湖北利川黄桶岩、 湖南的攸县三洞峡、郴州万华岩黑洞、龙山火岩,云南 的镇雄大锅圈、沾益大坡等;国外的有斯洛文尼亚 Škocjanske 天坑群(Velika, Mala, Lisičina 天坑)和 Unska, Rakovska 天坑。

#### 1.1.2 收集的资料

收集的材料主要有洞穴调查报告、发表的科技论 文、杂志文章和刊发的照片,另外还收集了天坑分布 区的自然地理和地质资料。广西区内涉及龙州、平 果、田东、田阳、大新、靖西等地的天坑,区外包括云南 沧源,贵州的平塘、开阳、六盘水,湖北利川小溪河、长 阳、宣恩,四川广元等地的天坑(群),以及湖南常德- 张家界一带零星分布的几个天坑。国外主要有巴布 亚新几内亚、马来西亚婆罗洲、克罗地亚 Imotski、意 大利亚平宁、巴西、墨西哥尤卡坦、波多黎各、阿曼的 天坑(群)。

## 1.2 方法

#### 1.2.1 天坑发育的自然背景对比分析

对比天坑分布区的现代自然地理和地质资料,采 用将今论古原则,分析天坑发育的自然背景(气温、雨 量、地势、地貌、地层、岩性、构造、水文地质等),包 括广西天坑分布区第四纪晚期(广西天坑形成时期)的 古气候状况。

#### 1.2.2 天坑资源类型划分及其利用功能

综合天坑内充填物质类型和天坑体与洞穴、地下 河连接与否及进入性难易,划分天坑资源类型。随后 根据天坑的分布状况、坑体特征、可开发性等方面因 素,总结每类天坑的利用功能。

#### 1.2.3 天坑数量统计

直接统计广西、广西区外各省市和国外天坑分布 数量及占比,确立广西天坑个体数量、群体数量在我 国和全球的地位。

### 1.2.4 天坑品质禀赋评价

考虑天坑大多成群出现,选取国内有天坑分布的每个省市和国外代表性天坑群,从科学属性(地质事件、典型性、地质多样性、稀有性、完整性)、生态属性(生态影响、保护状态,重点是植被或水体)、美学属性(景观多样性)等角度进行定性评价。

### 1.2.5 已开发的天坑利用状况分析

针对国内外已开发利用的天坑,就其开发利用方式、设置的基础设施及其效益进行分析对比,对广西已开发天坑进行SWOT分析,提出系列建议。

## 2 结果与分析

### 2.1 广西天坑发育的自然背景

#### 2.1.1 天坑分布概况

广西境内发现的天坑主要分布于广西西部地区,尤其是桂西的乐业、凤山、巴马、田东、那坡、靖西、大新、隆安、龙州等县,桂北的环江、罗城和桂东北的桂林市七星区、全州也有零星天坑分布。它们位于红水河、左江、右江、柳江和桂江流域的上游(个别位于湘江上游),与地下河关系密切(图1)。

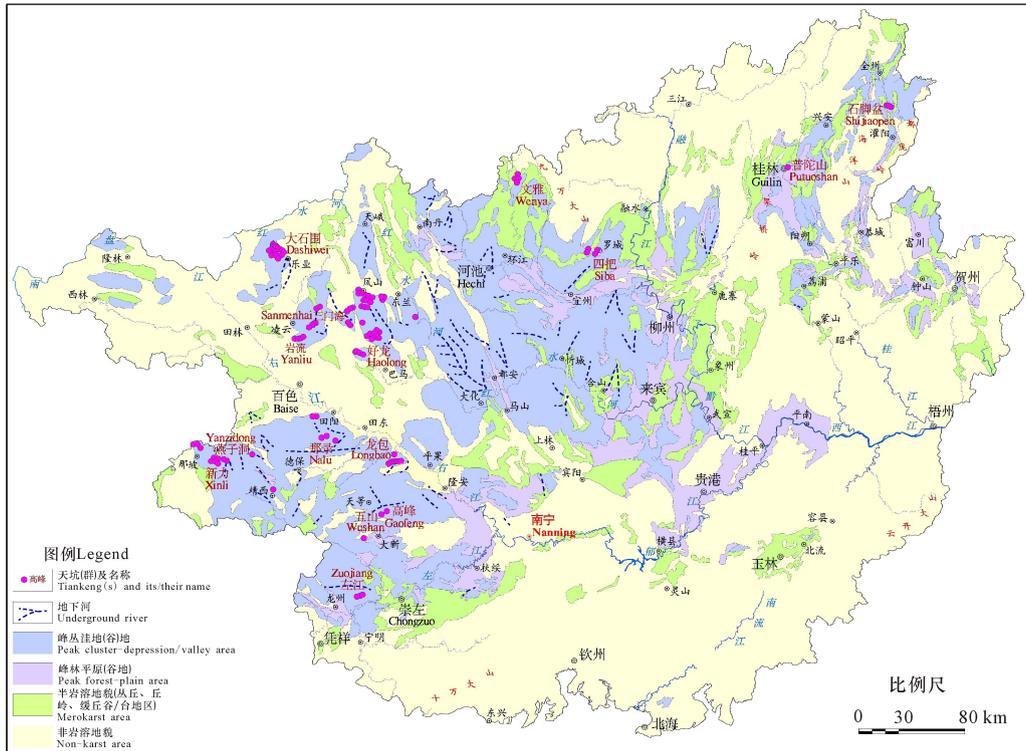


图1 广西岩溶天坑分布略图

Fig.1 Distribution sketch map of tiangkeng in karst of Guangxi

#### 2.1.2 天坑发育的地理背景

##### 2.1.2.1 气候水文背景

###### (1)古气候水文

天坑主要形成于第四纪中更新世以后<sup>[5-7]</sup>,第四纪气候变化频繁<sup>[40]</sup>,有万年尺度的冰期——间冰期,千年尺度的 Heinrich 事件、D—O 旋回和新仙女木事件及百年尺度的小冰期,在亚冰期内平均气温约比现代低 8~15℃,虽然气温低不利于岩溶作用,但海平面大幅下降导致岩溶地下水水位急剧下降,从而引发塌陷型天坑的形成。亚间冰期内气温比现代高(约高 5.5~10℃),会加速岩溶作用,从而有利于天坑的形成;中国西南 50~15 万年来石笋记录的古气候研究表明,10 万~36 万年间,气候组合大致可划分为暖湿和冷湿、暖干和冷干、暖湿和冷湿 3 大阶段<sup>[41]</sup>。暖湿

