

烧失量法测量循环流化床锅炉飞灰碳的系统误差

王启民, 王玉召, 吕俊复, 岳光溪

(清华大学热能工程系, 北京 100084)

摘 要: 循环流化床锅炉飞灰碳的测量仍然沿用煤粉锅炉飞灰碳的烧失量法。由于循环流化床锅炉飞灰矿物组分不同于煤粉锅炉飞灰矿物组分, 用烧失量的方法测量循环流化床锅炉飞灰碳的含量会造成一定的系统误差。本文用烧失量法和 TGA-FTIR(热重分析-傅立叶红外光谱)联用的方法测量了循环流化床锅炉飞灰碳的含量, 分析了用烧失量法测量循环流化床锅炉飞灰碳的含量的系统误差, 结果表明: 我国电力行业标准 DL/L 567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测定方法 B 测量循环流化床锅炉的飞灰可燃物含量时的系统误差包括硫酸盐分解和矿物组分结晶水, 化合水的释放。用该方法考核循环流化床锅炉机组性能和效率的时候, 应该考虑这些因素的影响。在 TGA-FTIR 试验的基础上, 提出了 TGA 测量循环流化床锅炉飞灰碳含量的新方法。该方法避免了硫酸盐分解, 矿物组分结晶水, 化合水的释放所造成的系统误差, 同时新产生的含碳有机质高温裂解所致的系统误差是可以忽略的, 其结果更接近循环流化床锅炉飞灰碳的真实含量。

关 键 词: 系统误差; 烧失量; 循环流化床; 飞灰

中图分类号: TK224.1; O643.2 文献标识码: A

1 前 言

飞灰的可燃碳含量决定了其在建材方面的应用范围。通常用烧失量(LOI; Loss-On-Ignition)来表征粉煤灰可燃碳含量的大小。例如我国在 GB1446-90, GB1596-91 和 FGJ28-86 等标准中规定, 用烧失量表征的可燃碳含量小于飞灰总质量 5% 的飞灰为 I 级灰, 在 5%~8% 之间的为 II 级灰, 在 8%~15% 之间的为 III 级灰^[1]。美国在 ASTM C595-86 中规定水泥用粉煤灰的烧失量小于 5%, 在 ASTM C618 中规定混凝土用 F 类和 C 类粉煤灰的烧失量均小于 6%^[2]。高可燃碳含量的飞灰只能填埋和堆放, 提高了电力生产成本, 降低了经济效益并造成一定程度的环境污染。

我国锅炉灰渣可燃碳含量的测定采用电力行业标准 DL/L 567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测定方法中规定的两种方法。该标准中对于用于燃煤锅炉灰

渣可燃物的例行监督的方法(以下简称方法 A), 是称取一定质量的飞灰或者渣样品, 使其在 815 ± 10 °C 下缓慢灰化, 根据其减少的质量计算其中的可燃物含量。而锅炉机组性能考核及精确的热力计算时, 标准中规定应按照 GB212 空气干燥法测定灰、渣空气干燥基水分和灰分, 按照 GB/T 218 测定灰、渣中碳酸盐二氧化碳含量, 总烧失量减去灰、渣中水分和碳酸盐二氧化碳含量即为灰、渣中可燃物含量(以下简称方法 B)。方法 B 也可以用于燃煤锅炉灰渣可燃物的例行监督^[3]。

人们注意到, DL/L 567.6-95 中规定的方法的测量结果与灰渣中的成份有关, 尤其是在炉内添加石灰石脱硫条件下, 灰渣中氢氧化钙、碳酸钙及脱硫产物在测量过程中的分解, 对实验结果影响较大。这一系统误差问题已经被国内外的研究者所重视。吕太等人研究了方法 A 以及与方法 A 接近的 GB1597《用于水泥及混凝土中的粉煤灰》中规定的测定粉煤灰烧失量的 GB《水泥化学分析方法》, 提出了方法 A 的系统误差包括了硫酸盐, 碳酸盐的分解和水分的释放所造成的系统误差^[4]。Robert C Brown 等人研究了 LOI 方法测量飞灰可燃碳含量的系统误差, 指出 LOI 方法测量飞灰碳含量的系统误差包括飞灰颗粒间、颗粒本身吸附的水分的释放, 部分矿物质结晶水、化合水的释放和碳酸盐的分解所造成的系统误差^[5]。由于美国 LOI 方法测量飞灰可燃碳含量的最终温度是 725 °C, 所以没有考虑硫酸盐分解造成的系统误差。

