50MW循环流化床生物质锅炉自固硫特性研究

毕武林，费芳芳

（广东粤电湛江生物质发电有限公司，广东湛江524300）

摘要：为了研究生物质流态化燃烧过程中的自固硫特性，在工业规模循环流化床燃烧装置上通过外加硫改变生物质燃料含硫量，研究不同硫含量情况下生物质燃料燃
烧过程烟气SO_2
和灰渣中硫含量的变化规律。研究结果表明，生物质燃料燃烧过程中碱性灰渣的固硫能力存在一定程度过剩，绝大部分的生物质带入的硫可以被固留在灰渣中。通过硫平衡计算，50MW生物质直燃发电锅炉自固硫率可达80%以上，可为生物质直燃项目硫氧化物排放准确评估提供参考。

0引言

生物
质能是一种分
布广泛、储量丰富的可再生
能源，且具有转化利用形式灵活、利用过程污染排放低
、CO_2
近零排放的特性，在世界各国能源结构调整中的作用日益突出。目前，生物质直燃发电是生物质能大规模利用技术中产业化程度最高、最为成熟的技术[2]，相对于风能、太阳能等可再生能源发电技术，生物质直燃发电具有利用小时数高、电能品质优等特点，在我国电力结构改革中起到越来越重要的作用。2003年国家发改委先后批复江苏如东、山东单县和河北晋州3个国家级生物质直燃发电示范项目，2006年12月采用丹麦水冷振动炉排引进技术的山东单县生物质发电项目投入商业运行，成为我国第一个投产的国家级生物质直燃发电项目，2011年11月广东湛江2×50MW生物质直燃发电项目投产，是目前世界上已投产的单机容量和总装机容量最大的生物质直燃发电厂，截止2017年10月，我国已投产生物质直燃发电厂248个，装机容量达1105.4万kW。

生物质燃料含硫量普遍较低，远低于燃料煤。典型的木本生物质燃料含硫量（干燥无灰基）一般都在0.1%以下，但是也有一些草本生物质燃料含硫量（干燥无灰基）较高，如油菜秸秆中的含硫量高达0.3%[3]。为了研究生物质燃料燃烧过程硫的释放特性，便于在燃烧过程中加以控制，很多研究者做了大量的研究，研究结果表明，生物质燃料的灰分中由于含有大量的Ca、Na和K等碱性物质，在燃烧过程中会对硫的析出产生一定的影响，使生物质燃料表现出一定的自固硫特性[4-6]。基于生物质燃料自固硫特性研究大部分是在试验室，例如KNUDSEN等[5]在固定床试验台上进行的工作。流态化燃烧特性以及涉及气固相反应自固硫过程和燃烧设备的尺寸维度密切相关。

为了研究工业规模锅炉生物质燃烧过程自固硫特性，为工业实践评估该效应提供切实依据，本文中以50MW生物质直燃发电锅炉为平台，进行工业规模锅炉生物质燃料燃烧过程自固硫特性的研究。

1试验

1.1生物质燃料特性

试验燃料主要采用湛江地区的桉树皮、桉树根、桉树枝叶和甘蔗渣等农林废弃物，为了避免不同品种燃料含硫量不同对试验结果造成影响，试验前基于长期运行数据所获取的稳定的掺混比例对各种燃料进行充分混合，整个试验周期内确保试验用燃料掺混情况不发生变化。取混合燃料样进行燃料特性分析，如表1所示，混合燃料含硫量为0.05%，低位热值为8.48MJ/kg。

混合燃料灰成分分析结果如表2所示。

表 1　试验用混合料工业元素分析

项目	工业分析					元素分析				
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	Q_{net}/MJ·kg^{-1}	C_{ar}	H_{ar}	N_{ar}	O_{ar}	S_{ar}
混合料	2.60	16.23	61.88	19.29	8.48	24.19	4.70	0.73	25.09	0.05

表 2　试验原料灰成分

项目	灰成分/%						
	Al_2O_3	CaO	Na_2O	MgO	K_2O	P_2O_5	SiO_2
混合料	2.16	33.89	0.88	4.69	9.31	4.07	35.22

