

文章编号: 1000-6524(2003)04-0458-04

# 新世纪国际环境矿物学研究的现状与进展

## ——第18届国际矿物学大会环境矿物学研究综述

刘瑞<sup>1,2</sup>, 鲁安怀<sup>1</sup>, 秦善<sup>1</sup>

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 长春工程学院国土资源系, 吉林 长春 130021)

中图分类号: X141; P57

文献标识码: D

新世纪的首届国际矿物学大会于2002年9月在英国爱丁堡举行。继上届首次增设环境矿物学专题后, 环境矿物学问题成为本届大会的一个重要论题, 提交论文的数量和质量都有了明显提高。会议收录了23个国家(上届14个国家)的环境矿物学方面论文91篇(上届32篇), 提交论文较多的国家有英国(23篇)、美国、意大利(各9篇)、日本(7篇)和中国(5篇)等。论文主要分为4个主题, 分别是矿物与微生物的相互作用(6篇)、生物矿化作用与有机成因矿物(18篇)、环境矿物与人类健康(28篇)及矿物学和污染地球化学(39篇)。

### 1 矿物与微生物的相互作用

微生物是地球上最早出现的生命形式, 已有30多亿年的历史, 它们广泛分布于地表或近地表的各种环境中。自然环境下的矿物溶解、迁移和沉淀几乎都离不开微生物的作用; 反过来矿物也对微生物的生存繁衍产生影响, 因此研究矿物和微生物的交互作用已经成为环境矿物学的一个热点。

Bennett认为矿物亚表面组构是微生物主要生态区, 微生物的侵入不仅仅是库仑力吸附, 养分、有害元素、pH屏蔽等因素也决定了微生物群落的存亡。矿物风化和蚀变速率是矿物养分势能的函数。Hutchens等人研究了不同自然条件下异养细菌对硅酸盐矿物(长石、石英)溶解的影响, 证明大多数新分离的菌株能加速矿物的溶解, 加速溶解的程度与菌株种类、介质条件及实验室中菌株的保存方法和时间长短有关。

Morin等人研究发现在矿山酸性废水和热泉中, Fe(II)被氧化成Fe(III)的氢氧化物, 使As发生沉淀或吸附, 从而限制了有毒元素的化学活性。Martinez对来自地下200m深处的菌成铁氧化物样品进行了研究, 发现了由岩石自养铁氧化物细菌生成的螺旋型铁氧化物包附株。电感耦合等离子体原子发射光谱揭示出在固相中Cu、Zn、Cr、Sr相对富集, 其中在有机物中Cu、Zn相对集中, 在水铁氧化物中Sr、Cr更富集。

Phoenix等人研究了蓝藻细菌*Calothrix* sp. (菌株KC97)的表面反应性, 评价了表面电荷对吸附和生物矿化的影响, 说明大多数微生物的表面反应发生在细胞壁, 而不是细胞鞘上。Hockin和Gadd报道了硫化物还原细菌(SRB)生物膜可以调解透石膏中硫的形成, SRB可以催化还原少量的Se成硒化物, 产生挥发性的烷基化物和不可溶的金属硒化物。

### 2 生物矿化作用和有机矿物

近年来科学家们对生物参与的矿化作用以及有机矿物对有毒和有害元素的聚集有了更深入的认识。生物通过生命活动可吸附、聚合、迁移和固着金属及有毒、有害元素, 有机矿物在形成过程中也可富集一些金属元素, 减少环境污染。在动物、植物体内可以形成一些无机矿物, 低等的菌藻植物可以形成许多表生矿物, 达到吸附金属离子的目的。有机矿物沥青和地蜡能够聚集Fe、Ni、Pb、Cu等金属元素。英国、美国、日本、奥地利、俄罗斯等国家的学者提交了有关这方面的论文。

#### 2.1 微生物与矿物之间的相互作用

微生物是地球上最早出现的生命形式, 有上百万种, 它们广泛分布于各种自然环境中。矿物与微生物已有30多亿年的共存历史, 在如此漫长的历史时期中, 二者相互作用、相互影响。矿物为细菌等微生物提供能量、养分以及生存场所; 微生物则通过新陈代谢分泌一些有机物质, 改变矿物的微环境, 促使矿物的溶解、沉淀和元素迁移。

