

南京栖霞山铅锌矿区 土壤环境质量评价*

项长兴 董雅文 钱君龙 黄景苏 朱育新
(南京铅锌银矿) (中国科学院南京地理湖泊研究所)

摘 要

应用模糊数学隶属度法对南京栖霞山铅锌矿区的土壤中Cu、Mn、Pb和Zn4种主要重金属进行了环境质量综合评价。结果表明,该区大部分土壤未受4种金属元素的污染,但露采矿区及选矿厂附近土壤污染严重,面积约占调查区的3.7%。作者还提出了几点治理对策。

一、矿区概况

栖霞山铅锌矿位于南京市东北郊,距城约20公里,是著名风景区,水陆交通十分便利。地形为低山丘陵区,山体呈北东至南西方向展布,东北高、西南低,最高峰三茅宫标高为284米,九乡河由南向北经本区流入长江。山间地表降水由千佛岩两侧的桃花涧和中峰涧两大水溪在栖霞寺西侧汇合后经九乡河注入长江。农作物以水稻、小麦、蔬菜为主,山地以松树和枫树为主。附近有南京炼油厂、栖霞山化肥厂、江南水泥厂和南京铅锌银矿等企业。

土壤类型主要有黄棕壤、石灰土、灰潮土、水稻土等,局部地区有矿粉、尾砂和渣石堆积于地表。

栖霞山处于宁镇山脉多金属成矿带,矿产资源丰富,矿体呈北东—南西方向分布,自三茅宫至黑石挡全长约1200米的山体浅部,断续分布着氧化锰矿体,矿石储量为中型规模。原生铅锌矿埋藏较深,主矿体由黑石挡向西南方向以42°侧伏角向深层延伸,为大型矿床,矿石中主要有用组分为铅、锌、硫、锰;伴生有益组分有银、金、铜、镉、镓、铟、硒、碲和铈地表浅部氧化锰矿是由原生铅锌矿经长期风化淋滤作用而形成的。

该区自矿藏开采以来,对土壤环境产生了一定的影响,现简介如下^[1]。

1. 锰矿的影响: 1942—1961年在三茅宫、平山头、黑石挡一带进行露天开采,1962年转为坑内开采,主要采用分层崩落法,生产规模为5万吨/年,至1977年采完闭坑。地表矿体是天然的污染源,剥土采矿使污染范围扩大,并形成总面积约6.62万m²的塌陷坑数个。一部分矿粉与泥砂一起被搬运到低洼处沉积下来。转入地下开采后在黑石挡南侧建一选锰厂,使附近土壤、池坑和菜地等受到污染。

2. 铅锌矿的影响: 自1971年开始,生产规模由小到大逐步发展,目前为12万吨/年。在1984年前,主要采用分段空场一次充填空区采矿法,接着采用上向水平分层矽石充填采矿法,1992年开始利用选矿尾砂进行胶结充填,确保了地表的安全。选矿厂建于平山头北侧山脚下,采出原矿经破碎、球磨、浮选、脱水等选矿工艺流程,获得铅、锌、硫等精矿产品。选矿尾

*国家自然科学基金资助项目。

砂与废水经排水沟排入长江，上述诸因素使选矿厂附近的土壤受到不同程度的污染。

二、研究方法

在面积约为4.96km²的调查区(其中矿山进行开采和选矿生产活动区的面积约1.6km²)，共采集土壤样品102个点，平均每平方公里21个点，主要选在露天开采区的坑顶、坑坡、坑底和选矿厂一带。采集的土壤样品经风干、研磨过200目筛，在105—110℃下干燥2小时，用氢氟酸—高氯酸—盐酸消化土样，上清液用ICP—AES法同时测27种元素^[2]，其中数据较整完的有Ba、Co、Cr、Cu、Ga、Mn、Mo、Ni、Pb、Sc、Sr、Ti、V、Zn、Le、La等16种金属元素。此外，还采集树木圆盘样和生长锥样，试图通过树木年轮元素含量的变化，研究矿床开采活动对环境的影响。对采选活动外围地区作稀疏控制，以了解周围土壤环境质量。

三、结果与讨论

(一)关于评价因子的选择依据

将研究区内的102个样品、16种金属元素的分析数据用计算机进行运算处理，求出各自的平均值、标准差和变异系数后发现，Ba、Co、Cr、Ga、Mo、Ni、Sc、Rr、Ti、V、Ce、La等12种金属的基本数据都在正常范围内，平均值不高、标准差小、变异系数也小，说明这些金属在区内没有对土壤产生污染；而Cu、Mn、Pb、Zn4种金属元素在土壤中含量的平均值高，但标准差大、变异系数大(表1)。这与该矿区矿石中Cu、Mn、Pb、Zn4种元素的含量高有关，因此，选择4种重金属元素作为评价因子。

