德兴铜矿大坞河流域环境特征*

Environmental characteristics of the Dawu river valley in the Dexing copper mine

初 娜，赵元艺，李德先

（中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037）

CHU Na, ZHAO YuanYi and LI DeXian

(Institute of Mineral Resourses, CAGS, Beijng 100037, China)

摘 要 文章主要研究德兴铜矿大坞河流域水、土壤、植物的重金属污染情况，分析重金属在水、土壤、植物体内的迁移和转化。发现大坞河流域水体、底泥和土壤中 Cu 元素含量严重超过国家标准，其他元素的污染较轻。而植物体内 Cu 没有超标，而 Cd、Pb 元素在植物体内得到富集。通过对土壤元素形态的研究发现 Cd、Pb 元素存在的形态容易被植物吸收，Cu 元素存在形态较稳定，导致植物体内中 Cd、Pb 的富集。

关键词 德兴铜矿；土壤；重金属形态；水体；植物

近年来，国内外有关矿山环境研究的成果越来越多，主要涉及到矿床风化淋滤、废石堆、尾矿、矿山排水、废渣、废水、烟尘等矿山废弃物中所含重金属和有毒物质对环境介质（土壤、水、植物及人体等）造成的危害和潜在效应等诸多方面（卢龙等，2001；李红阳等，2001；吴攀等，2001；许乃政等，2001）。本文主要通过研究德兴铜矿区水体、土壤和种植物中重金属含量的情况，得出德兴地区大坞河流域的环境特征，从而为矿区进一步环境治理打下基础。

1 德兴铜矿和大坞河流域简介

德兴铜矿位于北纬 29°41′，地处江西上饶德兴市境内。矿区为低山丘陵地貌，海拔 65～500 m，地势起伏较大、沟岭相间、岩层大部分为千枚岩，土壤为第四纪亚粘土，沟谷地带为冲积土。德兴铜矿为我国最大的露天开采铜矿山，自 1958 年露天开采，其中大规模的开采历史已有 20 余年。该矿也是中国有色金属工业的重要生产基地。目前已探明了 Cu、Zn、Pb、Mn、Au、Ag、W、Cr、Fe、Mo、Sn 等 30 余种矿藏，其中 Cu 的储量超过 500 万吨，Au 的储量达 580 t。该矿田由铜厂、富家坞和朱砂红 3 个斑岩铜（钼）矿床组成。目前开采的是铜厂铜矿床。铜厂矿区被大坞河由南东向北西流过，并将其分为南山和北山两个采矿区，铜厂铜矿开采的废石主要堆放于南山和北山两个废石场（朱训等，1983）。德兴铜矿山有关功能区分布示意图见图 1。

德兴铜矿地区有大坞河贯穿其中，在矿区北部汇入乐安河，乐安河最终汇入鄱阳湖。大坞河河流全长 14 km，汇水面积 34 km^2。德兴铜矿区排石场和电解铜厂每年都排放大量的酸性废水，由于种种原因大部分的酸性废水在没有经过处理的情况下就排入大坞河。大坞河汇集了矿床渗出水、废石场产生的酸性废水以及以泗洲选矿厂为主排出的碱性废水，造成了对大坞河下游、乐安河及其所涉及到鄱阳湖水的不同程度的污染及生态破坏，在一定程度上影响了沿河两岸人民群众的身心健康（赖发英等，2004；黄长干等，2004）。本文主要是对德兴地区大坞河流域水体、沿岸土壤和植物进行采集研究，主要针对 Cu、Pb、Cd 等重金属。发现大坞河流域的重金属污染严重，水体、土壤和植物都受到不同程度的污染。

*本文得到国土资源专项子项目《矿床地质环境模型与环境评价研究》（编号：30302408-2）资助
第一作者简介 初 娜，女，1983 年生，硕士研究生，主要从事矿山环境研究。E-mail:chuna0605@163.com

