

循环流化床锅炉在农林生物质发电项目上的应用

许彬，肖嘉鸣

(国家电投江西电力有限公司分宜发电厂，江西新余336600)

摘要：生物质发电是利用生物质所具有的生物质能进行发电，是可再生能源发电的一种，是优化我国能源消费结构的最好途径之一。将农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、工业有机废弃物和城市固体有机垃圾等废弃物作为生物质燃料，充分利用循环流化床锅炉燃烧特性，克服生物质燃料挥发分偏低、热值波动大、水分高的特质。简述了循环流化床锅炉燃烧技术方案在生物质燃料发电项目上的应用，整理对比出优于常规生物质锅炉的技术特点，为同类型生物质发电锅炉选型提供参考。

引言

随着重工业在世界经济发展上的占比逐步增加，不加节制的滥用资源导致不可再生的一次能源已经面临在数十年内将被开采一空的严峻局面。在我国，基于庞大的人口基数，一次能源人均占比更低，其中煤的储量为世界人均的1/10，石油储量为世界人均的1/40，天然气储量仅为世界人均的1/100。世界各国都在寻找开发可再生能源，如太阳能、风能、生物质能等持续能源。

生物质能是由植物的光合作用固定于地球上的太阳能。目前可供利用开发的资源主要为生物质废弃物，包括农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、工业有机废弃物和城市固体有机垃圾等。在众多生物质中，目前种植速生能源林是解决生物质燃料不足的一个较好的途径。利用生物质能发电是我国迫切需要的，是解决能源出路的最好途径之一。为此，我国于2005年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议通过了《可再生能源法》，目的是为了可再生能源的开发利用，增加能源供应，改善能源结构，保障能源安全，保护环境，实现经济社会的可持续发展。利用生物质能发电是我国迫切需要的，是解决能源出路的最好途径之一。发展木本生物质产业也是优化能源结构和保障源安全、实现能源资源与农林业协调发展的战略举措。

1 农林生物质能在循环流化床中应用的技术特点

1.1 循环流化床锅炉基本原理

循环流化床锅炉技术是一种清洁煤燃烧技术，具有可以稳定燃烧相对难以燃用的劣质煤的优势，燃料范围更为广泛。一般大型循环流化床锅炉主要有燃烧室、分离器、外置式换热器、输煤系统、排渣系统、辅助风机等部分组成。燃用煤种通过输煤系统进入炉膛内，被一次热风流化起来的高温床料引燃，二次热风通过炉膛整齐排列的上下二次风口进炉膛与燃料混合燃烧，燃料在炉膛内呈流态化沸腾燃烧。燃尽的物料颗粒被一次热风吹起向上运动，部分大颗粒残渣在重力的作用下作自由落体运动落在流化态床料上，另一部分物料进入分离器内通过外置式换热器进行热交换后重新被送入炉膛，小颗粒物料上升到炉膛出口随着引风作用进入尾部烟道，进一步对受热面、空气预热器放热冷却，经过脱硫脱硝除尘处理后进入烟囱排向大气。

1.2 循环流化床燃烧的技术特点

循环流化床燃烧物料处于非常强烈的扰动、混合状态，固体物料内外部的再循环，物料高速循环且在炉膛停留时间较长，所有这些状态会导致快速化学反应和热交换；燃烧过程的灵活性，决定了燃料可选范围较宽。根据农林生物质燃料挥发分偏低、热值波动大、水分高的特质，首推循环流化床燃烧技术方案。

以分宜发电厂1×30MW生物质能拟建项目为例，本县年产生生物质燃料量，本生物质电厂初步拟定装机方案为1×30MW高温高压汽轮发电机组+1×130t/h高温高压循环流化床锅炉。

锅炉采用循环流化床燃烧方式和高温分离循环返料的燃烧系统，该系统由炉膛、物料分离收集器和返料器3部分组成。

炉膛由膜式水冷壁组成，下部是一个下小上大的倒锥形流化燃烧段，亦称为密相区。底部为水冷布风板，布风板上布置有风帽，布风板下为一次风室。预热后的一次风经风帽小孔进入密相区使燃料开始燃烧，并将物料吹离布风板。二次风由床层上方的二次风口送入炉膛，运行中可以通过调节一、二次风的比例来控制燃烧。这样，既能达到完全燃

