

# 回眸环境质量地球化学前期研究——纪念涂光炽先生九十华诞

万国江

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, 贵州 贵阳 550002

Wan Guojiang

State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Wan Guojiang. **Recollection of the forepart study of environmental quality geochemistry: To the memory of the Prof. Tu Guangchi's 90 birthday.** *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(2):404-416

**Abstract:** Prof. Tu Guangchi, an academician of CAS, predicted in 1973 that “the environmental sciences and life sciences will be uprising in the 70's of 20 century”, and pointed out that “the mutual infiltration between environmental sciences and geochemistry has produced the environmental geochemistry, as a new interdisciplinary subject”. In the past 40 years, the development of the Environmental Quality Geochemistry has undergone three stages: the “investigation-evaluation” stage, the “region-integration” stage and the “interface-mechanism” stage. The environmental geochemistry focused its research objective on the regional evolution of environment, as well as the environmental impact on health and ecology; it has had remarkable achievements in these studies and it will make more welfare to the mankind in the 21 century.

**Key words:** environmental quality geochemistry; regional environment; environmental evaluation; environmental interface

**摘要:**1973年涂光炽先生预言:“七十年代环境科学和生命科学将异军突起”、“环境科学与地球化学的相互渗透,产生了新的边缘分支学科——环境地球化学”。近40年来,环境质量的地球化学研究经历了调查评价—区域综合—界面机理三个发展阶段,在典型区域环境演化及环境—生态效应方面取得了重要进展,并将在21世纪为人类谋求更多的福利。

**关键词:**环境质量地球化学研究;区域环境;环境评价;环境界面

**中图分类号:**X142 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2010)02-0404-13

## 0 引言

涂光炽先生是我国环境科学和环境地球化学的开创者之一。1973年他预言:“七十年代环境科学和生命科学将异军突起”、“环境科学与地球化学的

相互渗透,产生了新的边缘分支学科——环境地球化学”<sup>[1]</sup>。近40年的光阴流逝和学科发展,验证了科学大师的深邃洞察。本文回顾环境质量地球化学学科的前期发展,谨献给涂先生90华诞!

20世纪50年代以来,工业污染逐渐成为影响人类生存和健康的突出问题。地质学家和地球化学

收稿日期:2010-02-26

基金项目:国家自然科学基金项目(40773071,40873086)

作者简介:万国江(1940—),男,研究员,核子地球化学专业,主要从事区域环境演变、环境过程和核素示踪研究。E-mail:wanguojiang@vip.skleg.cn

家们清楚地看到地质环境与人类的生存和健康之间存在着极为密切的联系。特别是人类活动作为一种影响地球形态、结构和组分变化的营力,已经到了不可疏忽的程度。大批地质学家开始献身于地质环境的地球化学研究。1972年,刘东生先生撰文指出“地质学的一个新的分支—环境地质学—就这样诞生了!”<sup>[2-3]</sup>。与此同时,大批化学家也从“地球化学”的概念出发,致力于地球环境的化学研究;大批生物学家也试图从地球环境化学变化导致生命机体生理变化的原因上关心地球化学。因而,在不太长的时间内,环境地球化学变成了地球科学家、化学家和生物学家共同探索的科学主题。有关地球化学环境研究的机构纷纷建立、学术活动日渐频繁、书刊大量出版。环境地球化学作为一门新兴的边缘学科出现了!几乎与国际学术界的发展同步,我国的地球科学家、化学家和生物学家也在保护环境和改善生态的领域开拓了这一崭新的研究阵地。

环境质量的地球化学研究从地球环境的整体性和相互依存性出发,以地质地球化学理论为基础,针对区域环境特点和全球环境变化问题,综合研究化学元素在地-水-气-生各圈层间相互作用的地球化学过程,揭示自然作用和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<sup>[4]</sup>。其研究特色是:将环境科学与地球科学融为一体;将当今的环境质量变化与地球历史的长期演化进行结合;将地球环境系统的自然演化与人为活动的环境影响进行结合。从而,在揭示地球各圈层间的相互作用关系和辩识环境质量变异的自然与人为作用份额方面具有独特的学科优势。

近40年以来,环境质量地球化学学科方向和研究目标的确立与完善经历了“调查评价—区域综合—界面机理”三个不断发展的阶段,即:早期阶段,着重于环境污染规律和环境质量评价的研究,地球化学元素追踪原理在环境调查和评价中发挥了重要作用。自20世纪70年代中后期,开始从区域整体上认识和解决环境质量问题,地球化学环境分异原理在区域环境综合研究中发挥了指导作用。进入80年代,全球变化问题的提出为环境地质地球化学的发展提供了新的研究空间。环境界面地球化学过程机理和环境变化历史记录的研究构成了崭新的研究领域。1986年我们开拓了环境界面地球化学和环境记录研究新领域。90年代,环境地球化学发展获得了两个重要机遇:一方面,为寻求认识区域环境

质量和揭示全球环境变化的科学基础,环境变化过程微观机理的深入研究显示出越来越大的重要性;另一方面,学科的发展有赖于学科理论的提高和高层次专业人才的培养。1988年国家计委批准环境地质地球化学作为我国国家重点发展和支持的领域之一;1991年中国科学院正式批准组建“环境地球化学国家重点实验室”;1995年国家重点实验室建成并通过国家验收。从而,为该领域的高水平研究和高层次人才培养打造了坚实的平台。进入21世纪,随着新纪元的到来,环境地质地球化学学科在区域环境质量的维护和改善、地球自然资源的开发和利用、经济社会的可持续发展、全球物质循环和全球环境变化等诸多方面为人类做出了新的重要贡献!

## 1 我国环境质量地球化学研究的早期发展:春雨助苗、一派生机

20世纪60年代末期以来,环境污染和生态恶化的问题在全球范围内日趋突出。这就向地球科学家提出了认识地球环境变化、维护环境质量的崭新任务。1972年,刘东生先生在《环境地质学的出现》一文中,全面阐述了环境地质学出现的历史背景、学科范畴、研究方向和发展前景。“地质学的一个新的分支—环境地质学—就这样诞生了!”<sup>[2-3]</sup>

1973年,涂光炽先生指出“地球化学的指导思想、工作方法也可以用于环境科学问题。这就必然导致环境科学与地球化学的密切结合,导致了环境地球化学这一门新的分支学科的产生”<sup>[1]</sup>。

从刘东生和涂光炽两位地学泰斗的早期论述可见:环境地质地球化学的出现是认识环境质量变化的需要。正是由于它以地质地球化学作为学科基础,因而在我们的学科概念中,环境地质与环境地球化学两个学科名词一直并用,沿袭至今。

基于研究工作的需要和学科的发展,环境地质地球化学开始了针对地方病与环境质量问题两个侧重点的研究。前者着重于自然环境与人体健康(地方病)关系的认识,也称为第一环境的研究;后者着重于人类活动与环境质量(环境污染)关系的研究,也称为第二环境的研究。虽然二者的研究目标和服务对象有差别,但是二者都立足于地质地球化学的学科基础和研究观念。

1973年初,我国开始有组织、有计划地调查环境污染和研究环境质量。根据国务院1972年(46)

(62)(67)3个文件的精神,国务院官厅水系水源保护领导小组办公室与中国科学院共同拟订了我国第一个重点环境科学研究项目“官厅水系污染调查”。其中,由中国科学院地球化学研究所负责,中国科学院地理研究所、北京大学、北京师范大学等26个单位53人参加,于1972年4月24日至5月25日开展了官厅水系洋河流域污染源调查。在中国首次大规模的污染源科学考察的基础上,万国江、程鸿德和蒋九余等人提出了污染源调查和评价的等效-等标原理和方法,为尔后全国性的污染调查和环境评价奠定了重要的理论和方法学基础。在“官厅水系污染调查”研究中,中国科学院地球化学研究所还负责官厅水库库区污染状况的研究,李士荣、黎秉铭、朴河春、黄荣贵、魏惠芳等人靠自己动手、土法上马,在水库管理部门的配合下,建立了中国第一个水环境监测实验室,并用于官厅水库水体污染状况的调查研究。

