

生物质热解多联产在北方农村清洁供暖中的适用性评价

丛宏斌, 赵立欣, 孟海波, 姚宗路, 霍丽丽, 贾吉秀, 吴雨浓

(农业部规划设计研究院农村能源与环保研究所, 农业部农业废弃物资源化利用重点实验室, 北京100125)

摘要: 推进北方地区冬季清洁取暖, 关系北方地区广大群众温暖过冬, 关系雾霾天能不能减少。该文在总结中国北方农村地区采暖现状的基础上, 阐释了清洁采暖的现实问题和基本需求。归纳梳理了生物质热解多联产的技术特征和主要多联产模式。在此基础上, 提出了以生物质热解多联产技术为核心, 适合中国北方农村地区清洁供暖的技术路径与应用模式, 对各模式技术可行性、经济可行性和环境影响等进行了分析。研究结果表明, 现有经济技术条件下, 生物质热解多联产适用于北方地区农村清洁供暖, 尤其适合优先示范推广以自然村或新型农村社区为单位的小型集中或分散供暖, 200户左右的自然村供暖项目初投资一般不超过300万元, 投资回收期为4~5a。该研究为破解北方地区农村清洁取暖问题提供了新思路、新途径。

0引言

中央财经领导小组第十四次会议上, 习近平总书记强调, 推进北方地区冬季清洁取暖等6个问题, 都是大事, 关系广大人民群众生活, 是重大的民生工程、民心工程。推进北方地区冬季清洁取暖, 关系北方地区广大群众温暖过冬, 关系雾霾天能不能减少, 是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容^[1]。

农村地区大量劣质散煤的利用导致污染物排放严重。2014年, 中国农村能源消耗量为7.6亿t标准煤, 占全国能源消耗总量的17.8%, 农村煤炭消耗量为3.14亿t, 在农村能源消费中的比重为41.4%^[2]。

。受社会经济条件制约, 农村供暖中散煤使用普遍, 尤其是中国北方供暖季, 农村地区散煤使用总量大、时间集中、排放分散, 不加装任何脱硫除尘装置, 污染物排放严重^[3-6]。

生物质热解多联产以生物质连续炭化技术为核心, 通过固气、气液分离和燃气净化提质, 生产热解气、生物炭、木焦油和木醋液等多种产品^[7-10]。

。热解气清洁、环保、可再生, 可作为农村地区重要的替代能源^[11-12]。

。生物炭可用作吸附材料、土壤改良剂、肥料缓释载体和二氧化碳封存剂等^[13-14]。

。也可经成型加工机制炭作为高品质能源利用^[15]。

。木焦油和木醋液作为生物质炭化副产物, 可用作燃料或化工原料^[16]。

。中国具有丰富的农林废弃物资源, 据统计, 中国农作物秸秆和林业三剩物资源量分别达到10和3.5亿t^[17-19]。

。热解多联产是农林废弃物综合利用的重要途径之一, 符合生物质资源化、能源化综合利用原则, 能够进一步提升农林废弃物资源开发综合效益, 具有良好的推广应用前景^[7,9-10]。

。热解多联产是农林废弃物综合利用的重要途径之一, 符合生物质资源化、能源化综合利用原则, 能够进一步提升农林废弃物资源开发综合效益, 具有良好的推广应用前景^[7,9-10]。

本文旨在总结中国北方农村地区取暖现状, 阐释农村地区清洁供暖的现实问题和基本需求, 在此基础上提出以生物质热解多联产技术为核心, 适合中国北方农村地区清洁供暖的技术路径与应用模式, 并对模式的技术可行性、经济可行性和环境影响进行分析, 以期破解北方地区农村清洁供暖提供新思路、新途径。

1北方农村地区清洁供暖需求分析

1.1供暖现状

中国北方地区大多数农村住宅布局分散, 建筑多为单层单院式, 不适合采用城市普遍使用的集中供暖方式^[20-21]。

。目前,北方农村地区应用的分散

采暖方式主要有火炕、火炉、土暖气或散热器等^[22-23]

。火炕或火炉供暖在东北、西北和华北部分地区的农村尤为普遍,黑龙江、吉林、辽宁和河北四省区的农村冬季取暖还有一定比例的农户采用火墙,火墙多数与火炕配合使用。随着农村经济的发展和农民生活条件的改善,部分地区农村建筑结构及面积趋于城镇化,传

统的供暖方式已不能满足农民对取暖舒适性要求^[24-25]。近年来,土暖气对火炕的取代率很高^[26]。

近年来,全社会对大气质量持续高度关注,在政府补贴资金和激励政策引导下,宜电则电,宜气则气,旨在治理冬季农村燃煤污染的行动在北方农村地区稳步推进^[27-29]

。“煤改电”、“煤改气”、“煤改太阳能”、“煤改生物质”、“煤改地热能”等工程大力推进,电暖气、空调、空气源

热泵、太阳能

集热器、地源热泵和多能互

补供热系统等新型清洁取暖技术在农村地区的使用率逐

年提高^[30-31]

。北方农村地区采暖使用的能源既有化石能源,也有可再生能源,如清洁或可再生能源包括电能、太阳能、生物质能、地热能等^[32]。

受经济社会发展水平和自然地理条件等因素制约,北方农村采暖还存在供暖基础设施落后、能源利用率低、污染排放严重等问题。农村人口分散化居住特征明显,集中的农村能源和供暖市场难以形成,造成供暖基础设施的建设、运营和管理成本较高。以火炕、火炉等传统取暖方式能源利用率较低,小型的燃煤炉存在燃烧不充分、热耗散大等问题,能源利用率一般仅40%~50%,在能源利用率方面还有很大的提升空间^[33-34]。

1.2 供暖需求分析

随着农民生活水平的持续提高和全社会对环境保护的日益关注,在清洁、便利、安全、节能等方面对北方农村取暖均提出了更高要求。与此同时,采暖费用大幅度提高,造成了农民生活成本增加。中国北方农村采暖需求主要表现为3方面的特征。

