

空气源热泵的实际应用及效益分析

程斌¹, 王其营², 汪小海²

(1. 莱芜燃气热力有限责任公司, 山东 济南 271100 ;
2. 中策橡胶(天津)有限公司, 天津 300452)

摘要: 本文为提升空气源热泵实际利用效果, 先阐述空气源热泵及热水机的原理、分类与用途, 推导其选型计算步骤, 再以 20t 日用水量为例, 对比分析其与蒸汽、电加热的效益。研究表明, 空气源热泵热水机能源利用率超 200%, 该实例中其日加热成本仅 205 元, 较蒸汽、电加热分别降低 48.1%、74.1%, 15 kW 机型替代两类加热系统的投资回收期最短约 0.47 年。结论为空气源热泵热水机兼具节能、环保、经济等优势, 适配生活及轮胎生产等场景, 契合“双碳”目标, 具备广泛的推广应用价值。

关键词: 空气源热泵热水机; 选型计算; 效益分析; 加热方式; 节能

引用论文: 程斌, 王其营, 汪小海. 空气源热泵的实际应用及效益分析 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(9):69-73.

中图分类号: TQ330.8

文章编号: 1009-797X(2026)09-0069-05

文献标识码: B

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.09.014

1 空气源热泵及热水机的原理和用途

要提高空气源热泵的实际利用效果, 应该对空气源热泵及热水机的原理、结构和用途等进行全面了解, 才能适时、适位地进行经济合理的利用。

1.1 空气源热泵

热泵技术是一种提高能量品位的新能源技术, 它不是直接的能量转换过程, 不受能量转换效率极限 100% 的制约, COP 值 (Coefficient Of Performance, 即制热量和输入功率的比值, 简称制热能效比) 可以超过 4.0。

热泵按结构、用途等可以有多种分类, 如果按所取热源方式, 常见的有空气源热泵、水源热泵、地热泵等。空气源热泵是一种利用环境空气中的热能作为热源的热泵系统, 其工作原理就是利用少量高品位的电能作为驱动能源, 按照制冷循环原则, 从低温热源 (空气) 中蕴含的热能高效吸收并传输给高温热源 (如水箱里的水等), 达到“泵热”的目的, 满足室内供暖和加热供水的需要。

空气源热泵的主要组成包括压缩机、蒸发器、冷凝器和膨胀阀等。由于空气源热泵具有节能环保的特点, 可以广泛用于采暖、供热、干燥、空调及工业应用 (即控制生产过程中的温度、湿度、压力等参数)。

1.2 空气源热泵热水机

空气源热泵热水机采用绿色无污染的冷媒, 吸收

空气中的热量, 通过压缩机的做功, 生产出 50 °C 以上的热水, 全年 COP 值可以达到 3.0 以上。

空气源热泵热水机的工作原理是基于逆卡诺循环, 输入少量电能为驱动力, 以制冷剂为工作介质, 通过室外侧换热器 (蒸发器) 吸收外部空气中的低位热能, 转化为高位热能, 通过热泵机组最终实现低温热能向高温热能的转变和热量的转移; 再将高位热能从水侧换热器 (冷凝器) 释放给进入换热器中的冷水, 冷水被加热到 50 °C 以上直接进入保温水箱储存, 通过热水供应管路输送到用水部位。根据能量守恒定律, 若输入压缩机中的电能在压缩制冷剂时转化成的热量为 Q_1 , 空气源热泵热水机从空气中吸收热量为 Q_2 , 在不考虑热量损失的情况下, 释放给进入热交换器中冷水的热量 $Q_3=Q_1+Q_2$ 。即利用热泵热水机释放到水中的热量不是直接用电加热产生出来的, 而是通过空气源热泵热水机把热源转移到水中, 所以平均能效较高, 最高可达 4.0 以上。

