

广西南丹某尾矿库矿物元素纵向分布规律研究^{*}

姚胜勋, 韦志巧, 韦岩松

(河池学院, 广西 河池 546300)

摘 要: 为了调查广西南丹某尾矿库矿物元素的纵向分布规律, 参考相关标准并通过相关性分析、主成分分析、回归分析和通径分析研究了尾矿库内不同深度尾矿的矿物元素特征。结果表明, 尾矿中各元素含量随深度变化均存在一定分层, 表现出“二次富集”现象, 且富集层尾矿表现出较好的工业利用潜力。在矿物元素分布规律的研究中发现 Zn、Sb、Cd、Pb、Sn 和 Cu 元素可归为一类, S、Fe 和 As 元素可归为另一类, 同一类矿物元素的分布规律相似; 各矿物元素之间存在不同程度的相互作用, 且发现了较好的拟合模型; 通径分析表明 S 主要受到 Fe、Cu 和 Zn 的影响, Fe 主要受到 S 和 As 的影响, Pb 主要受到 Sb 的影响, Zn 主要受到 Cd、Cu 和 Sb 的影响, Sn 主要受到 Zn、Cd 和 Cu 的影响, Sb 主要受到 Pb 和 Zn 的影响, Cu 主要受到 Zn、S 和 Sn 的影响, As 主要受到 Fe、Sn 和 Cu 的影响。综上所述, 铅锌尾矿库中矿物元素存在“二次富集”现象, 具有较好的工业利用潜力, 矿物元素之间存在相互作用, 进而影响各矿物元素的分布规律。

关键词: 铅锌尾矿; 矿物分布规律; 通径分析; 回归分析

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2019)02-0101-08

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.016

Study on the Vertical Distribution of Mineral Elements in a Tailings Pond in Nandan, Guangxi

YAO Shengxun, WEI Zhiqiao, WEI Yansong

(Hechi University, Hechi 546300, China)

Abstract: In order to investigate the spatial distribution regularities of mineral elements in a tailings pond in Nandan County, Guangxi, the content of mineral elements in different depths was studied for reference relevant standards and by regression analysis, correlation analysis and path analysis. Results show that some secondary enrichment layer exists with depth change, which have a potential value of industrial reclamation. In the study on the distribution of mineral elements, we found that Zn, Sb, Cd, Pb, Sn and Cu can be classified into one group, and S, Fe and As can be classified into another one, which indicated a similar distribution patterns in the same group; Elements interacts with each other, and good fitting models is found; Beta coefficient analysis show that S is mainly affected by Fe, Cu and Zn, Fe by S and As, Pb by Sb, Zn by Cd, Cu and Sb, Sn by Zn, Cd and Cu, Sb by Pb and Zn, Cu by Zn, S and Sn, As by Fe, Sn and Cu. In conclusion, secondary enrichment layer exists in lead-zinc tailings ponds, in which mineral elements interact with each other, then affects their distribution.

Key words: Pd/Zn tailings; distribution characteristics of mineral elements; correlation analysis; path analysis

^{*} 收稿日期: 2018-11-15

基金项目: 河池学院硕士学位授予单位立项建设基金课题(2017HJA002); 河池学院校级重点科研项目(2018XJZD006)

作者简介: 姚胜勋(1986-), 男, 广西河池人, 硕士, 主要从事重金属污染环境生态修复和编辑学研究, E-mail: Yshxhc@163.com。

通信作者: 韦岩松(1964-), 男, 广西环江人, 副教授, 主要从事重金属污染控制研究。

目前全国有尾矿库 1 万多座^[1],其中广西有各种尾矿库 198 座,南丹县有大小尾矿库 61 座。铅锌矿尾矿含有大量的金属矿物和非金属矿物,是宝贵的二次资源。近年来,铅锌尾矿的研究多集中在资源再利用和环境污染控制方面。许多学者对尾矿再利用的可行性进行了研究^[2-3],并取得系列成果,例如从铅锌矿尾矿中回收铅、锌和硫等^[4-6]。但是,铅锌矿尾矿中的铅、锌和锡等重金属及 As 类金属,如果未得到妥善处置可能会对周围水体、土壤和大气等环境构成潜在的污染威胁^[7-10]。许多学者也对尾矿环境污染问题进行了研究,张建等^[11]研究了贵州都匀牛角塘铅锌矿区选矿尾矿中重金属元素分布特征并对重金属污染状况做了综合性评价,发现潜在环境问题突出,尾矿中有主要污染元素有镉、锌、汞、砷、锑等。覃朝科等^[8]对广西某废弃的铅锌矿矿区环境质量现状和矿区污染源进行调查,分析重金属污染过程并提出了综合治理对策建议。

