

不同热泵供热方式的供热成本及工程造价对比研究

郜炳凯

中国水务投资有限公司

摘要: 为了改善大气环境质量, 2017年国家有关部门联合发布了《关于推进北方采暖地区城市清洁供暖的指导方针》文件, 要求大力发展清洁能源供暖, 全面取消产煤供暖。中国北部的清洁加热能源包括天然气、电力、洁净煤和可再生能源。目前, 我国北方煤炭开项目经过了探索和发展, 特别是在政府的大力支持下, 取得了快速发展。电加热前后分为两个阶段。第一步是直接利用电力, 一般使用电动锅炉。虽然解决了清洁排放问题, 但以消耗大量煤炭为代价, 供暖费用相对较高。第二步是利用电动热泵, 具有一定的节能减排效果。

关键词: 不同热泵供热方式; 供热成本; 工程造价; 对此研究

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.052

引言

我国传统的供热能源以煤炭、石油等化石燃料为主, 因此, 每年都需要消耗大量的煤炭和石油, 并且会排放大量污染物, 这是很多北方城市冬季空气质量不佳的重要原因之一。目前, 随着我国环保政策推行以及能源结构的变化, 供热行业开始逐步以新能源替代传统化石燃料。热泵供热方式以其节能、高效、清洁的特点被广泛应用于城市供热领域。当下使用较为广泛的热泵供热方式中, 污水源热泵主要由污水处理厂提取热能; 地源热泵主要以土壤作为蓄热体, 将热量储存在土壤中; 空气源热泵主要是提取室外空气中的热量。不同的热泵供热方式虽然都具有节能环保的特征, 但在供热成本以及造价方面存在一定的差异。

一、热泵供热技术概述

(一) 地源热泵

地源热泵简单来说就是在地表浅层能源中加入少量高品位能源, 从而使其转化为高品位热能的装置, 其本质上属于热能提升装置, 运行时仅需消耗少量电能, 而其从环境介质当中所提取的热能至少是消耗电能的4倍以上, 节能效果显著。地源热泵的主要构成包括3部分, 分别是地源换热系统、热泵主机以及室内终端系

统。目前, 地源热泵是供热行业中应用最为广泛的热泵供热形式, 其与节能空调系统的配合显著降低了建筑供热成本以及能源消耗。

(二) 污水源热泵

污水源热泵系统采用生活污水热量作为城市污水量较大地区的低温热泵热源。冬季, 民用建筑排出的生活用水温度一般在20℃左右, 高于地下水, 是很好的热源。如果建筑周围有大型污水管道, 那么可以使用原污水(不直接排放)作为低温热源, 以提高热泵系统的性能。污水源热泵系统在规划中应用时, 应对污水源热泵装置进行科学规划和合理布置, 从技术上关注污染物污染和腐蚀、换热器堵塞等问题。

(三) 空气源热泵

空气源热泵从室外空气中吸收热量, 通过风扇驱动下安装在室外的集热器(热泵蒸发器)加热, 从室外空气中获得热量, 然后从室内换热器(热泵冷凝器)中获取热水或热水, 为用户提供房间供暖。根据热环境的不同, 空气源热泵可分为空气/空气热泵和空气/水热泵。冷凝器排出的空气/空气热泵用于产生用于加热房间的热空气。冷凝器排出的空气/水热泵用于生成热水, 用于通过风扇线圈等终端加热房间。利用空气源热泵供暖房间的方法有地板辐射供暖、热风直接供暖等多种。空气源热泵可以在住宅和公共建筑中使用, 也可以集中使用。超低能源建筑不需要集中供暖, 供暖需求可以使用小型空气源热泵来满足。空气源热泵供暖能耗只有直接电加热量的1/3, 符合一般分体空调的原则, 但性能不同。传统分体空调基本满足夏季制冷性能要求, 兼具冬季供暖功能, 在室外环境温度较低时不能有效运行。空气源热泵基本满足冬季供暖的运行要求, 对环境温度 and 系统效率具有很好的适应性。空气源热泵风机是近年来在市长/市场需求的推动下我国快速发展的新技术, 在国际上处于领先地位。通过新的压缩机技术、变频技术和新的系统格式, 将空气源热泵风机的应用范围扩展到-30低温环境的外部区域。与一般空调产品相比, 低温环境热容量增加了50%~100%, 能效提高了20%左右, 可以快速提高室内温度。现在市场已经有上百万人了。

