

文章编号: 1671-6612 (2024) 03-366-10

保定市农村住宅空气源热泵供暖调研及分析

陈闪南 张华玲

(重庆大学土木工程学院 重庆 400045)

【摘要】 为了解寒冷地区农村“煤改电”项目实施成效,选取河北省保定市农村煤改电用户开展实地调研,分析了农村地区居民热水型空气源热泵的使用行为特征及供暖需求。结果表明:保定地区60%以上的农户供暖季空气源热泵热水机组的使用模式为全天开启,且农户在使用期间不对空气源热泵热水机组出水温度以及房间供暖末端进行调控的占多数;空气源热泵热水机组供暖条件下,农村住宅供暖区域一般为客厅和卧室,供暖室内温度主要集中在16~18℃;农户满意度调查结果显示,热水型空气源热泵总体上可以满足农户基本的供暖需求,供暖系统运行费用偏高与供暖房间热舒适性欠佳是目前热水型空气源热泵在保定农村地区实际应用中存在的主要问题。

【关键词】 寒冷地区;农村住宅;空气源热泵;供暖;实地调研

中图分类号 TU832 文献标志码 A

Investigation and Analysis of Air Source Heat Pump Heating for Rural Residential Buildings in Baoding City

Chen Shannan Zhang Hualing

(School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045)

【Abstract】 In order to understand the implementation effectiveness of the "coal to electricity" project in rural areas of cold regions, a field survey was conducted among rural coal to electricity users in Baoding City, Hebei Province. The usage behavior characteristics of air source heat pump hot water units among rural residents and their heating needs were analyzed. The results show that over 60% of rural households in Baoding area use air source heat pump hot water units all day during the heating season, and the majority of users do not regulate the supply water temperature of the air source heat pump hot water units or the heating terminals of the room during use; Under the heating conditions of air source heat pump hot water units, the heating areas of rural residential buildings are generally the living room and bedroom, and the indoor temperature is mainly concentrated in 16-18℃; The satisfaction survey results of rural residents show that the air source heat pump hot water unit can generally meet the basic heating needs of rural residents. The high operating cost of the heating system and the poor thermal comfort of the heating room are the main problems in the practical application of the air source heat pump hot water unit in rural areas of Baoding.

【Keywords】 Cold regions; Rural residential buildings; Air source heat pump; Heating; Field investigation

0 引言

空气源热泵因其绿色环保、安全舒适等特点,近年来在我国北方寒冷地区农村“煤改电”项目中

得到了广泛推广。已有不少学者围绕空气源热泵在北方农村住宅的供暖运行性能与运行效果进行研究。乐慧^[1,2]等人通过仿真模拟计算分析,给出以

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD1100704)

作者简介:陈闪南(1996-),男,硕士研究生,E-mail:834289595@qq.com

通讯作者:张华玲(1967-),女,博士,教授,E-mail:hlzhang@cqu.edu.cn

收稿日期:2023-10-20

京津冀地区 600 万户农户全部采用空气源热泵供暖方式时, 农户的供暖效果和京津冀电网的变化。杨秩勋^[3]以天津农村住宅为对象进行研究, 对以散热器为末端的典型住户和以风机盘管为末端的典型住户各 1 户进行现场实测, 实测结果表明, 散热器用户室内平均温度约为 16.3℃, 机组 COP 约为 2.28; 风机盘管用户室内平均温度约为 17.9℃, 机组 COP 约为 2.21, 空气源热泵应用于天津地区农村住宅供暖表现性能良好。张春林^[4]等人比较了单级压缩热泵循环和双级压缩热泵循环在煤改电项目中设计参数的差异, 结合项目实例说明双级压缩空气源热泵的运行效果。胡文举^[5]等人对北京市某农村住宅空气源热泵-散热器低温供暖系统进行实测, 测试结果表明, 该系统可以满足室内热舒适性的要求, 室内温度维持在 15℃ 以上, 且温度分布均匀。张鹏娥^[6]等人在北方农村地区建立热泵供暖示范户, 对环境温度、热泵的进出风温度、耗电量等数据进行监测, 通过对监测数据的分析验证了使用双级压缩变频增焓技术的空气源热泵在北方农村冬季供暖的可行性与经济性。马荣江^[7]等人在北京农村地区的调研与测试结果表明, 空气源热泵热风机在北京冬季室外气温条件下可正常运行, 被调研保温农宅供暖季单位供暖面积电耗为 23kWh/m²~33kWh/m², 单位供暖面积电费在 9 元/m²~12 元/m² 之间。李爱松^[8]等人选取了北京地区 15 个典型住宅空气源热泵供暖系统进行供暖期监测, 结果表明, 空气源热泵系统在农村的实际应用效果较好, 供暖末端形式对系统 COP 具有显著影响, 变频压缩技术有助于系统 COP 的提升。

现有研究大多为空气源热泵在冬季供暖工况下的运行实测分析, 缺少对用户侧的使用情况和供暖需求的调查研究。为此, 本文选取河北省保定市农村煤改空气源热泵用户进行实地调研, 基于调研情况对农村居民在空气源热泵使用中存在的问题作进一步分析并提出相应改进建议, 以期农村地区空气源热泵技术进一步推广提供相关参考。

1 调研基本情况

1.1 调研对象概况

调研时间为 2020 年 12 月 15 日至 2021 年 1 月 14 日, 调研对象为 2020 年前完成热源清洁化改造、安装的供暖系统为空气源热泵热水机组系统且系

