

云南个旧锡矿地质环境模型

王启亮¹⁾, 吕义清²⁾, 初娜³⁾, 员孟超⁴⁾, 赵元艺⁵⁾

1) 山西水利职业技术学院, 山西运城, 044004; 2) 太原理工大学, 太原, 030024;
3) 北京中色资源环境工程有限公司, 北京, 100070; 4) 山西省地球物理化学勘察院,
山西运城, 044004; 5) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要:文章以重金属元素为研究对象,在系统野外采样与分析工作的基础上,给出了云南个旧锡矿山的地质环境模型。影响环境的因素有:个旧原生矿床富含多金属硫化物,氧化后易生成酸;碳酸盐可以消耗硫化物氧化所产生的酸并可防止金属的迁移。矿山开发之前由矿床向环境释放的元素重量,Cu为1.21万吨、Pb为7.0万吨、Cd为101.91吨、As为1.2万吨、Sn为2.33万吨。总体上个旧矿区水的环境质量较好。土壤环境则受矿山采-选-冶活动的影响,在卡房、牛屎坡、云锡二冶等地重金属元素严重超标,比对照区和国家三级土壤标准高出许多倍,云锡集团冶炼厂的烟囱排尘为重金属的重要污染源之一。牛坝荒尾砂库复垦之后,显示下伏尾砂对上覆的土壤有一定的影响。

关键词: 矿山地质环境模型; 大气飘落物; 个旧锡矿

一般而言,矿床地质只注意到矿床地质特征和成矿控制条件以及矿床成因的研究,其最终目的以发现和预测未知矿床、并为矿床的开采服务,基本上未重视矿床本身及其开发过程中对环境造成的影响。从元素含量方面来看,矿体与原生晕是有用元素相对富集的地段,但从环境角度看,他们却是环境的综合性污染源(兰雅莉,2002;庞春勇等,2003),即使不进行开采也可能产生环境危害(汪明启等,2006;汤中立等,2005)。因此,20世纪90年代以来,由于人们对环境问题的忧郁,西方国家将其研究领域由单纯的资源勘查与评价转向资源-环境一体化研究(Bramf Noble et al, 2003; Orlvoe AD, 1995)。我国也于近年对矿山地区开展了一系列与污染相关的研究工作(Dang Zhi et al, 1997; Wu Pan et al, 2001; 赵元艺等, 2003; 赵元艺等, 2007; 初娜等, 2007; 初娜等, 2008; 赵元艺等, 2009)。本文按照矿床(山)地质环境模型的基本内容(Edward A. du Bray, 1999; Walder I. F et al, 1995; 赵元艺等, 2007; 赵元艺等, 2009),以重金属元素为研究对象(Whiteley J. D, 2003; Shao Xiaohou et al, 1994; Urasa I et al, 1996.),分析了云南个旧锡矿山的地质环境特

征,包括资源开发之前、开发过程中以及部分功能区关闭之后的地质环境效应,为个旧及相似矿山地区的环境科学研究和评价提供参考。

1 地质与环境背景

个旧锡矿山多金属矿床位于云南省南部,处于华南褶皱系的西南缘。该地区的原生矿床可分为四种类型:含锡云英岩型、电气石细脉带型、锡石-硫化物多金属型(包括矽卡岩-硫化物型和层间型)以及含锡白云岩型。探明储量以分布在花岗岩与中三叠统中厚层碳酸盐岩接触带的矽卡岩-硫化物型锡矿床比重最大。区内中生代岩浆活动强烈,各类岩体均穿切三叠纪碳酸盐岩地层,各类岩体中的U含量为 $13 \times 10^{-6} \sim 33 \times 10^{-6}$; Th含量为 $15 \times 10^{-6} \sim 84 \times 10^{-6}$ (冶金工业部西南冶金地质勘探公司, 1984)。分别为维氏值的3.7~9.4倍和0.8~4.7倍。

矿区以南北向个旧断裂为界分为东西两区。西区受北东向复向斜控制,岩浆岩大面积分布,矿化相对较弱。东区受北东向五子山复背斜控制,火成岩仅零星出露,大部分隐伏于地表下200~1000m。矿体形态为似层状、透镜状等,累计探明有色金属储量476

注:本文为国土资源部专项《矿产资源开发对环境的影响及整治示范研究》之子项目《矿床地质环境模型及环境评价》(编号30302408-2)资助的成果。

收稿日期:2009-09-18;改回日期:2010-09-15;责任编辑:郝梓国。

作者简介:王启亮,男,1964年生。副教授。从事环境地质研究。Email:wql.976@163.com。通讯作者:吕义清,男,1970年生。在职博士。从事环境地质与灾害地质研究。Email:lvyingqing@tyut.edu.cn。

万吨,锡的金属储量 172.11 万吨;松树脚 1-1 号矿体的锡含量较高,为 1.107%(冶金工业部西南冶金地质勘探公司,1984)。次级褶皱及东西向断裂发育,多为控岩控矿构造,近东西向断裂控制了东区的卡房、老厂、马格拉等 5 个主要矿床,这些矿床分布在个旧西区花岗岩杂岩体的东部和南部,受燕山期黑云母花岗岩、中三叠统碳酸盐岩及断裂带所控制,5 个矿区的总面积约为 122.4km²(冶金工业部西南冶金地质勘探公司,1984;地质部西南地质局五零一勘探队,1995)。在个旧地区,突出的环境问题有两方面,一是矿工肺癌发病率高(毛宝霖,1981;孙世荃等,1982;毛宝霖等,1984;张辅明等,1985;孙来华等,1994;姚树祥等,2000),二是重金属元素污染较为严重。在该地区,从事的矿业活动有分别针对锡与铜两种资源的采-选-冶等一系列复杂的过程,其中对锡资源的采矿方式为隐伏矿的洞采和砂矿的露天开采,选矿方式均为重选;而对铜矿的采矿方式均为隐伏矿的洞采,选矿方式为浮选。在这些过程中产生的废渣、废液与废气多种废弃物对环境造成了不同程度的影响。

2 样品采集与分析测试

本文研究的样品采自个旧地区主要的矿业活动

及其影响或可能地区,包括卡房尾砂库、牛坝荒尾砂库、个旧湖、二冶尾砂库等,采集的样品种类包括水、土壤、尾砂库尾砂、冶炼厂大气飘落物(图 1、图 2)。

固体样品由地矿部江西省中心实验室进行分析。尾砂、土壤和大气飘落物样品中重金属元素含量的测试方法为:Pb 的测定主要采用 X 荧光光谱法;Zn、Cu 采用电感耦合等离子原子发射光谱仪进行测量;Cd 采用原子吸收光度法进行分析;Hg、As 采用原子荧光光度计进行分析。为保证样品测试的准确性,部分样品进行了平行样测定,结果显示,测试数据在误差范围内。

