

中国农林生物质直燃发电产业化发展分析

张雁茹^{1,2}, 庄会永^{1,2,3}

(1. 国能生物发电集团有限公司, 北京 100083; 2. 生物质发电成套设备国家工程实验室, 北京 102206; 3. 山东省科学院, 济南 250014)

[摘要] 介绍了中国农林生物质直燃发电产业化发展的背景和现状,通过典型案例研究来说明该产业技术发展取得的成绩和不足,并对其未来的发展做了简要分析。

[关键词] 农林生物质;直燃发电;产业化发展

[中图分类号] TK6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)02-0057-06

1 前言

我国的生物质能资源主要集中在农村,开发利用农林生物质能资源可以促进农村生产发展,显著改善农村的村容村貌和居民生活条件,减少温室气体排放,保护环境,增加农民就业渠道,促进农民增收,是当前解决“三农”问题、实现工业反哺农业的现实“抓手”。目前,生物质直燃发电在我国是农林剩余物消耗量最大、最直接、最易于规模化和工业化的一种能源利用方式。

2004年以来,中华人民共和国国家发展和改革委员会(简称国家发改委)核准批复了山东单县、河北晋州和江苏如东3个国家级秸秆发电示范项目,开始了生物质直燃发电试点示范。自2006年1月1日《中华人民共和国可再生能源法》实施以来,生物质直燃发电产业在我国得到了快速发展。截至2007年底,据不完全统计,中国核准的生物质直燃发电项目约100个,装机容量为2 200 MW以上,建成投产并网发电的项目总装机容量约为400 MW以上,生物质发电项目遍布全国各地。

以一个25 MW左右的生物质电厂年运行5 000~6 000 h计,年净减排CO₂量大概在10万~15万t,这是扣除了原料、项目全生命周期排放情况下

的净减排量。2007年9月联合国指定环境事务部(Department of the Environment, DOE)核查机构对国能单县生物发电清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)项目进行现场核查,确认国能单县项目在70 d内的核查碳减排量为4万t(扣除加工、运输、油耗等一切影响因素后的净减排量),按此计算全年CO₂减排量达18万t。

截至2008年底,国家发改委已审批大约170余个生物质发电项目,总装机大约4 600 MW;已投产大约50个项目,装机大约1 100 MW。其中,国能生物发电集团已有18个项目投入商业运营,装机容量400 MW。仅国能生物发电集团一家公司已向电网供应绿色电力累计52亿kW·h,消耗秸秆等农林废弃物700万t,减排436万t CO₂,农民新增现金收入19亿元和获得超过5万个工作岗位,社会经济效益显著。

2006年以来,随着国家“十一五”科技支撑计划重大项目“村镇农林剩余物直燃发电技术开发与示范”等系列国家科技项目立项实施,我国农林生物质产业化应用实践在国家科技计划的支持下得到了高起点、健康的发展,关键技术开发和示范成效显著,取得了良好的产业示范推广效果。“十一五”期间我国生物质发电装机将达到5 500 MW,每年可以

[收稿日期] 2010-12-15

[基金项目] 国家863重点项目(2010AA101605, 2009AA043606);世界银行Cresp基金

[作者简介] 张雁茹(1982—),女,河北邢台市人,工程师,从事生物质能等可再生能源科研、国际合作和产业实践;

E-mail: zhangyanru@nbe.cn

直接为当地农民带来收入达 100 亿元以上,可以为农民提供就业机会约 18 万个。

生物质直燃发电技术消耗农林剩余生物质原料种类多、数量大、利用方式直接,而且容易规模化和产业化发展,是我国目前农林生物质资源能源化利用最环保的一项综合利用技术。由于生物质直燃发电是一个具有多重社会效益的朝阳产业,中国政府在《国民经济和社会发展“十一五”规划纲要》中提出了生物质发电 2010 年装机容量达到 5 500 MW,在《可再生能源中长期发展规划》中提出了到 2020 年达到 30 000 MW 的发展目标,发展前景广阔。

