

# 粉煤灰性质及生态环境效应研究进展评述

张立存<sup>1,2,3</sup>, 管玉亭<sup>1,2</sup>, 张华明<sup>1,2</sup>, 张晓亮<sup>1,2</sup>, 李英<sup>1,2</sup>

(1. 江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029;  
3. 江西省水利厅, 江西 南昌 330009)

**摘要:**粉煤灰排放是我国工业固体废物的最大单一污染源,粉煤灰对灰场及其周边植被、土壤、大气、水体等都具有极大影响,对生态环境的破坏有很长的持续性。笔者综合相关研究文献,分析粉煤灰的理化性质,揭示粉煤灰微量元素的组成特征,总结提炼已有的研究成果,综合分析粉煤灰场对灰场及其周围生态环境造成的影响,并对灰渣场污染的治理提供建议,为灰场植被恢复、生态治理提供参考建议。

**关键词:**粉煤灰;理化性质;生态效应

**中图分类号:**X773

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004-4701(2018)05-0330-05

## 0 引言

2013年,我国产生约5.8亿t的粉煤灰,直接或间接利用仅为4.0亿t,其余均废弃,废弃率超过30%<sup>[1]</sup>,废弃粉煤灰累计总量已超过25亿t<sup>[2]</sup>,而粉煤灰每年的治理费超过1.5亿元,累计缴纳的粉煤灰排污费超过1000多万元<sup>[3]</sup>,每年增加 $3.0 \times 10^3$ hm<sup>2</sup>的占地用于堆存新增的粉煤灰<sup>[4]</sup>。我国是储煤大国,长时间内的能源结构还会以煤为主<sup>[5]</sup>,如此一来,粉煤灰生产、排放也必然随之增加。而粉煤灰透水性强,保水持水能力低,养分贫瘠,重金属污染物严重超标,植物在其自然状态下极难生存,极易发生水土流失<sup>[6]</sup>,这对灰渣场周边环境造成巨大的不良影响<sup>[7]</sup>。目前,国内外对灰渣及灰渣场进行了大量研究,本文总结相关研究,分析粉煤灰的性质差异,探讨粉煤灰对周边环境的影响,以期为灰渣场治理提供参考。

## 1 灰渣的性质

### 1.1 物理性质

粉煤灰是由很小的颗粒组成,且大多是玻璃体,其全都是结晶体物质和炭。粉煤灰组织疏松,50%~70%

为空心的玻璃质球体<sup>[8]</sup>。由于煤的来源、电厂的燃烧情况和收集方法的不同,都会导致粉煤灰微观结构的差异。粉煤灰的粒径一般介于1~400 μm<sup>[9]</sup>,颗粒组成介于粉砂与砂质粉土间,最大干密度介于1.14~1.45 g/cm<sup>3</sup>之间,密度在2.0 g/cm<sup>3</sup>~2.2 g/cm<sup>3</sup>之间,低于一般细粒土20%以上<sup>[10]</sup>,最大吸湿水在4.5~8.2 g/kg之间,最大吸水量在417~1038 g/kg之间,需水量比为106%。粉煤灰颗粒细度与磨制的煤粉细度有关,粉煤灰的细度通常是88 μm筛孔余量10%~30%,其中2~5 mm颗粒占65%~70%,0.05~0.005 mm颗粒占30%~35%,小于0.005 mm的微小颗粒仅占2%~3%<sup>[11]</sup>。我国68个燃煤电厂粉煤灰的基本物理性质见表1。

### 1.2 化学性质

灰渣的化学性质是研究灰渣肥力的重要方面,因为植物和微生物生命活动所需大多矿质元素都来自矿物。灰渣是一些矿物组成不同、粒径粗细不同、颗粒形态不同、各种颗粒组合比例不同的机械混合物<sup>[12]</sup>,粉煤灰中的氧化物组成与火山灰相似,其矿物组成主要有:钙长石、石英、莫来石、磁铁矿和黄铁矿、大量含硅玻璃体( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )和活性 $SiO_2$ 、活性 $Al_2O_3$ 以及少量的未燃煤等<sup>[13]</sup>,这些碱性物质的存在使得灰渣具有较高的pH值<sup>[14]</sup>。灰渣的理化性质受粉煤燃烧的影响,由于燃烧条件的不相同,导致粉煤灰存在着很大的不均匀性、

