

文章编号: 1000- 6524(2001) 02- 0199- 09

铜陵鸡冠山硫铁矿废矿堆积区的 重金属分布与磁化率变化

左振鲁, 陈 骏, 王汝成, 季峻峰, 裘丽雯

(南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室表生地球化学所, 江苏 南京 210093)

摘 要 应用 ICP- AES、EMPA 和矿物磁测, 对铜陵市鸡冠山硫铁矿废矿堆积区的废矿及周围进行系统分析。发现不同堆放时间的废矿样品中重金属含量的变化规律不同, 在堆放时间为 10 年和 6 年的剖面(分别为 XO、XM 剖面)呈现富集- 淋滤- 富集的变化模式, 而在堆放时间 < 3 年的剖面(XN 剖面)呈现富集- 淋滤的变化模式。结合重金属迁移的特性, 证明重金属对周边的生态环境存在着潜在的危害性。同时还分析了风化程度不同的 XO、XM、XN 剖面样品中磁化率与重金属的关系, 证实两者之间存在较好的相关性。磁化率是重金属含量变化的一个有效指数, 它的研究为重金属污染研究提供了一个新的方法。

关键词: 废矿堆; 重金属污染; 磁化率; 鸡冠山硫铁矿; 铜陵

中图分类号: X142 **文献标识码:** A

在矿山的开采过程中, 会产生大量的固体垃圾——废矿, 而这些废矿的环境效应和次生作用就成为学者研究的对象^[1-3]。废矿从地下被搬运到地表, 由于所处物理、化学条件的改变, 由封闭环境变为开放环境^[4], 极易发生物理、化学、生物作用^[5]。尤其是硫化物废矿的风化, 造成大量有毒的重金属从废矿中释放出来, 进入到土壤、水体、植物中^[6], 从而严重破坏周边的生态环境, 而生物体中富集的重金属由于食物链的作用, 极有可能被人体吸收, 严重影响人体健康^[7]。

目前在重金属的土壤污染及用磁化率来表征重金属的含量方面, 已获得很好的研究成果^[8-11], 但很少涉及不同堆放时期的废矿垂向上重金属的变化模式及磁化率与重金属含量的相关性问题。安徽铜陵地区采矿历史悠久, 矿山开采和废矿堆放所造成的环境效应明显。因此本文以铜陵地区鸡冠山硫铁矿废矿堆不同堆放时期的三个剖面为研究对象, 详细分析了重金属 Zn、Pb、Cu 在各个剖面上的变化模式, 并讨论了重金属含量与磁化率的关系, 希望能为防治废矿污染提供一定的帮助。

1 矿区地质简介

铜陵市位于长江中下游安徽省境内, 是中国矿业的六大基地之一^[12], 储藏丰富的矿产资源。狮子山矿田位于铜陵市的东部, 为矽卡岩型铜矿, 围岩以灰岩为主, 矿床类型为铜

收稿日期: 2000- 10- 30; 修订日期: 2001- 02- 27

作者简介: 左振鲁(1975-), 男, 硕士研究生, 目前就读于南京大学地球化学专业。

矿床、铁矿床、金矿床等硫化物矿床^[13]。鸡冠山硫铁矿作为狮子山矿田的一部分,位于北东向复向斜青山次级背斜轴部东南翼,即青山背斜和朱村向斜^[14](图1a)。区域内水文条件简单,东部有洋河由南向北流经,其对外界没有补给作用^①。

鸡冠山硫铁矿为石英型矽卡岩硫铁矿床,于1958年开始勘探并开采。矿石矿物有褐铁矿、黄铁矿、赤铁矿、针铁矿和磁铁矿等,脉石矿物主要为石英、云母。由于受到当时经济条件和环境意识的制约,开采鸡冠山硫铁矿过程中产生的大量废矿,采用露天就近堆放,废矿址位于鸡冠山硫铁矿的东南部,团山村的北部。废矿堆表现为四级平台,可大致对应于四个堆放时间段:20年、10年、6年和3年(由底向上)(图1b)。废矿的主要成分为石英、云母、方解石等脉石矿物,金属矿物有针铁矿、磁铁矿和黄铁矿等。

