

生物质-煤混合燃烧SO₂排放特性研究

宋长忠，刘岩

(内蒙古工业大学能源与动力工程学院，内蒙古呼和浩特010000)

摘要：在自行研制的小型循环流化床试验台上，对生物质与褐煤混合燃烧烟气中SO₂排放状况进行了研究。试验选取四种不同生物质（葵花秸秆、玉米秸秆、沙柳枝条、柳树枝条）与褐煤混合，在不同生物质种类、掺混比例和床温试验条件下测定了燃烧烟气中SO₂析出状况；结果表明：掺混不同生物质，SO₂析出程度存在明显差异；生物质掺混比例越高，SO₂排放量越小；本文所选床温范围内，随着温度的升高，SO₂排放量逐渐增大。

我国作为农业大国，生物质资源丰富。农业生物质资源主要包括农作物秸秆和农业加工业废弃物，常见秸秆包括小麦秸秆、水稻秸秆、玉米秸秆、葵花秸秆等。

由于生物质具有挥发分含量高，着火温度低，含硫量低，成灰量低等特性，是一种清洁的可再生能源。随着能源利用技术的发展，生物质能的利用途径和方式得到了扩展，例如生物质直燃发电，生物质混煤燃烧发电。生物质能源的利用，一方面缓解了一次能源的消耗，另一方面减少了大气污染物的排放，是一种利用价值很高的可再生清洁能源[1-2]。生物质资源化利用中，生物质混煤燃烧具有很高的研究价值。由于生物质本身硫含量低，并且生物质本身含有一定量的碱金属元素，可以固化一部分燃烧烟气中的SO₂，一定程度上减少了污染气体的排放[3-4]。本文主要研究生物质混煤燃烧的SO₂排放特性，为生物质混煤燃烧污染物控制提供一定的理论依据。

1 试验

1.1 试验原料

试验所选煤种为褐煤，生物质选择葵花秸秆、玉米秸秆、沙柳枝条、柳树枝条4种内蒙古常见种类，所有原材料均经过研磨筛分，褐煤试验用粒径选择60~80目，4种生物质试验用粒径选择40~60目，试验用混合燃料质量为40g。

1.2 试验仪器

1.2.1 循环流化床燃烧设备

燃烧试验设备为自行研制的36kW/h小型循环流化床系统，采用电加热，如图1所示，试验设备包括送风系统、给料系统、引风系统和电加热系统。炉膛整体高度为250cm，炉膛底部布风板直径为5cm；给料系统包括料斗及电动螺旋给料机，螺旋给料的同时辅以送料风，保证给料的连续充足。通过螺旋给料机转速调节钮，可以改变给料速度；给料机的转速可调值为0~100r/min。通过转子流量计可调节送料风、一次风、二次风的大小。一、二次风以及送料风的布