和冷湿气候会增加地下河的动力作用,暖干和冷干气候则导致地下河水位下降,均有利于天坑的发育。

###### (2)现代气候水文

广西地处低纬度地区,南临热带海洋,北回归线横贯中部,属亚热带季风气候区。气候温暖,雨水丰沛,光照充足。夏季日照时间长、气温高、降水多;根据历年气象资料统计结果,广西各天坑分布区多年平均气温介于 16.4~22.4℃,多年平均降雨量 1 165.8~1 945.9 mm,年均雨日 160~185 d;气候干湿季节分明,水热同期,雨季为 4—10 月,雨量约占全年的 80%~85%,降雨量、气温等气象因子年内、年际不均。广西境内河流众多,天坑分布区的主要河流有红水河、桂江、右江、左江等,河流水量丰富,季节性变化大,所在流域有利于发育地下河和天坑。属珠

江流域西江红水河水系,仅全州县石脚盆天坑群位于湘江水系灌江流域中游。天坑(群)大多位于主要河流流域中上游。湿热同季的气候和水量丰沛、水位变幅大的河流有利于碳酸盐岩的物理化学风化作用和地下河强烈的溶蚀作用和搬运作用,从而为天坑的形成创造了良好的动力条件。

### 2.1.2.2 地貌背景

广西的天坑分布于岩溶峰丛地貌区内,唯桂林七星公园内的普陀山天坑和隆安县乔建镇儒浩村的挂榜山天坑发育于峰林平原上的岛状峰丛中。它们毫无例外地切割了所在的地貌形态,多数切割了峰丛山体的各个部位(山顶、山腰、山麓),少数切割了洼地。天坑主要发育于岩溶峰丛山区的地貌背景增加了进入性的难度。

### 2.1.3 天坑发育的地质背景

#### (1)地层岩性背景

广西的天坑发育于泥盆、石炭、二叠系的碳酸盐岩地层中,尤其是分布于二叠系质纯层厚石灰岩中的占大多数,这说明质纯层厚石灰岩地层是形成天坑的物质基础。

#### (2)地质构造背景

广西绝大多数天坑发育于单斜构造中,个别(大

石围)位于背斜轴部,都是岩层倾角较低( $\leq 15^\circ$ )的部位,因为产状比较平缓容易产生竖向节理裂隙从而有利于岩层的崩塌,促进天坑的形成。而且天坑均位于新构造间歇性抬升区,因为地壳隆升停滞期利于水平洞穴(地下河)形成,抬升期则因地下水下切失去浮力容易导致洞穴大厅上方的岩层崩塌,促进天坑的形成。

### (3)水文地质背景

地下河是天坑发育的首要条件,因此天坑下方分布有地下河。作为洞厅崩塌的结果,天坑底部的地下河大多被崩塌岩块所充填,迫使地下河改道,天坑群中只有少数天坑坑底能直接见到地下河,少数间接见到地下河(即通过连接坑底的洞穴通向地下河)。

## 2.2 广西岩溶天坑资源分类及其特性

本研究尝试从旅游开发利用的角度,主要基于天坑周边、坑内分布/充填的物质类型和水平洞穴、地下河与天坑连通性考虑,对作为一种自然资源的天坑资源进行了应用性分类(表1)。由于分类依据不同,有些天坑可划入其中的若干类型,如凤山的三门海几个水上天坑既可划为坑底无植被覆盖型天坑、中部无平洞直通型天坑,又可划为坑底全充水型天坑、坑底连通暗河型天坑。

表1 广西天坑资源类型划分

Table 1 Classification of tiankeng resources in Guangxi

分类依据 Classification basis	类型 Types	基本特征 Basic features	主要功能 Main functions
坑底植被覆盖性 Bottom vegetation coverage	森林覆盖型天坑 Forestry-covered tiankeng	周壁与坑底为森林覆盖 Those covered by forestry on wall and bottom	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
	草被覆盖型天坑 Grass-covered tiankeng	坑底为草被覆盖 Those covered by grass on bottom	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
	无植被覆盖型天坑 Vegetation-free tiankeng	坑底无植被覆盖,为碎石、沙土堆积,或全充水 Those covered by vegetation-free material, such as detritus or water, on bottom	S, LHT, AE/CD, SPE, SR, FTS, GU
坑底充水性 Bottom waterlogged conditions	全充水型天坑 Submersion tiankeng	坑底常年全充水 Those covered perennially by water on bottom	S, LHT, AE/CD, SPE, SR, FTS, GU
	半充水型天坑 Local-submerged tiankeng	坑底局部常年有地下河露出,其余为植被或碎石、沙土覆盖 Those emerged by perennially resurgence of underground river, covered mostly by detritus on bottom	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS, GU
	坑底无水型天坑 Submersion-free tiankeng	坑底常年无充水现象,为植被和/或碎石、沙土所覆盖 Those covered by vegetation and/or detritus without waterlogging on bottom	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
中部平洞连接性 Medio-cave connection	平洞直通型天坑 Medio-cave -connected tiankeng	天坑中部有平洞连通,下入坑底 Those connected by medio-cave from where people can enter the bottom of Tiankeng	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
	无平洞直通型天坑 Medio-cave - unconnected tiankeng	天坑中部无水平洞穴连接 Those unconnected medio-cave	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS

Continue table 1

分类依据 Classification basis	类型 Types	基本特征 Basic features	主要功能 Main functions
坑底暗河连接性 Bottom underground river connection	连通暗河型天坑 Underground river-connected tiankeng	坑底为暗河或通过洞穴可进入暗河 Those emerged by underground river at bottom, or connected with underground river through a cave	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS, GU
	未连通暗河型天坑 Underground river-unconnected tiankeng	坑底无暗河,亦未能通过洞穴进入暗河 Those free from underground river on bottom	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
坑底可进入性 Bottom accessibility	可直接进入型天坑 Direct entry tiankeng	坑壁局部破坏或崩塌块石堆积至坑口,或有平洞直通, 人可轻易步入 Those accessible to bottom owing to the tiankeng wall was broken or collapse pale was accumulated till the mouth of tiankeng or there exists horizontal medio-cave connecting tiankeng	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS
	间接进入型天坑 Indirect entry tiankeng	需要靠绳索攀援才能进出的天坑 Those descended and ascended only by SRT	S, LHT, AE, SPE, SR, FTS