与官厅水系污染调查研究的同时,应北京市领导万里同志的邀请,涂光炽先生和刘东生先生率领中国科学院地球化学研究所人员与当时正在组建中的北京市环境保护科学研究所共同负责组织“北京西郊环境污染调查与环境质量评价”研究。李长生等在进行该项目的设计和 implement 中,突出地展示了地质地球化学的理论和方法在认识环境污染中的重要基础作用。李长生、万国江和陈业材等在北京西郊环境质量评价的成果总结中,进一步将污染源评价的等效-等标原理扩展于区域环境评价,为尔后全国各地区的环 境质量评价研究开创了先例。在继之开展的“北京东南郊环境污染规律研究”中,更进一步深刻了地球化学原理的环境认识。

在“官厅水系污染调查”和“北京西郊环境污染调查与环境质量评价”两项我国环境保护科学领域的开拓性研究中,既显示了环境地质地球化学在国家经济社会发展中的重要作用,又充分表明了环境地质地球化学在新兴的环境科学领域中的核心地位。该两项研究成果同时荣获1978年全国科学大会奖。此时的学术界将地球化学与生态学并列誉为当代环境科学的两个基础学科<sup>[5]</sup>。

70年代中期,继环境地质学确立之后,刘东生先生从地质学与社会发展关系上阐述了地质学发展经历了由矿床地质到工程地质,再到环境地质的3个进程。这体现了社会需求是环境地质学出现的动力之源。刘东生先生还指出,环境地质学同样应该

遵循地质学发展的生物进化观、物理运动观和化学演化观。

1974年,在涂光炽所长的竭力支持下,由刘东生先生主持创建了中国第一个环境地质研究机构——中国科学院地球化学研究所环境地质研究室。与之同时或稍后组建的类似研究机构还有:中国科学院地理研究所化学地理研究室、中国科学院长春地理研究所化学地理研究室、中国科学院环境化学研究所等。它们大都开展环境质量地球化学的研究工作。原地质部在水文地质司下设立了环境地质办公室;北京大学、北京师范大学、中山大学、东北师范大学、华东师范大学、浙江大学等许多院校都相继开设环境科学系,将环境地质地球化学作为重要的教学内容,并开展相应的研究工作。

当时,国务院环境保护领导小组办公室是全国环境保护工作和环境科学研究的领导和协调机构。但是,这个仅有17位人员工作的领导机构,在人力和物力上都不敷环境保护事业和环境科学发展的需要。在此期间,中国科学院于1980年6月13日决定成立以院副秘书长李苏同志任主任委员,吴学周、马大猷、熊毅、曾呈奎、刘东生、马世骏、陆纘观、郭方等同志任副主任委员的环境科学委员会。其下设办公室成员有卢贵钦、刘安国、鲍强等。中国科学院环境科学委员会实际上肩负了指导全国环境科学研究和发展的重任。国家科学技术委员会相应地设立了付立勋同志为主任的环境保护办公室,开始了对环境保护科学技术的支持。基于环境质量问题的关键是环境污染物的释放、扩散和影响,环境地质地球化学的研究内容自然地构成了环境科学研究的核心。

1977—1978年,受国务院环境保护领导小组办公室委托,万国江和徐义芳负责完成了《中国环境污染形势初步分析》<sup>①</sup>,首次对我国主要污染物进行了现状、预测和控制的全面评估。以该成果内容作为基本科学依据,1978年12月,国务院决策了我国环境保护事业的发展,国务院环境保护领导小组办公室首次获得扩编。

1979年,中国矿物岩石地球化学学会设立环境地质地球化学专业委员会;中国环境科学学会设置环境地球化学及污染化学地理专业委员会、环境质量评价专业委员会;中国地理学会设置化学地理专

① 万国江,徐义芳.中国环境污染形势初步分析(提交国务院环办的研究报告).贵阳:中国科学院地球化学研究所,1978.

业委员会。上述与环境地质地球化学直接相关的学术团体的成立,为尔后环境地球科学的发展与交流开创了良好的条件。1981年10月,中国环境科学学会、中国矿物岩石地球化学学会及贵州省环境科学学会在贵阳联合召开了“全国首次环境质量、环境地球化学及污染化学地理学术讨论会”。全面总结了70年代以来,我国在环境质量、环境地质地球化学、地球化学与人体健康等领域的研究进展,为80年代学科的发展和学术交流开启了新径。在当时的科学内涵上,环境物质的分布、运移、转化及其环境影响构成了环境质量研究的基本范畴。同时还表明了环境质量与地球化学研究的重要联系<sup>[6]</sup>。

1983年出版的《中国大百科全书·环境科学》卷中,纳入了数十条有关环境质量地球化学的条目。这既是对环境质量早期研究成果的肯定,还是对环境地质地球化学学科发展的一次升华、普及和宣传。

通过早期的学科发展,环境地质地球化学定位于研究地质因素引起的环境问题和人类活动引起的环境问题两大方面,相应地聚焦于5个具有明显学科特色的研究范畴。即:地质环境与人体健康、地质环境与人为污染、地质环境与大型工程、地质环境与资源能源、地质环境与自然灾害<sup>[7-9]</sup>。

## 2 80年代环境质量地球化学研究在综合解决实际环境问题中显示出重要基础作用:山花烂漫、蓬勃发展

### 2.1 大区域环境的综合研究

随着环境污染和生态恶化的日趋严重,全社会对环境问题的认识产生了一个大的飞跃。80年代,环境保护被确定为我国的一项基本国策。全社会都关注控制污染和保护环境事业的新形势推动了环境科学的蓬勃发展。首先是大区域环境的综合研究显示出特殊的意义。

为推动我国区域环境科学研究的发展,1979—1983年,中国科学院环境科学委员会组织完成了“京津渤区域环境污染规律和环境质量综合研究”项目。郭方同志和刘东生先生等主持项目协调,环委会办公室卢贵钦和刘安国同志具体负责项目实施。该研究作为国家重点科研项目,获得了国家科委的有力支持。该项研究是我国大区域环境综合研究的首次尝试,兼具基础性、系统性、综合性和实用性特

点。中国科学院地球化学研究所负责综合研究并主编出版《京津渤区域环境演化、开发与保护途径》研究专著<sup>[10]</sup>。成果从较大的时空尺度上阐明京津渤区域环境概貌及其历史演化特征,提出“京津渤区域环境保护应遵循自然环境功能的阶梯状格局、保持城市群的哑铃状结构、维护整体环境圈层的调节养护关系”为基点的系统的的环境对策。这在尔后的京津唐国土规划、京津城市改造与规划、蓟运河污染治理及环境控制中获得广泛应用。“京津渤区域环境综合研究”成果获得1985年国家科技进步二等奖。

“西南地区国土资源综合考察和发展战略研究”是国务院委托、中国科学院“七五”重点项目。该成果获1995年国家科技进步二等奖。“西南经济发展的环境战略研究”是该项目中的总体战略研究课题之一,由中国科学院地球化学研究所负责于1986—1990年完成,并出版考察研究专著<sup>[11]</sup>。该项研究系统分析了西南地区资源开发与环境质量的双向关系及环境质量恶化的严峻形势;揭示了化学风化速率的区域变化和土壤肥力的区域流失;评价了区域地表水和大气稀释净化能力;针对攀钢二基地选址方案进行了环境影响对比论证;总结了西南地区自然生态脆弱性和地球化学敏感性的特征。为解决经济发展、资源限量与环境目标三者的区域协调关系,提出我国实施“城乡环境一体化建设”的构想和途径。尔后,基于协调全国生存环境的整体性和相互依存性、经济发展与环境改善的总体进程,提出我国实施“东西部环境一体化建设”的建议<sup>[12]</sup>。研究成果对合理开发西南地区的自然资源、维护西南地区的环境质量提供了科学依据。

从上述区域环境研究的实例可见,地球化学的基本原理、研究方法和工作手段被广泛应用于环境质量的科学调查和研究。

### 2.2 区域环境研究的基础:元素-区域-效应

为认识化学元素(含天然和人为释放的化合物)在地球环境中运移、转化、富集规律及其环境质量和生态影响,环境质量地球化学研究必然从物质(元素)、环境(区域)、影响(效应)3个基本环节去考察环境物质的来源、性质、运移、转化、赋存及其相互作用。80年代以来,在维护环境质量和认识全球变化中产生重要影响的研究进展主要体现在:区域环境分异、区域环境背景、区域环境容量等方面。

