

地质矿产部岩溶地质研究所
广西科学技术出版社

中国南方岩溶塌陷

KARST COLLAPSE OF
SOUTH CHINA

中国南方岩溶塌陷

康彦仁 项式均 陈健 谢代兴 覃有强 著

广西科学技术出版社

内 容 提 要

全书共分九章,第一章论述了岩溶塌陷的定义,国内外岩溶塌陷的分布及研究概况;第二章概括地总结了我国南方与塌陷有关的区域自然地理、地质及水文地质概况;第三章详细地论述了岩溶塌陷形成的基本条件和动力因素;第四章对岩溶塌陷的各种特征进行了阐述;第五章从我国众多的岩溶塌陷中选出各类塌陷的典型实例,进行了描述;第六章讨论岩溶塌陷的分类原则和方法,建立了塌陷的分类系统,并分别作了论述;第七章在分析各种致塌力与抗塌力基础上,提出了可能造成塌陷的十二种力学效应和八种基本的致塌模式,指出岩溶塌陷的形成是多因素多机制的观点,并分析论述了塌陷的形成过程;第八章对我国南方十省区的岩溶塌陷进行了区划,划出了12个区29个地段,其中塌陷严重的地段8个;第九章对岩溶塌陷的危害进行了全面的论述,对塌陷的预测、预报、监测和治理四个方面问题进行了系统的总结,并提出了各种条件下的治塌措施。

书中附有各种塌陷照片和图表。它是岩溶地区进行国土规划、环境评价、资源开发、城乡发展的参考文献,是对塌陷进行调查、预测评价和治理的借鉴。可以作为从事岩溶地貌、岩溶地质研究、环境地质、水文地质、工程地质工作者,以及大专院校有关师生的参考。

中 国 南 方 岩 溶 塌 陷

康彦仁等 著

广西科学技术出版社出版发行
(南宁市河堤路14号)

地矿部岩溶地质研究所电子印刷服务部印刷

开本787×1092 1/16 印张 9.25 插页 1 字数 216,000

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印 数: 1-1,000册

ISBN 7-80565-283-X

P·7

定价: 7.00 元

序

岩溶环境,连同沙漠边缘、黄土地区构成了我国三大脆弱环境。由于塌陷问题能够在短期内造成重大损失,因而成为岩溶地区最重要的环境地质问题之一,在世界各主要岩溶分布国家都引起了广泛注意。在我国广大岩溶地区中,尤其是南方地区,塌陷问题十分普遍,已严重地影响着各项经济建设和人民生命安全,日益引起人们的重视。

选择我国南方广大地区为对象,对岩溶塌陷的形成条件、影响因素、分布规律、形成过程、成因机制、塌陷区划等进行系统地深入研究,还是第一次。它不单可以为岩溶塌陷的预测治理提供理论依据和实践指导,还可为岩溶地区的国土规划整治、各项经济建设提供科学依据。《中国南方岩溶塌陷》一书,就是我所在上述要求下,完成相应研究课题的基础上编写的一本专著。该书以其资料丰富、论述塌陷问题全面详尽、观点明确、有所创新,而在国内同类研究中居领先地位,获得同行专家们的好评。它的出版填补了这方面的一项空白,并有助于这方面研究工作的进一步发展。岩溶塌陷的预测治理,涉及到多个学科领域,需要各方面的共同努力,互相渗透。总结出的有关塌陷的预测防治方法,将可推动这方面工作的开展。

岩溶塌陷问题在全球各主要岩溶区都有出现,我们相信,我国岩溶工作者在这一领域的研究,将对人类作出自己应有的贡献。研究塌陷,造福人类,这一宗旨,将得以实现。

地质矿产部岩溶地质研究所技术顾问、研究员

袁道先

1989年5月1日

前 言

我国岩溶分布地区十分广泛,据统计全国碳酸盐岩分布面积达340多万千米²,南方地区是我国碳酸盐岩连片分布最大的区域。在这里,有着十分秀丽的风光和迷人的景色,以及千姿百态、深邃幽长的岩溶洞穴。但是,由于其交通不便、土地贫脊、用水艰难,虽然资源丰富,仍是十分贫困。随着“四化”建设事业的发展,开发岩溶地区已成为日益迫切的任务。

岩溶塌陷作为岩溶发展过程中的一种地质作用和现象,北到黑龙江,南到海南岛,23个省区都有所见。它不单参与岩溶地区山川的变迁、地表的演变,更是洼地、漏斗、落水洞、竖井、峡谷等岩溶形态形成的参与者或塑造者。在古岩溶时期有古塌陷,现代岩溶时期有现代塌陷。对于岩溶塌陷,远在明代就有记载,著名的地理学家徐霞客,在其游记中有十分科学的描述。但是,真正引起人们注意,作为专门问题进行研究的,是60年代以来近30年的事。随着经济建设的发展,现代人类经济—工程活动增加,塌陷表现得更为频繁和活跃,常是岩溶地区的一种灾害,给生产建设及人类的生存安全带来威胁和影响,日益引起人们的关注。

