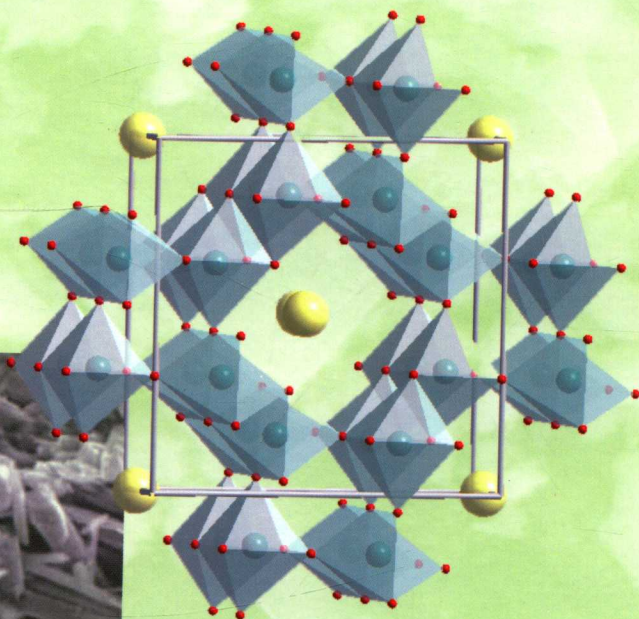
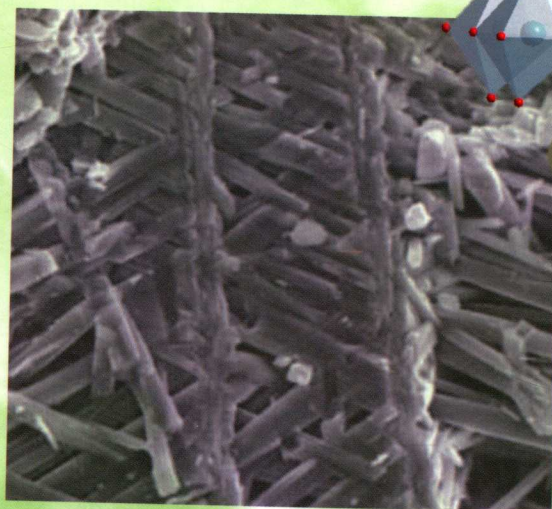


Introduction to Environmental
Property of Mineralogy

矿物学环境属性 概论

鲁安怀 王长秋 李 艳 等 著



科学出版社

矿物学环境属性概论

鲁安怀 王长秋 李 艳 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在多年从事环境矿物学研究和教学工作基础上撰写而成。全书共分3篇。第一篇系统介绍了矿物学环境属性主要内容、无机界矿物天然自净化功能、矿物与微生物协同作用的环境效应以及生物矿化作用的生理生态效应。第二篇重点介绍了硫化物大类中黄铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿、氧化物大类中金红石和锰钾矿、含氧盐大类中硅酸盐矿物纤蛇纹石和钾长石、硫酸盐矿物黄钾铁矾等典型矿物环境属性特征,详细阐述了半导体矿物与微生物协同效应,初步探讨了人体心血管和几种肿瘤病灶中病理性矿物特征。第三篇具体介绍了环境污染防治第四类方法——矿物法,包括矿物在处理无机污染物、降解有机污染物、净化烟尘型污染物、评价土壤环境质量、防治垃圾污染物以及处置矿山尾矿砂方面的应用实例。

本书可作为高等院校矿物科学、材料科学、环境科学及生命科学等专业师生教学与科研工作的参考书,亦可供科研院所和环保企业相关领域中研究开发、工程技术与业务管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿物学环境属性概论 / 吕安怀等著. — 北京: 科学出版社, 2015.3

ISBN 978-7-03-043722-7

I. ①矿… II. ①吕… III. ①矿物学—环境科学—研究 IV. ①P57②X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 049823 号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 李 娟 / 责任校对: 韩 杨 赵桂芬

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张: 38 1/2

字数: 920 000

定价: 278.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

自矿物学诞生的几个世纪以来，人类对矿物的认识与利用，基本上局限于资源属性层面。近几十年来，地球资源的过度开发与利用，导致地球环境的日益破坏，地球科学——这一承载资源与环境两大主体的基础学科，肩负着开发资源与保护环境战略重任。因此，发掘自然界矿物的环境属性实属必然。正是矿物学环境属性与资源属性一起共同构筑了矿物的本征属性。今天我们终于看到矿物学环境属性研究的专著问世了，我对这本国际上第一部专门论述矿物学环境属性著作的出版表示祝贺。

