

污水源热泵在集中供热（冷）系统中的应用

张 舰

天津佳源兴创新能源科技有限公司 天津 300000

摘 要：本文探讨了污水源热泵在集中供热（冷）系统中的应用。其原理是遵循逆卡诺循环，通过少量电能驱动，实现热量从污水到供热（冷）系统的搬运与转换。系统构成包括污水换热与热泵主机部分。在技术上，水源稳定且温度适配。经济性方面，虽初始投资高，但运行成本效益显著。应用上，涉及区域能源供应优化、既有建筑改造、能源综合利用、工业余热协同、城市能源站集成、跨区域调配及农业拓展等多领域，展示了其广泛的应用前景与节能减排的潜力。

关键词：污水源热泵；集中供热（冷）；可再生能源；节能技术

随着能源需求的不断增长和环保要求的提高，寻找高效、清洁的供热（冷）方式成为必然趋势。污水源热泵作为一种新兴的供热（冷）技术，利用污水中的低品位热能，具有独特的优势。它不仅能够实现能源的回收利用，还符合可持续发展的理念。深入研究其在集中供热（冷）系统中的应用，对于推动能源转型、提高能源利用效率以及减少环境污染具有重要意义，也为解决当前能源领域面临的问题提供了新的思路和方法。

一、污水源热泵的基本原理与系统构成

1. 基本原理

污水源热泵遵循逆卡诺循环原理，通过少量高位电能输入驱动压缩机做功。工质在蒸发器内吸收污水中的低品位热能，由液态蒸发为气态，形成低压蒸汽进入压缩机。压缩机将蒸汽压缩至高温高压状态，使其具备更高的能量品位。随后，高温高压工质蒸汽在冷凝器中释放热量给末端供热（冷）系统，自身冷凝为液态，经节流装置降压后重新回到蒸发器吸热，如此循环往复，实现热量的持续搬运与转换。例如，在冬季供热时，工质能够从温度相对较高的污水中提取热量，将其输送至室内供暖系统，满足室内的热需求^[1]。

2. 系统构成

污水换热系统：主要由污水取水装置、预处理设备、板式换热器等组成。取水装置负责从污水干渠或污水处理厂的特定位置提取污水，预处理设备通过格栅、滤网等去除污水中的大颗粒杂质与悬浮物，防止其堵塞换热器与后续管道。板式换热器则是污水与热泵工质进行热量交换的核心部件，确保高效换热的同时，有效隔离污水与工质，避免交叉污染。热泵主机系统：包含压缩机、

蒸发器、冷凝器、膨胀阀等关键部件。压缩机作为系统的“心脏”，为工质循环提供动力；蒸发器和冷凝器分别实现工质的吸热与放热过程；膨胀阀则根据系统工况调节工质流量与压力，保障整个循环稳定运行。例如，当系统处于制热模式时，蒸发器从污水中吸收热量传递给工质，压缩机将工质升温升压后送至冷凝器，将热量释放给供热管网中的循环水^[2]。

二、污水源热泵在集中供热（冷）系统中应用的技术可行性

1. 水源稳定性

城市污水排放具有连续性与相对稳定的流量特点。污水处理厂每日处理的污水量通常依据城市人口规模、用水习惯等因素保持在一定范围内波动，这为污水源热泵提供了较为稳定的热源基础。只要合理规划取水设施与管道连接，就能确保热泵系统有充足且持续的污水供应，满足连续供热（冷）的需求。例如，在大型城市的污水处理厂周边建设集中供热（冷）项目时，可依据污水处理厂的设计处理能力与实际运行数据，精准设计污水取水量与热泵系统规模匹配方案。

2. 温度适配性

尽管污水温度随季节、气候以及污水处理工艺有所变化，但总体处于一个适宜热泵运行的温度区间。一般而言，冬季污水温度在10℃ -20℃之间，夏季温度在22℃ -30℃左右，这样的温度条件能够满足热泵蒸发器对低温热源的要求。通过优化热泵系统的控制策略，如采用变频调节技术，可根据污水实际温度灵活调整压缩机转速与工质流量，确保在不同季节都能高效制热或制冷^[3]。例如，当冬季污水温度较低时，适当提高压缩机

