

张建新 申志军 顾海滨 等著

洞庭湖区

第四纪环境地球化学

DONGTINGHUQU DISIJI HUANJING DIQIU HUAXUE

地质出版社

中国地质调查局与湖南省人民政府合作项目——
湖南省洞庭湖区生态地球化学调查(1212010310304)

洞庭湖区第四纪环境地球化学

科学顾问: 张本仁 院士
顾 问: 龙服忠 曹湘潭

张建新 申志军 顾海滨 邢旭东
谢玲琳 鲁 江 张国梁 封剑平 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书作者通过对洞庭湖区沉积物、周边丘岗区第四纪红土及考古遗址文化层进行以地球化学为主、第四纪地质学和环境考古学为辅的综合研究,分析总结了区内第四纪形成的各种自然、人为堆积物的 52 种元素及有机碳、pH 值、磁化率、孢粉、同位素、矿物等有关参数的时空分布特征,研究探讨了指标间的关系、环境意义及变化规律,并建立了相应时间演化模型,这些结果可为区域生态环境建设提供科学参考。

本书可供地学、环境科学、考古学、土壤学、地理学以及相关领域科研人员及院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

洞庭湖区第四纪环境地球化学 / 张建新等著. —北京:
地质出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-116-05532-2

I. 洞... II. 张... III. 洞庭湖—湖区—环境地球化学—
研究—第四纪 IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 183432 号

责任编辑: 吴宁魁 陈军中

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324513 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京北林印刷厂

开 本: 889 mm × 1194 mm 1/16

印 张: 18.50 图版: 2 面

字 数: 520 千字

印 数: 1—600 册

版 次: 2007 年 12 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05532-2

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

《洞庭湖区第四纪环境地球化学》一书出版问世了。本书是在湖南省人民政府与国土资源部中国地质调查局合作开展的“湖南省洞庭湖区生态地球化学调查”公益性项目基础上，抽吐出的新枝芽、开创出的丰硕成果。

本书作者吸收和应用了当代地学前缘领域的“第四纪科学”、“环境地球化学”及考古学前缘领域的“环境考古学”的综合思想和研究方法，依托洞庭湖区（重点澧阳平原）及湘江下游长株潭地区（重点古城长沙）存在比较发育的第四纪沉积地层和古土壤（红土），以及比较齐全的古文化层（古城市文化层和古农耕文化层），通过地层观察和对比， ^{14}C 、 ^{210}Pb 、电子自旋共振、光释光、古地磁等定年法研究，综合厘定了该区第四纪地层层序、形成时段和彼此对比关系，在查明红土成因与红土化年代的基础上，采用地质学、地球化学、矿物学、古生物学（孢粉、植硅体）、磁化率、多元统计学等多学科综合探索途径，取得了以下主要成果：

①揭示了洞庭湖区第四纪红土的地球化学特征能够反映该区域当时的气候环境、流域物源特征和红土化作用强度等及其变化，这对于生态地球化学环境恢复具有重要意义。②侧重基于地层孢粉与化学元素组成及其相关关系的探索，取得了有关平原区沉积层元素含量等的规律变化是对物质源区及沉积区生态地球化学环境综合反映的初步认识。③发现了文化层保存着古代自然和人文环境的信息，其地球化学记录可解读出一些人地关系的信息。诸如，文化层常量元素更多地反映自然环境状况，新石器中期以后的文化层微量元素组成则偏于反映人类活动信息；农耕与城市不同文化属性文化层的元素组合具有不同显示等。④讨论了生态地球化学环境指标在空间上的数值及涵义差异，初步认为沉积区地球化学环境指标的时间序列模型可能反映着区域生态环境的地球化学演变规律；然而，同一地球化学指标在风化剥蚀区与沉积区可能具不同的古气候古环境意义。⑤通过本区红土剖面与安徽宣城红土剖面的地球化学和磁化率对比、本区第四纪沉积剖面与北方黄土灵台剖面的Rb/Sr比值对

比, 以及本区第四纪沉积剖面环境地球化学指标与深海沉积物剖面 (岩心) 的氧同位素组成 ($\delta^{18}\text{O}$ (‰)) 对比, 发现在对比剖面的相同时段内均分别存在着指标变化旋回或参数震荡峰谷的可比性, 从而提出洞庭湖区第四纪环境地球化学变化是对区域地质环境演化及全球环境变化响应的初步认识。同时, 在此基础上, 初步开展了洞庭湖区第四纪沉积地层响应全球环境变化的综合地球化学指标的探索, 取得了比较有意义的结果和经验。

本项探索已经显示出对于提高农业生态环境调查和质量评价水平的明显意义。这主要体现于: 作为现今农田土壤母质的第四纪沉积物和古土壤均携带有各自物质来源和形成自然条件的信息, 能为阐明土壤的性质、组成与区域 (主要流域) 分布特征及质量评价等提供坚实的基础; 通过文化层遗迹还能了解古代人类活动对生态环境影响及其程度的线索。本书的另一个闪光点是, 作者们力图探索洞庭湖区与我国大区域和全球在第四纪古环境, 尤其古气候方面的相互关系, 即本区古环境变化对大区域和全球变化的响应问题。今天全球气候变暖已经成为影响生态环境和社会经济可持续发展的重大问题, 因此, 也已成为农业生态环境地球化学调查工作中开展环境风险预测、预警必须高度关注因素。尽管本项研究由于受到洞庭湖区缺乏较完整的第四纪沉积地层层序、支撑研究的项目性质完全属于一般公益性调查、目前还缺少一般沉积物有效反映古气候的公认的地球化学指标、经费不足、时间短促等限制, 所取得的认识与所提出指示古环境、古气候的某些地球化学参数和指标仍是初步的, 还有待于进一步研究、检验和完善; 但是本书所开拓的这一研究方向, 所制定的研究思路和技术路线, 以及已经取得的经验, 则是十分珍贵并具有重要启示和借鉴价值的。

