

北方农村冬季清洁供暖的现状、问题及对策分析

—以黑龙江省为例

周 闯, 秦国辉*, 苏小红, 陆 佳, 王玉鹏, 刘 伟, 王 欣, 罗向东

(黑龙江省能源环境研究院, 黑龙江 哈尔滨 150007)

摘 要:“十三五”期间,黑龙江省积极探索适宜于农村地区的清洁供暖方式,先后尝试了“煤改电”、“煤改气”和“煤改生”等,示范和引领作用卓有成效。立足于“碳达峰碳中和”和推进绿色宜居村镇的国家战略背景,从北方农村供热的实际情况出发,阐述了在现有政策支持和清洁供热模式下北方农村清洁供暖方式的发展现状及存在问题,得出应继续因地制宜地发展生物质燃料作为黑龙江省农村清洁供暖的主要方式,并对如何加快推广清洁供暖的可行措施提出了相关建议。

关键词: 清洁供暖; 生物质燃料; 打捆燃烧; 供暖政策

中图分类号: X51 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-1166(2023)04-0059-06

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023040059

Analysis on the Present Situation, Problems and Countermeasures of Clean Heating in Northern Rural Areas in Winter: A Case Study of Heilongjiang Province / ZHOU Chuang, QIN Guohui*, SU Xiaohong, LU Jia, WANG Yupeng, LIU Wei, WANG Xin, LUO Xiangdong / (Heilongjiang Institute of Energy and Environment, Haerbin 150007, China)

Abstract: During the "13th Five Year Plan" period, clean heating methods have been actively explored to apply to rural areas in Heilongjiang Province, and successively tried renewable energy clean heating, such as "coal to electricity", "coal to gas" and "coal to biomass", which played an effective role in demonstration and guidance. Based on the national strategic background of "carbon peak carbon neutrality" and promoting green livable towns and villages, "this paper has been taken as the starting point that the actual situation of heating research in the rural north to expound the development status and existing problems under the current policy support and clean heating mode". Then because of the current development form, it is concluded that we should continue to develop biomass fuel according to local conditions and take it as the main way of rural clean heating in Heilongjiang Province. Finally, some suggestions are put forward to accelerate the promotion of clean heating.

Key words: clean heating; biomass fuel; baled burning; heating policy

我国北方地域辽阔,拥有丰富的煤炭、石油、天然气、生物质等资源^[1],能源的开发利用有效促进了地方经济的发展^[2]。同时,北方冬季漫长且寒冷,供暖用能需求极大,传统供暖方式带来的环境污染及煤炭短缺等问题逐渐显现,利用清洁能源供暖受到的关注也越来越多。

现阶段供暖的能源利用方式多样,其中太阳能和风能由于热源不稳定,适宜作为辅助型热源,并不适合单独供暖^[3-5];天然气和绿电同时具备低碳和可再生特性,是理想的供暖能源,但用能成本较

高^[6-7];燃煤和秸秆粗犷燃烧供暖,产生的污染物多、烟尘大、用能环境差^[8];秸秆捆能够伴随农作物收割过程直接成型,配合专用捆烧直燃锅炉,在集中供暖的经济效益方面优势明显^[9-10];使用生物质成型燃料及其专用锅炉供暖,燃烧效率高、火力旺,产生的灰渣少,烟气清洁^[11-12],使农户居室环境得到明显改善^[13]。本文将对黑龙江省冬季清洁供暖的支持政策和现阶段主要采用的清洁供暖方式的发展现状、存在问题进行综合分析,然后鉴于当前的发展形式,因地制宜地提出适宜于本省农村地区应用的

收稿日期: 2022-11-10 修回日期: 2022-12-13

项目来源: 国家重点研发计划项目子课题(2018YFD1100702-1); 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(SJKYYWFC2021NY01)。

