

上海石洞口第二电厂拟建粉煤灰分选系统的技术可行性研究

陈晨 李琴 盛广宏 翟建平*

(南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘要 上海石洞口第二电厂拟建设粉煤灰分选系统生产国标等级灰,但其粉煤灰的游离氧化钙偏高。研究表明:游离氧化钙在细灰中没有明显富集的趋势,即源灰游离氧化钙含量指标合格,那么分选所产细灰的也合格;供分选用的源灰细度和粒度分布较利于提高分选效率,生产国标Ⅱ级灰的分选产率可达70%左右;建设分选系统在技术上是可行的,且可获得较大的综合效益。

关键词 游离氧化钙 粒度分布 分选产率

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)10-0120-04

Feasibility study on producing classifying fly ash by separating fly ash drained off from Shidongkou No 2 Power Plant in Shanghai

Chen Chen Li Qin Sheng Guanghong Zhai Jianping

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract The Shidongkou No 2 Power Plant in Shanghai plans to establish a fly ash separation system to produce classifying fly ash. However, the free lime content of the fly ash is higher. The results show that while the free lime content in the original fly ash can measure up to the standard, the free lime content in the finished fine ash is up to the standard; the original fly ash is very suitable to be separated because of its appropriate particle size distribution and the anticipated separation rate of production can reach more than 70%; it's feasible for the plant to establish a fly ash separation system in technology and the plant can get higher comprehensive benefit.

Key words free lime; particle size distribution; separation rate of production

上海石洞口第二电厂有2台60万kW超临界机组,全年燃煤产生的干灰量约35万t左右。迄今为止,该电厂仍是以销售原状灰为主,为了提高粉煤灰综合利用率和经济效益,该厂拟投资建设粉煤灰分选系统生产国标等级灰。本文对该电厂“投资建设粉煤灰分选系统”的技术可行性作了专题研究。

1 试验样品和主要测试方法

本次研究的4个样品为:从上海石洞口第二电厂1、2号机组的省煤器、空气预热器和电除尘器第一电场收集且合并的干粗灰,分别以SC1和SC2表示,以这两个灰样代表拟建粉煤灰分选系统所用的源灰;1、2号机组电除尘器第2、第3、第4电场收集合并后的干细灰,以SX1和SX2表示,这2个样品均达到了国标Ⅱ级灰的品质要求,可代表拟建粉煤灰分选系统分选出来的干细灰。

粉煤灰样品的常量化学成分采用X射线荧光光谱仪(XRFS)熔片法分析;游离氧化钙采用甘油酒精法测定;安定性检测采用GB750-92水泥压蒸安定性试验方法;45 μm 筛余量采用水泥负压粒度筛析仪测定;粒度采用英国Malvern仪器公司生产的MASTERSIZER 2000激光粒度分析仪测定。

2 粉煤灰的化学成分和安定性

2.1 不同细度粉煤灰中的游离氧化钙分布

上海石洞口第二电厂采用内蒙古神木煤和山西大同煤混烧,有时其所排粉煤灰的游离氧化钙较高。若游离氧化钙在粗灰和细灰中均匀分布,那么原状

收稿日期:2006-10-07; 修订日期:2007-06-15

作者简介:陈晨(1984~),男,博士研究生,主要从事环境材料方面的研究工作。

* 通讯联系人, E-mail: jpzhai@nju.edu.cn

灰的游离氧化钙合格,则分选细灰也合格;反之,若游离氧化钙不是均匀分布,那就要关注其是否趋向于在细灰中富集,因为这有可能导致原状灰的游离氧化钙合格、而从中分选出的细灰的游离氧化钙是不合格的。