无论从资源角度还是污染控制角度的研究,基本都只是针对表层或浅层尾矿的研究。由于尾矿库一般堆积方量大,尾矿层厚度可达几十米甚至上百米,有必要对尾矿库矿物元素含量随着尾矿纵向深度变化的分布规律进行研究,以便为尾矿库的科学管理、资源再利用方法的选择等提供科学依据与数据支撑。基于此,研究了广西南丹某废旧铅锌尾矿库内 9 种矿物元素从表层到底部的纵向分布规律,9 种矿物元素分别是:硫(S)、铁(Fe)、铅(Pb)、锌(Zn)、锡(Sn)、锑(Sb)、铜(Cu)、砷(As)和镉(Cd)。

1 样品采集与分析

1.1 研究区域概况

尾矿库位于广西南丹县,尾矿库大概在 20 世纪初投入使用,“十二五”期间尾矿库服务的 30 多家大小选矿企业全部被关停,该尾矿库被废弃。库区约为长×宽=500 m×500 m 的不规则区域,面积约为 10 万 m²,内有尾矿方量约 300 万 m³,库区原为山间洼地,自然坡度 40°~50°,较为陡峭,边坡岩性为强风化砂质页岩,有少量杂草、灌木零星分布。尾矿库建设工艺落后,未设置防渗层,尾矿随着选矿废水通过坝内水沟向堆场内排放,自然沉积在堆场内;库区没有积水,为干堆模式;尾矿渗滤液经卧式排渗管排出,流入坝区下游排水渠,对下游环境构成潜在污染威胁,所以必须加强监控、管理和防治。

1.2 样品采集与测试

为使研究结果在深度上更全面反映库区矿物元素分布情况,根据地势,从上游到下游选取了靠近山谷的 3 个点进行勘探,其间距约为 50 m,依次以 D-1、D-2 和 D-3 编号表示,其中,探测到的最深处 D-1 井 49 m,其次为 D-3 井 42 m,最浅处 D-2 井 39 m。

采用液压冲击钻机钻探采样,合金钻头钻井,回转钻进取芯,全井套管护壁施工;钻机每进尺约 1 m 为 1 回次,每回次的尾矿芯按上下顺序摆放在铺好的塑料膜上,按照每隔 1 m 深度放置 1 张过膜的标签标记钻进深度。钻井完毕,将尾矿芯一分为二,1 m 取 1 半尾矿芯样,再用 4 分法取约 500 g 尾矿装入自封袋混匀,共采集 130 个样品,通过美国尼通 XL2-100 手持式金属分析仪现场检测样品中 S、Fe、Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 和 Cd 含量。

1.3 数据统计与分析方法

采用 Excel 2010 进行数据整理和作图,作图过程中,每相邻 2 个数据取一个平均值,总数据个数减少一半。由于库区尾矿中存在多种矿物元素,为更好地了解矿物元素间的相互关系,对所检测的 9 个元素含量原始数据进行相关性分析、主成分分析、多元线性回归分析和通径分析。

相关性分析采用双变量 Pearson 相关系数法,主成分分析方法参见文献^[12],多元线性回归分析采用逐步回归分析方法^[12]。通径分析参见文献^[13],相关计算公式有:

(1) 直接系数 = β 标准化系数

(2) 间接系数 = 相关系数 × 直接系数

(3) 简单相关系数 = X_i 与 y 的直接系数 + 所有 X_i 与 y 的间接系数

(4) 决策系数 ($R^2(i)$) = $2P_iR_{iy} - P_i^2$

式中: X_i 为自变量, y 为因变量, $R^2(i)$ 为自变量 X_i 的决策系数, P_i 为自变量的直接系数, R_{iy} 为自变量 X_i 与因变量 y 的简单相关系数。