研究表明, 当温度超过 760 °C 时, CaSO₄ 开始分解; 而当温度达到 990 °C 以上时, 分解速度非常快^[6]。因此, 一般说来, 灰渣可燃碳含量的测量温度不宜高于 CaSO₄ 开始分解温度。而且, 在有炉内石灰石脱硫或者燃料中钙基物质含量较高条件下, 必然在燃烧残余物矿物质中含有 CaSO₄, 其中的一部分以飞灰的形式通过尾部烟道以及除尘系统中时部分地吸附烟气

收稿日期: 2006-02-27; 修订日期: 2006-09-05

基金项目: 高技术研究发展计划 863 基金资助项目(2002A529100)

作者简介: 王启民(1972-), 男, 辽宁昌图人, 清华大学讲师。

中的水分,形成 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在 $110 \sim 186 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度范围内会脱去结晶水形成 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 。在 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 之前 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 也会脱去结晶水,形成 CaSO_4 。同时飞灰中的 CaO 也会在尾部烟道以及除尘系统中吸收烟气中的水分而形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右会失去化合水,形成 $\text{CaO}^{[5]}$ 。这些水分的释放温度都在 GB212 空气干燥法规定的测定灰渣空气干燥基水分的加热温度在 $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。因此,在飞灰中钙基物质含量较高时,采用 DL/T 567.6-95 中规定的方法进行测量,必然产生误差。但是这一误差的大小,目前尚无法估计。本文利用热重分析(TGA)仪和傅立叶红外光谱 (FTIR) 分析仪对四种燃烧典型煤种的循环流化床锅炉飞灰可燃碳含量进行了测量与分析。

2 试验过程

为分析热分解对飞灰可燃碳含量测量结果的影响,采用 TGA 与 FTIR 联用装置测量 4 种燃烧典型煤种的循环流化床锅炉飞灰可燃碳含量,并与电力行业标准中规定的方法的结果进行比较。TGA 实验中,将 20 mg 左右的循环流化床锅炉飞灰样品放入 TGA 的托盘中,首先通入 80 ml/min 的氩气,从 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始,以 $20 \text{ }^\circ\text{C/min}$ 的加热速率加热到 $725 \text{ }^\circ\text{C}$,保持这一温度 30 min 后,通入 80 ml/min 的空气,继续保持这一温度 30 min 。作为对比,将 20 mg 左右的循环流化床锅炉飞灰样品放入 TGA 的托盘中,通入 80 ml/min 的氩气,从 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始,以 $20 \text{ }^\circ\text{C/min}$ 的加热速率加热到 $815 \text{ }^\circ\text{C}$,保持这一温度 30 min 后,通入 80 ml/min 的空气,继续保持这一温度 30 min 。在这两个过程中,均采用 FTIR 对加热释放产物进行实时检测和定量测量。

根据电力行业标准中规定的方法 B,称取 1 g 左右的飞灰样品,置于 $105 \sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$ 的干燥箱中,隔绝空气干燥到质量恒定。然后根据飞灰样品的质量损失计算出水分的百分含量 w_1 。称取 1 g 左右的飞灰样品,置于马弗炉中,加热到 $815 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$,灰化并灼烧到质量恒定。以残留物的质量占飞灰样品的百分数作为飞灰样品的灰分产率 w_2 。采用如图 1 所示的测量飞灰中碳酸盐分解释放的二氧化碳的含量的简易试验装置,测量飞灰中碳酸盐分解释放的二氧化碳的含量。称取 5 g (准确到 0.001 g) 样品放入平底烧瓶中,加入 50 ml 去离子水,用橡皮塞塞紧,摇

动使均匀混合,而后用去离子水 50 ml 将附着在边壁和橡皮塞上的混合物冲洗入瓶中。向平底烧瓶中注入稀盐酸溶液,而后缓慢加热平底烧瓶至沸腾,保持微沸腾状态 30 min 后,停止加热,测量装有碱石棉的 U 形管的增重。从而计算出飞灰样品中碳酸盐分解释放的二氧化碳的百分含量 w_3 。则飞灰样品的可燃碳含量为:

