

大气粉尘中的矿物及其环境健康效应研究进展

贺小春, 董发勤

(西南科技大学 材料科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 大气粉尘中的矿物主要来源于土壤尘、建筑工地和局地扬尘, 颗粒较小, 一般呈不规则形状, 表面凹凸不平。矿物粉尘具有很强的生物活性, 对人体健康、生物效应有其特有的生理作用。矿物粉尘表面活性基团影响粉尘的生物效应。矿物粉尘本身或刺激吞噬细胞而产生的自由基对细胞的损伤和粉尘性疾病的形成起着至关重要的作用。大气粉尘成分、表面特性以及矿物粉尘对人体正常宿主菌群的抑制性和毒性效应研究是矿物粉尘环境健康效应研究的重要方向。

关键词: 矿物粉尘; 表面特性; 自由基; 健康效应; 进展

中图分类号: P579

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)04-0349-06

Advances in the study of minerals in atmospheric dusts and their environmental health effects

HE Xiao_chun and DONG Fa_qin

(School of Material Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Minerals in atmospheric dusts are mainly derived from soils, building dusts and rising dusts in some areas. The particles are characterized by small sizes, irregular shapes and surface unevenness. Mineral particles show strong biological activity, and exert a special physiological action to human health and biological effect. Surface activity groups of dusts affect their biological effects. Surface properties, free radicals released by mineral dusts or stimulated phagocyte play important roles in causing cell injury and pneumoconiosis. Atmosphere dust components, surface properties and the inhibition and toxic effects of mineral dusts on normal flora in human bodies are all important research aspects in the environmental health effects of mineral dusts.

Key words: mineral dusts; surface property; free radical; health effect; progress

矿物是构成岩石、地表沉积物以及土壤的无机固体物质, 它广泛存在于大气圈中。矿物学、地学、材料学和环境学的交互发展诞生了一门新兴学科——环境矿物学。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(鲁安怀, 2001)。它主要从环境与地学中的矿物相结合的角度探讨矿物的环境属性。矿物学、材料学和环境学的相互结合符合资源合理利用与可持续

发展的原则。

自然界多数固体物质是由矿物组成的, 它们在地球表面无处不在。另外, 许多矿物和其他结晶固体因其独特的性质而被广泛应用于工农业及日常生活中。在自然介质中如空气、水体等也大量存在矿物粉尘, 特别是随着人类活动对自然生态系统变异的日益加剧和风化作用以及火山爆发等自然过程的发展, 使大气粉尘中的矿物对人类健康的危害日趋严重。

收稿日期: 2004-08-04; 修订日期: 2005-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40072020); 西南科技大学引进人才计划资助项目

作者简介: 贺小春(1976-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事环境矿物学的研究和教学工作。

1 大气粉尘中的矿物及其性质

大气粉尘是悬浮于大气中的固体颗粒物的总称,来自不同的自然源或人为活动源,是大量的不同化学组分组成的一种复杂可变的大气污染物。大多数粉尘颗粒由单一矿物种组成,部分粉尘颗粒的集合体也可由多种独立的矿物微粒簇生而成,这多源于多矿物岩石碎片和化学风化作用。火山爆发通常也产生玻璃和矿物粉尘。在自然尘埃(0.1~0.3 μm ,风成的或悬于水中的)中约51%为各种长石类,约16%为钙、镁、铁硅酸盐,如辉石类和角闪石类,12%为石英,5%为粘土类,其余为其他层状硅酸盐类,如云母、蛇纹石、滑石;另外8%主要由氧化物、碳酸盐、硫酸盐和磷酸盐的混合物组成。地表松散物质(如土壤、沙漠和滨岸)的部分矿物颗粒主要由各种类型的层状硅酸盐(粘土)和石英组成。而火山灰和尘埃则大多由玻璃质和玻璃质聚集体微粒以及各种常见的硅酸盐(如长石、辉石、角闪石)组成。地外尘埃是硅酸盐 Fe-Ni 微粒的混合物(牟成刚,1999)。