Gadd等人认为微生物与金属和类金属的生物地球化学循环密切相关, 有些微生物可以通过自养和异养淋滤、代谢和铁蛋白体的螯合作用以及甲基化作用溶解金属, 增加生物利用率和毒性, 有些可以通过细胞吸附、胞外聚合、迁移和细胞内螯合或沉淀使金属固着, 减少污染。Tazaki指出细菌常常成为矿物矿化作用的中心, 细菌的光合作用可以除去地下水、河流和矿泉中高含量的Ca、Ti、Fe和As, 细菌可聚集热泉和

收稿日期: 2003-07-31; 修订日期: 2003-09-29

作者简介: 刘瑞(1963-), 男, 博士研究生, 副教授, 主要从事环境矿物学和宝石学研究, 电话: (010) 62754909, 62753555, E-mail: gg1r984@sohu.com。

矿泉中的重金属元素。Burford 等人的研究表明岩石内部和表面的真菌在方解石和白云石的微结构转变中起重要的作用, 真菌可以形成次生碳酸钙。

Asada 等人通过偏振红外显微光谱对硅藻中生物成因的氧化硅结构研究发现, 长程 Si—O 键平行硅藻长轴方向, 而短程 Si—O 键平行短轴方向。Jacobs 等人的实验研究表明 *Rhizoctonia solani* 能使葡萄糖或其衍生物中 C 元素迁移到 C 缺乏的地方, 细菌所造成的元素溶解和迁移可使土壤和岩石中不能迁移的金属和磷酸盐矿物重新活化迁移, 具有重要的环境意义。Fomina 等人发现液体中粘土矿物影响菌丝球粒的大小、形态和结构, 在溶液中加入膨润土有助于细菌对 Cu 的吸附。Harper 等人指出许多土壤中的细菌可以溶解难溶的金属磷酸盐, 所有细菌均对金属有表面吸附和核间聚集作用。

### 2.2 动植物体中的天然矿物

无机界生物和有机界矿物是自然界的两大组成部分, 动植物体中的无机矿物正引起越来越多矿物学家的重视。这是因为生物体中矿物的生长直接反映了自然环境的变化, 它是自然界环境变化的信息载体, 影响人类生存质量。Garvie 的研究发现在北美沙漠中的仙人掌 (*Carnegie gigantea*) 中含有重达 27~100 kg 的草酸钙石, 颗粒直径达 1 mm。仙人掌死亡和腐烂后, 其体内的矿物会发生一系列转化, 生成方解石。

Finch 等人对珊瑚 *Porites lobata*, *Pavona gigantea*, *Pavona clavus*, *Montastrea annularis* 中的矿物进行了分析, 指出亚稳定的文石是珊瑚体中的主要矿物。England 等人分析了家禽的蛋壳、腕足动物和双壳动物硬壳的矿物成分, 认为痕量元素(如 Mg) 影响方解石的超微结构, 蛋白质是控制这些生物体中矿物形成的关键。Wopenka 等人用激光拉曼光谱研究了哺乳动物骨骼、牙质、珐琅质中的磷灰石结晶度、碳酸盐浓度、羟基浓度。Kovalevskii 和 Kovaleskaya 研究了松树、落叶松、桦树外皮栓化层、松树木质部和栓化锥, 发现了粒度小于 0.1 mm 的白铁矿、黄铁矿、黄铜矿、砷黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和辰砂。Lenaz 等人研究了意大利北部淡水鱼中鱼耳石的矿物学和地球化学特征, 表明矢耳石和小耳石矿物成分主要是文石, 星耳石主要是球霏石。Sr 主要分布于文石质耳石中, Mg 主要集中于球霏石耳石中。

### 2.3 有机成因矿物

众所周知, 矿物主要是无机界的产物, 然而在有机物质中也不乏无机矿物。有机成因的无机矿物架起了沟通有机和无机两个物质世界的桥梁, 将二者密切联系在一起。有机矿物的形成往往会吸附一些有害金属离子, 起到净化环境的效果。

Vavra 以生物标志物和成岩路径为原则对有机矿物进行了自然分类。Yushkin 指出岩浆、热液和变质矿床中的固态烃和高碳物质含有许多金属。金属包裹体形成于有机矿物如沥青岩、不纯石墨、黄地蜡和绿地蜡矿物晶体和集合体中, 具有重要的成因意义。Houwen 等人认为在缺乏有机配位体、醋酸过饱和的情况下, 磷灰石发生均匀成核作用。柠檬酸和丙二酸的存在会增加其所要求的过饱和度。