(二)关于评价标准的制定

表 1 矿区土壤中16种金属元素
含量(mg/kg)

金属元素	含量范围	平均值	±标准差	变异系数(%)
Ba	80—2067	563.35	505.29	89.6
Co	1.3—84.2	13.35	12.36	92.5
Cr	31.4—541	77.07	58.16	75.4
Cu	1.8—11795	323.27	1310.07	399
Ga	5.97—126	20.29	23.32	115
Mn	58.1—92300	8610.95	18930.64	220
Mo	0.99—60.7	8.10	11.52	142
Ni	5.99—223	40.27	36.19	89.8
Pb	2.16—208766	6130.58	23913.55	390
Sc	3.4—20.1	8.82	4.98	56.4
Sr	58.7—2253	257.31	289.31	112
Ti	0.02—0.77	0.39	0.16	40.7
V	22.5—295	98.58	37.91	38.4
Zn	27.3—181862	7734.43	18418.96	493
Ce	6—152	61.74	35.47	57.0
La	4.4—55.7	32.57	18.56	56.9

注：样品数为102个。

在污染环境质量评价中，评价标准一般选用卫生标准，但土壤不同于大气和水体，大气和水体中的污染可直接进入人体，危害健康。而土壤污染物需要通过食物链，随食物进入人体，因而制定土壤卫生标准难度较大，至今国内外还未提出公认的卫生标准。因此，土壤环境质量评价选取评价标准则需另辟途径。我们参考前人在其他地区的工作^[3]，决定以本矿区土壤自然含量作为分级标准的起点，将南京栖霞山地区土壤中Cu、

表 2 南京栖霞山铅锌矿区土壤重金属
污染程度分级标准

污染物	非污染	轻污染	中污染	重污染	严重污染
Cu	50	100	300	1000	2500
Mn	1000	2500	5000	10000	20000
Pb	75	150	300	1000	5000
Zn	100	200	600	2000	5000

和n、Pb、Zn 4个重金属污染物按其浓度分为5个等级,即非污染、轻污染、中污染、重污染、严重污染(表2)。

(三)关于污染的综合评价结果及成因分析

目前,国内外对土壤污染的综合评价普遍采用综合污染指数法,但计算方法各异。在计算综合指数时,必须对各评价因子赋权。权重计算又有因子分析法、序列综合法、专家咨询法等诸多办法赋权。实际上,土壤系数是个相当复杂的综合体,各评价因子的分级标准及污染程度的评价具有模糊性。所以本文采用模糊数学的隶属度法评价土壤综合污染的程度^[4]。

采取模糊数学中的隶属度概念,以[0, 1]闭区间的一个实数去度量某实测值归属于相邻等级的程度,这种方法在土壤环境质量评价中有其独特优点,可以避免关于赋权的争论及一些人为因素的影响。具体计算步骤如下:

(1) 设有n个评价参数, m个标准分级, X_i 为某项目实测值,则组成两个集合: $U(X_1, X_2, \dots, X_n)$, $V(I \text{ 级}, II \text{ 级}, \dots)$,并建立 $n \times m$ 隶属度模糊矩阵,用 $R(r_{ij})$ 表示。

$$R(r_{ij}) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & & r_{nm} \end{bmatrix}$$

$$\text{其中} \quad \begin{cases} r_{ij} = -[X_i - S_{i(i+1)}]/[S_{i(i+1)} - S_{ij}] & S_{ij} < X_i < S_{i(i+1)} \\ r_{11} = 1 & X_{ij} < S_{ij} \\ r_{im} = 1 & X_i > S_{im} \\ r_{i(i+1)} = 1 - r_{ij} \end{cases}$$

式中: S_{ij} —i元素j级标准值

(2) 计算出各参数的权重,建立向量W

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n) \quad W_1 = (X_1/S_1)/\sum(X_1/S_1)$$

$$S_1 = (S_{1I} + S_{1II} + \dots + S_{1m})/m; \quad X_1 \text{——i 项目实测值}$$

(3) 列出关系方程,并求解

$$\text{其模糊评价方程为 } B = W \circ R; \quad \text{运算法则: } b_j = \bigvee_i (w_i \wedge R_{ij})$$

得到 $B(b_j) = (b_1 b_2 \dots b_m)$, 分别为对应土壤 I 级、II 级、……m 级的隶属度,隶属度最大的所在级为该土壤样品的评价级别。

