

矿产资源开发的重金属污染分布特征研究 ——以雅砻江流域某铜矿区为例^{*}

李璇琼^{1,2}, 李永树¹, 卢正²

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031; 2. 四川建筑职业技术学院, 四川 德阳 618000)

摘要:矿产资源开发会对周围的水系和土壤产生不同程度的重金属污染。以某铜矿为例,实地采集水系和土壤样品,获取 Cu 的含量,结合 GIS 和遥感技术提取矿区高程、坡度、与矿点欧氏距离、汇流量等环境因子,并分析这些因素与 Cu 元素含量的分布规律:水系有降解作用,水系中 Cu 元素更容易富集在离采矿点距离较近、地势较高、地形较为陡峭、汇流量较小的水系上游。土壤中 Cu 元素更容易富集在地势较低、地形较为缓和的水系下游沿岸。总结出金属元素的分布规律及迁移规律,为同类型污染分布研究提供借鉴,使得采集研究数据更具针对性,同时为矿产资源合理开发利用提供决策依据。

关键词:矿产资源开发; 地球化学; GIS; 空间分布特征

中图分类号:X751 文献标识码:B 文章编号:1001-0076(2016)01-0056-08

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2016.01.010

The Distribution Characteristics of Metal Pollution Generated by Mineral Resource Exploitation —Illustrated by a Copper Mine Region in Yalong River Basin

LI Xuanqiong^{1,2}, LI Yongshu¹, LU Zheng²

(1. School of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

Abstract: Mineral resources exploitation could make heavy metal pollution on water and soil. This paper took a copper mine in Yalong river basin in Jiulong as study area. The trend of copper concentration, DEM, slope, Euclidean distance and accumulation were obtained by sampling and GIS, then the distribution characteristics of copper were concluded as follows. Stream had the ability of degradation and dilution, and thus copper content was enriched at upstream, which was in high terrain area and close to mine point. However, the Cu content in soil was enriched at downstream, which was in low terrain area and gentle slope. According to these rules, it was easier to evaluate the pollution degree of other similar mining area with fewer but more pointed data. Meanwhile, it also provided rational decision-making basis for mineral resource exploitation.

Key words: mineral resource exploitation; geochemistry; GIS; spatial distribution characteristics

矿产资源是国家经济建设的主要物质基础,为社会经济发展提供重要保障,但同时矿产资源的不

* 收稿日期:2015-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40972225,41101174);四川省教育厅科研项目(14ZB0434)和四川建筑职业技术学院科研项目(20140102)联合资助

作者简介:李璇琼(1984-),女,博士,讲师,从事GIS、遥感及生态环境方面的研究。

合理开发利用也会导致一系列的生态环境问题。如水体和土壤的重金属污染,废矿石的堆积、占用和破坏林地、土地,粉尘、废气污染大气,噪音污染等。探讨矿产资源开发对生态环境的影响,需要采集大量的原始数据进行分析研究,得出正确的结论。本文通过实地采集水样和土壤样,结合遥感和地理信息系统等技术手段,分析总结出矿产资源开发产生的金属元素污染在流域水系和土壤中的空间分异规律^[1-3]。根据这些规律,可利用少量的采样点即可分析出铜矿开采产生的水体和土壤污染特点,节约采样和分析费用,同时有针对性的提出保护措施,为加强生态环境建设提供科学的决策依据。

1 研究区概况

研究区位于四川省甘孜藏族自治州九龙县,属川西高原东缘。区内地形陡峭,矿产资源开发规模较大。具体研究区位置见图1。矿区位于九龙县南部,区内发育有挖金沟、江浪沟和海底沟三条水系。区内有里伍、中咀、黑牛洞等一系列铜锌矿床,区内矿产资源开发产生的尾矿废渣造成土壤的酸化和重金属污染,采矿废水的排出造成尾矿库水质的污染。

2 研究数据获取

2.1 地球化学信息获取

研究区铜矿的开发对水体和土壤造成不同程度的Cu元素污染。为了研究水体和土壤中Cu元素的空间分布特征,探讨铜矿开采对流域水质和土壤的影响,本次研究在矿区范围内采集水样17个,土壤样10个。