#### 2.2.1 区域环境分异的研究

区域性环境规划是发展区域经济中协调资源开

发、经济发展和环境改善的纲领。编制区域环境规划必须在环境目标和内容上与区域规划协调。而区域环境的地球化学分异特征正是区域环境的重要基础。

为了从区域整体上保护环境和改善环境质量,《京津渤区域环境演化、开发与保护途径》<sup>[10]</sup>中着重探索区域内环境物质的运移和净化关系;通过分析评估自然环境特征和环境承载能力,阐明环境区域的控制因素及净化功能,提出环境保护分区;通过揭示环境污染过程及环境质量状况,提出区域环境保护的对策建议。该项研究即是根据区域环境的地球化学分异原理认识区域环境功能格局,服务环境规划的重要探索。

《西南经济发展的环境战略研究》<sup>[14]</sup>中,根据区域地势格局和水气传输特点,评价地表水和大气稀释净化能力,服务于资源开发的环境布局决策,也同样遵循了区域环境的地球化学分异原理。

### 2.2.2 区域环境背景的研究

为评价人为经济社会活动对环境地球化学平衡关系的影响程度,需要了解不同区域和不同环境介质中化学元素和化学物质的背景浓度水平。以地球化学背景为基本概念,适应于环境科学发展所需的“环境背景值”的调查和研究构成了 80 年代初的热点科学问题。

早在 1977 年,中国科学院组织开展了北京和南京土壤中 12 种化学元素本底值的研究<sup>[13]</sup>;1978 年农牧渔业部组织了我国主要农业土壤粮食中有毒物质背景值调查;1983 年和 1986 年,国家“六五”和“七五”科技攻关计划中列入了环境背景值调查的项目,开展了全国性土壤环境背景值调查和水体环境背景调查研究<sup>[14-15]</sup>。此外,许多区域性环境研究项目中,几乎都涉及“环境背景值”问题。

在环境背景与环境污染关系的研究中,谢学锦先生领导下的研究群体以地质地球化学填图资料为基础进行了某些污染元素在全国分布状况的评估。这在环境地质地球化学学科发展的进程中具有特殊意义。进而开展了“化学定时炸弹”(CTB)的讨论。

刘东生先生从环境中化学元素的流失与富集、环境地球化学条件对元素存在的控制、化学元素与生物亲合关系 3 个方面论述了环境质量与地球化学环境的关系<sup>[6]</sup>。通过对磷肥资源开发利用加速磷在自然界地质循环的考察,刘东生先生提出了环境有害物质积累和延缓效应的观点<sup>[16]</sup>。这较荷兰学者 F. A. M. de Haan 于 1978 年提出的“化学定时炸

弹”概念还早 3 年。

环境背景值调查获得一定地域或水域中化学元素的含量水平,对认识环境质量变化、评价环境污染程度均具有重要意义。同时,对农业土地利用、地方病防治、水资源保护,乃至地球化学找矿等也具有一定参考价值。

### 2.2.3 区域环境容量的研究

区域地球化学分异导致同一种化学元素或污染物在不同地域生态效应的差异。这就意味着不同地球化学环境类型的环境介质中允许存在的污染物的临界数量不尽一样。从这一原理出发,环境容量的概念出现了。再从环境容量的概念出发,一个直接为环境管理服务的新构思形成了。这就是根据环境容量,实施总量控制。

在环境保护的起始阶段,环境管理部门对环境中的污染物实行浓度控制。通过对污染源和环境中的污染物浓度的监测,开展了以污染物浓度作为基本参量的环境质量管理。这种浓度控制虽然对降低排放源浓度起了积极作用,但是未规定允许排入环境中的污染物总量,因而存在“稀释排放”的现象;未考虑区域环境的现实负荷状况,以至于在排污源较多的地区,区域环境质量难以获得改善;同时,还未考虑自然条件的地域差异而形成的允许负荷能力的差异。浓度控制既可能超过允许负荷,又可能会出现苛刻要求。因此,环境管理的浓度控制的效果不如预期的理想。根据环境容量概念的总量控制的观点获得了广泛的认同。

80 年代初,我国对环境容量开展了较多的探讨<sup>[17-18]</sup>。从地球化学原理出发,环境容量是一定地域单元内环境条件、环境背景、污染物性质以及人体健康和生物学效应的综合函数。对于确定的地域和确定的污染物而言,环境容量是稀释扩散和净化降解能力及其生态效应的综合评估。研究中分别对大气、水体和土壤的环境容量含义、计算方法进行了广泛的讨论,并在土壤环境标准、农灌水水质标准、污泥施用标准、污染物排放总量及土壤污染预测等方面展现出较大的实际意义。

环境容量的概念虽然已广泛应用于环境规划和环境管理。但是,环境容量的研究仍然存在许多值得深化之处。环境容量的研究一直缘用地球化学质量平衡原理,采用箱式模型。然而,当“箱子”内部的生物、化学、物理过程不清楚时,仅仅考虑了“黑箱”的输入和输出平衡关系;许多箱式模型的“箱子”内

部仅仅考虑到物质的扩散或类扩散关系。事实上,物质运移的扩散规律是否能够普遍适用?“箱子”内部的物理、化学和生物动力学过程能否产生控制性影响?这些问题都需要认真地、科学地回答。

### 2.3 环境质量地球化学理论问题的探索

揭示区域环境的内部特征,认识环境中元素或化学物质的物理、化学和生物过程是一个重要环节。沿袭元素地球化学运移-转化的基本概念,80年代环境质量地球化学的研究强调了认识区域环境元素或环境物质运移-转化规律作为一项基本任务。其中,特别是:

(1)对不同环境介质中重金属和微量物质含量水平、分布规律、赋存状态、运移特征、转化机理及其生物效应开展大量研究,并在认识环境质量、控制环境污染等方面发挥积极作用。特别是,在各种环境宿体的界面及界面附近,发生着重要的物理、化学和生物反应,进行着频繁的物质交换过程,存在着特异的地球化学平衡关系。近代地球化学的发展已经较多地注意到环境界面的作用。在这一背景下,万国江提出地球科学前沿产生了新的重要分支学科——环境界面地球化学<sup>[19]</sup>。

(2)在土壤-植物系统污染生态学研究,地球化学物质和能量循环原理获得了新的进展。例如,高拯民等采用人工模拟技术研究了土壤-植物系统中硝酸盐的来源和流失过程及其潜在的环境危害,提出了采用3种硝化抑制剂防止硝酸盐污染地下水的综合措施<sup>[20]</sup>。

(3)环境质量变异在很大程度上受环境物质组成的制约。万国江从地球化学原理出发阐明环境质量形成、变化及评价的原理和方法,出版了《环境质量的地球化学原理》<sup>[21]</sup>。

(4)环境中存在的放射性核素具有已知的输入函数和衰变关系,提供了示踪环境地球化学过程和标记环境变化速率的重要基础,具有特殊的示踪价值。80年代中期,继在国际上首次揭示湖泊沉积物界面<sup>210</sup>Pb的再迁移性<sup>[22-23]</sup>之后,将环境核素示踪技术引入我国,并建立和完善<sup>7</sup>Be-<sup>137</sup>Cs-<sup>210</sup>Pb示踪体系<sup>[22-25]</sup>。

## 3 90年代环境质量地球化学研究获得崭新的机遇:机构建设、社会需求

### 3.1 新机遇之一:研究机构的发展

我国环境地质地球化学研究机构的建设获得了

关键性的突破。1988年,中国科学院地球化学研究所获准建立国家重点实验室的立项;1989年完成可行性论证,并经国家计委批准作为利用世界银行贷款组建的我国重点学科发展项目之一。中国科学院于1991年10月24日以(91)科发计1503号文批准了“环境地球化学国家重点实验室”(State Key Laboratory of Environmental Geochemistry)的正式英文名称,并批准了以刘东生先生为主任的实验室学术委员会组成,聘任了万国江为实验室主任。涂光炽先生被聘任为实验室名誉主任。1992年中国科学院批准环境地球化学国家重点实验室对国内外科学家开放。经过几年的建设,1995年10月实验室通过国家验收。至此,为我国环境地质地球化学学科的发展和高层次人才培养构筑了坚实的平台。

