生物质气化耦合燃煤发电技术的应用

赵世伟[1]，刁润丽[2]，胡雪梅[1]，赵伟普[3]

(1.国家电投集团河南电力有限公司平顶山发电分公司，河南平顶山467312；2.河南质量工程职业学院食品与化工系，河南平顶山467001；3.光大环保能源有限公司，郑州451184)

摘要：生物质气化耦合燃煤发电技术是生物质资源利用的重要发展方向。根据生物质气化耦合燃煤发电技术的原理，进行生物质气化耦合燃煤发电的实际应用，研究该技术在应用过程中存在的一些问题及对策，说明生物质气化耦合燃煤发电是生物质高效和经济的应用途径之一。

生物质能是绿色植物通过光合作用而储存的可再生能源，杂草、农作物秸秆、农作物加工残余、林业加工废料和林业生产废弃物等都属于常见的生物质能。生物质能是可再生能源中唯一可运输、能储存、可持续利用的能源，其种类丰富、分布广泛，获取技术难度及成本低。我国生物质能储量巨大、分布广泛，2017年我国农林生物质发电共计处理农林废弃物约5400万t，节约标煤1200万t，减排二氧化碳3250万t。生物质能是理想的气化原料，生物质气化为可燃气体使生物质能的利用更加方便、清洁和高效。

1生物质气化耦合燃煤发电技术原理

1.1生物质气化耦合燃煤发电技术原理

生物质气化耦合燃煤发电是通过热化学处理过程把生物质转化为可燃气体，热化学处理过程在气化炉内完成。生物质原料经过预处理后，进入气化炉内被加热和干燥，随加热温度的不断升高，原料内部的挥发分开始析出，挥发分与气化介质(空气、氧气、水蒸气)发生燃烧反应，持续释放热量并维持干燥、热解和还原反应的连续进行[1]，氧化反应生成的气体主要含有CO、H_2、CH_4和C_mH_n等可燃气体，热值为4~6MJ/Nm^3，除去焦油及杂质后得到纯净的可燃气体。气化过程改变了原有生物质的形态，得到高纯度的可燃气体，提高了生物质能量转换过程的效率，且得到炭粉、焦油和木醋液等副产品，可以综合循环利用[2]。

1.2生物质气化耦合燃煤发电工艺及气化炉

生物质气化耦合燃煤发电工艺流程主要由进料系统、气化反应器（气化炉）、气体净化系统和后续气体处理系统组成。其中进料系统包括气化介质供应、生物质进料及其控制系统，净化系统可除去可燃气体中的固体颗粒、焦油及冷凝物等杂质，后处理系统为转化利用设备，可发电、集中供气和供暖等。生物质气化工艺流程如图1所示。

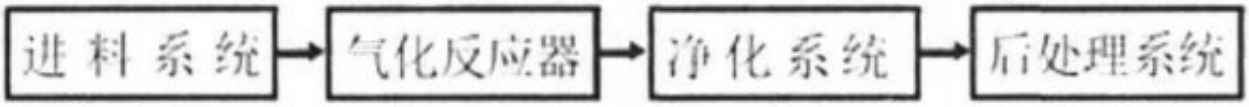

图1　生物质气化工艺流程图

气化炉是生物质气化耦合燃煤发电的核心设备，常见的气化炉有流化床、固定床及携带床3种，其中固定床和流化床[3]比较常见，固定床适用于小型气化系统，大中型气化系统多采用流化床技术。

根据固定床炉内气体流动方向的不同，将固定床分为四种炉型：下吸式、上吸式、横吸式和开心式气化炉[4]，固定床气化炉工作原理如图2所示。下吸式气化炉结构较简单、工作稳定，可随时开盖添料，出炉可燃气焦油杂质含量较少，该气化炉主要应用在发电方面，目前中国和印度使用较多。燃气在上吸式气化炉内经过热解层和干燥层时进行热量的多向传递，并进行物料的热分解和干燥，降低了燃气自身的温度，此种气化炉结构简单、运行方便、气化效率高、气体热值高、含尘量低。横吸式气化炉内，通过单管进风喷嘴高速吹入空气，形成一个高温燃烧区(达2000t)，此类型的气化炉生产强度高，适合气化较难燃烧的生物质物料。生物质物料和空气自开心式气化炉炉顶进入，反应温度沿反应截面分布均匀，由于气、固两相同向流动，有利于焦油的裂解，生物质燃气中焦油含量较低，该炉型生产强度在几种固定床中居首位。