作者简介: 周 闯(1987-),男,黑龙江哈尔滨人,助理研究员,主要从事可再生能源的开发及利用等工作, E-mail: hlg_zhou@sohu.com

通信作者: 秦国辉, E-mail: liaoning112@163.com

清洁供暖方式,并对加快推广清洁供暖的可行措施提出相关建议。

1 农村清洁供暖改造的政策支撑

清洁供暖是助推大气污染防治、农村生态文明建设的重要部分,是能源生产和消费革命、农村生活方式变革的重要内容,也是改善农村人居环境、提高百姓生活品质的民生工程。近年来,在“双碳”背景下我国相继出台了一系列清洁能源供暖政策。

国家层面,国务院及各部委根据农村清洁采暖工作的实施进程,与时俱进地发布了十几个政策文件,分别从试点示范、规划引导、方案制定、供热价格、绩效考核等角度,指导和支持相关地区冬季清洁供热工作的推进。其中的几个关键性的政策,在推进清洁供暖工作中起到了举足轻重的作用,详见表1。2017年5月,财政部、住房城乡建设部、环境保护部、国家能源局联合发布的《关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知》中指出,重点支持京津冀及周边地区的“2+26”城市开展试点,对燃煤供暖设施清洁化改造提供财政补贴,拉开了国家对农村地区清洁供暖提供财政支持的序幕。2017年12月,国家发展改革委等十部委联合

制定了《北方地区冬季清洁取暖规划(2017~2021年)》,明确了清洁供暖的概念和范围,梳理了天然气、电、地热、生物质、太阳能、工业余热、清洁化燃煤(超低排放)等各种清洁取暖类型,对每种类型的特点、适宜条件、发展路线、关键问题等进行了重点阐述,对清洁供暖的推进策略和保证措施等做出科学规划布局。2018年7月,国务院发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中指出,为加快改善环境空气质量,加快调整能源结构,有效推进北方地区清洁取暖,将农村供暖与大气污染防治工作协同推进。2021年1月,《国家能源局关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》中指出,为调整能源结构、实现节能减排、合理控制能源消费总量,要因地制宜推广各类可再生能源供暖技术,积极推广地热能开发利用,合理发展生物质能供暖,继续推进太阳能、风电供暖。2022年5月,国家发展改革委、国家能源局印发《关于促进新时代新能源高质量发展实施方案》,要求因地制宜推动生物质能、地热能、太阳能供暖,在保障能源安全稳定供应基础上有序开展新能源替代散煤行动,促进农村清洁取暖、农业清洁生产。制定符合生物质燃烧特性的专用设备技术标准,推广利用生物质成型燃料。

表1 国家发布的有关清洁供暖的主要政策

发布时间	政策名称	发布机构	重要作用
2017年5月	关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知	财政部等四部委	国家开始对北方地区开展清洁供暖提供财政补贴。
2017年12月	北方地区冬季清洁取暖规划(2017~2021年)	国家发展改革委等十部委	明确了清洁供暖概念,对未来5年北方地区的清洁供暖工作做出科学规划。
2018年7月	打赢蓝天保卫战三年行动计划	国务院	将农村供暖与大气污染防治工作协同推进。
2021年1月	国家能源局关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知	国家能源局	各类可再生能源供暖协同推进的谋划布局,助力国家能源结构调整。
2022年5月	关于促进新时代新能源高质量发展实施方案	国家发展改革委 国家能源局	对能源的高质量发展提出更高要求。

在国家清洁供暖政策的引领下,黑龙江省积极谋划部署,同步制定了一系列清洁供暖改造实施方案,在本省的清洁供暖工作推进过程中起到了举足轻重的作用,详见表2。2017年9月,省委办公厅印发了省内的首个秸秆成型燃料利用政策《加强农村秸秆压块燃料化利用工作实施方案》,指出要落实秸秆压块加工执行农用电价政策,在全省60个产粮大县开展秸秆压块站建设试点。2018年7月,省委办公厅发布了《哈尔滨市、绥化市和肇州县、肇源县秸秆综合利用三年行动计划》,对“两市两县”新建秸秆压块站、户用生物质炉具、离田机具等进行补

