

邯郸市农村冬季清洁采暖现状和技术路线探究

南京林洋电力科技有限公司 ■ 齐宁宁* 张继皇
国网山东省电力公司聊城供电公司 ■ 魏晓蔚 岳玉先

摘要: 通过对具有代表性的河北省邯郸市农村用户的采暖现状进行调研,分析了针对分散型清洁采暖的5种技术路径的供暖特性及经济性,提出邯郸市农村家庭冬季可采用多种技术路线优化组合的“煤改电”清洁采暖方案,以达到投资成本低、电网增容小、采暖费用合理、设备运行可控、售后服务及时的目的。

关键词: 农村采暖;分散型清洁采暖;煤改电;技术路线

0 引言

河北农村家庭供暖方式以分散自供暖为主,在积极开展的“煤改清洁能源”工作中,主要是以“煤改电”和“煤改气”作为技术路径。由于受燃气管网铺设的限制,以及考虑到管网的成本、安全可靠、气源稳定性、低氮排放的合格性等多方面的因素,“煤改气”并非最科学、精准的选择。在“煤改电”不断推进的过程中,各种电采暖方式各有利弊,需因地制宜^[1]。而且,随着电采暖的规模不断扩大,单一的采暖方式使得电网公司出现短时电力供应紧张的情况,由此也反映出农村清洁采暖存在缺乏统筹规划和科学管理等问题。

在不断探索清洁采暖方式的过程中,为破解目前能源单一及电力供应紧张的难题,2018年,河北省出台了《河北省农村地区太阳能取暖试点实施方案》,希望通过科学试点示范,形成可靠性好、性价比高、适宜推广的农村清洁采暖解决方案;同时,河北省拟定完成试点“太阳能光伏+采暖”8500户,“煤改电”31.9万户的目标。

在此政策的推动下,河北省农户承受的清洁采暖压力大的问题一定会有所改善。但是,农户能源利用效率低及农村地区“一刀切”的采暖技术仍存在一定弊端,依然无法实现电力供需平衡和保障重点用户用电等问题。

为有效缓解农户冬季采暖负荷大及改善可能出现的短时供应紧张的情况,本着“按需采暖、精准供热、科学用电、减少投资、减低能耗”的原则,本文通过对邯郸市农村家庭采暖现状的调研,并对5种分散型清洁采暖技术进行对比,得出了合理的可复制、可推广的示范性项目方案。以邯郸市农村的情况为例,可为河北省的冬季清洁采暖解决方案提供参考。

1 邯郸市农村采暖现状调研情况

1.1 调研现状及结果

河北农村地区基本无集中采暖,主要是以分散型供暖为主^[2]。通过对邯郸市农村中具有一定普遍性和代表性的肥乡区田寨村的520户农户进

收稿日期:2018-11-20

通信作者:齐宁宁(1991—),女,硕士,主要从事能源电力方面的研究。729127136@qq.com

行问卷调查,了解了居民现有的房屋结构、采暖现状及用户的采暖费用等信息情况。

1) 地区概况:田寨村位于邯郸市以东 15 km,全村共 520 户居民,常住人口约 2100 人,人均年收入为 12500 元(全省农村人均年收入为 12881 元)。

2) 房屋结构:全村 468 户为近 20 年内建成的砖瓦房,主要为主房加耳房结构,屋内高度为 4 m,墙体以 37 墙砖混结构、木窗和铝合金单层窗户为主,建筑围护结构的保温质量较差。

3) 采暖形式:全村以燃煤采暖为主,以电空调采暖为辅。以燃煤为热源的末端有小煤炉、暖气片 and 地暖 3 种形式。图 1 为居民采暖形式比例分布情况,其中,燃煤占 94%。