地表水样品由云南省地质矿产勘查开发局中心实验室进行分析,Cu、Zn、Cr 元素采用感耦等离子体发射光谱法(ICP)进行测定,Pb、Cd 元素采用无火焰原子吸收光谱法进行测定,As、Se、Hg 元素采用原子荧光光谱法进行测定,Mo 元素采用催化极谱法进行测定,水样中的 pH 值采用玻璃电极法测定。

共采集 58 件样品,其中水样 15 件,土壤样 28 件,尾砂样 12 件,大气飘落物样品 3 件,测试结果见表 1~2、4~5。

表 1 个旧地区水样分析结果
Table 1 Result of Water Analysis in Gejiu

样品编号	采样点号	元素含量(μg/L)											pH 值	取样位置
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mo	Hg	As	Sb	Sn	W	Cr		
GJ05-W1	GJ-05-2	20	53	32	6	11	—	54	8	4	30	12	7.43	卡房尾砂库
GJ05-W2	GJ-05-3	12	54	10	5	—	—	28	9	—	—	12		
4-10S01	06-4	17.8	2.9	8.1	0.5	43.5	—	8.3	9.0	0.6	1.2	1.6		
4-10S02	06-7	21.4	4.5	22.6	0.8	6.3	—	10.0	1.2	3.5	11.8	2.5		
4-10S04	06-9	25.6	2.9	24.4	0.6	3.9	—	14.9	0.6	0.7	1.6	2.5	8.25	牛坝荒尾砂库
4-10S05	06-13	9.1	5.7	37.4	0.7	4.1	—	14.5	1.2	4.9	2.3	1.9	8.14	
4-10S06	06-14	5.6	0	23.5	2.7	15.9	—	12.0	1.8	8.3	3.1	—	7.66	牛屎坡尾砂库
GJ05-W3	GJ-05-6	11	23	25	—	—	—	47	2	—	—	—		
4-10S08	06-26	0.6	0.4	0.6	0.2	1.0	—	11.7	3.7	0.2	0.2	0.2	8.04	个旧湖
4-10S09	06-27	0.4	0.7	—	0.1	0.8	—	11.6	4.0	0.2	—	—	7.89	
4-10S010	06-28	0.5	—	—	0.2	0.6	—	12.9	3.9	0.6	—	—	7.94	
4-10S07	06-23	9.0	0.6	306.3	4.1	5.0	—	6.9	35.9	2.8	1.4	—	7.06	二冶尾砂库
4-10S03	06-8	3.1	4.2	36.5	0.4	0.6	—	2.0	0.4	1.4	0.8	3.8	8.23	山泉水
4-10S011		0.4	0.1	0.5	0.1	0.2	—	1.4	0.2	0.4	—	—	8.08	个旧市自来水
4-10S012		0.7	0.4	1.6	0.1	0.1	—	2.0	0.2	0.3	0.2	—	8.01	
国家Ⅲ类水标准	1000	50	1000	5	70	0.1	50					6~9		

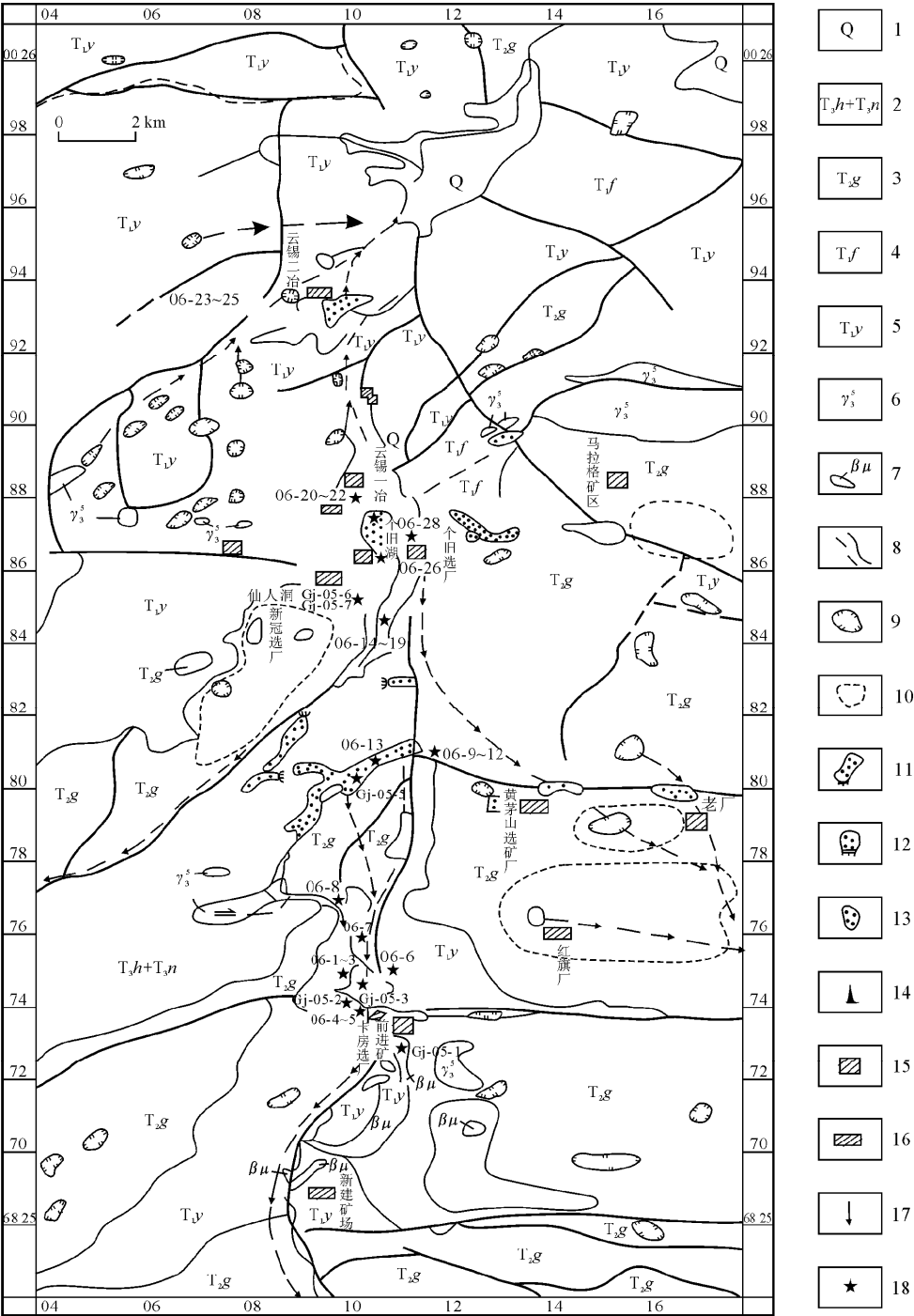


图 1 个旧地区地质与污染现状示意图

Fig. 1 Sketch Map of Gejiu Geology and Pollution Situation

(据西南有色地质勘查局 308 队(2000)与云南省地质矿产局第二地质大队(1992)资料改编); 1—第四系;2—上三叠统火把冲组砂砾岩和乌格组砂页岩;3—中三叠统个旧组马拉格段白云岩、钙质白云岩夹灰岩;4—中三叠统法郎组砂页岩、灰岩;5—夹玄下三叠统永宁镇组砂页岩夹灰岩;6—燕山期花岗岩;7—辉绿岩脉;8—断层或推断断层(F1 为个旧断裂);9—洼地;10—锡石矿水采区;11—湖塘及水库 12—尾矿库;13—矿渣堆 14—排污烟囱;15—重污染源地;16—轻污染源地;17—暗河;18—本文工作采样地点,06-7 等为采样地点编号

