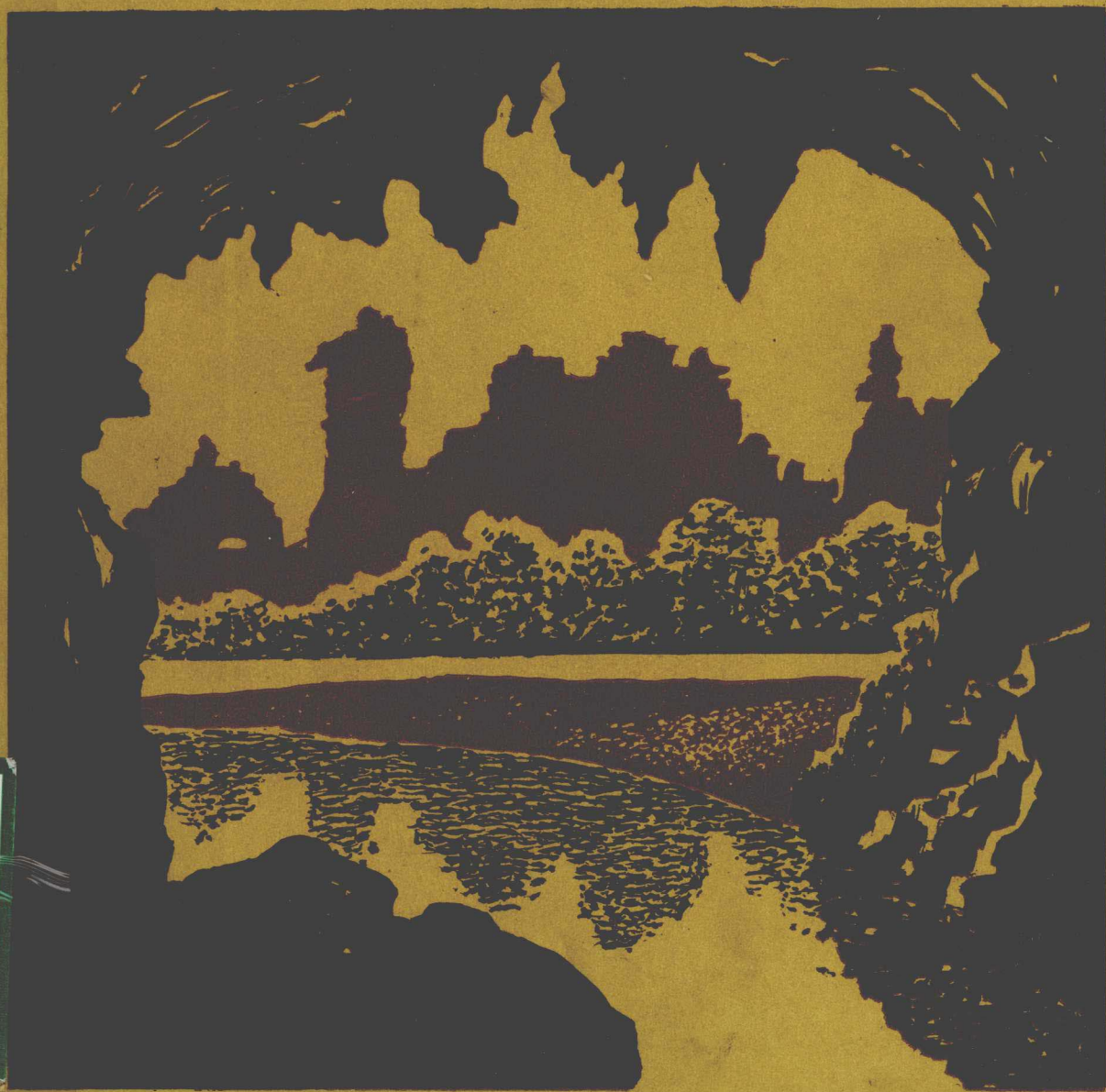


# 喀斯特地貌与洞穴

中国地理学会地貌专业委员会 编



科学出版社

# 喀斯特地貌与洞穴

中国地理学会地貌专业委员会 编

科学出版社

1985

## 内 容 简 介

本文集选辑了中国地理学会1982年10月在柳州召开的喀斯特地貌与洞穴学术讨论会的部分论文,共33篇。内容涉及喀斯特地貌、洞穴和喀斯特水文三个方面,论文中应用了数理统计、年代测定、沉积物环境分析、电镜、陆地水文、电模拟及地球化学等新方法和新技术。尤其是洞穴研究,近年来发展很快,论文的涉及面很广,这在我国还是第一次。

本文集可供地理、地质、水利、交通、工程建设部门和大专院校、科研、教育工作者参考。

## 喀斯特地貌与洞穴

中国地理学会地貌专业委员会 编

责任编辑 严梵琏

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1985年1月第一版 开本:787×1092 1/16

1985年1月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:0001—2,600 字数:332,000

统一书号:13031·2797

本社书号:3859·13—13

定 价: 3.40 元

## 序

我国在喀斯特(岩溶)方面的研究,近年来有较大发展,不但在地区上日益广泛,而且逐步采用了一些新技术、新方法,使研究深度逐渐提高,这个论文集主要包括喀斯特地貌、洞穴和喀斯特水文三个方面,并不是喀斯特学的全部内容,许多产业部门(如地质部、冶金部、建工部、煤炭部、水电部等)的重要研究成果也没有包括在内,但由此书可以看出我国喀斯特研究的一些进展。

