

珠海市生物质成型燃料利用  
污染防治技术指引  
(暂行)

珠海市环境保护局  
二〇一三年四月



# 前言

《中华人民共和国可再生能源法》（主席令[2005]33号）第十六条提出国家鼓励清洁、高效地开发利用生物质燃料，鼓励发展能源作物。《可再生能源中长期发展规划》（发改能源[2007]2174号）对生物质成型燃料的发展空间和产业地位都作了明确规划，生物质成型燃料能源发展前景良好。2011年3月16日，我国发布的“十二五”规划明确提出大力发展沼气、作物秸秆及林业废弃物利用等生物质能。

正由于生物质成型燃料经济、环保的优点，珠海市一些企业正在使用或计划使用这种成型燃料。我国生物质成型燃料利用技术虽有所发展，但还没有针对其利用制定污染排放标准和规范。不适当地利用生物质成型燃料可能会污染环境，并制约该产业的发展。

为指导珠海市辖区内各单位科学、合理地利用生物质成型燃料，有效控制生物质成型燃料利用时的环境污染，我局组织编制了本指引。

# 第一章 编制说明

## 1.1 适用范围

本技术指引适用于珠海市企业或单位利用生物质成型燃料利用的污染防治及其环境管理，但不作为家庭利用生物质成型燃料污染防治技术指引。

其他地区企业或单位可结合当地标准政策，结合本技术指引整体思路，有选择性利用本技术指引。

## 1.2 指引内容

本技术指引分为五章，第一章为编制说明，第二章为生物质成型燃料概述，第三章为生物质成型燃料利用污染防治。第二章介绍了生物质成型燃料的定义、分类、压缩成型工艺技术及设备、燃烧设备、燃料特性等，以便读者对生物质成型燃料有系统了解，从而有利于对第三章污染防治部分的阅读及理解。第四章简单介绍珠海市生物质成型燃料利用现状，并结合其实际情况。第五章提出珠海市对生物质成型燃料利用的环境管理要点。

文中部分地方将生物质成型燃料简称为成型燃料。

本技术指引的指引内容有：

（1）结合国内生物质成型燃料相关标准、技术政策，指导企业或单位选择符合标准的燃料；企业或单位也可根据燃烧设备优缺点、适用性选择合适的燃烧设备及生物质成型燃料；

（2）结合国家标准，参考地方政策，给出珠海市可参考的生物质成型燃料利用污染物排放标准，可根据标准判断特定企业或单位利用生物质成型燃料过程中是否达到环保要求，若不符合要求，应及时整改至排放达标；

（3）结合国内外文献、专著，总结出适合生物质成型燃料利用的污染预防及烟气净化措施；

（4）说明了炉灰炉渣的处理与利用，特别需要注意炉灰炉渣利用时的注意事项，并给出国外生物质灰重金属含量限值，可作利用炉灰炉渣作为肥料时的参考标准。

## 第二章 生物质成型燃料概述

本章简单介绍了以下几部分内容：生物质成型燃料的定义、分类；生产工艺及流程；压缩成型技术、设备；燃烧设备；燃料特性等，使读者对生物质成型燃料有系统了解，并为理解第三章的生物质成型燃料利用污染防治技术指引作铺垫。

### 2.1 生物质成型燃料定义、分类

#### 2.1.1 定义

生物质成型燃料是采用农林废弃物（秸秆、稻壳、木屑、树枝等）为原料，通过专门设备在特定工艺条件下压缩加工制成的棒状、块状或颗粒状等的燃料，也可称之为生物质压缩成型燃料、致密成型燃料等。

#### 2.1.2 分类

参照农业部颁布的《生物质固体成型燃料技术条件》(NYT 1878-2010)，生物质成型燃料按形状可分为颗粒燃料、块状和棒状燃料，这也是最常用的分类方法，图 2-1 为常见的颗粒、棒状、块状燃料；按使用原料分为木质类、草本类及其他生物质成型燃料。



(a) 颗粒燃料

(b) 棒状燃料

(c) 块状燃料

图 2-1 常见生物质颗粒、棒状及块状燃料

根据国内外资料，也可按以下方式分类：

按照是否有添加物的情况，将生物质成型燃料分为单一组分的成型燃料和复合成型燃料；按照成型后的密度大小，生物质成型燃料可分为高、中、低三种密度。

分类内容详见表 2-1。

表 2-1 生物质成型燃料分类

分类方式	类别	内容
按燃料形状分	颗粒燃料	直径或横截面尺寸小于等于 25mm 的生物质成型燃料
	棒（块）状燃料	直径或横截面尺寸大于 25mm 的生物质成型燃料
按原料分	木质类	包含：木材加工后的木屑、刨花；树皮、树枝、竹子等工业、民用建筑木质剩余物
	草本类	包含：芦苇、各种作物秸秆、果壳及酒糟等有机加工剩余物
	其他	包含能够粉碎并能压制成型燃料的固体生物质
按是否有添加物情况分	单一组分燃料	无加入添加剂
	复合燃料	为了便于成型、增加成型效果或增加燃料的除硫效果在原料中添加一些粘结剂、除硫剂
按密度分	高密度	密度大于 1100 kg /m <sup>3</sup>
	中密度	密度介于 700~1100kg/m <sup>3</sup> 之间
	低密度	密度在 700kg /m <sup>3</sup> 以下

## 2.2 压缩成型技术

### 2.2.1 压缩成型原理

各种农林废弃物主要由纤维素、半纤维素和木质素组成，木质素为光合作用形成的天然聚合物，具有复杂的三维结构，属于高分子化合物，它在植物中的含量一般为 15%~30%。木质素不是晶体，没有熔点但有软化点，当温度为 70~110℃时开始软化，木质素有一定的黏度；在 200~300℃呈熔融状、黏度高，此时施加一定的压力，增强分子间的内聚力，可将它与纤维素紧密粘接并与相邻颗粒互相黏结，使植物体变得致密均匀，体积大幅度减少，密度显著增加。当取消外部压力后，由于非弹性的纤维分子之间的相互缠绕，一般不能恢复原来的结构和形状。在冷却以后强度增加，成为成型燃料。压缩时如果对植物原料进行加热，有利于减少成型时的挤压力。

对于木质素含量较低的原料，在压缩成型过程中，可掺入少量的粘结剂，使成型燃料保持给定形状。可供选择的粘结剂包括粘土、淀粉、糖蜜、植物油等。

### 2.2.2 压缩成型生产工艺

生物质压缩成型在加工方式上可分为常温成型和加热成型。

#### (1) 常温成型技术

常温成型是将原料在自然干燥含水率状态下挤压成型的过程，其粘结力主要是靠挤压过程所产生的摩擦热，使生物质中木质素产生塑化粘结。

工艺流程见图 2-2。

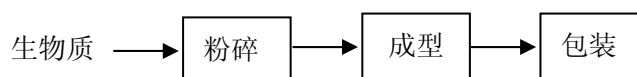


图 2-2 生物质燃料常温成型工艺流程

#### (2) 加热成型技术

加热成型即在成型过程中对原料进行加热的成型方式。加热成型技术的工艺流程见图 2-3。

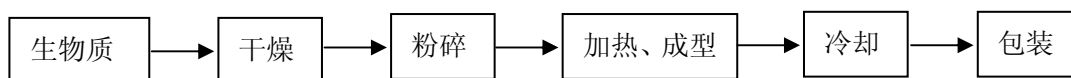


图 2-3 生物质燃料加热成型工艺流程

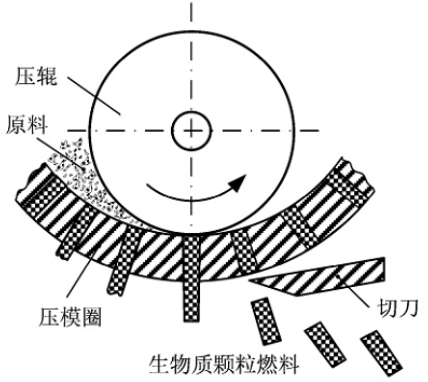
### 2.2.3 成型设备简介

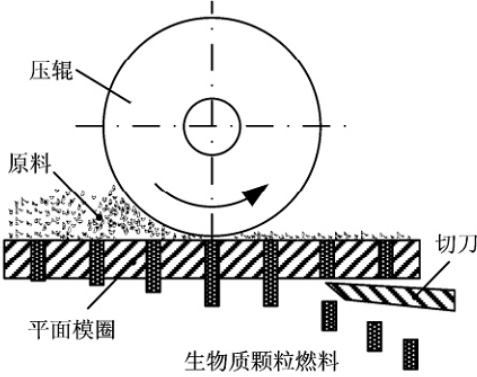
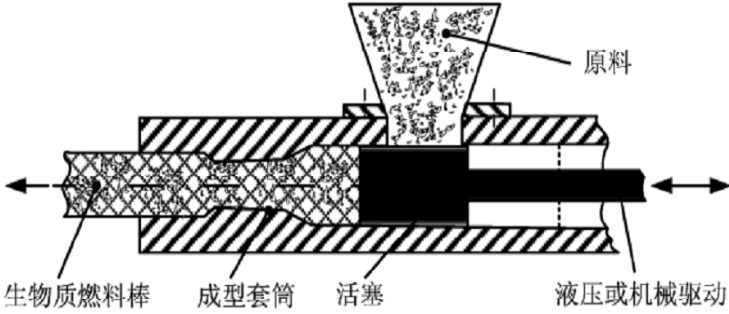
参照农业部颁布的《生物质固体成型燃料成型设备技术条件》（NYT 1882-2010），根据成型原理的不同将生物质成型设备分为环模式、平模式、液压冲压式、机械冲压式及螺旋挤压式成型机，也可按设备生产出的成型燃料的形状分为棒状成型设备、块状成型设备和颗粒状成型设备。

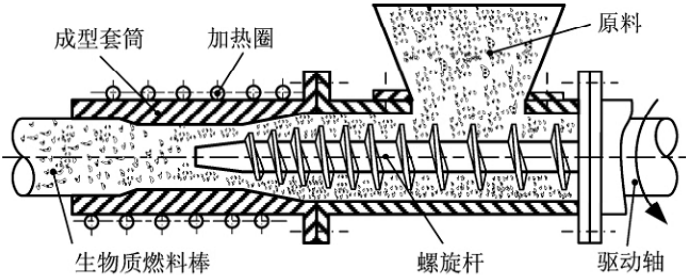
表 2-2 按照成型原理分类方式简单介绍各类成型设备，其中环模式、平模式成型机可归为压辊式成型机，液压冲压式及机械冲压式成型机可归为活塞冲压式成型机。



表 2-2 生物质成型燃料成型设备分类及介绍

类型	原理	适用性及优缺点	结构原理图
压 辊 式 成 型 机	<p>主要工作部件是压力室的压辊和压模圈。压模圈的周围钻有许多成型孔，在压模圈内装有两对压辊，压辊外圈加工有齿或槽，用于压紧原料不打滑；压辊装在一个不动的支架上，压辊能跟随压模圈的转动而自转，压辊与压模圈保持很小的间隙，工作时压模圈由驱动轴驱动作等速顺时针回转，进入压模圈的生物质原料被转动着的压模圈带入压辊和压模圈之间，生物质原料被两个相对旋转件逐渐挤压通过压模孔向外挤出，再由固定不动的切刀将其切成短圆柱状颗粒，如图 2-4 所示。</p>	<p>主要用于生产颗粒状成型燃料，可采用常温成型技术。</p> <p>对原料含水率要求较宽，一般在 10%~40%之间均能很好成型，颗粒成型燃料密度一般为 1.0~1.4g/cm<sup>3</sup>。</p> <p>但存在噪声大、易堵塞、振动大的问题。</p> <p>平模式成型机允许使用粒径稍大的原料，特别适用于压制纤维性原料其具有结构简单，制造简单，造价低廉等特点。平模方式很难产生 40MPa</p>	 <p>图 2-4 环模颗粒成型机结构原理图</p>
	<p>平模颗粒成型机的压模为一水平固定圆盘，在圆盘与压辊接触的圆周上开有成型孔，送料器把原料均匀地撒布于固定压模表面；然后旋转的压辊将原</p>	<p>以上的压力，所以只用于生产密度较低的颗粒燃料。</p>	

类型	原理	适用性及优缺点	结构原理图
	<p>料挤入平模模孔，压出圆柱状的生物质成型燃料，再被与主轴同步旋转的切刀切断成要求的颗粒长度，如图 2-5 所示。</p>		 <p>图 2-5 平模颗粒成型机结构原理</p>
<p>活塞冲压式成型机</p>	<p>活塞冲压式成型机由外部加热维持成型温度 160~200℃，将木质素纤维素等软化，形成黏结剂，高压力的活塞往复运动推动生物质通过成型模具形成生物质致密成型燃料，结构原理如图 2-6 所示。其进料、压缩和出料都是间歇进行的，即活塞往复运动 1 次形成 1 个压缩周期。</p> <p>液压式：是油泵在电机的带动下，</p>	<p>常用于生产实心燃料棒或燃料块，密度介于 0.8~1.1g/cm<sup>3</sup> 之间，密度稍低容易松散。</p> <p>机械冲压式成型机结构简单，生产能力大；但振动负荷较大，造成机器运行稳定性差，噪音较大，还存在润滑油污染较严重等问题。</p>	 <p>图 2-6 活塞冲压式成型机结构原理图</p>