本次测定的 4 个粉煤灰中的 CaO 含量均小于 10% (表 1),相当于低钙粉煤灰,但是 4 个灰样的 CaO 含量已接近于高钙粉煤灰的临界值了 (\geq

10%)。此外,上海市地方标准 DBJ08-230-98《高钙粉煤灰混凝土应用技术规程》规定:高钙灰是褐煤或次烟煤经粉磨燃烧后,从烟道气中收集到的粉末,其氧化钙含量在 8% 以上,并强调不论其氧化钙含量如何,只要其游离氧化钙含量大于 1% 时也视为高钙灰。根据属地原则,4 个粉煤灰样品除 SC2 样品外,其余 3 个样品的氧化钙含量也均达到了上海市高钙灰的标准。

表 1 粉煤灰的常量化学成分和游离氧化钙含量

Table 1 Element composition and free lime content of fly ash

(%)

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	LOI	f-CaO
SC1	50.16	28.15	7.60	8.24	1.27	1.07	0.66	1.05	0.81	0.73	0.561
SX1	47.98	27.20	8.01	9.40	1.35	1.05	0.74	1.03	0.68	0.80	0.554
SC2	49.88	28.44	8.30	7.49	1.11	1.00	0.60	0.99	0.37	0.71	0.610
SX2	48.93	28.33	7.61	8.19	1.30	1.09	0.73	1.04	0.81	0.82	0.397

注:LOI 表示烧失量;f-CaO 表示游离 CaO

对于高钙粉煤灰而言,其游离氧化钙的含量并不与其氧化钙的含量呈直接、简单正相关,还与粉煤灰颗粒组成和结构如颗粒大小分布、硅铝玻璃体的聚合程度及水化时的外部条件等因素有关。由本次的分析结果可知(表 1),氧化钙的含量有在细灰中富集的趋势,但游离氧化钙在细灰中的含量却有明显降低的趋势,如在 SX2 样品中的游离氧化钙含量较 SC2 样品的降低甚多。吴学礼等^[1]对上海高钙灰的试验研究也证实,高钙灰中的游离氧化钙较多聚集在粗颗粒中,而细灰颗粒中的游离氧化钙含量相对较低。

综合上述分析,可以认为,该电厂供分选系统分选的源灰中,其细灰的氧化钙含量要略比粗灰的高,而细灰的游离氧化钙则相对于粗灰呈降低的趋势;也就是说,分选细灰相对于源灰,至少其游离氧化钙的含量是不会增加的。

2.2 粉煤灰安定性分析

对于高钙粉煤灰,对其安定性影响最大的因素是游离氧化钙。上文已有述及,石洞口第二电厂的细灰相对于粗灰,其游离氧化钙含量呈降低的趋势,细灰的安定性应该比粗灰的好,或者至少细灰和粗灰两者的安定性差别也不大,但由于安定性还受其他因素影响,如氧化镁、三氧化硫、碱含量等,故从安全考虑,对这些粉煤灰的安定性做了检测,结果表明(表 2),本次研究的粉煤灰样品虽然属于高钙灰,

但其安定性都能满足国家标准,而且细灰的安定性与粗灰的相当或要好于粗灰的。

表 2 粉煤灰安定性检测结果

Table 2 Detection result of fly ash soundness

样号	雷氏夹前后差值 (mm)	标准 (mm)
SC1	2.5	<5
SX1	2.5	<5
SC2	2.0	<5
SX2	1.5	<5

已有的研究已证实,游离氧化钙由于其水化产物 Ca(OH)₂ 不能及时转移,在局部堆积并产生孔隙,导致体积增加并引起膨胀。高钙灰细度提高后(如细灰相对于粗灰),可降低游离氧化钙的粒度,而细粒的游离氧化钙更易水化,并增大其在浆体中的分散度,在硬化水泥浆体中水化时不易造成局部膨胀应力集中,也不易产生破坏,另外,细灰也有利于吸收浆体中存在的 Ca(OH)₂,这些是导致细灰的安定性要好于粗灰的主要原因。