统正式投入使用时间不少于 1 个供暖季的农村住户。调研地区的室外气象参数^[9,10]如表 1 所示, 调研期间所在地区逐时室外空气温湿度与太阳辐照量情况如图 1 所示, 其中, 室外温度在 -20℃~9℃ 之间波动, 室外平均温度为 -5℃, 室外相对湿度在 15%~80% 范围内变化, 室外平均相对湿度为 41.2%, 日累计太阳辐照量大多处于 4.18~10.61MJ/(m²·d), 天气总体上以晴天为主。

表 1 保定地区室外气象参数

Table 1 Outdoor meteorological parameters in Baoding area

调研农村所在地	气候区属	最冷月平均温度 (°C)	供暖室外计算温度 (°C)	计算供暖期天数 (d)	累年最低日平均温度 (°C)
	寒冷地区				
保定区 (2B 区)		-2.3	-6.4	108	-12.5

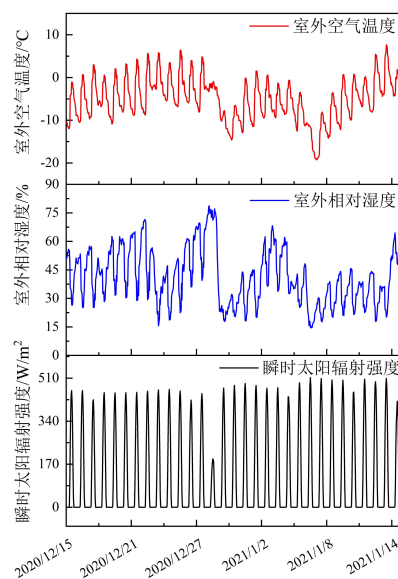


图 1 调研期间保定地区室外温湿度与太阳辐照量

Fig.1 The outdoor temperature, humidity, and solar radiation in Baoding area during the investigation

1.2 调研方式及内容

调研采取随机走访+问卷调查+现场测试的方式。通过入户观察以及与每户村民访谈式的面对面询问获取相应调研数据并记录在调查问卷上, 调查问卷的内容设置如表 2 所示。同时, 对调研农宅供暖室内温度进行测量, 所用测量仪器的参数如表 3

所示，测量仪器采集数据的时间间隔设定为 30s，每户农宅的测量时间为 10 分钟，测量前依据《民用建筑室内热湿环境评价标准》^[11]中测点位置和数

量的要求对农宅进行室内温度测点的布置，测量结束后取测量时间点数据的算术平均值作为农宅供暖室内温度。

表 2 调查问卷内容

Table 2 Content of the questionnaire survey

问卷板块	调查内容
主观问卷	农村居民用热习惯、空气源热泵供暖农户满意度情况调查
客观问卷	家庭基本信息、农村住宅围护结构概况、农宅空气源热泵供暖系统安装概况、农宅供暖费用

表 3 测量仪器参数

Table 3 Parameters of measuring instruments

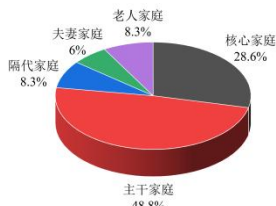
仪器名称	型号	温度测量范围	测量精度	分辨率	适用范围
温度记录仪	ONSET HOBO UX100-011	-20℃~ 70℃	±0.21℃ (0~50℃时)	0.024℃ (25℃时)	室内

2 调研结果分析

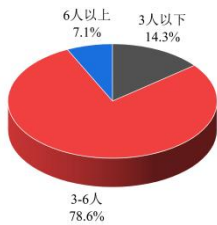
调研共走访了 84 户农村家庭，受访者人数达 125 人，受访者的男女比例为 66:59，受访者为调研家庭中对家庭生活方式有充分了解的家庭成员。

2.1 农村家庭基本情况

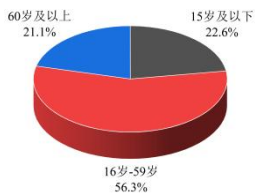
对调研农户的家庭结构类型、家庭人口数量、家庭成员年龄及家庭年收入进行统计，所得结果如图 2 所示。



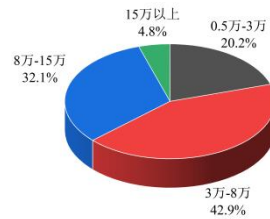
(a) 家庭结构类型分布



(b) 家庭人口数量分布



(c) 人口年龄分布



(d) 家庭年收入分布

图 2 农村家庭基本信息

Fig.2 Basic information of rural families

从图 2 (a) 可以看出，调研家庭的家庭结构类型包括核心家庭、主干家庭、隔代家庭、夫妻家庭和老人家庭，分别占调研总户数的 28.6%、48.8%、8.3%、6.0%和 8.3%。从图 2 (b) 可以看出，家庭人口数量为 3~6 人的农村家庭比例最大，占比为 78.6%，其次为 3 人以下的家庭，6 人以上的家庭占比最少。从图 2 (c) 可以看出，调研农村家庭中，60 岁及以上的老人和 15 岁及以下的儿童比例基本接近 1:1，中青年群体的比例最大，占到调研家庭总人口数量的 56.3%。从图 2 (d) 可以看出，调研家庭的年收入在 3 万~8 万的比例最大，超过 15 万及低于 3 万的家庭比例相对较少。