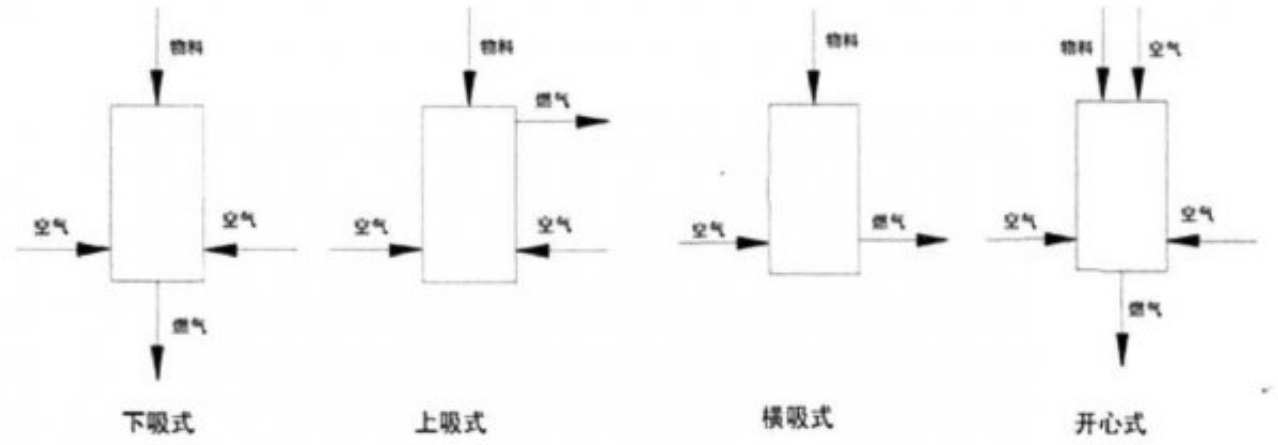

图 2　固定床气化炉工作原理

流化床气化炉使用的生物质物料中常带有惰性颗粒，物料与气化剂充分接触，受热均匀，在炉内呈“沸腾”状态。流化床气化炉气化反应速度快、效率高，炉内反应温度在800t左右，且恒定，焦油在流化床内裂解成气体，焦油含量较低[5-6]。流化床气化反应控制方便，在30%~120%负荷范围内可稳定运行，近年投运的大中型气化系统多采用常压循环流化床。

应用于发电、供热的生物质气化耦合燃煤发电炉向大型化发展，供气应用的气化炉向中小型化发展，大型气化炉的发电规模可达(10~50)MW，中小型气化炉的产气
量一般为200~700m^3/h，发电规模为(1~2)MW，可为小区住户提供热源、电力及燃气。

2生物质气化耦合燃煤发电技术应用

2.1生物质发电技术

生物质发电技术主要包括生物质直接燃烧发电、生物质气化发电以及生物质耦合燃煤电厂发电等技术[7]。生物质直接燃烧发电是利用生物质锅炉燃烧生物质燃料产生蒸汽，蒸汽推动汽轮机带动发电机发电，生物质锅炉燃烧方式有固定床和流化床两种。

生物质气化发电是利用生物质在气化炉中气化，可燃气体经净化后驱动内燃机或小型燃气轮机发电[8]。生物质气化制取的可燃气体用于发电有多种模式可供选择，可燃气体作为蒸汽锅炉的燃料直接燃烧，锅炉产生高温高压水蒸气推动蒸汽汽轮机发电；生物质燃气在燃气轮机中做功，推动发电机发电，但燃气轮机需要高压燃气才能获得较高效率，需要加压气化炉与之配合，存在灰尘、杂质等污染问题，且燃气轮机造价及后期维护费用偏高。

生物质耦合燃煤电厂发电是将生物质原料应用于燃煤电厂中，与燃煤共同燃烧发电[9]。生物质与燃煤电厂有2种耦合燃烧方式：生物质直接与燃煤混合燃烧产生蒸汽，推动蒸汽轮机发电；生物质气化产生可燃气体与煤在原锅炉内混合燃烧产生蒸汽，推动蒸汽轮机发电，此种方式仅需在燃煤电厂的基础上增加一套生物质气化炉设备，并对原锅炉燃烧系统进行一定程度的技改，增加燃气燃烧器系统，以燃烧生物质燃气产生锅炉蒸汽。

2.2生物质气耦合燃煤发电技术的提出

生物质原料经过气化系统转化成燃气后与煤粉在锅炉中耦合燃烧发电，耦合燃烧发电发展潜力巨大，生物质气与煤耦合燃烧充分地利用了现有燃煤发电厂的设备，仅需对生物质燃料部分进行适度的投资，生物质燃气耦合燃烧在现阶段是一种低成本、低风险可再生能源利用方式|9]；充分利用现有分散各地的燃煤发电厂，不仅能够就近取材，降低原材料成本，而且适应生物质分布分散、季节性的特点[10]，生物质耦合燃煤发电技术原理如图3所示。

