

H₂H

碳酸盐岩 与环境

(卷一)

万国江 等 著



地质出版社



碳酸盐岩与环境 (卷一)

万国江 等 著

环境地球化学国家重点实验室 1993—1994 年度资助项目

部分获国家自然科学基金(项目号:49333040;49273184;
49463011)、地矿部“八五”重点基础研究及中国博士后基金资助

地震出版社

1995



朱立军 贵州工学院副教授,地质系副系主任。1958 年出生于贵州都匀,1995 年在中国科学院地球化学研究所获矿物学博士学位。多年来,主持完成了国家基金及省(部)级科研项目 6 项,发表学术论文 36 篇,率先在地球化学敏感和生态环境脆弱的岩溶地区开展系统的环境矿物学研究。

联系地址:贵州省贵阳市,贵州工学院地质系

邮政编码:550003



李彬 中国地质科学院岩溶地质研究所助理研究员。1963 年出生于江苏泰县,1995 年于岩溶地质研究所获硕士学位,主要从事同位素水文地质、岩溶作用与碳循环及同位素在古环境重建的研究。曾参与国际地质对比计划、国家基金和地矿部重大基础理论等项目的研究。在国内外刊物上发表多篇研究论文。

联系地址:广西桂林市七星路 40 号,岩溶地质研究所

邮政编码:541004



陈福 中国科学院地球化学研究所副研究员,1939 年 1 月出生于河北省。1960~1963 年在莫斯科大学地质系学习,1965 年毕业于中国科学技术大学地球化学系。多年来,在表生风化淋滤作用、沉积及成岩成矿作用的地质、地球化学和模拟实验等方面从事研究工作。首次提出了大气和海水存在重大实质性历史演化的新认识,即海气的化学演化是从地史早期的强酸性和还原性向地史晚期的弱碱性和强氧化条件波动式演化的规律,并划分了四个大的历史演化阶段。发表有“太古代海水的 pH 值的演化及其与成矿作用的关系”,“表生风化淋滤作用的演化和为沉积矿床提供矿质能力的研究”以及“根据沉积矿物的共生组合恢复大气 CO₂ 分压值的演化”等论文。

联系地址:贵州省贵阳市观水路 73 号,中国科学院地球化学研究所

邮政编码:550002



袁道先 中国科学院院士,中国地质科学研究院岩溶地质研究所研究员,曾任岩溶地质研究所所长。1933 年 8 月出生于浙江诸暨。多年来在岩溶水文地质、岩溶形成机理、岩溶环境及全球变化领域从事开拓性研究。曾为 IGCP 299“地质、气候、水文和岩溶形成”计划的主席和 IGCP 379“岩溶作用和碳循环”计划的发起人。在国内外发表论著 60 余篇,其代表性著作有《岩溶环境学》、《Karst of China》等。

联系地址:广西桂林市七星路 40 号,岩溶地质研究所

邮政编码:541004

内 容 简 介

本书系环境地球化学国家重点实验室资助的组合研究项目“碳酸盐岩地区地球化学敏感性及其生态环境脆弱性研究”的首批成果,以各学科对贵州碳酸盐岩地区的最新研究资料为基础撰写而成。

书中着重论述了碳酸盐岩区域表层岩溶带与相邻圈层碳循环的相互影响;不同生态环境类型土层中 CO_2 的变化特征;碳酸盐岩区域侵蚀地质过程中的水化学不稳定性及其与大气 CO_2 的耗损-逸散平衡;区域土层的负增长及 ^{10}Be 示踪土粒季节性侵蚀特征;碳酸盐岩上覆红色风化壳演化的三个成土地球化学过程;三种合成“雨水”对碳酸盐岩风化过程元素淋出的酸控制因素;碳酸盐岩上覆黄壤的酸敏感性受控于土壤残留含钙矿物溶解的酸缓冲作用和潜性酸的存在以及碳酸盐岩区域主要岩石、土壤及植物的地物遥感光谱特征。

本书可供相关专业的科研、技术人员,大专院校教师、研究生及高年级学生参考。

碳酸盐岩与环境

(卷一)

万国江 等 著

责任编辑:宋炳忠

责任校对:庞娅萍

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号(100081)

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 6.5 印张 1 插页 166 千字

1995 年 12 月第一版 1995 年 12 月第一次印刷

印数 0001—1500

ISBN 7-5028-1256-3/P·785

(1684) 定价:13.00 元

序

我国南方碳酸盐岩出露的地区,称岩溶地区,有的石山裸露,有的绿树成林,呈现出截然不同的景观。这一个矛盾的现象向科学界提出了一个重要的问题和一个紧迫的问题。

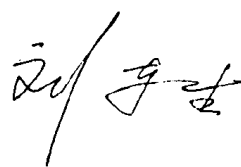
问题的紧迫性在于碳酸盐岩地区的经济亟待振兴。我国南方7个省联片岩溶区就有1亿人居住;仅贵州一个省的岩溶区域就养育着2700万人口。尽管这些地区有丰富的水能资源、矿产资源、生物资源和旅游资源,但因地势崎岖、土层浅薄、生产力低下,贫困往往与之关联。特别是南方石山荒漠化仍有扩大的势头。为了21世纪经济持续发展,急需认真对待碳酸盐岩区域的环境问题。

碳酸盐岩区域环境问题的重要性还在于碳酸盐岩是地球上最大的碳元素寄宿体。它既与大气、水体联系,又与生物、有机质关联。在地球环境演化和生物繁衍的历史长河中,碳酸盐岩的沉积成岩及其溶蚀分解总是占举足轻重的地位。碳酸盐岩既记录着地球的历史,又影响着各个地质时期的生态环境条件。碳酸盐岩区域环境的研究在全球时空尺度上具重要价值。

然而,碳酸盐岩区域总是存在着矛盾的方面:同样是石山,荒漠与森林并存。这其中,有地史演化的因素,也有人类活动的干扰。正确认识自然作用与人为影响的关系更是改善石山环境,维护碳酸盐岩区域环境质量的基础。

碳酸盐岩区域环境与其经济协调发展的问题已提到议事日程,受到社会各界的重视。“改造自然”需以认识自然作基础;“人力胜天”需以顺应自然规律作前提。深刻认识碳酸盐岩区域环境问题的产生和影响,寻求碳酸盐岩区域环境质量改善和提高的工程技术途径的紧迫重任已摆在当代科学技术工作者面前!