## 3 环境矿物和人类健康

人类生活在矿物的世界中, 矿物直接或间接影响着人类的健康, 它既是环境的破坏者, 也是环境修复者。矿山和工厂生产过程中形成的粉尘会通过呼吸进入人体, 形成结石; 有毒重金属或有害病菌附着在矿物表面进入人体后会危害人类的健康; 暴露在地表的矿物经过风化淋滤, 形成酸性废水, 造成水源污染。来自中国、英国、美国、意大利、韩国、西班牙、法国等 13 个国家的专家学者提交了这方面的论文。

### 3.1 城市工业粉尘的构成及特点

自然成因和人为形成的各种固体颗粒物对环境造成很大的破坏, 这一问题已在世界上不同城市和地区变得日益严重, 也引起了环境矿物学家们的广泛关注。

Moreno 等人认为空气中粉尘的成分和物理特征取决于其来源, 细粉尘主要来源于道路交通和工业生产, 粗悬浮颗粒主要来源于土壤、矿山和建筑工地等污染源。Jablonska 等人研究了波兰 Upper Silesia 工业区大气中的矿物颗粒组成, 除石英是各季节出现的主要矿物外, 其他粉尘矿物成分随季节不同而变化, 石膏、重晶石和其他硫酸盐矿物大量出现在冬季。

中国的董发勤等人研究了中国北部 8 省空气粉尘在氨基酸中的溶解度, 在谷氨酸中, 天然粉尘 > 人工粉尘 > 工业粉尘; 在缬氨酸中, 人造粉尘 > 天然粉尘 > 工业粉尘。Horwell 研究了蒙特塞拉岛的 Soufriere 火山灰对人类健康的影响, 指出在可吸入的 SiO<sub>2</sub> 质火山灰中, 97% 是方石英, 可吸入火山灰对人类健康有很大危害。Moreno 等人比较了英国 Cardiff 和工业区 Talbot 港的大气粉尘的矿物特征, 前者空气中的粉尘主要是绿泥石、硫化物、碳和有机碳化合物; 后者主要是硫化物、硝酸盐和绿泥石等, 其中粗粒且溶于水的颗粒的生物反应性最强, 毒性最大。Rodriguez 的研究表明西班牙 Oviedo 的大气中无机矿物颗粒由自然和人为两种成因, 粒度 > 5 μm 的约占 16%, 0.5~5 μm 的占 84%。

### 3.2 矿物对人类健康影响的研究

Komov 根据对健康的影响把矿物分成 3 类: 影响人类健康的矿物、医学矿物和矿物药物。Gunter 的文章认为, 人长期居住在石材中含有少量金蛭石矿物的房间内不会明显增加人群患癌症的几率。Jensen 等人指出人的肺部上皮细胞的形态变化和衰亡与 IIA 族元素和某些过渡金属元素的硫化物和氧化物矿物的化学性质有关, 较低浓度(分别为 1.13 和 3.15 g/L) 的 Be 和 Mg 元素就可使细胞发生死亡。

Be 元素可使人患免疫系统疾病和急性铍病。Becker 等人比较了不同采矿方法可能造成的最大 Be 吸入量。Sauer 等人研究了 Be 在人体内溶解动力学过程, 有助于阐明急性铍病产生的原因。Stephens 等人认为烟草中含有百分之几的矿物, 主要是石英、长石、粘土和碳酸盐矿物, 某些矿物是肺癌和呼吸疾病的主要致因。Zhao 等人报道了 2 mm 铁屑在人体内

存在16年后的变化情况,说明含铁合金不适合做植入人体的医学材料。Gomes认为碳酸盐砂导热率低,其表面的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{P}^{5+}$ 在人体表面形成自由离子,进入皮肤内可以治疗风湿症、矫形和物理性疾病。

Maksimova等人分析了乌拉尔南部肾结石患者体内肾结石中的微量元素:尿酸结石中主要是Fe族元素、亲铜元素和Br;冶炼区居民草酸结石中主要是铁族元素,Sr和Pb主要在磷酸结石中。Komov认为含Rn元素矿物的析气能力取决于Rn的分布形式、矿物成分、晶格密度、矿物裂隙等因素。Higuera和Gibbons等人分别对世界最大的Almaden水银矿进行了环境调查,前者的检测证明汞冶炼厂是主要污染源;后者的调查认为由于矿区黄铁矿较少并有丰富的碳酸盐,使矿区无法形成酸性矿山废水。Gianfagna等人认为短的氟浅闪石石棉坚韧,长的韧性和弹性强,被人吸入后极易致病。

