

文章编号: 1008 - 2786 - (2015)6 - 641 - 08

DOI:10.16089/j.cnki.1008 - 2786.000079

## 中国南方喀斯特地貌分区纲要

王世杰<sup>1,3</sup>, 张信宝<sup>2,3</sup>, 白晓永<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所/环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

3. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100)

**摘 要:** 对热带喀斯特地貌形成的动力学机制和任美镔先生提出的喀斯特地貌演化理论展开讨论, 并遵循地貌类型的地带性和非地带性规律, 根据地貌形态和成因的相似性, 提出我国南方喀斯特地貌分区纲要。根据喀斯特地貌的气候类型, 南方喀斯特地区分为: 热带喀斯特地貌类型区和非热带喀斯特地貌类型区。根据喀斯特地貌形态组合, 热带喀斯特地貌类型区再分为: 黔中高原浅碟型峰丛洼地, 黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地和广西峰林平原等 3 个亚区。根据区域地貌形态, 非热带喀斯特地貌类型区再分为: 川西、滇西北中高山, 滇东高原盆谷, 北盘江高原峡谷, 黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷, 湘中、湘南、鄂东中低山丘陵区等 5 个亚区。

**关键词:** 中国南方; 喀斯特; 地貌分区; 纲要

**中图分类号:** P931.5

**文献标志码:** A

我国南方碳酸盐岩分布面积  $53.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 和中美洲、西南欧并立为世界三大碳酸盐岩集中分布区。其中, 西南地区喀斯特(岩溶)地貌分布广泛, 景观千姿百态, 千百年来吸引了许多地理学家的关注。1637 年, 我国伟大的旅行家和地理学家徐霞客考察广西等地, 并用峰丛和峰林表述当地的喀斯特地貌。1930 年代以来, 曾昭璇和任美镔等我国老一代地理学家对西南地区的喀斯特地貌进行了广泛的考察和研究。曾昭璇将广西的喀斯特地貌分为峰丛、峰林、孤峰和残丘四种类型<sup>[1-2]</sup>, 并绘制了广西岩溶类型发布略图。任美镔提出了地表岩溶组合的概念, 将岩溶地貌分为峰丛-洼地或峰丛-漏斗、峰林-洼地、孤峰残丘与岩溶平原和岩溶丘陵洼地四

种类型, 并认为前三种类型, 都是在热带气候条件下形成的, 代表着从云南高原的边缘斜坡地带向广西盆地中心的岩溶发育的各个阶段, 即从峰丛洼地→峰林洼地→峰林盆地→孤峰残丘平原<sup>[3]</sup>。1970 年代, 锥状和塔状喀斯特名词从国外传入, 这二种喀斯特地貌形成于湿热气候条件, 仅分布世界的热带和亚热带地区, 亦称为热带喀斯特。通过中外科学家的交流切磋, 一致认为分别相当于中国的峰丛和峰林<sup>[4]</sup>。袁道先等将非锥状和塔状的喀斯特丘陵统称为常态山<sup>[4-5]</sup>。1979 年出版的《中国岩溶研究》将岩溶地貌景观类型分为: 溶洼-丘峰、溶盆-丘峰、溶原-丘峰或岩丘、溶洼-峰林、溶盆-峰林和溶原-峰林等 6 种类型<sup>[6]</sup>。1984 年出版的《中国

收稿日期(Received date): 2015-08-11; 修回日期(Accepted): 2015-09-23。

基金项目(Foundation item): 国家 973 项目(No. 2013CB956704), 国家科技支撑计划(No. 2014BAB03B02), 贵州省科技计划(No. 黔科合重大专项字〔2012〕6015 号), 贵州省农业攻关计划项目(No. 黔科合 NY 字〔2014〕3039 号), 贵阳市科技局项目(No. 筑合同〔2012〕205 号), “西部之光”之西部博士专项(No. 科发人教字〔2012〕179 号)。[Project supported by the National 973 Program (No. 2013CB956704), National Key Project of Scientific and Technical Supporting Programs (No. 2014BAB03B02), Major special plan of science and technology and Social Development Scientific Research Programs of Guizhou (Grant No 2012 - 6015), Agricultural Science and Technology Key Project of Guizhou Province (No. Grant No. 2014 - 3039), Science and Technology Plan Projects of the Guiyang Municipal Bureau of Science and Technology (No. Grant No. 2012 - 205), West Light Foundation of the Chinese Academy of Sciences (No. Grant No. 2012 - 179).]

作者简介(Biography): 王世杰(1966 -), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事喀斯特生态环境研究。[Wang Shijie (1966 -), male, professor, doctoral supervisor, specialized in karst environment.] E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