2.2 农村住宅建筑概况

调研农村家庭的住宅建筑为单户独栋的自建房，建造时间大多在 1980-2010 年期间，建筑朝向一般为坐北朝南，建筑结构形式以砖混结构为主，建筑体系系数和窗墙比较大，单体建筑的平面形式基本为长方形。住宅总体上以单层房屋居多，层高

一般在 3~4.5m 左右, 建筑总面积大多介于 70~200m² 之间。从功能布局上看, 住宅空间一般由卧室、客厅、卫生间、厨房和储藏间组成, 其中, 客厅数量一般为 1~2 个, 卧室数量一般为 2~4 个,

厨房和卫生间数量一般各为 1 个。典型的农村住宅建筑平面布局形式有一字型布局、L 字型布局和 U 字形布局, 如图 3 所示。

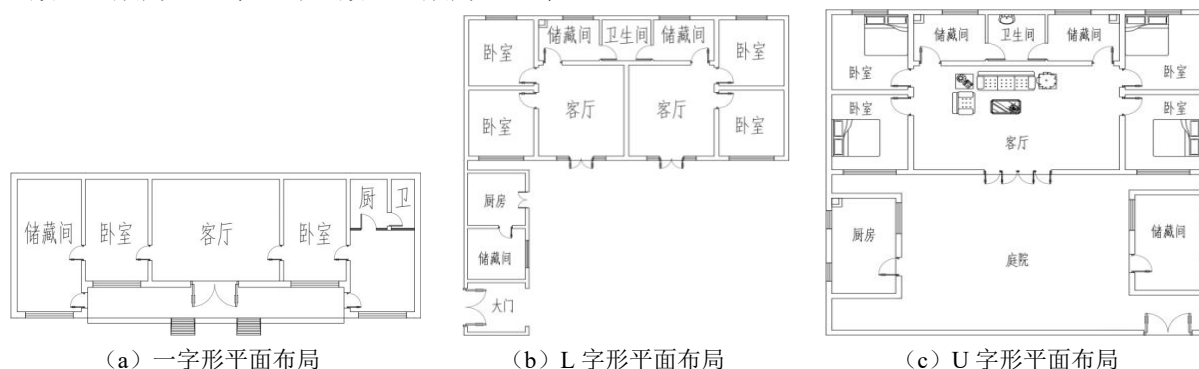


图 3 农村住宅建筑平面布局形式

Fig.3 Layout form of rural residential buildings

2.3 农村住宅围护结构概况

调研农宅围护结构信息统计结果如表 4 所示。根据表 4 中的调研数据结合实地走访情况发现, 大部分的农村住户因节能意识欠缺以及受经济条件制约未对住宅围护结构采取保温措施, 农村住宅建筑围护结构热工性能整体上较差, 超过 80% 的调研

农宅围护结构传热系数没有满足《农村居住建筑节能设计标准》^[12] 的限值要求。除此以外, 调研还发现部分农宅由于门窗缝隙较大导致冷风渗透现象较为严重, 不仅对室内供暖温度造成影响, 而且增加了农宅冬季供暖热负荷。可见农村住宅在建筑节能以及室内环境热舒适性提升上还存在较大潜力。

表 4 农村住宅围护结构信息

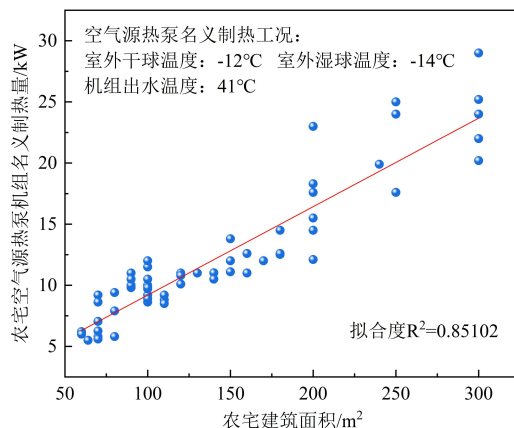
Table 4 Information on the enclosure structure of rural residential buildings

围护结构部位	类型	户数占比	详情
外墙	实心粘土砖墙	83.3%	农村住宅建筑外墙大多为 370mm 厚的实心黏土砖墙 (内墙一般为 240mm 厚的实心黏土砖墙), 外饰面为水泥砂浆抹面或涂料饰面或瓷砖贴面, 墙体基本不保温, 仅 7.1% 的调研农宅外墙设置了保温层, 保温材料为聚苯保温板
	混凝土砌块墙体	10.7%	
	钢筋混凝土墙	6.0%	
屋面	木屋架	41.7%	农村住宅建筑屋顶以平屋顶居多且基本不设保温措施, 仅 4.8% 的调研农户对屋顶做了系统的保温处理, 保温材料为膨胀聚苯板 (EPS 保温板)、挤塑聚苯板 (XPS 保温板)
	预制钢筋混凝土板构造	44.0%	
	现浇钢筋混凝土板构造	14.3%	
门窗	木门窗	38.1%	老旧农宅的外门窗一般为木门窗, 门窗气密性不佳, 普通铝合金门窗和塑钢门窗在近 20 年建造的农宅中应用较为广泛, 断桥铝门窗比例最少, 通常只被少数经济条件较好的家庭所采用。农宅门窗玻璃类型大多为单层玻璃, 采用双层玻璃或中空玻璃的农宅仅占调研家庭总数的 19%。冬季门窗基本保持关闭状态, 很少有农户会开窗通风, 室内空气流通状况欠佳。为了减少室内热量散失, 调研农宅中常见的门窗保温措施有在外门上安装棉门帘、窗户上加贴塑料膜等
	普通铝合金门窗	39.3%	
	塑钢门窗	19.0%	
	断桥铝门窗	3.6%	
地面	水泥地面	25.0%	地面基本不设保温层
	瓷砖地面	75.0%	