我国是世界上热带喀斯特分布最广、类型最多的国家。热带喀斯特是近年来世界喀斯特学家注意的重要问题之一,英国斯威廷博士的“热带喀斯特研究新动向”一文,对于我国学者进一步深入研究热带喀斯特,具有重要意义。湖南道县是我国热带喀斯特的一个经典地区,明代末年,世界著名地理学家徐霞客,论述我国热带喀斯特的分布,“东起道县,西迄罗平”(云南),道县就是湖南道县,“道县喀斯特地貌分类与形成过程”一文内容虽然比较简略,但可以弥补这个热带喀斯特典型地区资料的不足,也是有意义的。广西“崬岗”是我国热带喀斯特地貌的一个特殊类型,“广西崬岗自然保护区地貌分区初考”帮助我们了解崬岗区地貌的一些特点,在喀斯特地貌学上有一定价值。

洞穴是喀斯特地区最显著的特征之一。桂林地区既是我国标准的热带喀斯特地区,又是世界闻名的旅游胜地,“桂林地区灰岩洞穴的某些特征”对桂林地区洞穴作了比较系统的论述,是很有意义的。

绝对年龄的测定是现代第四纪和地貌研究的一个重要进展。本论文集内关于洞穴沉积物的铀系法、 $^{14}\text{C}$ 等年代测定,代表我国这方面的一些发展。此外,如应用动力平衡研究盲谷形态,应用热力学分析探讨天然水侵蚀性,应用电模拟研究深部喀斯特的形成条件,以及探讨喀斯特水文的地球化学意义等,都是近年来我国喀斯特研究中的一些新进展。但必须指出,近年来世界喀斯特研究已广泛应用同位素(氧、碳同位素)分析,今后我国在这方面也必须组织力量,迅速赶上。这样,我们才能真正做到如外国某些喀斯特学家所期望的“世界某些喀斯特理论问题的解决,有赖于中国学者的工作”。

任美锬

1983年5月于南京

## 目 录

序 ..... 任美铸 i

### 喀 斯 特 地 貌

中国喀斯特地带性因素初探 ..... 陈治平 1

热带喀斯特研究新动向 ..... M. M. 斯威廷 9

盲谷形态动力平衡 ..... 包浩生 15

贵州高原喀斯特地貌结构及演化规律 ..... 杨明德 22

贵州河成石灰华的研讨 ..... 杨汉奎 朱文孝 黄仁海 30

对西藏喀斯特地貌的疑议 ..... 杨逸畴 39

柳州市喀斯特地貌的基本特征 ..... 唐民一 钱小鄂 张振行 曹良超 49

对峰丛洼地形态和演化的几点认识——以广西几个地区为例 ..... 朱德浩 谭鹏家 房玲昌 57

广西崮岗自然保护区地貌分区初考 ..... 李克因 65

道县喀斯特地貌分类与形成过程 ..... 陈灿荣 王光明 69

山东喀斯特地貌发育的几个问题 ..... 黄春海 赵建 李舒 75

石英砂表面结构的电镜扫描在喀斯特研究中的应用 ..... 黄云麟 82

路南石林石英砂表面微形态的分析 ..... 王雪瑜 87

### 洞 穴

崩塌在喀斯特洞穴和地貌发育中的作用 ..... 张英骏 96

洞穴沉积物铀系法年代测定 ..... 赵树森 刘明林 马志邦 102

我国东部洞穴与猿人生息关系的一些问题 ..... 黄万波 109

贵州独山神仙洞的沉积物放射性年代及发育历史 ..... 张寿越 赵树森 113

广西喀斯特洞穴时代的探讨 ..... 张永信 117

桂林地区灰岩洞穴的某些特征 ..... 朱学稳 汪训一 朱德浩 覃厚仁 123

桂林地区洞穴沉积物的  $^{14}\text{C}$  年龄 ..... 汪训一 陈先 130

川南兴文县天泉洞(袁家洞)、石林的发育和特征 ..... 杨世燊 135

川南袁家洞一带阳新灰岩洞穴成因初探(摘要) ..... 刘世青 140

皖南溶洞分布规律初探(摘要) ..... 孙毓飞 144

浙西喀斯特洞穴初步研究 ..... 周宣森 148

北京房山石佛洞硬肢马陆属一新种 ..... 张崇洲 154

周口店洞穴沉积物的粒度特征 ..... 徐建辉 157

我国喀斯特洞穴研究的进展 ..... 林钧枢 张耀光 164

## 喀 斯 特 水 文

喀斯特机理及天然水侵蚀性的热力学分析 .....	李宽良 173
pH 的喀斯特水文地球化学意义 .....	朱林华 184
深部喀斯特形成条件的电模拟研究 .....	李茂秋 194
海河流域晋东地区喀斯特河流水文初步分析 .....	汤育成 栾禄凯 201
湖南喀斯特及其分类 .....	李友贵 207
辽东半岛南部滨海喀斯特及其水文特征 .....	房金福 216

## 目 录

1. 喀斯特机理及天然水侵蚀性的热力学分析 .....	李宽良 173
2. pH 的喀斯特水文地球化学意义 .....	朱林华 184
3. 深部喀斯特形成条件的电模拟研究 .....	李茂秋 194
4. 海河流域晋东地区喀斯特河流水文初步分析 .....	汤育成 栾禄凯 201
5. 湖南喀斯特及其分类 .....	李友贵 207
6. 辽东半岛南部滨海喀斯特及其水文特征 .....	房金福 216

# KARST GEOMORPHOLOGY AND SPELEOLOGY

## CONTENTS

Preface ..... Ren Mei'e ( i )