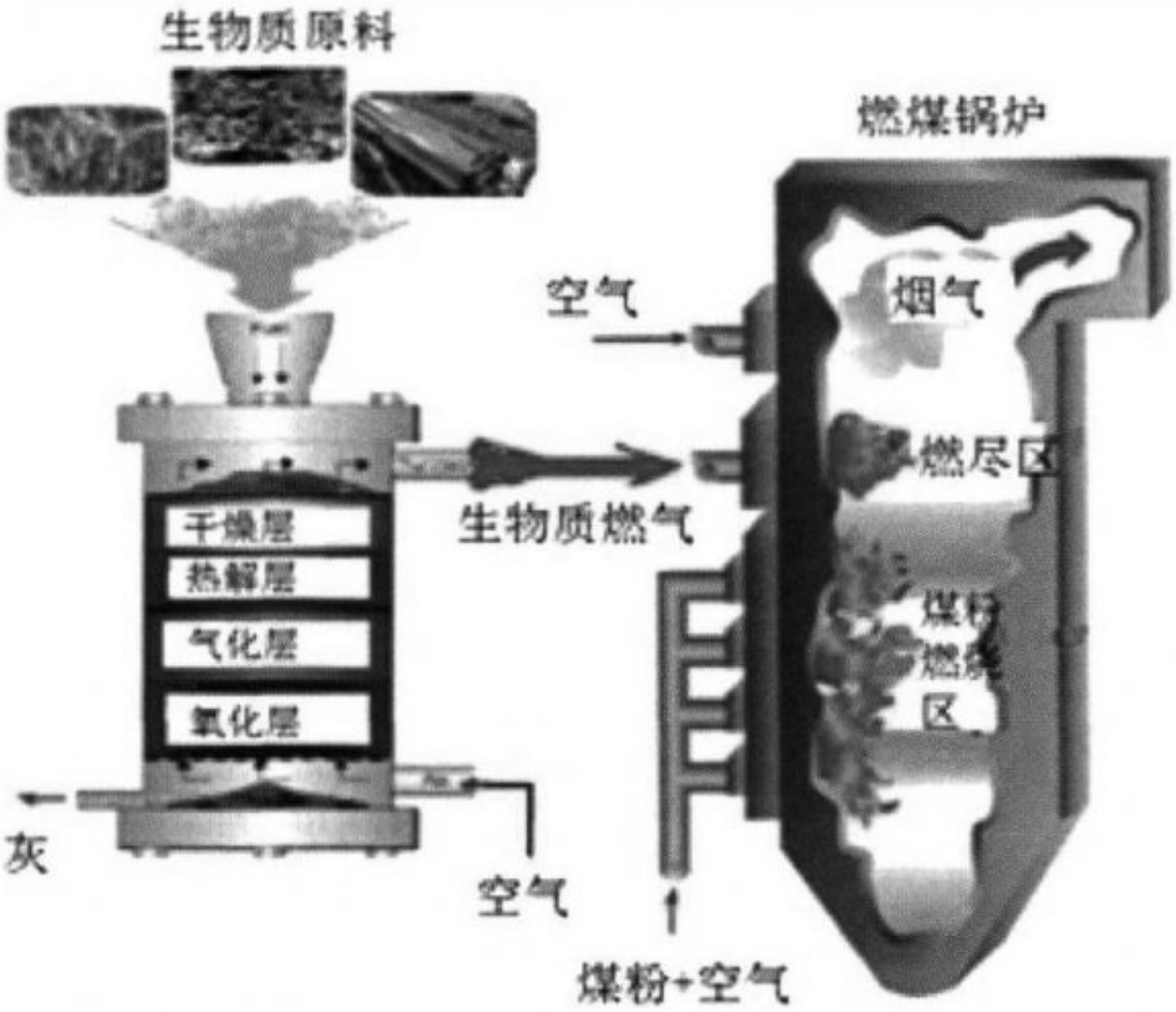

图3　生物质耦合燃煤发电技术原理

生物质气化炉对不同种类的生物质原料有较强的适应性，满足生物质锅炉适应多种生物质原料的要求。生物质气耦合燃煤发电具有生物质燃料适用范围广的优点，同时基于生物质气化的耦合燃烧能够避免直燃过程中燃料处理、燃料输送等一系列问题，还可解决直燃锅炉遇到的沾污及结渣等难题；采用生物质气耦合燃烧，可使煤灰和生物质灰分开，煤灰成分不受影响，提高灰渣综合利用水平[11]；生物质气耦合燃煤发电技术可以应用于现有不同容量、不同形式的燃煤电站锅炉，对现有锅炉的改动很小，运行灵活性较高，十分符合我国的国情[12]。

