基于中国国情的生物质混燃发电技术

李静[1]，余美玲[1]，方朝君[2, 3]，杨宏军[1]

（1.华南理工大学化学与化工学院，广东广州510641；2.中国科学院研究生院，北京100039；3.中国科学院广州能源研究所，广东广州510640）

摘要：生物质混燃发电技术与生物质直燃发电技术相比，是一种相对低成本的发电技术，具有建设周期短、对原料价格控制能力强等优点，且符合削减温室气体、发展低碳经济的需要，但是在我国的应用有限。文章简要介绍了生物质的混燃发电技术、直燃发电技术和气化发电技术的发展现状；重点分析了混燃发电技术在我国应用的可行性、运用时的关键问题和生物质发电项目相关的政策；指出发展生物质混燃发电技术应因地因时制宜，服务于农村建设。

0引言

生物质能是以实物形式（主要以薪柴的形式）存在，属于分散型、劳动密集型和占地较多的能源品种。相对于风能、水能、潮汐能、地热能和太阳能等，生物质能是唯一可存储和运输的可再生能源。生物质种类繁多，特点和属性不一，但生物质的组织结构与常规的化石燃料相似，故其利用方式与化石燃料相似，常规能源的利用技术无需做大的改动就可应用于生物质。试验表明，1t有机碳燃
烧释放的热量为4.017×10^{10}
J，我国农村仅农作物秸秆每年约有7亿t，2010年的生物质总量中约有51.2%可作为能源利用，其来源可靠，这为利用生物质发电提供了可能。预计到2020年，我国生物质总发电量将从2005年的200万kW提高到3000万kW（表1），这15年间的平均增速将达93%。在一些距离电网较远的乡村地区，商品能源相对缺乏，利用其丰富的生物质资源建设生物质混燃发电厂具有特殊意义。

表1 2010年及2020年中国可再生能源利用发展目标

Table 1 Development goals for renewable energy in China in 2010 and 2020

类别	年份			2005~2010	2010~2020
	2005（实际）	2010	2020	年均增量	年均增量
生物质发电/万kW	200	550	3 000	70	245
沼气/亿m^3	80	160	240	16	8
燃料乙醇/万t	102	200	1 000	20	80
生物柴油/万t	5	20	200	3	18

注：表1数据摘引自中国可再生能源规模化发展项目办印发的《中国农村可再生能源发展背景研究报告》。

1生物质混燃发电与直燃发电、气化发电的对比

常见的生物质发电技术有直燃发电、沼气发电、甲醇发电、生物质燃气发电技术等。目前，国内研究较多的是生物质直燃发电和生物质气化发电技术，对生物质混燃发电技术的应用研究有限。基于我国小火电数量多而污染重的特点，以及农村生物质本身来源广且数量大的特殊国情，本文先从技术和政策角度对生物质混燃发电技术进行讨论，然后分析生物质混燃发电的经济效益、环保效益和社会效益，后者更为重要。

1.1生物质直燃发电现状

生物质发电主要是利用农业、林业废弃物为原料，也可以将城市垃圾作为原料，采取直接燃烧的发电方式。如英国ELY秸秆直燃电站是目前世界上较大的秸秆直燃电厂，装机容量为3.8万kW，年耗秸秆约20万t。古巴政府与联合国发展组织等机构合作，预计投资1亿美元兴建以甘蔗渣为原料的环保电厂。我国直燃发电方面在南方地区有一定的规模。两广省份共有小型发电机组300余台，总装机容量800MW。生物质直接燃烧发电技术已比较成熟，由于生物质能源

需要在大规模利用下才具有明显的经济效益，因而要求生物质资源集中、数量巨大、具有生产经济性。

1.2生物质气化发电现状

生物质气化发电是指生物质经热化学转化在气化炉中气化生成可燃气体，经过净化后驱动内燃机或小型燃气轮机发电。小型气化发电采用气化-内燃机(或燃气轮机)发电工艺，大规模的气化-燃气轮机联合循环发电系统作为先进的生物质气化发电技术，能耗比常规系统低，总体效率高于40%，但关键技术仍未成熟，尚处在示范和研究阶段。在气化发电技术方面，广州能源研究所在江苏镇江市丹徒经济技术开发区进行了4MW级生物质气化燃气-蒸汽整体联合循环发电示范项目的设计研究，并取得了一定成果。