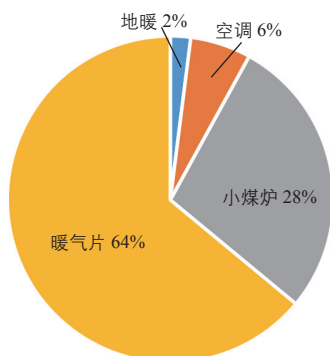


图 1 居民采暖形式比例分布图

4) 室内平均温度:采暖季室内平均温度约为 12℃,采暖质量较差。

5) 用户采暖面积:全村采暖面积不等。图 2 为所调研 520 户居民的实际采暖面积比例分布图。由图可以看出,居民采暖面积大多低于 100 m²。

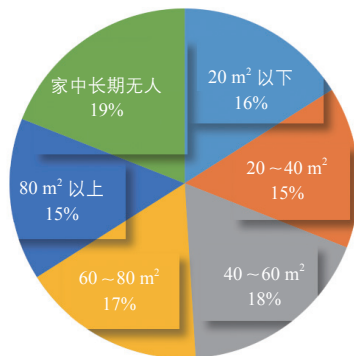


图 2 居民实际采暖面积比例分布图

6) 采暖费用:每户居民的采暖燃煤约为 1~2.5 t/年,采暖费用约为 1000~2500 元/年。采用电采暖的用户的电费超过 2500 元/年,较费电。

7) 采暖时长:约 120 天。

以上信息可代表邯郸市农村用户的基本现状,为加大河北省农村地区清洁采暖能源方案的普及和实施提供了科学的数据分析依据。

1.2 调研结果分析

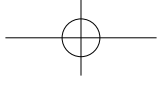
田寨村农户的采暖方式多样,但仍以燃煤为主,由此可见,农村采暖存在很大的可优化空间,对农村实施清洁采暖的任务迫在眉睫。根据实测数据,室内采暖温度仅约为 12℃,这也是采暖成本低的主要因素。此外,房屋的空心化比例高,一些房屋长期无人居住,住户只在春节期间回家小住。考虑到农村居民采暖需求受经济条件的限制,以及采暖费用受房屋保温质量和村民生活习惯等因素的影响,因此,应根据居民的实际情况来选择合适的采暖模式。

2 5 种主要的分散型清洁采暖技术的应用分析

现有的分散型清洁采暖技术主要有:蓄联热泵系统、热泵热风机、热水型空气源热泵系统、碳晶电热板和电磁加热式相变蓄热技术,下文对这 5 种技术路径的供暖特性及经济性进行了分析。

1) 蓄联热泵系统。该系统通过相变蓄能模块连接一次侧空气源热泵模块和二次侧水源热泵模块,可有效缓解空气源热泵低温环境能效低、水源热泵受区域限制及成本高等问题,提高设备的可靠性及压缩机的寿命,降低设备的运行成本,同时可解决极寒天气的采暖问题。

此系统适用于集中供暖地区,能效高、运行成本低,在室外温度为 -12℃、出水温度为 45℃时,能效比(COP)为 2.3,比空气源热泵高 30%。系统在室外温度为 -25℃时可稳定运行,解决了极寒天气运行难的问题,具有较强的低温适应能力;系统标准出水温度为 60℃,既适用于铸铁暖气片,也适用于地暖和风机盘管等末



端,提高了舒适性;同时系统可夏季制冷、冬季制热,制冷时 COP 比空气源热泵高 30%,省去了空调的设备成本,一机两用^[3]。

2) 热泵热风机。该设备利用压缩机运转工作,通过冷媒将吸收的室外空气中的热量传输到室内产生热风。设备形式有“一拖一”型、“一拖二”型及“一拖多”型 3 种。其中,“一拖二”型是指由 1 台室外机连接 2 台室内机,各室内机独立运行,可根据室内温度、时间等参数来控制设备启停、风量大小。

由于设备直接出热风,不需要经过热水换热,因此其 COP 相对于热水型空气源热泵较高,在室外温度为 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、出风温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其 COP 为 2.3。机组无需增设采暖末端,既降低了工程安装难度,又降低了成本;由于室内多台热风机独立运行、独立控制,可灵活调节室温,有人即开,无人即关,运行省电;同时,制冷剂为能量输配介质,无冻结风险,设备运行时室内机直接加热空气,出热迅速^[4]。

