

燃煤电厂冲灰水系统防垢技术研究*

唐永明 陈 敏 杨文忠 尹晓爽 刘 瑛 俞 斌 王锦堂

(南京工业大学理学院, 南京, 210009)

摘 要 研究了粉煤灰在水中的溶解行为, 结果表明: (1) 灰水混合液在不同转速下搅拌 20min 后, pH 值、电导率、碱度、Ca²⁺ 浓度等指标不再明显变化; (2) 向混合液中加入 Na₂CO₃ 可有效降低 Ca²⁺ 的浓度, 而且 Na₂CO₃ 的投加量与 Ca²⁺ 浓度之比 (摩尔比) 为 0.8:1 时, 混合液中 Ca²⁺ 即可降至 15mg·L⁻¹ 以下; (3) 向灰水分离后的清液中通入 CO₂ (6min) 可将全部碱性物质转化为 HCO₃⁻, 并溶入大量 CO₂, 用此水冲灰可达到与投加 Na₂CO₃ 相似的效果.

关键词 冲灰水, 结垢, 碳酸钠, 二氧化碳.

水力输灰是燃煤电厂最常用的除灰方式, 其工作方式是将燃烧后的粉煤灰用水稀释, 再用灰浆泵送往储灰场中, 灰和水自然分离后, 水用泵输回场区再冲灰^[1], 这种闭路循环的方式正在被广泛采用^[2]. 在上述的除灰系统中, 往往伴随着输灰管和输水管的结垢问题, 将影响系统的正常运行.

通过向灰水中加入碳酸钠可有效降低灰水中 Ca²⁺ 的浓度, 使生成的 CaCO₃ 与煤灰在沉降池中一同沉降, 防止 CaCO₃ 灰垢在灰管中形成. 如果在沉降出水中通入 CO₂ 则可大大提高冲灰水中 HCO₃⁻ 的浓度, 在冲灰时 HCO₃⁻ 将转化为 CO₃²⁻^[3], 起到与碳酸钠相似的效果, 可降低碳酸钠的消耗量.

本文研究了粉煤灰与水混合后搅拌速度和时间对冲灰水的影响. 通过向冲灰水中加入碳酸钠, 研究碳酸钠的投加量对冲灰水水质的影响. 并通过向沉降上清液中通入 CO₂, 研究 HCO₃⁻ 的生成及其对冲灰水水质的影响.

1 实验方法

将粉煤灰在 120℃ 下烘干 2h, 然后进行 X 射线荧光光谱 (XRF, 瑞士 ARL9800XP+) 分析, 粉煤灰的组成为: SiO₂ 49.87%; Al₂O₃ 31.00%; Fe₂O₃ 4.22%; CaO 3.36%; MgO 0.76%; K₂O 1.31%; Na₂O 0.42%; TiO₂ 1.27%; MnO₂ 0.032%; P₂O₅ 0.21%.

将粉煤灰与水按照水灰比为 20:1 投入机械搅拌器中, 在转速分别为 500r·min⁻¹, 800r·min⁻¹, 1200r·min⁻¹ 和 1500r·min⁻¹ 下测定混合液中的 pH 值、碱度、Ca²⁺ 浓度和电导率随时间的变化.

在转速为 800r·min⁻¹ 时, 向混合液中加入不同量的碳酸钠 (A.R), 搅拌 30min, 测定加入碳酸钠后混合液中电导率、碱度和 Ca²⁺ 浓度随时间的变化.

保持水灰比 20:1, 转速 800r·min⁻¹、搅拌 20min, 向混合液中加入不同量的阴离子聚丙烯酰胺 (PAM, 法国 SNF 公司), 在 100r·min⁻¹ 下搅拌 30s, 沉降 10min, 取上层清液, 测定 Ca²⁺、碱度.

向体积为 500ml 的混凝沉淀上清液中以 70L·min⁻¹ 通入 CO₂ 气体, 测定不同通气时间下的 pH 值、酚酞碱度. 向通入 CO₂ 的水中再次按水灰比 20:1 加入粉煤灰, 在 800r·min⁻¹ 下测定不同搅拌时间下混合液的电导率、碱度和 Ca²⁺ 浓度.