1) 北方农村地区供暖需求体量大。截至2016年底,中国常住人口城镇化率为57.35%,即中国人口的42.65%,相当于5.90亿人口常年

居住在农村,位于北方供暖区的15

个省、自治区、直辖市的农村常住人口近3亿人^[35]

。2012年,农村总建筑面积为234亿m²

,北方供暖区15个省、自治区、直辖市建筑面积约为82亿m²

。随着生活水平的提高,农

村新建住宅越来越多,中国农村每年新增住房面积约为8

亿m²

,农村建筑处于改旧换新的快速发展时期,以供暖为主的各类能源需求不断增加。尤其在东北高寒地区,冬季的采暖期达5~6个月,农

村住宅采暖能耗达到农村住宅总能耗

的52%,与城镇供暖能源需求平均水平接近^[26,33]。满足体量巨大的北方农村冬季供暖需求成为时代新命题。

2) “散煤替代”是北方农村采暖的首要任务。冬季北方空气污染加剧,农村采暖用煤是重要原因之一。农村采暖以烧散煤为主,中国每年民用散煤消耗量超过3亿t,总量较工业用煤少,但时间集中、低空分散,不加装任何脱硫除尘装置,对大气污染严重^[24-25]

。据报道,燃烧1t散煤的大气污染物

排放量是一般电厂燃烧等量煤炭的10倍以上^[32]

。京津冀地区农村冬季供热采暖能耗占全年能耗的35%左右,散煤(很多是劣质煤)的使用量陡然加剧,是雾霾形成的重要原因之一。环境保护部华北督查中心专项督查数据显示,京津冀地区农民生活和农业生产煤炭消费量总计为4224万t,占三地全社会总耗煤量的11%。污染物的排放占到同期环境统计烟尘总排放量的23.2%,二氧化硫总排放量的15.2%,氮氧化物总排放量的4.4%^[5]。清洁采暖和“散煤替代”成为北方农村地区取暖新需求。

3) 节能推广在北方农村地区冬季采暖中亟需落实。开源与节流并举,农村节能,尤其是北方采暖地区农村建筑节能

能、炉具节能技术推广不容忽视。中国北方大部分住宅为坡顶或平顶单层住宅^[36]

，绝大多数的农村住宅没有保温措施，供暖方式设计、建造不合理，造成农宅舒适性普遍较差，冬季供暖耗能普遍较高。受社会经济条件制约，农村供暖中散煤使用普遍，近80%的居民使用低效炉具燃用劣质散煤，量大面广，不仅燃烧排放高，而且能源效率低^[30,32]。北方农村采暖节能中，一方面要做好建筑物自身的保暖改造，另一方面需做好节能技术与产品的推广应用。

2 生物质热解多联产及其供暖模式分析

2.1 生物质炭化及其多联产技术

生物质炭化技术又称为生物质干馏技术，属生物质热化学转化技术范畴，指生物质原料在绝氧或低氧环境中受热升温引起分子内部分解形成生物炭、生物油和不可冷凝气体产物的过程^[7,9]。

生物质热解工艺参数不同，固气液三态产物产率存在较大差异。生物质炭化技术即指生物质慢速低温热解技术，此工艺

条件下生

物炭得率相对较高

。与传统气化技术相比，炭化技术产

物多样，且热解气热值一般可达到 $15\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右，明显高于气化气热值^[7,9,37]

。另外，生物炭和木焦油、木醋液的综合开发，也使得这一技术具备了生物质能源化资源化综合开发利用的潜质，具有良好的应用前景。

连续式生物质炭化技术具有生产效率高、产品性能稳定、过程控制方便等优点，已成为近年来生物质热化学转化技术领域的研究热点之一，其技术研发和

装备制造水平已具备示范推广应用条件^[9]

