

生物质能分布式利用发展趋势分析*



吴创之 阴秀丽 刘华财 陈 勇

中国科学院广州能源研究所 广州 510640

摘要 分布式生物质能源技术对原料种类适应性强，项目规模灵活、可满足特殊用户的需求，在小规模下具有更好的经济性，更易于商业化发展，符合生物质资源特点和我国国情。生物质能分布式利用方式主要包括生物质成型燃料和生物燃气两方面，关键技术包括生物质成型燃料加工及燃烧、大中型沼气工程技术、生物质气化热解及燃气利用等。我国分布式生物质能源技术目前主要处于进行技术完善和应用示范阶段，预计到2030年前大部分关键技术将基本成熟，具备产业化的条件。我国分布式生物质能产业发展的主要方向是传统燃煤燃气替代、城镇/农村清洁生活能源供应和农村生态环境保护，发展重点是服务节能减排战略，利用生物质实现部分替代工业燃料，减少燃煤/燃油带来的污染，同时围绕国家新型城镇化战略，为新农村建设提供可持续的清洁能源，提高农村生态环境保护水平。目前制约分布式生物质能产业发展的最主要瓶颈是经济性和可靠性，国家应在技术创新和政策支持方面增加投入，将生物质能的环境效益和社会效益转化为成本效益，推动生物质能分布式利用产业的发展。

关键词 生物质能，分布式，成型燃料，生物燃气，路线图

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.02.005

1 生物质能分布式利用的意义

1.1 分布式利用符合生物质资源的特点

生物质资源来源多样、能量密度较低、分布分散，这些资源特点决定了因地制宜、分布式利用是发展生物质能产业的必然要求。资源供应方面，应该就地开发、利用，不必长距离运输，有效降低运输成本，符合生物质资源密度低，分布分散的自然属性；能源使用方面，应该就近使用，直接面向终端用户，多余能源可外送；管理运行方面，应该具备独立运行的能力和条件，必要时可以联网或与化石能源互补相利用。

分布式生物质能源技术应用的规模很灵活，可根据当地的实际情况满足不同的需要，

*资助项目：中科院学部咨询项目“大力发展分布式可再生能源应用和智能微网”，国家自然科学基金（51176194）

修改稿收到日期：2016年1月21日

如，既可以建设小型发电站，也可以作为居民生活燃气，甚至可作为供热、工业窑炉的燃料等，是真正实现生物质能“因地制宜”开发利用的有效途径。而且从产业化上看，由于分布式生物质能源技术对原料种类和规模适应性强，项目规模要求小、资金门槛要求低、投资回报高，对各种用户需求的适应性较好，不同的规模下都具有一定的经济性，所以生物质能分布式利用比集中式利用更易于商业化。总的来说，分布式生物质能源技术符合中国生物质资源分散的特点，适合分散利用和工业应用，具有较强的适应能力和生存能力，在中国发展分布式生物质能源技术有广阔的应用前景。

1.2 生物质能分布式利用符合我国发展现状

我国经济发展不平衡，各地居民能源消费结构有较大差异。一方面，目前仍有约 1.33 亿户农村家庭将传统生物质能作为主要炊事或采暖能源，许多中西部农村地区仍然以秸秆、薪柴等直接燃烧的传统生物质能源作为主要生活能源；另一方面，随着东部沿海地区农村经济的发展和生活水平的提高，传统生物质能作为生活能源的情况已大幅减少，大量作物秸秆被遗弃在田间地头，就地焚烧，空气污染十分严重。

我国正在大力推进新型城镇化及新农村建设，需要大量的清洁能源供应，在广大农村地区充分利用丰富廉价的生物质资源，加快生物质产业的发展，是解决农村今后能源持续供应的有效途径。生物质能作为来源于农林副产物的清洁能源，可以为农村城镇化提供生活能源，包括采暖、燃气和电力等，形成农村能源自产自销的新型供应模式。而分布式生物质能转化技术是最适合农村分散利用的产业化方向，如利用秸秆为农村提供热、电、气等生活能源，是新农村摆脱燃煤依赖的有效措施。

2 生物质能分布式利用发展现状

生物质能分布式利用的主要方式是成型燃料和生物燃气（沼气和气化）。生物质成型燃料和生物燃气与

传统化石燃料的使用习惯一致，是煤或天然气的良好替代品，符合可持续发展的要求，实现了低品位燃料向高品位、低污染燃料的转变，可广泛用于各种小型热水锅炉、热风炉、家庭取暖炉或壁炉，不仅可解决城乡家庭的炊事取暖，也可用于小型发电供暖设施，为中小热电厂能源结构的调整创造条件。

