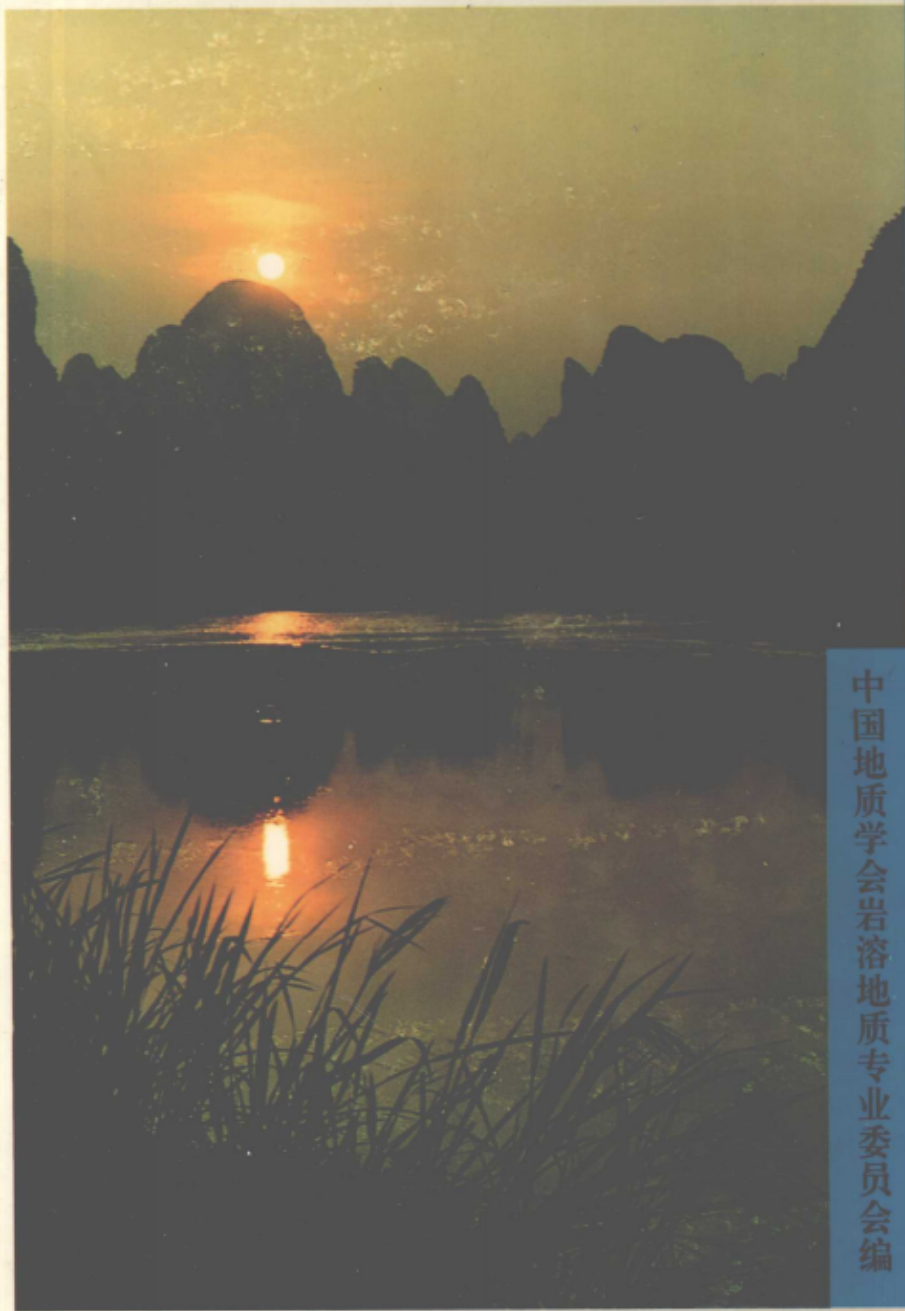


岩溶与人类生存、环境、资源和灾害

中国地质学会岩溶地质专业委员会编



● KARST AND HUMAN
● SURVIVAL,
● ENVIRONMENT,
● RESOURCES,
● AND HAZARDS

西师范大学出版社

责任编辑 余鑫晖 肖向阳
封面设计 廖幸玲
封面摄影 杰显义

ISBN 7-5633-2199-3



9 787563 321995 >

ISBN 7-5633-2199-3/P · 013

定价: (平)15.00 元
(精)25.00 元

57.156
YDX

57.156
YDX

谨以此书献给第三十届国际地质大会
Dedicated to the 30th International Geological Congress

岩溶与人类生存、环境、资源和灾害
KARST AND HUMAN SURVIVAL, ENVIRONMENT,
RESOURCES, AND HAZARDS

中国地质学会岩溶地质专业委员会编
(Edited by Karst Geology Commission, Geological Society of China)

主编 袁道先 谢云鹤
Chief Editor Yuan Daoxian Xie Yunhe



广西师范大学出版社
Guangxi Normal University Press

内 容 简 介

这本文集是中国地质学会岩溶地质专业委员会选编献给第30届国际地质大会的。共选收论文20篇,内容包括岩溶学的一些基本理论问题和与国民经济密切关系的一些实际问题的论述,探讨了涉及资源、环境和灾害等岩溶分支学科中的主要问题。一些研究成果是首次发表的。文集可供地质院校师生和从事岩溶工作的科学工作者参考。

(桂)新登字 04 号

岩溶与人类生存、环境、资源和灾害

Karst and Human Survival, Environment, Resources, and Hazards

中国地质学会岩溶地质专业委员会编

主编 袁道先 谢云鹤

责任编辑:余鑫晖 肖向阳 封面设计:隋 言 王 荣

广西师范大学出版社出版发行 邮政编码 541001

(广西桂林市中华路36号)

