

文章编号 1001-8166(2004)04-0636-06

# 美国矿床环境研究动态及建议<sup>\*</sup>

汪明启<sup>1</sup>, 任 萍<sup>1</sup>, 严光生<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083)

**摘 要:**通过收集美国地质调查局近几年公开出版物及其网站上发布的资料,总结了美国在环境矿床学研究方面的最新成果,内容涉及 32 种矿床的地质—环境模型、矿床的环境地球化学背景或基准值、流域性矿床—环境综合研究和特殊矿床的环境效应等方面。结合美国的研究成果和我国国情,建议我国地质调查局现阶段在该领域研究首先集中在矿床的地质—环境模型和用于战略性资源评价中的矿床环境评价指标等战略性研究上。

**关键词:**矿床地质—环境模型,地球化学基准值,矿床环境效应

中图分类号 P618.41 文献标识码 A

20 世纪 90 年代以来,由于人类对矿山环境问题的忧郁,西方发达国家纷纷制定苛刻的矿山环境保护条例,致使矿业生存产生严重危机,矿业市场逐年萎缩,传统型资源学家生存面临极大的挑战。

为迎接挑战,西方国家特别是美国地质调查局资源学家及时改变思路,将其研究领域由单纯的资源勘查与评价转向资源环境一体化研究,摆脱了自身的生存危机。

环境矿床学的研究任务主要有两方面:天然(开采或受扰动)矿床环境作用相关的科学问题;为环境学家、公众和政府(官员)制定环境条例提供科学证据。资源学家进入环境领域,弥补了过去环境学家不了解矿床环境作用复杂性、片面夸大矿山环境问题的缺陷,因为地质体(或矿床)中金属元素含量高低并不是衡量其环境危害的唯一标准,其所处的地质背景特别是缓冲体系在很大程度上决定着金属元素在环境中的命运。而资源学家了解矿床方面的所有问题,他们不仅可向其它学科、公众和政府普及这方面的知识,让矿山环境条例的制定更具科学性,为矿业生存营造更轻松的环境,而且可为矿床开采过程中的环境保护提供科学的指导性建议。

环境矿床学研究历史虽然较短,但其发展迅速。

自 1995 年以来,美国地质调查局矿产资源计划中一半以上的工作量投入到与环境有关的研究中,在很多方面取得了较大进展,本文仅对近年来该领域的重要成果和最新动态进行总结,希望为我国开展这方面的研究提供可借鉴的经验。

## 1 矿床地质—环境模型

能够表征某种类型矿床的环境性状的地质环境模型,是预测矿床和矿产开发造成的环境影响的基本手段。这类模型以与矿床有关的自然作用和人为影响的描述性和经验性研究成果为基础。某一类型矿床的地质环境模型能够表征采矿前的岩石、土壤、沉积物、水体的环境性状,它还能够描述和预测该类矿床开采及其金属加工造成的可能环境影响,坑道的特征和规模、废石特征和数量以及他们与环境间的相互作用。

矿床环境模型方面的研究成果最早出现在美国地质调查局<sup>[1]</sup>。他们借鉴矿床模型的思路,根据矿床形成的岩石—构造环境,采用 Cox 等<sup>[2]</sup>分类原则和描述的方法,建立了 32 个矿床类型的地质—环境模型,并于 1998 年在其网站上首次发表,随后不断进行补充,并于 2000 年发表其光盘版(USGS Digital

\* 收稿日期:2003-02-19,修回日期:2003-08-26。

\* 基金项目:中国地质调查局基金项目“矿床环境模型及评价指标研究”(编号 20021000002)资助。

作者简介:汪明启(1958<sup>-</sup>),男,安徽省潜山县人,高级工程师,主要从事勘查和环境地球化学研究。E-mail: mingqi@cugb.edu.cn