(Data adapted from Team 308, Southwest Nonferrous Geological Exploration Bureau(2000) and the second geological brigade of Yunnan Geology and Mineral Resources Bureau(1992)); 1—Quaternary; 2—glutenite of Huobachong Group and sand-shale of Niaoge Group in Upper Triassic; 3—dolomite, calcareous dolomite and limestone in Malage section of Gejiu in middle Triassic; 4—sand-shale and limestone of Frances Group In middle Triassic; 5—sand-shale and limestone of Yongning Group in Lower Triassic; 6—granite in Yanshanian; 7—diabase veins; 8—faults or inferred faults; 9—swale; 10—tin mining areas in watershed; 11—lakes, ponds and reservoirs; 12—tailings; 13—slag heap; 14—sewage chimney; 15—heavy pollution areas; 16—light pollution areas; 17—underground river; 18—Sampling sites of the article, 06-7, etc. - numbers of the sampling sites

表 2 个旧土壤样品元素含量
Table 2 Content of Soil Elements in Gejiu

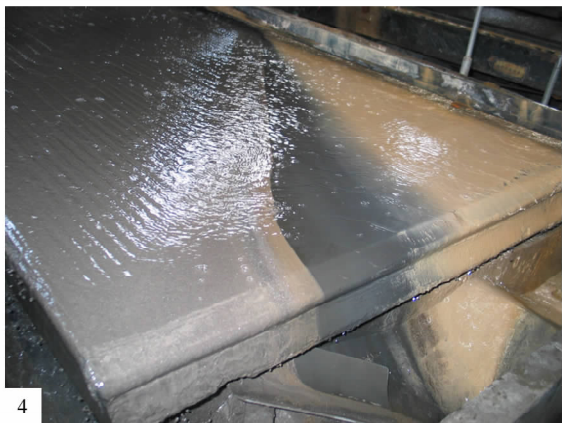
采样 点号	样品编号	采样深度 (cm)	元素含量(mg/kg)												取样位置
			Cu	Pb	Zn	Cd	Mo	Hg	As	Sb	Sn	W	Cr	PH 值	
GJ05-1	GJ05-T1	0~20	3088	4800	2955	20	8.5	0.671	4960	118	3000	400	84.0		卡房砂锡矿采场
	GJ05-T2	150	2700	11500	3600	35.3	11.0	0.285	5561	116	5200	35.0	84.0		
	GJ05-T3	300	4900	5100	2600	24.9	9.2	0.298	10270	87.8	2700	40.0	56.0		
06-3	4-10T01-1	0~10	3550	4539	2166	13.7	32.2	0.28	2500	57.5	1800	83.1	122	7.89	卡房尾砂坝
	4-10T01-2	10~20	3107	4730	2698	11.0	26.4	0.29	2300	58.6	1500	299	136	8.00	
06-5	4-10T02-1	0~10	977	7228	3216	17.9	41.6	0.30	1500	58.4	1000	64.3	127	7.42	卡房尾砂坝外复 垦后农田
	4-10T02-2	10~20	1004	6574	2979	12.3	39.6	0.33	1400	58.0	1000	80.1	118	7.14	
	4-10T02-3	20~30	1224	7168	3378	18.5	26.2	0.36	1800	60.3	510	77.0	135	7.62	
06-6	4-10T03	0~20	177	286	384	0.88	5.75	0.12	310	23.2	89	17.0	120	6.15	卡房尾砂坝山坡上
	4-10T04	0~20	120	218	292	0.51	4.77	0.13	120	19.6	26	17.8	120	5.72	
GJ05-5	GJ05-T7	0~20	1700	13800	11000	89.4	12	0.423	2399	118	2300	20.0	68.0		牛坝荒尾砂坝内侧山坡
	GJ05-T8	0~20	500	8900	5400	16.6	6.4	0.221	1024	73.6	2800	42.0	90.0		
06-11	4-10T05	0~20	241	2660	686	1.37	10.2	0.26	400	34.3	820	25.5	139	5.58	
06-12	4-10T06	0~20	194	4504	703	1.19	10.7	0.29	470	57.2	940	26.2	132	6.44	
GJ05-6	GJ05-T9	0~20	975	2958	3860	25.2	18.0	0.187	908	129	14700	62.0	25.0		牛屎坡
	GJ05-T10	0~20	600	15200	4600	19.2	8.0	0.451	2406	456	2100	700	48.0		
06-15	4-10T07-1	0~20	654	1135	682	2.69	12.8	0.38	720	48.2	1600	124	109	7.64	牛屎坡尾砂库旁山坡上
	4-10T07-2	20~40	347	450	212	0.62	14.9	0.11	770	11.0	330	41.2	195	7.62	
06-16	4-10T08-1	0~10	944	4192	1982	9.22	20.8	0.78	2000	234	2500	112	112	7.58	
	4-10T08-2	>20	298	1355	567	0.66	11.3	0.57	340	139	370	58.5	151	7.28	
06-17	4-10T09-1	0~10	249	1010	363	0.71	12.8	0.73	390	102	780	40.8	211	7.61	个旧城区沟谷横剖面
	4-10T09-2	30~40	577	2887	775	2.86	16.6	1.06	890	146	2700	63.3	214	7.60	
06-18	4-10T10-1	0~10	261	1078	473	1.31	12.2	1.05	400	77.2	1700	95.5	168	7.30	
	4-10T10-2	30~40	186	765	352	0.41	19.1	0.82	290	80.9	1300	83.1	180	7.85	
06-19	4-10T11-1	0~10	412	1395	729	2.75	9.98	1.66	650	40.8	6400	39.3	116	6.72	
	4-10T11-2	30~40	398	1611	781	2.56	6.78	1.70	900	37.2	8900	56.6	119	6.98	
06-24	4-10T12-1	10~20	9791	3001	3270	21.7	45.2	0.29	27400	23.3	2200	80.1	54.1	7.96	二冶尾砂库
06-25	4-10T13	0~20	704	2373	1312	8.17	13.5	0.42	1600	124	2100	42.2	140	7.78	
中国三级土壤标准			400	500	500	1.0		1.5	40				300	>6.5	
个旧对照区元素含量			148.5	252	338	0.7	5.26	0.12	215	21.4	57.5	17.4	120		

注:个旧对照区元素含量由 06-6 点二个样品计算平均值获得。

表 3 参与恢复开矿之前特征的有关土壤样品元素含量(mg/kg)
Table 3 Content of Soil Elements Involving Computation (mg/kg)