$$C_{\text{fa}} = 1 - w_2 - w_3 - w_1$$

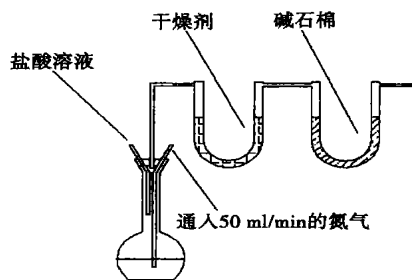


图 1 测量飞灰中碳酸盐分解释放二氧化碳含量的简易试验装备

试验结果的精密度应满足,当测量结果不大于 5% 时,重复性误差小于 0.2% ,再现性误差小于 0.4% ;当测量结果大于 5% 时,重复性误差小于 0.4% ,再现性误差小于 0.8% 。对方法 B 的简化便是方法 A,即称取 1 g 左右的飞灰样品,置于马弗炉中,加热到 $815 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$,灰化并灼烧到质量恒定。以残留物的质量占飞灰样品的百分数作为飞灰样品的灰分产率 w_2 。忽略飞灰样品中的水分和碳酸盐分解释放二氧化碳对试验结果的影响,认为非灰样品的可燃碳含量为:

$$C_{\text{fa}} = 1 - w_2$$

方法 A 的精密度应满足,当测量结果不大于 5% 时,重复性误差小于 0.3% ,再现性误差没有要求;当测量结果大于 5% 时,重复性误差小于 0.5% ,再现性误差没有要求。

3 试验结果与讨论

以一种飞灰样品为例,来讨论烧失量法测量循环流化床锅炉飞灰碳的系统误差。这个飞灰样品的终温为 $815 \text{ }^\circ\text{C}$ 和终温为 $725 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 TGA 试验结果分别如图 2 和图 3 所示。

对比图 2 和图 3,可以看出终温不同的 TGA 试验失重百分比曲线具有相似的形状。区别在于终温为 $725 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 TGA 试验的最终烧失量要小于终温为 $815 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 TGA 试验的最终烧失量。之所以造成这样的区

别, 需要从各自的 FTIR 试验结果的对比中找出原因。

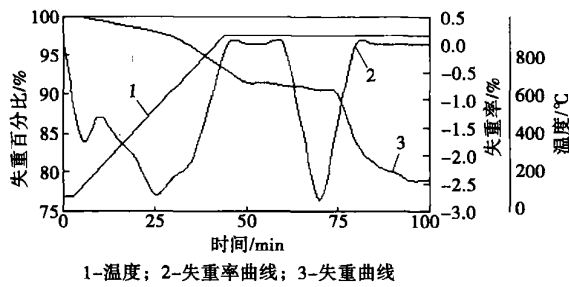


图 2 飞灰样品的终温为 815 °C 的 TGA 试验曲线

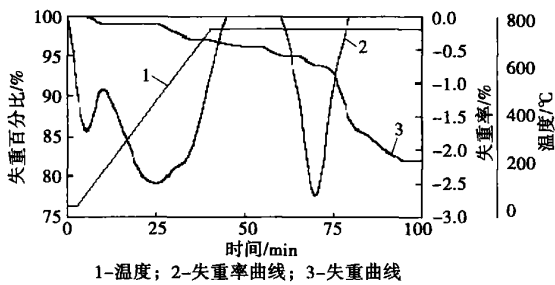


图 3 飞灰样品的终温为 725 °C 的 TGA 试验曲线

对比图 2 和图 3, 可以看出终温不同的 TGA 试验失重率曲线也具有相似的形状。从 40 ~ 110 °C 的升温过程中, 飞灰样品达到第一个失重高峰, 对比文献 [5] 可知, 这是飞灰样品颗粒之间、颗粒内部吸附的水分的释放过程; 从 110 ~ 650 °C 附近的升温过程中, 飞灰样品达到第二个失重高峰, 这个失重过程有可能是部分矿物组分的结晶水、化合水的脱水过程所致, 也可能是矿物组分中碳酸盐分解释放二氧化碳所致。对比 FTIR 的数据分析结果二氧化碳的释放量曲线 (见图 4) 和水蒸气的释放量曲线 (见图 5), 可以看出这一失重过程是部分矿物组分的结晶水、化合水的脱水和矿物组分中碳酸盐分解共同作用的结果。从图 4 中可以看出, 在 650 °C 附近时, 二氧化碳的释放达到第一个高峰, 由于这时还没有氧气通入, 所以这个二氧化碳的释放高峰可能是碳酸盐分解释放二氧化碳形成的, 也可能是含碳有机质高温裂解形成的。同时在 800 °C 附近有第二个二氧化碳的释放高峰存在, 二氧化碳的最大释放量是通入氧气后, 飞灰样品中碳的氧化所形成的。从图 5 中可以看出, 从开始加热到温度稳定在 815 °C 很长一段时间内, 都有水分的释放。由于矿物组分的结晶水、化合水的脱水过程都是在 110 °C 以上的温度内才会发生, 所以原 DL/L 567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测