烧的目的，又可以控制SO₂和NO_x的生成量。

另外，从二次风引出几支风管从前墙作为播料风进入密相区，以便燃料均匀播散到床料中去，同时加强了密相区下部的扰动。

炉膛上部为稀相区，烟气携带物料继续燃烧，同时向炉膛四周放热。由于断面扩大，同时烟气经悬浮段碰撞炉顶防磨层，部分粗物料返回密相区，烟气携带较细物料离开炉膛进入高温旋风分离器。经过返料器的物料返回到炉膛密相区继续循环燃烧。

循环流化床锅炉燃料适应范围宽、适应性强，同时能保证低污染物排放。石灰石作为脱硫剂，被送入炉膛；炉内温维持在815~925 之间，有利于热量被换热面吸收。整个燃烧、循环过程具有以下优点：

- 1) 燃料适用范围广。炉温基本低于所有燃料的灰分软化温度。基于这一特征，炉膛的设计不受灰分特性的影响，锅炉能适应燃料的多样性。
- 2) 低NO_x排放。815~925 的低炉温，以及空气的分层分阶段送入，可以促成低NO_x排放。
- 3) 燃烧效率高。固体燃料在炉膛的停留时间长，通过旋风分离器的收集循环回收和再燃烧，加上由于流化扰动作用使空气和燃料的充分接触，促成燃烧效率高，即使是难燃的劣质燃料仍然适用。通常碳未完全燃烧损失能控制在1%~2%范围内。

1.3循环流化床锅炉在实际应用中与其他类型锅炉的比较

目前国内生物质电厂主要炉型以循环流化床锅炉和水冷振动炉排锅炉为主，通过对赣南区域在役生物质电厂初步筛选，特选取永新县凯迪绿色能源开发有限公司及国能赣县生物质发电有限公司进行实地调研。

永新县凯迪绿色能源开发有限公司装机容量为1×30MW，搭配凯迪公司自行设计，杭州锅炉集团股份有限公司制造1×120t/h循环流化床锅炉，锅炉型号KG120-540/13.34-FSWZ1。国能赣县生物发电有限公司装机容量为1×30MW，锅炉搭配济南锅炉制造有限公司制造130t/h振动水冷炉排高温高压蒸汽自然循环锅炉，锅炉型号YG-130-9.2-T2。

不同炉型综合指标及燃料种类的比对见表1和表2，在生物质电厂实际应用中循环流化床炉型相较于水冷振动炉排锅炉有以下优缺点。

表 1 2017 年综合指标对比

公司	年发电量/(kW·h)	综合厂用电率/%	锅炉热效率/%	收购燃料热值单价(净重)/(元·kJ ⁻¹)	灰渣含碳量/%	飞灰/%	炉渣含碳量/%	排放物质量浓度/(mg·m ⁻³)		
								烟尘颗粒	SO ₂	NO _x
国能赣县生物发电有限公司	2.37	8.4	88	0.032 4	8.94	8.59	4.25	5	20	80
永新县凯迪绿色能源开发有限公司	1.74	9.0	91	0.035 7	<4	<5	<1	11	14.2	82.8

注：永新凯迪没有设置脱硝设备。

表 2 燃料种类

公司	燃料种类	燃料消耗
国能赣县生物发电有限公司	山林加工废料、城市园林修剪废料、建筑工程模板、家具下脚料等。	年耗料 25 万 t， 平均每天消耗约 700 t。
永新县凯迪绿色能源开发有限公司	桉树皮、稻壳、竹蔑废料、树木皮、秸秆、山林剩余生物料。	年消耗量 30 万 t， 平均每天入炉消耗 800~1 000 t。