位置

分别为炉

底布风板、炉膛中

部及燃料入口处。燃烧过程中烟气冷

却除尘后，利用烟气分析仪分析气体中SO₂含量，烟气最后通过引风机排入大气。

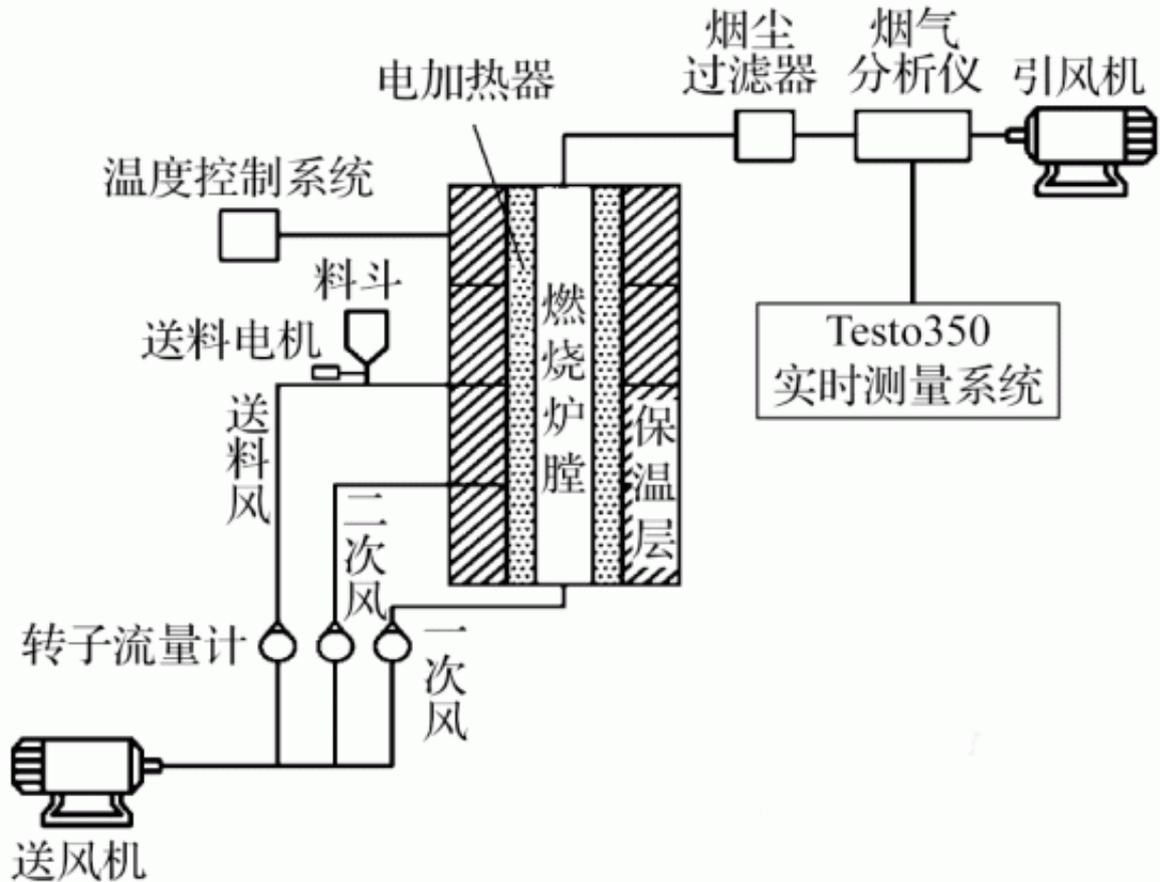


图 1 循环流化床燃烧试验系统示意

1.2.2 烟气分析仪

本试验使用的是德国德图公司生产的Testo350型烟气分析仪，主要是用来测量烟气中的SO₂含量。烟气取样位置布设在烟道尾部中央，采样时间间隔为1s，通过烟气分析仪配套的实时测量软件，测得烟气内S O₂的排放质量浓度。

1.3 试验数据处理

试验数据处理方案：每20s为一个计算区间，利用公式（1）计算出所选区间内烟气中S含量。所有试验数据处理均采用引风机流量作为烟气流量，会导致计算结果偏大，但不影响试验数据规律的分析。

$$V_s = \frac{\int_{t_0}^t C_t V_t dt}{1000} \quad (1)$$

式中: t_0 ——所选区间初始时间, s;

t ——所选区间末端时间, s;

C_t ——所选区间内 SO₂ 平均质量浓度, mg/m³;

V_t ——引风机流量, m³/s;

V_s ——所选区间烟气内 SO₂ 含量, g。

试验原料元素分析和工业分析结果示于表 1、表 2。

表 1 试验原料工业分析

试样	工业分析/%			
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}
葵花	1.45	4.43	72.89	21.23
玉米	7.61	9.86	79.95	2.58
柳树	2.93	3.79	73.42	19.86
沙柳	6.95	3.08	81.24	8.96
褐煤	7.88	27.36	37.04	27.02

表 2 试验原料元素分析及空气干燥基弹桶发热量

试样	元素分析(空气干燥基)/%					空气干燥基弹桶 发热量/(MJ·kg ⁻¹)
	C	H	O	N	S	
葵花	45.80	6.21	42.60	0.55	0.15	16.35
玉米	45.95	6.44	36.93	0.33	0.16	18.45
柳树	48.30	6.25	41.80	0.45	0.10	17.15
沙柳	45.57	6.69	35.45	0.30	0.19	19.34
褐煤	51.70	2.71	16.50	0.80	0.93	27.15