### KARST GEOMORPHOLOGY

- Preliminary study of karst zonalizational factors in China ..... Chen Zhiping ( 1 )
- New work on tropical karst ..... M. M. Sweeting ( 9 )
- Dynamic equilibrium of blind valley morphology ..... Bao Haosheng ( 15 )
- Texture and evolution of karst geomorphology in Guizhou Plateau .....  
..... Yang Mingde ( 22 )
- Study of tufa in surface rivers of Guizhou .....  
..... Yang Hankui Zhu Wenxiao Huang Renhai ( 30 )
- Some discussions on karst geomorphology in Xizang (Tibet) ..... Yang Yichou ( 39 )
- Basic features of karst geomorphology in Liuzhou area .....  
..... Tang Mingyi Qian Xiaoe Zhang Zhenxing Cao Liangchao ( 49 )
- Some knowledges of morphology and evolution of Fengcong (Peak-Cluster) and  
depressions-taking some regions in Guangxi as example .....  
..... Zhu Dehao Tan Pengjia Fang Lingchang ( 57 )
- Preliminary zonalization of karst geomorphology in Longgang natural protect dis-  
trict of Guangxi ..... Li Keying ( 65 )
- Classification and origination processes of karst geomorphology in Daoxie .....  
..... Chen Canrong Wang Guangming ( 69 )
- Some problems of karst geomorphology development in Shandong Province.....  
..... Huang Chunhai Zhao Jian Li Shu ( 75 )
- Applications of the study of quartz sand grain surface textures with scanning elec-  
tron microscope in karst researches ..... Huang Yunlin ( 82 )
- Analysis of the microfeatures on the quartz sand grain surface in Lunan Stone  
Forest ..... Wang Xueyu ( 87 )

### SPELEOLOGY

- Effect of collaps on the development of karst geomorphology and caverns .....  
..... Zhang Yingjun ( 96 )
- Dating speleothems by the uranium series methods .....  
..... Zhao Shusheng Liu Minglin Ma Zhibang ( 102 )
- Some problems on the relation between Ape-man living and multiplying and  
Caverns in the East China ..... Huang Wanbo ( 109 )
- Speleothems radio-active dating and development history of Fairy cave in Dushan,

Guizhou .....	Zhang shuyue Zhao Shusen	(113)
Preliminary study on the ages of karst caves in Guangxi .....	Zhang Yongxin	(117)
Some characteristics of limestone caverns in Guilin area .....		
.....	Zhu Xuewen Wang Xunyi Zhu Dehao Tan Houren	(123)
<sup>14</sup> C dating of speleothems in Guilin area .....	Wang Xunyi Chen Xian	(130)
Development and characteristics of Tianquan cave (Yuanja Cave) and stone forest in Xingwen County, South Sichuan .....	Yang Shishen	(135)
Preliminary study on the origin of caverns in Yangxin limestone nearby Yuanja cave, South Sichuan (summary) .....	Liu Shiqing	(140)
Preliminary study on the distribution of caverns in South Anhui (summary) .....		
.....	Sun Yufei	(144)
Preliminary study of karst caverns in West Zhejiang .....	Zhou Xuansheng	(148)
A new millipede of the Genus Skleroprotopus in Stone Buddha cave, Fangshan County, Beijing .....	Zhang Chongzhou	(154)
The characteristics of cave deposit grain size in Zhoukoudian .....	Xu Jianhui	(157)
Progress of karst speleology study in China .....	Lin Junshu Zhang Yaoguang	(164)

## KARST HYDROLOGY

Karst mechanism and thermo-dynamic analysis of natural water erosion .....		
.....	Li Kuanliang	(173)
Karst hydrogeochemical significance of pH .....	Song Linhua	(184)
Electronic modelling of deep karst development .....	Li Maoqiu	(194)
Preliminary analysis of karst river hydrology in East Shanxi region of Haihe Drainage Basin .....	Tang Qicheng Luan Lukai	(201)
Karst development and classification of Hunan Province .....	Li Yougui	(207)
Coastal karst and hydrologic characteristics of South East-Liaoning Peninsular .....		
.....	Fang Jinfu	(216)

# 喀斯特地貌

## 中国喀斯特地带性因素初探

陈 治 平

(中国科学院地理研究所)

喀斯特的形成因素很多。首先是地质因素,它是喀斯特发育的基础。我国东部是以地台为主的地区,碳酸盐岩分布很广、厚度大而质纯。集中分布于广西、滇东、贵州、湘西、鄂西、山东及山西等省区。碳酸盐岩的岩性、岩组和变质程度的不同,使喀斯特形态发育具有很大的差异性。气候条件也是影响喀斯特发育的重要因素。相同的岩性在不同的气候带中会形成绝不相同的形态。例如桂林的融县组灰岩和华北的马家沟组灰岩,都是纯灰岩,相对溶解度也基本相同,但前者发育峰林,后者则与常态山地近似。所以喀斯特地带性规律是气候因素所造成的。新构造运动的特点和地貌发育阶段不同,也使喀斯特的特点发生差异,但只是丰富了不同气候带中的喀斯特类型。

关于中国喀斯特地带的划分,任美镔教授认为:按气候条件来说,包括热带、亚热带和温带三大类型,以及高寒地区(西藏)和干旱地区(新疆、柴达木等)喀斯特<sup>[1]</sup>。

《中国岩溶》图片集中以喀斯特作用性质来划分。分为溶蚀、溶蚀-侵蚀和溶蚀-构造等三个类型<sup>[2]</sup>。

《中国岩溶研究》中第一级区划也以气候为依据。分为热带、亚热带气候型,中温、暖温带亚干旱、亚湿润气候型,青藏高原湿润气候型和青藏高原及温带干旱气候型<sup>[3]</sup>。

