

Research on Water Consumption Optimization of Domestic Garbage Incineration Fly Ash Dechlorination Water Washing

Chunli Su Jianxun Wu Weiyong Cai*

China Power Engineering Consulting Group East China Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai, 200001, China

Abstract

The water washing and removal of high content chlorine salt from municipal solid waste incineration fly ash is an important pretreatment link in its resource utilization. The water consumption of incineration fly ash water washing directly affects the comprehensive cost of water washing pretreatment. Taking the fly ash from a mechanical grate incinerator of a domestic waste power plant in Hangzhou as the sample, the paper explores the water consumption under different liquid solid ratio of water washing and different times of water washing to obtain the optimal water consumption process parameters under the condition of ensuring the effect of water washing and dechlorination. The results showed that the optimum technological parameters of water washing dechlorination and water saving were as follows: liquid solid ratio 2.5 : 1, water washing 3 times at room temperature. Under this parameter condition, the chloride ion elution rate in fly ash can reach more than 98%, which can be satisfied. The research results can effectively guide the actual production process.

Keywords

municipal solid waste incineration fly ash; water washing; dechlorination

生活垃圾焚烧飞灰脱氯水洗耗水量优化研究

苏春丽 吴建勋 蔡伟英*

中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司, 中国·上海 200001

摘要

城市生活垃圾焚烧飞灰中高含量氯盐的水洗脱除是其资源化利用中重要的预处理环节, 焚烧飞灰水洗的耗水量直接影响水洗预处理的综合成本。论文以杭州某生活垃圾发电厂机械炉排炉式焚烧炉飞灰为样品, 在保证水洗脱氯效果的情况下, 探究不同水洗液固比、不同水洗次数下耗水量的大小, 获得最优耗水量工艺参数。结果表明, 水洗脱氯节水的最佳工艺参数为: 常温条件下, 液固比2.5 : 1, 水洗3次。此参数条件下, 飞灰中氯离子洗脱率可达98%以上, 能够满足, 研究成果能够有效指导实际生产过程。

关键词

生活垃圾焚烧飞灰; 水洗; 脱氯

1 引言

随着中国经济发展和人民生活水平提高, 人均生活物质消耗量增大, 城市生活垃圾产量日益增加, 以每年8%~10%的速度增长^[1]。卫生填埋和焚烧发电是中国生活垃圾主要处理方式, 其中焚烧技术是垃圾无害化、减量化、资源化处理最有效的方式。随着经济社会和城镇化快速发展, 垃圾焚烧

比例将进一步提高。飞灰作为垃圾焚烧的副产品, 富集了焚烧烟气中的重金属、二噁英等污染物, 并具有高钙、高氯等特点, 属于《国家危险废物名录(2021年版)》中废物类别“HW18 焚烧处置残渣”, 废物代码为772-002-18。飞灰的处理处置一直是个难点, 如果处理不当, 不但会影响资源化利用, 还会带来二次污染。2008年以前, 垃圾焚烧飞灰的合法处置方式只有送危险废物填埋场进行填埋处置, 仅少数地区开展水泥窑协同处置。2008年以来, 为破解焚烧飞灰处置的困境, 原环境保护部针对焚烧飞灰进入生活垃圾填埋场处置在含水率、二噁英含量、重金属浓度方面提出了入场要求。2016年, 4部委联合印发《关于进一步加强城市生活垃圾焚烧处理工作的意见》, 提出: “在生活垃圾设施