本文以空气源热泵热水机为例, 说明空气源热泵在实际生活及轮胎生产过程中 (以下简称“用户”) 的应用, 并对其效益进行简要分析。

作者简介: 程斌 (1989-), 男, 工程师, 主要从事热能效率的研究工作, 已发表 5 篇论文。

2 空气源热泵热水机的选择

目前,空气源热泵热水机有常温型和超低温型两种,用户可以根据环境温度、用水需求、投资额度等

实际情况进行选择。

2.1 常温型空气源热泵热水机

常温型空气源热泵热水机的工作原理如图1所示。

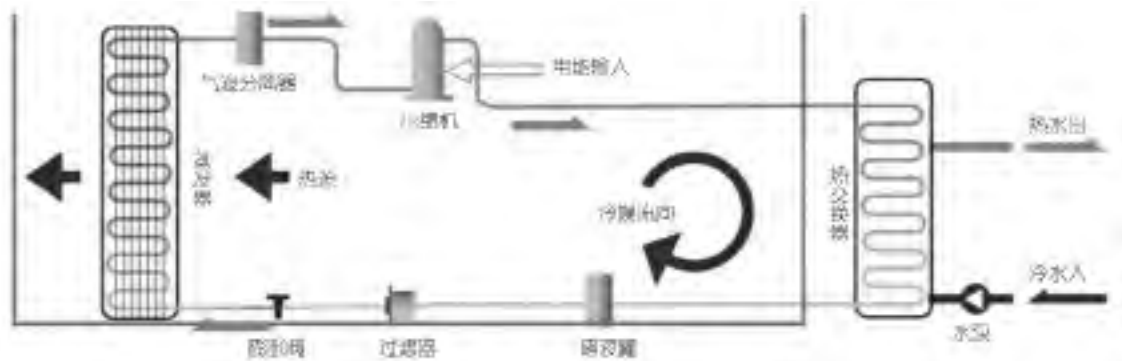


图1 常温型空气源热泵热水机工作原理图

空气源热泵热水机也是基于逆卡诺循环进行工作,这与空调制冷流程相反,空调制冷时主机排出的是热风,而空气源热泵热水机制取热水时排出的则是冷风。

常温型空气源热泵热水机在工作时,在蒸发器吸收热量前,制冷剂的状态是低温低压液体;通过蒸发器吸收空气中的热量,制冷剂气化变成低温低压气体;通过压缩机做功压缩,制冷剂变成高温高压气体;经过热交换器跟冷水交换热量,制冷剂变成低温高压的液体,制冷剂放出的热量使冷水升温;经过节流装置节流,制冷剂变成低温低压液体;再进入蒸发器,继

续进行上述循环,不断从空气中吸热,通过热交换器制取热水。在这个过程中,空气源热泵作为高效集热并转移热量的系统装置,能够把压缩机所消耗的电力转化为三倍以上热能。

2.2 超低温型空气源热泵热水机

超低温型空气源热泵热水机的工作原理如图2所示。

由图2可以看出,超低温型空气源热泵热水机的工作原理与常温型空气源热泵热水机基本相同,只是超低温型空气源热泵热水机系统增加了一套经济器。

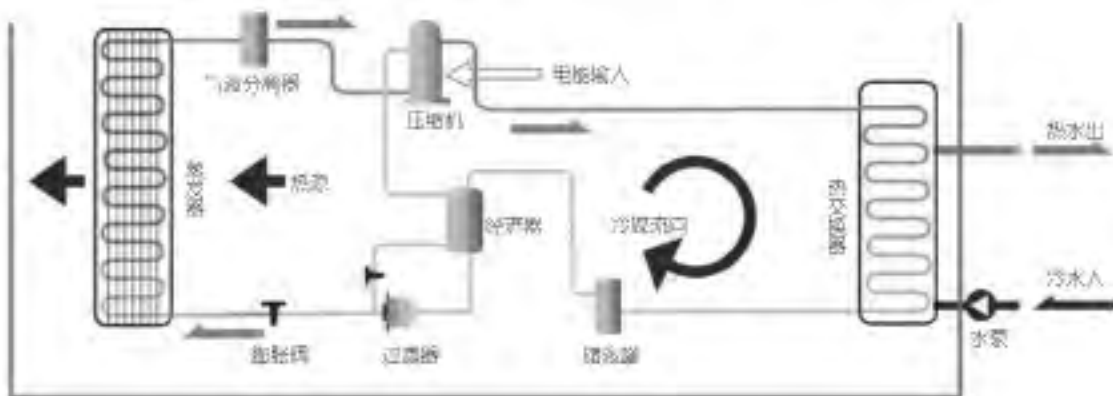


图2 超低温型空气源热泵热水机工作原理图

经济器的作用主要是通过制冷剂自身节流蒸发吸收热量,从而使另一部分制冷剂过冷。采用经济器补气循环,能改善压缩制冷循环的效率,提高制冷量,降低压缩机排气温度。

经济器的工作原理:来自冷凝器的高压液态制冷

剂进入经济器后分为两部分,一部分通过节流,以热量膨胀的方式进一步冷却,去降低另一部分的温度,使其过冷;这部分过冷液体通过供液阀直接进入蒸发器制冷。而另一部分未冷却的气态制冷剂通过经济器与压缩机的连通管道,重新进入压缩机继续压缩,进