大气粉尘组分十分复杂,粒子来源不同,组分差异较大。不同粒径的粒子,其化学组成也有很大差别,如大气颗粒中地壳元素类(Al 、 Ca 、 Ti 、 Fe 等)主要存在于大于2.0 μm 的粒子中。由于粉尘中的矿物来源广泛,对人体的健康危害大,因此对大气粉尘的化学成分和源解析的研究成为热点,目前主要是运用扫描电镜及X射线能谱仪和电感耦合等离子体光谱仪(ICP-AES)等仪器进行分析。不管是在干燥的北方还是潮湿的南方,铝硅酸盐矿物颗粒都是大气粉尘中的主要种类(董树屏等,2001;王淑兰等,2002),主要来源于土壤尘、建筑工地和局地扬尘等,但因受工业生产和人为活动的影响而有较大变化,如重庆的大气颗粒物中以硫酸盐和 SiO_2 为主(陈昌国等,2002)。

大气粉尘中的矿物微粒一般颗粒较小(2~10 μm),呈不规则形状,表面凹凸不平,有的呈粗糙的棉絮状或长条形、多边形等(周巧琴,2002),所以容易富集一些有毒重金属、酸性氧化物、有机污染物、细菌和病毒等。它属于呼吸性粉尘的范畴,易吸入肺部,对人体健康、生物效应有其特有的生理作用。

肺部粉尘颗粒的负荷研究表明:肺部残留的粉尘颗粒直径均大于0.1 μm ,平均粒径为0.8 μm 左右,主要组成是铝硅酸盐(如高岭土、各种长石、云母

等)、二氧化硅(多数为石英),还有其他富铝、富硅、富钛混合物及镁硅酸盐,很难找到粒径大于30 μm 的粉尘。残留于肺部的矿物粉尘种类及组成、粒度与当地的地表生成粉尘矿物学特征、气候条件有关,地域性差异特征十分明显。因此,要特别注意非职业环境中矿物粉尘特征要素。

2 矿物粉尘致病学说

被矿物微粒污染的大气粉尘具有很强的化学活性,吸入人体后会在呼吸道中沉积以致引起许多病原的紊乱发展,从而导致肺泡病、纤肺病、癌症等。这种紊乱发展的可能性和表现的广度是呼吸道微粒沉积的位置、数量、微粒和晶胞的相互作用及其物理化学特征以及微粒沉积后的处置等作用的体现。石棉等纤维矿物可引起呼吸道肿瘤和非肿瘤疾病,长期暴露于浓度较大的石棉环境中可导致石棉肺和肺癌,而短期暴露则将引起胸膜和腹膜间皮瘤。暴露于非石棉类矿物将引起硅肺、硅肺结核、癌症(氧化硅矿物)、黑肺病(煤中的炭质物)、滑石肺(滑石)及高岭石尘肺(高岭石)等疾病。Dogan的研究表明,持续暴露于不同浓度的长8~30 μm 、直径小于0.25 μm 的贵橄榄石、直闪石、透闪石以及二氧化硅颗粒中会造成胸膜瘤(Dogan,2002)。在建筑工业中,可吸入混凝土粉尘的浓度远高于规定的安全底线,要想阻止硅肺病十分困难(Linch,2002)。目前纤维状沸石如毛沸石的危害性已引起了相当的关注。

20世纪对矿物粉尘引发疾病的病理研究已经取得了迅速的进展。20世纪60年代以前,欧美对有关石棉肺纤维化、肺癌、间皮瘤等流行性病学调查进行得比较深入。与此同时,类似其他矿物粉尘的潜在肺毒性也已被重视。20世纪30年代至60年代的研究是有关矿物粉尘暴露接触与职业病理的关系,同时也清楚地认识到,一系列矿物粉尘可以影响人体的呼吸系统。在20世纪60至80年代,众多研究集中在矿物粉尘引发人体疾病的机理方面,20世纪80至90年代,这个问题最初的研究是集中在矿物粉尘致病的病理学研究。很显然,这个问题的答案应由生物、生化和病理方面的研究给出。与此同时,以强调矿物粉尘形态特征,特别是纤维形态的“Stanton”假说和以强调矿物粉尘生物持久性的“Pott”假说相继提了出来(董发勤等,2000)。