点号	样品编号	采样深度(cm)	Cu	Pb	Cd	As	Sn	取样位置
06-5	4-10T02-1	0~10	977	7228	17.9	1500	1000	卡房尾砂坝外复垦后农田
	4-10T02-2	10~20	1004	6574	12.3	1400	1000	
06-6	4-10T03	0~20	177	286	0.88	310	89	卡房尾砂坝山坡
	4-10T04	0~20	120	218	0.51	120	26	
06-11	4-10T05	0~20	241	2660	1.37	400	820	牛屎坡尾砂库旁山坡
06-12	4-10T06	0~20	194	4504	1.19	470	940	
06-15	4-10T07-1	0~20	654	1135	2.69	720	1600	
06-17	4-10T09-1	0~10	249	1010	0.71	390	780	个旧城区沟谷横剖面
06-18	4-10T10-1	0~10	261	1078	1.31	400	1700	
平均含量 C ₁			431.9	2744	4.32	634.4	883.9	
个旧对照区元素含量 C ₂			148.5	252	0.7	215	57.5	
C ₁ - C ₂			283.4	2492	3.62	419.4	826.4	

注:个旧对照区元素含量由 06-6 点二个样品计算平均值获得。



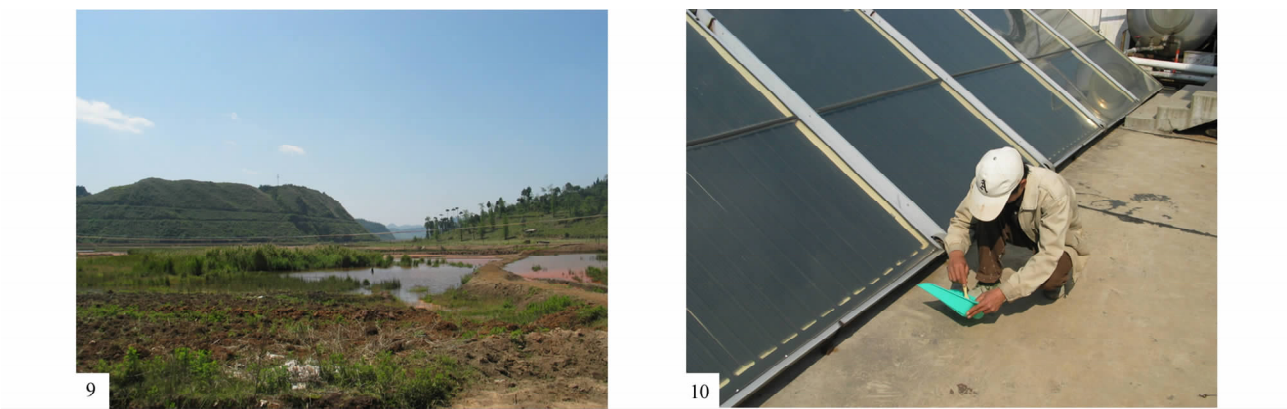


图 2 个旧地区矿业活动与样品采集

Fig. 2 Mining Activity and Sampling in Gejiu

1—一个旧松树脚锡矿出矿口;2—卡房砂锡矿采场;3—牛屎坡选矿厂;4—卡房锡矿选厂;5—卡房铜矿选厂;6—一个旧第一冶炼厂排污烟囱;
7—在云锡二冶厂边采集水样;8—在牛屎坡采集土壤样;9—已复垦的牛坝荒尾砂库;10—在银波赤大酒店屋顶采集大气飘落物
1—Place of producing tin in Songshujiao of Gejiu;2—the Streamtin stope in Kafang;3—Concentrator Factory in the Niufen po;4— The Tin
Factory in Kafang;5—The Copper Factory in Kafang;6—Sewage chimney of the First Smelter in Gejiu;7—Collecting water samples at the
Second Tin-smelting Factory in Yunnan;8—Collecting soil samples at the Bullshit Slope;9—Reclaimed tailing dam in Niubahuang;10—
Collecting atmospheric falling objects at the roof of Yinbochi Hotel

表 4 个旧尾砂分析数据

Table 4 Data Analysis of Taihungshania in Gejiu

采样点号	样品编号	采样深度 (cm)	元素含量(mg/kg)							取样位置
			Cu	Pb	Zn	Cd	Mo	Hg	PH 值	
06-1	4-10W01	0~10	7293	540	1245	6.23	59.6	0.33	6.55	卡房尾砂坝
06-2	4-10W02	0~10	8571	1414	1686	11.2	75.8	0.29	5.86	
GJ-05-2	GJ05-T4	0~10	5100	4700	3700	26.3	20	0.378		
GJ-05-3	GJ05-T5	0~10	3801	1236	2699	25.3	2.6	0.043		
06-9	4-10W03-1	0~10	5028	785	1134	6.32	31.8	0.39	7.59	牛坝荒尾砂库
06-9	4-10W03-2	10~20	3852	1215	1502	11.4	30.9	0.40	7.75	
06-10	4-10W04-1	0~10	5523	994	2365	10.0	29.2	0.35	8.19	
06-10	4-10W04-2	20~30	4104	2012	1943	14.8	36.8	0.42	8.14	
GJ-05-4	GJ05-T6	0~10	753	5400	1721	11.3	2.3	1.034		牛屎坡尾砂库
06-14	4-10W05	0~10	2614	14160	6445	36.3	59.2	0.56	7.80	
06-23	4-10W06	0~10	10960	5396	5881	31.1	60.4	0.28	7.95	
06-24	4-10T12-2	50~60	11840	2333	3594	31.3	59.8	0.20	8.14	
元素含量平均值			5786.6	3348.8	2826.3	18.5	39.0	0.389		
中国三级土壤标准			400	500	500	1.0		1.5		
个旧老厂-卡房岩体			13	44	<30					
个旧老厂锡石“细脉带”矿石			900	890	1500					
			As	Sb	Sn	W	Cr	Na		
06-1	4-10W01	0~10	18500	23.1	3700	52.8	37.9	920		卡房尾砂坝
06-2	4-10W02	0~10	13300	37.2	6800	67.8	22.7	1000		
GJ-05-2	GJ05-T4	0~10	5914	180	500	400	52.0			
GJ-05-3	GJ05-T5	0~10	1967	19.6	3700	270	24.0			
06-9	4-10W03-1	0~10	16500	23.8	3300	41.2	36.4	580		牛坝荒尾砂库
06-9	4-10W03-2	10~20	14300	27.7	1200	45.1	35.4	560		
06-10	4-10W04-1	0~10	7800	39.5	1200	36.2	31.0	970		
06-10	4-10W04-2	20~30	11100	34.1	1400	30.5	36.1	580		
GJ-05-4	GJ05-T6	0~10	919	224	800	56.0	13.0			牛屎坡尾砂库
06-14	4-10W05	0~10	5600	283	3700	33.9	69.5	920		
06-23	4-10W06	0~10	27800	22.5	4400	58.5	33.9	760		
06-24	4-10T12-2	50~60	35100	16.1	2800	67.8	32.7	640		
元素含量平均值			13233.3	77.6	2791.7	96.7	35.4			
中国三级土壤标准			40				300			
个旧老厂-卡房岩体					20	10				
个旧老厂锡石“细脉带”矿石			1700		2400		20			

