

文章编号: 1000- 6524 (2001) 04- 0371- 11

环境矿物材料基本性能 ——无机界矿物天然自净化功能

鲁安怀

(北京大学 地质系, 北京 100871)

摘要: 重点阐述环境矿物材料基本性能, 包括矿物表面吸附、孔道过滤、结构调整、离子交换、化学活性、物理效应、纳米效应及与生物交互作用等, 旨在发掘、凝炼并新提出继物理方法和化学方法之后与有机界生物同效的无机界矿物天然自净化功能的基础理论与应用方法, 以发展和完善无机矿物与有机生物所共同构筑的自然界中存在的天然自净化系统, 并就目前笔者在黄铁矿、锰钾矿、金红石、蛭石、蒙脱石、黄钾铁矾等天然矿物方面已经完成和正在开展的一系列环境矿物材料研究工作进行了举例说明。

关键词: 环境矿物学; 环境矿物材料; 无机界矿物; 天然自净化功能; 污染物治理方法

中图分类号: P579

文献标识码: A

天然自净化是大自然赋予人类与地球长久相互依存的一种潜在本能。但是, 只有在一定条件下, 这种自净化功能方可得到有效发挥和利用。实际上人们对自然界中存在的天然自净化作用早就有所认识, 并已在污染治理与环境修复方面发挥了它日益重要的作用。但过去在认识、开发和利用过程中, 主要强调有机界生物如微生物、细菌与水生植物等对各类污染物的净化功能, 自然界中广泛分布的无机界天然矿物的自净化功能尚未得到足够的重视。然而有机界生物与无机界矿物是整个自然界的共同物质组成, 也就是说人们仅仅利用了大自然所赋予的自净化作用的一半功能, 同时人们在治理污染的实践中往往把过多的精力投入在非自然功能方法技术的开发上, 随之而来的便是复杂昂贵的处理工艺与不可避免的二次污染问题。如今人们比以往任何时候都更加崇尚自然、善待自然, 与环境相协调的绿色理念业已不断渗透到各学科之中, 在治理污染技术的开发上也应该寻求这种绿色产业。充分发挥有机界与无机界所共同拥有的自然界天然自净化功能, 是在污染治理与环境修复领域开发绿色环保技术的体现, 更是完整地利用天然自净化功能的反映。

类似于有机界生物处理方法, 利用无机界天然矿物治理污染与修复环境的方法, 便是建立在充分利用自然规律的基础上, 体现了天然自净化作用的特色。天然矿物对污染物的净化功能主要体现在环境矿物材料基本性能方面。环境矿物材料是指由矿物及其改性产物组成的与生态环境具有良好协调性或直接具有防治污染和修复环境功能的一类矿物材料^[1]。环境矿物材料是近年发展起来的环境矿物学的重要研究内容之一^[2, 3]。环境矿物学是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、净化环境污染及参与生物作用的科学^[3]。叶大年在回顾人类利用矿物的历史时, 提出环境矿物学是矿物学几个发展阶段中的必然产物^[4]。他还认为矿物的概念要有所发展, 指出矿物是自然界中产生或人类非生产目标活动中产生的具有一定化学成分和晶体结构的物质。

本文就无机界矿物天然自净化功能即环境矿物材料基本性能做系统阐述, 包括矿物表面吸附作用、孔

收稿日期: 2001- 08- 05;

基金项目: 科学技术部基础研究司攀登特别支持资助课题; 国家自然科学基金资助项目(49972017)

作者简介: 鲁安怀(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境矿物学与环境矿物材料研究。

道过滤作用、结构调整作用、离子交换作用、化学活性作用、物理效应作用、纳米效应作用及与生物交互作用等,旨在阐明利用天然矿物有效治理固态、液态和气态3类污染物这一无机界天然自净化作用的原理和方法。

1 表面吸附作用

矿物学表面研究是随着现代先进测试技术的不断涌现而逐渐兴起的。自然界中矿物表面通常是矿物与大气、矿物与液体、甚至是两种固体矿物之间的界面。极性表面具有很强的吸附性,矿物晶体碎裂面和生长面的极性强度一般高于解理面^[5]。矿物表面吸附作用与矿物表面性质密切相关,一个整体物相的化学性质或反应性取决于其化学组成与原子结构,同样一个表面的化学性质取决于化学成分、原子结构和微形貌,化学反应往往发生在表面上几个纳米厚度的范围内。

1.1 表面化学成分

除了惰性表面如自然金或在真空条件下能够产生洁净表面,一般矿物表面的化学成分很少能代表其整体。因为矿物表面一旦暴露在空气中,便迅速发生氧化甚至碳化与氮化^[6],绝大多数天然矿物在水介质中其表面要发生羟基化、荷电性与Lewis酸位或Bronsted酸位,盐类和硫化物矿物表面还具有盐基与碱基等^[7]。这些变化产生的与其内部不同的新物相常常被视为“不定”物质,它可使表面钝化。在吸附过程中,表面上第一层的“不定”分子要发生溶解,通常第一、二单层被认为具有重要的反应性,这些原子和分子直接与矿物最外层的原子发生作用^[6],因此普遍存在的“不定”物质对矿物表面具有一定影响。化学成分的变化还起因于对他种物质的吸附及近矿物表面区域组分的解吸,这些吸附与解吸作用过程也会影响顶层的原子,影响的深度视表面固体扩散作用而定^[6]。

1.2 表面微形貌

天然矿物表面极为粗糙,即使在矿物解理面上也有2~3 nm的台阶出现^[8],构成较复杂的微形貌特征。矿物表面台阶可以是一到多层原子层,处于台阶底部或阶地缺陷中的原子具有较高的配合能力,而阶地平面上的原子配合能力较低。在台阶边缘顶部及转折处外角具有较少的近邻数目,在所有的表面位置上阶地生长丘通常具有最少的近邻表面^[6]。大多数真空或非真空条件下的研究表明,低配合表面位置最具有化学活性^[9]。显然矿物表面微形貌特征在很大程度上影响着其表面活性强度。

1.3 表面成键吸附

分子与表面具有排斥作用,随着分子趋近表面排斥作用增加,电子的能量升高。但是当反键组合被向上推至较高能级时,电子转移至空穴态的储存库,即表面上可能存在几个独立势能极小点,进一步的相互作用则是吸引的。因此具有排斥的相互作用力变成具有吸引力的成键作用,这是在引起化学吸附过程中观测到的动力学势垒产生的原因^[10]。