频率，增大工质循环量，提升蒸发器吸热量；夏季温度较高时，降低压缩机频率，减少制冷量输出，维持系统稳定运行。

三、污水源热泵在集中供热（冷）系统中应用的经济性分析

1. 初始投资成本

相较于传统集中供热（冷）系统，污水源热泵系统的初始投资较高。其主要原因在于需要建设专门的污水取水与预处理设施，以及购置污水源热泵机组及其配套设备。污水取水装置涉及泵类设备、管道铺设、防护设施等费用；预处理设备中的格栅、滤网、除污机等也需要一定资金投入；而热泵主机由于技术复杂、性能要求高，价格相对昂贵。例如，一套中型规模的污水源热泵集中供热（冷）系统，仅设备采购与安装费用可能高达数百万元，相比传统燃煤锅炉供热系统初期投资高出不少。

2. 运行成本效益

能源节约效益：污水源热泵利用污水中的免费热能，大幅减少了对传统化石能源的依赖。与传统燃煤供热相比，每吨标准煤产生的热量若由污水源热泵替代，可节省大量煤炭资源及相应的燃料采购费用。同时，由于电能驱动效率相对较高，在运行过程中，单位热量产出的能耗成本低于传统供热方式。例如，在长期运行中，污水源热泵系统的能源费用可比传统燃气供热节省30%~50%。**维护成本分析：**虽然污水源热泵系统的设备构造相对复杂，但由于污水经过预处理后进入系统，能有效减少换热器结垢、堵塞等问题发生概率，从而降低设备维修频率与维护难度。不过，定期对污水取水、预处理设备以及热泵主机进行检查、保养仍不可或缺。综合考虑，其年平均维护成本与传统供热系统相当或略高，但结合能源节约效益，整体经济性优势依然显著^[4]。例如，通过合理制定维护计划与采用智能监控系统，可及时发现并解决潜在故障隐患，将维护成本控制可在可接受范围内。

四、污水源热泵在集中供热（冷）系统中的应用

1. 区域能源供应优化

在一些新开发的大型社区或工业园区，污水源热泵集中供热（冷）系统正逐渐成为区域能源供应的中流砥柱。以某新建生态园区为例，其充分利用周边污水处理厂的污水资源，构建了一套高效的污水源热泵系统。该系统为园区内各类建筑提供稳定可靠的采暖和制冷服务，极大地满足了园区日常运营的能源需求。通过这种自给

自足的能源供应模式，不仅有效提高了能源利用效率，降低了能源浪费，还显著减少了对外部传统能源如煤炭、天然气等的依赖程度。这一系统的成功应用，为其他类似园区树立了绿色能源利用的典范，推动了区域能源供应朝着更加可持续、环保的方向发展^[5]。

2. 既有建筑改造项目

对于老旧的集中供热（冷）区域而言，污水源热泵技术的引入无疑是一次重大的技术革新。在某老城区的改造项目中，充分彰显了这一技术的优势。改造过程巧妙地利用了原有的供热（冷）管网布局，在不改变其结构的基础上，精准增设了污水源热泵机组及相关配套设施。这种优化设计既保留了原有管网的稳定性和部分功能，又借助污水源热泵系统的高效节能特性，实现了供热（冷）系统的全面升级。居民们切实感受到了生活品质的提升，室内温度更加稳定舒适，能源费用也有所降低。同时，该项目还为其他老旧城区的能源改造提供了宝贵的经验借鉴，有助于推动更多区域的节能减排工作。

3. 能源综合利用场景

污水源热泵系统与其他可再生能源技术的协同应用，正逐步构建起多元化的能源供应体系。在某些地区，污水源热泵与太阳能光伏发电系统的联合应用取得了显著成效。白天，充足的太阳能发电不仅为污水源热泵提供了部分电力支持，确保其稳定运行，还能满足部分建筑的日常用电需求，实现了能源的高效利用。而到了夜间或阴雨天，当太阳能发电量不足时，电网供电及时介入补充。这种灵活的能源调配方式，大大提高了整个系统的能源利用效率和稳定性。不同能源之间相互补充、相互协调，使得区域内的能源供应更加可靠，减少了因单一能源波动而带来的风险，为能源供应的可持续发展提供了有力保障^[6]。