入循环。它通过膨胀制冷的方式来稳定液态制冷介质，以提高系统容量和效率，使超低温型空气源热泵热水机的效率更高。

2.3 空气源热泵热水机的选择与计算

空气能热泵热水机 / 组的选型与计算步骤一般包括以下六步，如果是对现有系统改造，则可以适当简化：

2.3.1 确定热水需求量

确定热水需求量是选择空气能热泵热水机 / 组的基础，原则是根据用户固定或平均用水人数、每人每日的用水量以及用水习惯或规律等因素确定用水总量，再按照最大用水量确定。最大用水量一般按照平均用水量的 1.2 倍进行计算，若设定值过高会造成负荷浪费，太低则不能满足使用要求。

2.3.2 计算热量负荷

热量负荷的计算是按照最大温差和最大用水量进行计算。最大温差一般是按照用户所在地域每年最冷月进水温度与设定出水温度的水温差，最大用水量则按照上述原则确定。热量负荷可以按照公式 (1) 计算：

$$Q_{\text{总}} = C \cdot M_{\text{总}} \cdot \Delta T \quad (1)$$

其中， $Q_{\text{总}}$ 是最冷月最大日用水量所需的制热量 (kJ 或 kcal)；

C 为水的比热 (4.186 8 kJ/kg·°C)；

$M_{\text{总}}$ 为最大日用水总量 (kg 或 L)；

ΔT 为温差 (°C)。

例如，假设空气源热泵热水机最低的进水温度设定为 5 °C，出水温度为 50 °C，则 $\Delta T=45$ °C；设定最大日用水量 $M_{\text{总}}=20\ 000$ kg，则热量负荷 (其中 1 kJ=0.238 9 kcal)：

$$Q_{\text{总}} = C \cdot M_{\text{总}} \cdot \Delta T = 4.186\ 8 \times 20\ 000 \times 45 = 3\ 768\ 120 \text{ (kJ)} \approx 900\ 204 \text{ kcal}。$$

2.3.3 计算热水机 / 组功率

空气源热泵热水机 / 组功率 $W_{\text{总}}$ 可以按照公式 (2) 计算：

$$W_{\text{总}} = Q_{\text{总}} \div 20 \div \text{COP 值} \quad (2)$$

其中， $W_{\text{总}}$ 为热水机 / 组理论功率 (kW)；

$Q_{\text{总}}$ 为最冷月最大日用水量所需的热量负荷 (kJ 或 kcal)；

20 为每天平均工作 20 h (h)；

COP 值根据实际情况确定，一般在 2.0~4.0 之间选取。

例如，按照上述热量负荷 $Q_{\text{总}}=900\ 204$ kcal 计算，

如果 COP 值 =3.5，则该热水机 / 组的功率 $W_{\text{总}}$ (其中 1 kW=860 kcal) 为：

$$W_{\text{总}} = Q_{\text{总}} \div 20 \div 3.5 = 900\ 204 \div 860 \div 20 \div 3.5 \approx 14.95 \text{ (kW)} \approx 15 \text{ kW}。$$

2.3.4 选择合适的机型

根据上述计算和推导出来的参数，可以选择合适型号的空气源热泵热水机 / 组。在热水机 / 组参数确定后，还需要对相应品牌和型号进行机组性能、能效比、噪音水平等因素的综合对比，最终选择性价比最高的机型。

2.3.5 确定水箱容积

水箱容积的选择原则是能够存储足够的热水以满足高峰期的需求，并要考虑用水的不均匀性。一般来说，水箱容积可以按照总用水量的 70%~90% 来计算和确定。

2.3.6 考虑辅助加热和太阳能结合

为确保热水供应系统稳定、可靠，在计算热量负荷及热水机选型过程中，需要考虑到当地最冷月的平均气温对热泵性能的影响。例如，最冷月平均气温不低于 10 °C 的地区，空气源热泵热水机 / 组可不设辅助热源；如果最冷月平均气温小于 0 °C 的地区，则需要设辅助热源，以确保热水供应。同时，可以考虑在热水机系统增加电辅助加热装置或者与太阳能系统相结合，以提高热水供应系统的可靠性和效率。