中国有色金属总公司矿产地质研究院印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16

印张:11.5 字数:279千字

1996年6月第一版

1996年6月第一次印刷

印数:0001—1200册

ISBN 7-5633-2199-3/P·013

定价: (平装) 15.00 元
(精装) 25.00 元

前 言

1996年8月,将在北京举行第三十届国际地质大会,这是全球地质学界的一次奥林匹克盛会。作为发展中国的中华人民共和国,能够获得主办这种最高层次的国际学术会议,无疑是一项光荣的使命。我国政府十分重视这次会议的组织和准备,李鹏总理亲自担任荣誉委员会主席。作为会议主办单位之一的中国地质学会及其二级学术组织,理应为大会作出自己的贡献,其准备工作可沿溯至1993年以前。

1995年6月中国地质学会水、工、环境系统的四个专业委员会(水文地质、工程地质、环境地质、岩溶地质等专业委员会)和IAH中国国家委员会,在河北省正定联合举行了“地学与人类生存、环境、自然灾害”学术讨论会。参加这次学术会议的各专业委员会负责人(主任委员、副主任委员、秘书长)讨论议定共同编辑出版这次会议学术论文集。除此之外各专业委员会可根据自己的学术领域出版专业性学术专著性论文集,以反映我国在这一领域中的研究现状和学术水平……这便是岩溶地质专业委员会编辑、广西师范大学出版社出版这册题为《岩溶与人类生存、环境、资源和灾害》论文专集的缘故。

中国岩溶因其得天独厚的地质地理条件而分布广泛、类型齐全、发育充分、保存完好,为世界其他国家所不及,堪称世界之冠。岩溶研究历史可追溯至纪元以前。山海经、水经注及徐霞客游记等均有关于岩溶的描述记载。我国岩溶总面积达344.3万 km^2 ,其中裸露型岩溶达90.7万 km^2 ,在这片土地上居住着1亿多中华儿女,他们战天斗地,谱写和创造自己光明的未来……然而喀斯特地区毕竟生态环境脆弱,山多田少,石多土少,自然灾害频繁,人地关系紧张,是我国重点脱贫地域之一。党和国家十分重视岩溶地区的研究和开发工作,1976年组建了世界唯一的“岩溶地质研究所”,1978年中国地质学会建立了“岩溶地质专业委员会”。近20年来,我们出版了一大批专门学术著作,开展了一系列学术活动,取得了良好的社会效益,为岩溶地区的国土整治、脱贫致富,提供了地质依据。

《岩溶与人类生存、环境、资源和灾害》一书的征文自1994年12月

始至1995年12月止,得到了专业委员会委员们的积极支持。本书所收集的20篇论文有一半以上是专业委员会的委员撰写或由他们组织撰写的。论文作者中有1/3是中青年学者,他们将在21世纪挑起“继承、发展、开创”岩溶研究的重担。

本书由袁道先院士和谢云鹤高级工程师主编。本着文责自负的原则,编者只作文字的一般修正,以保持每位作者的语言习惯、文字风格及科学记述和论证方式,极力避免千篇一律的八股调。外文摘要的译审由袁道先主编亲自把关。王福星、李彬、林玉山等同志承担部分外文摘要的翻译工作。

岩溶地质专业委员会的挂靠单位——中国地质科学院岩溶地质研究所为本书的出版提供了各种方便条件。绘图室的同志为本书清绘了全部插图。

广西师范大学出版社十分热情地承担了本书的出版工作。

对为本书提交论文的作者,对积极支持本书出版而辛勤劳动的同志们、先生们表示诚挚的衷心的感谢!

本书的出版经费,主要由岩溶地质专业委员会委员单位提交的学术活动资助费和岩溶专业委员会积存的出版基金解决。

预祝第三十届国际地质大会圆满成功!

愿全世界地学工作者友谊长存!

中国地质学会岩溶地质专业委员会

1996. 3. 15

目 次

中国岩溶.....	袁道先等(1)
中国岩溶地区地质——生态环境演化趋势类型及其判别要素	卢耀如等(12)
鄂西清江流域岩溶水系统的划分及其研究意义	沈继方等(28)
岩溶系统碳循环及其环境效应	杨立铮等(34)
中国北方半干旱区岩溶形成、演化中的环境信息研究.....	陈鸿汉等(44)
洞穴沉积物氧同位素计温及古气候记录的研究	覃嘉铭(55)
岩溶区碳循环与大气 CO ₂ 的源汇关系	李 彬等(64)
桂林盘龙洞石笋地质时代与环境	林玉石等(71)
碳酸盐岩土壤 CO ₂ 的动态特征及其对溶蚀作用的驱动	徐胜友等(82)
论古岩溶建造——以桂林岩溶区为例	张美良等(91)
岩溶地球化学的野外研究方法及其实测实例	何师意(98)
桂林白垩纪古岩溶形态研究.....	张美良等(104)
湖南岩溶地下水.....	李国芬(111)
中国岩溶区人与自然协调共生的地学对策.....	郭纯青(117)
岩溶危害的防治.....	陈国亮(122)
岩溶地区水库坝址防渗帷幕研究.....	邹成杰(135)
唐山市岩溶塌陷机制及防治对策.....	刘启仁等(146)
碳酸盐岩区大型水库蓄水引发的岩溶塌陷地震 ——以湖北清江隔河岩水库为例	沈继方等(154)
徐州市区岩溶塌陷规律研究.....	韩宝平等(163)
岩溶地面塌陷的稳定性评价与预测.....	贾秀梅(172)