注：凯迪电厂燃料品种杂，热值相对偏低，水分高。

1.3.1主要优点

- 1) 燃料适应性强，炉膛密相区蓄热量大，能够短时间内加热燃料，能够大量燃烧高水分、低热值燃料（热值8.73kJ/kg以上，水分60%以下都能正常运行）。

2) 炉膛温度较低，NOX原始排放浓度仅为层燃炉的1/2左右，电厂的环保运行费用相对较低，能更好的满足环保要求。

3) 燃烧效率高，燃料在炉膛的停留时间长，通过旋风分离器循环回收和再燃烧，加上由于流化扰

动作使空气和燃料充分接触，促成燃烧效率高，炉渣含碳量控制在1%左右。

4) 炉膛上部的物料内循环起到一个自主清灰效果，避免管壁的高温积灰和高温腐蚀（水冷壁管无爆管现象，高温过热器腐蚀较层燃炉有明显改善。

1.3.2主要缺点

1) 循环流化床风机压头大，风机电耗率高，厂用电率高（10%）左右，水冷振动炉排锅炉风机压头小，厂用电率较低（7.6%~8.5%）。

2) 燃料中的铁件、铝件、铁钉燃烧后容易融化堵塞炉膛风帽，影响炉膛流化，造成锅炉排渣不畅，现已有技术方案且投入运行，但尚无工程实例。

通过现场调研以及从水冷振动炉排炉与循环流化床锅炉的优缺点比较中，可以印证采用循环流化床锅炉对解决南方大量掺烧高水分、低热值的农林类生物质燃料，防止水冷壁与高温过热器管腐蚀爆管及锅炉连续运行时间短等问题有一定的优势，而且，生物质发电领域也开始越来越多的采用循环流化床锅炉。

2生物质能发电的应用前景

为积极响应供给侧结构性改革提高经济效益的国家大政方针，落实中央“三去一降一补”政策，全国范围内正大力整顿煤炭行业，严格限制煤炭产能，整合煤炭企业，关闭中小煤炭，压缩矿产规模。

煤炭产能的下降，价格节节攀升，以燃煤为主的火力发电厂首先收到冲击，多数电力企业进入寒冬期，难以扭亏为盈。在煤炭严重紧缺时，甚至出现一“煤”难求的局面，已有发电厂因燃煤供应不足发生非停的现象。

2.1原料供应

开辟新能源战场成为电力企业的优先选择，原料能否供应充足已成为电力企业考虑的首要因素，生物质农林发电项目的原料供应则显得更为重要和突出。

分宜发电厂1×30MW农林生物质发电项目拟建于江西分宜县，是利用当地丰富的稻壳、秸秆、农林废弃物等“绿色能源”作为燃料发电的项目。该项目生物质燃料的来源是以分宜县为中心70km直线距离内覆盖的江西省新余市、上高县、万载县、安福县等地区。

本工程的主要燃料为林下杂灌剩余物、林业采伐剩余物、农林加工剩余物和秸秆等，年消耗量约32万t。

项目所在地林业资源丰富，现阶段预计生物质燃料（以分宜县为中心100km直线距离内覆盖的区域）的每年可收购量如表3所示。

表 3 预计每年可收生物质燃料

资源类别	理论资源总量 / 万 t	年可供应资源量 / 万 t
用材林林下杂灌资源总量	62.4	18.7
农业秸秆类	43	9.66
农林加工企业剩余物	3	3
采伐剩余物	0.46	0.46
清山造林剩余物	1.3	1.3
农业秸秆类	—	7.6
农林加工企业剩余物	—	3.6
采伐剩余物	—	4
合计	—	48.32

故而在燃料的供应方面农林生物质能发电项目应有足够的选择空间和波动余量，燃料收购的环节通过实地调研后组织商讨研究，可组建生物质燃料供应部，统一负责电厂所有燃料收购、运输及储存的运营管理；也可与木材加工运输商进行合作。

2.2分宜县电网现状

分宜县位于江西省西中部，袁河中游，县境南北长65km，东西宽36km。东邻新余市渝水区，南连吉安市安福县，西接宜春市袁州区，北毗宜春市上高县。分宜县距省会南昌178km，距新余26km。