定标准的方法 B 中, 尽管考虑了飞灰样品中水分对试验结果的影响, 但是飞灰样品水分的测量仅仅是测量了颗粒物理吸附的水分, 而矿物组分的结晶水、化合水则没有考虑。

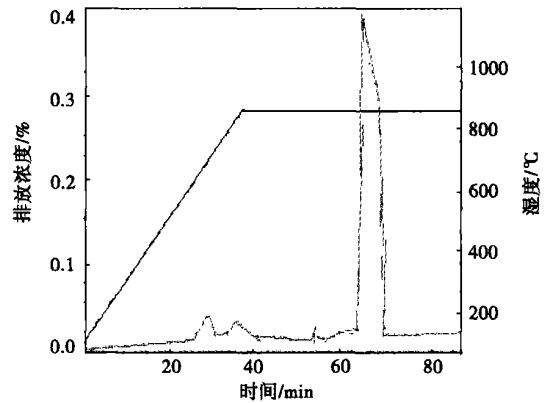


图 4 二氧化碳的释放量

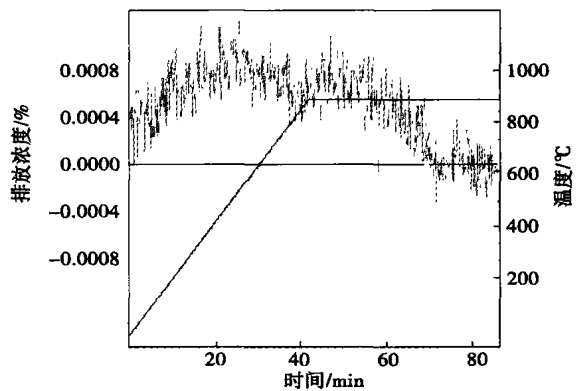


图 5 水蒸气的释放量

非常值得注意的是, 在惰性气氛下, 在 650 °C 附近有一个一氧化碳的释放高峰 (见图 6)。这个结果说明, 650 °C 附近的二氧化碳的释放高峰不完全是碳酸盐分解所致, 飞灰样品中的碳组分的类似脱挥发份的反应也有部分贡献。作者认为, 这部分氧来自于灰颗粒形成过程中物理晶格的缺陷, 导致氧化物是非化学计量化合物^[7], 颗粒中含有多余的 O⁻, 这些缺陷 O⁻ 在较低温度下是稳定的, 但在一定温度下, 会发生解析, 与灰样中的 C 发生反应。由于缺陷 O⁻ 的浓度相对于 C 而言是比较少的, 因此形成 CO。但是, 缺陷 O⁻ 的总量是有限的, 因此经过一段反应之后消耗殆尽, CO 产率下降乃至没有。也是这个原因, 飞灰样品中的碳组分的类似脱挥发份的反应对 650 °C 附近的二氧化碳的释放高峰的贡献相对于碳酸盐分解的贡献是可以忽略的。

图6的结果表明,利用类似脱挥发份的方法替代DL/L 567.6-95标准中方法B规定的化学方法来消除碳酸盐分解对试验结果的影响的建议是有局限性的。

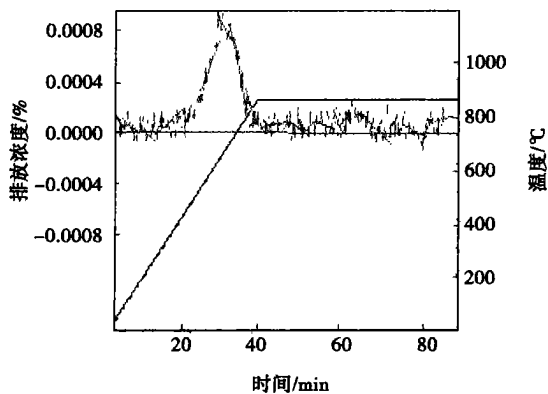


图6 一氧化碳的释放量

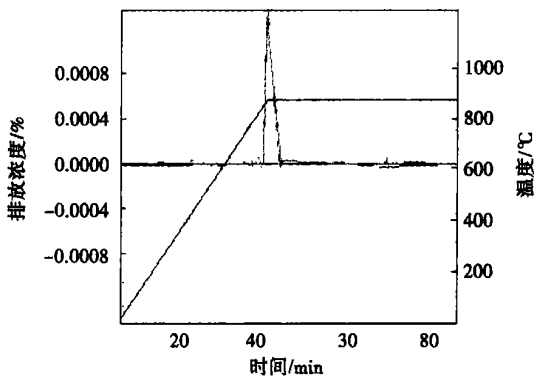
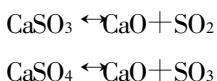