1.3生物质混燃发电现状

生物质混燃发电技术在挪威、瑞典、芬兰和美国已得到应用。早在2003年美国生物质发电装机容量约达970万kW，占可再生能源发电装机容量的10%，发电量约占全国总发电量的1%。其中生物质混燃发电在美国生物质发电中的比重较大，混烧生物质燃料的份额大多占到3%～12%，预计还有更多的发电厂将可能采用此项技术。英国Fiddlersferry电厂的4台500MW机组，直接混燃压制的废木颗粒燃料、橄榄核等生物质，混燃比例为锅炉总输入热量的20%，每天消耗生物质约1500t，可使SO_2排量下降10%，CO_2排放量每年减少100万t。在我国生物质混燃发电技术应用不多，与发达国家相比还相距较远。但是该项技术可以减少CO_2的净排放量，符合低碳经济的发展要求、符合削减温室气体的需要，具有很大的发展潜力。

在我国农村，农户土地分散导致秸秆收集难度较大，收集运输成本限制着秸秆的收集半径，加上秸秆种类复杂，若建立纯燃烧秸秆的电厂，难以保证原料的经济供应。掺烧生物质不失为一种更现实的解决方案，即把部分生物质和煤混燃，减少一部分耗煤。与生物质直燃发电相比，生物质混燃发电具有投资小、建设周期短、对原料价格易于控制等优势。从技术上看，混烧比纯烧具有更多的优越性：可以用秸秆等生物质替代一部分煤来发电，不必新建单位投资大、发电效率低的纯“秸秆”电厂。何张陈将混燃案例与气化案例作了比较，发现气化案例的发电成本要比混燃案例高，而且对生物质价格变化更敏感。兴化中科估计的单位装机容量投资约为丰县鑫源投资的11.3倍，约为宝应协鑫的1.4倍。混燃还可以提高秸秆等生物质的利用效率、缓解腐蚀问题、减少污染、简化基础设施。

2生物质混燃发电技术解析

由于我国小火电厂数量多并且污染大，与其废弃关闭，不如因地制宜的对一些小型燃煤电厂设备略加改造，利用生物质能发电。典型的生物质能发电厂设备规模小，装机容量<30MW；但是利用生物质混燃发电既可发挥现有煤粉燃烧发电的高效率，实现生物质的大量高效利用，而且对现役小型火电厂改造无需大量资金投资，凸显出生物质混燃发电的优越性，特别是生物质气化混烧发电通用性较强，对原有电站的影响比直接混烧发电对原有电站的影响小些。生物质锅炉按燃烧方式有层燃炉、流化床锅炉、悬浮燃烧锅炉等方案可供选择，对现役火电厂实施混燃技术改造，锅炉本体结构不需大的变化（主要改造锅炉燃烧设备）。改造主要涉及在已有燃料系统中进行生物质掺混，有以下3方式。

（1）在给煤机上游与煤混合，再一起制粉后喷入炉膛燃烧。

（2）采用专门的破碎装置进行生物质的切割或粉碎，然后在燃烧器上游混入煤粉气流中，或通过专设的生物质燃烧器喷入炉膛燃烧。

（3）将生物质在气化炉中气化，产生的燃气直接通到锅炉中与煤混合燃烧。本文主要以第2种和第3种为研究对象。

技术上，生物质和煤混燃关键是生物质燃料的选择和积灰问题。燃料的选择可以通过管理手段并辅以掺混设备加以解决。下面主要讨论积灰问题。

生物质和煤混燃的可行性，在一定程度上受积灰的影响很大。不同燃料的积灰特性与多种因素相关，如灰的含量、飞灰的粒径分布、灰的组成和灰的流动性。积灰是必须考虑的重要因素，因为积灰对锅炉运行、锅炉效率、换热器表面的腐蚀和灰的最终利用都有重要影响。与煤相比，生物质（如秸秆）和煤混燃时，两种原料之间的相互作用会改变积灰的组成、降低颗粒的收集效率和灰的沉降速率。生物质灰中碱性成分（特别是碱金属K）含量也比较高，且主要以活性成分存在，从火焰中易挥发出来凝结在受热面上形成结渣和积灰，实际商业应用中生物质掺混比最高为15%，当掺比较小时，一般不会发生受热面灰污问题。国际和国内的经验均表明，生物质混燃发电在技术上没有大的障碍，