自然地理图集》的《中国岩溶地貌图》将岩溶地貌分为岩溶(峰林、孤峰)平原、岩溶(缓丘、石林)高原、岩溶(残丘、峰丛、峰林)山地和丘陵,和其他有岩溶现象的地区<sup>[7]</sup>。1984年,覃厚仁和朱德浩提出的我国南方热带、亚热带岩溶地貌的分类方案,首先分为热带和亚热带岩溶地貌两大类型,热带岩溶地貌又分为侵蚀-溶蚀地形和生物堆积-溶蚀地形;亚热带岩溶地貌分为溶蚀、侵蚀-溶蚀和溶蚀-构造地形<sup>[8]</sup>。《贵州喀斯特地貌分区》,也按成因和组合形态特征,将贵州喀斯特地貌分成三大成因类型:溶蚀地貌、溶蚀-侵蚀地貌和溶蚀-构造地貌,其中溶蚀地貌分为峰丛洼地、峰丛谷地、峰林谷地、峰林洼地、丘峰谷地、溶丘洼地、溶丘盆地、溶丘坡地、峰林溶盆和丘丛山地等10种类型;溶蚀-侵蚀地貌分为峰丛峡谷、峰丛沟谷等两种类型;溶蚀-构造地貌分为断块山沟谷、溶蚀构造平台状山沟谷、溶蚀断陷谷(盆)地和垄脊槽谷(垄岗谷地)等四种类型<sup>[9]</sup>。总的来看,前期的岩溶地貌分类局限于以溶蚀为主的热带喀斯特地貌分类,1980年代以后的分类考虑了非溶蚀成因的喀斯特地貌类型。

1979年出版的《中国岩溶研究》首次提出了中国岩溶区划,认为“岩溶发育的状况反映出内外营力这一对矛盾相互斗争结果,具有地带性与非地带性。地带性规律起主导作用。”第一级岩溶区划,按照气候因素分为四种气候型岩溶地区:热带、亚热带气候,中温-暖温带,青藏高原湿润气候,和青藏高原及温带干旱气候。第二级,按照大地构造分为岩溶区,其中热带、亚热带气候区分为扬子准地台区,华南褶皱系区,滇西褶皱系区和秦岭褶皱系区。第三级,按照岩溶地貌景观分为岩溶亚区,其中扬子准地台区分为8个亚区,华南褶皱系区分为4个亚区<sup>[6]</sup>。本世纪以来,为了满足西南喀斯特地区生态建设和石漠化治理的需要,曹建华和袁道先提出了《中国西南岩溶生态系统生态区》的划分,根据大地构造和地貌格局,结合碳酸盐岩分布和岩溶发育的特征,将西南岩溶类型分为5大区:Ⅰ,构造隆起带岩溶生态区;Ⅱ,湘桂沉降带岩溶生态区;Ⅲ,四川盆地岩溶生态区;Ⅳ,滇东断陷盆地及周边山地岩溶生态区;Ⅴ,川西北中高山岩溶生态区<sup>[10]</sup>。国务院2008年批复的《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲》提出了我国南方石漠化治理工程分区,综合考虑了岩溶地质地貌、水文结构特征、生态环境条件、石漠化成因与治理措施等方面的相似性,借鉴了

我国现有的地理气候区划、社会经济及行政区划等成果资料,将南方喀斯特地区分为中高山、岩溶断陷盆地、岩溶高原、岩溶峡谷、峰丛洼地、岩溶槽谷、峰林平原和溶丘洼地等八个石漠化综合治理区(图1)<sup>[11]</sup>。由于南方喀斯特地区多为热带、亚热带气候,这三个区划的喀斯特分区对地貌分异的气候影响考虑不多。

我们认为,我国南方地区的喀斯特地貌形态不仅受控于大地构造和地势条件,也受控于气候条件。气候的区域差异,特别是西南季风区和东亚季风气候区的气候差异,对西南地区喀斯特地貌的区域分布格局有重要的影响。在基带条件下(产状水平的、厚度较大的、厚层致密纯碳酸盐岩层,长期稳定的较平坦地形),喀斯特地貌类型与气候对应的现象,称之为喀斯特地貌的地带性。喀斯特地貌类型的非地带性,系指喀斯特地貌类型与气候不对应的现象。本文在阐明喀斯特地貌形成演化动力学机制的基础上,遵循喀斯特地貌类型的地带性和非地带性规律,根据地貌形态、成因的相似性和差异性,提出我国西南地区的喀斯特地貌分区框架。

## 1 喀斯特地貌形成演化的两个理论问题

### 1.1 热带喀斯特地貌(锥峰和塔峰)形成的动力学机制

锥峰和塔峰等热带喀斯特地貌仅分布于热带和亚热带地区,如我国西南和东南亚、中美洲的一些国家。除炎热多雨的气候条件外,峰丛和峰林地貌的形成还需要适宜的岩性、岩层产状和地形条件,如,产状水平的厚度较大的厚层纯碳酸盐岩层,长期稳定的较平坦地形等<sup>[5]</sup>。

笔者提出的表层喀斯特带径流溶蚀动力学机制可以较好地解释锥峰和塔峰等热带喀斯特地貌的形成<sup>[12]</sup>。坡地地貌演化是流水侵蚀、重力侵蚀和化学侵蚀综合作用的结果。化学溶蚀是喀斯特坡地地貌演化的基本营力,在相同的环境条件下,化学溶蚀量和径流量成正相关。喀斯特坡地的径流流向见图2。喀斯特坡地降水径流几乎全部渗入表层喀斯特带,地表径流系数极低( $Q_1$ ),地表流水侵蚀不是溶丘坡地演化的主要营力。渗入表层喀斯特带的径流,一部分沿表层喀斯特带顺坡裂隙流动(表层喀斯特带顺坡径流, $Q_2$ ),一部分沿垂向裂隙向下入渗( $Q_3$ )。沿垂向裂隙向下入渗的径流溶蚀山体内部