Data Series DDS - 064 2000) , 现该模型仍在不断完善。所涉及矿床类型有: 岩浆硫化物矿床; 蛇纹石和碳酸盐容矿的石棉矿床; 碳酸盐矿床; 钽—铋—铀脉状矿床; 锡和钨矽卡岩型矿床; 脉型和云英岩型锡钨矿床; Climax 型钼矿床; 斑岩型铜矿; 金、铜、铅矽卡岩矿床; 矽卡岩型铁矿; 斑多金属脉型和交代型矿床; 斑 Au-Ag-Te 脉状矿床; 斑火山成因的块状硫化物矿床; 斑 Blackbird 钼—铜矿床; 斑 Greed 式、Comstock 式和 Sado 式低温脉状矿床; 斑 浅成低温石英—明矾石型金矿; 斑 浅成低温热液锰矿床; 斑 以流纹岩容矿的 Sn 矿床; 斑 低钛氧化铁型 Cu-U-Au-Ree 矿床; 斑 沉积岩容矿的金矿床; 斑 Almaden 型汞矿床; 斑 硅—碳酸盐型汞矿床; 斑 石英—辉锑矿床; 斑 阿尔果马型铁矿床; 斑 沉积岩容矿的铜矿床; 斑 沉积喷气型 (Sedex) Zn-Pb-Ag 矿床; 斑 密西西比型铅锌矿床; 斑 塌垮崩塌角砾岩筒 U 矿床; 斑 苏比利尔型铁矿床; 斑 沉积锰矿床; 斑 低硫化物含金石英脉型矿床; 斑 铁建造中层控金矿床。矿床地质环境模型结构见图 1。



图 1 矿床地质—环境模型结构图

Fig 1 Framework of geoenvironmental model of mineral deposits

矿床地质—环境模型较为系统地描述了不同矿种、不同矿床类型各种地质属性和特征对其附近水系沉积物、土壤、地表径流、地下水和空气等环境质量的影 响, 同时介绍了金属元素迁移、扩散对包括人类在内的各种生物作用的途径, 分析矿床地质—环境模型要素可为解决重要的环境问题提供重要依据。然而, 上述模型本身还存在不足, 如仅利用矿床

的综合特征对矿床具体地点的环境性状预测欠准确。另外, 由于某一特定类型矿床之间的物理和化学的多变性, 要利用模型准确预测矿床释放化学成分的能力, 必须全面结合水文及其它学科专家联手解决问题。美国地质调查局目前还在对模型进行不断补充和完善, 最近的研究已经确定出更具代表性的特定类型矿床的环境行为差异。如原先的火山块状硫化物矿床模型现被细分为 3 个亚类: 塞浦路斯型、别子型、黑矿型。因为作为一个矿床类型, 块状硫化物矿床由于富含硫化物、矿石和主岩贫碳酸盐, 产生酸的能力强而中和酸的潜能低, 环境危害大, 同时其不同亚类型环境特征差异也较大。可以相信, 随着研究的深入, 矿床地质—环境模型研究成果将在矿床环境评价中发挥重要作用。

## 2 矿床环境地球化学基准值

### 2.1 地球化学背景与基准值概念

地球化学背景 (geochemical background) 是未受人类活动影响在内的自然物质中元素的浓度。与此相反, 基准值 (geochemical baseline) 则代表在人类活动扰动地区元素浓度, 通常并不是真正的背景。由于人类活动影响范围广, 所以, 背景通常比基准值更难测定。

要确定矿床中化学元素的自然变化, 需要基础地质资料信息。这种基础信息就构成了对比人类活动或者自然事件造成的扰动标准。

### 2.2 研究地球化学基准值的目的、任务和意义

地球化学基准值要求确定地球表面和近地表环境受人类活动, 如城市化、农业、采矿、废弃物、工业污染或自然作用, 如火山喷发、洪水、飓风和沙尘暴影响的化学元素自然丰度和空间分布。这种研究是通过不同尺度, 如从具体研究点到区域甚至全国性的研究, 其成果数据库和解释图件给政府部门、土地管理和环境机构确定开发前不同介质 (地表土壤、水系沉积物、水; 近地表: 水和岩石) 的地球化学背景和环境基准值提供了参照资料。其主要任务是:

(1) 确定矿床开发前的自然背景, 以便为评价与采矿有关的环境影响提供标准; (2) 绘制区域地球化学基准值图; (3) 研制和改进测定地球化学背景和基准值的方法。

研究地球化学背景和基准值可以: 加深对能源和矿产资源潜力的了解; 建立生态结构和功能的地质框架; 解释人类健康与地质作用间的关系。

### 2.3 研究动态

我国以矿产勘查为主要目的,以水系沉积物为主要采样介质的 1:20 万区域化探扫面工作接近完成,这方面的资料不仅可提供大量找矿方面的信息,而且可提供天然矿床或开采矿床环境地球化学基准值参考资料。但由于其采样介质为水系沉积物,而从环境角度看,与生态更紧密相关的介质是土壤和水体,因此其在环境研究中的作用相对降低。而针对矿床或矿集区环境基准值研究工作,国内仍是空白。

20 世纪 90 年代末,我国启动平原区多目标或生态农业地球化学填图工作,其主要任务之一是确定区域环境地球化学基准值,但由于多限于平原或农业区,对研究矿床环境基准值难以发挥作用。

与我国不同,美国由于没有全国性区域地球化学调查计划,因此,地域性地球化学基准值研究相对活跃。近年来,随着环境矿床学研究的深入,人们意识到研究地球化学基准值的重要,美国地质调查局重点加强了这方面的研究<sup>[3,4]</sup>。研究内容包括:

#### 2.3.1 地球化学背景和基准值填图

从 1995 年开始,美国地质调查局着手研究废弃矿山和在产矿山描述土壤、沉积物、水体和生物群的地球化学背景/基准值。主要工作有:主要停产和废弃矿床区域基准值地球化学填图;不同类型未开发矿床的区域和局部化学元素基准值调查,为评价采矿环境效应提供参照对比资料。

#### 2.3.2 天然矿床和受扰动矿床(采矿)元素分布的判别

矿床开采会加速和强化潜在有毒金属和化学物质的分散。判别自然化学分散和由采矿和冶炼造成的元素分布变化是美国地质调查局的优先工作。如美国地质调查局研究科罗拉多州南部地区阿拉莫萨河流域上游地段未开发矿床对水质的影响,为准确分析出萨米特维尔金矿山排放水对阿拉莫萨河的水质影响提供基础。

人类活动导致的环境变化(human-induced change)是叠加在不同的天然地球化学背景上,而背景区微量元素丰度在很短范围内的变化可达几个数量级。可是,过去系统资料缺乏,并未引起公众足够认识。地球化学背景和基准值研究,为我们了解地球表面和近地表元素丰度提供基础资料。这方面知识将使科学家、土地管理者和环保专家更好地检测由人类活动或自然作用引起的环境变化,测量其影响强度,确定化学物质的来源。成果可用于研究以下方面的问题:根据自然地球化学变化,能够建立

地质介质如土壤的环保“安全限”、“危害限”、“必须治理限”;土壤和农作物的农业地球化学基准值,建立潜在有害元素活动性和生物聚集模型;人类和动物健康——表生介质化学元素含量过高和过低对人和动物健康的影响。

### 3 矿集区流域性矿床环境综合研究

过去,在进行矿产调查和矿产评估工作时,一般都按一定的图幅(如美国采用  $1^\circ \times 2^\circ$ )来布置工作。但是在矿床环境研究中,研究区一般跨度大且不规则,因此,目前涉及矿产和环境综合评估项目一般按大型流域而不是按行政区划或标准图幅进行。美国地质调查局在流域性矿床环境研究方面走在世界前列。

如美国地质调查局为治理科罗拉多州西南部地区萨米特维尔矿山造成的环境破坏所进行的综合研究<sup>[5-7]</sup>。阿拉莫萨河流域由于萨米特维尔矿山开采,致使河水中重金属和酸浓度日益增高,污染问题引起社会关注。美国地质调查局科学家对矿山和下游地段的污染问题进行了综合评价。为了确定被污染水的来源,地质学家和地球物理学家针对矿床断裂系统和化学毒害地带进行了填图。另外,还首次测定了萨米特维尔矿山排放水中化学元素浓度,研究了控制排放水化学成分的地质和地球化学作用、治理前流域内地球化学基准值。这些成果被用来:

帮助美国环保局改进矿场治理方案;帮助州政府、联邦机构(土地管理局和林业局)和矿业界了解和防止其它矿山的类似环境问题;帮助评价矿山对下游地区农业和野生生物生态系统造成的潜在影响。

在内华达州北部的洪堡(Humboldt)河流域,流域面积达  $43\,500\text{ km}^2$ ,流域内含许多全美著名的大型金矿,为金矿化集中区。1995 年,美国土地管理局确定几种元素作为该区的重要环境指示元素或潜在的有害元素,决定对该区进行了系统研究。最近,Folger 和 Ludington(2002,私人交流资料)结合地质、地貌和采矿区特征,做出了以景观为底图的土壤和水系沉积物各元素地球化学解释图。发现内华达州古代和现代仍在开采的 Ag 矿区(包括 McCoy-Cove、Coeur Rochester 和 Ken Snyder 矿山)具有一定的异常特征,如银异常反映出所有流域内矿山分布。此外,东北部的斯内克(Snake)山重晶石矿山也出现明显 Ag 异常,可能说明该地区不但富含重晶石,而且还存在有 Ag 矿的可能。同时,土壤和沉积物地球化学数据对与矿床有关的环境研究也非常有意

义。由于历史上洪堡河流域进行过大规模采矿,因此,该地的土壤和沉积物数据,以及水体和矿山废物资料<sup>[8,9]</sup> 可用来确定不同介质的自然背景丰度和反映采矿活动对介质中元素丰度的影响。

最近,在爱达荷(Idaho)州北部和蒙大拿州西部,美国地质调查局进行了哥伦比亚河和著名的密苏里河上游的大多数支流的综合评价工作。研究内容包括重新解释现有的区域水系沉积物地球化学资料、绘制地球化学景观图、重新整理和标准化大约15万条现有的地球化学资料,以及研究古采矿地区的环境地球化学。如正在进行的爱达荷州中部萨蒙(Salmon)河上游流域采矿区调查研究,目的是帮助联邦机构对萨蒙河流域进行的生态环境恢复工作。研究结果显示,所研究古矿山和相关矿床似乎并没有降低水质,因为研究区介质通常具有中性或偏高的pH值(中—弱碱性),这种物理化学条件对许多呈溶解状态存在的金属元素搬运具有抑制作用<sup>[10,11]</sup>。

在汇水区评价研究中所采用的非传统地球化学研究还包括正在进行的森林营养学研究和爱达荷州中部受2000年森林大火影响的水系沉积物和河水化学特征对比研究。该次大火大约烧毁了14万 $\text{hm}^2$ 的森林。1996年,美国地质调查局曾对该地区进行了水系沉积物和水体基准值研究,为对比2001年,他们又对过火地区进行了重复采样<sup>[12]</sup>。初步研究结果表明大火后溪水中元素含量很快就恢复到基准值水平。可是,2001年重新采集的水系沉积物中某些金属元素在矿化区含量相对增高,可能是植被烧掉后,矿化区的滑坡、泥石流和自然塌陷活动增加所致。

#### 4 特殊矿床环境效应研究

由于特定矿床环境方面的研究文献极多,限于篇幅,本文仅对美国地质调查局有关As和Hg矿床环境效应最新的研究成果进行简单介绍。

阿拉巴马州的沃里尔(Warrior)褐煤田所含砷是其它美国煤田平均砷浓度的3倍多,该区部分煤田含砷浓度超过 $200 \times 10^{-6}$ 。同时,煤田也富集了大量的其它元素<sup>[13]</sup>。煤层中金属富集与阿巴拉契亚(Appalachians)山脉南部地区的阿莱干逆掩断裂作用产生的煤化作用前后热液流体被排除有关。该地区水系沉积物中砷富集与区内局部煤层和矿山废弃物中含砷黄铁矿有关。可是,煤分布区的溪水中溶解砷并没有增高,表明阿拉巴马州北部人的健康

