

# 热泵技术在饮品生产车间的应用研究

——以西南地区某饮品厂节能改造项目为例

姜凡

上海康翊企业管理有限公司 上海

**【摘要】**在“双碳”战略推进下，工业节能降碳已成为制造业转型升级的关键。饮品行业能耗较高，车间普遍存在高温作业、能源利用效率偏低等问题。本文以西南某饮品厂热泵改造项目为对象，通过实地调研与实测，分析磁悬浮热泵系统的方案设计、实施过程、运行效果与经济效益。结果表明，改造后车间温度下降 7-8℃，年节约蒸汽 0.91 万吨，年节能收益 205.9 万元，投资回收期仅 1.4 年。研究证实热泵技术在饮品行业应用可行，可为食品加工领域提供可复制的节能降碳技术路径与管理经验。

**【关键词】**热泵技术；逆卡诺循环；节能改造；磁悬浮压缩机；车间降温

**【收稿日期】**2026 年 3 月 20 日 **【出刊日期】**2026 年 4 月 15 日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20260009

## Application research of heat pump technology in beverage production workshop—Taking the energy saving transformation project of a beverage factory in southwest region as an example

Fan Jiang

Shanghai Kangyi Enterprise Management Co., Ltd., Shanghai

**【Abstract】** Under the promotion of the “Carbon Neutrality strategy”, industrial energy conservation and carbon reduction have become the key to the transformation and upgrading of the manufacturing industry. The beverage industry has high energy consumption, and workshops generally have problems such as high-temperature operations and low energy utilization efficiency. This paper takes the heat pump transformation project of a beverage factory in Southwest China as the object, through on-site investigation and measurement, to analyze the scheme design, implementation process, operation effect and economic benefits of the magnetic suspension heat pump system. The results show that the temperature in the workshop decreased by 7-8℃ after the transformation, 0.91 million tons of steam were saved annually, and the annual energy saving income was 2.059 million yuan, with an investment recovery period of only 1.4 years. The research proves that the application of heat pump technology in the beverage industry is feasible, and it can provide replicable energy-saving and carbon reduction technical paths and management experience for the food processing field.

**【Keywords】** Heat pump technology; Reverse carnot cycle; Energy saving transformation; Magnetic suspension compressor; Workshop cooling

### 1 引言

饮品制造业工艺流程多、能耗高，蒸汽与电力消耗量大，生产车间普遍存在高温作业环境差、软化水加热过度依赖蒸汽、能源成本高等问题。西南某饮品厂车间温度长期达 38-42℃，作业条件恶劣，软化水处理蒸汽消耗巨大。本项目以西南某饮品厂热泵改造项目为研究对象，分析系统设计、实施难

点与解决方案，评估运行效果、经济效益及优化路径。研究可为工业热泵规模化应用提供依据，对推动制造业节能降碳与绿色转型具有实践意义。

### 2 项目背景与目标分析

#### 2.1 车间现状与问题诊断

西南某饮品厂车间生产运行存在三类显著问题。

一是厂区降温面积超 1000m<sup>2</sup>，原有通风散热方式难以适配本地高温高湿气候，加之设备与管道散热叠加，车间温度常年处于 38–42℃，远超人体适宜作业温度。高温易引发人员健康隐患，降低生产效率，也加剧人员流失，不利于生产稳定开展。

二是生产工艺需对二级软化水分段加热，各工序水温分别升至 55℃、60℃，热源高度依赖蒸汽。车间日均用水量超 1500m<sup>3</sup>，年用水量可达 30 万吨，蒸汽消耗体量偏大，生产能耗成本居高不下。

三是车间依靠大量风机通风散热，设备长期运转产生高额用电费用，实际降温成效不佳，能耗投入与实际收益不匹配，能源利用存在浪费现象<sup>[1]</sup>。

## 2.2 项目核心目标

围绕车间高温环境、能耗偏高两大问题，本次改造以优化作业条件、削减能耗成本为核心方向，设定双重建设目标。

一是改善车间热环境。运用热泵装置回收车间余热，借助送风系统均匀输送冷气，将车间温度调控至 31–34℃，以此优化作业环境，提升人员作业体验与生产效能。

二是开展能源替代利用。利用热泵余热加热软化水，取代传统蒸汽加热模式。同步关停冗余通风设备缩减用电损耗，依托机组冷热双供特性实现一机多用，提升能源利用率，实现整体能耗管控<sup>[2]</sup>。