表 5 个旧地区大气飘落物样品重金属含量分析
Table 5 Heavy Metal Content in Aerial Drifting in Gejiu

样品编号	采样点号	元素含量(mg/kg)							取样位置
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mo	Hg	As	
4-10P01	06-20	2967	10880	4163	0.44	43.4	0.31	14200	云锡公司第一冶炼厂 银波赤大酒店 云锡瓷器厂
4-10P02	06-21	1155	4145	2905	32.7	18.7	0.32	2200	
4-10P03	06-22	1245	4538	3460	52.0	50.1	0.58	4500	
中国土壤三级标准		400	500	500	1.0		1.5	40	
世界土壤背景值		15~40	15.25	50~100	0.5		0.03~0.1	5	
样品编号	采样点号	Sb	Sn	W	Cr	Na	PH 值		
4-10P01	06-20	549	123000	115	114	2200	6.06		云锡公司第一冶炼厂 银波赤大酒店 云锡瓷器厂
4-10P02	06-21	201	7200	16.2	97.2	1700	6.05		
4-10P03	06-22	276	32900	131	98.9	4700	7.08		
中国土壤三级标准					300		>6.5		
世界土壤背景值					100~300				

3 矿山地质环境特征

3.1 矿山开发之前影响环境的潜在地质因素与
环境特征恢复

3.1.1 潜在地质因素

个旧属于以锡为主并伴有铜等多金属的矿区，系统研究矿区的环境地质特征，可将其潜在的环境效应要素总结为：a、个旧原生矿床以分布在花岗岩接触带的矽卡岩-硫化物类型为主，富含多金属硫化物，氧化后易生成酸；个旧锡矿 80% 以上的原生矿床产出在碳酸盐岩层中；b、碳酸盐可以消耗硫化物氧化所产生的酸并可防止金属的迁移，在个旧看不到酸水横流的现象；c、与矿化有密切成因关系的个旧浅色花岗岩类钼和铀含量高，具较强的放射性；d、个旧锡矿位于分水岭地带以及喀斯特地形对排水系统的影响及其环境效应。

3.1.2 环境特征恢复

与德兴铜矿地区矿山开发之前的环境特征恢复模型不同(赵元艺等, 2009)，个旧矿床硫化物的次生富集带不发育。尽管个旧地区前人的分散流资料较为丰富, 但次生晕资料较少, 并且由于矿山开发近 2000 年, 因而无法准确得知这些资料所代表的地质与环境意义。因此, 要准确恢复该矿山开发之前的环境特征是非常困难的。本文利用所获得的有关土壤资料, 对个旧地区矿山开发之前的环境特征进行近似的恢复。

个旧地区的矿床开发之前由矿床向环境释放的元素重量的计算模型应为：

$$Q=S\times H\times y\times (C_1-C_2)$$
 (1)

其中：Q—矿床开发之前由矿床向环境释放的

元素重量

- S—矿床影响到的范围面积
- H—计算土壤层的厚度(按 20cm 计算)
- y—土壤的容重 1.15T/m³
- C₁—土壤中元素的平均含量
- C₂—土壤中元素的背景值。

据个旧地区采集的土壤样品(深度 0~20cm)的分析结果(表 3), 将对照区(卡房南山树丛中未受矿山开发影响地区)的分析结果作为背景区的含量(即式(1)中 C₂)；参考图 1 与表 2 的有关分析结果, 可以确认云锡二冶地区的土壤明显受到矿山开发对其的影响, 而二冶地区的土壤中 Sn 的最低含量为 2100mg/kg, 故将 Sn 含量达 2000 mg/kg 以上的样品剔除；另外, 卡房尾砂库土壤的 Cu 含量也比较高, 最低为 3088 mg/kg, 因此在计算时去掉 Cu 含量在 3000 mg/kg 以上的样品。总之仅用 Sn 含量在对照区至 2000mg/kg 之间以及 Cu 含量在 3000 mg/kg 以下的样品的有关数据作为计算矿床开发之前由矿床向环境释放的元素重量的依据, 参与计算的样品及元素含量见表 4, 4 个矿田面积共为 122.4km²。将有关数据代入式(1), 得到式(2)。

$$Q=28.152\times (C_1-C_2)$$
 (2)

由重金属元素含量可计算出矿山开发之前由矿床向环境释放的 Cu、Pb、Cd、As、Sn 重量分别为：

- $Q_{Cu}=28.152\times 283.4=12158.85(\text{吨})$
- $Q_{Pb}=28.152\times 2492=70154.78(\text{吨})$
- $Q_{Cd}=28.152\times 3.62=101.91(\text{吨})$
- $Q_{As}=28.152\times 419.4=11806.95(\text{吨})$
- $Q_{Sn}=28.152\times 826.4=23264.81(\text{吨})$

因此, 通过这种近似的计算, 得知矿山开发之前

由矿床向环境释放的元素重量的吨数 Cu 为 1.21 万吨、Pb 为 7.0 万吨、Cd 为 101.91 吨、As 为 1.2 万吨、Sn 为 2.33 万吨。

3.2 矿山开发过程中的环境问题

3.2.1 矿山开采、选矿和冶炼方法

个旧矿区由大型有色金属联合企业云锡公司下属老厂,马拉格,松树脚,黄茅山,卡房等矿山(图 1)开采。区内原生矿包括部分氧化矿,主要为地下坑采。云锡各矿都有开采百年以上的历史,旧巷多,采空区多。古代选矿方法简单,仅为重选法提取锡石,其污染有限。近代对矿石综合利用,使用添加剂增多。目前,锡石硫化物矿选矿采用浮-重流程,先脱出硫化物后再重选,浮选药剂采用黄药、松油、石灰氢氧化钠等常规药剂。除选冶过程中含重金属特别是含砷粉尘问题之外,选冶废水中砷亦有相对富集,部分呈水溶性砷出现,在本区地下水交替强烈的条件下,地下水溶滤、溶解作用较强烈,容易污染地下水。开采和选矿活动对地表扰动强烈:个旧矿区区内遍布残积、坡积-洪积、洪积-冲积、溶洞堆积砂锡矿床以及历代采矿形成的人工堆积砂锡矿床。

3.2.2 水环境

在个旧地区共采集 15 个水样(表 1)涉及 7 个地区(图 1、图 2)其中两件为自来水,1 件为山泉水,其余 12 件为矿山开采与冶炼地区的水。可以看出,所有水样与国家 III 类标准相比,仅在卡房尾砂库地区采集的 GJ05-W1、GJ05-W2 两个样品的 Pb、Cd 略有超标,GJ05-W2 的 As 略有超标,而其余元素均不超标。因此,总体看来,个旧矿区水的环境质量较好。