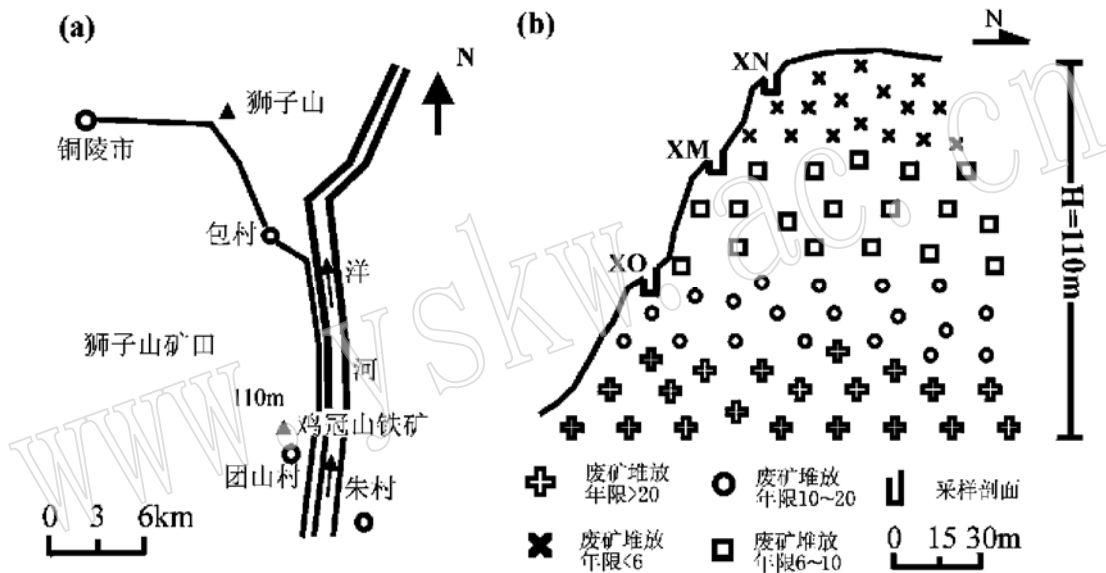


图1 研究区矿区位置(a)及废矿堆剖面示意图(b)

Fig. 1 Sketch map showing location of the ore district (a) and simplified cross_section showing mine waste dump at Jiguanshan (b)

2 样品采集与分析

鸡冠山废矿堆的堆放是以平台的形式逐步垒高的,根据废矿堆放的时间,选择了堆放时间分别为10年、6年和3年的三个废矿平台进行垂直采样(以下分别称为XO、XM和XN剖面),垂直样品点以20cm为间隔,详细说明见表1。为便于研究废矿堆放造成的重金属污染程度,在洋河的上游、鸡冠山的南部不受矿区干扰的表层取样,作为无污染的对比样,元素值作为研究区重金属元素的背景值。样品采用聚乙烯塑料袋盛装,运回实验室进行分析。

样品在75℃的烘箱内烘干,然后取8~12g在玛瑙钵内进行研磨,过50目筛。样品磁化率值在中国科学院南京地理所测定,所用仪器为Bartington Instrument, Oxford England

① 321地质队内部勘探资料,1962年。

Model MS2。取 5g 样品在玛瑙钵内研磨, 过 200 目筛后, 称量 0.25g, 依照 Li Xiangdong et al. 的方法^[15-16], 经一系列化学处理后, 在南京大学地球科学系国家重点实验室做 ICP-AES 分析。另选取 XO-1 样品磨成光薄片, 利用电子探针对其中的矿物进行了分析。