2 试验结果与分析

2.1 不同生物质种类条件下生物质混煤燃烧的SO₂析出曲线

试验条件为900℃恒温，试验原料选用褐煤、褐煤—葵花秸秆、褐煤—玉米秸秆、褐煤—柳树枝条、褐煤—沙柳枝条，褐煤—生物质混合燃料混合比例均为8:2。褐煤及混合燃料总质量均为40g，试验结果如图2、图3所示。

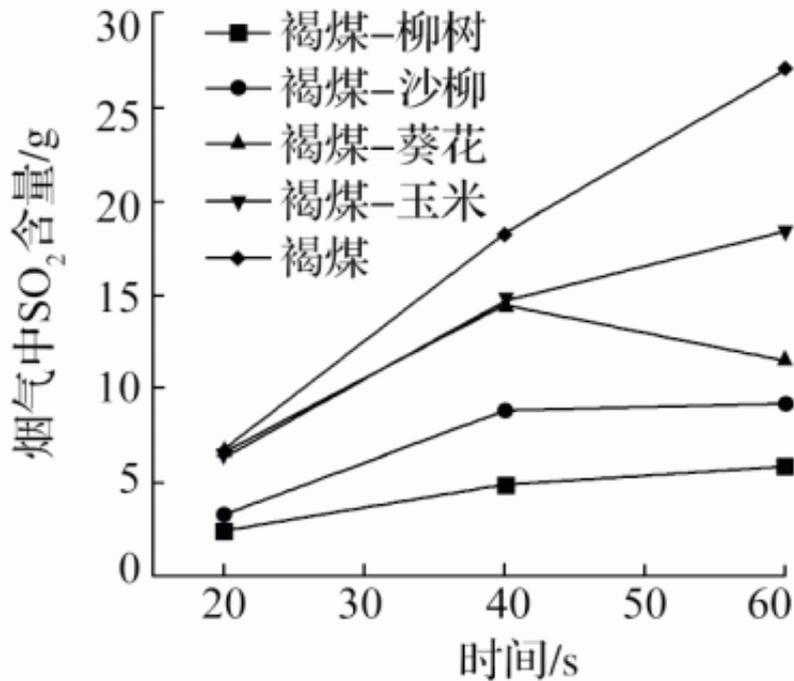


图 2 褐煤与不同生物质掺混燃烧烟气内 SO₂ 含量

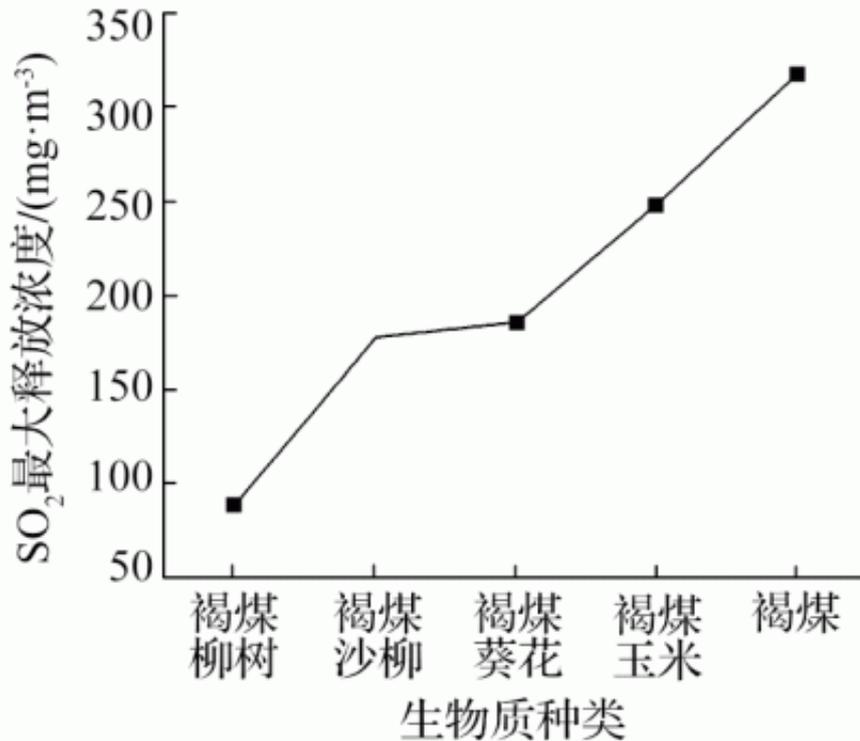


图3 褐煤与不同生物质掺混下燃烧最大 SO₂ 浓度

图2褐煤与不同生物质掺混燃烧烟气内SO₂含量如图2, 0~20s时间区段内, 褐煤—葵花、褐煤—玉米混合燃料SO₂排放量差异不明显; 褐煤—柳树、褐煤—沙柳SO₂排放量均低于其他3种燃料。20~40s时间区段内, 褐煤等5种混合燃料的SO₂排放量均随着时间的延长, 排放量不断上升。40~60s时间区段内褐煤—沙柳及褐煤—葵花混合燃料均呈现出下降趋势。葵花、玉米作为秸秆类生物质, 在此区段内SO₂排放量差异明显。4种生物质混煤燃料中褐煤—玉米秸秆的SO₂排放量最高, 褐煤—柳树的SO₂排放量最低。如图3, 4种生物质混煤燃料的最大SO₂排放量存在较明显差异。在0~60s时间区段内, 褐煤—玉米混合燃料最大SO₂排放质量浓度最高, 褐煤—柳树混合燃料的最大SO₂排放质量浓度最低。