### 3.2 新机遇之二:区域和全球环境问题的需要

随着局地性环境污染问题的解决,国际学术界对环境问题的区域性特点和环境质量的全球变化给予极大关注。在认识和解决区域性环境质量问题和认识与预测全球性环境气候变化两大领域中,环境地质地球化学学科面临新的发展机遇。

#### 3.2.1 区域性典型环境质量问题

沙化、石化、土质退化、降水酸化和水源恶化是我国90年代环境保护进程中面临的几个典型区域性环境问题。这些问题直接威胁着经济社会的可持续发展和人民的基本生存条件。寻求解决上述问题的途径是环境和生态科学领域众多分支学科的共同任务,也是环境质量地球化学研究的重要选题方向。解决区域性环境问题首先在于认识这些问题产生的原因及其发展演绎过程。这就需要在综合、对比、深入3个层次上开拓新的局面。即是在较大的时空尺度下综合认识多种环境要素的影响和变化,对比自然演化过程与人为干扰影响的份额,深入剖析其发生演绎机理、揭示问题实质。

关于碳酸盐岩与环境关系的研究便是一个典型范例。我国南方联片出露碳酸盐岩。碳酸盐岩是一个巨大的碳库,其溶蚀作用形成的喀斯特山区环境问题突出,经济发展滞后。碳酸盐岩地区的梯级格局继承了地质历史演化;复杂的水气流场控制环境物质输送;岩石土层性质诱发了生态环境问题。碳酸盐岩区域形成了独特的“生态环境脆弱性和地球化学敏感性”。认识碳酸盐岩区域环境的地质、地球化学和生物过程特点,揭示其基本规律既有理论价值,又有实际意义。

1993年起,环境地球化学国家重点实验室根据学术委员会的建议,组织客座学者就碳酸盐岩区域环境开展系统研究,出版《碳酸盐岩与环境》研究专著两部<sup>[26-31]</sup>。卷一中重点论述了碳酸盐岩区域侵蚀及环境效应。其中,论证了碳酸盐岩山区侵蚀土粒的局地短距离位移、化学侵蚀速率大于物理侵蚀速率、区域表土处于负增长状态、水化学不稳定性及与大气CO<sub>2</sub>耗损-逸散平衡。卷二聚焦于碳酸盐岩区域镶嵌景观形成、演化、特征和效应的认识。该研究提出喀斯特山区生态环境建设“水是焦点”、“土是关键”,宜“上保-中治-下开发”、“物质有效循环”。上述成果对认识碳酸盐岩区域环境演化具有重要理论价值;对评价石漠化过程和表土侵蚀具有重要实际意义;对区域资源开发利用、经济社会发展具有积极影响。

### 3.2.2 全球性环境变化

全球环境变化的焦点是未来几十年内全球气候是否会因为大气二氧化碳浓度的增加而变暖?如果未来气候真的变暖又会产生什么样的后果?虽然一些数值模拟研究认为未来几十年平均气温随大气二氧化碳浓度的增加有增高的趋势,但是还没有一个具有坚实物理基础而又比较可靠的中长期气候预测的客观方法。

全球环境变化既是地球生命系统与地球生命支撑系统的复合反应,又是地球自然演化与环境人为影响的综合结果。在认识全球变化趋势时,不仅要研究生命系统与生命支撑系统间的关系,还要揭示生命支撑系统内部的相互影响;不仅要评价人为的环境影响,还要综合辨识自然演化与人为影响的相互关系。

第四纪以来形成的地质体中记载了环境变化的信息,而这种地球化学记录具有很高的时序分辨能力和足够的灵敏度,揭示挽近过去历史时期的环境变化必然有助于预测未来几十年的环境变化趋势,有助于认识和预警突发性自然灾害的发生和影响。地质学家视野中的全球变化具有深邃的含义。刘东生先生率先提出“地质学的新任务——预测全球环境变化”<sup>[32]</sup>,从而分别从第四纪地质学和环境地质学的角度,对过去环境变化信息地质记录的新探索。

此间,涂光炽先生对环境地球化学的发展给予了极大的关注。他指出:“现在很多地球化学异常问题……是叠加在一个长期历史发展的地球化学过程

中,把现在的全球环境变化放到更广阔的时空角度上去考虑”,“把它(环境地球化学)作为一个关于地球环境历史演化的科学”<sup>[33]</sup>。涂光炽先生还对“现代地幔去气作用”、“区域地球化学背景”、“资源与环境结合”等研究的选题方向给予了精辟的论述,对碳酸盐岩地区的资源-环境地球化学研究给予了特别的重视。

### 3.3 环境质量地球化学研究的新内涵及新进展

随着区域环境综合研究的深入,针对认识和解决区域性环境质量、认识和预测全球性环境变化两个领域的科学问题,一些深层次的前缘科学问题急需解决。诸如:如何辨识人为释放与天然形成的污染物?在环境中污染物的性质和赋存状态是如何转化?污染物在环境中具有什么样的运移途径和速率?污染物在环境中的积累类型和定量关系?污染物在环境中的降解过程和速率?一些污染事件发生时的环境条件?地球化学过程是认识污染机理的关键,地球化学原理是污染控制技术的科学基础。为适应国际学科发展的形势和高层次上满足我国环境保护事业的需要,90年代环境地质地球化学通过放射性核素、稳定同位素和微量元素示踪,实验模拟和计算机模拟,在岩石(土壤)风化、沉积记录、温室气体、环境健康效应、环境信息系统等领域开展综合比较研究。

在国家和中国科学院若干项重大、重点研究项目,如:“大气微量气体生物源的测定及源汇识别方法研究”、“云贵湖泊现代沉积地球化学过程及环境信息的辨识与提取”、“岩溶山区污染物与地球化学环境关系及防治途径”、“白洋淀水陆交错带水-沉积物相互关系的研究”、“广西百色、河池石灰岩山区生态农业建设和脱贫途径战略研究”、“Karst生态环境保护和治理技术研究”等的实施中,环境地球化学过程机理、区域和全球环境变化的地球化学记录、环境影响与环境效应等领域取得了一系列重要进展。

#### 3.3.1 水-陆环境系统的生物地球化学过程领域

(1)流域侵蚀和湖泊沉积地球化学过程的环境放射性核素示踪方面:进一步剖析了过剩<sup>210</sup>Pb在沉积物中的各种垂直分布类型,成功地获得了<sup>210</sup>Pb与<sup>137</sup>Cs高分辨率湖泊沉积计年结果<sup>[34-35]</sup>;根据铅稳定同位素组成特征辨识湖泊沉积物Pb污染来源<sup>[36]</sup>;在国际上首次利用宇宙线散落核素<sup>7</sup>Be示踪碳酸盐岩地区表土季节性侵蚀<sup>[37-39]</sup>。

(2)全球变化温室气体的“源”“汇”关系方面:成

功地研制了收集和纯化稻田微量甲烷的碳同位素分析前处理制样系统,取得了我国水稻田甲烷的稳定碳同位素组成数据,证实稻田甲烷以富集轻碳同位素为特征<sup>[40]</sup>;在土壤冻融转化过程释放  $N_2O$  方面也取得了新进展<sup>[41-43]</sup>;通过碳酸盐岩区域地球化学风化的水化学平衡研究,在碳酸盐岩区域与大气  $CO_2$  关系的认识上取得了重要进展<sup>[26]</sup>。

(3)湖泊沉积物-水界面地球化学作用方面:通过元素在湖泊沉积物-水界面扩散、迁移及其形态转化研究,发现沉积物中  $HCO_3^-$  的扩散作用对上覆水体的碱度产生重要影响<sup>[44-46]</sup>;提出了湖泊铁-锰循环受沉积物-水地质界面和氧化-还原化学界面的双界面控制;探索了沉积物早期成岩过程中有机质矿化作用制约元素界面循环并产生亚扩散层屏蔽效应<sup>[47-50]</sup>;揭示深水湖泊沉积物突发性二次污染和湖泊“黑潮”形成的生物氧化作用机理,阐明其微生物脱氮化过程受阻 pH 控制的  $N_2O$  释放条件<sup>[51-53]</sup>。

