

顶部给料全煤泥循环流化床炉内脱硫的试验研究

徐冰
(山东华聚能源股份有限公司 山东 邹城 273500)

摘要：本文以工业全煤泥循环流化床锅炉为试验对象，研究不同钙硫比条件下固硫率的变化情况，并分析了形成原因。试验结果表明，粒度为 0.1 ~ 0.8mm 的脱硫剂最佳钙硫比是 1.85，但不能彻底消除 SO₂ 排放浓度的波动性，优化方向是改变脱硫剂粒度分布。

关键词：煤泥；异重流化床锅炉；炉内脱硫；脱硫特性

0 引言

煤泥是煤炭洗选过程中产生的高浓度、高黏度、高持水性、低热值的副产品，颗粒直径通常小于 0.5mm，且商品价值低、利用难度大，并因具有遇水即流失、风干即飞扬的特点而极易造成环境污染^[1-5]。目前煤泥最为普遍的利用方法为锅炉燃烧，方式主要有湿煤泥干燥后燃烧、湿煤泥直接燃烧、煤泥制浆燃烧及煤泥制型煤^[6]。

由燃烧过程中 SO₂ 的生成机理可知，要抑制 SO₂ 的生成是困难的，重要的是怎样去除生成的 SO₂^[7]。燃烧中脱硫涉及燃料的燃烧特性，因此与燃烧后烟气脱硫技术相比，存在更多的局限性。浙江大学开展的煤浆中加石灰水与煤粉中加 CaO 粉的对比试验结果显示，在同样条件下，前者的脱硫效率比后者好得多；有学者通过对掺烧过细石灰石粉与煤泥压制型煤系统运行特性的研究，获得最佳掺烧比例，实现了深度脱硫；刘学冰等通过在试验台进行石灰石煅烧、磨损、脱硫等特性试验研究的基础上，开展了石灰石替代石英砂作异比重煤泥循环流化床锅炉床料的工业试验研究，取得了较好的脱硫效果；常可可等通过利用 × 射线衍射仪（×RD）和电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP）分析煤灰中矿物、化学组成研究了钙基固硫剂在煤泥燃烧过程中的演变行为和不同条件下的固硫效果，结果表明，钙基固硫剂在 820℃ 以下时不与煤泥中的矿物质发生反应，高于 820℃ 时其分解生成的 CaO 与煤泥中的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 反应生成钙黄长石，其对固硫率没有影响，当温度升高到 1000℃ 时，因部分硬石膏发生分解而导致固硫率降低。

因炉内石灰石脱硫技术相对于其他脱硫技术具有投资和运行费用低、无废水、脱硫产物可综合利用的特点^[7]，而成为常规循环流化床锅炉广泛采用的脱硫方式之一。由于煤泥循环流化锅炉 SO₂ 排放浓度的不稳定性，较少采用炉内石灰石脱硫方式，或仅作为辅助手段用于煤泥循环流化锅炉脱硫，国内外也较少有煤泥循环流

化床锅炉炉内石灰石脱硫的研究报导。本文以工业全煤泥循环流化床锅炉为试验对象，重点研究了全煤泥循环流化床锅炉炉内石灰石脱硫特性的影响规律，并分析了产生原因，为炉内石灰石脱硫技术在工业煤泥循环流化床锅炉上的进一步发展应用提供参考建议。

1 试验设备及方法

1.1 试验设备

试验主要在兖矿集团兴隆庄矿电厂 3# 锅炉上进行。该锅炉为采用单汽包、自然循环、模式水冷壁、偏置式绝热分离器、U 型阀自平衡式返料器等技术结构及异重流化床燃烧技术的 75t/h 全煤泥循环流化床锅炉。该锅炉既可单烧煤泥又可烧洗混煤，全烧煤泥时以石英砂作为床料，基本不产生底渣。煤泥采用柱塞泵输送，由炉顶单点送入炉膛，通过调整柱塞泵推缸频率实现煤泥量调整。运行中床温一般控制在 850 ~ 920℃；料层厚度通过风室压力及送风量的自然变化来判断，正常运行中，风室压力在 7000 ~ 8500Pa 范围内。锅炉系统中安装有炉内喷钙系统，当燃用含硫较高的燃料时，通过向炉内添加石灰石降低 SO₂ 的排放，给料点设在二次风口处。