相信本研究专著的出版将会使我国农业生态环境地球化学调查和评价研究提高到一个新的水平, 甚至对于我国第四纪环境学、环境考古学等的发展均可能会有一定的影响和推动作用。

张本仁

2007 年 9 月 5 日于北京

前 言

人与环境的协调是人类社会实现可持续发展的基本条件。地球是人类最基本的环境，人与环境的关系首先反映在地球表面的疏松层上。地表富孔隙、具高度吸附性和可变性的自然和文化的沉（堆）积物是地球过去和现在大气、水、生物、岩石圈及人类相互作用的产物和信息载体。从时间上看，第四纪是地球发展过程的最新历史阶段，现代环境变化是第四纪环境演变的继续，地球环境历经的沧海桑田在地表风化物、沉积物、土壤等第四纪地质体中留下了记录；人类文明以来一系列的农业耕作、工业制造活动等亦在文化堆积物和河湖沉积物中留下了踪迹。研究第四纪不同时期各种沉（堆）积物的环境信息，不仅对揭示人类活动参与下区域环境的演化规律具有重要意义，而且面对人类社会发展的环境污染问题，可以帮助正确认识环境发展的趋势，指导资源的合理利用，建立和谐的人地系统，实现人地系统的合理调控。

本书是湖南省人民政府与国土资源部中国地质调查局合作项目“湖南省洞庭湖区生态地球化学调查”的子课题——“湖南省洞庭湖区第四纪环境地球化学研究”研究成果。通过对洞庭湖及周边区第四纪形成的各种自然及人为堆积物的元素地球化学及有关参数时空分布特征的研究，综合探讨第四纪（特别是晚更新世）以来区域环境的变化规律，为区域生态地球化学环境评价和社会经济可持续发展提供科学参考和依据，同时，亦为环境地球化学、第四纪地质学、环境考古学等学科的建设和发展作出有益的尝试。

实现上述科学目标需要自然科学与人文科学的重新统一，相关学科之间的交叉、渗透，广泛吸收地学、环境考古学等相邻学科的新思想、新成果、新手段。本研究在中国地质调查局和湖南省国土资源厅的领导下，在湖南省地质研究所的组织及湖南省文物考古研究所等单位的协助下，通过地学与社会科学工作者的合作，主要对以下四个方面内容进行了探讨：

1) 在对洞庭湖周边丘岗阶地风化剥蚀区第四纪红土的地质研究基础上，选择典型剖面进行系统的地球化学测量，分析不同流域、不同地质背景及不同年代红土元素和指标的分布及组合特征，研究其自然演化和空间分异规律，探讨第四纪时期内岩石风化壳红土化的地球化学过程及其环境地球化学意义。

2) 对洞庭湖平原区第四纪沉积层实施钻探岩心采样，在地层年代学研究基础上进行以地球化学为主、孢粉学等为辅的综合测量，对比研究不同时代湘江、沅江、澧水、长江及洞庭湖沉积物的元素、孢粉等的变化特征及其环境地球化学意义，重点分析晚更新世以来洞庭湖区的气候环境、地球化学环境及盆地沉积环境的演化规律。

3) 通过对位于澧水下游具悠久农耕史的澧阳平原及湘江下游城镇与工矿发达的长沙古城（及周边）区的文化层进行地球化学研究，特别是对其重金属元素和一些特征元素的分布进行对比分析，从农耕和城市（工业）两种文化演变的角度探寻人类文明发展留在土壤环境中的踪迹、环境变化中人为分量的元素组合特征及强度变化规律；借助文化层的考古断代，帮助建立区域第四纪环境地球化学序列；探讨以地球化学指标进行文化与环境相统一的文化组合带划分。

4) 将本区域第四纪沉积层与我国北方黄土、南方红土及其他全球环境变化记录进行地球化学对比；通过时域和频域的时间序列分析，研究沉（堆）积层环境参数变化的趋势性和周期性，划分环境地球化学旋回，建立区域环境变化与全球环境变化间的耦合关系、环境地球化学的时间变化模型，并对区域地球化学环境的变化趋势进行预测。

研究中对全部样品系统分析测试了银（Ag）、砷（As）、金（Au）、硼（B）、钡（Ba）、铍

(Be)、铋 (Bi)、溴 (Br)、总碳 (C)、镉 (Cd)、铈 (Ce)、氯 (Cl)、钴 (Co)、铬 (Cr)、铜 (Cu)、氟 (F)、镓 (Ga)、锗 (Ge)、汞 (Hg)、碘 (I)、镧 (La)、锂 (Li)、锰 (Mn)、钼 (Mo)、氮 (N)、铌 (Nb)、镍 (Ni)、磷 (P)、铅 (Pb)、铷 (Rb)、硫 (S)、锑 (Sb)、钪 (Sc)、硒 (Se)、锡 (Sn)、锶 (Sr)、钍 (Th)、钛 (Ti)、铊 (Tl)、铀 (U)、钒 (V)、钨 (W)、铈 (Y)、锌 (Zn)、锆 (Zr)、硅 (SiO_2)、铝 (Al_2O_3)、铁 (TFe_2O_3)、镁 (MgO)、钙 (CaO)、钠 (Na_2O)、钾 (K_2O)、有机碳 (TOC)、pH 值和磁化率共 55 项元素和指标,除磁化率测定系南京大学地球科学系完成外,其余 54 项分析由湖南省地质矿产中心实验室承担,分析测试中严格按照中国地质调查局地质调查技术标准 DD2005-01《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》执行,并通过了中国地质调查局分析质量检查组的监控与检查验收。部分样品配套作孢粉、植硅石、硅藻分析、矿物成分 X 衍射分析、粒度分析、 ^{13}C 、AMS- ^{14}C 、电子自旋共振 (ESR)、光释光 (OL)、 ^{210}Pb 、古地磁等测试。