水样主要分布在矿区挖金沟、江浪沟、海底沟三条水系的上游和经过矿区后下游^[4-6]。具体采样点分布见图1。测试分析水样中Cu元素的含量结果见表1。土壤样同样分布在三条水系的上游和经过矿区后下游沿岸。具体采样点分布见图1。测试分析土壤样中Cu元素的含量结果见表2。

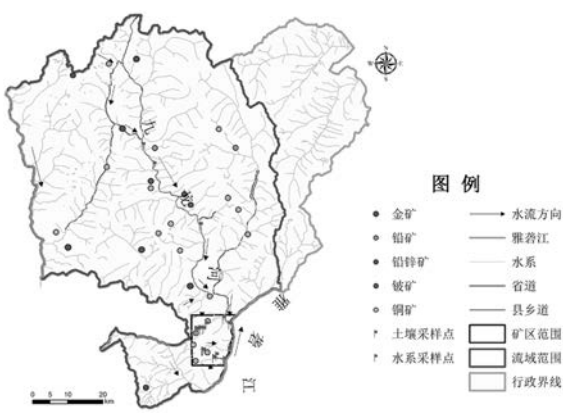


图1 研究区位置示意图

表1 水样化验结果 (单位:mg/kg)									
采样点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cu 含量	1.23	13.7	7.74	0.71	37.7	4.37	459	391	284
采样点编号	10	11	15	16	17	18	19	20	
Cu 含量	1.97	1.65	0.37	0.34	230	1016	5.76	989	

表2 土样化验结果 (单位:mg/kg)										
采样点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cu 含量	55.2	61.5	114.0	118.0	61.9	158.0	34.2	1 669.0	158.0	1 526.0

2.2 地形信息获取

研究Cu污染在不同地形区域的分布特征,需要对矿区地形信息进行提取,包括高程信息和坡度信息。

2.2.1 高程信息获取

对矿区纸质的地形图进行扫描后矢量化,得到等高线,并在ArcGIS中生成不规则三角网,最后得

到GRID格式的数字高程模型DEM,见图2。由图可以看出矿区地形西高东低。水系上游地形高,水系下游地形较低。

2.2.2 坡度信息获取

在高程分布图的基础上,生成坡度图3。其中区内最小坡度0°,最大坡度78°,研究区地形起伏较大,尤其是江浪沟和海底沟附近,地势较为陡峭。

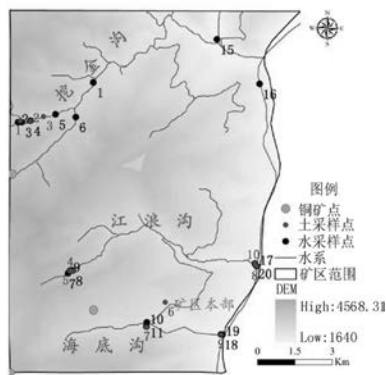


图2 矿区DEM分布

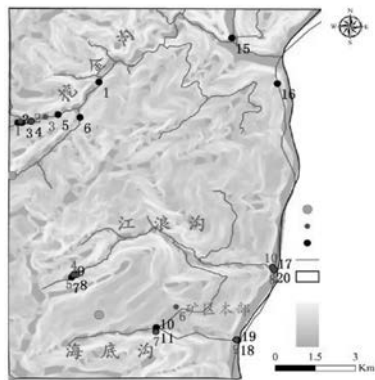


图3 矿区坡度分布

2.3 水文信息获取

矿区水系较发育,不同的水文条件下产生污染的重金属离子分布也不尽相同。提取研究区的汇流量数据,研究金属元素分布与水文特征的分布关系,见图4。可以看出矿区水系上游的汇流量一般较小,下游汇流量相对较大。