CONTENTS

Karst of China	Yuan Daoxian et al(10)
The evolutionary trend types and their assessment factors of geocological environments in karst regions of China	Lu Yaoru et al(27)
Karst water systems and its significance in Qingjiang river basin of western Hubei, China	Shen Jifang et al(33)
Carbon cycle of karst system and its environmental effect	Yang Lizheng et al(42)
Research on environmental information of karstification and its evolution in the North China	Chen Honghan et al(54)
Studies on Oxygen isotopic thermometry of cave sediments and paleoclimate records	Qin Jianming(62)
Relationship between carbon cycle in karst areas and CO ₂ source-sink atmosphere — Case of Guizhou Karst	Li Bin et al(70)
Geological age and paleo-environmental records of a stalagmite from the Panlongdong Cave, Guilin	Lin Yushi et al(80)
The CO ₂ regime in soil profile and its drive to dissolution in carbonate rock area	Xu Shengyou et al(89)
Preliminary discussion on paleokarst rock formation — illustrated by karst formation in Guilin	Zhang Meiliang et al(97)
Field research methods for karst geochemistry and some examples	He Shiyi(103)
Study on the paleokarst forms of Cretaceous period in Guilin, Guangxi	Zhang Meiliang et al(110)
Karst groundwater in Hunan province	Li Guofeng(116)
On geoscience countermeasures for coordinative development of human with nature in karst region of China	Guo Chunqing(120)
prevention and control of karst disasters	Chen Guoliang(134)
Research on watertight curtain of dam sites in karst area	Zou Chengjie(144)
The mechanism of karst collapse and the way for its prevention and mitigation in Tangshan	Liu Qiren et al(153)
The earthquake due to reservoir induced karst collapse in the carbonate rock area	Shaen Jifang et al(162)
Study on occurrence features of karst collapse in Xuzhou city	Han Baoping et al(171)
The assessment on the stability and prediction of karst land collapse	Jia Xiumei(177)

中国岩溶*

袁道先 李彬 刘再华

(中国地质科学院岩溶地质研究所)

提 要 中国岩溶在世界上具有很特殊的地位,这是由以下几个条件所决定的:(1)三叠纪前的坚硬碳酸盐岩;(2)经历了新生代以来的强烈抬升;(3)从未受到大陆冰盖的刨蚀作用;(4)良好的水热配套条件(夏天湿热,冬天干冷)。通过中国不同气候、不同地质条件下的观测点的观测,揭示了岩溶作用(溶蚀或沉积)与全球碳、水循环的关系。对洞穴中的脊椎动物和人类化石也进行了广泛研究。通过岩溶沉积物的加速器质谱 ^{14}C 测年及其他方法的综合运用,揭示了中国南方末次冰期以来的高分辨率(100年)的气候变化过程。中国的大多数能源,如煤、石油和天然气、水能,都受到岩溶地质的影响。中国的地下水资源有四分之一强来自岩溶含水层。较薄的土层和地下排水网的发育已使中国岩溶区环境脆弱。石漠化作用则是导致岩溶区贫困的主要原因。据报道,在中国已发生了具有较大破坏性的岩溶塌陷738处。

关键词 中国岩溶 形成条件和机制 全球碳、水循环 岩溶水 岩溶与能源 岩溶环境

1 中国岩溶的特色

中国大陆的岩溶,以发育在碳酸盐岩地区的为主,含裸露、覆盖、埋藏三个类型在内,其总面积为344.3万 km^2 ,其中裸露型岩溶面积为90.7万 km^2 (图1)。

与全球各主要岩溶区比较,中国大陆岩溶由于碳酸盐岩古老坚硬,新生代大幅度抬升,未受末次冰期大陆冰盖刨蚀,和东亚季风区水热配套等有利条件而具有很大特色。

在中国大陆,除西藏地区有较多的侏罗、白垩系碳酸盐岩外,大多为三叠系以前的古老坚硬的碳酸盐岩。各时代的石灰岩的孔隙度都在2%以下,白云岩的孔隙度一般不到4%,抗压强度都在1000 kg/cm^2 以上,而在国外主要岩溶区,如澳大利亚南部,伦敦盆地、巴黎盆地、中美洲等地,其分布最广的是中新生界碳酸盐岩,成岩程度较差,孔隙度较高。如加勒比海地区的第三系碳酸盐岩,石灰岩的孔隙度一般为16%左右,而白云岩的孔隙度高达31%~44%。我国大陆主要岩溶区碳酸盐岩物理力学性质的这个特点,给岩溶发育和岩溶形态以重要影响。在地表造成了南方平地拔起的峰林地形,在地下则为上千条地下河和巨大的地下洞厅提供了坚硬的支撑骨架(图2)。但是在气候条件相近的东南亚,加勒比海地区,虽然也有类似的峰林地形,但其形态终因岩性较松软,而远不如中国南方岩溶那样巍然挺拔,通常表现为低矮、圆缓的馒头

* 国家自然科学基金,地质矿产部“八五”重点基础项目,IGCP299,379资助。

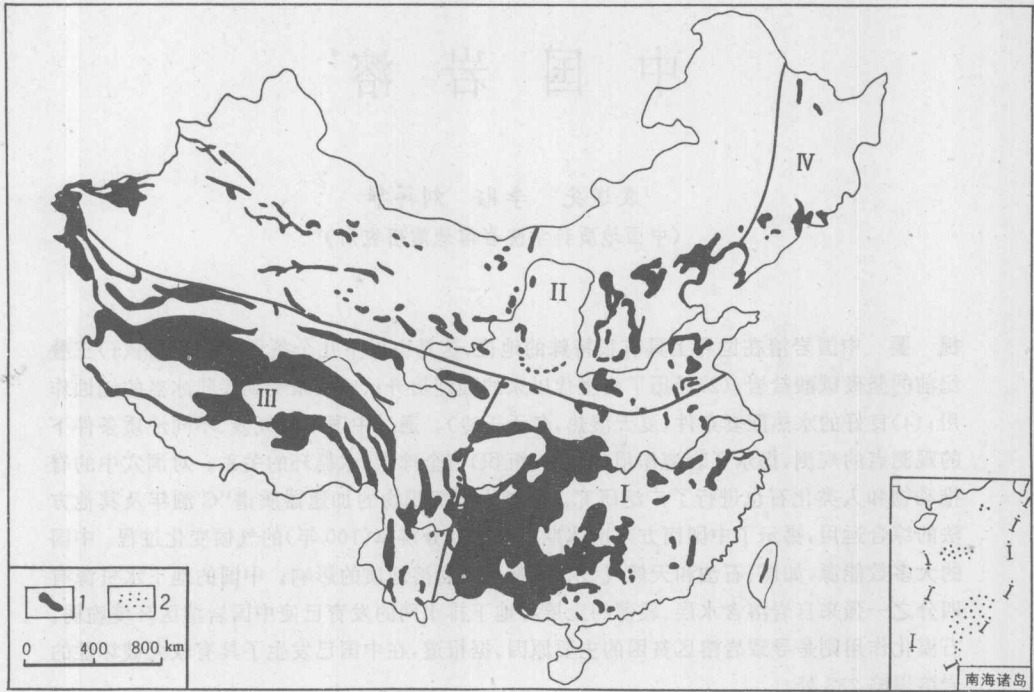


图1 中国裸露型岩溶,及大陆主要岩溶类型分布图

1. 碳酸盐岩; 2. 珊瑚礁.