试验燃料为电厂日常生产所用煤泥，工业分析数据见表 1，试验数据来自于锅炉 DCS 运行系统及烟气分析仪现场测量。脱硫剂粒度为 0.1 ~ 0.8mm，其中 CaO 含量为 50%，脱硫剂添加量由给料机控制，具体粒度分布见表 2。

表 1 试验锅炉煤泥工业分析表

$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$VM_d/\%$	$FC_d/\%$	$St_d/\%$	$Q_{net,ar}/(\text{ kJ/kg })$
1.63	25.07	28.45	46.48	0.58	14256

表 2 试验脱硫剂粒度分布

D10	D50	D90	D100	堆密度
10.00	257.00	634.00	1110.00	1463.00

1.2 试验方法

考虑煤灰的自身固硫作用^[9]，采用实际固硫率描述脱硫剂的固硫能力。实际固硫率定义为：

$$\eta = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\%$$

式中： S_1 —未加脱硫剂时按 6% 氧含量折算的 SO_2 排放浓度 (mg/m^3)；

S_2 —加入脱硫剂时按 6% 氧含量折算的 SO_2 排放浓度 (mg/m^3)。

钙硫比的计算公式为：

$$\text{Ca/S 摩尔比} = \frac{\text{脱硫剂消耗量} \times \text{CaO 的含量} (\%) / 56}{\text{燃料消耗量} \times \text{S 的含量} (\%) / 32}$$

式中，CaO 的含量取 50%，S 的含量取 0.58%。

2 试验结果与分析

2.1 钙硫比

不同钙硫比的固硫率如图 1 所示。

由图 1 可以看出，固硫率随钙硫比呈先升后降的趋势，当钙硫比为 1.85 时，固硫率最高，为 86.42%，此时 SO_2 排放浓度值为 $163\text{mg}/\text{m}^3$ 。其两侧最低固硫率：当钙硫比为 1.24 时，固硫率为 52.83%， SO_2 排放浓度值为 $566\text{mg}/\text{m}^3$ ；当钙硫比为 3.09 时，固硫率为 56.50%， SO_2 排放浓度值为 $522\text{mg}/\text{m}^3$ 。

锅炉全烧煤泥时基本不排渣运行，但随着脱硫剂的加入，排渣频率增加。排渣频率、排渣量随钙硫比的增大而增加，特别是钙硫比大于 1.85 后，排渣量上升明显，钙硫比为 2.47 时的排渣量是钙硫比为 1.85 时的 4 倍。

固硫率随钙硫比的变化趋势是由煤泥特殊的燃烧过程和不排渣的运行方式形成的，简单说，块状煤泥团在下落过程中一边下落、一边烘干、一边分裂、一边燃烧，热爆形成的小块煤泥约占 20%~40%^[8]，其在曳力的作用下上扬至炉膛上部燃烧，大块煤泥则在炉膛下部燃烧。当钙硫比逐渐增高时，炉膛上下两处的脱硫剂颗粒浓度逐步增大，固硫率上升，料层压差同时增长。当钙硫比大于一定值时，锅炉需排渣运行，此时其排渣量随钙硫比的增大而增多，大量未反应脱硫剂随底渣排出炉外，锅炉下部固硫作用减弱，固硫率呈逐步下降的趋势。

固硫率随钙硫比增高而上升过程中，是锅炉上下两处的固硫反应同时增强，因此固硫率的增长幅度较大；

而固硫率随钙硫比增高而下降过程中，只是锅炉下部固硫反应减弱，反而上部的固硫反应有所增强，因此固硫率的下降幅度小。在图 1 中表现为固硫率随钙硫比上升的变化率大于随钙硫比下降的变化率。