本文以“一拖二”低温型热泵热风机为例进行分析。

3) 热水型空气源热泵系统。该系统制热时通过压缩机运转工作,以极少的电能,吸收空气中的热量对水进行加热,再通过热水在采暖末端的循环提升室内温度^[5]。由于选用低温补气增焓型压缩机,因此该系统的 COP 高、低温性能较好,通常在室外温度为 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、出水温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其 COP 为 2.0。系统相对出水温度的理论值可达 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,实际也可达 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

4) 碳晶电热板。该设备为一种新型的采暖设备,通过碳原子之间摩擦、碰撞产生大量热量,再经过红外发射剂将热量传递到室内。其通电 $10\sim 15\text{ min}$ 就可达到设定温度,热效率高。

该设备的主要特点是精准用电、恒温运行;设备的发热板、隔热层均为环保材料,使用中无任何有害物质排放,能给用户提供一个舒适安全的环境^[6]。

5) 电磁加热式相变蓄热技术。该技术主要以相变潜热方式蓄热,在谷电时段开启电加热,往室内供热,同时蓄热,蓄热完成后,停止电加热;在非谷电时段,利用储存的热量向室内供热,保证用户在减少电费支出的同时,获得持续稳定的供热,以达到既经济节能又舒适的效果。

该系统的最大特点是可将低谷时段的负荷需求转移到高峰时段,适用于峰谷电价差大、低谷时段电价较低的区域,可大幅度降低用户的运行费用^[7]。同时系统的相变蓄热材料选用相变石蜡,占地面积小;系统出水温度高,可达 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,适合暖气片、风机盘管和地暖等末端方式,可取得良好的采暖效果。

3 试验情况及技术经济性分析

3.1 试验内容

本文根据 5 种清洁采暖技术的特点,选取了 13 户住宅进行研究。具体选取情况如下:

1) 选取 6 户位置相对集中的用户,采用蓄联热泵系统,系统由 1 台 15 kW 室外机提供动力,控制 6 台 2.2 kW 室内机;2) 选取 1 户采用“一拖二”低温型热泵热风机,设备功率为 2 kW ;3) 选取 1 户采用电磁加热式相变蓄热技术,设备功率为 12 kW ;4) 选取 4 户采用碳晶电热板,每户设备平均功率为 3 kW ;5) 选取 1 户采用热水型空气源热泵系统,设备功率为 4.6 kW 。

对采暖季 2018 年 2 月 8 日~3 月 9 日共计 30 天的室内温度和设备耗电量进行实时在线监测,同时,设定室内温度为 $15\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (若居民烧煤,室内平均温度约为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$;根据调研结果,绝大多数居民认为室内温度为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 较为满意)。在采暖房间中心位悬挂温度计记录室内温度变化,每天 09:00、12:00、18:00 共记录 3 次,30 天的数据求平均值得出室内平均温度;按居民峰时电价 $0.55/\text{kWh}$ 、谷时电价 $0.3\text{ 元}/\text{kWh}$ 得出测试期总电费。具体数据如表 1 所示。

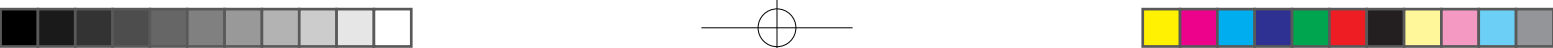


表 1 5 种采暖技术试验结果汇总

技术类型	采暖户数 / 户	供暖面积 /m ²	初投资成本 / 元	测试期耗电量 /kWh	测试期总电费 / 元	室内平均温度 /℃
蓄联热泵	6	606.9	108000	7297	3101	14.8
“一拖二”低温型 热泵热风机	1	49.5	9000	619	263	14.7
热水型空气源热泵	1	90.0	18000	1394	592	14.7
电磁加热式相变蓄热	1	80.0	22000	2518	1070	15.3
碳晶电热板	4	73.7	3250	1659	705	14.2