### 3.3 环境矿物的实验研究及其综合利用

环境矿物学的进步与发展离不开先进的实验方法与手段。实验室中模拟自然环境条件下的矿物溶解状况,有助于揭示矿物影响和破坏人类生态环境的本质,为今后寻找有效的治理环境污染、修复环境质量的方法和手段提供依据。

Lee等人探讨了韩国Jeju岛Andisols地区模拟土壤中Al溶解的控制因素,证明影响铝溶解度的最重要因素是原生水铝英石。Harrison等人的实验表明在平衡状态下,在去离子水和NaCl-KCl溶液中, $\text{Pb}_5(\text{As}_5\text{O}_4)_3\text{Cl}$ 中砷的溶解度随pH值变化,羟基磷灰石是饮用水As的有效去除矿物。

中国地质大学的申俊峰等人成功地用粉煤灰、垃圾场沉积物、下水沟污泥改性包头地区的砂质土壤,提高了土壤的肥力、孔隙度和保水性。Medici等人研究了蒙脱石、高岭石与阿司匹林药品中水杨酸之间的作用关系,蒙脱石和高岭石吸附水杨酸的平衡时间分别是6天和19天,平衡浓度分别是0.8%和5.3%,吸收遵循一级反应动力学。

Damiani等人分析了南极Wilkes高原的上新一第四纪沉积物中的粘土矿物,蒙脱石和高岭石矿物的原岩是玄武岩、沉积岩,甚至是混积岩。Allard等人研究了亚马逊盆地河流中的铁胶体类型,固体颗粒和胶体分别是有机矿物和有机质。

Dogan重新计算了毛沸石的晶体结构数据,其结构式分别是钠沸石( $\text{Na}_{4.50}\text{K}_{2.00}\text{Mg}_{0.18}\text{Ca}_{0.11}\text{Fe}_{0.02}$ )( $\text{Al}_{7.57}\text{Si}_{28.27}\text{O}_{72}$ ) $\cdot 24.60\text{H}_2\text{O}$ ;钾沸石( $\text{K}_{3.32}\text{Na}_{2.3}$ )( $\text{Ca}_{0.99}\text{Mg}_{0.06}\text{Ba}_{0.02}$ )( $\text{Al}_{8.05}\text{Si}_{28.01}\text{O}_{72}$ ) $\cdot 31.99\text{H}_2\text{O}$ ;钙沸石( $\text{Ca}_{2.28}\text{K}_{1.54}\text{Na}_{0.95}\text{Mg}_{0.86}$ )( $\text{Al}_{8.83}\text{Si}_{26.90}\text{O}_{72}$ ) $\cdot 31.35\text{H}_2\text{O}$ 。Utsumiya应用高分辨率环形暗场扫描透射电子显微镜(HAADF-STEM)和X射线能谱仪(EDX)图像研究纳米矿物颗粒,用于提供近原子大小的高分辨率图像信息,该仪器是用于寻找由较重元素组成的纳米矿物颗粒的有用工具。

## 4 矿物学和污染地球化学

矿物是一把双刃剑,它既是生态环境的破坏者,又是反映

生态环境变化和治理环境污染的有效工具。天然矿物是不同时间、空间尺度环境变化的信息载体,矿物的天然自净化功能在环境治理和修复方面起着日益重要的作用。有17个国家的学者提交了这方面的论文。

### 4.1 矿物吸附有毒有害元素

某些天然矿物具有极性表面和较高的比表面积,可以吸附环境中的金属离子。近几年来人们在进一步探索粘土矿物选择性吸附某些有害重金属离子的同时,也对铁锰氧化物和氢氧化物以及富含有机质的土壤和湖底沉积物对金属离子的吸附作用进行了较为深入的研究,并取得了一些新的认识。天然矿物表面吸附研究已成为环境矿物研究领域中的热点,有相当多的会议论文涉及了这方面的问题。

Jahren等人对挪威Langoya国家有害废物存储场的研究发现,中和重金属稀硫酸的反应产物石膏具有很强的屏蔽能力,它使 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 保持还原状态。溶液中所有重金属元素或者被吸附到 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 表面,或者进入 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 矿物晶格中。Herbert的研究表明由粒状Fe和泥炭组成的反应材料可以还原硫酸盐,除去Zn。在瑞典南约克夏郡污染区,Mudiganti等人发现Pb被吸附到高岭石和铁锰氧化物矿物中。