由表2可知灰中Ca和K等碱金属、碱土金属的含量都较高，从而可能会对生物质燃料燃烧过程硫的释放产生较为显著的影响。为了考察生物质燃料中含硫量变化的工况，研究中还采用在燃料中均匀混入一定量单质硫的方法进行试验模拟，并通过检测烟气中硫氧化物排放浓度的方法评估灰相在循环流化床燃烧条件下的炉内自固硫效果。

1.2试验用循环流化床锅炉

本研究采用的燃烧设备为220t/h纯燃生物质燃料循环流化床锅炉，锅炉主要参数如表3所示，为高温、高压参数（540℃、9.8MPa）。采用分级配风技术，一次风由炉底布风板进入，主要作用是提供燃料着火初期所需氧量和保证炉内物料流化；二次风由给料口上方给入，主要作用是提供燃料燃烧和燃尽所需的氧量。在炉膛出口布置两台绝热式旋风分离器，主要作用是将未燃尽颗粒分离下来返回炉膛继续燃烧，提高燃烧效率，同时返料灰还具有调节床温的作用。

表 3　锅炉主要技术参数

项目	参数
蒸发量(B-MCR)/t·h^{-1}	220
额定蒸汽压力/MPa	9.8
额定蒸汽温度/℃	540
给水温度(B-MCR)/℃	224
空气预热器入口风温/℃	30

1.3试验方法

本试验基准工况采用桉树皮、桉树根、桉树枝叶、甘蔗渣和橡胶木等以固定比例混合的混合燃料，混合燃料的含硫量为0.05%。对比工况通过外部添加单质硫逐渐改变入炉生物质燃料的含硫量，硫添加设备如图1所示。该设备安装在炉前给料系统，由硫储存仓、变频控制的给料阀和压缩空气辅助系统组成，储存仓内的硫通过变频控制的给料阀加入至生物质燃料二级给料机头部，生物质燃料在螺旋输送过程中与硫充分混合后经下料管进入炉内燃烧。

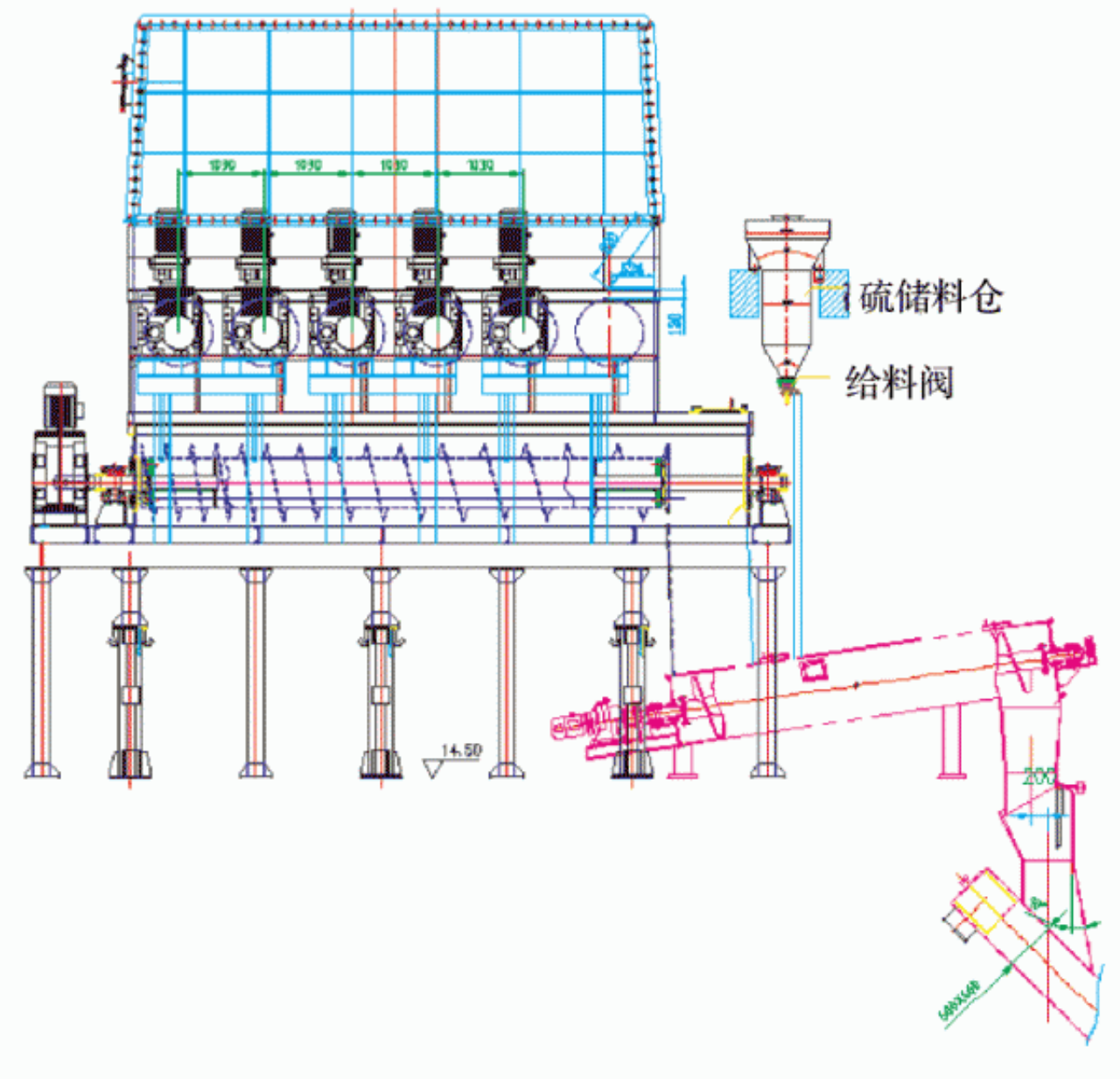

图 1　硫添加设备示意

试验中从硫添加量为0的混合生物质燃料开始，利用变频器控制硫的添加量，每个试验工况提高入炉燃料含硫量0.03%，试验共进行9个工况，研究烟气、灰渣中硫的变化规律，并通过硫平衡计算固硫率。

2结果与讨论

2.1 SO_2排放规律

试验期间采用西门子U-23气态污染物连续监测仪（CEMS）对烟气中SO_2浓度进行监测，随着燃料含硫量的增加，烟气中SO_2的排放规律如图2所示。

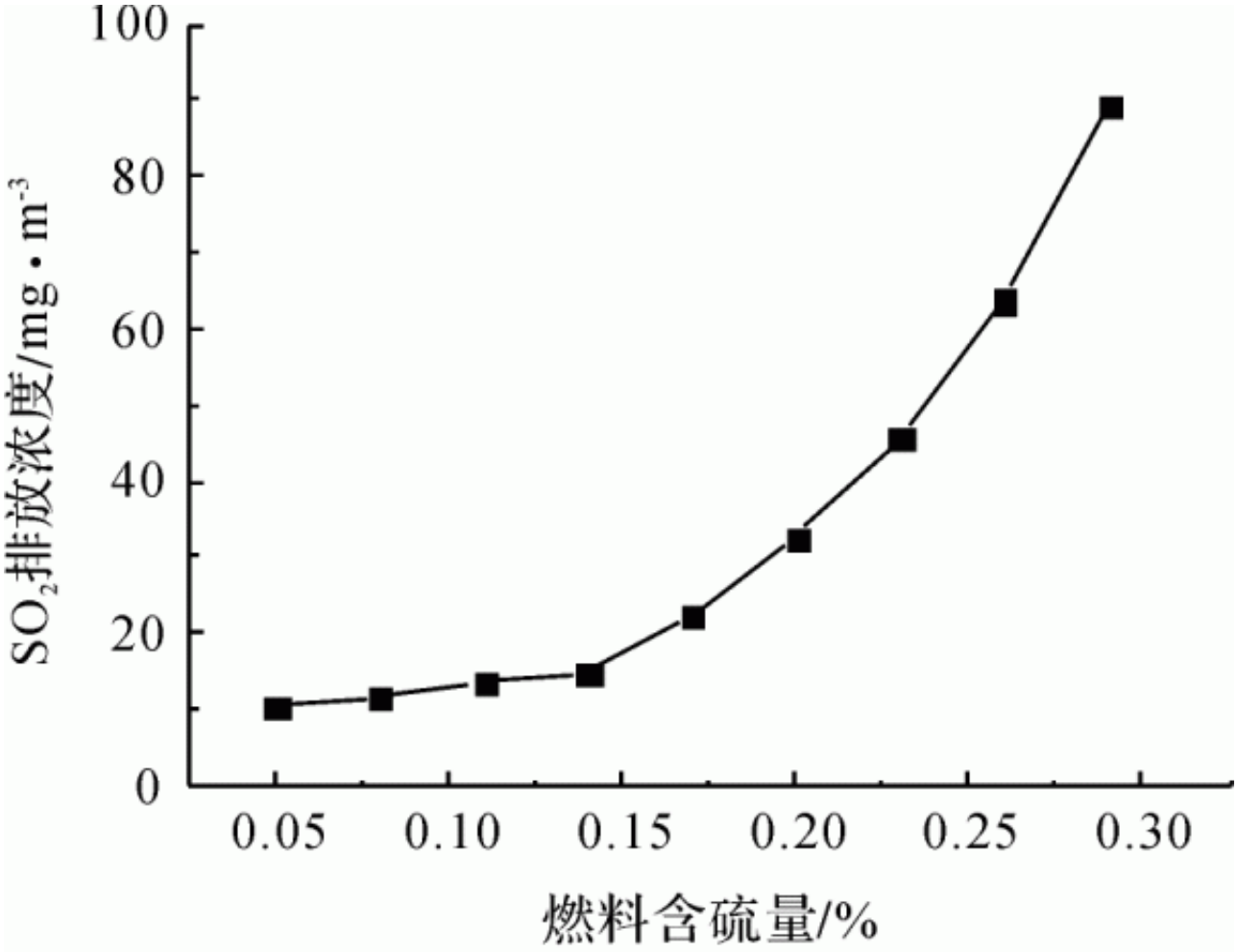

图 2　随燃料含硫量增加 SO_2 排放规律

由图2可知，当燃料中含硫量在0.17%以下时，随着燃料中含硫量的增加，烟气中SO_2浓度并无明显变化，始终维持在13mg/m^3左右，显然，生物质燃料中K、Na和Ca等碱性物质与SO_2发生硫酸盐化反应将SO_2固留在灰渣等固相燃烧产物中是主要原因，而循环流化床锅炉强烈的气固相混合和较长的接触时间也会增加灰渣中碱性物质与SO_2的反应，增加其固硫率[3-6]。当燃料中的含硫量超过0.17%后，随着燃料含硫量的增加，烟气中SO_2的浓度也明显增加，当燃料含硫量增加至0.29%时，烟气中SO_2浓度达到89.1mg/m^3。

2.2灰渣中含硫量的变化规律

为了研究滞留在固相中硫的具体情况，对试验期间每一工况的飞灰和底渣流量进行统计并分别进行含硫量测试，通过汇总计算获取锅炉各工况稳定运行期间灰渣平均含硫量数据，结果如图3所示。

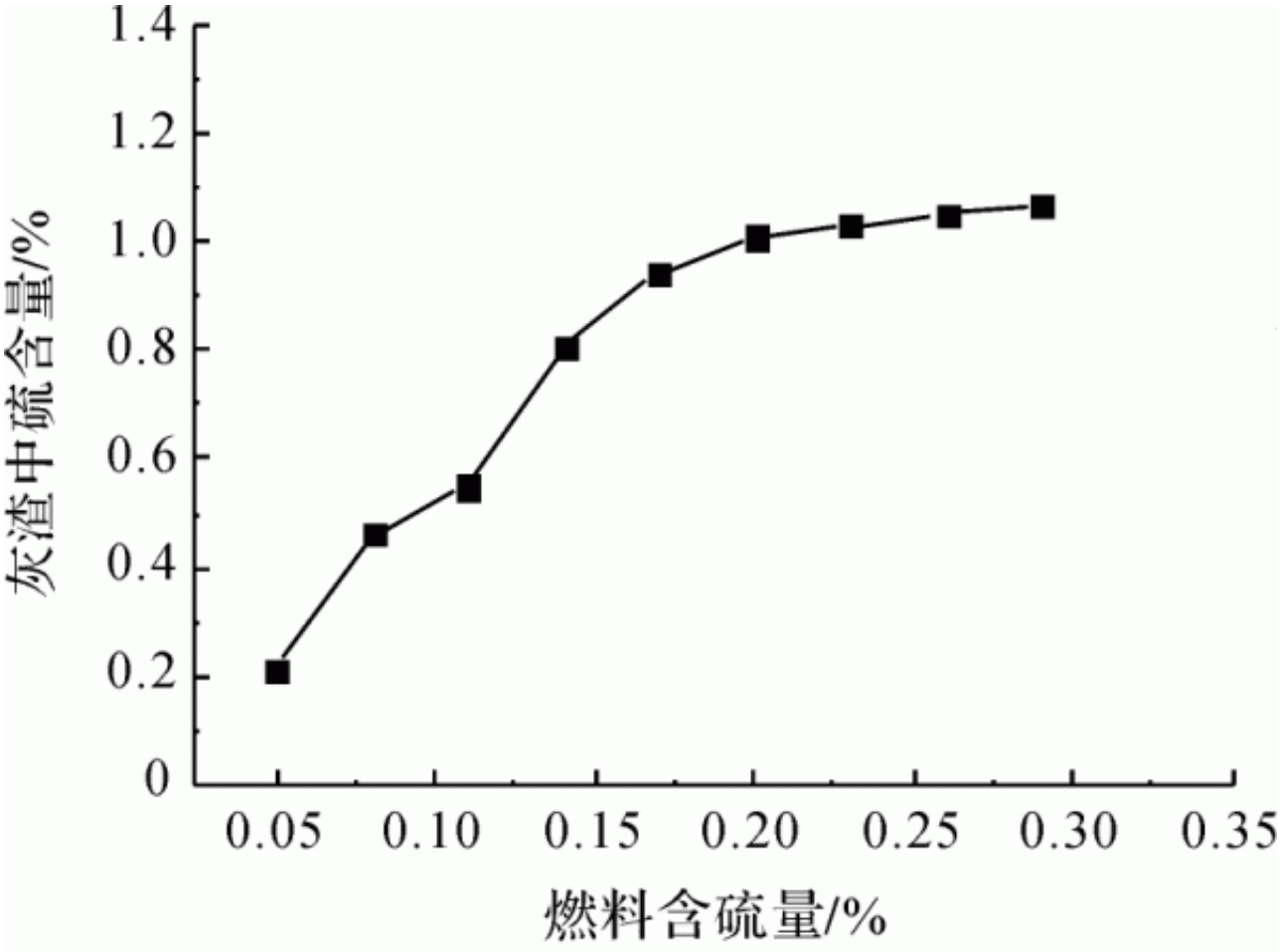

图3　灰渣中含硫量变化规律

由图3可知，当燃料中含硫量在0.2%以下时，随着燃料中含硫量的增加，灰渣中S含量增加明显；而当燃料中含硫量超过0.2%以后，随着燃料含硫量的增加，灰渣中的S含量增加趋势显著放缓，基本维持在1%左右，这一规律与烟气中SO_2
浓度变化规律刚好相反。有理由认为，在当前燃料灰分特性情况下，当燃料含硫量在0.2%以下时，在循环流化床锅炉充分的气固相接触混合条件下，SO_2
与碱性物质反应被固留在灰渣中，当燃料含硫量达到一定程度后，随着碱性物质反应达到饱和，其固硫能力达到极限，多余的SO_2仍以气态污染物的形式排放。

2.3硫平衡计算

根据上述试验结果，分别以燃料中计算含硫量0.05%、0.17%、0.23%以及0.29%作为四个运行工况（工况1~4），结合各工况的燃料用量及各项运行参数，进行硫平衡计算，结果如表4所示。

表 4　硫平衡计算

项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
入炉燃料量/kg · h^{-1}	60200	52300	59300	59800
燃料硫分/%	0.05	0.17	0.23	0.29
产生灰渣量/kg · h^{-1}	10943	7748	10036	11002
实测灰渣硫含量/%	0.21	0.94	1.03	1.07
实测烟气 SO_2 浓度/mg · m^{-3}	10.5	22.4	45.6	89.1
烟气中气态硫析出率/%	19.53	14.61	18.39	26.72
炉内灰渣固硫率/%	76.35	81.92	75.79	67.88
硫平衡相对偏差/%	−4.12	−3.47	−5.82	−5.4

由计算结果可见，以烟气中的气态硫和灰渣中固相硫计算燃烧过程硫元素质量平衡的偏差在-5%左右，该偏差可能是针对灰渣的含硫量检测方法不能检出在燃烧过程中可能进入稳定的惰性硫酸盐或者含硫硅酸盐物质内的少部分硫而导致的。由表4可见，在未添加额外硫的低硫工况中，该研究所用生物质燃料灰组分特性条件下的循环流化床燃烧过程中，灰
中的碱性物质相对
过量，足以通过自固硫效应将绝大多
数的硫捕获并留存在灰渣中，此时13mg/m^3
左右的硫氧化物排放浓度受控于温度、气氛、停留时间和接触界面等气固反应条件，在燃料中硫含量增加过程中增加的幅度很小，基本维持恒定；自固硫率随着燃料中硫分增加而增加，从75%提升到80%以上。当燃料硫分超过0.19%，炉内自固硫反应的控制因素发生变化，灰相中碱性物质作为脱硫反应物的供应短缺成为主要制约因素，此时，灰渣中含硫物质水平接近或达到极限值，随着燃料含硫量进一步增加，烟气中的硫氧化物浓度迅速提升，而自固硫率则显著下降。上述研究说明，对于含钙、钾等较高而含硫较低的树皮类生物质，灰相中的含碱物质足以凭借流态化燃烧过程优异的气固相反应条件达到相当高的自脱硫率，从而实现极低的硫氧化物排放浓度；另一方面，自脱硫能够应对的燃料硫存在一个极值，含硫量高于极值后，自脱硫率会迅速降低，硫氧化物的排放浓度亦会快速增加。

3结论

在50MW工业规模生物质直燃循环流化床锅炉上探索生物质燃料燃烧过程的自固硫特性。试验发现由于生物质燃料燃烧产物中含有较多的K、Na和Ca等碱性物质，及循环流化床锅炉优良的气固相接触、混合反应条件，在工业规模循环流化床锅炉上生物质燃料燃烧过程中具有较高的自固硫能力，不但可以以较高的效率捕获燃料自身带入的硫分，还有能力对外加硫分实施高效固硫。本实验获得了生物质灰渣中碱性物质自脱硫能力的极限，可为工程领域生物质流态化燃烧过程硫排放评估提供参考。

参考文献：

[1] 赵　军,王述洋. 我国生物质能资源与利用[J]. 太阳能学报,2008,29(1):90－94.

[2] 柏继松,余春江,李廉明,等. 生物质循环流化床燃烧污染物的排放特性[J]. 化工进展,2010,29(增刊):116－119.

[3] 聂　虎,余春江,韦　威,等. 生物质燃烧硫迁徙规律试验[J]. 太阳能学报,2011,32(11):1671－1676.

[4] 聂　虎. 生物质燃烧污染物排放特性研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[5] KNUDSEN J N, JENSEN P A, Secondary capture of chlorine and sulfur during thermal conversion of biomass[J]. Energy & Fuels,2005. 19(2):606－617.

[6] LITH S C V, ALONSO-RAMIREZ V, JENSEN P A, *et al*. Release to the gas phase of inorganic elements during wood combustion. Part1:Development and evaluation of quantification methods[J]. Energy & Fuels, 2006,2006,20(3):964－978.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/176905.html