

我国北方农村清洁取暖适宜模式研究——基于河南省鹤壁市和山东省商河县的实践

杨旭东¹，单明¹，邢永杰²，聂亚洲¹，刘彦青¹，丁星利¹，马荣江¹，江亿¹

(1.清华大学建筑技术科学系，北京100084；2.北京市科学技术委员会，北京100744)

摘要：本文梳理了目前我国北方农村清洁取暖的进展及相关问题，分析了农村清洁取暖在初投资、运行费、使用便捷性及统筹规划四个方面存在的关键约束性因素，提出了北方农宅清洁取暖的适宜模式，即一万元初投资（每户）、一千元运行费（每年）、一键式操作、一个规划的“四一”模式。基于对所指导实施的河南省鹤壁市和山东省商河县两个实际案例的数据监测和统计分析，证明了“四一”模式的可实现性和可推广性。该模式为解决我国北方农村清洁取暖所面临的诸多难题给出了一条切实可行的发展路径，也为农村建筑用能领域尽早实现“碳达峰”和“碳中和”提供助力。

习近平总书记2020年9月22日在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，指出中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和[1]。我国要实现绿色低碳转型发展涉及城乡居民生产和生活的方方面面，北方清洁取暖是其中的重要一环。经过多年的实施，北方清洁取暖在环境、经济特别是民生方面取得了显著的成效，尤其是从2017年开始国家四部委在北方43个城市实施清洁取暖试点行动以来，截至2018年底，北方地区冬季清洁取暖率达到了50.7%，相比2016年提高了12.5%，其中城镇地区清洁取暖率为68.5%、农村地区清洁取暖率为24%[2]。自清洁取暖实施以来，农村散煤使用量减少约3000万吨标准煤（tce），对改善大气环境做出了实质性贡献[3]。但从实施情况来看也暴露出一些不足，如：技术路线选择未经充分论证以及改造方案系统性设计不足、政策缺乏可持续性等问题[4]；北方农村地区大面积“煤改气”存在气源保障、安全风险、运行成本三大风险[5]；对“顶层设计”不够重视，对“因地制宜”难以落地执行等[6]。整体总结如下：

（1）科学的顶层规划和技术路径缺乏

从现有的清洁取暖政策看，由于任务的紧迫性和相关技术的缺乏性，进而造成以下达任务目标和罗列技术为主开展工作，缺乏基于本地实际对各项技术深入系统的可行性分析和对所选择的技术路线严谨的分析论证。对清洁取暖理解和认识不清晰，在实施过程中缺乏对各环节的细节指导和管理，仅关注工程项目和任务量是否完成本身，可能会产生不同技术方案性能模糊、节能效果迥异的差别化结果。此外，对后续运维也缺乏统筹考虑。

（2）清洁取暖可持续发展机制有待形成

目前清洁取暖工作机制主要是政府层面自上而下推进实施，国家及地方的各级财政补贴不但承担了工程建设的绝大部分费用，还在对居民的运行使用不断进行补贴，政府能负担、市场愿投入、居民可承受的可持续发展清洁取暖机制有待形成。

（3）经济性差、后期难以持续

清洁取暖使用成本普遍上涨，取消补贴后，农村居民取暖支出可承受能力差。相比于散煤取暖，农村地区清洁取暖使用成本较高，即使享受价格补贴之后，农村居民取暖支出仍普遍上涨。以“煤改气”为例，由于燃气价格高，农户燃气取暖设施实际使用率不高。即使有补贴，农户反映经济上依然难以承受，存在返煤风险。同样，燃气公司投巨资修建管网，实际有效利用率低，投资无法得到回报。

（4）清洁取暖改造指导方案过于模糊

在清洁取暖改造工程推进过程中，由于时间紧、任务重，制定实施方案时过于宽泛模糊，清洁取暖改造方案和技术路径相似度极高。在农村地区普遍以简单的“煤改电”“煤改气”为主，未充分结合本地资源禀赋、基础设施以及老百姓经济承受能力等进行针对性设计。

（5）供需不匹配、能源供应难保证

大规模推行“煤改电”和“煤改气”，而对总体电力负荷和燃气供应未做科学考量。目前已改用户，气网新建以及

电网扩容投入后，后续电力和气源维持艰难，对于后续工作的进一步推进已经无法继续按目前的途径实施，而北方广大农村地区丰富的农作物秸秆、果木剪枝、畜禽粪污等生物质资源则被忽视。截至2018年底，“煤改气”实施约占整个煤改清洁能源的70%，而生物质成型燃料供暖等利用本地化资源项目只有少量的示范。另外需要特别指出的是，许多试点城市忽视农村建筑节能改造工作。农村既有建筑的围护结构保温性能普遍较差，如不相应地进行节能改造，取暖效果差、能耗高，会直接影响到农户参与清洁取暖的积极性。