国际和国内的经验表明，生物质气賴合燃煤发电技术上是可行的，技术难度小于直接燃烧发电，无须对燃煤锅炉系统做大的调整，简单易行，元素分析与生物质直接燃烧发电相比，生物质气耦合发电具有投资小、建设周期短、对原料价格控制能力强和技术简单等优势。

3生物质气耦合燃煤发电技术的实施

3.1生物质气耦合燃煤发电气化装置

该生物质气耦合燃煤发电项目与某百万千瓦超超临界燃煤锅炉耦合，生物质气化部分采用常压循环流化床气化炉，生物质原料经过预处理加工之后，送入气化炉，完成高效气化(气化后出口温度为720～850°C），可燃气体经过除尘净化、回收余热降低温度至400°C左右，经在线检测和计量后，燃气送至锅炉内燃气燃烧器与煤粉进行分级混烧(两台

锅炉为母管制)。该生物质气賴合燃煤发电项目利用原发电系统实现高效发电，生物质气化发电部分总装机规模为15 MW，工程建成后每年需用玉米秸秆、花生壳及其它农林生产废弃物可达11万t，可节约标准煤近3.26万t，相应地减排燃煤所产生的SO_2约为272万t，减排温室效应气体CO_2约8.42万t。生物质气成分见表1。

表1　生物质气成分

可燃气参数	CO	H_2	CH_4	N_2	CO_2	H_2O
含量/%	16.61	13.98	3.5	42.83	10.49	12.6
可燃气热值/（$kJ•kg^{-1}$）	4 856.69					
可燃气流量/（$Nm^3•h^{-1}$）	26 600					
可燃气温度/℃	300～400					

耦合燃煤发电锅炉为东方锅炉厂DG3000/26.15-II1型超超临界本生直流锅炉，该锅炉为超超临界参数、固态排渣、单炉膛、一次再热、平衡通风、露天布置、全钢构架、全悬吊结构、前后墙对冲燃烧方式的II型锅炉。实际燃烧煤种的元素分析和工业分析如下见表2。

表2　燃烧煤种的元素分析及工业分析

分析类型	煤种参数	设计煤种	校核煤种
工业分析	收到基全水分AR /%	7.5	7.8
	空气干燥基水分Mad /%	1.60	1.56
	干燥无灰基挥发分Vdaf /%	36.43	37.05
	收到基灰分Aar /%	31.50	37.80
	收到基低位发热值 $Q_{net.ar}$ /（$MJ•kg^{-1}$）	19.66	17.24
	收到基高位发热值 $Q_{net.ar}$ /（$MJ•kg^{-1}$）	20.54	18.07
元素分析	收到基碳分Car /%	50.64	44.79
	收到基氢分Har /%	3.43	3.16
	收到基氧分Oar /%	5.84	5.25
	收到基氮分Nar /%	0.83	0.76
	收到基硫分St.ar /%	0.26	0.44
可磨性指数	HGI	81	78

3.2锅炉本体改造内容

按照锅炉厂提供的技改方案，需进行生物质气掺烧燃烧器改造，燃烧器布置在锅炉现有二次风箱内，配二次风，前后墙各布置一层，共8只，改造内容：

1)生物质气燃烧器8套，含高能点火器、点火枪、气体燃烧器和二次风组件等；

2)锅炉范围内生物质气系统、生物质点火系统布置，含管道、阀门、紧固件和控制设备等；

3)水冷壁(水冷壁弯管组件及修整管等)；

4)附属系统(刚性梁、支吊架、楼梯平台扶梯等)。

4生物质气耦合燃煤发电对燃煤锅炉的运行影响

4.1与燃煤锅炉系统的关联及安全性

生物质气通过燃气总管线送入锅炉，每台燃气燃烧器配有火焰监测及配风控制系统，且有独立的自动切断阀门；系统设有温度、压力、流量和气体成份监控装置，并配有自动切断阀、紧急放空和安全置换等装置，一旦出现紧急情况，气化系统的SIS(Safety instrumentation System)系统优先于DCS系统执行安全保护动作，将气化装置和锅炉完全隔离，并执行顺序控制完成放空和置换程序，同时保护信号送到锅炉的控制系统以便及时调整工况；系统设置DCS和SIS系统以应对电站锅炉的突发性事故(如锅炉MFT后，气化装置根据电厂信号产生的一系列系统的自动切断、隔离、放空和置换动作），确保锅炉和气化装置安全性。