贴,并且明确了补贴标准,对购置和安装户用生物质炉具的农户,按照每台2100元的标准,政府最高给予70%的补贴。在“三年行动计划”的基础上,从2019年10月,省委办公厅又印发了《2019年黑龙江省秸秆综合利用工作实施方案》,开始规划布局全省秸秆综合利用方案,将秸秆的燃料化供暖列为重要的利用方案。2020年8月,省委办公厅又出台《散煤污染治理“三重一改”攻坚行动实施方案(2020~2022年)》,要求突出重点地区、重点时段、重点问题,推进散煤替代改造,对秸秆压块加工用电价、秸秆压块站建设补贴等提供持续保障。另外,

在保证资金补贴力度的同时,扶持范围也由“两市两县”扩大为哈尔滨、齐齐哈尔、大庆、绥化四个城市。这些政策的出台,有效推动了本省农村能源的

低碳转型与高质量发展,对促进乡村的生态文明建设发挥了举足轻重的作用。

表2 黑龙江省发布的有关清洁供暖的主要政策

发布时间	政策名称	发布机构	重要作用
2017年9月	加强农村秸秆压块燃料化利用工作实施方案	黑龙江省委办公厅	省内首个支持秸秆成型燃料化利用政策。
2018年7月	哈尔滨市、绥化市和肇州县、肇源县秸秆综合利用三年行动计划	黑龙江省委办公厅	建立试点,明确省内农村秸秆替代燃煤的相关补贴标准。
2019年10月	2019年黑龙江省秸秆综合利用工作实施方案	黑龙江省委办公厅	将秸秆的燃料化供暖列为重要的秸秆综合利用方案。
2020年8月	散煤污染治理“三重一改”攻坚行动实施方案(2020~2022年)	黑龙江省委办公厅	扩大试点范围,谋划全省的清洁采暖替代散煤的污染治理工作。

2 黑龙江省农村清洁供暖的主要方式及问题分析

从农村清洁供暖改造的政策支撑内容来看,现阶段主要提倡因地制宜地进行“煤改电”、“煤改气”、“煤改生”3种清洁供暖方式的改造,生物质、天然气和电能是我省目前推行实施清洁供暖的主要能源。

2.1 电供暖

电热供暖主要是通过电锅炉中的发热体将电能转换为热能,以辐射和对流的形式向外传递换热,电热转换率最高能达到100%。但电热供暖对于普通农民家庭来说比较陌生,即使安装使用过电锅炉的农户,由于其运行耗电量大、费用高,用户的认可度极低。伊春市友好区溪水经营所是当地有名的旅游村。2019年,为促进新农村建设,政府免费为村民进行农房改造,还为几家具有代表性的农家院安装了电锅炉设备。到了采暖季,改造后的农房保温效果得到明显提升,电锅炉采暖使用方便、清洁的特点得到充分体现。但几个月后,农户又纷纷改回了原来的燃煤采暖形式,停用了电锅炉。究其原因,主要是电供暖耗电量大,不符合我省农村地区的消费水平,即便是有一定经济实力的农家院也“不敢”使用。面对此问题,黑龙江省针对性出台一系列清洁供热电价优惠政策,例如对“煤改电”用户实行单独的电采暖电价政策,实行单表计量、单独计价;供暖期内用电价格仍按原政策执行,不执行阶梯电价^[15];电采暖用户电价实行“峰谷分时电价”政策,其中居民用户电采暖电价峰时段为每度0.645元,谷时段为每度0.29元,并将低谷时段用电时长延长至10个小时^[16]。但就目前黑龙江省农村地区的经济水平来看,电锅炉供暖仍难以在农村地区大范围的推广应用。