表 1 鸡冠山废矿堆采样说明

Table 1 Description of samples from the mine waste dump at Jiguanshan

堆放时间/年	剖面编号	样品编号	样品点深度/cm	备注
10	XO	XO-1, XO-2	0, 20	风化强烈, 废矿砂呈灰黑色, 富含有机质。
		XO-3, XO-4	40, 60	
		XO-5, XO-6	80, 100	
		XO-7, XO-8	120, 140	
		XO-9	160	
6	XM	XM-1, XM-2	10, 30	风化好, 废矿砂呈红色, 颗粒较粗, 含有机质。
		XM-3, XM-4	50, 70	
		XM-5, XM-6	90, 110	
≤3	XN	XN-1, XN-2	20, 40	样品风化弱, 产物呈淡红色, 颗粒粗, 无有机质。
		XN-3, XN-4	60, 80	
		XN-5	100	

3 分析结果

样品的 ICP-AES 元素含量分析和磁化率测量结果如表 2 所示。为了进一步说明矿石中重金属元素的释放程度, 特将资料与未受采矿、堆矿影响的无污染地层的资料进行比较, 得出废矿砂中重金属元素的相对富集倍数, 同时也可以浅显地反映废矿的堆放能否对周边环境产生污染。三个平台重金属元素含量的垂向变化见图 2。

3.1 重金属污染研究

与参考地层相比, 废矿堆的废矿砂中重金属元素含量基本上都发生不同程度的富集, 并具有一定的规律性。

3.1.1 锌

分析结果表明, 与未受矿山开采活动影响的参考地层相比, 废矿堆中锌的相对富集倍数都大于 1, 说明废矿砂中明显发生了锌的富集。XO 剖面中锌的富集倍数大部分大于 3, 最高可达 6.83, 而 XM 和 XN 两个剖面中锌的富集倍数小于 2.35。因此, 在堆放时间较长的 XO 剖面中锌的富集更明显。XO 剖面废矿砂样品中, Zn 含量的变化可以分成三部分: 在 20cm 深度以上, Zn 表现为轻度富集; 在 20~60cm 之间 Zn 含量逐渐下降, 可以看作淋滤带; 从 60cm 到 120cm, Zn 含量则逐渐升高, 因此可以看作富集带。虽然 XM 剖面的 Zn 含量低于 XO 剖面, 但总体特征和 XO 剖面类似, 在 10~70 cm 之间 Zn 表现为轻度淋滤, 而其下 Zn 逐渐升高, 显示从 70 cm 开始, Zn 开始出现富集。由于 XN 剖面的废矿堆积时间较短, 因此, Zn 的变化不甚明显, 总体上与 XO 和 XM 剖面的上半段类似, Zn 的富集倍数从 20 cm 处的 2.11 轻度升高至 40 cm 处的 2.35, 又下降至 100 cm 的 2.06, 即 Zn 在矿石堆积后先发生轻度富集, 再出现轻度淋滤。

表2 鸡冠山硫铁矿废矿堆重金属元素测量值、相对富集倍数和低频磁化率值
 Table 2 Heavy metal element contents, relative enrichment values and low frequency magnetic susceptibility of iron sulfide waste ore dump at Jiguanshan