环境地球化学国家重点实验室已将碳酸盐岩区域环境的研究当作己任。自她一开始受理客座研究时,就将碳酸盐岩区域地球化学敏感性和生态环境脆弱性的研究作为资助重点。本书作为1993~1994年研究的首批成果,以翔实的最新研究资料,对碳酸盐岩区域侵蚀地质过程的土层负增长及季节变化特征,水化学不稳定性及与大气 CO_2 耗损-逸散平衡,表层岩溶带覆土 CO_2 的变化规律,红色风化壳演化的地球化学过程,土壤的酸敏感性以及岩石、植物的地物遥感光谱特征等作了深入的探讨和论述,可望将碳酸盐岩区域环境的研究推上新的台阶!



前 言

十年前,我们完成了《京津渤区域环境综合研究》。作为国家重点科研项目,其宗旨是选择北京-天津-渤海湾(简称京津渤)这样一个兼顾自然环境格局和人为环境影响的典型区域,针对其区域内的环境功能特点和区域性的环境质量问题,在较大的时空尺度下开展多层次和多学科的综合研究,以期从区域整体上寻求控制和改善环境质量的科学途径。作为我国首次大区域环境综合研究项目,在环境功能特征、环境质量规律、环境控制方案、环境改善途径、环境规划对策及区域环境理论方法等诸多方面取得了兼具基础性、系统性、综合性和实用性的丰硕成果(参见万国江主编:《京津渤区域环境演化、开发与保护途径》,科学出版社,1989年版),获得了国家的重奖。自那以后,我们便试图寻求开拓另一类型的区域环境研究,即一种特定地质环境背景上的区域环境演化和耦联环境问题的系统、综合研究。

五年前,我们完成了《西南经济发展的环境战略研究》。该项研究作为国务院委托中国科学院组织实施的《西南地区资源开发与发展战略研究》中总体研究的组成部分,着重于区域内资源开发和经济发展中环境质量恶化的研究,以期为资源开发利用与经济协调发展中寻求环境质量控制战略途径。其间,对碳酸盐岩区域环境性质的认识获得了很好的深化:碳酸盐岩区域的梯级格局继承了地质历史演化;碳酸盐岩区域的复杂水气流场控制环境物质输送;碳酸盐岩区域的岩石土层性质诱发了生态环境问题(万国江等:贵州省资源开发中的环境战略分析,《西南资源开发考察研究材料》0118号,中国科学院西南资源开发考察队,1988年1月)。在此基础上,提出了碳酸盐岩区域“生态环境脆弱性和地球环境敏感性”问题(参见万国江等主编:《西南经济发展的环境战略研究》,科学出版社,1991年版),将其生态环境脆弱与地球化学敏感问题关联起来。

近百年以来,碳酸盐岩区域复杂的溶蚀作用和千姿百态的自然景观已为人们所关注。“喀斯特”(karst)一词自亚德里亚海边的第纳尔“kars”(斯洛文尼亚语“石头”之意)高原发端后,喀斯特的认识和研究工作一直与农灌、工程、洞穴、矿产等诸多实际问题联系。碳酸盐岩区域的物理、化学和生物作用派生出水资源利用、地质工程、土质贫脊、水土流失、化学元素溶蚀和生物资源保护等一系列环境问题。而这些环境问题又直接影响到碳酸盐岩区域的社会进步、经济发展、人类生存及人群健康。同时,碳酸盐岩出露的区域又具有特殊的资源潜力。矿产资源、旅游资源、生物资源等都具有特殊的价值。

有鉴于此,近20多年来,地质、地理、土壤、水文、生物、生态、农林、气象、水利及相关工程领域的学者专家都在为之努力,以谋求碳酸盐岩区域资源利用和环境改善的持续发展途径。

在此,不妨列出一个时间表:

1973年,H. E. Legrand 提出喀斯特区域的水文和生态问题

1983年5月,美国科学促进会149届年会安排了“喀斯特环境问题”专题讨论,并将喀斯特环境列为一种脆弱的环境

1983年9月,贵州环境科学学会召开“贵州喀斯特环境问题”学术讨论会

1984年,国际地理联合会(IGU)设立“人类对喀斯特环境的影响”研究组

1988年5月,袁道先、蔡桂鸿出版“岩溶环境学”

1988年8月,贵州环境科学学会出版《贵州喀斯特环境研究》论文集,并于9月召开贵州第二次喀斯特环境学术研讨会

1988年,国际水文地质学家协会召开第21届大会,主题为“岩溶水文地质和岩溶环境保护”

1992年5月,朱成松等出版了《贵州岩溶地区农村经济开发研究》

1992年,中国地理学会召开“第三届全国喀斯特地貌与洞穴学术讨论会”

1992年,贵州省科学技术协会召开“贵州喀斯特地区农业发展学术讨论会”

1992年,中国科学技术协会召开“全国喀斯特地区农业发展学术讨论会”

1994年,中国地理学会召开“喀斯特与洞穴风景旅游资源开发与保护国际学术讨论会”

1994年,杨汉奎等出版了《喀斯特环境质量变异》等

以上所列,挂一漏万。凡此等等足见这一研究领域的活跃气氛,也预示出这一领域的基础研究和应用技术将会获得进一步的加强和深入。

认识碳酸盐岩区域环境的地质、地球化学和生物地球化学过程的特点,揭示其基本规律,必将有助于这类区域环境质量问题的解决,有助于促进该类区域的经济振兴和社会进步,有助于提高人民生活质量和维护群众身体健康。