由矿物粉尘导致的尘肺发生过程与矿物粉尘-

流体的相互作用非常相似(在地球化学过程中经常出现),它是一个固体矿物在液体介质中溶解、迁移、沉淀、残留的过程,该过程的部分物质会与生物细胞物质发生反应。目前对矿物致病的分子作用机制研究还局限在大量的实验室阶段,研究表明矿物微粒能刺激生物细胞分裂的释放(肿瘤坏死因子 TNF_{α} 和核转录因子 $NF_{\kappa B}$, 尤其是 TNF_{α}) (Holopainen *et al.*, 2004; Bruch *et al.*, 2004), 与其在生物活体组织中的炎症和致纤活动具有密切联系。因此,在此领域尚需大量工作,应加强各类矿物对生物活体组织致病机理的试验研究。

3 矿物表面特性及生物作用

矿物粉尘导致疾病的生物化学过程均发生在矿物表面或其附近,其对人体呼吸系统的有害影响并不只是尘粒的物理外形所致,它与生物系统间有着复杂的(导致疾病的)相互作用。其中的关键因素便是矿物晶胞的界面,通过其界面性质、化学性质、带电性以及力学性和尺寸大小来对生物系统施加影响。矿物粉尘表面特性主要包括表面电性、表面基团、矿物-生物化学作用以及粉尘的催化作用、吸附性和生物持久性等。目前,虽有先进的原子能显微镜来研究矿物表面的物理结构,但这只是表面活动性信息的一部分。通过表面热力学的测定,对矿物表面的物理作用和化学作用会得到更全面的认识。

矿物粉尘表面的荷电性与其细胞毒性之间存在着一定的相关关系。但对某一具体粉尘,可能存在一定的差异。大多数矿物粉尘在中性水溶液中 ξ 电位为负,在酸性环境中,表面电位更负,如纤维坡缕石粉尘的表面电位为 -14.1 mV ,被 4 M HCl 溶蚀后,其表面电位降至 -23.9 mV (冯启明等, 2000)。这些带负电性的粉尘易与生物大分子物质如蛋白质发生电性作用,从而进一步在细胞膜等生物大分子物质上发生脂质过氧化反应,破坏细胞膜的完整性,使其崩解而致病;或者中和维护蛋白质稳定的电性,使蛋白质分子易于相互凝聚沉淀而发生变性,失去其生物活性,导致生物膜损伤而致病。

矿物粉尘表面活性基团影响粉尘的生物效应,粉尘进入机体后能激发吞噬细胞的呼吸爆发,形成活性氧($O^{\cdot-} \cdot 2, H_2O_2, HO^{\cdot}$)自由基,对细胞的损害和粉尘性疾病的形成起着至关重要的作用。碎裂的和