类型	原理	适用性及优缺点	结构原理图
	<p>把电能转化成液体的压力能,驱动活塞冲压生物质原料通过成型套筒制成生物质成型燃料。</p> <p>机械式:一般采用发动机或电动机带动飞轮,利用飞轮储存能量通过曲柄连杆机构带动活塞做高速往复运动,产生冲击力将生物质压缩成型。</p>	<p>液压冲压式成型机易应用,维护简单,运行较稳定,噪音小,但成型密度偏低,成品机械性能偏低。</p>	
螺旋挤压式成型机	<p>螺旋式挤压成型机是靠外部加热维持成型温度为 150 ~ 300℃,将木质素、纤维素等软化,形成黏结剂,螺旋杆连续挤压生物质通过成型模具形成生物质成型燃料,如图 2-7 所示。螺旋式挤压成型机启动时成型部件和物料温度低于成型温度,因此需要用电热元件加热成型部件。</p>	<p>一般将原料的含水率控制在 8%~12%之间,成型压力的大小随原料和所要求成型块密度的不同而异,一般在 50~200MPa 之间,其相对密度通常介于 1.0~1.4g/cm<sup>3</sup> 之间,燃料的形状通常为燃料棒。</p> <p>螺旋挤压式成型机运行平稳、生产连续、所成型棒易燃,但螺旋杆和成型套筒磨损严重,使用寿命短,单位产品能</p>	 <p>螺旋式挤压成型机结构原理图</p> <p>图 2-7</p>

类型	原理	适用性及优缺点	结构原理图
		耗高，并且生产率相对较低，成型过程对物料含水率、颗粒大小等有严格要求。	

## 2.2.4 成型设备要求

设备应符合《生物质固体成型燃料成型设备技术条件》（NYT 1882-2010）的要求，详见表 2-3。

表 2-3 成型设备要求

项目	单位	产品外形	指标
成型设备能耗	kWh/t	颗粒状	≤90
		棒状	≤70
		块状	≤60
设备维修周期	h	颗粒状、块状	>500
		棒状	>1500
产量	t/h	颗粒状、块状	≥设计值
		棒状	≥设计值
成型率	%	>90	
安全防护装置		运动部件和加热器设置安全防护装置	
运行环境噪音	dB	≤85	
运行环境粉尘浓度	mg/m <sup>3</sup>	≤10	
产品	符合 NY/T 1878-2010 的要求		

## 2.3 生物质成型燃料工业燃烧技术与设备

生物质成型燃料燃烧技术主要分为层燃、流化床和悬浮燃烧等三种形式，图 2-8 为主要燃烧技术的示意图。

本节将简单介绍各类技术及相关设备，针对生物质成型燃料燃烧的各类设备适用性可见 3.3.2 燃烧设备的选择中的表 3-5。

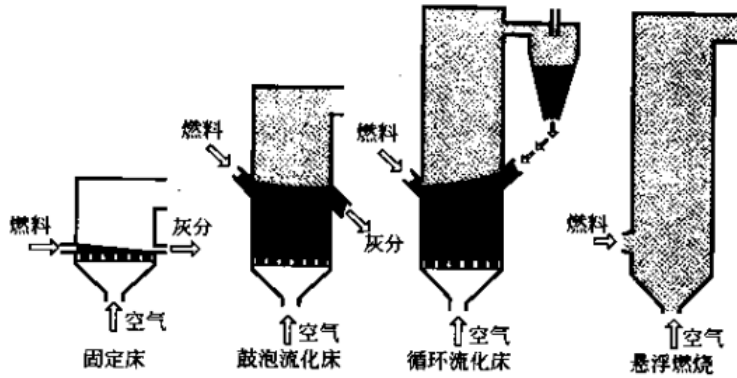


图 2-8 生物质燃烧技术示意图

### 2.3.1 层燃技术

在层燃方式中，生物质平铺在炉排上形成一定厚度的燃料层，进行干燥、干馏、燃烧及还原过程。空气（一次配风）从下部通过燃料层为燃烧提供氧气，可燃气体与二次配风在炉排上方的空间充分混合燃烧。

在工业应用中，层燃燃烧技术应用于多种燃烧装置中，包括固定床、移动炉排、旋转炉排、振动炉排及下饲式等，炉排燃烧以其对燃料适应性强的优点被广泛应用，可适用于含水率较高、颗粒尺寸变化较大及灰分含量较高的生物质，具有较低投资和操作成本，一般额定功率小于 20MW。

根据给料和给风方向布置，层燃炉还可分为：顺流、叉流及逆流，如图 2-9。

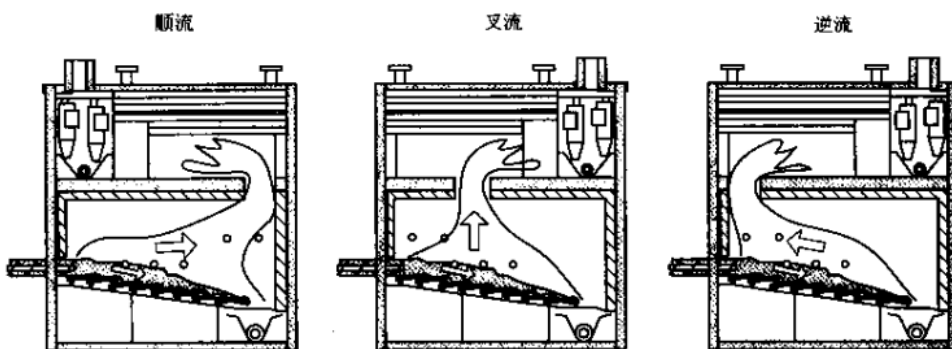


图 2-9 不同层燃系统示意图

顺流——给风方向与给料方向相同，主要适用于干燥燃料或者使用预热空气；

逆流——给风方向与给料方向相反，比较适合于热值较低的燃料；

叉流——给风方向与给料方向垂直交叉，这种布置方式烟气更容易循环流

通。

### 2.3.2 流化床燃烧技术

根据技术类型的不同，流化床分为鼓泡流化床(BFB)和循环流化床(CFB)。BFB 系统的额定出力通常大于 20MW，床料位于燃烧炉底部(见图 2-10)，一次空气从底部布风板进入。与燃煤的流化床不同，生物质燃料不是从上面进料，而是直接进入燃烧室内部。循环流化床燃烧技术指小颗粒的煤与空气在炉膛内处于沸腾状态下，即高速气流与所携带的稠密悬浮煤颗粒充分接触燃烧的技术，其示意图见图 2-11。

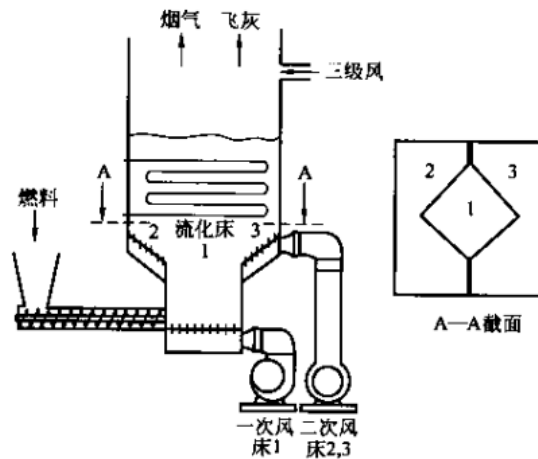


图 2-10 BFB 流程图

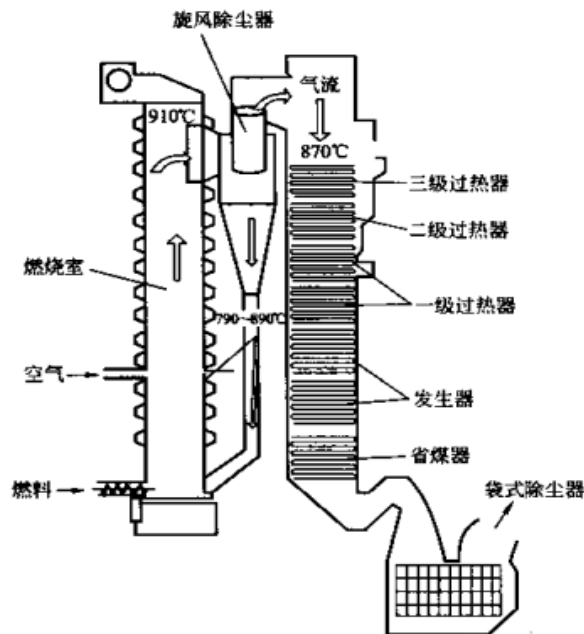


图 2-11 CFB 示意图

该技术燃料适应范围广，能够使用一般燃烧方式无法燃烧的石煤和煤矸石等劣质燃料、含水率较高的生物质及混合燃料（如木材和秸秆的混合）等；此外，其可降低尾气中氮和硫的氧化物等有害气体含量。

### 2.3.3 悬浮燃烧技术

在悬浮燃烧系统中，燃料（如锯末和细刨花）被气流携带喷入炉膛内。输送燃料的空气被称为一次空气。锅炉的启动通过辅助燃烧器来完成。当炉膛达到一定燃烧温度时，关闭辅助燃烧器，同时开始喷入生物质燃料。悬浮燃烧使用性质均匀的燃料。燃料最大颗粒尺寸保持在 10mm 之内，含水量不超过湿重的 20%。图 2-12 为采用悬浮燃烧技术的生物质水管锅炉。

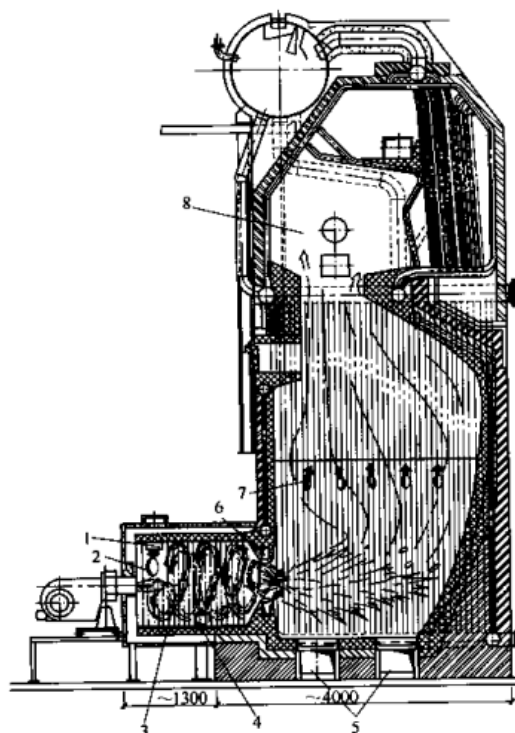


图 2-12 采用悬浮燃烧技术的生物质水管锅炉示意图

- 1-初级空气；2-燃料输送；3-还原段；4-烟气回流；  
5-灰室；6-二次空气；7-三次空气；8-锅炉水管

## 2.4 生物质成型燃料特性

### 2.4.1 相关定义

(1) 工业分析：工业分析组成使用工业分析法得出燃料的规范性组成，该



组成可给出固体燃料中可燃成分和不可燃成分的含量,可燃成分的工业分析组成为挥发分和固定碳,不可燃成分为水分和灰分

(2) 元素分析: 元素分析组成是指组成燃料的各种元素(主要是可燃质的有机元素),不反映由元素组成的化学组成与结构。生物质固体燃料是由多种可燃质、不可燃的无机矿物质及水分混合而成的,其中,可燃质是多种复杂的高分子有机化合物的混合物,主要由 C、H、O、N 和 S 等元素所组成,其中 C、H 和 O 是生物质的主要成分。

(3) 热值: 各类燃料最重要的特性是热值(或发热量),它决定燃料的价值,是进行燃烧等转化的热平衡、热效率和消耗量。高位热值(HHV)是燃料在空气中完全燃烧时放出的热量,从燃料高位热值扣除水汽化潜热后所净得的值就是低位热值(LHV)。

## 2.4.2 生物质燃料工业分析、元素分析、热值测定结果

表 2-4 是以可燃基计时几种主要生物质的工业分析、元素分析和热值测定结果。

生物质中的水分含量以及挥发分含量要远高于煤的,固定碳以及灰分要低于煤。

生物质主要由 C、H、O 及少量的 N、S 等元素组成,其中 C 元素的含量低于煤的,而 H、O 都高于煤的,因此,生物质要拥有比煤高的 H/C、O/C 比,高的 H/C、O/C 比表征着生物质含有更高的挥发分含量,同时高 O/C 比也意味着较低的热值。生物质含有较低的 N、S 元素,在生物质燃烧过程中,NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 的排放可能会降低,对含硫量小于 0.1%的生物质一般可不需要烟气脱硫装置,但需从实际出发,测定污染物 SO<sub>2</sub> 排放是否达标。另外较高的 Cl、K 元素含量,可能会引起积灰、结渣及沾污现象的恶化。

热值约为 16~20MJ/kg<sup>-1</sup>,相当于中质烟煤。

表 2-4 几种主要生物质的元素组成及热值（可燃基）

种类	工业分析成分%				元素分析结果%					HHV/ (KJ/kg)	LHV (KJ/kg)
	水分	灰分	挥发分	固定炭	C	H	O	N	S		
玉米秸	6.10	4.70	76.00	13.20	49.30	6.00	43.60	0.70	0.11	19065	17746
玉米芯	4.87	5.93	71.95	17.25	47.20	6.00	46.10	0.48	0.01	19029	17730
麦秸	4.39	8.90	67.36	19.32	49.60	6.20	43.40	0.61	0.07	19876	18532
稻草	3.61	12.20	67.80	16.39	48.30	5.30	42.20	0.81	0.09	18803	17636
稻壳	5.62	17.82	62.61	13.95	49.40	6.20	43.70	0.30	0.40	17370	16017
花生壳	7.88	1.60	68.10	22.42	54.90	6.70	36.90	1.37	0.10	22869	21417
棉秸	6.78	3.97	68.54	20.71	49.80	5.70	43.10	0.69	0.22	19325	18089
杉木	3.27	0.74	81.20	14.79	51.40	6.00	42.30	0.06	0.03	20504	19194
榉木	5.90	0.60	79.00	14.50	49.70	6.20	43.80	0.28	0.01	19432	18077
松木	6.00	0.40	79.60	17.00	51.00	6.00	42.90	0.08	0.00	20353	19045
红木	/	/	/	/	50.80	6.00	43.00	0.05	0.03	20795	19485
杨木	6.70	1.50	80.30	11.50	51.60	6.00	41.70	0.60	0.02	19239	17933
柳木	3.50	1.60	78.00	16.90	49.50	5.90	44.10	0.42	0.04	19921	18625
桦木	11.10	0.30	70.00	18.60	49.00	6.10	44.80	0.10	0.00	19739	18413
枫木	5.60	3.60	74.20	16.60	51.30	6.10	42.30	0.25	0.00	20233	18902