截至2017年底，分宜县有统调电源2座，分别为分宜电厂（210MW+330MW）和分宜陆辉横溪光伏（70MW）；非统调电源装机总容量64.671MW。2017年分宜县统调用电量6.8亿kW·h，同比增长1%；全社会用电量7.77亿kW·h，同比增长4.22%；最高统调负荷184MW，同比增长3.2%。

如图1所示，分宜县电力布局主要以燃煤火力发电为主，新能源所占比重小。为了促进能源转型升级，提高清洁能源发电比重，推进经济型、节能型、环保型电力企业综合发展，农林生物质能发电项目显得尤为必要。

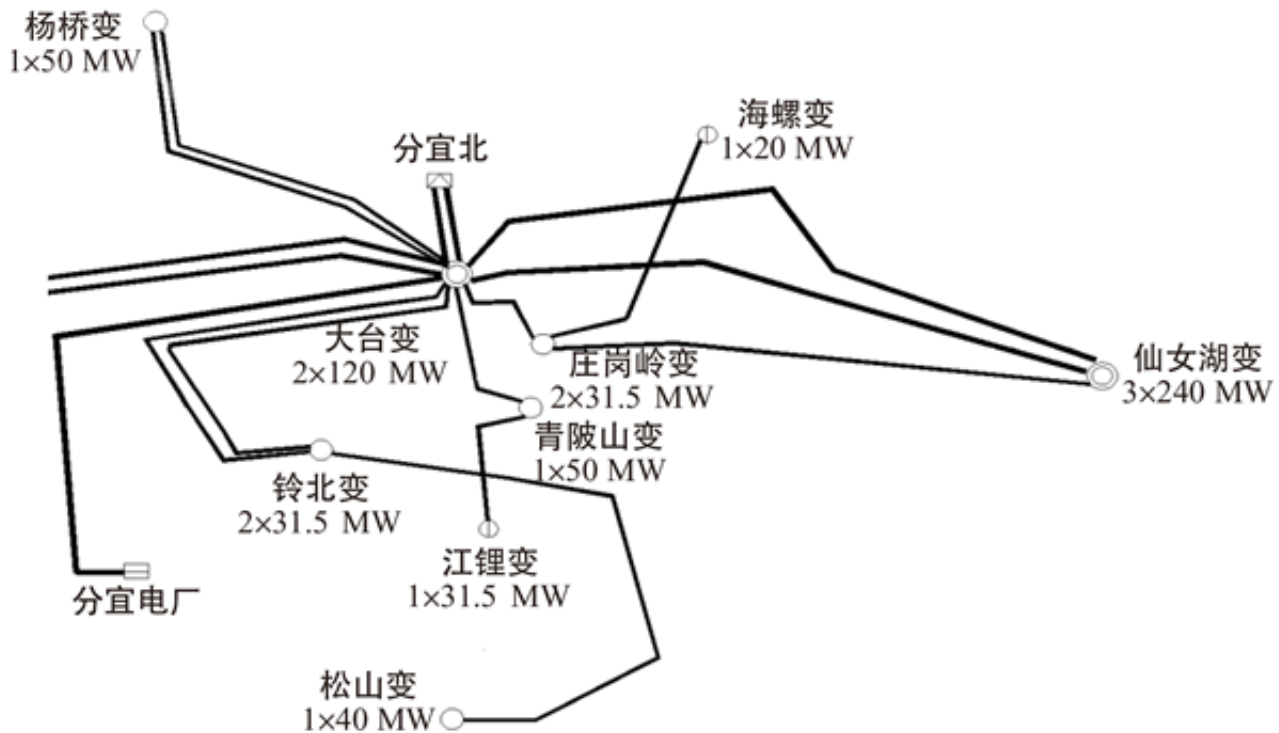


图 1 2017 年分宜县 110 kV 及以上电网接线示意图

2017年分宜县统调用电量6.8亿kW·h，同比增长1%；全社会用电量7.77亿kW·h，同比增长4.22%；最高统调负荷184MW，同比增长3.2%。

分宜县电网相对薄弱，缺少足够的电源支撑，在经济快速发展背景之下供电能力相对不足，分宜发电厂生物质发电项目接入对于满足近期电力需求会起到重要作用。

2.3 建厂的必要性

1) 利用再生能源发电是解决能源短缺的途径之一。目前，世界各国都在寻找开发可再生能源，如太阳能、风能、垃圾废料、生物质能等。利用生物质能发电是我国解决能源短缺的途径之一。发展木本生物质产业也是优化能源结构和保障能源安全、实现能源资源与农林业协调发展的战略举措。