当然，上述选型与计算过程只是基于理论推导，在实际选型过程中，需要综合考虑各种极端情况及可能发生的几率，并结合具体的工程案例和产品样本，有效地完成选型工作。

3 空气源热泵热水机的优点及效益分析

首先分析空气源热泵热水机的优点，然后就其效益进行分析。

3.1 空气源热泵热水机的优点

空气源热泵热水机具有以下优点：

3.1.1 能源利用率高

从目前批量使用的加热装置的能源利用率对比来看，空气源热泵热水机能源利用率最高，其次是电加热，最低是蒸汽加热。按照数据统计，蒸汽加热时的能源利用率约为 85%，主要原因是蒸汽在输送及进行热交换过程中都有一定的损耗，故蒸汽加热的能源利用率较低；电加热装置的能源利用率在 95% 左右，可以就地完成电转热的过程，故利用率相对较高；而空

气源热泵机组的能源利用率超过 200%，最高可以达到 400% 以上，主要原因在于其高效集热并转移热量，所以其能源利用率最高。

3.1.2 环保、安全

由于空气源热泵热水机不使用燃气，不会产生废气；可以排除燃气造成的 CO 中毒或电加热漏电等隐患，安全可靠；同时因为省电，可以减少因用电增加的 CO₂ 排放量。

3.1.3 高效除湿，方便舒适

由于空气源热泵可以高效集热并转移热量，其除湿效果也比较明显，这是其他热水机所不具备的优势。

3.1.4 自动控制，无需值守

空气源热泵热水机自带温控装置，可自动补水、加热、断电，可全天候、全时段供应热水。

3.1.5 设计寿命长，使用、维护成本低

空气源热泵热水机设计寿命超过 15 年，设备性能稳定，运行安全，基本是免维修，维护成本较低。

3.2 空气源热泵热水机的效益分析

以上文提到的“将最大日用水量 $M_{\text{总}}=20\text{ t}$ 从 5℃ 加热到 50℃，所需热量 $Q_{\text{总}}=900\ 204\text{ kcal}$ ”为例，就空气源热泵热水机与蒸汽、电加热进行经济效益对比分析。

3.2.1 空气源热泵热水机加热成本

按照 2.3 推算，热负荷 $Q_{\text{总}}=900\ 204\text{ kcal}$ ，空气源热泵热水机的功率 $W_{\text{总}}=15\text{ kW}$ ，按照其功率因

数为 0.95 计算（实际运行时 <0.95 ），每天运行 20 h，则每天将 20 t 水从 5℃ 加热到 50℃ 所需要的电量为： $15\times 20\times 0.95=285\text{ (kWh)}$ ；按照电费单价 0.72 元/kWh（含税，下同）计算，每天的电费支出为： $0.72\times 285\approx 205\text{ (元)}$ 。

3.2.2 蒸汽加热成本

如果用压力为 0.5 MPa 的饱和蒸汽加热，其焓值为 2 748.5 kJ/kg (656.62 kcal/kg)；按照蒸汽加热的能源利用率 85% 核算，提供热负荷 $Q_{\text{总}}=900\ 204\text{ kcal}$ 需要的蒸汽量为：

$$900\ 204\div 656.62\div 85\%\approx 1\ 613\text{ (kg)}。$$

压力为 0.5 MPa 的饱和蒸汽单价按照 245 元/t 计算，则每天将 20 t 水从 5℃ 加热到 50℃ 需要的蒸汽费用为： $245\times 1\ 613\div 1\ 000\approx 395\text{ (元)}$ 。

3.2.3 电加热成本

按照 1kW=860 kcal、能源利用率 95% 计算，提供热负荷 $Q_{\text{总}}=900\ 204\text{ kcal}$ 需要的电量为：

$$900\ 204\div 860\div 95\%\approx 1\ 102\text{ (kWh)}。$$

则每天将 20 t 水从 5℃ 加热到 50℃ 需要的电费为：

$$0.72\times 1\ 102\approx 793\text{ (元)}。$$

3.2.4 三种加热方式的成本对比

按照“每天将 20 t 水从 5℃ 加热到 50℃”为基础对照三种加热方式的成本，对比数据详见表 1。

表 1 三种加热方式的成本对比表

加热方式	能源种类	能源数量	能源单价	能源成本	绝对值差 ±
空气源热泵热水机	电	285 kWh	0.72 元/kWh	205 元	0
蒸汽加热	蒸汽	1 613 kg	0.245 元/kg	395 元	+190
电加热	电	1 102 kWh	0.72 元/kWh	793 元	+588
说明	1、以“每天将 20 t 水从 5℃ 加热到 50℃”为基础进行对照。 2、空气源热泵热水器加热成本比蒸汽加热绝对值低 190 元/d，下降 48.1%；比电加热低 588 元/d，下降 74.1%。				