Carruthers等人通过模拟化学反应评价了不同pH值条件下的矿物表面,尤其是针铁矿表面对As的吸附能力,研究了矿物表面结构和络合物特征。加拿大Ketz河金矿尾矿中含有4%~7%的As,Paktunc等人用X射线吸收光谱研究了As在尾矿中的存在状态,在As饱和、非饱和尾矿中分别形成83%和72%的含As相铁氢氧化物,淋滤产物类似于砷针铁矿和非晶质的铁砷酸盐。Juillot等人使用X射线吸收光谱(XAS)结合化学萃取法证明了在受Zn污染的土壤中,Zn离子进入到氢氧化物和层状硅酸盐矿物结构中,并被铁的氢氧化物和腐殖质所吸附。Magiera等人研究了工业区和城区表层土壤中的磁性矿物,电子探针显示Pb、Zn、Cu和Ni等重金属被吸附在磁性矿物颗粒表面。

Brigatti等人用多种方法研究半胱氨酸络合物对蒙脱石吸附和保存Hg能力的影响,结果表明金属络合物的析出取决于被吸附金属和络合物的数量、溶液的pH值。Ebashi等人比较了水铝英石、蒙脱石和沸石吸附重金属的能力,水铝英石吸附有毒重金属的能力是pH值的函数,在pH为6时,99%的砷和镉被吸附在水铝英石的表面。Mudiganti等人根据植物集聚和吸附铅冶炼厂附近土壤中的重金属的多少把植物分为超量聚集植物、聚集性植物和排斥性植物。Wolfenden等人实验研究了湖相沉积物对Sr、Zn、Cu、Cd、Pb和Hg 6种重金属吸附动力学。Okamoto等人用天然沸石去除废水中的氨离子,氨离子不仅与沸石中的钙离子发生离子交换作用,而且在微生物的参与下被氧化成硝酸根离子。

### 4.2 金属元素对环境的污染与破坏

矿物对环境的影响和破坏在很大程度上是以元素离子的形式进行的,分布在大气、土壤、水体和动植物体中的重金属离子具有很强的毒性,严重破坏了自然界的生态环境。重金

属元素在自然界中具有不能被微生物降解的特点, 只能通过各种形态之间的相互转化发生分散富集。重金属元素通过各种形式进入动、植物体中, 或者以离子形式存在于自然界的水体中, 又以食物链的方式进入人体的物质循环系统中, 直接危害了人类的健康。

Hodgkinson 等人的研究发现, 表面易溶矿物很可能控制着生物的可利用性。粗粒粉尘 ( $PM > 10 \mu m$ ) 表面有许多可溶性重金属, 对环境造成了严重的污染。Bonito 等人比较了离心取水、根部土壤取水, 及首次采用的压力过滤取水 3 种方法获得的土壤空隙水样中微量元素的差异, 结果显示压力过滤和离心技术可用于详细研究空隙水的污染问题。Galan 等人认为土壤的重金属污染受基岩和地质构造因素控制。Randall 等人运用地球化学模型, 在实验室模拟了 Drigg 固体核废料处理厂沉积物对低放射性核素 Cs、Sr、U 的吸附过程, 处理效果取决于系统的复杂程度。Small 总结了该处理厂的生物地球化学特征, 应用间歇反应器和柱状实验进行了核素的吸附和溶解度研究, 采用计算机建模评价了核素的影响作用, 研究了核素迁移随时间变化的规律。

中科院孔洪亮等人发现北票煤层中含有铬铁矿, Cr 主要以不同的含铬矿物形式出现, 或存在于其他矿物晶体结构中。煤中的 Cr 通过煤炭粉尘和燃烧危害人的健康。Legendre 等人基于多种分析方法, 提出了识别重金属污染的流程图, 并以受 Cd、Zn 污染的土壤为例阐述了该方法, 表明 Cd 和 Zn 主要集中在小于  $63 \mu m$  的土壤颗粒上。Akai 等人研究了砷污染地下水和治理砷污染过程中微生物、矿物和有机的相互作用: 腐烂的植物可以吸附地下水中的砷; 细菌可以促进砷的溶解; 含有细菌、Fe 氢氧化物的砂滤器可以过滤掉 98% 的砷。Neiva 等人认为彩色铝涂层厂中的泥浆含有勃姆石、拜三水铝石以及 4 种新的铝氢氧化物, 泥浆中大量的 Cr、Zn、Cu、Co、Sn、Ni 会污染环境, 影响人的健康。

### 4.3 矿物的分解与溶蚀

矿物离开地下封闭、平衡的自然环境进入到地表的开放环境中, 温度、压力、氧化还原气氛等发生明显改变, 再加上外来组分介入, 无疑促成和加速了矿物脱离其原始平衡状态, 造成矿物的溶蚀和分解。认真研究地表环境矿物的风化淋滤机制, 可以揭示矿物破坏生态环境的本质, 为今后寻找治理环境污染和修复环境的方法提供了依据。