3.2 试验分析

基于测试期合理的耗电量推算，同时需考虑

测试期和整个采暖季的室内外平均温差，采用温差比对采暖耗电量进行修正。具体修正方式为：

$$\text{单位面积年采暖耗电量} = \frac{\text{测试期耗电量}}{\text{采暖面积} \times \text{测试期采暖日数}} \times \text{年采暖日数} \times \frac{\text{采暖季室内外平均温差}}{\text{测试期室内外平均温差}} \quad (1)$$

其中，采暖季室内外平均温差的计算式为：

$$\text{采暖季室内外平均温差} = \text{室内平均温度} - \text{室外平均温度} \quad (2)$$

式中，室内平均温度取 15℃；室外温度根据气象台提供的邯郸市肥乡地区 2017 年 11 月 15 日~2018 年 3 月 15 日的气象数据，取平均气温 2℃。

按照当地采暖习惯，当日均气温超过 10℃时，为节约电费，村民会停止采暖设备运行。按气象台提供的数据，肥乡地区在 2017 年 11 月 15 日~2018 年 3 月 15 日期间，日均气温小于 10℃的日数共计 115 天。

由此分析得出 5 种采暖技术的年运行成本情况，具体如表 2 所示。

表 2 5 种采暖技术的年运行成本情况

技术名称	适用面积 /m ²	总投资成本 / 元	年运行成本 / 元		电网增容 /kW
			不含补贴	含补贴	
蓄联热泵	100	18000	1958	1498	4.7
“一拖二”低温型 热泵热风机	60	9000	1224	936	2.0
电磁加热式相变蓄热	80	22000	2764	922	12.0
碳晶电热板	20	750	775	593	3.0
热水型空气源热泵	100	18000	2083	1593	4.6

注：补贴政策为谷时电价补贴 0.2 元 /kWh

3.3 经济性分析对比

不考虑电网增容成本时，仅从采暖单位面积年运行成本及设备投资成本分析发现，5 种采暖技术的单位面积年综合运行成本差别较大，单位面积年综合运行成本从低到高依次为蓄联热泵、“一拖二”低温型热泵热风机、热水型空气源热泵、碳晶电热板、电磁加热式相变蓄热，

具体如图 3 所示。

若将电网增容成本均摊到供暖设备寿命期内，5 种采暖技术的单位面积年综合运行成本从低到高依次为：蓄联热泵、“一拖二”低温型热泵热风机、热水型空气源热泵、碳晶电热板、电磁加热式相变蓄热，具体如图 4 所示。

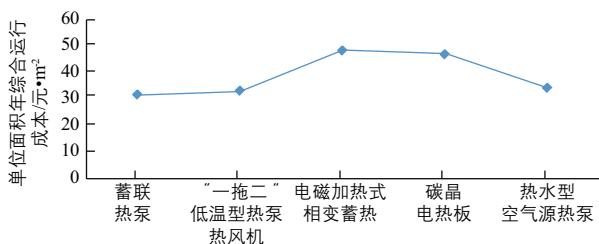
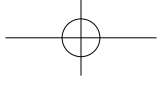