2.1 国外生物质能分布式利用现状

（1）成型燃料生产及应用。欧洲以及其他大部分地区生产成型燃料主要以木质生物质为原料。目前大部分用于各种小型热水锅炉、热风炉、家庭取暖炉或壁炉，部分用于小型社区热电联供电站，满足居民供暖需求。我国在新型城镇化规划中明确提出农村可再生能源在 10 年后要求达到 13%，其中利用生物质成型燃料为农村、小城镇住户提供炊事和采暖能源，将是一个重要的途径。

生物质固体颗粒燃料除通过专门运输工具定点供应给发电厂和供热企业以外，还以袋装的方式在市场上销售，已经成为许多家庭首选的生活燃料。2014 年，全球木质颗粒产量达 2 410 万吨，欧盟约占 62%，北美地区约占 34%（图 1）。最大的生产国依次为美国（总产量的 26%）、德国（10%）、加拿大（8%）、瑞典（6%）和拉脱维亚（5%）^[1]。欧盟国家消费了世界上最多的木质颗粒，2013 年消耗量为 1 500 万吨。

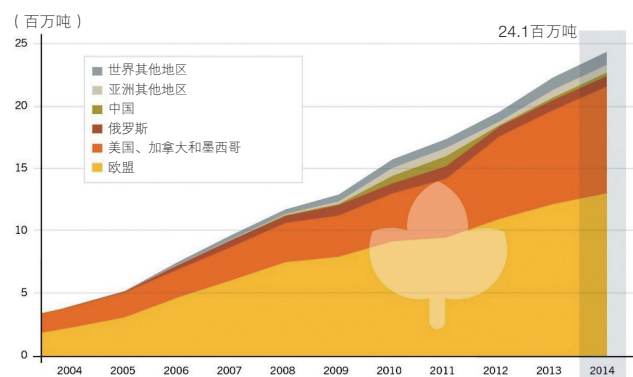


图 1 木质颗粒燃料生产量^[1]

（2）生物燃气生产及应用。生物燃气是指从生物质转化而来的燃气，包括沼气、合成气和氢气。目前沼

气具有较大的成本优势，所以生物燃气经常特指沼气。据国际能源署统计，2012 年，欧洲地区在运行的沼气发电厂超过 13 800 家，装机容量 7.5 吉瓦。大部分是热电联产，小部分被送入天然气管网，发电量和供热量分别达 44.5 吉瓦时和 1.1×10^5 吉焦。2013 年底，德国的沼气生产厂已达 8 000 家左右，装机容量约 3.8 吉瓦，98% 用于发电，并实行热电联供，当年供电 2.7×10^4 吉瓦时，供热 1.2×10^4 吉瓦时，分别占全国供电和供热总量的 4.2% 和 0.8%，据估计到 2020 年，生物燃气发电总装机容量将达到 9 500 兆瓦。另有 169 家沼气厂向天然气管网输气，输气量达 9 亿立方米。

2.2 我国生物质能分布式利用现状

（1）成型燃料生产及应用。近年我国开始重视生物质成型燃料产业的发展，国家发改委在《可再生能源长期发展规划》中提出，力争在 2020 年达到颗粒燃料年利用量 5 000 万吨的目标。目前国内生物质成型燃料主要应用于工业高温蒸汽供应，包括钢铁、纺织、印染、造纸、食品、化工等行业，由于国内生物质成型燃料行业还处起步阶段，企业分散，没有统一的行业标准和产品标准，很难统计具体的产业规模，估算为 500 万吨/年左右。国家能源局在《2014 年能源工作指导意见》强调年内新增生物质工业和民用供热折算分别为 200 万吨和 80 万吨（蒸汽），而根据发改委、国家能源局和环保部《关于印发能源行业加强大气污染防治工作方案的通知》，争取 2017 年生物质成型燃料利用量超过 1 500 万吨。

（2）生物燃气生产及应用。我国生物质能资源丰富，可用于制取生物燃气的资源品种繁多，包括作物秸秆、畜禽粪便、林业废弃物等。据统计，我国每年可用于生产生物燃气的资源总量约折合 7 亿吨标准煤（表 1）。若考虑技术可行性和市场竞争能力，目前可利用的资源量约为 2.5 亿吨标准煤，可生产沼气量为 1 990 亿立方米，约折合天然气 1 200 亿立方米，相当于我国 2014 年天然气消费量 1 800 亿立方米的 2/3。