2 生物质直燃发电技术简介

中国近几年发展较快的有一定规模的生物质发电主要是以农林剩余生物质作为燃料的直接燃烧发电技术。该项技术在国外已经是成熟技术,主要有直燃纯烧发电,国内简称“直燃发电”;直燃混烧发电,是指与化石燃料的混合燃料燃烧发电,国内简称“混燃发电”。我国目前建设、运行的大部分生物质发电项目都是以农林剩余物直燃纯烧发电项目(biomass direct-fired power generation project)。其他直燃混燃发电、气化发电、沼气发电等,由于技术、政策、市场等方面的原因,多数处于示范推广阶段,还没有实现规模化发展。

文章所描述的生物质直燃发电,是指农林生物质大容量纯烧直燃发电,其特点是以农林生物质为燃料(在中国主要是指农作物秸秆剩余物,林业生产和加工剩余物以及发展中的能源植物等),在专用锅炉直接燃烧产生高温高压蒸汽,再通过汽轮机、发电机转化为电能,同时余热可以作为工业或者民用的现代生物质能应用工程。“大容量”一般是指装机单机规模大于等于 12 MW,“纯烧”是指不掺入化石燃料,仅燃烧农林生物质燃料。

该系统工程主要包括农林生物质燃料收集、储运和预处理系统、物质连续化输送和上料系统、生物质专用锅炉燃烧及辅机系统、汽轮发电机系统、变配电系统、余热以及灰渣收集利用系统等。其关键技术主要有以下 3 项:一是生物质收集、供应、加工与管理成套技术与装备。国内在这一方面相关管理技术和成套设备都不成熟,目前随着国内生物质规模化高效应用产业的发展,相关的技术和设备有广阔的市场。二是生物质原料输料、进料系统技术与设备。主要指在实现生物质工业化应用转化过程中,

多种生物质物料规模化的输料、进料技术和成套设备。通过国内一些生物质直燃发电厂运行实践证明,生物质原料输送、进料系统是瓶颈关键技术。能够适应不同的生物质原料、稳定可靠的输送技术及系统设备目前在国内尚不成熟,这方面将是生物质资源国内工业化应用技术攻关方向之一。三是生物质能高效燃烧等转化技术。在生物质直燃发电项目中是指生物质燃烧锅炉和辅机设备。目前国内有国产的和引进丹麦技术在国内生产的锅炉设备。

3 典型案例介绍

3.1 国能单县项目情况简介

国能单县生物质发电项目是国家级生物质发电示范工程,为 1×30 MW 单级抽凝式汽轮发电机组,配 1 台 130 t/h 生物质专用水冷振动炉排高温高压锅炉,该锅炉是由龙基电力集团有限公司所属的济南锅炉厂引进丹麦 BWE(Burmeister & Wain Energy A/S)公司技术生产的。该项目位于山东省鲁西南菏泽市的单县,该县当地农林业资源比较丰富,经济条件比较落后,属于山东省发展和改革委员会的帮扶县。项目由国能生物发电公司投资建设,于 2006 年 12 月 1 日正式投产。国能单县项目 2007 年全年稳定运行 8 200 多小时,发电 2.29 亿 kW·h,消耗农林剩余物 20 万~30 万 t,为当地农民增加收入 6 000 万元人民币以上,带动农村 2 000 多个增收就业岗位。

单县生物发电工程于 2005 年 10 月 20 日浇注第一方混凝土,10 月 3 日施工单位正式进入现场;11 日 4 日签订了锅炉供货合同,同时在全县范围组织了 8 处秸秆燃料收购点;2006 年 11 月完成 72 h 满负荷试运行。