北方地区冬季取暖用能是我国农村生活用能的主要部分，也是农村建筑朝着节能化、清洁化和低碳化发展的重中之重[7]。农村清洁取暖工作事关方方面面，实施得好，将带来惠及民生的效果；实施得不好，将从某种程度上剥夺老百姓最基本的温暖过冬权利。大量的实践经验表明，决定清洁取暖实施效果好坏的关键是其实施模式和选择的技术路径是否科学合理，而研究北方农村清洁取暖的适宜模式首先需要农村对农村地区所面临的主要约束性因素进行分析。

1 约束性因素分析

本文从北方农村清洁取暖的初投资约束、运行费约束、使用便捷性约束、统筹规划约束等不同角度来分析北方农村清洁取暖的合理化模式和原则。

1.1 初投资约束

清洁取暖工作是一项重大民生工程，如果农村清洁取暖改造的初投资较高，普通居民一般很难承受，需要政府给予一定的补贴，因此必须综合考虑农村居民的收入水平、中央和地方财政的承载能力。虽然国家针对清洁取暖试点城市制定了不同的补贴方案，给申请入围的“2+26”城市中的直辖市、省会城市、地级市以及汾渭平原城市每年分别提供10亿元、7亿元、5亿元、3亿元不等的财政补贴，但由于这些地区人口密集、农户众多，即使不考虑将这项补贴用于城市清洁取暖工作，而假设全部用于农村清洁取暖，则按照当地的农户数量进行平均，每个农户所对应的国家财政补贴仍然严重不足。对于一些人口大市，每户平均仅500元~1000元，远不能满足实际需求，绝大多数地区还要依赖当地市、县两级财政进行配套，而目前地方政府普遍反映整体财力吃紧，很难进行大规模配套。

图1给出了近5年我国公共财政决算中节能环保领域的支出情况[8]，其中将污染防治、能源节约利用、污染减排、可再生能源和循环经济5个有一定关系的方面全包括在内，每年的决算总额仅为2000亿元~3000亿元。假设其中有50%用在整个北方地区，而这其中的50%可以用在北方农村，则国家每年用在北方农村清洁取暖的可支配资金总量最多在1000亿元左右。国家十部委发布的《北方清洁取暖规划2017—2021》[9]指出，到2021年，北方地区清洁取暖率总体达到70%，其中农村地区清洁取暖率60%以上。这意味着在四年的时间内，有约4000万户农户需要实现清洁取暖改造，按照目前国家每年公共财政资金支出情况，四年最多总共可支配4000亿元左右，折合每户约1万元。