并不受区域富砷的明显影响。

最近,矿床周围的矿石、矿山废弃物、土壤、水和植物或含As、Hg其它天然地质体中砷和汞富集的环境影响引起全美国人密切关注。因此,美国地质调查局加强了这方面的研究,重点区有:加利福尼亚州Sierra Nevada Foothills地区和阿拉斯加州中西部地区低硫含金石英脉型金矿床和砂金矿;加利福尼亚Coast Range和阿拉斯加州西南部的汞矿带的汞矿床;阿拉斯加费尔班克斯地区(阿拉斯加州的地下水中含有的天然As丰度较高);新英格兰的地下水中天然含砷地区;Humbolt盆地局部富含As和Hg的地区;美国本土外受Hg污染的苏里南和菲律宾。

费尔班克斯是阿拉斯加州的第二大人口中心。费尔班克斯的大部分家庭依靠井水和储水池满足生活用水的需要。美国地质调查局的地球化学研究包括对17口居民水井的地下水进行季节采样。结果表明研究区地下水中的砷含量高,高出阿拉斯加州饮用水最大污染值标准(MCL)50 $\mu\text{g/L}$ 的30倍(MCL不久将降至10 $\mu\text{g/L}$ )。区内砷来源于该地区含金石英脉型矿床。砷主要含在硫化物中(砷黄铁矿、黄铁矿和辉钨矿),或者原生硫化物氧化过程中,吸附在铁锰氧化物中砷的再活化<sup>[14]</sup>。现正在研究自然出现的砷是如何进入地下水体和怎样消除水中砷的办法。

对含砷地下水的担忧正是美国地质调查局对新英格兰进行研究的驱动力,该研究的目的是查清砷的可能来源和基岩中砷变化<sup>[15,16]</sup>。对地区性大范围分布的富硫佩诺布斯科特建造和新汉普郡及缅因州沿岸矿床铁硫化物和岩石矿物学分析,并结合钻孔岩芯资料,已经查清了砷的许多原生和次生赋存矿物。Pb同位素和微迹元素含量显示含砾片岩中富砷的硫化物与矿化样品和岩石表面、接点、裂隙和断口所形成的次生氢氧化物之间存在一定的成因联系。富砷和贫砷的铁硫化物风化作用产生酸,并使以某种形式固定附在次生矿物(如水铁矿、针铁矿、臭葱石、黄钾铁矾、铁矾、斜硫锑铅矿和水绿矾)中的金属(如Pb、Cu、As、Co、Ni)释放出来。

阿拉斯加州西南部的汞矿床主要出现在卡斯科奎姆(Kuskokwim)河流域的宽阔地带,人们的主要环境忧虑是辰砂矿中无机汞和残存在矿山、并易被侵蚀而进入溪或河流的元素汞<sup>[17,18]</sup>。在特定条件下,部分无机汞转化为有机汞,而有机汞毒性强且溶于水,能引起食物链中的生物体内汞积累。鱼类中的汞含量高,尤为重要,因为鱼是人的食物,

通过食用鱼类而使人体摄入。尽管采自矿区的沉积物、水体、土壤和植物样品中含有大量的汞,但是矿区下游所有鱼类含汞低于美国食物和药物管理局推荐的 $1.0 \mu\text{g/g}$ 安全标准。目前,美国地质调查局正在执行国际合作项目,研究菲律宾的巴拉望岛汞矿<sup>[19]</sup>和苏里南用 Hg 土法炼金的小规模 Au 矿<sup>[20]</sup>的环境。

## 5 结 语

虽然传统的地质学家和资源学家面临着全球矿业市场萎缩的挑战,但随着人们对环境问题的关注和重视,环境领域给他们提供了大展身手的机会。与传统的环境学家相比,地质学家和资源学家对某些科学问题更了解,特别是与地质作用有关的环境问题,如矿床的环境效应、资源—环境关系等知识,对制定合理的与矿山环境保护有关的政策,有重要的指导意义。