各个气候带中都有特殊的喀斯特形态。热带喀斯特以峰林或峰林-洼地为特征。关于亚热带喀斯特,有的认为属喀斯特漏斗与丘陵<sup>[4]</sup>,有的则称丘峰-洼地<sup>[5]</sup>。温带喀斯特有人认为是以喀斯特漏斗与丘陵<sup>[4]</sup>为特征,有的则认为属喀斯特山地和旱谷<sup>[3]</sup>。干旱区域喀斯特的发育强度很弱。关于西藏喀斯特有人认为是热带峰林的残余<sup>[4]</sup>。也有认为是亚热带型喀斯特峰林和溶洞<sup>[5]</sup>,是半湿润亚热带喀斯特基础上受融冻作用的结果<sup>[6]</sup>。这些表明对我国喀斯特地带性的典型特征的认识很不一致,对它们成因的研究也尚属开始。本文将着重对形成喀斯特地带性的气候因素作一些探讨。

### 一、水热条件

温度和降水量是气候的主要因素,也是形成喀斯特地带性的最基本的条件。为了研究气候与喀斯特发育的关系,广泛开展了溶蚀速度的研究。卢耀如等同志提出了一个区域性的溶蚀速度值。广西中部为120—300毫米/千年,四川西部为40—50毫米/千年,河北西北部为20—30毫米/千年。广西中部的溶蚀速度约比华北大7—10倍,比长江流域大2—5倍<sup>[7]</sup>。有的则根据柯贝尔(Corbel, 1959)公式进行计算(表1),其主要结论与上

表 1 我国各地的喀斯特溶蚀速度

地 点	年降水量(毫米)	溶蚀速度(毫米/千年)
晋北朔县 <sup>[1]</sup>	400	10.7
辽宁金县 <sup>1)</sup>	600	24.1
济 南 <sup>[1]</sup>	650	29.91
三 峡 <sup>[6]</sup>	1200	60.0
贵 阳 西 <sup>2)</sup>	1200	44.54
云南罗平 <sup>[1]</sup>	1200	51.53
广西都安	1700	76.8
广西武鸣 <sup>[7]</sup>	1100	35.0
广西某地	?	79.0

1) 房金福, 辽宁金州地区喀斯特发育特征, 1980, 10。

2) 陈建庚, 黔中地区喀斯特地貌发育规律的几个问题, 1981, 11。

述基本一致, 即我国喀斯特的溶蚀速度从南向北降低。但所得出的溶蚀速度值较上述为小, 广西较华北大 3—7 倍。

柯贝尔公式中应用了径流深值。径流深与降水量有密切的关系, 而降水量资料更容易获得, 故有些作者根据已知的溶蚀速度值研究它与降水量之间的关系, 以便直接从降水量推测溶蚀速度。Engh (1980) 和 Lang (1977) 得出结论: 溶蚀速度与降水量之间为线性关系, 方程式为  $D_c = 0.0043R^{1.26}$ <sup>[17]</sup>。式中  $D_c$  为溶蚀速度,  $R$  为降水量。根据我国降水量与溶蚀速度值资料计算的结果与上述一致。但方程式为  $D_c = 0.0079R^{1.23}$  (图 1)。这些结论的总趋势是存在的。但喀斯特的发育因素很多, 各因素之间又相互制约, 因此单因

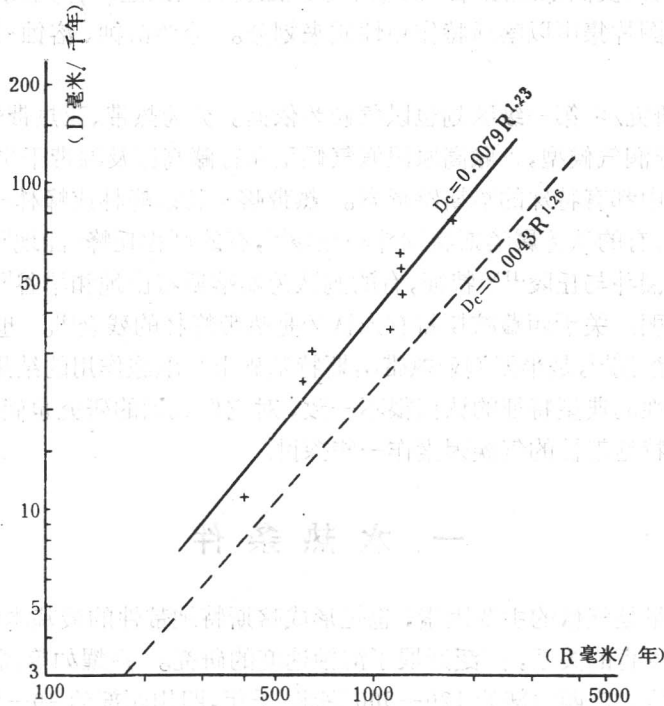


图 1 中国降雨量与溶蚀量关系曲线

(虚线为欧洲的关系曲线, 据 Leif Engh)

子的相关性往往不能完善地解释客观现象。例如浙江、江西、湖南等省的降水量与华南相差无几,大都在 1500 毫米左右,与峰林形成所需的降水量一致,但那里却没有发育峰林,溶蚀速度显然低于华南。我国东北北部的降水量与江淮地区接近,但喀斯特也不如江淮发育。又如南斯拉夫狄纳里克山的杜布洛尼克附近,年降水量达 5000 毫米以上,最大可达 8000 毫米,也没有发育峰林。说明喀斯特的发育强度不能只考虑降水量的多寡,它还深受温度和其它因素的影响。