2 结果与讨论

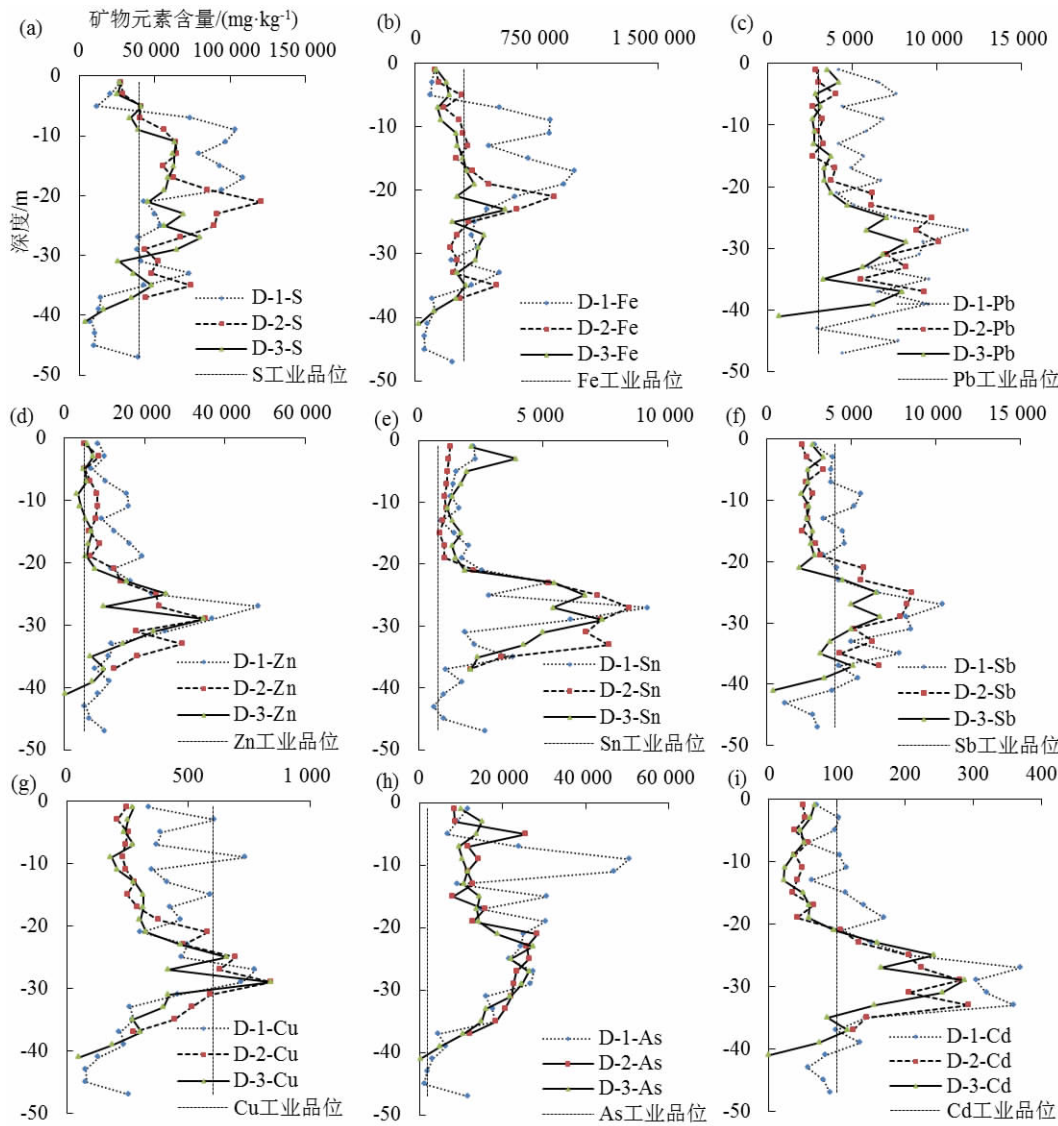
2.1 尾矿中元素含量分布特征与资源再利用分析

2.1.1 尾矿中元素含量分布特征

如图 1 所示,D-1 取样井中,S 和 Fe 都在 10~20 m 深处均有较其他深度含量高的分布层;As 在

10 m 深度附近也有较高含量分布层;D-2 和 D-3 取样井中,S 和 Fe 也各出现一个较明显的高含量分布层,都在 15~30 m 范围;3 个取样井出现高含量层的深浅顺序为:D-3>D-2>D-1;在 3 个取样

井中,Pb、Zn、Sn、Sb、Cu 和 Cd 含量各不相同,但含量变化趋势较一致,均在 20~40 m 含量较高。可见,尾矿中各元素含量随深度变化均存在一定分层,表现出“二次富集”现象。



(a)~(i)分别为 S、Fe、Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 和 Cd 含量纵向分布情况;
“参考值”为根据标准^[13-14]确定的工业利用品位参考值;图例为“取样井编号-元素符号”。

图 1 3 个取样井 S、Fe、Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 和 Cd 含量的纵向分布
Fig. 1 The distribution with depth of S, Fe, Pb, Zn, Sn, Sb, Cu, As and Cd in 3 sampling sites