3 粉煤灰的粒度分布特征和分选细灰的产率

3.1 粒度分布特征

上海石洞口第二电厂粉煤灰 45 μm 筛余量和粒度分析结果分别列于见表 3 及图 1。

表3 粉煤灰的45 μm 筛余量

Table 3 Remainder on sieve 45 μm of fly ash

样号	筛前质量(g)	筛余质量(g)	重量比(%)
SC1	9.99	3.37	33.7
SX1	9.99	3.83	13.4
SC2	10.00	1.34	38.3
SX2	9.99	1.54	15.4

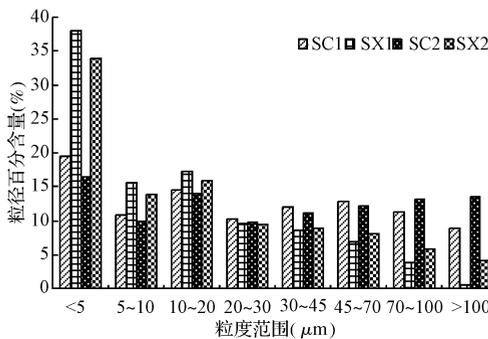


图1 粉煤灰粒度分布直方图

Fig. 1 Particle size distribution of fly ash

45 μm 筛余量和粒度分析结果表明,拟作将来分选系统源灰的粗灰(SC1 和 SC2 样品)并不太粗, 国标规定Ⅱ级粉煤灰的45 μm 筛余量 ≤ 25%, 而两个粗灰样品的45 μm 筛余量只比国标Ⅱ级粉煤灰的大 8.7% ~ 13.3%, 从这种粗灰中分选出足够的、细度能达到国标Ⅱ级粉煤灰要求的等级灰是不会有问题的。

3.2 分选细灰的产率及影响因素

3.2.1 分选细灰产率的估算

在粉煤灰分选系统调试或生产运行时,由于实际原灰处理量、细灰和粗灰的产量均很难实时准确测量,所以分选效率(细灰产率)通常也只能通过估算而得。

本研究设源灰45 μm 方孔筛筛余量为 A(%)、分选细灰的45 μm 筛余量为 B(%),分选后粗灰的45 μm 筛余量为 C(%),并假设分选后细灰的捕集效率近似于 100%(实际上也应该在 95% 以上),则分选细灰的产率 X 可按下式估算:

$$\text{分选细灰的产率 } X = (A - C) / (B - C) \times 100\% \quad (1)$$

当分选系统的源灰45 μm 方孔筛筛余量在 35% 左右时(该电厂的现状),根据上述公式所计算的分选细灰的可能产率列于表4,若分选出的细灰的45 μm 筛余量能控制在 20% 左右、分选后粗灰的

45 μm 筛余量能控制在 80% 左右(这些指标是较易达到的),那么分选细灰的产率将达到 75%(实际情况可能要略为小一点,因为没有考虑细灰的捕集效率损失),即使较保守的估计,分选细灰 70% 的产率是有保证的。

本文提出的公式(1)还为分选系统实际生产时的细灰产率监控提供了方便,只要测得源灰、分选细灰和剩余粗灰的45 μm 筛余量(很容易获得),通过公式(1)的计算,就可大致得知分选系统实时分选细灰的产率。

表4 粉煤灰分选系统的细灰产率估算

Table 4 Estimation of fine fly ash productivity of fly ash separation system (%)

源灰 45 μm 筛余量	分选细灰 45 μm 筛余量	分选后粗灰 45 μm 筛余量	分选细灰产率
		80	0.81
	25	70	0.78
		60	0.72
		80	0.75
35	20	70	0.70
		60	0.63
		80	0.69
	15	70	0.64
		60	0.56