该项目自 2006 年并网发电以来,各项运行指标良好。其中 2007—2009 年的累计发电量为 6.641 45 亿 kW·h,3 年中每年利用小时数都超过了 7 000 h。其中 2007 年全年运行 8 200 h 以上,全年发电量达 2.29 亿 kW·h,并实现两个连续运行 100 d。按照 30 MW 计算,年利用小时数达 7 600 h 以上是我国生物质电厂管理、运行的标杆数据之一,在国际上处于领先地位。该项目也是我国第一个投入运行的规模化生物质直燃发电项目,被国家发改委列为“2006 年我国能源发展十件大事”。

3.2 项目工程技术简介

国能单县项目设计燃料主要为破碎后的林业剩

余物、棉花秸秆等木质类农林剩余物(大于60%)和部分玉米、小麦秸秆等草本农业剩余物。

装载破碎棉花秸秆的车辆进厂后,经重车称重后进入卸料沟卸料采用侧位卸料。卸料沟内设刮板输送机。燃料经刮板输送机、输送带、斗式提升机,再经移动带分配至储料仓。储料仓共能储料 $14\,000\text{ m}^3$,大约能够满足锅炉5 d的燃烧需求。仓底对头布置2台直线螺旋给料机用于给料,每台输送量 $40\sim 200\text{ m}^3/\text{h}$ 。卸料系统设有1台电磁除铁器,事故上料系统设有1台永磁除铁器,上料系统还设有运行保护装置。带式输送机两侧设有拉绳开关、跑偏开关、速度检测、料流等传感元件保护装置。燃料系统设工业电视监控系统。另外上料系统还设有除尘设备,斗提机在顶部设有除尘设备。

生物质专用燃烧锅炉是由龙基电力集团有限公司引进丹麦BWE公司成熟的锅炉技术并由BWE公司设计,经国内消化吸收、标准转化,由济南锅炉厂组织生产制造的。该锅炉属于振动式炉排、高温高压、自然循环、单汽包、单炉膛、平衡通风、室内布置、固态排渣、全钢构架、底部支撑结构、“M”型布置锅炉。锅炉型号为YG130/9.2-T型单汽包自然循环锅炉,主蒸汽出口压力为 9.2 MPa ,出口温度为 $540\text{ }^\circ\text{C}$,额定蒸发量为 130 t/h ,锅炉设计效率为92%。

锅炉的燃料通过螺旋取料机至螺旋输料机,从螺旋输料机再至螺旋配料机,送到播料机通过空气输送的方式将燃料播撒在炉排上。由于生物质燃料含有包括氯、钠、钾在内的多种碱金属化合物,燃烧产生的烟气具有很强的腐蚀性。另外它们燃烧产生的灰分熔点较低,容易高温融化粘结在受热面管子外表面,形成渣层,从而降低受热面的传热系数,在燃料含水量较大时候腐蚀加剧。因此,该锅炉在高温受热面的管系采用特殊的设计并采用特殊材料,同时配备有效的吹灰系统和除灰措施,防止腐蚀和大量渣层产生。炉膛内的灰渣经过振动炉排进入位于炉前的捞渣机中。锅炉烟气除尘采用的是布袋除尘器。汽轮发电机采用的是武汉汽轮发电机厂生产的一台 30 MW 抽凝机组,额定电压 6.3 kV ,经主变升压至 110 kV 后由单线并入22万单城变。

4 经验总结

4.1 生物发电富民实践

生物质发电项目最大的成本为燃料的购买成

本,占电价的50%~60%。以一个 30 MW 左右的生物质直燃发电项目为例,每年大概需要 $20\text{万}\sim 25\text{万 t}$ 生物质燃料(根据燃料热值和发电利用小时数不同),以炉前价格 300元/t 核算,总计燃料费大概需支付 $6\,000\text{万}\sim 7\,500\text{万元}$,这些费用都是直接支付给出售燃料的农民和农民经纪人。国家给予的生物质发电项目的补贴为 $6\,000\text{万}\sim 7\,500\text{万元}$,因此国家的补贴大部分转化为农民售卖燃料的收入。