I. 亚热带岩溶; II. 干旱、半干旱区岩溶; III. 高山岩溶; IV. 温带半湿润区岩溶

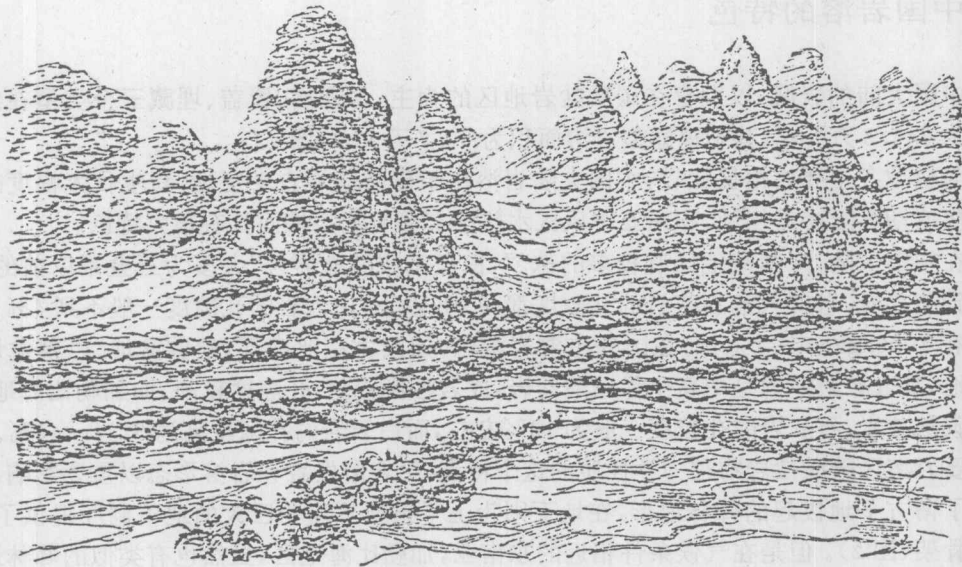


图2 桂林漓江两岸的峰林地形

状峰林。岩性坚硬也为我国岩溶地区发育和保存丰富多采的微小岩溶形态(溶痕、溶盘、边槽、具窝等)提供了良好基础。

在中国大陆,尤其是其西部由于新生代以来大幅度的抬升,不但造成了雄伟的岩溶地形,而且使得各个时代发生的岩溶形态被陆续抬升到不同的高度上,加上岩石坚硬,保存了历史跨度最长,连续性最好的岩溶系列,而在有的岩溶地区,如中国的南沙群岛,墨西哥的尤卡坦半岛,上升幅度还在第四纪冰期间冰期引起的海平面变化幅度之内,其所记录的岩溶发育史和古环境的变化,大多是晚更新世以后发生的事件。最早的也仅能回溯到早更新世。

中国大陆东部新华夏系构造隆起带和沉降带相间分布的基本格局,也对中国岩溶有重要影响。它造成了中国东部裸露型岩溶与埋藏型岩溶(埋藏在非可溶基岩下的岩溶),和覆盖型岩溶(被松散沉积物覆盖的岩溶)交替分布的特点,并对碳酸盐岩油气田分布有重要影响。在贵州高原东北部及四川盆地东南部的裸露型岩溶区,由于北东向坚密褶皱,加上碳酸盐岩中常有非可溶岩夹层,以致各种岩溶形态,包括峰林、洼地、落水洞、地下河、洞穴等,都呈北东向分布或延展,成为我国一个独具特色的岩溶区(图3)。

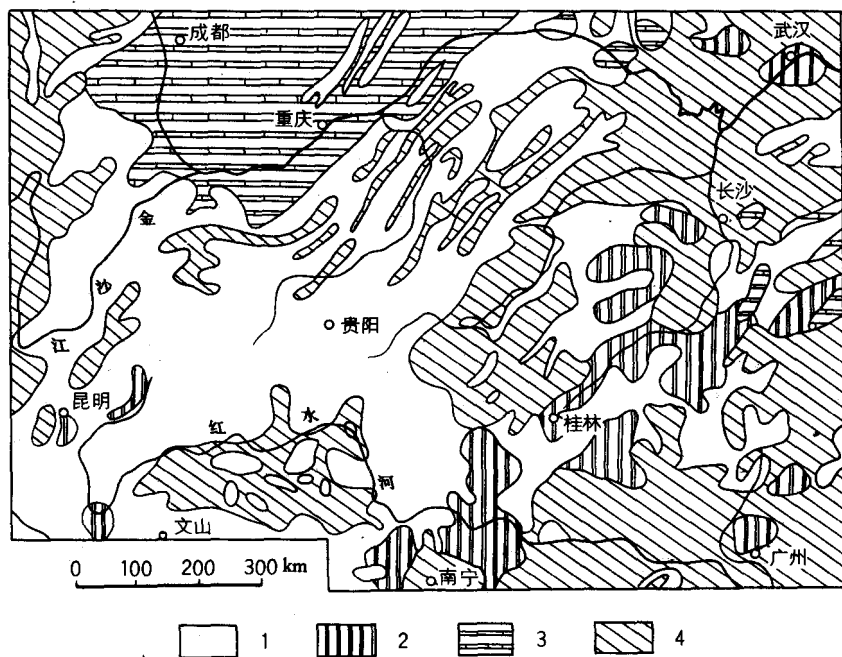


图 3 中国西南部岩溶和类型分布图

1. 裸露型岩溶; 2. 覆盖型岩溶; 3. 埋藏型岩溶; 4. 非可溶岩

欧洲和美洲北部岩溶区大多遭受过末次冰期大陆冰盖的刨蚀。如英国中部的约克郡(北纬54°附近),虽有大片石炭系灰岩,但地表岩溶形态,仅有末次冰期以后,即1万多年来发育在冰溜面上的溶沟、溶痕、溶盘和浅碟形洼地。冰期以前的岩溶均被刨蚀无遗。中国大陆的冰盖问题,除西藏高原还有不同看法外,一般认为东部主要岩溶区均未遭受过第四纪大冰盖的影响。加上新生代的大幅度抬升,岩石坚硬,使其堪称世界上信息量最大的岩溶档案馆。