。生物质热解炭气油联产工艺以创新发展传统生物质炭化技术为核心，通过炭化技术工艺改进优化，以及热解气分离、净化和提质等技术集成，

生产高品质生物炭、生物质燃气、木焦油和木醋液等多

种产品^[10]。该工艺是各类生物质热解多联产工艺模式的原型。

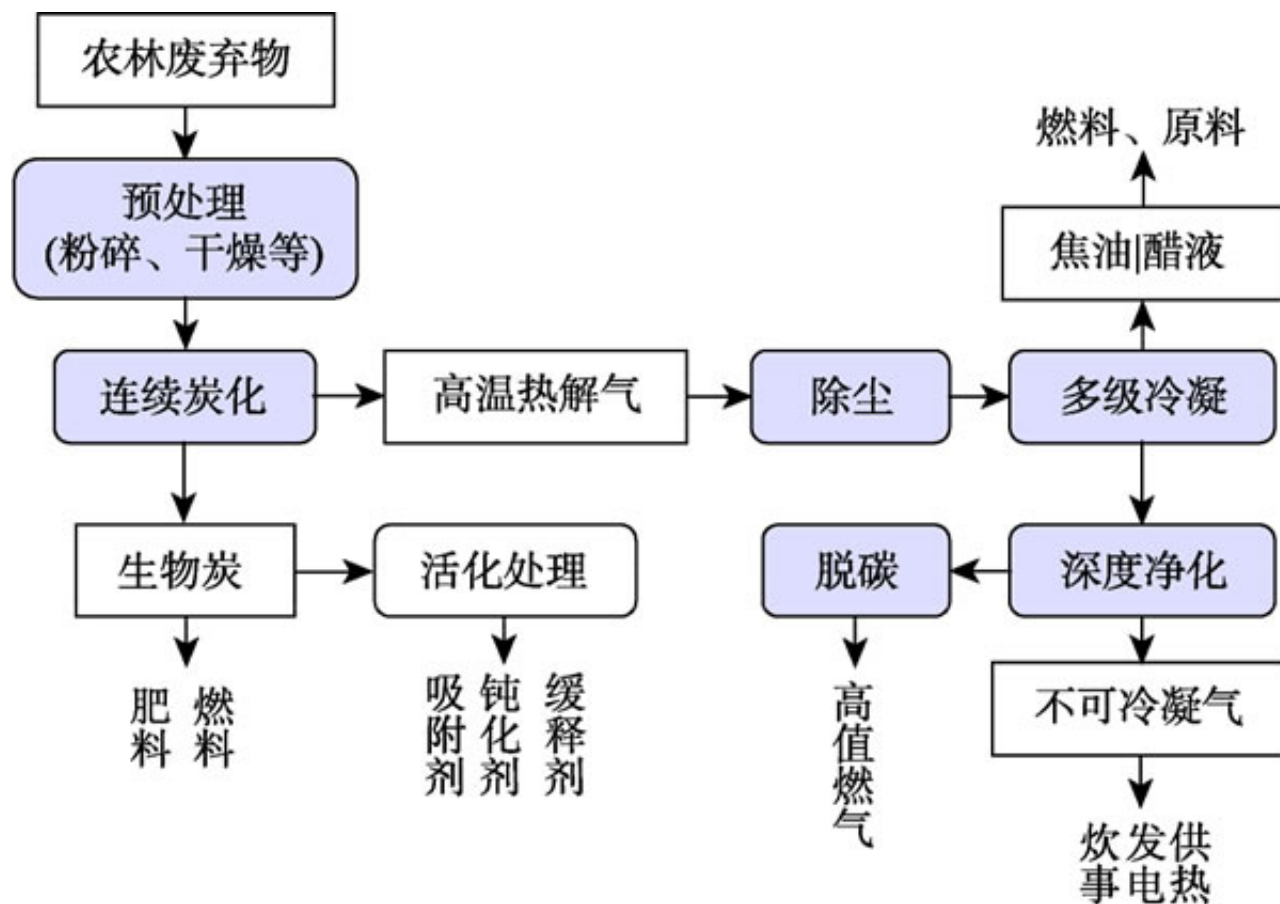


图 1 生物质连续热解炭气油联产工艺

Fig.1 Technical process of biomass continuous pyrolysis poly-generation with biochar gas and liquid

生物质连续热解炭气油联产工艺路线如图1所示，主要包括原料预处理、连续炭化、除尘、多级冷凝、深度净化等工序。多级冷凝和深度净化用将焦油与醋液从高温热解气中逐级分离，最终实现炭气油（液）联产。对于木质炭或果壳炭，可进一步活化处理，生产活性炭，用作吸附剂或钝化剂等，深度净化后的热解气如进一步脱碳处理，可以生成更高品质的燃气。

2.2多联产技术衍生模式

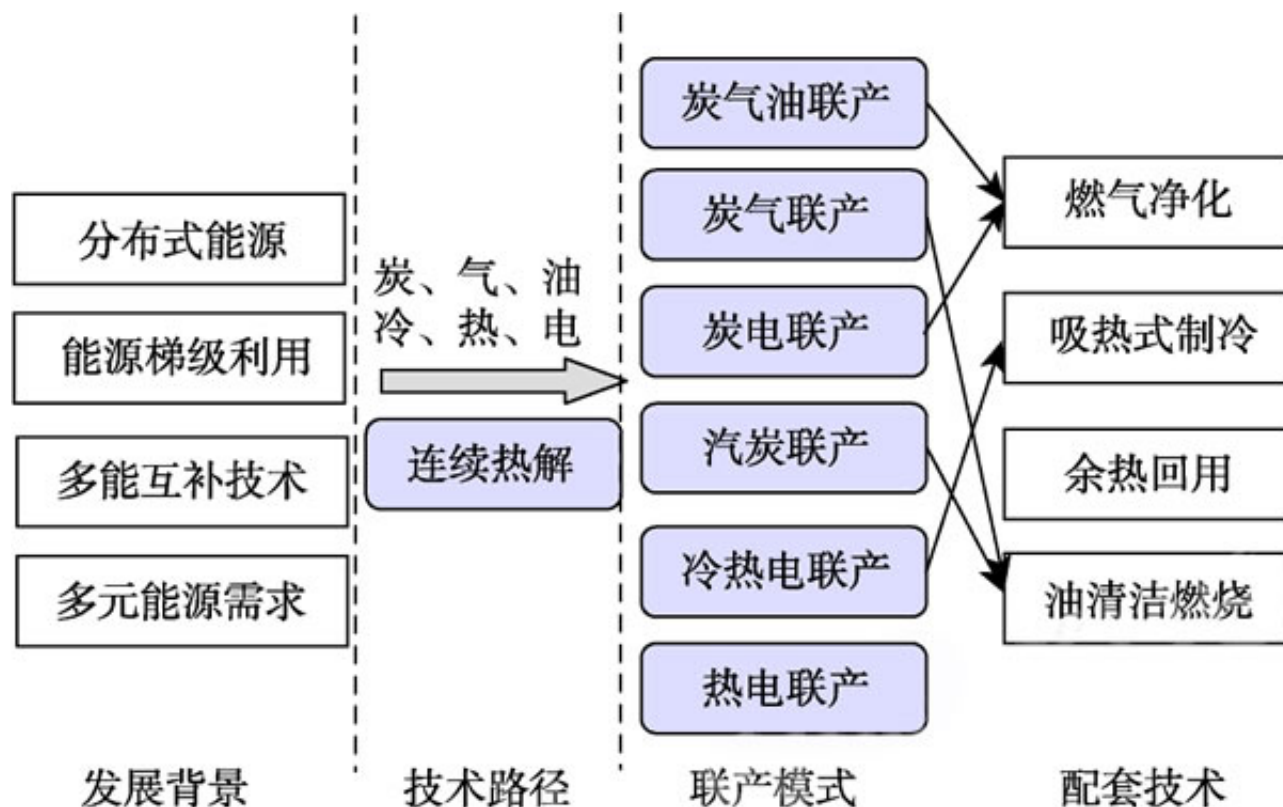


图 2 生物质热解多联产技术发展路径

Fig.2 Technology development path of biomass pyrolysis poly-generation

以生物质热解炭气油联产模式为基础，融合能源梯级利用，多能互补与分布式能源等现代能源利用技术与理念，可实现炭、气、油、汽、冷、热、电等多种高品位产品多种形式的联产，联产模式与实现路径如图2所示。生物质热解多联产技术具有资源利用率高、产品形式多样、二次污染少等优点，可进一步提高生物质资源的开发利用综合效益，符合中国生物质资源开发利用战略需要，具有良好的推广应用前景。下文分述3种典型热解多联产模式。