一个生物质电厂内部本身运行管理人员数量与同等规模的煤电厂差不多,但是围绕一个生物发电项目的燃料供应产业链,可以为 $2\,000$ 名左右农民稳定增收(在电厂存续运行期间,该部分农民会从中受益,比其他就业方式相对稳定)。中国有8亿多农民,农村地区有很多秸秆可用于发电。目前收购农民秸秆生产生物质能的产业尚在完善中,只要有合理的生物发电的产业需求拉动,通过突破技术和产业链完善,这个问题应该是可以解决的。与现在已很成熟的化石能源如煤炭、石油等的开发相比,生物质能资源的开发完善要容易得多,但是目前我们在此领域的投入很少,相关的科研和技术创新刚刚开始。最初化石燃料的开发成本远远高于生物质能,农业粮食籽粒的收获技术难度也远远高于秸秆。从近几年产业化实践经验来看,秸秆的收获难题只是暂时的,完全能够通过技术创新、产业链完善来逐渐解决的。

中国开发农林生物质能源还有一个重要国情:目前我国有 $2\,000$ 万留守儿童, $2\,000$ 多万留守老人,将近 $4\,700$ 多万留守妇女过着“牛郎织女”的生活^[1],金融危机后还有部分农民失业回乡。如果用秸秆、林业剩余物开发生物质能源,可以实现农民绿色就业,年收入 $1\text{万}\sim 2\text{万元}$,就可以保障家庭生活和给子女交学费等支出,实现富民安邦。另外,在我国沙地、盐碱地、坡地、山地等边际性土地发展种植多年生灌木或者草本能源植物,既能美化绿化环境,固土减排,增加碳汇,又可隔年平茬作为生物能源原料。中国农民多、勤劳且有优良的种植传统,这种因地制宜发展生物质能源,在给农民带来经济效益的同时又给国家带来环境生态效益和能源效益,是一个潜力巨大的绿色产业。

4.2 生物发电项目的技术和产业潜力

农产品生产具有季节性,其价格也因此具有波动性,旺季时候便宜些或质量好一些,淡季时候贵一些或质量差一些。农作物秸秆等农林生物质也是如

此,这就需要企业掌握好盈亏平衡点,根据全年控制好总体成本,在国家的补贴范围内,实现盈利和可持续发展。秸秆是副产品,是可再生的,从远期看来,生物发电的原料成本与化石能源相比是个此消彼长的关系,笔者保守估计在今后二十年左右可能就会有一个交叉点,届时生物质能源将是逐渐摆脱补贴实现更快发展新起点。生物质能既是现实的能源,又是未来的储备,是我们未雨绸缪积极发展可再生能源的主要的一部分。

生物质发电产业与发展其他清洁能源技术应用不但不矛盾,而且可以相辅相成、相互支持。由于生物质能总量大、资源分布广、种类多,具有独特的储能特性,独具石化材料、液体燃料替代的潜力,虽然目前该产业总体工业化程度低,但也正预示着其巨大的发展潜力。

生物质直燃发电项目(纯烧、混烧)储备了工业热源、电站,是现实的生物质资源工业化应用的尝试,同时也为未来的生物质液体、气体、材料开发打开了产业化发展之门。

在农区的农作物剩余秸秆等生物质发电,发出的不仅仅是电,更是边远农村急需的分布式清洁能源,是县域经济发展的自备热电厂,更是未来先进生物质能应用产业发展的必经之路,也将是未来我国农村城镇化、城镇城市化发展的有力支撑。

对城市垃圾生物质,我国现在一般是填埋或者焚烧处理,但前者存在土地限制,后者存在环保问题。因此可以考虑采用规模化生物质循环流化床气在生物质间接混合燃烧发电技术,将规模化生物质循环流化床产生的燃气在生物质直燃锅炉内混合燃烧,将可能做到环保高效,减少污染排放,值得研究和实践。另外,针对我国必须关停的小火电,结合电厂技术和周边生物质资源情况,将一部分符合条件的改造成生物质电厂。这既是地方区域热电的补充,也是农村地区实现多重社会效益的难得载体。