二

环境地球化学国家重点实验室是国家计划委员会批准的重点学科发展项目之一。

环境地球化学从地球环境的整体性和相互依存性的观点出发,以地质地球化学为基础,结合中国环境特点和全球环境变化,在较大的时空尺度下综合研究生命元素在地圈—水圈—气圈—生物圈之间的界面地球化学过程,揭示人类活动干扰下地球化学环境系统的变化规律,为资源开发利用、生态环境保护及人类健康服务。近期,通过放射性核素、稳定同位素及微量元素示踪,开展实验模拟和计算模式分析,在岩石(土壤)风化淋溶、湖泊沉积记录、温室气体释放、环境健康效应、环境信息系统等领域开展多学科综合对比研究,以期为我国环境保护事业及全球环境变化研究作出较大贡献。

环境地球化学国家重点实验室实行“开放、流动、联合”,面向国内外的方针。经几年的初步建设后,1992年中国科学院批准本实验室正式向国内外开放。受理客座研究课题是实验室开放的重要内容之一。申请者向实验室提出申请后,由实验室学术委员会审批,再由实验室组织实施。

学术委员会是实验室的学术领导机构。环境地球化学国家重点实验室首届学术委员会由15位知名学者组成。他们是:刘东生院士、涂光炽院士、陈述彭院士、欧阳自远院士、李宪法研究员、苏维翰研究员、黄银晓研究员、王永法教授、鲍强高级工程师、杨汉奎研究员、谢鸿森研究员、陈业材研究员、洪业汤研究员、蒋九余研究员、万国江研究员等。刘东生教授担任学术委员

会主任,副主任由李宪法研究员和洪业汤研究员担任。程鸿德研究员任学术委员会秘书。

1993~1994 年度,学术委员会在 44 项申请课题中遴选批准了 20 项作为首批客座研究选题。根据学术委员会关于“客座研究内容应有主攻方向、近期集中于我国南方岩溶地区”的意见,在具体实施中,我们将其中具备相互联系的 10 个课题组合成一较大的项目“碳酸盐岩地区地球化学敏感性及生态环境脆弱性研究(一)”,并聘请博士后白占国同志兼任项目组秘书,负责项目实施的联络工作。

参加组合项目的研究人员有:袁道先院士、戎秋涛教授、陈福副研究员、朱立军副教授、白占国博士、王云鹏博士、李彬硕士、刘建明硕士及万国江研究员。

项目组集中了多学科互补的优势,对研究工作的开展进行了深入的分工讨论,并于 1993 年 10 月和 1994 年 4~5 月完成了两轮野外采样。项目组在野外选择了 10 个观测采样点,采集岩石、沉积物、土壤、水、气、植物样品 200 余件,获得现场观测数据 200 多个;在室内获得分析数据 3000 多个。研究工作中,作到资料共享、节约了分析测试工作量和野外工作费用。

作为国家重点实验室开放基金课题按组合项目实施,本研究是一种崭新的尝试。通过 1 年多的辛勤劳动,谨以此书奉献于读者。

三

本书作为《碳酸盐岩与环境》系统研究的第一卷,着重论述了如下问题:

(1)碳酸盐岩区域的地球化学作用与碳酸盐矿物、水及大气 CO_2 之间的作用紧密相关,表层岩溶带与相邻圈层的碳循环相互影响。碳酸盐岩区域侵蚀作用强烈。对碳酸盐岩地区侵蚀作用的科学认识有利于揭示区域环境质量的演化,有利于调控生态系统的结构功能,有利于评估其全球变化意义。碳酸盐岩侵蚀作用是一个全球时空尺度下的地质过程。贵州碳酸盐岩区域的特殊地理位置、梯级格局和镶嵌景观,决定了其侵蚀作用过程的研究具典型意义。

(2)碳酸盐岩区域地表植被类型的差异,岩溶地球化学过程复杂多变。常见的生境类型有原始岩溶森林区、人工林区、灌木林区、草本层覆盖区、石漠化区以及岩溶沉降区。不同生境下,土层有机碳和无机碳的含量分布变化很大。同时,土层中 CO_2 的产生量差别也很大,体积比高低者仅 $500 \times 10^{-6}(\text{v})$,高者可达 $17000 \times 10^{-6}(\text{v})$ 。其由高而低的顺序是:灌木林区、原始岩溶森林区、草本区、石山区。生境条件对土层 CO_2 含量的控制可能主要受微生物作用的制约;而土层结构、气温、降水等条件对土层中 CO_2 的产出、淋失、逸散都可能产生较大影响。

(3)碳酸盐岩区域侵蚀以化学侵蚀为主,物理侵蚀为次。碳酸盐岩的化学侵蚀与侵蚀后过程既制约了碳酸盐岩区域水化学组成的不稳定性,又存在与大气 CO_2 的耗损与逸散平衡。碳酸盐岩区域物理侵蚀速率虽小,但却导致区域土层处于负增长状态,促成了岩体裸露石山化趋势。区域石山荒漠化与岩性特点、地貌类型、降水条件、土地利用等众多因素相关。宇宙线产生的短寿命核素 ^7Be 提供了示踪土粒季节性侵蚀的可能。示踪研究结果表明碳酸盐岩山坡上部为严重侵蚀区,侵蚀速率为流域平均侵蚀速率的 1.3×10^2 倍;夏秋季较秋冬季侵蚀强度大 20%~30%;冬春季土粒侵蚀位移距离小,在低洼部位堆积,而夏秋季位移距离增大,土粒可能进入下游水体。