## 第三章 生物质成型燃料利用污染防治

本章主要内容包括生物质成型燃料燃烧产生的主要污染物、可用污染物排放标准、污染预防措施、废气处理措施及炉灰炉渣处理措施等。

### 3.1 主要污染物及影响因素

生物质成型燃料的燃烧对环境的影响主要体现为排放物对大气环境的污染。大气污染是指人类活动所产生的污染物超过自然界动态平衡恢复能力时，出现的破坏生态平衡而导致的大气污染和公害。直接排放到大气中的污染物成为一次污染物，一次污染物经阳光照射后，发生光化学反应生成的污染物成为二次污染物。

生物质燃烧污染物的数量和种类依赖于燃料的特性、燃烧技术、燃烧过程以及控制措施等诸多因素。生物质燃烧装置所产生的大气污染物分为两大类：完全燃烧产生的污染物及不完全燃烧产生的污染物。其中颗粒物既来自于完全燃烧，又来自于不完全燃烧，所以粉尘污染在两部分都有所涉及。

#### 3.1.1 完全燃烧产生的污染物

生物质完全燃烧产生的污染物主要有以下几种：

##### (1) 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub>是所有生物质燃烧都会产生的主要产物，它来源于燃料中的碳，但从温室效应的角度来说，生物质燃烧排放的 CO<sub>2</sub>被认为是零排放，这也是生物质燃烧的主要环境效益。

##### (2) 氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)

生物质燃烧设备产生的 NO<sub>x</sub> 主要是由燃料中的 N 元素氧化产生的，既来自气相燃烧也来自固定碳燃烧过程。其他 NO<sub>x</sub> 可能是某些特定条件下由空气中的 N 元素形成的。但在大部分生物质燃烧设备中，这一反应机理并不重要。生物质燃烧排放的最主要的 NO<sub>x</sub> 是 NO，它在大气中会转变为 NO<sub>2</sub>。

生物质燃烧装置中生成 NO<sub>x</sub> 的气相反应机理主要分为以下几种：

a. 燃料型反应机制：燃料中的氮通过一系列基元反应转化为 NO (>90%) 和

NO<sub>2</sub> (<10%)，这成为燃料型反应机制。其主要初级含氮化合物是 NH<sub>3</sub> 和 HCN。然而，热解气体中也含有大量的 NO 和 N<sub>2</sub>。当在燃料量充足时，NO 与 NH<sub>3</sub> 和 HCN 反应生成 N<sub>2</sub>，这可作为减少 NO<sub>x</sub> 生成的措施。通过优化和调整燃烧阶段的过量空气系数、温度和反应时间，可以最大程度地将 NH<sub>3</sub> 和 HCN 转化为 N<sub>2</sub>

b.热力型反应机制：空气中的 N 大约在 1300℃时开始和空气中活性氧原子反应产生 NO。NO 的生成量会随温度、O<sub>2</sub> 浓度和反应时间增加而增加。但是，一般而言生物质燃烧装置的温度都低 1300℃。所以 NO<sub>x</sub> 的产生是在主燃烧过程之后出现，依赖于 O<sub>2</sub> 浓度和持续时间

c.即时生成机制：空气中的 N 还会与 CH 发生反应，主要产物为 HCN，生成的 HCN 将按照燃料型反应机制的步骤继续进行。NO<sub>x</sub> 的即时生成机制相对热力型机制来说，与温度的关系更小且反应更快。但是，其反应生成的重要条件是燃料丰富以及 CH 浓度高。所以与矿物质燃烧相比，即时生成机制在生物质燃烧装置中并不重要。

另外，燃料中 N 会残留在燃烧残余的炭中，并且在炭化过程中大量氧化为 NO，但有可能继续与炭发生快速异相反应还原为 N<sub>2</sub>。在炭中的燃料 N 含量与燃料受热后再挥发分析过程中释放出的氮数量有关，在某种程度上取决于燃料的热辐照量

### (3) 一氧化二氮 (N<sub>2</sub>O)

N<sub>2</sub>O 是由燃料 N 完全氧化生成的。然而，在对多种燃烧装置的观测发现 N<sub>2</sub>O 的排放量都非常低。虽然生物质燃烧中的 N<sub>2</sub>O 排放量很低，但却对温室效应产生一定的作用。这是因为 N<sub>2</sub>O 具有很高的全球温度变暖潜能 (GWP) 系数，它对同流层的臭氧也有破坏作用。清洁燃烧技术可以减少 N<sub>2</sub>O 排放量。

### (4) 硫化物 (SO<sub>x</sub>)

SO<sub>x</sub> 是燃料中的硫完全氧化的结果。主要形成 SO<sub>2</sub> (>95%)。同时，低温情况下也会形成一些 SO<sub>3</sub> (<5%)。但是，燃料中的 S 元素不会全部转化为 SO<sub>x</sub>，相当大部分会留存在灰中，另有少部分在较低温度下以盐 (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 或 H<sub>2</sub>S 排放出去。生物质燃料的 S 含量非常低。

### (5) 氯化氢 (HCl)

燃料中所含一部分 Cl 元素以 HCl 形式排放出去。木材燃料中所含 Cl 元素很

低。但燃烧秸秆、柴草以及芒属等氯含量高植物类生物质会生成大量 HCl。燃料中氯元素不会全部转化为 HCl，大部分氯元素与 K 和 Na 元素反应生成 KCl、NaCl 等盐类。同时，还有少量以二噁英及有机氯化物的形式排放。可通过清洗燃料等方法来降低 HCl 含量。这特别适用于氯含量高的秸秆类燃料。还可通过烟气净化技术减少 HCl 排放量。

#### (6) 颗粒物

颗粒物有多种来源。其中包括炉灰（烟气中夹带的颗粒物），以及由 K、Na 与 Cl、S 生成的盐类（KCl、NaCl 和  $K_2SO_4$ ）。其他途径产生的烟尘污染将 3.1.2 不完全燃烧部分论述。烟尘净化措施一般都是针对大型燃烧设备。通过对燃烧室优化设计，可在一定程度上减少烟气中夹带的烟尘，使之落到燃烧炉底部，最后作为炉渣处理。

#### (7) 重金属

所有未经处理的生物质燃料都含有一定的重金属（其中，特别需要注意的是 Cu, Pb, Cd, Hg）。它们存于灰中或挥发至烟气中，也可能吸附在烟尘表面排到大气层中或包裹在烟尘颗粒中。被污染的生物质燃料（如经过浸涂或油漆过得木材），可能含有大量的重金属（Cr 和 As）。可采用烟气净化技术减少重金属的排放量。

### 3.1.2 不完全燃烧产生的污染物

燃料不完全燃烧可能是由下列原因引起的：

- 燃料与空气在燃烧室内混合不均匀，导致局部燃烧区域的燃料过多；
- 缺氧
- 燃烧温度过低
- 滞留时间短
- 活性分子浓度较低，特别是在特殊情况时，例如分批燃烧过程的最后阶段（碳化阶段）的活性分子浓度很低

上述因素通过基本燃烧反应燃烧速率公式联系到一起，当氧气充足时，燃烧温度按指数影响反应速率，是最重要的因素。总体来说，优化上述因素将减少不完全燃烧所产生的各种污染物。

因生物质不完全燃烧而排放到大气中的污染物包括

#### (1) 一氧化碳 (CO)

燃料中 C 元素是通过几个基本步骤和所中反应途径转化为 CO<sub>2</sub> 的。CO 是最重要的中间产物。当 O<sub>2</sub> 充足时, 它转化为 CO<sub>2</sub>。CO 氧化为 CO<sub>2</sub> 的比例取决于温度。CO 可以认为是衡量燃烧质量的一项重要指标。一般来说, 大型燃烧系统比小型更容易优化, 因此, 大型燃烧系统的 CO 排放水平比小型设备低得多。另外, 充足的燃烧时间对降低 CO 排放量也非常重要。这是因为通常情况 CO 的形成比碳氢化合物要晚。

#### (2) 甲烷 (CH<sub>4</sub>)

因为 CH<sub>4</sub> 是一种直接温室气体, 它通常与其他碳氢化合物分开来讨论。生物质燃烧装置中, CH<sub>4</sub> 是燃料中碳转化 CO<sub>2</sub> 以及燃料氢转化为 H<sub>2</sub>O 过程的一种重要中间产物。生成 CH<sub>4</sub> 是因为燃烧温度过低、在炉内停留时间过短或缺乏充足氧气。一般来说, 碳氢化合物在燃烧过程中是一种比 CO 早出现的中间产物。这意味着 CH<sub>4</sub> 的排放量较低。

#### (3) 非甲烷挥发性有机化合物 (NMVOC)

这一组化合物中包括了除甲烷 (CH<sub>4</sub>)、多环芳烃 (PAH) 和其他冷凝后形成颗粒物的重质碳氢化合物以外的所有碳氢化合物。它们都是燃料中碳转化为 CO<sub>2</sub> 和氢转化为 H<sub>2</sub>O 过程的中间产物。生成 NMVOC 是因为燃烧温度过低, 在炉内停留时间过短, 或缺乏充足氧气。

#### (4) 多环芳烃 (PAHs)

因为多环芳烃具有致癌作用, 所以通常与其他碳氢化合物分开讨论。它们都是燃料中碳转化为 CO<sub>2</sub> 和氢转化为 H<sub>2</sub>O 过程的中间产物。产生 PAH 的原因是燃烧温度过低, 在炉内停留时间过短, 或缺乏足够的氧气。

#### (5) 颗粒物

不完全燃烧生成的颗粒物以煤烟、木炭或冷凝的重质碳氢化合物 (焦油) 形式存在。煤烟主要成分是碳, 因局部火焰区域缺氧或熄灭生成的。木炭颗粒密度极低, 很容易被延期夹带, 在烟气流速很快的情况下尤为明显。产生颗粒物的原因是燃烧温度过低, 在炉内停留时间过短, 或缺乏充足氧气。然而, 考虑到颗粒物的多样性, 除冷凝的重质碳氢化合物外, 控制颗粒物生成的清洁燃烧技术比较

复杂。因此，烟气净化技术更广泛地用于大型生物质燃烧工程。通过优化燃烧室的结构，烟气中夹带的一定数量的颗粒物被阻止离开燃烧室，落入燃烧室底部形成炉渣。

#### (3) 多氯二苯并二噁英与多氯二苯并呋喃 (PCDD/PCDF=PCDD/F)

多氯二苯并二噁英与多氯二苯并呋喃为一组高毒性化合物。它们在 180~500℃温度段全程合成。其中 C, Cl, 催化剂 (Cu) 和 O 是合成 PCDD/F 的必需条件。所有含氯的生物质均可生成少量的 PCDD/F。PCDD/F 的生成主要取决于燃烧和排烟冷却发生的条件。因此，实际过程存在着各种变化。虽然草本生物质的氯含量很高，但其 PCDD/F 的排放量却非常低。这可能是由于其中的碱含量很高，碱生成了盐类 (KCl, NaCl)，从而降低了全程合成 PCDD/F 所需的气态氯含量。由于影响 PCDD/F 合成的因素许多，即使在同一个燃烧装置，也可能出现多种变化。总之，以天然木材为燃料的燃烧装置所排放的 PCDD/F 远低于危害健康水平。清洁燃烧技术和烟气净化技术可以降低 PCDD/F 的排放量。

#### (4) 氨 (NH<sub>3</sub>)

燃料热解或气化产生的 NH<sub>3</sub> 可以氧化为含氮化合物，少量因转化不完全以 NH<sub>3</sub> 形式释放出来。此情况发生在燃烧温度低得特殊情况。另外，在采取烟气净化措施时，也会因泄露 NH<sub>3</sub> 而引起排放。不完全燃烧产生的 NH<sub>3</sub> 可以通过常规的清洁燃烧措施或优化 NH<sub>3</sub> 工艺措施予以降低。

#### (5) (地表的) 臭氧 (O<sub>3</sub>)

O<sub>3</sub> 作为二级燃烧产物，是大气光化学反应 (包括 CO、CH<sub>4</sub>、NMVOC 和 NO<sub>x</sub>) 的产物。它是一种直接温室气体，同时影响本地和区域环境。因此，它是生物质燃烧装置中最有害的一种副产物。O<sub>3</sub> 排放量可通过减少不完全燃烧或者采取 NO<sub>x</sub> 的控制措施来减少。

### 3.1.3 污染物对环境的影响

表 3-1 列出了生物质燃烧时排放的污染物及其对气候、环境与人类健康的影响。

表 3-1 生物质燃烧主要污染物及其环境的影响

污染物	来源	对气候、环境及人类健康的影响
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	所有生物质的主要燃烧产物	气候：直接温室气体。但由于生物质是一种可再生能源，从温室效应来说生物质燃烧过程 CO <sub>2</sub> 零排放
一氧化碳 (CO)	所有生物质不完全燃烧产物	气候：通过生成 O <sub>3</sub> 的间接温室气体 健康：减少氧气摄入量，导致哮喘和流产；严重时引起窒息
甲烷(CH <sub>4</sub> )	所有生物质不完全燃烧产物	气候：直接温室气体。通过生成 O <sub>3</sub> 的间接温室气体
非甲烷挥发性有机化合物 (NMVOC)	所有生物质不完全燃烧产物	气候：通过生成 O <sub>3</sub> 的间接温室气体对人类的呼吸系统有负面影响
多环芳烃(PAH)	所有生物质不完全燃烧产物	环境：形成烟雾 健康：致癌
颗粒物	所有生物质不完全燃烧产物中的煤烟、木炭及冷凝的重质碳氢化合物（焦油） 飞灰和盐类	气候与环境：通过形成气溶胶缓解温室效应；颗粒物的沉积可导致重金属集聚 健康：对人类的呼吸系统有负面影响。致癌
氮氧化物(NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> )	所有含氮生物质燃烧排出的微量组分；在特定条件下也来自空气中氮	气候与环境：通过生成 O <sub>3</sub> 的间接温室气体；通过形成气溶胶缓解温室效应；酸雨；破坏植被；形成烟雾；腐蚀材料 健康：对人类的呼吸系统有负面影响。NO <sub>2</sub> 有毒



