

# 基于模糊综合评价的土壤环境质量研究 ——以九龙县里伍铜矿区为例

陈晓杰<sup>1,2</sup>, 何政伟<sup>1,2</sup>, 薛东剑<sup>1,2</sup>

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059)

**摘要:**里伍铜矿开采已有 30 多年的历史,铜矿开采对周边的土壤环境产生了重要影响。以里伍铜矿区土壤作为研究对象,参照土壤质量标准及土壤环境质量标准为基础的土壤污染分级标准,经过野外数据采集和室内数据分析,应用模糊综合评判法对铜矿区的土壤环境质量进行了综合评价,并对矿区土壤的重金属含量及空间分异性进行了研究,分析发现里伍铜矿的开采对土壤环境质量具有重要的影响。里伍铜矿的土壤环境质量整体较好,但是部分区域土壤环境质量较差。矿区土壤环境质量由较差到好依次为:堆浸矿泥土<堆浸土<铜矿排污口泥土<原生土壤<铜矿区下游江边土壤。土壤环境质量较好到接近较差区域土壤的修复和保护成为今后矿区土壤环境保护工作的重点。

**关键词:**里伍铜矿; 土壤; 重金属; 模糊评价

中图分类号:X825

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0130-04

## Study on Soil Environmental Quality Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation —A Case Study of Liwu Copper Area in Jiulong County

CHEN Xiao-jie<sup>1,2</sup>, HE Zheng-wei<sup>1,2</sup>, XUE Dong-jian<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu 610059, China; 2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Copper mining in the Liwu has 30 years of history, which has a significant impact on the surrounding soil environment. Taking the soil of Liwu Copper as the study object, collecting and analyzing data, using the fuzzy comprehensive evaluation method to evaluate the soil environment quality, and carrying out a study on the heavy metal content and spatial distribution in the soil of Liwu copper, based on soil quality standard and soil environment quality standard (1995) GB15618, we found that copper mining had an important impact on the soil environment quality. The whole soil environment quality is better, but it is worse in some palaces. The soil environment quality followed by the poor to good level is heap leaching soil<heap leach soil<soil closed to copper outfall<native soil<soil of copper downstream near the river. The soil remediation and protection in the poor soil environment quality area are the key work in the future.

**Key words:** Liwu copper area; soil; heavy metal; fuzzy evaluation

人类对矿产资源的开采由来已久,我国很早就对多种金属与非金属矿产资源进行开发。矿产资源,在原有形成的自然条件下,具有其相应的矿产资源赋存环境。然而,人工对资源予以开发,也就改变了原有成矿与赋存相对和谐的自然环境<sup>[1]</sup>。铜矿在采、选过程中产生的有毒和有害气体、矿渣、废水、粉尘等,不仅直接影响作业环境和工作条件,而且给矿区周围的大气、水、土壤造成危害;废石堆、尾矿库受到降雨淋浸作用,重金属易进入土壤造成污染;污水的排放污

染水源,通过水循环,进入地下水从而进一步污染土壤<sup>[2]</sup>。合理地分析与评价矿区土壤环境质量,全面掌握土壤的污染现状是矿区土壤污染治理和生态恢复必不可少的前提工作<sup>[3]</sup>。国内学者在土壤环境质量评价方面做出了许多创新性研究,如孟宪林等利用改进层次分析法对上海市近郊和郊县的农业土壤做了环境质量评价<sup>[4]</sup>;王金生利用灰色聚类法对江西德兴铜矿的土壤环境质量进行了评价<sup>[5]</sup>;彭再德和王永利等人分别用模糊综合评价法对土壤环境质量进行了

收稿日期:2011-05-06

修回日期:2011-09-03

资助项目:国家自然科学基金项目(40972225);国家 863 重点项目(2007AA120306)