另一方面,资源或经济地质学家要介入环境流域,除了进行自身的知识更新外,更应该进行多学科结合,如与地质有关的水文地质、地球物理等以及与环境有关的环境化学、环境工程学等,与人类健康有关的流行病学、病理学等。

与西方国家不同,我国的环境矿床学研究还未真正起步。但随着新时期地质工作服务领域的扩大,要求地质学必须融入社会,而社会发展面临的人口、资源和环境三大问题凸现出地质工作必须涉及其中两大主题,因此,我国进行资源—环境一体化研究条件已经成熟。考虑到我国属于发展中国家,当前以及今后相当长的时间内,地质工作的重点仍是提供资源保障,但我国几十年地质工作积累了大量资料,其中蕴含许多研究环境方面的信息,如全国地球化学图、不同尺度的地质和矿产图等。因此,在进行资源评价的同时,兼顾进行环境方面的研究探索是非常必要的。笔者认为,在现阶段,应启动矿床—环境一体化方面的研究,地质调查局的研究重点应集中在矿床地质—环境模型和用于战略性资源评价中的矿床环境评价指标等战略性研究上,而单个矿床或矿山的环境地球化学行为等战术性研究可由矿山或其它科研单位承担。启动这方面的研究不仅拓宽地质研究领域,而且可培养进行矿床环境研究方面的人才,为真正实现资源—环境一体化提供软硬件保障。

## 参考文献 (References) :

[1] du Bray F A ed. Preliminary Descriptive Geoenvironmental Models

- of Mineral Deposits[R]. US Geological Survey Open-File Report, 1995. 95-231. 272.
- [2] Cox D P, Singer D A. Mineral deposit models[J]. US Geological Survey Bulletin, 1986, 1693. 279.
- [3] USGS Central Region Mineral Resources Team. Background and baseline[EB/OL]. <http://minerals.cr.usgs.gov/projectpages/07bkgndsbns.htm> 1, 2001-10-01.
- [4] USGS Eastern Mineral Resources Team. Geological Background and Baselines, Northern Wisconsin[EB/OL]. <http://minerals.usgs.gov/east/baselines/index.html> 1, 2000-06-02.
- [5] Posey H H, Michel R L, Thurman E M, et al. Summitville Forum Proceedings[J]. Colorado Geological Survey Special Publication 1993, 38. 375.
- [6] Miller G C, Lyons W B. Calculations of geochemical baselines of stream waters in the vicinity of Summitville, Colorado before historic underground mining and prior to recent open-pit mining[A]. In Filipek L H, Plumlee G S, eds, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part B: Case Studies and Research Topics [C]. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 1999. 6B. 504-514.
- [7] USGSMDIG. Mine Drainage Interest Group. US Geological Survey website[EB/OL]. <http://mine-drainage.usgs.gov/mine/>, 2002-05-01.
- [8] Nash J T. Hydrogeochemical Data for Historic Mining Areas, Humboldt Watershed and Adjacent Areas, Northern Nevada[R]. US Geological Survey Open-File Report 00-0459, 2000.
- [9] Nash J T. Hydrogeochemical Investigations of Some Historic Mining Areas in the Western Humboldt River Basin, Nevada[R]. US Geological Survey Digital Data Series, Report, DDS-0070, 2001.
- [10] Hammarstrom J M, Eppinger R G, Van Gosen, et al. Case Study of the environmental signature of a recently abandoned, carbonate-hosted replacement deposit: The Clayton Mine, Idaho: US Geological Survey Open-File Report 02-010[EB/OL]. <http://pubs.gov/openfile/of02-010/>, 2002.
- [11] Van Gosen B S, Eppinger R G, Hammarstrom J M, et al. Analytical Data for Reconnaissance Geochemical Samples from Mine Dumps, Stream Sediments, and Waters at the Thompson Creek Tungsten Mine, Custer County, Idaho: US Geological Survey Open-File Report 00-0239[EB/OL]. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/openfile-reports/ofr-00-0239/>, 2000-08.
- [12] Eppinger R G, Briggs P H, Brown Z A, et al. Baseline geochemical data for stream sediment and surface water samples from Panther Creek, the Middle Fork of the Salmon River, and the Main Salmon River from North Fork to Corn Creek, collected prior to the severe wildfires of 2000 in central Idaho: US Geological Survey Open-File Report 01-0161[EB/OL]. <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-0161/>, 2000.
- [13] Godhaber M B, Biegelow R C, Hatch J R, et al. Distribution of a suite of elements including arsenic and mercury in Alabama coal: US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2333[EB/OL]. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/mfm/aps/mf2333/>, 2000.