我们还可看到,无论在华南或世界上,峰林集中分布在年平均温度 20℃ 以上的地区,即使降水量有所差异,只要保持湿润和岩性较纯的条件,峰林地貌的特征就具有一致性。例如广西都安降水量为 1700 毫米,而武鸣为 1300 毫米,计算的溶蚀速度值相差近一倍,但都属峰林。所以我们认为,在一定程度上温度决定着溶蚀作用的强度。卢耀如同志认为:温度的升高,加强了 CO<sub>2</sub> 的扩散作用,加速了化学溶蚀过程<sup>[7]</sup>。当然还应看到,同样在热带地区,在降水量 800 毫米以下的干燥和半干燥地区,也不可能发育峰林。所以我们认为温度是喀斯特发育的必要条件,它提供了一个可能的溶蚀限度。而降水量是喀斯特发育的工具,它的多寡限制着溶蚀作用的效果。降水量越多,可以使这一地区的溶蚀强度和当地温度所规定的溶蚀限度相一致。相反,即抑制着溶蚀过程的进行。两者互相依存,缺一不可。

各地溶蚀强度的差异,不仅地表如此,地下也是如此。我们先以喀斯特率来说明,钻孔中所遇到的洞穴或裂隙的长度占钻孔深度的百分数(表 2)。

表 2 我国不同气候带的喀斯特率

地 区	地 点	岩 性	喀斯特率	说 明
华 北	山西	马家沟组	2—3%	据钱学溥
	湘西南	栖霞与茅口组	4.4%	据 00934 部队
华 中	江西九江	石炭系-三叠系灰岩 夹泥灰岩	2.4—4.5%	据第三机械工业部第九 设计勘测大队
	湖北南部		8—11.4%	[8]
华 南	武鸣	泥盆、石炭、二叠系灰岩	19.2%	据刘金荣
	合山煤矿	合山系	14.1%	据董振国
	合山煤矿北矿	合山系	13.75%	据孙德璇等
		茅口阶	12.5—66.7%	
	贵州普定	白云岩	15%	据成都地质学院

从表 2 中可见,在山西地区钻孔中遇到的洞穴很少,以裂隙为常见,裂隙率仅 2—3%。而华中与华南则以洞穴为常见,尽管溶蚀裂隙远比华北发育,但已不是人们注意的对象。华中喀斯特率一般均在 10% 以下,仅及华南的一半或更小。这和溶蚀速度计算的结果相似。足证地下溶蚀速度也随温度和降水量减小而减少。地下洞穴的形态及地下河的流域面积亦有相应的变化规律。华南多地下洞穴,且以穹顶的溶蚀性洞穴为主。华中洞穴数量减少,溶蚀性穹形洞穴显著减少;且愈向北愈少。而裂隙性洞穴则向北增多。地下河流域面积也向北减小。广西碳酸盐岩面积为 9.5 万平方公里,据不完全统计有地下河 650 条左右<sup>1)</sup>。地下河多支流,流域面积大,平均流域面积达 150 平方公里左右。而贵州地下河的平均面积为 89 平方公里,四川为 69 平方公里,湖南仅 32 平方公里。在我国

1) 据广西水文工程地质队。

南方湿润地区,地下河平均流域面积的减小意味着地下排水强度的减弱,地表排水强度增加。华中地下河一般都分布在地表水系的支流上,长度大多仅数公里,即地下河以短而多特点,实则上只属裂隙性廊道性质。

我国喀斯特封闭洼地由南向北减少,而干谷在负地形中的比重却向北增加。从现象上看,负地形的形成与降水量及其强度有关,但实质上则为地下喀斯特形态及综合气候因素所决定。张之淦认为大型地下空洞的存在不可避免地会导致封闭的地表喀斯特形态的产生<sup>[9]</sup>。负地形的特征有赖于地下排水系统的排水能力。据“中国径流系数图”<sup>[10]</sup>,广西西部的径流系数为30—40%,湘西、鄂西南为50—60%。即降水量的渗漏强度在广西西部为60—70%,湘西、鄂西南为40—50%。三峡石牌附近<30%<sup>[11]</sup>,而山西娘子关泉域仅为17%左右。这些现象进一步证明地下河的排水能力由南向北减小。在华南,降水量的大部分是通过消水点快速地转入地下排泄的。以消水点为中心,逐渐演变成一个一个的洼地,消水点密度大,形成了蜂窝状的封闭洼地系统。在都安地苏地下河流域的北部及其西邻地区,封闭洼地的密度为每平方公里2.5个左右。华中地表排水量达降水量的一半有余。地下排水量减小,必然降低封闭洼地的密度,地表径流量增多,有利于地表河和干谷的形成。而华北则以地表水排泄为主,表示地下裂隙排水系统吸收地表水的能力很小,这样就产生了两大特点,即负地形以干谷为主;同时因渗漏速度慢,许多大泉的最大流量落后于降雨达数月,以至数年之久。例如济南的趵突泉为7个月,山西娘子关泉则长达7年之久。

喀斯特正地形的特点与负地形的密度息息相关。在华南封闭洼地的间距为100米至300米,大于500米者极少。这就使洼地之间的石峰直径很小,一般峰丛顶部石峰的直径为几十米至100多米,很少超过200米。这和桂林附近峰林的直径相似。华中正地形的宽度大为增加,例如江西彭泽县龙官洞一带洼地间距离可达500—1000米,每平方公里的洼地数为一个左右,华北干谷间的距离更大。负地形的密度犹如常态地貌中的切割密度。密度愈大,正地形坡度愈陡。密度减小,相应地山体比较完整,坡长延长,坡度变缓。

碳酸盐岩的性质不同,溶蚀强度也有很大区别。这也使得在地带性规律中形成非地带性的特点。

由此可见,我国喀斯特正负地形的地带性规律是十分显著的。温度决定了溶蚀的可能强度,降水量是溶蚀作用的工具。我国从南向北降水量的显著减少,起着抑制喀斯特发育的作用,扩大了地带性的差异。