根据国家科学发展规划,地质矿产部岩溶地质研究所,从1983年起,就将中国南方岩溶塌陷问题,列为专题研究。根据收集掌握的大量资料,进行了广泛野外调查,对国内外岩溶塌陷的分布和研究概况,有了较为全面系统的了解。对塌陷的形成条件、基本特征,塌陷的类型划分,各类塌陷的特点,及其形成原因、机制都有较为深入的分析论证。并按照不同情况,提出了各种预防和治理塌陷的措施,对南方十省区进行了塌陷区划。本书以丰富的实际资料和较高的工作程度,以及对塌陷各个方面进行的系统论述,而具有一定的实用价值。我们愿以此书奉献给广大研究塌陷的工作者,希望它对岩溶塌陷的调查、评价和研究等方面起到推动作用,促进岩溶学科的发展。

岩溶塌陷的更深入研究,尤其是塌陷的治理需要多个学科的努力,绝非岩溶地质工作者单独可以胜任。让人喜悦的是,我们已经看到,应用物理、渗流理论、系统工程、现代勘测技术、数理统计、计算机技术等学科已介入或参与到塌陷研究中来,相互补充,互相渗透。可以预见,随着我国“四化”建设的发展,塌陷研究必将取得更大的成就。

目 录

序	
前言	
第一章 岩溶塌陷的定义、分布及研究过程概况	(1)
一、岩溶塌陷定义	(2)
二、岩溶塌陷在我国及世界分布概况	(2)
三、岩溶塌陷研究史的简要回顾	(4)
第二章 中国南方自然地理及地质概况	(7)
一、自然地理概况	(7)
二、地质概况	(10)
三、岩溶类型及碳酸盐岩岩溶发育程度	(12)
四、区域第四系沉积物特征	(14)
五、区域岩溶地下水	(17)
第三章 岩溶塌陷形成的基本条件和动力因素	(19)
一、岩溶塌陷形成的基本条件	(19)
二、岩溶塌陷产生的动力因素	(36)
第四章 岩溶塌陷的基本特征	(39)
一、岩溶塌陷的个体形态特征	(39)
二、岩溶塌陷的区域分布特征	(42)
三、岩溶塌陷的规模、强度与组合特征	(43)
四、岩溶塌陷的周期性和重复性	(48)
五、岩溶沉陷与塌陷地震	(50)
第五章 典型岩溶塌陷分述	(54)
一、自然塌陷	(54)
二、坑道排水、突水塌陷	(56)
三、抽水塌陷	(66)
四、蓄水塌陷	(68)
五、爆破振动塌陷	(69)
六、表水污水下渗塌陷	(71)
第六章 岩溶塌陷的分类	(73)
一、岩溶塌陷分类的意义	(73)

二、岩溶塌陷的分类原则和方法	(73)
三、岩溶塌陷分类	(74)
第七章 岩溶塌陷的形成过程与形成机制探讨	(91)
一、各种作用力的分析及力学效应	(91)
二、岩溶塌陷的形成机制	(101)
三、岩溶塌陷的形成过程	(106)
第八章 岩溶塌陷区划	(109)
一、区划的主要原则与方法	(109)
二、各级区划的基本特征	(112)
第九章 岩溶塌陷的危害及其预防和治理	(119)
一、岩溶塌陷的危害	(119)
二、岩溶塌陷的预测	(120)
三、岩溶塌陷的预防和监测预报	(126)
四、岩溶塌陷的治理	(129)
后 记	(134)
主要参考文献	(135)
岩溶塌陷照片	(137)

第一章 岩溶塌陷的定义、分布及研究过程概况

从六十年代以来,随着国民经济建设的发展,岩溶塌陷在我国特别是南方的岩溶区广泛发育,其类型众多,成因复杂,危害严重,成为岩溶地区十分重要的环境地质问题。客观上要求深入对其进行研究,本著作即是为回答上述问题而专门开展的一项研究成果。本书所指的我国南方,大致为北纬 $21^{\circ}20'$ ~ $32^{\circ}20'$,东经 102° ~ 116° ,包括了湖北、湖南、广西、贵州、江西全省、广东大部及四川、云南东部、安徽、福建部分地区(图1-1)。这一区域与习惯指的南方为秦岭

