

·学科进展与展望·

## 现代岩溶学在我国的发展

袁道先\*

(西南师范大学资源环境学院,重庆 400715;国土资源部岩溶动力学重点实验室,桂林 541004)

**[摘要]** 本文回顾了20多年来以岩溶动力学为基本理论的现代岩溶学在我国的发展过程。概述了其主要的科学成果和应用前景。指出了地球系统科学的引入、全球视野的研究和科学基金的持续支持在现代岩溶学发展中的重要意义。

**[关键词]** 现代岩溶学,地球系统科学,全球对比,科学基金

回顾过去二十多年来现代岩溶学在我国由萌芽到发展的过程,国家自然科学基金持续不断地加强在这个方向上的资助,起了十分重要的作用。

自20世纪70年代逐步发展起来的现代岩溶学有两个重要特点:一是引入了地球系统科学;二是从全球角度研究岩溶。中国岩溶不但以其344万 $\text{km}^2$ 的总面积,约占国土面积的1/3为世界瞩目,而且由于我国大陆碳酸盐岩古老坚硬、新生代以来大幅度抬升、未受末次冰期大陆冰盖的刨蚀破坏、以及季风气候水热配套(夏湿冬干)等四个条件,岩溶发育完好,类型多样,使其在国际上有范例性。但把这种地域上的优势变为学科上的优势,则需要有新的学术思想,充分利用我们的地域优势,持之以恒地进行调查研究,进行国际合作对比,使用新技术方法,不断提高研究水平,并探索把对自然规律或现象的新认识用于可持续发展战略。

岩溶学采用地球系统科学的认识论和方法论,比地学中研究其他表层地质作用的领域较晚。它长期处于对纷繁的岩溶形态进行描述、分类,及对其成因进行思辨的过程中。虽然岩溶学者在一百多年前就已认识化学溶蚀作用对岩溶形成的重要性,但是指导岩溶研究的学术思想,从地壳升降与水动力条件的相互作用开始,然后是水文地球化学(水岩相互作用)到地球系统科学,经历了数十年。水-岩相互作用的学术思想把岩溶作用作为一种发生在岩石圈

和水圈界面上的地质作用来研究,它在揭示岩性、地质构造和水文地球化学条件如何控制岩溶发育的规律上起了重要作用。但是,与碳、水、钙循环共存的岩溶作用,如不是紧紧地抓住它在岩石圈、大气圈、水圈和生物圈界面上的物质能量运动规律,即以地球系统科学为指导,就很难说清楚。

### 1 初步探索

1987—1990年之间执行的面上基金项目“中国东部岩溶地球化学研究”(4860145),为把地球系统科学理论引入岩溶学研究作了理论上和方法上的准备。岩溶作用在 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ 体系中进行,而这个系统对环境变化的反应是很敏感的。该项目采用了一系列便携式仪器(pH计、 $\text{CO}_2$ 测定仪、暂时硬度测定盒、电导仪等),采用现场系统监测的方法,以实际数据揭示了 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ 系统中碳、水、钙在四圈层间循环的规律及其与岩溶作用方向(溶蚀或沉积)和强度的关系。例如当有较多 $\text{CO}_2$ 进入系统中,则水的pH降低,溶蚀作用加强,反之则发生沉淀。同时,通过分布在不同地质、气候、水文、植被条件下的1931个岩溶水化学资料,结合溶蚀试验,揭示了不同环境下岩溶作用的规律和差别,和许多溶蚀形态和次生碳酸钙沉积形态的成因。这些科学思路和方法也为我们申请岩溶方面的国际对比计划打下了基础。