3.2.3 土壤环境

本文于 2005~2006 年对个旧地区采集了 28 个

土壤样品,采样位置见图 1,周围环境情况见图 2,分析结果见表 2。这些样品涉及 15 个地点和卡房砂锡采场共 9 个地区。

卡房地区的土壤样品分布如图 3 所示。其中 06-6 点在野外看为未受尾砂影响地点,从分析结果看 06-6 采样点取的两个土壤样品的 Cu、Pb、Zn、Cd、Mo、Hg、As、Sn、W 的含量与相近地区其它地点的相比,明显偏低。因此,可将这两个样品分析结果看作为未受尾砂及尾砂水影响的“对照区”,其有关元素的统计结果如表 2 中采样点号 06-17 所示。与“对照区”相对比,卡房砂锡采场土壤(点号 GJ05-1)在深 0~20 cm→150 cm→300 cm 三个层次中,0~20 cm 段以 Hg、W 含量最高,分别达到 0.671 ms/ μg (为对照区的 5.6 倍)和 400 mg/kg,而在 150 cm 段以 Pb、Cd、Mo、Sn 含量达最高,特别是 Pb 达到 11500 mg/kg,为对照区的 45.6 倍;Sn 达到 5200 mg/kg(即 0.52%),为对照区的 90.4 倍。而在 300 cm 段,以 Cu 和 As 的含量最高,分别达到 4900 mg/ μg 和 10270 mg/ μg (即 1.027%),相应为对照区的 33 倍和 47.8 倍。由于 Hg、Pb、Cd、Cu 和 As 对环境有一定的影响,因此在卡房砂锡采场,这几种重金属元素在土壤中的高含量部位不同,对环境的影响将各有不同。在地表(0~20 cm)主要为 Hg,在 150 cm 部位主要为 Pb、Cd,在 300 cm 深为 Cu 和 As。对卡房尾砂坝下复垦后时间较长的尾砂上覆土壤(点号 06-5),由浅至深,Cu、Hg 元素含量由小变大,而 Mo、Sn 的含量由大变小,由于卡房选厂为 Cu、Sn 同选,尾砂中 Cu、Sn 含量较高,因此 Cu、Sn 呈这种规律性的变化,推测受到了尾砂中重金属的影响。与对照区相比,该处的 Cu、Pb、Zn、Cd、

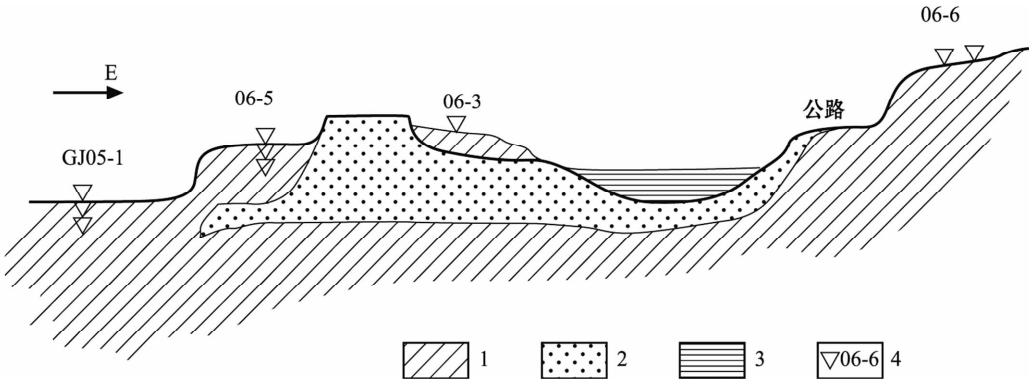


图 3 卡房地区土壤样品采集点位示意图

Fig. 3 Sketch Map of Soil Smapling Points in Kafang

1—土壤或残坡积;2—尾砂;3—尾砂水;4—采样地点及点号

1—Soil or residual slope deposits; 2—Tailings; 3—Tailings water; 4—Sampling sites and the dots

Mo、Hg、As、Sb、Sn、W 含量均明显偏高。对尾砂库内的复垦后时间较短的地点(点号 06-3),浅部和深部土壤的所有测试元素含量基本相近,但与对照区相比,大多数元素含量比其高出很多。

在牛屎坡采场采集土壤样品 6 件(点号分别为 GJ05-6、06-15 和 06-16),采样地点见图 4。分析结果列于表 2。GJ05-6 号点的 GJ05-T9 的 Sn 含量最高,达 14700 mg/kg(即 1.47%),为对照区土壤 Sn 含量的 55.7 倍,是由于该土壤为从选矿废液中沉淀下来的红色粘土。而在 GJ05-T10 样品中,Pb、Zn、As 达到很高的含量水平,Pb 含量为 15200 mg/kg,为对照区土壤中的 60.3 倍;Zn 达 4600 mg/kg,为对照区土壤中的 13.6 倍;而 As 达 2406 mg/kg,为对照区的 11.2 倍。在 06-15 和 06-16 两个地点,从外表看,这两处的土壤没有什么环境问题,当地居民还在种庄稼,但从分析结果(表 1)看,这两处土壤的表层(06-15 点的 0~20 cm 层和 06-16 点的 0~10 cm 层)中 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、Sb、Sn、W 的含量均比其下的土壤和国家三级土壤的为高。由于牛屎坡距离个旧市云锡第一冶炼厂很近,只有 2~3km。因此,这种表层土壤中重金属的高含量特征,很可能是冶炼厂排污及其大气飘落物中重金属高含量所致。

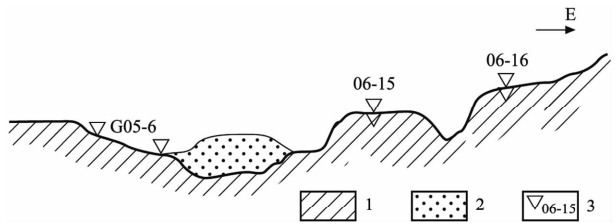


图 4 牛屎坡土壤采样位置示意图

Fig. 4 Sketch Map of Soil Smapling Points in Niushipo

1—土壤或残坡积;2—尾砂;3—采样地点及点号
1—Soil or residual slope deposits; 2—tailings;
3—sampling sites and the dots

云锡二冶厂尾砂库的两件土壤样品(图 5)的分析结果见表 2,可以看出,06-24 点的土壤其 Cu、Pb、Zn、Cd、Mo、As、W 的含量比 06-25 点土壤样品的为高,其中 Cu 为 9791 mg/kg,是对照区的 65.9 倍,是国家三级土壤标准的 24.5 倍;Pb 为 3001 mg/kg,是对照区的 11.9 倍,是国家三级土壤的 6 倍;Zn 为 3270 mg/kg,为对照区的 9.7 倍,是国家三级标准的 6.54 倍。特别是 As 含量达 27400 mg/ μ g,为对照区的 685 倍,为国家三级土壤的 127.4 倍。这种高含量特征很明显是受二冶尾砂库的影响。