地中海周边是世界上最重要的岩溶区之一。但那里的气候水热配套不好(夏干冬湿),虽然夏季融雪水有利于地下巨大洞穴的发育,但物理风化作用使地表岩溶形态大为逊色。相反,我国大陆的东亚季风水热配套很好(夏湿冬干),夏季的雨水既然能在地表也能在地下进行强烈

的化学溶蚀,特别是在南方,造成了地表峰林地形和地下河系配套的亚热带岩溶。

在我国大陆,青藏高原和秦岭大别山构成的基本地形、气候格局,导致了南方湿热区岩溶、北方干旱半干旱区岩溶和西南部高山岩溶三种优势岩溶类型鼎立的局面(图1)。它们各有其特定的岩溶形态组合。这种组合是指的一些形成环境相近,互相配套的,由宏观和微观的、地表的和地下的、溶蚀和沉积岩溶形态构成的组合。

南方热带亚热带岩溶,是由峰林地形,大量的洼地,尤其是深切的多边形洼地,尖深的溶痕、红土、洞外钙华,以及许多大型洞穴,地下河系,洞内多种流水溶蚀小形态,高大的次生碳酸钙沉积等岩溶形态配套为其主要特征。

北方干旱、半干旱地区岩溶,则以常态山、干谷、微小溶痕、石灰岩质岩锥、黄土覆盖、岩溶大泉,及较少的洞穴和洞内溶蚀沉积形态等配套为其主要特征。

我国西部高山岩溶以各种冻蚀形态,如小石峰、天生桥、石坪、石灰岩质岩锥,以及岩溶泉为主要特征(图4),在活动断裂带的岩溶热泉口常有大量钙华,伴随大量 CO_2 释放。

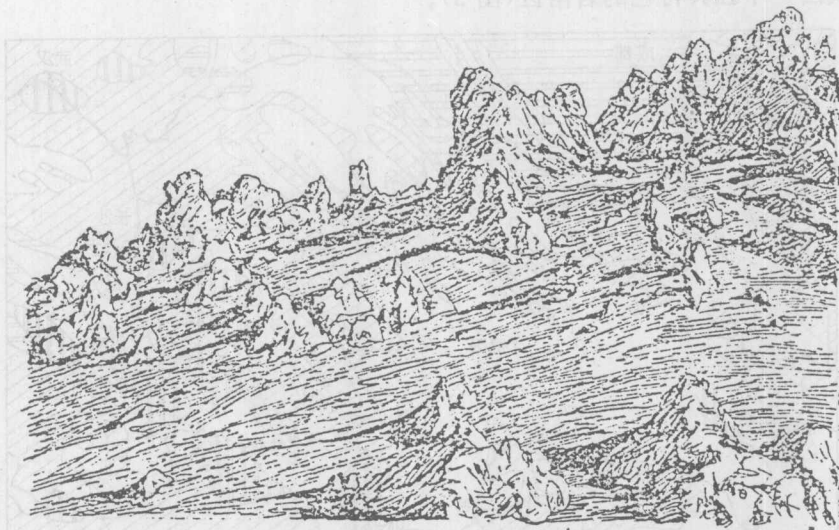


图4 四川松潘黄龙,以冻蚀小石峰、石灰岩质岩锥为特征的高山岩溶

2 中国岩溶形成机理研究

现代岩溶学把岩溶作用放到地球系统的岩石圈、水圈、气圈、生物圈界面上的碳循环及与之耦联的水循环、钙循环过程中研究,以揭示岩溶形成机理。我们把 $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_3^{2-}$ 三相不平衡开放系统称为岩溶动力系统。较多的 CO_2 进入该系统,形成较多的碳酸,将导致溶蚀作用加强;反之,较多的 CO_2 由系统中逸出,使岩溶作用向沉淀方向偏移。这个系统对环境的反映十分敏感。如大气 CO_2 浓度,包括光合作用在内的各种生物作用,水流的状态,包括其深浅、温度、流速等,都会改变岩溶作用的强度、方式甚至方向。因此,只有通过野外定位观测,掌握我国不同自然条件下岩溶动力系统特征,才能揭示岩溶作用机理。

1981年开始,对北起伊春、南到广州、东起日本秋吉台,西至格尔木的13个位于不同自然条件下的岩溶区进行了石灰岩溶蚀速度观测。1989年开始,又使用便携式 CO_2 气体测定仪、温度自动补偿 pH 计、 HCO_3^- 测定仪对七个点的岩溶动力系统的碳、水、钙循环与岩溶作用关系