一般地说,最高占有分子轨道或最高的几个占有分子轨道和最低空轨道或最低的几个空轨道支配着两个分子之间的相互作用,这些分子轨道称为前线轨道。这些轨道在分子之间的任何相互作用中最易受到微扰,分子的化学性质就是受这些轨道的控制。有利于化学吸附的条件由表面-吸附质成键作用的增强和表面内与被吸附分子中成键作用的减弱之间的平衡来决定。吸附质诱导的表面重构和解离化学吸附只是这种微妙平衡所固有的两个极端情况。其中吸附质-表面之间的强相互作用支配着转变过程^[10]。

矿物表面吸附作用研究带来矿物表面科学的发展,成为地球科学与环境科学中最富挑战性的研究领域之一,对环境相当重要的过程直接受这个表面的物理和化学特征的控制。正是由于矿物和其周围环境之间的相互作用发生在两者的界面上,即发生在几层原子的范围内,因此对以原子尺度发生在矿物表面上的基本作用过程的认识还能使我们对全球物质循环中的相互作用有深刻的理解。也只有通过对在原子尺度反应机理的直接观察和模拟,才可以从管理地球的角度理解和预测许多全球过程,包括对地球环境中各类污染物的净化过程。地球表面上分布有几亿平方公里的矿物表面,是何等巨大的天然自净化系统。其中有关分子水平表面交互作用与表征以及发生在表面上的表面性质与过程的定量描述、模拟与预测等将

是矿物表面研究中的关键问题。当然将有关分子水平上的矿物表面新模式、新概念结合到地球表面过程的综合认识上也是重要的命题。

2 孔道过滤作用

细菌的直径多为 0.5~5.0 μm , 病毒的直径为 0.2~25.0 μm , 因此病原细菌及个体尺寸较大的原生动物和蠕虫均可由过滤作用除去, 甚至水体中色度、有机污染物、氨氮、油类物质等也能通过矿物的过滤作用得以去除。

2.1 矿物过滤作用

作为过滤材料应具有如下特性: 具有足够的机械强度, 以免在冲洗过程中颗粒之间由于磨擦而破碎; 具有足够的化学稳定性, 以免在过滤过程中发生溶解而引起水质恶化; 具有接近球状的外型、较大的比表面积, 表面粗糙且多有棱角; 具有一定的粒度级配等。目前广泛使用的矿物滤料有精制无烟煤、精制石英砂、铝矾土陶粒、磁铁矿与软锰矿等。滤料在过滤过程中主要是截留水中的悬浮物和絮状物, 从而达到净化的目的。结合表面吸附作用可制得复合型矿物吸附过滤材料, 如将铁的氢氧化物固定在普通的石英砂表面制成的新型吸附过滤材料^[11], 不仅具有普通石英砂滤料功能, 而且能有效地去除重金属离子。

2.2 矿物孔道效应

矿物孔道效应包括孔道分子筛、离子筛效应与孔道内离子交换效应等。过去认识到的具有孔道结构并具有良好的过滤性的矿物有沸石、粘土、硅藻土、轻质蛋白石等, 而磷灰石、电气石、软锰矿、蛇纹石、蛭石、硅胶等属于新近发现的具有孔道结构的矿物。

粘土矿物海泡石和坡缕石结构中平行纤维隧道孔隙占纤维体积的 1/2 以上, 外表面积和内表面积可观, 具有极强的吸附性能, 大于任何其他粘土矿物, 可除臭(NH_3)、净化油水、脱色等。沸石结构中有一维、二维、三维宽阔的通道, 为典型的笼状结构, 多种沸石的差别在于笼的形状大小和通道体系。位于通道内的阳离子 Na 和 Ca 等与 Si—Al 骨干联系力较弱, 可被其他阳离子置换而不破坏晶格, 这一特性可用来除去废水中放射性元素、重金属离子、氨态氮与磷酸根等有毒有害物质。加热时沸石水被排除后, 沸石通道内的剩余电荷可以吸附外来的气体极性分子, 如 NH_3 、 CO_2 、 H_2S 和 SO_2 等。当然只有直径比沸石通道小的分子可以进入孔道而被吸附, 直径较大者则被拒之于孔道外而起分子筛作用。

我们近期的研究表明, 天然锰钾矿结构中由 Mn—O 八面体所构建并由 K 等充填其中的良好孔道, 类似于大家熟知的沸石中由 Si—O 和 Al—O 四面体所构建并由 Na 和 Ca 充填其中的良好孔道, 理应也具有良好的分子筛、离子筛与孔道内离子交换效应。

重新审视一下矿物晶体结构细节, 可以发现多数矿物均具有孔道结构特征, 开展矿物环境属性研究为开发利用矿物孔道特性带来可能。顺便提一下, 就连常见的长石类矿物也具有良好的孔道结构, 其孔径大小至少能使 H_2O 得以进入与通过, 可以认为长石遭受水热蚀变作用往往始于其晶体中心部位便与此特性有关。

3 结构调整作用

矿物内部结构缺陷与位错在很大程度上影响着矿物整体性质, 往往能增加矿物表面的活性。因此基于对矿物进行结构上缺陷与位错制造而开展的矿物结构改型研究, 成为提高矿物活性的一条重要途径。

理论上讲, 某些金属表面结构可以根据其晶体结构予以推断, 但实际上表面特征是很复杂的, 许多金属表面为了达到能量最低往往要发生重构。通常矿物表面的原子结构及电子特性有可能与其内部的差异很大。事实上暴露的矿物表面也要进行重构, 即由于表面的不饱和状态会促使其结构进行某些自发地调整。在没有任何吸附质存在的情况下, 表面本身首先会这样做; 当有被吸附的分子存在时, 表面又会以不同的方式在结构上进行重新调整。在半导体扩展分子中, 重构的程度是很大的, 而在分子晶体和金属中