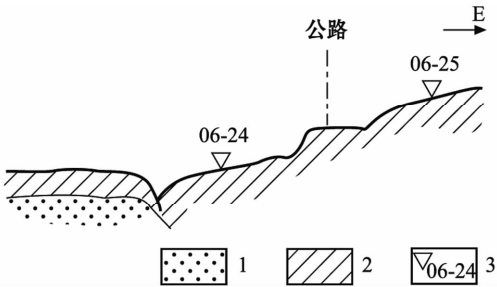


图 5 二冶尾砂库土壤采样位置示意图

Fig. 5 Sketch Map of Soil Smapling Points in Erye Taihungshania

1—尾砂;2—土壤或残坡积; 3—采样地点及点号
1—Tailings;2—soil or residual slope deposits;
3—sampling sites and the dots

3.2.4 尾砂库

本文对个旧地区的尾砂库中尾砂进行了较为系统地研究。从与尾砂有关的岩矿石中元素含量对比可以看出,个旧老厂-卡房岩体中 Cr、Pb、Zn 的含量比老厂矿石中的含量低的多,而国家三级土壤标准中,Cr、Pb、Zn、As 的含量均比老厂矿石中的也低很多(表 4),因此,尾砂中的重金属元素含量与矿石中的元素含量有密切的关系。本文于 2005~2006 年对卡房、牛坝荒、牛屎坡、云锡二冶四个地区的尾砂库采集了尾砂样品,其中牛坝荒代表矿山复垦之后的特征,共计 12 件(图 1、表 4)。可以看出尾砂中 Cr、Pb、Zn、Cd、As5 个元素的含量均比国家土壤三级标准为高,这 5 个元素的平均值分别为其 14.5 倍、6.7 倍、5.7 倍、18.5 倍和 330.8 倍。因此,这些尾砂长期堆放于尾砂库中,对环境存在潜在的威胁。Cu 含量最高的为 3801~8571mg/kg,为国家三级土壤标准的 9.5~21.4 倍,二冶尾砂库的为 10960~11840mg/kg 为国家三级土壤的 27.4~29.6 倍。而牛坝荒的尾砂库中 Cu 含量相对较低,为 753~5523mg/kg,牛屎坡的最低为 2614mg/kg,为国家三级标准的 6.5 倍。Pb 与 Cd 含量高的均为牛屎坡的尾砂,分别达到 14160mg/kg,和 36.3mg/kg,是国家三级土壤标准的 28.32 倍和 36.3 倍。总体看来,二冶尾砂库的尾砂 Cd 含量达较高水平,为 31.1~31.3mg/kg,是国家三级标准的 31.1~31.3 倍。而 As 含量最高的也为二冶尾砂库尾砂,达 27800~35100mg/kg 是国家三级土壤的 695~877.5 倍。相对而言,尾砂中 Cr 的含量比较稳定,比国家三级土壤的标准低。

3.2.5 大气及其飘落物

在个旧一冶周边地区(图 1)共采集了 3 个大气

飘落尘土样品(图 2),分析了相关元素含量(表 5)。由于目前还没有大气飘落尘土的国家或地区的环境标准,故以国家三级土壤的标准进行对比研究。可以看出,大气飘落物的 Cu、Pb、Zn、As 明显比国家土壤三级标准高,第一冶炼厂地区的大气飘落物中这四个元素含量分别为土壤三级标准的 7.4 倍、21.8 倍、8.32 倍和 355 倍。对 Cr 元素,在银波赤大酒店和云锡瓷器厂均为国家土壤三级标准的 32.7 倍和 52 倍。另外,大气飘落物中的 Sn 达 0.72%~12.3%,比本项目采集的多数地区的尾砂中的 Sn 含量还要高,充分表明冶炼厂的烟囱外排烟尘对环境的影响确实存在。因此从大气飘落物可以得出结论,云锡集团冶炼厂的烟囱外排尘为重金属的重要污染源之一。

3.3 个旧锡(铜)矿山部分功能区关闭之后的环境特征

牛坝荒尾砂库现已全部复垦,因此可将其看作为个旧锡(铜)矿床部分功能区关闭之后的环境特征的研究对象(图 1)。牛坝荒的尾砂库中水的 Cu 含量达较高水平,最高为 25.6 $\mu\text{g/l}$ (表 1)。在牛坝荒采集的土壤样品共有 4 件(图 6,表 2),其中 GJ05-5 点的 GJ05-T7 为复垦后上覆土壤样品,其元素含量中,Pb、Zn 在所有采集的土壤中达到最高,分别达 13800 mg/kg,为对照区的 54.8 倍和 32.5 倍,As 含量达 2399 mg/kg,为对照区的 11.2 倍;Sn 达 2300 mg/kg,是对照区的 40 倍,充分体现出受下伏尾砂影响的特征。而在相邻的 GJ05-T8 样品中,Pb、Zn、As、Sn 也达到较高含量水平,反映出尾砂库对相邻土壤的影响。

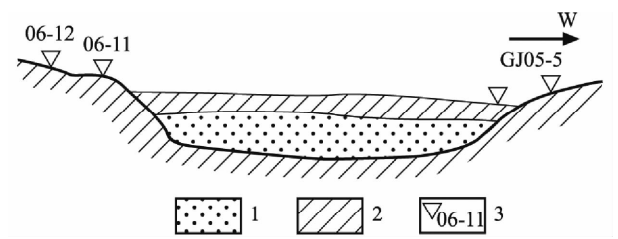


图 6 牛坝荒尾砂库土壤样品采集点位示意图
Fig.6 Sketch Map of Soil Smapling Points in Niubahuang Taihungshania
1—尾砂;2—土壤或残坡积;3—采样地点及点号
1—Tailings;2—Soil or residual slope deposits;
3—Sampling sites and the dots

总之,可以看出,牛坝荒尾砂库复垦之后,尾砂对上覆的土壤确有影响。

4 结论

(1)个旧矿山影响环境的地质因素有:个旧原生矿床富含多金属硫化物,氧化后易生成酸;碳酸盐可以消耗硫化物氧化所产生的酸并可防止金属的迁移;与矿化有密切成因关系的个旧浅色花岗岩类钼和铀含量高,具较强的放射性;锡矿位于分水岭地带以及喀斯特地形对排水系统的影响及其环境效应。矿山开发之前由矿床向环境释放的元素重量:Cu 为 1.21 万吨、Pb 为 7.0 万吨、Cd 为 101.91 吨、As 为 1.2 万吨、Sn 为 2.33 万吨。

(2)矿区锡石硫化物矿选矿采用浮-重流程,浮选药剂采用黄药、松油、石灰与氢氧化钠等药剂。但是,总体看来个旧矿区的水的环境质量较好。在卡房、牛屎坡、云锡二冶等地重金属元素比对照区和国家三级土壤标准高出多倍,是矿山活动所引起。云锡第一冶炼厂地区的大气飘落物中 Cu、Pb、Zn、As 四个元素含量分别为我国土壤三级标准的 7.4 倍、21.8 倍、8.32 倍和 355 倍。Cr 在银波赤大酒店和云锡瓷器厂分别为国家土壤三级标准的 32.7 倍和 52 倍。大气飘落物中的 Sn 达 0.72%~12.3%。云锡集团冶炼厂的烟囱排尘为重金属的重要污染源之一。

