

Research on Biomass Water Heater System Design for Distributed Heating in Rural Areas

Defang Qi

Yinchuan Chengjinghe Machinery Equipment Technology Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract

With the continuous advancement of China's "dual carbon" goals and the ongoing efforts to improve rural living environments, developing a clean heating technology system for rural areas has become one of the key research directions in the fields of energy and environment. Biomass water heaters, as critical technical equipment for decentralized rural heating, feature abundant raw materials, low carbon emissions, and relatively low operating costs. Based on the energy consumption characteristics of rural areas in China and winter heating demands, this study explores the necessity and importance of biomass water heater systems. It discusses the shortcomings of existing biomass water heater systems in terms of heat transfer efficiency, fuel supply, and automatic regulation, and proposes solutions such as optimizing combustion chamber morphology, increasing fuel feeding rates, and achieving automated operation. The research indicates that through rational design improvements of biomass water heaters, significant advantages can be achieved in enhancing the thermal efficiency of heating equipment, reducing operational costs, and improving user experience. These systems can serve as a technological approach for clean heating in rural areas, playing a crucial role in promoting rural energy transition and ecological environmental protection.

Keywords

rural heating; biomass energy; water heater system; distributed energy

农村分布式供暖用生物质水暖炉系统设计研究

齐德芳

银川诚净和机械设备科技有限公司, 中国·宁夏 银川 750000

摘 要

随着中国“双碳”目标持续推进及农村人居环境整治工作的持续开展,发展农村清洁供暖技术体系是当前能源和环境领域研究的重点方向之一;生物质水暖炉作为农村分散式供暖的关键技术设备,具有原料丰富、碳排放少、运行费用较低等特点,在结合中国农村地区用能特点及冬季采暖需求的基础上,探讨了生物质水暖炉系统的必要性以及重要性;对现有生物质水暖炉系统在传热效率、燃料供应、自动调节等方面的不足进行讨论,提出了一些改善燃烧室形态、提高燃料进料速率、实现自动化运行等方面的思路与措施。研究表明,通过对生物质水暖炉合理设计改进,在提升采暖设备热效率的同时降低运行成本及改善用户的使用体验等方面具有一定优势,并可作为农村地区清洁供暖的一种技术途径,对于推动农村能源转型以及生态环境保护具有重要意义。

关键词

农村供暖;生物质能源;水暖炉系统;分布式能源

1 引言

中国农村地区地域广阔、居住分散,传统的燃煤供暖方式不仅能效低下、污染严重,且难以适应新时代生态文明建设的要求。相关统计表明,中国农村地区每年可供收集并加以利用的生物质资源总量逾 9 亿吨,折合标准煤约 4.5 亿吨,但其资源化开发利用不足三成,大量秸秆、柴草等生物质资源被丢弃或露天焚烧,既浪费了宝贵资源,又使环境污染问题更加严重。因此,生物质水暖炉作为可将生物质能

转换为热能的一种高效利用设备,具有燃料适用范围广、投资费用少、维护方便等诸多优点,在农村分布式供暖中得到了广泛应用。

2 农村分布式供暖用生物质水暖炉系统的应用价值与现实意义

2.1 契合农村能源结构,推动生物质资源高效资源化利用

中国广大农村拥有丰富的生物质能,几乎所有的农作物秸秆、林业废弃物及畜禽粪便等生物质源随处可见,且储量巨大。推广使用生物质水暖炉系统将有效地开发出这一庞大的潜在可再生能源,实现“因地制宜、分散供能”的能源

【作者简介】齐德芳(1985-),男,中国甘肃武威人,本科,工程师,从事机械设计研究。

利用方式。相比化石能源远距离运输和集中供应,生物质能源就近利用能显著减少物流成本和供应链风险,提高农村能源系统独立性和安全性。一是变废为宝,将农业生产废弃物转化为清洁能源,在源头上解决了秸秆露天焚烧行为带来的大气环境污染问题,同时实现了资源再生、增值;二是有利于推进农业农村绿色发展及发展农村循环经济,经济社会效益明显。

2.2 破解农村集中供暖短板,满足农户分散供暖多样化需求

由于人口分散、房屋稀疏、管道铺设难度大等因素限制,在中国广大的农村地区无法像城市那样实行集中供暖,导致一直存在“不供暖”或者“供暖贵”的现状。而生物质水暖炉是一种分散式的自主供暖设备,不需要集中供暖管道,供暖成本只有燃气供暖的1/2~1/3,适用于农村独门独院的特点。另外,系统可结合不同农户房屋面积、保温性能、使用习惯等情况,因地制宜地定制设计,做到“一户一策”。对于经济欠发达地区和电网覆盖薄弱区域,生物质水暖炉更是解决冬季供暖问题的现实选择,有效弥补了基础设施短板,提升了农村基本公共服务的均等化水平^[1]。