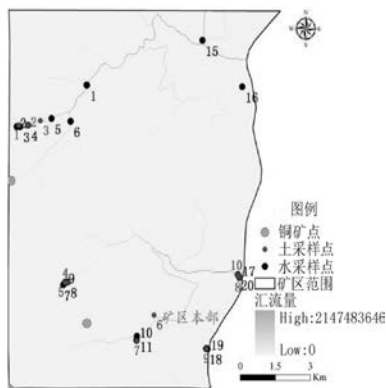


图4 矿区汇流量分布

2.4 欧氏距离信息获取

在与矿点距离不同的区域,重金属元素的含

量分布也不同。为了研究矿区 Cu 元素在离采矿点不同距离的分布特征,在 ArcGIS 软件中对矿区内的铜矿开采点进行欧氏距离的分析计算,得到图5,显示三条水系上游欧氏距离较小,下游相对较大。



图5 采矿点欧氏距离

3 讨论

分析研究区铜矿开发产生 Cu 污染的分布规律,可为科学采样提供依据。对水系中 Cu 元素含量与地形、水文和欧氏距离进行相关分析,并对比土壤中 Cu 元素含量与地形和欧式距离的相互关系。

3.1 水系采样点 Cu 元素分布规律分析

3.1.1 水系采样点 Cu 元素含量相关分析

矿区 17 个水系采样点的分布见图2。挖金沟采样点有 1、2、3、4、5、15,江浪沟采样点有 7、8、9、17,海底沟采样点主要有 10、11、19。

采用水系采样点 2、3、4 的 Cu 元素的均值代表挖金沟上游水系中 Cu 元素含量值,点 1 的值代表中游 Cu 含量,点 15 的值代表下游 Cu 含量,拟合出挖金沟 Cu 元素变化趋势图(图6),图6表明 Cu 元素值从上游至下游逐渐降低。用水系采样点 7、8、9 Cu 元素的均值代表江浪沟上游 Cu 含量,点 17 值代表下游 Cu 含量,拟合出江浪沟 Cu 元素变化趋势图(图7),图7显示 Cu 元素值从上游到下游逐渐降低。用采样点 10、11 的 Cu 元素的均值代表海底沟上游 Cu 元素值,点 19 的值代表下游 Cu 元素值,拟合出海底沟 Cu 元素变化趋势图(图8),可知海底沟水系中 Cu 元素值从上游到下游逐渐升高(因海底沟下游的 18 号采样点距离矿区本部近,有采矿场和尾矿库,故 Cu 含量相对较高)。以上分析说明水系

对 Cu 元素有降解作用,Cu 元素含量随着水流逐渐稀释,上游较高,下游较低。但在采矿场或尾矿库附近,Cu 的含量会升高。

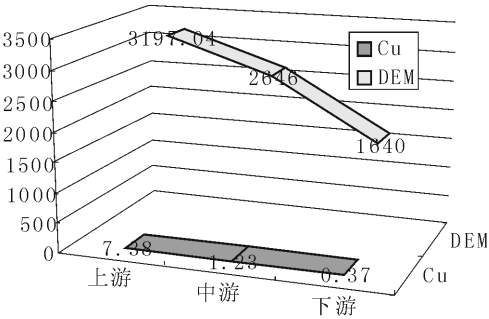


图 6 挖金沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

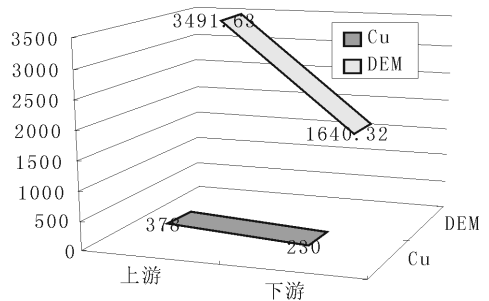


图 7 江浪沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

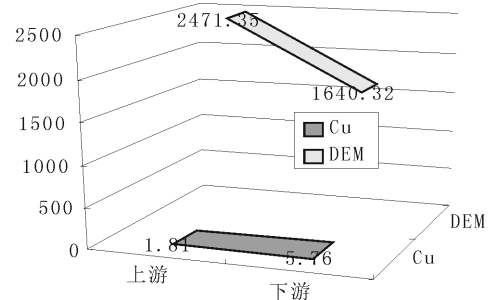


图 8 海底沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

3.1.2 水系中 Cu 元素分布与地形关系

(1) Cu 元素分布与高程相关分析

矿区水系中 Cu 元素含量与高程关系密切。图 6 显示随着挖金沟上游至下游高程逐渐降低,Cu 含量值从上游至下游逐渐减小。图 7 表明随着江浪沟上游至下游高程逐渐降低,Cu 含量值逐渐减小。由于海底沟下游有采矿场及尾矿库,故图 8 显示随着海底沟上游至下游高程逐渐降低,Cu 含量值反而逐渐升高(海底沟下游矿部采场和选厂影响导致 Cu 含量较高,下文不再单另分析)。水系中 Cu 元素含量在地形较高的上游矿区附近含量值较高,而在地势较低的下游含量较低^[7-11]。