2.2 温度

在钙硫比为 1.85 时各不同位置温度与固硫率的关系如图 2 所示。从图 2 可以看出，料层温度、沸腾层上部温度的固硫率变化趋势相似，而炉膛出口温度、炉膛中部温度的变化趋势相同，固硫率均随温度的升高而下降。固硫率随温度变化的原因有：一是温度不同，硫的析出量不同；二是温度变化反映了煤泥量的不同。由于各点温度变化范围较小，温度的变化更大程度上反映的是煤泥量的变化，即煤泥量增加，硫的总析出量相应增大，从而使得固硫率下降。煤泥量的变化主要来自于煤泥热爆粒径的不确定性。

综上所述，煤泥热爆粒径的不可控性是燃烧过程 SO_2 排放浓度及炉内脱硫过程中固硫率波动、下降的主要原因，特别是小块煤泥团粒径小，在炉内停留时间短，炉内脱硫时脱硫剂与其接触机率低，从而引起固硫率下降。脱硫剂对料层压差的影响是固硫率变化的另一原因，料层压差的变化引发运行方式变化，增加了未反应脱硫剂排出炉外的可能性，降低了固硫率。同时压差变化对炉内气氛的影响也会抑制或促进固硫反应的进行。

由试验结果可知，试验脱硫剂粒径最高的固硫率为 86.42%。若要提高固硫率，改善固硫效果，需对脱硫剂粒径分布进行调整，要求既要满足稀相区小块煤泥团的固硫需求，也要满足密相区固硫要求。同时，要