2.3 践行绿色低碳发展理念,助力农村人居环境提质升级

随着“碳达峰、碳中和”的提出,在中国农村采暖环节实现减碳已经到了火烧眉毛的地步。而生物质是零碳排放的可再生能源,相比煤炭和天然气具有更低的碳足迹。生物质水暖炉利用高效的燃烧技术把生物质能源转变为热能用于替代传统散烧散煤,进一步削减SOX、NOx和PM等大气污染排放量,改善冬春季节农村空气质量状况。此外,其本身又不会产生废水及废渣,并且产生的灰分可作钾肥返回农田使用,“资源—产品—再生资源”,形成一个物质循环过程;推广应用此清洁供暖模式是响应国家生态文明建设号召以及改善农民生活质量,建设美丽家园的重要途径之一。这对从根上改善农村人居环境具有深远意义。

3 农村分布式供暖用生物质水暖炉系统现存核心问题剖析

3.1 系统换热性能不足与热量损耗严重问题

目前市场上的大多数生物质水暖炉产品的热效率仅为70%~80%,离设计预期相差较大,造成很大的资源浪费。究其原因主要是由于生物质水暖炉的炉体设计不合理,炉体的燃烧室与换热面积不匹配造成的,烟气温度高但烟气在炉体内停留的时间短,没有充分地进行燃烧就排出,造成了较大的浪费。同时,传统水套式换热结构换热系数低、换热面积小,烟气余热未得到有效利用,排烟温度经常在200℃以上;而且因炉体保温效果差、散热大,部分产品外表面温度超过80℃,不但造成热损失,也存在安全隐患^[2]。

3.2 燃料供给与适配性差及运行稳定性不足问题

生物质燃料种类多、性质差别大,如秸秆压块、木质

颗粒、稻壳、玉米芯等不同形状和质量的燃料。目前常用的水暖炉烧嘴对燃料有一定的针对性,并不具备广泛的适用性,在遇到不同燃料、水分、尺寸等情况时会出现燃烧不充分、积炭、热负荷低等现象。人工上料不仅劳动强度大,并且无法做到连续均匀给料,造成炉内温度变化大,供暖质量差;料仓容积较小,不能满足长时间无人值守的需求,需要经常往里加燃料,用户体验感差。

3.3 系统智能化水平低与操作便捷性不足问题

传统的生物质水暖炉通常为机械控制或者简单的继电器控制,不具备感知能力和自动调节功能。燃烧过程中依靠人工经验对风门及进料进行调控,不能保证最佳空燃比的匹配程度,燃烧效果差、烟尘排放大,并且不能根据室内外环境的变化来自动调节出力,经常“大马拉小车”或供暖不够,能源消耗大;没有完备的安全保护功能,无法实现超温、缺水、熄火等故障的自动检测及应急处理,安全性差。人机交互界面简陋,多为机械旋钮和指示灯,无法显示运行参数和故障信息,用户操作困难。

4 农村分布式供暖用生物质水暖炉系统核心设计

4.1 生物质水暖炉核心结构设计

炉体结构的设计也是整个系统的高效关键点之一,应该采取模块化设计理念,形成“燃烧—换热—保温”的一体化最优结构。其中对于燃烧室这一块可以采取两层的炉体结构,内层为主燃烧区,由耐高温的不锈钢制作而成;外层为二次燃烧区。在合理的二次进风口布置下,将可燃气体充分地在高温区燃烧,燃烧温度可达1000℃以上,能有效地降低化学不完全燃烧损失。炉排为往复式或者链条式活动炉排,利用机械运动将燃料均匀布料及自动出渣,不会出现局部过热和结焦的现象。

锅炉受热面采取“辐射换热+对流换热+余热回收”三级换热方式。一级:在高温辐射区设置水管,即水冷壁管,接受火焰辐射热量;二级:在对流烟道内设置翅片管式对流受热面,扩大传热面积,增强烟气流动阻力及湍流程度;三级:在尾部烟道中设置冷凝式余热回收器,将排烟温度降低至120℃以下,回收烟气中的潜热及部分显热,使系统热效率提高至85%以上。冷却水系统采用强迫循环加自然循环方式,选用高效屏蔽电机循环水泵及合理匹配管道管径,减少流动损失,实现各散热器间水量均分。炉体保温采用多层复合型保温材料,内层耐高温陶瓷纤维毯+气凝胶毡+硅酸铝保温板,总保温厚度不小于150mm,炉体表面温度不大于50℃,炉体散热损失小于3%,炉门、清灰口等开口处使用耐高温密封条及锁紧装置以降低漏风损失;炉体整体采用快装式结构。每个功能单元之间采用法兰连接,方便运输、安装及维修^[3]。