我曾于2001年5月在北京大学地质系举办的“首届全国环境矿物学研讨会”开幕式上，回顾了人类利用矿物的历史，并提出矿物的概念要有所发展，矿物环境属性亦即环境矿物学是矿物学发展阶段中必然会出现的新主题。2014年11月在北京大学地球与空间科学学院举办的“全国矿物学发展研讨会”上，我再次提出矿物学发展要敢于突破矿物的传统概念，鼓励大力发展现代矿物学与其他学科交叉研究方向。如今，加强环境矿物学新型交叉学科的研究，就是对矿物传统概念大胆突破的很好诠释。

该专著是作者近20年来不懈努力完成的。我至今仍清楚地记得作者对于矿物环境属性的研究是从研究铁的硫化物矿物如何治理重金属污染物开始的，如今取得如此丰富的研究成果实属难得。该专著系统地论述了矿物记录环境变化、矿物影响环境质量、矿物反映环境评价、矿物治理环境污染以及矿物参与生物作用五大矿物学环境属性。特别是在矿物治理污染的环境属性研究方面，提出无机界矿物天然自净化功能，包括矿物表面效应、孔道效应、结构效应、离子交换效应、氧化还原效应、溶解效应、结晶效应、水合效应、热效应、光催化效应、纳米效应以及矿物与生物复合效应等，拓展了环境矿物材料基本性能的研究，并通过实例深入探讨了这些净化功能在天然矿物中的具体表现，提出继物理法、化学法和生物法之后的环境污染防治第四类方法——矿物法。在矿物参与生物作用的环境属性研究方面，提出矿物与微生物协同作用的环境效应，突出表现在提出继太阳光子能量和元素价电子能量之后的自然界中第三种能量形式——天然半导体矿物光电子能量，通过半导体矿物对太阳能的转化实现地表其他有机或无机物质对太阳能的间接利用，进一步探索了矿物光电子能量促进地球早期生命起源与演化以及微生物生长代谢活动，提出自然界中可能存在“光电能”微生物的新认识。专著还初步探讨了人体中病理性矿化作用，尝试性开展了一些重大疾病病灶中矿化特征研究。显然，矿物学环境属性、无机界矿物天然自净化功能、环境矿物材料、矿物法防治污染物以及矿物光电子能量、矿物与微生物协同作用、“光电能”微生物等，都是国际上新提出的概念和认识，发展了新兴的环境矿物学学科内涵。这些创新性研究成果，也大大丰富了现代矿物学的研究宝库。

自然界中物质主要由矿物和生物共同组成。矿物学发展如何跟上生物学发展的步伐，环境矿物学的兴起与繁荣，为我们打开了通往现代矿物学发展的一扇大门。事实上，矿物学环境属性研究，在很大程度上扩大了传统矿物学研究对象和内容，在理论上取得长足发

展，在应用上具有广阔前景。这也是矿物概念得到突破之后，矿物学获得的巨大发展。可以说环境矿物学促进了传统矿物学进入新的研究阶段，达到新的研究高度，实现新的研究目标。有理由相信，环境矿物学在系统地球科学中所发挥的基础性学科作用，类似于资源矿物学在传统地质学中发挥的作用，矿物学由传统的“小学科”发展为现代的“大学科”指日可待。

为此，我欣然命笔为鲁安怀等之大作写序。

中国科学院院士 叶大年

2015年2月8日

前 言

矿物学是一门古老的自然学科，与生物学一起共同构筑了自然界最基本的天然物质科学。目前自然界发现的矿物已近五千种。人类最初认识与利用自然就包括对矿物的认识与利用。石器时代，人类最早接触的是非金属矿物或其集合体。以后的各种金属器时代，人类开始利用金属矿物及其集合体或其冶炼产物（裴文中、张森水，1985；Popescu，1995）。可以说，矿物最初被人们认识和利用的属性是其资源属性。矿物学学科出现后的几个世纪以来，矿物学资源属性一直受到人们的重视和利用。一种新矿物的发现，就意味着一种新的地球资源可能被利用。对已有地球资源的利用程度，更是依赖于对矿物的有用性能及对矿物中有益组分的研究程度，以至于矿物资源与矿物原料成为人们常用的专业术语，甚至矿产资源与矿物资源也似乎是等同的概念，可见矿物学资源属性表现得何等鲜明。因此，长期以来人们对矿物的研究，始终是在矿物学资源属性范畴内进行的。对矿物学及其分支学科的深入研究，又从不同角度、不同层次和不同程度上促进了相关地球科学的发展，最终还是体现在对固体地球资源发现和利用水平的提高方面。这也奠定了一直以来资源矿物学作为资源地质学重要基础学科的支撑地位。相信随着人类对地球资源需求的不断增长以及由此带来的对地球资源认识的不断深化，资源矿物学作为资源地质学这一基础性学科的支撑作用必将得到继续加强。

