电站锅炉掺烧生物质的污染物释放特性试验研究

张新

（山西中节能潞安电力节能服务有限公司，山西长治046200）

摘要：为降低燃煤电厂的发电成本，控制污染物排放，通过在小型试验台上对电站锅炉煤掺烧生物质时，不同掺混比例、不同燃烧温度及掺烧不同生物质种类的污染物释放特性进行了试验研究。结果表明，在燃烧后期，随生物质掺混比例增加，NO_x和SO_2的释放量降低；在焦炭燃烧阶段，随实验温度升高，NO_x和SO_2的析出过程加快，同时NO_x瞬时释放量增加，SO_2瞬时释放量减少。生物质中的碱金属对NO_x及SO_2的释放有抑制作用。

0引言

生物质能源具有储量丰富、氮硫含量低、燃烧特性良好等特点，在能源生产领域的比重日益增加[1]。同时，近年来电力生产领域向清洁低碳发展的趋势日益显现，非化石能源发电的比重快速增长。在电站燃煤锅炉中掺烧一定比例的生物质以代替部分煤的使用，可在不改变锅炉原有燃烧器形式的基础上，降低发电经济成本，并减少氮氧化物及硫氧化物的排放，有助于逐步建立清洁低碳的电力成产模式。

为模拟炉内高温燃烧工况，研究生物质混煤燃烧过程中NO_x及SO_2等污染物的释放特性，文中在小型实验台上进行了恒温下生物质混煤燃烧试验，考察了不同掺混比例、燃烧温度、生物质种类对燃料燃烧过程中NO_x、SO_2释放特性的影响，为电站锅炉掺烧生物质时燃料利用及污染物控制提供了一定的理论依据。

1实验装置及方法

1.1实验系统及燃料特性

本文所使用的恒温污染物在线监测系统见图1，试验时采用德国RBP公司的ecom-CN型烟气分析仪对生物质混煤燃烧过程中NO_x、SO_2浓度进行实时监测并记录。整套装置气密性良好，多次重复性实验证明，实验所得数据误差在2%以内（图1）。

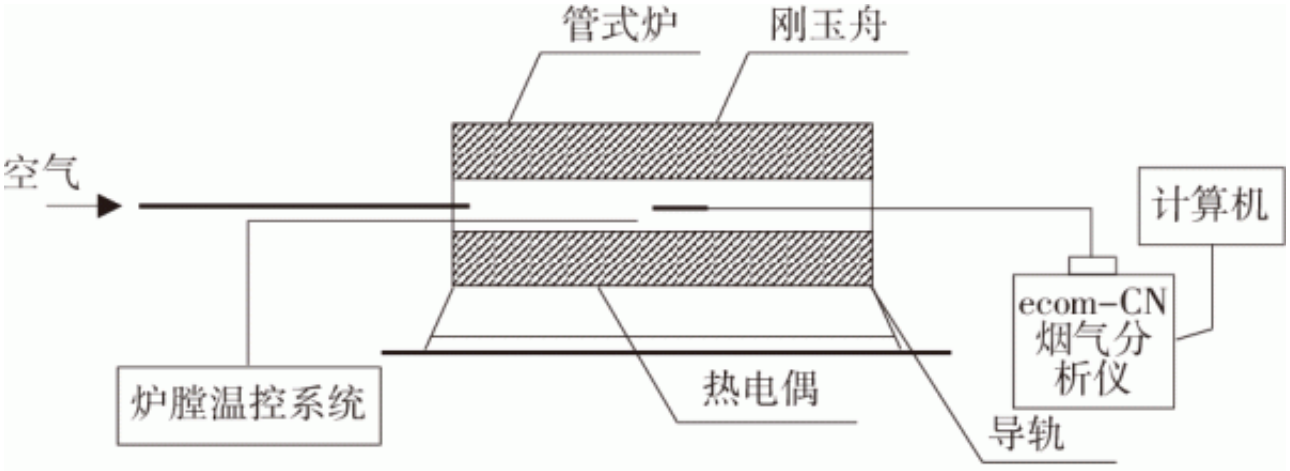

图 1　NO_x、SO_2 测量装置

鉴于生物质的热值及可磨性程度，试验选用秸秆、木屑与稻壳进行研究。由于生物质中挥发分含量较高，无烟煤中挥发分含量较低，二者混燃时能明显改善燃料的燃烧特性[2]，故选用清水沟无烟煤作为混燃煤种。实验前先将样品在破碎机中充分破碎，而后经标准筛筛分，保证其粒径均在0.125~0.180mm目之间。将筛分好的样品置于鼓风干燥箱中干燥10h，温度保持在105℃左右，然后放入干燥器中备用。试验样品的工业分析及元素分析见表1。

表 1　样品的元素分析和工业分析

样品	工业分析(%)				元素分析(%)					Q_{net}/(MJ·kg^{-1})
	M_{ar}	FC_{ar}	V_{ar}	A_{ar}	N_{ar}	C_{ar}	H_{ar}	S_{ar}	O_{ar}	
清水沟煤(QSG)	1.3	53.6	10.8	34.3	0.82	56.95	2.74	0.47	3.44	20.53
秸秆(JG)	66.75	3.7	27.85	1.7	0.55	13.81	1.97	0.1	14.92	3.33
稻壳(DK)	10.7	13.7	63.7	11.9	0.6	35.5	5.04	0.36	35.23	13.6
木屑(MX)	33.77	9.3	53.33	3.6	0.46	32.69	4.12	0.09	25.27	10.5

1.2实验方法

实验时，将管式炉升温至实验温度后，通入流量为2.67L/min的空气并稳定30min；随后称取质量为0.1g的样品平铺于刚玉舟内（避免因燃料堆积造成气体扩散影响），迅速推入管式炉内。管式炉出口通过烟气分析仪准确、实时测量出口烟气的NO_x及SO_2浓度。

2结果与分析

2.1掺混比的影响

生物质掺混比是研究煤掺烧生物质时污染物释放特性的关键影响因素之一。因此，在900℃下，分别测量了煤粉以及3种比例掺混样品（煤，秸秆=9∶1、8∶2、7∶3）的NO_x和SO_2瞬时释放曲线，如图2所示。

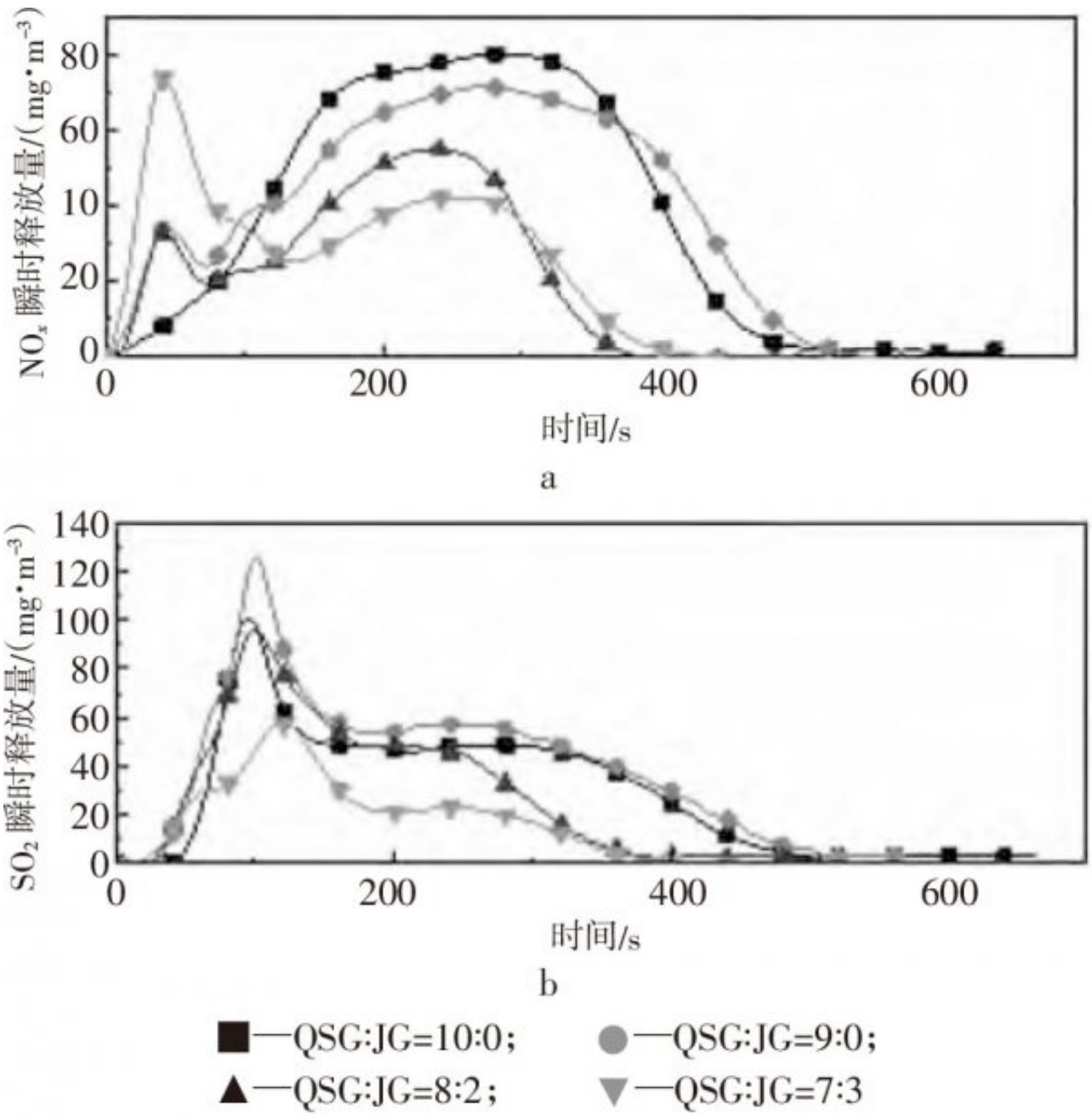

图 2　不同掺混比下 NO_x 和 SO_2 释放曲线

由图2a可知，掺混秸秆后，NO_x瞬时释放曲线呈双峰分布，并随掺混比增加，前一个NO_x瞬时释放峰值明显提前且峰值增大。结合表1，这是因为与纯煤燃烧相比，随掺烧秸秆的比例增大，样品中挥发分含量增加，这一方面引起挥发分氮含量增大；另一方面，挥发分在反应初期易迅速析出燃烧，试样燃烧特性得到进一步改善[3]。因此，在燃烧初期形成的挥发分氮和焦油氮能迅速得以释放并以含氮前驱体NH_3、HCNO及HCN等形式析出[4]，此时O_2含量较为充足，易与形成的含氮前驱体结合生成NO_x（以NO和NO_2为主），造成随掺混比增大，NO_x瞬时释放峰值明显提前且增大。

图2b中SO_2瞬时释放曲线表明，在低掺混比（10%）下，SO_2瞬时释放量较纯煤燃烧有所增加，但在高掺混比（20%以上）下，SO_2释放量减少，且随掺混比的进一步增大，这种降低的趋势更加明显。这主要是由于掺混生物质后，燃烧过程中会形成

生物质焦炭，并随掺混比增加而含量增大。与煤焦相比，生物质焦炭具有较大的比表面积以及较丰富的孔隙结构，这一特点有助于促进SO_2吸附，抑制SO_2
释放[5]。此外，表1显示与煤相比，秸秆中硫含量较低，随秸秆掺混比增加，样品含硫量降低，这也在一定程度上减少了SO_2的形成。因此，掺烧秸秆能明显降低SO_2的释放，并随秸秆掺混比增加，SO_2瞬时释放量进一步降低。

此外，图2曲线表明，在燃烧后期，随秸秆掺混比增
加，NO_x和SO_2
瞬时释放量均降低。如之前所述，由于样品中掺烧秸秆的比例增加，燃烧时形成的多孔性焦炭含量增加，这些焦炭中丰富的孔隙结构能促进SO_2和NO_x
的吸附，同时高活性的生物质焦炭也能促进NO_x
（主要是NO）的还原[6]，造成燃烧后期SO_2和NO_x瞬时释放量随掺混比的增加呈下降趋势。

2.2温度的影响

温度影响燃烧反应的进行程度，不同温度下发生的反应类型也不尽相同。因此，为研究不同温度对生物质混煤掺烧过程中污染物释放特性的影响，以秸秆掺混比20%的样品为研究对象，在700、800、900、1000℃下，测量其燃烧过程中NO_x及SO_2瞬时释放曲线，如图3所示。

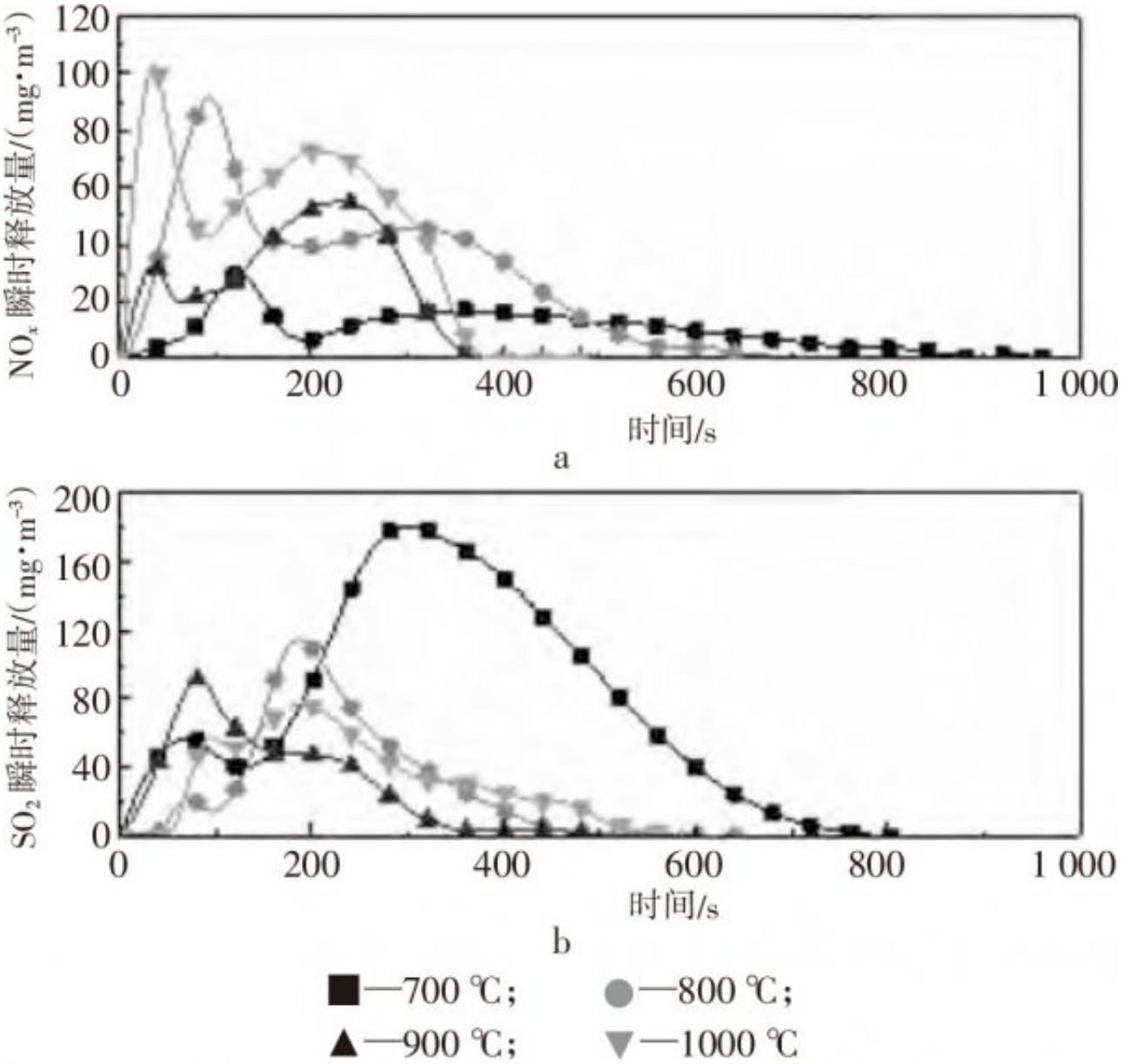

图 3　不同温度下 NO_x 和 SO_2 释放曲线

由图3a可知，随温度升高，NO_x瞬时释放峰值的出现时间提前，整个NO_x释放过程所用时间缩短。这是由于温度升高导致试样燃烧加剧，挥发分氮和焦炭氮析出提前，造成NO_x生成释放过程加快。另外，图中显示，由焦炭氮转化生成的NO_x释放峰值会随温度升高而逐渐增大。这是因为低温下，样品燃烧不充分造成燃烧后期环境气氛中的CO浓度较高，而CO对已生成的NO_x（主要是NO）具有显著的还原作用[6]，这会抑制NO_x的生成。随温度升高，燃烧反应加剧，CO浓度降低，对NO_x的还原作用减弱。因此，随温度升高，由焦炭氮转化生成的NO_x释放量逐渐增大。

图3b中SO_2瞬时释放曲线表明，随温度升高，SO_2瞬时释放曲线峰值减小。温度升高使得焦炭活性增强并形成较为丰富的孔隙

结构，造成SO_2吸附量增加，SO_2
释放量减少。此外，
图3b中还表明，在后期焦炭燃烧阶段，当
温度区间在700~900℃之间时，SO_2
瞬时释放峰值逐渐降低；而当温度超过900℃时，SO_2
释放峰值又增大。由于掺混样品在不同燃烧阶段中SO_2
的生成原因不同，挥发分阶段释放的SO_2
主要来源于有机硫的分解，而焦炭燃烧阶段SO_2
的生成主要来源于无机硫酸盐的分解[7]。当温度低于900℃时，由于煤中掺混了一定比例的生物质，样品中K、Ca等碱金属含量增加[8]，在燃烧后
期，S与这些碱性物质结合形成硫酸盐，进一步造成SO_2
释放
量降低；
但当温度超过900℃
时，之前形成的硫酸盐易分解，虽焦
炭活性增强，但仍不足以吸附其释放的SO_2量，故引起SO_2瞬时释放峰值的增加。

2.3生物质种类的影响

为研究掺烧不同种类生物质对燃烧过程中NO_x和SO_2
释放特性
的影响，选用秸秆
、木屑、稻壳3种生物质，在800℃、生物质20%掺混时，测量其燃烧过程中NO_x及SO_2瞬时释放曲线，如图4所示。

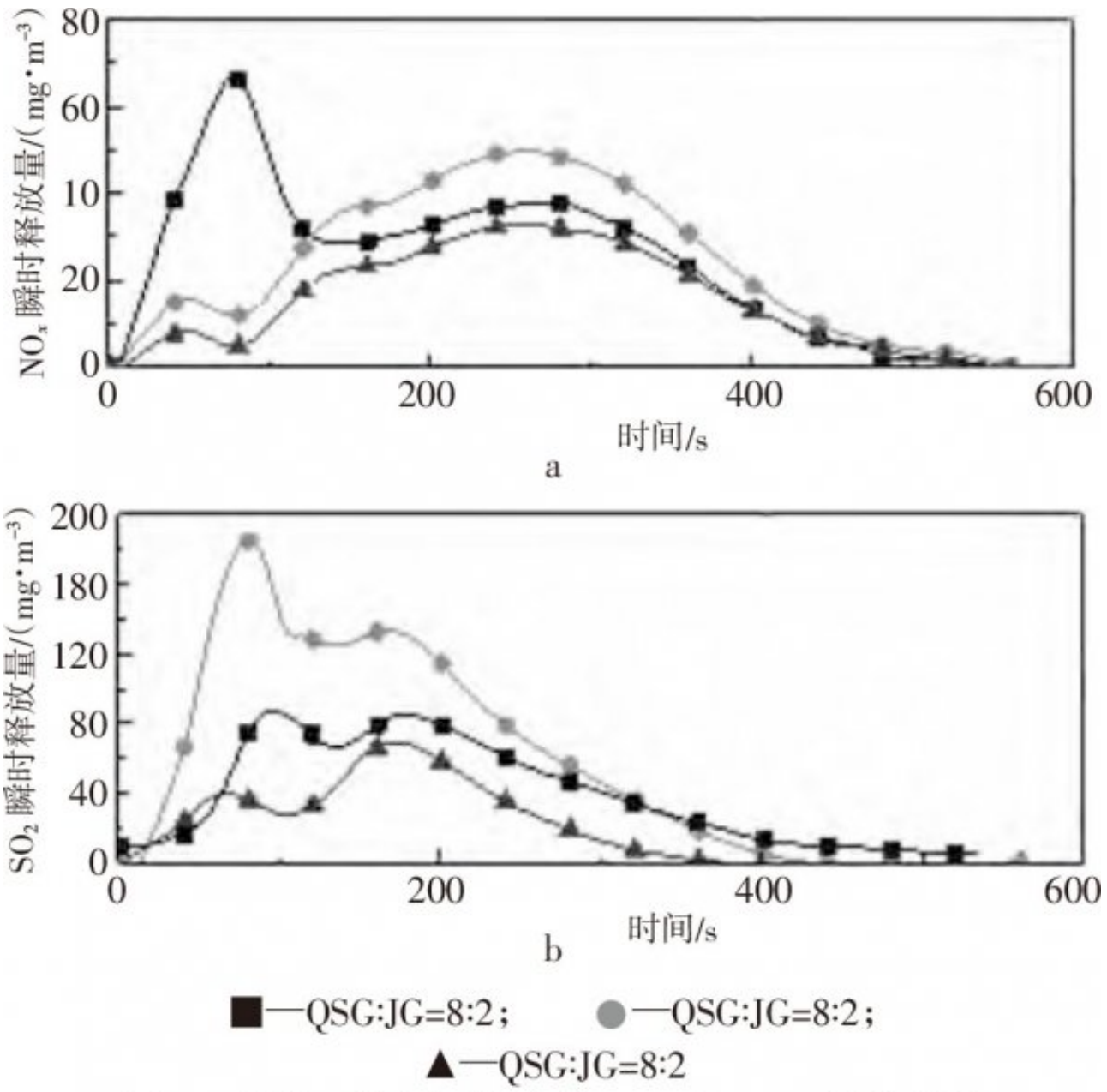

图 4　掺烧不同生物质的 NO_x 和 SO_2 释放曲线

由图4a可知，NO_x瞬时释放峰值由高到低依次是掺烧秸秆、木屑、稻壳。产生上述现象是因为掺烧不同生物质时，各生物质的水分和挥发分含量不同。由表1可知，上述3种生物质中水分及挥发分含量由高到低依次是秸秆、木屑、稻壳。水分及挥发分含量高的试样燃烧时，气氛中会生成部分O、OH等自由基[9]，燃烧特性改善，造成NO_x释放程度加剧。另一方面，稻壳中K、Ca等碱金属含量较高[10]，在实验温度下，对NO_x（主要是NO）还原反应的催化作用最强[8]，造成NO_x瞬时释放量减小。

由图4b可知，掺烧稻壳的SO_2瞬时释放量最低。一方面如之前所述，稻壳中碱金属含量较高，会与S结合形成硫酸盐，造成SO_2释放量降低；另一方面，由表1可知，稻壳灰分含量较高，可能在燃烧过程中阻塞煤粉燃烧形成的焦炭孔[11]，从而进一步抑制SO_2的析出。

3结论

燃煤锅炉掺烧一定比例生物质时，针对其不同掺烧比例、不同燃烧温度及掺烧不同种类生物质的污染物释放特性进行研究，结果如下。

a）在燃烧前期，随生物质掺混比增加，试样挥发分氮含量增加，前期NO_x及SO_2的释放增加；但在燃烧后期，即焦炭燃烧阶段，随生物质掺混比例增加，NO_x和SO_2瞬时释放量明显降低。

b）低温下，由于未充分燃烧造成燃烧后期的CO浓度偏高，这对NO_x的还原有一定的促进作用；随实验温度升高，试样燃烧加剧，对NO_x的还原抑制作用减弱，释放量逐渐增加。另一方面，随温度升高，由于焦炭活性增强及硫酸盐的生成、分解的影响，SO_2的瞬时释放量呈先减少后增加的趋势。

c）生物质中的碱金属物质对NO_x及SO_2释放有一定的控制作用，且随生物质中碱金属含量增加，NO_x和SO_2瞬时释放量降低。

参考文献：

[1] 闫金定. 我国生物质能源发展现状与战略思考 [J] . 林产化学与工业，2014（04）：151-158.

[2] 王金星，张佳媛，张莹. 煤粉/生物质恒温混燃时 NO 释放规律 [J] . 锅炉技术，2013（02）：69-73.

[3] 王智，赵瑞娥. 生物质混煤在流化床锅炉中的燃烧特性 [J] . 电力技术，2010（10）： 65-69.

[4] 王学斌. 生物质燃烧及其还原氮氧化物的机理研究及应用 [D] . 西安：西安交通大学，2011.

[5] 刘少俊，高翔，曹飞飞，等. 孔隙结构对活性炭脱硫影响的实验研究 [J] . 中国电机工程学报，2012（35）：46-52.

[6] Chan Lk, Sarofim Af, Beér Jm. Kinetics of the NO/3carbon reaction at fluidized bed combustor conditions [J] . Combustion & Flame，1983，52（83）：37-45.

[7] 徐艳. 广东典型生物质燃烧及烟气排放特性研究 [D] . 广州：华南理工大学， 2012.

[8] 贺业光. 秸秆与煤混合燃烧特性及氮氧化物析出特性研究 [D] . 沈阳：沈阳航空工业学院，2009.

[9] 王春波，李超，雷鸣. 水蒸气对煤焦恒温下燃烧特性的影响 [J] . 中国电机工程学报，2013（32）： 8-13.

[10] 张羊. 煤/生物质共热解过程中生物质碱金属迁移与催化特性的研究 [D] .太原：太原理工大学，2016.

[11] 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（02）： 80-86.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/177822.html