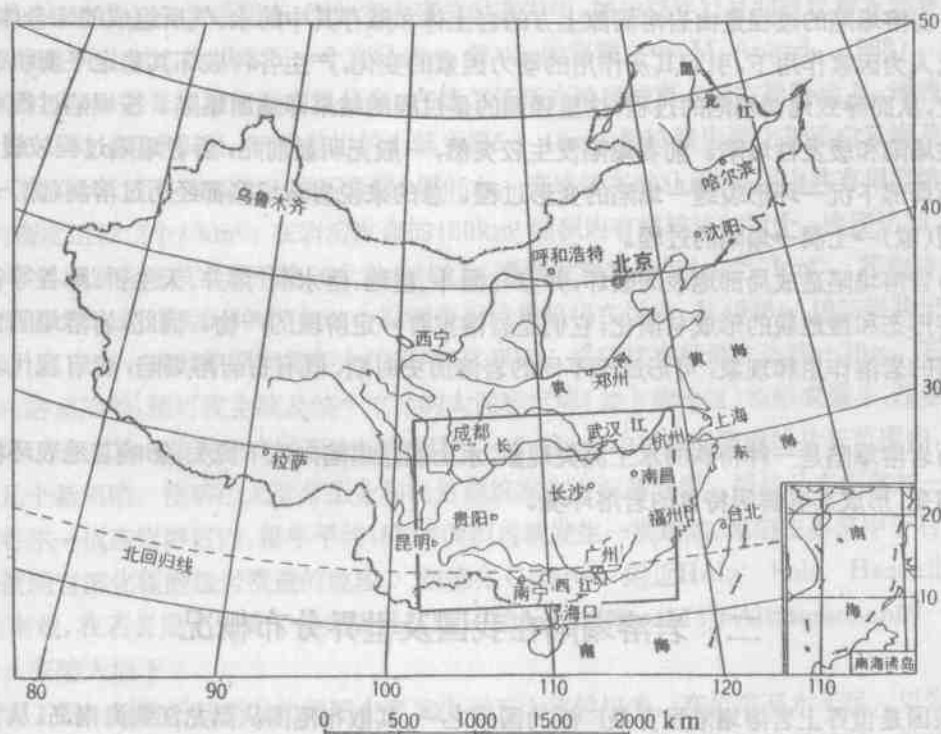


图1-1 研究区位置图

—淮河以南,略有出入。它是我国主要岩溶分布区,其碳酸盐岩巨厚,分布连片,岩溶发育。这一地区也是我国人口众多、经济比较发达区域,有许多著名岩溶城市和重要的岩溶矿山,岩溶水资源十分丰富。岩溶塌陷遍及每一个省(区),塌陷点约占全国的90%以上,并且有的塌陷延续时间较长,积累资料较多,研究较深入,为岩溶塌陷研究提供了较为充足的条件。

一、岩溶塌陷定义

岩溶塌陷是指岩溶洞隙上方的岩、土体在自然或人为因素作用下引起变形破坏,并在地面形成塌陷坑(洞)的一种岩溶动力地质作用与现象(见照片1—3)。这一定义包括以下几方面的涵义:

(1)岩溶塌陷是由于岩溶洞隙的存在而产生的,这些岩溶洞隙是岩溶作用的结果,它们大多是早先形成,但也有在特定条件下如易溶岩类(岩盐、石膏或成岩固结程度低的碳酸盐岩等)在强溶蚀性水作用下于新近形成。岩溶塌陷不是非岩溶或假岩溶洞隙及人工开挖洞隙产生的塌陷,如黄土塌陷、火山熔岩塌陷、冻土塌陷及矿山开采塌陷等。

(2)岩溶塌陷体既可以是组成岩溶洞隙顶板盖层的各类基岩,如各种可溶岩、碎屑岩、火成岩等,也可以是覆盖于可溶岩之上的各类松散土层。

(3)岩溶塌陷的过程是由岩溶洞隙上方的岩土体和赋存其中的水、气所组成的综合体系,在自然或人为因素作用下,引起其所作用的动力因素的变化,产生各种破坏其稳定平衡状态的力学效应,从而导致地面塌陷的过程,这里强调的是过程的结果即地面塌陷。按塌陷过程可分为突发性塌陷和缓发性塌陷。前者塌陷发生较突然,一般无明显前兆,后者塌陷过程较缓慢,一般经历局部下沉—环形裂缝—塌陷的变形过程。总的来说岩溶塌陷都经历过溶洞(隙)→塌陷或溶洞(隙)→土洞→塌陷的过程。

(4)岩溶塌陷造成局部地表的破坏,并参与漏斗、洼地、落水洞、溶井、天生桥、障谷等各种地表岩溶形态和微地貌的形成与演化,它们是岩溶发育一定阶段的产物。因此,岩溶塌陷也是一种类型的岩溶作用和现象,可形成于不同的岩溶历史时期,既有古岩溶塌陷,也有现代岩溶塌陷。

(5)岩溶塌陷是一种特殊的水土流失现象,水土通过塌陷向地下流失,影响着地表环境的改造与演变,形成具有鲜明特色的岩溶环境。

二、岩溶塌陷在我国及世界分布概况

我国是世界上岩溶塌陷发育最广泛的国家之一,其散布范围从黑龙江到海南岛,从青海盐湖到东海之滨,已见于二十三个省(区),约占国土面积近三分之一,其中以南方的桂、黔、湘、赣、川、滇、鄂等省(区)最为发育。据不完全统计,全国主要岩溶塌陷点数量在800处以上,塌陷坑总数超过3万个(图1—2)。国外各主要岩溶区,岩溶塌陷的发育亦较普遍,如美国、法国、南非、联邦德国、民主德国、波兰、捷克、南斯拉夫、希腊、苏联、英国、比利时、土耳其、以色列、加拿大等都有所报导。

自然塌陷产生于各岩溶化时期,在各地均有分布,往往成为岩溶景观的组成成分。在新构造运动上升较强烈的地区,如在我国云贵高原的一些剥夷面上及斜坡地带的洼地谷地中,岩溶

塌陷是其景观演化的主要因素之一。大规模的塌陷还可形成独特的景观,如南斯拉夫第纳尔岩溶区中段(Imotski)坡立谷中有两个闻名于世的塌陷湖:红湖(Crveno Jezero),直径200m,深518.9m(湖底标高4.1m);兰湖(Modro Jezero),与红湖相距0.5km,直径2km,深245m(Tosip Roglic, 1981)。苏联微尔姆州乌斯特-基舍尔特村150年前曾因塌陷形成了面积为 $120 \times 140 \text{m}^2$,深27m的英列布诺耶湖。发育于古岩溶期的古塌陷目前了解的还不多,在我国以河北、山西等地奥陶系灰岩分布地区发育的“陷落柱”最为典型;英国和比利时在以石炭系灰岩和白垩系白垩为主的可溶岩中见有发育于晚第三纪、早第三纪古新世、侏罗纪和三叠纪的古塌陷;在西德的Swabian和Frankonian的阿尔卑斯山碳酸盐岩岩溶区也发现有200多个古塌陷。