收稿日期:2018-07-11

项目来源:江西省水利厅科技项目(KT201012)

作者简介:张立存(1984-),男,硕士,工程师。

差异性和多变性<sup>[15]</sup>。

### 1.3 灰渣的营养

灰渣养分是灰渣场生态恢复的关键因素之一,灰渣中含有较丰富的钾、氮、磷、钙、硼及钼等营养元素,灰渣的钾、磷含量及其有效性也大致同土壤相似,证明灰渣中钾磷元素有效性不低于土壤,由于煤炭再燃烧过程已完全燃烧,有机质多以二氧化碳的形式释放,导致灰渣中有机质、氮素含量特别少<sup>[16]</sup>。在土壤中加入1%~2%的粉煤灰可以改善土壤中硫的不足,表明灰渣中也具有丰富的硫元素。

表1 粉煤灰的物理性质

项目	范围	均值
密度/(g/cm <sup>3</sup> )	1.9~2.9	2.1
堆积密度/(g·cm <sup>3</sup> )	0.531~1.261	0.780
比表面积 氧吸附法	800~195 000	340 000
/(cm <sup>2</sup> ·g <sup>2</sup> ) 透气法	1 180~6 530	3 300
原灰标准稠度/%	27.3~66.7	48.0
需水量/%	89~130	106
28 d 抗压强度比/%	37~85	66

表2 我国火电厂粉煤灰化学成分波动范围

成分	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
范围 %	0.63~29.97	34.30~65.8	14.59~16.8	0.44~16.80	1.50~16.22	0.20~3.72
平均值%	7.90	28.10	28.10	3.70	6.20	1.20

表3 灰渣与土壤养分情况对比

项目名称	有机质	全氮	全磷	全钾	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)
粉煤灰	--	--	0.80~1.20	1.8~2.3	9.13	42.2
砂壤土	0.4~0.7	0.03~0.06	0.07~0.11	1.0~1.5	--	--
粘壤土	0.9~1.3	0.09~0.14	0.13~0.20	2.3~2.9	58.50	240.3

## 2 灰渣对其周边生态环境效应研究

### 2.1 灰场对水体的影响

灰场对水体的污染主要是指粉煤灰中重金属、有毒元素和灰水中 pH 超标值对灰场及其附近的地表水和地下水造成的污染。煤中含有诸如 As、Hg、Cd、Cr、Pb、Ba、F、Mn、Se 等微量重金属、非金属元素,这些重金属、非金属元素在煤的燃烧过程中部分挥发进入大气,但大部分富集到灰渣中,这些有害成分会在雨水冲刷、淋溶作用下下渗,污染储灰场及其周围地区的地下水。粉煤灰对排灰场周围土壤和浅层地下水的影响取决于当地土壤的类型及污染物的种类和性质。长期对置灰场周围区域的地下水含有大量硫酸根、Mn 和 B、Zn 等元素,其含量大都超过当地地下水控制极限值。<sup>[17-19]</sup>

### 2.2 灰场对大气的影响

灰渣场中灰渣粒径一般在 0.04 μm,经风吹易形成扬尘。莫华<sup>[20]</sup>等对火电厂贮灰场大气环境防护距离进

行研究,发现采取分块堆灰的方式(灰块大于 100 m × 100 m)并保持一定的含水率(10%以上)的情况下,灰场的防护距离不会大于 500 m,并指出风速的大小直接影响灰场的大气环境,且灰场起尘量与灰场为碾压面积或破坏的灰面面积成正相关的关系,此外灰场灰渣的含水率也是影响灰场的起尘一个重要的因素。韩力峰<sup>[21]</sup>对火力发电厂储灰场环境综合治理及生态恢复进行研究,发现我国东北地区元宝山火电厂灰场周围出现严重的扬尘污染,在春秋多风季节,灰场周围 TSP 日均浓度最高值 6.24 mg/m<sup>3</sup>,超标 19.8 倍。降尘为 26.63~789.59 t/km<sup>2</sup>·月,平均为 260.78 t/km<sup>2</sup>·月,超标 31.59 倍,最大超标 97.74 倍。