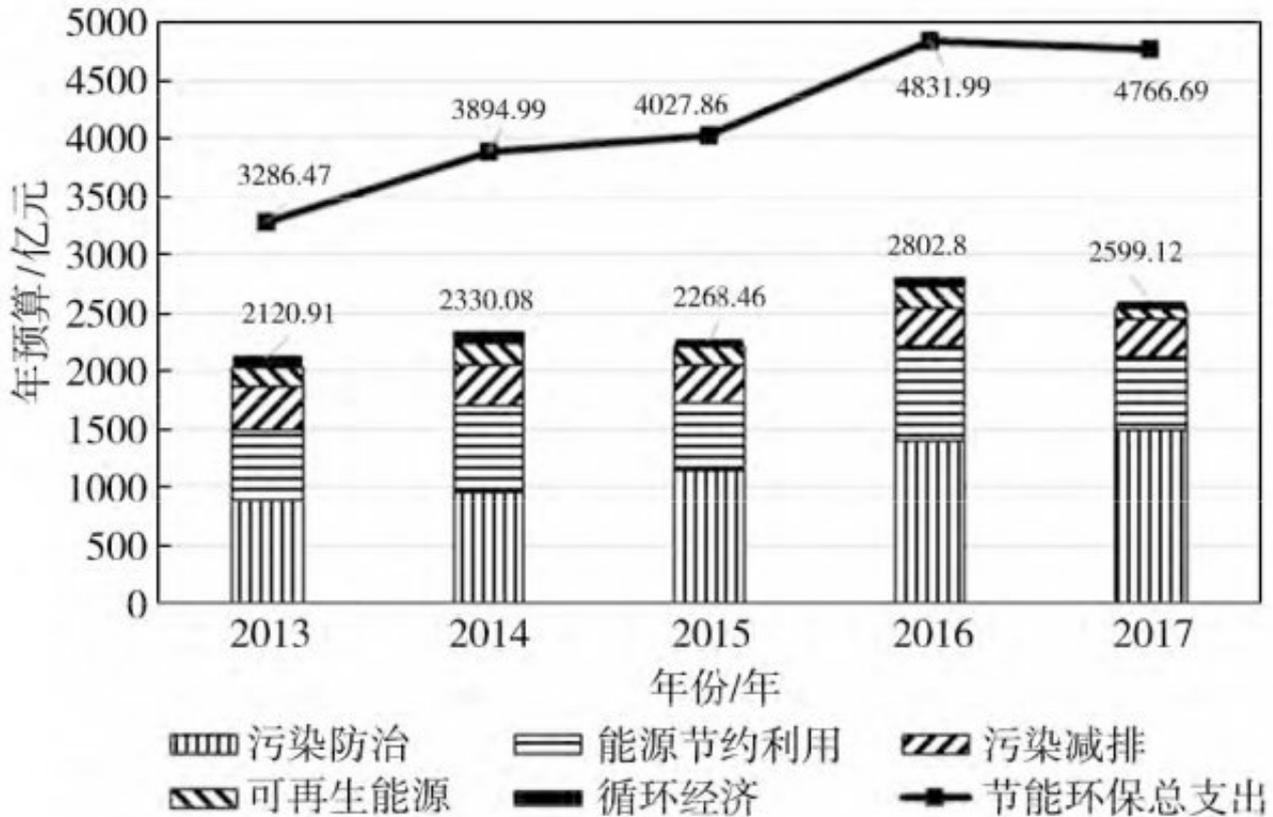


图1 我国公共财政中节能环保领域的支出情况

而目前的情况是一些财政状况较好的地区，为达到目的不计成本，选择了不适宜的技术路线，即使财政压力未转移到农村居民身上，也是对政府公共资源的一种浪费。推进清洁取暖的内在动力是政策引导下取暖领域的供给侧结构性改革，财政补贴本应是填补缺口的关键角色，不该变成承担大头的主力军，完全依赖大量的财政补贴不可能做好清洁取暖工作。

1.2运行费约束

政府的运行费用补贴尽管能解“燃眉之急”，却容易引发“长久之痛”，成为政府长期背负的沉重包袱，否则补贴一旦停止，就有农户重新返烧散煤的风险。而只有选择适宜的技术路线，不需要对运行费用进行补贴，才可以大大减轻从中央到地方的财政压力，用合理的经济代价获取最大的节能减排效果。

从《2019年中国农村统计年鉴》[10]关于农村居民收入与消费的1954—2018年统计数据可看出，随着生活水平的提高，1978年以后人均消费有明显的逐年升高，2005年以后居住消费有明显升高，农户居住消费在总消费中的占比长期维持在约20%的水平（图2）。清洁取暖是惠及全民的民生工程，需要基本全覆盖，所以应着重考虑中低收入农户消费支出水平。《2019年中国农村统计年鉴》中农村居民按收入五等份分组的人均可支配收入见图3。图中，农村人均可支配收入不平衡程度较大，中间偏下收入户和低收入户分别为全国平均收入水平的58.2%和25.1%。北方农村地区人均消费支出中，北京与天津远高于全国平均水平，而山东、河南、河北基本与全国平均水平持平，山西和陕西为全国平均水平的约80%，而甘肃最低仅为全国平均水平的60%，呈现出西北与东北等地区取暖需求越大经济水平反而越低的趋势。