则一般很小。不同的晶体表面上重构程度也是不同的^[10]。

表面上原子有时涉及表面以下几层的原子,其结构中的位置不同于平衡状态下的位置,这些结构上的差异可以是微弱的或是显著的。简单破裂后暴露出的表面,表面原子结构可能发生松弛,尤其是低对称性结构,多数情况下这种松弛作用垂直于表面。第一层与第二层原子间距可缩短15%^[12],通过消除自由摆动键的方法,这些表面层会再次膨胀,甚至会超过原有的状态,这要看表面吸附物了。另一个常被忽略的问题是在矿物表面上吸着物所具有的结构影响。通常与吸着物最近的基底表面上的原子,为了更好吻合吸着物结构,会发生空间位移。这种情况往往发生在吸着物与表面之间具有强的交互作用时,也就是吸着物与表面具有强的化学活性并有强健形成时^[6]。

表面结构无序定义为表面上完好秩序的混乱,它影响着多种表面动力学和热力学过程、表面电子性质以及表面化学效应。动力学和热力学过程包括晶体生长、传递、相变和缺陷的形成。电子性质可以受点缺陷影响,也可以受扩展缺陷影响。表面化学反应则受能量不同的缺陷位及动力学因素影响。在表面结构原子级细节上开展研究能够揭示电荷转移、能级移动、局域电子结构与化学反应性之间的关系等问题。反过来吸附分子的局域电子性质对基底表面结构也会产生一定影响^[10]。

矿物由于受到氧化作用,其化学成分的变化也会导致发生结构缺陷^[13]。如与六方磁黄铁矿相比,单斜磁黄铁矿除 Cr(VI) 效率较高,表明单斜磁黄铁矿反应活性较强。这与单斜磁黄铁矿(Fe_{1-x}S)中 Fe 不足而产生的结构缺陷有一定关系,因为这一缺陷是化学反应的活性点。而理论上六方磁黄铁矿(FeS)中是不存在 Fe 缺位的,晶体结构相对较为完整,从一定程度上降低了其化学反应活性。一个有意义的现象是久置于大气中的六方磁黄铁矿除 Cr(VI) 效率有所提高,这可能与六方磁黄铁矿表面受到氧化有关。因为六方磁黄铁矿表面及裂隙氧化产物中常有磁铁矿的形成^[14],使得六方磁黄铁矿近表面产生 Fe 缺位: $3\text{FeS} + 2\text{xO}_2 = 3\text{Fe}_{1-x}\text{S} + \text{xFe}_3\text{O}_4$, 导致其表面和裂隙化学活性有所提高。

4 离子交换作用

有机物质离子交换类型繁多,且具有聚合物骨架这一共同的结构性质,使之在水中不发生溶解。无机矿物也具有好的离子交换作用,主要发生在矿物表面上、孔道内与层间域,如碳酸盐和磷灰石等离子晶格矿物表面、沸石和锰钾矿等矿物孔道内及大多数粘土矿物的层间域。

4.1 碳酸钙及磷灰石表面上的离子交换作用

方解石和文石均是 CaCO_3 的天然变体,其表面上的 Ca^{2+} 可与水溶液中 Pb^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cd^{2+} 等阳离子发生交换作用。其中 Pb^{2+} 与方解石、文石的反应很强,而 Mn^{2+} 和 Cd^{2+} 仅与文石的反应很强,与方解石不发生反应,它们被固定在碳酸盐表面上的形式分别是碳酸铅、碳酸锰和碳酸镉^[15]。磷灰石可在常温常压下用其表面晶格中的 Ca^{2+} 与溶液中阳离子 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 广泛发生交换作用,易于除去溶液中的 Pb^{2+} , 去除顺序为 $\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} \approx \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Hg}^{2+}$ 。含 CO_3^{2-} 的改性磷灰石具有更好的去除阳离子特性^[16]。显然碳酸钙和磷灰石对重金属污染物的去除作用主要为表面晶格离子的阳离子交换作用。

4.2 沸石和锰钾矿孔道内的离子交换作用

利用沸石孔道内 Na 和 Ca 的离子交换作用除去污染物已为大家熟知并得到广泛的应用。沸石不会膨胀,其选择吸附系数与离子交换树脂有很显著的区别,由于它有固定的很窄的孔道,因而有一定的分子筛作用。天然沸石的改型主要是改变沸石中阳离子类型,以提高其离子交换、吸附等性能。天然沸石(如斜发沸石和丝光沸石)对一些阳离子有较高的离子交换选择性,交换选择顺序与离子的水合半径有关。水合离子半径小的离子容易进入沸石格架进行离子交换,交换能力就强。天然沸石作离子交换剂时,有一个明显的优点,就是在一般情况下,沸石的改型和再生可选用同一种试剂。天然沸石与无机物或有机物的复合作用及热处理,可以明显提高沸石的空隙性及表面活性,从而大大提高其吸附和催化性能^[17]。

我们的近期研究表明,锰钾矿晶体结构中的 Mn^{4+} 被 Mn^{3+} 部分取代时,在锰钾矿结构单元中出现 $(3-4)n = -n$ 的负电荷,这些负电荷要求碱金属阳离子如 K^+ 在空隙间排列,以补偿负电荷。当然补偿负电荷

的阳离子和格架结合力相当弱,容易与其他离子发生离子交换作用,因而具有阳离子交换性质。其最高交换容量和晶体结构中八次配位 Mn^{3+} 的原子数目有关。如果补偿负电荷的阳离子的数量超过 Mn^{3+} 的当量时,结构中会出现像 OH^- 等阴离子,以补偿过剩的正电荷,这些阴离子同样具有相当大的活动性并趋向于离子交换,而具备阴离子交换性质。

4.3 粘土矿物层间域的离子交换作用

高岭石是最简单的 1:1 型结构粘土矿物,虽无类质同象发生,但 OH^- 基团分布于层的边缘,能发生阴离子交换反应。由于层与层之间的联系力相当弱,因而在水中易散开,决定了高岭石的离子交换速度较高。具类质同象替代的粘土矿物离子交换作用发生在 2:1 型结构粘土矿物中,往往在四面体层内有 Al^{3+} 代替 Si^{4+} ,有时八面体层内也有 2 价与 3 价阳离子之间的替代,同样会导致结构单元层内负电荷过剩,需要阳离子来补偿且位于层间域。这些阳离子还起到联系结构单元层的作用,并且是活动的,可与阳离子发生离子交换作用,因此粘土矿物结构单元层之间的层间域是主要的离子交换作用发生的位置。