## 3 热泵系统设计方案

### 3.1 热泵工作原理

本项目采用的热泵系统基于逆卡诺循环原理，通过制冷剂在封闭回路中的相变过程实现热能的转移与品位提升。热泵系统以消耗电能为代价，将低位热源的热能转移至高位热源，实现了制冷与制热的同步进行，综合能效比(Coefficient of Performance)远高于传统的单一制冷或制热设备。

### 3.2 现场数据采集与负荷计算

科学的系统设计建立在准确的现场数据采集基础之上。项目组对两处车间的降温需求、热水用量、现有能源消耗等进行了全面调研：

(1) 车间降温数据。车间降温面积约 10000m<sup>2</sup>，原均采用新风机加排气风机的被动散热方式，降温效果差。

(2) 车间制热需求数据。溶糖工艺日用水量约 1200 吨，萃取工艺日用水量 400 吨，合计日用水量 1600 吨。设计温差为 25℃，按单位小时用水量 66m<sup>3</sup>

计算，所需制热量 1918.95kW<sup>[3]</sup>。

### 3.3 热泵机组选型

基于负荷计算结果，本项目选用了两套型号为 MGHW-300 的磁悬浮热泵机组，供各工段独立使用，单套热泵机组额定制热量 1000kW，输入功率 200kW，满负荷 COP 为 5.00<sup>[4]</sup>。

### 3.4 初始系统设计方案

热泵主机独立运行，蒸发器与现有冰水箱循环，吸取冰水热量产生低温冷水；冷凝器与热水桶循环，加热软化水。车间送风口接入现有冰水箱，由冰水直供末端送风口制冷，向车间送风降温。

## 4 方案执行与问题应对

### 4.1 设备安装进展

施工于 4 月初启动，月末完成初次试机运行。安装完成后，项目组持续对主机运行参数及系统管路进行调试修正，确保设备稳定运行。

### 4.2 调试阶段主要问题与解决方案

在项目设备调试阶段，实施团队在系统联调过程中遇到多项关键技术瓶颈。通过对运行参数、工况匹配度及系统耦合性进行全面诊断，项目组制定针对性优化方案，实现各类问题的有效解决。

问题一：系统热量消纳能力不足，热泵机组难以维持连续稳定运行。

该问题在制造二区调试初期集中显现，主要诱因包含三个方面。其一，热水输送回路流量波动较大，造成冷凝器侧热量产出与消耗不匹配，系统热力平衡被破坏。其二，设计阶段热源水温升区间接 25℃至 50℃进行配置，而夏季实际运行中软化水进水温度已达 32℃，所需温升幅度明显降低，导致冷凝器热负荷显著下降。其三，生产线未处于满负荷运行状态时，工艺热水总需求量偏低，无法及时消纳热泵持续输出的热量。上述因素共同引发压缩机频繁启停，机组无法保持连续高效运行状态。

解决方案：本项目依托多维度协同优化技术方案，开展三项针对性的系统升级改造工作。首先，增设一级软化水加热辅助回路。其次，对各生产工段的热水管网进行连通优化。最后，对供热机组配置进行精简优化。项目撤除原有单台热泵设备，替换为 MGHW-300 型热泵设备，为各生产工段提供集中式供热服务。完成系列改造优化后，系统整体热量消纳性能得到有效提升，可保障热泵机组处于持续稳定的运行状态<sup>[5]</sup>。

问题二：系统制冷量供给不足，车间整体降温效果未达预期。

初始设计方案中，热泵蒸发器以车间室内回风为换热介质开展热交换作业。该运行模式使得热泵的制冷输出效能存在固有局限。针对大空间车间的散热负荷需求，传统换热模式无法输出充足的制冷量，车间整体降温成效相对有限。

解决方案：对热泵蒸发器取热回路进行结构性优化，革新热泵设备与冰水箱的耦合运行机制。热泵系统制取的低温冰水，优先导入制造二区现有冰水箱设备。借助原有冰水输送管路系统，将低温介质输送至终端送风设备。改造实施后，送风口的出风温度可稳定维持在 19-27℃的合理区间。低温气流在车间内部形成闭环循环，以此实现高效率的车间降温目的。除此之外，本项目拟在后续改造环节中，对车间内部各类产热源头实施物理隔离处理，有效缓解热源持续散热对车间环境温度的干扰作用。