本课题从 2005 年 4 月开始立项、设计,至 2007 年 1 月研究报告通过评审,历时近两年。申志军从技术与组织上对课题予以指导和保证,并参与研究及报告编写;湖南省文物考古所顾海滨研究员主要承担孢粉分析、环境考古学研究及相应章节的编写;鲁江主要负责样品采取加工、数据图表的计算机处理和绘制,并参与研究报告编写;邢旭东负责第四纪地质图的 GIS 数字与图形处理,并参与地球化学研究和研究报告编写;谢玲琳负责环境地质方面的研究及其相关内容编写;张国梁主要负责第四纪地层调查与划分、地质学方面研究及其有关章节初稿的编写;澧县博物馆封剑平负责澧阳平原遗址文化层的考古断代及调查取样;吕焕哲博士参与了最终稿的修校。张建新系课题负责人和本书主笔,负责全书统编定稿及大部分章节的著述。

在课题研究和本书编著修改过程中,始终得到多方面的指导、支持、关心与帮助,如湖南省洞庭湖区生态地球化学调查项目部、湖南省国土资源厅、中国地质调查局、湖南省文物考古研究所、湖南省地质调查院及其属下的地质实验室、水文地质工程地质二所、区域地质调查研究所、地球物理地球化学调查所,以及澧县博物馆、长沙市文物考古研究所、南京大学和北京大学等单位的鼎力支持和帮助,谨表谢忱。特别要衷心感谢我国知名地球化学家张本仁院士对本书进行认真审阅,提出详尽的修改意见,并为本书作序;感谢中国地质调查局奚小环教授级高工、北京的杨忠芳、任天祥、李家熙、赵伦山、成杭新、周国华、李瑞敏、周昆叔、袁靖、吴小红、宝文博,武汉的鲍征宇、马振东、李长安,南京的季峻峰、陈国光、姜加虎,内蒙古的黄增芳,福建的林才浩、许美辉、杨军华,以及湖南的陈三新、方先知、尹学朗、李金冬、韩伟、刘星辉、李元卓、王群、李国清、贺安生、贾宝华、江西根、王克林、袁家荣、邱东联、戴塔根、吴玺虹、陈强春、皮建高、孙锡良、刘耀荣、陈渡平、余德清、李湘莲、骆检兰、刘长明、邓瑞林、易晓明、谭宜和、苏正伟、覃贤禄、张杨珠、黄铁平、彭科林等,感谢他们对本工作给予的帮助与指导;还要特别感谢本课题的顾问龙服忠和曹湘潭,是他们为研究工作的顺利完成提供了保障。在此,再一次向上面提及和未一一提及并为本研究作出了贡献或给予关心和帮助的同志致以深深的感谢。

由于笔者水平有限和时间仓促,书中存在的错误和不足敬请读者见谅。

目 次

序

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 第四纪科学与环境地球化学	(1)
第二节 第四纪及环境地球化学研究进展概况	(2)
一、第四纪及 GEC 研究进展	(2)
二、环境地球化学进展	(3)
三、人类活动遗址中的环境研究进展	(5)
第三节 洞庭湖区的第四纪研究	(6)
一、前人的研究进展	(6)
二、本研究的科学思想、技术方法和主要成果	(7)
(一) 研究思想	(7)
(二) 技术路线及主要方法	(8)
(三) 主要成果和认识	(9)
第二章 洞庭湖地区概况	(16)
第一节 社会经济及自然地理概况	(16)
一、地理位置	(16)
二、地形地貌水系概况	(16)
三、气候植被特点	(17)
四、区域人类活动发展演化及文化遗存概况	(17)
第二节 地质地球化学概况	(19)
一、区域地质概况	(19)
(一) 大地构造位置及岩浆岩的分布	(19)
(二) 湖南地层及其区域分布	(19)
(三) 洞庭湖与湘江下游地区地质构造及其演化历史	(19)
二、区域地球化学特征	(22)
(一) 元素的区域地球化学分布特征	(22)
(二) 土壤元素的空间分布	(24)
(三) 不同地质背景区土壤的元素组合	(24)
第三章 洞庭湖区第四纪地层年代学研究	(25)
第一节 第四纪的年代学研究	(25)
一、碳同位素 (^{14}C) 测年	(25)
(一) ^{14}C 测年原理	(25)
(二) ^{14}C 年代数据的校正	(25)
二、电子自旋共振 (ESR) 测年	(26)
(一) 样品的处理及测试	(26)
(二) 剖面样品的形成年龄	(27)