4.3 我国农林生物质资源高效应用技术路线的选择

我国地域辽阔,东西、南北差异大,农林生物质资源总量丰富,但是种类多样、分布分散。应该结合各地具体情况,因地制宜,采用多样的农林生物质资源高效技术路线。同时,要考虑多种技术路线的优势互补、协同发展。以直燃发电为例,适合的区域是气温较为干燥、地势较为平坦的华北、东北、新疆、内

蒙古等区域,秸秆资源品种主要有小麦、玉米、棉花秸秆以及林业剩余物等。在南方气温高、空气湿润、生物质易腐烂地区,则适合开展户用或者工业化沼气、小型气化等项目。

生物质直燃发电项目的灰渣是很好的还田肥料,可以保证土壤中的矿物元素平衡。沼渣液与电厂灰渣结合可以生产绿色有机肥料还田,使土壤中的矿物元素保持平衡、有机质增加。这种综合应用项目,一方面可以刺激农村户用沼气(或者工业化沼气)的快速发展,提升农村户用炊事能源品位,节省下来秸秆(农村沼气一般采用人、禽、畜粪便等作为发酵原料)支持直燃发电等,这是一个双赢甚至多赢的项目。

4.4 关于生物质直燃发电项目装机容量的大小

由于燃料消耗量大,连续性要求高,大家对于生物质直燃发电厂装机规模有不同的看法。有的专家认为,由于生物质燃料收集困难、成本高,因此为了保障电厂效益,生物质直燃发电厂装机越小越好,一般不要超过12 MW。经过产业化实践:12 MW的生物质直燃电厂整体造价与25 MW造价差别不大,但是发电量少了50%;另外,一年收集10万t与20万t生物质燃料相比较,单位收集成本差别不大。因此,12 MW与25 MW生物质电厂相比较,规模经济效益要差很多。因此,我国生物质直燃发电装机以30 MW左右投资,经济效益要好一些^[2]。

4.5 我国农林生物质资源规模化收集及其发展模式

生物质电厂投资初期考察资源是考察拟建项目的30~50 km半径范围内资源分布和利用情况。由于原料来源和收集模式的不同,实践中的资源收集半径也会大于50 km甚至更大,但是原料供应总量还是以近距离为主,少部分远距离基本都是空车返程配货。生物质原料的工业化供应链产业需要考虑“经济性成本、能量投入和产出成本、碳排放分析”三个相对独立的因素。从项目的现实市场可行性考虑,需要考量资金投入和产出的“经济性成本”;从项目的经济模式设计和完善方面考虑则需要关注“能量投入和产出成本、碳排放分析”。项目的健康发展需要以上三个方面因素的有机统一,其中后两者优先。但是,在产业实践中有一些现实的特殊情况要避免以机械的思考方式予以评判。例如,在我国农区广泛存在“空车返程配货”的远程货物运输现象,是不应该作为单程个案分析而得出单宗原料

运输距离过远、碳排放和能耗较高的片面结论的。从往返全过程因素考察,这种“空车返程配货”本身是一种资源的统筹优化配置和节能减排的具体实践。

从经济性方面考察(一般而言,能量投入和碳排放与经济性具有正相关性),燃料的运输费用仅是燃料总价格的一部分,其他还有燃料的原始购买费用、加工费、保存保管费用、利润等。原料的主要成本在于原料收集、购买、加工和装车等方面,加工处理后的生物质原料的运输费用占总体比例较小。在农村地区普遍存在机动车空车返程配货运输的情况下,运输费用更不是主要考察因素。原料的成本降低需要在收集加工、装卸储运等方面的机械化、规模化装备完善以及模式设计优化方面作出努力,而不是仅仅考虑缩小原料收购量和收购半径,这与传统认识显著不同。