(2) Cu 元素分布与坡度相关分析

矿区水系中 Cu 元素含量与坡度也是密切相关的。分别利用挖金沟和江浪沟两条水系上、中、下游采样点的 Cu 元素含量值及坡度值生成趋势图 9、图 10。图 9 表明挖金沟上游至中游坡度逐渐升高,再到下游坡度逐渐减小,总体趋势是减小。Cu 含量值从上游至下游总体逐渐减小。图 10 显示浪江沟随着上游至下游坡度逐渐降低,Cu 含量值也呈现逐渐减小的特征。水系中 Cu 元素分布基本是在坡度较高的水系上游含量较高,而在地形较缓的水系下游含量较低。

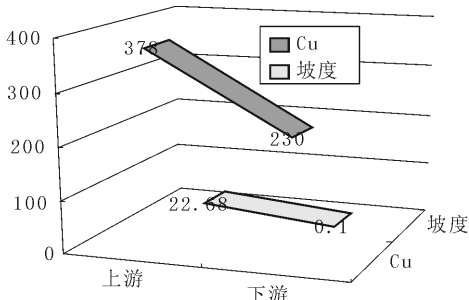


图 9 挖金沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与坡度变化趋势

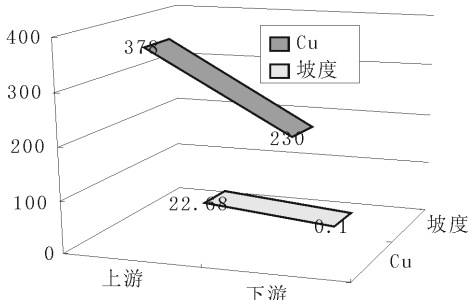


图 10 江浪沟水系中 Cu 元素含量与坡度变化趋势

3.1.3 水系中 Cu 元素分布与欧式距离相关分析

利用挖金沟和江浪沟上、中、下游采样点的 Cu 元素含量值及欧氏距离值生成趋势图 11、图 12。图 11、图 12 显示随着这两条水系上游至下游欧氏距离值逐渐增大,Cu 含量均逐渐减小。上述结果表明,水系中 Cu 元素分布在采矿点附近水系上游含量较高,水系下游含量较低。水有一定的降解能力,水系中的金属元素含量会随着水流而逐渐减小稀释。

3.1.4 水系中 Cu 元素分布与汇流量相关分析

利用三条水系上、中、下游采样点的 Cu 元素含

量值及汇流量生成趋势图 13、图 14。图 13 显示随着挖金沟上游至下游汇流量逐渐增大, Cu 含量逐渐减小。图 14 表明随着江浪沟上游至下游汇流量逐渐增大, Cu 含量值逐渐减小。水系中 Cu 元素分布基本是在汇流量较小的水系上游含量较高, 而在汇流量较大的水系下游含量较低^[12-16]。