空气源热泵风机不得配备暖风、供暖等供暖终端，防止热水热泵供暖设计的潜在泄漏。许多室内热泵风扇可以独立控制和操作，故障概率低，维护方便。目前，空气源热泵风机的市长/市场价格约为人民币4500元，两台空气源热泵风机可以满足100平方米的建筑供暖需求。空气源热泵热水器是另一种空气源热泵供暖设备。目前在-20℃环境温度下正常工作，提供30℃-50℃的热水供暖，与辐射线圈或地板散热器一起形成供暖系统，确保室温稳定舒适。如果供水温度不是特别高，空气源热泵CP与空气源热泵CP基本相同。空气源热泵热水器适用于加热模式、全循环、整体空间和加热舒适度。但是，部分房间的供暖随时难以运行和调节，所以供暖房间整个冬天都在加热，实际能耗可能是空气源热泵空气加热器的两倍以上。

二、不同热泵供热方式供热成本对比研究

目前，热泵供热技术发展衍生出多种供热方式，包括污水源热泵、空气源热泵、地源热泵等，笔者以这3种热泵供热方式为研究对象，对比分析了3种热泵供热方式的供热成本。以目前热泵技术发展应用情况来看，污水源热泵制热性能系数为3.0~4.0；空气源热泵制热性能系数为2.5~3.5，地源热泵制热性能系数为3.5~4.5，笔者取三者制热性能的平均数：污水源热泵为3.5，空气源热泵为3.0，地源热泵为4.0。按照当前燃料的价格来看，天然气价格约为4.0元/m³；生物质燃料价格约为1.0元/kg；电价低谷时期为0.69元（/kW·h），低谷时期为0.35元（/kW·h）。假设供热量在1GJ时，参照上述数据，污水源热泵、空气源以及地源热泵供热方式的供热成本见表1。

表1 不同热泵供热方式供热成本表

热泵供热方式	供热成本/(元/GJ)
污水源热泵	52.38
空气源热泵	61.11
地源热泵	43.65

虽然不同热泵供热方式都是以消耗少量电能为代价，从环境介质中提取热量，经过热泵装置处理后为供热对象进行供热，都具备良好的节能环保性能，但是由于不同热泵的供热方式所采用的装置不同，制热性能系数存在差异，因此，在供热成本上也存在一定差异。由

表1可知，在污水源热泵、空气源热泵以及地源热泵3种热泵供热方式中，以地源热泵的供热成本最低，1GJ供热量的成本为43.65元；次之为污水源热泵，1GJ供热量的供热成本为52.38元；空气源热泵供热成本最高，1GJ供热量的供热成本为61.11元，三者之间差异较为明显。空气源热泵供热成本偏高的主要原因是在气候较为寒冷的条件下，空气源热泵能效比大幅下降，这就导致当供热量需求较大时，空气源热泵制热量却不足，并且在寒冷气候条件下，空气源热泵可靠性相对较差，这在很大程度上增加了空气源热泵的供热成本。污水源热泵的供热成本高于地源热泵主要与污水利用方式有关，若污水源热泵机组采用的是直接利用的方式，则成本相对较低，但是这对于热泵系统蒸发器的性能要求较高，并且在运行过程中对机组影响较大，因此，直接利用的方式相对少见。而采用间接利用的方式，则需要先将污水经过热交换器进行热交换，然后才能完成供热，流程更为复杂，因此，必然导致供热成本增加。地源热泵供热成本较低的主要原因在于其制热性能系数较高，同时其能效比（COP值）可以达到4以上，即地源热泵机组单位耗能所能获取的能量可以达到耗能的4倍以上。相较于传统锅炉供热，地源热泵可以节省约70%的电能，相较于空气源热泵，地源热泵制热性能系数要高出40%以上。

三、不同热泵供热方式工程造价对比研究

笔者整理了某市近10年来建设和运营的热泵供热工程的资料，选择了空气源热泵、污水源热泵、支持热泵等多个项目，对工程成本进行了比较。热泵供热项目的基本情况见表2，热泵供热项目建设费见表3。

表2 热泵供热项目的基本情况

热泵方式	项目编号	用户类型	建成年份	供热面积/m ²
空气源热泵	k-1	公建	2017	0.6 × 10 ⁴
	k-2	公建	2017	0.5 × 10 ⁴
	k-3	住宅	2018	1.8 × 10 ⁴
	k-4	住宅	2017	0.9 × 10 ⁴
污水源热泵	w-1	住宅	2014	1.0 × 10 ⁴
	w-2	住宅	2015	2.5 × 10 ⁴
埋管地源热泵	d-1	公建	2010	0.2 × 10 ⁴
	d-2	住宅	2018	0.8 × 10 ⁴