0~40s时间区段内, 褐煤—玉米及褐煤—葵花混合燃料SO₂排放量差异不明显。

由元素分析数据可知, 葵花秸秆、玉米秸秆内S元素含量差异较小, 导致此时间区段内SO₂

排放量差异不明显。40~60s时间区段内, 葵花、玉米秸秆混煤燃料SO₂

排放量呈现明显差异, 分析原因为, 随燃烧的进行, 混合燃料内灰分含量不断增加, 生物质灰分可能会阻塞煤粉燃烧形成的焦炭孔[5]。由工业分析数据可知, 玉米秸秆灰分含量明显高于葵花秸秆, 从而导致燃烧后期葵花秸秆烟气中SO₂含量高于玉米秸秆。

褐煤内掺混一定量的生物质, 烟气中SO₂

含量及最大排放质量浓度均

有一定程度的降低，说明煤中掺混生物质可以减少烟气中SO₂的排放量。沙柳—褐煤及柳树—褐煤混合燃料SO₂排放量低于玉米—褐煤及葵花—褐煤混合燃料SO₂

排放

量；分析

原因，沙柳、柳树

为木质类生物质，研磨后因流动性较

差，进料不均匀，导致所选试验区段内SO₂

析出不明显。对比图中4种混合燃料烟气中SO₂

含量可知，生物质种类对混合燃料烟气内SO₂

含量的影响较为明显。主要原因在于生物质内碱金属及碱土金属含量的不同，并且生物质内木质素以及半纤维素的含量都会影响生物质混煤燃烧中SO₂的排放，其中木质素含量的大小对SO₂的排放影响最为明显，其次是半纤维素[6]。