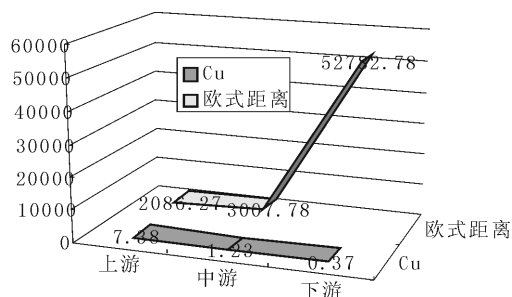


图 11 挖金沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与欧氏距离变化趋势

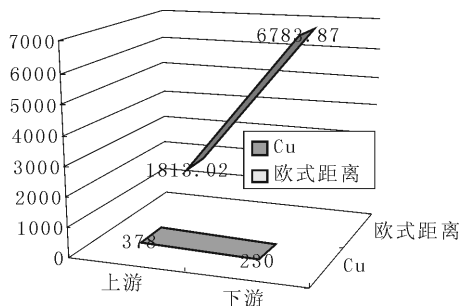


图 12 江浪沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与欧氏距离变化趋势

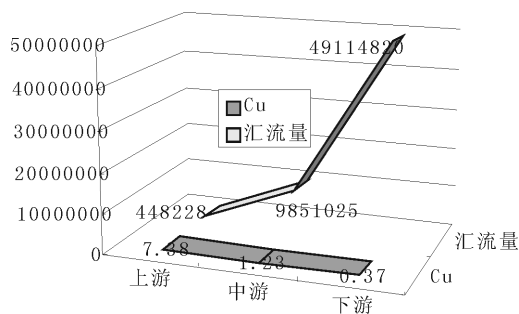


图 13 挖金沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与汇流量变化趋势

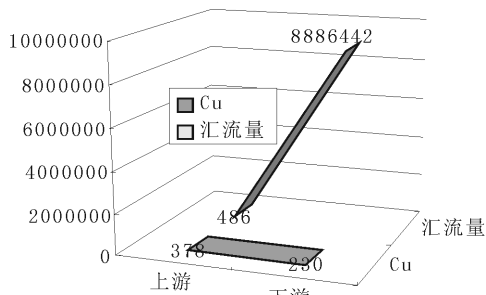


图 14 江浪沟水系中 Cu 含量 (mg/kg) 与汇流量变化趋势

3.2 土壤采样点 Cu 元素分布规律分析

3.2.1 土壤采样点 Cu 元素含量分析

矿区 10 个土壤采样点的分布见图 2。用点 1 到 3 代表挖金沟沿岸土壤中 Cu 元素的含量变化趋势, 生成趋势图 15, 表明 Cu 含量从上游到下游逐渐升高。样点 4、5 的均值代表江浪沟上游沿岸 Cu 元素含量均值, 点 8、10 的均值代表江浪沟下游沿岸 Cu 元素含量, 得到变化趋势图 16, 显示 Cu 含量从上游到下游逐渐增大。用点 7 的代表海底沟上游沿岸 Cu 含量, 点 9 的值代表海底沟下游 Cu 元素含量, 得到变化趋势图 17, 由图可知海底沟沿岸土壤中 Cu 元素值从上游到下游逐渐升高^[17-18]。