在石膏岩溶区,塌陷的发育最为强烈。如法国巴黎市随着城市建设和扩大,既有第三系石膏层的岩溶塌陷问题,又有地下古采石场的塌陷问题。自1786~1895年的110年中,仅在房屋、街道等公共建筑地区就出现了170起塌陷,最大的直径20m。此外,还发现了许多尚未塌到地表的隐伏“塌陷钟”和空洞,大空洞的高度可达10~20m,体积达几千到15,000 m^3 ,有的空洞已接近地表而处于临塌状态,因此灾害事故时有发生,如1963年11月23日巴黎东郊赛夫郎的一座房屋在几小时内就塌落到一个直径10m、深18m的空洞之中(M. Anord, 1983)。苏联的前乌拉尔地区,石膏岩溶塌陷广泛分布,在捷尔任斯克地区的奥卡河左岸阶地上,地表为厚20m到50m~80m的冲积层,下伏基岩的上部为厚5~10m卡赞阶强岩溶化灰质白云岩及白云质灰岩,下部为P₁孔谷组石膏—硬石膏层,厚65m。该地区在283 km^2 范围内共有塌陷坑3448个,平均密度达12.2个/ km^2 ;在岩溶发育的100 km^2 面积内有塌陷坑3377个,密度达33.6个/ km^2 ,其中强烈发育地段密度可达50个/ km^2 以上,微弱发育地段仅2.0个/ km^2 。其余183 km^2 面积内塌陷较少,密度为0.39个/ km^2 。据调查近代塌陷仍在活动,从1935~1959年共记录了54次塌陷,而1954~1959年期间每年大约发生5次塌陷。塌陷坑直径最大达25~30m。石膏岩溶区除岩溶塌陷外,还可发生波及整个地区的大面积沉降(如卡赞地区)和形成漏斗、浅盆地的局部沉降。在索里—依列茨克城西南边缘面积2~2.5 km^2 冲积砂层覆盖的盐丘范围内,每年都出现几个新塌陷,使矿山大部分工业和民用建筑发生下沉和开裂。据估计在谢尔加—塞瓦尔和孔谷尔—依连岩溶区内,每年平均10 km^2 面积内就发生一次塌陷,塌陷主要集中于石膏—硬石膏被弱岩溶化碳酸盐岩覆盖的地段。西德在Osterode附近Hainholz, Hesse北部的Harz山南麓,在石膏层上发育了最大直径达50~100m的塌陷,1973年Altmorschen的一处塌陷使一人家陷入地下。

人类工程—经济活动诱发的塌陷主要发生于五十年代以来,在岩溶充水矿区、以岩溶地下水为主要供水水源的城镇地区、岩溶山地的中小型水库区以及交通铁路沿线的一些地段较为密集,其数量已远远超过自然塌陷而占显著地位。例如美国据1981年对东部十九个州未进行过岩溶调查地区的岩溶塌陷调查结果,证实了在850个地点约发生过6000个岩溶塌陷坑或有塌陷迹象,其中绝大多数是在1950年以后人为发生的。岩溶塌陷影响大的地区有阿拉巴马州、佛罗里达州、佐治亚州、田纳西州东南部、宾夕凡尼亚州东部和米苏里州的中、西部等。阿拉巴马州初步统计在1900~1974年间共产生塌坑4050个,其中人为塌坑有4000个,1972年12月在几天内发育的一个巨型塌陷,其直径140m,深50m。

矿区排水、突水引起的塌陷数量最多,范围最广,持续时间最长,影响也最严重。在我国塌陷矿区主要见于古生代煤田和侵入接触型的多金属矿区,初步统计已达94处。严重影响矿产资源的开发。南非Far West Rand金矿区的Fransveel地区,矿体赋存于三条白云岩含水带中,疏干排水的结果,自五十年代以来发生了最大深度达4m地面沉降和数百个岩溶塌陷,死亡38人,毁坏了大量的建筑物,损失达数千万兰特(Rand),其岩溶塌陷灾害闻名于世。1962年12月West Driefontein矿的一个塌陷,直径400ft,深150ft,使矿坑淹没,附近铁路路基变形,运输中断,选矿厂破碎车间倒塌,死亡29人;1964年8月Blyvooruitzig矿一处塌陷使一个五口之家突然陷入100ft深的塌陷坑中;1963年在Carletonville的Kaolin街也发生过灾难性塌陷。苏联北乌拉尔铝土矿赋存于泥盆系碳酸盐岩中,在开采的35年中曾多次发生过由于塌陷导致河水灌入矿坑的淹井事故。