注: AE—探险猎奇, CD—洞穴潜水, FTS—影视拍摄, GU—地下水利用, LHT—休闲养生旅游, SPE—科普教育, S—观光旅游, SR—科学研究

Note: AE—Adventure experencing, CD—Cave diving, FTS— Film and television shooting, GU—Groundwater utilization, LHT—Leisure health tourism, SPE—Science popularization and education, S—Sightseeing, SR—Scientific research

## 2.3 广西岩溶天坑的国内外对比分析

### 2.3.1 广西天坑数量在全球首屈一指

迄今,世界上已发现的天坑约 300 个,其中天坑群数量 40 处,这些天坑群共计有 240 个天坑(其中特大型天坑,即超级天坑 26 个),在国外主要分布于低纬度的巴布亚新几内亚、马来西亚和马达加斯加,地中海沿岸的斯洛文尼亚和克罗地亚、意大利和西班牙,中美洲的墨西哥、波多黎各,南美的巴西,以及阿曼等国家<sup>[42-56]</sup>。在中国境内发现的天坑为 216 个(图 2),分布于如下省(自治区、直辖市):广西(88 个)、陕西(35 个)、贵州(25 个)、云南(23 个)、湖南(17 个)、重庆(15 个)、湖北(11 个)、四川(3 个),其中广西天坑数量占全国发现的天坑数量的 40.7%,约占全球天坑总数 29%,奠定了其在全球独特的地位。

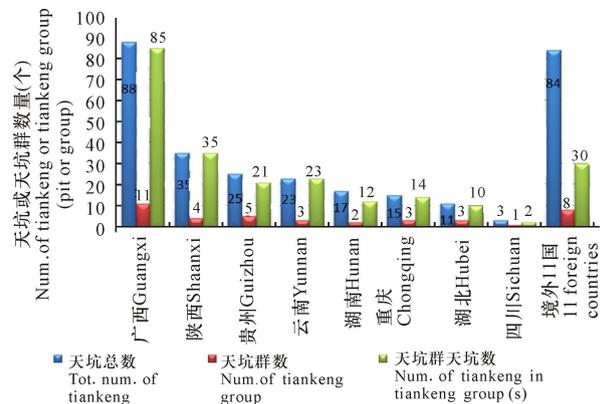


图 2 全国各省(区、市)和境外天坑数量柱状对比图

Fig. 2 Comparison histogram of tiankeng numbers of provincial areas in China and foreign countries

全国一共发现的天坑群达 32 个,共包含 202 个天坑,其中广西有 11 个天坑群(含 85 个天坑),数量占全球 40 个天坑群的 1/4,其中的大石围天坑群为

全球最大的天坑群;广西超级天坑有 7 个,占全国(16 个)近半数,占全球 26 个超级天坑的 1/4 强。因此从数量上说,广西的天坑数量远远超过国内分布有天坑的其他省份数倍,乃至几十倍。广西的天坑在数量上无论是和国内其他省份比还是与世界上其他国家比,都位居第一。

### 2.3.2 广西天坑品质无与伦比

全球的天坑大多成群分布。本研究从全球 40 个天坑群中选择广西乐业大石围、凤山三门海和巴马好龙 3 个天坑群,国内的汉中小南海、奉节小寨、平塘打岱河、武隆箐口和武隆天生三桥,国外的克罗地亚 Imotski、斯洛文尼亚 Škocjanske、巴布亚新几内亚新不列颠岛 Nakanai 和穆勒高原 Mamo、马达加斯加 Ankarana 共 13 个天坑群,分别从生成条件、地貌演化序列、景观多样性方面进行综合对比。

#### 2.3.2.1 广西天坑生成条件优越

上述 13 个天坑群,大部分以单一塌陷型天坑为特征,如乐业大石围天坑群、巴马好龙天坑群、奉节小寨天坑群、平塘打岱河天坑群、武隆天生三桥天坑群、斯洛文尼亚的 Škocjanske 天坑群,属于“盆地状越境式外源水岩溶天坑”,而小南海天坑群、Nakanai 天坑群、Mamo 天坑群和 Ankarana 天坑群则以冲蚀型天坑为特色,伴随有崩塌现象,属于“台地状汇聚式外源水岩溶天坑”。在低纬度地区,天坑周边的岩石常因雨量过高而被侵蚀掉,广西天坑分布区地处湿润的热带、南亚热带雨热同期季风气候区,该区域降雨量适中,侵蚀作用小,加上岩石坚硬、古老,因而保留下壮观的绝壁。在国内其他省区,天坑区域的岩层通常为含泥质或硅质甚至碎屑岩夹层,在国外则为侏罗纪、

白垩纪,甚至新生代新近纪等相对年轻、多孔隙的软弱岩石地层。广西天坑地区有雨季暴涨暴落的水位冲击,有总厚数千米的泥盆系-二叠系广泛分布且连续沉积的层厚质纯、倾角平缓的石灰岩层,有利于形成大部分天坑雄伟壮观的陡壁;外源水补给的岩溶地下河(系)流域广阔、侵蚀-溶蚀力强,十分有利于发育成强劲的地下河,从而促进天坑的形成。

### 2.3.2.2 广西天坑保存有更为系统和完整的演化链

广西天坑发育于峰丛地区,涵盖了我国湿润热带亚热带岩溶地貌的完整系列,包括横向上依次为边缘坡立谷、峰丛谷地、峰丛洼地、岩溶峡谷的完整岩溶地貌序列和纵向上依次为溶蚀洼地、漏斗、落水洞、地下河、地下河系、天窗、天坑、天生桥、嶂谷等的地貌演化序列。广西天坑本身的形态也存在倒置漏斗状不成熟天坑、井筒状成熟天坑、漏斗状退化天坑的演化序列,而且其多层洞穴的分布形式,完整地反映了区域新构造运动的特点,是代表地球演化历史的杰出范例。广西天坑演化证据保存完整,演化阶段清晰,这在全球来说十分稀有,因此成为崩塌型天坑发育的模式地和天坑理论的发源地,对确定中国喀斯特地貌在世界的地位以及对岩溶地貌对比研究具有极其重要的全球性意义。而国内外其他天坑群中表现比较突出的小寨天坑群、汉中天坑群和巴布亚新几内亚天坑群因生成条件(气候、地层岩性)的原因,其地貌演化序列多样性较低。