粘土在溶液中的分散程度影响到离子交换的动力学性质,分散性又与类质同象程度密切相关。如蒙脱石八面体层中发生的类质同象,可增强结构单元层之间的联系程度而不易分散。但将蒙脱石浸入电解质溶液中被改性后,如 Ca^{2+} 质蒙脱石处理成 Na^+ 质蒙脱石,其层间结合力变小而易分散,膨胀与亲水,使得阳离子易于扩散进入层间域,从而大大提高离子交换速率。发生在伊利石四面体层内的 Al^{3+} 替代 Si^{4+} 时,补偿负电荷的 K^+ 位于层间导致结构单元层联系力增强,故离子交换作用受到限制。

粘土矿物的离子交换作用在污染物净化方面发挥着越来越重要的作用,在垃圾填埋场污染物防渗方面还能发挥独特作用。如今无论是发达国家还是发展中国家,都不可避免地面临着自然资源垃圾化和垃圾危害化的严重威胁。垃圾处置的最佳途径是卫生填埋。在国外,利用天然粘土作为垃圾卫生填埋场防渗衬层建筑材料始于 20 世纪 60 年代中期,利用天然粘土建造一定厚度的衬层并经夯实处理后,能起到防止垃圾渗滤液和无机污染物渗漏的作用。然而我国城市垃圾渗滤液是一种高浓度、强污染、组成复杂的综合有机污水,在垃圾卫生填埋场建造工程中如何防止垃圾渗滤液有机物渗漏,已成为一个新的难题。目前普遍使用的施工方案是在天然粘土衬层之上再铺垫一层价格昂贵且依赖进口的高分子聚合物薄膜防渗材料,使衬层建造成本大大提高。特别需要提防的是,为了降低成本,某些用户干脆直接利用化工薄膜材料作为垃圾卫生填埋场衬层,而不考虑其化学稳定性与力学抗压、抗张、抗剪切性能,其后果可想而知。

我们近期的研究表明,天然蒙脱石层间域存在着大量可交换的亲水性无机阳离子,使蒙脱石表面通常形成一层薄薄的水膜,具有强烈的亲水性,因而不能有效地吸附疏水性有机污染物。若将天然蒙脱石改性制成有机蒙脱石后,改性剂有机季铵盐阳离子的 N 端被交换吸附在带负电荷的蒙脱石层间,而烷基链相互挤在一起形成有机相,可以提高蒙脱石表面的疏水性,从而达到有效吸附疏水性有机污染物的目的。其次,由于有机阳离子的水合作用明显小于无机阳离子,通常没有水膜存在于改性有机蒙脱石表面,也能提高其吸附有机污染物的能力。另外,改性有机蒙脱石层间由于存在大量有机阳离子形成憎水相,可成为有机污染物的有机分配相,即有机污染物在水相和有机相之间发生分配作用。研究结果还表明,含金属离子如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 和 Cr^{3+} 的蒙脱石对于有机物的吸附能力主要取决于离子化合价的高低,总体上蒙脱石含有的离子化合价越高,吸附有机污染物的能力越强。显然,经过多种方法改性的有机蒙脱石和含高化合价离子蒙脱石均能提高对有机污染物的吸附能力。利用改性蒙脱石作为垃圾填埋场防渗衬层建筑材料,能有效地阻止垃圾渗滤液中有机污染物在衬层中的迁移与渗漏,还不散失其粘性以防止所建衬层的断裂,并能堵塞地下溶洞,因而适用于具有较强的地应力地质特征与喀斯特地貌特征的城市垃圾卫生填埋场中防渗衬层的建设工程。

5 化学活性作用

矿物化学活性作用在过去的矿物学教科书中常被忽略。实际上矿物溶解反应、酸碱反应、氧化反应、还原反应、配位体交换、沉淀转化、矿物形成和催化作用等均是矿物化学活性方面的研究内容,如黄铁矿和

磁黄铁矿微溶作用与还原作用, 软锰矿氧化作用, 硫化物沉淀转化作用, 矿物催化作用, 缺氧磁铁矿 Fe_3O_4-x 配位体交换作用, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ 、 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Hg}_2\text{Hg}_3\text{CrO}_5\text{S}_2$ 、 $\text{Hg}_4\text{HgCrO}_6$ 、 Cr_2S_3 和 Fe_3S_4 等矿物形成作用等, 其中酸碱反应与矿物表面吸附作用密切相关。这些化学活性作用过程都伴随着对多种污染物的净化作用。

溶解作用包括溶质分子与离子的离散和溶剂分子与溶质分子间产生新的结合或络和。“相似者相溶”这一经验理论说明, 物质结构越相似越容易相溶^[18]。严格地说绝对不溶解的“不溶物”是不存在的。组成“难溶物”的阴离子与阳离子浓度由于受某种化学反应的影响而降低时, 如硫化物矿物氧化还原反应及氢氧化物矿物溶度积更小的沉淀反应等, 该“难溶物”就会不断发生溶解。就矿物本身而言, 不同网面密度的晶面发生溶解时网面密度较大的晶面先溶解, 此与晶体生长过程恰恰相反。矿物晶体缺陷处易于溶解, 因为位错中心释放能量而发生破键溶解。矿物处于不饱和溶液中边缘处也会发生溶解。

我们已完成的研究表明, 具有微溶性的金属矿物其化学成分多由变价元素构成, 其化学性质不稳定易被氧化分解, 且在一定的水介质条件下可表现出一定的溶解度。如天然铁的硫化物对处理含 Cr^{6+} 、 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 等有毒废水效果良好, 此由该矿物在一定条件下的微溶作用(Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 S_2^{2-}) 所决定, 并且是氧化还原作用(S/S^{2-} 与 $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$ 电对、 S/S_2^{2-} 与 $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$ 电对、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 与 $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$ 电对) 和沉淀转化作用(S^{2-} 与 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 及 Cr^{3+}) 的反映^[19]。