出现“二次富集”现象的原因可能有以下 2 点:一方面,矿物元素迁移,受到地表径流及渗滤液的影响,以及酸性条件的溶解作用,矿物元素不断迁移,在某一深度受到阻隔逐渐产生“二次富集”现象^[14]。在此过程中,不同元素在尾矿中的粒径分布不同,原伴生矿物的构成元素不同,导致尾矿迁移速度不同和某些元素共迁移等现象;迁移速度快的,如 Pb、

Zn、Sb、Sn、Cu、As 和 Cd 等,在较深处形成富集层^[14-15];S 和 Fe 主要以 FeS₂ 矿形式存在,粒径较大,可能因此迁移速度相对较慢,从而在较浅处形成富集层。另一方面,选矿年代不同,选矿工艺条件不同,不同时期选矿回收率不同所致。南丹县有色金属采选历史悠久,但是早期选矿回收率较低,据《南丹县志》记载^[16],直到 1953 年南丹县第一座 50 t/d

选厂在大厂长坡建成,之后越来越多大型选厂建成投入使用,选矿回收率不断提高,据此推测,该尾矿库早期沉积的尾矿矿物元素含量较高,晚期沉积的尾矿矿物元素含量较低,又因为没设防渗层,底部夹杂大量泥沙导致底部含量低,从而形成中间出现矿物富集而顶层和底层矿物含量低的现象。值得一提的是,在 D-1、D-2 和 D-3 取样井中 S 和 Fe 富集层出现的深度依次增加,但是 Pb、Zn、Sb、Sn、Cu 和 Cd 在 3 个取样井出现富集层的深度基本相同,元素的迁移速度或者粒径分布都不能很好解释,可能富集出现的深度分布还受到其他因素的综合影响。

2.1.2 尾矿中矿物资源工业利用价值分析

由于没有针对尾矿工业利用品位的标准,所以在各矿物元素工业利用分析上,参考中华人民共和国国土资源部 2002 年颁发的标准——DZ/T 0200—

2002《铁、锰、铬矿地质勘查规范》和 DZ/T 0214—2002《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》^[17-18],确定各矿物元素的工业利用品位参考值并以含量表示,具体为:S 40 000 mg/kg、Fe 300 000 mg/kg、Pb 3 000 mg/kg、Zn 5 000 mg/kg、Sb 4 000 mg/kg、Sn 800 mg/kg、Cu 600 mg/kg、As 2 000 mg/kg 和 Cd 100 mg/kg。由于原始数据太多,将同一元素在同一取样井每 10 m 深度(10 组含量)取 1 个平均值并以深度均值代替深度得表 1,结合图 1 可见,3 个取样井中,As 含量在不同纵向深度基本均明显大于参考值;其他各矿物元素在富集层的含量明显大于参考值,其他深度也有一些断续的分布层含量大于参考值;随着选矿技术不断发展和资源再利用的需要,该类尾矿特别是富集层中的矿物元素具有较好的工业利用潜力。

表 1 3 个取样井 S、Fe、Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 和 Cd 含量										
Table 1 The content of S, Fe, Pb, Zn, Sn, Sb, Cu, As and Cd in 3 sampling sites										
取样井	深度 /m	矿物元素含量/(mg·kg ⁻¹)								
		S	Fe	Pb	Zn	Sn	Sb	Cu	As	Cd
D-1	-5	64 800	270 000	6 658	17 210	3 398	4 488	480	26 000	76
	-15	95 130	774 570	5 443	14 917	1 547	4 184	452	26 359	119
	-25	45 500	431 420	7 540	27 231	5 179	6 695	555	25 060	227
	-35	37 396	263 060	8 091	13 539	2 147	6 183	291	12 543	210
	-d ₁	16 410	99 800	5 178	7 149	1 287	2 515	136	4 115	77
D-2	-5	38 770	200 600	3 153	6 681	1 171	2 556	235	13 676	47
	-15	66 250	335 870	3 311	7 487	1 013	2 588	287	12 201	46
	-25	82 410	456 510	8 169	21 630	6 075	7 197	644	25 310	189
	-d ₂	50 300	298 333	8 002	18 533	4 571	5 726	428	16 882	183
D-3	-5	33 790	165 790	3 259	5 447	2 209	2 579	245	11 733	52
	-15	61 270	296 660	3 174	5 599	1 414	2 581	285	12 972	42
	-25	63 690	371 990	5 886	18 821	5 347	4 902	543	23 820	189
	-d ₃	32 817	262 470	5 977	12 255	2 923	4 068	318	13 662	137