三、光释光 (OL) 方法	(27)
四、 ^{210}Pb	(27)
(一) ^{210}Pb 原理	(27)
(二) 样品的采集及分析结果	(28)
五、古地磁	(28)
(一) 古地磁年龄测定	(28)
(二) 古地磁采样测试及结果	(29)
第二节 洞庭湖区丘岗阶地区第四纪红土的地层学研究	(30)
一、第四纪红土的总的空间分布特征	(30)
二、不同时期红土剖面的地层特征	(30)
(一) 洞庭湖区第四纪红土综合剖面	(30)
(二) 不同地区第四纪红土剖面地层对比	(35)
第三节 洞庭湖盆地第四纪沉积地层	(36)
一、第四纪地层划分及区域分布概况	(36)
二、沉积区本课题施工钻孔揭露的第四纪沉积地层特征	(40)
(一) 东洞庭湖区南部 (ZK1 孔) 第四纪地层	(40)
(二) 东洞庭湖区北部 (ZK2 孔) 第四纪地层	(42)
(三) 湘江下游入湖口段 (ZK3 孔) 第四纪地层	(42)
(四) 长江分流区 (ZK4 孔) 第四纪地层	(43)
(五) 澧阳平原南部澧水 (ZK5 孔) 第四纪地层	(43)
第四节 洞庭湖区阶地区和平原区地层对比	(44)
一、不同方法测年结果的对比及时间序列的建立	(44)
(一) 不同方法测年结果的综合	(44)
(二) 不同钻孔测年结果的对比及时间序列的建立	(45)
二、丘岗区及平原区第四纪地层对比	(45)
第四章 洞庭湖阶地区第四纪红土研究	(47)
第一节 红土概述	(47)
一、问题的提出	(47)
二、什么是第四纪红土	(47)
三、网纹红土及其形成	(48)
四、中国南方红土的分布	(49)
第二节 第四纪红土的地质背景	(50)
一、第四纪红土地层对比	(50)
二、第四纪红土区的地貌构造特征	(51)
(一) 地貌分类	(52)
(二) 构造特征	(52)
三、洞庭湖地区红土类型及其红土剖面分层情况	(53)
(一) 红土类型	(53)
(二) 红土分层	(54)
四、第四纪红土物质成分的区域性变化	(54)
(一) 不同流域区的红土特征	(54)
(二) 不同时代的红土特征	(55)
五、第四纪红土的矿物组合特征	(56)

(一) 不同时代红土的重矿物组合	(56)
(二) 不同母质母岩红土的主要矿物组成	(57)
第三节 第四纪红土的元素丰度和常量组成特征	(59)
一、洞庭湖区第四纪红土的元素丰度特征	(59)
(一) 洞庭湖区第四纪红土的元素含量平均值及概率分布	(59)
(二) 洞庭湖区第四纪红土化学成分的区域比较	(60)
二、第四纪红土中常量元素的分布特征	(62)
(一) 第四纪红土中常量元素的区域分布特征	(63)
(二) 不同类型第四纪红土常量元素含量平均值	(64)
(三) 不同母质的第四纪红土常量元素变化	(65)
(四) 不同地区第四纪红土剖面常量元素变化	(68)
(五) 不同时代第四纪红土常量元素变化	(72)
第四节 第四纪红土的地球化学环境参数	(74)
一、第四纪红土的介质条件	(74)
(一) 第四纪红土的酸碱度	(74)
(二) 第四纪红土酸碱度与一些化学组分的相关性	(74)
二、第四纪红土中的有机质和磁化率	(75)
(一) 第四纪红土中有机质的含量特征	(75)
(二) 第四纪红土的磁化率特征	(77)
三、第四纪红土的相对淋溶积聚参数	(78)
(一) 元素淋溶积聚参数及其变化	(78)
(二) 红土化指数等参数与元素对比值的统计关系	(79)
第五节 第四纪红土中的微量元素	(80)
一、第四纪红土的微量元素分布特征	(80)
(一) 不同地区(流域)第四纪红土中微量元素平均值	(80)
(二) 不同时代第四纪红土中微量元素平均含量	(82)
(三) 不同类型第四纪红土中微量元素平均含量	(84)
二、第四纪红土微量元素的组合特征	(85)
(一) 不同流域第四纪红土元素组合的因子分析	(86)
(二) 不同时代红土化的元素组合变化	(87)
(三) 不同类型第四纪红土元素组合	(89)
三、第四纪红土中元素含量的相关性	(90)
(一) 第四纪红土中元素间的相关性及影响因素	(90)
(二) 剖面中元素的偏相关系数	(91)
四、第四纪红土的元素对比值特征	(92)
(一) 不同类型红土的元素对比值	(92)
(二) 第四纪红土中元素对比值及其组合的时空变化	(94)
五、红土及红土化过程中某些微量元素地球化学分布的讨论	(95)
(一) 一些元素的时空分布特征及原因	(95)
(二) 红土化过程中微量元素的迁移富集	(96)
(三) 母质母岩类型对红土微量元素分布的影响	(96)
(四) 红土化过程元素对比值的变化趋势及地球化学环境意义分析	(99)
本章小结	(100)

第五章 洞庭湖区第四纪沉积层研究	(102)
第一节 第四纪环境的孢粉学、磁学、碳同位素及矿物学研究	(102)
一、第四纪环境中的孢粉及其他	(102)
(一) 本课题的孢粉分析方法	(102)
(二) 本区沉积层中的孢粉组合及分带概况	(103)
(三) 孢粉浓度、组合与沉积物性质的关系	(113)
(四) ZK1、ZK2、ZK5 孢粉组合带之间的对比	(115)
(五) 孢粉组合与地球化学的关系	(116)
(六) 洞庭湖沉积物中的植硅体、硅藻研究	(121)
二、环境磁学(磁化率)研究	(124)
(一) 基本原理及应用概况	(124)
(二) 洞庭湖区钻孔沉积物的磁化率数据特征	(125)
(三) 磁化率的时空特征	(126)
(四) 磁化率与地球化学参数的关系	(127)
(五) 磁化率与孢粉	(129)
(六) 磁化率与其他环境参数的关系	(129)
三、 ^{13}C 研究	(130)
(一) 基本原理及应用概况	(130)
(二) $\delta^{13}\text{C}$ 方法在本区的应用	(131)
四、矿物学及粒级分析研究	(132)
(一) 粒级分析	(132)
(二) 洞庭湖区钻孔沉积物的主要矿物含量	(134)
第二节 沉积区钻孔常量元素变化特征	(135)
一、沉积区钻孔常量元素变化特征	(135)
(一) 东洞庭湖区常量元素变化特征	(135)
(二) 湘江尾间常量元素变化特征	(138)
(三) 长江分流区常量元素变化特征	(139)
(四) 澧阳平原常量元素变化特征	(140)
二、不同钻孔及不同时段常量元素变化特征	(141)
(一) 不同钻孔常量元素平均值的比较	(142)
(二) 全部钻孔不同时代沉积物的常量元素平均值的变化	(142)
(三) 不同时代常量元素的空间变化	(142)
第三节 沉积区钻孔微量元素变化特征	(143)
一、沉积区钻孔微量元素含量变化	(143)
(一) 东洞庭湖区微量元素含量变化	(143)
(二) 湘江尾间微量元素含量变化	(147)
(三) 长江分流区微量元素含量变化	(148)
(四) 澧阳平原微量元素变化	(149)
二、沉积区元素组合特征	(150)
(一) 各钻孔的元素组合类型	(150)
(二) 钻孔主要元素组合的变化特征	(152)
第四节 平原区钻孔元素比值及环境参数变化	(154)
一、东洞庭湖区环境参数及元素比值变化特征	(154)