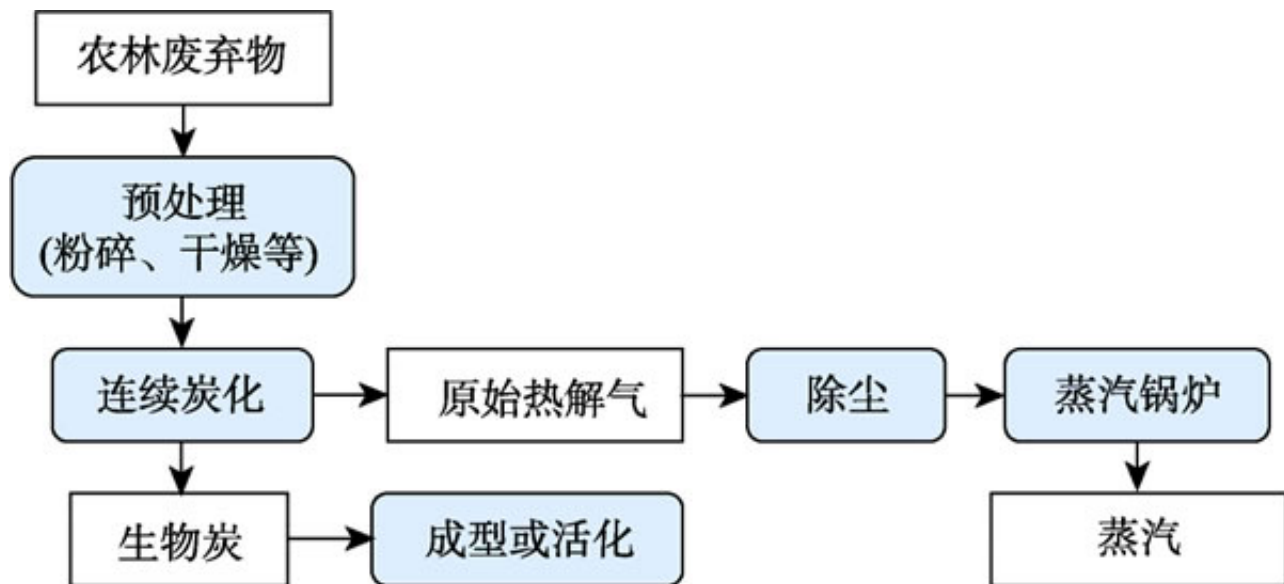


图 3 生物质热解炭汽联产技术模式

Fig.3 Poly-generation mode of biochar and steam
with biomass pyrolysis technology

生物质热解炭气联产技术模式如图3所示。高温热解气一般不进行冷凝分离直接进入蒸汽锅炉燃烧生产高温蒸汽，或将高温热解气进一步增温，进行催化裂解除焦并经除尘设备脱尘后，通入蒸汽锅炉燃烧生产高温蒸汽。高温蒸汽可用于居民供暖或工业生产。该联产模式与炭气油联产模式相比，具有工艺简单，生产成本低等优点，适合在有蒸汽需求的工业园区或供暖需求的居民区推广使用，若本技术模式只用于冬季供热，设备的利用率将受到一定限制。

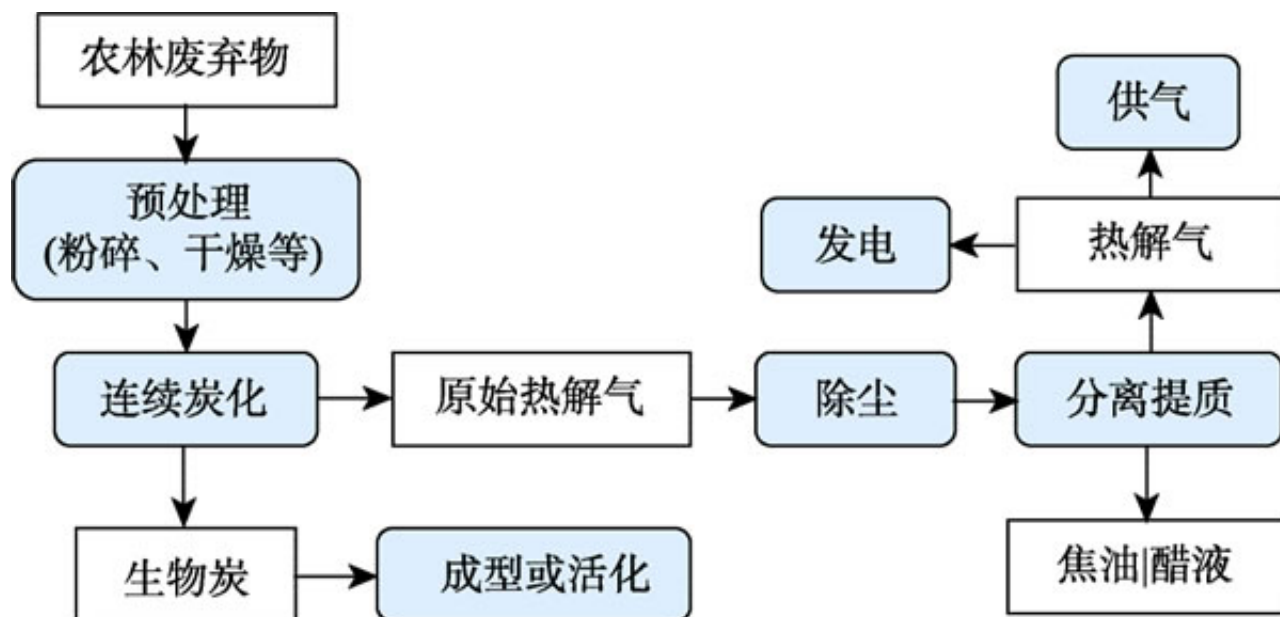


图 4 生物质热解炭气电联产技术模式

Fig.4 Poly-generation mode of biochar, gas and electricity with biomass pyrolysis technology