- [14] Mueller S, Goldfarb R J, Verplanck P. Groundwater Studies in Fairbanks, Alaska—A Better Understanding of Some of the United States Highest Natural Arsenic Concentrations[R]. US Geological Survey Fact Sheet FS-III-OI, 2001.
- [15] Ayuso R, Foley N, Ayotte J, et al. Pb isotopes, arsenic sources and enrichment pathways linking sulfides from mines and unmineralized rocks to secondary iron oxides, coastal New England: Arsenic in New England[A]. In: A Multidisciplinary Scientific Conference[C]. Manchester, New Hampshire, 2002.
- [16] Foley N, Ayuso R, Ayotte J, et al. Mineralogical pathways for arsenic in weathering meta-shales: An analysis of regional and site studies in the Northern Appalachians: Arsenic in New England[A]. In: A Multidisciplinary Scientific Conference[C]. Manchester, New Hampshire, 2002.
- [17] Bailey E A, Gray J E, Theodorakos P M. Mercury in vegetation and soils at abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, and Analysis 2002 (2): 275-286.
- [18] Gray J E, Theodorakos P M, Bailey E A, et al. Distribution, speciation, and transport of mercury in stream sediment, stream water, and fish collected near abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA[J]. Science of the Total Environment, 2000, 260: 21-33.
- [19] Gray J E, Bustos D M, Greaves I A, et al. Evaluation of mercury contamination at the Palawan Quicksilver Mine, Palawan, Philippines[A]. In: 6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant[C]. Minamata, Japan, 2001.
- [20] Gray J E, Weaver J N, Labson V F. Mercury contamination from small-scale artisanal gold mines in the Brownsveg area, Suriname[A]. In: US Environmental Protection Agency Hardrock Mining Conference[C]. 2002.

## THE UPDATES ON GEOENVIRONMENTAL STUDY OF MINERAL DEPOSITS IN THE UNITED STATES AND PROPOSED STRATEGY FOR CHINA

WANG Ming-qi<sup>1</sup>, REN Ping<sup>1</sup>, YAN Guang-sheng<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The data from the US Geological Survey's official Web site ([www.usgs.com](http://www.usgs.com)) and some publications in recent years were collected and up-to-date results from the study of geoenvironment of mineral deposits was summarized. The USGS recent studies were mainly focused on the geoenvironmental models of mineral deposits (32 different types of deposits including volcanic-associated massive sulfide deposits, Sedex, porphyry Cu, Carlin-type Au and Mississippi-valley type Pb-Zn), geochemical background and baseline of mineral deposits and mines, comprehensive study on watershed environmental characterization of mineral deposits, specific study of environmental effects in particular mineral deposits. USGS intensive research on the geoenvironment of mineral resources gives the traditional geologists in China a good example of how to survive the hardship because of thinking mine industry in highly competitive academic world. Based on the studies of USGS and China's current situation, the authors suggest that it would be highly recommendable for China Geological Survey to initiate the likelihood study of geoenvironmental models of mineral deposits and environmental assessment indexes of strategic mineral deposits using the data from mineral resource survey and exploration as soon as possible.

**Key words:** Geoenvironment of mineral deposits; Geoenvironmental model of mineral deposits; Geochemical background and baseline; Environmental effects of mineral deposits.