图 2 1954—2018 年我国农村人均消费逐年变化情况⁹

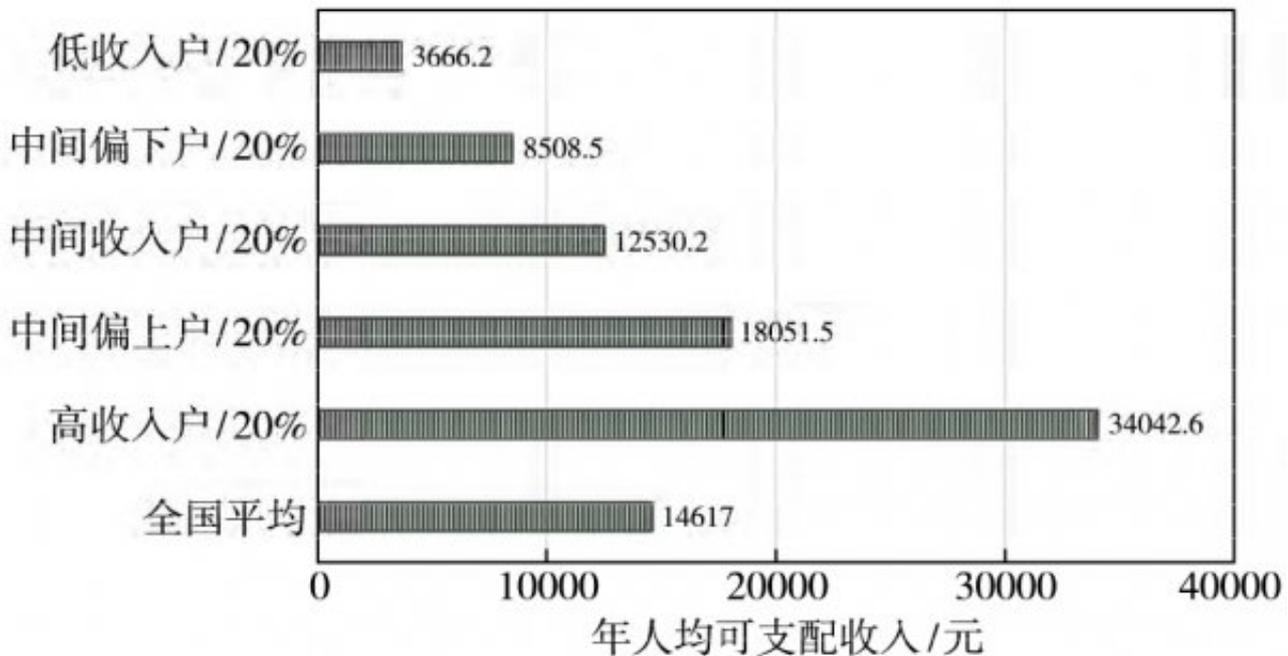


图 3 农户按收入五等份分组的年人均可支配收入⁹

居住能源消费主要包含水、电、燃料等费用，可根据年鉴中2018年全国人均居住能源消费数据以及不同收入、不同

地区跟全国平均水平的关系，合理分析中低收入人群可承受的取暖运行费用。以北方地区已进行的清洁取暖改造地区相关调研结果为参考，居住能源消费中非取暖消费占比可以按70%计，户均常住人口以3人计，中偏下收入户均居住消费支出以全国平均居住消费的58%计，2018年全国人均居住消费为2660元/人，则可推算出山东、河南、河北等省份与全国平均水平持平的中偏下收入户年取暖费用支出约1388元/户，低收入户年取暖支出约600元/户；山西、陕西等地区中偏下及低收入户取暖费用支出分别为1110元/户、480元/户左右；甘肃等经济水平较差地区中偏下及低收入户取暖费用支出分别为830元/户、360元/户左右。

长期以来，北方农村地区取暖以散烧煤为主，每个取暖季消耗1t~2t散煤，花费800元~1600元。目前清洁取暖推进地区，年取暖费用约1000元/户，基本可确保中等偏下收入以上农户（即80%以上）能够承受，低收入用户可通过用户节约行为以及适当精准扶贫的形式实现清洁取暖，则最终可确保全部收入水平的农户都能承受得起清洁取暖花费。

1.3使用便捷性约束

由于农宅具有房间数量多、使用时段不规律、间歇性在室等特点，取暖设备或系统宜具备分室调节功能，充分利用农户的行为节能以达到最大化的有效取暖。调研发现，农宅既有散热器等取暖系统，不论是夜间使用的卧室、白天使用的客厅还是仅做饭时使用的厨房，常无任何调节阀门，多房间连续性取暖，甚至出现某间房或某一层常年不用仍然一直取暖的现象。因此，改造后的清洁取暖设备需具备分室调节、随用随开、启停方便的特点，满足间歇式取暖需求。不同时段还宜具备温度可设置功能，以满足不同时段不同功能房间的需求。

农村常住人口的构成，以老人和儿童为主，安全意识不高，容易发生误操作。某些取暖系统或设备开关程序繁杂，某些水系统要求整个取暖季不能断电以防止结冰危害，某些取暖系统在安装环节频频出故障，某些取暖系统因设备部件较多容易损坏，某些取暖系统则存在较大的安全隐患等。误操作一般会降低用户舒适感，损害用户良好体验的基本权利，甚至对用户生命健康产生严重威胁。根据多年的经验总结和教训，农村地区清洁取暖工作应避免使用复杂系统，尽量使用易于操作的设备，最好是能够智能化一键式操作的设备。

