

采煤沉陷地粉煤灰充填复垦土壤元素淋溶特性实验研究

魏忠义^{1,2}, 胡振琪¹, 司继涛¹, 姜晶¹

(1. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 2. 山西农业大学, 山西 太谷 030801)

摘要: 以采煤沉陷地粉煤灰充填复垦土壤的污染问题为研究背景, 从措施的实地可操作性出发进行实验设计, 采取了灰土、灰矸不同比例混合和隔层排列处理措施, 对淋溶液中各检测元素的含量进行了分析和比较。结果表明, 粉煤灰中大部分元素在淋溶液中含量高, 淋溶作用强烈; 在各种元素中, 大多数污染重金属元素在淋溶液中的含量极低, 只有铬的含量略高。不同处理设施对粉煤灰的淋溶特性有显著影响。

关键词: 采煤沉陷地; 充填复垦; 粉煤灰; 煤矸石; 淋溶特性

中图分类号: X144

文献标识码: A

文章编号: 1000-0267(2002)01-0013-03

Leaching Characteristics of Several Elements on Subsided Land Filled in with Flying Ash

WEI Zhong-yi^{1,2}, HU Zhen-qi¹, SI Ji-tao¹, JIANG Jing¹

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, P. R. China; 2. Shanxi Agricultural University, 030801, P. R. China)

Abstract: A 40 day leaching experiment, aiming at the problem of soil pollution on the filled subsidence land with flying ash, taking three treatments of mixing flying ash with soil, mixing flying ash with coal wastes, and setting soil interlayer was conducted. The contents of tested elements in the leachates were analyzed. Results showed that Ca, Mg and Na were strong leaching elements, with contents of $655 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $162 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $153 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in the leachates; respectively, K, Si, B, Mo, Li, Sr, Cr, V and Ba were weak leaching elements, whose contents were between $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ — $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, while P, Ba, Al, As, Zn, Cu, Ni, Fe, Se, Co, Cd, Pb, Ti, Ag, Be, Bi, Ni and Mn were extremely weak or even not leaching elements, with contents of between $0.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ — $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Flying may result in high salt content in surface layer of covered soil associating with harmful to crops' growth. The flying ash contains higher heavy metal contents, but risk is little due to high pH of flying ash, which can reduce absorption of Cu and Zn by crops. The content of Cd in the flying ash exceeds the national soil environmental criterion, but its mobility is very low; The content of Cr in the leachates is high. The treatments of mixing flying ash with coal wastes and setting soil interlayer can effectively decrease the content of Cr in the soil water.

Keywords: coal mining subsidence land; flying ash; filling reclamation; coal wastes; leaching characteristics

我国约有 96% 的煤炭产量来源于井工开采, 井工采煤可导致地表沉陷, 形成沉陷地, 从而造成大量耕地的破坏。充填复垦是沉陷地复垦方法之一, 它是将工矿固体废弃物作为主要充填物料充填于沉陷地, 抬高地面到设计高程, 恢复土地用途。在煤矿区, 往往用容易得到的电厂粉煤灰和矿区煤矸石等废弃物作为充填物料, 同时这也解决了大量粉煤灰和煤矸石的堆

放问题。粉煤灰充填复垦是将电厂粉煤灰作为主要充填物料, 一般通过管道以水力输送的方式排放到沉陷地。粉煤灰与自然土壤的理化特性有较大差异, 直接在粉煤灰上种植比较困难, 通常采用表层覆土的方式。如果覆土质量好或及时采取相应的施肥措施, 当年即可达到一定的土壤生产力。但是安徽淮北及河南平顶山等地的作物样品测试证明, 粉煤灰表层覆土种植不是最好的方法, 往往或多或少地存在着二次污染问题。同时, (雨水)淋溶物还有可能进一步向下迁移污染地下水。复垦土壤溶液中各元素含量多少, 元素淋溶和相互作用规律如何, 怎样减小污染重金属元素

收稿日期: 2001-02-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49701010; 40071045)