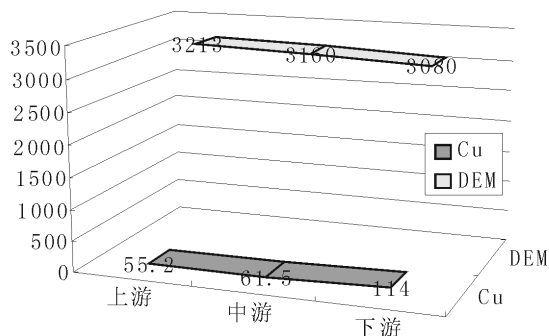


图 15 挖金沟土壤中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

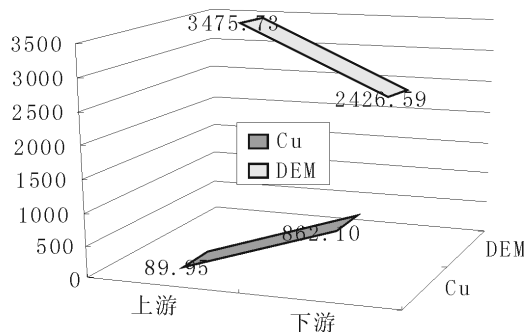


图 16 江浪沟土壤中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

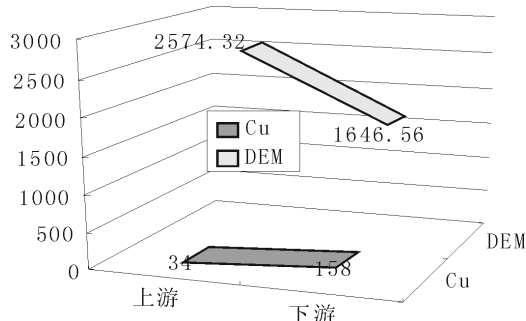


图 17 海底沟土壤中 Cu 含量 (mg/kg) 与 DEM 变化趋势

3.2.2 土壤中 Cu 元素分布与地形相关性分析

(1)Cu 元素分布与高程相关性分析

在矿区不同高程区域度的土壤中,Cu 元素含量也不同。与前文水样采集点的分析方法相同,分别将挖金沟、江浪沟和海底沟上游到下游土壤采样点高程值的变化趋势与采样点 Cu 元素含量值变化生成趋势图 15、图 16、图 17。可以看出随着这三条水系沿岸上游至下游高程逐渐降低,Cu 含量值逐渐升高。矿区土壤中 Cu 元素分布基本是在地形较高的水系上游沿岸含量值较低,而在地形较低的水系下游含量相对较高。

(2)Cu 元素分布与坡度相关性分析

分别将江浪沟和海底沟上游到下游土壤采样点高程值的变化趋势与采样点 Cu 元素含量值变化生成趋势图 18、图 19。可以看出随着这三条水系沿岸上游至下游坡度逐渐降低,土壤中 Cu 含量值明显升高。矿区土壤中 Cu 元素分布基本是在坡度较低的水系下游沿岸含量值较高,而在坡度较高的水系上游沿岸含量值相对较低。

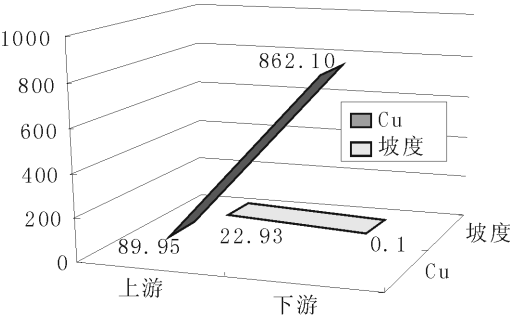


图 18 江浪沟土壤中 Cu 含量(mg/kg)与坡度变化趋势

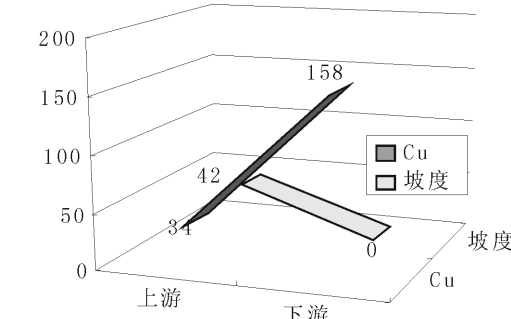


图 19 海底沟土壤中 Cu 含量(mg/kg)与坡度变化趋势

3.2.3 土壤中 Cu 元素分布与欧氏距离相关性分析

分别将三条水系上游到下游土壤采样点欧氏距

离与采样点 Cu 元素含量值变化生成趋势图 20 ~ 图 22。可以看出随着这三条水系沿岸上游至下游欧氏距离值逐渐增大,Cu 含量值逐渐升高。矿区土壤中 Cu 元素分布基本是在与矿点距离越近的区域含量越低,而与矿点距离越远的区域含量相对较高。土壤中的金属元素由于迁移作用,更易富集在水系下游沿岸。