技术上是完全可行的。

3生物质混燃发电政策解析

政策支持是加速生物质混燃发电技术发展的基本动力，世界上许多国家采取直接提供政府补贴、制定税收政策、价格政策、低息贷款政策等经济激励政策。瑞典已颁布了“可持续发展的能源供应法”，对油、煤的消费课以重税，使废木材作为发电的燃料成本较煤更低，有效地推动了生物质发电行业的发展。作为一种清洁环保和可再生资源发电技术，生物质发电产业近年来成为综合效益好和较易实现产业化应用的行业。

我国“十一五”规划明确提出：“建设资源节约、环境友好型社会，大力发展可再生能源，加快开发生物质能，支持发展秸秆发电，建设一批秸秆和林木质电站，生物质发电装机达550万kW。”同时，国家电网的新规划，对生物质混燃发电技术的发展也十分有利。国家财政部已出台《秸秆能源化利用补助资金管理暂行办法》，支持企业收集秸秆、生产秸秆能源产品并向市场推广。可见，我国政府正在坚持大力发展生物质能发电产业。

促进生物质混燃发电技术的发展第2个有利条件是根据联合国气候变化框架公约(UNFCCC)、京都议定书和CDM的协议规定，凡是减少CO_2
排放的项目，均可以通过中国发改委及相关中介机构申请来自发达国家的CDM资金资助。然而不利的因素是我国尚没有适用于生物质混燃项目的CDM项目方法学，较难通过CDM项目和自愿性碳市场融资。中国在对生物质发电项目的增值税、企业所得税、耕地占用税等方面优惠政策还不够明晰；申请享受财政贴息及燃料收、贮、运设备的农机补贴等优惠政策难度较大，限制了生物质混燃发电技术的推广应用。政府要求的混烧量不低于80%，是为了防止某些企业利用国家优惠政策，申报虚假生物质发电项目却大部分采用煤发电的现象发生。但即使80%以上这个比例，也存在着计量问题，不利于生物质混燃发电技术的发展。所以应研究建立在线监测和核查系统，开发适用于生物质混燃项目的CDM项目方法学和电量的检测、核实体系，完善监管机制和审计机制。

促进生物质混燃发电技术发展的其它有利条件：可通过进一步加强地区和国家间的合作，更好地将不同地区和国家所进行的生物质混燃发电研究、开发和示范汇集起来，有助于实现技术的快速转让和推广应用。

4生物质混燃发电经济规律解析

4.1改造小火电厂成本

对有改造价值的小型燃煤电厂进行生物质混燃发电技术改造，与新建秸秆发电机组相比，改造项目具有工作量小、资金投入少、见效快、国外可借鉴的技术成熟等特点。从图1可知，混燃电站在投资成本方面的优越性是明显的。此外，根据生物质燃料供应量调节掺烧比例，甚至掺烧30%的农作物废弃物对锅炉的效率影响都很小，电站也能够稳定运行。增强了燃料选择的灵活性，降低了发电企业运营风险。