岩石,不影响坡地边坡的发育。表层喀斯特带顺坡径流溶蚀表层的岩石,对喀斯特坡地的演化具有举足轻重的影响。喀斯特坡地的降水分配可表述为

$$W = W_1 + W_2 \quad (1)$$

$$W_2 = WQ_1 + WQ_2 + WQ_3 \quad (2)$$

式中  $W$ :降水量(mm);  $W_1$ :蒸散发耗水(mm);  $W_2$ :径流深(mm);  $WQ_1$ :地表径流深(mm);  $WQ_2$ :表层喀斯特带顺坡径流深(mm);  $WQ_3$ :垂向径流深(mm)。

表层喀斯特带顺坡径流的流量随着坡长的增加而增大,溶蚀量也随着坡长的增加而增加,坡地下部岩层的溶蚀量大于上部。锥峰和塔峰溶丘坡地陡峭,由于坡度大于休止角 $37^\circ$ 的坡地稳定性差,锥峰和塔峰塔裙坡地坡度多在 $30^\circ$ 左右。由于松散角砾易于溶蚀,锥峰和塔峰坡地松散角砾堆积物一般不发育。热带地区,降水量大,溶蚀速率高,喀斯特坡地表层喀斯特带顺坡径流量和溶蚀量大,利于锥峰和塔峰地貌的形成。此外,产状水平的厚层碳酸盐岩层,不利于垂向裂隙的发育,垂向入渗径流深( $WQ$ )比例小,表层喀斯特带顺坡径流深( $WQ$ )比例大,也有利于锥状和塔状峰林和峰丛地貌的形成。时代较新的碳酸盐岩,没有经过长期的压实,孔隙度高,易于含蓄水分和水分向下垂直入渗,表层喀斯特带顺坡径流量小,加之岩石强度低不能维持高陡的边坡,不利于峰丛和峰林地貌的形成。世界上的热带和亚热带碳酸盐岩区,多侏罗纪以来的时代较新的碳酸盐岩,老碳酸盐岩分布较少;我国西南地区,碳酸盐岩多质纯层厚,时代均老于侏罗纪,因此,峰丛和峰林地貌分布非常广泛。

## 1.2 “峰丛(青年期)→峰林(壮年期)→孤峰(老年期)”的喀斯特地貌演化理论

基于 Davis 地貌侵蚀旋回理论,任美镔先生认为峰丛-洼地或峰丛-漏斗、峰林-洼地、孤峰残丘代表着从云南高原的边缘斜坡地带向广西盆地中心的岩溶发育的各个阶段,即从峰丛洼地→峰林洼地→峰林盆地→孤峰残丘平原<sup>[3]</sup>。卢耀如则进一步提出“石芽石林→丘陵漏斗→丘陵洼地→峰林洼地→孤峰坡地→岩溶准平原”的演化理论<sup>[13]</sup>。1970年代以来,以上的喀斯特地貌演化理论受到了挑战。袁道先、朱学稳和 Williams 等,主要通过中国桂林一带的峰林和峰丛地貌的研究认为,多数情况下,峰林并不是从峰丛演化而来,两者是同一时期(或相近的年代),不同水文地质环境条件下形成的喀斯特

地貌<sup>[4-5,10,14]</sup>。袁道先还认为,关键是有无外源水作用,峰林主要是外源水作用的产物,而峰丛则是以内源水作用为主<sup>[4,10]</sup>。笔者用表层喀斯特带径流溶蚀动力学机制解释了滇东高原→贵州高原→广西丘陵平原喀斯特地貌区域差异,认为这三地岩性和大地构造条件差异不大,气候是这三地溶丘地貌形态差异的主要原因:昆明准静止锋以西的滇东高原为干湿季交替的西南季风气候区,降水量较低,溶丘地貌以常态山为主;以东的贵州高原和广西丘陵平原为东亚季风气候区,降水量大,溶丘地貌以锥峰和塔峰为主,其中,广西丘陵平原的降水量大于贵州高原,前者溶丘地貌以塔峰为主,后者以锥峰为主<sup>[11-12]</sup>。

任美镔先生对西南地区昆明准静止锋东西两侧的气候、土壤和植被的差异有深刻的认识:“以东的贵州高原,冬季阴雨连绵,‘天无三日晴’,为马尾松、黄壤区;以西的云南高原,冬季温暖晴朗,为云南松、红壤区”<sup>[15]</sup>。他之所以没有将云南高原-贵州高原-广西盆地的岩溶地貌的区域差异和现代气候的差异联系起来,可能是他认为西南地区的岩溶地貌是在第三纪发育形成的,和现代的气候条件关系不大。他认为:“从峰丛→峰林→孤峰→残丘,代表广西岩溶发育从不成熟到更成熟的不同阶段,即从云贵高原边缘向广西盆地中心,岩溶逐渐发育至更成熟的阶段。如桂林地区,从分水岭至桂江平原,岩溶地貌类型依次为峰丛→峰林→孤峰。在贺县一带,峰林中间的洼地均被下第四系白沙统沉积物所充填,可见峰林形成的时间当在第三纪”<sup>[3]</sup>;“石林是一种古热带岩溶形态,在路南附近,它常为始新世路南组所掩覆,可见其形成时代当属老第三纪”<sup>[3]</sup>。