注:“-d₁”表示-40 m 以下各组矿物元素含量分别取平均,“-d₂”表示-30 m 以下各组矿物元素含量分别取平均。

2.2 矿物元素的分布规律

各元素含量之间的关系受到其矿物组成特点的影响,广西南丹的主要有色金属金属矿物多为铅锌锡等多金属半生矿物^[19],虽然经过洗选,尾矿中这些元素含量间依然存在一定的相关性,相关的矿物元素可能具有相似的迁移特征,进而影响矿物元素的分布规律。为研究各矿物元素间的相互作用情况,基于 3 个取样井不同深度 9 种矿物元素含量的原始数据,从相关性分析、主成分分析与回归分析做进一步研究。

2.2.1 相关性分析

相关性分析可以反映矿物元素的分布规律是否

相近,两种元素之间的相关系数月接近 1,说明其相关性越显著,分布规律越接近。为研究尾矿中各元素间的相关性,采用 SPSS 20.0 进行对 3 个取样井不同深度的元素含量做 Pearson 相关性分析。

如表 2 所示,S、Fe、Cu 与 As 两两之间存在极显著正相关关系($P<0.01$ 水平),说明这 4 种元素的分布规律相近;Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 与 Cd 两两之间存在极显著正相关关系,表明这 7 种元素的分布规律也相近;而 As 和 Cu 在两组元素之间均与其他元素存在极显著正相关,说明 As 和 Cu 的分布规律可能存在一种过渡状态。另外, S 还分别与 Zn、Sb 存在显著正相关关系($P<0.05$ 水平),Fe 也分别与 Zn、Sb 存在显著正相关关系;而 Pb、Cd、Sn 均与 Fe

表 2 尾矿中各矿物元素含量间相关性分析
Table 2 Correlation analysis of the mineral elements in tailing sand

矿物元素	S	Fe	Pb	Zn	Sn	Sb	Cu	As	Cd
S	1.000								
Fe	0.823 **	1.000							
Pb	0.014	0.052	1.000						
Zn	0.198 *	0.208 *	0.705 **	1.000					
Sn	0.110	0.034	0.549 **	0.758 **	1.000				
Sb	0.208 *	0.187 *	0.887 **	0.813 **	0.682 **	1.000			
Cu	0.421 **	0.353 **	0.551 **	0.794 **	0.690 **	0.676 **	1.000		
As	0.613 **	0.714 **	0.277 **	0.458 **	0.425 **	0.438 **	0.589 **	1.000	
Cd	0.091	0.119	0.695 **	0.838 **	0.724 **	0.753 **	0.645 **	0.356 **	1.000

注:*表示 0.05 水平,**表示 0.01 水平。

或 S 相关性均不显著。

2.2.2 主成分分析

主成分分析 (principal components analysis, PCA) 可将沉积物中复杂重金属成分重新组合,并归类几个主成分,从而解释矿物元素的主要来源,进而将地球化学特征相似的矿物元素归为同类^[20]。首先检验原始数据是否满足主成分分析要求,KMO 和 Bartlett 球形检验,如表 3 所示,KMO 值为 0.790,大于 0.6, Bartlett 球形检验达到极显著水平 ($P < 0.01$),结合表 4 可见,提取共同方差均较大,信息损失均在 30% 以内,满足主成分分析要求。

主成分分析中提取多少个主成分为宜,没有明确指标,一般取累积贡献率达 80%,或者特征值大于 1 时的前 k 个主成分^[13]。如表 5 所示,前 3 个主成分的累积贡献率达到 86.707%,但是,第 3 个成分的特征值小于 1,仅有 0.577,且第 3 个成分的贡献率也较小,为 6.407%,而前面 2 个成分的累积贡

表 3 KMO 和 Bartlett 球形检验
Table 3 KMO and bartlett's test

KMO 检验	Bartlett 球形检验		
	卡方值	df	P
0.790	1 103.632	36.000	0.000

表 4 因子分析的初始结果
Table 4 Initial result of factor analysis

矿物元素	原始共同方差	提取共同方差
S	1.000	0.846
Fe	1.000	0.890
Pb	1.000	0.733
Zn	1.000	0.874
Sn	1.000	0.710
Sb	1.000	0.844
Cu	1.000	0.762
As	1.000	0.770
Cd	1.000	0.797