表1 中国生物燃气资源潜力^[2]

资源类型	总资源量		目前可利用资源量	
	实物量 (亿吨/年)	沼气当量 (亿立方米)	实物量 (亿吨/年)	产气量 (亿立方米)
畜禽粪便	25.0	1 500	12.5	750
作物秸秆	6.0	2 900	1.2	580
林业废弃物	2.7	1 500	0.8	450
农产品加工废弃物	2.0	60	1.0	30
污水污泥	0.1 (干重)	20	0.1	20
城乡生活垃圾	2.0	60	2.0	60
有机污水	20.0	100	20.0	100
农村人粪尿	—	80	—	—
合计	7 亿吨标煤	6 220	2.5 亿吨标煤	1 990

近年来，我国生物燃气产业取得较大进展，生物燃气产量已达 150 亿立方米/年，实现 CO₂ 减排 765 万吨，大中型生物燃气工程约 4 000 多个。但总的来看，我国处理农业有机废弃物的沼气工程由于相对规模小，又远离城镇，产生的沼气仅有少量用于发电和集中供气（沼气发电用电量约占总产气量的 2.53%，集中供气约占总产气量的 1%），大量的沼气用于养殖场自身的生产、生活燃料。农业沼气工程平均池容只有 283 立方米，池容在 1 000 立方米以上的大型沼气工程仅占 9% 左右，沼气技术和产业的发展急需转型升级。

（3）生物质气化发电及燃气应用。生物质气化发电及燃气应用是具有我国特色的生物质能分布式利用方式。基于生物质热解气化技术，我国开发出生物质热解气化集中供气系统，以满足农村居民炊事和采暖用气，相关技术已得到初步应用。其中，利用生物质热解炭化技术，建设生物质炭、气、油多联产系统，为农村居民提供生活燃气，同时生产生物质炭和生物焦油，取得了较好的经济社会效益，在湖北、安徽和河南等地得到初步推广，具有较好的发展前景。在生物质气化发电方面，目前已开发出多种以木屑、稻壳、秸秆等生物质为原料的固定床和流化床气化炉，成功研制了从 400 千瓦到 10 千瓦的不同规格的气化发电装置，出口到泰国、緬

甸、老挝和我国的台湾地区，是国际上中小型生物质气化发电应用最多的国家之一。

3 生物质能分布式利用的主要技术

目前有多种生物质能源分布式利用技术已基本成熟，且最有可能实现市场化，包括沼气、生物质成型、生物质气化、生物质采暖供热利用等，相关核心技术发展现状如图2所示。

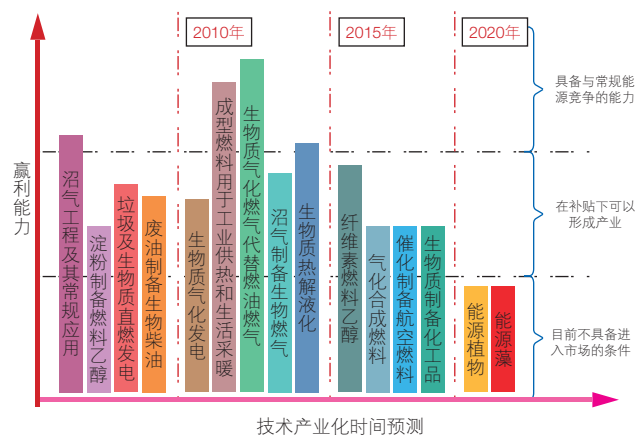


图2 分布式生物质能源技术现状

3.1 大中型沼气技术

沼气工程所处理的有机废弃物比较广泛，如：畜禽粪便、青贮饲料、过期的残粮、厨余残渣、生活有机垃圾、动物屠宰的废弃物、农副产品加工的废弃物等，或由上述几种有机废物混合构成。由于我国近10年畜牧养殖发展很快，畜禽粪便排放总量远远超过环境承载能力，政府希望通过沼气工程建设项目的实施，基本解决重点区域畜禽养殖场对周围环境的污染问题。因此，沼气工程将发挥多功能的作用（生产能源、综合利用及环境保护等），具有广阔的应用前景。