剖面编号	样品号	Zn	Pb	Fe	Cu	LMS
		$w_B/10^{-6}$				$10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$
XO	XO-1	500.16(3.63)	84.28(1.78)	117600(3.57)	854.58(18.56)	310.07
	XO-2	786.56(5.72)	41.16(0.87)	84420(2.56)	716.04(15.55)	22.78
	XO-3	477.63(3.47)	34.06(0.72)	66250(2.01)	1837.82(39.92)	29.31
	XO-4	268.22(1.95)	125.60(2.66)	96250(2.92)	528.81(11.49)	437.50
	XO-5	329.60(2.40)	95.70(2.03)	91090(2.76)	307.71(6.68)	343.22
	XO-6	543.10(3.95)	62.67(1.33)	94510(2.87)	397.41(8.63)	133.77
	XO-7	529.34(3.85)	139.00(2.94)	82110(2.49)	471.28(10.42)	18.16
	XO-8	546.62(3.97)	183.20(3.88)	91400(2.77)	596.24(12.95)	13.93
	XO-9	939.52(6.83)	425.40(9.00)	73840(2.24)	440.5(9.57)	22.47
XM	XM-1	251.52(1.83)	94.92(2.01)	64680(1.96)	121.35(2.64)	38.31
	XM-2	217.41(1.58)	87.43(1.85)	71930(2.18)	118.77(2.58)	42.69
	XM-3	249.22(1.81)	160.00(3.39)	95900(2.91)	150.33(3.27)	60.31
	XM-4	165.57(1.20)	84.72(1.79)	75330(2.28)	107.67(2.34)	41.20
	XM-5	277.63(2.02)	107.10(2.27)	89660(2.72)	152.31(3.31)	51.69
	XM-6	308.86(2.24)	154.90(3.28)	83230(2.52)	209.84(4.56)	56.51
XN	XN-1	289.73(2.11)	284.00(6.01)	45960(1.39)	570.70(12.40)	21.88
	XN-2	322.69(2.35)	261.00(5.52)	51760(1.57)	568.89(12.36)	22.50
	XN-3	290.94(2.11)	255.10(5.40)	51540(1.56)	454.77(9.88)	28.49
	XN-4	317.63(2.31)	302.50(6.40)	60120(1.82)	491.58(10.68)	44.86
	XN-5	283.58(2.06)	208.50(4.41)	51130(1.55)	382.70(8.31)	46.18
参考地层(背景值)		137.60	47.25	32970	46.04	

括号内数字为元素相对富集倍数; 元素相对富集倍数= 样品分析值/ 参考地层分析值。

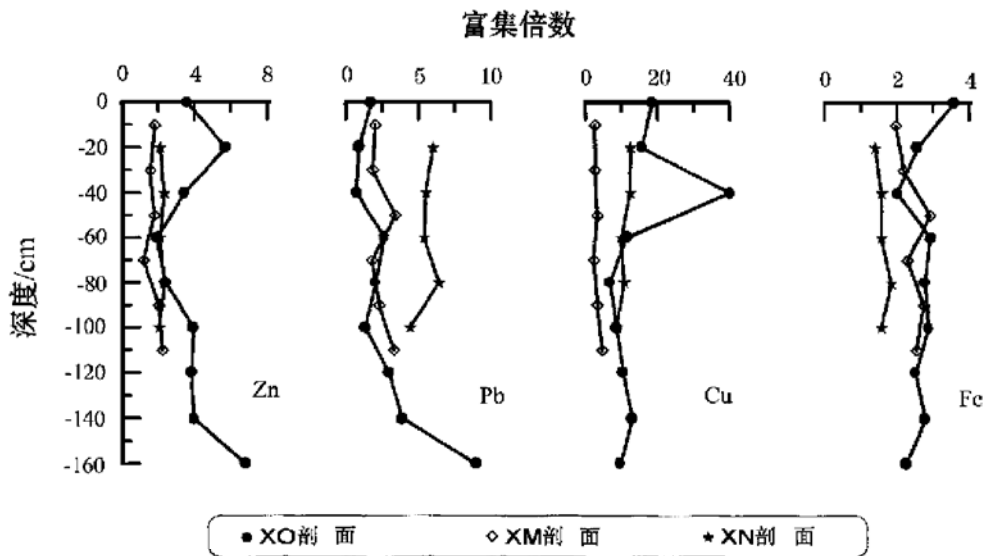


图2 废矿堆的重金属元素相对富集倍数垂向变化剖面图

Fig. 2 Vertical variations in relative enrichment values of heavy metals in mine waste dump

3.1.2 铅

Pb 的富集倍数都大于 1.0(除了两个资料外),说明与研究区的参考地层相比,Pb 在废矿堆放区明显发生了相对富集,最大富集倍数达到 9.00。三个剖面中 Pb 的变化规律与 Zn 的情况非常相似,XO 和 XM 两个剖面总体上分三部分。对于 XO 剖面来说,从 0 cm 到 60 cm,Pb 的富集倍数从 1.78 升高到 2.66,体现初步富集特征;从 70 cm 到 100 cm,Pb 的富集倍数又下降至 1.33,对应淋滤带;从 100 cm 开始 Pb 随深度加大而逐渐升高,因此其下部为富集带。对于 XM 剖面来说,富集—淋滤—富集三部分的转折点分别出现在 50 cm 和 70 cm。XN 剖面总体上保持轻度富集向轻度淋滤转变的特征,在 80 cm 以上为富集带,其下为淋滤带。但是与 Zn 的变化情况不同的是,堆放时间最长的 XO 剖面中 Pb 的富集明显低于其它两个剖面(XM、XN),并且表现为 $XN > XM > XO$ 。