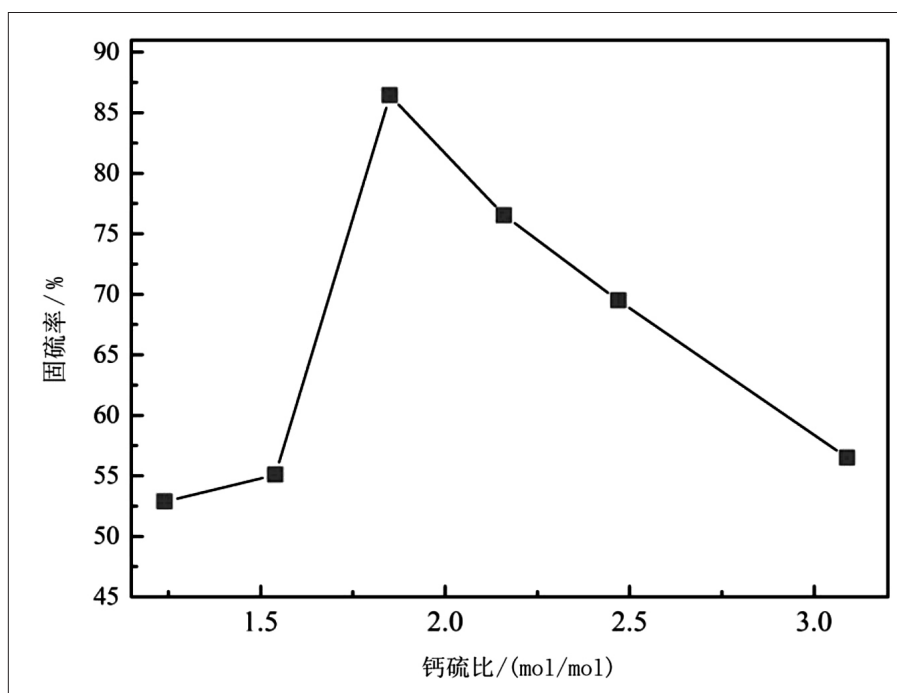


图 1 钙硫比与固硫率的关系

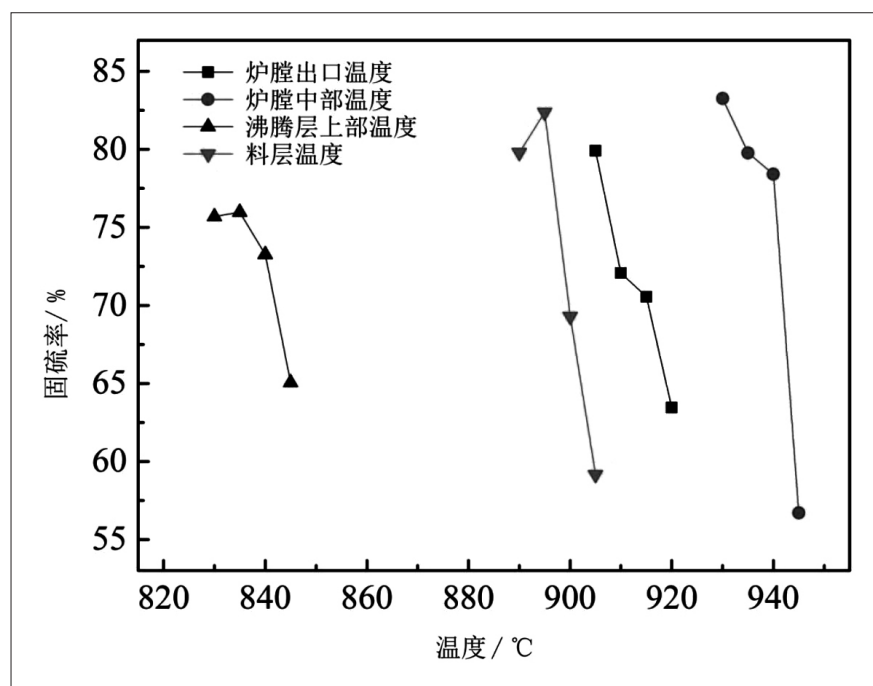


图2 钙硫比为 1.85 时温度与固硫率的关系

减小运行方式变化对固硫率的影响。

3 结语

(1) 全煤泥循环流化床锅炉与常规循环流化床锅炉不同, 其 SO_2 排放浓度呈现更大的波动性, 主要原因为煤泥团热爆粒径的不可控性。

(2) 对于本次工业试验, 最佳固硫率的钙硫比为 1.85。对于全煤泥循环流化床锅炉, 固硫率的高低取决于脱硫剂的粒度分布, 既要满足稀相区固硫反应要求, 又要减少密相区排渣的影响。

(3) 全煤泥循环流化床锅炉的脱硫特性与常规锅炉相似, 减少炉膛上部小颗粒煤泥团燃烧对硫析出的促进作用

或降低炉膛上部 SO_2 排放浓度波动是提高固硫率、减少 SO_2 排放浓度的关键所在。

参考文献:

- [1] 殷庆勇, 樊元华, 张修平, 等. 纯烧煤泥循环流化床锅炉浅析 [J]. 能源技术, 2005, 26(01): 33+35.
- [2] 黄国权, 蒋旭光, 李晓东, 等. 洗煤泥沸腾燃烧技术的应用与发展 [J]. 燃烧科学与技术, 2000, 6(01): 51-53.
- [3] 施勇刚, 马云龙. 国内煤泥燃烧循环流化床锅炉研究现状 [J]. 应用能源技术, 2012(06): 25-29.
- [4] 宋协生, 赵大庆. 煤泥燃烧特性的试验研究 [J]. 资源节约和综合利用, 1996(03): 46-50.
- [5] 顾则仁. 煤泥综合利用的有效技术途径—煤泥水煤浆燃烧发电 [J]. 煤炭科学技术, 1996(12): 2-5+53.
- [6] 程川, 何屏. 煤泥利用现状及分析 [J]. 新技术新工艺, 2012(09): 66-69.
- [7] 白昌先, 朱俊平. 炉内喷钙在循环流化床锅炉的作用 [J]. 科技创新与生产力, 2015(04): 105-107.
- [8] 裴婷. 煤泥燃烧过程的试验研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- [9] 闫晓, 车得福, 徐通模. 煤灰及各种矿物质对 SO_2 排放特性的影响 [J]. 燃料化学学报, 2005, 33(03): 273-277.

作者简介: 徐冰 (1977.03-), 男, 汉族, 山东淄博人, 本科, 工程师, 研究方向: 发供电安全技术管理。