第四纪以来,伴随着青藏高原的隆升,绝大部分西南喀斯特地区也不断抬升,河流下切,大量的阶地和溶洞沉积物断代的结果表明,河床高程以上的岩溶地貌是第四纪以来发育形成的<sup>[16-17]</sup>。我们认为,峰林洼地的沉积物时代不能表征峰林的形成时间;埋藏岩溶地貌的沉积物的时代有岩溶地貌断代的意义,如路南的石林,是第三纪古岩溶地貌。黔中平坝盆地的第三纪岩溶红壤古风化壳<sup>[18]</sup>下伏的基岩面波状起伏不大,表明第三纪时未发育峰丛、峰林热带喀斯特地貌;当地的地带性土壤为黄壤,岩溶地貌为峰丛洼地。显然峰丛洼地热带岩溶地貌和黄壤都是在第四纪期间形成的。由于西南地区岩溶地貌均发育于第三纪的时间前提不存在,基于 Davis 地貌侵

蚀旋回的“峰丛(青年期)→峰林(壮年期)→孤峰(老年期)”的喀斯特地貌演化理论也不能成立。

## 2 中国西南地区喀斯特地貌的空间分布特点和环境背景

### 2.1 空间分布特点

本文讨论的中国南方地区范围包括贵州、广西、云南、四川、重庆、湖北、湖南和广东等八省、市、自治区,总面积  $194.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中碳酸盐岩出露面积  $53.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占 27.36%。贵州碳酸盐岩面积占国土面积比例最高,为 61.20%。重庆、广西次之,分别占 36.80%,34.80%。贵州大部、滇东和桂北的碳酸盐岩呈连片分布,其余地区的碳酸盐岩多呈线状或斑块状分布。锥、塔峰热带喀斯特地貌集中连片分布于威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的贵州大部、桂北和毗邻的云南罗平等地。贵州中部的岩溶高原区,为浅碟型峰丛洼地地貌;位于贵州高原向广西盆地过渡的斜坡地带的峰丛洼地区,为漏斗型峰丛洼地地貌;广西丘陵平原的峰林平原区,为峰林平原地貌。除滇东高原外,锥、塔峰热带喀斯特地貌也零星分布于其他地区(图 3)。据报导,秦岭南坡也有锥峰喀斯特地貌零星分布。

### 2.2 环境背景

#### 2.2.1 地势

南方喀斯特地区地处我国地貌的第二阶梯和第三阶梯。云贵高原和四川盆地属地貌第二阶梯;以西的横断山地为青藏高原第一梯面第二梯面之间的



图 1 中国南方石漠化治理工程分区图<sup>[11]</sup>

Fig. 1 Regional divisions for the control project of karst land desertification in south China

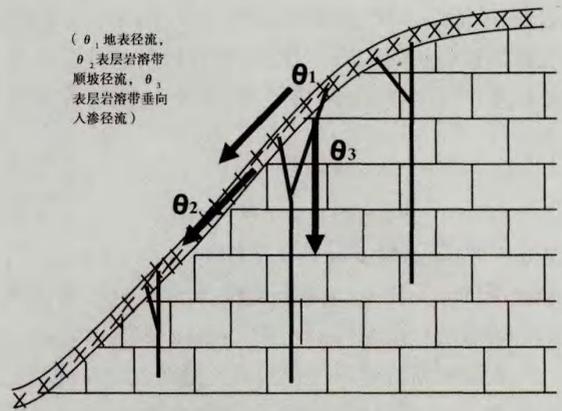


图 2 岩溶坡地径流示意图<sup>[12]</sup>

Fig. 2 The runoff sketch map of slope in karst

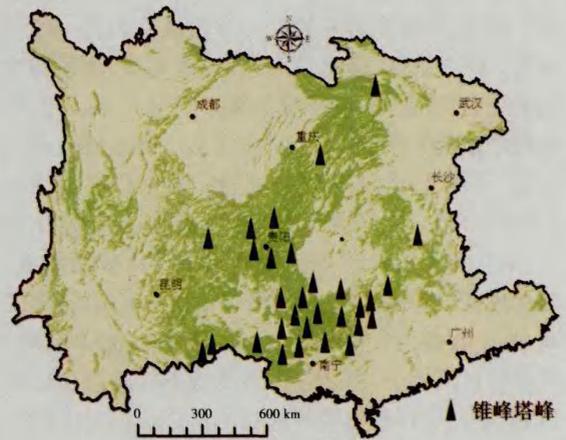


图 3 中国南方喀斯特地区锥、塔峰等热带喀斯特地貌分布略图<sup>[11]</sup>

Fig. 3 A sketch map of spatial distribution of cone and tower karst hills in south China

梯坎地带;以东的川、渝、鄂、湘接壤区一带的大巴山、巫山、武陵山、幕阜山,湘、粤、桂接壤区一带的南岭山地和云贵高原与广西盆地丘陵平原之间的斜坡带为第二梯面和第三梯面之间的梯坎地带;广西盆地丘陵平原和广东低山丘陵平原为第三梯面。