污染物	来源	对气候、环境及人类健康的影响
一氧化二氮 (N <sub>2</sub> O)	所有含氮生物质燃烧排出的微量组分	气候：直接温室气体 健康：通过破坏同温层中的臭氧影响人类健康
氨 (NH <sub>3</sub> )	热解或气化出现的NH <sub>3</sub> ，可以氧化成含氮化合物，少量因不完全转化以NH <sub>3</sub> 的形式释放；利用NH <sub>3</sub> 进行脱硝(SNCR, SCR)	气候：酸雨；破坏植被；腐蚀材料 健康：对人类的呼吸系统有负面影响。
硫化物 (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> )	所有含硫生物质燃烧排出的微量组分	气候与环境：通过形成气溶胶缓解温室效应；酸雨；破坏植被；形成烟雾；腐蚀材料 健康：对人类的呼吸系统有负面影响。引起哮喘
重金属	所有含重金属生物质燃烧后均有一定量的排出。排出的重金属存于灰分或烟气中	健康：积聚于食物链中。某些有毒，某些可能致癌
(地表的) 臭氧 (O <sub>3</sub> )	大气反应形成的二次燃烧产物，包括CO、CH <sub>4</sub> 、NMVOC和NO <sub>x</sub>	气候与环境：直接温室气体。 破坏植被；形成烟雾；损坏材料 健康：通过破坏同温层中的臭氧影响人类健康。对人类的呼吸系统有负面影响。引起哮喘
氯化氢 (HCl)	所有含氯生物质燃烧排出的微量组分	环境：酸雨；破坏植被；形成烟雾；腐蚀材料 健康：对人类的呼吸系统有负面影响。有毒

污染物	来源	对气候、环境及人类健康的影响
二噁英与呋喃 (PCDD/PCDF)	某些反应产生的产物，包括 C、Cl 与 O 元素在催化剂(Cu)环境的反应	健康：剧毒；损害肝脏；危害中枢神经；降低免疫功能；可能在食物链中集聚

## 3.2 污染物测定方法及排放标准

### 3.2.1 污染物测定方法

生物质成型燃料燃烧所产生的污染物的测试内容主要包括烟尘、SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>、过量空气系数等。

(1) 锅炉大气污染物采样方法及锅炉烟尘测定方法执行：

GB-5468-91 《锅炉烟尘测试方法》

GB/T-16157《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》的规定。

(2) 锅炉气态污染物分析方法执行：

HJ/T 56 《固定污染源排气中二氧化硫的测定碘量法》

HJ/T 57 《固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法》

HJ/T 42 《固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法》

HJ/T 43 《固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》

《空气与废气监测分析方法》（第四版）

(3) 烟气黑度测定方法执行：

HJ/T398-2007 《固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》

《空气与废气监测分析方法》（第四版）

### 3.2.2 污染物排放标准

根据广东省《锅炉大气污染物排放标准》(DB44/765-2010)，并参考穗环办〔2010〕171号文的规定，采用生物质成型燃料(BMF)的锅炉，参照燃气锅炉标准执行。根据广东省《锅炉大气污染物排放标准》(DB44/765-2010)，标准把广东省划分为A、B二个区域，珠海市属于A区，需参照的一些污染物(烟

尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>) 具体排放标准见表 3-4。另外，烟囱高度及距周围居民住宅的距离应按批准的环境影响报告书(表)确定，但不得低于 8m，若锅炉烟囱高度达不到规定高度，其烟尘、二氧化硫、氮氧化物最高允许排放浓度，则按表 3-4 规定指标的 50% 执行。

表 3-2 珠海市生物质成型燃料燃烧可用污染物排放标准

污染物类别	最高允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )		其他
	新建、扩建、改建锅炉执行日期		
	2010 年 11 月 1 日		
烟尘	30		烟气黑度(林格曼黑度级) ≤1.0 级
SO <sub>2</sub>	50		
NO <sub>x</sub>	200		

### 3.3 污染预防

通过采取避免污染物生成的措施(清洁燃烧技术)或烟气净化技术，可以清除烟气中的有害污染物排放至环境。这里的污染预防也可以称为清洁燃烧技术。

本节介绍控制污染物生成的措施，在此过程中也会提及国家或地方的相关法律法规标准政策等。

本节主要内容有：

- 燃料要求
- 燃料设备的选择
- 燃烧优化控制
- 分级配风
- 分阶段供给燃料和再燃烧
- 低氮氧化物燃烧技术

在实际应用中，上述方法交互使用。

#### 3.3.1 燃料要求

在此小节，除引用一些国家标准规定的燃料性能要求及一些地方标准政策

的原料使用要求等外，还将介绍其他改良燃料以降低污染物排放的措施。

(1) 农业部颁布的《生物质固体成型燃料技术条件》(NY/T 1878-2010)对燃料性能的要求

表 3-3 为农业部颁布的标准对生物质成型燃料基本性能的要求，表 3-4 为对其辅助性能指标的要求。

表 3-3 生物质成型燃料基本性能要求

项 目	颗粒状燃料		棒(块)状燃料	
	主要原料为 草本类	主要原料为 木本类	主要原料为 草本类	主要原料为 木本类
直径或横截面 最大尺寸(D),mm	≤ 25		≥ 25	
长度,mm	≤ 4D		≤ 4D	
成型燃料 密度,kg/m <sup>3</sup>	≥ 1000		≥ 800	
含水率,%	≤ 13		≤ 16	
灰分含量,%	≤ 10	≤ 6	≤ 12	≤ 6
低位发热量,MJ/kg	≥ 13.4	≥ 16.9	≥ 13.4	≥ 16.9
破碎率,%	≤ 5			

表 3-4 生物质成型燃料辅助性能指标要求

项 目	性能要求
硫含量,%	≤ 0.2
钾含量,%	≤ 1
氯含量,%	≤ 0.8
添加剂含量,%	无毒、 无味、 无害 ≤ 2

(2) 《广州市萝岗区生物质成型燃料使用暂行管理办法》中对原料的要求  
使用的生物质成型燃料必须由农林废弃物（秸秆、稻壳、木屑、树枝等）为原料，通过专门设备在特定工艺条件下加工制成的棒状、块状或颗粒状等生物质成型燃料，严禁使用由废木制家具、废纸、城市生活垃圾等含有人工合成化合物的可燃废物加工成型的燃料。

### (3) 改良燃料组分

除需参照(1)中所述标准外,我们还可以采取技术措施,一定程度上清除燃料中有害元素。已经证明,对秸秆进行水洗能有效地去除其中的Cl和K。水洗有两种途径,一是在收货之后将秸秆遗留在农田内一段时间,让雨水沥滤;二是人工方法。Cl元素是生成二噁英和呋喃的必备元素,因此,水洗秸秆可达到降低二噁英和呋喃的目的。水洗加上干燥和沥滤有机物的能量相当于秸秆热值8%,因为避免了腐蚀(因K、Cl含量降低),能力损失可通过延长锅炉寿命来弥补。

### (4) 调整燃料颗粒尺寸

燃料颗粒尺寸大小对于选择燃烧工艺十分重要。对于自动进料大型生物质燃烧系统,燃料尺寸显得更为重要。要求生产出的燃料尺寸应趋于一致,如果燃料尺寸不均匀,包括特大和特小的颗粒,可使用破碎机或削片机将其中大块破碎,使燃料颗粒尺寸趋于一致。

## 3.3.2 燃烧设备的选择

### (1) 燃料设备的选择

根据生物质成型燃料及设备特性选择适合的燃烧设备是生物质成型燃料污染预防的另一个重要措施。表3-5中列出主要燃烧技术的优缺点及适用领域,在使用现有设备或选择新设备时可作为参考。

表 3-5 不同燃烧技术的优缺点和适用领域的总结

燃烧技术	优点	缺点
下饲式	(1) 小于 6MW. 系统投资低; (2) 连续进料, 进料控制简便; (3) 良好的定量给料, 低负荷运行时污染物排放量低	(1) 仅适用于低灰分含量和高灰分熔点的生物质燃料(如木材); (2) 对燃料颗粒尺寸要求较高, 缺乏灵活性
炉排技术	(1) 小于 20MW. 系统投资低; (2) 运行成本低; (3) 烟气含尘浓度低;	(1) 不能使用木材和草本燃料的混合燃料; (2) 需要特殊技术减排 NO <sub>x</sub> ;

燃烧技术	优点	缺点
	(4) 与流化床相比, 对灰分结渣的敏感性低	(3) 过量空气系数高, 效率低; (4) 燃烧状态没有流化床均匀; (5) 低负荷运行时, 难以实现低污染物排放
悬浮燃烧	(1) 过量空气系数高, 效率高; (2) 高效的分阶段配风和良好混合, 大幅度降低 NO <sub>x</sub> 排放量; (3) 良好的进料控制, 可快速改变负荷;	(1) 限制燃料颗粒尺寸 (< 10~20mm); (2) 耐火材料损害速率较快; (3) 需要额外的辅助燃烧器
鼓泡流化床	(1) 燃烧室内无移动部件; (2) 分阶段配风, 降低了 NO <sub>x</sub> 排放量; (3) 燃料的含水量和种类具有灵活性; (4) 低过量空气系数, 提高了效率且减少了烟气流量;	(1) 投资高, 仅应用于 20MW 以上系统; (2) 运行成本高; (3) 燃料颗粒尺寸的灵活性低; (4) 烟气除尘量高; (5) 低负荷运行时需要专门技术; (6) 对灰分结渣中度敏感; (7) 流化床中换热管中度腐蚀
循环流化床	(1) 燃烧室内无移动部件; (2) 分阶段配风, 降低了 NO <sub>x</sub> 排放量; (3) 燃烧状态均匀; (4) 强扰动, 传热系数高; (5) 燃料含水量和种类具有灵活性; (6) 易于使用添加剂; (7) 低过量空气系数, 提高了效率且减少了烟气流量	(1) 投资高, 仅应用于 30MW 以上系统; (2) 运行成本高; (3) 燃料颗粒尺寸的灵活性低; (4) 烟气除尘量高; (5) 低负荷运行需要副床; (6) 对灰分结渣高度敏感; (7) 床料在灰分中损失; (8) 流化床中换热管中度腐蚀

此外，还可以关注行业新型专门生物质成型燃料燃烧设备的发明，若经实践证明环保性能良好，可考虑采用。

(2)《沈阳市生物质颗粒燃料及锅炉推广技术规范》中对生物质锅炉要求本技术规范所指的生物质锅炉是适用于生物质颗粒燃料的专用锅炉，不允许烧煤及其它燃料。新安装生物质锅炉的，所替代下来的燃煤锅炉必须拆除；改造的生物质锅炉，只允许燃烧生物质颗粒燃料。

生物质锅炉生产单位必须出具生物质锅炉技术监督检验报告。生物质锅炉必须满足如下指标：立式锅炉热效率不低于 75%，卧式锅炉热效率不低于 80%，排烟黑度小于林格曼 I 级，烟尘、二氧化硫排放浓度满足《锅炉大气污染物排放标准》GB13271-2001，达到一类区 II 时段标准 ( $80\text{mg}/\text{m}^3$ )。锅炉其它技术参数、规程、技术条件达到相关国家及行业标准。

由燃煤锅炉改造生物质锅炉的，必须由具有资质的锅炉生产厂家承担，改造后通过技术监督部门鉴定，检测指标满足本技术规范第十一条指标（即上一条规定）规定的，备案后方可投入使用，严禁私自进行燃煤锅炉的改造。

生物质锅炉使用单位应严格锅炉管理工作，并对司炉人员进行技术培训，持证上岗。司炉人员应严格按照操作规程使用锅炉，避免违反规程造成污染物排放量增加。

### 3.3.3 分级配风

应用分级配风技术将挥发分析出和气相燃烧阶段分开，同时降低了不完全燃烧产生的污染物和  $\text{NO}_x$ ，同时，还促进了可燃气和助燃空气的混合程度。

初始阶段，初级空气在热解阶段加入，可燃气的主要成分为  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{N}_2$ 。可燃气中包括  $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCN}$  及  $\text{NO}$  对于脱硝是有益的，在第二阶段提供充足的二级空气，确保完全燃烧并降低因不完全燃烧产生的污染物。

当  $\text{O}_2$  充足时， $\text{NH}_3$  和  $\text{HCN}$  会通过不同反应途径转化为  $\text{NO}$ 。而当燃料充足时， $\text{NO}$  将与  $\text{NH}_3$  和  $\text{HCN}$  反应生成  $\text{N}_2$ 。这个机制被用作脱硝。通过优化初级空气过量系数、温度及在炉内滞留时间，将最大限度将  $\text{NH}_3$  和  $\text{HCN}$  转化为  $\text{N}_2$ 。

### 3.3.4 分阶段供给燃料和再燃烧

分阶段供给燃料和再燃烧在生物质燃烧设备中也是一种脱硝措施。首先，初级供给燃料在过量空气系数大于 1 时发生燃烧，此时没有明显出现  $\text{NO}_x$  还原现象。然后，在没有额外供给空气情况下，在初级燃烧区域后部烟气中加入二次燃料，形成了亚化学计量的还原气氛，烟气通过与二级燃料形成的  $\text{NH}_3$  和  $\text{HCN}$ （假设二次燃料中含有氮）发生反应，在初级燃烧区还原成  $\text{NO}_x$ 。另外， $\text{NO}$  与源自二次燃料中  $\text{HCCO}$  的  $\text{CH}_i$  自由基 ( $i=0\sim 3$ ) 反应重新生成  $\text{HCN}$ ，这称为再燃烧。在典型再燃烧条件下， $\text{HCCO}$  是脱除  $\text{NO}$  最有效的自由基。最后，在还原区后部加入充足的空气，使初级空气过量系数大于 1，从而实现完全燃烧。

采用分阶段供给燃料燃烧需要配有初级和二级燃料自动进料装置，同时二级燃料必须易于控制，这是因为需要有适合的两次进料系统以及燃烧精确控制系统的燃烧过程设计，限制了分阶段供给燃料燃烧技术在大型生物质燃烧系统中的应用，天然气、燃料油、生物质粉末、锯末或其他类似燃料均可作为二级燃料。

### 3.3.5 低氮氧化物燃烧技术

烟尘、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{C}_x\text{H}_y$  为生物质成型燃烧较主要的污染物，而生物质成型燃料含硫较少，烟尘主要靠烟气净化去除，又因为  $\text{NO}_x$  清洁燃烧技术较为成熟，且在实施这些技术时，同时也大大降低了  $\text{CO}$ 、 $\text{C}_x\text{H}_y$  的排放量，因此在此仅重点介绍  $\text{NO}_x$  污染预防技术，即低  $\text{NO}_x$  燃烧技术，详见表 3-6，有部分预防措施与上文重复。

表 3-6 低氮氧化物燃烧技术

燃烧方法	技术要点	存在问题
二段燃烧法 (空气分级燃烧)	燃烧器的空气为燃烧所需空气的 85%，其余空气通过布置在燃烧器上部的喷口送入炉内，使燃烧分阶段完成，从而降低 $\text{NO}$	二段空气量过大，会使不完全燃烧损失增大，一般二段空气比为 15%~20%，煤粉炉由于还原性气氛易结渣，或引起腐蚀



燃烧方法		技术要点	存在问题
再燃烧 (燃料分级燃烧)		将 80%~85%的燃料送入主燃区, 在 $\alpha < 1$ 条件下形成还原气氛, 将主燃区生成的 $\text{NO}_x$ 还原为 $\text{N}_2$ , 可减少 80%的 $\text{NO}_x$	为减少不完全燃烧损失, 需加空气对再燃区的烟气进行三段燃烧
排烟再循环法		让一部分温度较低的烟气与燃烧用空气混合, 增大烟气体积和降低氧气的分压, 使燃烧温度降低, 从而降低 $\text{NO}_x$ 的排放浓度	由于受燃烧稳定性的限制, 一般再循环烟气率为 15%~20%; 投资和运行费较大; 占地面积大
浓淡燃烧法		装有两只或两只以上燃烧器的锅炉, 部分燃烧器供给所需空气量的 85%, 其余部分供给较多的空气, 由于都偏离理论空气比, 使 $\text{NO}_x$ 降低	/
低 $\text{NO}_x$ 燃烧器	混合 促进型	改善燃料与空气的混合, 缩短在高温区的停留时间, 同时可降低氧气剩余浓度	需要精心设计
	自身 再循环型	利用空气抽力, 将部分炉内烟气引入燃烧器, 进行再循环	燃烧器结构复杂
	多股 燃烧型	用多只小火焰代替大火焰, 增大火焰散热面积, 降低火焰温度, 控制 $\text{NO}_x$ 生成量	/
	阶段 燃烧型	让燃料先进行浓燃烧, 然后, 送入余下的空气, 由于燃烧偏离理论当量比, 故可降低 $\text{NO}_x$ 浓度	易引起烟尘浓度增加
低 $\text{NO}_x$ 炉膛	燃烧室 大型化	采用较低的热负荷, 增大炉膛尺寸, 降低火焰温度, 控制温度型 $\text{NO}_x$	炉膛体积增大
	分割	用双面露光水冷壁把大炉膛分	炉膛结构复杂

燃烧方法		技术要点	存在问题
	燃烧室	割成小炉膛，提高炉膛冷却能力，控制火焰温度，从而降低 NO <sub>x</sub> 浓度	操作要求高
	切向燃烧室	火焰靠近炉壁流动，冷却条件好、再加上燃料与空气混合较慢，火焰温度水平低，而且较为均匀，对控制温度型 NO <sub>x</sub> 十分有利	/

### 3.4 烟气净化技术

本小节将重点介绍主要污染物——烟尘、NO<sub>x</sub> 及 SO<sub>2</sub> 的净化措施，而其他污染物的净化措施也作简单介绍。

#### 3.4.1 除尘技术

将炉灰从烟气中进行分离，可以采用多种设备和方法，主要有：

沉降室；旋风式除尘器；多管旋风除尘器；静电除尘器；袋式除尘器；洗涤除尘器。

针对生物质成型燃料燃烧，表 3-7 中列出各类除尘技术的原理、特性及优缺点、适用性等。各除尘技术工作原理图见图 3-1~图 3-6。

表 3-7 生物质成型燃料燃烧除尘技术

除尘技术	工作原理	颗粒物 尺寸/ $\mu\text{m}$	除尘效率 /%	流速 /m/s	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	压力 范围 /bar	应用 场合	优点	缺点
沉降室	沉降室分离颗粒物的原理是利用重力作用。	>50	粒度 <30 $\mu\text{m}$ : $\approx 10$ 粒度 <90 $\mu\text{m}$ : $\approx 40$	1~3	<1300	<100	第一级 分离 处理	(1) 压力损失小; (2) 设计和维护简便; (3) 产量高; (4) 成本低; (5) 可熄灭火焰	(1) 所需空间大; (2) 除尘效率低
旋风 除尘器	基于重力与离心力分离颗粒物, 离心力通过两种方式作用于烟气和固体颗粒物: 烟气沿切向进入旋风式除尘器; 烟气沿轴向进入	>5	85~95	15~25	<1300	<100	第一级 或末级 颗粒物的 分离	(1) 设计和维护 (2) 简便; (3) 占地面积小; (4) 对收集粉尘 (5) 可采用连续干式清灰; (6) 压力损失低至中	(1) 需用更多的上部空间; (2) 对细小颗粒物的除尘效果差; (3) 对除尘量和流速敏感; (4) 焦油会凝结在旋风式

除尘技术	工作原理	颗粒物尺寸/ $\mu\text{m}$	除尘效率/%	流速/m/s	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	压力范围/bar	应用场合	优点	缺点
	<p>旋风式除尘器，并由风扇驱动发生旋转。由于离心力的作用，颗粒物击打除尘器内壁并滑落至集尘器内。</p>							<p>等；</p> <p>(7) 可以处理大粒度的颗粒物；</p> <p>(8) 除尘容量大；</p> <p>(9) 不受温度影响；</p> <p>(10) 成本低；</p> <p>(11) 可熄灭火焰。</p>	除尘器内壁
多管旋风除尘器	<p>通过缩小旋风式除尘器的直径来增加离心力，可提高除尘效率。为了避免降低除尘器容量，可并联多台旋风式除尘器，即多管旋风除尘器</p>	>5	<90	/	<500	/	/	<p>(1) 木材燃烧飞灰一般颗粒较大，其可将它们有效分离；</p> <p>(2) 对温度不是特别敏感，应用广泛</p>	(1) 结构复杂，成本较高

除尘技术	工作原理	颗粒物 尺寸/ $\mu\text{m}$	除尘效率 /%	流速 /m/s	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	压力 范围 /bar	应用 场合	优点	缺点
静电 除尘器	在静电除尘器首先使颗粒物带上电荷，然后置于电场中被电极吸引，通过周期性振动可清洁电极，使粉尘从电极上脱离并落入集尘室内	<1	95~ 99.99	0.5~2	<480	<20	末级 处理	<p>(1) 除尘效率大于99%；能处理非常细小的颗粒物}</p> <p>(2) 干湿颗粒物均能处理；</p> <p>(3) 与其他除尘设备相比，压降和能耗较低；</p> <p>(4) 除了腐蚀性或黏性颗粒物，不需额外的维护；无活动部件；</p> <p>(5) 可在高达480<math>^{\circ}\text{C}</math>的温度条件下正常运行；可处理大流量烟尘</p>	<p>(1) 初投资相对较高；</p> <p>(2) 对处理能力和流速敏感；</p> <p>(3) 电阻系数使某些材料在经济上不可行</p> <p>(4) 电压高，有安全方面要求；</p> <p>(5) 察觉不到除尘效率逐渐恶化；</p> <p>(6) 占地面积大</p>

除尘技术	工作原理	颗粒物 尺寸/ $\mu\text{m}$	除尘效率 /%	流速 /m/s	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	压力 范围 /bar	应用 场合	优点	缺点
袋式 除尘器	袋式除尘器结构相对简单，由悬挂于密闭装置内，用特殊纤维织成的过滤器或滤布组成，烟气从其中流过	<1	>99	/	150~200	/	一般安装在多管旋风除尘器下游，供进一步净化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 除尘效率高达99%以上；</li> <li>(2) 可干除尘；</li> <li>(3) 易于发现效率下降；</li> <li>(4) 可收集小颗粒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 对滤速敏感；</li> <li>(2) 高温气体需预先冷却处理；</li> <li>(3) 易受湿度的影响（冷凝）；</li> <li>(4) 滤布纤维对化学侵蚀敏感；</li> <li>(5) 体积庞大；</li> <li>(6) 温度低时，焦油易凝结在滤布上；</li> <li>(7) 滤布使用寿命较短（2~3年）。</li> </ul>

除尘技术	工作原理	颗粒物 尺寸/ $\mu\text{m}$	除尘效率 /%	流速 /m/s	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	压力 范围 /bar	应用 场合	优点	缺点
洗涤 除尘器	含尘气流通过水或其他液体，利用惯性碰撞、拦截和扩散等作用，尘粒留在水或其他液体内，而干净气体则通过水或其他液体	喷淋塔： >10 旋风洗涤器： >3 文丘里管洗涤塔： >0.5	<90	/	/	/	/	(1) 可同时吸附多种气体( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{HCl}$ )且清除颗粒物； (2) 冷却和清洁高温、高湿气体； (3) 清除（或中和处理）腐蚀性气体或混合物； (4) 减少粉尘爆炸的风险； (5) 效率可调	(1) 易发生腐蚀、侵蚀及磨损问题； (2) 处理亚微细颗粒物效率较低； (3) 产生的液体雾沫污染回水；存在冬季结冰问题； (4) 浮力减少和烟羽上升； (5) 在某些大气条件下，产生的水蒸气易使烟羽可见 (6) 增加了废水处理和回收成本

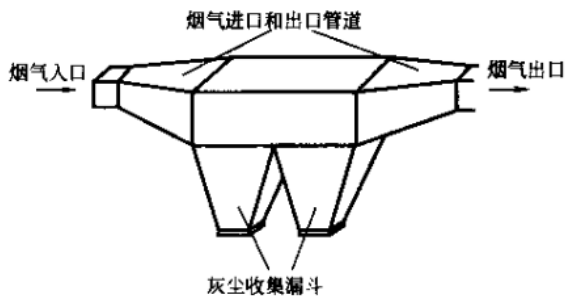


图 3-1 沉降室

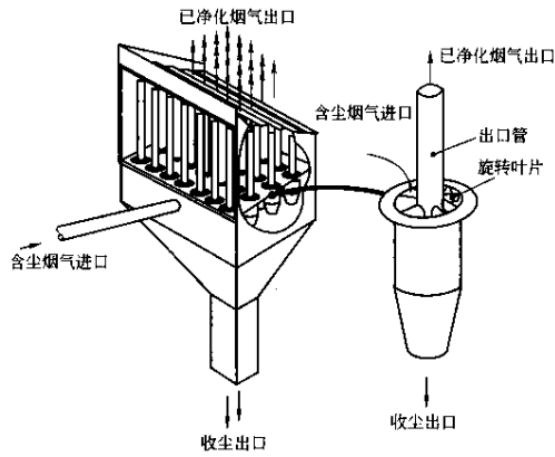


图 3-3 多管式旋风除尘器

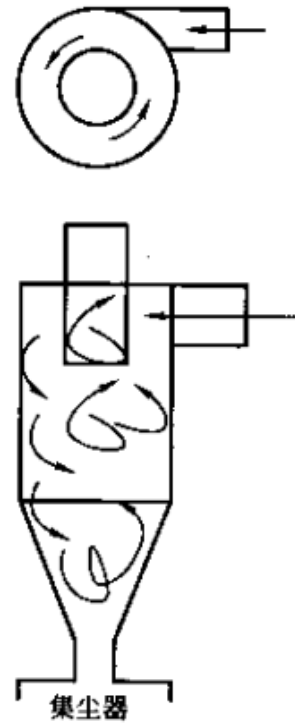


图 3-2 旋风式除尘器工作原理

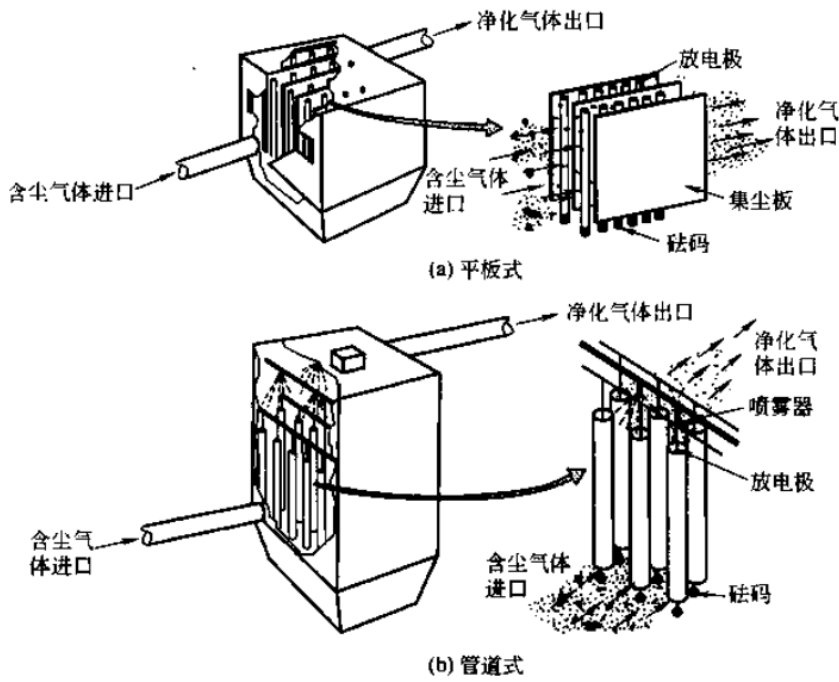


图 3-4 静电除尘器



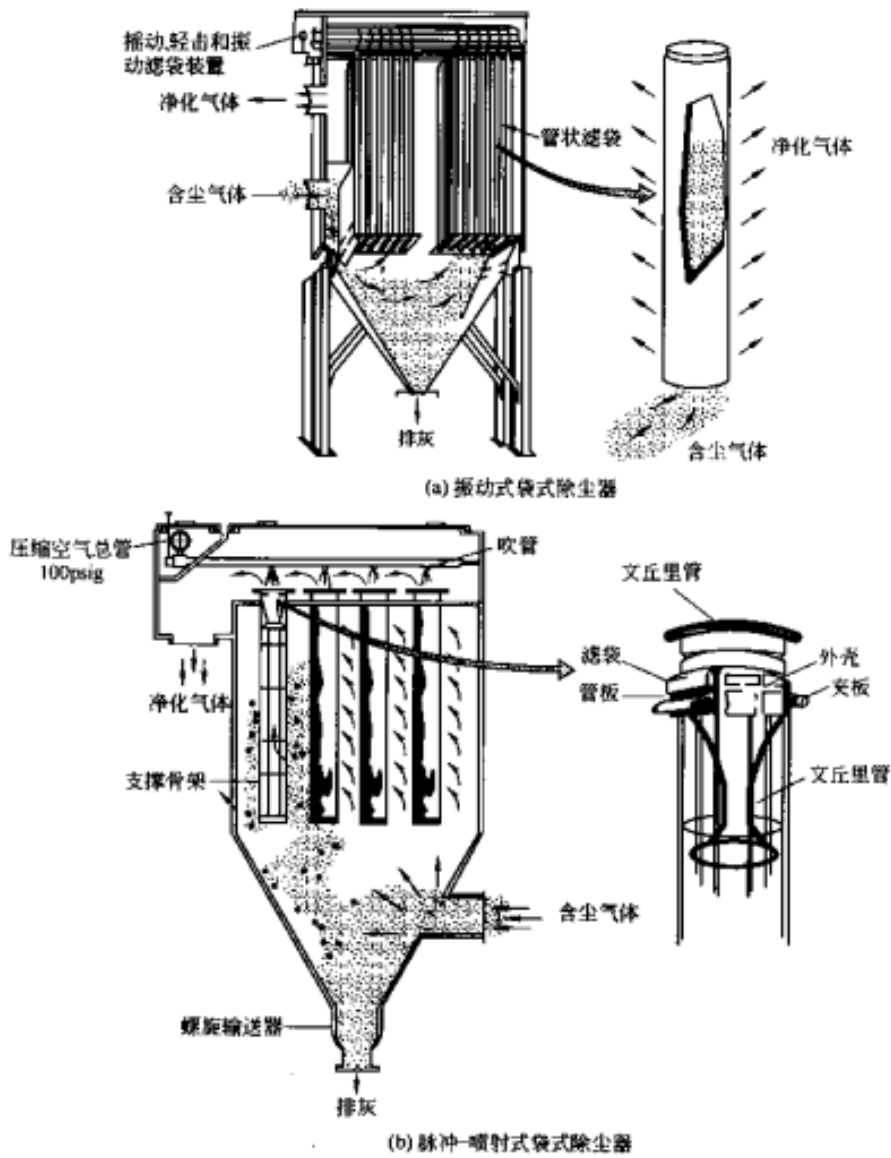


图 3-5 袋式除尘器

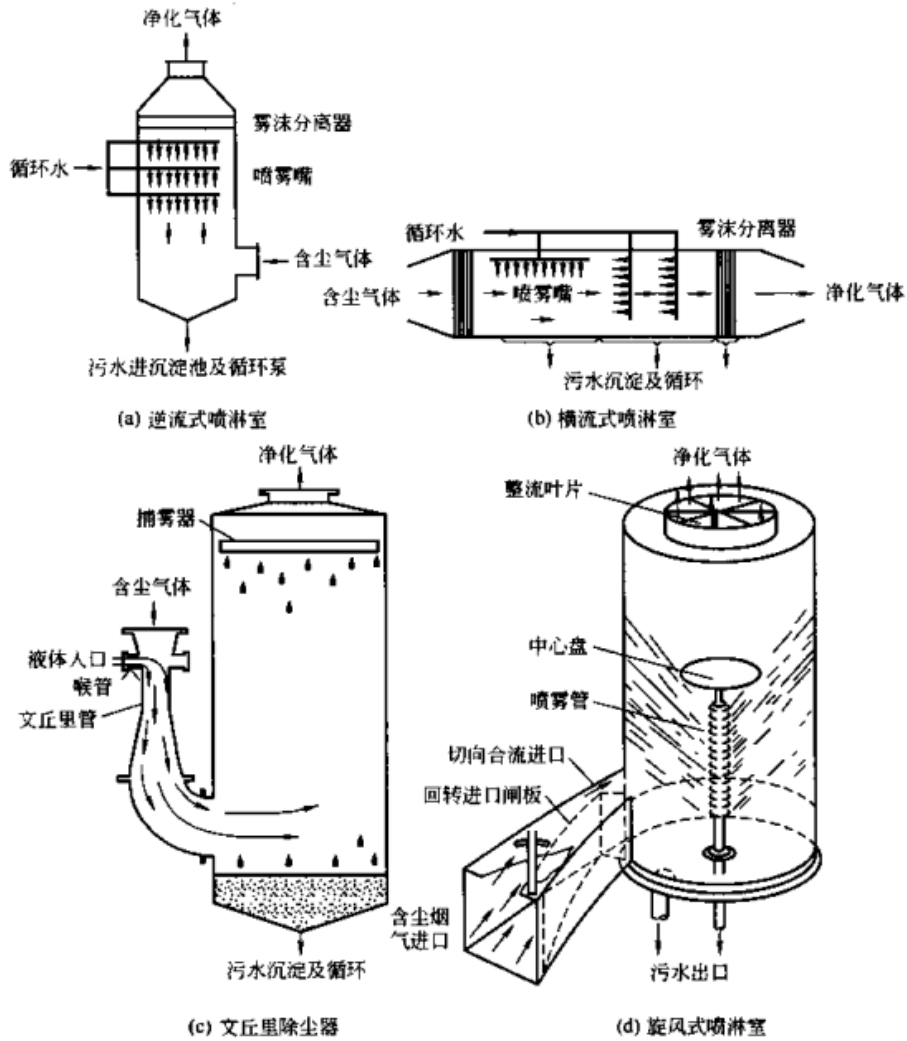


图 3-6 洗涤式除尘器

除表 3-6 外，以下经验也有助于生物质燃烧设备选择正确的除尘技术：

- 黏性颗粒（例如焦油）必须在液体中（例如洗涤器）收集，亦可使用集尘表面附有连续液膜的旋风式除尘器、袋式除尘器或静电除尘器来收集。另外，还必须具备废水处理工序
- 黏附在一起但未形成坚固表面的颗粒物比较容易收集。而与性质相反颗粒物的处理则需要具有特殊表面的除尘器，例如，敷以聚四氟乙烯纤维的除尘器
- 颗粒物的电特性对于静电除尘器极为重要，这对其他控制设备也十分重要。因为在于颗粒物摩擦时产生的静电荷可能有助于（或阻碍）收集
- 直径大于  $5\mu\text{m}$  的非黏性颗粒物，只能使用旋风式除尘器来收集
- 直径远小于  $5\mu\text{m}$  的颗粒物，通常选用静电式除尘器、袋式除尘器或洗涤器来收集。上述除尘设备都能收集微米以下的颗粒物。

---

- 对于产生流量大的液体，使用水泵会使洗涤器的运行成本非常高，因而适合采用其他类型的除尘器。

- 此外，还必须考虑除尘器材质的抗腐蚀性和烟气露点。

考虑到生物质成型燃料燃烧产生的烟尘特点，推荐使用袋式除尘和旋风除尘技术，可达较好效果。

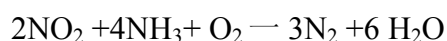
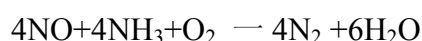
### 3.4.2 烟气脱硝

生物质燃料氮含量较低，且其排放的  $\text{NO}_x$ ，主要来自于燃料中的氮。降低  $\text{NO}_x$  排放量的污染预防措施有：使用含氮量低的生物质燃料；分阶段燃烧，在第一阶段供给较低的过量空气；较低的火焰温度；烟气再循环等，详见 3.3 污染预防一节。

生物质燃烧装置  $\text{NO}_x$  烟气净化措施主要为“选择性催化还原法(SCR)”和“选择性非催化还原法(SNCR)”。这两种方法均喷入还原剂（主要是氨或尿素），分别使用或不使用催化剂将  $\text{NO}_x$  转化为  $\text{N}_2$ 。

#### (1) 选择性催化还原法(SCR)

选择性催化还原法(SCR)通常以铂、钛或钒氧化物为催化剂，使用氨或尿素将  $\text{NO}_x$  转化为氮气( $\text{N}_2$ )，化学反应方程式为：



- SCR 是还原  $\text{NO}_x$  使用最广泛的方法，化石燃料燃烧时可还原  $\text{NO}_x$  排放量约 80%

- 氨使用的最佳温度范围为 220~270℃；尿素使用的最佳温度范围为 400~450℃。此时喷入挥发性还原剂

- 通常使用铂基催化剂，催化剂一般以氧化铝为载体

- 催化剂必须具备克服燃料性能及其纯净度的特性

- 对于选择性催化还原法，催化剂的长效性能是一个问题，容易出现活化失效现象。

图 3-7 和图 3-8 为在生物质成型燃料燃烧系统应用低尘及高尘选择性催化剂还原  $\text{NO}_x$  的工艺路线。

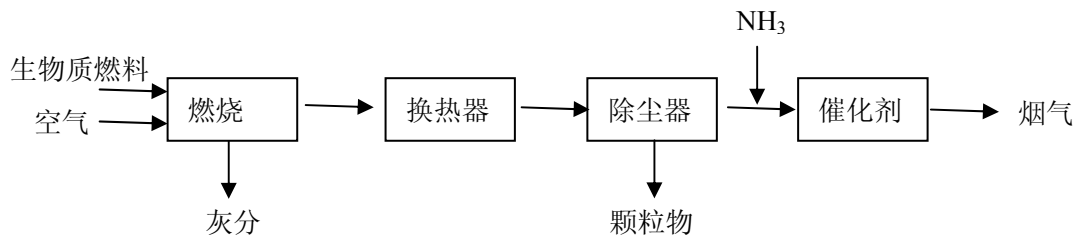


图 3-7 低尘选择性催化剂还原  $\text{NO}_x$  工艺路线

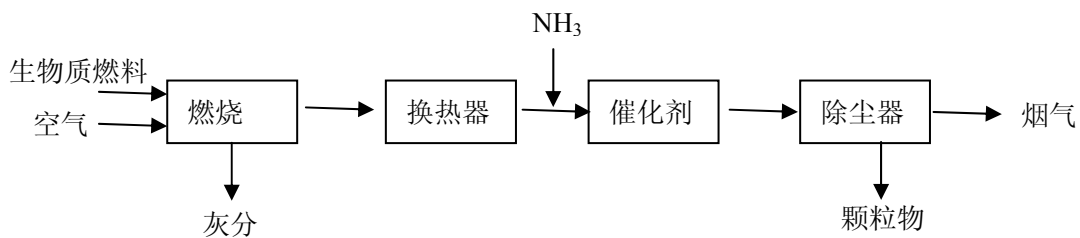


图 3-8 高尘选择性催化剂还原  $\text{NO}_x$  工艺路线

## (2) 选择性非催化还原法(SNCR)

由于选择性催化还原法需要使用催化剂，因此人们继而开发出了选择性非催化还原法(SNCR)。SNCR 不需催化剂，而是在高温条件下发生反应。使用 SNCR 时，通常将氨或尿素喷入温度为  $850\sim 950^\circ\text{C}$  的烟气中。

- 由于温度很高，SNCR 不需要使用催化剂，喷入的氨与被还原  $\text{NO}_x$  浓度比例范围为(1:1)~(2:1)（摩尔）

- 采用 SNCR 可还原约 60%~90% 的  $\text{NO}_x$

- SNCR 过程需要精确的温度控制才能够取得最佳的还原效果。如果温度过高，氨就会被氧化为  $\text{NO}$ ，反之，如果温度过低，氨则根本不会发生反应，并与  $\text{NO}_x$  一起被排出。因此，SNCR 需一个最佳使用温度范围， $840\sim 920^\circ\text{C}$  被证明是最佳还原温度

- 氨的使用量必须与烟气中  $\text{NO}_x$  含量成正比，充分混合对于取得最佳还原效果也非常重要

图 3-9 为在生物质成型燃料燃烧装置上应用 SNCR 的工艺流程示意图。

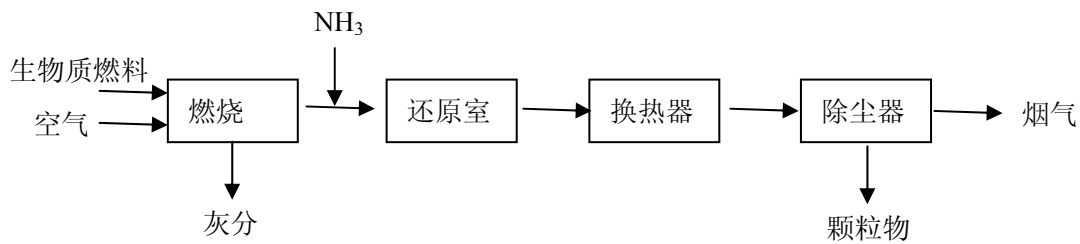


图 3-9 选择性非催化剂还原  $\text{NO}_x$  工艺路线

### 3.4.3 烟气脱硫

生物质燃烧设备的  $\text{SO}_x$ ，排放量通常都比较低。主要生成物为  $\text{SO}_2 (>95\%)$ 。由于木柴中含硫量较低，所以木质类成型燃料燃烧装置的  $\text{SO}_2$  排放量不高。然而，对于芒属植物、禾本科植物以及秸秆等生物质成型燃料， $\text{SO}_2$  排放量可能稍高，依实际情况适当采取适当脱硫措施。

#### (1) 典型烟气脱硫技术介绍

按脱硫过程是否加水和脱硫产物的干湿状态，烟气脱硫又可分为湿法、半干法和干法三类工艺，湿法脱硫又包括石灰石-石膏法脱硫、氨法脱硫、海水法脱硫、双碱法脱硫、镁法脱硫等，半干法脱硫包括喷雾干燥脱硫、循环流化床烟气脱硫等，干法脱硫包括炉内喷钙烟气脱硫、炉内喷钙尾部烟气增湿活化脱硫、干式催化脱硫等。表 3-8 对常见脱硫技术进行简单介绍。

表 3-8 典型脱硫技术原理及优缺点

脱硫技术	原理	优点	缺点
石灰石-石膏法	<p>石灰石-石膏湿法脱硫是目前世界上技术最为成熟、应用最多的脱硫工艺。</p> <p>该工艺以石灰石浆液作为吸收剂,通过石灰石浆液在吸收塔内对烟气进行洗涤,发生反应,以去除烟气中的 <math>\text{SO}_2</math>, 反应产生的亚硫酸钙</p>	<p>(1) 技术成熟,运行可靠,目前国内烟气脱硫的 80%以上采用该法</p> <p>(2) 设备和技术很容易取得,脱硫剂,石灰石易得,价格便宜</p> <p>(3) 对锅炉负荷变化有良好的适应性,在不同</p>	<p>(1) 占地面积较大,脱硫塔的设备投资较高</p> <p>(2) 脱硫塔循环量大,能耗较高</p> <p>(3) 系统有发生结垢、堵塞的倾向</p>

脱硫技术	原理	优点	缺点
	通过强制氧化生成含两个结晶水的硫酸钙，脱硫后的烟气从烟囱排放。	的烟气负荷及 SO <sub>2</sub> 浓度下，脱硫系统仍可保持较高的脱硫效率及系统稳定性	
LCFB-FGD 循环流化床烟气脱硫	锅炉排出的烟气直接进入流化床反应塔与塔内高浓度的脱硫剂反应，完成脱硫。脱硫后的烟气进入电除尘器除尘净化后，经引风机，由烟囱排出	<p>(1) 系统阻力低，确保锅炉正常运行</p> <p>(2) 断面风速高，床体瘦长，占地少</p> <p>(3) 负荷调节比例大，负荷调节快，适合负荷波动大的场合</p> <p>(4) 系统对烟气的含尘量要求不高</p> <p>(5) 系统不运行时，可直接作为烟道使用，系统可用率较高</p>	<p>(1) 脱硫效率相对较低，国内目前运行的系统中脱硫效率基本在 80%左右</p> <p>(2) 适用范围较小，适用范围为一炉一塔或两炉一塔，对多炉一塔系统的稳定性较差</p> <p>(3) 脱硫产物由于含量比较复杂，基本无法利用</p>
氧化镁 湿法烟气 脱硫	是利用 MgO 浆液或水溶液作为脱硫剂通过洗涤烟气达到脱硫的目的。吸收了 SO <sub>2</sub> 的亚硫酸盐和亚硫酸在一定温度下分解产生 H <sub>2</sub> S 气体，再用于制造硫酸，而分解形成的金属氧化物得到了再生，可以循环使用	<p>(1) 技术成熟，运行可靠</p> <p>(2) 脱硫效率高，可达 95%~98%</p> <p>(3) 副产品亚硫酸镁是造纸工业的化工原料，亚硫酸镁/硫酸镁是重要的肥料，可以生产含镁复合肥</p>	(1) 在生产过程中有 8%的 MgO 流失而造成二次污染
氨-肥法 脱硫	氨-肥法技术以水溶液中的 SO <sub>2</sub> 和 NH <sub>3</sub> 的反应为基	(1) 将回收的二氧化硫、氨全部转化为硫酸	(1) 对烟气中的尘含量要求较高

脱硫技术	原理	优点	缺点
	<p>础。采用氨将废气中的 SO<sub>2</sub> 脱除，得到亚硫酸铵中间产品，再采用压缩空气对亚硫酸铵直接氧化，并利用烟气的热量浓缩结晶生产硫铵</p>	<p>铵化肥，尤其适用高硫煤</p> <p>(2) 脱硫效率较高,可达 90%~95%; 占地面积相对较小</p> <p>(3) 系统阻力较小</p>	<p>(≤200mg/m<sup>3</sup>), 如烟气中尘含量达 350mg/m<sup>3</sup>。平均每天将有近 1t 的滤料要清理</p> <p>(2) 脱硫成本主要取决于氨的价格, 氨的消耗为 1tSO<sub>2</sub> 消耗 0.5t 氨。如氨的价格上涨较多, 将影响脱硫成本</p>
双碱法脱硫技术	<p>是用碱金属盐类, 如钠盐的水溶液吸收 SO<sub>2</sub>, 然后在另外的石灰反应器中用灰石或石灰石将吸收了 SO<sub>2</sub> 的溶液再生, 再生的溶液返回吸收塔再使用, 而 SO<sub>2</sub> 仍以亚硫酸钙和石膏的形式沉淀出来</p>	<p>(1) 其固体的产生过程不发生在吸收塔中, 从而避免了石灰石/石灰法的结垢问题</p>	<p>(1) 固体废弃物处理困难, 易于造成二次污染</p>
海水烟气脱硫技术	<p>利用天然海水固有的碱度来吸收 SO<sub>2</sub>。pH 值约为 7.8-8.3</p>	<p>(1) 技术成熟, 工艺简单, 备品备件少, 设备投资费用低。</p> <p>(2) 适合低硫煤锅炉的烟气脱硫</p> <p>(3) 只需海水, 不需添加剂</p> <p>(4) 不存固体副产品及</p>	<p>(1) 海水供排的管线防腐要求高</p>

脱硫技术	原理	优点	缺点
		废水排放 (5) 运行维护费用低, 工作量少, 建设周期短 (6) 脱硫效率可达 95% 以上	
喷雾干燥法烟气脱硫	基本原理是由空气加热器出来的烟道气进入喷雾式干燥器中, 与高速旋转喷嘴喷出的充分雾化的石灰、副产品泥浆液相接触, 并与其 $\text{SO}_x$ 反应, 生成粉状钙化物的混合物, 再经过除尘器和吸风机, 然后再将干净的烟气通过烟囱排出	(1) 脱硫效率可达 90% 以上 (2) 系统非常简单, 可用率更高 (3) 投资费用较低, 运行、维护费用低	(1) 副产品利用价值不高 (2) 吸收塔塔径直径大, 受场地限制 (3) 运行中主要存在吸收塔内固体沉积, 喷雾器磨损和堵塞等问题
炉内喷钙+后部增湿活化脱硫	将磨细的石灰石粉用气流输送方法喷射到炉膛上部温度为 $900 \sim 1250^\circ\text{C}$ 的区域, $\text{CaCO}_3$ 立即分解并与烟气中的 $\text{SO}_2$ 和少量的 $\text{SO}_3$ 反应生成 $\text{CaSO}_4$ 。在活化器内炉膛中未反应的 $\text{CaO}$ 与喷入的水反应生成 $\text{Ca(OH)}_2$ , $\text{SO}_2$ 与生成 $\text{Ca(OH)}_2$ 快速反应生成 $\text{CaSO}_3$ , 有部分被氧化成 $\text{CaSO}_4$ 。	(1) 设备占地面积较小 (2) 脱硫装置本身无废水产生 (3) 烟气温度可控制在适当的范围内, 无需再加热。	(1) 石灰石喷入炉膛 $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ 部位要消耗热量, 热损耗大约增加 $0.4\% \sim 1.0\%$ ; (2) 工艺流程复杂, 投资大 (3) 国产化技术不成熟, 运行要求高

## (2) 脱硫技术的选择

目前国内并没有针对生物质成型燃料燃烧对脱硫技术进行比选, 但因生物质成型燃料含硫量低, 可参照低硫煤标准选择合适脱硫技术。



---

- 相对来说，从经济性看，湿式脱硫更适用于中、高硫煤烟气脱硫，从经济上考虑不适合生物质成型燃料，但也可用较经济的简易湿法脱硫

- 临海地区燃用中低硫煤的电站锅炉可利用海水进行烟气脱硫，因此，珠海市临海单位可用海水烟气脱硫法去除生物质成型燃料燃烧产生的  $\text{SO}_x$

- 喷雾干燥法烟气脱硫，目前主要用于含硫 2.5% 以下的煤，因此也适合于生物质成型燃料

- 干式循环流化床烟气脱硫技术在烟气中  $\text{SO}_2$  浓度较低的情况下尤其适用，因此也适合于生物质成型燃料

- 氧化镁脱硫法、炉内喷钙+后部增湿活化脱硫等适用于低硫煤，因此也适合于生物质成型燃料

### 3.4.4 其他

HCl、重金属和 PCDD/F 也可用烟气净化技术进行脱除，其排放量都较少。HCl 可通过湿式脱硫措施来降低。另外，可使用活性炭等吸附性物质作为配套措施来脱除 HCl、 $\text{SO}_x$  和 PCDD/F。在远低于二次合成所需温度的条件下，可采用高效除尘技术分离 PCDD/F。重金属可利用除尘设备（例如布袋式除尘器或静电除尘器）来分离。

## 3.5 炉灰炉渣利用

### 3.5.1 相关定义

#### (1) 炉灰

炉灰可分为旋风除尘炉灰及过滤炉灰

旋风除尘炉灰：炉灰颗粒较小，大部分为无机物，由烟气携带并沉降在二级燃烧室和锅炉，特别是在位于燃烧装置后部的多管旋风除尘器。主要成分是粗颗粒粉尘。

过滤炉灰：沉降在静电除尘器、袋式除尘器或凝结在烟气冷凝单元（通常安装在多管旋风除尘器后部）中的泥状沉降物形式存在的第二类更细小炉灰。在没有配有高效除尘设备的小型生物质燃烧设备，这部分飞灰将随烟气一起排出。但

---

无论如何，总有一小部分未被滤除的粉尘从烟道中排出，并造成烟尘污染（取决于所采用的除尘技术）。这部分炉灰主要是由气溶胶（亚微粒级的悬浮灰分颗粒）构成。

## （2）炉渣

炉渣：也可称底灰，炉排上和初级燃烧室中产生的灰分，通常掺杂有沙、石、土壤等夹杂在生物质中的矿物杂质。如果使用流化床式燃烧装置，炉渣中还会掺杂流化床床料。这些掺杂的矿物质，尤其是在以树皮为燃料的固定式燃烧装置中，会引起结渣（由于较低的熔点温度）。炉渣中含有熔结的灰分微粒。

### 3.5.2 炉灰炉渣作肥料使用注意事项

处理生物质成型燃料燃烧生成的炉灰炉渣的方式是施用于农田（或森林）循环利用或者交给有资质单位进行处理。

利用炉灰炉渣作肥料时需注意以下几点：

- （1）仅用未经化学处理的生物质灰
- （2）生物质燃烧设备排放的炉渣和旋风除尘炉灰中有机物染物( PCDD/F、PAH)通常符合现行技术标准，未经化学处理生物质的污染物排放量较低且对生态无害
- （3）按照使用土壤特性，将炉渣和旋风除尘炉灰按照植物规定的比例配制做成所谓的可用灰，适用于农田或森林二次利用
- （4）过滤炉灰在总灰分中所占比例最低，并富集大量有机污染物及重金属，这部分炉灰需单独收集，并且不得施用于土壤中，一般必须作为垃圾排放或工业化处理
- （5）定期分析可用灰养分和重金属含量
- （6）可参考奥地利有关农田和林地生物质灰重金属含量限值标准，见表 3-9
- （7）建议将生物质灰使用于生长该生物质燃料同类植物的土壤中（例如将木灰施用于林区，秸秆灰使用于农田）
- （8）提供的灰肥需适用于传统的施肥机，即无灰渣、石子或其他直径大于 15~20mm 的颗粒物
- （9）根据生物质灰肥的特性及使用条件选择使用的播撒技术

(10) 选择适当的施肥期

(11) 在对炉灰炉渣进行操作过程中，采取措施避免发生扬尘

(12) 如有可能，在生物质燃烧系统建设生物质灰分的存放设施

(13) 为了清除炉灰炉渣中重金属的同时不排放矿物质，可在袋式除尘器前安装一台多管旋风除尘器，既清除其中的重金属，同时又可利用其中的矿物质。

(14) 今后研发生物质燃烧技术时，应重点关注如何采取清洁燃烧措施进一步分离重金属，以便提高过滤飞灰中挥发性重金属含量。从而极大地降低“可用灰”中重金属含量，确保生物质可持续、稳定地利用。

表 3-9 奥地利生物质灰分重金属含量限值

元素	林地限值/mg/kg (干重)	农田限值/mg/kg (干重)
Cu	250	250
Zn	1500	1000
Ni	100	100
Cr	250	250
Pb	100	250
Cd	8	5

### 3.5.2 有关灰肥播撒方面的要求

(1) 播撒灰肥的技术要求具备省时、低成本、易操作且扬尘少等特点

(2) 当施用于农田和草地时，适于用配有防尘装置的撒肥机。而现有未配备防尘装置的撒肥机中，只有螺旋式撒肥机可用，该机的螺旋器可将潮湿以及大块灰肥粉碎。

(3) 当在林区施用生物质灰肥时，通常选用专用设备将灰肥从公路上吹至树林中。在平坦林区，撒肥机可将灰肥吹至 50m 远。实践证明，使用小型撒肥机（额定容量为 2m<sup>3</sup>）喷出的灰流不会对小树造成伤害，树苗的针叶也未受到损伤。但必须考虑灰肥中灰渣和石子对撒肥机造成的磨损。

(4) 生物质灰分还可作为农业混合肥料的添加剂。这种非直接利用的优点是粉尘少，另外还能击除灰肥中大块渣粒：它们在混合肥料生产过程中被粉碎或分离。作为推荐值，生物质灰使用量不应超过总体积量的 5%。

---

## 第四章 环境管理要点

为了规范珠海市生物质成型燃料的利用，有效控制生物质成型燃料利用时的环境污染，根据《中华人民共和国大气污染防治法》、国家环保部办公厅《关于生物质成型燃料有关问题的复函》（环办函〔2009〕797号）、《重点区域大气污染防治“十二五”规划》（国函〔2012〕146号）、《广东省工业锅炉污染治理实施方案（2012年-2015年）》（粤环〔2012〕75号）、广东省《锅炉大气污染物排放标准》（DB44/765-2010）及《生物质固体成型燃料技术条件》（NY/T 1878-2010）等的有关要求，结合珠海市实际情况，拟定以下五部分环境管理要点以供参考。

### 一、适用范围及总体使用条件

1.1 本节所述环境管理要点针对本市行政区域内企业或单位利用生物质成型燃料的环境管理，但不用于家庭利用生物质成型燃料的管理。

1.2 原则上在以下四类区域，不得新、改、扩建生物质成型燃料锅炉：

- （1） 珠海市主城区；
- （2） 城市燃气管网覆盖范围，且城市燃气供应有保证的区域；
- （3） 中华人民共和国环境保护部令第2号《建设项目环境影响评价分类管理名录》规定的环境敏感区；
- （4） 珠海市环境保护局确认并公布的其他环境敏感区。

在上述区域外，可以使用符合本管理要点3.4规定的生物质成型燃料专用燃烧设备，其所用生物质成型燃料应符合本管理要点2.2、2.3、2.4的要求，烟气排放执行《锅炉大气污染物排放标准》（DB44/765）中燃气锅炉（或“其他燃气锅炉”）排放限值要求。国家、广东省或珠海市颁布新标准、新规定时，从其规定。

### 二、生物质成型燃料

2.1 生物质成型燃料是指采用农林废弃物（秸秆、稻壳、木屑、树枝等）为原料，通过专门设备在特定工艺条件下加工制成的棒状、块状或颗粒状的生物质固态成型燃料，可有效改善农林废弃物的燃烧性能，其硫、氮和灰份含量较低，

---

在配套的专用燃烧设备上应用，可实现清洁、高效燃烧，产生的二氧化硫、氮氧化物和烟尘较少，不属于高污染燃料。

2.2 生物质成型燃料原料为农林废弃物（秸秆、稻壳、木屑、树枝等），严禁使用由废木制家具、废纸、生活垃圾、市政污泥等含有人工合成化合物或其他毒害物质的可燃废物加工成型的燃料。

2.3 生物质颗粒燃料（直径或横截面最大尺寸  $D \leq 25\text{mm}$  的生物质成型燃料）应满足以下指标：密度  $\geq 1000\text{kg/m}^3$ ；含水率  $\leq 13\%$ ；草本类：灰分含量  $\leq 10\%$ ，低位发热量  $\geq 13.4\text{MJ/kg}$ ；木本类：灰分含量  $\leq 6\%$ ，低位发热量  $\geq 16.9\text{MJ/kg}$ 。

生物质棒（块）状燃料（ $D \geq 25\text{mm}$ ）应满足：密度  $\geq 800\text{kg/m}^3$ ；含水率  $\leq 16\%$ ；草本类：灰分含量  $\leq 12\%$ ，低位发热量  $\geq 13.4\text{MJ/kg}$ ；木本类：灰分含量  $\leq 6\%$ ，低位发热量  $\geq 16.9\text{MJ/kg}$ 。破碎率  $\leq 5\%$ 。

2.4 生物质成型燃料应满足以下性能指标：硫含量  $\leq 0.2\%$ ，钾含量  $\leq 1\%$ ，氯含量  $\leq 0.8$ ，一般不需添加剂，若使用添加剂，则要求添加剂无毒、无味、无害，且添加剂含量  $\leq 2\%$ 。若不能满足这些指标要求，应在产品包装书上进行标识，或向用户书面说明实际测试值。

2.5 生物质成型燃料，应提供产品质量监督检测机构出具的检验报告，检验结果应满足本管理要点 2.2、2.3、2.4 的要求。上述资料需在报批环评文件时提交环保部门。

### 三、生物质成型燃料燃烧设备及污染物排放限值

3.1 生物质成型燃料燃烧设备指专门燃烧生物质成型燃料的设备，主要指生物质成型燃料锅炉，在保证生物质成型燃料来源、品质前提下，具有污染物排放浓度低等优点。

3.2 生物质成型燃料锅炉大气污染物排放应满足以下指标（常规监测项目）：烟尘浓度  $\leq 30\text{mg/m}^3$ ，烟气黑度（林格曼黑度） $\leq 1.0$  级，二氧化硫浓度  $\leq 50\text{mg/m}^3$ ，氮氧化物浓度  $\leq 200\text{mg/m}^3$ 。烟囱高度及距周围居民住宅的距离应按批准的环境影响报告书确定，但不得低于 15m，若锅炉烟囱高度达不到规定高度，其烟尘、二氧化硫、氮氧化物最高允许排放浓度，按本条规定指标的 50% 执行。

对生物质成型燃料锅炉烟气的监督性监测每年不少于 1 次，如被国家或地方环境保护行政主管部门列为年度重点监管的排污单位，每年监督性监测不少于

4 次。

3.3 使用生物质成型燃料的单位应加强对灰渣的管理，不得随意弃置。鼓励统一回收灰渣进行农业或工业的综合利用。若用于农林肥料，重金属含量需达到以下指标要求（单位：mg/kg(干重)）：林地限值  $Cu \leq 250$ ， $Zn \leq 1500$ ， $Ni \leq 100$ ， $Cr \leq 250$ ， $Pb \leq 100$ ， $Cd \leq 8$ ；农田限值  $Cu \leq 250$ ， $Zn \leq 1000$ ， $Ni \leq 100$ ， $Cr \leq 250$ ， $Pb \leq 250$ ， $Cd \leq 5$ 。

3.4 生物质成型燃料专用锅炉，应提供满足本管理要点中 3.1 要求的证明文件和《锅炉压力容器制造许可证》，以及最近 12 个月内至少两批次由取得计量认证证书的实验室或检测机构出具的同型号锅炉的烟气检测报告，各批次监测时间间隔不少于 1 个月。监测时的工况必须达到锅炉额定功率的 70% 以上，监测结果必须满足本管理要点中 1.2 的要求。上述资料需在报批环评文件时提交环保部门。

#### 四、环评管理

4.1 报批使用生物质成型燃料锅炉的建设项目，应编制环境影响报告书，烟气验收指标包括烟尘、二氧化硫、氮氧化物、烟气黑度、一氧化碳、二噁英，烟囱高度不低于 15m，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度及烟气黑度应符合本管理要点 3.2 中的要求，一氧化碳最高允许排放标准为  $\leq 200\text{mg}/\text{m}^3$ ，二噁英最高允许排放标准为  $0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。

4.2 使用生物质成型燃料的单位在报批项目的环境影响评价文件时，应一并提供《环境保护部办公厅关于生物质成型燃料有关问题的复函》（环办函〔2009〕797 号）第三条规定的资质和认证证明，以及本管理要点 2.5、3.4 所述证件、监测报告、检验报告等。

#### 五、日常管理

5.1 生物质成型燃料必须是有两年以上用户，且经取得计量认证证书的实验室或检测机构出具检测报告的固态成型燃料。生物质成型燃料生产单位每半年应提交一次近 5 个工作日所用生物质成型燃料的检测报告。该燃料的基本成份检测报告（氯、碳、硫、氮等指标）和样品应定期（每年至少一次）提交给使用单位，由环保主管部门备查，做为环境管理的重要依据。企业如需变更生物质成型燃料的来源或规格，应向环境监察部门提交上述资料报备。

---

5.2 各生物质成型燃料锅炉使用单位应设立使用生物质成型燃料的计量台帐，记录燃料来源、使用量、主要成分等指标，并制定相应管理制度，建立废气治理设施的应急保障方案，由环境监察部门备查。

5.3 企业或单位应对锅炉燃料进料口安装视频监控系统并预留端口至市环保局，燃料储料仓除生物质成型燃料及必要的引燃剂外不可存放其他可燃物料。使用单位在使用的锅炉房外对使用的生物质成型燃料来源、品种、设备及其生产厂家等进行标示。

---

## 附录 1 相关法规、标准、技术规范

### 清洁能源相关法律、条例

1. 《中华人民共和国可再生能源法》（主席令[2005]33号）
2. 《中华人民共和国节约能源法》（主席令[2007]77号）
3. 《中华人民共和国清洁生产促进法》（主席令[2012]54号）
4. 《中华人民共和国大气污染防治法》（主席令[2000]32号）
5. 《中华人民共和国循环经济促进法》（主席令[2008]4号）
6. 《广东省节约能源条例》（粤发[2010]37号）

### 行政规章与相关规划

1. 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》（国函〔2012〕146号）
2. 《可再生能源中长期发展规划》（发改能源[2007]2174号）
3. 《生物质能“十二五”规划》（国能新能〔2012〕216号）
4. 《“十二五”节能环保产业发展规划》（国发〔2012〕19号）
5. 《珠江三角洲清洁空气行动计划 2011 年度实施方案》（粤环[2011]48号）
6. 《清洁生产审核暂行办法》（环发[2004]16号）
7. 《燃煤二氧化硫排放污染防治技术政策》（环发〔2002〕26号）
8. 《广东省工业锅炉污染整治实施方案（2012年-2015年）》（粤环[2012]75号）
9. 《广东省珠江三角洲大气污染防治办法》（粤发[2009]134号）

### 标准与技术规范

1. DB44/765-2010 广东省《锅炉大气污染物排放标准》
2. DB44/27T-2001 广东省《大气污染物排放限值》
3. GB 3841-1983 《锅炉烟尘排放标准》
4. GB16297-1996 《大气污染物综合排放标准》
5. HJ 2000-2010 《大气污染治理工程技术导则》
6. HJ 606-2011 《工业污染源现场检查技术规范》



- 
7. HJ 462—2009 《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》
  8. NY/T 1915-2010 《生物质固体成型燃料-术语》
  9. NY/T 1878-2010 《生物质固体成型燃料技术条件》
  10. NY/T 1879-2010 《生物质固体成型燃料采样方法》
  11. NY/T 1880-2010 《生物质固体成型燃料样品制备方法》
  12. NY/T 1881.1-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第1部分：通则）》
  13. NY/T 1881.2-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第2部分：全水分）》
  14. NY/T 1881.3-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第3部分：一般分析样品水分）》
  15. NY/T 1881.4-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第4部分：挥发分）》
  16. NY/T 1881.5-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第5部分：灰分）》
  17. NY/T 1881.6-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第6部分：堆积密度）》
  18. NY/T 1881.7-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第7部分：密度）》
  19. NY/T 1881.8-2010 《生物质固体成型燃料试验方法（第8部分：机械耐久性）》
  20. NY/T 1882-2010 《生物质固体成型燃料成型设备技术条件》
  21. NY/T 1883-2010 《生物质固体成型燃料成型设备试验方法》

---

## 附录2 环境保护部办公厅关于生物质成型燃料有关问题的复函(环办函〔2009〕797号)

广东省环境保护厅：

你厅《关于明确生物质成型燃料（BMF）是否属于高污染燃料的请示》（粤环报〔2009〕29号）收悉。经研究，函复如下：

一、采用农林废弃物（秸秆、稻壳、木屑、树枝等）为原料，通过专门设备在特定工艺条件下加工制成的棒状、块状或颗粒状等生物质成型燃料，可有效改善农林废弃物的燃烧性能，其硫、氮和灰份含量较低，在配套的专用燃烧设备上应用，可实现清洁、高效燃烧，产生的二氧化硫、氮氧化物和烟尘较少，不属于高污染燃料。

二、生物质成型燃料在城市中的推广应用要充分考虑当地环境空气质量控制要求和燃料供应的实际情况。在城市的燃气供应不能满足需求时，生物质成型燃料可作为一种替代燃料，并应以燃气的排放标准来要求；在大城市中心区的推广应用应当进行科学论证，并应提出更严格的大气污染物排放控制要求。

三、在推广应用工作中，应当加强对生物质成型燃料生产和使用的监督管理，制定生物质成型燃料及配套专用燃烧设备的地方标准和技术规范，规范其生产和使用；在应用过程中，注意监测是否有二恶英类物质产生；生产、销售生物质成型燃料和配套专用燃烧设备的单位应具备相应资质，产品须经质量、安全、环保、节能等相关管理部门的认证，符合相关技术规定和标准。

四、请你厅及时对生物质成型燃料的生产和使用情况进行总结，并报我部。

二〇〇九年八月七日