1.4统筹规划约束

农村住宅由于其特殊性，主要由农户自建，多聚居于拥有上百年甚至千年历史的自然村落，个别村落为迁出重建规整村落。中国多年以来的城镇化进程，多把规划的重点放在了城镇区域，农村地区能源利用与取暖系统一直未得到重视。农村清洁取暖出现要么改不起，要么改了用不起，要么用了带来新的安全隐患、热舒适难保证等新问题。在这几年的清洁取暖改造工作中，某些地区浪费大量初投资和运行补贴，结果发现无补贴后续难持续，电或气资源紧缺，人民群众温暖过冬的基本需求得不到满足，付出了沉重的代价。还有不少地区在观望，或者直接照搬其他地区的路线和政策内容，不知本地区该从何下手。

清洁取暖不等于“一刀切”地发展“煤改气”“煤改电”，应当根据本地资源禀赋、经济实力、基础设施等条件，结合大气污染防治和安全节能的全面要求，利用市场的优势，争取农村居民的支持和认可，充分发挥地方政府高效的推动作用，将政策红利利用好，提出因地制宜的顶层规划。顶层规划内容应从选择技术路线、细化推广方式、制定补贴政策、建立长效机制等方面切入。

2北方农村清洁取暖适宜模式

制定北方农村清洁取暖适宜模式时，应重点考虑以下几个因素：

（1）当地资源禀赋

由于农村分散式的村落分布，不宜远距离进行引入或运输外来资源，避免增加外网铺设投资、运输费用，以及由此带来的能源保障、能源使用安全等问题。宜利用当地所具备的资源，就地消纳。合理测算当地的电力容量，配适当体量的热泵等高效节能取暖设备；利用农村丰富的生物质资源，采用生物质原料加工成颗粒供应户式生物质炉具取暖或炊事；太阳能丰富的地区，可利用太阳能进行被动式或主动式取暖；村落附近如果有可利用的工业余热，可深度回收余热进行取暖。

（2）当地气候、地质以及农宅状况

根据当地冬季温湿度状况，选择适合的热源设备，如空气源热泵考虑冬季供暖效果、调控能力及化霜等问题；农宅的围护结构状况、院落布局及常用房间情况，适合多大功率的热源设备，适合什么样的末端系统，是否满足设备的放

置与安装等。

（3）当地能源需求

除冬季取暖需求外，综合考虑农户的各种用能需求，包括夏季制冷、炊事、生活热水等，可选择同时满足多种需求的方案；综合考虑村落及其附近的非农村住宅的其他需求，如蔬菜大棚的取暖需求、养殖对生物质饲料的需求、附近学校、村镇办公或工厂等的集中供热需求等。

（4）当地经济水平状况

综合考虑政府财政实力与用户经济能力，同时调动市场与金融机构资本，科学利用进行合理资金配置，在农户侧的热源、系统与围护结构节能改造方面，形成一个保证能推起来、能用起来并持续下去的清洁取暖金融方案。

（5）实施模式与长效保障机制

综合考虑竞标企业的资质和服务能力，严把质量关，必须保证进入农村市场的设备质量，不仅安装和调试过程要合规合理，在若干年的运行时间里也应做到安全稳定，对应的设备厂商应提供可靠的长期维修保障服务。

综上，北方农村清洁取暖的合理模式应该从前期初投资、取暖运行费、农户使用要求和区域整体实施等多个维度来综合考虑。基于上述分析以及多地的调研和反馈，本文得出结论，对每个农户进行清洁化改造初投资不宜超过1万元，初投资应包含取暖设备投资、房屋节能改造、基础设施投资等。需要注意的是，基础设施建设应考虑功能专用性或多用性。以电网和燃气管网为例，随着农村居民收入水平逐渐提高，人均用电量必将逐渐提高，电网改造符合农村经济社会发展规律，目前仅是加快其发展步伐。反观燃气管网，建设动力仅为了满足农村当前的取暖需求，需要付出巨额的基础设施建设费用。未来的社会主义新农村不宜放弃农村的优势，尤其是涉及能源结构调整方面，更不应盲目跟随城市的建设标准和发展方向。

在进行煤改清洁能源后，最理想的状态是冬季取暖运行费用与改造前基本持平。大量的实际调研也证明，绝大多数农村居民可承受的取暖季年运行费用约为1千元。保证此水平的取暖运行费，即可实现不依靠政府的运行补贴而可持续运行。

总结起来，我国北方农村清洁取暖应遵循初投资每户平均不超过一万元、无补贴的年取暖运行费每年不超过一千元、设备一键式智能化操作，并整体建立在一个顶层规划的“四一”原则，这才是适宜农村清洁取暖的可持续化发展模式。