表3 热泵供热项目工程造价

热泵方式	项目编号	工程造价/元	单位供热面积造价/(元·m ⁻²)
空气源热泵	k-1	95.2 × 10 ⁴	158.7
	k-2	87.9 × 10 ⁴	175.8
	k-3	300.0 × 10 ⁴	166.7
	k-4	125.9 × 10 ⁴	139.9
污水源热泵	w-1	411.1 × 10 ⁴	411.1
	w-2	1 031.0 × 10 ⁴	412.4
地埋管地源热泵	d-1	80.0 × 10 ⁴	400.0
	d-2	304.0 × 10 ⁴	380.0

为了提高项目的可比性和相关数据的代表性，选定的项目使用中央供暖装置为单个建筑或小型建筑供暖，项目建设年份尽可能接近。①空气源热泵。工程费用包括热泵、循环泵、管道、末端冷却设备及其安装费用。在4个空气源热泵项目中，k-4项目位于市中心以外的外围县城，在位置和施工难度方面低于其他3个项目。公共用户是幼儿园，热泵设备安装在屋顶上，内部末端散热器安装有加热器。用户为小区，热泵装置集中安装在小区庭院供暖站，末端采用地面辐射供暖。下水道热泵。工程费用包括安装热泵、循环泵、管道、末端冷却设备及其安装费用，以及建造下水道和重新设计排水管的材料和安装费用。两个污水源热泵供暖项目的供暖设施均为居民用户。W-1工程热泵装置安装在净化厂，净化厂通过加热管道向用户提供热量，热源距热能用户1.5公里。W-2工程热泵装置安装在小区供热站，污水通过管道进入供热站，距离污水处理站2公里。散热器是两个项目完成后的主要散热器，W-2项目也有地板辐射供暖用户。③地下管道地源热泵。工程成本基于热泵、循环泵、管道、末端设备及其安装成本，增加了钻井、地下管道的材料和安装成本。地下水源热泵供热两项工程采用垂直埋管法，钻孔深度为100米，钻孔间隔为4.5-5.0米，最后为风机加热盘管。从表3可以看出，同类型热泵供热工程的单位采暖面积大致相同，K-4空气源热泵供热工程由于施工条件方便，单位采暖面积低于其他空气源热泵供热工程。污水源热泵供热工程的热泵

装置W-1和W-2虽然位置不同，但由于污水处理厂靠近供热站，完工年份和换热终点几乎相同，因此单位供热成本非常接近。支持热泵供热项目的两个单位的供热面积成本几乎相同。空气源热泵供热工程中采暖面积单位成本最低，污水源热泵供热工程和配套热泵供热工程中的采暖面积单位成本接近并高于空气源热泵供热工程。认为系统的复杂性是影响工程成本的主要原因。空气源热泵系统通常比较简单，但是污水源热泵系统需要与输送热水或废水的管道进行更复杂的热交换系统，并且支持热泵的地源热交换器方面比较复杂。

结束语

综上所述，不同热泵供热方式在供热成本以及工程造价方面存在显著差异，以当下技术条件来看，供热成本最低的是地源热泵，次之为污水源热泵，空气源热泵最高；工程造价最低的是空气源热泵，次之为地源热泵，最高的是污水源热泵。就综合效益而言，显然地源热泵最高，其供热成本最低，虽然工程造价并非最低，但随着使用年限增加，这一缺陷足以被弥补，这也符合当前地源热泵应用最为广泛的现状。

参考文献

[1] 金意, 王钦. 热泵供热方式供热成本及工程造价对比[J]. 煤气与热力, 2020, 40(03): 1-3+41.

[2] 张建军. 我国热泵供热现状、技术及政策[J]. 中国住宅设施, 2019(04): 38-40.

[3] 李巧红. 不同供热终端的热泵系统性能评价[J]. 家电科技, 2019(01): 9.

[4] 高新勇, 孙士恩, 田亚. 不同工况下的热泵与低真空供热对比分析[J]. 汽轮机技术, 2019, 59(06): 459-462.

[5] 高铭. 热泵供热技术研究与应用[J]. 江西建材, 2018(20): 6.

[6] 吴迪, 胡斌, 王如竹, 杨国忠, 骆名文. 我国热泵供热现状、技术及政策[J]. 制冷技术, 2018, 37(05): 1-7.

[7] 王海涛, 赵燊. 热泵供热工程节能效果分析[J]. 石油石化节能, 2018, 3(09): 19-20.