作者简介:陈晓杰(1985—),男,河南濮阳人,硕士研究生,主要从事从事地质环境以及遥感地质研究。Email:chenxiaojie662@163.com

评价<sup>[6-7]</sup>;师荣光等采用 GIS 混合加权模式对天津市城郊的土壤环境质量进行了评价研究<sup>[8]</sup>。

通过采集里伍矿区的土壤样品并测定 Cu、Zn、Hg、As、Pb、Cd 重金属元素含量,参照土壤环境质量标准(GB15618—1995),应用模糊综合评价法,对该铜矿区周边土壤的环境质量进行评价,为今后开展矿区土壤修复工作提供参考依据。

1 研究区概况

里伍铜矿位于四川省甘孜藏族自治州九龙县魁多乡和烟袋乡境内,地理位置为东经 101°38′25″—101°44′15″,北纬 28°26′15″—28°33′00″。地貌上位于川西高原东缘,大雪山脉的南端,属构造深切切割的中高山区,地形切割强烈。矿区属于高原亚热带湿润气候区,冬季干燥寒冷,夏季温凉多雨,降水丰富,温度日较差大,四季不很分明。矿区主要土壤类型高程上自上而下大致是高山寒漠土、黑毡土、山地暗棕壤、棕壤。矿区植被覆盖较高,以暗针叶林为主,下部也有针阔混交林。矿区处于扬子地台西缘陆隆裂隙大地构造背景下,铜矿体总体产状受江浪背斜控制,含矿地层主要是中元古界里伍岩群中下段(Pt2l1—2)。岩性以云母片岩、云母石英片岩、片状石英岩为主,为一套强烈变形变质的核杂岩。里伍铜矿铜开采有 30 多年的历史,铜矿开采已对周边的土壤环境产生了重要影响。

2 样品的采集及化验分析

2.1 样品的采集和处理

采样点选择有代表性的地段,根据矿区铜矿体的赋存状况以及矿区各功能区(采场、选场、废渣堆、尾矿库等)的分布状况设置了 15 个采样点。土样包括植被覆盖土、废渣、尾矿覆盖土、临近矿体土、远离矿区的原生土(具体见图 1)。采样时尽量避开受居民生活污染的土壤,土壤样品的采集按照梅花型布点法进行,先用铁锹挖出方形土坑,选定一个切面,用木棍剔除与铁铲接触的土壤,再按先下后上的顺序挖取 0—30 cm 的上层部分的土样,最后将分层多点取得的土样充分混合,用四分法反复取舍(剔除其中的砂砾、树根、草根以及小生物),保留 1.0 kg 左右的土样,装入布袋并写好标签。

将自然风干过的土壤样品用瓷制研钵研磨,分别经过 100 目和 80 目尼龙筛处理,保存备用。实验所用容器均用 20%(体积分数)的 HNO<sub>3</sub> 浸泡 24 h 以上。

2.2 样品的化验测定

土壤样品由四川省冶金地质岩矿测试中心进行

分析。样品分析的元素形态有:水溶态、吸附态、碳酸盐态、有机结合态和硅酸态 6 种,对研究的土壤分析的元素有 As、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn 这 6 种,不同的形态采用相应的方法进行处理。