3.1.3 铜

比较废矿堆废矿砂中的 Cu 含量与背景值发现,所有样品 Cu 含量都高于背景值,相对富集倍数最小值出现在 XM 剖面,为 2.34,最大值出现在 XO 剖面,为 39.92。在 XO、XM、XN 三个剖面中,除了极个别样品点外,Cu 含量表现为 $XO > XN > XM$ 。在 XO 剖面中,Cu 在 40cm 处出现最大值,在 40~80cm 之间 Cu 含量逐渐下降,而从 80cm 到 120cm,Cu 又开始出现升高趋势。因此,与 Zn 的剖面变化规律相似,XO 剖面中 Cu 的变化也分成三部分,40cm 以上为富集带,40~80cm 为淋滤带,80 cm 以下为进一步富集带。与 XO 剖面相比,XM 剖面中 Cu 的富集要弱得多,但淋滤—富集趋势也与 Zn 相似,即在 70 cm 以上为 Cu 的轻度淋滤带,其下则为 Cu 的富集带。Cu 在 XN 剖面总体上以淋滤为主,其含量又比 XM 剖面高,预示在堆积时间较短的情况下,Cu 的淋滤作用并不十分明显。

3.1.4 铁

从图 2 发现,剖面样品中 Fe 含量都明显高于对比的地层样品,最大倍数出现在 XO 剖面表层,为 3.57;最小倍数出现在 XN 剖面 20cm,为 1.39。综合比较 XO、XM、XN 剖面中 Fe 含量,呈现 $XO > XM > XN$ 的规律。尤其是在 XO 剖面,Fe 含量有明显的变化,表层达到最大值,后随着深度的增加而逐渐降低,在 40cm 处转折,然后趋于平稳,说明在 40cm 以上为淋滤带,40cm 以下为富集带,但很弱。XM、XN 剖面,Fe 含量基本保持增加的趋势,但中间有着明显的波动,呈轻微的富集,淋滤作用不明显。

3.2 磁化率(LMS)

岩石磁学理论认为,磁性矿物的磁化率主要与矿物的种类、形态及颗粒大小有关^[17]。废铁矿堆中含有大量的金属矿物,尤其是磁铁矿等强磁性矿物的存在,严重影响了废矿砂的磁化率值,因而研究样品磁化率与重金属的关系有助于更好的了解废矿砂中重金属的变化规律。XO、XM、XN 三个剖面样品中磁化率与深度的关系,如图 3 所示。

3.2.1 磁化率的剖面变化特征

由表 2 知,样品的磁化率波动幅度很大,最小值为 13.93,最大值却高达 437.5,大部分低于 60,剖面之间存在显著的差异。XO 剖面样品的磁化率值波动最大,但对应于重金属元素的三段变化规律,磁化率在 0~20cm 之间先降低(310.07→22.78),20~60cm 之间升高(20.78→437.5),然后在 60~160 cm 之间呈降低趋势(437.5→22.47)。XM 剖面的磁化率变化也具有三段特征:10~50cm 之间磁化率升高(38.31→60.316),后在 70cm 处降低至 41.2,从 70cm 到 110cm 又升至 56.51。XN 剖面样品磁化率的变化比较简单,随着深度的