图7 二氧化硫的释放量

实验同时发现,对于终温为815°C的TGA试验,在800°C附近,有二氧化硫的释放高峰存在(见图7)。从图7中可以看出这一高峰可能是亚硫酸盐分解释放二氧化硫所致,也可能是硫酸盐分解释放二氧化硫所致。

CaSO₄在1100°C以上大规模热分解生成CaO、SO₂、O₂,后两者可被视为是SO₃热分解的产物。一般认为硫酸盐热分解的规律是,低于770°C(SO₃明显分解温度)时分解,气态产物以SO₃为主;在明显高于770°C时分解,气态产物为SO₂和O₂。

亚硫酸钙和硫酸钙的分解是一个可逆反应过程:



实验中,由于不停地通入不含SO₂或SO₃的气

体,将反应产生的气体携带走,使反应无法达到平衡,长时间在815°C温度下的保温过程,也可以使硫酸盐和亚硫酸盐完全分解。而在较低温度下,例如725°C时则没有测到SO₂的释放(见图8)。由于亚硫酸钙的分解温度是650°C,725°C的温度应该可以使亚硫酸钙分解。所以815°C终温的二氧化硫的释放可以认为是硫酸钙的分解所致。

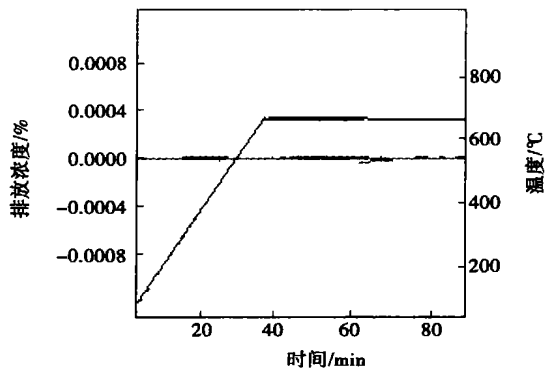


图8 终温为725°C的二氧化硫释放量

对比终温分别为815°C和725°C的FTIR的试验结果,可以得到这样的结论:终温为725°C的TGA试验的最终烧失量之所以小于终温为815°C的TGA试验的最终烧失量,是因为终温为725°C的TGA试验中飞灰样品中的硫酸盐没有分解。根据以上分析,可以定义TGA方法测量循环流化床锅炉飞灰碳步骤为:将循环流化床锅炉飞灰样品放入TGA的托盘中,首先通入惰性气体,从室温开始加热到725°C,保持这一温度至质量恒定,而后通入空气,继续保持这一温度,直至质量恒定;定义循环流化床锅炉飞灰碳含量就是通入空气后样品失重与样品初始质量的比值。

根据电力行业标准DL/L567.6-95规定的方法A、方法B和本文定义的TGA方法所规定的方法对四种燃烧典型煤种的循环流化床锅炉飞灰的飞灰碳进行测量,结果如表1所示。

表1 测量结果的对比

燃烧煤种	方法A	方法B	TGA方法
煤矸石	31.8	27.5	24.7
无烟煤	23.4	17.1	11.5
烟煤	14.2	11.1	9.4
褐煤	13.5	11.2	8.3

由于本文定义的TGA方法避免了飞灰样品中的硫酸盐分解和部分矿物质结晶水、化合水的释放所造成的系统误差,所以其测量值较电力行业标准

DL/567.6-95 规定的方法 B 的测量值更小些,而且更接近样品的真实可燃碳含量。当然本文定义的 TGA 方法也带来了一个新的系统误差:含碳有机质高温裂解,这一类似脱挥发份的反应所造成的系统误差。在煤的脱挥发份反应中,加热速率越大、终温越高,所产生的挥发份越多。由于循环流化床锅炉飞灰碳在床内都经历了晶格有序化过程,所以飞灰碳活性较低,挥发份含量很少;并且 TGA 的加热过程属于慢加热速率的升温过程,终温为 725 °C,低于电力行业标准 DL/567.6-95 中的 815 °C,所产生的挥发份会进一步降低。FTIR 的数据结果显示:无论是终温为 815 °C,还是终温为 725 °C 的 TGA 试验,未通入空气时排放的 CO 的物质总量都不到通入空气时排放的 CO₂ 物质总量的 1/1000。这说明含碳有机质高温裂解产生的系统误差是可以忽略的。