大中型沼气工程已非常成熟，是生物质能分布式利用的主要方式，也是目前产业化发展最好生物质能利用方向之一。然而，我国传统的沼气利用方式以家用沼气池为主，规模小，效率低；而大中型沼气工程与国外技术相比仍存在较大差距，设备工艺和制造技术水平不高，如国际上CSTR工艺的产气率可达 $15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ，热电系统率达

90%，而我国产气率仅为 $0.8—5.0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ，发电效率仅为35%。目前我国已建的大中型畜禽粪污沼气工程在工艺设计阶段没有考虑充分利用资源，大多数没有采用热电联供，常温发酵或外加热源近中温发酵工艺在冬季不能维持稳定产气，能源净输出率很低。

3.2 生物质成型技术

成型技术主要有两类：一类是颗粒燃料成型机，不同规格的环境机是颗粒燃料成型机的主流机型；另一类是棒状或块状成型机，棒状或块状成型燃料主要在农场应用，原料是作物秸秆，绝大多数是大螺距、大直径挤压机，也有液压驱动活塞冲压式成型机。目前生物质成型燃料从原料收集、干燥、粉碎、包装、销售环节全部实现了生产线生产，自动化、规模化和商业化程度都很高，单机生产规模大都在每小时2吨以上。

我国生产成型燃料以农作物秸秆为主要原料，秸秆成型特性、燃烧特性方面与林业剩余物有很大不同，不能照搬国外的技术以及设备。目前在生物质冲压式压块技术及装置、挤压式压块技术及装置、烘烤炭技术及装置等方面有了明显的进步，但我国生物质成型机还普遍存在着能耗过高、磨损严重和使用寿命短等问题，需要进一步加强技术研发改进，提高能源利用效率。另外，秸秆燃料锅炉燃烧应用技术还不成熟，还缺乏核心技术和设备，尚无技术成熟的锅炉产品制造厂家，锅炉燃烧中容易出现结渣、结焦、腐蚀和飞灰严重等问题，运行维护不易。因此，提高锅炉对秸秆成型燃料的适应性，是大规模推广生物质成型燃料的关键技术之一。

3.3 生物质气化技术

生物质气化的主要优势是将难以燃用的生物质低品位燃料转化为燃气，实现清洁和高效燃烧，是生物质分布式利用的有效途径。我国的小规模生物质气化及利用技术达到了国际先进水平，尤其在气化发电和生物燃气替代工业燃料方面。但是总体来看，目前气化设备对燃料的适应性较差，对原料水分、灰分或热值的变化比较敏感；气化发电还存在效率偏低、稳定性较差和燃气净化系统太复杂

等问题，需要提高生物质气化效率及其自动化控制水平；生物质燃气燃烧存在燃气和常规燃烧设备（如锅炉、窑炉等）匹配技术不成熟等问题，急需解决生物质燃气高效燃烧、气化系统与工业锅炉/窑炉耦合调控等关键技术。所以以开发新型的生物质气化技术和设备，完善并提高燃气利用效率，建设示范工程，形成分布式生物质气化利用的商业化解决方案，是生物质气化技术发展的主要方向。

3.4 生物质热解技术

生物质热解技术可将低品位生物质转化为高品位的木炭、燃油等，是高效化利用生物质的主要方式之一。我国生物质热解技术方面研究较早，但产业化进展缓慢，主要是因为研究以单项技术为主，缺乏系统性，与欧美等国相比还有较大差距。特别是在高效反应器研发、工艺参数优化、液化产物精制以及生物燃油对发动机性能的影响等方面存在明显差距。同时，热解技术还存在如下一些问题：生物油成本通常比矿物油高，生物油同传统液体燃料不相容，需要专用的燃料处理设备；生物油是高含氧量碳氢化合物，物理、化学性质不稳定，长时间贮存会发生相分离、沉淀等现象，并具有腐蚀性；由于物理、化学性质的不稳定，生物油目前不能直接用于现有的动力设备，必须经过改性和精制后才可使用；这些都是阻碍生物质热解规模化利用的瓶颈所在。针对以上存在的差距和问题，今