Villasenor 等人对墨西哥 Zimapan 矿区的研究表明, As 主要存在于矿山尾矿残渣和铁锰矿物中, 方解石和硅灰石可以屏蔽尾矿, 防止发生酸性淋滤。Anderson 等人用中子衍射方法研究了  $(Cu, Fe)SO_4 \cdot 7H_2O$  中的氢键, Cu 优先占据  $M_2$  位。Smith 等人探讨了含有害元素的黄钾铁矾分解机制与产物, 在地表条件下黄钾铁矾变成针铁矿。合成的黄钾铁矾可以与  $Pb(II)$ 、 $Cu(II)$ 、 $Cd(II)$ 、 $As(V)$  发生离子交换, 反应遵循一

级反应动力学。Williams 等人观察了在矿山酸性废水中含 Cu 矿物之间的亚平衡关系。Kwong 等人的实验表明, 电流反应是控制金属淋滤先后顺序的重要机制, 相邻矿物的成分和性质对硫化物矿物的氧化速度和程度有重要影响。

Cichowska 和 Kucha 研究了波兰铜冶炼厂冶炼产物的矿物学和化学特征。Ag 呈包裹体赋存在铜、铅以及铜硫和硫化物颗粒中, Au 主要在 Cu-Ag 和 Pb-Ag 合金中, Pd 赋存在金属银中。Delville 等人的实验表明, 在用固体废物焚烧炉的炉灰作筑路材料的粘结层时, 前 2 年主要是由炉灰的溶解相控制, 但第 2 年后即可达到化学平衡, 因而可以预测炉灰铺路的长期效应。Kerstedjian 等人认为冶金炉渣在堆积 4~5 年后, 其金属硅酸盐和硫化物烧结物就相当于一个化学反应器, 使炉渣表面的金属成分从难溶的玻璃相变成易溶相。

He 和 Li 采用了 5 步萃取法分别提取可交换金属以及碳酸盐、铁锰氧化物、有机物和粘土矿物中的金属, 并且研究了某些金属与不同土壤相之间的结合性。为了观察建筑石料的抗酸蚀能力, Kobayashi 等人用 pH 4.55 的硝酸、硫酸和盐酸以及去离子水混合液溶蚀辉长岩石板达 780 天, 结果证明辉长岩中的微斜石蚀变成蒙脱石、绿泥石、伊利石; 蒙脱石和三水铝石是斜长石的蚀变产物。Ettler 等人研究了表生条件下硫化物冰铜的蚀变, 硫化物呈骸晶、后成文织形态, 冰铜表面存在氢氧化铁、三水铝石、铅矾、羟胆矾等次生蚀变矿物。

Marescotti 等人研究了意大利 Libiola 铁、铜硫化物矿废石堆岩石的矿物学和化学特征, 高浓度的有害金属或半金属元素如 Cu、Pb、Zn、Ni、As 和 Cd 存在于废石堆矿物中。Marinoni 等人分析了威尼斯泻湖西侧的沉积物岩心钻孔资料, 揭示了该地区环境变化的特点。Nagase 等人研究了废物处置厂粘土衬层材料的特点, 认为钠质蒙脱石较钙质蒙脱石具有明显的分层性, 透水性差。Seyama 等人用 X 射线光电光谱研究了经过酸蚀的斜长石表面特征, 显示出 Na、Ca 较 Al 更容易发生淋滤析出。Lanfranco 等人应用 X 射线粉末衍射、拉曼光谱和红外光谱技术成功地识别和量化了土壤中不同结构、矿物成分和有机组分的多金属羟基磷灰石, 为用磷酸盐矿物治理金属离子污染的土壤提供了有力武器。

纵观本次会议的成果, 环境矿物学的研究目的变得更加明确, 内容更加集中, 工作更加深入, 研究水平得到了进一步提高。环境矿物学家更加注重研究手段和方法的综合运用, 重视实验模拟和机理探索。对矿物影响人类健康和破坏环境的本质有了进一步认识, 在开发矿物治理环境污染和修复环境质量的基本性能方面得到了进一步加强。在新世纪之初, 无机矿物已经成为和有机生物方法同等重要的环境治理手段, 二者共同构筑了自然界天然自净化系统, 为矿物学的发展增添了新的动力和源泉, 矿物学又迎来了她的新的发展契机。