(一) 更新世早—中期变化特征	(154)
(二) 更新世晚期—全新世的变化特征	(155)
二、湘江尾间环境参数及元素比值变化特征	(160)
三、长江分流区环境参数及元素比值变化特征	(161)
四、澧阳平原环境参数及元素比值变化特征	(163)
本章小结	(165)
第六章 文化层的地球化学研究	(170)
第一节 洞庭湖农耕文化区人类活动遗存的地球化学特征	(170)
一、洞庭湖区澧阳平原考古遗址典型文化层分布特征	(170)
(一) 澧阳平原遗址分布与文化及自然环境概况	(170)
(二) 典型遗址文化层的采样研究	(170)
二、遗址文化层的常量元素分布特征	(174)
(一) 不同常量组分平均含量特征	(176)
(二) 不同文化层常量组分含量表现出的环境变化特征	(177)
三、遗址文化层的微量元素分布特征	(179)
(一) 不同时期文化层的微量元素含量的平均值	(179)
(二) 文化层的元素组合特征	(182)
四、文化层元素组合的最优分割	(186)
(一) 最优分割原理概述	(186)
(二) 澧阳平原遗址文化层的最优分割	(188)
第二节 长株潭城市文化区人类活动遗存的地球化学环境特征	(189)
一、长沙地区典型遗址文化层的分布特征	(189)
(一) 长沙地区人类活动历史、遗址分布与自然文化环境概况	(189)
(二) 典型遗址文化层的采样研究	(190)
二、典型遗址文化层的常量元素及矿物分布特征	(191)
(一) 常量元素	(191)
(二) 主要矿物组合特征	(192)
三、典型遗址文化层的微量元素分布特征	(193)
(一) 文化层的微量元素含量	(193)
(二) 长沙古城文化层土壤的元素分布特征	(193)
四、城市文化区人类活动的元素组合特征	(199)
(一) 元素组合类型	(199)
(二) 人类活动影响下长沙不同文化层的元素组合变化规律	(199)
第三节 不同文化区人类活动的特征元素组合及对比	(200)
一、不同人类活动强度下文化层的典型元素组合	(201)
(一) 两类不同人类活动强度的文化层元素含量差异性分析	(201)
(二) 文化层“人为源”与“自然源”的元素组合特征	(202)
二、区域文化进程中的元素含量变化规律	(203)
(一) 文化层“自然源”特征元素的演化	(203)
(二) 文化层“人为源”特征元素含量的历史变化	(204)
(三) 文化层“人为源”特征元素含量中“人为”与“自然”分量的分离	(204)
(四) 以文化层“人为源”特征元素“人为分量”划分的文化演化阶段	(206)
三、农耕与城市文化区文化层的地球化学特征对比	(207)

本章小结	(208)
第七章 洞庭湖区第四纪环境的地球化学演化	(210)
第一节 洞庭湖区第四纪地球化学环境的综合分析	(210)
一、元素对比值的古气候、古环境意义	(210)
(一) 表生地球化学环境中元素对比值的影响因素	(210)
(二) 几类主要的元素对比值	(210)
二、地球化学环境综合指标的时空变化对比	(217)
(一) 平原与阶地区元素及比值组合的对比	(217)
(二) 环境地球化学综合指标在洞庭湖区的时空变化	(222)
三、洞庭湖区第四纪环境地球化学时空特征的综合对比	(222)
第二节 沉积区地层元素含量变化的时间序列分析	(225)
一、时间序列研究的数学方法	(225)
(一) 时间序列的基本概念	(225)
(二) 时间序列的基本特征	(226)
(三) 时间序列分析的基本方法	(226)
(四) ARIMA 模型方法	(228)
二、环境地球化学时空变化的周期性研究	(229)
(一) 环境地球化学演变的时间序列及自相关分析	(229)
(二) 地球化学环境指标周期性变化的谱分析	(233)
三、区域地球化学环境的变化趋势及预测的模型研究	(235)
(一) 洞庭湖区全部钻孔样 18 个指标的 ARIMA 模型	(235)
(二) 洞庭湖区环境地球化学 ARIMA 模型预测的结果	(238)
第三节 区域地球化学特征对全球环境变化的响应	(242)
一、本区与相关地区的第四纪地球化学环境对比	(242)
(一) 本区红土与安徽宣城等剖面的对比	(242)
(二) 与北方黄土的对比	(243)
二、区域环境地球化学指标变化与深海氧同位素的对比	(244)
(一) 全球变化研究中的深海岩心的氧同位素特征	(244)
(二) 本区沉积层的环境地球化学指标与深海氧同位素的对比	(245)
三、全球变化对区域环境地球化学的影响	(247)
(一) $\delta^{13}\text{C}$ 值对区域年平均气温变化历史的估计	(247)
(二) 区域环境地球化学指标变化对全球变化的响应	(248)
总 结	(251)
一、本课题之主要成果汇总	(251)
(一) 洞庭湖区第四纪年代及地层序列	(251)
(二) 第四纪红土的地球化学特征	(252)
(三) 洞庭湖平原区第四纪沉积层的地球化学特征	(255)
(四) 人类活动遗存的地球化学特征	(258)
(五) 洞庭湖区第四纪地球化学环境的演变规律	(260)
(六) 区域地球化学特征对全球环境变化的响应	(261)
二、本书的局限性、存在问题及今后工作建议	(262)
参考文献	(264)
附 表	(269)
图 版	