当前，天然无机界古老的矿物概念发生了新的变化。过去一直认为矿物是在各种地质作用下形成的天然单质或化合物。其本质是地质作用的产物，矿物的形成作用被限定于岩石圈范围内。如今有必要把岩石圈及其之外的与水圈、大气圈和生物圈交互作用过程中，即非单纯地质作用中形成的无机固体物质纳入天然矿物范畴。其本质涉及地球表层中大气圈、水圈、生物圈及岩石圈之间的物质循环问题，还反映工业化以来受人为活动强烈干扰的地球表层物质循环作用。国际矿物学协会（IMA）新矿物及矿物命名委员会 1997 年明确提出，新物质纯粹是已存在的岩石和矿物暴露于大气并受地表作用的结果，该物质可以认为是矿物，尤其是某些生物成因的物质以和单纯地球化学作用形成的矿物同样的形式存在，即有地质对应产物，可视为有效的矿物。显然，矿物是在各种自然作用中形成的天然单质或化合物（鲁安怀，2007）。这种自然作用既包括地质作用，还包括地球表层多个圈层交互作用过程中形成矿物的天然作用。

正是由于现代矿物学研究范畴不似传统矿物学研究仅限于岩石圈，而是更多关注岩石圈受到水圈、大气圈和生物圈影响过程中所涉及的矿物学基础科学问题，大大扩展了现代矿物学的研究内容，直接导致能够反映从岩石圈到水圈、大气圈和生物圈乃至土壤圈之间交互作用的崭新的矿物学环境属性被提出（鲁安怀，2000；Vaughan *et al.*，2002）。强调矿物学环境属性理论与应用研究的环境矿物学，也是在人类赖以生存的地球家园正面临着环境污染和生态破坏严重威胁的今天应运而生的。环境矿物学是 20 世纪 90 年代初在国际上诞生的新兴学科，它是一门研究天然矿物与地球表面各个圈层之间交互作用及其反映自

然演变、防治生态破坏、评价环境质量、净化环境污染以及参与生物作用的科学(鲁安怀, 2000)。环境矿物学主要研究内容包括研究矿物作为反映不同时间空间尺度上环境变化的信息载体、研究矿物影响人类健康与破坏生态环境的本质及其防治方法、研究矿物负载污染物的能力及其评价环境质量的机制与方法、研究矿物具有治理环境污染与修复环境质量的基本性能以及研究纳米尺度上矿物与生物交互作用的微观过程与机理等。目前地球表层岩石圈与水圈、大气圈和生物圈交互作用产物中, 具有环境响应的无机矿物及其形成过程, 正在成为环境矿物学主要研究对象。地球关键带多个圈层交互作用过程中, 无机矿物形成、发展与变化过程中所禀赋的生态生理效应, 将是现阶段环境矿物学主要研究目标(鲁安怀, 2009)。

显然, 矿物学环境属性研究体现在诸多方面。在矿物记录环境方面, 主要研究矿物作为反映不同时间和空间尺度上环境变化的信息载体特征; 在矿物影响环境方面, 主要研究矿物的破坏与分解作用而释放的有害、有毒组分, 直接或间接影响人类健康与破坏生态环境的本质及其防治方法; 在矿物评价环境方面, 主要研究土壤矿物环境容量, 尤其是土壤中矿物对重金属的吸附与解吸作用、固定与释放作用; 在矿物治理环境方面, 主要研究开发矿物治理环境污染与修复环境质量上的基本功能与天然自净化作用; 在矿物参与生物作用方面, 主要研究晶胞与细胞层次上矿物与生物交互作用的精细过程与微观机制; 在人体矿物研究方面, 主要研究人体系统中矿化作用产物的精细特征及其所禀赋的生理病理效应, 发展人体疑难病症诊疗的矿物学辅助手段。目前, 我国矿物学环境属性研究, 即环境矿物学, 在研究矿物如何精细记录环境、矿物如何深度影响环境、矿物如何准确评价环境、矿物如何有效治理环境以及矿物如何参与生物作用等方面, 业已取得丰硕的研究成果(鲁安怀, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005a, 2005b, 2005c, 2007, 2009, 2010; 鲁安怀等, 2000a, 2000b, 2003, 2004, 2012, 2013, 2014a, 2014b; Lu, 2004; Lu and Li, 2012; Lu *et al.*, 2000, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2010, 2012a, 2012b, 2013, 2014), 极大地推动了我国矿物学的发展, 并在国际矿物学界产生一定影响, 充分反映出这一新兴学科在我国的长足发展现状与巨大发展前景。