#### 2.2.2 大地构造

大地构造上,南方喀斯特地区可分为西部地槽区(I),中部扬子准地台区(II)和东南部华南加里东地槽区(III)<sup>[10]</sup>。西部地槽区(I),为多旋回地槽,印支运动后结束地槽阶段,多碳酸盐岩与碎屑岩交互沉积,岩层褶皱强烈,极少产状水平的碳酸盐岩层。该区可分为藏北-滇西亚区(I<sub>1</sub>)和巴颜喀拉-秦岭亚区(I<sub>2</sub>)。扬子准地台固结于新元古代,

震旦系-三叠系均有碳酸盐岩地层分布,总厚度数千千米。地台大部地区的碳酸盐岩地层产状基本水平(II<sub>1</sub>),但东北部川黔褶皱带和大巴山褶皱带,岩层褶皱倾斜,非碳酸盐岩地层出露较多(II<sub>2</sub>)。华南加里东地槽(III<sub>1</sub>)加里东运动后处于地台发育阶段,桂中及以西地区泥盆系-二叠系碳酸盐岩几乎是无间断的连续沉积,厚度可达数千千米,地层产状基本水平;以东地区分布零星,多褶断。三叠系碳酸盐岩分布大为逊色,主要分布于桂中、桂西南和湘南、粤北地区。华南加里东地槽北缘的台缘沉降带(III<sub>2</sub>),碳酸盐岩沉积具部分扬子准地台特征。

### 2.2.3 气候与植被

除川西和滇西北为高原山地寒温带、温带针阔叶林区(VIII<sub>A</sub>)外,其余南方喀斯特地区均属亚热带和南亚热带常绿阔叶林区。大致以昆明准静止锋为界,以西的西南季风气候区为半湿润常绿阔叶林区(IV<sub>B</sub>, V<sub>B</sub>),以东的东亚季风气候区为湿润常绿阔叶林区(IV<sub>A</sub>, V<sub>A</sub>) (图5)<sup>[19]</sup>。西南季风气候区,干湿季交替气候,年降水量多<1 000~1 200 mm;东亚季风气候区,四季分明气候,年降水量>1 000~1 200 mm,南亚热带地区,年降水量可高达1 800 mm以上<sup>[20]</sup> (图6)。西南地区第四纪以来的气候格局基本不变,但存在冰期和间冰期的气候波动,冰期和间冰期的气候分别较现今气候寒冷和温暖。

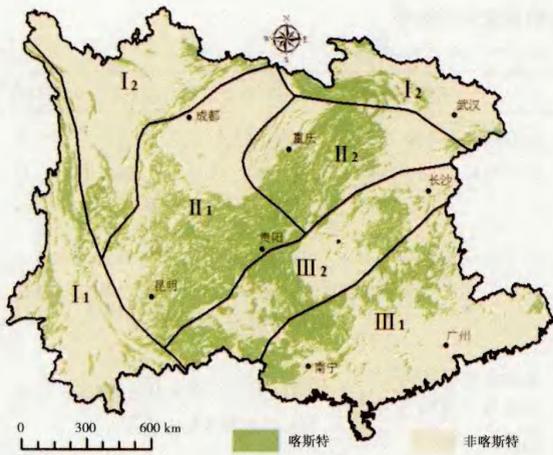


图4 中国南方喀斯特地区大地构造与碳酸盐岩分布略图<sup>[10]</sup>  
Fig. 4 Superimposition of regional divisions of karst land desertification on geotectonic divisions in south China

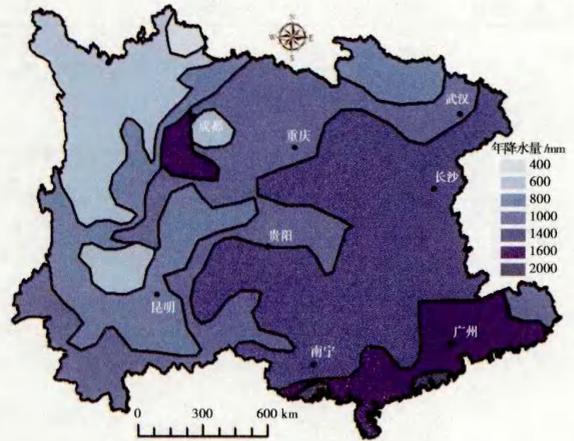


图6 中国南方喀斯特地区降水量空间变化<sup>[20]</sup>  
Fig. 6 Spatial variation of precipitation of karst in south China

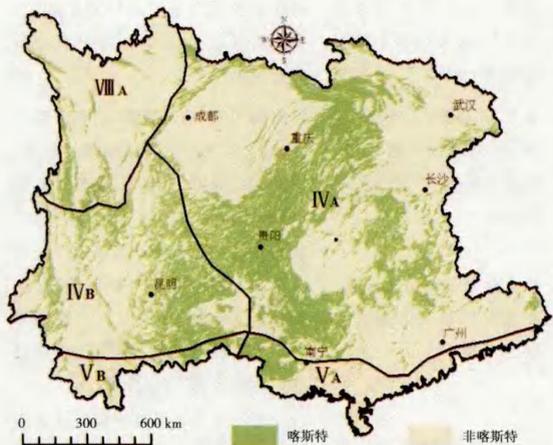


图5 中国南方喀斯特石漠化分区和植被分区的叠加<sup>[19]</sup>  
Fig. 5 Superimposition of regional divisions of karst land desertification on vegetation zones in south China