2.2 燃气供暖

燃气供暖是以天然气为燃料,在挂壁炉中燃烧加热内部循环水,并通过管道将热水输送至散热器向室内供暖。燃气供暖所采用的挂壁炉热效率能够达到90%,较电采暖的运行费用能够降低40%左右^[17-18],并且能够同时获得炊事用燃气,农户的认知度较高,但要在农村地区顺利实施“煤改气”,还存在三个问题:一是气源问题^[19]。黑龙江省农村地区村落分布散、村与村之间距离长,管道式的集中供气工程量大、施工成本高;分散式的生物天然气工程建设成本高,冬季运行成本高,覆盖范围有限。二是使用环境问题。黑龙江省冬季气温寒冷,为获得良好的保温效果,房屋门窗密封严,室内透气性差,炊事产生的烟尘和水蒸气会时常引起锅炉报警器的误报警,部分农户选择拔掉燃气报警器,对使用安全性带来巨大隐患。三是适龄人群问题。农村以留守老人和儿童为主,难免出现误按误操作,出现问题缺乏应急处理能力,即使锅炉的操控系统拥有完善的保护机制,但安全问题也难免让人产生担忧。

2.3 生物质成型燃料供暖

生物质成型燃料是将农林生物质粉碎后压制而成的高密度燃料,具有密度高、体积小、易运输的特点,配合专用的生物质锅炉设备使用,燃烧效率高、火力旺,产生的灰渣少,烟气清洁,燃料价格也相对低廉,生物质成型燃料供暖的应用逐渐被农户所熟知。在黑龙江省政府的政策引领下,生物质的燃料化利用方向已得到确认,相关加工制造技术水平日益提升,以“两市两县”为代表的农村地区“煤改生”已初见成效^[20],试点示范项目规模不断扩大,已呈现出良好的发展趋势。截至2020年底,黑龙江省已建成压块站1580处,秸秆固化成型燃料年生产能力

达到 900 万 t,建设规模和加工能力居全国首位。安装户用生物质炉具 16.2 万台,使用秸秆等生物质能源清洁取暖的农户达到 26.3 万户(含生物质锅炉集中供热)。然而,这些成绩是在拥有政府政策补贴的扶持下取得的,黑龙江省生物质成型燃料工业化标准体系尚未建立,相关的锅炉设备、产品和工程技术标准欠缺,生物质成型燃料的燃用还存在一些问题。如炉具的使用寿命问题,受补贴加工站的持续生产能力问题^[21],布局规划不合理导致的供需关系不平衡问题等。

2.4 生物质打捆直燃供暖

生物质打捆直燃供暖是将农作物秸秆捆包送入专用锅炉中进行气化/半气化的燃烧,以热水或蒸汽的形式向外换热供暖。生物质打捆直燃供暖主要应用于集中供热,容量大、热效率高。秸秆捆包燃料易取易得,伴随农作物收割直接生产成型,避免了二次加工,降低了电力、人工等生产成本^[22]。地方锅炉企业积极探索秸秆直燃技术,其中采用的“生物质解耦气化燃烧技术”能够有效降低氮氧化物的排放,锅炉热效率可达 88%。目前已广泛应用于村委会、机关、学校、社区等村镇集中供暖场所。截至 2020 年底,黑龙江省安装秸秆打捆直燃锅炉共 109

处,合计 810 蒸吨,为 6.2 万户供暖,供暖面积达 458.5 万 m²。该技术的应用推广极大地改善了区域农村人居环境,提升了居民幸福感。不过,从相关文献的研究中发现^[23],为了获得低排放和高热效率的燃烧效果,需要应用分级分室内、气化热解等燃烧调控技术,致使锅炉结构相对复杂,对燃烧过程中供热效率和污染物排放控制的稳定性还有待增强。另外,农村集中供暖的实施需要在村内铺设集中供热管道,工程成本高、施工量大。因此,集中供暖的实施不仅要做好村民的协调及成本控制工作,还要充分考虑未来合村并镇的可能性,避免供暖工程荒废。

2.5 现行清洁供暖方式的比较

表 3 针对黑龙江省农村地区现阶段主要采用的电采暖、燃气采暖、打捆直燃采暖及成型燃料供暖方式,分别从初投资方面、燃料方面、性能方面、应用方面、供能方面分别进行横向对比^[10-12,15-17,22-26]。可以看出,在户用供暖方式的比较中,生物质炉具采暖在设备初投资、燃料传输便利性、供暖成本及应用要求方面均优于电和燃气采暖。尽管使用的舒适性较电和燃气采暖仍存在一定差距,但部分智能型的户用生物质炉具已经能够实现自动点火、自动进料、自动调温、自动配风等自动化运行功能,使用的便捷性