本专著分为矿物学环境属性简述、矿物学环境属性特征和矿物法——环境污染防治第四类方法三篇共 20 章。第一篇矿物学环境属性简述中, 着重介绍矿物学环境属性研究范畴、无机界矿物天然自净化功能、矿物与微生物协同作用的环境效应以及生物矿化作用的生理生态效应。第二篇矿物学环境属性特征中, 重点阐述铁的硫化物矿物还原沉淀效应、闪锌矿光催化还原效应、金红石光催化氧化效应、纤蛇纹石管状结构效应、钾长石四面体孔道效应、锰钾矿八面体孔道效应和纳米效应、黄钾铁矾类矿物结晶效应、半导体矿物与微生物协同效应以及人体病理性矿物特征。第三篇矿物法——环境污染防治第四类方法中, 介绍矿物法处理无机污染物、降解有机污染物、净化烟尘型污染物、评价土壤环境质量、防治垃圾污染物及处置矿山尾矿砂的实验方法和应用技术。

本专著研究与编写工作分工如下: 鲁安怀完成第 1 章和第 2 章, 鲁安怀、李艳、王鑫、丁竑瑞、曾翠平、刘熠完成第 3 章, 王长秋、鲁安怀、秦善、李艳完成第 4 章, 鲁安怀、卢晓英、唐军利、陈洁、石俊仙完成第 5 章, 李艳、鲁安怀、殷义栋、丁聪、吴婧完

成第6章,鲁安怀、李宁、刘娟、李艳、郭延军、传秀云、罗泽敏完成第7章,鲁安怀、王长秋、王丽娟完成第8章,鲁安怀、秦善、刘瑞、左红燕完成第9章,鲁安怀、高翔、赵东军、范晨子、李艳、张慧琴完成第10章和第11章,王长秋、鲁安怀、马生凤完成第12章,鲁安怀、李艳、郝瑞霞、王长秋、丁竑瑞、王鑫、曾翠平、李瑞萍、吕明、朱云、余萍、颜云花、杨晓雪、王浩然、李岩、丁聪完成第13章,王长秋、鲁安怀、李艳、柳剑英、梅放、张波、李康、杨重庆、杨若晨、赵雯雯、熊翠娥、朱梅倩、孟繁露、李源完成第14章,鲁安怀、王长秋、李艳、卢晓英、唐军利、陈洁、石俊仙、郭敏、赵谨、郑德圣、魏尊莉、颜云花完成第15章,鲁安怀、王长秋、李艳、韩丽荣、任子平、李巧荣、李改云、杨欣、荣波、魏学军、杨心鸽、黄姗姗、杨磊、权超完成第16章,鲁安怀、李金洪完成第17章,鲁安怀、王长秋、郑佳、郑喜坤、汪志国完成第18章,鲁安怀、王长秋、凌辉、李艳、周建工、亢宇、张金、王健完成第19章,鲁安怀、王长秋、李艳、王武名、王玲、张文琦、崔兴兰完成第20章。丁竑瑞、王鑫、王浩然、孟繁露、李源、李岩、张慧琴、刘熠、王霄协助完成部分图件的清绘。最后由鲁安怀、王长秋、李艳完成全部书稿审定工作。

本专著是作者自1996年开始负责承担国家自然科学基金面上项目(49672097)以来近20年研究工作的系统总结。此后的研究工作继续得到包括重点项目在内的11个国家自然科学基金项目(49972017、40172022、40572022、40872196、40902016、40972210、41230103、41272048、41272003、41402032和41402301)的支持,特别是作为首席科学家连续获得国家科学技术部国家重点基础研究发展计划(973计划)重大科学前沿领域中两个项目(2007CB815600和2014CB846000)支持,还先后获得国家科学技术部基础研究重大项目前期研究专项(2001CCA02400)和攀登特别支持课题(99019)、国土资源部科技司课题(9505207)、中国地质调查局综合研究课题(9902007)和北京市教育委员会共建项目以及金川镍矿和大庆油田等工矿企业委托的横向课题资助。所在单位北京大学“211”工程和“985”工程中3个有关实验室建设项目也给予了大力支持。