图7 中国南方喀斯特地貌类型分区略图  
Fig. 7 Regional division for the control project of karst land desertification in south China

### 3 分区原则与分区方案

#### 3.1 分区原则

我国南方喀斯特地区喀斯特地貌形态的区域分异不仅受控于大地构造和地势条件,也受控于气候条件。基于这一认识,遵循喀斯特地貌类型的地带性和非地带性规律,根据地貌形态、成因的相似性,进行喀斯特地貌类型分区。分区原则如下:

1. 地貌形态的相似性原则
2. 地貌成因的相似性原则

#### 3. 地貌形态与成因的组合原则

##### 3.2 分区纲要

一级分区(图 7,表 1)。根据喀斯特地貌的气候类型分为:热带喀斯特地貌类型区(I),非热带喀斯特地貌类型区(II)。热带喀斯特地貌类型区,为昆明准静止锋以东的,不包括川黔褶皱带和大巴山褶皱带的扬子准地台,和华南加里东地槽及北缘台缘沉降带的中、西部。该区热带喀斯特地貌,是东亚亚热带季风气候、连片分布的产状基本水平的碳酸盐岩和长期稳定的较平坦地形条件叠加的结果。非热带喀斯特地貌类型区,除以上地区外的其他碳

表 1 中国南方喀斯特地貌类型分区纲要

Table 1 Partition an outline of karst landform type in south China

区(代码)	亚区(代码)	大地构造	地势	气候与植被	喀斯特地貌与坡地岩土分布特点
	黔中高原浅碟型峰丛洼地亚区(I <sub>1</sub> )	扬子准地台中部	云贵高原(第二级阶梯)	中亚热带东亚季风气候;中亚热带湿润常绿阔叶林	锥峰为主的浅碟型峰丛洼地(比高*多<200 m),大部分坡地岩层裸露,坡麓土层覆盖
热带喀斯特地貌类型区(I)	黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地亚区(I <sub>2</sub> )	华南加里东地槽及北缘的台缘沉降带	云贵高原和广西丘陵平原过渡的大斜坡地带(第二、第三阶梯过度地带)	中、亚热带东亚季风气候;中、亚热带湿润常绿阔叶林	锥峰为主的漏斗型峰丛洼地(比高*多>200 m);绝大部分坡地岩层裸露,坡麓土层覆盖
	广西峰林平原亚区(I <sub>3</sub> )	华南加里东地槽	广西丘陵平原(第三级阶梯)	亚热带东亚季风气候;亚热带湿润季风常绿阔叶林	塔峰为主的峰林平原;坡地岩层裸露,仅坡麓少量土层分布
	川西、滇西北中高山亚区(II <sub>1</sub> )	西部地槽区	川西、滇西北中高山(第一、第二阶梯过度地带)	寒温带-亚热带干热河谷立体气候;寒温带高山草甸-温带森林-亚热带干热河谷席树灌草植被	构造隆升强烈的侵蚀山地;大部分山地的坡地土层覆盖,少部分岩层裸露
	滇东高原盆谷亚区(II <sub>2</sub> )	扬子准地台西部	云贵高原(第二级阶梯)	西南季风气候,亚热带半湿润气候;亚热带半湿润常绿阔叶林	矮缓的溶丘与宽浅的洼地相间;丘坡土层覆盖,溶丘的顶部常有石笋和石芽出露
非热带喀斯特地貌类型区(II)	北盘江高原峡谷亚区(II <sub>3</sub> )	扬子准地台中部	云贵高原内的南、北盘江河谷地带(第二级阶梯)	亚热带湿润、半湿润气候,河谷地带气候干热;亚热带湿润、半湿润常绿阔叶林	河流深切峡谷;高陡的谷坡与夷平面相间,夷平面上有锥峰峰丛分布。高陡的谷坡岩层裸露,夷平面上锥峰坡麓土层覆盖
	黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷亚区(II <sub>4</sub> )	扬子准地台东部的川黔-大巴山褶皱带	黔渝川鄂湘接壤的中低山山地(第二、第三级阶梯过渡地带)	中亚热带东亚季风气候;亚热带湿润常绿阔叶林	褶皱构造形成的槽谷相隔的侵蚀条状山地。部分槽谷谷地和岭顶,碳酸盐岩层产状水平,发育有锥峰峰丛。大部分坡地土层覆盖,少量分布的锥峰坡地,岩层裸露
	湘中、湘南、鄂东中低山丘陵非槽谷亚区(II <sub>5</sub> )	华南加里东地槽区东部褶皱带	湘中、湘南、鄂东中低山丘陵(第三级阶梯)	中、亚热带东亚季风气候;中、亚热带湿润季风常绿阔叶林	分布零星或岩层褶皱的碳酸盐岩组成的侵蚀中低山地、丘陵,个别产状水平的碳酸盐岩层斑块,发育有锥峰峰丛。大部分坡地土层覆盖,少量锥峰坡地,岩层裸露