表 3 清洁供暖方式的比较

类 别	项 目	电供暖	燃气供暖	打捆直燃供暖	生物质成型燃料供暖	
设备方面	名称	电锅炉	燃气壁挂炉	生物质直燃锅炉	户用生物质炉具	生物质压块锅炉
	初投资/ (元·m ⁻²)	70	70	30	50	25
燃料方面	燃料类型	电	天然气	秸秆捆	生物质颗粒	生物质压块
	燃料价格	0.49 元·kW·h ⁻¹	3.2 元·m ⁻³	150 元·t ⁻¹	400 元·t ⁻¹ (以村集体形式生产)	350 元·t ⁻¹ (以村集体形式生产)
性能方面	传输 便利性	对电网容量、输电 线路配置要求高	需要铺设燃气管网 工程量较大	体积大、重量重 借助机器设备装卸	密度大,体积小 人工即可装卸	密度大,体积小 人工即可装卸
	热效率	>95%	>90%	>80%	>80%	>85%
	污染物 限排量	—	CO(α=1) <0.06% NO _x <260 mg·kW ⁻¹ h ⁻¹	颗粒物 <30 mg·m ⁻³ SO ₂ <200 mg·m ⁻³ NO _x <300 mg·m ⁻³	颗粒物 <50 mg·m ⁻³ SO ₂ <30 mg·m ⁻³ NO _x <200 mg·m ⁻³	颗粒物 <50 mg·m ⁻³ SO ₂ <100 mg·m ⁻³ NO _x <300 mg·m ⁻³
	稳定性	好	好	一般	好	好
应用方面	应用范围	分户供暖	分户供暖	集中供暖	分户供暖	集中供暖
	应用要求	室内电路容量 达标	通风良好、环境洁净	铺设集中供热管道	无特殊要求	铺设集中供热管道
	舒适性	全自动运行 非常舒适	全自动运行 非常舒适	城市般的采暖待遇 非常舒适	部分炉具可实现自 动运行较为舒适	城市般的采暖待遇 非常舒适
	年运行费用/ (元·m ⁻²)	60	42	15	25	23
供能方面	采暖供能	是	是	是	是	是
	炊事供能	否	是	否	是	否
技术方面	成熟度	高	高	低	高	高

和舒适性在不断提升。另外,部分户用生物质炉具还兼备炊事供能,能够同时解决农村地区的采暖和炊事两方面用能需求。在生物质打捆直燃和生物质压块这两种集中供热方式的比较中发现,虽然二者在初始投资、热效率、应用范围、应用要求、舒适性及供能方面差距不大,但生物质直燃供锅炉的燃料价格及运行成本优势明显,某些采用直燃供暖地区的收费价格已低于同地区其他形式的集中供暖。

3 适宜于黑龙江省农村地区推广的清洁供暖方式

农村经济发展远落后于城市,实现农村清洁供暖的关键是就地取材、降低成本。以“煤改电”和“煤改气”为代表的供能方式运行成本高、覆盖面小,不适合黑龙江省农村地区的地域特点。立足于黑龙江省农村地区的经济水平、生活习惯和生物质资源禀赋的优越条件,生物质应该作为目前乃至将来很长一段时期内农村地区的主要能源,是实现农村用能去煤化和可持续化发展的最为实际的选择。因此,在有一定经济条件的地区可以适当推行生物质集中供暖。其中,生物质压块锅炉技术成熟度较高,具备良好的燃烧稳定性,应优先考虑应用;而运行成本更低的打捆直燃供暖技术的成熟度还有待提高,不适宜大范围的推广和使用。相较于集中供暖,分户的生物质燃料供暖安装方便,供热温度调节灵活,而且可同时实现炊事和采暖供能,更适宜黑龙江省农村地区的使用需求。应充分利用自有富余资源,持续发展生物质成型燃料加工及利用技术,研发生物质燃料加工和生物质锅炉专用设备,就地就近地将农林废弃物转化为生物质燃料产品,建立适合我省农村实际的、特色鲜明的产/供/用/销一体化村镇级生物质低成本清洁利用产业体系,延伸秸秆收集、燃料加工、供热设备制造的产业链,在保证本省农村地区能源供应的基础上,向外输出生物质燃料及相关设备产品,提升农业附加值,为促进农村地区的循环经济发展开辟有效路径。