### 2.3 灰渣场对植被的影响

灰渣场扬尘随风飘逸、扩散,大量细小的灰粒将植物叶片的叶孔堵住,影响植物的光合作用、呼吸作用和蒸腾作用,从而影响植物的正常生长,造成灰场周围农作物产品品质下降,产量降低。灰水 pH 值通常在 8 以上,显碱性,因此灰场内只适合碱性植物生长。灰水中

通常含盐量较高,一般植被难以生存。由于粉煤灰中含有过高的重金属,而其重金属通过渗漏和冲刷对其周边用水及土壤造成一定程度的干扰,都会影响植被的生长。程胜高<sup>[22]</sup>对黄石火力发电厂灰渣场周围土壤与蔬菜中重金属污染规律的研究发现,铅、镉对于其周围土壤和蔬菜造成污染,其含量较对照区高出2.9倍及8.9倍,重金属在植物体内会产生富集现象,并得出灰渣场周围不宜种植蔬菜等食用类作物。

### 3 主要问题与展望

灰渣场对环境的破坏有很长的持续性,且随着时间的增长这种环境效应将越为明显,灰渣的大量化学组成与土壤或岩石母质有很多相似的之处,虽然粉煤灰中缺乏种子库、有机质和氮素,且其灰渣的重金属含量过高,由于灰渣的浸出特性,使得灰渣中的重金属容易迁移,对灰渣场周围生态环境会造成干扰。但是,粉煤灰吸附气态水的能力和吸水的能力与土壤大致相同,尤其钾钙镁铁硅等微量营养元素较土壤含量高,可增加农作物营养成分和抗病能力,这为粉煤灰利用提供基础。

植被重建能否成功是灰渣场成功的关键指标,而种子库对于已退化的生态系统恢复起着至关重要作用,它为退化生态系统植被重建和生态恢复提供种源,如果种子库遭到破坏,退化生态系统的恢复困难将会大为增加。由于灰渣场即粉煤灰场缺乏种子库,灰渣场植被的恢复主要依靠风力传播的植物种类,且其适应性强,耐受范围广。灰渣上定居的主要植物包括菊科、禾本科和豆科,灰渣场地物理性质不良、养分不平衡而贫瘠和重金属浓度过高是限制植物定居的主要因素。因此在灰渣场重建过程中应主动引入菊科、豆科、禾本科植物,改善灰渣理化性质,加速灰渣场植被重构速度。同时,如何选择适合的治理方法对灰渣进行治理使其产生的生态效益,经济效益、社会效益最大化还缺乏相关的理论,选择何种植物,采取何种生态恢复模式治理、各种治理模式效益有待进一步明确。

#### 参考文献:

[1] 国家发展和改革委员会. 中国资源综合利用年度报告(2014)[J]. 再

生资源与循环经济,2014,7(10):3~9.