#### 4.3 方案变更后的系统架构

经系列优化改造后，实际运行系统构建出“一机供给、冷暖双效利用”的集成运行架构。系统依托单台 MGHW-300 型热泵主机，可同步为全厂生产场景供给制冷与制热两类能源服务。设备蒸发器端可制备 15℃低温冰水，该水体依托现有储冰设备完成分配，可输送至两大车间的末端送风设备。设备冷凝器端可生成 50℃高温热水，能够将初始温度 32℃的软化水升温至 46℃，可满足溶糖、萃取等生产工艺的用热需求。

#### 4.4 调试运行数据验证

##### (1) 热量平衡测试

项目于设备安装完成当年 8 月开展系统热量平衡专项测试，测试结果显示，热泵主机额定制热能力可达 1000kW/h。为进一步验证机组在不同生产负荷下的运行稳定性，项目组分别开展两组工况实测。9 月 2 日实测数据表明，当生产线处于 100% 满负荷运行状态时，机组两台压缩机开机率均达到 100%，实现满负荷稳定输出。9 月 3 日连续监测数据显示，在生产线负荷降至 80% 的运行条件下，1# 压缩机保持连续不间断运行，2# 压缩机运行开机率达到 90%。基于上述实测数据可得出结论，当生产线维持 80% 运转负荷时，即可满足两台压缩机连续稳定运行的热量消纳需求。该结果直接验证了本项

目二次优化改造方案的科学性、合理性与实际运行有效性。

##### (2) 综合能效测试

同期开展综合能效性能测试，测试工况设定为生产线负荷率 90% 且系统无在线清洗作业 (Clean-In-Place)。在此标准工况下，热泵机组实现双效协同运行，可同步产出 15℃ 低温冰水与 50℃ 工艺用热水，并将软化水从进水温度 32℃ 稳定加热至目标温度 46℃。经专业仪器实时监测与数据核算，机组实测平均制冷性能系数 COP 为 4.0，平均制热性能系数 COP 为 4.8，系统综合性能系数合计高达 8.8。在该典型运行工况下，机组实际制热量为 820kW，实际制冷量为 690kW，机组总输入功率仅为 180kW。各项关键参数表明，改造后的热泵系统能源转换效率高，综合能效水平表现优异，具备显著的节能技术优势。

##### (3) 车间降温效果验证

为全面评估环境改善成效，项目组在当年 8 月至 9 月期间，对车间送风口出风温度、室内环境温度及室外环境温度进行连续定点监测。在系统运行初期，监测发现局部送风口出风温度偏高，未达到设计预期。经优化处理后，送风口出风温度稳定控制在 24 - 27.8℃ 区间。车间整体环境温度由改造前的 38 - 42℃，显著下降至 31 - 34℃，温度降幅达到 7 - 8℃。连续监测数据充分证明，本次改造实现了预期降温目标，车间热环境得到根本性改善，降温效果显著且运行稳定。

## 5 效益分析

### 5.1 节能收益测算

基于项目近半年的设备运行观测与运行数据积累，研究团队针对该热泵系统的全年节能经济效益开展系统性核算分析：

(1) 年度蒸汽节约费用。本项目设定热泵设备年运行天数为 300 天。系统热水侧运行温差约为 8℃，水体流量为 102.5m<sup>3</sup>/h，对应系统产热功率为 953kW。设备每小时可节约蒸汽用量 1.27 吨，全年累计可减少蒸汽消耗 0.91 万吨。以 210 元/吨的市场蒸汽单价为核算标准，系统年度可节约蒸汽购置费用 191.1 万元。

(2) 制冷冷量的等效经济收益。系统冷水侧运行温差为 5.5℃，水体流量为 125.7m<sup>3</sup>/h，对应制冷输出功率为 804kW，系统单日可产出冷量

18960kW·h。若采用 COP 值为 7.04 的磁悬浮冷水机组制备同等规模冷量,日均耗电量约为 2693 度,对应年度用电成本约 51 万元。该部分收益为热泵制冷功能所带来的隐性节能效益。