2 转速和搅拌时间对混合液的影响

图 1 表明, 在较低转速下, 如 500r·min⁻¹ 和 800r·min⁻¹, pH 值、碱度、电导率和 Ca²⁺ 浓度均随搅拌时间的增加而增大, 但增大的幅度在 20min 后趋缓; 而在 1200r·min⁻¹, 搅拌 20min 后, pH 值、碱度、电导率和 Ca²⁺ 浓度基本趋于稳定; 若转速增至 1500r·min⁻¹, 搅拌 20min 后, pH 值、碱

2005 年 8 月 23 日收稿.

* “十五” 国家科技攻关项目 (No. 2004BA313B14).

度、电导率和 Ca^{2+} 浓度均达到最大值，再继续延长搅拌时间，4 种指标均出现不同程度的下降。

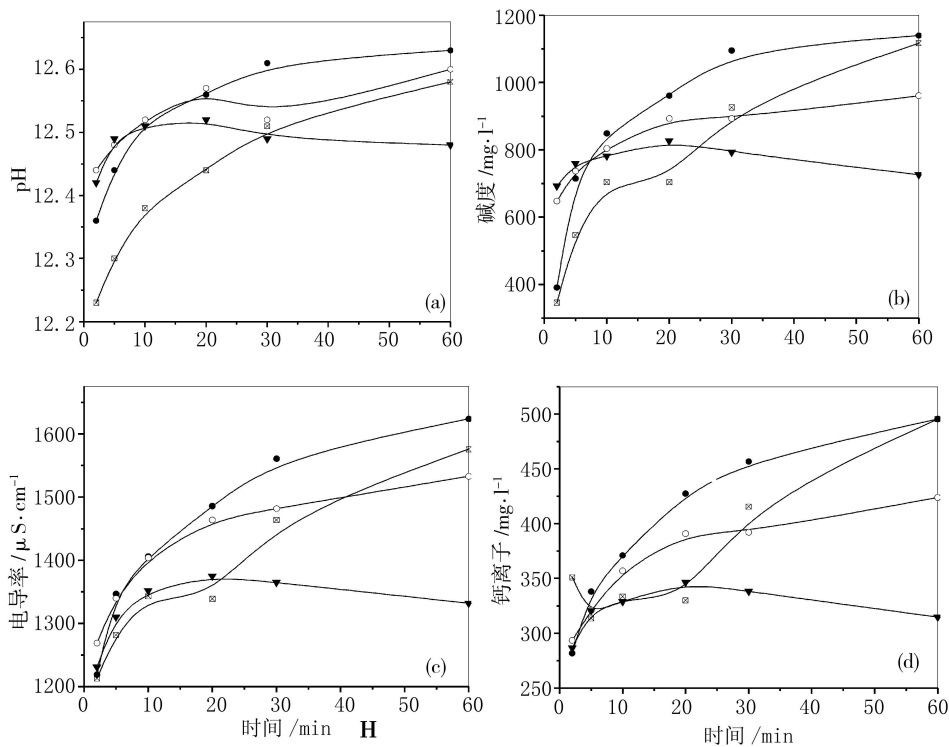


图1 不同转速下pH值、碱度、电导率和钙离子浓度随时间的变化
—□—500r·min⁻¹ —●—800r·min⁻¹ —○—1200r·min⁻¹ —▼—1500r·min⁻¹

Fig.1 Curves of pH, alkalinity, conductance and Ca^{2+} concentration depending on time at different rotat speed

3 加入 Na_2CO_3 对混合液的影响

加入 Na_2CO_3 可增加混合液中 CO_3^{2-} 的浓度，并与 Ca^{2+} 反应生成 CaCO_3 沉淀，降低混合液中 Ca^{2+} 的浓度，减缓灰管结垢的趋势。图 2为不同 Na_2CO_3 与 Ca^{2+} 的比值（摩尔比）下的实验结果。