- [2] 杨利香,施钟毅.“十一五”我国粉煤灰综合利用成效及其未来技术方向和发展趋势[J]. 粉煤灰,2012(4):4~9.
- [3] 韩桂英. 粉煤灰的综合利用[J]. 现代经济信息,2010(5):20~22.
- [4] 邢世和,赵振宇,周碧青,等. 粉煤灰滤泥混合物对土壤性质、萝卜产量与品质的影响[J]. 应用生态学报,2001,12(1):121~125.
- [5] 张绍强,张运章. 我国煤炭资源、生产与环境概况[J]. 环境保护,2006(7):53~57.
- [6] 聂铁苗,刘淑贤,牛福生,等. 粉煤灰研究进展及展望[J]. 混凝土,2010(4):62~65.
- [7] 袁霄梅,赵营刚,尹国勋,等. 某粉煤灰堆放场对周围岩溶地下水的的影响分析[J]. 环境监测管理与技术,2014,26(2):48~51.
- [8] 胡珊,栾海. 季节性重冰冻地区高等级公路粉煤灰路基冻稳定性的研究[J]. 公路,2002(5):53~57.
- [9] 翟林. 粉煤灰填筑路堤关键技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
- [10] 王希梅,张永波. 粉煤灰浸出特性及其贮放对地下水环境的影响[J]. 山西水利,2007(1):89~90.
- [11] 薛群虎,杨源,袁广亮. 粉煤灰理化性质及形态学研究[J]. 粉煤灰综合利用,2008(3):3~5.
- [12] 杨久俊,王文娟,吴宏江,等. 不同燃煤电厂粉煤灰的特性及影响因素分析[J]. 粉煤灰综合利用,2008(6):6~8.
- [13] 黄兆龙,湛渊源. 粉煤灰的物理和化学性质[J]. 粉煤灰综合利用,2003(4):3~7.
- [14] 蒋武燕,宋世杰. 粉煤灰在土壤修复与改良中的应用[J]. 煤炭加工与综合利用,2011(3):57~60.
- [15] 邹冲. 高炉喷吹煤粉催化强化燃烧机理及应用基础研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [16] 高占国,华路,郑海金,等. 粉煤灰的理化性质及其资源化的现状与展望[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2003(1):70~77. b.
- [17] 温彦锋,裘孟辛,孙玉生. 灰水对地下水水质的影响试验研究[C]. 第二届全国粉煤灰贮放和利用学术会议论文.
- [18] 秦攀. 煤燃烧重金属生成规律的研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.
- [19] N Gilleg B, Gunal A. Assessment of soil and water contamination around an ash - disposal site: a case study from the seyitbmer coal fired power plant in western Turkey. Environmental Geology. 2001, 40 (3): 331 ~ 344.
- [20] 莫华,李明君,宋红军,等. 火电厂贮灰场大气环境防护距离初探[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2013(6):58~62.
- [21] 韩力峰,刘野新. 火力发电厂贮灰场环境综合整治及生态恢复初步研究[J]. 内蒙古环境保护,1996(4):26~27.
- [22] 程胜高,邵宁,胡建民,等. 火力发电厂灰渣场周围土壤与蔬菜中重金属污染规律的研究[J]. 环境科学与技术,1988(3):17~19.

编辑:张绍付

## Review on the research progress of fly ash properties and Eco environmental effects

ZHANG Lichun<sup>1,2</sup>, ZAN Yuting<sup>1,2</sup>, ZHANG Huaming<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoliang<sup>1,2</sup>, LI Ying<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Nanchang 330029, China;

3. Jiangxi Provincial Department of Water Resources, Nanchang 330009, China)

**Abstract:** Fly ash discharge was the largest single source of industrial solid waste in our country. Fly ash had a great influence on the ash field and its surrounding vegetation, soil, atmosphere and water, and had a long-lasting damage to the ecological environment. Therefore, based on the relevant research literature, this paper analyzed the physical and chemical properties of fly ash, revealed the composition characteristics of fly ash trace elements, summarized the existing research results, and comprehensively analyzes the impact of fly ash field on the ash field and its surrounding ecological environment, And provided suggestions for the treatment of ash pollution, provided suggestions for the restoration of gray soil vegetation and ecological management.

**Key words:** Fly ash; Physical and chemical properties; Ecological effects

翻译:张立存

(上接第316页)

[9] 水泥胶砂强度检验方法(SL 352-2006)[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

[10] 水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法(GB/T 749-2008)[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[11] 混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂(JC/T 1011-2006)[S]. 北京:中国建材工业出版社,2006.

[12] 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准(GB/T 50082-2008)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.

[13] Liu G, Zhang Y, Ni Z, et al. Corrosion behavior of steel submitted to chloride and sulphate ions in simulated concrete pore solution[J]. Construction & Building Materials, 2016, 115: 1-5.

编辑:张绍付

## Experimental study on anti-corrosion performance of cement-soil with mineral admixture

SHEN Jianguo, HE Yang

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Based on the field application of composite foundation in Xuwei Section, Lianyungang, experimental study on anti-corrosion performance of cement-soil with the large amounts mineral admixture was carried out. The mechanical properties, sulfate resistance and the compressive strength in different curing conditions of cement-soil were measured, the cementitious material in composite foundation was designed. The results show that using large amounts mineral admixture can ensure the mechanical properties of cement-soil, and improve the anti-corrosion performance of cement-soil in composite.

**Key words:** Mineral admixture; Large admixing amount; Composite foundation; Cement-soil; Anti-corrosion

翻译:沈建国