(或)含有铁活性位的 SiO_2 能产生活性氧,引起叙利亚金地鼠胚胎细胞(SHE)的转化,在细胞水平上 SiO_2 的活性对表面官能团的组成和结构非常敏感,而且这种生物效应是一个表面作用过程(Elias *et al.*, 2000)。矿物粉尘表面活性基团的研究可通过对矿物粉尘进行酸碱洗蚀处理,用X射线衍射、红外吸收光谱来对比分析。研究表明,水镁石、石棉、海泡石、坡缕石等含有 OH^- 基团,硅灰石、硅藻土含有 $Si-O^-$ 基团。这主要是由于不同矿物表面物质组成和结构的差异,使其表面官能团种类和性质有较大差别,如硅灰石、硅藻土、斜发沸石没有独立的 OH^- ,而纤维水镁石只有单一的 OH^- 基团,斜发沸石以 H_2O^+ 形式为主,部分可以转化为 H^+ 、 NH_4^+ 或 OH^- 。晶片剥离将使表面官能团裸露更多,其裸露和转化与表面结构缺陷和解理有关,缺陷越发育, OH^- (或 H_2O^+) 含量越高。酸蚀作用可以改变矿物纤维表面的 OH^- 浓度及分布,增加表面的缺陷数量和空隙。碱蚀对海泡石和坡缕石及斜发沸石中的 $Si-O$ 、 $Si-OH$ 等表面基团不起作用,但对 $Al-O$ 、 $Al-OH^-$ 有破坏酸性位的作用。酸碱蚀残余物的表面基团有的已完全不同于原始粉尘的类型,如硅灰石、纤维蛇纹石石棉等残余物明显向 SiO_2 转化(董发勤等, 1998)。这对体内酸性环境如肺泡内、胃内或碱性环境如小肠部位的粉尘生物溶解残余物有类比价值。

在人体皮肤、粘膜以及与外界相通的腔道,均存在着一定种类的微生物群,习惯上将其称为正常菌群。正常菌群不仅参与人体生理功能,实际上已构成如呼吸、循环和内分泌一样的生理系统,在人体的解剖结构,特别是免疫器官、营养、消化、呼吸、防御疾病以及保持人体与外界环境的平衡等方面起着重要作用。粉尘或被细菌等微生物污染的粉尘进入人体后会与人体正常菌群发生联合作用。矿物(尘)-生物作用主要包括两方面:一是利用硫化菌、硝化菌、铁化菌等菌株的浸矿作用来冶金。以铜为例,目前全世界铜年产量的15%来自生物浸矿。二是粉尘与细菌的环境危害性及毒性研究。粉尘与细菌的相互作用研究对探讨粉尘的致病性、环境空气质量的评价等有重要的意义。

Korpi等人(2001)研究了室内粉尘中微生物的生长、 CO_2 的产生以及微生物有机挥发物组成,阐明了室内粉尘中微生物的生长机理。Reiman等(2000)对烟厂所接触环境中的微生物、内毒素和粉

尘总量进行健康调查,发现烟厂造成过敏性肺炎的微生物浓度比外界环境的低。Naoto 等(1999)将含镉颗粒与细菌在 pH 值和铵离子浓度恒定的条件下相互作用,结果在透射电镜下没有发现含镉颗粒粘附到硫杆菌的细胞壁外层,并观察到了细胞壁破裂现象。

现在对矿物/微生物相互作用研究尽管有酸解、络解、碱解作用的提出,但对矿物粉尘与微生物的作用机制的主导内因仍不明了,还应包括降解(溶出、减溶、不溶)、转变、迁移、沉淀、成核(矿化)整个过程。虽然粉尘作为空气中有害细菌的载体而对人体产生致病性,但有关矿物粉尘对人体正常菌群毒性作用影响也不容忽视,这方面的国内外研究极少。应重视矿物尘在体内有机/无机体系相互作用过程中的微生物活性、耐毒性、对酶促反应及激活条件的影响、粉尘加入后细胞内外渗透压及胞液 pH 值变化,并详细研究矿物活性结构态特征对微生物类别的适用性。笔者所在课题组力图从这个角度做一些研究工作,研究在矿物粉尘-细菌微生物-有机溶液的三元复合体系中作用的过程和产物,阐明在硅酸盐矿物粉尘与人体正常宿主菌群的相互作用过程中影响其微生态平衡的主要因素及作用机制,探讨硅酸盐矿物粉尘对人体正常宿主菌群的抑制性和毒性效应,这对硅酸盐矿物粉尘的环境健康效应有重要意义,对粉尘的致病机理和一些矿物粉尘造成的职业病的治疗具有一定的参考价值。

