

# 国内外中小型生物质燃烧设备排放标准比较研究

张政清<sup>1</sup>，张毅<sup>1</sup>，高振强<sup>1</sup>，王伟<sup>2</sup>，张艳玲<sup>1</sup>，何芳<sup>1</sup>

(1.山东理工大学交通与车辆工程学院，山东淄博255049；2.潍坊博泰能源科技有限公司，山东青州262500)

**摘要：**应用中小型生物质燃烧设备进行农村供暖和工农业生产供能，对于我国节能减排、资源有效利用具有重要意义。制定科学合理的燃烧设备排放标准是生物质燃烧设备行业健康发展的重要保证。分析了目前欧美及我国生物质燃烧设备的排放标准，对比了生物质和煤燃烧小型设备的排放现状。研究表明：欧美小规模生物质燃烧设备排放要求较松，且标准体系较完善；我国目前生物质燃烧设备排放标准主要借鉴其他相关标准，且排放要求普遍较高；小型生物质燃烧设备的污染物排放显著低于相同规模的煤燃烧设备。我国应尽快建立专门针对生物质燃烧设备的排放标准体系，并适当放宽排放要求。

随着我国农业结构调整和农村经济发展，迫切需要解决农产品干燥、农业设施供暖等分布式小型供热问题。以粮食干燥为例，目前我国机械化干燥水平仅为10%（日本、韩国为80%~90%），湿谷物霉变等损失高达5%（发达国家<1%）<sup>[1]</sup>，急需发展干燥机械及与之配套的小型供热装置<sup>[2]</sup>

（一般功率<2.8MW）。我国2/3面积的农业设施（畜禽舍、温室等）供暖需求也极为迫切。秸秆是我国主要的生物质资源，每年产出约8.4亿t<sup>[3]</sup>

。应用这些季节性收获的秸秆满足农产品干燥和农业设施供暖等用能需求，可以节约优质化石能源、有效利用农业资源、维护农业生态，对促进生物质能源的应用及农业的可持续发展具有重要意义。

Loo对大量生物质燃烧设备总结后指出，应用成型燃料使设备具有自动化程度高、热效率高、污染排放低等特点，是中小型锅炉的首选<sup>[4]</sup>

。近些年，我国研

究人员对以成型燃料为主的各类中小

型生物质燃烧设备进行了大量的研究和分析<sup>[5-11]</sup>。如姚宗路等<sup>[7]</sup>

开发了抗渣生物质固体燃料燃烧器，降低

了生物质燃烧的结渣率；刘圣勇等<sup>[9]</sup>

开发了小型的玉米秸秆捆烧锅炉，并进行了检测实验，发现这种锅炉燃烧效率高、污染物排放低、工艺简单。

近年来，由于大气污染形势严峻，国家对各种锅炉设备的排放要求越来越严格。2014-2015年，在拟建设120个生物质成型燃料锅炉供热示范项目中，明确要求烟

尘排放浓度小于30mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub>排放浓度小于50mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>排放浓度小于200mg/m<sup>3</sup>

。10t/h及以上容量的锅炉应安装环保部门认可的污染物排放自动监测设备。生物质锅炉排放的合理制定是其行业健康发展的重要保证。然而，过低的标准要求起不到应有的作用，过高的要求则会在一定程度上阻碍技术的推广。如何制定合理的标准，目前研究相对较少。本文拟通过总结和研发欧美及我国中小型生物质锅炉排放标准，对比生物质锅炉和燃煤锅炉的排放现状，探讨我国中小型锅炉现阶段排放标准制定时应注意的问题，以期对相关工作的提供参

## 1 欧美中小型生物质燃烧设备排放要求

由于欧

美居民以独立供暖

为主，小型生物质燃烧供暖设备需求

量较大，在市场作用的推动下已形成产业化<sup>[4, 12]</sup>

。特别是在欧洲，拥有数百家中小型生物质燃烧设备生

产企业<sup>[12]</sup>。各国先后制定了各种排放标准<sup>[4]</sup>，大多标准规定了颗粒物、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>

、CO的排放，有些增加了VOC和氨等排放的规定。德国、瑞士等国标准见表1和表2。

表 1 德国生物质燃烧相关排放限<sup>[4]</sup>

燃料	功率/ MW	CO/ mg · m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	SO <sub>2</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	颗粒物/ mg · m <sup>-3</sup>
秸秆等(13% O <sub>2</sub> ) (BlmSchV)	<0.1	4 000	—	350	150
秸秆等(11% O <sub>2</sub> ) (TA-Luft5. 4. 1. 3)	[0.1,1)	250	500	350	50
	[1,5)	250	400	350	20
洁净木质(13% O <sub>2</sub> ) (1. BlmSchV)	[0.015,0.05)	4 000	—	—	150
	[0.05,0.15)	2 000	—	—	150
	[0.15,0.5)	1 000	—	—	150
洁净木质(11% O <sub>2</sub> ) (TA-Luft 5. 4. 1. 2. 1)	[0.5,1)	500	—	—	150
	[1,2.5)	150	250	350	100
	[2.5,5)	150	250	350	50
废木(11% O <sub>2</sub> ) (1. BlmSchV)	[5,50)	150	250	350	20
	[0.05,0.1)	800	—	—	150
	[0.1,0.5)	500	—	—	150
废木(11% O <sub>2</sub> ) (TA-Luft 5. 4. 1. 2. 1)	[0.5,1)	300	—	—	150
	[1,5)	150	400	350	50
	[5,50)	150	400	350	20

表 2 瑞士生物质燃烧排放限<sup>[4]</sup>

功率/MW	氧浓度/%	CO/ mg · m <sup>-3</sup>		VOC/ mg · m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> /mg · m <sup>-3</sup>	氨等/mg · m <sup>-3</sup>	颗粒物/mg · m <sup>-3</sup>
		原木	废木				
(0.02,0.07]	13	4 000	1 000	—	—	—	—
(0.07,0.2]	13	2 000	1 000	—	—	—	150
(0.2,0.5]	13	1 000	800	—	—	—	150
0.5,1	13	500	500	—	—	—	150
(1,5]	11	250	250	50	—	30	150
>5	11	250	250	50	—	30	50

欧洲国家排放要求大多根据燃烧设备功率以及燃料种类的不同而有所不同，排放限值较为详细。大多数国家对小型生物质锅炉的排放要求较松，比如瑞士对小于0.02MW的小设备无任何要求。德国对小燃烧设备主要对颗粒排放物有一定的要求，其余指标均较松。欧洲大多数国家只对大于2MW的锅炉才有较为严格的要求，而且，标准中各排放指标数值的折算烟气基准氧浓度常为11%、13%等，显著高于煤炭燃料燃烧设备常用的6%。这些表明，欧洲各国生物质燃烧设备的排放标准普遍比煤炭燃烧设备或通用标准要求宽松。对于小锅炉采用宽松的排放限值，可以鼓励企业和用户开发和使用生物质锅炉，大大促进生物质燃烧技术的发展和应。有些欧洲国家，如挪威等，对现有设备和新建设备的排放限值分别作了详细的规定。挪威对小于0.5MW的小型生物质燃烧设备的排放限值不作规定。这些措施都使排放限值更加具体细化和完善化。

美国的生物质燃烧设备排放法规不如欧洲完善，对大于9MW的燃烧设备限制较为严格，而对较小设备则要求宽松。美国生物质燃料的使用多集中于东北部各州

，且主要以木质燃料为主<sup>[13]</sup>

。由于木质燃料中S、N

的含量较少，因此排放法规侧重于对颗粒物和C

O排放的控制，对SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>

排放要求较少。联邦法规将每年排放大于10t某一污染物或大于25t混合污染物的设备称为主污染源，低于此排放值的设备称为区域污染源<sup>[14]</sup>。美国联邦空气污染物排放部分标准见表3。

表3 美国联邦空气污染物排放标准<sup>[14-15]</sup>

污染源	燃料	设备类型	功率/ MW	CO/ g · MJ <sup>-1</sup>	PM/ g · MJ <sup>-1</sup>	
主污染源	湿生物质	倾斜炉排		0.86	0.05	
	窑炉干燥生物质	倾斜炉排		0.64	0.05	
	生物质/基于生物质固体燃料		流化床机组		0.33	0.02
			悬浮燃烧器	≥3	3.4	0.05
			桩式燃烧器		0.43	0.01
			燃料电池组		0.13	0.04
			混合悬浮炉		1.51	0.05
区域污染源	生物质	非季节性或限制性锅炉	3~9	—	0.01	
			≥9	—	0.03	

注：美国排放限值以磅/MMBtu 为单位，表中数据为笔者换算得到  
2国内排放标准情况

国内目前没有专门针对生物质锅炉排放的国家标准，根据《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）中的有关规定，生物质成型燃料锅炉参照燃煤锅炉的排放标准。同时国标还规定了新建锅炉排放标准以及重点地区特别排放标准。国内在小型生物质炉具生产行业标准中有对其排放的相关要求。除了行业标准规定外，某些地方如北京、河北等对小型生物质炉具排放也有各自的地方标准。

表4中列举了我国目前与生物质燃烧设备相关的一些排放要求，本文也将2014-2015年拟建生物质锅炉供暖示范项目要求列于表中，以便于对比。表4中锅炉排放基准氧含量为9%，小型生物质炉具排放无基准氧含量的规定。

表4 国内生物质燃烧设备排放限值

数据来源	类型	功率/ kW	SO <sub>2</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	烟尘排放浓度/ mg · m <sup>-3</sup>
GB 13271—2014	在用锅炉	—	400	400	80
		—	550 <sup>(1)</sup>	400	80
	新建锅炉	—	300	300	50
		重点地区	—	200	200
国家行业标准 (NB/T34006—2011)	生物质炉具	<50	30	150	50
北京地方标准 (DB11/T540—2008)	生物质炉具(中心城区)	<50	20	150	10
	生物质炉具(中心城区外)		30	150	30
河北地方标准 (DB13/T1407—2011)	生物质炉具	<50	50	150	50
国能新能[2014]295号	供暖示范	≥7 000	50	200	30

注：<sup>(1)</sup>位于广西壮族自治区、重庆市、四川省和贵州省的燃煤锅炉执行该限值

通过对比可以看出，我国生物质燃烧设备排放标准目前还不完善，主要参考燃煤锅炉的排放标准，没有依据燃烧设备类型和规模形成体系标准，但总体来说比欧美要求严格，特别是对常用中小型燃烧设备。这些严格的要求会在一定程度上影响我国尚不成熟的生物质燃烧设备行业的发展，不利于生物质能的开发和应用。

### 3国内外现有生物质燃烧设备排放情况及与小型煤炉对比

#### 3.1国外生物质锅炉排放现状

Williams [16]

总结了世界各国生物质燃烧设备排放情况，如表5所示。从表5中可以看出，采用成型燃料燃烧的锅炉以及稍大规模带有除尘设备的锅炉，可以大大减少颗粒物以及未完全燃烧气体的排放。小型燃烧设备CO排放值较高，这是由于碳的未完全氧化导致的。

表 5 生物质燃烧的大致排放水平<sup>[16]</sup>

设备种类和功率	燃料	NO <sub>x</sub> /mg · m <sup>-3</sup>	颗粒物/mg · m <sup>-3</sup>	烃/mg · m <sup>-3</sup>	CO/mg · m <sup>-3</sup>	折算 O <sub>2</sub> /%
农户炉灶	木质	100~500	5 000	100	250~900	11
户用锅炉(2~10kW)	锯片芒草	100~500	20~100	10	250	6
成型锅炉(2~25kW)	成型燃料	100~500	20	10	200	11
固定床(20kW~2.5MW)	生物质	150~400	1	10	130	11
移动床(150kW~15MW)	秸秆	150	1	10	150	11
流化床(100MW)	生物质	150	5	15	5	11
混烧炉(1GW)	生物质	250	15	0.1	100	6

2009年美国北部各州协调大气利用管理组织和相关协会<sup>[13]</sup>对美国生物质锅炉进行了检测，测出的主要排放物浓度如表6所示。

表 6 美国对大量生物质锅炉排放的检测结果

污染物	测试次数	排放限值/ lb · MMBtu <sup>-1</sup>	换算值/ mg · MJ <sup>-1</sup>
PM2.5	31	0.12~1.95	50~838
NO <sub>2</sub>	45	0.11~0.43	47~184
CO	44	0.04~2.27	17~936

注：排放限值是以 lb/MMBtu 为单位，笔者根据原数据进行了换算。

### 3.2国内生物质燃烧设备排放现状

我国生物质锅炉排放数据较少，本文收集列举了部分文献中的数据<sup>[17-19]</sup>

，如表7所示。本文作者于2015年12月份检测了山东师范大学历山学院7MW生物质热水锅炉；于2016年5月份检测了潍坊博泰能源科技有限公司4kW小型生物质供暖炉和1MW生物质山楂食品干燥炉的排放。设备如图1所示。检测设备均采用德国ecom-J2kn型烟气分析仪，经多次检测，平均结果列于表7中。

表7 中国小型生物质锅炉排放情况

功率	原料	SO <sub>2</sub> /mg·m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> /mg·m <sup>-3</sup>	烟尘/mg·m <sup>-3</sup>	CO/mg·m <sup>-3</sup>	数据来源
1.4MW	木质	17	314	36	—	文献[17]
	秸秆	106	378	19	—	
2.1MW	木质	14	144	40	—	
	秸秆	196	303	110	—	
8kW	秸秆	15	138	—	1250	文献[18]
1.4MW	木质	15	145	42	—	文献[19]
	秸秆	105	387	18	—	
1.4MW	木质	18	324	35	—	
	秸秆	189	312	110	—	
4kW	木质颗粒	<15	42	55	1200	本文作者检测数据
1MW	木质颗粒	<18	189	60	310	
7MW	木质颗粒	—	307	37	224	



(a) 4kW 生物质燃烧炉



(b) 7MW 生物质供暖锅炉

图1 4kW和7MW生物质燃烧设备

从表7可以看出，我国小型生物质燃烧设备的排放并不明显比国外高或超出国外排放限值，这是由生物质本身低硫低氮的成分特性决定的。

### 3.3 小型生物质锅炉和煤炉排放对比

我国传统小煤炉应用较多，特别是农业生产用能和北方农村地区冬季家庭供暖。Wang等<sup>[20]</sup>

的研究表明，采用柳林煤和临汾煤的传统小煤炉（10kW以下）的SO<sub>2</sub>排放可高达1300mg/m<sup>3</sup>和1200mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>排放约为100mg/m<sup>3</sup>，数据见表8。Mitch-ell等<sup>[21]</sup>

对比了采用同样的小型固定床燃烧设备，波兰煤和生物质的排放情况，结果也列于表8中。表7中4kW、8kW小型生物质炉排放值和表8中数据对比表明，小型煤炉的SO<sub>2</sub>排放远高于生物质炉，NO<sub>x</sub>排放也相对偏高。

**表 8 小型燃煤和燃生物质设备排放情况对比表**

原料	SO <sub>2</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> / mg · m <sup>-3</sup>	烟尘/ mg · m <sup>-3</sup>	CO/ mg · m <sup>-3</sup>	备注
柳林煤	1 300	105	—	—	中国传统小煤炉
临汾煤	1 200	100	—	—	
波兰煤	—	162	294	2 990	英国小燃烧装置
压块松木	—	32	116	2 400	

煤的大型燃烧已经非常成熟，辅以各种烟气处理设备，可以实现高效率、低排放燃烧。然而，对于小型燃煤设备，

<sup>2</sup>的排放。而且生物质在农村的分散应用会大大降低收集、运输、储存成本。因此，国家可以制定相关政策，鼓励农村小型供热、供能设备采用生物质燃烧的方式，用来代替小型燃煤设备，这样可以大大降低环境污染。

#### 4结束语

通过总结分析欧美及我国生物质燃烧设备排放标准、对比小型生物质和燃煤燃烧设备的排放现状可知：欧美排放标准多根据设备规模大小不同而有所不同，越小规模的设备，排放要求越松；目前我国生物质燃烧设备排放标准不完善，主要借鉴其他相关标准，排放要求普遍较高，不利于中小型生物质燃烧技术的发展和应；生物质燃烧设备的颗粒物、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>等的排放相对低于燃煤燃烧设备。

生物质燃烧应用对我国节能减排和农村可持续发展都具有重要意义。为了发展我国中小型生物质燃烧设备行业，根据我国现有技术情况应当完善并适当放宽中小型燃烧排放标准，根据设备规模及可能采取的排放措施，制定合理的颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及CO的排放限值。

## 参考文献:

- [1] 吴文福, 刘春山, 韩峰, 等. 中国粮食产地干燥的发展现状及趋势[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 321-325.
- [2] 李笑光. 我国农产品干燥加工技术现状及发展趋势[J]. 农业工程技术, 2014(2): 16-20.
- [3] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.
- [4] LOO S V, KOPPEJAN J. The handbook of biomass combustion and co-firing[M]. London: Earthscan, 2008: 291-348.
- [5] 翟万里, 刘圣勇, 管泽运, 等. 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉的研制[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 243-249.
- [6] 姚宗路, 吴同杰, 赵立欣, 等. 生物质成型燃料燃烧挥发性有机物排放特性试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 235-240.
- [7] 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.
- [8] 苏俊林, 罗小金, 矫振伟, 等. 燃用生物质颗粒燃料锅炉的燃烧及排放特性[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010, 40(4): 953-958.
- [9] 刘圣勇, 白冰, 刘小二, 等. 生物质捆烧锅炉的设计与研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(12): 527-531.
- [10] 付成果. 秸秆燃料特性及清洁燃烧设备研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [11] 高振强, 罗冰, 孙鹏, 等. 小型生物质铡碎料直燃热水锅炉的设计和实验[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(6): 263-266.
- [12] MÍGUEZ J L, MORÁN J C, GRANADA E, et al. Review of technology in small-scale biomass combustion systems in the European market [J]. Renewable Sustainable Energy Rev, 2012, 16(6): 3 867-3 875.
- [13] CONEG Policy Research Center, Inc. Biomass Boiler & Furnace Emissions and Safety Regulations in the Northeast States [EB/OL]. (2009-6)[2016-8-30]. <http://www.mass.gov/eea/docs/doer/renewables/biomass/doer-biomass-emissions-and-safety-regulations.pdf>.
- [14] EPA. National Emission Standards for Hazardous Air Pollu-

tants for Major Sources; Industrial, Commercial, and Institutional Boilers and Process Heaters; Proposed Rule[Z]. Washington D. C. :Environmental Protection Agency,2015.

- [15] EPA. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources; Industrial, Commercial, and Institutional Boilers[Z]. Washington D. C. :Environmental Protection Agency,2015.
- [16] WILLIAMS A, JONES J M, MA L, et al. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2012, 38(2): 113-137.
- [17] 耿春梅, 陈建华, 王歆华, 等. 生物质锅炉与燃煤锅炉颗粒物排放特征比较[J]. 环境科学研究, 2013, 26(6): 666-671.
- [18] 谭文英, 许勇, 王述洋, 等. 生物质燃料多功能炉设计与性能测试[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 10-17.
- [19] 魏海虹, 刘旭. 生物质锅炉与燃煤锅炉颗粒物排放特征比较分析[J]. 科学中国人, 2015(27): 48.
- [20] WANG J, LOU H H, YANG F, et al. Development and performance evaluation of a clean-burning stove [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 134(30): 447-455.
- [21] MITCHELL E J S, LEA-LANGTON A R, JONES J M, et al. The impact of fuel properties on the emissions from the combustion of biomass and other solid fuels in a fixed bed domestic stove [J]. Fuel Processing Technology, 2016, 142 (14): 115-123.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/159275.html>