城镇地区由于人口集中,人为活动强烈,塌陷也较发育,除主要由于抽水引起外,还有地下管道渗漏、表水污水下渗、振动或加载等成因。在我国发生塌陷的城市已超过24个,其中有6个省会。美国的一些城市如:弗吉尼亚州的Stauton市、西弗吉尼亚州的LeWisburg市、新泽西州的Phillipsburg市都曾因地面塌陷导致房屋、街道和城市公用管道的重大损失。佛罗里达州第三系灰岩浅埋岩溶区的Winter Park市于1981年5月8~13日在厚45m覆盖层中发育的一处巨型塌陷,其直径106m,深30m,毁坏了街道、公用设施和娱乐场所、一所住宅、若干商店和几辆汽车,全部损失超过400万美元。

水库及污水处理池的蓄水塌陷在岩溶地区亦较常见。我国以云贵高原及其斜坡地带如滇东、贵州、桂西、湘西等地较为发育。美国米苏里州的一些水库、加州Cave City附近水库、亚利桑那州的Lone Pine水库等都发生过塌陷。苏联安加拉河上一系列大型水库也广泛发生过塌陷,深至30ft,直径18ft。此外,土耳其的May水坝、加拿大的Grand Rapids水电站以及捷克的一些水库都有过塌陷的报导。

岩溶地区铁路公路沿线的塌陷近年来日渐增多,据统计我国铁路塌陷已达23处以上,有车站4处(泰安车站、分宜车站、珠亭山车站、河里车站)隧道4座(中梁山隧道、京广复线南岭隧道、大瑶山隧道、碧鸡关隧道),桥涵2处(唐坝大桥、大广山涵洞)及其它路基塌陷。造成车站建筑物损坏、路基沉陷、道轨悬空、桥涵开裂倒塌、隧道施工导坑灌水淤泥等灾害,使铁路断道停车事故时有发生,甚至造成火车脱轨。有的地方列车长期限速慢行,造成巨大损失。美国得克萨斯州Wharton县FM442公路1983年8月在Boiling以东约3mile处突然发生塌陷,直径250ft,最深25ft,使交通中断。该处新第三系及第四系的砂、粉砂、粘土和砾石松散沉积厚达500ft,下伏Boiling盐丘,是土层塌陷中目前已知厚度最大的一个。

三、岩溶塌陷研究史的简要回顾

岩溶塌陷研究至今大体上经历了三个阶段:

第一阶段:本世纪五十年代以前,岩溶塌陷是作为一种岩溶地表形态和参与岩溶地貌发育与演化的一种动力因素,纳入岩溶学的研究范畴。在这个时期的文献中,一般只有零星的现象

描述和记载。有的地方志中把塌陷与地震现象一起记载。

第二阶段：从五十年代到七十年代中期，随着世界各国经济建设的飞速发展，岩溶塌陷的出现日益频繁，特别是许多矿区疏干排水产生了大规模的塌陷和沉陷，造成了巨大的损失。如南非的金矿区，苏联的北乌拉尔铝土矿，我国的凡口、水口山、泗顶等矿区，是最早出现严重塌陷的地方。引起了水文工程地质界和工程界的重视，并从矿床岩溶水文地质学的角度，对其开展广泛的研究。在国外，曾对苏联北乌拉尔铝土矿(A·A·科洛佳日娜娅等，1961)、南非Far West Rand金矿区(Jennings, 1966)、美国宾州Hershy谷地采石场(Foose, 1953)、Friedensville矿(Metsger)。及阿拉巴马州的一些矿区(Powell Lamoreaux, 1969; Newton 等, 1973)塌陷进行过研究。在我国，地矿、冶金、煤炭等部门所属单位也对一些严重塌陷矿区进行了调查研究，论述了岩溶塌陷的矿床水文地质问题(王锐, 1964)，有的还进行了地区性总结。如地矿和冶金等部门对水口山矿区进行了塌陷危险性分区(项式均、余需、蔡承衡等, 1966)；广东地质局探讨了广东隐伏岩溶矿床塌陷发育和分布规律……

这一时期除矿区塌陷外，城镇工业及农业供水抽汲岩溶地下水也陆续产生许多塌陷，为此也进行了有关的调查研究和总结。如广东水文工程地质二队对广州江村双岗供水源地塌陷规律的研究，广西水文工程地质队对广西岩溶塌陷的调查总结(1974)。

岩溶塌陷的广泛发育和引起的危害，使国际工程地质协会于1973年在西德汉诺威首次举行了“岩溶塌陷与沉陷——与可溶岩有关的工程地质问题”国际讨论会。会议有20个国家的代表参加，其中有13个国家提出了47篇论文，分为四个方面的论题：(1)塌陷和沉陷形成的地质和地球化学条件；(2)塌陷与沉陷的机理；(3)塌陷区的区划和地下洞穴位置的探测方法；(4)工程实例和工程措施。其中大多数论文涉及与西德盐矿床开采有关的塌陷和沉陷。这次会议标志了岩溶塌陷已成为国际性问题，并开始从各个方面开展研究。

第三阶段：从七十年代后期以来，一方面由于岩溶塌陷的发展更趋严重，不但矿区塌陷日见增多，而且在许多城镇地区、铁路、公路沿线、岩溶水库区等广泛出现，成为岩溶地区在人为作用下发育最普遍的一种地质灾害和环境地质问题，另一方面由于科学技术的发展，一些先进的技术方法引入岩溶塌陷的研究中，因而岩溶塌陷的研究进入了一个新的阶段，其特点是：