应用模糊数学的隶属度办法,对南京栖霞山铅锌矿区102个土壤样品评价土壤综合污染程度,将样品分析数据按照上述具体运算步骤,计算出每个土壤样品的环境质量分级。结果表明,属于 I 级有31个样品、II 级有18个、III 级有11个、IV 级有13个、V 级有29个

全部计算是在IBM—PC—286电子计算机上实现的。

笔者根据对每个土壤样品所在级别综合评定的结果,绘制了南京栖霞山铅锌矿区土壤重金属污染综合评价图(图1),该图较好地反映了本地区污染源的分布,并且客观地反映了该地区土壤中重金属的综合污染状况。

从综合评价图中可以看出,该区大部分土壤未受到明显污染,只是很少一部分受到了严重污染,经计算各等级所占调查区面积的比例大致如下:非污染占85.4%、轻污染占7.1%、中污染占3.8%、重污染占1.5%、严重污染占2.2%。

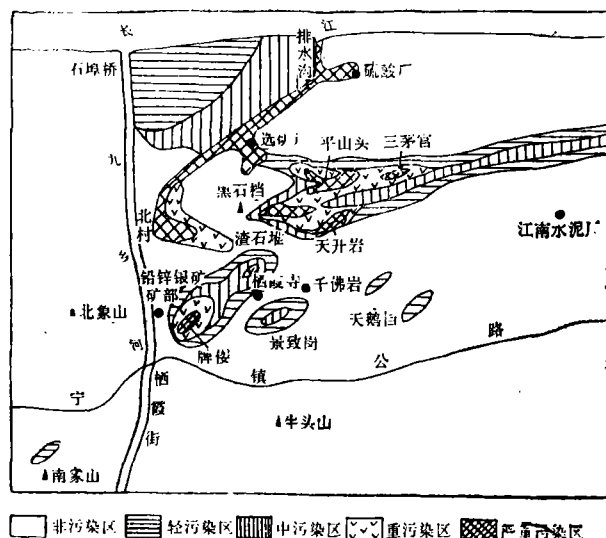


图1 南京栖霞山铅锌矿区土壤重金属污染综合评价图

采矿区25个样品有20个属于Ⅳ—Ⅴ级,占80%;矿渣、尾砂沟等8个样品,全部属于Ⅳ—Ⅴ级;林区、草地和水田等绝大部分土壤样品属于Ⅰ级、少数属于Ⅱ级,表明该区土壤污染原因是由于采矿和选矿造成的。

四、治理对策

(一)合理利用土地,改善土壤环境质量

今后铅锌矿的开采将主要沿矿体分布向西南方向深部拓展,九乡河以东的栖霞山体应以建设园林景观为主。沿长江地区,要严禁选矿废水和尾砂向周围排放。该区的农作物与蔬菜栽培应适当搭配一些对重金属有富集作用的水草(如芦苇等)。九乡河以西地势较高,土壤尚未受到污染,可以大力发展业副业。

(二)尽快恢复栖霞山地区的地带性植被——常绿与落叶阔叶混交林

严重污染土壤所占面积虽小,但大多分布在栖霞山风景区的重要景点以及上山公路两侧,对发展旅游与保护名胜古迹有一定影响,因此,在进行景点建设时,必须与恢复乔灌木植被同步进行。在浅部坑采引起塌陷的地带目前杂草丛生,几乎无乔灌木植被,应采取积极措施,按区域自然环境条件以及树种的连生性,重视地带性植被的恢复,以利地区环境质量整体水平的提高。

(三)合理利用掘进废石和选矿尾砂

矿山于1984年开始逐步将掘进废石和选矿尾砂用于充填井下采空区,收到了好的效果,地面上30多万吨渣石堆已清除。1991年后对尾砂按粗细分级,大于20微米的粗粒级用于充填采空区。小于20微米的细粒级尾砂,建议用板框压滤后作为井下充填料,逐步实现无尾矿山,从根本上解决选矿尾砂对长江以及周围土壤的污染。

(四)改种非食用作物

污染严重的农田改种非食用经济作物,但应研究其经济与生态上的可行性。

此外,从分布范围看,九乡河西部大片农田、硫酸厂以东的三茅宫北坡至长江边的土壤和千佛岩以南、宁镇公路两侧山区的土壤环境质量目前是好的。已经受到明显污染的主要是与矿体分布相一致的露天开采区及选矿厂及其两侧的排水沟至4号平峒口渣石堆之狭长地带。

从评价结果可以看出,调查区内污染的成因主要由山上露天采矿、山下选矿厂加工矿石、运输、货场精矿堆放、尾砂及选矿废水排放等造成。该地区土壤污染程度与土壤类型或成土母质并无直接影响,但与土壤利用情况有关。根据每个样品所在级别评定结果统计,露天