2.4 农村住宅空气源热泵供暖系统安装概况

调研农宅安装的空气源热泵供暖系统一般由空气源热泵机组、循环水泵、缓冲水箱、供暖末端及供回水管路等组成。其中,空气源热泵机组大多为一户一机,少数建筑面积较大的农宅机组安装数量为2~3台,多台机组安装时采用并联形式。机组总体上以定频机占多数,变频机的比例不到50%。按照结构不同,机组可分为整体式机组和分体式机组。整体式机组是将蒸发器、压缩机和冷凝器等部件集中安置在室外机箱中,供暖末端与机组进出口热水接管相连。分体式机组是将压缩机和蒸发器等部件安置在室外,集成一室外机,包含冷凝器在内的水力模块安置在室内,集成一室内机,室内外机组通过制冷剂管道相连,供暖末端与室内机进出口水管相连。和整体式机组相比,分体式机组管路的防冻性能更优。从机组技术参数来看,单台空气源热泵机组的名义制热量在5.5kW~14.5kW不等,名义制热性能系数 COP_h 在2.20~2.44范围内,综合部分负荷性能系数IPLV(H)介于2.65~3.10之间。机组启停通常是由农户设定的出水温度控制,当检测到水温达到设定出水温度值时,机组自动停机,当水温低于设定出水温度值时,机组自动启动。机组的最高出水温度一般为55℃,少部分机组可实现最高60~65℃左右的出水温度。

进一步探究空气源热泵机组容量与农宅建筑面积的关系,由于空气源热泵机组制热量会随室外工况以及机组出水温度改变而发生变化,考虑到机组制造时间在新标准^[13]实施日期以前,且不同品牌的机组其铭牌上给出的名义制热量对应的试验工况可能存在一定差距。为了保证试验工况的一致性,同时又尽可能涵盖到更多的调研家庭,筛选出产品参数中能提供在室外干球温度:-12℃,室外湿球温度:-14℃,机组出水温度:41℃条件下空气源热泵机组名义制热量数据的这部分机组,将这些机组在该工况下的名义制热量与农宅的建筑面积进行一一对应,共得到65组数据,具体如图4所示。从图4中的拟合结果可以看出,农宅安装的空气源热泵机组容量与农宅建筑面积基本呈正相关(相关系数 $R^2=0.85102$)。



注:农宅安装空气源热泵机组数量为一台以上的,按照每台机组名义制热量之和计算

图4 空气源热泵机组容量与农宅建筑面积对应关系

Fig.4 The corresponding relationship between the heating capacity of air source heat pump units and the building area of rural residential buildings

供暖系统中的循环水泵均为定频水泵,机组开机期间水泵持续不间断运行。缓冲水箱主要用来增加系统水容量从而起到减少空气源热泵启停次数的作用,部分缓冲水箱内还带有辅助电加热装置。室内供暖末端类型有散热器、风机盘管和地板辐射末端三种,在调研农宅中的比例分别为47.6%、34.5%和17.9%。从末端的应用特点来看,散热器在安装和维修方面较其他两种末端更为方便,但因需要明装故会占用住宅有效空间,采用风机盘管为末端具有启动后室温提升迅速,调控方便等优势,但往往容易造成室内温度分布不均,地板辐射末端供暖的热舒适性较好,但后期维护难度高。

2.5 农村居民用热习惯

调研农宅供暖时间一般是从每年11月15日开始,直至次年3月15日,时间跨度在4个月(120天)左右。与城镇居民不同的是,由于经常出入室内外的生活习惯,为了便利起见,省去频繁增减衣物的麻烦,同时也为抵御寒冷,农村居民在供暖室内穿衣较厚,秋衣、秋裤、厚毛衣、厚夹克/棉服、毛裤、厚长裤、棉袜和棉鞋等是农户居家时常见的衣着方式。对农村住户在供暖季期间的用热习惯进行访谈调研,访谈内容包括空气源热泵机组使用模式、农宅供暖房间、农户对供暖系统的调控行为等。需要说明的是,本次调研针对的是农村住户日常的用热习惯,事实上,由于亲人返乡探亲等原因,农户在节假日时的用热行为与平时存在较大差异,节假日的农户行为模式还有待作进一步调查和分析。

2.5.1 空气源热泵机组使用模式

图 5 显示了调研农村住户空气源热泵机组使用模式比例分布情况。从图 5 可以看出, 机组全天开启模式的比例为 65.5%, 占比最高, 这与马坤茹等^[4]调研的结果近似, 说明保定地区农村住宅空气源热泵机组全天开启的使用特征最为明显。晚上开机, 白天关机占 13.1%, 采用该模式的农户大多在晚上休息前开启机组, 早上起床后关机。白天开机, 晚上关机的应用率为 2.4%, 表明机组只在白天供暖的运行方式比较罕见。家里有人就开, 没有人就关的比例占 17.8%, 可见, 农村住宅人员在室状态在一定程度上会影响机组的开关状态。值得注意的是, 有 1.2% 的农户因感觉到寒冷才开, 意味着存在少部分农户即使处于在室的情况下也不开启机组供暖, 只有当室内环境无法满足最低热舒适容忍度时才会开启机组进行供暖。