综上所述,通过建立农村秸秆的燃料化利用消纳途径,既能解决农村的清洁供暖问题,杜绝秸秆的田间焚烧,减少煤炭的使用,又能延伸农业产业链,促进农村经济的发展,还一定程度上减少了柴草垛进村,美化村屯环境,对于节约能源,保护生态、人居环境,助力“碳达峰碳中和”,推进绿色宜居村镇发展具有重要意义。

4 黑龙江省农村地区清洁供暖的发展建议

4.1 加强宣传和示范作用

通过组织实施线上或线下的技术装备展览等方式,虽然能够起到一定的宣传作用,但对于广大农民来说过于“雅”,在农村地区的信息覆盖面有限。应当积极摸索农民更易于接触、易于理解、易于接受的宣传方式,使清洁供暖融入到农民的生活中去。例如,对暂未实施清洁供暖改造的村屯,可预先在村部、小卖部等人员密集的公共场所率先安装生物质清洁供暖锅炉,使用效果让农民看得见、摸得着,在每个村屯都形成以点带面的作用。对已实施清洁供暖改造的村屯,部分村民排斥清洁取暖改造的主要原因是担心改造后供暖成本增加。政府部门一方面应积极发挥宏观调控作用,健全生物质燃料产业链条。另一方面应加强宣传引导,重点让村民了解生产生物质燃料能赚钱、安装生物质锅炉能补钱、使用生物质燃料能省钱,再结合村部和小卖部等触手可及的示范效果,农户内心的顾虑自然消除。

4.2 加强谋划

各地方政府在制定清洁供暖改造政策时,应长远考虑,预先谋划,兼顾“碳达峰”“碳中和”的战略目标的实现。2016年,哈尔滨市上线了燃煤锅炉管理系统,对全市近2800台锅炉进行实时在线监控,从而加强对企业烟尘排放的监管和治理。当前,正值我省农村清洁供暖改造之际,在推行生物质供暖设备的同时,应增加污染物排放物联网在线监测功能,使清洁供暖改造和碳排放监测工作同时推进,这将有助于未来农村地区供暖碳排放监测工作的顺利实施。另外,目前还没有户用生物质供暖设备的生产、测试、排放等方面的国家标准,我省应当积极组织科研院所和高校编制相关标准,规范生物质供暖设备制造和燃料生产的市场环境。

4.3 加强补贴

黑龙江省2017年才开始鼓励生物质燃料化清洁供暖,在省政府、地方企业、高校及科研院所的共同协作下,生物质清洁供暖利用的技术、装备和模式方面虽然取得了一定成效,但由于相关技术研发起步晚、产业基础弱、示范宣传不足,燃料的加工和利用体系并不健全、群众认可度和使用积极性并不高。燃料加工、炉具制造及燃烧调控技术水平与河北、山东等地仍然存在较大差距。因此,我省应继续加强生物质燃料利用的技术研发和产品推广的补贴力

度,在上一个5年工作的基础上,稳扎稳打,继续推动我省生物质资源燃料化清洁供暖路径的实施。

5 结语

农村冬季清洁供暖方式的科学、合理选择,关系到能否减少散煤污染、降低碳排放等重大环境和气候问题,也关系到能否保障百姓安心舒适过冬等民生问题。黑龙江省应立足生物质资源禀赋的优越条件,紧抓双碳经济机遇,继续有序推进生物质燃料清洁供暖,构建产/供/用/销一体的生物质燃料清洁供暖产业链,通过完善的生物质燃料化利用产业体系合理消纳农林废弃物,解决化石燃料过度使用、秸秆焚烧、林木滥砍滥伐及能源供应不足等诸多问题,助力乡村振兴和碳达峰碳中和目标的顺利实现。

参考文献:

- [1] 付庆武,鄢杰明,王志博. 黑龙江省能源发展现状及对策研究[J]. 统计与咨询, 2020(01): 8-11.
- [2] 王粟,刘杰,史风梅,等. 黑龙江省农村可再生能源发展现状和问题及对策研究[J]. 黑龙江农业科学, 2019(10): 106-110.
- [3] 耿直,李俊旭,李仁凤,等. 光热太阳能与风能互补清洁供暖系统特性分析[J]. 可再生能源, 2022, 40(05): 604-610.
- [4] 严龙山,于军琪. 农村建筑风光互补供暖系统的经济运行分析与研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(07): 85-89.
- [5] 孙振锋,王建辉,邵正日. 北方农村户用太阳能空气集热采暖系统实验分析[J]. 可再生能源, 2018, 36(06): 858-861.
- [6] 谷民安,陈世杰,武新芳. 天然气城市集中供热的经济性分析[J]. 上海电力学院学报, 2019, 35(03): 298-300.
- [7] 岳云力,訾振宁,李顺昕,等. 电蓄热技术在张家口清洁供热领域的适用性研究[J]. 中国电力, 2018, 51(08): 112-116.
- [8] 刘新华,韩健,张楠,等. 中国分散式民用供热技术现状分析[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(04): 401-408.
- [9] 霍丽丽,赵立欣,姚宗路,等. 秸秆捆烧清洁供暖技术评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 218-226.
- [10] 王环,王亚静,毕于运,等. 秸秆打捆直燃集中供暖模式概况及效益评价[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(06): 153-161.
- [11] 张双奇,邓梦思,单明,等. 基于秸秆露天焚烧量的北方农村地区秸秆成型燃料替代采暖散煤节能减排研究[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(12): 2506-2514.
- [12] 单明,刘彦青,马荣江,等. 北方农村煤改清洁能源不同技术的经济性和排放性能对比[J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(03): 43-49.
- [13] 高立伟,刘联胜,王冬计,等. 基于秸秆压块的“互联网+区域性分户供暖”模式研究[J]. 可再生能源, 2017, 35(06): 824-832.
- [14] 杨建平. 哈尔滨供热期电采暖居民不执行阶梯电价[N]. 新晚报, 2014-10-10.
- [15] 黑龙江省物价监督管理局. 黑龙江省物价监督管理局关于清洁供暖电价有关问题的通知[EB/OL]. http://drc.hlj.gov.cn/art/2017/10/3/art_439_25778.html, 2017-10-03.
- [16] 张永超,王思和,刘学来,等. 多种燃气供暖技术经济分析[J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(05): 50-53.
- [17] 刘扬,冉春雨. 电采暖与燃气供暖对比研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2016, 32(22): 171-173.
- [18] 姚华,黄云,徐敬英,等. 我国北方地区清洁供暖技术现状与问题探讨[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(09): 1177-1188.
- [19] 张桂英. 黑龙江省秸秆年综合利用率超过65%[N]. 黑龙江日报, 2019-01-28(1).
- [20] 任继宏,姜莹. 黑龙江省秸秆固化燃料应用问题及对策研究[J]. 黑龙江农业科学, 2020(02): 113-116.
- [21] 王环,王亚静,毕于运,等. 秸秆打捆直燃集中供暖模式概况及效益评价[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(06): 153-161.
- [22] 贾吉秀,姚宗路,赵立欣,等. 秸秆捆烧锅炉设计及其排放特性研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 148-153.
- [23] 辽宁省市场监督管理局. 村镇打捆秸秆直燃集中供暖技术规程:DB21/T 3482-2021[S].
- [24] 郭焕丽. 寒冷地区农村清洁能源供热形式综合评价研究[D]. 张家口:河北建筑工程学院, 2020.
- [25] 王环,王亚静,毕于运,等. 秸秆打捆直燃集中供暖模式概况及效益评价[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(06): 153-161.
- [26] 谷民安,陈世杰,武新芳. 天然气城市集中供热的经济性分析[J]. 上海电力学院学报, 2019, 35(03): 298-300.