4.2燃煤锅炉污染物排放量的影响

生物质气输入能量约占燃煤热当量的3%，当量分析对锅炉污染物排放量的影响主要有以下几点：

1)生物质原料中含硫量相比等当量煤粉含硫量少，入炉的总硫量相对于投入的煤粉有所降低，相应减轻下游脱硫工作负荷；

2)生物质气是一种还原性气体，耦合燃烧可减少煤燃烧燃料型NO_x和SO_x生成量，另外可大量还原燃煤产生的NO_x，可以进一步降低NO_x排放；随生物质气耦合燃烧当量的增加，降低NO_x排放效果逐渐变好，据估算3%的耦合燃烧当量可降低NO_x排放量5%~15%。

4.3锅炉排烟温度的影响

随生物质气耦合燃烧当量的增加，炉膛出口烟温随之高，因增加投入的生物质气燃料，使主燃烧器区需要的燃料量有所减少，耦合燃烧区投放的生物质气提高了火焰中心位置，推迟了主燃料的燃烬，炉膛出口烟温随耦合燃烧当量的增加而增加，锅炉排烟温度升高5~10造成锅炉热效率降低0.5%左右。

4.4锅炉烟气量及主蒸汽温度的影响

生物质气较燃煤发热量要低，生物质气耦合燃烧后产生的烟气量有所增加，经热力计算输入燃煤热当量的3%的生物质气导致烟气量增加0.5%左右，原燃煤锅炉设计的送、引风机出力仍可以满足运行需求。燃煤锅炉烟气量增加0.5%，对主蒸汽温度的影响几乎可以忽略，对主蒸汽减温水量的影响也很小，原设计的减温水系统仍能满足运行要求。

5结语

1)通过增加生物质气化系统实现生物质气与煤耦合燃烧，充分利用现有分散各地的燃煤发电厂，就近取材，降低原材料成本，既可大规模地处理富余的农林生物质资源，有效破解农作物秸秆在田间废弃及直接燃烧造成的环境污染及资源浪费难题，解决秸秆还田造成的一系列土壤问题，还可为当地农民带来一定收益，符合我国的国情。

2)生物质气耦合燃煤发电技术依托燃煤电厂高效环保设施达到超低排放，实现秸秆等生物质资源低成本、无害化的高效利用，具有发电效率高、环保效果好和社会效益显著等突出优势，有效发挥了生物质能源价值。

3)生物质气耦合燃煤燃烧后锅炉污染物NO_x和SO_x排放量有所降低，锅炉烟气量略有增，排烟温度升高，锅炉效率有所下降，建议生物质气的热量输入量控制在5%以下。

4)生物质气具有良好着火特性，输入燃煤锅炉一定量的生物质气，有助于锅炉低负荷稳燃，提高锅炉运行可靠性。

参考文献：

[1]杨昆.基于生物质气化的冷热电联供系统研究[D].，保定：华北电力大学，2014：2-9.

[2]曾国揆，余东波.生物质气化多联产技术应用研究[J].节能与环保，2014(05)：66-68.

[3]吴创之.气化发电的工作原理及工艺流程[J].，可再生能源，2003，(3)：41-43.

[4]郑昀，邵岩，李斌.生物质气化技术原理及应用分析[J].，区域供热，2010，(3)：38-42.

[5]韩璞，李大中，刘晓伟.生物质气化发电燃气焦油脱除方法的探讨[J].可再生，能源，2008，26(1)：40-45.

[6]刘晓伟.生物质气化焦油脱除方法及优化研究[D].保定：华北电力大学，2009.

[7]吴创之，周肇秋，阴秀丽.我国生物质能源发展现状与思考[J].农业机械学报，2009，40(1)：91-99.

[8]漆其鸣，陈子安，陶邦彦.生物质能发电技术[J].发电设备，2007，(1)：75-77.

[9]孙立，张晓东.生物质发电产业化技术[M].北京：化学工业出版社，2011.

[10]吴创之，周肇秋，马隆龙，等.生物质发电技术分析此较[J].，可再生能源，2008，26(3)：34-37.

[11]甄恩明，蔡正达，王文红.浅谈生物质气化发电技术及应用潜力[J].云南电力技术，2012，40(4)：16-21.

[12]黄明华.生物质气化与混燃过程研究[D].郑州：华北水利水电大学，2011：2-10.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/175785.html