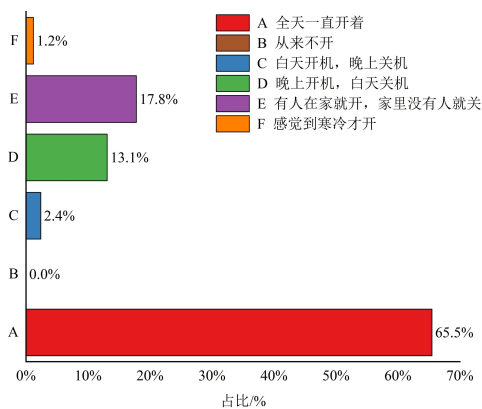


图 5 农宅空气源热泵机组使用模式

Fig.5 Usage modes of air source heat pump units in rural residential buildings

进一步分析空气源热泵机组使用模式与家庭结构的关系, 如图 6 所示。可以看出, 不同家庭结构的农村住户在机组使用模式上存在一定差异, 突出体现在主干家庭与隔代家庭空气源热泵机组使用模式大多是全天开启, 而核心家庭和夫妻家庭机组全天开启模式占据的比例不高, 分析其原因, 由于前者的家庭成员中包含有老人和小孩, 这两个群体通常在室时间较长且抵抗力较弱, 对室内热环境的舒适性要求较高, 因此更倾向于住宅全天供暖, 后者家中常住人口主要为中青年群体和青少年群体, 需要外出务工或上学的占大部分, 除休息日外, 平时上午 8 点到下午 6 点住宅人员的在室率较低, 到了晚上, 住宅人员相对集中, 供暖需求较大, 故

机组在工作日的运行模式大多是晚上连续运行, 较少以全天连续供暖模式运行, 这也部分解释了图 6 中核心家庭和夫妻家庭有人在家就开, 家里没有人就关的比例较高的原因。

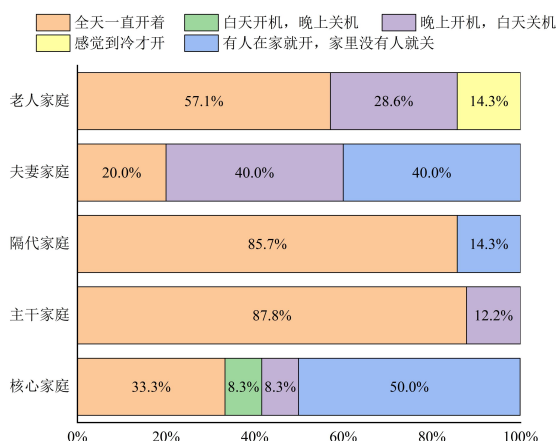


图 6 不同家庭结构下的空气源热泵机组使用模式

Fig.6 Usage modes of air source heat pump units under different household structures

2.5.2 农宅供暖房间

图 7 直观反映了调研农宅供暖房间功能及供暖房间数量统计结果。

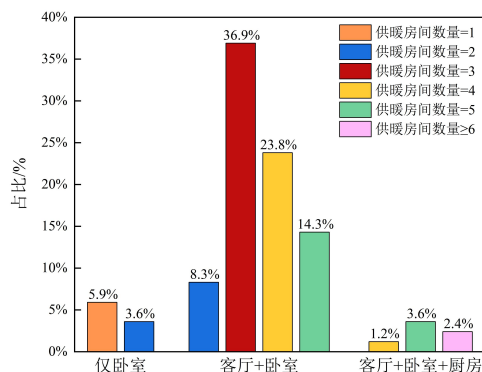


图 7 农宅供暖房间功能及供暖房间数量

Fig.7 Function and number of heating rooms of rural residential buildings

从图 7 可知, 83.3% 的农户只对住宅的客厅和卧室进行供暖, 7.2% 的农户除了对客厅和卧室供暖以外, 还对厨房进行供暖, 仅对卧室供暖的农户占比为 9.5%, 从以上数据可以看出农户在使用空气源热泵供暖时, 实际上只对住宅的部分空间进行供暖而非全部空间供暖, 呈现普遍特征的供暖房间为客厅和卧室, 其他房间的供暖率较低, 这是因为农户在家时大部分时间是待在卧室和客厅里, 其他功能房间停留时间较短, 因此卧室和客厅是农宅最主

要的供暖区域。另一方面，从图 7 还可以看出，供暖房间数量为 3 间的农宅所占比例最多，供暖房间数量≥6 间的农宅所占比例最少，总体而言，供暖房间数量为 3~5 间的农宅最为典型。

2.5.3 空气源热泵供暖系统人员调控行为

由于不同农宅供暖设备安装的差异，为便于比较和分析，在调研农户对空气源热泵供暖系统实施调控行为情况时关注的是农户是否对机组出水温度进行调节以及是否对房间供暖末端进行调控（末端调控包括调节以及开关末端设备）。