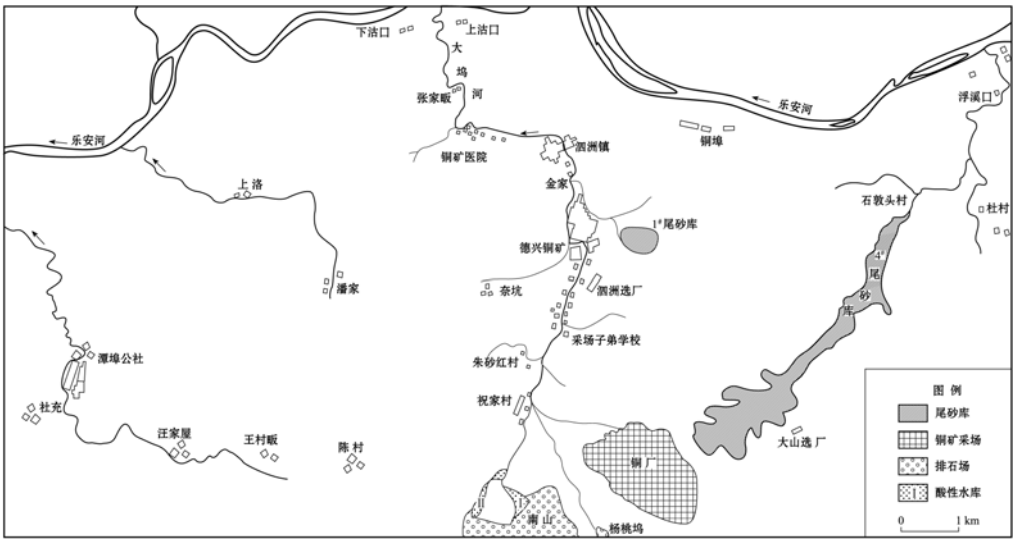


图 1 德兴铜矿山有关功能区分布示意图

2 大坞河流域环境特征

2.1 水体和河床底泥

样品分析结果表明，矿区源区（祝家村地区）的主要污染元素为 Cu、Zn、Cd，且污染严重。Cu 的浓度均在几万 μg /L，最高达 503 000 μg/L，为国家Ⅲ类水标准的 503 倍；Zn 的浓度多为几万至几千μg/L，最高达 12 150μg /L，为国家Ⅲ类水标准的 12.15 倍；Cd 的浓度绝大多数在几十至上百个 μg /L，最高含量 170 μg /L，为国家Ⅲ类水标准的 34 倍。源区主要有低品位矿石淋滤场，在酸性水和雨水的淋滤下重金属容易被活化，尤其是 Cu、Cd 元素。

大坞河流域水体中主要的污染元素 Cu，在 pH 值较低的样品中 Cu 元素超过国家Ⅲ类水标准，浓度一般在几千 μg /L，超出国家标准的几倍，由上游－中游－下游，Cu 的污染程度减弱，上游朱砂红桥头地表水中 Cu 含量最高，为 16 419 μg/L，为国家标准的 16.419 倍；中游在德铜医院办公楼处地表水中的 Cu 含量最高，达到 4 460 μg/L，为国家标准的 4.46 倍；下游在上沽口地表水中 Cu 含量最高，达 2 756 μg/L，为国家标准的 2.756 倍。Pb、Cd 元素含量均在国家三类水标准之下，污染较轻。大坞河流域 pH 值在 5~7 之间，个别样品 pH 值 3~4，使得这些样品中 Cu、Zn 含量偏高。酸性废水的排入使得大坞河河水的 pH 值降低，重金属元素容易迁移和转化。

大坞河流域底泥中主要污染元素为 Cu 和 As，无论表层还是深层，底泥中的 Cu 含量均超过国家Ⅲ类土标准，表层底泥在泗洲镇桥下河床沉积物中达到最高，2 395 μg/g，为国家标准的 5.99 倍，As 元素在大坞河流域也普遍超标，多数含量在 30~40μg/g，在泗洲镇桥下沉积物中达到最高，75.7 μg/g，为国家标准的 2.52 倍。其余元素在整个大坞河流域均未超过国家Ⅲ类土标准。表层底泥一般较深层底泥重金属含量要低一些，大坞河中游张家畈新区表层底泥 883 μg/g，深层底泥含量达 2 999 μg/g。而 As 含量在表层和深层底泥中的含量则较均一，没有明显的变化规律。