生物质热解炭气电联产技术模式如图4所示。高温热解气经净化分离后进入储气柜存储，热解气通过管道入户优先供应居民作为炊事、取暖等日常用能，多余的热解气用于内燃机发电。该模式具有机动、灵活的特点，几乎不受地域和自然条件限制，具有广泛的适用性。目前小型发电系统上网或建立微电网系统还比较困难，使得该模式应用中存在一定的局限性，

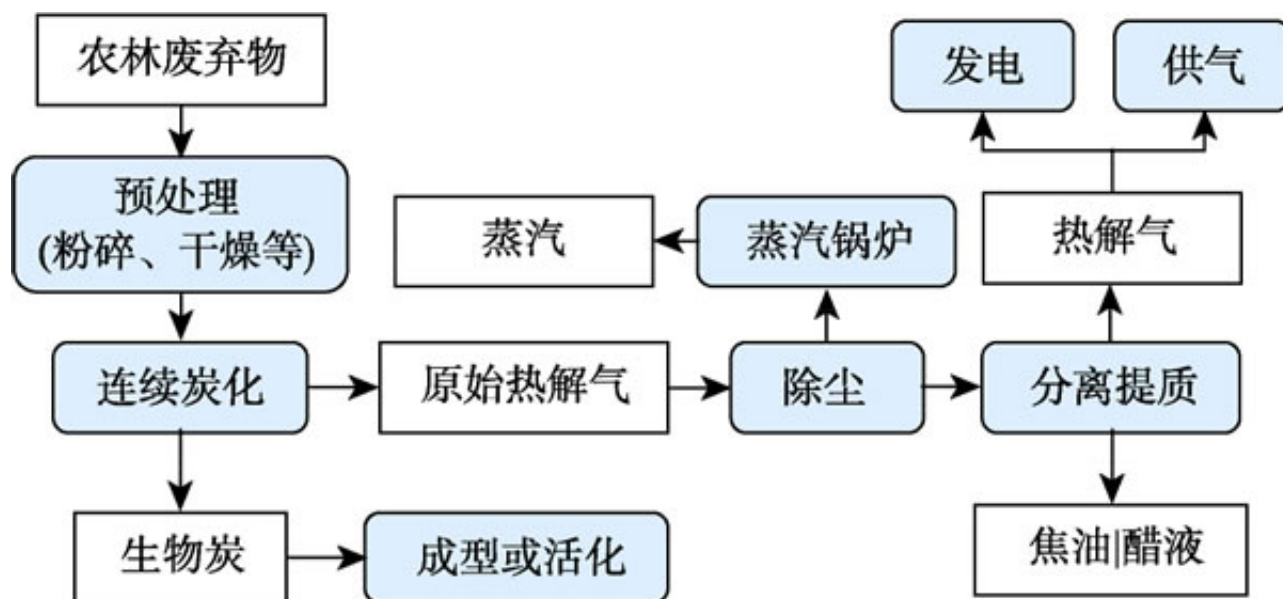


图5 生物质热解炭气汽电联产模式

Fig.5 Poly-generation mode of biochar, gas, steam and electricity with biomass pyrolysis technology

生物质热解炭气汽电联产技术模式如图5所示。高温热解气经净化分离后进入储气柜存储，热解气通过管道入户优先供应居民作为炊事用能，多余的热解气用于内燃机发电或生产蒸汽。与炭气电联产模式相比，该模式具有更好的适用性，对于生产规模较大的项目，夏季供户外的燃气主要用于发电，冬季供户外的燃气主要用于生产蒸汽集中供暖，可实现全年生产平衡、供暖与发电互补。但与炭气电联产模式相比，此模式的项目投资会相应增加。