后的研究重点是如何提高液化产物收率，寻求高效精制技术，提高生物油品质，降低运行成本，实现产物的综合利用和工业化生产等。

4 生物质能分布式利用发展前景分析

4.1 生物质能分布式利用发展潜力分析

发展分布式生物质能的关键是因地制宜，不能脱离当地的社会经济发展条件，追求不切实际的发展目标。我国目前开发利用生物质能的主要功能是环保和节能，目的是减少污染，提供经济、可行的洁净替代能源，减少化石能源的压力。在定位上，近期应围绕节能减排战略需求，实现部分替代工业燃料，减少燃煤/燃油/燃气的消耗，降低企业减排成本；长期应发展液体燃料替代，实现生物质液体燃料规模化生产、能源作物规模化种植及能源藻的商业化利用。根据产业发展分析和预测，我国分布式生物质能源技术产业发展大致可分为两个阶段（图3）。

（1）近期（2015—2020年）。生物质分散供热和天然气替代技术基本成熟，产业化商业模式基本建立，产业化的技术和产品主要以生物质分散供热和生物质替代天然气为主，其他分布式生物质能源利用技术仅仅处于应用示范阶段。此阶段发展的重点产业包括：沼气工程及其热电气联供系统、沼气制备车用燃气系统、生物质



图3 我国生物质能源分布式利用产业发展重点和潜力预测

气化燃气窑炉燃烧系统、生物质燃气锅炉燃烧系统、生物质热电联供系统、高效生物质供热锅炉、秸秆成型燃料燃烧锅炉、成型燃料家用采暖设备、成型燃料家用炉灶设备、养殖等污水大型沼气工程等。

（2）中期（2020—2030年）。生物质分散供热和天然气替代技术和产品处于快速发展阶段，产业规模、经济效益、减排效益日益显著；城镇、乡村分散利用生物质能源作为生活能源的技术、产品日趋成熟，国家/地方政府对新型城市化中利用生物质能源政策措施进一步强化，分布式生物质能技术为新型城镇化提供能源供应和环境保护解决方案的地位初步确立。此阶段发展的重点产业包括：生物质气化集中供气系统、生物质集中供热系统、生物质热电气联供系统、生物质替代LPG燃料集成系统、垃圾热解焚烧设备、垃圾/生物质混合炭化/气化系统、垃圾分级及综合利用、秸秆/粪便混合发酵设备及系统、户用沼气模块化系统等。

4.2 生物质能分布式利用发展路线图

传统燃煤燃气替代、城镇/农村清洁生活能源供应和农村生态环境保护是生物质能分布式利用的三大发展方向，相关核心技术包括碱金属腐蚀及结焦控制技术、高效生物质气化技术、生物质热解/炭化技术、秸秆干发酵技术、生物质气化燃气净化技术、生物燃气净化提纯技术、生物燃气低污染燃烧及发电技术等。其中，生物质能燃煤燃气替代方面，关键技术已基本成熟，大部分系统完成应用示范，如果在政策和经济性方面具备条件，预计在5—10年内可实现产业化并进行大规模推广应用；农村生态环境保护方面，秸秆等固废利用技术已具备产业化条件；分散规模的垃圾/污水处理系统、户用沼气升级、秸秆沼气制备等关键技术处在研发阶段；城镇/农村清洁生活能源供应方面，生物质清洁利用技术处于工程示范阶段，核心技术问题包括生物质成型燃料家用采暖模块化技术、生物质家用燃气模块化技术等。

基于目前相关核心技术的研发及其应用现状，我国分布式生物质能源技术近期主要处于进行技术完善和应

用示范阶段，预计到2030年前大部分关键技术将基本成熟，具备产业化的条件（图4）。

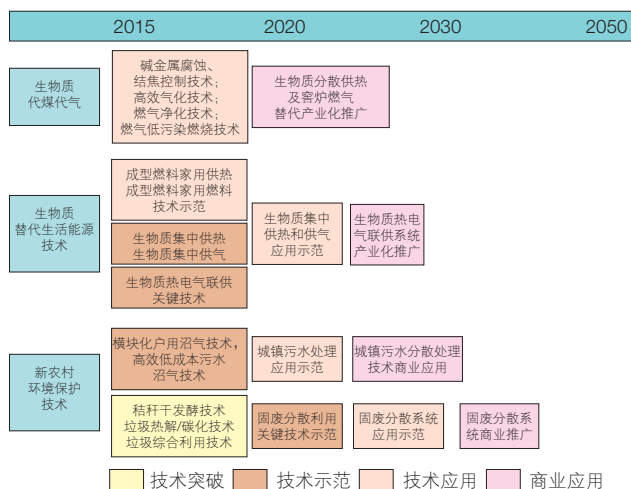


图4 我国分布式生物质能源技术发展路线图

5 生物质能分布式利用发展条件分析

生物质原料分散，种类复杂，从本质上看，生物质能更适合于分散利用，所以发展生物质供热、供气和热/电/气联产等分布式利用模式，是我国生物质能发展的主要方向，但从产业发展现状看，目前制约分布式生物质能产业发展的最主要瓶颈是经济性和可靠性。为了实现上述分布式生物质能产业的发展目标和潜力，必须重点解决这两方面的问题，才能为产业发展创造有利条件。