加强矿物化学活性作用研究, 对于解决日趋严重的矿山环境污染问题尤为重要。随着经济发展、社会进步、人口增加, 人类对资源的需求日益增长。大规模的矿业开发活动对环境也造成严重影响, 许多发达和发展中的矿业大国, 矿山环境问题十分突出, 已引起各国政府的高度重视。澳大利亚等矿业大国早在 70 年代就开始着手矿山环境保护问题, 经过 30 多年的努力, 已达到矿业发展与环境保护协调管理的局面。长期以来, 我国的环境管理一直以城市工业建设项目为重心, 对自然资源开发建设项目的环境管理缺少具体的实施办法。尤其是我国东部人口稠密、经济发达、矿产丰富, 但生态系统十分脆弱, 矿产开发中砷及重金属由地下转至地表, 对水-土壤-作物系统的污染日趋严重。在我国东部选择典型地区, 积极开展矿山酸性废水的治理方法、矿山污染物在水-土壤-作物系统中迁移特征及在食物链中传递规律、矿山砷及重金属污水处理技术及矿山固体废弃物综合利用途径等方面研究, 显得尤为重要和迫切。

由变价元素组成的矿物往往是自然界中一些极不稳定的金属矿物, 常常可形成矿山酸性废水, 应防止这些矿物被氧化分解。为此人们正在进行着多方面的探讨。其中一个具有较好应用前景的研究方案便是巧妙地利用黄钾铁矾 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 这一矿物的形成作用, 解决防治矿山酸性废水污染的难题。因为 Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 和 H_2O 是矿山酸性废水中主要化学成分, 只要在产生酸性废水的废石堆上喷洒 KOH 溶液, 便可导致 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 这一黄钾铁矾矿物的形成。而黄钾铁矾 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 是一种胶态物质, 能够起到隔绝大气的作用, 从而达到防止废石堆中金属硫化物矿物的氧化分解的目的。

6 矿物物理效应作用

矿物物理效应包括矿物光学、力学、热学、磁学、电学、半导体等性质, 如方解石的热不稳定性的固硫效应、堇青石热稳定性可用来制作多孔陶瓷的除尘效应、天然蛭石的热膨胀性可改善煤燃烧过程中氧化气氛以防止硫酸钙分解而提高固硫率的效应^[2]、磁铁矿的磁性与电气石的电性的除杂效应, 尤其是金红石的半导体性, 其光催化氧化性可分解有机污染物。我们正在开展的利用天然金红石降解水体中卤代有机污染物的环境属性研究, 不仅是对开展天然矿物处理无机污染物环境属性研究的进一步拓宽与深化, 而且是发挥天然矿物半导体特性这一矿物物理效应的体现。

水体中卤代有机污染物的危害性远远超过无机性污染物。美国环保局公布的 129 种基本污染物中有有机物占 114 种, 其中一半以上是毒性大、分布广的氯代或溴代等卤代有机物。因此开展有机污染物尤其是卤代有机污染物的有效降解方法的研究不仅始终是国际上水污染治理领域中的重要课题, 更是解决我国由于广泛使用含有卤代有机物所造成的对地表水和地下水乃至土壤日益加剧的环境污染问题的迫切需

要。当前的污水非生物学处理技术基本上都属于分离过程,即将污染物分离或浓缩,或将污染物从一种物相转化到另一种物相,并没有使污染物得到破坏而实现无害化,通常不可避免地带来废料或二次污染。自从 Fujishima 等于 1972 年发现受辐射的 TiO_2 上可以发生持续的水的氧化还原反应产生 H_2 ^[20] 以及 Carey 于 1976 年首先利用 TiO_2 光催化氧化多氯联苯以来^[21],有关光催化氧化降解有机物的理论和技术研究一直是国际上的热门课题。这是因为光催化降解法是一种高效的深度氧化过程,可以将水体中的卤代烃类、脂肪、羧酸、表面活性剂、染料、含氮有机物、有机磷杀虫剂等较快地完全氧化为 CO_2 和 H_2O 或 HCl 等无害物质^[22],达到除毒、脱色、除臭的目的。

在诸多光催化氧化剂中, TiO_2 因具有稳定性好、光催化活性强、对人体无害等性质而被公认为是目前所发现的光反应最佳催化剂。由于纳米 TiO_2 表面所存在的大量悬键可在能隙中形成缺陷能级,对纳米 TiO_2 的电学、光学与光化学性质等产生重要影响,正在成为进一步研究提高 TiO_2 表面活性的前沿课题。此外通过对 TiO_2 进行加热与掺杂等改性,使其具有更宽的光谱响应性与更强的光催化活性,仍然是当前竞相研究的课题。但在国内外被广为使用的 TiO_2 即钛白粉是精细化工产品,主要生产原料是钛铁矿或钒钛磁铁矿等含钛氧化物矿物,生产工艺较繁,投资成本较高,不仅导致产品价格昂贵,而且在生产过程中废水、废气、废渣排放量^[23]。天然钛的氧化物矿物如金红石、锐钛矿、板钛矿等除在滨海砂矿中具有有限的产出外,目前在自然界中较少发现规模储量。值得欣慰的是新近在我国河南省境内发现大型原生金红石矿产资源。如何开发利用这一宝贵矿产资源,是我国广大矿物学工作者责无旁贷的研究任务。若以天然钛的氧化物矿物替代化工产品钛白粉作为光催化氧化剂,用以降解卤代有机性污染物,无疑是大幅度提高我国这一优势矿产资源利用水平的崭新途径。事实上,天然钛的氧化物矿物与环境协调性最佳,而且成本低廉。尤其是其含有的杂质成分特征、具有的晶格缺陷类型、拥有的受热相变特性以及享有的超细粉体效应等,在光催化氧化方面可能孕育有独特性能,在降解卤代有机物方面存在潜在功能,可成为应用天然矿物有效降解有机污染物方法研究领域中的一个值得深入探索的课题。我们旨在应用环境矿物学理论和方法,查明天然钛的氧化物矿物学特征和介质条件对降解卤代芳烃、卤代烷烃与卤代烯烃等典型卤代有机污染物的影响因素,在此基础上进一步探讨增强天然钛的氧化物矿物光催化氧化活性的有效改性途径,重点筛选出具有高强度氧化降解卤代有机污染物的最佳条件,揭示天然钛的氧化物矿物降解卤代有机污染物环境属性,提出天然矿物有效治理卤代有机污染物方法。这一利用天然钛的氧化物降解有机污染物技术与利用其他天然矿物处理无机污染物技术相配合,有助于进一步完善与有机界生物学方法相提并论的无机界矿物学方法治理污染与修复环境的基本功能,必将大大拓宽环境矿物学的研究领域,同时可为有效降解我国地表水与地下水中日趋严重的卤代有机污染物提供新方法,并为提高我国新近所发现的金红石优势矿产资源的利用水平提供新途径。