如果在现有蒸汽加热或电加热系统基础上进行空气源热泵热水机改造，除增加空气源热泵热水机外，水箱及管道等可以利用原有的配置，则增加的成本就只有空气源热泵热水机购置、安装和调试费用。

如果按照 2.3 推导选型的空气源热泵热水机，额定功率 $W_{\text{总}}=15\text{ kW}$ 的空气源热泵热水机整体投资在 10 万元左右。

如果是替代蒸汽加热系统，则改造后，投资回收周期为：

$$10\times 10\ 000\div 190\approx 527\text{ (天)}\approx 1.44\text{ 年}；$$

如果是替代电加热系统，则改造后，投资回收周期为：

$$10\times 10\ 000\div 588\approx 170\text{ (天)}\approx 0.47\text{ 年}。$$

空气源热泵热水机的设计寿命一般在 15 年以上，因此，选用空气源热泵热水机的综合效益比较明显。

4 结语

随着国家对能源“双控”和“双碳”目标的推进，用户特别是轮胎企业的节能意识越来越强烈。作为一种新型的节能技术，所有的用户都可以逐步尝试推广

空气源热泵热水机。而空气源热泵热水机生产的热水泵热水机的数量增加到一定程度，其节能总量也十分可观。既可以用于宾馆或居家生活中的洗浴、采暖，也可以用于轮胎生产中软化水的加热等用途。如果空气源热

Practical application and benefit analysis of air source heat pumps

Cheng Bin¹, Wang Qiying², Wang Xiaohai²
(1. Laiwu Gas and Heat Power Co. LTD., Jinan 271100, Shandong, China;
2. Zhongce Rubber (Tianjin) Co. LTD., Tianjin 300452, China)

Abstract: To enhance the practical utilization of air source heat pumps, this article first elaborates on the principles, classifications, and applications of air source heat pumps and water heaters, deriving the steps for their selection and calculation. Taking a daily water consumption of 20 tons as an example, a comparative analysis is conducted on its benefits compared to steam and electric heating. The research indicates that the energy utilization rate of air source heat pump water heaters exceeds 200%. In this case, the daily heating cost is only 205 yuan, which is 48.1% and 74.1% lower than steam and electric heating, respectively. The investment payback period for a 15 kW model to replace the two types of heating systems is as short as approximately 0.47 years. The conclusion is that air source heat pump water heaters possess advantages such as energy conservation, environmental friendliness, and cost-effectiveness, making them suitable for scenarios such as daily life and tire production. They align with the "dual carbon" goals and have broad promotion and application value.

Key words: air source heat pump water heater; selection calculation; benefit analysis; heating method; energy saving

(R-03)

赛轮联合攻关成果荣获山东省科技进步一等奖

The collaborative research achievements of Sailun have been awarded the First Prize of Shandong Provincial Science and Technology Progress

在近日举行的山东省科技大会上，赛轮集团联合青岛科技大学等单位完成的“ 高端轮胎无人成型智能制造装备研发及应用 ”项目，荣获 2025 年度山东省科技进步奖一等奖。

该项目聚焦轮胎成型工艺中长期存在的机理不清晰、技术落后、装备难以产业化等难题，成功攻克了四大共性技术瓶颈，打通轮胎无人成型智能制造关键技术转化链路，实现了轮胎生产全流程无人作业，不仅显著提升了制造运行效率与产品一致性，更推动我国轮胎行业在智能制造与数字化管理水平上迈向新台阶，为提升行业核心竞争力与产业链安全保障能力提供了有力支撑。

此次获奖是赛轮集团坚持产学研用深度融合的又一重要里程碑。未来，赛轮将以此次突破为新起点，持续攻坚关键核心技术，加速培育新质生产力，以更多自主可控的科技创新成果，助力中国橡胶工业向全球价值链更高端坚定迈进。

摘编自“ 赛轮集团 ”
(R-03)