5.1 技术创新与应用示范

技术创新是提高分布式生物质能产业经济性和可靠性的基础，政府应该增加科研投入，增强技术研发和技术转移能力，进行关键技术创新、系统集成与工程示范，推动分布式生物质能技术产业化发展。

（1）开发生物质替代工业燃料的关键技术，保证生物质作为燃料可以在锅炉、窑炉等工业设备中稳定使用。包括：研究燃料适应性强的生物质高效燃烧技术，防止不合格燃料的影响，并实现炉膛燃烧温度可控；研究解决生物质利用过程中的炉内结焦、换热设备腐蚀等问题；开发适应多种原料的生物质气化技术，重点解决低焦油、大负荷、高稳定性等技术难题。

（2）开发与农村环境保护及农村生活能源供应相关

的共性技术,使分布式生物质能成为新型城镇化能源保障和农村环境保护的有效途径。为了达到低成本、提高可靠性的目的,必须将生物质能利用技术和我国农村发展需求相结合,进行工程示范并经过长期的商业应用,有效提高技术的可靠性和实用性,才能具有较大的行业带动作用,引导并推动相关产业发展。

5.2 商业模式与政策支持

我国分布式生物质能产业尚处于起步阶段,用户认可度低,商业模式未成熟;同时与传统能源相比,分布式生物质能产业存在单位投资大、运行维护成本高等缺点。政府应该加强政策支持和引导,鼓励商业化示范、商业模式创新,提高其市场竞争力。

(1) 不断创新和完善分布式生物质能产业的商业模式。首先,提高生物能源设备系统集成能力,将设备制造加工与销售核心设备、核心技术研制于成套设备开发、技术服务与工程安装调试等各方面有机结合;其次,构建生物能源燃料生产与供应商的市场网络,在专注生物燃料收集、加工及生产的同时,为用户提供保障燃料供应的解决方案;最后,建立减少用户后顾之忧的商业模式,利用核心技术和低成本设备,通过专业的燃料供应和项目运行管理,为客户提供生物质能源分散利用的综合解决方案,形成具有市场价值的商业模式,提高生物质能的市场竞争力。

(2) 制定经济激励政策,将生物质能的环保优势转化为成本优势。生物质燃料的单位热量成本远远高于化石能源,简单利用生物质能替代燃煤、天然气没有经济性,但生物质属于可再生的清洁能源,具有显著的减排优势和环境效益。政府应该制定相应的激励政策,建立产业发展的激励机制,包括立项鼓励、税收和环保负荷减免、热电价格补贴、CO₂减排补贴、城镇化建设补贴等政策,提高其经济性,调动社会发展分布式生物质能的积极性。

参考文献

- 1 REN21. Renewables 2015 Global Status Report. 2015. [2015-12-18]. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf.
- 2 农业部科技教育司. 全国农作物秸秆资源调查与评价报告. 农业工程技术(新能源产业), 2011, (2): 1-5.
- 3 国家林业局. 全国林业生物质能发展规划(2011—2020年). [2015-12-20]. <http://www.forestry.gov.cn/main/72/content-608546.html>.
- 4 国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划. [2015-12-21]. http://www.ah.xinhuanet.com/swcl2006/2007-09/04/content_11048535.htm.
- 5 中共中央、国务院. 国家新型城镇化规划(2014—2020年). [2016-1-20]. http://www.hbfgw.gov.cn/hbgovinfo/ghjh/zcqh/201403/t20140318_76244.html.
- 6 Kirkels A F, Verbong G P J. Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15 (1): 471-481.
- 7 N C. Federal Ministry for Environment, Building and Nuclear Safty of Germany. Act on granting priority to renewable energy sources (Renewable Energy Sources Act – EEG). 2012.
- 8 Department of Energy & Climate Change of U.K. UK Bioenergy Strategy. 2012.
- 9 Department of Energy & Climate Change of U.K. Non-Domestic Renewable Heat Incentive - Improving support, Increasing Uptake. 2013.
- 10 Obernberger I, Thek G. Cost assessment of selected decentralized CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. Spain: Proceeding of the 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2008.
- 11 中国可再生能源学会. 中国新能源与可再生能源年鉴2011. 北京: 中国新能源网, 2012.
- 12 史立山. 瑞典、丹麦、德国和意大利生物质能开发利用考察报告. 中国建设动态: 阳光能源, 2005, 5 (5): 64-66.
- 13 国家统计局能源统计司, 国家能源局综合司. 中国能源统计年鉴2013. 北京: 中国统计出版社, 2013.