上述新进展不仅为辨识和提取碳酸盐、有机质及其纤维素同位素反映的环境信息提供了科学基础,而且为阐明贵州阿哈湖、百花湖等湖泊季节性、突发性污染事故的形成机理提供了科学依据,直接服务于国民经济发展的环境决策。

### 3.3.2 区域-全球变化的地质地球化学环境记录领域

(1)长时间尺度上,获得了中泥盆世吉维特期与海水达到氧-碳同位素平衡的碳酸盐原始  $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$  值,提出了中泥盆世上扬子古陆西缘海槽是一个与低纬度广海相通的沉积盆地<sup>[54-56]</sup>。

(2)中时间尺度上,开拓了泥炭纤维素氧同位素组成的高分辨研究,提取了中国东部五千年温度演变信息,提出了夏-商间存在一次自然升温过程<sup>[57-60]</sup>。

(3)短时间尺度上,以年分辨率的高精度计年方法,用有机质纤维素的稳定碳同位素记录和重金属地球化学相的因子分析方法,分别揭示了近 140 年来泸沽湖湖区气候的变化,并重建了洱海的污染历史<sup>[61-66]</sup>。

### 3.3.3 地球化学环境影响与环境效应领域

(1)环境元素地球化学与健康关系方面:硒、砷、汞、碘等环境微量元素与人体健康具有密切的关系。首次在富硒岩层中发现了元素状态的硒,并采用景观地球化学方法进一步阐明了湖北恩施地区 1963 年地方性硒中毒爆发性流行的机理<sup>[67-68]</sup>;在贵州黔

西南地区首次发现了含砷量超过 3.5% 的煤样,并在该煤样中发现独特的高价赋存状态的砷化合物;对比研究了不同砷中毒与台湾乌脚病的地球化学关系,提出了乌脚病病因的新观点<sup>[69-70]</sup>。在汞成矿带环境中汞的地球化学行为、土壤汞的赋存状态及挥发性汞释放通量等方面取得了重要进展<sup>[71-72]</sup>;基于国际上的最新分析结果,提出了对碘克拉克值的修正建议<sup>[73]</sup>。

(2)环境地球化学与生态恢复方面:培育了有利于碳酸盐岩区域土地资源的有效利用和生态恢复的适生植物,具有重要应用前景<sup>[74-75]</sup>;阐明了煤矸石风化粘土矿物释放导致矿山复垦土下覆致密层的形成及微量重金属释放后的吸附机制<sup>[76-77]</sup>。同时,还在空间信息系统的建立与应用领域开始新的探索<sup>[78-79]</sup>。

通过以上分析可见,90 年代环境地球化学研究的成果特色是:侧重于揭示环境地球化学过程机理,认识全球变化、环境质量与人体健康关系中的特殊科学问题。同时也证明环境地球化学在放射性核素、稳定同位素及微量元素示踪研究环境系统地球化学过程的机理并用于认识区域-全球变化、揭示其生态效应方面具有坚实的学科储备。特别是在放射性核素示踪环境物质迁移、稳定同位素提取环境变化记录、温室气体“源”“汇”,以及砷-硒地方性疾病病因等方面获得了积极的国际反响。

## 4 环境地球化学进入新纪元:机遇与挑战并存

进入 2000 年之前,环境质量地球化学的学科发展进程引导研究工作的内容聚焦于我国典型区域环境演化的发生学原理、谱系特征及健康效应<sup>[80]</sup>。区域环境质量和全球环境变化两大科学问题始终是环境地球化学追求的科学目标。刘东生先生从人类发展与地球环境的历史关系,阐述了人类社会由“顺从自然”到“破坏和利用自然”,再到“保护自然”的转变。并提出“改造自然”需以认识自然为基础;“人力胜天”需以顺应自然规律为前提<sup>[81]</sup>。

合理开发利用资源、加强生态环境建设、促进生产力发展是我国社会经济持续发展的重要基础。环境质量地球化学的研究与造福人类千秋万代的环境保护事业紧密相联,与国家实施可持续发展战略密切相关。根据国家需要,立足学科特长,发挥与兄弟



学科联合的优势,是未来发展的关键。只有立足于此,才能在研究中发展环境物质运移的“源-流-汇-场”和“环境界面”地球化学理论,从而在国际基础理论前沿阵地上做出新的建树!

## References

- [1] Tu G C. Environmental science as a new growth points in natural sciences at the 70's[G]//Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Environmental Geology and Health (No. 1). Beijing: Science Press, 1973; 1-3(in Chinese).
- [2] Liu D S. Appear of environmental geology[J]. Environmental Geology and Health, 1972(4): 2-12(in Chinese).
- [3] Liu D S. Some issues in environmental sciences currently[G] //Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Environmental Geology and Health(No. 1). Beijing: Science Press, 1973; 4-8(in Chinese).
- [4] Wan G J, Chen Y C. The progress of construction and research for State Key Laboratory of Environmental Geochemistry[G]//of Special Report(1988-1994) State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1994; 23-29(in Chinese).
- [5] Jin J M, Zhou F X. Discuss of ecological investigation on the environmental protection [J]. Chinese Science Bulletin, 1974, 19(12): 542-546(in Chinese).
- [6] Liu D S. Study on environmental quality and environmental geochemistry[G]//The Environmental Quality Committee, Chinese Society for Environmental Sciences, The Guizhou Association of Environmental Sciences. Advances on Environmental Quality Research. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1985; 3-14(in Chinese).
- [7] Liu D S, Wan G J. Environmental geology[N]. Guangming Daily, 1979-08-17(4)(in Chinese).
- [8] Liu D S, Wan G J, Li C S. Environmental geology[M]//The Encyclopedia of China; Environmental Sciences (ECES). Beijing and Shanghai: China Encyclopedia Press (CEP), 1983; 161-162(in Chinese).
- [9] Liu D S, Wan G J, Chen Y C. Geological environments[M] // The Encyclopedia of China; Environmental Sciences (ECES). Beijing and Shanghai: China Encyclopedia Press (CEP), 1983; 55-57(in Chinese).
- [10] Research Group for Synthesis Environments in Beijing-Tianjin-Bohai Bay Area. The Environmental Evolution and the Way of Development and Protection in Beijing-Tianjin-Bohai Bay Area[M]. Beijing: Science Press, 1989; 1-181(in Chinese).
- [11] Wan G J, Pu H X. The Studies of Environmental Strategic for Economic Development in Southwest China[M]. Beijing: Science Press, 1991; 1-121(in Chinese).
- [12] Wan G J. The integration of East and West China[M]//Li Z D, Zhou G Z. Green Strategy. Qingdao: Qingdao Press, 1997; 340-344(in Chinese).
- [13] The Collaboration Group for Soil Background. Background value of 12 elements in soils of Beijing and Nanjing, China [J]. Chinese Science Bulletin, 1980, 25(2): 90-91(in Chinese).
- [14] Tang Y J, Zhang S. The problems of the control of water quality in economic development of China [J]. Acta Geographica Sinica, 1989(3): 302-313(in Chinese).
- [15] Wei F S, Chen J S, Wu Y Y, et al. Study of environmental background contents in Chinese soils[J]. Environmental Science, 1991, 12(4): 12-19(in Chinese).
- [16] Liu D S. Phosphorus fertilizer and the environmental protect [J]. Environmental Geology and Health, 1975(2): 7-13(in Chinese).
- [17] Zhang R M, Liu Y P, Liu Q Y. Gross control for contamination release[J]. Environmental Protection Science, 1979(1): 1-7(in Chinese).
- [18] Wan G J. The basic concept and the expression for the environmental capacity[J]. Environmental Protection, 1982(7): 7-9(in Chinese).
- [19] Wan G J. The Geochemical Principles for Environmental Quality[M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1988; 1-216(in Chinese).
- [20] Gao Z M. The Research of Pollution Ecology for Soil-Plant System[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1986; 1-515(in Chinese).
- [21] Wan G J. The study of the interface of geochemical environments[J]. Earth Science Information, 1987(3): 11-14(in Chinese).
- [22] Wan G J, Santschi P, Sturm M, et al. Natural ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ) and fallout ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland[J]. Chemical Geology, 1987, 63: 181-196.
- [23] Wan G J. Remobilization of Pb during the early diagenesis in lacustrine sediments[J]. Progress in Natural Science, 1992, 2(5): 408-416
- [24] Wa G J, Santschi P, Farrenkothen K, et al. The distribution and dating of  $^{137}\text{Cs}$  for recent sediments in Lake Greifen, Switzerland [J]. Acta Scientiae Circumstantiate, 1985, 5(3): 360-365(in Chinese).
- [25] Wan G J, Santschi P H, Sturm M, et al. The comparative study using varve counting and radionuclide dating for recent sedimentation rate of Lake Greifen, Switzerland [J]. Geochimica, 1986(3): 259-270(in Chinese).