作者简介: 魏忠义 (1967—), 男, 现为山西农业大学林学院讲师, 中国矿业大学北京校区资源环境系博士生。

的危害,很有必要针对这些问题展开进一步的研究。

1 实验材料、实验装置及实验方法

1.1 实验材料

实验材料采用河南省平顶山矿务局及电厂的粉

煤灰、煤矸石以及平煤八矿沉陷地土壤,实验用水为去离子水(模拟雨水)。4种材料的pH值及部分元素的含量测试数据见表1。

从表1可以看出,实验土壤为碱性土壤,并经粒径分析为中壤。实验用粉煤灰pH值较高,但煤矸石

表1 实验材料的pH值和部分元素的含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 pH of flying ash and contents of some elements tested in the ash

实验材料	pH	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Mo	P	Sr	Zn
土壤	8.43		468	4.80	55.6	19.0	30 600	<8	540	184	61.9
粉煤灰	9.40	7.25	616	4.25	74.9	95.0	26 200	<8	440	329	47.0
煤矸石	7.90	2.45	396	5.63	55.4	21.0	34 800	<8	440	204	85.0
去离子水($\times 10^3$)		0	15	0	0	0	0	0	0	2	4

的pH没有反映其中FeS的潜在酸性。煤矸石土壤、粉煤灰、煤矸石3种材料的Cd含量均高,大大高于土壤环境质量标准(GB 15618-1995);B含量较高,超过中国土壤元素环境背景值中值十几倍。实验粉煤灰的Cu、Sr含量明显高于土壤和煤矸石,表现出粉煤灰中元素的富集特性;实验用去离子水纯度较高,符合实验要求。

1.2 实验装置

实验采用室内柱状淋滤实验方式,实验装置的主体如图1所示。用管长500 mm、直径75 mm的PVC塑料管材,其一端敞口,另一端封口并开孔,在管底开孔处各内置一片滤纸和一片塑料网,填料后按顺序将其安放并固定于特制的架子上,每个圆管下面放一烧杯承接淋溶水样。

在实验条件下,粉煤灰26种测试元素的淋溶程度相差较大。从绝对数量上看,Ca、Mg、Na淋失最多,分别为 $665 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $162 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $153 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,为强淋溶元素;淋溶液中K、Si、B、Mo、Li、Sr、Cr、V的浓度在 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ — $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,为弱淋溶元素;其余P、Ba、Al、As、Zn、Cu、Ni、Fe、Co、Cd、Pb、Ti、Ag、Be、Bi在 $0.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ — $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,为极弱淋溶甚至不溶元素。

各元素在不同处理措施下的淋溶量显著不同,但各处理间的淋溶量相对值呈现出明显的强弱规律,具体见图2、图3所示。

图1 淋滤实验装置示意图

Figure 1 Diagram of leaching apparatus in the present study

1.3 实验方法

实验采取了几种不同的对比处理措施,一是粉煤灰和土壤的不同比例均匀混合;二是粉煤灰和煤矸石的不同比例混合;三是粉煤灰和土壤隔层排列。另外,单独的土壤、粉煤灰装填作为对照处理。

根据实地降水情况模拟降水量定量加注去离子水,实验时间为30 d,采集的淋溶水样用原子吸收光谱仪和等离子体发射光谱仪(ICP)等方法进行元素分析化验。

2 实验结果分析

2.1 粉煤灰各测试元素的淋溶程度分类

图2 Ca、Mg、Na强淋溶元素

Figure 2 Ca, Mg and Na elements with strong leaching ability

图3 K、Si、B、Mo、Li、Sr、Cr、V弱淋溶元素

Figure 3 K, Si, B, Mo, Li, Sr, Cr, V with weak leaching ability

图中线条各项(折)点的横坐标对应各测定元素,各项(折)点的纵坐标值为不同处理措施下淋溶液中各元素淋溶浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

2.2 各种处理措施对部分元素淋溶浓度的影响

各种处理措施对部分元素淋溶浓度的影响见图 4。图 4 - (a) 处理 01、02 分别为实验土壤和粉煤灰的对照处理;图 4 - (b) 处理 11、12、13 分别为粉煤灰对照、上灰 40 cm 下土 10 cm 及上灰 20 cm 下土 30 cm³ 种处理措施;图 4 - (c) 处理 21、22、23、24、25 分别为灰土比 4:1、3:1、2:1、1:1、1:2 均匀混合 5 种处理措施;图 4 - (d) 处理 31、32、33 分别为灰矸 1:1、1:2、1:3 均匀混合 3 种处理措施。图 4 中各线条端点及转折点对应的离散横坐标点为各种处理措施,纵坐标为淋溶液中的元素浓度。