比高\*,系指丘峰与洼底的相对高差。

酸盐岩发布区。这些地区热带喀斯特地貌不发育,是不满足以上三个条件或其中一个条件的结果。

二级分区(图7,表1)。热带喀斯特地貌类型区(I),根据喀斯特地貌形态组合分为:黔中高原浅碟型峰丛洼地亚区(I<sub>1</sub>),黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地亚区(I<sub>2</sub>)和广西峰林平原亚区(I<sub>3</sub>)等3个亚区。黔中高原→黔-桂斜坡带→广西峰林平原的热带喀斯特地貌类型的变化与地势变化、降水量的增加趋势一致(图7)。非热带喀斯特地貌类型区(II),根据区域地貌形态分为:川西、滇西北中高山亚区(II<sub>1</sub>),滇东高原盆谷亚区(II<sub>2</sub>),北盘江高原峡谷亚区(II<sub>3</sub>),黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷亚区(II<sub>4</sub>),和湘中、湘南、鄂东中低山丘陵非槽谷亚区(II<sub>5</sub>)等5个亚区。川西、滇西北中高山亚区,挽近时期快速隆升山地,岩层褶皱和温带、寒温带气候,以上特点均不满足热带喀斯特地貌发育;滇东高原盆谷亚区,西南季风气候区,气候条件不满足;北盘江高原峡谷亚区,挽近时期河流深切,长期稳定的较平坦地形条件不满足;黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷亚区,岩层褶皱,产状基本水平的碳酸盐岩条件不满足;湘中、湘南、鄂东中低山丘陵非槽谷亚区,岩层褶皱、碳酸盐岩层分布零星,连片分布的产状基本水平的碳酸盐岩条件不满足。

## 4 结语

化学溶蚀是喀斯特坡地地貌演化的基本营力,表层喀斯特带径流溶蚀动力学机制,可以较好地解释热带喀斯特地貌的形成需要热带、亚热带气候,产状水平的厚层密实碳酸盐岩层和长期稳定的较平坦地形三个基本条件组合的原因。

中国南方喀斯特地区喀斯特地貌的区域分异不仅受控于大地构造和地势条件,也受控于气候条件。基于Davis地貌侵蚀旋回的“峰丛(青年期)→峰林(壮年期)→孤峰(老年期)”的喀斯特地貌演化理论不能成立。

遵循地貌类型的地带性和非地带性规律,根据地貌形态、成因的相似性,本文将我国南方喀斯特地区分为热带喀斯特和非热带喀斯特两个地貌类型区。热带喀斯特地貌类型区,根据喀斯特地貌形态组合再分为:黔中高原浅碟型峰丛洼地亚区,黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地亚区和广西峰林平原亚区等3个亚区;非热带喀斯特地貌类型区,根据区域地貌

形态再分为:川西、滇西北中高山亚区,滇东高原盆谷亚区,北盘江高原峡谷亚区,黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷亚区,湘中、湘南、鄂东中低山丘陵非槽谷亚区等5个亚区。

## 参考文献(References)

- [1] Zeng Zhaoxuan, Cheng Minghao, Yao Qingyun, et al. Tseng Chao - Hsuan and others. Karst Mountain Patterns in The Tropic Monsoon Region, Southern China [J]. Acta Geographica Sinica, 1960, 2(1): 45 - 51 [曾昭璇, 程明豪, 姚清尹, 等. 华南喀斯特峰林区地形类型初步划分[J]. 地理学报, 1960, 2(1): 45 - 51]
- [2] Zeng Zhaoxuan. The Karst Morphological Characters in South China. Carsologica Sinica, 1982, 1: 27 - 32 [曾昭璇. 论我国南部喀斯特地形的特征[J]. 中国岩溶, 1982, 1: 27 - 32]
- [3] Ren Meí, Liu Zhenzhong. Introduction to karstology [M]. Beijing: The Commercial Press, 1983. [任美镔, 刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983.]
- [4] Zhu Xuewen. Discussions on fenglin karst in China [J]. Carsologica Sinica, 2009, 28(2): 155 - 168 [朱学稳. 我国峰林喀斯特的若干问题讨论[J]. 中国岩溶, 2009, 28(2): 155 - 168]
- [5] Yuan Daoxian. China's karstology [M]. Beijing: Geology Publishing House, 1993. [袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1993.]
- [6] Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. The research of karst in China [M]. Beijing: Science Press, 1987. [中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [7] Liu Mingguang. Physical Geography Atlas of China [M]. Beijing: SinoMaps Press, 1984. [刘明光. 中国自然地理图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 1984.]
- [8] Qin Houren, Zhu Dehao. A Proposed Classification of Tropical and Subtropical Karst Features in South China [J]. Carsologica Sinica, 1984, 3(2): 67 - 73 [覃厚仁, 朱德浩. 中国南方热带、亚热带岩溶地貌分类方案[J]. 中国岩溶, 1984, 2: 67 - 73]
- [9] Li Zongfa. Division of Karst Landform in Guizhou. Guizhou Geology [J]. 2011, 28(3): 177 - 181, 234 [李宗发. 贵州喀斯特地貌分区[J]. 贵州地质, 2011, 28(3): 177 - 181]
- [10] Cao Jianhua, Yuan Daoxian, Zhang Cheng, et al. Karst Ecosystem Constrained by Geological Conditions in Southwest China [J]. Earth and Environment, 2004, 32(1): 1 - 8 [曹建华, 袁道先, 章程, 等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[J]. 地球与环境, 2004, 32(1): 1 - 8]
- [11] Wang Shijie, Zhang Xinbao, Bai Xiaoyong. Discussion on nomenclature of the Karst desertification regions and illustration for their environment characteristics in southwest China [J]. Mountain Research, 2013, 31(1): 18 - 24 [王世杰, 张信宝, 白晓永. 南方喀斯特石漠化分区的名称商榷与环境特点[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 18 - 24]
- [12] Zhang Xinbao, Liu Zaihua, Wang Shijie, et al. Dynamic mechanism of runoff corrosion in the Epikarst Zone on the formation of cone and tower karst landforms [J]. Mountain Research, 2011, 29