- [26] Wan G J. The Carbonate Rocks and Environments; Volume 1[M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 1-90 (in Chinese).
- [27] Wan G J. The Carbonate Rocks and Environments; Volume 2[M]. Beijing: Seismological Press, 2000: 1-118 (in Chinese).
- [28] Bai Z G, Wan G J. Variability of aquatic chemistry in central Guizhou karst region, China[J]. Advance in Water Sciences, 1998, 9(4): 325-337 (in Chinese).
- [29] Wan G J, Bai Z G. Study on the erosion and environmental change in Karst region; An example from center of Guizhou, China[J]. Quaternary Sciences, 1998, 18(3): 279 (in Chinese).
- [30] Bai Z G, Wan G J. Study on watershed erosion rate and its environmental effects in Guizhou karst region[J]. Journal of Soil Erosion and Water Conservation, 1998, 4(1): 1-7 (in Chinese).
- [31] Wan G J, Wang S L. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> in karst area of southern and loess area of northern China[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(4): 305-315 (in Chinese).
- [32] Liu D S, Wan G J. To forecast the global change: A new role of the geology[N]. Chinese Science News, 1989-11-03(2) (in Chinese).
- [33] Tu G C. To developing the environmental geochemistry on the expansive space-time background[G]// of Special Report (1988-1994) State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1994: 6-7 (in Chinese).
- [34] Wan G J, Huang R G, Wang C S, et al. A variance of vertical profile for <sup>210</sup>Po<sub>ex</sub> at the top of sediment in Hongfeng Lake [J]. Chinese Science Bulletin, 1990, 35(22): 1910-1914.
- [35] Wan G J, Lin W Z, Huang R G, et al. Dating characteristics and erosion traces of <sup>137</sup>Cs vertical profiles in Lake Hongfeng sediments[J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(8): 674-677.
- [36] Wan G J, Liu J Y, Li B M. The isotopic character and the remobilization of lead at the top of sediment in Erhai[J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(2): 139-142.
- [37] Bai Z G, Wan G J, Wang C S, et al. <sup>7</sup>Be distribution in surface soil of central Guizhou karst region and its erosion trace [J]. Progress in Natural Sciences, 1996, 6(6): 700-710.
- [38] Bai Z G, Wan X, Wan G J, et al. Geochemical speciation of <sup>7</sup>Be, <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra and <sup>228</sup>Ra in soils of the karst region, southwestern China and their erosion trace[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1997, 17(4): 407-411 (in Chinese).
- [39] Bai Z G, Wan G J, Santschi P H, et al. Distribution of cosmogenic <sup>7</sup>Be in surface soils of mountain region and the principles for erosion trace[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 266-275 (in Chinese).
- [40] Li J H, Cao J R, Hong Y T, et al. Emission flux and carbon isotopic compositions of methane from paddy fields in Guizhou[J]. Geochimica, 1995, 24(Suppl): 98-104 (in Chinese).
- [41] Piao H C, Yuan Z Y, Liu G S, et al. Effect of freezing-thawing on the accumulation of nitrite in soil-water system[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1995, 15(3): 281-288 (in Chinese).
- [42] Piao H C, Liu G S, Yuan Z Y, et al. Acceleration of selenate reduction by alternative drying and wetting of soils[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17(1): 11-16 (in Chinese).
- [43] Piao H C, Hong Y T, Yuan Z Y, et al. The correlation between selenate reduction and nitrate denitrification in soil[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1996, 17(3): 23-26(30) (in Chinese).
- [44] Wu F C, Qing H R, Wan G J, et al. Geochemistry of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> at the sediment-water interface of lakes from the southwestern Chinese plateau [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1997, 99: 381-390.
- [45] Wu F C, Wan G J, Huang R G, et al. Environmental impact of sulfate concentration increasing of lakes[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1998, 18(1): 28-33 (in Chinese).
- [46] Wu F C, Wan G J. The influence of diffusive processes on overlying waters at the sediment-water interface of Lake Lugu [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1996, 17(1): 10-12 (in Chinese).
- [47] Chen Z L, Huang R G, Wan G J. The character of distribution and remobilization of Fe and Mn at the sediment-water interface in Lake Hongfeng [J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(21): 1974-1977 (in Chinese).
- [48] Chen Z L, Pu Y, Huang R G, et al. Seasonal release of Fe and Mn at the sediment-water interface in Aha Lake[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(16): 1359-1363.
- [49] Wan G J, Hu Q L, Cao L, et al. Resource exploitation-environmental disaster-geochemistry: An example from Fe and Mn pollution in Lake Aha, Guizhou Province[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(2): 353-358 (in Chinese).
- [50] Ma Y J, Wan G J. Study on trace heavy metal diffusion at sediment water interface and its effects on overlying lake water quality[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1999, 20(2): 7-12 (in Chinese).
- [51] Bia Z G, Wu F C, Wan X, et al. Mechanism of water quality worsening seasonally in Lake Baihua[J]. Chongqing Environmental Science, 1995, 17(3): 10-14 (in Chinese).
- [52] Wu F C, Bia Z G, Wan G J, et al. Remobilization of P in the sediments of Lake Baihua, Guizhou[J]. Advances in Environmental Science, 1996, 4(3): 58-61 (in Chinese).
- [53] Wan X, Wan G J, Huang R G, et al. Microbiological denitrification and the inhibition of intermediates[J]. Plant Nutri-