4 结 论

对比中华人民共和国电力行业标准 DL/567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测定方法 A 和方法 B 以及本文所作 TGA-FTIR 试验结果可以得到如下结论:

(1) 我国电力行业标准 DL/567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测定方法 A 测量循环流化床锅炉的飞灰可燃物含量时,会具有很大的误差,该误差包括飞灰颗粒之间,颗粒内部吸附的水分的释放,硫酸盐分解,碳酸盐分解,矿物组分结晶水,化合水的分解释放。该方法即使作为日常锅炉运行状况的监测仍然具有很大的不可靠性。

(2) 电力行业标准 DL/567.6-95 方法 B 测量循环流化床锅炉的飞灰可燃物含量时,也具有一定的误差,该误差包括硫酸盐分解和矿物组分结晶水,

(上接第 584 页)

(4) 减少一次风空气冲刷转子份额的计算表明:在实际工作点,制粉系统的热风份额与空气预热器一次风冲刷转子的份额改变前相比有所增大(例如在空气预热器进口烟温为 340 °C 时,改变前的热风份额为 0.48,改变后降低到 0.49);改变一次风冲刷转子的份额对锅炉排烟温度的影响甚小(例如在空气预热器进口烟温为 340 °C 时,改变前后的锅炉排烟温度分别为 144 °C、145 °C)。减少一次风冲刷转子的份额对增加热风份额和降低锅炉排烟温度无明显效果。

参考文献:

[1] 樊泉桂,阎维平. 锅炉原理[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.

化合水的分解释放。对于采用石灰石脱硫的循环流化床锅炉由于飞灰中没有反应的 CaO 含量高,更容易吸附烟气中的水分,同时硫酸盐含量高,在吸附烟气中水分造成系统误差的同时,其自身的分解也会造成系统误差。所以用中华人民共和国电力行业标准 DL/567.6-95 飞灰和炉渣可燃物测定方法 B 考核循环流化床锅炉机组性能和效率的时候,更应该考虑这些因素的影响。

(3) 在 TGA-FTIR 试验的基础上,提出了 TGA 测量循环流化床锅炉飞灰碳含量的方法。该方法避免了飞灰样品中飞灰颗粒之间,颗粒内部吸附的水分的释放,硫酸盐分解,碳酸盐分解,矿物组分结晶水,化合水的分解释放所造成的系统误差,同时新产生的含碳有机质高温裂解所致的系统误差是可以忽略的,其结果更接近循环流化床锅炉飞灰碳的真实含量。

参考文献:

- [1] 王福元,吴正严. 粉煤灰利用手册[M]. 北京:中国电力出版社, 1997.
- [2] JOHN P BALTRUS, RODNEY DIEHL J, YEE SOONG, et al. Triboelectrostatic separation of fly ash and charge reversal[J]. *Fuel*, 2002, 87: 757-762.
- [3] 汤达帆, COLIN HARVERY. 燃煤电厂飞灰含物质成份筛分磁选实验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2000(5): 468-470.
- [4] 吕太,张墨,毕春丽,等. 循环流化床锅炉飞灰含炭量的测定方法探讨[J]. 粉煤灰综合利用, 2004(1): 17-19.
- [5] ROBERT C BROWN, JEFF DYKSTRA. Systematic errors in the use of loss-on-ignition to measure unburned carbon in fly ash[J]. *fuel*, 1995, 74: 570-574.
- [6] 刘泽常,高洪阁,王力,等. 高温条件下钙基固硫剂脱硫特性研究[J]. 煤炭转化, 1999, 22(4): 54-56.
- [7] CHIU KIN. Thermal reaction of aromatics hydrocarbon and m-cresol over calcium oxide[J]. Cambridge: Dept of Chem Eng MIT, 1986.