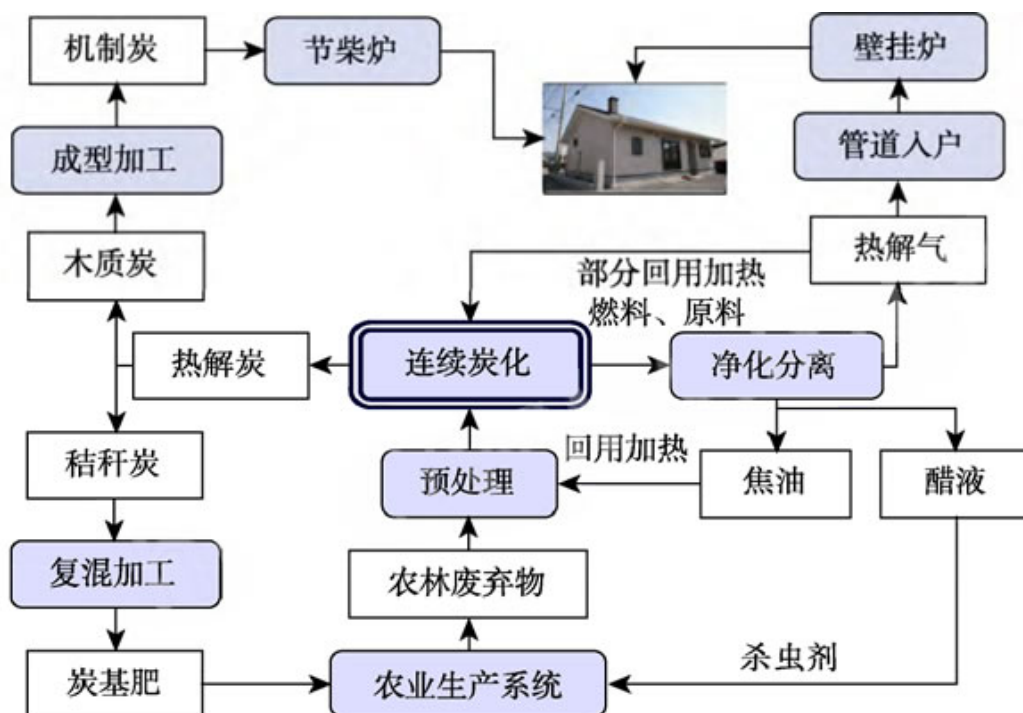
2.3多联产供暖应用模式分析

考虑农村经济社会与农业生产等发展条件，结合对生物质热解多联产技术现状与应用模式的分析，以热解炭气油联产和炭气联产技术为核心，提出了2种适宜北方不同条件的农村地区清洁供暖应用模式。

图6a是基于炭气油联产的清循环供暖模式（以下简称“模式一”），适用于以自然村为主体的农村清洁供暖。热解气经净化分离后经管道入户，通过燃气壁挂炉对农户分散供暖。生物质热解后分离出的液相产物包括木焦油与木醋液。木焦油全部回用燃烧对炭化系统和干燥系统供热，醋液农用作杀虫剂。生物炭包括秸秆炭与木质炭，其中秸秆炭经复混调质加工后生产炭基肥就地利用，木质炭粉碎成型后制作机制炭，通过专用的炉具供农户冬季取暖。由于夏季和冬季用气需求变化较大，设备可在不同的负载模式下运行。

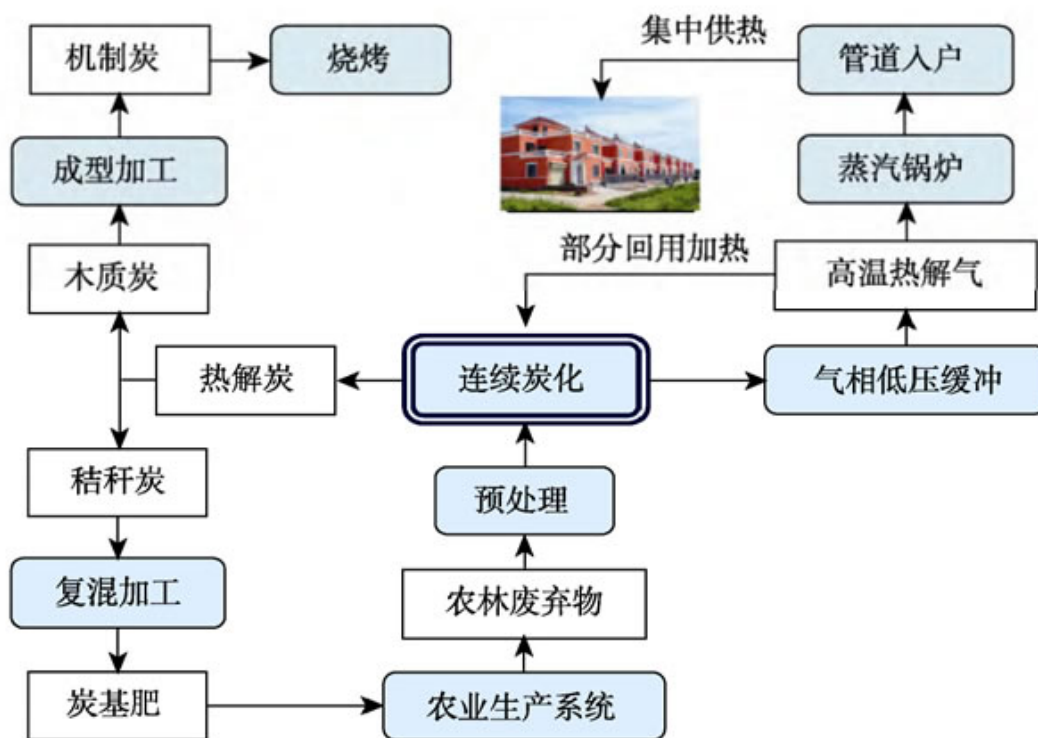
图6b是基于炭气联产的循环供暖模式（以下简称“模式二”），适用于以农村社区为主体的农村清洁供暖。高温热解气直接进入燃气锅炉生产蒸汽，蒸汽经供暖管道对社区农户集中供暖。生产的生物炭包括秸秆炭与木质炭，其中秸秆炭经复混调质加工后生产炭基肥就地利用，木质炭粉碎成型后制作机制炭，可作为烧烤炭出售。该模式技术路线简单实用，但用气量受季节性影响比模式一还要大。

以上2种模式的主要特点包括：1）生产清洁，通过热解气净化处理，将热解过程产生的焦油与醋液有效回收并妥善应用，使生产过程中无焦油等污染物排放；2）运行高效，通过焦油或部分热解气的燃烧回用，减少了生产过程中的输入性能源消耗，可降低生产成本；3）循环生产，各类产品均实现了物质或能量的本地消纳或循环，建立了以自然村或农村社区为单位的物质能量微循环系统，对发展循环农业有促进作用。



a. 模式1: 炭气液联产循环供暖模式

a. Model1: Poly-generation circulation heating mode with biochar, gas and liquid



b. 模式2: 炭汽联产循环供暖模式

b. Mode2: Poly-generation circulation heating mode with biochar and steam

图 6 自然村和农村社区生物质热解联产清洁供暖模式

Fig.6 Clean heating mode based on pyrolysis poly-generation in natural village and rural community