- tion and Fertilizer Sciences, 2000, 6(2): 227-232 (in Chinese).
- [54] Lee X Q, Wan G J. No vital effect on  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of fossil brachiopod shells, Middle Devonian of China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64 (15): 2649-2664.
- [55] Lee X Q, Wan G J, Zhou H. Study of vital effect on oxygen-carbon isotopes in fossil brachiopod skeletal[J]. *Progress in Natural Sciences*, 2000, 10(5): 435-442(in Chinese).
- [56] Li X Q, Wan G J, Huang R G. Different fossil brachiopod skeletal microstructure of different information on carbon and oxygen isotope contents[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(22): 2087-2094.
- [57] Hong Y T, Gu A L, Wang H W, et al. Sulfur isotopic composition of Yellow river water and uplift of the Qinghai-Xizang plateau[J]. *Quaternary Sciences*, 1995, 15(4): 360-366(in Chinese).
- [58] Hong Y T, Liu D S, Jiang H B, et al. Evidence for solar forcing of climate variation from  $\delta^{18}\text{O}$  of peat cellulose[J]. *Science in China; Series D*, 2000, 43(2): 217-224.
- [59] Tao F X, Hong Y T, Jiang H B. Climatic change over the past 8000 years in Caohai district, Guizhou[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42: 409-412.
- [60] Tao F X, Jiang H B, Hong Y T, et al. An improved method for analysis of oxygen isotope in organic matter[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42: 484-488.
- [61] Wan G J.  $^{210}\text{Pb}$  dating for recent sedimentation[J]. *Quaternary Sciences*, 1997, 17(3): 230-239(in Chinese).
- [62] Wan G J.  $^{137}\text{Cs}$  dating by annual distinguish for recent sedimentation; Samples from Erhai Lake and Hongfeng Lake [J]. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(1): 73-80(in Chinese).
- [63] Wan G J, Bai Z G, Wang H R, et al. The geochemical records of C-N-S-P in recent sediments of Lake Erhai, China [J]. *Geochimica*, 2000, 29(2): 189-197(in Chinese).
- [64] Xu J Y, Wan G J, Wang C S, et al. Vertical distribution of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  and their dating in recent sediments of Lugu Lake and Erhai Lake, Yunnan province[J]. *Journal of Lake Sciences*, 1999, 11(2): 110-116(in Chinese).
- [65] Chen J A, Wan G J, Tang D G. Recent climate changes recorded by sediment grain sizes and isotopes in Erhai Lake [J]. *Progress in Natural Sciences*, 2000, 10(1): 54-61.
- [66] Chen J A, Wan G J, Huang R G. Geochemical phases and pollution history of heavy metals in sediments of Lake Erhai [J]. *Geology-Geochemistry*, 1998, 26(2): 1-8(in Chinese).
- [67] Zhu J M, Zheng B S, Mao D J, et al. Landscape geochemistry of distribution of selenium in Yutangba mini-landscape, Enshi, Hubei province, China [J]. *Geochimica*, 2000, 29(1): 43-49(in Chinese).
- [68] Zhu J M, Zheng B S, Su H C, et al. New occurrence of native selenium and its preliminary investigation[J]. *Geochimica*, 2001, 30(3): 236-241(in Chinese).
- [69] Zhen B S, Zhang J, Yu X Y, et al. A study of environmental geochemistry for arseno-toxicosis caused by high-arsenic coal [J]. *Chin J Sanitation*, 1996, 15(3, PS): 44-48(in Chinese).
- [70] Yu X Y, Zheng B S, Lu F Z, et al. Extraction of humic acid from drinking water in area with arsenosis in Inner Mongolia and Taiwan and comparison of its spectrometry[J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 1996, 30(4): 196-198(in Chinese).
- [71] Feng X B, Chen Y C, Zhu W G. The distribution of various mercury species in soils[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1996, 16(2): 218-222(in Chinese).
- [72] Feng X B, Hong Y T, Hong B, et al. Modes of occurrence of mercury in coal[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(2): 71-78(in Chinese).
- [73] Zheng B S, Zhang J, Yu X Y. Correction of I clarke based on latest analytical data[J]. *Geochimica*, 1997, 26(6): 8-17(in Chinese).
- [74] Wu Y Y. Comprehensive Studies on Karst-Fitting Plant *Orychophramus Violaceus*[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 1997: 1-168(in Chinese).
- [75] Jiang J Y. Development of the Ecotype Planting and Fish-Breeding Occupations in Karst Area of Guizhou; Experimental and Demonstrating Studies[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 1997: 1-115(in Chinese).
- [76] Dang Z, Wan G J, Haigh M J, et al. Coal mine spoil-water interaction: 1. Release mechanism of clay minerals[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(19): 2053-2055.
- [77] Dang Z, Haigh M J, Watts S F, et al. Coal mine spoil-water interaction: Weathering concentrated metals in surface coal mine spoils[J]. *Science in China; Series D*, 1996, 39(6): 610-617.
- [78] Cooperation Committee for Exploitation tor Area with Chinese Academy of Sciences and Guangxi Chuang Municipality. A Stratagem Programming for Exploitation Help Poorness in the Region of Baise and Hechi, Guangxi[M]. Beijing: Seismological Press, 1994: 1-217(in Chinese).
- [79] Xu J, Cheng H D, Lin Q H. Construction and application of environmental geochemical spatial information system[J]. *Geochimica*, 1997, 26(4): 94-96(in Chinese).
- [80] Wan G J. The study of geochemistry on the geo-environment; To congratulating the 30's anniversary for published the article of appear of environmental geology and the 10's anniversary for founded the State Key Laboratory of Environmental Geochemistry[J]. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(6): 585-590(in Chinese).
- [81] Liu D S, Wan G J, Hong Y T. The Earth in the 21 century, and the 21 century for geosciences (an artical used as a pref-

ace)[G]// of Special Report(1988-1994) State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1994: 1-5(in Chinese).

## 参考文献

- [1] 涂光炽. 七十年代自然科学领域中一个新生长点——环境科学[G]//中国科学院地球化学研究所. 环境地质与健康(第一号). 北京: 科学出版社, 1973: 1-3.
- [2] 刘东生. 环境地质学的出现[J]. 环境地质与健康, 1972(4): 2-12.
- [3] 刘东生. 当前环境科学中的若干问题[G]//中国科学院地球化学研究所. 环境地质与健康(第一号). 北京: 科学出版社, 1973: 4-8.
- [4] 万国江, 陈业材. 环境地球化学国家重点实验室建设与研究进展[G]//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特辑(1988—1994). 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 23-29.
- [5] 金鉴明, 周富祥. 关于环境保护的生态学研究的探讨[J]. 科学通报, 1974, 19(12): 542-546.
- [6] 刘东生. 环境质量与地球化学研究[G]//中国环境科学学会环境质量评价专业委员会, 贵州省环境科学学会. 环境质量研究进展. 贵阳: 贵州人民出版社, 1985: 3-14.
- [7] 刘东生, 万国江. 环境地质学[N]. 光明日报, 1979-08-17(4).
- [8] 刘东生, 万国江, 李长生. 环境地质学[M]//中国大百科全书·环境科学. 北京, 上海: 中国大百科全书出版社, 1983: 161-162.
- [9] 刘东生, 万国江, 陈业材. 地质环境[M]//中国大百科全书·环境科学. 北京, 上海: 中国大百科全书出版社, 1983: 55-57.
- [10] 京津渤区域环境综合研究组. 京津渤区域环境演化、开发与保护途径[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-181.
- [11] 万国江, 蒲汉昕. 西南经济发展的环境战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-121.
- [12] 万国江. 论中国东西部环境一体化建设[M]//李政道, 周光召. 绿色战略. 青岛: 青岛出版社, 1997: 340-344.
- [13] 中国科学院土壤本底值协作组. 北京、南京土壤中十二种元素的本底值[J]. 科学通报, 1980, 25(2): 90-91.
- [14] 唐以剑, 章申. 我国发展中的水环境问题与对策[J]. 地理学报, 1989(3): 302-313.
- [15] 魏复盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤环境背景值研究[J]. 环境科学, 1991, 12(4): 12-19.
- [16] 刘东生. 磷肥与环境保护[J]. 环境地质与健康, 1975(2): 7-13.
- [17] 张荣茂, 刘玉璞, 刘全义, 等. 谈污染物排放总量的控制[J]. 环境保护科学, 1979(1): 1-7.
- [18] 万国江. 环境容量的基本概念和表述[J]. 环境保护, 1982(7): 7-9.
- [19] 万国江. 环境质量的地球化学原理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988: 1-216.
- [20] 高拯民. 土壤-植物系统污染生态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1986: 1-515.
- [21] 万国江. 地球化学环境界面研究[J]. 地球科学信息, 1987(3): 11-14.
- [22] 万国江. 湖泊沉积物早期成岩过程中铅的再迁移[J]. 自然科学进展, 1992, 2(5): 447-453.
- [23] 万国江, 桑季 P, 法任库忍 K, 等. 瑞士 Greifen 湖新近沉积物中的<sup>137</sup>Cs 分布及其计年[J]. 环境科学学报, 1985, 5(3): 360-365.
- [24] 万国江, Santschi P H, Sturm M, 等. 放射性核素和纹理计年对比研究瑞士格莱芬湖近代沉积速率[J]. 地球化学, 1986(3): 259-270.
- [25] 万国江. 碳酸盐岩与环境: 卷一[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 1-90.
- [26] 万国江. 碳酸盐岩与环境: 卷二[M]. 北京: 地震出版社, 2000: 1-118.
- [27] 白占国, 万国江. 喀斯特区域的水化学不稳定性: 以黔中地区为例[J]. 水科学进展, 1998, 9(4): 325-337.
- [28] 万国江, 白占国. 论碳酸盐岩侵蚀与环境变化: 以黔中地区为例[J]. 第四纪研究, 1998, 18(3): 279.
- [29] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 1-7.
- [30] 万国江, 王仕禄. 我国南方岩溶区和北方黄土区的大气 CO<sub>2</sub> 效应[J]. 第四纪研究, 2000, 20(4): 305-315.
- [31] 刘东生, 万国江. 地质学的新任务: 预测全球变化[N]. 中国科学报, 1989-11-03(2).
- [32] 涂光炽. 在更广阔的时空背景上发展环境地球化学[G]//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特辑(1988—1994). 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 6-7.
- [33] 万国江, 黄荣贵, 王长生, 等. 红枫湖沉积物顶部<sup>210</sup>Po<sub>ex</sub>垂直剖面的变异[J]. 科学通报, 1990, 35(8): 612-615.
- [34] 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物<sup>137</sup>Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪[J]. 科学通报, 1990, 35(19): 1487-1490.
- [35] 万国江, 刘菊英, 黎秉铭. 洱海沉积物顶部铅的同位素特征和再迁移作用[J]. 科学通报, 1992, 37(9): 825-828.
- [36] 白占国, 万国江, 王长生, 等. 黔中岩溶山区表土层中<sup>7</sup>Be 的分布特征及其侵蚀示踪研究[J]. 自然科学进展, 1997, 7(1): 66-74.
- [37] 白占国, 万国江, 等. 岩溶山区表土中<sup>7</sup>Be、<sup>137</sup>Cs、<sup>226</sup>Ra 和<sup>228</sup>Ra 的地球化学相分配及其侵蚀示踪意义[J]. 环境科学学报, 1997, 17(4): 407-411.
- [38] 白占国, 万国江, Santschi P H, 等. 宇宙线散落核素<sup>7</sup>Be 在山区表土层中的分布特征及侵蚀示踪原理[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 266-275.
- [39] 李金华, 曹景蓉, 洪业汤, 等. 贵州水稻田甲烷排放通量及