- (5): 529-533 [张信宝, 刘再华, 王世杰, 等. 锥峰和塔峰溶丘地貌的表层喀斯特带径流溶蚀形成机制[J]. 山地学报, 2011, 29(5): 529-533]
- [13] Lu Yaoru, Zhao Chengliang, Liu Fucan. The primary discussion on the process and types of karst [G]//The paper collection of 1st Hydrogeology and Engineering Geology National Conference, second volume (karst subject). Beijing: China Industry Press, 1966: 1-28 [卢耀如, 赵成梁, 刘福灿. 初论喀斯特的作用过程及其类型[G]//第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编, 第二辑(喀斯特问题专辑). 北京: 中国工业出版社, 1966: 1-28]
- [14] Williams P W. Geomorphic inheritance and the development of towerkarst [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1987, 12: 453-465
- [15] Ren Mei'e. An outline of China's physical geography [M]. Beijing: The Commercial Press, 1992. [任美镔. 中国自然地理纲要[M]. 北京: 商务印书馆, 1992.]
- [16] Yang Mingde. The structure and evolution of karst geomorphology in Guizhou Plateau [G]//Geomorphology Committee, The Geographical Society of China. Karst geomorphology and caves. Beijing: Science Press, 1985. [杨明德. 贵州高原喀斯特地貌的结构及演化规律[G]//见: 中国地理学会地貌专业委员会. 喀斯特地貌与洞穴. 北京: 科学出版社, 1985.]
- [17] Yu Liu, Shijie Wang, Sheng Xu, Xiuming Liu, Derek Fabel, Xinbao Zhang, Weijun Luo, Anyun Cheng. New evidence for the incision history of the Liuchong River, Southwest China, from cosmogenic  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  burial ages in cave sediments[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 73: 274-283
- [18] Wang Shijie, Liu Xiuming, Zhang Feng. Fission track dating of secondary quartz in red weathering crusts of carbonate rocks in Guizhou Province [J], Geochimica, 2005, 34(1): 33-40 [王世杰, 刘秀明, 张峰. 贵州碳酸盐岩红色风化壳次生石英的裂变径迹测年研究[J]. 2005, 地球化学, 34(1): 33-40]
- [19] Sun Shizhou. Concerning the vegetation Chinese regionalization map as a part of in the Natural Geographical Atlas of the Peoples Republic of China. Chinese Journal of Plant Ecology, 1998, 22(6): 523-537 [孙世洲. 关于中国国家自然地图集中的中国植被区划图. 植物生态学报, 1998, 22(6): 523-537]
- [20] Wang Shaowu, Zhao Zongci, Gong Daoyi, et al. An introduction to modern climatology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005. [王绍武, 赵宗慈, 龚道溢, 等. 现代气候学概论[M]. 北京: 气象出版社, 2005.]

## An Outline of Karst Geomorphology Zoning in the Karst Areas of Southern China

WANG Shijie<sup>1,3</sup>, ZHANG Xinbao<sup>2,3</sup>, BAI Xiaoyong<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2. Institute of Mountain and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China;

3. Karst Ecosystem Observation Research Station in Puding, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, Guizhou, China)

**Abstract:** Dynamic mechanism for formation of tropical karst geomorphology and karst geomorphology evolution, proposed by Prof. Ren mei'e, are discussed in this paper. Based on zonality and anonality laws of geomorphology types and according to similarities of the karst geomorphology and its formation causes, an outline of karst geomorphology zoning in the karst areas of Southern China is proposed. According to climate types of the karst geomorphology, the areas are divided into tropical karst geomorphology zone and non-tropical karst geomorphology zone. According to karst morphology group, the tropical karst geomorphology zone is divided into the Peak-Cluster Depression subzone of shallow dish type in the middle Guizhou Plateau; the Peak-Cluster Depression subzone of funnel type in the transition slope between Guizhou Plateau and Gaunxi Hilly plain. According to regional geomorphology, the non-tropical karst geomorphology zone is divided into the medium-high mountain subzone in Western Sichuan and North-western Yunnan; the basin-valley subzone in Eastern Yunnan Plateau; the canyon subzone of Beipan River; the trough valley subzone of the medium-low mountains in the conjunction region between Guizhou, Chongqing, Sichuan, Hubei and Hunan; and the non-trough valley subzone of the medium-low mountains and hills in Middle and Southern Hunan and Eastern Hubei.

**Key words:** Southern China; karst; geomorphology Zoning; outline