Perspective on Development of Distributed Bioenergy Utilization

Wu Chuangzhi Yin Xiuli Liu Huacai Chen Yong

(Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract Biomass has a number of characteristics, including diverse sources, dispersed distribution, and low energy density, that makes it more appropriate for distributed utilization based on local scenarios. China is one of the largest agricultural countries in the world, where agricultural residue resources are available in large quantities, but modernization level of rural areas and agriculture remains low and agricultural residues are scattered and not utilized effectively. Distributed bioenergy technology has great flexibility in fuel, scale, and application mode, which has better economic performance in small scale. It fits the characteristics of biomass resources and domestic conditions in China, thus can realize commercialization more easily. Pellet and fuel gas are two main patterns of distributed bioenergy utilization. The key technologies include pelleting, pellet combustion, medium and large-scale biogas engineering, pyrolysis gasification, and fuel gas utilization. Currently, the distributed bioenergy technologies are still in demonstration phase. It is estimated that most of the key technologies will be well developed for industrialization before 2030. The promotion of China's national strategies such as new-type urbanization and new rural construction requires substantial clean energy supply. The main development directions of distributed bioenergy industry in China include substitution of tradition fuels, clean energy for household consumption in town and country, and environmental protection in rural areas. The most promising distributed bioenergy utilizations recently are household heating and fuel gas supply, which can effectively reduce coal dependence and relevant pollutions in rural areas. Taking into account the national strategy of energy conservation and pollution emission reduction and new-type urbanization, priority will be given to the substitution of coal and fuel oil in industry, as well as clean and sustainable energy supply in rural areas. However, economic performance and stability have become bottleneck. It is proposed that the government should increase financial support for technological creation, which will turn environmental and social benefits of bioenergy into cost-effectiveness and promote the development of distributed bioenergy industry.

Keywords bioenergy, distributed utilization, pellet, fuel gas, road map

吴创之 中科院广州能源所研究员，中国可再生能源学会副理事长、生物质能专业委员会主任，《太阳能学报》《燃料化学学报》《农业环境科学学报》等期刊编委。长期从事生物质能转换过程理论和应用技术研究，研究方向包括生物质热转换过程的机理和规律，生物质能气化发电及气化合成技术等，在生物质技术开发应用方面具有丰富经验。主持国家自然科学基金、国家科技支撑项目、国家“863”项目、中科院知识创新工程重点项目、院地合作项目、广东省战略新兴产业、广州市科技计划项目40余项，发表论文200余篇，申请专利28项，出版论著4部。近年来先后获得国家科技进步奖二等奖、广东省科学技术奖一等奖、二等奖、中科院科技进步奖二等奖、国家专利优秀奖等。E-mail: wucz@ms.giec.ac.cn

Wu Chuangzhi Professor, Guangzhou Institute of Energy Conversion (GIEC), Chinese Academy of Sciences. Prof. Wu serves as the Vice Chairman of Chinese Renewable Energy Society, director of Biomass Energy Committee and also the member of Editorial Board for several Chinese journals such as *Acta Energetica Sinica*, *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, *Journal of Agro-environment Science*, etc. Prof. Wu has long been engaged in research on biomass energy thermal conversion processes and application technologies. He led and participated in over 40 national scientific research projects, with focus on the characteristics of biomass energy, mechanism and regularity of biomass thermal conversion, biomass gasification and power-generation technology, tech-economic analysis and environmental impact assessment of biomass energy application. Prof. Wu has published 4 monographs and over 200 research papers. He has also applied for a total of 28 patents, 21 of which have been authorized. Prof. Wu has been awarded many prizes, including the 2nd Prize of National Science and Technology Progress Award, 1st Prizes of Guangdong Science and Technology Progress Award and other 4 provincial-level awards. E-mail: wucz@ms.giec.ac.cn