- 碳同位素组成研究[J]. 地球化学, 1996, 24(增刊): 98-104.
- [41] 朴河春, 袁芷云, 刘广深, 等. 冻融作用对水-土系统中亚硝酸盐积累的影响[J]. 环境科学学报, 1995, 15(3): 281-288.
- [42] 朴河春, 刘广深, 袁芷云, 等. 土壤干湿交替促进硝酸盐的还原作用[J]. 矿物学报, 1997, 17(1): 11-16.
- [43] 朴河春, 洪业汤, 袁芷云, 等. 土壤中硝酸盐还原作用与硝酸盐脱氮化作用的相关关系[J]. 环境科学, 1996, 17(3): 23-26(30).
- [45] 吴丰昌, 万国江, 黄荣贵, 等. 湖泊水体中硫酸盐增高的环境效应研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(1): 28-33.
- [46] 吴丰昌, 万国江. 泸沽湖沉积物-水界面扩散作用对上覆水体基本化学组成的影响[J]. 环境科学, 1996, 17(1): 10-12.
- [47] 陈振楼, 黄荣贵, 万国江. 红枫湖沉积物-水界面 Fe-Mn 的分布和迁移特征[J]. 科学通报, 1992, 37(21): 1974-1977.
- [48] 陈振楼, 普勇, 黄荣贵, 等. 阿哈湖沉积物-水界面铁-锰的季节性释放特征[J]. 科学通报, 1996, 41(7): 629-632.
- [49] 万国江, 胡其乐, 曹龙, 等. 资源开发-环境灾害-地球化学: 以贵州阿哈湖铁锰污染为例[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 353-358.
- [50] 马英军, 万国江. 湖泊沉积物-水界面微量重金属扩散作用及其水质影响研究[J]. 环境科学, 1999, 20(2): 7-12.
- [51] 白占国, 吴丰昌, 万曦, 等. 百花湖季节性水质恶化机理研究[J]. 重庆环境科学, 1995, 17(3): 10-14(5).
- [52] 吴丰昌, 白占国, 万国江, 等. 贵州百花湖沉积物中磷的再迁移作用[J]. 环境科学进展, 1996, 4(3): 58-61.
- [53] 万曦, 万国江, 黄荣贵, 等. 微生物脱氮作用及对中间产物的抑制[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 227-232.
- [55] 李心清, 万国江, 周会. 腕化石壳体氧、碳同位素生命效应对问题研究[J]. 自然科学进展, 2000, 10(5): 435-442.
- [56] 李心清, 万国江, 黄荣贵. 腕化石壳体结构不同, 蕴含的氧、碳同位素信息有别[J]. 科学通报, 1999, 44(15): 1651-1657.
- [57] 洪业汤, 顾爱良, 王宏卫, 等. 黄河硫同位素组成与青藏高原隆起[J]. 第四纪研究, 1995, 15(4): 360-366.
- [58] 洪业汤, 姜洪波, 洪冰, 等. 近 5000a 的气候波动与太阳变化[J]. 中国科学: D 辑, 1998, 28(6): 491-497.
- [59] 陶发祥, 洪业汤, 姜洪波. 贵州草海地区最近 8 ka 的气候变化[J]. 科学通报, 1996, 41(16): 1489-1492.
- [60] 陶发祥, 姜洪波, 洪业汤, 等. 改进的有机氧同位素分析方法[J]. 科学通报, 1996, 41(11): 1017-1020.
- [61] 万国江. 现代沉积的<sup>210</sup>Pb 计年[J]. 第四纪研究, 1997, 17(3): 230-239.
- [62] 万国江. 现代沉积年分辨的<sup>137</sup>Cs 计年: 以云南洱海和贵州红枫湖为例[J]. 第四纪研究, 1999, 19(1): 73-80.
- [63] 万国江, 白占国, 王浩然, 等. 洱海近代沉积物中碳-氮-硫-磷的地球化学记录[J]. 地球化学, 2000, 29(2): 189-197.
- [64] 徐经意, 万国江, 王长生, 等. 云南省泸沽湖、洱海现代沉积物中<sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 的垂直分布及其计年[J]. 湖泊科学, 1999, 11(2): 110-116.
- [65] 陈敬安, 万国江, 唐德贵, 等. 洱海近代气候变化的沉积物粒度与同位素记录[J]. 自然科学进展, 2000, 10(3): 253-259.
- [66] 陈敬安, 万国江, 黄荣贵. 洱海沉积物重金属地球化学相及其污染历史研究[J]. 地质地球化学, 1998, 26(2): 1-8.
- [67] 朱建明, 郑宝山, 毛大均, 等. 渔塘坝微地域硒分布的景观地球化学研究[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 43-49.
- [68] 朱建明, 郑宝山, 苏宏灿, 等. 恩施渔塘坝自然硒的发现及其初步研究[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 236-241.
- [69] 郑宝山, 张杰, 余孝颖, 等. 高碑煤所致砷中毒的环境地球化学研究[J]. 中华卫生(台湾), 1996, 15(3, 附册): 44-48.
- [70] 余孝颖, 郑宝山, 吕锋洲, 等. 内蒙砷中毒与台湾乌脚病区饮水中腐殖酸的提取与谱学对比研究[J]. 中华预防医学杂志, 1996, 30(4): 196-198.
- [71] 冯新斌, 陈业材, 朱卫国. 土壤中汞的存在形式研究[J]. 矿物学报, 1996, 16(2): 218-222.
- [72] 冯新斌, 洪业汤, 洪冰, 等. 煤中汞的赋存状态研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(2): 71-78.
- [73] 郑宝山, 张杰, 余孝颖. 在最新分析结果基础上对碘克拉克值的修正[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 8-17.
- [74] 吴沿友. 喀斯特适生植物诸葛菜综合研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997: 1-168.
- [75] 蒋九余. 贵州岩溶山区发展生态种植业和养殖业的试验示范研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997: 1-115.
- [76] 党志, 万国江, Haigh M J, 等. 煤矸石-水相互作用研究: 1. 粘土矿物的释放机理研究[J]. 科学通报, 1994, 39(19): 1799-1801.
- [77] 党志, Watts S F, Haigh M, 等. 煤矸石-水相互作用溶解动力学: II. 煤矸石微量金属元素的矿物学研究[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(1): 16-20.
- [78] 中国科学院广西壮族自治区开发石山地区合作委员会. 广西百色、河池地区扶贫开发总体规划(1994—2010)[M]. 北京: 地震出版社, 1994: 1-217.
- [79] 徐江, 程鸣德, 林庆华. 环境地球化学空间信息系统的建立与应用[J]. 地球化学, 1997, 26(4): 94-96.
- [80] 万国江. 地质环境的地球化学研究: 贺《环境地质学的出现》发表 30 周年暨环境地球化学国家重点实验室成立 10 周年[J]. 第四纪研究, 2002, 22(6): 585-590.
- [81] 刘东生, 万国江, 洪业汤. 21 世纪的地球, 地球科学的 21 世纪(代序)[G]//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特辑(1988—1994). 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 1-5.