4 矿物粉尘产生的自由基

流行病学研究已经证实,暴露于大气粉尘中会导致心肺疾病的高发生率。在毒理学研究中,自由基活性(包括矿物粉尘产生的)已作为颗粒生物活性的一个统一因素来研究。随着自由基理论的不深入发展,粉尘对机体的毒性作用研究揭开了新的篇章,与矿物粉尘有关的自由基引起的脂质过氧化(LPO)损伤、遗传毒性和细胞毒性已成为近年来粉尘致病机理研究的热点(周炯亮,2000)。

矿物粉尘产生的自由基主要来自两方面:粉尘本身特殊的表面化学特征和吸附的过渡金属元素而产生自由基;粉尘刺激吞噬细胞而产生自由基。自由基产生后,主要作用于脂质、蛋白质、DNA,引起膜脂质过氧化、蛋白质氧化或水解、诱导或抑制蛋白酶活性、DNA 损伤等(胡大林等,2002)。国外流行病

学的调查研究发现,接触游离 SiO₂ 粉尘的作业人员,除肺癌之外的其他肿瘤,如消化系统肿瘤、皮肤癌、淋巴系统肿瘤等的发病率均有明显变化。我国亦有研究报道,暴露于游离 SiO₂ 粉尘会导致唾液腺癌、食道癌发病率的上升(刘秉慈,2000)。Porter 等(2002)对比研究了低剂量下老化和新鲜碎裂石英对大鼠肺部发炎和损伤情况,与老化石英相比,新鲜碎裂石英刺激巨噬细胞产生活性氧的能力大,但是有明显的阈值,低于此阈值两者的这种区别不复存在。SiO₂ 粉尘对成纤维细胞有遗传毒性,在较小剂量时即可表现出明显的具有浓度和时间依赖性的 DNA 损伤作用,损伤过程中有羟自由基的参与(余晨等,2002)。大气粉尘刺激巨噬细胞产生的超氧阴离子自由基与粉尘剂量正相关(Kleinman *et al.*, 2003)。Athanasios 等(2000)研究了大气悬浮微粒、柴油和汽油燃烧颗粒以及城市街道粉尘,得出,在 H₂O₂ 的存在下,这些粉尘都能在磷酸缓冲溶液中产生·OH。不同形状和晶形的 SiO₂ 颗粒释放的 HO·自由基与其致叙利亚金黄地鼠(SHE)细胞转化率呈直线相关,甘露醇和 H₂O₂ 酶能显著地抑制其细胞转化,这些结果与在 HO·自由基释放和细胞转化中存在的硅载自由基和 Fe 活性中心相一致(Fubini *et al.*, 2001)。应用液相色谱结合电化学检测技术,裘著革等(2001)研究了标准石英粉尘和青石棉体外诱导 DNA 分子氧化损伤产生加合物 8-羟基脱氧鸟苷的形成与机制,结果表明,石英和青石棉粉尘具有直接的遗传毒性;两者诱导 DNA 分子氧化损伤并形成强致突变作用的 8-羟基脱氧鸟苷,说明在粉尘表面和水介质中产生了羟自由基,但青石棉作用强于石英粉尘。

贺小春(2003)的研究结果表明,矿物粉尘释放的自由基与其细胞毒性呈正相关。矿物粉尘在溶液中短作用时间内,粉尘本身表面上的硅烷醇基团水解和 OH⁻ 基团在固液界面上的电离对自由基起主要贡献;而在长作用时间内,粉尘离解出的单电子氧化还原的金属离子如 Fe、Co 等对自由基的产生起主要贡献。经缬氨酸和 Vc 处理的粉尘,自由基活性降低。

迄今为止,对大气粉尘释放自由基的研究主要集中在粉尘是否释放自由基以及释放自由基与其毒性的关系上,而对粉尘成分与自由基的关系研究较少。大气粉尘的组分十分复杂,各组分间存在着协同或互补作用。必须弄清粉尘的成分,是全部还是