从总体降低原料收集成本和农业农村现代化发展方向看,农林生物质资源收集要走“工业化、规模化、机械化”发展道路,只有这样,农业农村才能留下更多的人才、资金,才能有自我良性循环发展的机会。现在工业不发达的农村地区,成年劳动力大多都外出打工了,除了农忙季节外,农村富余的成年劳动力较难找到。农民虽然也有强烈的建设家乡的愿望,但是苦于缺乏资金、项目、技术、经验,这种条件下更谈不上吸引外地优秀人才和资金来参加新农村建设了。生物质发电产业对于农村上下游产业链多方向技术发展具有显著的带动效应,大量资金、人才将流向国内市场和农村建设。在目前无法指望在单一的农业基础生产环节实现农业产业化、脱困情况下,这种带动效应弥足珍贵。

4.6 生物质直燃发电项目关键系列设备攻关与发展

前面谈过生物质直燃发电的关键技术主要有三部分,一是生物质收集、供应、加工与管理成套技术与装备;二是生物质原料输料、进料系统技术与设备;三是生物质能高效燃烧等转化技术。其中第一个问题比较关键,由于目前缺乏生物质燃料高效收集、加工、供应和上料技术成套装备,缺乏相关制造

标准。第一、第二个问题相关的技术装备的可靠性、适用性是当前以及未来国内生物质资源工业化应用产业健康发展的关键。

5 结语

我国发展农林剩余物生物质能源化利用产业,可以实现农林生物质资源工业化、集约化发展和应用,拓展农业产业领域、改善生态环境、减少温室气体排放,这对于中国农村经济建设和农业现代化发展都具有现实的意义,是我国农业产业应对气候变化的具体作为。

生物质直燃发电产业具有环境友好、科技含量高、产业链长、社会效益大、远景发展潜力大的特点。以该项产业为龙头,可以有效带动上下游相关产业链的发展,有利于农机设备的现代化发展。在减少秸秆田间焚烧污染、交通事故等经济损失的同时,变废为宝,生产环境友好、附加值高的绿色电能、工业热能,燃烧后的灰渣可以直接还田或者加工生产肥料。发展生物质发电还可以带动能源林产业的发展,有助于防止土壤沙化和水土流失,促进生态的良性循环。同时,由于农区的农作物秸秆等农林剩余物工业化增值利用,有利于新农村建设和农民就业、增收,会增加农民种粮的积极性,因此也有利于粮食安全保障和农村区域的生产、生活稳定。这是发展农村分布式能源,实现农村城镇化、农业工业化发展的重要一步。

在发展生物质能清洁能源的过程中,既可以保护生态环境,又能让中国农民从中得到发展机会。中国的农林生物质能产业,是中国的国家发展战略选择,是历史、现实、自然环境、国际政治经济大环境下难得的多赢发展战略。

参考文献

- [1] 郭少峰. 调查:农村留守儿童达 8700 万;包括 2000 万留守儿童[N]. 新京报,2008-12-02.
- [2] 庄会永,张雁茹. 我国农林生物质直燃发电产业化发展[J]. 中国科技成果,2009(13):17-18

Industrial development analysis of direct-fired power generation using agricultural and forestry biomass in China

Zhang Yanru^{1, 2}, Zhuang Huiyong^{1, 2, 3}

(1. National Bio Energy Co., Ltd., Beijing 100083, China; 2. National Engineering Laboratory of Biomass Power Generation Equipment, Beijing 102206, China; 3. Shandong Academy of Sciences, Jinan 250014, China)

[**Abstract**] The paper focuses on the background and status of industrial development of agricultural and forestry biomass direct-fired power generation in China. It illustrates the achievements and shortcomings of this industry through typical cases, and analyzes the future development briefly.

[**Key words**] agriculture and forestry biomass; direct-fired power generation; industrial development