进行了定位观测(图 5)。

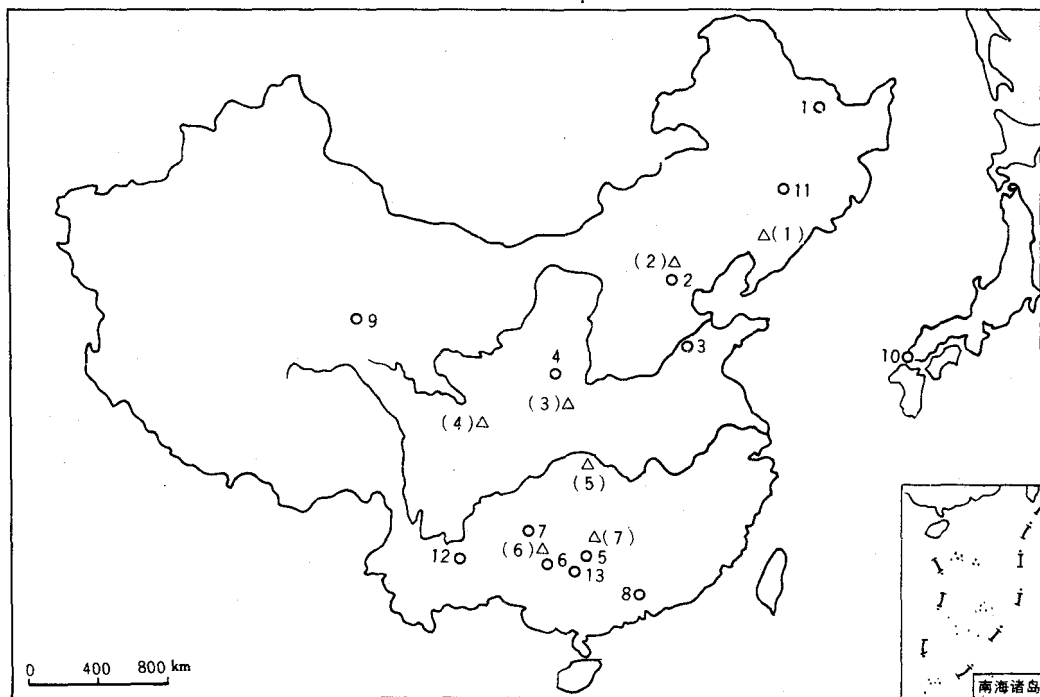


图 5 岩溶动力系统观测点分布图

岩溶动力系统观测点: (1)太子河; (2)北京; (3)镇安; (4)黄龙; (5)长阳; (6)荔波; (7)桂林
 石灰岩溶蚀速度观测点: 1. 伊春; 2. 北京; 3. 济南; 4. 彬县; 5. 桂林; 6. 环仁,
 7. 贵阳; 8. 广州; 9. 格尔木; 10. 秋吉台(日本); 11. 长春; 12. 昆明; 13. 柳州

观测结果从不同角度揭示了中国岩溶形成机理。如石灰岩溶蚀速度观测结果表明,溶蚀强度与降水量的大小关系最密切(图 6),而且在土下,由于生物 CO_2 的介入,其溶蚀作用比空气中强得多,但广州地区由于土层粘性很重,透气性不好,土下溶蚀反而比空气中弱。北京等半干旱地区,由于蒸发量比降水量高得多,土壤水易达饱和,土下溶蚀量不但小于空气中,而且往往有方解石沉淀。

岩溶动力系统的定位观测更加深刻地揭示了我国岩溶作用机理。如陕西镇安鱼洞地下河,夏季 pH 降低, HCO_3^- 相应升高,显示随着生物作用及碳循环的加强,有更多的 CO_2 进入岩溶动力系统,溶蚀作用加强。孙家凹钙华瀑布的观测,不但同样说明了其季节变化,而且由泉口到下游各点的对比,还揭示了由于水的运动, CO_2 由系统逸出, pH 迅速升高,导致大量钙华沉淀的过程(图 7)。

四川黄龙的观测,还揭示了位于活动断裂带的岩溶热泉口,有浓度高达 23%~78%的 CO_2 向大气释放,气泡的 $\delta^{13}\text{C}$ (-6.79‰) 值,说明其来自深部,提出了大气温室气体源汇研究的新问题。从钙华梯田的上游到下游 pH 逐步升高, HCO_3^- 逐步降低的过程,同样揭示了 CO_2 脱气作用与钙华形成的关系。

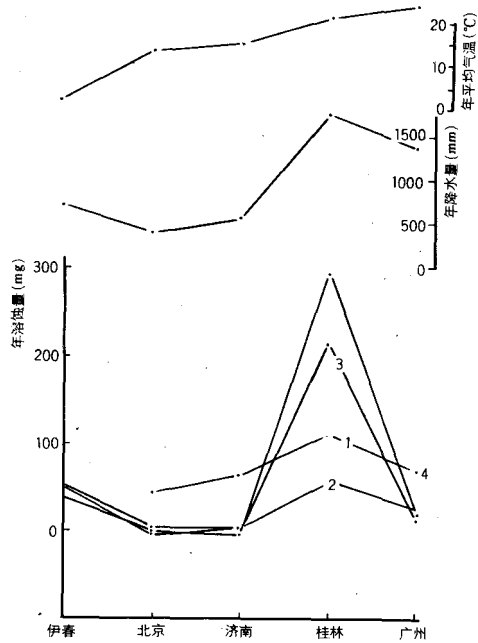


图6 广州—伊春间各观测站石灰岩溶蚀速度观测成果图

1. 空中(地面上1.5m)溶蚀速度; 2. 地面溶蚀速度; 3. 土下20cm溶蚀速度; 4. 土下50cm溶蚀速度

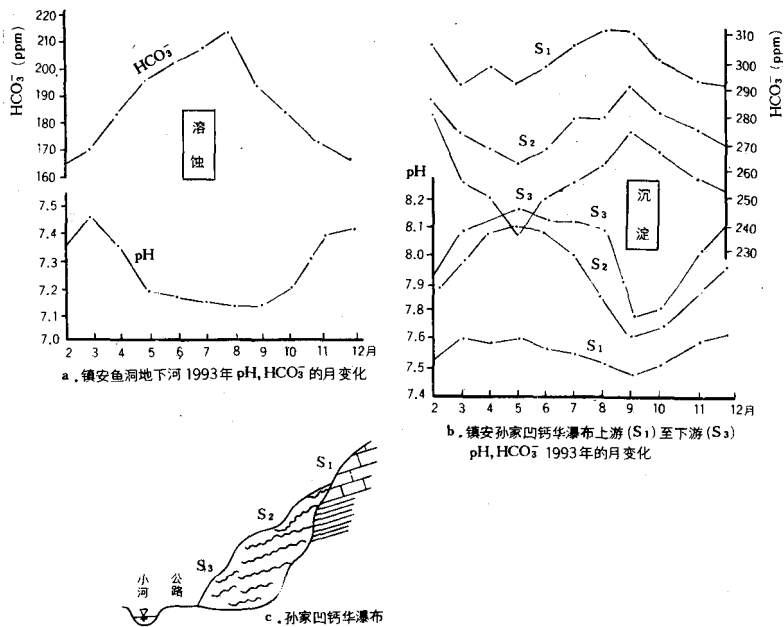


图7 陕西镇安两个岩溶动力系统的季节变化与岩溶作用关系的定位观测结果(1993)