【作者简介】苏春丽(1984-), 中国陕西汉中, 硕士, 高级工程师, 从事环境保护与水土保持研究。

【通讯作者】蔡伟英(1980-), 中国浙江人, 硕士, 高级工程师, 从事物料输送与固废处理研究。

规划建设运行过程中,应当充分考虑飞灰处置出路。鼓励跨区域合作,统筹生活垃圾焚烧与飞灰处置设施建设,并开展飞灰资源化利用技术的研发与应用。”目前,中国对垃圾焚烧飞灰资源化处置的方法主要有高温热处理技术、水泥窑协同处置、水洗预处理—水泥窑协同处置。其中,推广较多、落地较为成功的案例均为水洗预处理—水泥窑协同处置项目。利用水洗技术对高含氯量的飞灰进行水洗预处理,降低飞灰中氯含量,避免了氯化物对水泥窑壁的腐蚀及结皮堵塞现象,同时还能回收飞灰中的盐分。论文基于现有的水洗预处理工艺,以减少水洗耗水量的角度开展研究,对水洗过程中产生的滤液中氯离子浓度、残渣中氯质量分数进行检测分析,研究水洗液固比、水洗次数对飞灰脱氯和飞灰减量的影响,旨在寻找保证脱氯效率的前提下,耗水量最低的水洗工艺参数。

2 实验方案设计

2.1 实验目的

通过水洗实验对各级水洗液中离子成分含量进行检测分析,研究水洗液固比、水洗次数对脱氯效率的影响,寻找耗水量较小、脱氯量较大的最佳工艺参数。

2.2 实验材料

实验所用垃圾焚烧飞灰样品取自杭州市某生活垃圾焚烧发电厂,该厂采用机械炉排炉式焚烧炉。本研究所用飞灰取自同一批次,飞灰样品呈灰白色,在105℃下干燥24h后储存待用。

2.3 实验仪器

循环水式真空泵(SHB-III)、磁力搅拌器(SN-MS-ED)、恒速电动搅拌器(JJ-1B-100W)、砂芯过滤装置、pH计(FiveEasy Plus PE28)、电子天平(TD50002A, ME104E/02)。

2.4 实验方法

研究表明,水洗时间、液固比和水洗次数是影响飞灰中氯盐溶出的主要因素^[2,3]。

现有工程项目中水洗时间一般控制在15~25min,可将飞灰中大部分可溶氯去除。周建国等^[4]的研究表明在生活垃圾焚烧飞灰水洗过程中,大部分氯盐在5~10min内会迅速溶解到液相中,超过10min,延长水洗时间对于氯离子的洗脱率影响不大。常威^[5]的研究数据表明,流化床炉飞灰中的可溶性氯经20~30min才能稳定溶出,而炉排炉飞灰中的氯经10~20min就能快速溶解在水中并达到稳定;王月香等^[6]的研究表明在水洗液固比(mL/g)为6、8、10条件下,流化床飞灰中水溶性氯脱除率在20min达到稳定,炉排炉飞灰中水溶性氯脱除率在5min时达到稳定。综合考虑经济性和操作性后,本实验研究选择水洗时间为20min。

在现有水洗预处理工艺基础上,为进一步降低水洗耗水量,研究水洗液固比及水洗次数对飞灰中氯盐的洗脱效率

的影响。实验设计在水洗时间稳定在20min的条件下,选择不同水洗液固比1:1、2.5:1和3.5:1,分别进行2次水洗、3次水洗和4次水洗。每次实验准确称取100g干燥飞灰与去离子水按比例加入烧杯中,置于磁力搅拌器中反应,水洗完成后,采用“0.45μm微孔滤膜+砂芯过滤装置+真空泵”进行固液分离,将水洗灰渣于105℃烘箱中干燥24h,称重,检测干灰中氯含量。

水洗前后飞灰的质量损失由式(1)确定:

$$\delta_{\text{loss}}=(M_0-M_1)/M_0 \times 100\% \quad (1)$$

其中, M_0 和 M_1 分别为水洗前后飞灰的干基质量(g); δ_{loss} 为水洗后飞灰的质量损失率。

3 结果与讨论

3.1 飞灰中氯存在的形态

表1为飞灰中不同形态氯分布情况,序号1~3为平行样检测结果。分析得本次实验原灰中总氯含量为25.43%,其中可溶性氯占95.79%,不可溶性氯占4.21%。Zhu等人^[7]研究垃圾焚烧飞灰中氯的分布形态发现有约5%难溶性氯以Friedel盐的形态存在。王月香等人^[6]研究了福建省泉州市某炉排炉垃圾焚烧厂的飞灰中氯的分布形态,其飞灰中总氯含量为11.35%,其中以水溶性氯形态存在的占比为96%。说明不同地区生活垃圾焚烧飞灰中各成分含量有一定的差异,这取决于焚烧垃圾的组分差异,但各垃圾焚烧厂的炉排炉工艺是相同的,因此氯的存在形态分布是相似的。