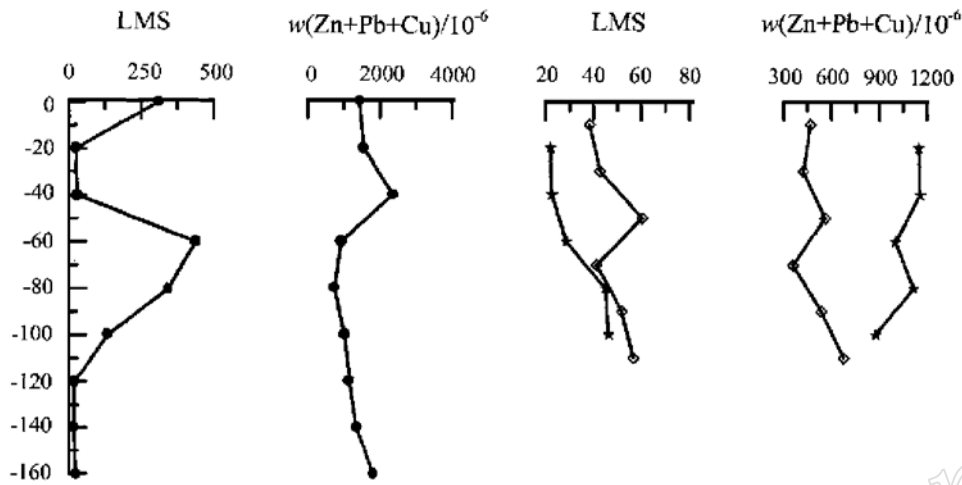


图3 磁化率的变化剖面图及与重金属总量之间的关系

Fig. 3 Diagram showing vertical variation in magnetic susceptibility and its relationship with the total content of Zn, Pb and Cu (图例同图2)

增加磁化率值逐渐增大(21: 88→46.18)。

3.2.2 磁化率与金属元素的关系

综合图2与图3,对磁化率与各种金属元素的关系进行了讨论。

(1) LMS与Fe的关系。比较三个剖面中Fe含量与LMS值,可以清楚地看出二者随深度变化趋势相似,尤其是XM、XN剖面,这种关系更加明显。

(2) LMS与Zn、Pb、Cu的关系。LMS与重金属元素含量之间的关系较为复杂,三个剖面表现出不同的特点。对于XO剖面,LMS与重金属元素的变化趋势相反,即当重金属富集时,磁化率降低;相反,重金属出现亏损时,磁化率则升高。但在XM剖面 and XN剖面中,LMS与重金属的变化趋势基本相同。

4 讨论

4.1 废矿堆放后废矿砂中重金属元素的变化模式

对铜陵鸡冠山硫铁矿废矿堆重金属元素剖面变化的系统研究表明,废矿堆积后经过长时间的风化-淋滤-富集过程,形成了三层模式:从上部到下部为富集带-淋滤带-富集带。

黄铁矿、磁黄铁矿等硫化物暴露地表后很快会发生氧化作用,其中微量重金属元素如Zn、Pb、Cu、Cr等会随之进入铁氧化物或氢氧化物矿物中^[18],造成废矿堆顶部重金属元素的初步富集,如褐铁矿中,电子探针分析表明,在XO剖面的最顶部样品XO-1中,褐铁矿最高含2.33% ZnO、0.16% PbO、0.16% CuO(表3)。当铁氧化物、氢氧化物矿物继续经受氧化作用和雨水的淋滤作用时,重金属元素会从中淋滤出来,并向下运移在下部进一步富集,形成废矿堆进一步的淋滤-富集过程。由于XO、XM剖面废矿堆放时间较长,重金属元

素的垂向变化较完整,即存在富集-淋滤-富集三层变化模式;但XN剖面中废矿堆放时间较短,故它只发生了顶部的轻度富集以及其下的重金属淋滤作用,而不发育下部的富集带。

表3 XO剖面中褐铁矿的电子探针成分分析结果

 $w_B/\%$

Table 3 Electron microprobe analyses of limonite in XO section

分析点	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	PbO	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	TiO ₂	总量
	$w_B/\%$											
1	-*	0.74	4.01	0.23	0.14	0.01	-	75.39	0.15	2.33	0.01	83.01
2	-	1.95	2.64	0.05	0.15	0.02	0.05	72.93	0.16	1.29	0.06	79.30
3	0.0	2.81	2.39	0.10	0.16	0.02	0.04	74.55	0.14	1.29	0.22	81.74