### 2.3.2.3 广西天坑景观多样性更高

广西天坑形态多样、典型(平面呈不规则多边形、近圆至椭圆形态,剖面从不成熟、成熟至退化),而且各类景观丰富多彩,天坑切割并破坏所在地的各类地表岩溶形态,如洼地、漏斗、干谷和锥状山丘等,以及不同地貌部位,如切割峰顶、峰坡及峰麓,进而产生不同形态,与所处的地貌及周边地貌共同组成多姿多彩的组合景观。地质条件的多样性,形成了各种类型的天坑,例如:平洞直通型天坑具备“柳暗花明”神奇意境;国内的充水天坑主要分布于广西凤山三门海和贵州大方的九洞天,国外主要分布于克罗地亚的 Imotski 天坑群(红湖天坑和蓝湖天坑);国内的水上天坑都可泛舟连续欣赏串珠状天坑、天窗群,体验明暗交替的神奇,但广西的水上天坑内水质更为清澈,水体湛蓝,十分迷人,而克罗地亚的两个水上天坑和墨西哥尤卡坦的水上天坑虽然水质也清澈,但两者间无通道连接,不能自由泛舟互通。东南亚的天坑由于湿热多雨(年降雨量达到 30 000~120 000 mm),孕育了茂密的雨林和水量巨大的瀑布和地下河,这一点包括广西在内的国内天坑群无法与之比肩。东南亚的

天坑、汉中天坑和广西天坑分布的物种都非常丰富,且存在较多稀有物种,但前两者由于地面、坑体的森林过于茂密,不利于游客观景,而广西大部分天坑的底部森林葱郁而坑口地面林木稀疏,更有利于观赏天坑景观,国内其他天坑坑底则大多缺乏森林。因地处峰丛山区,广西天坑塌陷生成的断崖绝壁高耸,愈益彰显了坑体的深邃,比处于国内外台原地区发育的天坑崖壁高差反差更为强烈,而欧洲的天坑由于受到寒冻风化的影响,部分坑壁崩坍退化,美感降低。广西的亚热带季风气候使得天坑分布区一年四季的气象、森林季相变化明显,给天坑景观锦上添花。总体上,广西天坑独具特色,景观品质优于国内外其他天坑分布区的天坑。

## 2.4 岩溶天坑的开发利用

### 2.4.1 国内外天坑的开发利用

#### 2.4.1.1 国外天坑的开发利用状况

在国外,天坑一直被当成岩溶漏斗的一种特例——塌陷漏斗,特别是欧美地区,由于第四纪冰川的刨蚀,地表壮观的岩溶地貌不复存在,所形成的天坑雄壮程度不足,加上寒冻风化作用的影响,天坑坑壁剥落而呈现斜坡状,削弱了天坑周壁本身的陡峭程度,因此绝大多数天坑没有引起学者的重视。在克罗地亚分布的两个水上天坑,即使曾经上过该国的邮票,但因呈孤立状态,所以也未被开发利用。在低纬度的东南亚,天坑群虽然也较壮观但因位于密林中,交通不便,所以也未被开发。如马来西亚的天坑主要分布于婆罗洲沙捞越地区,该地区的其他洞穴发育完好,还分布有世界上面积最大的洞穴大厅,但即便如此也只是开发了部分洞穴,且未开发那里的天坑;在巴布亚新几内亚 Nakanai,除了有一个天坑曾经作为《Sanctum》影片的拍摄背景地外,其他天坑均未被开发利用。斯洛文尼亚的斯柯兹扬洞穴国家公园于 1986 年被列入 UNESCO 自然遗产名录,其主要地质遗迹为 Reka 河(年平均流量达 400 m<sup>3</sup>/s)、斯柯兹扬洞(Reka 河的伏流洞穴)、大天坑(Velika)和小天坑(Mala)及这对孪生天坑之间的小型天生桥和小型瀑布,以及附近的 Lisičina 天坑,该景区的主景是斯柯兹扬洞,天坑只是副景,沿天坑边修建有步行道。依托周边坑底茂密的森林和天坑景观,加勒比海的波多黎各 Tres Pueblos hole 天坑被用于开发观光旅游,并修建了抵达坑底的游览步道。另外,有些国家将天坑辟为跳伞等极限运动场所。总体上,国外依托天坑进行旅游开发的较少。

#### 2.4.1.2 国内天坑的开发利用状况

四川兴文小岩湾天坑群的大、小岩湾是我国最早

(20世纪80年代)发现并进行旅游开发的天坑,依托天坑群、天泉洞为代表的洞穴群、石海、石柱及风暴岩等主要地质遗迹,小岩湾天坑群分布区先后成功申报了国家、世界地质公园,景区在天坑边修建有观景台,并在坑底修建通往洞穴的路,便于游客进入洞穴游览,该景区是川南旅游明珠。1994年起,重庆奉节小寨天坑群被发现,随后被调查并于2000年进行旅游开发,该天坑群以小寨天坑、天井峡地缝为主景被建设成国家级风景名胜区,景区在天坑边修建了观景台,并沿坑壁往下修建了台阶路作为游览步道,在地缝底部修建了游步道。1997年起,广西乐业大石围天坑群相继被发现和调查,2002年起开始旅游开发,先后被批准为国家、世界地质公园(和凤山县三门海水上天坑群等联合申报),大石围、黄猿洞、穿洞3个天坑被开发为景区,沿坑边(前两者)或坑底修建了游步道和观景台,三门海水上天坑群则通过泛舟进行水上游览,乐业和凤山两县也因此成为了探险探秘、科普教育、科学研究和生物保育(如兰花)基地。与此同时或稍后,重庆武隆天生三桥景区(天生桥群、天坑群、峡谷为主)和其他景区(芙蓉洞芙蓉江景区和后坪冲蚀型天坑群),分别于2003年和2006年先后被批准为国家地质公园和世界自然遗产,景区在天坑边建设观景台和游步道,修建连接坑口和坑底的电梯,在坑底修游步道,以便于游客观赏天坑和天生桥的雄姿。稍后,云阳县开发了龙缸天坑及附近的洞穴和石笋河,并成功申报了国家地质公园,景区在天坑口部半边设立了游步道,游客可沿着“刃脊”般的边缘俯视天坑。贵州平塘依托天坑群成功申报国家地质公园,地质旅游开始启行;贵州大方九洞天水上天窗天坑群一共有3个天坑(2个水上天坑)、6个天窗(包括侧向天窗),该景区于20世纪80年代开始被开发,并于2010年被批准为国家级风景名胜区,但由于上游煤系地层剥蚀污染的原因,水色经常浑浊,景色一般,所以一直未对外开放。近两年湖北某企业集团利用利川团堡镇大瓮天坑的空间打造多种特色花卉的方式开发天坑生态旅游,取得了一定效果。近几年来,云南昭通市镇雄县五德镇大锅圈天坑洞穴群被发现,当地政府正欲申报地质公园开发天坑洞穴旅游资源;近两年陕南汉中4个天坑群被发现以来,已成功申报省级地质公园,伯牛、圈子崖、天悬等天坑被列入旅游开发日程,前景看好。总体来看,天坑旅游还是以观光游览为主,探险旅游为辅,远未取得应有的效果。