3 实际应用案例简介

笔者团队经过长期的技术研发、项目应用和实践总结[11 - 14]，以及近两年为多个北方清洁取暖试点城市提供技术指导和示范的机会，总结出只要选择科学合理的技术路线，“四一”模式是完全可以实现的。下面以河南省鹤壁市和山东省商河县为例进行简单介绍。

3.1 河南省鹤壁市

鹤壁市位于河南省北部，属暖温带半湿润季风气候，年平均气温14.5℃，1月最冷，平均气温 - 0.8℃，极端温度可达 - 11℃。基于当地的气候条件、能源资源和农宅建筑结构，探索确定推进“四一”模式和技术路径，逐步形成“六个一”的鹤壁标准建设管理标准[14]，具体包括：整村推进且明确一个技术路径和品牌产品，有利于运营维护一体化；遵循能效改造一套技术标准，能效提升不能低于30%；热源侧和用户侧节能总改造费用控制在1万元以内，而居民承担费用小于1/4，成本控制在政府和居民可承受范围内；通过实施低温空气源热风机或生物质清洁取暖炉两种方式，确保居民清洁取暖年运行成本控制在1千元左右；设备操作一键化，主要考虑到农村老人和孩子在家，便于操作；管理平台一体化，热风机按照数字化管理，简化运维。从而达到了农户可接受、政府能承受、资源可担负的可持续效果。

具体实施方案如下：

（1）用户侧—围护结构节能改造

鹤壁市通过邀请包括清华大学建筑节能研究中心在内的相关技术团队，实施现场踏勘、节能诊断和经济性分析，总结出了7类农房基础模型（平房、瓦房、楼房、联排房屋等），针对每类建筑设计出对应的节能改造方案，并编制了《鹤壁市既有农房能效提升技术导则（试行）》，实现了改造技术统一、项目施工规范和能效提升达标的目标。改造工程坚持整村推进，将节能改造与村容村貌提升相结合，通过示范样板增强宣传效果，增强了农户对能效提升改造的主动性。通过对外墙和吊顶进行改造并采用保温窗帘后，建筑节能率40%左右。

（2）热源侧—低温空气源热泵热风机

空气源热泵热风机具有技术成熟度、安装维护、经济性、节能减排、实际使用效果等多方面优势[15 - 16]。鹤壁市在热源侧清洁取暖技术的选择上，确定低温空气源热泵热风机[图4（a）、（b）]作为主导技术路径进行大规模推广。对鹤壁市的典型农户进行了热风机实际运行效果监测，测试农宅为单体建筑，主卧和客厅各安装一台热泵热风机。测试结果显示，在取暖期间，室内温度基本保持在17℃以上，日均取暖电耗为0.37kWh/m²，整个冬季户均取暖费用大约800元~1200元，运行费用合理，用户完全可接受。

（3）热源侧—生物质颗粒燃料炊暖炉

生物质颗粒燃料炊暖炉[图4（c）]符合农村多样的生活用热需求，并具备自动控温、分时段设置等多重控制，将更专业的行为节能融入智能控制器实现大小火自动转换，保证供热需求的同时，进一步减少燃料消耗，控制烟气排放总量。使用时仅需人工定时（间隔8h~10h）向料斗添加燃料和清灰，农户操作简单，使用便捷，其燃料燃尽率高，具有技术先进、热效率高、污染排放低等优势，可同时保证当地农村清洁取暖、炊事及生活热水等需求。



（a）热风机室外机

（b）热风机室内机

（c）生物质炉具

图4 鹤壁空气源热泵热风机和生物质颗粒燃料炊暖炉具

目前河南省鹤壁市有400多个村庄试点安装了空气源热泵热风机，推广安装约7.2万户，生物质颗粒燃料炊暖炉推广也在有序进行中。通过采用“四一”模式，并经过前期的科学规划和合理设计实施，用实际工程证明了清洁取暖可推进、可接受、可持续，为北方其他地区的清洁取暖工作提供了良好示范。

3.2山东省商河县

商河是山东省济南市的下辖县，位于济南市北部，冬季取暖室外计算温度 - 5.2℃，历史极端低温 - 19.2℃。取暖期11月25日~3月5日共100天。当地农宅房屋分散，以坡屋顶、砖木、砖混结构为主，建筑保温措施比例几乎为零，墙体结构和材料采用实心粘土砖等传统做法，窗户多为单层玻璃铝合金窗或木窗，平均层高达3.3m。每户平均建筑面积约106m²，房间数和取暖房间数分别为4间和1间~2间，户均取暖面积约50m²。2017年以前以燃煤、秸秆取暖为主，取暖方式主要有燃煤炉+散热器的形式和燃煤炉的形式，户均取暖能耗为937kgce/a，花费1000元以内。典型农宅的外立面及户型见图5。