(3) 风机停运节电收益。在增设末端降温送风装置后,车间环境温度由原有 38—42℃降至 31—34℃。可关停车间通风风机。风机停用周期为每年 4—10 月,累计运行优化时长约 210 天,年度可节约用电费用 54 万元。

(4) 热泵系统运行耗电成本。热泵主机、配套水泵及末端送风设备的日均总耗电量约为 4700 度,系统全年运行产生的用电成本为 90.2 万元。

### 5.2 投资回报分析

综合上述收益与支出,热泵系统的年净收益为 205.9 万元/年。本项目总投资为 295 万元。投资回报周期 1.4 年。考虑到设备使用寿命通常在 15 年以上,可以认为该项目具有极高的投资价值和长期收益潜力<sup>[6]</sup>。

### 5.3 环境效益与社会效益

除上述可量化的直接经济效益以外,本改造项目同时具备突出的环境效益与社会效益。其一,项目全年可削减蒸汽消耗量 0.91 万吨。该优化方式能够有效降低化石能源的整体耗用水平,减少二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放总量,可为企业碳排放减量目标的达成提供有力支撑。其二,车间整体环境温度下降 7—8℃,可显著降低一线作业人员的高温中暑安全风险。作业区域的环境舒适度得到大幅改善,人员工作满意度显著提升,有利于降低企业人员流动概率,稳固生产团队人员结构。其三,本次改造方案充分践行以人为本的生产管理理念,能够有效提升企业的社会责任形象,进一步强化企业的雇主品牌核心价值<sup>[7]</sup>。

## 6 后续优化计划

### 6.1 热泵系统管理规范化

为保障热泵系统长期处于稳定、高效的运行状态,研究团队针对设备运行流程建立了标准化、体系化的运维管理机制。其一,明确设备开机运行条件。结合系统实际运行工况与能耗损益平衡特征,对热泵设备的启动阈值进行明确界定。规定生产线负载率达到 30%及以上时,方可启动热泵机组设备。其二,推行分季节差异化运行管控。将车间空调冰

水机组的常规运行周期划定为每年 4—10 月,可全面覆盖西南地区全年高温生产时段。其三,制定标准化设备维保周期。结合设备实际运行工况与损耗规律,按月度或季度开展周期性养护工作<sup>[8]</sup>。

### 6.2 排产计划优化

依托系统热量平衡试验的实测数据结果,当生产线整体负载率维持在 80%及以上工况时,双压缩机设备可保持连续平稳运行状态。该运行工况下整套系统的综合能耗水平最低,可实现最优能效表现。

### 6.3 车间环境持续升级

一是推进车间热源隔离治理。对车间内部各类主要产热设备开展全面排查梳理,并实施针对性的物理隔离措施。二是优化末端送风口整体布局。对车间现有送风口的布设位置开展工况适配性综合评估,对布设不合理的风口点位进行优化调整。三是落实岗位精准送风改造。推行“送风到岗”的精细化改造模式,在核心重点操作工位增设局部送风设备。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. “十四五”工业绿色发展规划[Z]. 工信部规(2021)178号, 2021.
- [2] 周黎民, 贺艳晖, 周亮. 磁悬浮轴承热泵压缩机设计与应用研究[J]. 电机与控制应用, 2022, 49(5): 54-59.
- [3] 中国节能协会热泵专业委员会, 产业在线. 2024 中国热泵产业发展报告[R]. 2024.
- [4] 王如竹, 闫鸿志, 等. 热泵在中国实现 2060 年碳中和目标中的作用被低估[J]. Engineering, 2022, 18: 1-8.
- [5] 王如竹, 王丽伟, 蔡军, 杜帅, 胡斌, 潘权稳, 江龙, 徐震原. 工业余热热泵及余热网络化利用的研究现状与发展趋势[J]. 制冷学报, 2017, 38(2): 1-10.
- [6] 郑茂强, 康泰, 王岚, 荣恒军. 水源热泵节能技术在食用油精炼车间的应用[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 24-26.
- [7] 韩巍, 等. 利用低温烟气余热的吸收-压缩复合热泵系统[J]. 工程热物理学报, 2017, 38(6): 1150-1156.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 热泵热水机(器)能效限定值及能效等级: GB 29541-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS