

# 垃圾与生物质混合燃料分布式发电系统技术分析

张亮

(武汉凯迪工程技术研究总院有限公司, 武汉430223)

摘要：“垃圾围城”现象给中国城市发展带来的环境污染问题日益严重，当前城市生活垃圾处理的主流方式是焚烧，但存在垃圾热值低、运行不经济以及焚烧技术带来潜在的环境二次污染问题。本文提出一种城市垃圾与农林废弃物混合燃料分布式发电系统属于再生能源利用的一种形式，通过分布式发电系统能实现垃圾减量化、资源化、无害化，不产生二次污染（如二噁英），比单一垃圾焚烧发电系统发电效率更高，系统更灵活，余热产品更丰富，经济效益更好，是十三五规划能源创新领域重点推荐的技术路线。

## 引言

“垃圾围城”现象给中国城市发展带来的环境污染问题日益严重，焚烧已经成为城市生活垃圾处理的主流方式。但是另一方面，一些地方的垃圾焚烧发电出现“邻避”效应，也就是人们担心这类项目对环境、身体健康等产生负面影响，不希望建在自家门，因此导致项目落地难<sup>[1]</sup>。同时由于由于含水率高、发热值低、成分复杂，焚烧过程中需要外加化石燃料，在一定程度上增加了能源需求负荷，使得处理成本居高不下。特别是中小城市每天的垃圾量不够300吨的规模，因而投资企业无法达到一类垃圾焚烧发电厂要求，使得投资回报率和内部收益率无法满足其同行业最低要求，企业无法正常运营和生存<sup>[2]</sup>。

而生物质燃料属于一种可再生能源，利用生物质能发电，不仅可以开发新能源，节约煤炭，改善我国能源结构，减少污染物排放，而且可以充分利用当地资源，增加农民收入，增强企业经济效益和生存能力，具有重要意义<sup>[3]</sup>。

国家能源局颁发《生物质能发展“十三五”规划》“发展布局和建设重点”中提出“鼓励建设垃圾焚烧热电联产项目。加快应用现代垃圾焚烧处理及污染防治技术，提高垃圾焚烧发电环保水平。加强宣传和舆论引导，避免和减少邻避效应。”本文采用城市垃圾与农林废弃物混合燃料分布式发电系统属于再生能源利用的一种形式，通过分布式发电系统实现垃圾减量化、资源化、无害化，不产生二次污染（如二噁英），且能避免垃圾单独焚烧发电带来的各种环保指标差及经济性差的问题，是十三五规划能源创新重点推荐的技术路线。

## 1城市垃圾与生物质混合燃料分布式能源系统总体方案

### 1.1系统总体方案配置图

分布式能源系统是指布置在用户附近，采用发电机组发电，并利用发电余热进行供冷、供热的能源系统，主要设备包括垃圾气化装置、发电机组、余热利用装置等，对特定用户，进行合理的系统配置是分布式供能系统成功的关键因素之一。

本文所述分布式系统拟采用混合燃料部分干燥后送入气化炉，生产中热值合成气，合成气适当净化处理，洁净合成气输入燃气内燃机发电，而内燃机高温排气及缸套冷却水具有丰富余热，拟采用余热炉回收热能为周边居民或工厂供热，系统配置图1所示。

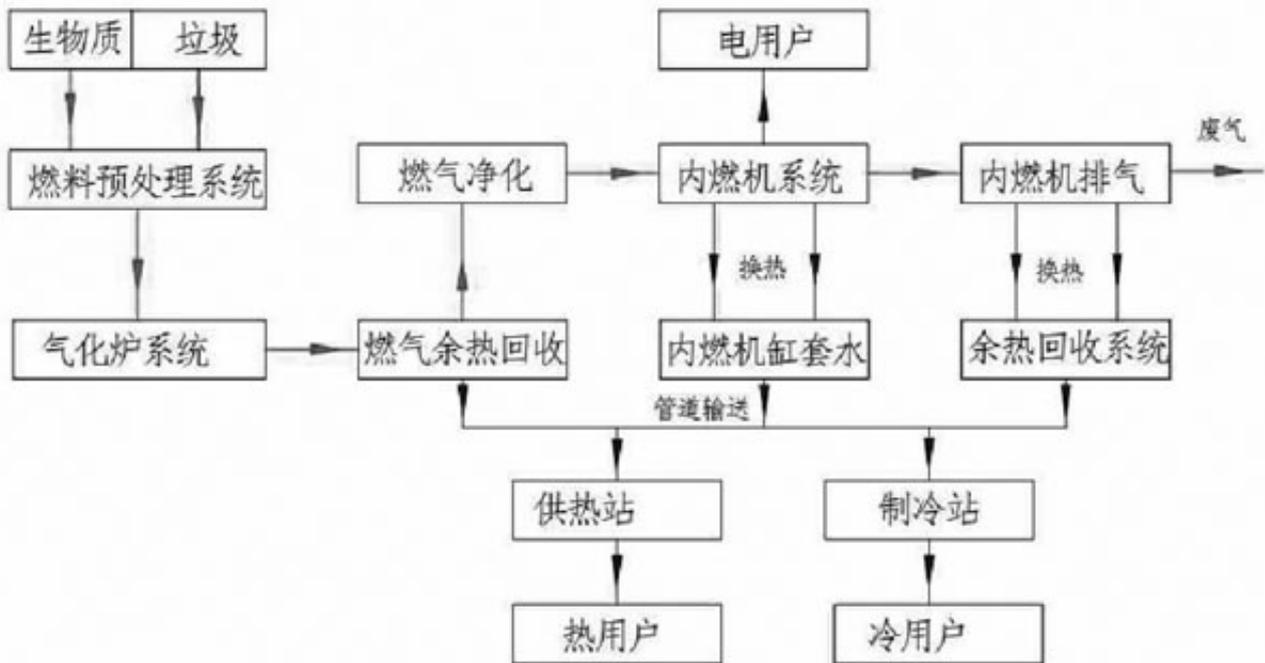


图 1 垃圾与生物质混合燃料分布式发电系统图

### 1.2 分布式发电能源系统的优势

与垃圾焚烧系统相比存在显著优势：

分布式发电系统纯发电效率高于垃圾焚烧发电。

分布式发电系统比单一垃圾焚烧发电系统灵活，且余热产品丰富，经济效益好。

分布式发电环保性强，能变废为宝，且没有二次污染，是真正的垃圾绿色处理方式。

分布式发电采用内燃机发电，减少常规蒸汽发电对水源的需求，电厂选址范围更广。

### 2 分布式发电能源系统关键工艺分析

#### 2.1 燃料预处理系统

燃料预处理系统是通过将垃圾与生物质燃料混合，依据垃圾平均热值的波动，向垃圾中掺混热值较高的生物质燃料，达到燃料热值恒定的目的。垃圾与生物质秸秆燃料热值如表1所示。

表 1 垃圾、生物质燃料成分分析表

燃料	工业分析 (wt%) <sub>干燥基</sub>				元素分析 (wt%) <sub>干燥基</sub>					热值 kJ/kg
	水分	灰分	挥发分	固定碳	碳	氢	氧	氮	硫	
垃圾	10.87	11.02	68.14	9.97	40	8.45	33.26	0.98	1.36	7000
玉米秆	7.4	6.06	69.86	16.68	37.95	6.47	40.76	0.77	0.59	15286
麦秆	5.68	6.98	75.93	11.41	38.47	6.68	36.42	0.79	0.16	14320

采用垃圾与秸秆按5:5或者4:6比例进行掺混能实现燃料热值稳定在2200kcal/kg及以上，无需使用化石燃料。本文采用150t/天垃圾与150t/天生物质燃料掺混，即每天处理燃料总量达到300吨，发电规模在8~10MW，而该规模正是垃圾或生物质分布式发电最佳经济规模<sup>[4]</sup>。

#### 2.2 气化炉工艺系统

从理论上讲，任何一种气化工艺都可以构成生物质气化发电系统。但从气化发电的质量和经济性出发，气化炉必须达到生产燃气热值要高而且质量稳定，以提高内燃机的输出功率，增大整个系统的效率。另外设计气化炉本体及加料排渣系统，应充分考虑原料特性，实现连续运行。

**表 2 各种气化炉产生气体热值**

类型	下吸式	上吸式	横吸式	开心式	单流床	双流床	循环床	携带床
空气	L	L	L	L	L			
氧气	H	H	H		H		H	H
蒸汽					H	H		

L: 低热值气体; H: 中热值气体。

当前能进行生物质燃料气化的炉型见表2，可见能达到中热值气体的气化炉有单流化床与双流化床，表3重点比较循环流化床与双流化床差别，从热值角度来看，只有双流化床能实现不用纯氧情况下达到高热值燃气的要求。

**表 3 两类气化炉的比较**

炉型	优点	缺点	适用范围
循环流化床气化炉	原料适应性好; 操作方便。给料存量; 温度控制方便; 反应速率和碳转化率高; 可在床内添加催化剂; 规模放大容易	焦油问题突出; 存在腐蚀和磨损问题; 操作控制较差; 工艺成熟度不足; 产气热值不高	适于大规模 (1MW 以上)
双流化床气化炉	产气具有中等热值; 含氢量高; 反应速率高; 可在床内添加催化剂; 规模放大容易	相对复杂的构造和操作; 存在焦油问题; 成本高	适于大规模 (1MW 以上)

双流化床气化装置主要是由燃烧炉和气化炉组成，物料的气化和燃烧被分离开来，燃料不与空气直接接触，因此气化产气不会与燃烧烟气相混，得到几乎不含N<sub>2</sub>的高纯度可燃气体，其系统原理图如图2。

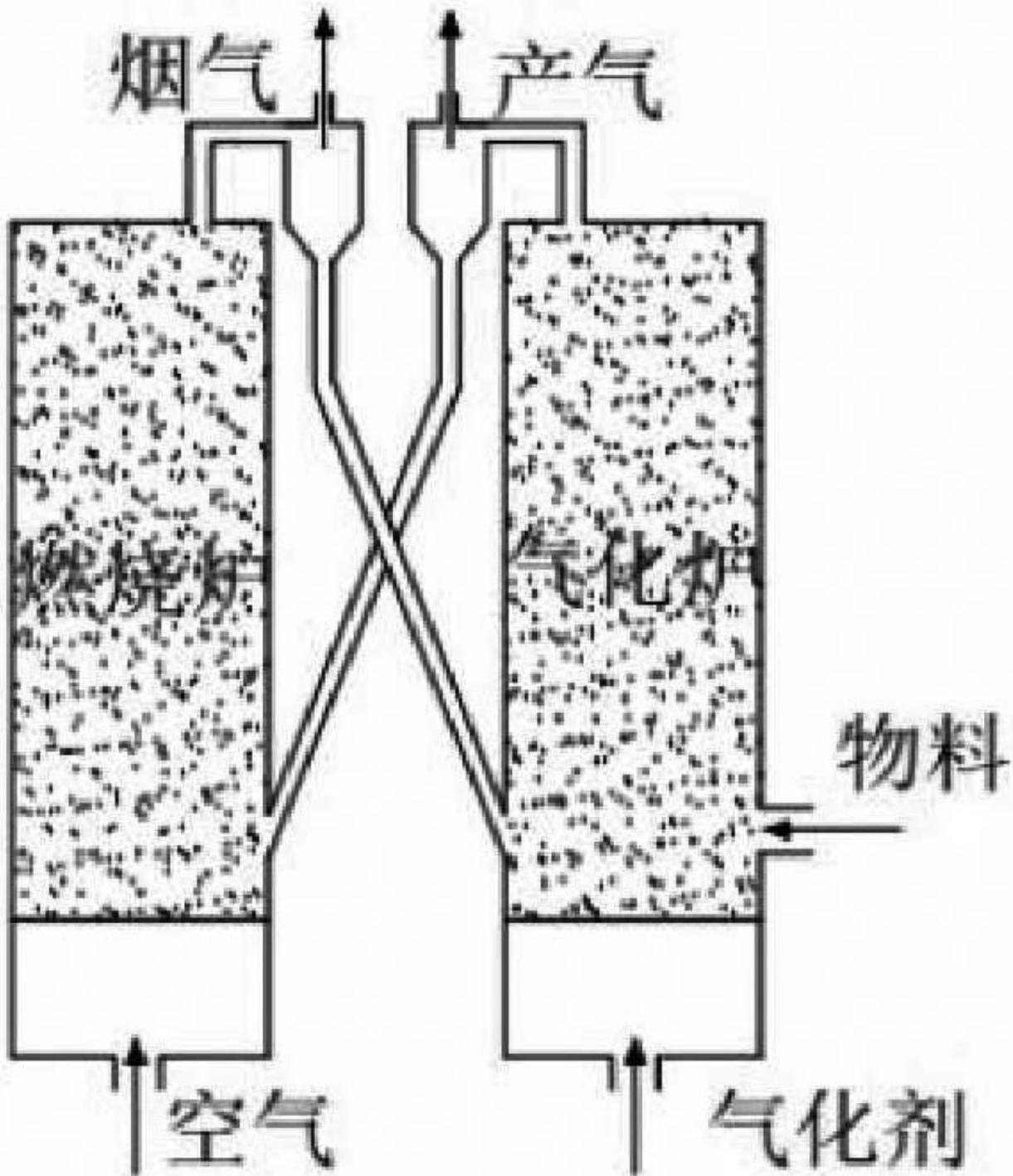


图 2 双流化床运行系统原理图

双流化床气化燃气为含氢量较高的中热值气体，并且焦油含量低于 $40\text{g}/\text{Nm}^3$ ，其气化条件在温度 $790^\circ\text{C}$ ， $S/B=1$ ，流化数为 $1.44$ 。产气质量与气化温度正相关，温度越高焦油含量越低，气化温度至少需要达到 $700^\circ\text{C}$ ；产气质量与 $S/B$ 成正相关， $S/B$ 越高焦油含量越低， $S/B$ 的最佳运行区间为 $0.6\sim 1$ ；产气质量与流化数成负相关，流化数越大焦油含量越高，建议流化数不超过 $1.5$ ；白云石有最好的催化效果，得到最佳的产气质量和最少的焦油含量，但橄榄石兼具催化性和耐磨性，更适用于流化床气化系统。

### 2.3内燃机系统

相比于燃气轮机，燃气内燃机具有更好的部分负荷特性，主要体现在燃气内燃机的余热利用效率随负荷率的降低有所提高，而燃气轮机的余热利用效率随原动机负荷率的降低而降低。从当前我国的工业水平来看，设备可以完全国产化，适合于发展分散的、独立的生物质能源利用体系，可以形成我国自己的产业，在发展中国家大范围处理生物质中有广阔的前景。

### 3垃圾焚烧与分布式能源系统技术经济对比

#### 3.1发电参数与效率对比

在国内垃圾焚烧发电厂中，依然采用传统的蒸汽发电方式，即朗肯循环发电方式，该方式存在大量低温冷凝损失，特别是纯凝发电机组需要大量循环冷却水带走冷源损失，存在效率低，对水源需求量大等诸多弊端。基于垃圾焚烧炉的特殊情况，垃圾焚烧锅炉的蒸汽参数主要选用中温中压工况（4.0MPa，400℃），而中温次高压工况（6.5MPa，450℃）只有广州李坑垃圾焚烧发电一家采用。蒸汽参数直接影响到余热锅炉的制造成本、运行成本、热效率和焚烧厂的经济效益。基于国内垃圾焚烧25年运行情况分析报告来看，实际上，国内外已建成的垃圾焚烧厂中，余热锅炉约90%以上采用中温中压参数。近年来，随着优质耐腐蚀材料价格降低和运营管理水平提高，中温次高压次高温参数的应用有增加趋势，但总体而言发电效率普遍较低。

**表 4 国外某品牌燃气内燃机各型号的参数**

型号	电功率 kW	电效率%	热功率 kW	热效率%	总效率%
6120	1453	39.6	1650	45	84.6
6160	1932	39.5	2130	45	84.5
6200	2412	39.5	2753	45	84.5

本工艺垃圾与生物质混合发电采用常压循环流化床气化技术，气化温度790℃，气化生成中热值（2200kcal/nm<sup>3</sup>）燃气送入燃气内燃机，燃气在内燃机内高温燃烧，产生高温烟气直接推动气缸做功而发电，国产常规内燃机能达到28-30%的发电效率，而进口内燃机更是能达到38%发电效率。因而，采用垃圾与生物质混合分布式能源系统采用高温卡诺循环系统，突出了小机组、高效率的特点，冷端高温排气的废热还可用于制冷与供热，使得产品多元化，这集中体现了分布式能源系统的优势。（表5）