(3)牛坝荒尾砂库复垦之后,显示下伏的尾砂对上覆的土壤确有影响。

致谢:本文的工作得到张光弟研究员的指导和帮助,野外采样期间得到蔡剑辉研究员与李德先副研究员的协助,得到云南省个旧市人民政府、个旧锡矿、卡房选厂、劳动保护研究所、个旧市防癌办公室的支持;样品分析过程中得到云南地质矿产分析测试中心梁明科高工与原地矿部江西省中心实验室王学田高工的大力支持,文章得到太原理工大学刘鸿福教授和审稿专家的认真审核并提出宝贵意见。特此一并致谢。

参 考 文 献

兰雅莉. 2002. 环境地球化学三个领域的研究进展. 河北工业科技, 19 (1):14~18.
庞春勇,周永章. 2003. 矿业开发中环境影响的生态环境地质评价. 矿产与地质, 17(5):641~644.
汪明启,王瑞江,陈仁义,严光. 2006. 新的资源-勘查一体化评价观及建议. 地球与环境, 34(2):41~46.
汤中立,李小虎,焦建刚,阎海卿. 2005. 矿山地质环境问题及防治对策. 地球科学与环境学报, 27(2):1~4.
赵元艺, 张光第, 蔡剑辉, 王景来, 李文志. 2003. 德兴铜矿床地质环境模型初探. 西北地质, 36(增刊):126~129.
赵元艺,王金生,李德先,蔡剑辉,初娜,张光弟,李九玲,熊群尧. 2007.

矿床地质环境模型与环境评价. 北京:地质出版社,1~327.

初娜,赵元艺,张光弟,杨慧. 2008. 江西省德兴铜矿矿区重金属元素的环境效应. 地质学报,82(4):562~575.

初娜,赵元艺,张光弟,张勤,蔡剑辉,熊群尧,李德先,王金生,赵金艳. 2007. 德兴铜矿低品位矿石堆浸场与大坞河流域土壤重金属元素形态的环境特征. 地质学报,81(5):670~683.

赵元艺,于宝洵,初娜,张光弟,王金生,蔡剑辉. 2009. 矿床地质环境模型及其在江西德兴铜矿中的应用. 地质通报,28(1):99~117.

冶金工业部西南冶金地质勘探公司编著. 1984. 个旧锡矿地质. 北京:冶金工业出版社.

地质部西南地质局五零一勘探队. 1995. 个旧矿区地质勘探报告书. (全国地质资料馆).

毛宝霖. 1981. 坑下 10 种元素与肺癌发病趋势的相关分析. 冶金劳动卫生,7(3),129~131.

孙世荃,孟宪钰,袁丽云,尤占云,刘胜恩,杨效欧,杨兰,陈洪域. 1982. 云南个旧锡矿矿工肺癌病因学分析. 辐射防护,1(2):1~8.

毛宝霖,董永龄. 1984. 云锡坑下影响氨浓度因素的探讨. 肿瘤防治研究,11:6~8.

张辅明,姚书祥,杨笑欧. 1985. 云南锡业公司职工肺癌流行病学研究. 工业卫生与职业病,11(6):343~346.

孙来华,姬学敏,晋萍,宣琼芬,刘崇林. 1994. 云锡矿工痰细胞中粉尘的扫描电镜分析. 中华劳动卫生职业病杂志,12(6):356~357.

姚树祥,毛宝霖,罗学昌,等. 2000. 砷与锡冶炼工肺癌. 中国肿瘤,9(4):168~169.

Bramf Noble and Keith Storey. 2003. Towards a structured approach to strategic environmental assessment. Journal of Environmental Assessment Policy and Management,3(4):483

~508.

Orlvoe A D. 1995. Pilot study of sources of lead exposure in Moscow,Russia. Environmental Geochemistry and health,17(4):200~210.

Dang zhi, Fowler. 1997. Geochemical behavior of heavy metals during the natural weathering of coal mine spoil. Progress in Natural science, 7(6): 700~706.

Edward A. du Bray(王安建等译). 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:1~9.

Walder I F,Chavez W X et al. 1995. Mineralogical and geochemical behavior of mill tailing material produced from lead-zinc skarn mineralization, Hanover, Grant, County, New Mexico, USA. Environmental Geology,(26):1~18.

Wu Pan, Liu Conggiang and Yang Yuangen et al. 2001. Release and transport of (heavy) metals and their environmental effect in mining activities. Acta Mineralogica Sinica. 21(2): 213~218.

Whiteley J. D. 2003. Metal distribution during diagenesis in the contaminated sediments of Dulas Bay,Anglesey,N. Wales,UK. Applied Chemistry,(18):901~903.

Shao Xiaohou, Xing Guangxi, Hou Wenhua. 1994. Research on sequential extraction of heavy metal speciation in soil. Progress in Soil Science,22(3):40~46.

Urasa I. T, Macha S. F. 1996. Speciation of heavy metals in soils, sediments, and sludge using DC-plasma atomic emission spectrometry coupled with ion chromatograph. Intern J Environ Annal chem,64(2):83~95.

Geological Environment model of the Gejiu Stannum Ore in Yunnan

WANG Qiliang¹⁾, LÜ Yiqing²⁾, CHU Na³⁾, YUN Mengchao⁴⁾, ZHAO Yuanyi⁵⁾

1)Shanxi Technic College of Water Conservancy,Yuncheng, Shanxi, 044004; 2)Taiyuan University of Technology, Shanxi,Taiyuan, 030024; 3) Beijing Mesocratic Resource Environment Engineering Co., Beijing, 100070; 4)Shanxi Survey Institute of Geophysics and Geochemistry, Yuncheng,Shanxi, 044004; 5) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Based on systematic sampling and analysis of heavy metal elements, this study built a geological environmental model for the Gejiu stannum ore in Yunnan. Factors affecting environment include; polymetallic sulfides in the Gejiu primary mineral easily give the birth to acid due to oxidation; carbonate can consumes acid result from process of oxidation of sulfide and stop transfer of metals and etc. Tonnage of the metals discharged to the surrounding areas before mining is: 12100 tons of Cu, 70000 tons of Pb, 101. 96 tons of Cd, 12000 tons of As, and 23300 tons of Sn, indicating that the Gejiu area enjoyed a quality environment. Influenced by the mining, dressing and smelting, the soil quality has been worsen by heavy metals in the study areas such as Kafang, Niushipo, and Yunxi, which are several time higher than the state standard of class C land. Dust emission of refining works of Yunxi Group has become one of the main pollution sources of heavy metals. Therefore, tailing will have some effect on overlying surface soil after recultivation of tailing reservoir in Niubahuang.

Key words: Mine Geological Environment model;atmospheric falling dust; Gejiu tin deposit