(1)从环境地质角度开展了岩溶塌陷的区域性调查研究：美国的许多州普遍应用遥感技术结合地面调查进行了岩溶塌陷的区域性调查研究。法国在近年来编制的1:100万地质灾害图上，把岩溶塌陷作为一种类型加以反映。我国在1:20万水文地质普查工作中，也重视对岩溶塌陷的调查研究，积累了较丰富的资料。在最近完成的1:200万长江流域环境地质图系中，编制了岩溶塌陷分布图，首次研究了我国岩溶塌陷的区域规律。在各省区地矿局进行的1:100万工程地质区划工作中，也把岩溶塌陷作为一个重要的环境地质内容。

(2)对岩溶塌陷进行了较全面深入的研究：所研究的内容包括岩溶塌陷的形成条件和影响因素、成因和机制、类型划分、发育和分布规律、预测和评价方法及治理措施等方面，并取得了不同程度的进展。

(3)对岩溶塌陷的勘察研究，采用了多学科的综合方法，如遥感技术的普遍应用，电法、地震、重力、测井等多种地球物理方法的综合使用。

(4)对岩溶塌陷的预测、评价和区划，在动力地质学规律的定性分析研究基础上，使用计算

机技术,开展了稳定平衡计算和数理统计等方法的定量、半定量计算。

(5)研究并形成了一套有效而较完善的岩溶塌陷防治方法。

(6)举行了较多的岩溶塌陷学术交流活动:在我国近年来召开的几次全国性学术会议,如第一次有关矿坑防治水的经验交流会(1977年)、第二、三届岩溶学术会议(1978、1983)、环境工程地质座谈会(1982)、西安岩溶矿床水文地质学术会议(1985)、铁道部泰安岩溶地基讨论会(1982.10)及化工部岩溶塌陷专题讨论会等,都把岩溶塌陷作为一个重要议题加以交流和讨论。美国于1984年10月在佛罗里达的Orlando举行了有关岩溶塌陷的多学科国际讨论会,共提交论文64篇,分为六个议题,① 塌陷发育的地质结构和机制;② 塌陷敏感性的场地研究和评价;③ 假岩溶塌陷的特征;④ 塌陷的环境和社会影响;⑤ 塌陷治理工程实例;⑥ 易塌陷区的工程。此外,会议还对岩溶塌陷的名词术语和分类问题进行了讨论。1984年3月在威尼斯召开的第三届国际地面沉降会议上,把岩溶塌陷列为会议的七个议题之一,首次进行了讨论。美国佛罗里达州于1983年成立了进行岩溶塌陷研究的专业研究所。

第二章 中国南方自然地理及地质概况

一、自然地理概况

我国南方地形西及西北高,向东及东南渐低,一般标高从2000~1500m逐渐降至不足50m(图2-1),大致以宜昌—新化—河池—大新一线为界,以西处于我国地形以山岳为主的二级台阶上,以东位于丘陵平原中。西部地区标高多在500m以上,有许多著名的大山和大江。如大巴山、龙门山、大小凉山、巫山、乌蒙山、雪峰山、大娄山等。长江中上游及其支流乌江、嘉陵江、岷江和珠江支流—西江的上游都发源和流经西部地区。著名的云贵岩溶高原,四川红色丘陵盆地也分布于此区内;东部地区标高多低于500~200m,洞庭湖、珠江三角洲等标高不足50m。丘陵平原间常有一些中低山,如罗霄山、幕阜山、武夷山、越城岭、云开大山、十万大山等。水系主要属鄱阳湖、洞庭湖及珠江流域。整个南方山脉水系主要作北东向展布,西昌—昆明一带为南北向,广西南部多东西向山脉分布,西部山体陡峻,河谷深切,东部山体相对低缓,河谷开阔。

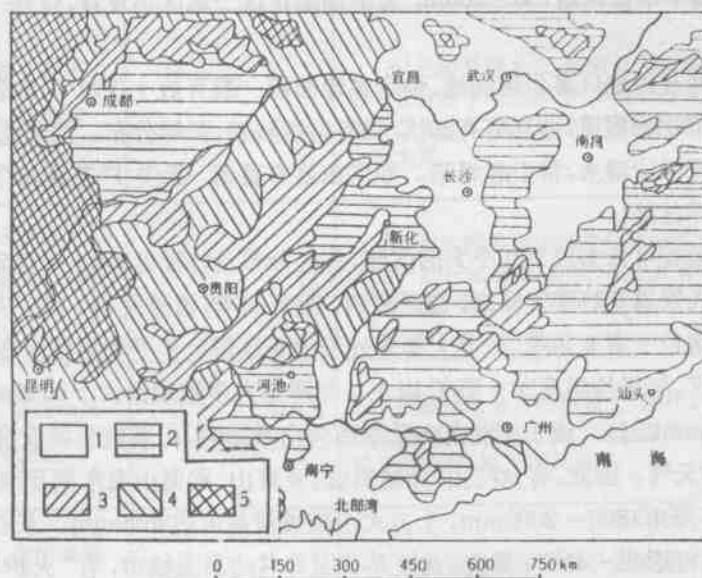


图2-1 中国南方地势图

1、海拔标高0~200m地区; 2、200~500m; 3、500~1000m; 4、1000~2000m; 5、>2000m

总观全区,岩溶地貌具有以下特点:

(1)层状地貌发育:我国南方岩溶地貌与常态地貌一样,具有层状地貌特征。西部有1000~2000m的云贵岩溶高原、川东、鄂西的岩溶山地;湘西、桂西多500~1000m峰丛地貌发育的岩溶中低山,组成向东部丘陵地区过渡的岩溶斜坡地带;再往东多岩溶丘丛盆地、谷地、峰林地貌,标高多小于200~500m,在沿海丘陵地形中的岩溶盆地,标高多在100~200m以下。在岩溶高原、山地中有多级岩溶剥夷面分布,如鄂西恩施一带见有2000~1700m、1500~1300m、1200~1000m、900~800m、700m~500m等五级夷平面;桂西岩溶区有2000m、1700m、1400~1300m、1000m等四级台地。湘西有1900~1400m、1200~1000m、800~600m、500~300m、350~200m等几级剥夷面。而且在一些大江大河的分水岭地带,地势平坦,峰顶齐一,地形高差常在100m左右,本身就代表着一期岩溶剥夷面的存在。在这种地方,地表常有不厚的第四系沉积物覆盖,且浅部岩溶发育,多洼地漏斗、落水洞。自然塌陷在这些地方分布较多,不少落水洞、漏斗即为塌陷形成。

(2)有典型热带—亚热带岩溶地貌—峰丛峰林地形:主要分布在北纬26°以南的珠江流域,桂西至云贵高原间,多高峰丛深洼地地貌景观,峰林地形以广西桂林—阳朔一带最为典型。在峰林地区的低洼地带,常有不厚的第四系沉积物覆盖,地下浅部岩溶发育,多有土洞塌陷分布。在峰丛洼(谷)地区,地下河发育,富水性强,在地下河中、下游地段,常因塌陷(基岩自然塌陷)形成一些竖井、落水洞、漏斗等,有的成为地下河的天窗或岩溶峡谷。

(3)岩溶山地分布广,面积大,岩溶发育深度大:我国南方岩溶区内,除有少量平原分布外,主要为一些碳酸盐岩组成的岩溶山地,遍布于川、鄂、湘、黔、桂及滇东、粤北地区。由于地形抬升剧烈,岩溶发育深度较大。地下水位埋深常达50~150m。桂西岩溶斜坡地带及长江三峡两岸岩溶山区,地下水位深达100~200m,岩溶塌陷在这一地区不发育,仅在一些洼地中有零星分布。

(4)东南沿海丘陵地区多岩溶盆地,单个盆地面积一般有数十千米²。地表有几米、二、三十米厚的第四系沉积物覆盖,地形略有起伏,常有溶蚀残丘,孤峰分布。浅部岩溶十分发育,地下水丰富。由于开采岩溶水,常引起塌陷。如广东就有董塘、肇庆、广花等25个盆地。广西有桂林、玉林、灵川等盆地。

区域岩溶地貌可分为以下几个大的区域,各区分布及特征见表2-1,图2-2。

我国南方气候属亚热带气候区,温暖多雨,湿热同季,植被茂盛。其中英德—来宾—百色—开远—一线以南位于亚热带,以北大部分处于中亚热带。年平均温度多在16℃以上。广东、广西大部分地区,年平均温度20~22℃以上。年降雨大多数地区大于1000mm,不少地方年降雨1400~1600mm以上。由于受北东向及东西向山系影响,山系南东坡或南坡迎风面多雨、温暖,河谷多高温天气。因此,有龙门山、湘桂斜坡、罗霄山、武夷山南东侧及南岭、十万大山南坡等多雨中心,年降雨1800~2000mm,十万大山南坡最高可达2599mm。长江河谷是著名的高温区,最高气温可达42~43℃,重庆、武汉是我国有名的高温城市,有“火炉”之称。

岩溶地貌从一个方面反映着当地的历史气候条件。我国南方不少地方保存有热带岩溶的典型现象,如云南路南的石林、桂林的峰林等。路南地区第三纪时期形成的红土,湖南、江西一带的第四纪网纹状红土,都是湿热条件下的产物。说明我国南方第三纪及第四纪时就广泛地