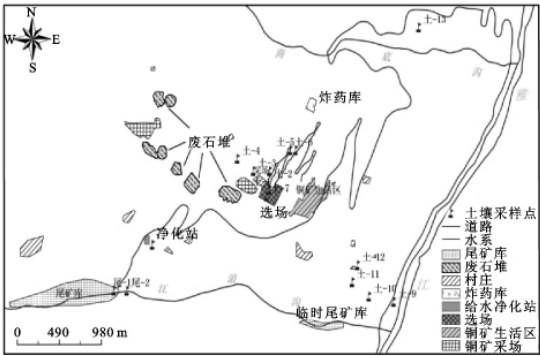


图 1 里伍铜矿土样采样点分布

用原子荧光光谱法(AFS)测元素 As、Se、Hg,用等离子体质谱法(ICP—MS)测 Cd、Cu、Pb 和 Zn,化验分析结果见表 1。

表 1 土壤重金属元素化验分析结果 μg/g

样品 编号	ω (Hg)	ω (Cd)	ω (As)	ω (Cu)	ω (Pb)	ω (Zn)
土样 1	0.52	0.06	6.8	47	30	94
土样 2	0.22	0.5	11.0	220	120	300
土样 3	0.16	0.65	7.4	290	160	310
土样 4	0.28	0.56	12.0	220	110	250
土样 5	0.19	0.52	5.0	200	100	77
土样 6	0.13	0.08	4.4	33	28	76
土样 7	0.19	0.09	2.4	57	35	83
土样 9	0.18	0.07	1.6	50	37	73
土样 10	0.13	0.35	1.0	123	33	148
土样 11	0.078	0.09	0.68	44	26	66
土样 12	0.14	0.08	1.6	30	28	68
土样 13	0.42	0.54	11.0	290	30	320
尾—1	0.6	0.5	9.6	240	180	95
尾—2	0.3	0.6	3.4	200	220	80
净化站	0.22	0.09	2.9	110	30	85

注:野外采集土样土 8 丢失,不做化验。

3 土壤环境质量的模糊评价

由于土壤中重金属的评价指标具有区域性,且大部分指标及其相互关系难以精确量化表达,在评价时往往不能给以明确的分级,表现出一定的模糊性。因此研究采用模糊数学模型对里伍铜矿土壤环境质量进行评价<sup>[9-12]</sup>。由于土壤污染影响因子很多,这里主要选定上面确定的 6 个元素在土壤中的含量对土壤环境质量进行评价。

参照国家土壤质量标准及土壤环境质量标准(GB15618—1995),只能把土壤质量分成三级。鉴于

此,为了使隶属分级更具有层次行,可采用表 2 中金属污染物的分级方法。

表 2 土壤质量评价标准  $\mu\text{g/g}$

评价因子	优良	良好	较好	较差	差
Hg	0.09	0.26	0.45	1.05	1.5
Cd	0.120	0.25	0.6	1.4	2
As	5.0	9.0	12	15	25
Cu	28	41	120	280	400
Pb	24	37	150	350	500
Zn	84	117	240	560	800

(1) 建立隶属函数。以 Cu 为例,根据土壤环境质量标准建立其五级标准的隶属函数为

$$u_{\text{Cu}_1}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 28 \\ \frac{41-x}{13} & 28 < x < 41 \\ 0 & x \geq 41 \end{cases} \quad (1)$$

$$u_{\text{Cu}_2}(x) = \begin{cases} \frac{x-28}{13} & 28 < x < 41 \\ \frac{120-x}{79} & 41 < x < 120 \\ 0 & x \geq 120, x \leq 28 \end{cases} \quad (2)$$

$$u_{\text{Cu}_3}(x) = \begin{cases} \frac{x-41}{79} & 41 < x < 120 \\ \frac{280-x}{160} & 120 < x < 280 \\ 0 & x \leq 41, x \geq 280 \end{cases} \quad (3)$$

$$u_{\text{Cu}_4}(x) = \begin{cases} \frac{x-120}{160} & 120 < x < 280 \\ \frac{400-x}{120} & 280 < x < 400 \\ 0 & x \leq 120, x \geq 400 \end{cases} \quad (4)$$

$$u_{\text{Cu}_5}(x) = \begin{cases} 1 & x > 400 \\ \frac{x-280}{120} & 280 < x < 400 \\ 0 & x \leq 280 \end{cases} \quad (5)$$

其余各项其它评价因子也都采用偏小型分布同样可以得到各环境染评价指标对五级标准的隶属函数。以土样 1 为例,根据隶属度函数得到其模糊关系矩阵  $R_1$ 。

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.883 & 0.117 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.550 & 0.325 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.924 & 0.076 & 0 & 0 \\ 0.538 & 0.462 & 0 & 0 & 0 \\ 0.697 & 0.303 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