附和固定在土壤中。从图 4 - (b) 可以看到,粉煤灰淋溶液经过土壤层的作用,除 Sr 的浓度略有增加外,很大程度上减低了各元素的浓度,对 B、Mo、Cr 的作用尤其明显。而且土层越厚,其效果越明显。

从图 4 - (c) 可以看到,将土壤均匀混入粉煤灰中可大大减小各元素的淋溶量,各元素的淋溶浓度均有不同程度地下降,特别是 Cr 元素在淋溶液中的浓度大大降低,成为不溶元素。同时灰土比例对 B、Mo、P、Sr 元素的淋溶亦产生较大影响,减小 B、Mo、P 的淋溶量而增大对 Sr 的淋溶。

从图 4 - (d) 可以看到,在粉煤灰中加入细粒矸石,在长时间的淋溶作用下,由于煤矸石中 S 元素产生的酸性物质部分中和了粉煤灰的碱性,使 pH 值降低,从而促进了 P、As、Fe 的淋溶。与粉煤灰的对照比较,在粉煤灰中加入煤矸石对 B、Mo、Sr 的淋溶影响不大,随着煤矸石量的增加,粉煤灰数量则相应减小,所以图中曲线有减小的趋势。

2.3 实验条件下部分元素的淋溶特征

2.3.1 B、Mo、Sr 的淋溶特征

正常土壤中的 B 是最易移动的微量元素,B 在糖的运输中起着主要作用。实验用粉煤灰中的含 B 量大大低于实验用土壤,但其淋失量较多,这与淋溶液中微弱的 Fe、Al 含量以及较高的 pH 值等有关^[1]。粉煤灰和土壤的均匀混合可很大程度上抑制 B 的淋失,掺土越多效果越明显。实验土壤 B 的淋溶量较低,粉煤灰的淋失量要比土壤大得多,纯灰柱的淋溶浓度为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在粉煤灰中掺入土壤或经过土壤层的作用,由于土壤的吸附,B 在淋溶液中的含量急剧降低。

Mo 是植物主要的微量养分之一,植物对 Mo 的吸收为主动吸收,吸收量与土壤溶液中 Mo 的浓度成正比。Mo 是固氮酶和硝酸还原酶的主要组分,Mo 在植物中最重要的功能是还原 NO_3^- 。溶液中高含量的 Cu、Mn、S、Fe 等元素将与 Mo 产生拮抗作用,影响 Mo 的淋溶,但淋溶液中上述几种元素的含量均较低,从而使 Mo 在淋溶液中浓度较高。另外由于粉煤灰的 pH 值较高,也使 Mo 的移动性增强。

3 种处理对 Sr 的影响相对较小,Sr 的曲线变化体现在粉煤灰和土壤的加和作用。

2.3.2 Cr、As 的淋溶特征

Cr、As 是常见的重金属污染元素,粉煤灰淋溶液中 Cr 的含量较高,3 种类型处理均对 Cr 有明显的

图 4 3 种处理措施对淋溶元素含量的影响($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Figure 4 Effects of three treatments on contents in leachates ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

图 4 表明,3 种不同类型的处理措施对粉煤灰的淋溶特性产生了显著影响,而且各类型内不同处理间也呈现出明显的差异。

从图 4 - (a) 可以看到,粉煤灰淋溶液中各元素浓度普遍高于实验土壤,特别是 B、Mo、Cr 三元素在土壤淋溶液中的含量极低,而在粉煤灰淋溶液中 B、Mo、Cr、Sr、P 的含量明显增高。这与粉煤灰粘粒成分少有关。实验粉煤灰和土壤淋溶液具有较高的 pH 值,因此 Zn、Fe、Cd、As 等元素在淋溶液中基本不存在。

土壤可通过吸附、转化和固定作用将某些元素吸