## 二、寒冻作用

土壤的冻结限制着地表和地下的水文循环,使土壤层中的化学作用和生物作用几乎完全停止,不利于喀斯特的发育,这就显示了温度的主导作用。寒冻作用主要发生在寒温带及山地森林带以上地区,每年有半年以上的冰冻时期,甚至有永久冻土存在。因此它也是喀斯特地带性和垂直地带性的形成因素之一。

从华北向东北冻结期越来越长,到东北的北部降水量可达500—900毫米,森林茂盛,土壤为中性或微酸性,这些条件比华北优越,但喀斯特不如华北发育。主要原因是温度低,土壤结冻时间长,甚至有多年冻土分布。当然也会有一些溶蚀裂隙形成,例如伊春林

区发现有一长达 3 公里的裂隙水, 枯水流量仅 0.1 立方米/秒, 洪水流量为 0.46 立方米/秒。

我国西部高山的森林线以上大多为半湿润、半干燥或干燥山地, 降水量一般均不足 1000 毫米。是否存在喀斯特冰斗-漏斗、漏斗场等形态, 目前尚没有见到报道。

青藏高原为干旱的高原山区, 降水量仅 50—300 毫米, 是永久冻土区, 但温度日较差很大, 寒冻机械风化作用极为强烈, 由表及里的岩石剥落形成了低矮的溶冻岩丘、溶冻石芽和石柱等, 表面有很厚的机械风化层, 山麓有坡积裙。尽管降水量少和矿化度很高, 但在水的冻结过程中, 一些化学元素被析出, 故冻结水的矿化度很低, 所以它融解时也是矿化度较低的水, 富含  $\text{CO}_2$ , 故在碳酸盐岩表面可以看到一些溶蚀的痕迹。

### 三、覆盖层和生物作用

包括覆盖层的物理和化学特征、微生物和植物等作用, 它们的分布也与气候有密切的联系, 也具有地带性分布规律。它们在喀斯特的形成过程中起着十分重要的作用, 是一种间接的气候因素。

喀斯特地区的溶蚀作用是一个很显著的特点, 但不是喀斯特形成过程中的唯一的因素, 流水侵蚀作用依然十分重要。地貌特点和溶蚀速度表明, 随着湿热程度的降低, 溶蚀量减小, 而侵蚀作用的比例在增加, 两者比例的消长, 促进或抑制着喀斯特的发育。

在湿热的华南以化学风化作用为主, 即溶蚀作用占优势, 风化物为粘土。在纯灰岩区域, 酸不溶物含量小, 风化残余物质少。同时受暴雨的冲刷和搬运, 山坡裸露, 裂隙开敞。山麓缺乏崩积物和坡积锥。但在南岭以北地区, 机械风化作用的强度显著增加, 山坡上有岩石碎屑覆盖。华北和西北地区, 机械风化作用占主要地位。此外还有风成黄土和亚沙土的覆盖。这些风化碎屑物质往往堵塞裂隙, 减小地表水渗漏的强度, 是喀斯特发育的不利因素。

地表堆积物的化学特性也具明显的地带性。长江中下游以南为酸性土, 江淮间和藏南为中性土, 华北为中性及微碱性土, 藏北和西北为碱性土。在碳酸盐岩的溶蚀总量中, 土壤与碳酸盐岩接触面上的溶蚀作用占重要地位。溶蚀强度随土壤的 pH 值减少而增加, 列曼 (Lehmann H., 1970) 认为: 在热带, 土壤覆盖下的溶蚀量比温带地区为大<sup>[18]</sup>。我国的石芽主要分布在酸性土区域。愈往南方温度愈高, 雨量越多, 土壤的酸度愈大, 溶沟、石芽也愈发育。故广西石芽的分布远较湘西、鄂西和黔北为多, 而华北却很少。

在中性土中含有一定数量的  $\text{CaCO}_3$ , 在碱性土中  $\text{CaCO}_3$  可达饱和状态, 它是酸性溶液的中和者。碱性土还抑制微生物的活动和植物的生长, 是喀斯特发育的抑制因素, 是下伏碳酸盐岩的保护层。这也影响到喀斯特水中  $\text{CaCO}_3$  含量, 广西为 170 毫克/升, 而华北在 200 毫克/升以上, 即从南向北增加。这并不都是碳酸盐岩溶蚀所致, 这也和土壤中  $\text{CaCO}_3$  含量增加有关, 即由于  $\text{CaCO}_3$  环境背景值向北增加, 故华北实际碳酸岩溶蚀量远不能达到上述数字。

生物的作用对喀斯特发育有着重要的意义。生物气候是喀斯特研究中的一个理论课题。土壤中  $\text{CO}_2$  主要来自微生物的作用和植物的呼吸等, 有机质的分解和土壤中  $\text{CO}_2$  的含量均随温度的增高而增加, 这是喀斯特发育强度从热带向寒带减小的重要因素。生

物气候因素也是喀斯特垂直带发育的重要原因。同样,中、低山地带森林茂密,喀斯特发育强度远较中高山草甸和高山地带强得多。

## 四、古气候的变迁

现在的喀斯特主要是在燕山运动后期准平原的基础上发展起来的,因此第三纪以来由于地轴变动和新构造运动引起的气候变化,对喀斯特的发育有着深刻的影响。

早第三纪时我国属行星风系,与现在的季风环流系统很不同。当时华南大都属湿润热带气候;华北为亚热带气候,雨量较现在略多;华中与西北属亚热带稀树草原和荒漠气候。晚第三纪时,我国东部季风开始形成。华南基本上保持着湿热的气候,华中从干燥向湿润方向变化,华北则稍趋干燥,而西北和西藏的非地带性规律逐渐形成。第四纪时期,季风气候进一步加强,气候有所变冷,气候带南移,喀斯特的地带性和非地带性规律变得更加明显。气候的上述变化过程,使不同地带(地区)的喀斯特有着独特的发展过程。