献率已达到 80.300%,可以很好的概括矿物元素的分布变化特征,所以提取前面 2 个主成分。

表 5 矿物元素含量的主成分分析的总方差解释
Table 5 Total variance of the elements content in the three sampling sites explained using principal component analysis

因子	初始特征值			提取平和载入			旋转平方和载入		
	特征值	解释方差	累积方差	特征值	解释方差	累积方差	特征值	解释方差	累积方差
1	5.085	56.501	56.501	5.085	56.501	56.501	4.595	51.051	51.051
2	2.142	23.799	80.300	2.142	23.799	80.300	2.632	29.249	80.300
3	0.577	6.407	86.707						
4	0.347	3.858	90.565						
5	0.301	3.342	93.907						
6	0.245	2.72	96.627						
7	0.128	1.421	98.048						
8	0.11	1.225	99.273						
9	0.065	0.727	100.000						

主成分 1 对总方差的贡献率为 56.501%,Zn、Sb、Cd、Pb、Sn 和 Cu 具有较大的荷载,荷载范围为 0.770 ~ 0.914,旋转后因子荷载范围为 0.757 ~

0.915;荷载与旋转后荷载均较大,能较好的反映 Zn、Sb、Cd、Pb、Sn 和 Cu 的分布规律。主成分 2 对总方差的贡献率为 23.799%,S、Fe 和 As 具有较大的

荷载,荷载范围为 0.576 ~ 0.854,旋转后因子荷载范围为 0.796 ~ 0.943, S、Fe 和 As 含量的变化规律也相似。

由图 2 可见,Zn、Sb、Cd、Pb、Sn 和 Cu 元素可归为一类,S、Fe 和 As 元素可归为另一类;基于相关性分析和主场分析可以推测同一类矿物元素的分布规律相似,可能在原矿物中具有伴生现象。而 As 有向前一组靠拢的趋势,Cu 有向后一组靠拢的趋势,可能这两种矿物元素在两组矿物元素的原矿物中均有伴生现象。

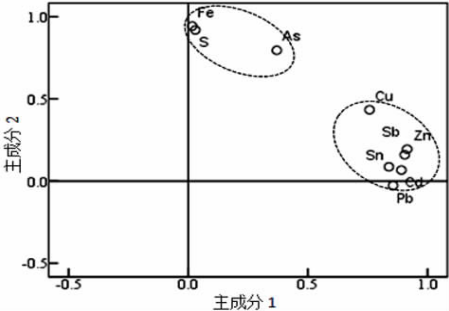


图 2 矿物元素含量的主成分荷载图
Fig. 2 Loading plots of the elements content in the three sampling sites

表 6 矿物元素含量的主成分分析的因子荷载矩阵 Table 6 Loadings of the elements content in the three sampling sites based on principal component analysis				
矿物元素	因子荷载矩阵		旋转后因子荷载矩阵	
	主成分 1	主成分 2	主成分 1	主成分 2
Zn	0.914	-0.196	0.915	0.194
Sb	0.891	-0.223	0.905	0.160
Cd	0.840	-0.302	0.890	0.067
Pb	0.770	-0.374	0.856	-0.027
Sn	0.801	-0.263	0.838	0.087
Cu	0.869	0.087	0.757	0.434
Fe	0.400	0.854	0.016	0.943
S	0.402	0.827	0.029	0.919
As	0.662	0.576	0.370	0.796

2.2.3 回归分析

为研究各矿物元素含量与其它元素之间的相互关系,通过 SPSS 20.0 采用逐步回归分析方法做了多元回归分析并建立回归模型,从定量角度反映各

种矿物元素与其它元素之间的相互关系。逐步回归分析是以待研究元素为因变量(y),其他与之显著相关的元素为自变量(X_i),逐个与自变量建立一元回归方程到多元回归方程,通过显著性检验,保证方程内的自变量对因变量的影响都显著,方程外的变量均对自变量无显著影响。

如表 7 所示,各个回归模型的 r 和 r^2 均较大,显著性检验中 P 值均为 0.000,说明模型达到极显著水平;但是剩余因子 $e = \sqrt{1 - r^2}$ 在 0.170 ~ 0.535 范围之间,说明仍存在一些其他因素(可能非所测矿物元素)没有考虑进来,其中,S 和 Cu 的剩余因子均较大,而 Fe、Zn、Sn、Sb、As 和 Cd 元素回归方程的剩余因子较小,回归模型能较全面反映各矿物元素受到其它元素的影响情况,拟合效果较好。

