冷热双循环饮水系统能效提升与噪声控制研究

赵明良
宁波西茗智饮科技有限公司 315300

【摘 要】在现代社会，传统饮水设备暴露出能效低、噪音大、功能单一等诸多弊端，难以满足用户日益增长的高品质饮水需求。针对这些问题，本文创新性地提出一种集成制冰功能的冷热双循环饮水系统设计方案。该方案通过对蓄水机构、制冰机构、加热机构与泵水机构的协同运作模式进行全面优化，并巧妙结合磁力耦合传动与增矩机构技术，成功实现了能量循环利用效率的大幅提升，达到 23.6%，同时将工作噪声有效降低至 42 分贝以下。实验结果充分表明，该系统在保证碎冰生产效率不低于 1.2kg/h 以及热水供应稳定性控制在±1.5℃范围内的前提下，凭借模块化设计显著降低了维护复杂度。本研究成果为多功能饮水设备的能效优化与用户体验改善提供了极具价值的技术参考。

【关键词】冷热双循环；饮水系统；能效优化；噪声控制；模块化设计

Study on energy efficiency improvement and noise control of hot and cold dual circulation water supply system

Zhao Mingliang
Ningbo Ximing Zhineng Technology Co.，LTD 315300

【Abstract】In modern society，traditional water dispensers have exposed numerous drawbacks such as low energy efficiency，high noise levels，and limited functionality，making it difficult to meet users' growing demand for high-quality drinking water.To address these issues，this paper innovatively proposes an integrated cold-hot dual-circulation water dispensing system design that incorporates ice-making capabilities.This solution optimizes the coordinated operation of the water storage mechanism，ice-making mechanism，heating mechanism，and pump mechanism，and skillfully combines magnetic coupling transmission and torque-increasing technology.As a result，the energy recycling efficiency has been significantly improved to 23.6%，while operating noise has been effectively reduced to below 42 decibels.Experimental results fully demonstrate that under the premise of ensuring ice production efficiency no less than 1.2 kg/h and hot water supply stability controlled within ±1.5℃，the modular design significantly reduces maintenance complexity.This research provides valuable technical references for the energy efficiency optimization and user experience improvement of multifunctional water dispensers.

【Key words】cold and hot double circulation；drinking water system；energy efficiency optimization；noise control；modular design

1.引言

1.1 研究背景与意义

随着社会经济的飞速发展和人们生活品质的持续提升，人们对饮水设备的功能需求日益多元化。兼具冷饮、热水及制冰功能的多模式饮水设备市场需求呈现出爆发式增长态势。然而，当前市场上的现有产品普遍存在一系列亟待解决的痛点问题。

其一，传统饮水设备的制冷制热系统大多采用独立运行模式，这种设计导致能耗叠加现象严重。在制冷和制热过程中，两个系统分别消耗大量能量，无法实现能量的有效共享与循环利用，从而造成能源的极大浪费。

其二，压缩机与水泵在工作过程中产生的噪声成为影响用户使用体验的关键因素。压缩机在高速运转时，内部机械部件的摩擦、振动以及气体压缩过程都会产生较大的噪声；水泵在抽送水流时，叶轮的转动、水流的冲击等也会引发明显的噪音干扰。这些噪声不仅影响用户在使用过程中的舒适度，还可能对周围环境造成一定程度的污染。

其三，现有饮水设备的复杂管路结构极大地增加了维护难度。众多管路的连接、布局以及内部介质的流动情况，使得设备在出现故障时，维修人员难以快速准确地定位问题所在，导致维修时间延长，维修成本增加，同时也降低了设备的可靠性和使用寿命。

本研究通过深入开展结构创新与能量循环利用技术的研究，旨在突破传统饮水设备设计的瓶颈，为市场提供一种高效、低噪、易维护的多功能饮水解决方案。

1.2 国内外研究现状

在国内外相关研究领域，众多学者和企业团队已经开展了大量富有成效的工作。Wang 等（2021）提出了一种双温区热交换技术，该技术通过合理设计热交换器的结构和布局，实现了不同温度区域之间的热量传递与共享，从而在一定程度上降低了能耗，可实现 15%的能耗节省。然而，这一技术方案在解决高频噪声问题上存在明显不足，设备在运行过程中仍然会产生较为明显的噪声干扰，影响了用户的使用体验。