第一章 绪 论

第一节 第四纪科学与环境地球化学

人地关系是人与自然的根本关系。现代的人地关系是在不同自然或文化景观区内自然与人类长期相互作用及相互影响的结果。对人地关系的研究,不仅要考察人地系统的空间结构与地域差异,而且要追溯过去,需要从地质地理和人文文化景观的发生发展过程去寻求其规律和演变趋势。这种研究不应限于有文字记载的历史时期,而应该从人类之初开始,对人类出现以来环境的时空演化过程做深入研究。对此长时间跨度、异常复杂的人地关系演变过程的研究,第四纪研究恰表现出独特的学科专长。

第四纪是地球历史中最新的一个时代,以人类的出现为标志。第四纪科学一般指第四纪地质学,或第四纪环境学,它是“研究 260 万年以来地球环境历史变化和人类适应可持续发展的科学”(刘东生, 2004),研究包括地球环境的物质基础,即地球本身的结构与运动;地球环境的塑造者,即各种自然营力和“人”;地球环境发展的历史,特别着重局部的和区域的以及从区域到全球的变化和对比等。可见,第四纪科学涵盖了人类诞生以来地球表层所发生的一切,是与生俱来研究人与自然环境问题的科学,它与地质学、地貌学、气候学、古地理学、古生物学、古人类学、考古学和地球化学等联系密切,通过对第四纪以来的多种自然及人文沉积物、风化物的研究和对比,可对人地关系演变过程作科学深入的探讨。

现代的环境地球化学具有系统的、历史的、自然与人类活动紧密结合的学科特点,以及宏观与微观结合的方法特点。宏观上,在较大时间尺度下,从局部、区域乃至全球环境变化上综合研究多种环境要素的影响;微观上,在各种环境介质的界面处进行元素迁移机理研究。对于揭示地球环境变化的突发事件和低剂量长效环境物质的迁移、转化和生态效应,以及辨识环境变异中自然与人为作用的份额具有独特的学科优势。环境地球化学不仅研究地球环境中天然和人为释放的化学元素的分布规律,为资源开发利用、生态环境保护及人类健康服务,还将当今的环境现象与地球历史的长期演化相结合,将地球环境系统的自然演化与人类活动的环境影响紧密融合,从地球环境的整体性和相互依存性出发,针对区域环境问题,综合研究化学元素在岩石圈、水圈、气圈和生物圈各圈层间相互作用的地球化学关系,揭示自然作用过程中和人类活动干扰下地球环境系统的变化规律(万国江, 2002)。

这种现代环境地球化学内涵实质上是“地球系统化学新思想”(张本仁, 1992)的外延。地球系统化学观点认为:地球系统物质运动包括无机、有机和生命物质,以及由它们组成的不同层次的层圈和地质体,地球化学系统的观点强调系统性质对其中化学作用特征和元素行为的制约,强调不同形式运动的相互作用,地球层圈相互作用,强调层圈与整个地球化学演化的不可逆性和螺旋式上升发展;各类地质体的化学组成及相应参数是地球物质化学运动的记录;研究一个区域的地球化学问题时,必须将地学和地质问题剖析为地球化学性质的问题来研究,以层圈相互作用和物质循环为主线,以历史地球化学理论和观点为指导,坚持层圈和地球化学演化的发展论和阶段论,从化学和物理化学观点揭示地质体中的地球化学运动的记录,形成地球化学研究的构想。

研究第四纪以来,尤其是全新世以来区域环境的地球化学特征,对于正确认识人地系统演变规律,预测未来环境变化,自觉而及时地调整人与自然的关系,构建一个良性循环、最佳的人类生存环境,推动和谐社会的发展,无疑具有理论和实践上的重大意义。在理论上,有助于地球系统过程和短期突发性全球变化等系列基本理论问题的解决;在实践上,可用于资源开发、环境保护、土地利用和管护等各个领域(夏正楷,1997)。

鉴于人类不仅受到来自地球环境变化的冲击,而且人类活动正以前所未有的幅度和速度影响着地球环境,进而影响到人类的生活质量与可持续发展水平,人类社会如何应对全球环境变化的挑战,如何适应未来可能出现的环境变化并有效地利用这种变化的环境,即人类如何合理的管理“地球生命支撑系统”。自20世纪80年代起,国际科学界先后发起并组织实施了一系列全球环境变化(GEC)战略性研究计划,全球环境变化(GEC)是指由人类活动和自然过程相互交织的系统驱动所造成的一系列陆地、海洋与大气的物理、化学和生物变化。GEC主要进行三方面工作,一是描述和了解控制整个地球系统关键性相互作用的物理、化学和生物过程;二是描述和了解支持生命的独特环境;三是描述和了解出现于地球系统中受人类活动影响的重大全球变化。其中心任务是以几十年至几百年为时间尺度,就对生物圈影响最大、对人类活动最敏感、最易实践和最有可预测性的重大全球变化问题作出回答。可见,GEC研究是第四纪研究的重要内容之一,并因其涉及地球系统的化学过程而在环境地球化学研究中亦举足轻重的地位。