表 7 矿物元素含量的多元回归分析 Table 7 regression analysis between the content of the elements in the three sampling sites					
矿物元素	回归模型	r	r^2	P	$e = \sqrt{1 - r^2}$
S	$x_1 = 0.095x_2 + 46.845x_7 - 0.647x_4 + 10\ 926$	0.845	0.714	0.000	0.535
Fe	$x_2 = 4.453x_1 + 6.573x_8$	0.911	0.910	0.000	0.265
Pb	$x_3 = 1.178x_6 - 0.037x_8 + 1\ 172.704$	0.895	0.801	0.000	0.446
Zn	$x_4 = 42.625x_9 + 16.768x_7 + 1.139x_6 - 3\ 399.751$	0.916	0.839	0.000	0.400
Sn	$x_5 = 0.075x_4 + 7.494x_9 + 2.518x_7$	0.914	0.835	0.000	0.406
Sb	$x_6 = 0.496x_3 + 0.054x_4 + 0.009x_1 + 0.134x_5$	0.986	0.971	0.000	0.170
Cu	$x_7 = 0.012x_4 + 0.002x_1 + 0.020x_5 + 66.689$	0.852	0.726	0.000	0.523
As	$x_8 = 0.030x_2 + 1.307x_5 + 8.408x_7$	0.951	0.905	0.000	0.308
Cd	$x_9 = 0.005x_4 + 0.006x_3 + 0.008x_5$	0.947	0.897	0.000	0.321

注: $x_1 \sim x_9$ 分别表示 S、Fe、Pb、Zn、Sn、Sb、Cu、As 和 Cd 的含量。

2.2.4 通径分析

通径分析是建立在相关性分析和回归分析基础上进一步研究因变量与自变量之间的数量关系的方法,可将相关系数分解为直接作用系数和间接作用系数以揭示各个因素对因变量的相对重要性,还可

通过决策系数将自变量对因变量的综合作用进行排序。通过通径分析,进一步揭示回归模型中各自变量对因变量的作用效果。

由表 7 可见,S 主要受到 Fe、Cu 和 Zn 的影响,其中 Fe、Cu 起促进作用,Zn 起抑制作用;Fe 主要受

到 S 和 As 的影响,均起促进作用;Pb 主要受到 Sb 的促进作用,也受到 As 的一定抑制作用;Zn 主要受到 Cd、Cu 和 Sb 的促进作用,3 者影响程度相近;Sn 主要受到 Zn、Cd 和 Cu 的促进作用,3 者影响程度也相近;Sb 主要受到 Pb 和 Zn 的影响,也受到 S 和 Sn 的一定影响;Cu 主要受到 Zn、S 和 Sn 的影响,As 主要受到 Fe、Sn 和 Cu 的影响,Cd 主要受到 Zn、Pb 和 Sn 的影响,且均起促进作用。

表 8 各矿物元素含量之间的通径分析
Table 8 Beta coefficient analysis of the elements content in tailings

矿物元素	系数	S	Fe	Pb	Zn	Sn	Sb	Cu	As	Cd
S	直接系数		0.752		-0.220			0.330		
	间接系数		0.619		-0.044			0.139		
	决策系数		0.709		-0.285			0.489		
Fe	直接系数	0.654							0.324	
	间接系数	0.538							0.231	
	决策系数	0.730							0.454	
Pb	直接系数						0.947		-0.138	
	间接系数						0.840		-0.038	
	决策系数						0.824		-0.213	
Zn	直接系数						0.266	0.347		0.414
	间接系数						0.216	0.276		0.347
	决策系数						0.402	0.511		0.579
Sn	直接系数				0.333			0.292		0.316
	间接系数				0.252			0.201		0.229
	决策系数				0.397			0.366		0.387
Sb	直接系数	0.109		0.642	0.182	0.102				
	间接系数	0.023		0.569	0.148	0.070				
	决策系数	0.183		0.721	0.274	0.161				
Cu	直接系数	0.284			0.561	0.233				
	间接系数	0.120			0.445	0.161				
	决策系数	0.425			0.629	0.318				
As	直接系数		0.610			0.243		0.181		
	间接系数		0.436			0.103		0.107		
	决策系数		0.628			0.323		0.228		
Cd	直接系数			0.235	0.558	0.187				
	间接系数			0.163	0.468	0.135				
	决策系数			0.339	0.645	0.271				