几种颗粒物对自由基起作用,这样才能有效的预防其危害。

5 结论

大气粉尘中的矿物微粒主要来源于土壤尘、建筑工地和局地扬尘等,颗粒较小,一般呈不规则形状,表面凹凸不平。矿物微粒具有很强的生物活性,吸入后会与体内细胞发生复杂的物理化学作用,导致各种疾病的发生。要特别注意非职业环境中矿物粉尘特征要素。

矿物粉尘表面活性基团影响粉尘的生物效应,对人体的有害影响是通过其界面性质、化学性质、带电性以及力学性和尺寸大小来形成的。表面特性在对细胞的损害和粉尘性疾病的形成起着至关重要的作用。应加强矿物粉尘对人体正常宿主菌群的抑制性和毒性效应研究,这对矿物粉尘的环境健康效应有重要意义,对粉尘的致病机理和一些矿物粉尘所致职业病的治疗具有一定的指导意义。

矿物粉尘本身或刺激吞噬细胞而产生的自由基对脂质过氧化、遗传毒性和细胞毒性起着重要作用。矿物粉尘在溶液中短作用时间内,矿物表面上的硅烷醇基团水解和 OH^- 基团在固液界面上的电离对自由基起主要贡献;而在长作用时间内,粉尘离解出的单电子氧化还原的金属离子如 Fe、Co 等对自由基的产生起主要贡献。经缬氨酸和 Vc 处理的粉尘,自由基活性降低。应加强对大气粉尘中成分的研究,弄清哪些矿物尘对自由基起主要贡献。