第二节 第四纪及环境地球化学研究进展概况

一、第四纪及 GEC 研究进展

第四纪科学是在人与自然的关系演化中产生和发展的。18世纪以前,人们从各种生产实践中只是萌芽出一些朴素的第四纪科学思想;19世纪初,关于未固结堆积物成因的争论、冰期的建立、动植物群和人类化石等的研究促进了第四纪科学的形成;20世纪60年代以来,第四纪科学有了惊人的进展,如深海岩心研究,建立了反映气候变化的海洋模式;黄土研究建立了气候变化的大陆模式;测年精度的大幅度提高使高分辨率时间序列研究成为可能;元素和同位素分析及计算机技术等运用,使环境信息提取和分析水平进一步提高;地球南极、北极和青藏高原之“三极”的研究,成果显著,亟有助于全球环境变化问题的解决(夏正楷,1997)。

近40年来许多全球环境变化(GEC)国际研究计划及其他第四纪研究,如深海钻探计划(DSDP)、长期气候研究、制图与预测计划(CLIMAP)、国际地质对比计划(IGCP)等,发现并证实海洋沉积物、湖泊沉积物、“三极”冰心、黄土等保存着许多第四纪以来全球环境变化的直接证据,推动了第四纪科学的迅猛发展,为全球环境变化(GEC)研究及人地关系演变过程探讨奠定了科学基础。

目前,全球环境变化(GEC)研究已取得了一些重要的进展并达成诸多共识,如古全球变化研究在认识气候的自然变率、工业化前的全球大气成分、全球温室气体的自然变化及其与气候的关系、陆地生态系统对过去气候变化的响应、过去气候系统的突发性变化等方面取得了重要成果,获得了许多前所未知的事实,被国际社会公认是自然科学的重要进步。通过GEC研究,人们认识到:全球性问题的研究需要由区域研究来完成;区域性研究必须体现全球性问题;地球系统是一个由物理、化学、生物和人文因素组成的完整的自调节系统,除了温室气体排放和气候变化外,人类活动明显地通过多种途径影响地球环境,全球变化不能借助单一的因果模式来理解,地球动力系统具有临界阈值和突变特征,地球系统一些关键环境参数的变异已远超过50万年以

来的自然变异范围；了解大陆水系统（河、湖、湿地、河口、地下水和陆架海）在地球系统的生物地球化学过程中的作用，重点要研究水、沉积物、碳和营养物（如氮、磷、硅）的通量、转换过程和变化；在从区域至全球的角度来评估生态环境和社会经济系统时，应考虑全球环境变化对食物生产、存量和土地利用的影响，分析其适应性策略的有效性。当今 GEC 历史及其变化原因的研究主要从两个时段上进行，其一为近 2 ka 左右历史时期的变迁；另一为近 150 ka 来的末次冰期过程。

黄土是存在于陆地表层、既能反映全球变化又具有区域性特征的陆相沉积物。我国的第四纪科学因黄土研究而跻身世界全球环境变化研究领域的前列。从 20 世纪 50 年代起，刘东生等对黄土高原进行了大量的野外考察和实验分析，完成了《中国的黄土堆积》等多部专著，提出的“新风成说”把过去只强调搬运过程的风成作用扩展到物源—搬运—沉积—沉积后变化这一完整过程，为全球变化研究奠定基础。刘东生等通过对黄土—古土壤系列进行高分辨率采样，从各层的颜色、稳定碳同位素、常量元素、微量元素和有机质含量分析及石英颗粒电镜扫描、粒度组成特征等指标的分析测定，进行年代学、磁学参数、地层学、矿物学、地球化学和考古学研究，对经典的四次冰期理论提出挑战，将第四纪以来的中国黄土—古土壤划分出 13 个气候旋回，重建了 250 万年以来的气候变化历史，最终建立了环境变化的多旋回理论，使中国黄土成为古气候变化记录的最重要档案库，与深海沉积、极地冰心并列成为全球环境变化研究的三大支柱，为国际科学界所信服，黄土研究成为全球环境变化研究的一个重大转折（张景勇，2004）。

黄土不仅记录着千万年来地球各圈层的相互作用，亦与内陆干旱化、沙尘暴、古文明的变迁等诸多关系到国计民生的问题息息相关，对其研究引发了人们对人与自然和谐发展的积极思考与实践，如朱显谟的“黄土高原农业可持续发展的 28 字方略”、朱海之“黄河泥沙主要来自砂黄土地区”的研究结论为治理黄河提供了重要依据（刘东生，2003）。

青藏高原作为地球的第三极，将其隆起与东亚环境演化结合，与黄土高原结合，把固体岩石圈的演化同地球表层圈的演化结合，为地球科学研究的一个新领域，如今青藏高原已成为国际地学界进行地球系统各圈层相互作用研究的热点地区（郑度等，2004）。

二、环境地球化学进展

环境污染形势日益严峻，环境地球化学已成为 20 世纪七八十年代以来发展最快的一门学科。环境地球化学研究环境中元素的分布和迁移规律，揭示人与环境之间的本质联系，参与环境问题的讨论。在元素（或污染物）的分布与人体健康及生态效应的关系研究方面取得了丰富的成果，如亚马孙河与采金业有关的 Hg 中毒；孟加拉国的水供应中的 As 中毒问题（Smedley, 1999）。