#### 2.4.2 广西天坑的开发利用建议

##### 2.4.2.1 广西天坑开发利用存在的不足之处

目前,广西境内被开发利用的天坑只有大石围天坑

群的大石围、穿洞、黄猿洞(后者为广西雅长林场经营),巴马百么洞和凤山三门海3个水上天坑、半洞天坑,旅游业的发展差强人意。存在的问题或不足主要有区位条件较差、交通基础设施不足、旅游产品单一等。

##### (1)天坑区位条件较差

天坑位于偏远的峰丛山区,因此其地理区位、交通区位条件较差。已开发的大石围天坑群距离区域中心城市百色170 km,距离首府南宁市400 km(行程7 h),距离贵州省会贵阳市370 km。凤山三门海距南宁350 km(行程5.5 h),距离河池市250 km,距桂林380 km(行程7 h),巴马百么洞距南宁市300 km,距河池市300 km,距桂林430 km,游客普遍感觉太远。

##### (2)交通基础设施不足

表现在目前交通道路等级偏低等方面。如果从南宁出发到乐业、凤山、巴马这3个天坑景区,后半段公路均是二级甚至三级山区公路,弯多、路窄、路陡,路况不佳,这不仅容易导致游客身体不适,还会提高交通事故发生的概率。

##### (3)游览项目单调,旅游产业单一

巴马的百么洞天坑旅游属于百么洞游览过程中的“附属品”,天坑居于从属地位;乐业县、凤山县和雅长林场的天坑旅游则是当地旅游的领头羊,起到支柱作用。但目前大石围旅游主要是山地观光性游览,没有充分发挥“分带性旅游”<sup>[15]</sup>的作用,加上导游讲解内容不丰富、爬山需要耗费体力较大,游客对天坑的惊奇感被疲劳感所冲淡或抵消,效果减弱;穿洞天坑与大石围天坑直线距离只有4 km,却是平洞直通型天坑,目前只是常规的观光游览(体验天窗投入的光束、坑底森林和坑壁);黄猿洞天坑森林境界浓郁,周壁形态完美,兰花居群最为丰富,但目前也仅仅是常规观光游览,没有突出生态游览内容。凤山三门海水上天坑群主要是通过游船在水上游览,解说内容贫乏,极少从地表角度进行游览,半洞天坑也是从地表坑口观景台俯视坑内,游览的内容更少。总体来看,游览项目单调,各景点的联动较弱,游客观赏内容偏少,导游介绍的内容单调,游客收获太少,因此往往给游客带来“天坑可看的内容不多”的认识误区,旅游的带动效应没有发挥出来。

#### 2.4.2.2 广西天坑开发利用建议

##### (1)查清广西的天坑资源家底

目前,广西全区的天坑资料来源除了作者部分调查成果外,有部分是由业余爱好者(如伍红鹰先生)通过网上卫星图像查找天坑并实地考察确认(但没有开

展体量测量和评价)的资料。因此,本文的资料尚不够全面,可以说天坑资源不清(数量及品质不清),建议设立专项资金,用于普查天坑资源,查清天坑的分布状况、资源类型和资源禀赋,为国土资源空间规划和地质遗迹资源保护提供依据。

### (2) 统筹规划利用天坑资源

广西天坑主要分布于桂西的岩溶峰丛山区,那里地形崎岖,交通不便,开发利用难度相对较大。一般的天坑缺少水域,从旅游开发角度看已属先天不足,加上大多不可进入,难以满足游客“亲密接触”的猎奇心理和参与性游览的愿望,如果开发旅游,游客往往是“一次性游览”居多,重游率较低。所以,建议在查清天坑资源家底的基础上,根据天坑的资源类型、性质、品质和分布区位,以及地方需求,因地制宜、统筹规划、科学布局利用广西区内的天坑资源,不要“一窝蜂”式全部开发观光旅游。

### (3) 深化已经开发的天坑资源的利用

聘请有关方面的专家,对已经开发的天坑资源进行考察,结合天坑类型及品质禀赋,详细评估开发效果,在拓展和优化应用领域等方面提出意见与建议,以扬长避短,深化开发。例如:大石围可依托西峰西北侧林木葱郁、地上兰花遍布、坑口周边许多珍稀树种的现有资源增加生态游的内容,游客还可以站在东峰环顾四周高峰丛深洼地和峡谷景观。穿洞坑口兰花居群较多、坑底森林茂密且分布多个珍稀物种,可以开发常规观光游或生态游项目;还可以依托天坑雏形-天使之吻天窗、巨砖垒砌般的绝壁、暗河迁移、天坑植物群落等开展科普游项目。黄猿洞天坑身处森林中,是大石围天坑群中形态最完美的天坑,其坑口有各类兰花资源、坑底平坦,还有珍稀的扁担藤和人工栽植的杜仲林,可开展观光游和生态游。天坑分布区往往具有优良的空气品质,负氧离子浓度高,但目前各景区没有利用这个优势或利用程度不够,建议拓展与深化休闲养生游。此外,还需要努力提高导游科学素养,加强景点、景区间的联动。

## 3 讨论

### 3.1 关于天坑形成的自然条件问题

上述国内外天坑群区域的年均气温从 9~26℃ 不等,斯洛文尼亚的斯科兹扬天坑群是多年平均气温最低的区域,而巴布亚新几内亚 Nakanai 天坑群是多年平均气温最高的区域。还有天坑发育的地层岩性也比较复杂,从上新统松软灰岩至泥盆系坚硬致密的灰岩都有发育,可溶岩层厚度为 300~3 000 m。广西天坑分布区气温为 16.4~22.4℃,多年平均降雨

量为 1 165.8~1 945.9 mm,可溶岩层厚度为 1 000~3 000 m,气温和降雨量都偏中上。可溶岩属于巨厚的连续沉积且质纯、坚硬,使得天坑形成后不容易被冰川刨蚀和强烈的风化侵蚀,其雄壮的外貌得以保存。

### 3.2 关于天坑数量统计问题

虽然有部分天坑为非专业人员通过卫星影像发现,国外也没有专门的天坑资源调查项目,目前取得的数据虽然不全面,但是应该说基本代表了大部分天坑的现状,所以不影响结论的产生。