References

- Athanasios V, Anastasia S and Anna T. 2000. Generation of hydroxyl radicals by urban suspended particulate air matter. The role of iron ions [J]. *Atmosphere Environment*, 34: 2 379~ 2 386.
- Bruch J, Rehn S, Rehn B, *et al.* 2004. Variation of biological responses to different respirable quartz flours determined by a vector model[J]. *Int. J Hyg. Environ. Health*, 207(3): 203~ 216.
- Chen Changguo, Zhan Xin, Li Na, *et al.* 2002. SEM analysis on the atmosphere particles of Chongqing [J]. *Environmental Chemistry*, 21(2): 207~ 208(in Chinese).
- Dogan M. 2002. Environmental pulmonary health problems related to mineral dusts: Examples from central Anatolia. Turkey [J]. *Environmental Geology*, 41(5): 571~ 578.
- Dong Faqin, Wan Pu, Feng Qiming, *et al.* 1998. Study on the surface features of industrial minerals dusts [J]. *J. Mineral Petrol.*, 18(3): 1~ 7(in Chinese with English abstract).
- Dong Faqin, Wan Pu, Peng Tongjiang, *et al.* 2000. New advance in the study of environmental mineralogy and environmental medicine of the fibrous mineral dusts[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(3): 193~ 198(in Chinese with English abstract).
- Dong Shuping, Liu Tao, Sun Dayong, *et al.* 2001. Identification of major particle classes in Guangzhou aerosol by scanning electron microscopy[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(3): 202~ 207(in Chinese with English abstract).
- Elias Z, Poirot O, Daniere MC, *et al.* 2000. Cytotoxic and transforming effects of silica particles with different surface properties in Syrian hamster embryo (SHE) cells [J]. *Toxicology in Vitro*, 14(5): 409 ~ 422.
- Feng Qiming, Dong Faqin, Wan Pu, *et al.* 2000. Study on the surface potential (ξ) and the biology harmfulness of some non-metallic minerals fiber powder [J]. *China Environmental Science*, 20(2): 190~ 192(in Chinese with English abstract).
- Fubini B, Fenoglio I, Elias Z, *et al.* 2001. Variability of biological responses to silicas: effect of origin, crystallinity, and state of surface on generation of reactive oxygen species and morphological transformation of mammalian cells [J]. *J. Environ Pathol Toxicol Oncol.*, 20 Suppl 1: 95~ 108.
- He Xiaochun. 2003. Study On The Characteristics of Natural Dusts and Free Radicals Released in Aqueous [D]. Sichuan: Southwest Univ. of Sci. & Tech. (in Chinese with English abstract).
- Holopainen M, Hirvonen M R, Komulainen H, *et al.* 2004. Effect of the shape of mica particles on the production of tumor necrosis factor alpha in mouse macrophages[J]. *Scand J Work Environ Health.*, 30 Suppl 2: 91~ 98.
- Hu Dalin, Liao Jiankun, Xia Xu, *et al.* 2002. Free radical and the oxidative injury of DNA [J]. *Foreign Medicine and Hygiene Fascicule*, 29(5): 261~ 263(in Chinese).
- Kleinman M T, Sioutas C, Chang M C, *et al.* 2003. Ambient fine and coarse particle suppression of alveolar macrophage functions [J]. *Toxicol Lett.*, 137(3): 151~ 158.
- Korpi A, Pasanen A L and Pasanen P. 2001. Microbial growth and metabolism in house dust [J]. *International Biodeterioration Biodegradation*, 40(1): 19~ 27.
- Linch K D. 2002. Respirable concrete dust_silicosis hazard in the construction industry [J]. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 17(3): 209~ 221.
- Liu Bingci. 2000. The research progress of confirming quartz as carcinogen by human [J]. *Chinese Journal of Industrial Hygien and Occupational Diseases*, 18(1): 60(in Chinese).
- LU Anhuai. 2001. Basic properties of environmental mineral materials: natural self_purification of inorganic minerals[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(4): 371~ 381 (in Chinese with English abstract).
- Mou Chenggang. 1999. A Study of Environmental Mineralogy on Influence of Minerals in Atmospheric Dust on Human Health [J]. *Guizhou Geology*, 16(1): 73~ 77(in Chinese).
- Naoto, Terutoyo and Kihachiro. 1999. Toxicity of cadmium particle dust in bacterial cells. *Bioscience* [J]. *Biotechnology and Biochemistry*. 63(8): 1 463~ 1 466.
- Porter D W, Barger M, Robinson V A, *et al.* 2002. Comparison of low doses of aged and freshly fractured silica on pulmonary inflammation and damage in the rat[J]. *Toxicology*, 175(1~ 3): 63~ 71.
- Reiman, Marjut, Uitti, *et al.* 2000. Exposure to microbes. endotoxins