### 1. 华南

整个第三纪时期的湿热气候,是峰林洼地形成和发育的有利条件。第四纪时期,摆动于热带和南亚热带之间,例如中更新世地层为砖红色,据动植物化石的特点显然比现在为热<sup>[12, 13]</sup>。即使现在,华南大部已属南亚热带的湿润气候,且干湿季明显。但年平均气温大部仍在 18℃ 以上,年降水量大部在 1300 毫米以上。仍能维持峰林洼地得以继续发展的条件。这是我国第三纪以来气候变化较小的地区,故华南喀斯特没有显著的多代性特征。

### 2. 南岭与秦岭之间

第三纪时期由半湿润向湿润气候发展,气温则稍有降低。与华南气候有着显著的差异,不利于峰林发育。在黔北、湘西<sup>[14]</sup>、鄂西<sup>[15]</sup>的各级剥蚀面上多干谷和漏斗,正地形均以缓丘为主。但早第三纪剥蚀面(鄂西期、矮寨山期)上的漏斗不如晚第三纪剥蚀面(山原期、石堤溪期)上普遍。例鄂西期召风台亚期漏斗密度为 4.5 个/平方公里<sup>[15]</sup>,而山原期剥蚀面上要多得多,宜昌落步踏达每平方公里 30 多个<sup>[1]</sup>。在湖南武陵山区,一般以第三级剥蚀面(800 米)喀斯特发育最普遍<sup>[16]</sup>。这与鄂西的山原期相当。良好的石芽发育也是这一剥蚀面的特征之一<sup>1)</sup>。第四纪时期,降雨量与华南接近,但喀斯特更不如华南发育,以干谷和峡谷为特征,地下河仍相当发育。故整个华中地区,呈现显著的喀斯特多代性的特点。

### 3. 华北

从第三纪以来气温和降水量逐渐降低,因此喀斯特发育强度越来越弱,发育最强的时期是北台期,其上分布着亚热带的缓丘洼地,最典型的是山西阳城县析城山顶和山东淄博西平洲分水岭等地,为一系列缓丘环绕的洼地。洼地中有孤立的缓丘和发育有次一级的洼地和众多的漏斗。在析城山顶平均每平方公里有漏斗 8—9 个(图 2),洼地底部有红土覆盖,其下基岩面上有石芽发育<sup>[1]</sup>。钱学溥同志认为这与华北平原新生代地层覆盖下的

1) 齐鑫华、甘枝茂,陕西秦巴山地区岩溶地貌的基本特征, 1979。

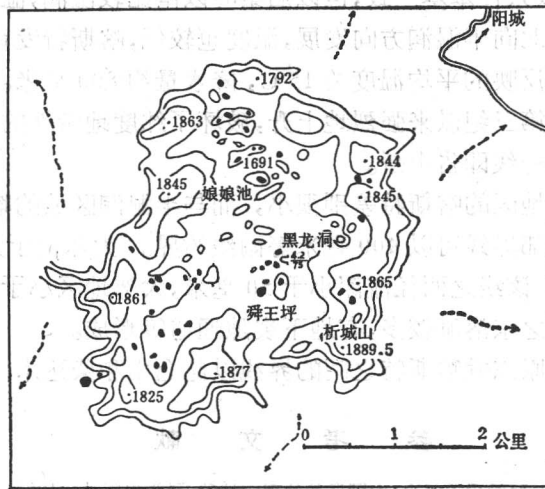


图2 山西省阳城县折城山北台期喀斯特夷平面(据钱学溥)

1—等高线; 2—孤山; 3—洼地; 4—漏斗; 5—溶洞; 6—干谷

古潜山喀斯特属同一类型,为同期产物。孔洞率可达5—10%。这些均和华中的喀斯特相似,说明在老第三纪时华北的气候相当于亚热带气候,与华中的气候差异很小。晚第三纪华北的气候与现在亚热带的北界气候相似<sup>[47]</sup>。在唐县期剥蚀面上还可看到零星的缓丘地貌。第四纪时期碳酸盐岩构成的山地形态与常态山地类似。可见华北从第三纪以来气候变化非常显著,喀斯特的多代性也最为明显。

#### 4. 西北干旱地区

本区的气候,从第三纪以来是最稳定的地区之一,一直处于干旱气候条件下,始终是喀斯特几乎不发育的区域。

#### 5. 西藏高原

始新世时古地中海退出西藏,当时藏南属热带气候。上新世时至少已上升至1000米的高度,相当于半湿润的亚热带气候,至现在已上升到4500米以上,是我国第三纪以来气候变化最强烈的地区。那里现在发育着强烈冻融作用所形成的特殊的喀斯特类型。

## 五、中国喀斯特地带性的界线

我国喀斯特是在燕山运动后期准平原的基础上发展起来的,喀斯特地带性的特征是多种因素作用的产物,但其中主要是气候因素。它是在我国东部季风气候形成与发展中形成的,即肇始于晚第三纪。当然也有早第三纪气候的烙印,更重要的是与晚第三纪以来的气候特点及其变迁有关。所以地带性界线有的和现代气候带接近,有的却相差甚远。

华南热带喀斯特的北界,以峰林北界为依据,大体位于南岭北麓一线。

亚热带和温带喀斯特的界线可以秦岭—淮河为界,与现代气候界线一致。早第三纪

时,秦岭南北喀斯特形成条件基本一致,但以后秦岭以南比较湿润,温度亦高,保持着较高的溶蚀强度。而秦岭以北向半湿润方向发展,温度也较低,喀斯特发育强度显然比秦岭以南低得多。这条界线所反映的平均温度为 $15^{\circ}\text{C}$ ,降水量约800毫米。以缓丘为特征。