**表 5 垃圾焚烧与垃圾气化分布式系统参数与效率对比表**

处理方式	热值 kJ/kg	参数	效率%			
			焚烧炉	汽轮机	发电机	发电效率
垃圾焚烧	7000	蒸汽 6.5MPa, 450℃	70-78	28-30	96	18-23
分布式系统	混合燃料 9210	燃气 kcal/nm <sup>3</sup> 2200-2500	气化炉 62-65	内燃机 35-38	发电机 96	发电效率 22-25

#### 3.2二次污染物（二噁英）控制技术对比

在垃圾焚烧处理过程中，遇到最大的技术瓶颈是焚烧炉内如何控制或避免二噁英的生成。解决措施是“3T”原则，即温度（Temperature）、停留时间（Time）和紊流（Turbulent）。操作中一般采用：在1000℃时，炉内气体停留时间要超过1s；而在850℃时，要超过2s。此外，需要在燃烧室中制造紊流，使得空气与燃料可以混合均匀，进一步保证燃烧的完全，推荐的紊流的雷诺数要超过10000。此外，由于垃圾成分、热值的变化及炉内燃烧工况的波动，剧毒物质二噁英炉内生成将不可避免，因而出炉的烟气同时考虑采用半干法洗涤塔+布袋除尘器+吸附剂吸附的污染物净化设备来保证二噁英排放达标，使之不会对环境造成污染，不会影响周边居民的身心健康。

而本工艺分布式发电系统采用垃圾与生物质混合气化发电，虽然燃气在炉内停留时间达到5s以上，但气化炉内温度为750℃，不会使得二噁英完全裂解，燃气中必然含有二噁英，而含有二噁英燃气随后会送入内燃机缸内高温燃烧，通过内燃机燃烧技术进行二次高温燃烧，燃烧温度超过1000℃，且内燃机燃烧工况稳定，二次再燃能完全消除二噁英。

### 3.3系统运行对比

以垃圾为原料的发电厂运行中遇到的主要问题在于垃圾种类较多、热值变化较大，在常规焚烧炉内为了确保炉温恒定，运行过程中必须时刻监测炉温变化，实时调整燃料量及供风量，导致负荷变化剧烈，使得整体运行非常不平衡，严重时偏离设计工况较远，极大影响系统效率及单位燃料发电量。

本工艺分布式发电系统采用垃圾与生物质混合料作为入炉燃料，可以实现在燃料入炉前通过生物质燃料配比方式实现混合燃料热值的基本恒定，减少对后续工艺系统的影响，特别是采用双流化床气化工艺，燃料在双床之间能更好的实现自平衡，促进整体系统平稳运行，能保证系统设计效率。

同时，本工艺系统由多台内燃机为动力源组成整体发电、制冷、供热分布系统，完全可以根据燃料收集量来合理分配内燃机工作数量，同时双床中的燃烧炉也能依据用户需要灵活调节制冷与供热负荷。

## 4结论

《可再生能源发展“十三五”规划》指出到“十三五”末期，我国垃圾焚烧发电装机容量约达到750万千瓦，相比2015年底约480万千瓦的量，增幅超过五成。本文所采用“垃圾+秸秆”分布式发电能源项目，其单纯的发电效率相对垃圾焚烧发电，且还能实现热电联产，通过热效率提高来降低系统的运行成本，提高垃圾与生物质燃料发电厂的盈利能力，促进行业健康发展，是当前解决“垃圾围城”现象的最有效工艺系统，是垃圾减量化、资源化的必由之路，应用前景非常广泛。

### 参考文献：

- [1]邢献军.生活垃圾混烧秸秆类生物质颗粒[J].农业工程学报, 2016, 4.
- [2]米铁.生物质流化床气化过程的试验研究及示范[J].农村能源, 2001, 1.
- [3]张卫.垃圾焚烧发电厂锅炉参数技术的选用[J].广东电力, 2012, 2.
- [4]张嵘.分布式能源内燃机容量选择[J].发电与空调, 2006, 7.
- [5]杨鲁斌.生物质双流化床气化的实验研究与理论模型建立, 硕士学位论文, 014.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/127522.html>