- and total dust in cigarette and cigar manufacturing: An evaluation of health hazards [J]. *Annals of Occupational Hygiene*, 44(6): 467~473.
- Wang Shulan, Chai Fahe and Yang Tianxing. 2002. Characteristics Analysis of Elements Contained in Air Suspended Particles with Different Sizes in Beijing [J]. *Research of Environmental Sciences*, 15(4): 10~12 (in Chinese with English abstract).
- Xi Zhuge, Chao Fuhuan, Sun Yongmei, *et al.* 2001. Study on the formation of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine adduct directly induced by standard silicon dust and crocidolite [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 21(4): 481~485 (in Chinese with English abstract).
- Yu Chen, Zeng Zhaoyu and Wu Weiwei. 2002. Study on silica induced DNA damage and its influence factor [J]. *Chin J. Ind. Hyg. Occup. Dis.*, 20(2): 128~130 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jiongliang. 2000. A few hot studying spots of toxicology on new century [J]. *Journal of Health Toxicology*, 14(1): 3~5 (in Chinese).
- Zhou Qiaolin, Cai Chuanrong and Li Geng. 2002. SEM study of atmospheric pollution particles [J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 21(5): 804~805 (in Chinese with English abstract).
- 董发勤, 万朴, 彭同江, 等. 2000. 纤维矿物粉尘环境矿物学与环境医学研究的新进展[J]. *岩石矿物学杂志*, 19(3): 193~198.
- 董树屏, 刘涛, 孙大勇, 等. 2001. 用扫描电镜技术识别广州市大气颗粒物主要种类[J]. *岩矿测试*, 20(3): 202~207.
- 冯启明, 董发勤, 万朴, 等. 2000. 非金属矿物粉尘表面电性及其生物学危害作用探讨[J]. *中国环境科学*, 20(2): 190~192.
- 贺小春. 2003. 天然粉尘特性及其液相自由基的研究[D]. 四川: 西南科技大学.
- 胡大林, 廖建坤, 夏旭, 等. 2002. 自由基与DNA的氧化损伤[J]. *国外医学卫生学分册*, 29(5): 261~263.
- 刘秉慈. 2000. 人类确定致癌物石英的研究进展[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 18(1): 60.
- 鲁安怀. 2001. 环境矿物材料基本性能——无机界矿物天然自净化功能[J]. *岩石矿物学杂志*, 20(4): 371~381.
- 牟成刚. 1999. 大气尘埃中矿物对人类健康影响的环境矿物学研究[J]. *贵州地质*, 16(1): 73~77.
- 王淑兰, 柴发合, 杨天行. 2002. 北京市不同尺度大气颗粒物元素组成的特征分析[J]. *环境科学研究*, 15(4): 10~12.
- 裘著革, 晁福襄, 孙咏梅, 等. 2001. 标准石英粉尘及青石棉直接诱导8-羟基脱氧鸟苷加合物形成的研究[J]. *环境科学学报*, 21(4): 481~485.
- 余晨, 曾昭玉, 吴巍巍. 2002. SiO₂粉尘介导的DNA损伤及其影响因素的研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 20(2): 128~130.
- 周炯亮. 2000. 新世纪毒理学研究的几个热点[J]. *卫生毒理学杂志*, 14(1): 3~5.
- 周巧琴, 蔡传荣, 李耕. 2002. 大气悬浮颗粒物的电镜观察[J]. *电子显微学报*, 21(5): 804~805.

附中文参考文献

- 陈昌国, 詹忻, 李纳, 等. 2002. 重庆市市区大气颗粒物的物相组成分析[J]. *环境化学*, 21(2): 207~208.
- 董发勤, 万朴, 冯启明, 等. 1998. 工业矿物纤维粉尘的表面特性研究[J]. *矿物岩石*, 18(3): 1~7.

• 简讯 •

ACROFI I (首届亚洲流体包裹体研究国际会议) 将于 2006 年 5 月 在南京大学召开

ACROFI (the Asian Current Research on Fluid Inclusions) 是和 ECROFI(欧洲流体包裹体国际会议) 和 PACROFI(泛美流体包裹体国际会议) 并列的国际会议, 每隔两年在不同的国家举行。ACROFI I(首届亚洲流体包裹体研究国际会议) 将于 2006 年 5 月 26~ 28 日在中国南京大学举行, 旨在为亚洲和其他一些国家的科研人员提供一个最新研究成果的国际交流平台, 届时将有俄罗斯、日本、韩国、印度、中国等亚洲国家和英国、法国、美国、加拿大等国流体包裹体研究专家与会。会议的正式语言为英语, 主要议题有: 热液系统和成矿, 岩浆过程, 变质流体, 沉积作用与石油地质, 流体运移与变形、破裂, 实验和分析技术的新进展, 地质流体的热动力学等。会后将组织大家前往安徽黄山进行 3 天的地质考察(5 月 29~ 31 日)。希望相关专家积极参加, 欲参会者请与会务组联系, E_mail 地址: jyding@nju.edu.cn, 电话: 025- 83594665, 传真: 025- 83592393, 通讯地址: 210093 南京大学成矿机制研究国家重点实验室 丁俊英。有关此次会议的其他详细信息, 请登录网页 <http://es.nju.edu.cn/acrofi/acr.html> 查看。