由于我国西部从晚第三纪以来强烈地上升,破坏了纬度地带性的规律,亚热带喀斯特界线延伸至雅安—昆明一线即告中断。

半干燥地区和干燥地区的喀斯特差别很小,而与半湿润区域的喀斯特的差异较大。温带半湿润喀斯特的西部界线可以400毫米等雨线为界。大体位于大兴安岭西部、燕山北部及大同、西安一线。该线之西径流深小于50毫米,大部地区小于5毫米,是喀斯特几乎不发育的地区。该线之东溶洞较多,有地下裂隙通道等形成。

干燥区域与西藏高原冻融喀斯特之间的界线以昆仑山和柴达木盆地南缘山地为界。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会,中国自然地理 地貌,科学出版社,1980。
- [2] 中国地质科学院水文地质工程地质研究所,中国岩溶(图片集),上海人民出版社,1976。
- [3] 中国科学院地质研究所岩溶组,中国岩溶研究,科学出版社,1979。
- [4] 中国地理学会地貌专业委员会编辑,中国地理学会一九七七年地貌学术讨论会论文集,科学出版社,1981。
- [5] 王乃梁,构造地貌,中国自然地理 地貌,科学出版社,1981。
- [6] 杨逸畴,对西藏喀斯特地貌的疑议,本论文集。
- [7] 卢耀如等,中国岩溶(喀斯特)发育规律及其若干水文地质工程地质条件,地质学报,55卷1期,1973。
- [8] 湖北第一地质大队,湖北几个隐伏岩溶类型矿床主要水文地质问题的研究,岩溶类型矿区水文地质选辑,地质出版社,1978。
- [9] 张之淦,白云岩喀斯特发育的某些类型,第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编,第2辑,中国工业出版社,1966。
- [10] 中国科学院中国自然地理编辑委员会,中国自然地理 地表水,科学出版社,1981。
- [11] 陈文俊等,中国南方岩溶地下水,地质学报,2期,1981。
- [12] 林钧枢、张耀光等,广西武鸣盆地岩溶发育的古地理因素分析,地理学报,37卷2期,1982。
- [13] 陈治平等,桂林盆地的岩溶发育史,地理学报,35卷,4期,1980。
- [14] 黄培华,湘西喀斯特地貌,全国喀斯特研究会议论文集,科学出版社,1962。
- [15] 景才瑞等,论湖北岩溶地貌,华中师范学院学报,1981,第2期。
- [16] 湖南师范学院地理系,湖南农业地理,湖南科学技术出版社,1981。
- [17] 斯维廷, M. M. 喀斯特与气候,地理译报,1982。
- [18] Lehmann H., 1970, Kegelkarst and Tropengrenze, Tübinger Geogr. Stud., 34, 107—112。

# 热带喀斯特研究新动向

M. M. 斯威廷

(英国 牛津大学)

区别热带喀斯特和其他喀斯特是极为困难的,但这种区别却有助于研究热带地区喀斯特的发育过程。世界上较为寒冷的地区的喀斯特景观,深受包括冰川在内的气候变化的影响,已大大改变了喀斯特地形的性质。热带喀斯特地区当然也在气候控制之下,可我们刚刚开始认识到这些变化的范围<sup>[1]</sup>。由于在热带和亚热带地区石灰岩的比例很高,喀斯特成为一种暖温带和热带现象<sup>[2]</sup>。

与深受冰川和冰冻作用影响的寒冷地区相比,较为温暖和植被良好地区喀斯特的特点往往是封闭洼地很发育。威廉姆斯在识别多边形喀斯特时,发现了暖温带喀斯特(如南斯拉夫和新西兰)和热带喀斯特之间的相似性;他坚持认为多边形喀斯特不是特殊气候带类型的特征,而仅仅是喀斯特发育中的一个阶段<sup>[3]</sup>。然而毫无疑问,锥状喀斯特和塔状喀斯特今天在湿润和森林化热带地区占主导地位;部分原因是没有霜冻作用。

威廉姆斯论述了多边形排水盆地的成因模式。冈恩研究了新西兰北部多边形喀斯特盆地的水文学<sup>[4]</sup>。最近陈治平等在贵州的工作说明了多边形喀斯特与这种水文学的关系<sup>[5]</sup>。然而,并不是所有多边形喀斯特都符合威廉姆斯所提出的发育模式<sup>[3]</sup>;在波多黎各和牙买加的工作证明:原先发育的流水网,后因喀斯特作用的破坏而形成封闭洼地(封闭洼地不是原形)。事实上多边形喀斯特网的发育也许是非常复杂的,这就需要我们作大量的研究工作,才能了解它的发育阶段以及与每一发育阶段有关的水文学。

热带喀斯特景观千姿百态。戴研究了影响它们发育的各种因素,如石灰岩的强度和碳酸盐的含量。他认为决定喀斯特地形类型最重要的因素是石灰岩的机械强度(或硬度),而不是石灰岩的化学成分或碳酸盐的含量;碳酸盐岩的结构也是很重要的因素<sup>[6]</sup>。他把热带喀斯特分成传统的三种类型:

I类:干谷和斗淋喀斯特

II类:灰岩盆地或锥状喀斯特

III类:塔状喀斯特

戴宣称,这些地形类型是根据岩石硬度来划分的,斯密特(Schmidt)锤测出的硬度如下:

I类:斯密特锤的读数  $R = 32.5$

II类:斯密特锤的读数  $R = 35.2$

III类:斯密特锤的读数  $R = 37.6$

各种喀斯特地形的发育,很大程度上受到与石灰岩有关的断裂和断层类型的影响。对沙捞越穆卢地区梅林奥石灰岩地质构造和小构造的详细研究表明,这些因素控制地下水文学和洞穴成因的程度<sup>[7]</sup>。