

不同进料方式燃烧器对生物质燃料颗粒物排放特性的影响

张学敏², 张永亮^{1,2}, 姚宗路¹, 赵立欣¹, 孟海波¹, 田宜水¹

(1.农业部规划设计研究院, 农业部农业废弃物资源化利用重点实验室, 北京100125; 2.中国农业大学工学院, 北京100083)

摘要:为摸清不同进料方式的燃烧器对生物质成型燃料燃烧后颗粒物排放的影响, 该文对上进料式(A型)、水平进料式(B型)和下进料式(C型)等3种类型的燃烧器进行燃烧颗粒排放试验, 采用低压电子冲击仪对玉米秸秆、棉秆、木质3种成型燃料燃烧后颗粒物排放开展数量浓度和质量浓度研究, 并计算出每种燃料在3种燃烧器中每秒排放的颗粒物数量和质量分布。试验结果表明: 3种燃烧器中的颗粒物质量分布都成双峰分布, 主要集中在5~7级和12级, 占总颗粒物质量的90%; 木质和棉秆燃料在A型燃烧器中的颗粒物质量排放最少, 玉米秸秆燃料在B型中颗粒物质量最少。3种燃烧器中的颗粒物数量分布都成单峰分布玉米秸秆和木质在B型燃烧器上的颗粒物数量主要集中在1~5级, 在A型和C型燃烧器上颗粒物数量主要集中在3~6级; 棉秆在C型燃烧器上集中在1~5级, 在A型和B型燃烧器上颗粒物数量主要集中在3~6级。3种燃烧器对颗粒物质量的分布影响不大。根据试验结果, 建议不同的燃料匹配不同的燃烧器。从颗粒物排放总量角度, 玉米秸秆应该匹配B型燃烧器, 棉秆和木质燃料应该匹配A型燃烧器。从PM_{2.5}所占比例得出, 玉米秸秆燃料应匹配C型燃烧器, 棉秆匹配B型燃烧器, 木质匹配A型燃烧器。并建议生物质成型燃料燃烧器结构应具有以下特点: 进料连续平稳; 带有主动清渣装置并且清渣波动小; 鼓风机配风, 保证过量空气系数高。研究结果为中国生物质固体成型燃料的颗粒物排放法规的制定提供参考。

0引言

生物质固体成型燃料是通过专门设备将木屑、秸秆、稻壳等农业废弃物压缩成特定形状来增加其密度的固体燃料, 可替代煤炭等化石燃料用于炊事、供暖、发电等能源消耗^[1-3]

。生物质成型燃料的应用, 不仅能充分利用农业废弃物, 避免资源浪费, 而且减少了大量燃烧煤炭和焚烧农业秸秆所造成的空气污染。经过多年研究, 生物质燃烧器也得到迅速发展, 尤其在瑞典、奥地利等国家, 可实现高效、自动化运行。目前按照进料方式, 可分为上进料式、水平进料式和下进料式^[4-6]

。上进料式燃烧器与料仓分离, 回火危险小; 可根据功率要求保证精确定量进料, 但下落颗粒会引起燃烧波动, 燃烧不稳定。水平进料式燃烧器和下进料式燃烧器, 燃烧波浪小, 燃烧过程连续、稳定, 但有回火危险^[7]。

随着生物质固体成型燃料的普及和燃烧器技术的成熟与提高, 生物质成型燃料燃烧后的颗粒物排放又逐渐成为人们研究的课题。空气中的颗粒物是引起天空阴霾和空气能见度低的主要原因, 尤其是颗粒物中空气动力学直径小于2.5 μm的颗粒物(PM_{2.5}), 被人体吸入后, 对人体健康危害极大^[8-10]

, 各国对空气中不同粒径的颗粒物浓度有严格的限制^[11-14]

。因此, 各国在不同生物质燃烧设备上对成型燃料燃烧后产生的颗粒物粒径分布规律以及PM_{2.5}的含量展开了详细研究。

Ghafghazi等研究了固定床燃烧木质后颗粒物排放情况^[15]

, Limousy等在一种12kW

并且带回燃结构的燃烧器上研究了咖啡渣燃烧后的颗粒物排放情况^[16]

, Meyer研究了几种壁炉燃烧木质燃料后颗粒物的排放情

况^[17], 但都未研究燃烧器结构对颗粒物燃烧影响, 而且也没有对秸秆类生物质成型燃料的颗粒物排放展开研究。

由于

国外的生物质

固体成型燃料都是木质燃料

, 其灰分低, 不易结渣, 国外与之配套的燃烧器没有清渣装置^[3-4]

。而中国的生物质成型燃料以农作物秸秆为主, 灰分高、燃烧过程中容易结渣、碱金属及氯腐蚀、设备内积灰严重; 因此中国生物质燃烧器增加各种清渣装置^[18]

。本文采用不同的生物质成型燃料, 在适合中国秸秆成型燃料的3种不同进料方式的燃烧器上进行试验, 研究了在不

同进料方式燃烧器的颗粒物数量分布、质量分布状况和PM2.5含量, 并对比其常规排放性能。

1 燃料与方法

1.1 燃料

本试验采用玉米秸秆、棉秆、木质3种成型燃料, 所用玉米秸秆和棉秆生物质颗粒燃料于2013年1月在北京大兴礼贤生物质颗粒燃料公司生产, 由农业部规划设计研究院研制的485型生物质颗粒燃料成型机压制而成, 颗粒燃料均压缩加工为圆柱型, 直径8mm, 长度10~30mm; 所用木质颗粒燃料由天津市嘉海木业公司生产, 直径6mm, 长度10~30mm; 3种燃料的密度均在1.2~1.8g/cm³。3种生物质颗粒燃料的工业分析、元素分析、热值如表1。

表1 3种生物质颗粒燃料的工业分析、元素分析和发热量
Table 1 Proximate analysis, ultimate analysis, and heat value of 3 kinds of pellets

原料 Material	工业分析 Industrial analysis/%				元素分析 Elemental analysis/%			低位发热量 Lower heating value/ (kJ·kg ⁻¹)	
	水分 M _{ad}	灰分 A _{ad}	挥发分 V _{ad}	固定碳 F _{C,ad}	炭 C _{ad}	氢 H _{ad}	氮 N _{ad}		硫 S _{ad}
玉米秸秆 Corn straw	7.64	12.08	71.03	9.25	40.66	5.44	1.10	0.56	16254
棉秆 Cotton stalk	7.53	12.10	72.22	8.15	39.99	5.30	1.15	0.58	15707
木质 Wood	7.45	1.59	85.24	5.72	46.75	6.19	0.26	0.59	18308

1.2 设备

1.2.1 燃烧器

本试验采用3种中国研发的燃烧器, 分别为上进料式燃烧器(A型), 水平进料式燃烧器(B型), 下进料燃烧器(C型), 结构见图1所示。其中A型和B型燃烧器采用鼓风配风方式, C型燃烧器采用引风配风方式。A和C型燃烧器带有单独的清渣装置, 可实现主动清渣; B型燃烧器无单独清渣装置, 其燃烧后的灰渣由新进燃料推落。采用3种燃烧器可根据加热需求增减进料量、调整燃烧功率。3种燃烧器特点如表2。

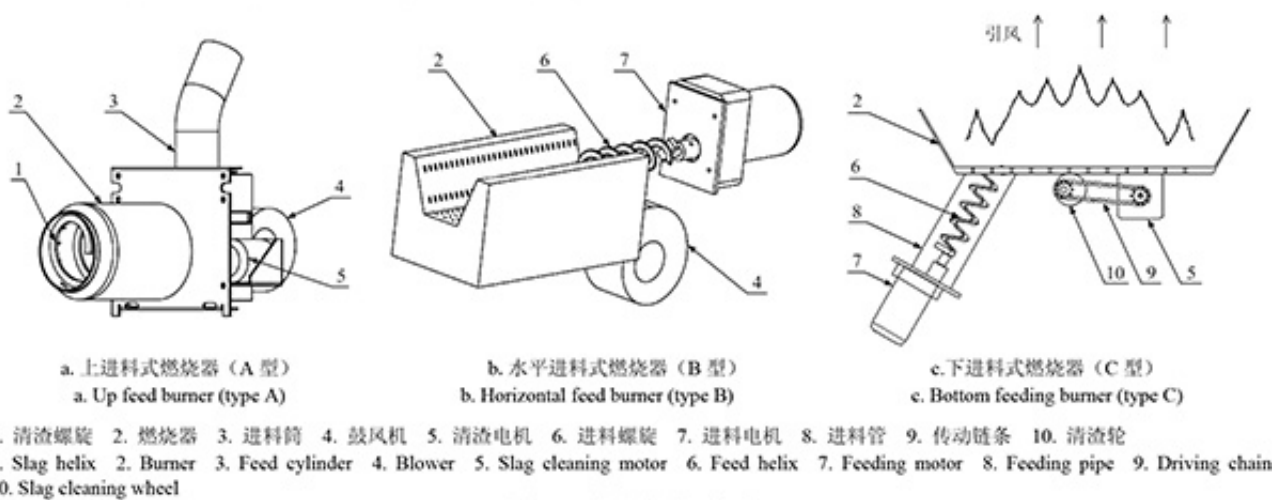


图1 3种燃烧器示意图
Fig.1 Sketch map of three kinds of burner

1.2.2 测试仪器

本试验的测量仪器为低压电子冲击仪ELPI (electricalowpressureimpactor) 和SEMTECH测试仪, ELPI是芬兰坦佩雷大学开发的用于实时测量气溶胶粒径分布的仪器, 把10 μm以下颗粒物分成12级, 从0.003~10 μm, 如表3, 能够对每级的颗粒数目和质量进行瞬态记录^[19]。SEMTECH为美国Sensors公司研发生产, 可以测出废气各成分含量。

表 2 3 种燃烧器的特点

Table 2 Characteristics of three kinds of burner

特点 Characteristic	A 型 Type A	B 型 Type B	C 型 Type C
进料方式 Feedstock type	上进料	水平进料	下进料
最大进料 Maximum feedstock/ (kg·h ⁻¹)	6	6	6
最大功率 Maximum power/kW	20	20	20
清渣方式 Slag removal type	主动螺旋清渣	被动清渣	主动抖动清渣
配风方式 Air distribution type	鼓风	鼓风	引风
优点 Advantage	燃烧器与料仓分离，回火危险小；可根据功率要求保证精确定量进料	燃烧波浪小，燃烧过程连续、稳定	燃烧波浪小，燃烧过程连续、稳定
缺点 Disadvantage	燃料下落产生燃烧波动，燃烧不稳定	有回火的危险	后期燃烧时间长，有回火的危险

表 3 低压电子冲击仪的粒径分级

Table 3 Grading of particle size in electrical low pressure impactor

状态 State	级别 Level	粒径范围 Range of particle size/ μm	直径 Diameter/ μm
核模态 Nucleation mode	1	0.007~0.029	0.02
	2	>0.029~0.057	0.04
	3	>0.057~0.101	0.08
积聚模态 Accumulation mode	4	>0.101~0.165	0.13
	5	>0.165~0.255	0.21
	6	>0.255~0.393	0.32
	7	>0.393~0.637	0.50
	8	>0.637~0.990	0.79
	9	>0.990~1.610	1.26
粗模态 Crude mode	10	>1.610~2.460	1.99
	11	>2.460~3.970	3.13
	12	>3.970~10.150	6.35

1.3 参数和方法

1.3.1 参数

试验所测的参数为：

1) 烟气中CO、CO₂、NO_x、O₂的常规成分含量。

2) 不同粒径颗粒物排放的数量浓度和质量浓度。颗粒物数量浓度：指在大气压力下在每平方厘米内含颗粒物个数；颗粒物质量浓度：指大气压力下在每平方米内含颗粒物质量。

1.3.2 方法

燃烧器正常运行后，在每种燃烧器分别燃烧玉米秸秆、棉杆、木质3种生物质成型燃料；分别在最大功率下，即：进料量在6kg/h左右时，用ELPI和SEMTECH测试30min，实时记录常规排放浓度和颗粒物不同粒径按12个级别的数量浓度和质量浓度。

2 结果与讨论

2.1 测试结果

3种生物质固体成型燃料分别在3种不同结构燃烧器上燃烧时，尾气中各成分比例如表4；其排放颗粒物数量浓度分布如表5；排放颗粒物质量浓度分布如表6。

2.2.3 种燃料在3种燃烧器上颗粒物排放对比

由于3种燃料在3种燃烧器上燃烧时，废气排出流量不同，故将颗粒物的数量浓度和质量浓度换算为每一秒排出的颗粒物数量和质量，换算公式：

$$N_{fi} = N_i \times F \times 10^3 \quad (1)$$

$$M_{fi} = M_i \times F \quad (2)$$

式中： F 为尾气流量，L/s； N_i 为每一个级别上颗粒物数量浓度，个/cm³， $i=1, 2, 3, \dots, 12$ ； N_{fi} 为每秒钟流出每一个级别颗粒物个数，个/s， $i=1, 2, 3, \dots, 12$ ； M_i 为每一个级别上颗粒物的质量浓度，mg/m³， $i=1 \sim 12$ ； M_{fi} 为每秒钟流出每一个级别颗粒物质量，μg/s， $i=1, 2, 3, \dots, 12$ 。

表4 3种燃料在3种燃烧器中烟气含量
Table 4 Flue gas content of 3 kinds of fuels in 3 burners

原料 Material	燃烧器 Burner	CO ₂ 体积分 Volume fraction of CO ₂ /%	CO 体积分 Volume fraction of CO/%	NO 体积分 Volume fraction of NO/%	NO ₂ 体积分 Volume fraction of NO ₂ /%	O ₂ 体积分 Volume fraction of O ₂ /%	过量空气系数 Excess air ratio	尾气流量 Rate of flow/ (L·s ⁻¹)	炉膛温度 Furnace temperature/°C
玉米秸秆 Corn straw	A	5.1	0.035	0.0125	0	13.9	2.5	10.5	863
	B	1.3	0.07	0.0042	0	16.3	4.2	49	807
	C	5.5	0.024	0.0126	0	10.5	1.7	18	720
棉秆 Cotton stalk	A	12.5	0.024	0.0515	0	7.5	1.5	9.8	890
	B	2.81	0.055	0.0068	0	15.8	3.8	50	853
	C	9.36	0.069	0.0212	0	10.5	2.0	17	768
木质 Wood	A	11.5	0.0315	0.011	0	8.0	1.6	10.2	920
	B	2.55	0.072	0.0038	0	15.1	3.5	52	918
	C	15.6	3	0.0076	0	3.1	1.2	16.3	810