(a) 典型农宅外立面

(b) 典型农宅户型图

图 5 典型农宅

具体实施方式：

(1) 低成本保温改造+清洁取暖设备

在用户侧围护结构保温方面，根据当地农宅特点，结合农村经济状况，提出经济型的靶向保温技术体系。通过理论模拟分析和现场实测等手段，进行不同农户和不同房间的个性化和精准化设计，合理分配资金预算以达到最佳的投入产出比。用户侧围护结构保温的基本原则：常用房间改造优先；围护结构内保温为主；屋面和薄弱北向外墙优先；南向充分利用阳光能量；增设吊顶来减少室内层高等。确保每户总初投资控制在4000元左右，运行能耗与无保温相比减少约30%。

采用低环境温度空气源热泵热风机取暖，中标企业整片包干，承担所包干范围内热泵热风机取暖工程的具体实施工作，包括方案设计、设备安装、调试、售后维护等；农户通过支付少量费用获得热泵热风机所有权和使用权，同时享受后续设备维护等专业服务，根据用户建筑房间使用习惯，一户在主要活动房间安装一台热风机，单台热风机投资约5000元。

保温改造以及取暖设备投资低于一万元，且农户仅承担总投资的约1/3，剩余部分由政府、企业及亚行贷款共同垫资支付。

(2) 规模化运行管理和效果监测

通过与国内规模最大的几家空调/热泵生产企业建立合作，截至2019年底，商河县共完成了3.6万余户的热风机安装工作，其中2018年取暖季完成5700多户，2019年完成3万多户。在运行管理上，利用大数据监测平台，远程可控，如图6所示，随时了解取暖设备的运行动态，追踪用户使用习惯，掌握设备能源消耗，及时响应用户需求。根据温度监测，热风机开启1h后，农户温度上升10 ~ 15℃，最高温度达19℃。通过对玉皇庙镇20户实时运行监测结果的分析发现，在间歇取暖（每天取暖12h）的情况下，采取峰谷电价、去除用电补贴后，一个取暖季的运行费用约为528元；农户对于热风机反馈较好，认为完全可以满足他们出门干农活想关闭取暖设备以节约运行费、回到室内希望快速获得适宜环境的经济和热舒适需求。