(4)碳酸盐岩上红色风化壳演化特征的认识是揭示其地球化学敏感性和生态环境脆弱性的重要方面。用扫描电镜、红外光谱、X 射线衍射等多种分析手段研究表明:高岭石和 0.7nm

埃洛石是红色风化壳主要粘土矿物。粘土矿物组合随成土环境和风化强度在剖面中呈规律变化。通过常量、微量及稀土元素分布研究表明:红色风化壳演化经历了三个成土地球化学过程:富硅铝脱钙镁过程、富铁锰过程及富铝硅过程。

(5)为证实碳酸盐岩风化过程的酸控制因素,通过三种合成雨水的模拟实验表明:“现代空气雨水”(pH=5.75)有利于碳酸盐类矿物的溶蚀;而“饱含 CO₂ 雨水”(pH=4.80)的溶蚀作用与前者相比,反而存在 Ca²⁺、Mg²⁺带出量降低的趋势;但“酸化雨水”(pH=3.5)的溶蚀作用较前者增高 1~2 倍。

(6)碳酸盐岩上覆土壤的酸化敏感性与其生态脆弱问题密切相关,特别对酸沉降区更具现实意义。对白云岩与石灰岩上覆黄壤的淋溶模拟实验证实,土壤中残留含钙矿物的不断溶解构成了对酸化的缓冲作用,从而降低土壤对酸化的敏感性;但两种类型黄壤不仅在 pH 值上有差别,而且含有一定潜性酸,从而导致二者的酸化敏感性差异很大。研究结果还表明:金属元素对两种黄壤酸化的敏感性顺序也具很大差别。对盐基离子而言,清镇黄壤为 Ca>Na>Mg>K;而遵义黄壤为 Na>Ca>K>Mg;对微量元素而言,清镇黄壤为 Zn>Cu>Pb>Cd>Fe>Mn;而遵义黄壤为 Zn>Pb>Cu>Mn>Cd>Fe。

(7)遥感信息的使用可能为揭示碳酸盐岩区域环境变化提供新的思路。通过对区域内主要地物遥感光谱特征的分析可知:碳酸盐岩的光谱特征大体相同,但在反射率上,钙华>白云岩>灰岩;由于土壤有机质含量差异,在反射率上,表层耕土>草甸土>水稻土;各类植物光谱特征相似,反射率差别为:草本>苔藓;从 TM 波段反射率与叶绿素含量相关性分析,反映碳酸盐岩区域植物生理和生态状况的较好指标是 TM5/7、TM5/4、TM2/1 以及 TM2/3。

四

本领域的研究中常用到“喀斯特”、“岩溶”及“碳酸盐岩”三个专有名词。三者在某种程度上同义;但究其词源和定义又略有差别,好似一事物的不同侧面。鉴于环境问题的发生和发展,环境质量的演化和变异都是以环境物质作基础,本书中较多地使用“碳酸盐岩”一词。但为叙述方便,有时也用“岩溶”或“喀斯特”。

限于研究进展,本书只涉及有限的几个问题。好在这个领域的研究工作还在继续和深入,我们将出版第二卷、第三卷……。环境地球化学国家重点实验室(1994~1995 年度)的客座研究计划已经实施,可望在这一领域取得新的进展。特别可喜的是,国家自然科学基金委员会已将本类选题列为地球科学部“九五”优先资助领域。

碳酸盐岩区域环境领域的许多问题,在不同学科中尚未取得完全一致的见解。随着研究工作的深入,将会逐步取得共识。作为多学科的系统研究,论著中存在不同的看法是自然的。因此,我们在成书时,一方面重视章节之间的内容联系和交叉衔接;另一方面尊重各章执笔者的学科特色。“鱼”和“熊掌”皆为吾欲,盼兼而得之。

五

本项研究的开展和专著的出版获得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的资助。但是,科学研究总是在一个大系统中进行,因而其中各部分研究内容与若干项国

国家自然科学基金项目和国家其它科学研究项目存在着密切的必然联系。所以,在一定程度上获得了相关项目的资助。这些项目中包括:

国家自然科学基金重点项目:云贵高原湖泊现代沉积地球化学过程及环境信息的辨识与提取(项目编号:49333040,主持人:万国江)

国家自然科学基金面上项目:“模拟酸雨对土壤中微量元素迁移作用的研究”(项目编号:49273184,主持人:戎秋涛)

国家自然科学基金地区基金项目:“贵州岩溶环境中红土风化机理及其地球化学敏感性研究”(项目编号:49463011,主持人:朱立军)

地矿部“八五”重大基础研究项目:“中国岩溶的形成与环境预测研究”(主持人:袁道先)

中国博士后基金项目:“中国南方岩溶山区与北方黄土高原土壤侵蚀差异的对比研究”(主持人:白占国)

六

感谢刘东生教授为本书热情作序。

本书各章的分工为:

前言由万国江执笔;第一章由李彬、袁道先执笔;第二章由白占国、万国江执笔;第三章由朱立军、万国江执笔;第四章由陈福执笔;第五章由戎秋涛、刘建明执笔;第六章由王云鹏执笔。

万国江、白占国负责成书的统稿工作。

笔者要向参与研究的实验室分析人员致以衷心的感谢。他们中有:李荪蓉高级工程师、王长生高级工程师、周竟业工程师、袁芷云高级工程师、黄荣贵高级实验师、朴河春副研究员等,他们的辛勤劳动为本书的撰写提供了重要依据。

笔者还要感谢陈业材研究员、李斌和顾复等同志。他们在实验室客座学者的工作和生活安排上给予了很好的照顾。魏承钧和曾传辉两同志承担了野外交通保证。

邹申清硕士和顾爱良硕士参与了部分资料的整理和成书的校改工作,黄万才和程林同志清绘了部分图件。

此外,中国科学院地球化学研究所领导谢鸿森研究员、李加田研究员、科研处陈南生研究员、王兴理高级工程师及后勤部门负责同志对本项研究的实施给予了很大的帮助,谨此一并致谢!