### 3.3 关于天坑品质禀赋评价问题

因为许多天坑研究程度不同,特别是其所产生的地质背景和蕴含的科学意义尚不十分明朗,现在进行定量评估有难度,因此只能是进行定性比较。

### 3.4 关于天坑旅游开发问题

雄壮的天坑多位于峰丛山体上,因此具有观赏场所空间偏小的先天不足。天坑目前广西天坑旅游注重观光旅游,探险旅游还未形成气候,体育旅游也未尝试开展。《中国国家地理》杂志探险部初步尝试了融科普游于探险体验游中,效果较好,但是游客少、收费贵且没有和地方协商收益分配问题。目前,非水上天坑观光游也只是围绕部分坑边修建观景台和游步道供游客步行观赏,水上天坑则是乘船观赏坑底、坑壁景观和仰望蓝天白云景观,均没有实施天坑纵向分带旅游<sup>[17]</sup>或其他旅游方式,因此游客容量和旅游效果有限。

## 4 结论

广西天坑品质无与伦比,无论是天坑形成条件的系统性、演化序列,还是天坑资源类型的多样性、景观的奇异性和优美性,广西的天坑都别具一格,品质独占鳌头。广西天坑数量在全球上首屈一指。广西的岩溶天坑数量达 88 个,占全国发现的天坑数量的 40.7%,约占全球天坑总数 29%,无论是天坑数量、天坑群数量还是超级天坑数量,广西的天坑在全国、全球都占据第一位。作者将广西天坑资源类型划分为 12 个类型,总结了其各自的特征和所蕴含的重要功能价值,即观光旅游、休闲养生旅游、探险猎奇、科普教育、科学研究、影视拍摄、地下水开发利用等等,并对比分析了国内外天坑的开发利用现状,提出了广西天坑的开发利用的建议:查清广西的天坑资源家底,统筹规划利用天坑资源,深化已经开发的天坑资源的利用。

### 致谢:

作者在天坑资源调查与研究过程中得到了“天坑

之父”朱学稳教授、朱德浩教授的诸多指点,在海外访问或收集资料时得到了斯洛文尼亚岩溶研究所的 Andrej Kranjc, Andrej Mehevc, Nadja Zupan Hajna, Franci Gabrovšek 等教授和意大利西西里水文地质中心名誉主任 Rosario Ruggieri 教授、英国诺丁汉川特大学 Tony Waltham 教授、伯明翰大学 John Gunn 教授、新西兰奥克兰大学 Paul Williams 教授等学者的支持与帮助,广西著名户外运动爱好者伍红鹰先生提供了部分遥感解译资料,还有国际洞穴联合会原主席 Andrew Eavis 先生、美国 Carlsbad 国家公园 Erin Lynch 小姐、广西乐业文体局禰琼飞先生等国内外诸多人士的协助,恕不一一列举,作者深表谢忱。

#### 参考文献:

[1] 朱学稳,张远海.四川南部大型喀斯特漏斗和地缝式峡谷[C].首届全国洞穴学术会议论文集.栾川,1994.  
ZHU X W, ZHANG Y H. The great karst doline and slot-canyon in southern Sichuan, China[C]. Proceeding of First Symposium of National Speleology. Luanchuan, 1994.

[2] 朱学稳,张任,张远海,等.四川兴文石林区的喀斯特与洞穴[J].中国岩溶,1995,14(增刊):28-48.  
ZHU X W, ZHANG R, ZHANG Y H, et al. The karst and cave in Xingwen stone-forest area in Sichuan Province[J]. Carsologica Sinica, 1995, 14(S): 28-48.

[3] 朱学稳.中国的喀斯特天坑及其科学与旅游价值[J].科技导报,2001(10):60-63.  
ZHU X W. China's karst tiankeng and its value for science and tourism[J]. Science & Technology Review, 2001(10): 60-63.

[4] 黄保健,蔡五田,薛跃规,等.乐业县旅游资源调查暨大石围等重点旅游资源开发初步规划[R].2002.  
HUANG B J, CAI W T, XUE Y G, et al. Investigation on tourism resources and tentative planning to tourism resources dominated by Dashiwei tiankengs of Leye county[R]. 2002.

[5] 朱学稳,朱德浩,黄保健,等.喀斯特天坑略论[J].中国岩溶,2003,22(1):51-65.  
ZHU X W, ZHU D H, HUANG B J, et al. A brief study on karst tiankeng[J]. Carsologica Sinica, 2003, 22(1): 51-56.

[6] 朱学稳,黄保健,朱德浩,等.广西乐业大石围天坑群发现、探测、定义与研究[M].南宁:广西科技出版社,2003.  
ZHU X W, HUANG B J, ZHU D H, et al. Dashiwei tiankeng group, Leye, Guangxi discoveries, exploration, definition and reserch [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2003.

[7] 黄保健,韦跃龙,阳和平,等.塌陷型天坑定年问题及<sup>36</sup>Cl核素测年初探:洞穴探测、研究、开发与保护[C].全国洞穴学术会议论文集.北京:地质出版社,2014.  
HUANG B J, WEI Y L, YANG H P, et al. The problems on age-dating of Collapse tiankeng and application of cosmogenic nuclide of Chlorine-36 to Dating: Cave exploration, research, exploitation and protection[C]. Proceedings (II) of National Speleology Symposiums. Beijing: Geological Publishing House, 2014.

[8] 黄保健,蔡五田,薛跃规,等.广西大石围天坑群旅游资源研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(1):109-112.  
HUANG B J, CAI W T, XUE Y G, et al. Research on tourism resource characteristics of tiankeng group in Dashiwei, Guangxi[J]. Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(1): 109-112.

[9] 简王华.乐业大石围天坑溶洞群旅游资源特征及其综合生态开发[J].世界地理研究,2002,11(2):80-87.  
JIAN W H. The tourist resource characteristics and ecological development of Dashiwei karst doline and cave cluster in Leye County [J]. World Regional Studies, 2002, 11(2): 80-87.

[10] 彭惠军,李晓琴,朱创业.组织生态学视角下的岩溶天坑旅游整合开发研究——以乐业大石围天坑群为例[J].生态经济,2006(4):106-109.  
PENG H J, LI X Q, ZHU C Y. Research on tourism integrated development of karst tiankeng under the viewpoint of organizational ecology: A case study of Dashiwei tiankeng group of Leye [J]. Ecological Economy, 2006(4): 106-109.

[11] 彭惠军.广西乐业大石围岩溶天坑群生态旅游开发研究[D].成都:成都理工大学,2006.  
PENG H J. Studies on the eco-tourism development of Dashiwei karst tiankeng (dolines) groups in Leye county of Guangxi [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2006.