3 结 论

尾矿中各元素含量随深度变化均存在一定分层,表现出“二次富集”现象,且富集层尾矿表现出较好的工业利用潜力。在矿物元素分布规律的研究中发现 Zn、Sb、Cd、Pb、Sn 和 Cu 元素可归为一类,S、Fe 和 As 元素可归为另一类,同一类矿物元素的分布规律相似;各矿物元素之间存在不同程度的相互作用,且发现了较好的拟合模型;通径分析表明 S 主要受到 Fe、Cu 和 Zn 的影响,Fe 主要受到 S 和 As 的影响,Pb 主要受到 Sb 的影响,Zn 主要受到 Cd、Cu 和 Sb 的影响,Sn 主要受到 Zn、Cd 和 Cu 的影响,Sb 主要受到 Pb 和 Zn 的影响,Cu 主要受到 Zn、S 和 Sn

的影响,As 主要受到 Fe、Sn 和 Cu 的影响。综上所述,铅锌尾矿库中矿物元素存在“二次富集”现象,具有较好的工业利用潜力,矿物元素之间的存在相互作用,进而影响各矿物元素的分布规律。

参考文献:

[1] 王冀飞. 矿山爆破对尾矿库安全影响监测与仿真研究 [D]. 北京:首都经济贸易大学,2013:1-2.
[2] 刘恋,郝情情,郝梓国,等. 中国金属尾矿资源综合利用现状研究[J]. 地质与勘探,2013,49(3):437-443.
[3] 郭敏,赵恒勤,赵军伟,等. 矿山尾矿资源综合利用标准需求分析[J]. 矿产保护与利用,2015(5):46-50.
[4] 曾懋华,颜美凤,奚长生,等. 从凡口铅锌矿尾矿中回收铅锌[J]. 金属矿山,2007,37(9):123-126.

[5] 曾懋华,颜美凤,奚长生,等. 从凡口铅锌矿尾矿中回收硫精矿的研究[J]. 矿冶工程,2007,27(1):36-39.

[6] 孙燕,刘和峰,刘建明,等. 有色金属尾矿的问题及处理现状[J]. 金属矿山,2009(5):6-10.

[7] 叶宏萌,袁旭音,赵静. 铜陵矿区河流沉积物重金属的迁移及环境效应[J]. 中国环境科学,2012,32(10):1853-1859.

[8] 覃朝科,农泽喜,黄伟,等. 广西某废弃铅锌矿重金属污染调查及治理对策[J]. 有色金属工程,2016,6(3):87-92.

[9] Concas A, Arda C, Cristini A, et al. Mobility of heavy metals from tailings to stream waters in a mining activity contaminated site[J]. Chemosphere, 2006, 63(2):244-53.

[10] 翟丽梅,陈同斌,廖晓勇,等. 广西环江铅锌矿尾矿砂坝坍塌对农田土壤的污染及其特征[J]. 环境科学学报,2008(6):1206-1211.

[11] 张建,魏怀瑞,杨瑞东,等. 贵州都匀牛角塘铅锌矿区选矿尾矿中重金属元素分布特征研究[J]. 有色金属工程,2018,8(1):122-127.

[12] 陈方樱. 数据分析方法及 SPSS 应用[M]. 北京:科学出版社,2016:141-156,163.

[13] 唐启义. DSP 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2010:661.

[14] 周元祥,岳书仓,周涛发. 安徽铜陵杨山冲尾矿库尾砂重金属元素的迁移规律[J]. 环境科学研究,2010,23(4):497-503.

[15] 周科平,林允,胡建华,等. 大脚岭铅锌尾矿库重金属迁移规律与污染评价[J]. 中南大学学报(自然科学版),2015,46(5):1953-1958.

[16] 广西南丹县志办公室. 南丹县志[M]. 南宁:广西人民出版社,1994:249-254.

[17] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0200-2002 铁、锰、铬矿地质勘查规范[S]. 北京:2002.

[18] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0214-2002 铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范[S]. 北京:2002.

[19] 雷满奇,韦连军. 广西南丹某铅锑锌多金属矿选矿试验研究[J]. 矿产保护与利用,2009(2):25-29.

[20] 邓渠成,王晓飞,尹娟,等. 西江上游有色金属产业集聚区河流沉积物重金属空间分布特征与来源解析[J]. 环境科学研究,2017,30(8):1221-1229.

引用格式:姚胜勋,韦志巧,韦岩松. 广西南丹某尾矿库矿物元素纵向分布规律研究[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):101-108.

YAO Shengxun, WEI Zhiqiao, WEI Yansong. Study on the vertical distribution of mineral elements in a tailings pond in Nandan, Guangxi[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(2):101-108.