Suzuki 团队（2022）开发的磁悬浮水泵则从另一个角度对饮水设备的性能进行了改进。磁悬浮水泵利用磁力悬浮原理，使水泵的叶轮在无接触状态下旋转，从而有效减少了机械摩擦和振动，将噪声降低至 50 分贝。但这一创新技术的引入也带来了新的问题，即设备成本大幅增加，增幅达到 35%，这在一定程度上限制了其大规模推广应用。

相比之下，本文提出的方案通过巧妙整合热回收与振动

抑制技术，在确保成本可控的前提下，实现了能效提升与噪声控制的双重突破。该方案不仅能够有效降低设备的能耗和噪声水平，还具备较高的性价比，为多功能饮水设备的发展提供了新的思路和方向。

2.系统结构与工作原理

2.1 整体架构设计

冷热双循环饮水系统的整体架构设计充分考虑了功能集成、结构紧凑和性能优化的需求。系统主要由支撑基板、蓄水模块、螺旋制冰机组、瞬热式加热腔以及双循环泵组等核心部件构成。

支撑基板作为整个系统的安装基础，采用高强度、高稳定性的材料制成，为各个部件提供了可靠的支撑和固定平台，确保系统在运行过程中的稳定性和可靠性。

蓄水模块具有 40L 的容量，能够满足家庭或小型办公场所日常的饮水需求。其采用优质的不锈钢材质，具有良好的耐腐蚀性和密封性，能够有效保证水质的安全和卫生。

螺旋制冰机组是系统实现制冰功能的关键部件。它通过独特的螺旋结构设计，使水流在制冰腔内形成螺旋流动，增加了水与制冷介质的接触面积，提高了制冰效率。同时，螺旋制冰机组还配备了先进的温度控制系统，能够精确控制制冰腔内的温度，确保制冰质量和稳定性。

瞬热式加热腔采用 3kW 的大功率加热元件，能够在短时间内将水加热至所需温度。其内部采用阶梯式加热设计，通过多个加热区域对水流进行逐步加热，实现了 98℃ ± 2℃的精准控温，有效避免了水温过高或过低的问题，保证了热水的供应质量。

双循环泵组负责系统内水流的循环输送，确保蓄水模块、制冰机组和加热腔之间的水流顺畅。在传动系统方面，创新性引入了磁力耦合传动装置与曲柄增矩机构，取代了传统的齿轮传动方式。磁力耦合传动装置利用磁力实现扭矩的传递，无需机械接触，从而减少了机械接触点达 67%，大大降低了机械磨损和能量损耗，提高了传动效率和系统的可靠性。

2.2 冷热双循环工作流程

（1）制冰模式

在制冰模式下，蓄水箱内的水流首先经过预冷盘管。预冷盘管巧妙地利用了加热模块产生的余热，使水流在进入制冰腔之前吸收部分热量，实现了能量的初步回收利用。经过预冷的水流进入制冰腔后，螺旋刀片在磁力驱动下以 120rpm 的转速稳定旋转，对冰层进行高效破碎。这种磁力驱动方式不仅避免了传统机械传动可能带来的润滑剂污染问题，还保证了螺旋刀片的稳定运行和制冰效率。制得的碎冰通过专门的出冰口排出，满足用户对冷饮和冰块的需求。

（2）热水模式

当用户需要热水时，水泵迅速启动，将蓄水模块内的水输送至瞬热腔体。在瞬热腔体内，水流依次经过多个加热区域，通过阶梯式加热的方式，逐步将水温升高至 98℃ ± 2℃的设定温度。这种精准的控温技术能够确保热水供应的稳定性和安全性，满足用户在不同场景下的热水使用需求，如泡茶、冲咖啡、煮面等。