2.2不同掺混比例条件下生物质混煤燃烧的SO₂析出曲线

试验条件为900℃恒温，试验原料选用褐煤—柳树枝条，混合比例分别为9:1、8:2、7:3，试验用原料质量均为40g。试验结果如图4、图5所示。

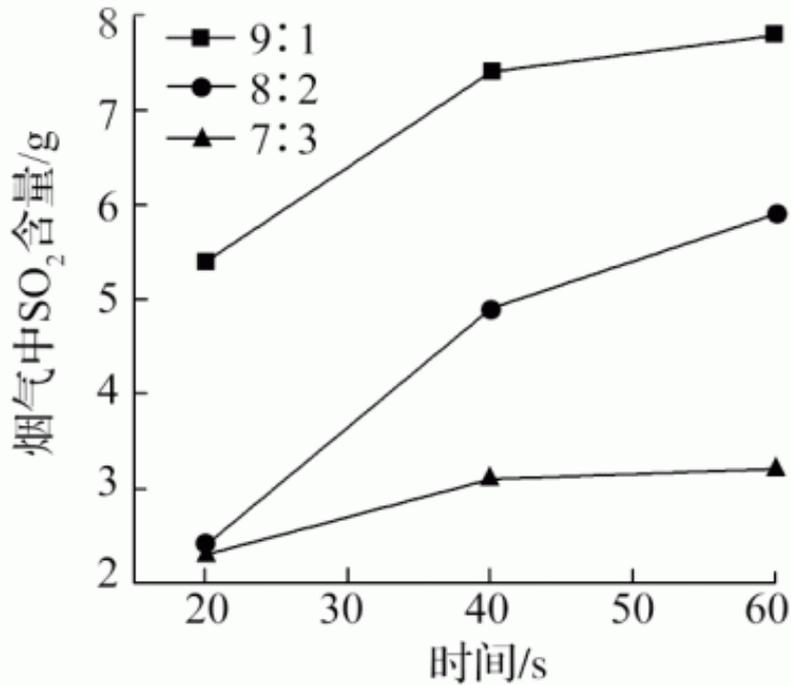


图 4 褐煤—柳树不同掺混比例下烟气内 SO₂ 含量(计算值)

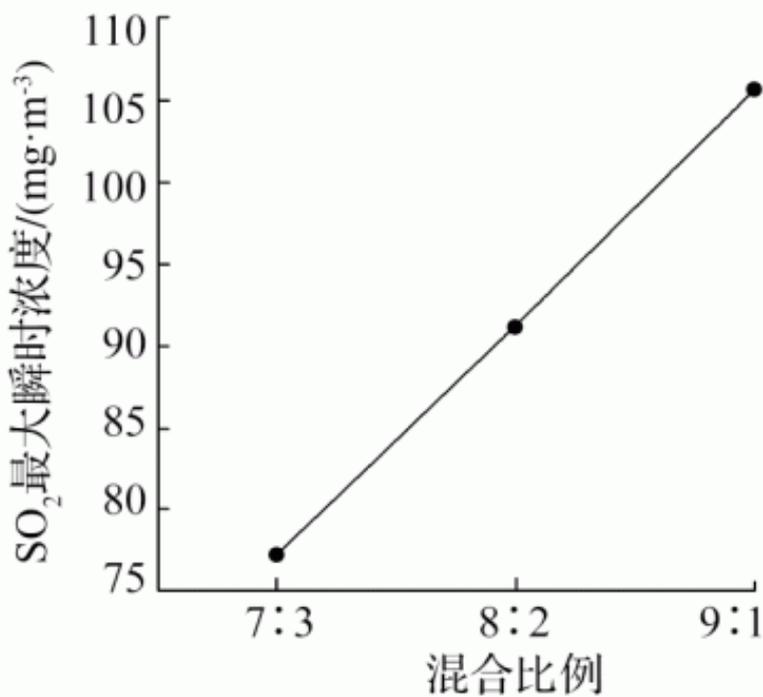


图 5 褐煤—柳树不同掺混比例下最大 SO₂ 释放质量浓度

如图4，0~20s时间区段内，褐煤—柳树比
例为8:2、7:3的混合燃料，SO₂
的排放量差异不明显；褐煤—柳树比例为9:1的混合燃料SO₂
排放量明显高于其他两种混合燃料。
0~40s时间区段内，3种比例下混合燃料SO₂
排放量均随着时间的延长，
排放量不断上升。褐煤—柳树比例为8:2、7:3的混合燃料
，SO₂
排放量差异较0~20s时间区段明
显。0~60s时间区段内，褐煤—柳树9:1比例混合燃料SO₂排放量最高，7:3混合比例SO₂
排放量最低。如图5所示，随着柳树混合比例的减小，0~60s时间区段内最大SO₂排放质量浓度近乎呈线性增长。

0~20s时间区段内，褐煤—柳树比例为8:2、7:3的混
合燃料，SO₂
排放量差异不明显的原因在于混合燃料质量基数较小，两种比例下柳树含量相差不大，燃烧初期主要表现为生物质燃
烧特性，导致燃烧初期SO₂排放量差异不明显。

表3为烟气内S含量及混
合燃料内所含S质量的计算值，烟气内S质量表征20
~40s时段内的SO₂
排放量。如图6，随着生物质掺混比的升高，烟气内与混合燃料内S含量的比值呈下降的趋势，其比值变化趋势随着混
合燃煤褐煤—柳树掺混比的升高出现了一定的变化规律。分析其原因主要是，生物质内含有碱金属及碱土金属，这些
物质燃烧形成的金属氧化物能够吸收SO₂，从而减少SO₂
的排放量，即生物质本身的固硫特性[7]。其次，柳树作为生物质本身挥发分含量较高，挥发分的燃烧主要集中在燃
烧初期，挥发分的大量燃烧导致初期氧含量
降低，从而进一步减少了SO₂
的排放量[8]。另外，生物质内含有一部分木质素和腐殖酸，木质素和腐殖酸具有较大的比表面积，可吸附一部分烟
气中的SO₂气体[9]。