2) 生物质能发电是解决燃煤中SO₂对大气严重污染的需要。利用生物质燃料作为清洁能源，可大大减少当地对农业废料处理产生的环境污染。生物质燃料含硫均较少，采用生物质燃料发电，可减少燃煤电厂带来的二氧化硫对大气的污染，同时减少了粉煤灰、粉尘的排放。电厂工业污水进行综合处理后循环使用，基本达到零排放。该项目符合《国务院关于落实科学发展观，加强环境保护的决定》（国发[2005]39号）的要求。

3) 再生能源发电可增加农民收入，是我国可持续发展道路的需要。建设1座1×30MW生物质电厂，年燃烧农林废弃物约31.28万t，若燃料价格按310元/t计，农民可增加收入约9696.8万元，提高了农民生活水平。发展木本生物质产业是解决“三农”问题。全面建设社会主义新农村的重要切入点。

2.4 “十三五”规划发展

国家能源局发布《电力发展“十三五”规划（2016—2020年）》提出的“十三五”期间生物质能源发展目标：到2020年生物质发电装机1500万kW。

江西省“十三五”规划纲要明确提出实施基础设施提升战略，增强经济社会发展支撑能力，增强能源保障能力。坚持“适度超前、以电为主、多能互补”原则，建设稳定、安全、经济、清洁的现代能源保障体系。完善电源点布局。统筹建设电源重大项目，大力实施清洁煤电工程，积极发展光伏发电、风电、水电和生物质能等新能源、可再生能源，争取早日启动彭泽核电站建设。生物质发电项目的开发建设有助于以上目标的实现。

按照《江西省电力发展“十三五”规划》发展目标，到2020年，江西全社会电源装机容量突破4300万kW；电源结构进一步优化，非化石能源装机比重达35%，非化石能源发电量比重达16%。

3结语

随着近现代科学技术的突飞猛进，在人类生活方式大幅度改变的同时，人们对自然能源的需求不断改变，对不可再生的化石能源的开发利用已经远远超过了自然界自然“生产”的速率，导致自第一次工业革命以来的百年间已经消耗了数万年积累下来的化石能源，在不久的将来难能可贵的化石能源将开发殆尽。新型可再生能源的开发利用目前成为世界能源消耗大国争相进入的新“战场”，生物能源作为绿色环保、清洁安全的可再生资源，不仅能缓解不可再生能源严重紧缺的局面，相比于燃煤发电，还能改善周围环境质量，在稳发展的同时还能留有绿水青山，建设环境友好型的发展模式。

分宜发电厂农林生物质能发电项目是电力企业综合性发展的很好尝试，在解决地方废弃生物质原料的同时挖掘了废旧利用的经济效益，为难以处理废旧生物质原料的地方政府和企业提供了新的思路 and 选择。

参考文献

- [1]王久臣.中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J].农业工程学报, 2007, 23(9):276-282.
- [2]龙慧灵.中国生物质能源资源保障与产业发展研究[D].北京:北京师范大学, 2011.
- [3]沈松根.循环流化床锅炉在生物质电厂的应用[J].科技资讯, 2009(24):100-100.
- [4]王培.生物质电厂燃料对循环流化床锅炉运行的影响[J].华东科技(学术版), 2016(7):280-280.
- [5]诸宏伟, 朱国桢, 周一工.循环流化床锅炉的原理与设计[J].锅炉技术, 1997(10):7-13.
- [6]李文生, 刘传芳.生物质燃料在循环流化床锅炉的应用[J].民营科技, 2013(11):78-78.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/144906.html>