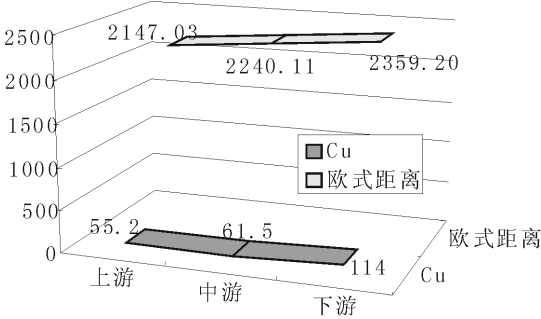


图 20 挖金沟土壤中 Cu 含量(mg/kg)与欧式距离变化趋势

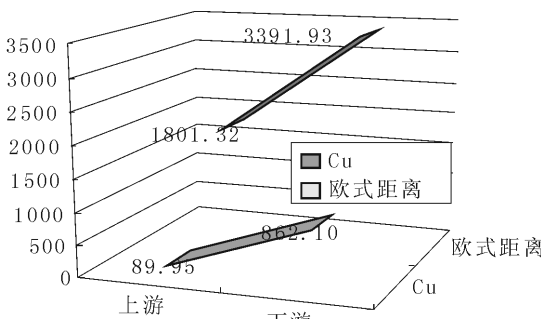


图 21 江浪沟土壤中 Cu 含量(mg/kg)与欧式距离变化趋势

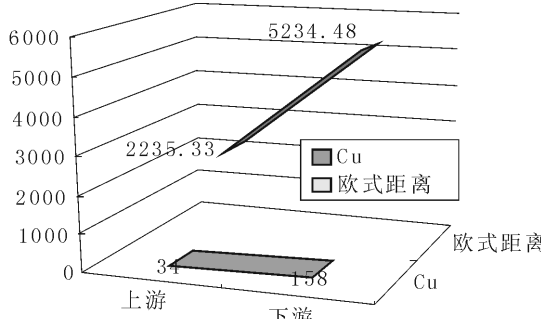


图 22 海底沟土壤中 Cu 含量(mg/kg)与欧式距离变化趋势

3.3 土壤及水系中 Cu 元素迁移规律分析

矿山开采所产生的大量矿山酸性废水和废矿渣,重金属在水体中主要通过沉淀溶解、氧化还原、吸附解稀、络合等一系列物理化学过程进行迁移转化。水体中的重金属可以通过溶解随水流动或吸附与悬浮物而迁移。所以研究区水系中 Cu 元素含量

会随距离的增大而减小。土壤中的重金属元素可以氧化还原作用和微生物等进行迁移,并通过土壤胶体的吸附作用逐渐富集,所以研究区土壤中 Cu 元素分布基本是在与矿点距离越近的区域含量越低,而与矿点距离越远的区域含量相对较高。

对比土壤采样点和水系采样点中 Cu 元素含量(表 1、表 2),结果显示土壤中 Cu 元素含量大于水系中 Cu 元素的含量,研究区土壤中的 Cu 元素含量向水系中迁移。

4 结论

本文以雅砻江流域九龙段某铜矿为研究区,分析矿产资源开发产生重金属元素的分布特征。在矿区的三条水系进行水样采集,沿岸进行土样采集。利用遥感和地理信息系统技术提取研究区的高程、坡度、汇流量、欧氏距离等因子。分别对三条水系水样点 Cu 元素含量与这些因子的变化趋势进行分析,得出水系有降解作用,Cu 元素随着水流逐渐稀释,一般是上游含量较高,下游含量较低。在采矿场或尾矿库附近的水系,Cu 的含量会升高。矿区水系中 Cu 元素更容易富集在离采矿点距离较近,高程较高、地形较为陡峭、汇流量较小的水系上游。分别对三条水系沿岸土壤采集点 Cu 元素含量与 DEM、坡度、欧氏距离的变化趋势进行分析,得出水系沿岸土壤中 Cu 元素值从上游到下游逐渐升高。矿区土壤中 Cu 元素更容易富集在距离矿区较远、地势较低、地形较为缓和的水系下游沿岸。研究区矿业开发产生的 Cu 元素由土壤迁移到水系。

本次研究总结出了该区铜矿开发产生金属元素的分布规律,为同类型矿产开发的重金属污染分布特征研究提供了一定的借鉴经验。综合以上研究结果,水系的采样可以在距离矿点距离较近、汇流量较小、地势较高的上游采集。土壤的采样可以在与矿点有一定距离,地势较低、地形较为缓和的水系下游沿岸采集。这种有针对性的取样不仅减少了野外采样工作量,节约采样、化验费用,避免造成不必要的浪费和少走弯路,而且所采的少量样品更具有代表性和真实性,使其研究成果更具有权威性。同时为矿区环境保护提供决策依据。水系中的金属元素含量比较容易富集在水系的上游,所以应该在靠近矿产资源开发点的水系上游建立相应的污水处理设备,对矿业生成中排出的工业废水进行净化处理,减