由于时间仓促,书中不妥之处,恳望读者批评指正。

目 录

序

前言

第一章 碳酸盐岩区域表层岩溶带碳循环	(1)
1. 表层岩溶带及相邻圈层碳循环	(1)
2. 研究点概况	(2)
3. 碳酸盐岩地区土壤层中的 CO_2	(4)
4. 表层岩溶带碳循环与地球化学敏感性	(12)
5. 小结	(15)
第二章 碳酸盐岩区域侵蚀的地球化学	(16)
1. 碳酸盐岩区域侵蚀与环境质量	(16)
2. 碳酸盐岩区域的化学侵蚀	(19)
3. 碳酸盐岩区域的物理侵蚀	(32)
4. 小结	(39)
第三章 碳酸盐岩区域红色风化壳及其演化	(41)
1. 红色风化壳剖面特征	(41)
2. 红色风化壳粘土矿物特征	(43)
3. 风化壳地球化学特征	(48)
4. 粘土矿物成因与碳酸盐岩风化壳形成机理	(56)
第四章 碳酸盐岩风化淋滤的模拟实验	(58)
1. 实验装置、样品及实验方案	(58)
2. 实验结果	(59)
第五章 碳酸盐岩区域黄壤酸化敏感性	(62)
1. 酸雨和土壤概况	(62)
2. 实验方法	(62)
3. 实验结果	(64)
4. 黄壤酸化敏感性探讨	(75)
第六章 碳酸盐岩地区地物遥感光谱特征	(78)
1. 岩石的波谱特征	(78)
2. 土壤的光谱特征	(79)
3. 植物的光谱特征	(80)
4. 植物生态遥感监测机理的初步探讨	(84)
5. 小结	(87)
参考文献	(88)

CONTENTS

Preface to the Publication

Foreword

Chapter 1: Carbon-Cycle in the Epikarst Zone	(1)
1. Concept of carbon-cycle in the epikarst zone and its adjacent sphere	(1)
2. Introduction of sampling sites	(2)
3. CO ₂ in soils on the carbonate rocks	(4)
4. Carbon-cycle and geochemical sensitivity in the epikarst zone	(12)
5. Results and discussion	(15)
Chapter 2: Geochemical Weathering in the Carbonate Rock Region	(16)
1. Basin erosion and environmental quality	(16)
2. Chemical erosion	(19)
3. Physical erosion	(32)
4. Results and discussion	(39)
Chapter 3: Red Weathering Crust on the Carbonate Rocks and Its Evolution	(41)
1. Profile of the red weathering crust	(41)
2. Clay minerals	(43)
3. Element geochemistry	(48)
4. Evolution of the red weathering crust	(56)
Chapter 4: Model Leach Experiment of the Carbonate Rocks	(58)
1. Experimental techniques	(58)
2. Results and discussion	(59)
Chapter 5: Sensitivity of Yellow Soil on the Carbonate Rock to Acid Deposition	(62)
1. Acid precipitation and the soils	(62)
2. Experimental methods	(62)
3. Experimental results	(64)
4. Mechanism of the sensitivity	(75)
Chapter 6: Remote Sensing Spectrum of Earth Objects on the Carbonate Rock	(78)
1. Spectrum of the rocks	(78)
2. Spectrum of the soils	(79)
3. Spectrum of the plants	(80)
4. Remote sensing monitor to the plant ecology	(84)
5. Results and discussion	(87)
References	(88)

第一章 碳酸盐岩区域表层岩溶带碳循环

碳酸盐岩地区一种突出而占主导地位的地质、地球化学作用就是岩溶作用。从地球系统科学的观点来看,岩溶作用就是碳酸盐岩地区碳循环及与其耦联的水循环、钙(镁)循环的作用过程。从碳循环的作用机理来看,它不仅仅涉及到碳酸盐岩本身,而且与其相邻圈层,如生物圈层、大气圈层等有着密切的关系。正是这一密切关系导致了碳酸盐岩区岩溶作用与环境的相关性和系统内地球化学对环境的敏感性。岩溶作用最活跃且与环境关系最密切的是上部表层岩溶带。

由于全球变化过程中 CO_2 的温室效应,全球碳循环已在各层次、各方面进行了大量研究。在陆地碳循环研究方面主要进行了:①土壤圈中 CO_2 分布规律及其观测方法的研究(Haas et al., 1983; Dorr et al., 1986; Norman et al., 1992; Wood, et al., 1993; Vermetten, et al., 1994; Wang et al., 1993; 俞锦标等, 1985); ②陆地生物圈对 CO_2 源汇关系的研究,尤其对生物的转化、热带雨林被破坏造成的影响等的研究(Keeling, 1973; Woodwell and Houghton, 1977); ③人为作用对全球 CO_2 浓度变化的影响(康德梦等, 1990); ④全球大气 CO_2 监测网的建立,如澳大利亚、夏威夷、加拿大等地的监测网。对岩石圈风化作用过程中消耗 CO_2 的机理也进行了初步的研究(Suchet and Probst, 1993)。此外,还提出了关于碳循环与岩溶作用关系及其对全球变化的可能影响的研究(袁道先、蔡桂鸿, 1988; 袁道先, 1993),并在碳循环与岩溶作用机理方面取得了不少新的认识,提出了研究岩溶发育机理的新思路、新方法。但对岩溶区碳循环的研究还不够系统,尤其对岩溶作用带与相邻圈层之间的相互作用,以及岩溶区的各种地质、地球化学作用对环境变化的敏感性等方面还有待深入。因此,有必要通过不同地质、生态区域的系统观测研究,揭示其内在的规律性。