3技术适用性评价

3.1技术可行性分析

炭气油联产或炭气联产2种技术应用模式涉及的核心技术均为生物质连续热解炭化技术，国内相关科研机构与企业，经过多年攻关，在物料有序输送、高效换热、动态密封等关键技术方面取得重要进展。尤其是回转连续热解装备已初步具备示范推广的基础条件。借鉴煤化工领域成熟的燃气处理工艺方法，结合生物质热解气组分特征，开发的生物质热解气净化分离技术可有效脱除热解气中的灰尘和液体产物，保障清洁生产，避免环境污染。

炭基肥能够补充植

物所需的碳元素，改善土壤团粒结构，提

高土壤保水保肥能力和肥料利用率^[15]

。炭基肥分为炭基有机肥、炭基无机肥和炭基有机无机复合肥3类。炭基肥产品种类开始向多样化方向发展，炭基肥配方以及复混、成型等生产技术日趋成熟，已初步具备试点示范应用和商品化推广的基本条件。机制炭成型设备、燃气蒸汽锅炉等配套技术完全成熟，配置市场上型号合适的设备即可满足生产需要。

3.2经济可行性分析

以

上2种模式

分别以200户规模的

自然村和农村社区为例进行经济性测算

。供暖季每户热解气消耗量为 $15 \sim 18\text{m}^3/\text{d}$ （其中炊事用气为 $1\text{m}^3/\text{d}$ ，热解气热值 $>15\text{MJ}/\text{m}^3$ ）^[38]

，模式一需要原料处理能力为 $1\text{t}/\text{h}$ 的连续热

解设备1套，日产气量为 3360m^3 左右^[39]

。同等条件下蒸汽集中供热热效率更高，且不提供炊事用燃气，模式二需要原料处理能力为 $0.8\text{t}/\text{h}$ 的连续热解设备1套

。供暖期按4个月计算，每个供暖季2种模式分别需要处理各类生物质原料量为2880和2304t。因秸秆炭与木质炭用途不同，秸秆原料和木质原料比例按1:1计算。

项目投资与产出情况如表1所示，2种模式的设备与土建投资均按目前技术比较成熟的回转连续式炭化设备核算，可满足相关部门安评、环评和能评等方面的要求。

干秸秆和干树枝（含水率不超过15%）到厂价分别为250、350元/t。通过热解气回用燃烧对系统加热，只有在系统启动时用柴油点火，燃料费用较低。项目运行需3个人工，人均工资按3000元/月计算。项目运行中的电力消耗主要用于原料粉碎，每粉碎1t原料需要耗电 $32\text{kW} \cdot \text{h}$ ，系统运行每小时耗电 $8\text{kW} \cdot \text{h}$ 左右。秸秆炭作为炭基肥的原料，价格按1200元/t测算，木质炭作为机制炭

原料，价格按3000元/t测算。燃气价格为 $1\text{元}/\text{m}^3$

，蒸汽供热每个供暖季平均每户按1600元计算。设备折旧按8a计算，经测算分析，该2种模式的毛利润分别为101.4和79.7万元，4~5a可收回项目投资。

根据中国农村的现实情况和现有类似项目的运营经验，此类项目也可以通过政府或村集体筹资建设，运营过程中，农民用原料换产品（比如秸秆换气、秸秆换机制炭等），项目运行将表现出更好的经济性。

表 1 热解多联产供热项目投入产出估算表

Table 1 Input and output estimation of heating project base on poly-generation of biomass pyrolysis $\times 10^4$ yuan

项目 Item	明细 Details	收支情况 Income and expenditure		备注 Remarks
		炭气液模式 Poly-generation of char, gas and liquid	炭汽模式 Poly-generation of char and steam	
初投资 Initial investment	设备费	255	230	
	土建费	55	38	不含管道费用
运行费 Operating fee	原料	86.4	69.1	300 元·t ⁻¹
	燃料	0.1	0.1	
	人工	3.6	3.6	3000 元·月 ⁻¹
	电力	18.1	14.5	0.9 元·(kW·h) ⁻¹
	其他	10.2	10.2	水、暖、维修等
收入 Income	秸秆炭	51.8	41.5	1500 元·t ⁻¹
	机制炭	129.6	103.7	
	燃气	38.4	/	1 元·m ⁻³
	蒸汽	/	32.0	1600 元·户 ⁻¹
收益 Income	营业收入	219.8	177.2	
	毛利润	101.4	79.7	不计初投资
	回收期	4~5 a	4~5 a	设备按 8 a 折旧

注：燃气、蒸汽管道等属农村公共基础设施，该费用应由政府出资。

Note: Gas, steam pipelines and other rural public infrastructure, the cost should be government funded.

3.3 环境影响评价

生物质能温室气体减排CO₂

当量按40g/MJ计算[40]，通过燃

煤替代和炭基肥固碳减排，2个项目每年折合减排CO₂

分别为2304和1843t。另外，通过燃气燃烧供暖，可有效减少供暖季农村散煤利用产生的颗粒物与SO₂排放。

2种模式采用的生产工艺科学合理,通过部分燃气回用给系统加热,其中模式1分离出的热解油通过油气混燃实现清洁燃烧,生产过程清洁,无污染物排放。另外,生物炭无论制成机制炭作为能源利用,还是通过复混加工炭基肥作为肥料利用,在能源替代与化肥替代方面对环境均有重要影响。

4结论

1) 北方农村取暖分布分散,与城市采暖存在明显不同,北方农村采暖存在供暖基础设施落后、能源利用率低、污染排放严重等突出问题。同时,在采暖需求方面主要表现为北方农村地区供暖需求体量大、“散炭替代”是北方农村采暖的首要任务、节能推广在北方农村采暖中亟需落实。

2) 连续式生物质炭化技术具有生产效率高、产品性能稳定、过程控制方便等优点,以连续式热解炭气油联产模式为基础,生物质热解可衍生出多种联产模式。以炭气和炭汽联产技术为核心,提出了适宜自然村和农村社区应用的北方地区农村清洁供暖模式。

3) 对2种清洁供暖模式可行性分析结果表明,生物质热解多联产适用于北方农村清洁供暖,尤其应优先示范推广以自然村或新型农村社区为单位的小型集中或分散供暖。该技术方案可为破解北方地区农村清洁取暖问题提供新思路、新途径。

[参考文献]

[1]解读中央财经领导小组第十四次会议[EB/OL].[2017-07-15]人民网
<http://finance.people.com.cn/n1/2016/1222/c1004-28967815.html> .