本专著的完成还得益于我国环境矿物学学术组织、学术交流和学科建设的发展。中国地质学会于1999年在矿物学专业委员会中批准设立环境矿物学分会,中国矿物岩石地球化学学会于2004年批准成立环境矿物学专业委员会。北京大学于2003年自主设立地质学(材料及环境矿物学)博士学科点。《岩石矿物学杂志》先后于1999年、2001年、2003年、2005年、2007年、2009年、2011年和2013年连续出版8辑环境矿物学专辑,实现了新兴学科的长足发展与传统刊物的影响因子上升同步同行。其间,《矿物岩石地球化学通报》于2006年出版1辑环境矿物学专辑,《Acta Geologica Sinica》同年出版1辑英文版中日环境矿物学专辑。

在此对以上单位和个人一并表示衷心的感谢。

由于作者能力所限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

鲁安怀

2015年1月于北京大学

目 录

序 前言

第一篇 矿物学环境属性简述

第1章 矿物学环境属性研究范畴	3
1.1 矿物记录环境变化	3
1.2 矿物影响环境质量	4
1.3 矿物反映环境评价	5
1.4 矿物治理环境污染	6
1.5 矿物参与生物作用	7
第2章 无机界矿物天然自净化功能	9
2.1 矿物表面效应	9
2.2 矿物孔道效应	12
2.3 矿物结构效应	14
2.4 矿物离子交换效应	15
2.5 矿物氧化还原效应	16
2.6 矿物微溶效应	17
2.7 矿物结晶效应	18
2.8 矿物水合效应	18
2.9 矿物热效应	19
2.10 矿物光催化效应	20
2.11 矿物纳米效应	20
2.12 矿物与生物复合效应	21
第3章 矿物与微生物协同作用的环境效应	23
3.1 半导体矿物光电子产生	23
3.2 半导体矿物光电子特性	26
3.3 矿物光电子与生命起源和演化	28
3.4 矿物光电子促进微生物生长代谢	29
3.5 土壤矿物光电子与微生物协同固碳作用	30
第4章 生物矿化作用的生理生态效应	33
4.1 生物矿化作用	33
4.2 生物成因矿物	34

4.3 人体矿物的生理病理效应	37
-----------------------	----

第二篇 矿物学环境属性特征

第5章 铁的硫化物矿物还原沉淀效应	45
5.1 铁的硫化物矿物一般矿物学特征	45
5.2 黄铁矿和磁黄铁矿氧化还原特性	46
5.3 磁黄铁矿还原效应及其电化学分析	49
5.4 黄铁矿和磁黄铁矿的沉淀转化作用	56
5.5 硫资源的合理利用	59
第6章 闪锌矿光催化还原效应	60
6.1 闪锌矿矿物学特征	61
6.2 闪锌矿半导体特性	65
6.3 天然闪锌矿改性特征	74
6.4 闪锌矿光催化活性影响因素	84
6.5 天然半导体矿物复合光催化剂体系	92
第7章 金红石光催化氧化效应	98
7.1 金红石矿物学特征	98
7.2 金红石半导体特性	105
7.3 天然金红石的改性	115
7.4 热改性影响金红石半导体特性机理	134
第8章 纤蛇纹石管状结构效应	139
8.1 纤蛇纹石晶体结构	139
8.2 纤蛇纹石活性基团	140
8.3 斜纤蛇纹石纳米管内径特征	145
8.4 斜纤蛇纹石管道水特征	149
8.5 纳米纤维状白炭黑制备与表征	152
8.6 纳米纤维状白炭黑催化剂载体	165
8.7 纳米纤维状白炭黑有机化改性	170
第9章 钾长石四面体孔道效应	178
9.1 孔道结构矿物概述	178
9.2 钾长石孔道结构特征	184
9.3 钾长石孔道离子交换效应	193
9.4 钾长石孔道中的水	201
第10章 锰钾矿八面体孔道效应	208
10.1 锰氧化物孔道结构	208
10.2 锰钾矿晶体化学	210
10.3 锰钾矿孔道中的水	219