(辉 编辑)

- [2] 范正傍. 采用双进双出球磨机配正压直吹式制粉系统的可行性[J]. 四川电力技术, 2003(2): 24-25, 53.
- [3] 于云忠,王继承. 670 t/h 锅炉制粉系统单耗剧增的原因及技改措施[J]. 热能动力工程, 2001, 16(6): 666-668.
- [4] 束继伟,孟繁兵,黄启龙,等. 燃用褐煤锅炉改烧烟煤时干燥剂的计算及选取[J]. 热能动力工程, 2001, 16(4): 453-456.
- [5] 赵渝渝,张学洪,范耀国,等. 420 t/h 锅炉尾部受热面磨损和汽温综合治理[J]. 热能动力工程, 2000, 15(6): 699-702.
- [6] DL/T5145-2002, 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定[S].
- [7] DL/T466-2004 电站磨煤机及制粉系统选型导则[S].
- [8] 胡华进,徐治皋. 三分仓空气预热器传热特性的算法研究[J]. 动力工程, 1998, 18(1): 54-57, 53.
- [9] 周俊虎,杨卫娟,靳彦涛,等. 三分仓空气预热器热力计算的研究[J]. 动力工程, 2003, 23(6): 2810-2813.

(辉 编辑)

灰色软测量在球磨机料位检测中的应用 = **A Study of the Use of Grey Soft Measurement in the Detection of Fill-up Level of Ball Mills** [刊, 汉] / SU Zhi-gang, YU Xiang-jun, LU Zhen-zhong, et al (Power Department, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2006, 21(6). — 578 ~ 581

A ball mill is one of the main equipment items in the boiler milling systems of a thermal power plant. Its good working condition will decide to a certain extent the operating efficiency of a whole power plant. A nonlinear PLS regression method is combined with grey consistency correlation theory, which is then used for performing the soft measurement of the fill-up level of ball mills. Through the monitoring of the fill-up level inside a ball mill cylinder, the rotating speed of coal feeders can be controlled so as to make the ball mills operate in their optimum condition, thereby achieving a minimal unit power consumption in the coal pulverizing process. The results of engineering applications show that the soft measurement method has a relatively high assessment accuracy and can meet relevant practical requirements. As a result, it can solve the ball mill low efficiency problem related to its long-term low-load operations made necessary by a safe and conservative working mode. **Key words:** ball mill, fill-up level, grey soft measurement, consistent correlation degree, non-linear PLS

直吹式制粉系统与空气预热器的质量能量平衡关系分析 = **An Analysis of the Mass-and-Energy Balance Relationship Between a Direct-fired System and Air Preheater** [刊, 汉] / XING De-shan, YAN Wei-ping (Education Ministry Key Laboratory on Condition Monitoring and Control of Power Plant Equipment under the Energy and Power Engineering College of North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003), ZHI Guo-jun (Engineering College under the Shanxi University, Taiyuan, China, Post Code: 030013) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2006, 21(6). — 582 ~ 584, 589

To solve the problems of an increase in cold-air share in a milling system and a rise in boiler exhaust gas temperature which are caused by a change in coal types for coal-fired boilers at a thermal power plant, the air quantity-temperature characteristic curves of the milling system and air preheater have been identified based on a thermodynamic calculation of the milling system and the three-chamber rotary air preheater. This has been realized with the positive-pressure direct-fired system and three chamber rotary air preheater of a 330 MW coal fired boiler unit at a North China large thermal power plant serving as an object of study. On the basis of the air mass balance and heat quantity balance of the milling system and air preheater, their operational points can be determined. The analysis and calculation results are in good agreement with the on-site operation conditions. Proceeding from the calculation results, an analysis and evaluation of the measures to reduce the exhaust gas temperature and cold air share has also been conducted. A reduction of flue gas temperature at the air preheater inlet can effectively lower the exhaust gas temperature but a reduction of the share of primary air sweeping across the air preheater rotor has little effect in reducing the exhaust gas temperature. **Key words:** utility boiler, direct-fired system, air preheater, mass balance, heat quantity balance

烧失量法测量循环流化床锅炉飞灰碳的系统误差 = **System Error Present When Measuring the Carbon Content of the Fly-ash of a Circulating Fluidized Bed Boiler by Using a Loss-on-ignition Method** [刊, 汉] / WANG Qi-min, WANG Yu-zhao, LU Jun-fu, et al (Thermal Energy Engineering Department of Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2006, 21(6). — 585 ~ 589