\* 中国科学院院士。  
国家自然科学基金重点资助项目。  
本文于2005年2月21日收到。

## 2 全球岩溶对比的收获

1990年初,由我国提出的国际地质对比计划IGCP299项目“地质、气候、水文与岩溶形成”获得批准于1990—1994年间执行,由联合国教科文组织和国际地科联联合资助,由我国负责组织实施。这为我们从全球视野研究岩溶提供了很好的机遇。我们可以通过全球不同的物理、化学、生物学条件下的岩溶形态组合的对比,更深刻地揭示岩溶形成机理。但作为一个IGCP项目的建议国和组织国,首要的任务是充分利用我国岩溶的地域优势,带头作好国内对比,以推动全球岩溶对比。这时,基金项目“中国典型地区岩溶的形成及其与环境的相互影响”(49070155)及时启动(1990—1994),原地矿部也在1992年启动了相应项目(8502218)。通过定位观测和深入的现场对比,确定了我国大陆三种主要类型岩溶的形态组合特征,揭示了其各自的形成环境和机理。以此为基础,在基金国际合作项目支持下,我们组织8个国家的40多位岩溶学者进行了行程6700km跨越我国三大类型岩溶(南方亚热带潮湿型岩溶,西南高山和高原型岩溶,和北方干旱半干旱型岩溶)的对比。通过现场讨论,统一了IGCP299的学术思路和方法,同意采用由我们提出的“岩溶形态组合”作为全球岩溶对比的基础,推动了全球岩溶对比的顺利进行。由多边国际对比活动所引出的一些双边合作项目,也得到了基金国际合作项目的支持。它们为发展我国岩溶研究,培养青年岩溶学者提供了新的条件。在这个阶段有几个重要发现:一是通过对 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ 系统(岩溶动力系统)的定位观测,发现全球最大的碳库——碳酸盐岩体在全球碳循环中仍甚活跃;二是发现四川黄龙及西延至法国东南部Tethys地区的大批大型钙华是由于地球深部 $\text{CO}_2$ 释放所造成;三是由于 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ 系统对环境变化的敏感性,岩溶沉积物可以为全球变化研究提供高分辨率的环境变化信息。1993年我们把桂林盘龙洞一个高1.22m的石笋切面的微层照片及初步测年结果向自然科学基金委汇报时,引起地球科学部负责同志的高度重视,立即决定追加经费,并组织北京大学技术物理系使用加速器 $^{14}\text{C}$ 技术联合攻关。通过稳定同位素和地球化学综合研究,建立了我国南方3.6万年以来第一个古环境变化的连续石笋剖面。不但重建了末次冰期以来环境变化的全过程,而且揭示了新仙女木事件等几个气候跃变的过程。其分辨率在暖湿期可达100年,在干净期

可达500年。这些新进展,为现代岩溶学进入全球变化研究,和申请新的IGCP项目提供了科学依据。

## 3 现代岩溶学和全球变化研究

1995年初,由我国提出的新的国际对比计划IGCP379“岩溶作用与碳循环”获得批准于1995—1999年间实施。它有两个科学目标:一是评价岩溶作用(含表层及深部岩溶作用)对大气 $\text{CO}_2$ 源汇的影响,二是从岩溶沉积物提取高分辨率的古环境变化信息,着重于那些缺乏其他古环境变化替代指标的地区。这个项目的实施,标志着现代岩溶学的进一步发展完善,并在全球变化研究中发挥其应有的作用。自然科学基金委以两个重点项目:中国典型岩溶动力系统与环境的相互作用和演变(49632100项);和由中国科学院贵阳地球化学研究所执行的“中国南方碳酸盐岩风化成土地球化学过程与环境变化”,以及十多个资助额较高的面上项目加强了对这个领域的资助。形成了由十多个在岩溶研究方面各具特色的单位构成的国家级研究队伍。国土资源部也实施了相应的重点基础研究项目(9501104项)。几年来取得了重要成果:(1)在表层岩溶系统碳循环与大气 $\text{CO}_2$ 源汇关系方面,通过长期定位观测从多方面揭示了岩溶动力系统中碳循环的运行机制,用多种方法估算了溶蚀作用回收大气 $\text{CO}_2$ (以C计)的量,中国全国为 $1.774 \times 10^7 \text{t/a}$ ,而全球为 $6.08 \times 10^7 \text{t/a}$ 。后者占当前全球碳循环模型中的遗漏汇(Missing Sink)的1/3,成为全球变化研究中需要认真注意的问题;(2)深部 $\text{CO}_2$ 释放问题,发现沿我国28条主要活动断裂带,有大量 $\text{CO}_2$ 释放点,在碳酸盐岩地区,常伴随大量钙华沉淀,通过同位素示踪,揭示其来源为幔源 $\text{CO}_2$ 和壳源变质 $\text{CO}_2$ 不同比例的混合,并用1370个地热点的历史资料,估算西藏及其邻近地区年 $\text{CO}_2$ 释碳量为 $2.68 \times 10^5 \text{t}$ 。过去的观测方法,可能已是释气之后的数据,如果改善观测方法,可能达到4000万 $\text{t/a}$ ;(3)以岩溶记录重建环境变化过程,在此期间在研究的时空范围,使用新技术方法,分辨率及古环境信息提取等方面都取得了许多进展。此项研究,已在广西、贵州、北京、南京、安徽、福建、湖南、云南、四川等地全面展开;桂林附近已建立了20万年以来气候变化的石笋剖面:使用高精度测年( $\text{Ams } ^{14}\text{C}$ , TIMS等)和高密度同位素测试,揭示了北京、广西荔浦等地元明清以来的环境变化事件;对北京和桂林洞穴石笋,使用微层发光技术,显示了将古环境重建的分辨率达到年的可能,这