表1 原灰中氯存在形态及相对含量

序号	可溶性氯含量(%)	不可溶性氯含量(%)
1	95.98	4.02
2	95.71	4.29
3	95.73	4.27

由表1可知,飞灰中的氯主要以可溶性氯盐的形式存在。

3.2 不同液固比水洗水溶性氯脱出率

表2列出了在水洗时间为20min的前提下,不同水洗液固比条件下,水洗2次、3次和4次,飞灰中水溶性氯的脱除率及飞灰质量损失情况。

当液固比由1:1增加至2.5:1时,水洗2次、3次和4次,飞灰分别减量36.64%、38.87%和40.44%;飞灰减量增幅分别为5.32%、5.07%和5.67%;当继续增加液固比至3.5:1时,飞灰分别减量39.67%、40.73%和42.58%,增幅不大,分别为3.03%、1.86%和2.14%。因此,当液固比增加至2.5:1后,再继续增加液固比对飞灰水洗减量效率的提高作用不大。

当液固比由1:1增加至2.5:1时,水洗2次、3次和4次,飞灰中水溶性氯脱除率增加至94.05%、98.11%和98.89%;飞灰中水溶性氯脱除率增幅分别为13.43%、4.64%和2.95%;当继续增加液固比至3.5:1时,飞灰中水溶性氯脱除率增加至96.63%、98.81%和99.30%,增幅不大,分

别为 2.58%、0.70% 和 0.41%。液固比增加至 3.5 : 1 后飞灰中水溶性氯脱除率的增幅仅为增加至 2.5 : 1 的 19.21%、15.09%、13.90%，即水洗液固比由 2.5 : 1 增至 3.5 : 1 时的水溶性氯脱除率不到由 1 : 1 增加至 2.5 : 1 的 20%。因此，当液固比增加至 2.5 : 1 后，再继续增加液固比对飞灰水洗减量效率的提高作用不大。

表 2 不同液固比飞灰中水溶性氯的脱除及质量损失

水洗次数	液固比	反应时间 (min)	转速 (r/min)	湿灰含水率 (%)	质量损失率 (%)	水溶性氯脱除率 (%)
2	1:1	20	450	34.14	31.32	80.62
	2.5:1	20	450	37.57	36.64	94.05
	3.5:1	20	450	42.57	39.67	96.63
3	1:1	20	450	35.40	33.80	93.47
	2.5:1	20	450	38.45	38.87	98.11
	3.5:1	20	450	40.67	40.73	98.81
4	1:1	20	450	37.75	34.77	95.94
	2.5:1	20	450	38.68	40.44	98.89
	3.5:1	20	450	40.51	42.58	99.30

3.3 不同水洗次数水溶性氯脱出率

表 3 列出了在水洗时间为 20 min 的前提下，不同水洗次数下，液固比 1 : 1、2.5 : 1 和 3.5 : 1 情况下，飞灰中水溶性氯的脱除率及飞灰质量损失情况。

当水洗次数由 2 次增加至 3 次时，水洗液固比为 1 : 1、2.5 : 1 次和 3.5 : 1 时，飞灰分别减量 33.8%、38.87% 和 40.73%，飞灰减量幅度分别为 2.48%、2.23% 和 1.06%；当继续增加水洗次数至 4 次时，飞灰分别减量 34.77%、40.44% 和 42.58%，减量幅度变化不大，分别为 0.97%、1.57% 和 1.85%。因此，当水洗次数增加至 3 次后，再继续增加水洗次数对飞灰水洗减量效率的提高作用不大。