10.4	锰钾矿孔道效应	228
第 11 章	锰钾矿纳米效应	234
11.1	锰钾矿隐晶质集合体	234
11.2	锰钾矿一维纳米晶体	240
11.3	锰钾矿集合体中纳米孔特征	245
11.4	锰钾矿纳米效应	248
第 12 章	黄钾铁矾类矿物结晶效应	255
12.1	黄钾铁矾类矿物基本特征	255
12.2	黄钾铁矾类矿物形成条件	258
12.3	黄钾铁矾类矿物结晶效应应用	263
12.4	黄钾铁矾类矿物结晶隔离防渗作用	268
第 13 章	半导体矿物与微生物协同效应	273
13.1	矿物与微生物协同作用方式	273
13.2	金红石与氧化亚铁硫杆菌协同作用	274
13.3	闪锌矿与氧化亚铁硫杆菌协同作用	281
13.4	光电子与粪产碱杆菌协同作用	286
13.5	金红石与活性污泥中微生物群落协同作用	289
13.6	红壤中铁氧化物矿物与微生物群落协同作用	293
13.7	半导体矿物介导非光合微生物利用光电子新途径	299
13.8	矿物光电子与地球早期生命起源及演化初探	306
第 14 章	人体病理性矿物特征	313
14.1	脑膜瘤矿化特征	313
14.2	心血管矿化特征	322
14.3	甲状腺癌矿化特征	338
14.4	卵巢肿瘤砂粒体矿化特征	344
14.5	乳腺疾病矿化特征	351

第三篇 矿物法——环境污染防治第四类方法

第 15 章	矿物法处理无机污染物	371
15.1	黄铁矿和磁黄铁矿处理含 Cr(Ⅵ)废水	371
15.2	磁黄铁矿处理含 Hg(Ⅱ)和 Pb(Ⅱ)废水	378
15.3	磁铁矿和褐铁矿处理含 Hg(Ⅱ)废水	383
15.4	锰钾矿处理含 Hg(Ⅱ)和 Cd(Ⅱ)废水	391
15.5	白云石处理含 B 废水	399
第 16 章	矿物法降解有机污染物	405
16.1	锰钾矿降解苯胺、酚类和印染废水	405
16.2	金红石可见光催化降解亚甲基蓝和卤代烃	422

16.3	闪锌矿可见光催化降解有机染料和卤代烃	429
第 17 章	矿物法净化烟尘型污染物	440
17.1	民用燃煤烟尘特征	441
17.2	蛭石热膨胀性固硫作用	444
17.3	固硫产物高温稳定性	453
第 18 章	矿物法评价土壤环境质量	462
18.1	土壤矿物调控重金属活动状态	462
18.2	土壤矿物吸附金属离子理论模型	468
18.3	土壤矿物临界吸附量	477
18.4	土壤环境容量评价	481
第 19 章	矿物法防治垃圾污染物	487
19.1	垃圾填埋场与渗滤液水质特征	488
19.2	天然黏土矿物吸附有机污染物	493
19.3	有机化改性膨润土吸附有机污染物	496
19.4	鸟粪石结晶处理氨氮污染物	505
19.5	矿物法组合处理垃圾渗滤液	510
第 20 章	矿物法处置矿山尾矿砂	515
20.1	尾矿砂矿物学特征	516
20.2	尾矿砂酸溶特性	526
20.3	尾矿砂制备铁镁氢氧化物	534
20.4	微生物促进尾矿砂酸溶作用	538
参考文献		543

第一篇

矿物学环境属性简述

第1章 矿物学环境属性研究范畴

资源与环境是当代地球科学的两大主题。作为地球科学的基础性学科，矿物学发展理应围绕这两大主题。对矿物学环境属性的认识与利用，是对矿物学资源属性认识与利用的进一步发展，环境矿物学也是在人类赖以生存的地球正面临着生态破坏与环境污染问题严重威胁的今天应运而生的。

当前，矿物学环境属性研究范畴，主要包括矿物如何记录环境变化、矿物如何影响环境质量、矿物如何反映环境评价、矿物如何治理环境污染以及矿物如何参与生物作用等方面。环境矿物学是研究天然矿物与地球表面各个圈层之间的交互作用及其反映自然演变、防治生态破坏、评价环境质量、净化环境污染及参与生物作用的科学。其主要内容包括研究矿物作为反映不同时间空间尺度上环境变化的信息载体，研究矿物影响人类健康与破坏生态环境的本质及其防治方法，研究矿物负载污染物的能力及其评价环境质量的机制与方法，研究开发矿物具有治理环境污染与修复环境质量的基本性能，研究晶胞与细胞层次上矿物与生物发生交互作用的微观机制等。