4.2 系统燃料供给与输送系统设计

燃料供应既要考虑灵活性又要便于自动控制,形成“贮

存—输送—给量测量—燃烧”的全自动供燃方式。贮存：采用大型圆柱状贮煤筒体，其体积视热功率及燃料品种而定，通常可保证设备满负荷工作两天至三天之需，并在筒体内加设抗拱板及称重传感器以指示当前煤位及低煤位报警功能。根据生物质燃料容易吸水的特性，在料仓上部设防水盖板，并开设透气口，在下部铺设防潮垫子。输送方式为螺旋给料机+气动输送，主要输送选用变频调速螺旋给料机，根据不同的热负荷调节其转速以达到控制给料的目的；辅助输送可以考虑负压气力输送方式，由一个集中储料点向多台炉子输送燃料，降低人力搬运成本。给料口设有防火逆止阀及冷风风幕，防回火及冒黑烟。计量部分使用称重式或容积式计量器，并与控制部分结合对耗料量进行记录和燃烧闭环控制。锅炉燃烧器采用分级配风形式：从炉排下部进入一次风，满足燃料干燥及着火所需空气量；从炉膛中部分层切向进入二次风，在炉内形成旋涡，延长烟气在炉膛内的滞留时间；从炉膛上部进入三次风，将可燃物充分燃烧。风门为电动调节蝶阀，可根据氧量传感器反馈来调节风量大小以达到最佳的空燃比；对于结焦问题，在炉膛内侧设计了可以更换的防结焦衬板并配有自动清灰装置，及时清理换热面积灰保证换热效率。

4.3 系统智能化控制模块设计

控制系统作为提高整个系统运行质量的关键部分，应该建立基于物联网技术下的分布式智能控制系统。在硬件方面采取分层方式，在最下面一层为现场控制层，由 PLC 控制器、触摸屏人机界面、传感器以及执行机构组成；中间一层则为网络传输层，利用 4G/5G 或 LoRa 无线通讯的方式将信息远程上传；其中顶层是云平台管理层，可实现远程监控、数据分析、故障诊断等功能^[4]。

控制系统配置温度传感器（进水温度、出水温度、烟气温度、环境温度）、压力传感器（水系统压力、风压）、流量传感器（水流量、燃料量）、氧量传感器（烟气含氧量）、图像传感器（火焰监测），对运行状况进行全面感知；控制算

法为模糊 PID 控制+专家系统控制。基于室外温度、室内温度设定值以及系统的热惯性来自动调节燃烧功率，进行按需供热及气候补偿。构建燃烧优化模型，并对给料量、配风量、引风量进行实时调整，使燃烧始终保持在最佳状态，降低污染物的排放。安全保护为具有超温（出水温度 >95℃自动停炉）、缺水（水位 <安全线补水/停炉）、熄火（无焰切断供能）、防冻（环境 <5℃启动循环泵）、故障报警（声光+手机 APP）等多重保护装置；人机界面采用 1 块 10 英寸彩显触摸屏，能够显示系统的运行状态、耗能统计信息以及报警信息，可以设置工作方式（手动/自动/定时/离家）及相应的参数。

5 结语

农村分布式供暖用生物质水暖炉系统是清洁取暖技术体系中不可或缺的部分，在其进行优化设计对推进农村能源转型、改善人居环境、“双碳”目标的达成具有一定的现实意义。在未来生物质成型燃料标准化体系的建立、物联网技术的发展以及人们环保观念增强的前提下，生物质水暖炉将在农村清洁取暖方面扮演越来越重要的角色。建议加大基础理论研究力度，突破高效低污染排放燃烧、智能化优化控制等核心技术，制定完善的产业标准及售后服务保障机制，促进生物质供暖产业健康发展，为实现美丽乡村建设奠定良好的技术基础。

参考文献

- [1] 商春刚.在农村新民居建设中推广新能源技术的建议[J].现代农业科技,2010(13):289-290.
- [2] 韩中合,祁超,丁敬,刘明浩,王珊.基于太阳能和生物质能的农村分布式供能系统研究[J].太阳能学报,2019,40(11):3164-3171.
- [3] 王德晔,杜传致.农村分布式生物质燃炉可行性分析[J].区域供热,2020(3):119-122.
- [4] 吴创之,阴秀丽,刘华财,陈勇.生物质能分布式利用发展趋势分析[J].中国科学院院刊,2016,31(2):191-198.