图3 不考虑电网增容成本时,5种采暖技术的单位面积年综合运行成本情况

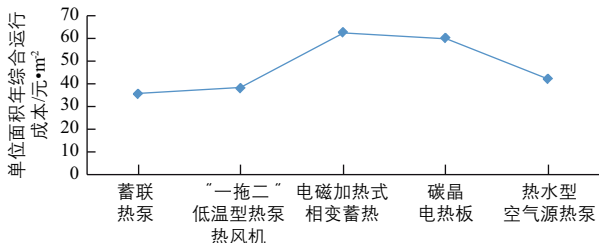


图4 考虑电网增容成本时,5种采暖技术的单位面积年综合运行成本情况

3.4 5种采暖技术试验总结

通过上述分析可知,每种采暖方式适用范围和条件各不相同。由于蓄联热泵系统的室外机属于集中供暖设备,其运行所产生的电费需由用户分摊,并且设备需由专人进行管理维护,因此不适用于分散采暖的农村地区,但适用于学校、城镇小区、商业大楼等集中供热区域,且设备的年综合能效最高。“一拖二”低温型热泵热风机适用于采暖面积在 60 m^2 以下的农户,是农村“煤改电”最经济的选择。热水型空气源热泵适用于采暖面积在 80 m^2 以上的农户,能效比高,采暖舒适性好。这3种系统由于具有较高的能效比,

故电网增容小且电网增容成本低,尤其是“一拖二”低温型热泵热风机,冬季采暖季每户只需要增加 2 kW 的负荷。而电磁加热式相变蓄热技术和碳晶电热板都属于直热式加热方式,性价比不高,电磁加热式相变蓄热技术适用于峰谷电价差较大的地区,碳晶电热板技术适用于家中长期无人或偶尔需要采暖的用户或学校,投资成本低。

4 农村可行性实施原则

4.1 农村“煤改电”解决方案

通过以上数据分析可知,蓄联热泵系统的年综合运行成本最低,但其只适用于城镇住宅小区、学校、医院、商业办公楼、党政机关等集中供热区域。碳晶电热板属于直热式技术,生产成本低,运行成本高,适用于偶尔需要采暖或夜间采暖的用户。“一拖二”低温型热泵热风机的性价比最高,不但电网增容量小,户内也无需增容换线,而且1台室外机带动2台室内机,可满足农村用户2个和2个以上房间的采暖需求,大幅降低了产品的成本。因此,采暖面积 60 m^2 以下的农户,建议选用1台“一拖二”低温型热泵热风机;对于采暖面积为 $60\sim 80\text{ m}^2$ 的用户,可采用1台“‘一拖二’低温型热泵热风机+碳晶电热板”的方式。对于采暖面积为 $80\sim 100\text{ m}^2$ 的用户,可选用2台“一拖二”低温型热泵热风机或1台热水型空气源热泵。具体解决方案如表3所示。

表3 农村采暖组合式解决方案的经济性分析

单户采暖面积/ m^2	选用技术方式	投资成本/ $\text{元}\cdot\text{户}^{-1}$	电网增容/ kW	总耗电量/ $\text{kWh}\cdot\text{年}^{-1}$	年总运行电费(含补贴)/ $\text{元}\cdot\text{年}^{-1}$
<60	1台“一拖二”低温型热泵热风机	9000	2.0	2880	936
60~80	1台“‘一拖二’低温型热泵热风机+碳晶电热板”	9750	5.0	4703	1529
80~100	2台“一拖二”低温型热泵热风机或1台热水型空气源热泵	18000	4.6	4902	1593

对于具体的采暖方式,可根据农户的实际情况进行组合,按需采暖,灵活选取不同技术,由此得到设计投资最小、效果最好的节约能源技术优化组合方案。

4.2 实施“煤改电”节能减排效益

若将全村 520 户居民按农村“煤改电”解决方案中的方式分配“煤改电”技术方案:对于家中长期无人的 99 户住户,考虑到地方政策补贴,建议采用“一拖二”低温型热泵热风机方案,最终采纳此方式的用户共 354 户,单户燃煤替代量达 1.3 t;采用“‘一拖二’低温型热泵热风机+碳晶电热板”的住户共 88 户,单户燃煤替代量达 2.1 t;采用热水型空气源热泵的住户共 78 户,单户燃煤替代量达 2.7 t。单户燃煤替代量是根据性能参数监测得到的建筑供热量与散煤热值及民用水暖煤炉热效率综合计算得出的。全村共实现燃煤替代量 855.6 t^[8]。