表 3 不同褐煤—柳树掺混比例下烟气内
及混合燃料内 S 含量计算值

褐煤—柳树 混合比例	烟气内 S 含量/g	混合燃料内 S 含量/10 ² g	烟气内 S 与混合 燃料内 S 的比值/%
全褐煤	17.61	36.40	48.38
9 : 1	7.71	33.88	22.76
8 : 2	4.96	30.56	16.23
7 : 3	3.17	27.04	11.72

2.3不同床温条件下生物质混煤燃烧的SO₂析出曲线

试验原料选择混合比例为8:2的褐煤—柳树混合燃料，试验床温分别为900、950、1000，试验用混合燃料质量
均为40g。试验结果如图7所示。

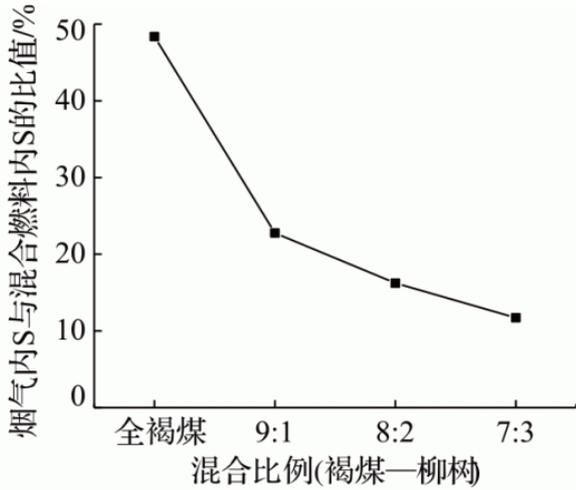


图6 烟气内与混合燃料内 S 含量的比值

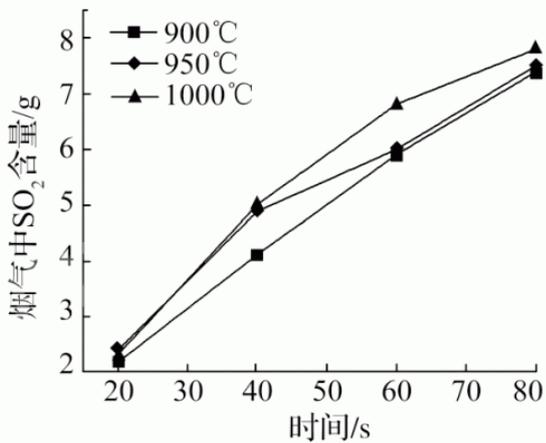


图7 褐煤—柳树混合燃料在不同床温下
燃烧排放烟气内 SO₂ 含量

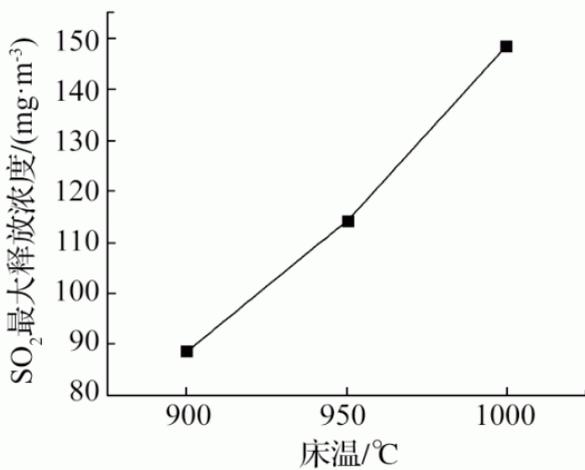


图8 褐煤—柳树混合燃料在不同床温下
燃烧最大 SO₂ 释放质量浓度

如图7, 0~20s时间区段内3种温度下混合燃料SO₂排放量差异不明显。20~40s时间区段内, 900 床温下SO₂排放量最低; 950、1000 床温下SO₂排放量差异较小。40~60s时间区段内, 900、950 床温下SO₂排放量差异减小, 1000 床温下SO₂排放量较其他两种混合燃料差异明显。60~80s区段内3种床温下混合燃料SO₂排放量逐渐接近。在0~80s时间区段内, 3种床温下SO₂排放量均呈现上升趋势。