[12] 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. Reserch on geo-heritage formation mechanism and exploitation mode of Leye National Geopark, Guangxi [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.

[13] 李如友.地质公园旅游产品开发研究——以广西乐业大石围天坑群国家地质公园为例[J].安徽农业科学,2009,37(9):4207-4208,4239.  
LI R Y. Study on the development of tourism production in geological park in Leye of Guangxi [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(9): 4207-4208, 4239.

[14] 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.
- [15] 柏瑾, 周游游, 王伟. 基于模糊综合评判的大石围天坑群生态旅游形象定位[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 93-97.
- BAI J, ZHOU Y Y, WANG W. Eco-tourism image positioning for Dashiwei Tiankeng group on the basis of comprehensive fuzzy evaluation[J]. Carsologica Sinica, 2010, 29(1): 93-97.
- [16] 彭发胜. 大型户外体育赛事对百色乐业县旅游业的影响研究——中国·百色乐业国际山地户外运动挑战赛为例[D]. 南宁: 广西师范学院, 2011.
- PENG F S. Studies for impact of large outdoor sport events on tourism in Baise Leye County: A case study on International Mountain Outdoor Challenge, Leye, Baise, China [D]. Nanning: Guangxi Teacher College, 2011.
- [17] 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.
- [18] 方忱, 刘金凤. NPO 参与与旅游业和持续发展问题的探讨——以广西乐业县为例[J]. 襄樊学院学报, 2011, 32(11): 77-80.
- FANG C, LIU J F. NPO's participation in sustainable development of tourism: Taking Leye County (Guangxi Province) as an example[J]. Journal of Xiangfan University, 2011, 32(11): 77-80.
- [19] 刘靖南, 刘丽娟, 莫再美, 等. 广西乐业天坑户外运动探析[J]. 山西师大体育学院学报, 2011, 26(1): 50-54.
- LIU J N, LIU L J, MO Z M, et al. The analysis of outdoor exercises of tiankeng in Leye of Guangxi Province [J]. Journal of Physical Education Institute of Shanxi Normal University, 2011, 26(1): 50-54.
- [20] 张远海, 黄保健, 艾琳·林奇. 广西乐业县大石围喀斯特特征和自然遗产价值分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4727-4731.
- ZHANG Y H, HUANG B J, ERIN L. Analysis on Dashiwei karst characteristics and natural heritage values in Leye County Guangxi Province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(8): 4727-4731.
- [21] 邓亚东, 陈伟海, 张远海, 等. 乐业-凤山世界地质公园岩溶地貌景观特征与价值分析[J]. 中国岩溶, 2012, 31(3): 303-309.
- DENG Y D, CHEN W H, ZHANG Y H, et al. Analysis on features and values of karst landscape in Leye-Fengshan Global Geopark [J]. Carsologica Sinica, 2012, 31(3): 303-309.
- [22] 秦炜棋. 广西乐业天坑旅游与热气球运动契合之研究[J]. 体育科技, 2013, 34(4): 42-44.
- QIN W Q. The research on the conjunction of tiankeng tourism and hot-air balloon sport in Leye of Guangxi [J]. Sport Science and Technology, 2013, 34(4): 42-44.
- [23] 陈思贤, 税伟, 何锦峰, 等. 天坑景观评价模型与指标体系构建[J]. 四川地质学报, 2009, 29(增刊): 28-34.
- CHEN S X, SHUI W, HE J F, et al. The construction of tiankeng landscape evaluation model and its index system [J]. Journal of Sichuan Geology, 2009, 29(S): 28-34.
- [24] 林宇. 广西大石围天坑群天坑森林物种多样性研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2005.
- LIN Y. Species diversity of karst tiankeng forest in Dashiwei Tiankengs, Guangxi [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2005.
- [25] 黄珂, 薛跃规, 苏仕林. 大石围天坑群区樱花植物资源的调查[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(23): 55-57.
- HUANG K, XUE Y G, SU S L. Investigation on the resources of Cerasus mill. in the Dashiwei tiankeng group of Leye County [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2011, 17(23): 55-57.
- [26] 苏仕林, 张婷婷, 马博. 大石围天坑群鳞毛蕨科药用蕨类植物资源调查[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18558-18560.
- SU S L, ZHANG T T, MA B. Investigation on the medicinal fern resources of dryopteridaceae in Dashiwei tiankeng group [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(30): 18558-18560.
- [27] 苏仕林, 黄珂, 马博. 广西乐业大石围天坑群区蕨类植物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 51(5): 948-950.
- SU S L, HUANG K, MA B. Investigation on the medicinal fern resources of dryopteridaceae in Dashiwei tiankeng group [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 51(5): 948-950.
- [28] 苏仕林, 张婷婷. 大石围天坑群区水龙骨科药用蕨类植物的调查研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(6): 1181-1184.
- SU S L, ZHANG T T. Study on medicinal polypodiaceae fern in area of Dashiwei doline group [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(6): 1181-1184.