1.1 矿物记录环境变化

天然矿物是地球自然演化作用的产物。在矿物所经历的发生、发展、变化和消亡的整个生命周期中，不同时间和空间尺度上的地球环境变化都会在矿物中留下烙印，使得矿物含有丰富的能反映环境变化的信息，成为记录环境演变信息的载体。这些信息具体蕴藏在矿物的外部微形貌、内部微结构、化学组成、化学性质、物理性质、谱学特征和成因产状等方面。随着矿物学研究手段的改进与研究水平的提高，利用矿物揭示环境变化信息的数量与质量正在逐步增多与增强。

在全球变化研究中，第四纪以来形成的冰川和黄土常常是人们的重点研究对象。冰川中重矿物微粒和黄土中原生及次生矿物特征，分别记载着冰川和黄土形成与演化方面的丰富信息 (He *et al.*, 1997; Orgeira *et al.*, 1998; Ehrmann and Polozek, 1999)。深入研究这些信息载体特征，将有助于揭示较大时间和空间尺度上全球性环境变化特征与演化规律。湖泊是相对独立的自然综合体，是岩石圈、大气圈、水圈和生物圈相互作用的连接点。湖泊沉积蕴含着丰富的环境信息。湖泊沉积具有连续的特点，是较好的进行高分辨率环境演化研究的对象。目前对湖泊沉积物开展分析的环境指标除了有机生物如孢粉、硅藻、介形类等之外，还包括无机矿物如沉积矿物、碳酸盐矿物含量、自生碳酸盐矿物氧碳同位素、微量元素含量及其比值、矿物磁性参数等。

对岩溶地区产出的石钟乳和石笋组成矿物特征进行详细研究 (Davitaya *et al.*, 1998; Genty and Deflandre, 1998)，就像研究树木的年轮一样，能够精确揭示更小时间尺度上的古气候与古环境方面的演化规律。基于对今后几十年到一百年全球气候-环境变化了解的

需要,亟需获得对 10~100 年尺度的气候-环境变化规律以及极端气候事件出现的频率和机制的认识。显然,获取连续的有精确年代控制的高分辨率(年到季)自然记录是一个关键。其具有年、季旋回界面因而能够自我记年,同时能对气候或环境变化信息按年记录的自然材料被称为自然时钟。洞穴石笋是继生物时钟树轮和珊瑚与地质时钟纹泥和冰芯之后较晚发现的一种地质自然时钟。冰芯记录虽然较长,但仅分布于两极和高寒地区。珊瑚礁可计数的年层序列一般仅能达到数百年,其分布也局限于热带海洋。树轮的适用范围限于温带半干旱地区。寻找纯自然条件下超过 1000 年的树轮样品比较困难。玛珥湖纹泥跨时较长,而且可分辨到季,但其分布仅限于火山湖地区。相比之下,洞穴石笋在我国从北到南都有一定分布,其时间跨度从现代到数千年、数万年前,是一种不可多得的能高分辨记录短尺度气候-环境变化的地质时钟。

石钟乳和石笋主要由碳酸盐矿物方解石和文石组成。国内外大量研究成果表明,微米至毫米厚的石笋微生长层的韵律变化,可反映短尺度高频率的气候振动。石笋发光强度变化是古环境变化的重要记录,从滴水中带来的地表土壤有机物质是导致微层发光的主要原因。在 1960 年 Broecker 等利用 ^{14}C 方法确定在温带气候区一些快速生长石笋纹层为年轮之后,1993 年 Baker 等采用热电离质谱-铀系定年方法,证实英国一个石笋的发光微生长层为年生长层。此后世界上陆续报道了几种石笋年生长层:发光与不发光的方解石组合构成年层,该类年层一般在温带气候条件下形成;白色疏松沉积与暗色紧密沉积的碳酸钙互层构成年层,主要形成于降雨和温度季节性变化明显的地区;方解石与文石互层构成的年层,主要形成于白云质岩层区。我国迄今所发现的具有微层特征的石笋矿物主要为方解石放射状纤维晶,方解石晶束垂直于微层面生长,微层类型主要为外源暗色物质界面,暗色物质或有机质来自洞顶上覆土壤。

1.2 矿物影响环境质量

通常意义上岩石组成矿物的风化作用,可直接导致矿物的破坏与分解,常常表现为部分活动组分的流失,尤其是在地表条件下不稳定的矿物易于发生化学风化作用与生物风化作用。正是从这些风化作用产物中流失出来的有毒有害阳离子和阴离子物质对环境质量影响较大,影响当地的土壤和水体环境质量,往往造成地方性人体健康和生态环境问题。开展矿物影响人类健康与破坏生态环境的本质及其防治方法研究,成为矿物的又一大环境属性研究内容。