7 纳米效应作用

目前已有报道,大洋锰结核中铁锰氧化物属于纳米颗粒^[24]。我们正在研究的锰矿床中产出的锰钾矿粒度也达到纳米级。当然在超细微粒加工技术发达的今天,在恒温及真空条件下利用振动式研磨也能使矿物颗粒磨细至纳米尺度。由于矿物的物理性质和化学性质往往与矿物的结晶粒度密切相关,矿物纳米效应便是由其纳米尺寸决定的,纳米矿物学特征与一般宏观晶体的矿物学特征有很大差异。这些奇妙的矿物纳米效应在净化污染物方面有着不可替代的独特作用,人体内矿物形成、矿物粉体与健康及矿物晶芽与细菌作用等生态环境问题也涉及到矿物纳米效应作用。

人体中肾结石、牙斑及其他各种组织矿化等病理性矿化作用很可能与血液中纳米级生物形成生物矿物有关^[25]。矿化的纳米生物矿物在化学成分和形态特征上类似于钙化组织细胞与肾结石中的矿物微粒,这一研究成果不仅对了解病理性矿化作用机理有意义,也可为深入认识骨质和牙质生物矿化过程提供新的研究途径。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纳米级纤维状矿物种类^[26]。利用纳米级水聚合二氧化硅对可溶性金属阳离子的强吸附研究表明^[27],被吸

附的金属能够长期的稳定存在,而不易被解吸出来,正是纳米级水聚合二氧化硅的特殊化学性质能够使其对过渡金属产生键吸附。在大多数细菌表面上分布有活性的化学物质,其离子化作用可导致中性 pH 条件下的细菌表面带有电荷^[28],在静电作用下溶液中的金属最初与细胞壁上阴离子表面结合,并包围有机聚合物,形成后来晶体生长的晶芽。因此细菌将环境中微量金属变成真正微细矿物胚体的这一特性,便是净化环境中重金属污染物的表现^[29]。

开展纳米级矿物晶芽与生物细胞层次上交互作用以净化环境污染的研究是必要的。可重点开展在细胞表面、细胞内部以及细胞与晶芽界面导致矿物的沉淀与生长的机理研究,揭示细胞代谢产物能浓集环境中稀淡的污染性有毒重金属,改变有毒重金属的存在形式与分布状态以及形成微细矿物胚体的过程和本质,提出利用细菌将环境中微量金属变成真正矿物以去除环境中重金属污染物的方法。当然在晶芽与细胞层次上开展的自净化作用研究也是下面要讨论的矿物与生物交互作用研究的一部分。

8 矿物与生物的交互作用

开展地球环境系统中矿物与生物的交互作用研究^[30,31],是无机界与有机界交叉渗透性研究课题。在地球圈层之中矿物的发生、发展与变化过程中有生物作用的参与,生物的发育、生长与演化过程中有矿物作用的参与,使得自然界中原本两个截然的领域即无机界与有机界变得愈加渗透与融合。这一交互作用也使得无机作用与有机作用的微观界限在某种程度上变得愈加模糊难辨,因此大力开展矿物与生物两大系统之间交互作用的理论与应用研究,同时开展生物成因矿物及生命起源中矿物与生物交互作用研究,拓宽矿物学研究范畴^[32],不仅能为地球系统中生命过程示踪提供科学依据,而且能为地球生态环境质量改善提供技术支撑,这也是更大程度与更高层次上天然自净化作用的体现。

天然矿物是地球不同圈层中自然作用的产物,在矿物所经历的发生、发展、变化和消亡的整个生命周期中,由于受到微生物作用的影响,微细矿物能直接沉淀在细菌的细胞壁上以及分散于整个生物膜中。这一特有的自然作用过程能在矿物微形貌与微结构中留下烙印,使得这些矿物含有丰富的能反映其与生物交互作用的信息,真正成为记录地球生命过程信息的载体。这一研究方法也正在成为国际地学界探讨火星上是否存在生命迹象问题的热点研究内容之一^[33]。用一种环境细菌联合体作媒介引起铁矿物的反应研究表明^[34],能产生生物膜的细菌联合体可控制水介质中 Eh 和 pH,已证实这种联合体对铁矿物如铁氧化物与氢氧化物的各种溶解、沉淀和变化反应具有活性。我们认为有必要开展生物影响矿物形成与变化示踪生命过程研究,揭示矿物形成与变化受微生物支配作用的机理,提出微生物成因的矿物微形貌与微结构特征,真正为利用矿物受微生物影响所产生的特有微细特征示踪生命过程提供科学依据和方法。

我国西部极端环境往往是指面积达 160 多万平方公里的沙漠和戈壁。在这些地区风起沙飞、水分欠缺、土壤匮乏、盐渍广泛、寸草不生,裸露物质主要是抗风化能力较强的长石石英砂与各种砾石,其表面在风蚀作用下浑圆光洁,几乎不具备任何乔木与灌木及草本植物的生长条件,表层无机矿物与有机生物的交互作用关系发生严重失衡。无机矿物种属简单,绝大多数是长石石英砂粒,缺少含水矿物,更缺少粘土质及其他表面吸附功能较强的矿物。有机生物尤其缺乏,植被基本不发育,有限种群的微生物生存环境恶劣。这种失衡的交互作用关系直接导致地表系统中矿物与生物作用产物——土壤的极端匮乏,使得西部地区各圈层物质乃至能量交换作用过程极其不完善。积极主动的生态建设措施亦即终极化改良各圈层物质和能量交换过程方法,关键在于调整失衡的表层系统矿物与生物交互作用的关系,提高矿物表面吸附能力,改善植被生长条件,逐渐提高土壤发育程度。