环境地球化学在认识地球环境的总体性和相互依存性、揭示全球环境和区域环境质量历史变化方面有重要意义，引导环境地球化学研究工作聚焦于典型区域环境演化的地球化学过程及生态效应研究，包括未来环境演化趋势和防治对策、全球环境变化中气候信息的提取、生态环境敏感及脆弱地区的风化淋溶作用、地—气界面的 C 和 S 及大气飘尘的环境地球化学行为、信息系统及模型模拟等（杨忠芳等，1999）。Matthias Zabel 等（2001）以尼日尔河沉积扇的岩心研究陆源元素 Al、K、Ti、Zr 的时间序列，该岩心记录了过去 245 ka 的河流沉积物的变化主要受控于中非的植被覆盖范围，“元素/Al”比值反映了河流盆地中的化学和气候变化条件；K/Al、Ti/Al 和 Zr/Al 记录了非洲季风突变依赖于高纬度地区的气压。G. I. Zaitseva 等（2005）对 Uruk 洼地的湖泊沉积物所进行的孢粉和地球化学分析重建了大约 2.6ka（B. P.）^① 欧亚大草原的环境变化历

^① B. P. 表示距今（1950 年）。

史。G. S. Konga 等 (2006) 以黄海东南部晚第四纪沉积岩心的地球化学组分、深海有孔虫稳定同位素重建过去 16.6 ka 内的古环境变化。Sébastien Bertranda 等 (2005) 通过对 Lago Puyehue 岩心的有机质、粒度和 Al、Ti 含量等地球化学指标进行多种沉积序列分析, 研究了南智利的短期气候变化规律, 研究表明在 A. D. 1490 到 A. D. 1700 之间, 陆源微粒的增加暗示为潮湿时期; ^{13}C 的增加反映湖泊生产力的增加, 系对高度营养供应的响应; 磁化率反映了陆源/生物比值, 证明其变化发生在一个整体未受扰动的沉积环境中, 该潮湿期与欧洲小冰期 (Little Ice Age, LIA) 的开始时有关, LIA 是全球事件, 不仅限于北半球。

环境地球化学综合数据库 (Jane Plant, David Smith et al., 2001) 作为全球环境变化研究、预测未来全球和区域环境变化、区域发展战略规划基础的全球数据库, 在国际地科联 (IUGS) 和国际地球化学和宇宙化学协会 (IAGC) 的支持下, 正在建立和完善中。该系统的基本地球化学数据是区域测量和环境状态评价的基础。随着进行区域测量国家的增加, 其覆盖面几乎扩展到全球陆地表面。全球地球化学基底值作为土地状况评估的基础, 目前已绘制了元素分布图, 特别是那些对生命有严重或潜在危害的元素 (包括放射性元素) 分布图; 进一步对潜在危害物质, 尤其是有机质的分布也将包括在内。根据全球环境地球化学基底来证明土地污染和降级, 自然地球化学变化趋势, 并为国家乃至全球尺度的有关环境政策发展提供信息, 使个人和社会的行为有利于环境的可持续发展, 有助于保护地球表面的土地, 因其与新战略规划有关, 故被称为“战略地球化学数据库”。就具有悠久的采矿和矿业、制造业、高度城镇化的工业化国家而言, 如欧洲国家, 日益严重的废弃地和污染地的开发利用, 因为法律、财政等的控制, 对环境有潜在危害的元素逐渐用作规划和管理的依据之一, 这些元素高值区是城市利用中的褐色区 (预警区), 而不是可扩张发展的绿色区。发展中国家的人口压力、经济发展、土地降级和污染及贫穷的增加影响着地球土地表面及其生命支持系统, 这在近赤道热带地区和沙漠区域变得更加敏感, 因为其经历了中长期剧烈的化学风化, 地表环境支离破碎。全球数据库也对特殊的污染物质、人口事件、土地质量降低区和沙漠化等特别研究提供了有价值的信息。该系统的多介质, 地表水和地下水、土壤和河流沉积, 多项全球地球化学数据库亦为提高全球环境质量作出了贡献; 同时也为探测稀有资源、纠正和改进发展战略的可能提供依据; 全球数据库也为预测未来变化提供了保障。政府、国际组织和发展银行增加了用以准备战略数字数据库的资源比例, 而地球及其环境作为可持续性土地利用发展规划的基础, 被认为是最重要的参数之一。

在研究介质方面, 海洋沉积物、湖泊沉积物、冰心、黄土、泥炭、珊瑚、洞穴石笋等为环境地球化学研究材料; 而红土因其次生特性而在国内外的环境地球化学研究方面仍是个较新的课题。

一般认为 (黄英等, 2002) 红土是母岩经历不同程度的红土化作用形成的, 不同母岩在相同的气候条件下形成红土, 其主要化学成分之间存在统计规律: 均以 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 为主, 随着 SiO_2 含量的减小, Fe_2O_3 、 Al_2O_3 或 R_2O_3 的含量增大; 而 pH 值、烧失量随着 R_2O_3 含量的增大而减小, 其化学成分实质上是红土化作用结果的反映。徐瑞松等 (2006) 提出华南红土从其母岩到表土, 普遍表现为 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 主元素淋失, Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、N、S 富集, 从空间上看, 其表生地球化学特征受下伏母岩和纬度效应制约, 是区域资源环境的具体响应, 是长期和多种环境变化的真实记录。朱丽东等 (2005) 认为近 20 年来, 以红土为载体的古环境研究作为全球变化研究的新热点正在逐步形成, 长江中下游、华南、西南等地的红土与环境的研究均有不同程度的进展, 其中长江中下游地区作为北方黄土与南方红土的交锋地带, 是揭示黄土堆积、红土发育、东亚冬夏季风盛衰之间耦合机制的敏感性地带, 是目前人们较为关注的研究区。但从业已发表成果来看, 系统的红土地球化学研究较少。一些结论尚难以令人满意, 成因机理上未能给予有力的理论支持。