To measure the carbon content of the fly ash of a CFB boiler one still continues to adopt the loss-on-ignition method traditionally used for measuring carbon content of the fly ash of pulverized coal-fired boilers. As the mineral constituent of the fly ash of a CFB boiler is different from that of a pulverized coal-fired one, the use of the loss-on-ignition method for measuring carbon content of the fly ash of a CFB boiler may produce a certain system error. The authors have adopted the loss-on-ignition method combined with a TGA-FTIR (thermogravimetric analyzer-Fourier infrared spectrum) method to measure the carbon content of the fly ash of the CFB boiler and analyzed the system error involved in the measurement by using the loss-on-ignition method. The results of the measurements show that in case of using China National Electric Power Industry Standard DL/L567.6-95 Method B for measuring combustible matter in fly ash and slag of a CFB boiler

the system error should involve the decomposition of sulfate and release of water of crystallization and hydration from mineral constituents. When using this method to check the performance and efficiency of a CFB boiler unit, one shall take into account the effect of these factors. On the basis of TGA-FTIR experiments, presented is a new TGA method for measuring the carbon content of fly ash of a CFB boiler, which can avoid the system error caused by the decomposition of sulfate and the release of water of crystallization and hydration from mineral constituents. In the meantime, the system error resulting from high-temperature cracking of newly produced carbon-containing organic matter can be negligible. The result thus measured further approximates to the actual carbon content of the fly ash of the CFB boiler. **Key words:** system error, loss-on-ignition, circulating fluidized bed, fly ash

基于动态 RBF 神经网络的锅炉短期负荷预测研究 = **An Investigation Concerning the Prediction of Short-term Loads of Boilers based on a Dynamic RBF (Radical Based Function) Neural Network** [刊, 汉] / DAI Wei-bao, ZOU Ping-hua (College of Municipal Environmental Engineering under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), FENG Ming-hua, WANG Yu-shan (Heilongjiang Provincial Academy of Electric Power Sciences, Harbin, China, Post Code: 150030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 590 ~ 593, 602

The thermal inertia of boilers can lead to the relative lagging of a whole thermal system and affect the peak-shaving and optimization operation of the system. Hence, a prediction of the short-term loads of boilers based on the system parameters has become especially important. On the basis of a RBF neural network, a dynamic one is presented and the definition of two related parameters, i. e. specimen variance and specimen local variance, given to conduct an effectiveness discrimination for a new specimen. The actual operational data of a power plant have been used to verify the soundness of the established model. Meanwhile, an input-layer sensitivity factor is presented to predict the load of a large variance specimen. Boiler future loads were predicted by using the dynamic RBF neural network and in the meantime the predicted results were compared with the experimental ones. The results of the comparison indicate that the above network has a strong adaptability and can accurately predict boiler loads, presaging a bright prospect for engineering applications. **Key words:** dynamic RBF (radial based function), load prediction, specimen variance, specimen local variance, input layer sensitivity factor

一种基于自适应小波变换的火焰检测方法的研究 = **An Investigation of the Flame Detection Method based on Self-adaptive Wavelet Conversion** [刊, 汉] / AO Li-min, LI Jian-hua, SONG Xuan, et al (College of Information Engineering under the Northeast University of Electric Power, Jilin, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 594 ~ 597

In view of the features specific to present-day furnace flame detection systems, such as great difficulty in extracting signal characteristics, low signal-noise ratio and difficulty in making an accurate decision, a judgement method was proposed based on wavelet conversion in combination with a BP neural network. This has been undertaken through an acquisition and analysis of experimental data of pulverized coal combustion in a furnace. Under the above method the collected noise-containing signals will undergo a multi-dimensional wavelet decomposition and characteristics extraction. Thereafter, the signals are subject to a soft threshold value de-noising treatment with the pretreated information serving as a training input to the neural network. A furnace-flame combustion experiment at a power plant has proved that the time-frequency localized analytic method can improve the signal-noise ratio and more effectively identify the combustion state of a flame and is assessed as possessing a wide-ranging practical value. **Key words:** flame detection, wavelet resolution, extraction of characteristics, threshold value, BP neural network

油雾碰撞高温壁面的油滴分裂及与热壁间换热研究 = **A Study of Oil Droplet Fracture during the Impingement of Oil Mist on a High-temperature Wall Surface and the Heat Exchange of the Oil Droplets with the High-temperature Wall** [刊, 汉] / ZHAO Zhi-guo, XIE Mao-zhao, WANG Cui-hua (College of Energy and Power Engineering under the Dalian University of Sciences and Technology, Dalian, China, Post Code: 116024) // Journal of Engineering