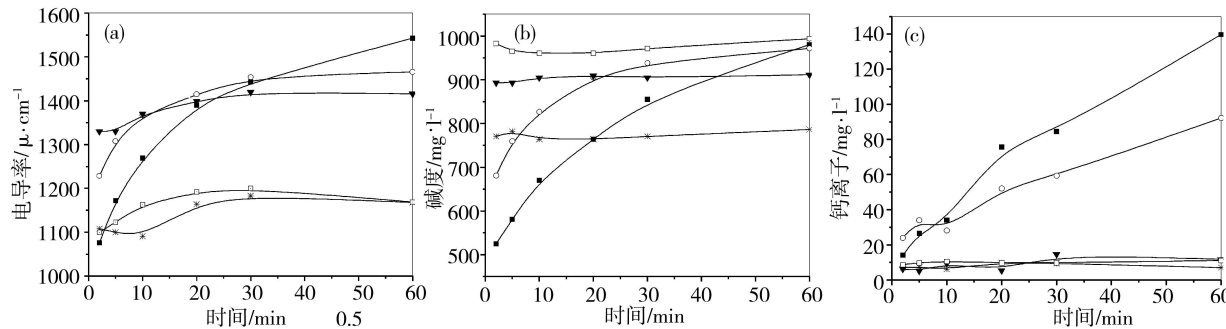


图2 碳酸钠与钙离子的摩尔对电导率、碱度和钙离子浓度的影响
—■—0.5 : 1 —○—0.65 : 1 —*—0.8 : 1 —▼—0.9 : 1 —□—1 : 1

Fig.2 Effect of Na_2CO_3 : Ca^{2+} (mol) on conductance alkalinity and Ca^{2+} concentration

图 2 (a b) 表明，向混合液中加入的 Na_2CO_3 量与 Ca^{2+} 量之比为 0.5 : 1和 0.65 : 1时，电导率和碱度均随搅拌时间的增加而增大，且在搅拌 30m in后趋于稳定，说明此时 CaCO_3 的沉淀反应已基本完成，但残余 Ca^{2+} 量仍然较大 (图 2c)。继续增加 Na_2CO_3 量至其与 Ca^{2+} 量之比为 0.8 : 1，混合液的电导率和碱度最低，说明 CaCO_3 的沉淀已全部完成，混合液中 Ca^{2+} 浓度已低于 $15\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，若再增大 Na_2CO_3 量，并不能增加 Ca^{2+} 的去除程度，甚至会使混合液中 Ca^{2+} 的浓度略有增大。这是由于加入 Na_2CO_3 将对混合液中 Ca^{2+} 浓度产生两种相反的影响：一方面 Na_2CO_3 的加入造成 Ca^{2+} 的浓度下降，另一方面， Ca^{2+} 浓度的下降又导致游离 CaO 加速溶解生成更多的 Ca^{2+} ，因此，必然存在一个 Na_2CO_3 的

最佳用量，在此用量下混合液中 Ca^{2+} 浓度最低，低于或高于此用量都将使混合液中 Ca^{2+} 浓度偏高。

向混凝沉淀上清液中通入 CO_2 ，6min后，pH 值降至 7.0 以下，酚酞碱度降至 0，此时水中所有的碱性物质均转化为 HCO_3^- ，并存在大量溶解 CO_2 。向通气 30min 的水中按水灰比 20:1 加入粉煤灰，在 $800\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下搅拌，混合液中电导率、碱度、 Ca^{2+} 的变化情况如图 3 所示。