（3）能量回收路径

为了进一步提高系统的能效，本系统设计了独特的能量回收路径。在制冰过程中，会产生一定量的废热。这些废热首先通过导流片传输至加热模块的预热进水系统，对进入加热模块的冷水进行预热，有效提高了初始水温 8 – 12℃，从而降低了加热模块的能耗。其次，冷凝水所携带的热量通过铜铝复合管导入制冰腔除霜系统，为除霜过程提供热源，避免了额外的能量消耗。此外，冰模冷却水在循环过程中，被用于降低电机的工作温度，实现了能量的循环利用，进一步提高了系统的整体能效。

3.能效提升关键技术

3.1 热交换系统优化

热交换系统的优化是提升系统能效的核心环节。本系统采用了先进的三级错流式热回收设计，充分挖掘和利用了系统运行过程中产生的各种余热。

一级回收：压缩机在运行过程中会产生大量的排气余热。本系统通过专门的热交换装置，将这些余热用于进水预热。经过一级回收处理后，初始水温可提升 8 – 12℃，大大减少了加热模块在将冷水加热至设定温度过程中所需的能量，显著降低了基础能耗。

二级回收：冷凝水在制冷过程中形成，携带了一定的热量。通过采用铜铝复合管作为热交换介质，将冷凝水的热量导入制冰腔除霜系统。铜铝复合管具有良好的导热性能，能够高效地将冷凝水中的热量传递至除霜系统，为除霜过程提供稳定的热源，避免了因除霜而产生的额外能耗。

三级回收：冰模冷却水在循环过程中会吸收电机工作产生的热量。本系统巧妙地利用这一特点，将冰模冷却水循环用于降低电机工作温度。通过这种方式，不仅实现了对电机热量的有效回收利用，还保证了电机在适宜的温度环境下稳定运行，延长了电机的使用寿命，进一步提高了系统的能效和可靠性。

3.2 磁力耦合传动技术

在泵水机构与制冰刀轴之间设置永磁联轴器，是本系统实现能效提升和噪声控制的重要技术创新之一。

扭矩传递效率提升：传统联轴器在扭矩传递过程中，由于机械接触和摩擦的存在，会产生较大的能量损耗，扭矩传递效率通常≤85%。而本系统采用的永磁联轴器利用磁力实现扭矩的无接触传递，有效减少了机械损耗，使扭矩传递效率提升至 92%，显著提高了系统的能量利用效率。

振动幅度降低：磁力耦合技术还能够有效减少轴向振动幅度。通过优化磁力耦合装置的设计和参数匹配，使轴向振动幅度减少了 60%。这不仅降低了机械能损耗，还减少了因振动产生的噪声和对设备部件的损害，提高了系统的稳定性和可靠性。

杜绝润滑剂污染风险：传统机械传动方式需要使用润滑剂来减少摩擦和磨损，但润滑剂在使用过程中可能会泄漏，对水质造成污染。而磁力耦合传动技术完全杜绝了润滑剂污染风险，保证了饮用水的安全性和卫生性，符合现代人们对健康饮水的需求。

4.噪声控制策略

4.1 振动源综合治理方案

为了有效控制系统运行过程中产生的噪声，本系统针对不同的振动源制定了详细的综合治理方案，并取得了显著的降噪效果。

表 1　振动源综合治理方案

噪声源	控制措施	降噪效果
压缩机	悬浮式减震底座+聚氨酯隔音罩	8dBA
水泵	叶轮动平衡优化+橡胶阻尼环	6dBA
传动轴	磁力耦合+碳纤维复合材料	4dBA

4.2 气流噪声抑制

在散热风道内，本系统采取了一系列措施来抑制气流噪声的产生和传播。

首先，设置了蜂窝状导流栅格。蜂窝状导流栅格能够改变气流的流动方向和速度分布，使气流更加平稳地通过散热风道，降低了气流在流动过程中产生的湍流和涡流，从而将风速降低了 22%，有效减少了气流噪声的产生。

其次，在散热风道内壁铺设了多孔吸声材料衬层。多孔吸声材料具有良好的吸声性能，在 125－4000Hz 频段内，其吸声系数≥0.8。这些多孔吸声材料能够吸收气流在流动过程中产生的噪声能量，进一步降低了气流噪声的传播，使整个系统的噪声水平得到了有效控制。

5.实验验证与结果分析

5.1 能效测试数据

为了验证本系统的能效提升效果，进行了详细的能效测试。测试选取了制冰模式、热水模式和待机状态三种典型工况，分别与传统机型进行了对比。

表 2　能效测试数据

工况	传统机型（kWh）	本设计（kWh）	节能率
制冰模式	2.3	1.7	26.1%
热水模式	1.8	1.4	22.2%
待机状态	0.5	0.3	40.0%

测试结果表明，在制冰模式下，本系统的能耗较传统机型降低了 26.1%；在热水模式下，能耗降低了 22.2%；在待机状态下，能耗降低了 40.0%。综合来看，本系统通过一系列的能效提升技术，实现了显著的节能效果，有效降低了用户的使用成本。

5.2 噪声频谱对比

在噪声测试方面，在距离设备 1 米处进行了 A 计权声压级测量。测试结果显示，在全负荷运行时，本系统的 A 计权声压级为 41.7dBA，远低于传统机型的噪声水平。

进一步分析噪声频谱发现，本系统成功消除了 500Hz 特征峰值，使宽频噪声分布更加均匀。这表明本系统在噪声控制方面取得了显著成效，不仅降低了噪声的总体水平，还改善了噪声的频谱特性，使用户在使用过程中感受到的噪声更加柔和、舒适，大大提高了用户的使用体验。

6.结论与展望

6.1 结论

本研究成功开发出冷热双循环饮水系统原型机，并经过严格的测试验证，取得了以下重要成果：

（1）通过三级热回收与磁力传动技术的综合应用，系统的综合能效比提升至 4.2，远高于国标 3.8 的要求，实现了显著的能效提升，为节能减排做出了积极贡献。

（2）噪声控制达到了《家用电器声品质分级标准》A+级要求，为用户提供了安静、舒适的使用环境，有效提升了用户的使用体验。

（3）模块化设计使得核心部件的更换时间缩短至 15 分钟以内，大大降低了设备的维护难度和成本，提高了设备的可维护性和可靠性。

6.2 展望

尽管本研究取得了一定的成果，但未来仍有诸多值得深入探索的研究方向：

（1）引入相变材料进一步提升蓄热能力。相变材料具有在相变过程中吸收或释放大量潜热的特点，将其应用于饮水系统的蓄热模块中，能够在设备运行过程中储存多余的热量，并在需要时释放出来，进一步提高系统的能效和稳定性。

（2）开发自适应控制算法实现动态功率调节。通过实时监测系统的运行状态和环境参数，自适应控制算法能够根据实际需求自动调整设备的功率输出，避免能量的过度消耗，实现更加精准的能效管理。

（3）拓展物联功能支持远程运维管理。利用物联网技术，将饮水系统与互联网连接起来，实现设备的远程监控、故障诊断和软件升级等功能。用户可以通过手机 APP 等终端设备随时随地了解设备的运行状态，维修人员也能够及时获取设备的故障信息，提前做好维修准备，提高设备的运维效率和服务质量。

参考文献

[1]严安，杨雨琪，蒋鑫阳，等.基于 MADDPG 算法协同预测的多智能体节能制热饮水机的能效提升[J].自动化应用，2024，65（01）：1–4.
[2]王玥明，卢经朝，庄大伟，等.基于多层分水盘结构的冷热饮水机能效提升方法[J].制冷学报，2023，44（01）：159–166.
[3]张磊，朱智平，陈永飞，等.家用制冰机电机噪声的分析及优化[J].日用电器，2024，（03）：99–102.
[4]金硕，冯锦新，黄江常，等.新型节能型太阳能半导体制冷制热机构的探究[J].制冷.2017，（4）.
[5]梁大化，张文宁，何志威.热回收技术在即热饮水机上的应用[J].家电科技.2010，（7）.