图 8 为采用不同供暖末端的农户在供暖季期间对供暖系统实施调控行为的情况。

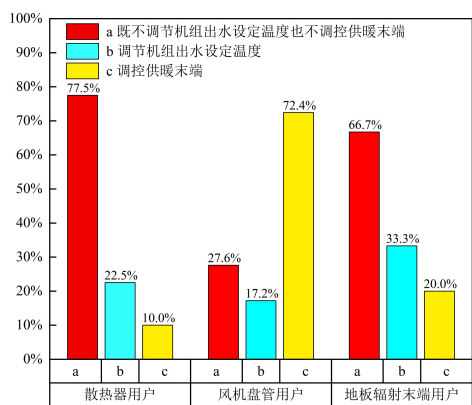


图 8 不同供暖末端用户供暖季实施调控行为分布

Fig.8 Distribution of control behaviors implemented by different heating terminal users during the heating season

可以看出，在以散热器为供暖末端的农户中，既不调节机组出水温度也不对末端设备采取调控措施的农户占比为 77.5%，在以风机盘管为供暖末端的农户中，不采取调控措施的农户比例不到 30%，在采用地板辐射末端的农户中，既不调节机组出水温度也不对末端设备采取调控措施的农户占 66.7%。从图 8 还可以看出，采用不同供暖末端的农户在实施机组出水设定温度调节这一行为上的比例相差不大。进一步调研了解到，不同末端用户机组出水设定温度调节行为的动机基本一致，主要是为增加室内热舒适性，例如室外温度较低时，农户会调高机组出水温度，或者出于固定日常习惯，例如在白天农户会调低机组出水温度，夜间会调高机组出水温度，很少有农户会因离家一段时间而主动调低机组出水设定温度。在对供暖末端实施调控行为上，风盘用户的比例要显著高于散热器用户和地板辐射末端用户，这主要是由风机盘管末端

本身的灵活可调性所致。调研中发现，不少供暖末端为风机盘管的农户往往会在离开房间一段时间情况下关闭房间末端风机盘管，当再次进入房间时再开启，同时，农户还会根据自身热感觉调节室内设定温度及风速档位，相较于其他两种末端形式，采用风机盘管更易实现农宅分室独立控温和房间供暖末端随时启停控制。

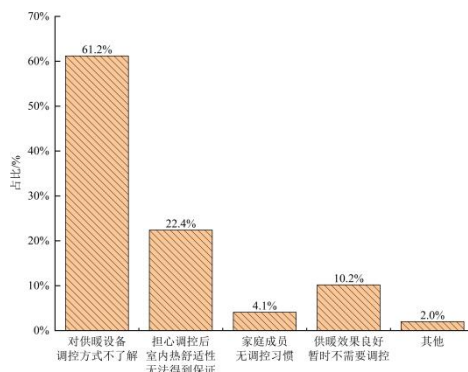


图 9 农村住户对供暖系统不采取调控措施原因

Fig.9 Reasons for rural residents not taking control measures on heating systems

另外，对既不调节机组出水温度也不对末端进行调控的农户进行原因问询，结果如图 9 所示。可以看出，大部分农户不采取调控措施的原因主要有两点，一是不了解供暖设备调控方式，二是担心调控后室内热舒适性无法得到保证。由此可见，农户目前还缺乏对空气源热泵系统使用的认识。

2.6 农宅空气源热泵供暖系统运行费用

如图 10 所示为调研农宅空气源热泵供暖系统供暖季运行费用分布情况。

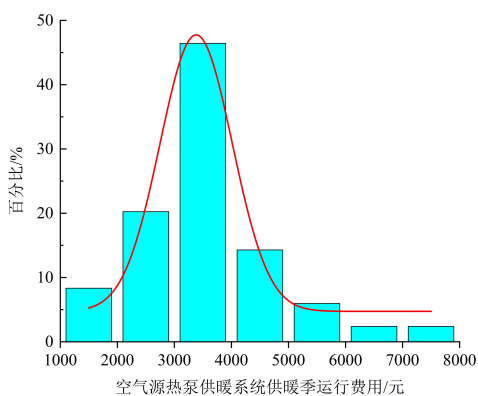


图 10 供暖季农宅空气源热泵供暖系统运行费用分布

Fig.10 Distribution of operating costs for air source heat pump heating systems in rural residential buildings during the heating season

可以看出, 农宅供暖季空气源热泵系统运行费用整体在 1000~8000 元范围内, 其中运行费用在 3000~4000 元这一区间的农宅占比最大, 户均运行费用达 3685 元, 单位面积运行费用为 11.25 元/m²~42.86 元/m², 单位面积运行费用的平均值为 28.68 元/m², 按照保定地区电价及煤改电补贴政策, 供暖季居民用电量在 1 万千瓦时以内电价为 0.32 元/kWh, 超过 1 万千瓦时的, 超出部分电价为 0.52 元/kWh, 则可计算得到调研农村住宅空气源热泵供暖系统单位面积供暖季耗电量为 31.25kWh/(m²·a)~133.93kWh/(m²·a), 单位面积供暖季耗电量的平均值为 87.2kWh/(m²·a)。