*: - 代表低于探针检测限。

4.2 废矿砂重金属元素的环境危害

从表2可以看出,XO剖面废矿砂中重金属元素的含量非常高,同时由于Pb、Zn、Cu在氧化过程中的易迁移性^[19~22],Pb、Zn、Cu极易向周边流失,对附近的环境产生严重的危害。在XM、XN剖面,风化时间较短,废矿砂重金属含量相对XO剖面较低,目前还不会造成危害,但随着时间的延长,废矿砂中的重金属会不断的流失,从而污染周边环境。因此鸡冠山废矿砂对周边的生态环境存在潜在的危害,应引起人们的重视。

4.3 磁化率与重金属污染

越来越多的研究表明,土壤的磁化率,尤其是工业污染土壤的磁化率与其中的重金属元素含量有一定的关系^[23],因而污染土壤的磁化率研究越来越受到人们的重视,正在成为土壤生态环境的快速和有效的监测方法之一^[8,10]。

鸡冠山硫铁矿废矿堆积区三个剖面样品磁化率与样品中的铁含量都具有较好的正相关性,说明样品的磁化率主要是由铁磁性矿物决定的,金属硫化物已转化为金属氧化物和氢氧化物,电子探针分析也发现了此种现象。但是,磁化率与重金属含量(Pb、Zn、Cu含量之和)的关系相对较复杂。在XM、XN两个剖面中,磁化率的增加与重金属元素含量的升高基本同步,其原因是因为铁氧化物、氢氧化物矿物的表面对重金属元素具有较强的吸附性。而在XO剖面中,磁化率的变化与重金属元素含量的变化呈反向关系,这是因为在强风化作用下,重金属Pb、Zn、Cu出现了大量的迁移,而Fe氧化物含量相对增加所造成的。

5 结 论

通过对鸡冠山废矿堆一系列的研究,得出以下结论:

(1) 重金属Zn、Cu、Pb在XN剖面呈现富集-淋滤的变化模式,在XM、XO剖面呈现富集-淋滤-富集的变化模式。

(2) 鸡冠山废矿堆废矿砂中Zn、Cu、Pb含量过高,随着风化作用的加强,对周边生态环境存在潜在的危害性。

(3) 样品的磁化率与铁含量具有良好的正相关关系,在风化较弱的XN、XM剖面由于铁氧化物、氢氧化物矿物的表面对重金属元素具有较强的吸附性,因而磁化率与重金属含量的变化基本保持同步;在风化较强的XO剖面,磁化率与重金属含量的变化呈反向关系。

参考文献:

- [1] Jung M C and Thornton I. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a Lead-Zinc mine Korea[J]. *Appl. Geochem.* 1996, 11: 53~ 59.
- [2] 谭凯旋, 郝新才, 李卫. 湖南湘西金矿废矿中金的次生成矿作用[J]. *矿物学报*, 1999, 19(3): 270~ 278.
- [3] 王立本, 黄蕴慧, 鲁安怀. 国际环境矿物学研究新进展[J]. *岩石矿物学杂志*, 1999, 18(4): 377~ 383.
- [4] 谭红, 何锦林, 花金兰, 等. 汞矿区大气汞的流通量与汞干湿沉降研究[J]. *环境化学*, 1999, 18(1): 34~ 38.
- [5] 黄国如, 芮孝芳. 官厅水库水质模型研究[J]. *水科学进展*, 1999, 10(1): 20~ 24.
- [6] 闵茂中, 倪培, 崔卫东, 等. *环境地质学*[M]. 南京大学出版社, 1994, 1.
- [7] Benvenuti M, Mascaro I, Corsini F, *et al.* Mine waste dumps and heavy metal pollution in abandoned mining district of Boccheggiano (Southern Tuscany, Italy) [J]. *Environ. Geol.*, 1997, 30(3/4): 238~ 243.
- [8] Bityukova L, Scholger R and Bire M. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallinn[J]. *Phys. Chem. Earth(A)*. 1999, 24(9): 829~ 835.
- [9] Nulman A A, Mescheryakov P V. Magnetic susceptibility of soils in zone of EURT as characterization of ecological conditions of pedosols[J]. *Annals Geophysical. Part I, Social Earth Geophysics & Natural Hazards*, 1994, 12(supplement 1): 165.
- [10] Durza O. Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around Metallurgical Plant[J]. *Phys. Chem. Earth(A)*, 1999, 24(6): 541~ 543.
- [11] 季峻峰, 陈骏, 刘连文. 洛川黄土中绿泥石的化学风化与磁化率增强[J]. *自然科学进展*, 1997, 9(7): 619~ 623.
- [12] 吴长贵, 孔祥久, 汪庆九, 等. 铜陵市矿山地质灾害及防治对策[J]. *安徽地质*, 1999, 9(3): 216~ 220.
- [13] 黄许陈, 储国正. 铜陵地区矿床类型成矿系列与成矿特征[J]. *安徽地质*, 1992, 2(4): 53~ 61.
- [14] 储国正, 陈玉山. 铜陵地区铜矿床分布特征及矿体就位机制的探讨[J]. *安徽地质*, 1993, 3(1): 49~ 51.
- [15] Li X, Coles B J, Ramsey M H, *et al.* Sequential extraction of soils for multielement analysis by ICP-AES[J]. *Chem. Geol.*, 1995, 124: 109~ 123.
- [16] Li X, Onyx W H, Li Y S, *et al.* Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China [J]. *Appl. Geochem.*, 2000, 15: 567~ 5810.
- [17] 岳乐平, 薛祥煦. *中国黄土古地磁学*[M]. 地质出版社, 1996, 13~ 26.
- [18] 卢龙, 王汝成, 薛纪越, 等. 黄铁矿风化过程中元素的活性及对环境的影响[J]. *地质论评*, 2001, 47(1): 95~ 101.
- [19] Shepard L, Gutierrez M. Metal retention in a thin karstic soil, Christian County, Missouri[J]. *Environ. Geol.*, 1999, 37(1~ 2): 107~ 111.
- [20] Lars_Ove Lang. Heavy mineral weathering under acidic soil conditions[J]. *Appl Geochem*, 2000, 15: 415~ 423.
- [21] Lin Zhixun, Roger B, Herbert Jr. Heavy metal retention in secondary precipitates from a mine rock dump and underlying soil, Dalarna, Sweden[J]. *Environ. Geol.*, 1997, 33(1): 1~ 12.
- [22] 牟保磊. *元素地球化学*[M]. 北京大学出版社, 1999, 63~ 70.
- [23] 旺罗, 刘东生, 吕厚远. 污染土壤的磁化率特征[J]. *科学通报*, 2000, 45(10): 1091~ 1094.

Distribution of Heavy Metals and Variation in Magnetic Susceptibility in Iron Sulfide Waste Ore Dump at Jiguanshan, Tongling

ZUO Zhen_lu, CHEN Jun, WANG Ru_cheng, JI Jun_feng, Qiu Li_wen

(Department of Earth Sciences, State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Institute of Surface Geochemistry, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract: Using ICP_AES, EMPA and mineral magnetic measurement, the authors systematically analysed the mine waste and the surrounding soil of iron sulfide waste ore dump at Jiguanshan, Tongling. The results show that variations in heavy metal contents differ in different samples. Two mining waste sections with abandonment time being ten years (Section XO) and six years (Section XM) respectively exhibit an enrichment-leaching-enrichment model, while the section with abandonment time of three years (Section XN) shows an enrichment-leaching model. Taking migration into account, it is demonstrated that the heavy metals have potential impact on eco_environment. Researches on the magnetic susceptibility were also carried out to evaluate its relationship with heavy metal enrichment. In fact, there exists a close relationship between them. It is therefore considered that magnetic susceptibility is an effective indicator for variation in heavy metal concentrations, and may serve as a new method for studying heavy metal pollution.

Key words: mine waste dump; heavy metals pollution; magnetic susceptibility; Jiguanshan iron sulfide mine; Tongling