3 第四纪气候变化的岩溶记录

我国地质工作者利用岩溶沉积物研究第四纪环境变化作了大量工作。多年来的工作主要在洞穴古生物,特别是古脊椎动物化石的发掘研究方面,北方最重要的成果是北京周口店北京猿人、山顶洞人的发现,近年来又用多种新技术对其进行了重点古环境的综合研究;南方已对许多洞穴发掘出的大熊猫、东方剑齿象、巨猿动物群化石作了深入研究。现已绝灭的巨猿化石都出自高于当地平原面约 80m 的高层洞,而一般大熊猫、剑齿象化石多出自低层洞穴。理出了一个相关的演化次序(表 1)。

表 1 南方洞穴古脊椎动物与古人类化石演化过程(计宏祥 1977)

地质时代	洞穴地点		代表性化石	
晚更新世	广西柳江人洞		Homo Sapiens sapiens	
	广东马坝		Homo Sapiens neandirthalensis	
中更新世	广西巴马巨猿洞	贵州黔西观音洞	Bama Gigantopithecus 动物群	大熊猫、剑齿象动物群
早更新世	湖北建始高坪洞		Gigantopithecus 动物群	
	广西柳城巨猿洞		Gigantopithecus 动物群	

近年来全球变化的研究,需要有更高分辨率的古环境变化记录,对北方黄土、西部高山区冰芯,湖泊沉积的深入研究,已能提出分辨率达 100 年的第四纪气候变化过程,但南方大片岩溶区,只有依靠岩溶沉积物作为环境变化信息的载体。由于岩溶作用对环境变化反映的敏感性,其潜力是很大的。对采自桂林市南 37km 处的盘龙洞的一个高 1.22m 的石笋内部微层做了加速器 C_{14} 法计年。根据石笋生长速度、同位素、微量元素资料,重建了末次冰期至全新世中国南方气候变化的全过程,分辨率超过 100 年,并揭示了包括 11000 年前的 Yooger Dryas 在内的几次跃变事件(图 8)。

4 岩溶地区的资源环境问题

我国岩溶地区有丰富的能源、矿产、地下水、旅游资源。山西岩溶高原蕴藏着我国主要的煤炭资源,并与其两侧的华北古潜山油田和鄂尔多斯碳酸盐岩古风化壳气田,以及黄河水力资源结合,成为我国最重要的能源基地。西南岩溶高原则以乌江、红水河等有利的水电建设条件成为我国另一个重要的能源基地。我国已探明的与岩溶作用有关的矿产有铅、锌、锑、汞、铁、铝、锡、锰、金、铀、铜、雄黄、高岭石、耐火粘土、磷、水晶、重晶石、萤石、冰洲石、滑石等二十余种。我国岩溶地下水资源 2039.67 亿 m^3/a ,占全国地下水资源量的 1/4 强。特别是南方 2836 条地下河,总长度达 13919km,总流量 1482 m^3/s ,北方 50 多个流量大于或接近 1 m^3/s 的岩溶大泉,常成为当地最重要的供水水源。

岩溶地区富钙的岩石圈,以及大气圈、水圈、生物圈都具有地表地下双层结构,带来一系列特殊的环境地质问题,如水源漏失、旱涝、土壤贫瘠、石漠化、地面塌陷、矿井突水等,使环境科学家把岩溶地区视为一种同沙漠边缘一样的脆弱环境。纯碳酸盐岩含不溶成分很少,成壤能力

很低,溶蚀剩余的少量土壤一般被冲刷到岩溶洼地底部,但那里受到地下河波动的影响,雨季被淹而不利植物生长,树木常长在山坡上部土壤很薄的地方,依靠几十米深的根系在岩石缝中吸取水分维持生存(图9),一旦不适当的采伐开垦,就很难恢复,并导致水土流失、石漠化。贵州省由1974年到1979年五年间,石漠化面积增加3212km²,近年来继续加快,并引起泉水干枯,人畜饮水困难,成为我国主要的贫困地区。