少其中有害物质的含量。土壤中的金属元素含量在水系的下游较高,而且植被对土壤中的元素有吸收作用,所以在矿区下游应该多进行植被修复,种植树木,以降低土壤中重金属元素的含量,改善土壤质量^[19-20]。

参考文献:

- [1] Navarro M C, Perez - Sirvent C, Martinez - Sanchez M J, et al. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi - arid zone [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2008, 96: 183 - 193.
- [2] Firdes Yenilmez, Nazan Kuter, Mustafa Kemal Emil, et al. Evaluation of pollution levels at an abandoned coal mine site in Turkey with the aid of GIS [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2011, 86: 16 - 19.
- [3] 李璇琼. 矿产资源开发对生态环境的影响研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [4] Sainz A, Grande J A, Torre M L. Characterization of heavy metal discharge into the Ria of Huelva [J]. *Environ. Int.*, 2004, 30 (4): 557 - 566.
- [5] Shelton L R, Capel P D. Guidelines for collecting and processing samples of stream bed sediment for analysis of trace elements and organic contaminants for the National Water - Quality Assessment Program [J]. *US Geol Surv Open - File Rep*, 1994, 82: 94 - 98.
- [6] 苏养水. 北京城近郊区浅层地下水环境地球化学 GIS 系统及其应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2002.
- [7] Clements WH, Kiffney PM. The influence of elevation on benthic community responses to heavy metals in Rocky Mountain streams [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1995, 52: 1966 - 1977.
- [8] Garbarino J R, Taylor H E. Inductively coupled plasma - mass spectrometric method for determination of dissolved trace elements in natural waters [J]. *US Geol Surv Open - File Rep*, 1996, 24: 94 - 98.
- [9] Neal C, Robson A J, Jeffery H A, et al. Trace element inter - relationships for the Humber rivers: inferences for hydrological and chemical controls [J]. *Sci Tot Environ*, 1997, 36: 321 - 343.
- [10] 陈翠华, 倪师军, 何彬彬, 等. 江西德兴矿集区水系沉积物重金属污染的时空对比 [J]. *地球学报*, 2008, 29 (5): 639 - 646.
- [11] 陈翠华. 江西德兴地区重金属污染现状评价及时空对比研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [12] Zhu C, Hu FQ, Burden DS. Multi - component reactive

- transport modeling of natural attenuation of an acid groundwater plume at a uranium mill tailings site [J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2001, 52: 85 – 108.
- [13] Zhang C S, Selinus O. Statistics and GIS in environment geochemistry: Some problems and solutions [J]. *Geochim Explor*, 1998, 64 (1 – 3): 339 – 354.
- [14] Cha S M, Ham Y S, Ki S J, et al. Evaluation of pollutants removal efficiency to achieve successful urban river restoration [J]. *Water Technol*, 2009, 59 (11): 2101 – 2109.
- [15] Gomes C A B, Mendes J F, Costal C L. The environmental impact of coal mining: a case study in Brazil's Sangão Watershed [J]. *Mine Water Environ*, 2011, (30): 159 – 168.
- [16] Tao S. Spatial structures of copper, lead and mercury contents in surface soil in the Shenzhen area [J]. *Water, Air & Soil Poll*, 1995, (82): 583 – 591.
- [17] Chapman B M, Jones D R, Jung R F. Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams [J]. *Geo – chim Cosmochim Acta*, 1983, (47): 1957 – 1973.
- [18] Coombs T L. Heavy metal pollutants in the aquatic environment in: Gilles R [J]. *Animals and Environmental Fitness*. 1980(1): 283 – 302.
- [19] 陈桂荣, 曾向东, 黎巍, 等. 金属矿山土壤重金属污染现状及修复技术展望 [J]. *矿产保护与利用*, 2010(2): 41 – 44.
- [20] 吴和平, 吴玲, 何艳梅. 矿产资源优化利用与矿业可持续发展研究 [J]. *矿产保护与利用*, 2007(2): 1 – 6.