5 总结与建议

本文通过对邯郸市肥乡地区田寨村 520 户居民的调研分析可知,应根据居民实际情况,针对不同的采暖方式及采暖需求,灵活选取不同技术方案,设计投资最小、效果好的节约能源技术优化方案,不能采用“一刀切”“单一化”的采暖模式。

基于农村 5 种采暖技术的实验数据可发现,

对于采暖面积小于 60 m² 的住户,采用“一拖二”低温型热泵热风机最为经济实用;对于采暖面积为 60~80 m² 的住户,建议采用组合型采暖方式,可采用“‘一拖二’低温型热泵热风机+碳晶电热板”的组合;对于采暖面积为 80~100 m² 的住户,可采用热水型空气源热泵或“一拖二”低温型热泵热风机。

本文通过大量的调研及实测数据,同时本着“按需采暖、精准供热、科学用电、减少投资、减低能耗”的原则,以期对河北省农村的冬季清洁采暖解决方案提供参考。

参考文献

- [1] 李忠. 北方农村清洁供暖技术路径分析[J]. 建筑科技, 2017, (18): 28 - 31.
- [2] 岳燕敏, 贺鑫. 河北省农村供暖能耗的调研和分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2016, (5): 77 - 80.
- [3] 周珏, 罗凡, 罗庚玉, 等. 高效蓄能互联热泵系统技术及应用[J]. 电力需求侧管理, 2017, (6): 25 - 28.
- [4] 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.
- [5] 韩喜宇. 空气源热泵采暖的技术难点与应用价值[J]. 商品与质量, 2017, (39): 199.
- [6] 方建军. 碳晶电热板辐射采暖系统分析[J]. 建筑工程技术与设计, 2015, (32): 1444.
- [7] 朱肖晶, 王德峰, 张继皇. 高温相变蓄热系统在电力需求侧管理中的应用[J]. 电力需求侧管理, 2017, (4): 32 - 35.
- [8] 宋忠奎, 赵恒谊. 北京农村“冬季清洁采暖”空气源热泵类产品应用[J]. 建设科技, 2017, (10): 26 - 28. 太阳能

(接第 8 页)

- [5] 国际能源局. 分布式光伏发电项目管理暂行办法[EB/OL]. <http://www.china-nengyuan.com/news/55734.html>, 2013-12-20.
- [6] 李博, 李净净, 张兰. 浅谈分布式光伏发电的现状与前景[J]. 科技创新导报, 2017, (38): 66 - 67.
- [7] 刘亮. 突围“531”[J]. 中国电力企业管理, 2018, (6): 22 - 25.
- [8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委 财政部 国家能源局关于 2018 年光伏发电有关事项的通知[EB/OL]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201806/t20180601_888639.html, 2018-05-31.
- [9] 王淑娟. 电价调整对 2018 年光伏市场影响的探讨[J]. 太阳能, 2018, (1): 22 - 28.
- [10] 赵娜. 分布式光伏+储能电站模式与经济性分析[J]. 太阳

能, 2017, (12): 17 - 25.

- [11] 国家发展改革委, 财政部科学技术部, 工业和信息化部, 等. 关于促进储能技术与产业发展的指导意见[EB/OL]. http://www.nea.gov.cn/2017-10/11/c_136672015.htm, 2017-10-11.
- [12] 范文飞. 光伏发电接入电网后的分时电价优化策略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [13] 林晃, 朱艳丹, 胡白林. 基于供电成本的峰谷时段划分及分时电价研究[J]. 华东电力, 2005, (12): 90 - 91.
- [14] 彭鸿林, 谭茂芹. 新能源汽车充电服务费用问题研究[J]. 价格理论与实践, 2010, (4): 40 - 41.
- [15] 田昊, 吕林, 朱鑫, 等. 含光伏发电集中性充电站充放电策略研究[J]. 可再生能源, 2013, (10): 34 - 38. 太阳能