(2) 归一化权重向量。由于各单项评价因子对某一环境综合体的贡献存在差异,因此对各单项因子应予以一定的权重系数,采用土壤环境中重金属污染因子的实际测量浓度与其相应的分级标准的比值来计算权重,相当于把某项因子单污染指数作为权重。

$$W_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (7)$$

式中:  $C_i$ ——污染物的实测浓度值;  $S_i$ —— $i$  污染物的分级标准值。因单项指标总体中权系数的大小与某种功能下的单项分级标准无关,所以对于  $S_i$  取平均值。

$$S_i = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5}{5} \quad (8)$$

$$\text{将权重归一化,即 } \bar{W} = \frac{C_i/S_i}{\sum_{i=1}^n C_i/S_i} \quad (9)$$

从而构成一个  $1 \times n$  阶的模糊矩阵  $A$ , 即

$$A = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n) \quad (10)$$

以土样 1 为例,根据化验结果和土壤环境标准建立其权重集为  $A_1$ 。

$$A_1 = \{0.382, 0.034, 0.253, 0.133, 0.070, 0.128\}$$

利用利用加权平均模糊合成算子式,将  $A$  与  $R$  合成得到模糊综合评价结果向量  $B$ 。

以土样 1 为例,得出模糊评价结果向量

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6) = (0.3, 0.276, 0.347, 0.045, 0)$$

其它各采样点运算方法同理。

表 3 土壤环境质量模糊综合评价结果

样品编号	优良	良好	较好	较差	差
土样 1	0.300	0.276	0.347	0.045	0.000
土样 2	0.116	0.187	0.481	0.215	0.000
土样 3	0.160	0.162	0.432	0.373	0.029
土样 4	0.000	0.142	0.675	0.183	0.000
土样 5	0.229	0.152	0.433	0.186	0.000
土样 6	0.879	0.121	0.000	0.000	0.000
土样 7	0.509	0.439	0.052	0.000	0.000
土样 9	0.468	0.504	0.029	0.000	0.000
土样 10	0.157	0.340	0.495	0.008	0.000
土样 11	0.672	0.316	0.012	0.000	0.000
土样 12	0.859	0.141	0.000	0.000	0.000
土样 13	0.000	0.115	0.490	0.367	0.029
尾—1	0.121	0.275	0.521	0.264	0.000
尾—2	0.126	0.248	0.496	0.130	0.000
净化站	0.424	0.243	0.333	0.000	0.000

(3) 评价结果分析。对研究区的 15 个采样点数据的土壤环境质量进行模糊综合,结果见表 3。通过表 3 可以看出土样 6、土样 7、土样 9、土样 11、土样 12、净化站对一级隶属度大,土壤环境质量属于优良。而土样 1、土样 2、土样 3、土样 4、土样 5、土样 13、尾—1、尾—2 对三级隶属度大,土壤环境质量属于较好,但接近较差。分析结果和采样点区域位置分布密切相关,采样点中土样 6、土样 7、土样 9、土样 11、土样 12、净化站在生活区附近采集或远离矿区在雅砻

江附近采集,土壤环境质量属于优良。而土样 1、土样 2、土样 3、土样 4、土样 5、土样 13、尾—1、尾—2 的土壤采集点分布在废渣堆和尾矿库旁,由于淋浸作用等,造成土壤环境质量属于较好到接近较差。

## 4 结 论

通过模糊综合评价分析可以得知,里伍铜矿的土壤环境质量整体较好,但是部分区域土壤环境质量较差。根据分析结果可知矿区土壤环境质量由较差到好依次为:堆浸矿泥土<堆浸土<铜矿排污口泥土<原生土壤<铜矿区下游江边土壤。原生土壤和铜矿区下游江边土壤平时需要保护其现有的土壤环境质量,避免一定的污染;堆浸矿泥土、堆浸土和铜矿排污口泥土需要采取一定的修复技术恢复其基本功能和重建生产力。