如图8, 随着床温的升高混合燃料的最大SO₂排放质量浓度呈现上升趋势。0~20s时间区段内, 燃烧初期由于所用混合燃料质量及混合比例均一致, 导致3种床温下SO₂排放量差异不明显。20~40s时间区段内, 由于所选试验温度900、950 相差不大, 导致此时间区段内两种床温下的SO₂排放量差异不明显。40~60s时间区段内, 1000 床温下SO₂排放量明显升高, 分析原因是由于生物质燃烧形成的灰分一定程度上会阻塞焦炭孔, 抑制SO₂的析出, 但是随着温度的升高, 焦炭孔内部的压力不断增大, 会吹散一部分附着在焦炭孔上的灰分, 从而削弱了对SO₂的抑制作用, 导致排放烟气中SO₂含量上升。60~80s时间区段内进入燃烧后期, 混合燃料燃烧趋于完全, 3种床温下混合燃料SO₂排放量差异逐渐减小。

进一步分析, 随着床温升高SO₂排放量升高还有以下几点原因: 根据化学方程式的化学平衡原理, 温度升高导致燃料中可燃硫与O₂迅速反应[10], 从而导致排放气中SO₂含量增高; 另一方面, 随着温度的升高某些在较低温度处于稳定状态的含硫化合物开始分解, 也会使得烟气内SO₂含量上升[11-12]。

3结论

(1) 生物质的掺混一定程度上可以减少SO₂的析出, 生物质种类对混合燃料中SO₂的析出影响较为明显。对于秸秆类生物质葵花和玉米, 混合燃料在燃烧前期两种生物质SO₂析出状况基本相同, 燃烧后期由于灰分的原因, 葵花秸秆SO₂析出量要高于玉米秸秆。

(2) 生物质掺混比例越大, 烟气中SO₂含量越低。

(3) 随着生物质掺混比的升高, 烟气内与混合燃料内S含量的比值呈现一个下降的趋势, 其比值随着掺混比的升高出现了一定的规律。

(4) 本试验所设温度区间内, 温度越高, 烟气中SO₂含量越高。

参考文献

- [1]郭海霞, 左月明, 张虎. 生物质能利用技术的研究进展[J]. 农机化研究, 2011(6): 184-191.
- [2]张卫东, 张兰, 张彩虹, 等. 我国林木生物质能源资源分类及总量估算[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2015(2): 54-57.
- [3]张海青. 生物质混煤燃烧及污染物排放特性研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [4]王宪红. 动力用煤混烧生物质燃烧特性及污染物排放特性研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.

- [5] 阎维平, 陈吟颖. 生物质混合物与煤共热解的协同特性[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(2): 80-86.
- [6] 黄莹. 生物组分对生物质与煤混燃特性及污染排放特性的影响[D]. 沈阳: 沈阳航空工业学院, 2010.
- [7] 张守玉, 黄凤豹, 彭定茂, 等. 低品质生物质的热解及低温催化气化研究[J]. 燃料化学学报, 2009, 37(6): 673-678.
- [8] 宁新宇, 李诗媛, 吕清刚, 等. 秸秆类生物质与石煤在流化床中的混烧与黏结机理[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(29): 105-110.
- [9] 郝宇, 齐庆杰, 周新华, 等. 燃煤过程中硫析出特性的影响因素研究() [J]. 矿业快报, 2005(10): 16-19.
- [10] M. V. Gil, D. Casal, C. Pevida, et al. Thermal behaviour and kinetics of coal/ biomass blends during co-combustion [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5601-5608.
- [11] 刘钊. 生物质与煤混烧及其污染物排放特性[D]. 石家庄: 华北电力大学, 2014.
- [12] 刘莹. 生物质气与煤混燃锅炉运行及污染物排放特性分析[D]. 石家庄: 华北水利水电大学, 2016.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/165329.html>