铁的氧化物与氢氧化物能有效地附着在石英砂等颗粒表面,形成铁的氧化膜。事实上有关利用铁的氧化物与氢氧化物薄膜固定于砂粒表面用来去除阳离子和阴离子污染物研究也一直是国际上热点研究课题^[35-38]。因为包覆在砂粒表面上的铁的氧化物及氢氧化物具有较高的比表面积,并且具有可变电荷性质与较高电荷密度,往往对带有异性电荷物质具有一定的吸附能力,因此针对沙漠中浑圆光洁的长石石英砂表面状态,探讨利用铁的氧化物与氢氧化物制备其表面覆膜,以提高其对各种无机肥料的附着能力,避免

施入养分的流失,真正起到保肥的作用,理应成为一个值得深入研究的课题。要解决的核心问题是如何确保施入的各种肥料能及时附着在砂粒表面的覆膜上,且不成化学键附着关系,以便于施入的养分能被植物有效吸收。一旦第一茬植被生长成熟,采用倒茬耕作方式能给第二茬乃至以后各茬植物生长带来极大便利,最终能形成土壤层,真正改善生态环境。因此有必要开展西部极端环境表层矿物与微生物促进生态建设的专门研究。可重点开展改善长石、石英砂矿物表面吸附与荷电性能研究,提高表层矿物对施入养分的附着程度以防止肥料流失,培育耐旱耐碱植物种类以适应干旱盐渍生长环境,驯养相匹配的微生物群落以催化所种植物根须对附着在矿物表面上的养分的吸收能力。调整失衡的表层系统中矿物与生物交互作用关系,改良植被生长条件,逐渐提高土壤发育程度,提出在缺肥贫瘠与渗透性极强的沙漠地区基于矿物与生物平衡关系调整的生态建设新方法,最终改善极端环境条件下的土壤-植被-水文小气候系统的环境质量与耦合关系。这一研究目标是在缺水干旱与缺肥贫瘠以及渗透性极强的沙漠地区开展保水与保肥的矿物学方法研究以及选择植物种类与促进植物生长的生物技术,旨在开发极端环境条件下的固沙新方法,为实现占我国国土总面积 1/6 之多的西部极端环境条件下的生态建设提供理论基础与技术支持。

9 结束语

综上所述,无机界矿物天然自净化功能较为丰富,本文所叙及内容仅仅是我们近期所能够总结归纳的初步认识。相信随着研究工作的不断深入,会有更多的矿物净化功能被发现与利用,以便真正实现完整地发挥出自然界中另一半天然自净化作用——无机界矿物天然自净化作用。

地球科学面临着资源和环境两大主题,岩石圈作用的传统的矿物学资源属性研究需要继续发展,涉及岩石圈、水圈、大气圈与生物圈之间交互作用的崭新的矿物学环境属性研究也正值方兴未艾。有关利用现代矿物学解决环境问题的选题研究不仅正在成为矿物学领域中的重点课题,也正在成为环境科学领域中的热点课题。我国有关科技管理部门也很重视这一矿物学与环境科学交叉研究这一新方向,近年来不断加大支持力度,这无疑为我国新兴的环境矿物学学科发展带来极大的发展机遇。

在此需要特别强调的是,带有很强公益性质的有关环境污染治理方面的技术开发投入不应该简单地与其他领域的技术开发投入相比较。一家企业乃至一个部门在当前的条件下不可能投入很大力量开展污染治理技术方法的研究工作,即使贯彻谁污染谁治理的政策,那也要有可供直接使用与自觉接受的所需环保技术作为前提,更何况我国当前的生态破坏与环境污染问题部分起因于过去的计划经济时代,因此应当从国家层面上加大对污染治理方法技术的科技投入,需要给予特别的科技政策倾斜。

当前国际上始于矿物环境属性研究而兴起的新一轮矿物学理论与应用研究热潮日趋高涨。进一步发掘与有机界生物方法同等重要的无机界矿物方法对污染物的净化功能,发展矿物与生物两大系统间的交互作用理论,开发天然矿物在污染治理与环境修复方面的应用技术,拓宽无机矿物净化环境污染领域,凝练、概括并提出继物理方法和化学方法之后与有机界生物同效的无机界矿物天然自净化功能的新的基础理论与应用方法,以发展和完善无机矿物与有机生物所共同构筑的自然界中存在的天然自净化系统,乃是今后的主要研究方向。

参考文献:

- [1] 鲁安怀. 环境矿物材料研究方向探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(3): 184~ 187.
- [2] 鲁安怀. 环境矿物材料在土壤、水体、大气污染治理中的利用研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(4): 292~ 300.
- [3] 鲁安怀. 矿物学研究从资源属性到环境属性的发展[J]. 高校地质学报, 2000, 6(2): 245~ 251.
- [4] 赵凡. 回归自然之路[N]. 中国国土资源报, 2001- 05- 31(3).
- [5] Gibson A S and LaFemina J P. Structure of mineral surfaces[A]. Brady P V. Physics and chemistry of mineral surfaces[C]. Boca Raton, Fla. CRC press, 1996, 1~ 61.
- [6] Hochella M F Jr. Mineral surfaces: their characterization and their chemical, physical and reactive nature[A]. Vaughan D J