3.2.2 影响细灰分选产率的一些因素

现有的研究和分选系统运行经验已证实,源灰的粒度适中,通常其45 μm 筛余量介于 25% ~ 50% 之间时,其分选系统的效率较高。当源灰筛余量较低时(灰较细),颗粒的比表面积较大,易凝并成团,使分选系统的效率下降;而当源灰45 μm 筛余量较高时(灰较粗),分选时粗颗粒夹带的细颗粒较多,也会影响分选系统的效率^[2]。上海石洞口第二电厂拟用作分选源灰的粗灰45 μm 筛余量分别为 33.7% 和 38.3%,属于粒度适中,较有利于提高分选系统的效率。

粉煤灰颗粒分布对分选系统的离心分离效率也有明显的影响,通常粉煤灰中颗粒的粒径差别越大则离心分离效率越高。SC1 粗灰和 SC2 粗灰的粒度分布(图1)与一般粗灰颗粒分布主要集中在粒径较大的区间范围内不同,其颗粒在粒径较大和较小的区间范围内均有较集中的分布。如 SC1 粗灰小于 20 μm 的颗粒占到了 44.76%,大于 70 μm 的颗粒占

到了 20.19%, SC2 粗灰也相类似。粉煤灰的这种“两头多中间少”的粒径分布是较有利于提高离心分离效率的。

4 分选系统经济效益估算

市场调研结果表明,建设 1 套年处理量为 30 万 t 的粉煤灰分选系统的投资主要有:设备费用,包括设备购置、安装、施工等共约为 630 万元;人员工资,定员为 5 人,年工资收入按 2 万元/人计,工资支出共约 10 万元/年;修理费,按设备费的 3.5% 计,共约 22 万元/年;运行费用,包括电耗等,按 1 kWh/t 计,共约 18 万元/年。

分选设备投产后,源灰的成本按 40 元/t 计,分选生产的国标 II 级粉煤灰销售价按 80 元/t 计,细灰分选产率按 70% 计,则每年可增加的粉煤灰销售收入为: $30 \text{ 万} \times 70\% \times (80 - 40) = 820$ 万元,扣除税费后,大约 1 年多就可以收回投资,这说明,上海石洞口二电厂建粉煤灰分选系统所带来的经济效益将是很明显的。

5 结 论

(1) 上海石洞口第二电厂粉煤灰以 CaO 含量较高为特征,按上海市标准属于高钙灰。其细灰的氧化钙含量要略比粗灰的高,而游离氧化钙则相对于粗灰呈降低的趋势;至少分选细灰相对于源灰其游离氧化钙的含量是不会增加的,细灰的安定性也好于源灰(粗灰)的。

(2) 当分选系统的源灰 45 μm 方孔筛筛余量在 35% 左右时(石洞口第二电厂的现状),若分选出的细灰的 45 μm 筛余量能控制在 20% 左右、分选后粗灰的 45 μm 筛余量能控制在 80% 左右,那么分选细灰的产率将达到 75%,即使较保守的估计,分选细灰 70% 的产率是有保证的。本文提出的计算公式,为估算分选系统实时分选细灰的产率提供了方便。

(3) 拟用作分选的源灰 45 μm 筛余量分别为 33.7% 和 38.3%,属于粒度适中,以及其粒径分布呈现“两头多中间少”的特征,这些均是较有利于分选系统提高效率的。石洞口第二电厂投资建设粉煤灰分选系统在技术和经济上均是可行的,且可获得较大的综合效益。

(致谢:本项目研究工作得到了石洞口第二电厂粉煤灰公司的大力支持和多方帮助,公司经理张觉高等诸位先生为该项目花费了极大的心血,本文的经济效益估算主要引自该公司的“投资建设粉煤灰分选系统”专题调研报告;本项目还得到了南京大学许多研究部门的支持和帮助,在此致以深深的谢意。)

参 考 文 献

- [1] 吴学礼,杨钱荣,谷章昭. 高钙灰的特性及高钙砫. 粉煤灰综合利用, 2001, (1): 22 ~ 25
- [2] 刘晓玲,邵雪明,李玉麟. 关于粉煤灰分选系统中几个问题的探讨. 粉煤灰, 2004, (6): 16 ~ 18