应用模糊数学方法来评价土壤重金属污染程度是切实可行的。在模糊评价过程中,利用模糊数学的拟人思维和复杂逻辑推理能力,减少了评价结果中人为因素所造成的误差,保证了评价结果的精度和可靠性。

参考文献:

[1] 谭继文,刘亚民,王建瑞,等. 矿山环境学[M]. 北京:地

(上接第 129 页)

区域内的物种数量是巨大的,对于植被恢复来说,物种的筛选必须能够在大量的物种中简单准确地进行,这就给物种筛选带来了相当的难度。由于生态位宽度大小可以很好地反映物种对资源环境的适应利用能力,因此可以依据物种生态位宽度的大小来进行恢复物种的选择。在岷江源区的植被恢复和管理中,应首先恢复适应性强的乡土物种,如将生态位宽度值较大的尖叶栒子、峨眉蔷薇、高山绣线菊、金露梅、南川绣线菊、窄叶鲜卑花、高山柳、甘青锦鸡儿等物种作为先锋物种,构建以这些物种为优势种群的群落,通过群落的逐步演替形成稳定的生态系统类型,达到植被恢复的目的。

参考文献:

[1] 王树森,余新晓,刘凤芹,等. 华北土石山区天然森林植被种间联结和生态位的研究[J]. 水土保持研究,2006,13(4):170-174.  
[2] 张林静,岳明,张远东,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带主要植物种的生态位分析[J]. 生态学报,2002,22(6):969-

震出版社,2008.

- [2] 周爱国,蔡鹤生,周建伟,等. 地质环境评价[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2008:70-72.  
[3] 赵元艺,王金生,李德先,等. 矿床地质环境模型与环境评价[M]. 北京:地质出版社,2007:130-131.  
[4] 孟宪林,郭威. 改进层次分析法在土壤重金属污染评价中的应用[J]. 环境保护科学,2001,27(2):34-36.  
[5] 王金生. 灰色聚类法在土壤污染综合评价中的应用[J]. 农业环境保护,1991,10(4):168-172.  
[6] 彭再德. 模糊综合评价法在区域土壤环境重金属污染评价中的应用[J]. 化工环保,1993,13(4):235-238.  
[7] 王永利,倪世军,黄润秋,等. 康定城土壤重金属模糊评价[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2010,37(5):562-565.  
[8] 师荣光,高怀友,赵玉杰,等. 基于 GIS 的混合加权模式在天津城郊土壤重金属污染评价中的应用[J]. 农业环境科学学报 2006,25(增刊):17-20.  
[9] 徐华君. 土壤重金属污染评价中的模糊综合决策问题[J]. 新疆大学学报:自然科学版,1994,11(4):88-92.  
[10] 王晓丹,倪师军,张成江,等. 成都市土壤质量的模糊综合评价[J]. 物探化探计算技术,2006,28(1):46-48.  
[11] 许雅玲,欧阳通,陈江奖. 某铜矿区土壤重金属污染状况研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(11):146-151.  
[12] 徐建明,张甘霖,谢正苗,等. 土壤质量指标与评价[M]. 北京:科学出版社,2010:71-74.

972.

- [3] Belsky A J. Population and community processes in a mosaic grassland in the serengeti, Tanzania[J]. Journal of Ecology,1986,74:841-856.  
[4] McGrady-Steed J, Morin P J. Biodiversity,density compensation, and the dynamics of populaion and functional groups[J]. Ecology,2000,81(2):361-373.  
[5] 冶民生,关文彬,吴斌,等. 岷江干旱河谷主要灌木种群生态位研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(1):7-13.  
[6] Ye Minsheng, Guan Wenbin, Wu Bin, et al. Plant community complexity in the arid valley of Minjiang River, southwestern China[J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(10):3159-3165.  
[7] 冶民生,关文彬,吴斌,等. 岷江源区植物群落复杂性研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(8):174-179.  
[8] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004:110-114.  
[9] Ban F, Hans D K, Frank B. Soil nutrient heterogeneity alters competition between two perennial grass species[J]. Ecology,2001,82:2534-2546.