表2-1

岩 溶 地 貌 分 区 简 表

编 号	名 称	主要岩溶层位	岩 溶 地 貌 特 征
I	川西、北山地岩溶 中低山峡谷区	P、T ₁₋₂ D ₂₋₃ Zb、Є、	以中山地形为主,山体陡峻,多深切岩溶峡谷,山间局部有岩溶洼地分布
II	四川盆地红层岩溶区	J、K (含钙碎 屑岩,钙质砾岩)	地表为丘陵地形,含钙碎屑岩、钙质砾岩在浅部溶滤后,形成地下溶孔、溶洞等岩溶现象
III	川东丘陵岩溶岭脊 槽谷区	P、T、Є ₂₋₃ O、	以低山丘陵地形为主,多北东向的岩溶岭脊槽谷及峰丛谷地,发育有多级岩溶剥夷面及一些大型洼地
IV	川鄂湘黔山原岩溶丘 丛槽谷、峡谷山地区	P、T、Є ₂₋₃ D ₂₋₃	多典型的山原地貌特征,有多级剥夷面发育,河谷深切,丘丛洼地,槽谷分布较广,岩溶垂直发育深度较大,地下水埋藏较深
V	云贵高原岩溶丘丛、 盆地、峰林平原区	P、T、D-C Є-O	为岩溶高原,多丘丛盆地,湖盆洼地。由于抬升剧烈,河谷切割,高原呈现破碎状,有峰林谷地、岩溶峡谷,多地下河分布,从高原面至河谷,岩溶发育逐渐减弱
VI	滇黔桂岩溶峰丛深洼 地、高原斜坡区	D、C、P、 T	主要为切割较剧的岩溶中低山地,属云贵高原前缘的斜坡地带西北高东南低,多高峰丛,深洼地及峰林谷地等地貌景观,地下河发育,山体陡峻
VII	长江中下游丘陵平 原岩溶丘丛、峰丛洼 地、盆地区	P、T、Zb、 Є-O	以丘陵平原为主,碳酸盐岩出露较少,岩溶地形主要分布于长江以南,多丘丛和洼地及覆盖型岩溶。金属成矿带附近地下岩溶发育强烈,多溶洞及岩溶大泉
VIII	湘粤赣低山丘陵、岩 溶丘丛、盆地、峰丛 洼地区	D、C、P、 T、Є	岩溶地貌多集中连片分布于湖南粤北境内,主要为一些丘丛盆地,湘南、粤北发育有峰丛、峰林地貌,零星见有红层岩溶分布
IX	广西盆地、岩溶峰丛 谷地、峰林平原区	D、C、P	碳酸盐岩分布面积较大、连片。峰林、峰丛地貌发育,且多峰丛谷地、峰丛洼地、峰林平原景观。地下溶洞多,地下河发育
X	沿海丘陵、岩溶峰林 谷地、盆地、丘丛平 原区	D、C、P	岩溶地形零星分布于丘陵低山中,多为一些岩溶盆地,盆地内峰林谷地、丘丛地貌发育,地表多第四系土层覆盖,地下浅部岩溶强烈发育

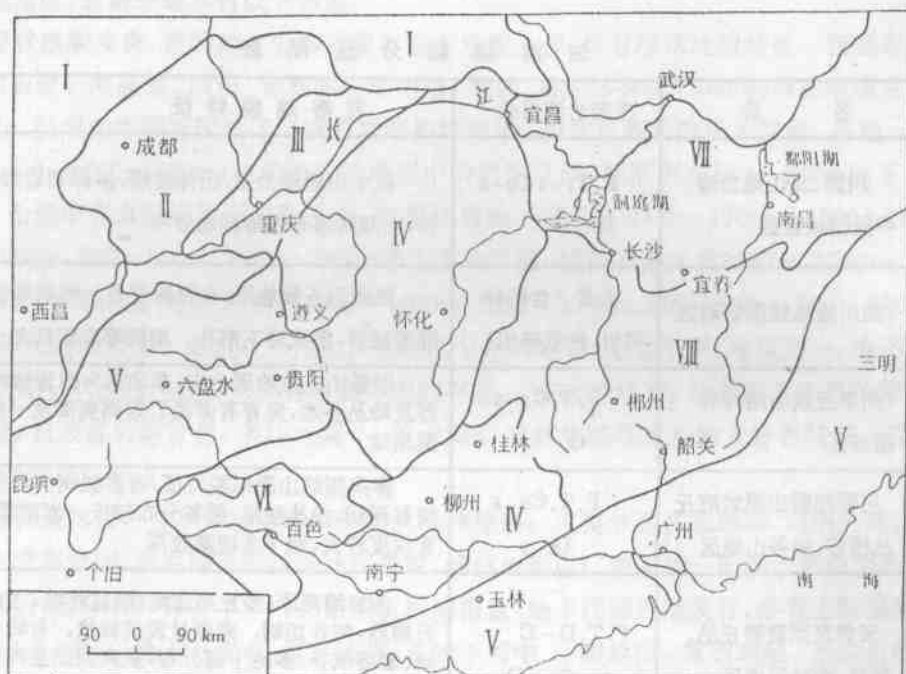


图2-2 岩溶地貌分区图

存在过热带—亚热带的气候条件。根据近年来研究,在7500~9000年前,桂林的气候条件更接近于现在西双版纳或更南地区的气候*。历史上这种湿热的气候环境,无疑地促进着区内岩溶的发育。

当然,热量及气候条件是受地球纬度和地形高度的影响,随着纬度和地势升高,气候变冷,热量雨量减小。我国南方跨越北纬21度至32度,北面的秦岭、龙门山、大巴山远没有两广地区岩溶发育,与这种地理环境是分不开的。

二、地质概况

我国南方在大地构造上,主要位于扬子准地台和华南褶皱系,仅边缘少量区域属松潘甘孜褶皱系、秦岭褶皱系和东南沿海褶皱系(图2-3)。扬子准地台奠定于晋宁运动;华南褶皱系在加里东运动后趋于稳定,沉积了盖层,从而使其与扬子准地台从晚古生代开始,有了大体一致的发育历史,且不同程度地受到华力西、印支、燕山、喜山运动的影响,其中以印支、燕山运动影响强烈,使区域内地层全面褶皱,并有断裂火山活动及岩浆侵入。现在所见的一些构造形迹,大多奠定于这两个时期,并且形成了北部以东北向的线状、箱状褶皱为主;南部以短轴背向斜

* 据桂林地貌与洞穴研究报告。