2.2 土壤

重金属是土壤环境中一类具有潜在危害的污染物。它们在土壤环境中一般不易随水流失，不能被微生物分解；相反地，重金属常在土壤环境中富集，甚至转化为毒性更大的甲基化合物，更为严重的是，土壤中的重金属具有隐蔽性，在其积累初期，毒害作用并不明显，因此不易被人们轻易察觉或关注，但一旦当其毒害作用表现出来，就难以消除。另外，受酸雨及长期施用化肥等因素的影响，土壤酸化较明显，pH 值较低，从而使土壤中重金属的活动性加强。

大坞河源区土壤样品中的 Cu 元素超标，如酸性水库排出口表层土壤的最高含量达到 896 μg/g，为国家标准的 2.24 倍。其他元素均未超标。该区 pH 值在 4~6 范围内，土壤偏酸性。源区土壤污染程度较地表水污染轻，从祝家村南 24 年前大水浸过和未浸过地区的重金属总量比较（图 2），被大水浸过的地区，土壤样品中的重金属元素含量普遍高于未浸过地区，说明地表水对土壤的污染起着很重要的作用。

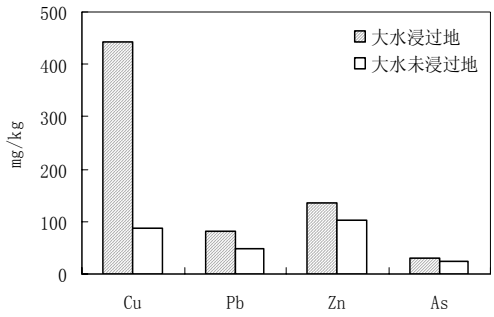


图 2　源区地表水对土壤的影响

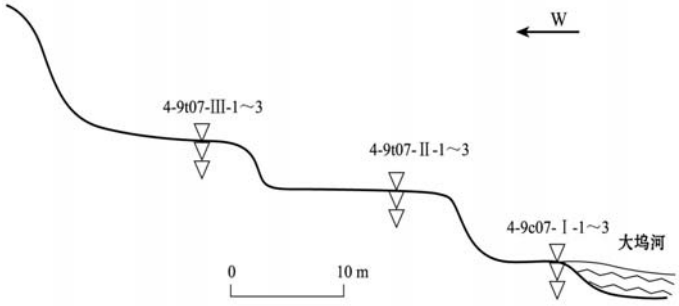


图 3　大坞河上游朱砂红土壤采样位置示意图

大坞河上游土壤所有元素含量均未超过国家III类土壤标准，土壤中重金属含量较均一，浓度范围相对较集中。pH 值在 5~7 之间，个别样品 3~4。从表层到深层，土壤中重金属含量无明显变化。说明上游土壤受源区影响较小，土壤环境相对较稳定。上游地区离河岸远近不同土壤样品中重金属含量则会发生变化（图 4），图 2 中每个剖面上不同深度土壤重金属量不同，越近河岸重金属含量越大（尤其是 Cu）。中游地区 Cd 与太湖水稻土的背景值相近，Pb、As、Se、Cr 比太湖水稻土的背景值略高，Mo 在远离大坞河处比太湖水稻土背景值低；仅有 Cu 较高，在离大坞河最近的地方（4-18t01）Cu 含量最高，达 722~857 μg/g，地表的比深处低，pH 值地表的比深处的也低，显示大坞河水未通过地下水的方式对其邻近土壤影响（图 4）。



图 4　大坞河中游德铜医院南土壤样品采样位置图

下游地区多个样品中 Cu 元素含量明显高于上、中游地区，而 Cd 元素含量低于上、中游地区。可能与下游地区河床周围没有岩石护栏有关，导致土壤颗粒从河水中更多的吸附 Cu 离子，而 Cd 元素有可能已经发生迁移转化（如进入到植物体内）使得含量有所下降。在图 5 中（样号：4-16t03-1～8），由地表向深处 Zn、Cu、pH 值呈降低趋势，特别是 Cu 由地表的 1 127 μg/g 降至 475 μg/g；Cd 总体上也呈降低趋势，但在中部略呈升高特征，显示出大坞河水在该处未从地下影响地表土壤，该处土壤中的 Cu 等元素的超标可能与大坞河河水位上涨后漫过此地有关。在距大坞河略近的地段(样号：4-16 t01-1～3)，由地表向下，Cu、Pb 呈上升趋势，Zn 略呈升高趋势，充分显示出大坞河水以地下水的方式影响该地土壤，该处是否有与大坞河连通的构造等通道需深入研究。大坞河更近处剖面（样号：4-16t07-1～2），地表所有元素均比深处的元素含量高，并且地表的 pH 值略小于深处，显示出该处受大坞河水位上涨后漫过地区的特征。

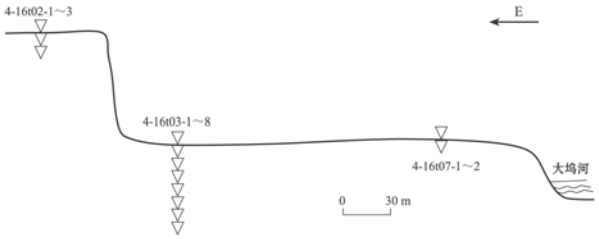


图 5　大坞河下游下沽口村样品采样示意图

大坞河流域沿岸土壤离河岸越近的地方，土壤中重金属含量越大，受到大坞河水的影响也大。大坞河水一般在丰水期能漫过沿岸的土壤，使得河水中的部分重金属被土壤颗粒吸附。因此，建议当地的居民在种植作物时，尽量离得河岸要远。

2.3　植物

在本研究工作中主要采集了德兴地区的小白菜和水稻两种植物。总体看来，仅祝家村 10-26-B02 号小白菜样品中 Cd 含量较高，为 103 ng/g，超过国家食品卫生标准，在大坞河中游、下游的个别样品中含量偏高，中游德兴铜矿新区的白菜样品中达到最高含量，为国家标准的 1.6 倍。其他元素均未超过国家食品卫生标准。与小白菜对应的土壤数据中的重金属含量对比，虽然在土壤中 Cu、Pb、Zn、

As 等元素含量都比较高，但在小白菜样品中这些元素的含量却很低，相反，土壤中含量较低的 Cd 元素在小白菜样品中却得到了富集，植物对土壤中重金属的选择性吸收决定了植物体内重金属含量的多少。

在下沽口村采集水稻样品时，见及受大坞河酸性水污染过的 T1 阶地上种植的稻谷壳外有明显的铁锈斑，并且当地居民也不吃这种稻谷碾的大米。据此情况，为了深入研究稻谷所碾大米及稻谷壳的重金属元素含量特征，以期与对照区进行对比，故将所采集的所有稻谷的大米和稻谷壳分别测试重金属元素含量。对 Pb、As、Se 3 种元素，谷壳中含量均比大米的为高，可能是谷壳比大米易于吸收这 3 种元素所致。与我国大米的标准相比，Pb、Cd 均比其高出较多，Pb 为其 2.1～2.9 倍，Cd 为其 1.4～1.5 倍。因此大坞河流域大米的 Pb、Cd 均超过国家标准，但 As、Hg 均不超标。与大米一样，对稻壳样品，也以大坞河流域的 Pb 超过国家标准，为国家大米标准的 6.6 倍。

大坞河流域小白菜中 w_{Cd} 超标，水稻中 Pb、Cd 超过国家卫生标准，可能是矿区酸性废水的排放、矿区固体废弃物的堆积以及碱性废水的排放等导致矿石中的重金属被活化进入土壤或地下水中，当种植作物时重金属就很容易发生富集。

2.4 水体、土壤和种植物综合讨论

通过对大坞河流域水体、土壤植物中重金属的含量分析，笔者已经发现在水体、土壤中含量超标的 Cu 元素在植物体内却很少，反而是水体、土壤中含量不大的 Cd、Pb 元素在植物体内得到富集，危害人体健康。因此我们研究了大坞河流域重金属的形态，进一步分析重金属在土壤中存在的状态，以研究其在土壤-植物中的迁移和转化。