1. 表层岩溶带及相邻圈层碳循环

1.1 研究思想及方法

岩溶作用系统是一个与碳循环相关的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_3^{2-}$ 三相不平衡开放系统(图 1-1)。这一系统对环境反应极其灵敏,如 CO_2 浓度的增减(受生物、气候等条件所控制)、pH 值的变化等可迅速改变其作用的方式和方向。因此,对岩溶区的碳循环特征及其岩溶系统的地球化学敏感性进行研究,必须对相关各圈层进行系统的观测。同时,鉴于这一系统的敏感性和多变性,又必须采用轻便、灵敏的仪器进行定时、定位现场观测,以捕捉各类地球化学信息。为此,我们采用了一系列轻便仪器,如日本产 801 型 CO_2 气体测试仪、美国产 5985-80 型 pH 计、暂时硬度测试装置等,对土壤 CO_2 、水的 pH 值和 HCO_3^- 、水温等进行了动态观测,以示踪水、土和岩石间的碳循环方向、强度。同时,选择不同生境类型的点分别进行了两个季节的系统观测,以对比不同环境条件下岩溶区碳循环特征和地球化学敏感程度。

1.2 碳酸盐岩区域碳循环概念模型及描述

岩溶区表层岩溶带和相邻圈层的碳储库及其相互间的碳循环与其它环境系统相比,有着

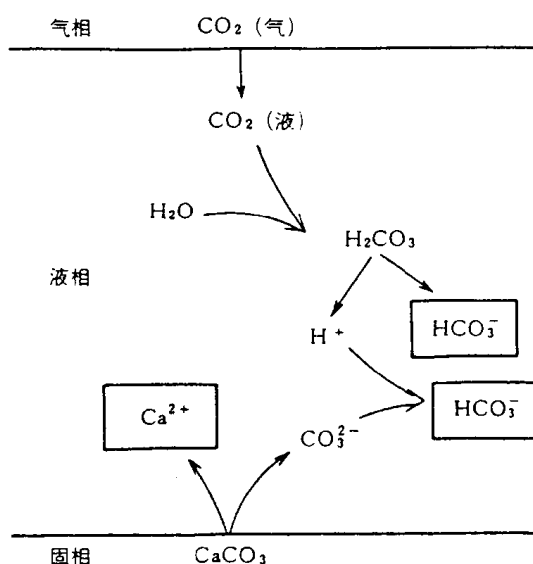


图 1-1 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_3^{2-}$ 三相不平衡开放系统示意图
(袁道先, 1993)

相当重要的特殊性。这里不仅是全球最大的碳储库, 而且在现代全球碳循环过程中仍然较活跃。此外, 碳循环过程不仅仅与生物活动、人类活动相关, 而且与地质作用过程密切相关, 并相互影响。为了更好地描述岩溶地区各圈层间的碳循环过程, 现提出一种概念模型。

岩溶区各圈层间的碳循环是相互关联、相互作用的。它们通过与水循环及钙(镁)循环一起将各圈层连在一起, 但又不失各自的独立性。

(1) 生物圈与大气圈: 植物通过光合作用而消耗了大气中的 CO_2 , 使其固定为生物体本身或转化到土壤中。同时, 植物通过呼吸作用释放 CO_2 , 有机质通过微生物分解或氧化作用也释放 CO_2 。

(2) 土壤圈层: 土壤圈在碳循环过程中起着重要的作用。一方面它是生物(植物、微生物等)的重要依存圈; 另一方面也是有机碳、气相 CO_2 的重要储库。

(3) 表层岩溶带: 它由岩石圈(碳酸盐岩)和水圈(地下水)所组成, 并与其上部圈层有着密切的关系。大气圈中的 CO_2 通过溶入降水而直接影响到表层岩溶带的碳循环; 表层岩溶带的次生化学沉积作用又伴随有 CO_2 直接向大气释放; 植物根系呼吸作用、微生物作用及有机质氧化作用所产生的 CO_2 可能在水循环过程中被表层岩溶带消耗。同时表层岩溶带的碳可重新进入水循环中。

(4) 表层岩溶带及相邻圈层碳循环概念模型及描述: 岩溶区的碳储库主要包括: 大气、植被、土壤(土壤中有有机碳、无机碳和气相 CO_2)、碳酸盐岩和水。各碳库之间通过各类生物、生物化学、地球化学和岩溶地质作用而相互关联、相互作用。

在概念模型中(图 1-2), 岩溶区碳循环较为关键和特殊的环节是土壤库中 CO_2 的形成及碳酸盐岩溶蚀和沉积作用。土壤库中 CO_2 含量的高低直接影响表层岩溶带岩溶作用的发生, 即最大碳储库碳酸盐岩中碳的“活化”及溶蚀作用对 CO_2 的消耗。此外, 环境条件的改变也可导致岩溶作用向另一个方向发展, 即碳酸盐岩沉积作用的再发生, 继而导致水圈中的碳以 CO_2 的形式向大气释放。前者对大气 CO_2 的消耗是一个复杂过程: 大气 $\text{CO}_2 \rightarrow$ 植物或生物 $\rightarrow$ 土壤 $\text{CO}_2 \rightarrow$ 溶于水的 $\text{CO}_2 \rightarrow$ 碳酸盐岩被溶蚀而消耗的 CO_2 ; 后者的过程则相对简单, 水圈中的碳直接由于沉积作用的发生而向大气释放。因此, 本次研究重点揭示岩溶区土壤圈中的 CO_2 问题。

2. 研究点概况

中国碳酸盐岩分布广, 面积大, 约占国土面积的 1/3。西南地区是我国主要的连片裸露岩溶区, 贵州高原又处于这一连片区的中心。因此选择该岩溶区的碳循环进行研究具典型意义。