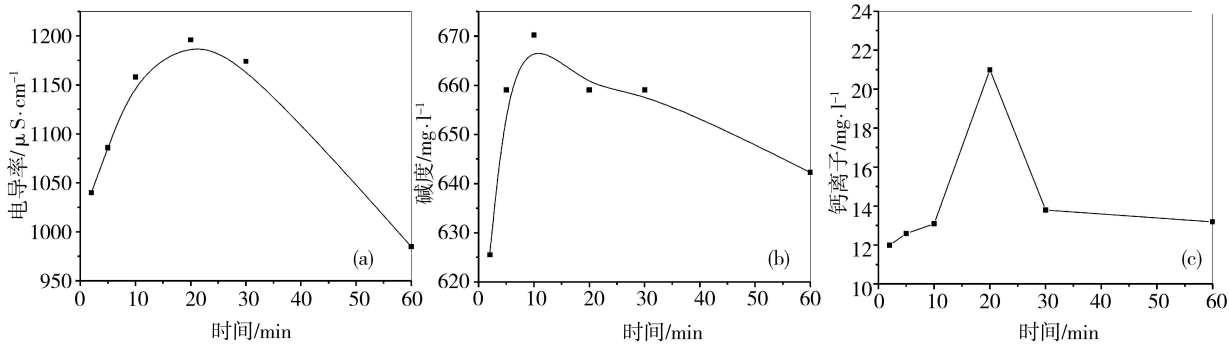


图 3 混合液的电导率、碱度和钙离子浓度随时间的变化

Fig 3 Curves of conductance alkalinity and Ca^{2+} concentration depending on time in mixed solution

在搅拌 20min 之前，混合液的电导率和碱度均随时间的增加而增大，这是由于游离的 CO_2 与煤灰中游离的 CaO 反应生成 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 造成的。但随游离 CaO 溶解量的增大， CO_2 迅速被消耗和逸出，混合液中 Ca^{2+} 浓度迅速增大， HCO_3^- 迅速转化为 CO_3^{2-} ， Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合生成 CaCO_3 沉淀，使混合液电导率和碱度迅速下降。混合液中的 Ca^{2+} 也显示了相似的趋势。搅拌 30min 后，混合液中 Ca^{2+} 浓度已降至 $14\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下。因此，通过通入 CO_2 可达到与投加碳酸钠相似的效果。

综上所述，在水灰比为 20:1、搅拌速度 $800\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下，向混合液中加入 Na_2CO_3 ，使 Na_2CO_3 与 Ca^{2+} 浓度之比为 0.8:1，搅拌 30min 可将 Ca^{2+} 浓度降至 $15\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下。另外，向混凝上清液中通入 CO_2 (6min) 可使碱性物质全部转化为 HCO_3^- ，并溶入大量 CO_2 ，达到与投加 Na_2CO_3 相似的效果。

参 考 文 献

[1] 周晓蔚，罗运柏，何蓉，火电厂灰水系统防垢技术的现状 [J] . 工业水处理，1999 19 (5) : 3—5
[2] 朱志平，刘明，陈云清，燃煤电厂灰水闭路循环系统防垢新技术 [J] . 热力发电，1994 (6) : 47—49
[3] 陈亚非，高翔，方梦祥等，火电厂水力输灰系统阻垢防垢研究 [J] . 热能动力工程，1999 14 (4) : 260—262

STUDY OF SCALE INHIBITION IN ASH WATER OF POWER STATION

TANG Yongming CHEN Min YANG Wen-zhong YN Xiao-shuang LIU Ying YU Bin WANG Jin-tang
(College of Science, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

ABSTRACT

The dissolution behavior of coal ash was studied and in order to reduce concentration of Ca^{2+} in composite solution of ash and water, Na_2CO_3 was added. CO_2 was aerated in the solution after ash was separated and new ash was dissolved again. It was found that 1) pH, conductance, alkalinity and Ca^{2+} achieved stability after composite solution was stirred for 20min. 2) Concentration of Ca^{2+} in composite solution was reduced by addition of Na_2CO_3 , and when the mol ratio of Na_2CO_3 and Ca^{2+} was 0.8:1, concentration of Ca^{2+} was reduced to less than $15\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$; 3) All alkalinity was converted to HCO_3^- , and CO_2 was dissolved in the solution in which ash was separated after CO_2 was aerated for 6min. The effect of CO_2 on ash dissolution resembled of Na_2CO_3 .

Keywords ash water; scale; Na_2CO_3 ; CO_2 .