- [29] 苏仕林. 大石围天坑群药用蕨类植物资源调查[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(23): 5376-5380.  
SU S L. Medical Pteridophyta resources investigation in the area of Dashiwei tiangkeng group of Leye County [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(23): 5376-5380.
- [30] 曾小飏, 苏仕林. 广西大石围天坑群风景区爬行动物的调查研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 206-210.  
ZENG X B, SU S L. Investigation and study on the reptiles in Dashiwei karst doline and cave cluster scenic spot in Guangxi[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(26): 206-210.
- [31] 张治军. 广西雅长兰科植物自然保护区生态系统生态功能分析及其价值评估[J]. 林业建设, 2012, 1: 79-85.  
ZHANG Z J. Ecological function analysis and valuation of ecosystem of Guangxi Yachang Orchidaceae Natural Reserve[J]. Forestry Construction, 2012, 1: 79-85.
- [32] 冯昌林, 邓振海, 蔡道雄, 等. 广西雅长林区野生兰科植物资源现状与保护策略[J]. 植物科学学报, 2012, 30(3): 285-292.  
FENG C L, DENG Z H, CAI D X, et al. Current status and conservation strategies of Wild Orchid Resources in Guangxi Yachang Forests[J]. Plant Science Journal, 2012, 30(3): 285-292.
- [33] 曾小飏, 苏仕林. 广西大石围天坑群风景区两栖动物资源调查[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 348-350.  
ZENG X B, SU S L. Investigation on amphibian resources in Dashiwei karst doline and cave cluster scenic spot in Guangxi [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(3): 348-350.
- [34] 范蓓蓓. 广西大石围天坑群天坑植物群落特征及演替研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2014.  
FAN B B. The study on characteristics and succession of karst tiangkengs community in Dashiwei, Guangxi [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2014.
- [35] 冯慧喆. 广西大石围天坑群植物区系的起源和演化研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2015.  
FENG H Z. The study on origion and evolution of karst tiangkeng flora in Dashiwei, Guangxi[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2015.
- [36] 孔祥胜, 祁士华, 黄保健, 等. 大石围天坑群土壤中有机氯农药的分布与富集特征[J]. 地球化学, 2012, 41(2): 188-196.  
KONG X S, QI S H, HUANG B J, et al. Distribution and accumulation of organochlorine pesticides in soils of Dashiwei tiangkeng, Guangxi[J]. Geochimica, 2012, 41(2): 188-196.
- [37] 孔祥胜, 祁士华, 黄保健, 等. 广西大石围天坑群有机氯农药的大气干湿沉降[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(3): 42-49.  
KONG X S, QI S H, HUANG B J, et al. Atmospheric deposition of OCPs in Dashiwei karst tiangkeng group in Guangxi [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(3): 42-49.
- [38] 孔祥胜, 祁士华, 黄保健, 等. 广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降[J]. 环境科学, 2012, 33(3): 746-753.  
KONG X S, QI S H, HUANG B J, et al. Atmospheric deposition of PAHs in Dashiwei karst tiangkeng group in Leye, Guangxi[J]. Environmental Sciences, 2012, 33(3): 746-753.
- [39] 孔祥胜, 祁士华, 孙寿, 等. 广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异[J]. 环境科学, 2012, 33(12): 4212-4219.  
KONG X S, QI S H, SUN Q, et al. Transport and differentiation of polycyclic aromatic hydrocarbons in air from Dashiwei karst sinkholes in Guangxi, China [J]. Environmental Sciences, 2012, 33(12): 4212-4219.
- [40] 刘嘉麒, 倪云燕, 储国强. 第四纪的主要气候事件[J]. 第四纪研究, 2001, 21(3): 239-248.  
LIU J Q, NI Y Y, CHU G Q. Main palaeoclimatic events in the quaternary [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(3): 239-248.
- [41] 张美良, 朱晓燕, 吴夏, 等. 岩溶洞穴环境及石笋古气候记录[M]. 北京: 地质出版社, 2017.  
ZHANG M L, ZHU X Y, WU X, et al. Karst cave environment and stalagmite paleoclimate record [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [42] AUDRA P, CONINCK P, SOUNIER J P. Nakanai 1978-1998: 20 years of exploration [M]. Antibes: Association Hemisphere Sud, 2001.
- [43] BECK H. Beneath the cloud forests: A history of cave exploration in Papua New Guinea. Speleo Projects [M]; Switzerland, 2003.
- [44] BROOK D. The british new guinea speleological expedition 1975 [J]. Trans Brit Cave Res Assoc, 1976, 3: 113-243.
- [45] BROOK D B, WALTHAM A C. Caves of Mulu [M]. London: Royal Geographical Society, 1978.
- [46] CASTIGLIONI B, SAURO U. Large collapse dolines in Puglia (Southern Italy): The cases of "Dolina Pozzatina" in the gargano plateau and of "Puli" in the murge [J]. Acta Carsologica, 2000, 29: 83-93.
- [47] GALAN C, LAGARDE J. Morphologie et evolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima (Venezuela) [J]. Karstologia, 1988, 11: 49-60.
- [48] GURNEE J. Conservation through commercialization

Rio-camuy development proposals [J]. Nss Bulletin, 1967, 29(2): 27-71.

[49] HABIĆ P, KNEZ M, KOGOVSEK J, et al. Škocjanske jame speleological revue [J]. Int Journ Speleol, 1989, 18: 1-42.

[50] HOSE L D. Golondrinas and the giant shafts of Mexico [M]. GUNN J (ed.). Encyclopedia of Caves and Karst Science. New York: Fitzroy Dearborn, 2004: 390-391.

[51] HOSE L D. Selma plateau caves, Oman [M]. GUNN J (ed.). Encyclopedia of caves and karst science. New York: Fitzroy Dearborn, 2004: 639-641.

[52] MAIRE R. Giant shafts and underground rivers of the Nakanai Mountains (New Britain) [J]. Spelunca, 1981

(S2): 8-30.

[53] MIDDLETON G. Madagascar [M]. GUNN J (ed.). Encyclopedia of caves and karst science. New York: Fitzroy Dearborn, 2004: 493-495.

[54] PEYRE J C. Expedition speleologique Madagascar 1982 [M]. Paris: Federation Francais de Speleologie, 1982.

[55] WHITE T. The 1985 Indonesia expedition [J]. Cave Science, 1986, 13: 25-45.

[56] WALTHAM T. Tiankengs of the world, outside China [J]. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 2006, 4(1): 1-12.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 566 页)

[21] 王宇. 西南岩溶地区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点 [J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 115-119.  
WANG Y. Classification, features of karst water system and key point for the evaluation to karst water exploration in southwest China karst area [J]. Carsologica Sinica, 2002, 21(2): 115-119.

[22] 夏日元, 唐健生, 朱远峰. 西南岩溶区地下水资源可持续利用对策 [J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(1): 81-85.  
XIA R Y, TANG J S, ZHU Y F. Sustainable utilization measures of groundwater resources in karst areas of southwest China [J]. China Population, Resources and Environment, 2003, 13(1): 81-85.

[23] 官善友, 陶良, 谢纪海, 等. 武汉市都市发展区岩溶发育特征 [J]. 城市勘测, 2017(4): 157-162.  
GUAN S Y, TAO L, XIE J H, et al. The development

characteristics of karst in Wuhan urban development area [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2017(4): 157-162.

[24] 罗小杰. 武汉地区浅层岩溶发育特征与岩溶塌陷灾害防治 [J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 419-432.  
LUO X J. Features of the shallow karst development and control of karst collapse in Wuhan [J]. Carsologica Sinica, 2013, 32(4): 419-432.

[25] 罗小杰. 武汉地区天兴洲碳酸盐岩条带岩溶发育的异常性及其成因探讨 [J]. 中国岩溶, 2015, 34(1): 35-42.  
LUO X J. Karst abnormal development and origin of the Tianxingzhou carbonate rock belt in the Wuhan area [J]. Carsologica Sinica, 2015, 34(1): 35-42.

(责任编辑: 符支宏)