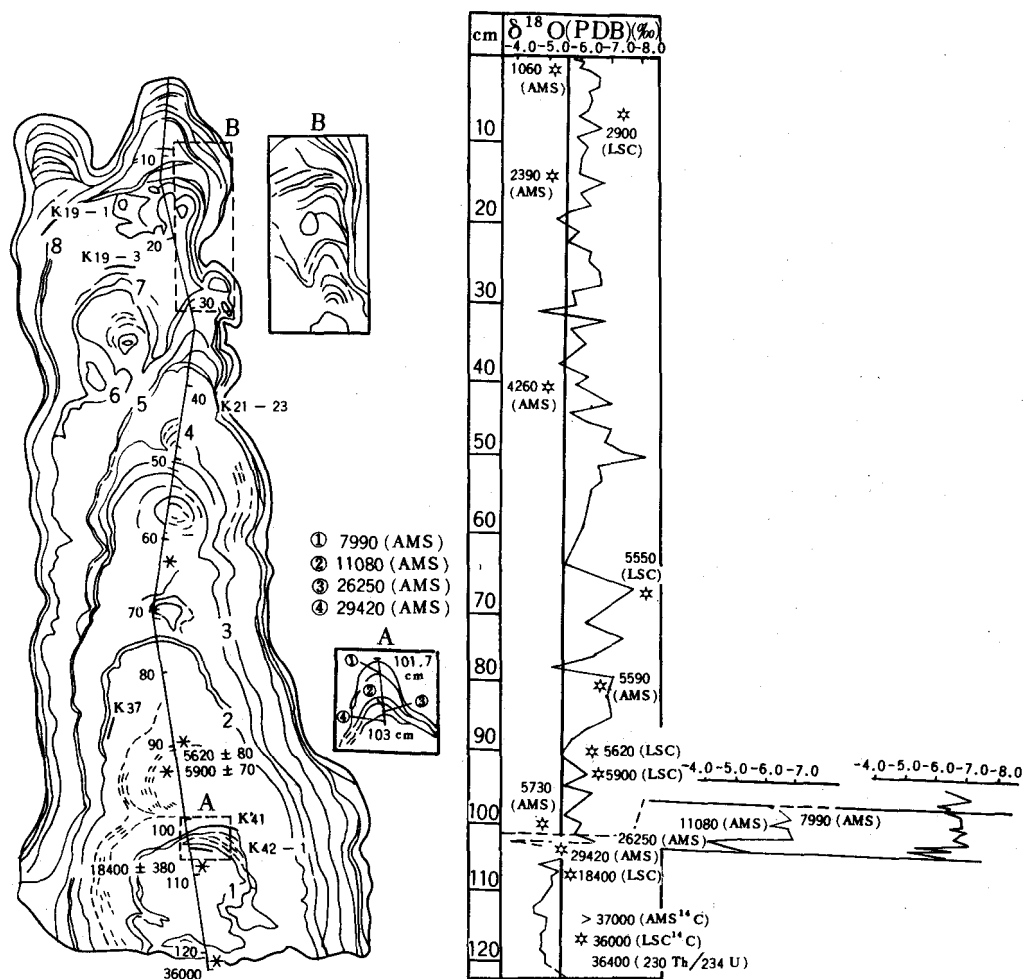


图8 桂林盘龙洞石笋 AmsC₁₄计年和同位素综合剖面

Ams 加速器质谱 C₁₄计年

Lsc 低本底液内法 C₁₄计年

我国岩溶地区,由人为或自然因素引起地下水位反复急剧波动或过量开采岩溶水而导致地面塌陷已有738处,含3万多个塌陷点(图10),造成房屋倒塌,列车颠覆,农田被毁、矿井被淹、地下水受污染等严重后果,成为我国重要的地质灾害之一。

我国西南岩溶高原土地在上(各级高原面),水源在下(深切地表河峡谷、深埋地下河)的基本水土分布格局;北方山西岩溶高原煤炭在上(石炭、二叠系煤系)、水在下(寒武、奥陶系岩溶含水层)的基本地质格局所带来的一系列环境地质问题,将继续是我国跨世纪的重要课题。

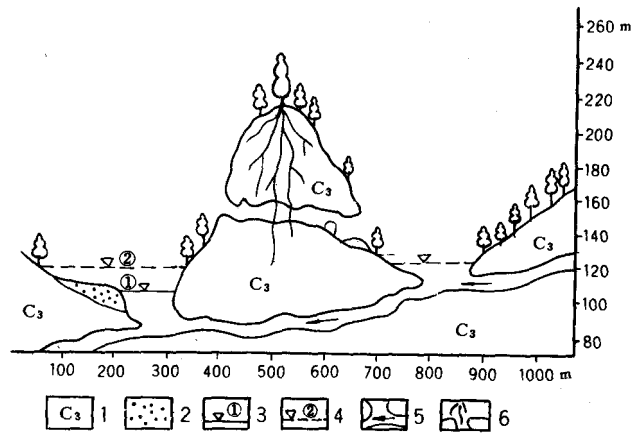


图9 广西宁明, 弄岗自然保护区弄瑞洼地岩溶生态系统与地下河关系示意图

1. 上石炭统灰岩; 2. 冲积层; 3. 地下河枯水位; 4. 地下河洪水水位控制的森林线;

5. 地下河及其在弄瑞洼地的天窗; 6. 树木及其根系

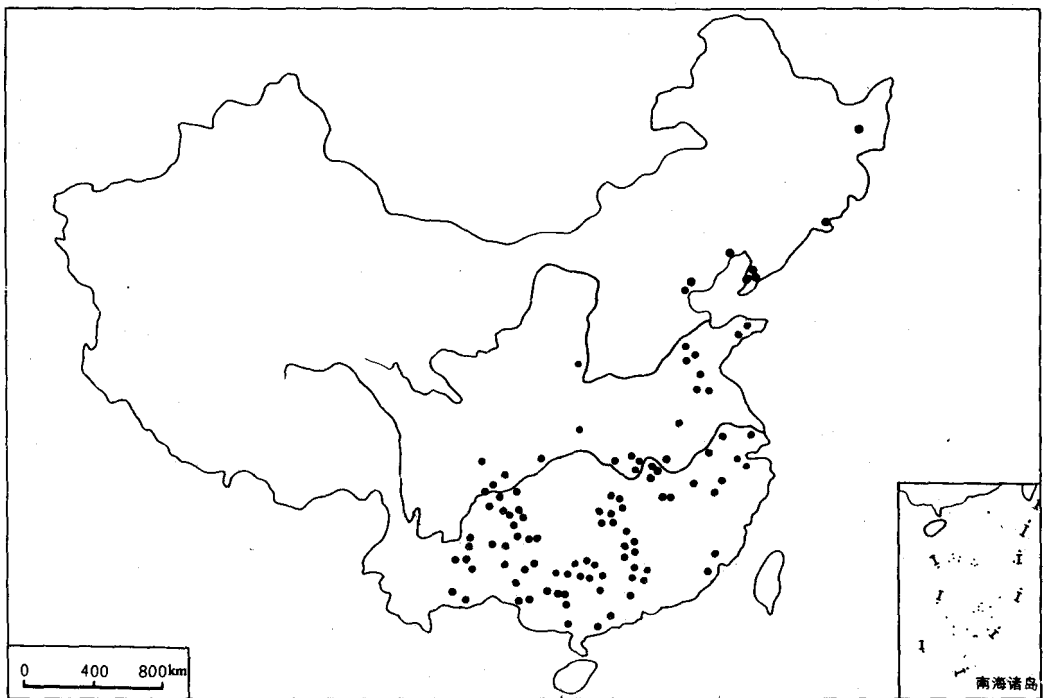


图10 中国岩溶塌陷分布图(1988)