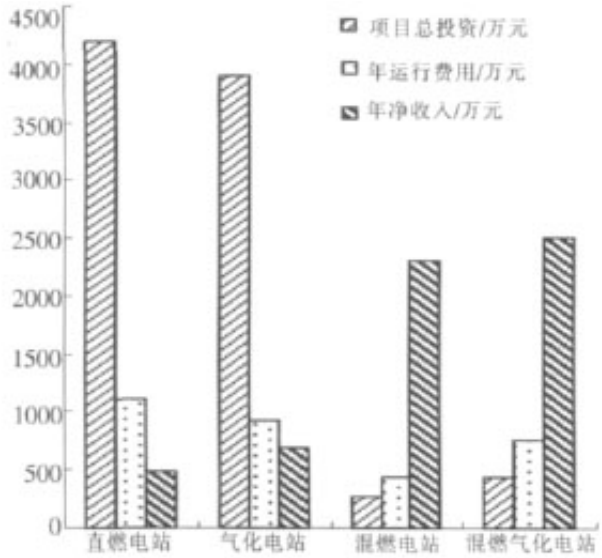

图 1　3 种发电方式的经济性比较

Fig.1 Economic comparison of three generation systems

4.2生物质燃料成本

生物质能发电的成本主要取决于发电技术、燃料成本和燃料品质。生物质燃料一般使用国内就地或邻近地区的原材料，为国内农林业的发展提供了契机。生物质混燃发电利用的燃料属于分散性资源，用于发电时，应能满足量大易得和低成本的要求，这方面可借鉴造纸厂收集原料的经验。

影响生物质燃料成本的主要因素是与其他能源的相互竞争关系、农作物产量的变化及合理的运输半径等因素。发达国家的生物质能成本据估计每吨为120～250美元，但是生物质作为一种废弃物，其燃料成本可能为零。典型的生物质混燃发电厂的装机容量不大，与燃煤电厂相比单位发电量的营业成本较高。但是生物质混燃发电既摆脱了对生物质的过度依赖，又能够消化经济因素许可范围内的生物质资源，使农户和企业在市场中自动达到供需平衡，符合市场经济的规律。在中国宜小规模发展生物质混燃发电技术，其具体利用可通过预测和评估在局部地区（如乡村）来实现。

5生物质混燃发电环境解析

国际能源机构的有关研究表明，农作物秸秆和林业废弃物为低碳燃料，且硫含量、灰含量均低于目前使用的大量煤炭，是一种清洁可再生能源。每两吨秸秆的热值相当于一吨煤，其平均含硫量只有3.8‰，远低于煤l%的平均含硫量（表2）。

表 2　3种发电方式主要污染物排放数据

Table 2 Major pollutants emissions of three power generation technologies

排放量	火电	直燃发电	混燃发电	气化发电
CO_2/t	10	4.6	8.5	7.70
SO_2/kg	80	9.3	68.0	2.58
NO_x/kg	50	2.9	32.5	1.11

由表2可知，生物质混燃发电利用部分生物质能代替一些煤炭等矿物燃料，相对于火电而言可以减少CO_2等气体的净排放量，产生的污染远低于矿物燃料，其环保性与低碳经济相适应。同时，减少了我国农业固体废物的堆积与污染，利于促进农村生态环境的改善。北欧一些国家迫于环保压力行动较先，建立清洁发展机制，减少温室气体排放，在不断加快利用生物质能发电的步伐。另外，可以应用生命周期评价的方法对生物质混燃发电系统进行全面的环境影响分析，这超出了本文研究范围。

6生物质混燃发电社会效益解析

仅就国能单县生物质发电厂而言，其装机容量只有2.5万kW，但该电厂成功运转后，年耗15万～20万t秸秆，可使农民每年增收4000万元，由于原料收集系统的所有工作大都由当地农民完成，生物质发电项目还可为当地农民提供大量的就业机会，促进农业和农村经济的可持续发展。利用生物质混燃发电技术发电是缓解农村能源紧张、保护生态环境与综合利用农业资源，提高农业综合效率的重要结合点。发展生物质能源对实现社会经济可持续发展和建设社会主义新农村有着重要意义。

7结语

生物质混燃发电比单纯燃煤发电减少了污染气体的排放，比应用“纯”生物质发电降低了企业运营风险。它提供了一个相对低价和高效利用生物质能的途径，不但盘活了有改造价值的小型燃煤电厂促进了地方经济发展，同时可减少乡村农林固体废弃物的堆积，改善农民生活环境，降低CO_2，SO_2，NO_x等污染气体的排放量，开拓了生物质能利用的新市场。发展生物质混燃发电技术不仅取决于生物质能的成本和发电效率，还取决于平衡社会、能源经济、生态环境之间的关系等作用，在示范推广该技术时，不可忽略这些因素而盲目发展。应成立熟悉中国国情和环境法规的机构，研究系列适宜的配套解决方案，包括生物质燃料的收贮运、进料系统、锅炉形式、政策优惠的获取、投资基金的申请等，积极推进生物质混燃发电事业的技术进步。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/87101.html