些都展示了现代岩溶学在全球变化研究中的可喜前景,并将为我国季风形成和演变的研究提供新的信息。与此同时,以揭示岩溶动力系统中碳、水、钙循环规律及其应用为目标的岩溶动力学理论也逐步发展完善。

#### 4 现代岩溶学与可持续发展

2000年初,由我国提出的新的国际对比计划IGCP448“全球岩溶生态系统对比”在巴黎获得批准于2004—2006年间实施。国家自然科学基金又以重点项目(40231008)给予支持。它标志现代岩溶学与生态科学的结合登上了国际舞台。这种结合为我国岩溶地区的可持续发展提出了许多新思路,有的已发展成有应用前景的新技术。如在20世纪80年代后期,用岩溶地球化学研究提出的新思路,以高精度水文地球化学场的新技术分析整理了济南岩溶泉域历年的水化学资料,揭示了中寒武统张夏灰岩含水层通过断裂带穿透上寒武统崮山组相对隔水层向奥陶系灰岩含水层补给的途径,并因地制宜设计了新的示踪剂,用一次长20余km,水循环深达700m的大型示踪试验所证明。这一重要发现,为济南岩溶地下水的科学合理开发管理提供了新思路。90年代初,贵州乌江渡水电站在运行仅数年后即在廊道中出现大量钙华,为解决其是否与防渗帷幕老化有关,及防治对策,运用岩溶动力学理论和同位素示踪技术,区分了钙华的来源和成因,提出了科学合理的防治措施。近年来的观测试验还获得了许多新发现,如石山地区岩溶动力系统运行规律与元素迁移,以及一些名特优产品,如金银花、苦丁茶的分布,引种,繁衍,退化的关系;碳酸盐地区对环境酸化的缓解作用及人体健康的影响;峰丛山区岩溶洼地中大气CO<sub>2</sub>浓度的倍增现象;地衣、藻类在碳酸盐岩表面繁衍的水文效应及对植被演替的影响;以及生物酶

对岩溶动力系统运行的催化作用等。这些新发现,都为依靠科技防治我国岩溶地区严重的石漠化问题打开了新思路。它们尽管还有待不断的艰苦探索,但可预见其具有广阔的应用前景。

#### 5 几点体会

(1)在地学方面,抓住那些在我国具有地域优势而又有重大国家需求的问题,提出地学前沿的新的科学问题,持之以恒地开展研究,比较容易取得重要进展。

(2)地球系统科学理论的运用,将在跨世纪地学的发展中发挥重要作用。但要做到这一点,地学各领域都要尽快找到适合本身需要的掌握各圈层间物质能量运动的工作方法。岩溶学发展中以岩溶地球化学一系列捕捉碳、水、钙循环的技术方法为突破口,可能是一个好的例子。

(3)在基金的实施中,执行者和管理者对新出现的苗头都要十分敏感。以便及时调动科研资源取得突破。两者之间及时的信息交流十分重要。对重要领域通过重大重点项目和面上基金项目相结合的办法给予持续资助,组成既有协作又有竞争的国家研究队伍,建设研究基地,培养研究梯队是使该领域在我国不断发展的保证。

(4)在基金项目实施过程中,加强国际合作、交流,吸取新思路,引入新技术,是提高研究水平的重要途径。有条件时,发挥我国地域或学科优势,组织由我国牵头的多边合作项目,则更为有利。基金制度中设立对国际合作项目的专项资助,起了重要作用。

(5)要保持对新发现的自然规律或现象,及其可能的应用价值的敏感性。它既是基础研究不断创新的源泉,也是经济建设技术创新的需要。

### THE DEVELOPMENT OF MODERN KARSTOLOGY IN CHINA

Yuan Daoxian

(School of Resources and Environment, Southwest China Normal University, Chongqing 400715; The Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin 541004)

**Abstract** This article reviews the development of modern karstology in China during past couple of decades, which takes karst dynamics as its basic theory. The major scientific achievements are summarized, and the perspectives of their practical use are given. The importances of Earth System Sciences, Global View, and the continuous supports from National Natural Science Foundation in the development of modern karstology in China are emphasized.

**Key words** modern karstology, earth system sciences, global correlation, science foundation