2.7 农宅供暖室内温度

农宅供暖室内温度的测量时间如图 11 所示, 其中格子中的不同颜色表示的是某农宅空气源热泵的运行模式与该农宅供暖室内温度测量时间段。

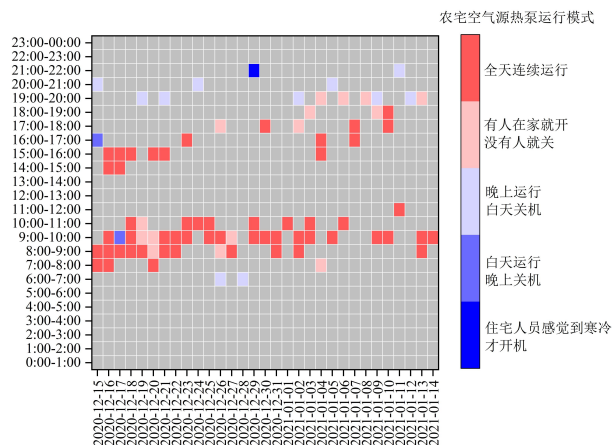


图 11 农村住宅供暖室内温度测量时段

Fig.11 Measurement period of indoor temperature in heating rooms of rural residential buildings

根据测量结果得到调研农村住宅空气源热泵供暖条件下的室内环境温度分布状况如图 12。

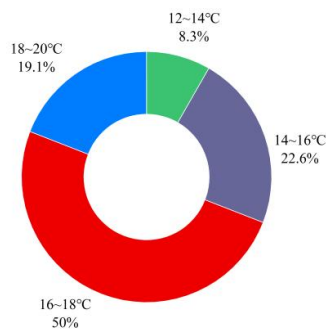


图 12 农村住宅供暖室内温度分布

Fig.12 Indoor temperature distribution of heating rooms in rural residential buildings

从图 12 可以看出, 调研农宅供暖室温主要集中在 16~18℃, 室温高于 18℃与室温低于 16℃的农宅分别占 19.1%和 30.9%, 和原先燃煤供暖相比, 农宅室温整体上有了明显提高, 但仍有部分农宅室温没有达到我国北方冬季供暖室内设计最低温度 16℃。

2.8 农户满意度情况

农户对空气源热泵供暖的满意度情况统计结果如图 13 所示, 由图 13 可以看出, 73.8%左右的受访农户对空气源热泵供暖总体表示满意, 20.2%的受访农户表示一般, 仅有 6%的受访农户觉得不太满意或很不满意。

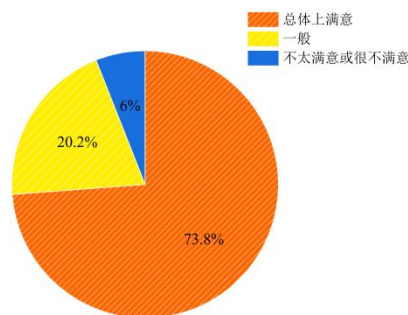


图 13 空气源热泵供暖农户满意度调查结果

Fig.13 Investigation results of satisfaction of rural residents with air source heat pump heating

农户对空气源热泵供暖感到不满意的地方或觉得还有待改进方面的统计结果如表 5。

表 5 空气源热泵供暖可能存在的不足

Table 5 Possible deficiencies in air source heat pump heating

您认为目前使用空气源热泵供暖存在以下哪些问题(可多选)	勾选此选项的农户数量	占比
供暖费用较高	27	32.1%
运行时产生噪声	11	13.1%
室内温度不高, 不够暖和	18	21.4%
供暖系统出现过故障	4	4.8%
其他(如有请填写)	13	15.5%

由表 5 可以看出, 32.1%的农户觉得供暖费用较高, 21.4%的农户认为室内温度不高, 不够暖和, 至于系统运行产生的噪声, 只有 13.1%的农户觉得有噪声, 大部分农户都认为可以接受或者没有感觉到有噪声。系统故障报修方面, 绝大多数农户家中安装的供暖系统从开始使用至今没有出现过故障问题, 本次调研仅 4 户农户反映系统有出现过故

障,具体故障包括空气源热泵机组运行功率过大导致电闸烧毁、空气源热泵机组长时间断电导致机组换热盘管冻裂、管道设计问题引起供暖系统水力失调导致不同房间冷热不均和由于水泵配置问题导致空气源热泵机组出现高压保护。除上述问题以外,在选项“其他(如有请填写)”中,部分采用散热器的农户反映供暖末端不具备调控功能,还有少量农户认为机组维护保养不太便利,厂家售后服务不够及时。

3 存在问题分析

通过本次调研发现热水型空气源热泵在保定地区农村住宅供暖应用中存在如下一些问题:

(1)从农户反馈结果来看,最为突出的问题在于空气源热泵供暖运行能耗较大,运行成本较高。根据调研实际情况,笔者认为该问题的产生和以下几点存在关联:a.本次调研的农宅大部分都是非节能建筑,完成节能改造的农宅比例不到20%,农宅围护结构热工性能总体上较差是导致农宅冬季供暖能耗偏高的一个重要原因;b.供暖末端为散热器的农宅比例将近50%,以散热器为末端,空气源热泵机组出水温度一般设置在45℃~55℃范围内,与风机盘管和地板辐射末端相比,机组供水温度较高,相同条件下,机组COP相对较低,节能效果有所下降;c.用户使用行为会影响空气源热泵运行能耗,调研结果显示有超过60%的农户空气源热泵机组的使用模式是全天开启,而其中近90%的农户整个供暖季不对房间末端和机组出水温度进行调控,意味着不少农宅主要功能房间一整个供暖季都在供暖,但实际上绝大部分农户并不是全天都待在家中,当人员不在室时,连续供暖可能会造成能源消耗的浪费;d.农宅安装的空气源热泵机组中定频机组比例大于变频机组,针对保定地区冬季室外气候条件,空气源热泵大部分时间都在部分负荷下运行,而定频机组相较于变频机组在部分负荷工况下的运行性能较低,运行能耗相对较大;e.空气源热泵机组选型时考虑的是农村住宅的建筑面积而非供暖面积。事实上,对于大部分农村建筑而言,供暖面积小于建筑面积,若以建筑面积作为机组选型依据之一可能会导致机组安装容量偏大,出现“大马拉小车”的现象,在这种情况下,机组选型超配从而使得机组实际制热量大于建筑热负荷,造

成机组启停频繁导致能耗增加。

(2)从供暖房间实测温度分布状况以及农户反馈的热感觉来看,部分农宅冬季室内温度不高,没有达到农户期望的热舒适度,这不仅与住宅围护结构保温性能较差有关,还与机组的制热能力有关,调研发现一些农宅安装的机组为普通型空气源热泵机组而非低温型空气源热泵机组,普通型空气源热泵机组在室外低温工况下运行时,制热量会出现较大幅度的衰减,引起室内供暖效果降低。

(3)一些空气源热泵机组因安装位置不妥当导致室外换热盘管表面有明显积灰,少部分机组周围甚至存在严重遮挡物,不利于供暖系统安全、高效运行。

4 小结和建议

本文通过对保定市农村煤改电用户开展实地入户调研,分析了农村地区居民空气源热泵热水机组的使用特征及供暖需求,得到的主要结论如下:

(1)保定地区60%以上的农村住户冬季热水型空气源热泵的使用模式为全天开启,且农户在使用期间不对空气源热泵机组出水温度以及房间供暖末端进行调控的占多数。

(2)保定地区农村住宅主要供暖区域为客厅和卧室,厨房和卫生间等其他区域基本不供暖。

(3)热水型空气源热泵供暖条件下,保定地区农村住宅室内温度主要集中在16~18℃,室内温度高于18℃与室内温度低于16℃的农宅占比分别为19.1%和30.9%。

(4)采用热水型空气源热泵供暖,总体上可以满足农户基本的热需求。运行能耗大、供暖费用高与供暖房间热舒适性不佳是目前热水型空气源热泵在保定农村地区实际应用中存在的主要问题。

针对目前供暖方式存在的不足,提出以下几点建议:

(1)对于已完成热源侧改造的农村住户,应进一步对住宅建筑进行节能改造,提升建筑围护结构保温性能,实现降低供暖热负荷以及提升室内热舒适性目的;对于还未完成热源侧改造的农村住户,应优先完成住宅节能改造,再完成热源清洁化改造;

(2)选择热水型空气源热泵供暖时,应根据住宅实际情况合理设计选型,避免因机组容量过大

导致能量损耗增加,供暖末端方面,建议选择具有灵活可调性的低温独立末端,使农宅房间供暖运行调节简单方便,农户既可以根据人员在室情况对房间末端进行随时启停控制实现“部分时间、部分空间”供暖调控,也可按实际供暖需求对供暖室温进行自主调节,从而更好地实现行为节能,降低供暖运行费用。

(3)此外,由于保定地区拥有丰富的太阳能资源,如家庭经济条件尚可,可结合太阳能热水系统,与空气源热泵系统形成互补供热,在保证室内供暖效果连续稳定同时进一步提高供暖系统运行能效。

参考文献:

- [1] 乐慧,李好玥,江亿.用空气源热泵实现农村采暖的“煤改电”同时为电力削峰填谷[J].中国能源,2016,38(11):9-15.
- [2] Hui Le, Haoyue Li, Yi Jiang. Using air source heat pump air heater for rural space heating and power peak load shifting[J]. Energy Procedia, 2017,122:631-636.
- [3] 杨秩勋.天津农村住宅空气源热泵供暖应用分析[D].天津:天津大学,2019.
- [4] 张春林,程港,钱志博.双级压缩空气源热泵在农村煤改电项目中的应用[J].建筑热能通风空调,2018,37(8):54-56,53.
- [5] 胡文举,张帅,李德英,等.北京地区空气源热泵供暖系统的应用研究[J].流体机械,2017,45(7):58-61,46.
- [6] 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(1):24-31.
- [7] 张鹏娥,许晨,马荣江,等.双级压缩变频增焓空气源热泵在北方农村的应用[J].制冷与空调,2016,16(2):88-91.
- [8] 李爱松,李忠,聂晶晶,等.北京农村空气源热泵供暖项目运行实测[J].暖通空调,2017,47(12):138-142,107.
- [9] GB 50176-2016,民用建筑热工设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [10] JGJ 26-2018,严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [11] GB/T 50785-2012,民用建筑室内热湿环境评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [12] GB/T 50824-2013,农村居住建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [13] GB/T 25127.2-2020,低环境温度空气源热泵(冷水)机组 第2部分:户用及类似用途的热泵(冷水)机组[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [14] 马坤茹,李雪峰,李思琦.河北省农村空气源热泵用户调查研究[J].煤气与热力,2020,40(4):13-15,42.