一般地,自发地形成于自然界的矿物原本能够稳定地存在于自然界之中,也就是说,天然矿物与生态环境具有良好的相容性,这也是矿物形成的必要条件之一。可是人们为了最大限度地发挥矿物的资源属性,采取了很多办法去寻找各种矿物资源。人类的矿业活动对这些矿物资源进行着高强度开采,结果使得处于地表之下的矿物被动地移至地表,带来矿物的焓增加及矿物所处介质的温压降低与氧化增强,造成这些矿物的稳定性大大降低。这势必导致矿物的破坏与分解,所产生的重金属和阴离子物质对地表水体与土壤环境质量造成了直接影响。一些金属矿物,尤其是含变价元素的金属矿物表现得更加突出。目前对生态环境破坏较为严重的矿山酸性废水污染便是这方面的典型例子。矿山酸性废水主要来

自金属硫化物的破坏与分解过程。如何在地表条件下有效防治金属硫化物矿物的氧化分解是人们正在探讨的环境保护问题 (Gray, 1997)。人类矿业活动还使得一些具有放射性的天然矿物被直接带到了地表。对其不合理的利用已给人类健康甚至生存带来了极其严重的负面影响。对其合理利用而产生的核废料的安全处置, 仍然要发挥矿物化学屏障的环境属性作用 (Pushkareva, 1998)。核废料是一类危害性极大的较特殊的污染物, 随着对核能源的大量开发利用, 开展核废料的安全处置研究日益成为一项紧迫的工作。对核废料实行储存与填埋处置是目前较为流行的一种办法, 其中如何有效防治核废料的泄漏便成为关键技术问题。

还有一类由矿物引起的对人类健康的危害来自于对矿物资源的加工和利用过程, 如矿物粉尘的产生及其对人体健康的影响问题 (Ross *et al.*, 1993)。石棉状角闪石是石棉矿山和加工厂工人肺病的主要致病因素, 在矿工的肺组织中可以发现这些纤维状矿物 (Nayeb *et al.*, 1998)。至于在煤炭能源利用过程中, 矿物受热分解释放出大量 SO_2 和 CO_2 所造成的对人体健康和大气环境质量的影响乃至酸雨形成的问题更是广泛存在。

岩石圈中矿物受到大气圈影响, 主要体现在大气中或少量溶解于水体中的 O_2 和 CO_2 直接参与下发生的化学变化, 如氧化作用和碳酸化作用。氧化作用极为普遍, 对含变价元素矿物影响较大, 如黄铁矿发生褐铁矿化、菱锰矿发生硬锰矿化与锰钾矿化。矿物发生碳酸化作用主要是由于大气中 CO_2 溶于水后形成 HCO_3^- , 造成介质酸性程度增高, 使得微溶性矿物发生溶解, 过去对此作用的研究重视不够。深入研究这些矿物在大气圈中的风化作用对文物保护具有重要指导意义, 如彩色绘画文物中, 利用硫化物矿物颜料的文物要有效防治氧化作用; 对于石质雕塑文物, 要有效防治大气碳酸化作用对方解石的酸溶。

总之, 由于人类生活和生产活动所带来的矿物破坏与分解, 给人类健康和生存环境造成了不利影响。详细研究并充分发挥矿物的环境属性作用, 揭示矿物破坏与分解的本质, 利用矿物抗分解的一面, 积极采取相应措施防止矿物的破坏与分解, 就有可能减少甚至避免由于矿物的破坏与分解所造成的对人体健康的影响和生态环境的破坏。

1.3 矿物反映环境评价

自然环境质量评价主要指对大气、水体和土壤等自然景观环境状况进行评价。土壤、大气和水体中存在一定量的无机矿物质, 往往以单质或化合物形式出现。这些矿物质与自然环境中的污染物, 特别是无机污染物之间存在着较为密切的联系。矿物对污染物的负载能力在一定程度上能够影响污染物的赋存状态、变化过程、迁移能力与危害程度等, 直接影响对自然环境质量与生态效应的评估评价结果。开展矿物负载污染物的能力及其评价环境质量的机制与方法研究, 大气中矿物浮尘、水体中沉积物与土壤中组成矿物等往往是直接研究对象。

有效调查评价一个地区的自然环境状况, 直接检测该地区大气、水体、土壤中污染物含量是一项必不可少的工作, 但要深入分析污染物的产生机理、有害程度与防治措施, 提高环境质量评价水平, 往往离不开对这些介质中无机矿物的调查评价。在评价土壤环境容量时, 更需要详细查明黏土矿物与铁锰铝氧化物和氢氧化物矿物等土壤矿物组成特征。土