[2]丛宏斌,赵立欣,王久臣,等.中国农村能源生产消费现状与发展需求分析[J].农业工程学报,2017,33(17):224-231.

[3]别凡.“好煤+好炉”:当前治理农村散煤的有效途径[N].中国能源报,2016-08-01.

[4]中国农村能源行业协会节能炉具专业委员会、中国炉具网,中国采暖炉具行业发展报告2016[R].2016.

[5]钱永涛.京津冀需重点治理农村散烧煤[N].中国环境报,2013-06-07.

[6]新华社太原2017年8月5日电,中国加快治理农村燃煤污[EB/OL].[2017-07-15]<http://www.chinesetoday.com/zh/article/1199504>

[7]丛宏斌,赵立欣,孟海波,等.内加热移动床生物质炭化中试设备监控系统开发[J].农业工程学报,2015,31(3):268-274.

[8]Mašek O, Brownsort P, Cross A, et al. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar[J]. Fuel, 2013, 103(1): 151-155.

[9]丛宏斌,赵立欣,姚宗路,等.我国生物质炭化技术装备研究现状与发展建议[J].中国农业大学学报,2015,20(2):21-26.

[10]刘标,陈应泉,何涛,等.农作物秸秆热解多联产技术的应用[J].农业工程学报,2013,29(16):213-219.

[11]Young Nam Chun, Seong Cheon Kim, Kunio Yoshikawa. Pyrolysis gasification of dried sewage sludge in a combined screw and rotary[J]. Applied Energy, 2011, 88: 1105-1112.

[12]Park S W, Jang C H, Baek K R, et al. Torrefaction and low-temperature carbonization of woody biomass: Evaluation of fuel characteristics of the products[J]. Energy, 2012, 45(1): 676-685.

[13]潘根兴,张阿凤,邹建文,等.农业废弃物生物黑炭转化还田作为低碳农业途径的探讨[J].生态与农村环境学报,2010,26(4):394-400.

- [14]何绪生,耿增超,余雕,等.生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J].农业工程学报,2011,27(2):1-7.
- [15]张旭东,梁超,诸葛玉平,等.黑碳在土壤有机碳生物地球化学循环中的作用[J].土壤通报,2003,34(4):349-355.
- [16]Zhao Ling, Cao Xinde, Ma Š ek O, et al. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures[J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, 256/257: 1-9.
- [17]黄其励,高虎,赵勇强.我国可再生能源中长期(2030、2050)发展战略目标与途径[J].中国工程科学,2011,13(6):88-94.
- [18]国家能源局,生物质能发展“十三五”规划[Z].2016.10[19]国家可再生能源中心.中国可再生能源产业发展报告2015[M].北京:中国环境出版社,2016
- [20]杜祥琬:散烧煤替代需要认真规划和实施[EB/OL].[2017-07-25]<http://www.chinapower.com.cn/guandian/20170120/78718.html>.
- [21]危昱萍.推进北方冬季清洁取暖 改革农村采暖方式[N].21世纪经济报道,2016-12-22.
- [22]李萌.京津冀农村清洁能源供热采暖成本降低路径研究[J].城市,2017(3):70-77.
- [23]高新国.京津冀协同推进农村冬季清洁取暖[N].人民政协报,2017-03-07.
- [24]阿明.农村取暖安全须重视[N].中国妇女报,2015-11-01.
- [25]王俊.农村能源清洁化路径几多[N].中国电力报,2017-02-18.
- [26]赵文元,刘泽勤.我国寒冷地区农村供暖方式及节能技术解析[J].建筑节能,2017,45(4):14-19.
- [27]农村能源建设首次纳入四川年度扶贫专项[EB/OL].四川新闻网,[2017-07-25]<http://scnews.newssc.org/system/20170303/000755329.html>.
- [28]郑惊鸿.生物质能源产业对接精准扶贫前景广阔[N].农民日报,2016-06-25.
- [29]吴树彪,刘莉莉,刘武,等.太阳能加温和沼液回用沼气工程的生态效益评价[J].农业工程学报,2017,33(5):205-210.
- [30]李庆国.为了首都蓝天常在[N].农民日报,2017-04-07.
- [31]任佳.调结构促太阳能热利用推广[N].中国建设报,2016-02-15.
- [32]中国农村能源行业协会节能炉具专业委员会、中国炉具网,中国采暖炉具行业发展报告2016[R].2016.
- [33]孙恩慧,李岩,赖小垚,等.关于在我国北方农村地区开展集中供暖的调查研究[J].科技创新与应用,2013(9):22-23.
- [34]赖艳萍,张志刚,魏璠,等.北方农村典型住宅的能耗比较分析[J].农业工程学报,2011,27(增刊1):12-16.
- [35]中华人民共和国统计局.中国统计年鉴2016[M].北京:中国统计出版社,2016.
- [36]武涌,刘兴民,李沁.三北地区农村建筑节能:现状、趋势及发展方向研究[J].建筑科学,2010,26(12):7-14.
- [37]胡艳霞,周连第,李红,等.北京郊区生物质两种气站净产能评估与分析[J].农业工程学报,2009,25(8):200-203.

[38]李定凯，孙立，崔远勃.秸秆气化集中供气系统技术评价[J].农业工程学报，1999，15(1)：170 - 174.

[39]李程萌，李持佳，闫一莹，等.北京农村住宅清洁能源供暖方案经济性分析[J].煤气与热力，2017，37(1):19-23.

[40]李飞跃，汪建飞.中国粮食作物秸秆焚烧排碳量及转化生物炭固碳量的估算[J].农业工程学报，2013，29(14)：1 - 7.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/135724.html>