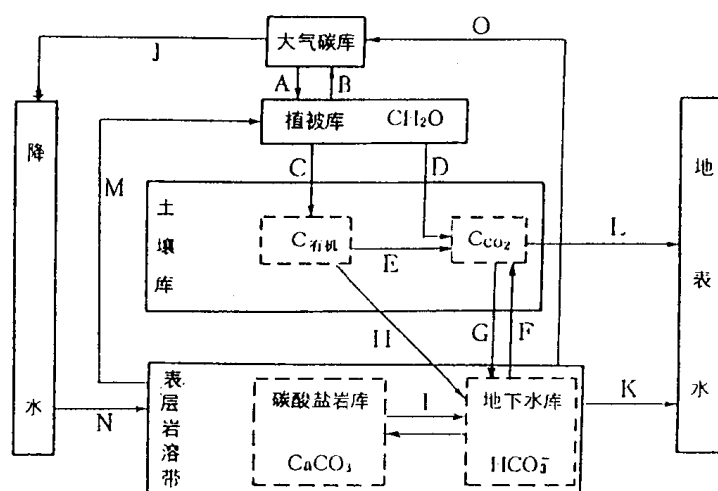


图 1-2 碳酸盐岩区碳循环概念模型

A: 光合作用固定大气 CO_2 ; B、D: 生物呼吸作用放出 CO_2 ; C: 生物以有机质积累的形式固定碳; E: 有机质的分解作用; 甲酸形成: $2\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HCOO}^- + 2\text{H}^+$; 甲酸氧化: $2\text{HCOO}^- + \text{O}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ F、G: 土壤与地下水间的 CO_2 交换; H: 溶解有机碳进入岩溶水; I: 碳酸盐矿物的溶蚀与沉淀; J: 降水溶解大气 CO_2 ; K: 岩溶水流入地表水的 HCO_3^- ; L: 土壤中颗粒态或溶解态有机碳进入地表水; M: 岩溶水的 HCO_3^- 进入植被; N: 降水中溶解的 CO_2 直接进入岩溶带; O: 岩溶化学沉积作用释放 CO_2 进入大气

为了对比研究不同地质生态条件下的碳循环特征及地球化学敏感性差异,选择了如下生境类型:

2.1 茂兰原始岩溶森林区

该点位于贵州高原与广西盆地过渡的斜坡地带。岩性为质纯的中石炭统黄龙群灰岩。岩溶作用强烈,为典型的峰丛山区。基岩广泛出露,仅在洼地和谷地的底部有薄层土和落叶层(腐殖质层)。由于其原始森林保存完好,该地区完全呈现出与其他裸露岩溶区不同的生境和水文地质条件。为配合地矿部“八五”重大基础理论项目的研究,在旺牌山洼地进行了常年表层岩溶带泉水水化学及土层 CO_2 的观测(图 1-3)。

2.2 人工林区

红枫湖生态站台地基岩为下三叠统安顺组白云岩,土壤主要为山地黄壤,土层厚 20~100cm,土层均为草本覆盖。在 IV 号(即三阶台地)、V 号(即二阶台地)台地上分别各有一个表层带岩溶泉(图 1-4a)。

2.3 灌木林区

清镇红枫湖生态站为一人工栽培林区(图 1-4b),下伏三叠系安顺组白云岩,土质为山地黄壤,表层覆盖松散落叶层和腐殖质层,底部为风化白云砂。林地主要乔木为长毛松、茶树,灌木为青岗类、蕨类。

2.4 草木覆盖区

平坝白岩脚位于一溶丘谷地,下伏三叠统安顺组白云岩(图 1-5)。裂隙型泉点位于溶丘的半山腰,有钙华沉积。泉点上部为发育较好的灌木、草本及农作物。土粒主要分布于洼地、裂隙和溶槽中。

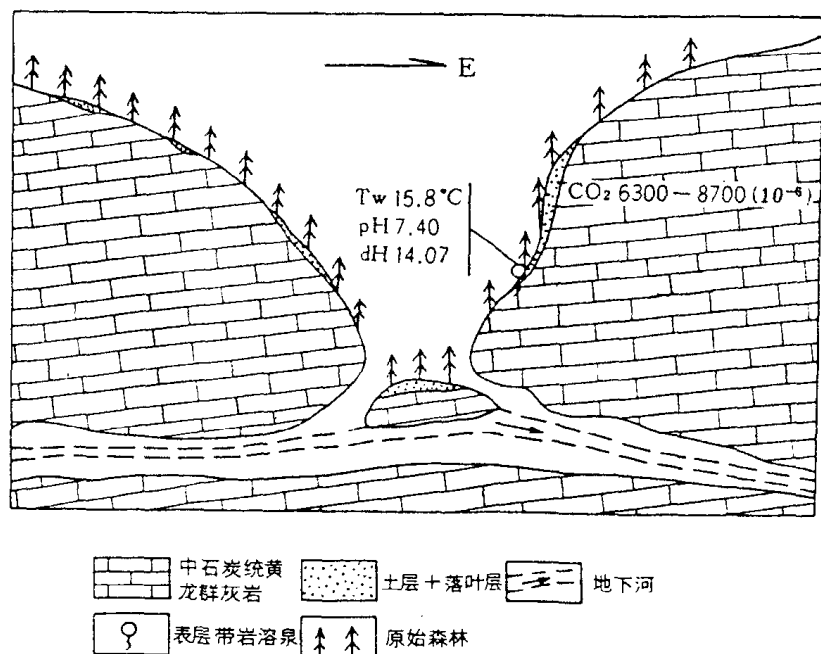


图 1-3 茂兰旺牌山观测点地质剖面示意图

图中 Tw 为水温;dH 为水的硬度

2.5 石漠化生境区

该类地区基岩裸露,仅在洼地和溶槽中有少量土壤和草本。

(1) 普定冯家寨(图 1-6):该点基岩为中三叠统关岭组纯灰岩,表层带岩溶泉为一裂隙型(S-N 向),泉水终年不断。泉点上部基本石漠化,但石缝中有山地黄壤,并有少量草本生长;在山体的中上部见有稀疏灌木。