表5 12级别上颗粒物数量浓度分布
Table 5 Particle number distribution on 12 levels

原料 Material	燃烧器 Burner	不同级别上颗粒物数量浓度 Number concentration of particle at different levels												总浓度 Total content
		1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级	11级	12级	
玉米秸秆 Corn straw	A	35.2	11.8	22.8	48.9	45.0	30.6	13.6	2.03	0.327	0.056	0.019	0.0077	210
	B	38.2	22.4	22.8	19.4	15.8	5.53	1.15	0.123	0.026	0.01	0.003	0.001	125
	C	86.4	301	401	644	510	244	78.7	7.31	2.11	0.435	0.213	0.1	2 270
棉秆 Cotton stalk	A	34.1	11.5	24.5	71.2	75.0	79.1	6.49	1.21	0.16	0.026	0.01	0.005	303
	B	0.706	2.29	17.6	30.5	29.2	17.7	4.75	0.386	0.077	0.03	0.01	0.004	103
	C	1 820	1 450	1 080	1 030	831	151	25.1	2.39	0.9	0.15	0.078	0.0156	6 390
木质 Wood	A	3.57	1.91	9.96	32.1	28	19.4	7.91	1.1	0.176	0.029	0.011	0.004	104
	B	42	19.2	19.8	19.5	18.2	8.81	2.22	0.21	0.034	0.013	0.004	0.001	130
	C	0	107	272	696	724	587	193	20.9	4.02	0.748	0.292	0.113	2 600

表6 12级别上颗粒物质量浓度分布
Table 6 Particle mass distribution on 12 levels

原料 Material	燃烧器 Burner	不同级别上颗粒物质量浓度 Number concentration of particle at different levels												总浓度 Total content
		1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级	11级	12级	
玉米秸秆 Corn straw	A	0.0017	0.0037	0.044	0.46	1.96	5.10	8.17	4.76	3.22	2.24	2.89	8.9	37.8
	B	0.0018	0.0070	0.044	0.18	0.69	0.92	0.69	0.28	0.26	0.38	0.45	1.17	5.0
	C	0.004	0.095	0.78	6.04	22.3	40.7	47.4	17.2	20.8	17.1	33.3	132	338
棉秆 Cotton stalk	A	0.0016	0.0036	0.048	0.68	3.28	13.2	4.06	2.38	1.57	1.03	1.49	7.24	35.01
	B	0.0001	0.0007	0.034	0.28	1.27	2.95	2.86	0.91	0.75	1.14	1.63	4.97	16.8
	C	0.086	0.458	2.1	9.60	36.3	25.0	15.1	5.6	9.0	5.82	12.08	20.55	142
木质 Wood	A	0.0002	0.0006	0.019	0.30	1.22	3.24	4.76	2.58	1.73	1.15	1.77	5.46	22.2
	B	0.0017	0.0058	0.037	0.17	0.69	1.04	0.83	0.35	0.268	0.43	0.50	1.3	5.65
	C	0	0.0337	0.529	6.52	31.6	98.15	116.0	49.05	39.58	29.47	45.57	149.1	565.7

2.2.1 颗粒物数量分布

根据公式(1)，算出3种生物质成型燃料在A、B、C型燃烧器中燃烧的颗粒物数量分布如图2所示。

由图2看出，相同功率下，3种燃料在3种燃烧器上排放的颗粒物排放总数量呈现的结果都是：A型燃烧器 < B型燃烧器 < C型燃烧器。玉米秸秆在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总数量分别为 2.21×10^{10} 、 6.15×10^{10} 、 4.09×10^{11}

。棉杆在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总数量分别为 2.97×10^{10} 、 5.16×10^{10} 、 1.09×10^{12}

。木质燃料在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总数量分别为 1.06×10^{10} 、 6.76×10^{10} 、 4.25×10^{11} 。

其中玉米秸秆燃料（图2a）的颗粒物数量分布都是单峰分布，在A和C型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在3~6级（57~393nm），峰值都出现第4级。在B型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在1~5级（7~255nm），峰值出现在第1级。

其中棉杆燃料（图2b）的颗粒物数量分布也都是单峰分布，在A和B型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在3~6级（57~393nm），A型峰值在第6级，B型峰值在第4级。而在C型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在1~5级（7~255nm），峰值出现在第1级。棉杆燃料在B型和C型燃烧器中的颗粒物数量分布与玉米和木质在B、C型上的分布趋势相反，这是由于棉杆燃料的成分和生成颗粒物的成分与其他2种燃料的不同，含有难燃物质多，细小颗粒物在排出过程中不能继续燃尽。而C型燃烧器中炉膛温度较低，使得颗粒物所带能量低，排出过程中布朗运动减少，不能碰撞形成大颗粒物，而在B型燃烧器中，炉膛温度较高，布朗运动增加，形成更多的积聚颗粒物。

其中木质燃料（图2c）的颗粒物数量分布仍都是单峰分布，在A和C型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在3~6级（57~393nm），A型峰值在第4级，C型峰值在第5级。在B型燃烧器中，颗粒物数量主要集中在1~5级（7~255nm），峰值出现在第1级。

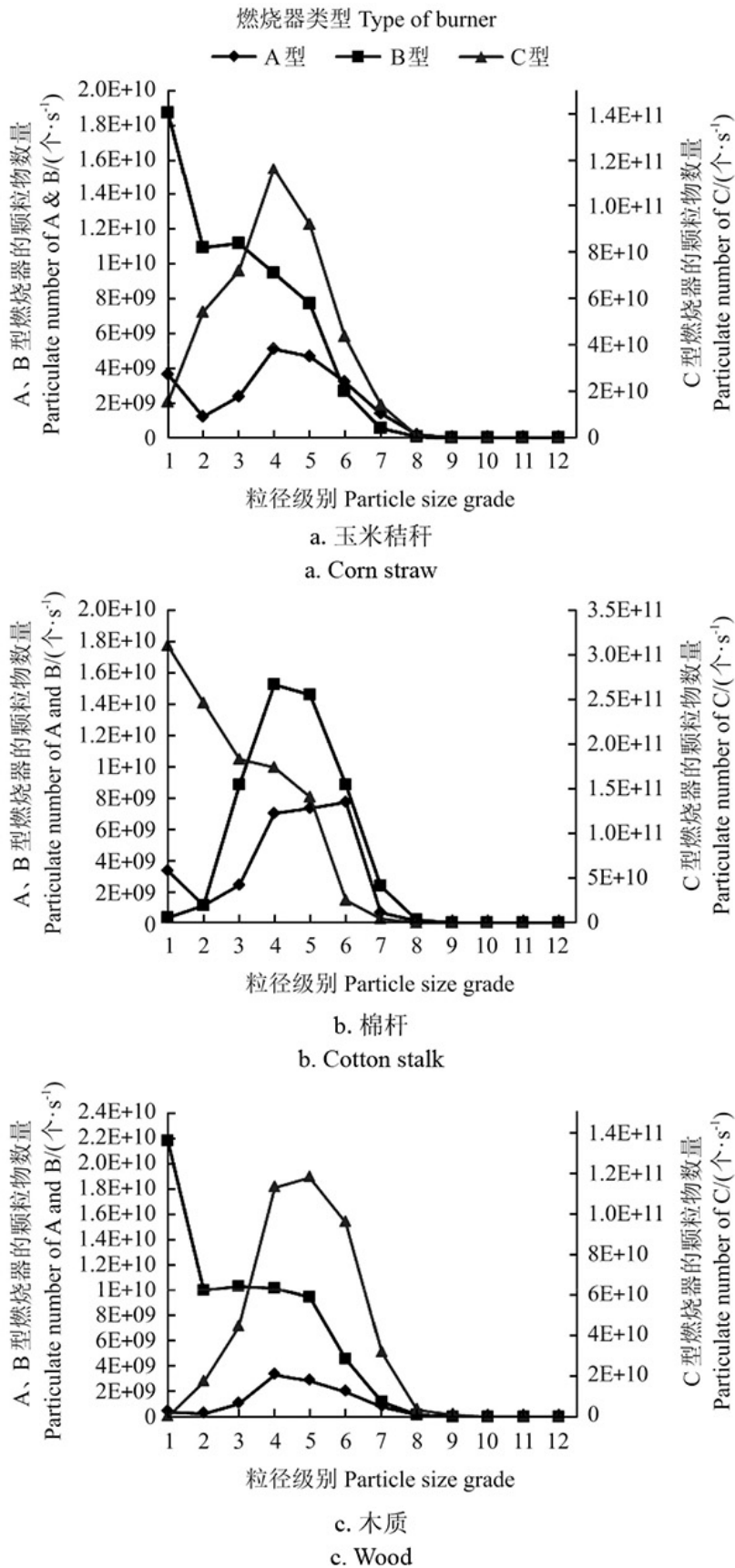


图2 3种燃烧器燃烧不同成型燃料颗粒物数量分布
Fig.2 Particle number distribution of different molding fuels in 3 burners

2.2.2 颗粒物质量分布

根据公式（2），算出3种生物质成型燃料在A、B、C型燃烧器中燃烧的颗粒物数量分布如图3。

由图3中可知，3种燃料在3种燃烧器中的颗粒物质量都是呈双峰分布，而且都是在C型燃烧器中排放的颗粒物质量最高，玉米燃料在B型燃烧器中排放颗粒物质量最少，棉杆和木质燃料在A型燃烧器排放的颗粒物质量最少。玉米秸秆在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总质量分别为396.9、249.6、6096.7 μg 。棉杆在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总质量分别为343、840.8、2414 μg 。木质燃料在A、B、C型中的每秒流出颗粒物总质量分别为226.8、293.4、9221.4 μg 。

。

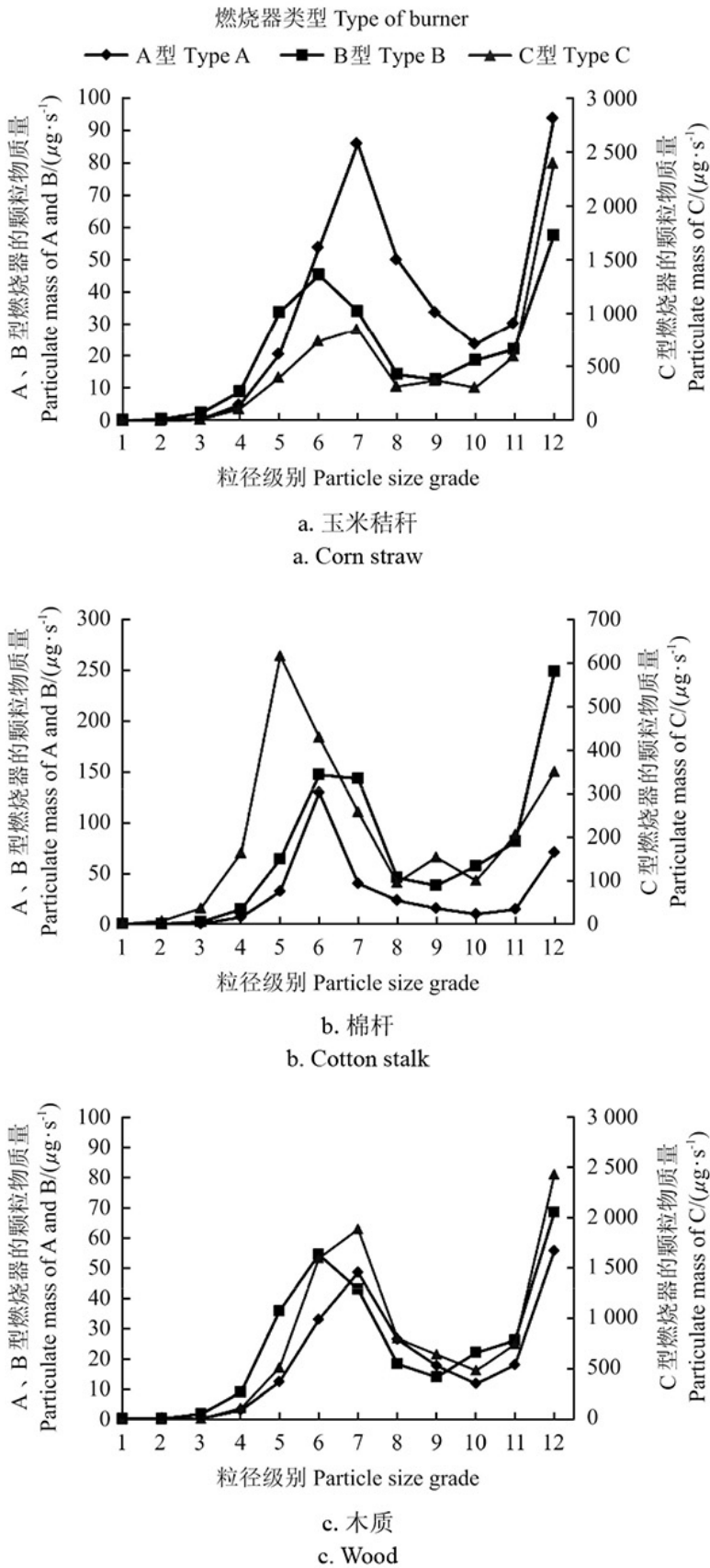


图3 3种燃烧器燃烧不同成型燃料颗粒物质量分布
Fig.3 Particle mass distribution of different molding fuels in 3 burners

玉米秸秆燃料在A型和C型燃烧器中颗粒物的质量峰值在第7级（393~637nm）和第12级（4~10 μ m），在B型燃烧器中颗粒物质量峰值在第6级（255~393nm）和第12级。经过计算，在A、B、C型3种燃烧器中PM_{2.5}（10级以下）分别占PM₁₀颗粒物质量的68.5%、70%、51%。

棉秆燃料在A型和B型燃烧器中颗粒物质量峰值在第6级和第12级，在C型燃烧器上质量峰值在5（165~255nm）级和12级。经过计算在A、B、C型3种燃烧器中PM_{2.5}分别占PM₁₀颗粒物质量的74.2%、66.9%、76.7%。

木质燃料在A型和C型燃烧器中颗粒物的质量峰值在第7级和第12级，在B型燃烧器中颗粒物质量峰值在第6级和第12级。经过计算，在A、B、C型3种燃烧器中PM_{2.5}分别占PM₁₀颗粒物质量的61.8%、67.8%、68.1%。

2.3讨论

根据得出数据，在3种燃烧器中，颗粒物的数量都是A型燃烧器最少，C型燃烧器最多，而颗粒物的质量除了玉米秸秆燃料时在B型燃烧器排放最少在C型最多外，棉秆和木质燃料仍然是A型燃烧器最少，C型燃烧器最多。而且C型燃烧器的颗粒物最大排放量是A、B两种燃烧器排放量的几十倍。

造成这种情况的原因有：

1) 燃烧器的结构。A型燃烧器的筒形结构和B型燃烧器的V字型结构，使得未燃燃料、燃烧燃料和燃后灰渣在燃烧器中有序横置排开。燃烧器中各状态燃料相互不造成影响，燃料在燃烧器中可以得到充分燃烧。C型燃烧器中，未燃燃料、燃烧燃料和燃后灰渣是从下到上纵置排开。燃烧器中的灰渣覆盖在正在燃烧的燃料之上，使得燃料燃烧不充分，造成颗粒物极大增多。A型燃烧器的筒形结构使得燃料燃烧时燃烧区域内温度更高，由表4可知，A型燃烧器的炉膛温度高于B和C型，更高的温度可以使颗粒物更好的燃烧，即使在燃烧器内没有燃尽的颗粒物，由于带有更高的温度，早排气的过程中，可以继续燃烧殆尽。所以A型燃烧器颗粒物数量降低[20]。而玉米秸秆燃料在A型燃烧器中的颗粒物质量比B型多不只是由于燃烧器结构造成，而是因为玉米秸秆挥发分少、灰分多、结渣严重，燃后的颗粒物在排出过程中难以继续燃烧殆尽所致。

2) 进料方式。A型的上进料方式可以直接将燃料进到燃烧火焰上部，火焰温度较高，可以很快将燃料点燃，燃烧充分，燃后颗粒物少^[21]。B型燃烧器燃料为水平推入，燃烧速度比A型慢。C型燃烧器采用下进料方式，燃烧器底部温度低，燃料燃烧缓慢，造成燃烧不充分。

3) 配风方式。A、B型都是采用鼓风配风，鼓风的进气量大，使得过量空气系数大，可以使得空气中的氧气很快和燃料混合，而且A型燃烧器的筒形结构，由于进风涡流的存在，空气在燃烧器中停留时间更长，与燃料的混合更充分，颗粒物更能燃烧尽^[22]。

。C型燃烧器的引风配风结构，进气量小，进气动力不足，燃料和空气不能混合充分，造成过量空气系数过低（见表4），燃料燃烧极其不充分^[23]，这是造成颗粒物多的重要原因。

4) 清渣方式。A型燃烧器为螺旋主动清渣，燃烧后的灰渣在出口处自由下落，扬灰相对较小，降低了排烟中大颗粒物的数量^[7]。B型燃烧器为被动清渣，灰渣被新进燃料推落，对颗粒物的影响效果和A型相似。C型燃烧器为抖动清渣，在抖动灰渣极大的掀起扬尘，增加烟气中颗粒物的数量。

3种燃料在3种燃烧器中的颗粒物数量分布主要集中在3~6级的积聚模态颗粒物，占总颗粒物数量的70%以上。而3种燃料在3种燃烧器上的颗粒物质量主要分布在5~7级积聚模态和12级模态，占总颗粒物质量约90%。有研究表明颗粒物的形成主要有两部分，积聚模态颗粒物由KCl、K₂SO₄等碱金属盐在温度大于500 $^{\circ}$ C时通过结核、聚集、长大过程结合而成，粒径在100~600nm之间^[24-26]。

粗模态颗粒物主要是由于燃料中存在Ca、Si等耐高温金属，其不易燃烧，在燃烧过程中形成较大的超微米颗粒物，粒径在1 μ m以上^[26-29]。3种生物质燃料分别在3种燃烧器中的颗粒物排放分布规律恰好符合这一特性。

3种燃烧器对3种燃料的颗粒物的分布在同等功率下并无太大影响。玉米和木质燃料在B型燃烧器中燃烧的更碎，导致颗粒物在1、2级的核模态颗粒物数量在所有颗粒物中比例增大，棉秆燃料在C型燃烧器中颗粒物1、2级的核模态颗粒物数量所占比例大。但是由于1、2级颗粒物粒径太小，其数量的增多对颗粒物质量分布影响甚微。

3种燃料的PM_{2.5}在3种燃烧器中所占的比例都不相同，玉米秸秆燃料在C型燃烧器中PM_{2.5}所占颗粒物比例最少；棉

杆在B型燃烧器中PM2.5所占比例少,木质在A型燃烧器中PM2.5所占比例最少。这是由于燃料的自身成分和性质不同造成的,说明不同的燃料匹配不同的燃烧器很重要。从PM2.5所占比例得出,玉米秸秆燃料应匹配C型燃烧器,棉杆匹配B型燃烧器,木质匹配A型燃烧器。

但从颗粒物排放总量得出,玉米秸秆应该匹配B型燃烧器,棉杆和木质燃料应该匹配A型燃烧器。

3结论

1) 在上进料式(A型)、水平进料式(B型)、下进料式(C型)3种燃烧器中,玉米秸秆、棉杆、木质3种生物质固体成型燃料燃烧后的颗粒物总数量排放都是在A型中最少,在C型中最多。3种生物质固体成型燃料燃烧后的颗粒物质量排放,除了玉米秸秆燃料在B型燃烧器中排放最少外,棉杆和木质仍然是在A型中最少,在C型中最多。3种燃烧器颗粒物综合总排放量A型 < B型 < C型。

2) 3种燃料排放颗粒物的数量呈单峰分布,玉米秸秆和木质在B型燃烧器上的颗粒物数量主要集中在1~5级,在A型和C型燃烧器上颗粒物数量主要集中在3~6级;棉杆在C型燃烧器上集中在1~5级,在A型和B型燃烧器上颗粒物数量主要集中在3~6级。3种燃烧器对颗粒物质量的分布影响不大,3种燃料在3种燃烧器排放的颗粒物质量分布都成双峰分布且差异不大,主要集中在5~7级和12级,占总颗粒物质量的90%。

3) 从颗粒物排放总量角度,建议不同的燃料匹配不同的燃烧器,玉米秸秆应该匹配B型燃烧器,棉杆和木质燃料应该匹配A型燃烧器。并建议生物质成型燃料燃烧器结构应具有以下特点:进料连续平稳;带有主动清渣装置并且清渣波动小;鼓风配风,保证过量空气系数高。

[参考文献]

[1]姚宗路,崔军,赵立欣,等.瑞典生物质颗粒燃料产业发展现状与经验[J].可再生能源,2010,28(6):26-32.

[2]田宜水,孟海波.农作物秸秆开发利用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.

[3]罗娟,侯书林,赵立欣,等.生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J].可再生能源,2009,27(6):90-95.

[4]姚宗路,孟海波,田宜水,等.抗结渣生物质固体颗粒燃料燃烧器研究[J].农业机械学报,2010,41(11):89-93.

[5]Frank Fiedler.The state of the art of small-scale pellet-based heating system and relevant regulations in Swede, Austria and Germany[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2004,8(3):201-221.

[6]Jonas Höglund.The Swedish fuel pellets industry:production, market and standardization[R].Swedish University of Agricultural Sciences, ExamarbeteNr14,2008.

[7]罗娟.秸秆颗粒燃料燃烧特性与燃烧器改进试验研究[D].北京:中国农业大学,2010.

[8]杨复沫,马永亮,贺克斌.细微大气颗粒物PM2.5及其研究概况[J].世界环境,2000,16(4):32-34.

[9]朱先磊,张远航,曾立民,等.北京市大气细颗粒物PM2.5的来源研究[J].环境科学研究,2005,18(5):1-5.

[10]霍雨佳.PM2.5对人体健康的危害[J].生命与灾害,2011(12):15.

[11]Use Pa.National ambient air quality standards for particulate matter[J].Fed Regis,2007:3872-3875.

[12]高健,柴发合,王淑兰.欧洲的大气颗粒物监测及标准[J].世界环境,2012(1):16-17.

[13]GB30952012,环境空气质量标准[S].

[14]Verma V K, Bram S, De Ruyck J.Small scale biomass heating systems: Standards, quality labeling and market driving factors: An EU outlook[J].Biomass & Bioenergy,2009,33(10):1393-1402.

- [15] Ghafghazi S , Sowlati T , Sokhansanj S. Particulate matter emissions from combustion of wood in district heating applications[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2011 , 15(6): 3019 - 3028.
- [16] Limousy L , Jeguirima M , Dutournié P , et al. Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets[J]. Fuel , 2013 , 107: 323 - 329.
- [17] Meyer N K. Particulate , black carbon and organic emissions from small-scale residential wood combustion appliances in Switzerland[J]. Biomass and Bioenergy , 2012 , 36: 31 - 42.
- [18] 袁艳文 , 林聪 , 赵立欣 , 等. 生物质固体成型燃料抗结渣研究进展[J]. 可再生能源 , 2009(5) : 54 - 57.
- [19] 张劲 , 王凤滨 , 高俊华. 电子低压冲击仪的颗粒物测试[J]. 汽车工程师 , 2009(2) : 41 - 45.
- [20] de Best C J J M , van Kemenade H P , Brunner T , et al. Particulate emission reduction in small-scale biomass combustion plants by a condensing heat exchanger[J]. Energy and Fuels , 2008 , 22(1): 587 - 597.
- [21] 王淮东 , 王晓东 , 武少菁 , 等. 生物质成型燃料炉灶结渣特性及影响因素试验研究[J]. 河南农业大学学报 , 2008 , 42(2) : 206 - 209.
- [22] 张永亮 , 赵立欣 , 姚宗路. 生物质固体成型燃料燃烧颗粒物的数量和质量浓度分布特性[J]. 农业工程学报 , 2013 , 29(19) : 185 - 192.
- [23] 随晶侠. 生物质成型燃料燃烧的数值模拟[D]. 大连 : 大连理工大学 , 2013.
- [24] Christensen K A. The Formation of Submicron Particles from the Combustion of Straw[D]. Lyngby Denmark: Technical University of Denmark , 1995.
- [25] Johansson L S , Tullin C , Leckner B , et al. Particle emissions from biomass combustion in small combustors[J]. Biomass and Bioenergy , 2003 , 25(4): 435 - 446.
- [26] Linda S Bafver , Bo Leckner , Claes Tullin , et al. Particle emissions from pellets stoves and modern and old-type wood stoves[J]. Biomass and Bioenergy , 2011 , 35(8): 3648 - 3655.
- [27] Song Shaojie , Wu Ye , Jiang Jingkun , et al. Chemical characteristics of size-resolved PM_{2.5} at a roadside environment in Beijing , China[J]. Environmental Pollution , 2012 , 161: 215 - 221.
- [28] Sun Yele , Zhuang Guoshun , Wang Ying , et al. The air-borne particulate pollution in Beijing: Concentration , composition , distribution and sources[J]. Atmospheric Environment , 2004 , 38(35): 5991 - 6004.
- [29] Linda S Johansson , Bo Leckner , Claes Tullin , et al. Properties of particles in the fly ash of a biofuel-fired circulating fluidized bed (CFB) boiler[J]. Energy and Fuels , 2008 , 22(5): 3005 - 3015.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/107130.html>