

德兴铜矿床（山）地质环境模型重建*

Reconstruction of the geo-environment model for the Dexing copper deposit (mine)

赵元艺, 张光弟, 初 娜

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

ZHAO YuanYi, ZHANG GuangDi and CHU Na

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

摘 要 文章建立了德兴铜矿床（山）包括影响环境因素在内的, 开采前、开采过程及矿山部分功能区关闭之后的环境特征四方面的地质环境模型。

关键词 德兴铜矿; 酸性喷淋场; 尾砂库; 种植物; 矿床地质环境模型

德兴铜矿位于赣东北地区, 铜金属储量达 900 万吨, 为世界级超大型矿床。该矿床在 30 余年的开发过程中, 为国家和地方的经济与社会的發展作出了巨大贡献; 在矿山环境保护方面采取了一系列较为有效的措施, 总体上是矿山环境较好的地区, 但在部分地区仍存在一定的环境问题。本文在前期研究(赵元艺等, 2003)的基础上, 重建其地质环境模型, 补充最新研究成果, 为更好地治理矿山环境提供科学依据。该模型包含 4 方面的内容: 影响环境的因素, 开采前、开采过程及矿山部分功能区关闭之后的环境特征。

1 影响环境的因素

1.1 矿床地质

德兴铜矿床由铜厂、富家坞、朱砂红 3 个矿床组成, 矿床的岩体顶部大部分已被剥蚀, 矿体自然剥蚀作用对地表地球化学升高场提供了物源。容矿围岩有花岗斑岩和九岭群九都组千枚岩、凝灰质千枚岩等, 主矿体产于岩体与围岩接触带。在岩体内部主要为钾长石化和零星的钠长石化蚀变, 在岩体与围岩接触带形成以接触带为中心的蚀变矿化分带, 并部分叠加在岩体内侧的钾长石化之上。围岩为早期钾化蚀变和后期以接触带为中心的环状蚀变分带。由原岩与蚀变岩化学成分对比可见, 蚀变岩相对原岩 Si、K、Fe³⁺增加; Na、Fe²⁺、Mg 减少, 特别是 Na 的减少相当明显。

矿石的矿物成分达 90 种以上, 其中金属矿物为 50 多种, 并以金属硫化物为主。金属硫化物在矿石中的含量一般为 45%~5%, 主要为黄铁矿和黄铜矿。黄铁矿(平均含量 1%~5%)含有 Co、Ni、Cu、As、Te 等。黄铜矿(平均含量 1%~2%)含 As、Au、Ag、Se 等微量元素。

1.2 矿床地球化学

矿床原生地球化学研究结果表明, Cu、Mo、Au、Ag、W、Sn 等元素含量按矿体→蚀变岩→围岩递减; As 主要集中于外接触带围岩和蚀变岩中。在接触带矿体上出现 Cu、Mo、Ag、Au 浓集中心, 垂向上由上向下大致呈 Ag→Cu→Mo→W、Sn 变化规律。

土壤地球化学异常呈北南向带状和环状复合展布, 面积约 25 km²。异常外带由 Pb、Zn、As、Ni、Co、

*本文得到国土资源部专项子项目《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 赵元艺, 男, 1966 年生, 研究员, 主要从事矿床地球化学及其环境效应研究。E-mail: yuanyizhao2@sina.com.cn

Mo 等元素组成, 内带由 Cu、Mo、Ag、W、Sn、Bi 等组成, 呈面状或零星分布于矿体所在部位。铜厂露头矿上方有面积大、浓度高、形状规则的 Cu、Mo、Ag 异常, 表明矿体被剥蚀较深。

水化学异常呈北西向展布, 面积大于 20 km²。包括 Cu²⁺、SO₄²⁻、pH 等的异常, 异常下限为: Cu²⁺ ≥ 0.04 mg/L、SO₄²⁻ ≥ 4 mg/L、pH ≤ 7, 浓度中心在矿体露头或隐伏矿床强蚀变带上方时, Cu²⁺ ≥ 0.64 mg/L、SO₄²⁻ 16~64 mg/L、pH ≤ 5。

1.3 矿床表生作用

矿床表生带厚度 5~40 m, 平均厚 13 m (朱训等, 1983)。分为氧化带和次生硫化物富集带, 氧化带位于潜水面之上, 是表生带中最发育的一个带。Cu 在氧化带中被氧化形成的硫酸携带流失, 残留少量 Cu 可形成孔雀石、蓝铜矿和胆矾等。次生硫化物富集带位于潜水面下, 其厚度受地形坡度影响较大, 一般 0~12.67 m, 最厚可达 38 m, 平均厚 3.28 m。淋滤带的 Cu 在此带富集形成辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、斑铜矿等。由于硫酸酸性氧化作用, 矿石呈疏松状。

可以看出, 斑岩铜矿体次生氧化和富集带将产生酸性环境^①, Cu 和 Fe 等在这种环境中淋滤、迁移、富集。由于矿区处于温带多雨区, 雨水充沛、氧化淋滤作用强。地形山高坡陡、切割较深, 潜水面坡度大, 地下水流动快, 容易出露地表。矿体多在山脊部位, 易风化淋滤, 而不利于次生富集。因此本区表生带容易造成酸性淋滤和 Cu、Fe 等的大量流失, 并向大坞河方向迁移, 影响大坞河流域水土生态环境。

1.4 采矿、选矿方法及相关功能区

目前德兴铜矿开采的主要为铜厂铜矿, 自 1971 年至今为露天采矿, 选矿工艺为浮选法, 开采的废石堆放于南山(即祝家村排石场)和北山两个废石场。其中南山废石场占地约 2.56 km², 废石堆放量约 8 858 万 m³; 北山堆积场占地 1.12 km², 堆放量 9 408 万 m³。南山堆放场设计有年生产电解铜 800~1 000 t 的酸性喷淋场、3 个酸性集液池和一个电解铜厂。回收铜后, 铜含量较低的酸性水再次用于对废石场的喷淋。其中 2 个酸性集液池酸性废水由集液池坝基排出进入大坞河。北山废石场位于 4[#]尾砂库北, 未进行酸性堆淋。大山子选厂每日处理 8 万吨矿石, 每吨矿石需 4 t 水、1 kg 石灰、20 g 乙基黄药、40g 2[#]油(发泡剂)、300 g 水玻璃。选矿废水连同尾砂排入 5 km 外的 4[#]尾砂库。经分离后, 尾砂堆积成尾砂坝, 废水进入水库, 再用抽水泵循环进入选厂。部分废水由坝基浸出流入小溪最终汇入乐安河。

2 矿山开采前 Cu、S、Mo 三种元素对环境的贡献

计算结果表明, Cu 和 S 分别向环境流失了约 2.1 万吨和 7.6 万吨。Mo 流失 941 t。因此, Cu 和 S 对环境贡献明显, 而 Mo 对环境影响较小。这从土壤和水化学异常可以得到印证, Cu 和 SO₄²⁻、pH 异常沿大坞河水系展布, 面积大于 20 km², 显然是由矿体表生氧化、淋滤、迁移所形成。而 Mo 则异常规模较小, 且局限在矿体附近, 未形成较大的迁移扩散晕。

3 矿山开采过程中的环境特征

3.1 主要金属硫化物

黄铁矿由地下被带至地表后经过了一系列复杂的化学反应(吴攀等, 2001)。其在氧化条件下, 产生 3 方面的变化: ①产生酸, 这是人工开采产生矿业酸水危害的主要机理; ②产生氧化剂 Fe³⁺, 进一步影响其它化合物氧化的程度和速度; ③黄铁矿的褐铁矿化使矿物组分和结构产生改变, 从而可能导致黄铁矿中原来赋存的其他重金属元素 As、Cd、Cu、Hg、Mo、Pb、Zn 等发生状态的改变和迁移, 对环境产生金属污染。

由于人工堆浸, 低品位矿石中黄铜矿的 Cu²⁺被最大限度地释放于喷淋溶液中, 但少量的 Cu²⁺及矿物中的以及其他重金属离子依然是矿山的主要污染源之一。

① Edward A du Bray, 主编. 1999. 矿床地质环境模型. 中国地质科学院成矿远景区划室编译. 84-96.

3.2 水体

德兴地区的地下水(井水)水质较好。大坞河源区之一的祝家村等地的地表水主要污染元素为 Cu、Zn、Cd, 且污染严重。南山废石场和喷淋场产生的酸性水流入集液池中, 主要用于电解回收铜。但集液池水并未完全回收利用, 部分被排入大坞河成为大坞河及其沿岸水、土、种植物的污染源, 据 2002 年 10 月的调查结果, 其 pH=2.27, Cu 含量为国家 III 类水标准的 101 倍, Zn 为 109 倍, Cd 为 19~30 倍。经计算, 该源头每年至少输出 Cu 202 t、Zn 22.04 t、Cd 307 kg。大坞河地表水主要污染元素为 Cu; 由上游到中游再到下游, Cu 的污染程度减弱。大坞河上游(朱砂红)、中游地区(德铜医院)、下游(下沽口村)距大坞河较近处, 推测河水对土壤的影响以水位上涨时漫过后的影响为主, 而以地下水方式影响较小。在有构造等通道与河水连通地段, 河水以地下水的方式影响所通过地区的土壤。大坞河水流至沽口村时(汇入乐安河之前), pH=3.76, Cu 为国家 III 类水标准的 2.7 倍。说明大坞河水经过十几公里的流淌, 但仍具有很强的腐蚀性 & 重金属污染能力。

3.3 土壤与河床沉积物

源区土壤的主要元素为 As, 含量超过了国家 III 级土壤标准, 土壤的 pH 值在 4~6 范围内, 偏酸性; 源区底泥的主要污染元素为 Cu 和 As。

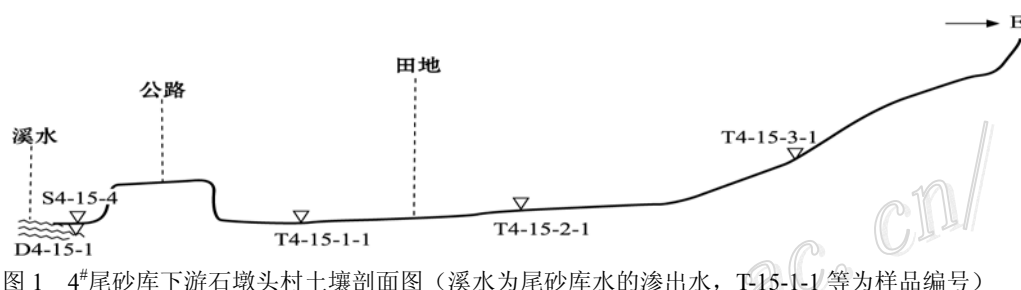


图 1 4[#]尾砂库下游石墩头村土壤剖面图(溪水为尾砂库水的渗出水, T-15-1-1 等为样品编号)

表 1 4[#]尾砂库下游石墩头村土壤元素含量 (mg/kg)

样品编号	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Mo	Hg	Cr	pH 值	取样深度/m
T4-15-1-1	108	941	2996	16.8	21.8	6.81	0.072	86.04	5.37	0-15
T4-15-2-1	50.5	238	195	0.76	14.1	1.96	0.28	75.52	4.90	0-10
T4-15-3-1	39.8	173	174	0.60	12.5	1.08	0.13	77.28	4.55	0-10

注: 样品编号同图 1。

低品位矿石堆浸场的土壤中 As 以硫化物态占主导; Cd、Cu、Mo、Pb、Zn 都以有机物结合态为主要的存在形式; Cr 以硅酸盐态为主; Hg 以硫化物态占主要。大坞河流域上、中、下游土壤中重金属形态 Cr、Zn、Mo 以硅酸盐态为最主要的存在形态, 对环境造成的影响小。As、Hg 以硫化物态为主要形态。硫化物态只在氧化条件下分解释放, 易造成二次污染。Cd 元素的碳酸盐态比例大应加以注意。其中 Cd 在上游的碳酸盐态占 30% 左右, 此形态在矿区低 pH 下易于种被植物吸收, 从而危及人类健康。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。Cu 元素对生物有效性大的形态(可交换态、碳酸盐态)占到 25%。Pb 元素以有机结合态(含量 26.5 μg/g)为主要形态, 其易与有机物形成稳定络合物, 有潜在的毒性, 可能会造成二次污染。

4[#]尾砂库下游稻田土壤样品分析结果显示, 距尾砂库渗出的溪水由近至远 Cu、Pb、Zn、Cd、As、Mo、pH 值均呈降低趋势(图 1、表 1), 充分表明尾砂库水(碱性水)对邻近土壤的影响。除 Cr 外, 其它 7 个元素形态中硫化物态占比例最大, 所占比例在 50%~90% 范围内。而 Cd 在土壤样品中吸附相和碳酸盐相的比例仍然很大, 分别占到 19.1% 和 23.9%, 虽然明显低于其在尾砂中所占的比例, 但容易被植物吸收。Cu、Pb 除了硫化物相外, 碳酸盐相、有机相和残渣相的比例相当, 都在 10%~20% 范围内, 容易被植物吸收的形态虽然比尾砂中含量降低, 但被植物吸收的可能性仍然存在。Cd、Pb 在大米中的含量超过国家标准, 与土壤中的元素易被植物吸收的形态的高含量研究结果相对应。

经计算,德兴铜矿在30余年的开矿过程中,大坞河总共约有0.288吨Pb、0.021吨Zn、144.657吨Cu、2.091吨As和4.864吨Mo沉积在河床中。有约5915.34吨Cu和近于全部的Zn由大坞河水带入乐安河,部分汇入鄱阳湖。

3.4 尾砂

4[#]尾砂库尾砂样品中,Cd元素吸附相占到18.1%,碳酸盐相占到29.6%;Cu的碳酸盐相占到17.4%,Pb的碳酸盐相占到26.4%,这3个元素的迁移性比较高,对环境的潜在危害比较大。在4[#]尾砂库尾砂样品中,除了Cr元素外,其它元素的硫化物相都是最主要的形态,比例在60%~90%范围内,硫化物相在还原性土壤中不易发生反应,在氧化性环境中容易发生反应释放。

3.5 种植物

德兴铜矿大坞河流域与4[#]尾砂库地区的大米中主要的污染元素为Pb、Cd两种重金属元素。小白菜的主要污染元素为As、Pb、Cr。

3.6 污染源项与土壤环境容量的确定

污染源项的计算结果表明,大坞河祝家村段酸性水为主要污染源;Cu元素为主要污染物。德兴地区土壤环境容量和污灌年限的定量计算表明,在大部分地点中Cu元素造成的污染较大,用大坞河水灌溉土壤时,得到的污灌年限最小。Cd、Pb、As三个元素在德兴地区造成的污染因地点而有所不同。从各元素的污灌年限可以看出,用乐安河上游水灌溉造成的污染最小,其次用井水。故建议尽量用乐安上游水灌溉。

4 矿山部分功能区关闭之后的环境特征

1[#]尾砂库已经关闭,可作为矿山部分功能区关闭之后的环境研究对象之一。从尾砂中渗出的水质较好,达到了国家Ⅲ类水的标准。尾砂上覆的土壤中Cd、Pb元素碳酸盐相含量相对较高,易于被植物吸收,与1[#]尾砂库复垦土壤的白菜样品中元素分析相对应,小白菜中Cd、Pb元素含量超过国家蔬菜标准,但其它元素含量正常。1[#]尾砂库尾砂与4[#]尾砂库尾砂对比发现,1[#]尾砂库尾砂中Cd、Cu元素碳酸盐相含量增加,使其迁移性和活动性增强;而Cr、Pb、Zn的碳酸盐相比例降低,使其迁移性和活动性降低,对表层植物的潜在影响减小。

5 结论

①特大铜矿床为影响环境的原始源;②埋藏浅、剥蚀深是造成重金属环境背景值异常的主要因素;③大规模废石排放场和低品位矿石酸性堆淋是大坞河流域酸性水和重金属污染的人工污染源;4[#]尾砂库尾砂中Cd、Cu、Pb的碳酸盐相占一定比例,其迁移性比较高,对环境的潜在危害比较大。④1[#]尾砂库已经关闭,但从尾砂中渗出的水质较好,达到了国家Ⅲ类水的标准;尾砂上覆的土壤中Cd、Pb元素碳酸盐相含量相对较高,易于被植物吸收,小白菜中Cd、Pb元素含量超过国家蔬菜标准。

致谢 本项工作得到国土资源部专项子项目《矿床地质环境模型与环境评价研究》(编号:30302408-2)资助,本文是在该项目结题报告(完成时间2006年8月)的基础上编写而成。参加工作的还有王金生、蔡剑辉、李德先、熊群尧、李九玲等,有关样品的元素总量由江西省地质实验测试中心分析,元素赋存状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生产部、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

- 吴攀,刘从强,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.
赵元艺,张光弟,蔡剑辉,等. 2003. 德兴铜矿床地质环境模型初探. 西北地质, 36(增刊): 126~129.
朱训,黄宗轲,芮宗瑶,等. 1983. 德兴斑岩铜矿. 北京:地质出版社. 1~214.