本文章样品分析的元素形态有：水溶态、吸附态、碳酸盐态、有机结合态、硫化物态和硅酸盐态 6 种，对大坞河流域土壤分析的元素有 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Mo、Pb、Zn 8 种，由中国地质科学院地球物理地球化学研究所进行分析。

Cr、Zn、Mo 元素以硅酸盐态为最主要的存在形态，对环境造成的影响小，能稳定的沉积于土壤中，生物有效性小。As、Hg 元素由于其本身的亲硫性再加上本地区矿中 S 储量大，以硫化物态为主要形态，不易被植物吸收，稳定性比较大。Cu 元素对生物有效性大的形态(可交换态、碳酸盐态)含量较低，大部分样品中 Cu 以不活跃的有机态、硫化物态和硅酸盐态存在，被植物吸收的可能性小。所以植物体内 Cu 含量不高。

Cd 元素由于其碳酸盐态比例大应加以注意。其中 Cd 在上游的碳酸盐态（含量为 103ng/g）占 30%左右，下游（含量为 34ng/g）占到 10%～30%，此形态在矿区低 pH 下易于被植物吸收，从而到达人体，危及人类健康。江西地区多酸性土壤，并且大坞河流域主要为酸性水，Cd 的碳酸盐态很容易被释放出来，易被植物吸收。Pb 元素以有机结合态(含量是 26.5 μg/g)为主要形态（百分占到 40%～60%），其易与有机物形成稳定络合物，被植物吸收。
所以植物体内 Cd、Pb 元素含量大，超过国家卫生标准。

3 结 论

①大坞河流域水体中 Cu 元素污染严重，在低 pH 值的地区 Cu 元素含量超过国家标准的几倍。从上游地区到下游，Cu 污染有所减轻。水体中 Cd、Pb 污染较轻。大坞河流域底泥中 Cu 和 As 为主要的污染物质。②大坞河流域土壤中 Cu 元素含量严重超标，其他元素含量均在国家三类土壤标准之下。大坞河沿岸土壤离河岸越近，重金属污染越是严重，大坞河水在有些地区还通过地下水方式影响土壤。③植物样品中 Cu 元素污染较轻，Cd、Pb 元素在植物体内得到富集，危害人体健康。④大坞河流域重金属形态中，Cu 元素易被植物吸收的形态占的比例小，而 Cd、Pb 元素易被植物吸收的形态比例较大。

致 谢 参加工作的还有张光弟、王金生、蔡剑辉、熊群尧、李九玲等，有关样品的元素总量由江西省地质试验测试中心分析，元素形态由中国地质科学院物化探研究所分析。野外工作期间得到德兴铜矿地测部、环保部等部门的支持，得到孙信芽副总经理的指导，特此致谢。

参 考 文 献

黄长干, 张 莉, 余丽萍, 等. 2004. 德兴铜矿同污染状况调查及植物修复研究. 江西农业大学学报, 26(4): 629~632.
赖发英, 刘燕德, 等. 2004. 重金属污染土壤的生态工程治理实验研究. 农机化研究, (6): 179~181.
李红阳, 牛树银. 2001. 常见硫化物的氧化作用及其环境效应. 北京地质, 13(2): 6~11.
卢 龙, 王汝成, 薛纪越, 等. 2001. 硫化物矿物的表面反应及其在矿山环境研究中的应用. 岩石矿物学杂志, 20(4): 387~394.
吴 攀, 刘丛强, 杨元根, 等. 2001. 矿山环境中(重)金属的释放迁移地球化学及其环境效应. 矿物学报, 21(2): 213~218.
许乃政, 陶于祥, 高南华. 2001. 金属矿山环境污染及整治对策. 火山地质与矿产, 22(1): 63~70.
朱 训, 等. 1983. 德兴斑岩铜矿. 北京: 地质出版社. 1~50.

http://www.kcdz.ac.cn