- and Patrick R A D. Mineral surfaces[C]. London Chapman & Hall, 1995, 17~ 60.
- [7] 吴大清, 刁桂仪, 魏俊峰, 等. 矿物表面基团与表面作用[J]. 高校地质学报, 2000, 6(20): 225~ 230.
- [8] Eggleston C M and Hochella M F Jr. The structure of hematite {001} surfaces by scanning tunneling microscopy; image interpretation, surface relaxation and step structure[J]. Amer. Mineral., 1992, 77: 911~ 922.
- [9] Christmann K and Ertl G. Interaction of hydrogen with Pt(111); the role of atomic steps[J]. Surface Sci., 1976, 60: 365~ 384.
- [10] 霍夫曼 R. 固体与表面[M]. 郭洪猷, 李静译. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [11] Edwards M and Benjamin M M. Adsorptive filtration using coated sand: a new approach for treatment of metal-bearing waste water[J]. J. Water Pollut. Control Fed. 1989, 61(9): 1 523~ 1 533.
- [12] Smorjai G A. Modern concepts in surface science and heterogeneous catalysis[J]. J. Phys. Chem., 1990, 94: 1 013~ 1 023.
- [13] 卢小英, 鲁安怀, 陈洁, 等. 单斜与六方磁黄铁矿处理含 Cr(VI) 废水过程中 pH 值变化规律[J]. 高校地质学报, 2000, 6(2): 271~ 277.
- [14] Ribbe P H. Sulfide mineralogy: Review in Mineralogy[M]. Mineralogical Society of America, 1974, 1.
- [15] Suzuki T, Miyake M and Nagasawa H. 用碳酸盐作晶格离子的离子交换剂来去除毒性离子[A]. 王一方等译. 当代离子交换技术[C]. 化学工业出版社, 1993, 298~ 300.
- [16] Suzuki T, Hatsushika T and Miyake M. 用磷灰石作晶格离子的离子交换剂来去除毒性离子[A]. 王一方等译. 当代离子交换技术[C]. 化学工业出版社, 1993, 301~ 306.
- [17] 张铨昌, 杨化, 韩成. 天然沸石离子交换性能及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [18] 华彤文, 杨骏英, 陈景祖. 普通化学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 1993.
- [19] 鲁安怀, 陈洁, 石俊仙. 天然磁黄铁矿一步法处理含 Cr(VI) 废水[J]. 科学通报, 2000, 45(8): 870~ 872.
- [20] Fujishima A and Honda. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode[J]. Nature, 1972, 238(7): 37~ 38.
- [21] 魏宏斌, 李田, 严熙世. 水中有机污染物的光催化氧化[J]. 环境科学进展, 1994, 2(3): 50~ 57.
- [22] Harada K, Hisanaga T and Tanaka K. Photocatalytic degradation of organophosphorous insecticides in aqueous semiconductor suspensions[J]. Wat. Res. 1990, 24(11): 1 415~ 1 417.
- [23] 唐振宁. 钛白粉的生产与环境治理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [24] 施倪成, 马哲生, 何万中, 等. 太平洋北部洋底锰结核中纳米固体研究[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(7): 778~ 784.
- [25] Vali H, Cliftciolu N, Kajander, E O. Biomineralisation by the smallest known nano-organisms in blood: implications for pathogenetic diseases[A]. 17th IMA, Canada, Abstract[C], 1998, A45.
- [26] Nayebe zadeh A, Case B, Vali H. Lung fiber burden of two groups of quebec asbestos miners and millers[A]. 17th IMA, Canada, Abstract[C], 1998, A51.
- [27] Heaney P J, Yates D M. Adsorption of toxic metal cations to aqueous polymeric silica[A]. 17th IMA, Canada, Abstract[C], 1998, A46.
- [28] Konhauser, Kurt O. Diversity of bacterial iron mineralization[J]. Earth Science Reviews, 1998, 43(3~ 4): 91~ 121.
- [29] Beveridge T J. Interaction, concentration and mineralization of environmental metal ions by bacterial surfaces[A]. 17th IMA, Canada, Abstract[C], 1998, A45.
- [30] Banfield J F, Nealson K H. Geomicrobiology: Interactions between Microbes and minerals, Reviews in Mineralogy[M]. Washington D. C. Mineralogical Society of America, 1997, 35.
- [31] McIntosh J M, Grroat L A. Biological- mineralogical Interactions[A]. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series[C]. V. 25, Ottawa, Ontario, 1997.
- [32] Hemley R J. Mineralogy at a crossroads[J]. Science, 1999, 285: 1026~ 1027.
- [33] Friedman E I, Wierzchos J, Ascaso C, et al. Special feature: Chains of magnetite crystals in the meteorite ALH84001: evidence of biological origin[J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2001, 98: 2 176~ 2 181.
- [34] Sherriff B L, Brown D A, Sawicki J A. Iron mineral reactions mediated by an environmental bacterial consortium[A].

- 17th IMA, Canada, Abstract[C], 1998, A45.
- [35] Korshin G V, Benjamin M M, Sletten R S. Adsorption of natural organic matter (NOM) on iron oxide: Effects on NOM composition and formation of organo_halide compounds during chlorination[J]. *Water Res.*, 1997, 31(7): 1643~ 1650.
- [36] Ryan J N, Elimelech M, Ard R A, *et al.* Bacteriophage PRD1 and silica colloid transport and recovery in an iron oxide_coated sand aquifer[J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1999, 33(1): 63~ 73.
- [37] Khaodhiar S, Azizian M F, Osathaphan K, *et al.* Copper, chromium, and arsenic adsorption and equilibrium modeling in an iron_oxide_coated sand, background electrolyte system[J]. *Water Air Soil Pollut.*, 2000, 119(1~ 4): 105~ 120.
- [38] Thirunavukkarasu O S, Viraraghavan T, Subramanian K S. Removal of Arsenic in drinking water by iron oxide_coated sand and ferrihydrite_batch studies[J]. *Water Quality Research Journal of Canada*, 2001, 36(1): 55~ 70.

Basic Properties of Environmental Mineral Materials: Natural Self_purification of Inorganic Minerals

LU An_huai

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Natural self_purification, a potential mechanism in nature whereby mankind and the Earth are interrelated with each other, has been playing an increasingly important role in the field of harnessing contamination and remedying environment. Nevertheless, the self_purification of natural minerals widely occurring in the inorganic world has been largely ignored. This means that only half of the potential self_purification capabilities offered by nature are recognized, exploited and utilized. Utilizing most of the natural self_purification functions of both the organic and the inorganic world is a reflection of implementation of the whole self_purification function. Pollutant treatment by natural minerals is based on the law of nature and reflects natural self_purification function in the inorganic world, similar to that of the organic world. The purification function of natural minerals for reducing pollutants is reflected mainly in the basic properties of environmental mineral materials. The basic properties of this function include surface adsorption, modified porous filtration, defects of crystal structure, ionic exchange, chemical activation, physical effect and micro_effect at nanometre levels as well as mineralogical_biological interactions. A series of case studies related to the natural self_purification, which were mostly completely by our group, are discussed in this paper. Mineralogical method and biological method are well matched in pollutants disposal and jointly constitute a natural system of self_purification in terms of pollution treatment and environmental remediation in the spheres of interaction between mankind and the earth surface.

Key words: environmental mineralogy; environmental mineral materials; inorganic minerals; natural self_purification; method of contaminants disposal