当水洗次数由 2 次增加至 3 次时，液固比为 1 : 1、2.5:1 次和 3.5:1 时，飞灰中水溶性氯脱除率增加至 93.47%、98.11% 和 98.81%，飞灰中水溶性氯脱除率增幅分别为 12.85%，4.06% 和 2.18%；当继续增加水洗次数至 4 次时，飞灰中水溶性氯脱除率增加至 95.94%、98.89% 和 99.30%，增幅不大，分别为 2.47%、0.78% 和 0.49%。水洗次数增加至 4 后飞灰中水溶性氯脱除率的增幅仅为水洗次数为 3 次的 19.22%、19.21%、22.48%，即水洗液次数由 3 次增至 4 次时的水溶性氯脱除率仅为 2 次增加至 3 次的 20% 左右。因此，当水洗次数增加至 3 次后，再继续增加水洗次数对飞灰水溶性氯脱除率的提高作用不大。

表 3 不同水洗次数飞灰中水溶性氯的脱除及质量损失

液固比	水洗次数	反应时间 (min)	转速 (r/min)	湿灰含水率 (%)	质量损失率 (%)	水溶性氯脱除率 (%)
1:1	2	20	450	34.14	31.32	80.62
	3	20	450	35.4	33.8	93.47
	4	20	450	37.75	34.77	95.94
2.5:1	2	20	450	37.57	36.64	94.05
	3	20	450	38.45	38.87	98.11
	4	20	450	38.68	40.44	98.89
3.5:1	2	20	450	42.57	39.67	96.63
	3	20	450	40.67	40.73	98.81
	4	20	450	40.51	42.58	99.3

4 结论与展望

①综合考虑水洗耗水量、飞灰水溶性氯脱除率、质量损失率及操作性后，确定生活垃圾焚烧飞灰水洗最佳工艺参数为：水洗时间 20 min，水洗液固比 2.5 : 1，水洗 3 次。在此条件下，飞灰水溶性氯脱除率为 98.11%，质量损失率为 38.87%。与现有水洗预处理工艺相比，降低了水洗耗水量的同时，保证了较高的水溶性氯脱除率（水洗液固比 3.5 : 1 时，水溶性氯脱除率为 98.81%），灰渣含氯值达到小于 2%。

②飞灰中的氯主要以可溶性氯盐的形式存在。水洗预处理对于飞灰中氯离子的洗脱效果明显。

③水洗处理效果良好，飞灰中的氯化物会转移到水溶液中，可进一步对水洗液中盐分进行提取，以实现资源化利用。

参考文献

- [1] 杨凤玲,李鹏飞,叶泽甫,等.城市生活垃圾焚烧飞灰组成特性及重金属熔融固化处理技术研究进展[J].洁净煤技术,2021,27(1):169-179.
- [2] 张帅毅,黄亚继,王昕晔,等.模拟垃圾焚烧过程中氯对铅动态挥发特性的影响[J].浙江大学学报:工学版,2016,50(3):485-490.
- [3] 朱芬芬,高冈昌辉,大下和徽,等.焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究[J].环境科学,2013,34(6):2473-2478.
- [4] 周建国,张署光,李萍,等.城市生活垃圾焚烧飞灰水洗脱氯实验研究[J].天津城建大学学报,2015,21(6):417-422.
- [5] 常威,刘宏辉,蒋旭光.垃圾焚烧飞灰水洗脱氯及重金属浸出特性研究[J].无机盐工业,2022,54(3):113-118.
- [6] 王月香,邵兰燕,徐天男,等.垃圾焚烧飞灰中氯元素存在形态及深度脱氯的研究[J].无机盐工业,2021,53(5):78-83.
- [7] Zhu F, Takaoka M, Shiota K, et al. Chloride chemical form in various types of fly ash[J]. Environmental Science and Technology, 2008, 42(11):3932-3937.