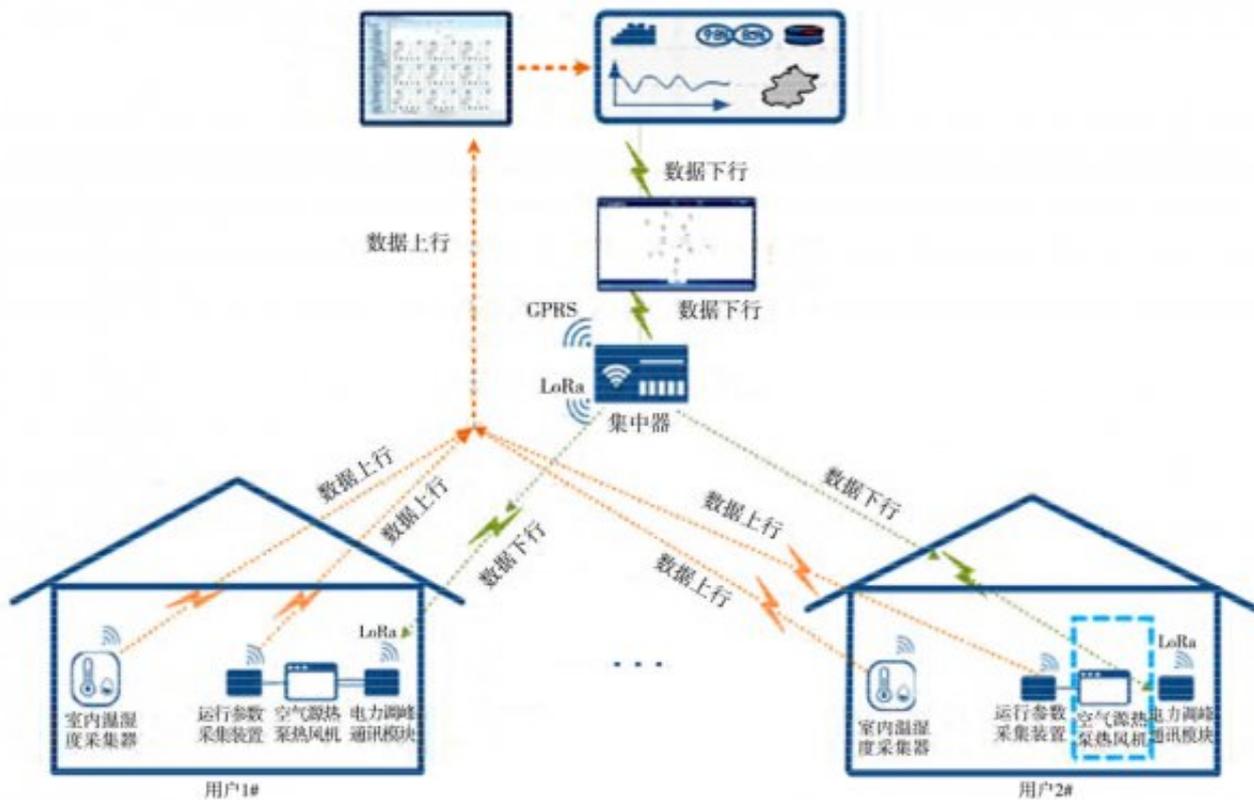


图6 空气源热泵热风机运行数据监测系统架构示意图

已安装的3万多台热风机实现了智能化联网，逐步实现清洁取暖系统由可见到可控，也为今后农村地区清洁取暖参与电力调峰创造了条件。

4结论

随着我国2030年前碳达峰和2060年前碳中和目标的提出，迫切需要推动建筑用能朝着高效、清洁、低碳化甚至零碳化的方向发展。通过梳理目前我国北方农村清洁取暖的进展及相关问题，分析了农村清洁取暖的关键约束性因素，提出了北方农宅清洁取暖的适宜模式，并基于对所实施的实际应用案例的数据监测和统计，可以得到以下结论：

- (1) 目前北方农村清洁取暖取得重要进展，但同时存在一些共性问题需要解决。
- (2) 我国北方农村清洁取暖存在初投资、运行费、使用便捷性以及统筹规划四个方面的约束，需要综合考虑。
- (3) 符合“四一”原则即每户一万元初投资、一千元年运行费、一键式操作、一个规划的清洁取暖模式是能够在我国北方农村地区进行大规模推广的适宜模式。
- (4) 河南省鹤壁市和山东省商河县的实际案例表明，综合考虑当地资源、农宅特点、用户习惯、经济特性等因素的“四一”模式是一条完全能够实现的技术路径。

参考文献：

- [1]新华社.习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[EB/OL]. (2020 - 09 - 22) .http://www.gov.cn/xinwen/2020 - 09/22/content_5546168.htm.
- [2]国家能源局.北方地区冬季清洁取暖率已达50.7%替代散烧煤约1亿吨[J].资源节约与环保, 2019(10): 4.
- [3]清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- [4]金玲, 陈潇君, 雷宇.京津冀及周边地区清洁取暖改造的问题与实践经验[J].环境保护, 2018, 46(19): 25 - 27.

- [5]中国储能电站网, 新华社.清洁供暖路径需考虑建筑、经济、气候、资源等因素[J].供热制冷, 2019(12): 37 - 39.
- [6]董乐意.对农村清洁供热工作的几点思考[J].区域供热, 2019(04): 31 - 36.
- [7]清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [8]中华人民共和国财政部.中国财政年鉴.中国财政杂志社, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018.
- [9]国家发展改革委.关于印发北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021)的通知(发改能源〔2017〕2100号)[EB/OL].(2017-12-27)[2020-03-05].http://www.nea.gov.cn/2017-12/27/c_136854721.htm.
- [10]国家统计局.中国农村统计年鉴[M].北京: 中国统计出版社, 2019.
- [11]单明, 杨铭, 王鹏苏, 等.北方村镇建筑节能村级示范[J].建设科技, 2011(03): 50 - 52.
- [12]单明, 王鹏苏, 杨旭东, 等.我国农村住宅用能可持续发展模式探讨[J].建设科技, 2012(09): 20 - 23, 25.
- [13]蒋建云, 章永洁, 叶建东, 等.北京农村地区燃煤供暖替代技术方案实效对比[J].暖通空调, 2016, 46(09): 51 - 55.
- [14]单明, 张双奇, 邓梦思, 等.生物质成型燃料用于北方村镇清洁取暖的技术与模式[J].区域供热, 2018(01): 6 - 10, 43.
- [15]鹤壁: “六个一”打造清洁取暖示范城[J].环境经济, 2018(17): 55.
- [16]马荣江, 毛春柳, 单明, 等.低环境温度空气源热泵热风机在北京农村地区的采暖应用研究[J].区域供热, 2018(01): 24 - 31.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/188741.html>