(2) 安顺两所屯(图 1-7):系白云岩裸露石山区,石漠化严重。石缝中见红色、棕色土层,仅有零星草本。山体内岩溶发育,形成上下两层溶洞。上层洞内滴水不断,但无现代次生化学沉积物;下层洞有现代地下河。山前洼地有岩溶泉出露,为研究石漠化地区表层岩溶带的碳循环提供了一个理想场所。

2.6 岩溶沉积区

黄果树瀑布位于长江流域与珠江流域分水岭南坡的打帮河上游(白水河段)。由于多次地壳抬升,沿河形成了多级裂点和跌水。黄果树瀑布则是其中之一,其汇水面积为 720 km²,年均流量 18.2m³/s(俞锦标,1990)。由于跌水动力扰动作用,CO₂ 在短程内大量释放,岩溶水化学条件迅速发生变化,导致了大量钙华沉积。

以上各点基本代表了几种主要生境条件和不同岩溶作用方式,可以勾画出贵州高原区的表层岩溶带及相邻圈层的碳循环模式,也能反映出不同条件下岩溶系统地球化学敏感性的差异。

3. 碳酸盐岩地区土壤层中的 CO₂

岩溶地区由于其特殊的地质基础(可溶岩性),所形成的土壤层往往较薄,且分布不均。土

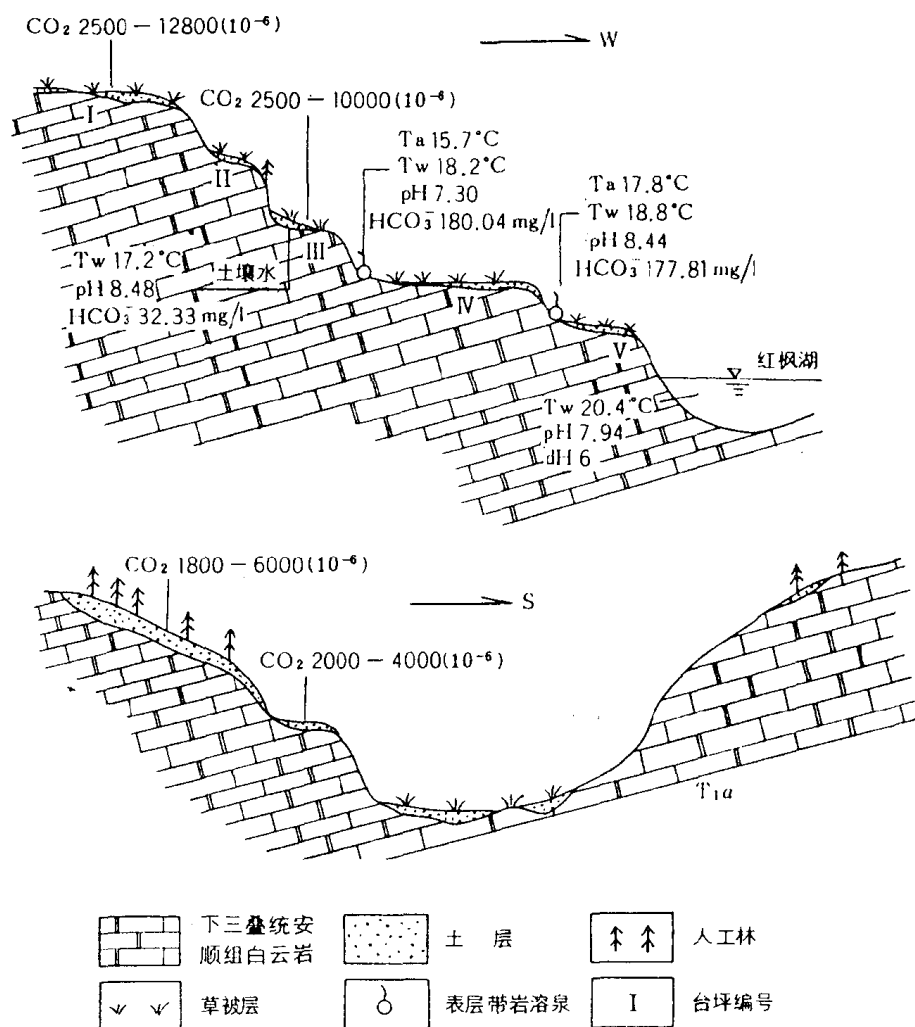


图 1-4 清镇红枫湖生态站观测点地质剖面示意图
图中 I~V 为台地编号；Ta 为空气温度；Tw 为水温

壤层除了本身是有机碳转化的储集层外，同样也是 CO₂ 气体富集层，其中的 CO₂ 浓度往往是大气的几十，甚至几百倍，它的存在对岩溶地区的碳循环强度起着较大的控制作用。

3.1 土层中有机碳、无机碳的分布

土层中碳的存在形式多种多样，主要是各种含碳矿物和有机质。由表 1-1 可见，由表层往下有机质逐渐减少。如安顺两所屯白云岩峰顶的红土表层(约 2~3cm 厚)所含有机碳高达 6.36%，而下部含有机碳仅为 1.18%。

从不同生境条件看，同一性状的土由于其植被条件不同，有机碳含量也不同。在红枫湖生态站的林地中，表层腐殖土含有机碳为 3.08%，下部棕黄壤含有机碳为 1.01%；而林地旁草本下的黄壤性土(上部)仅含 1.51%的有机碳，与林地棕黄壤相当。也就是说，木本植被土层要比草本条件下更富集有机碳。这一方面与乔木对大气 CO₂ 的固定、转化的强度有关；另一方面落叶对有机质的富集也起了一定的作用。因此，植被类型对碳循环强度起一定的控制作用。红枫湖生态站林地黄壤与冯家寨石灰土尽管生境条件不同(前者为乔木林地，后者仅见少量草本