4. 工业余热回收与污水源热泵协同

在工业企业中，大量的低品位余热以往往往被忽视或浪费。然而，将污水源热泵与工业余热回收系统相结合，为企业带来了全新的能源节约解决方案。例如，某化工企业通过巧妙利用生产过程中产生的余热来预热污水源热泵系统的进水，这一举措使得系统的制热系数得到显著提高。由于进水温度的提升，污水源热泵在运行时所需的能量相应减少，从而大大降低了企业的能源消耗。这种协同方式不仅提高了能源的利用效率，降低了企业的运营成本，还体现了循环经济的理念，实现了企业内部能源的高效利用和可持续发展，为其他工业企业在能源管理方面提供了有益的参考和借鉴。

5. 城市能源站的集成应用

城市建设中综合性城市能源站的发展日益受到重视，污水源热泵在其中扮演着至关重要的角色。这些能源站整合了包括污水热能、天然气、电力等多种能源资源，具备强大的能源调配能力。以某城市能源站为例，在冬季供热高峰期，它能够优先利用污水源热泵为城市提供大量供热服务。污水源热泵利用污水中蕴含的稳定热能，为城市建筑供暖，有效缓解了传统能源供热的压力^[7]。当遇到极端天气或供热高峰时，天然气锅炉作为补充供热方式适时启动，两者相互配合，确保城市能源供应的稳定性和可靠性。这种智能调配模式根据不同能源供应情况和用户需求进行灵活调整，实现了城市能源的高效利用和优化配置。

6. 跨区域能源调配辅助手段

在地区之间存在能源供需不平衡的情况下，污水源热泵系统成为了一种极具潜力的跨区域能源调配辅助手段。例如，某地区的污水处理厂附近拥有丰富的污水热能资源，而相邻地区却面临着供热（冷）缺口的问题。通过建设跨区域的污水源热泵供热（冷）管道网络，成功地将富余区域的污水热能转化为有用的热能或冷能，并输送到需求区域。这种能源调配方式实现了资源的优化利用，提高了整个区域的能源利用效率。不仅满足了不同地区的能源需求，还促进了区域间的能源合作与平衡发展，为解决地区间能源分配不均的问题提供了创新的思路和方法。

7. 商业建筑的定制化应用

对于商业建筑如商场、酒店等而言，污水源热泵集中供热（冷）方案的定制化应用正成为一种趋势。某大型商场根据自身独特的用能需求和营业时间特点，量身定制了一套污水源热泵系统。在白天营业高峰期，商场内人员密集，对制冷需求较大，此时系统会全力运行，增加制冷能力，确保商场内温度舒适宜人。而到了夜间营业结束后，商场需要维持一定的基础温度，系统则切换为制热模式，为保洁人员提供温暖的工作环境。这种定制化的应用模式充分考虑了商业建筑的不同使用场景和需求变化，实现了能源的精准供应和高效利用，同时也为顾客和工作人员创造了舒适的环境体验^[8]。

8. 农业领域的拓展应用

在农业领域，污水源热泵为温室大棚的恒温环境控

制提供了创新的解决方案。某蔬菜种植基地采用污水源热泵系统为温室大棚供暖和降温。在冬季，寒冷的气候可能会影响蔬菜的生长，此时利用污水中的热能，通过污水源热泵系统为大棚提供稳定的热量，保持大棚内温度适宜蔬菜生长。夏季，当气温过高时，系统则通过热泵制冷功能降低大棚内的温度，防止蔬菜因高温而受损。这种应用不仅有助于提高蔬菜的产量和质量，延长生长周期，还能实现能源的可持续利用，减少对传统能源的依赖，为农业生产的可持续发展开辟了新的道路。

结语

污水源热泵在集中供热（冷）系统中展现出了巨大的应用潜力。从大型社区到既有建筑改造，从能源综合利用到工业余热协同，从城市能源站到跨区域调配，再到农业领域的拓展，其在不同场景下都发挥了重要作用。尽管存在初始投资高等挑战，但通过合理的规划、技术创新和经济分析，其优势逐渐凸显。未来，应进一步加大对污水源热泵技术的研发和推广力度，以实现其在更广泛领域的应用，为构建绿色、低碳、高效的能源供应体系做出更大贡献。

参考文献

- [1] 曹正霞. 济南市某小区污水源热泵供热系统的实例分析与评价[D]. 哈尔滨工业大学, 2016.
- [2] 王鹏. 青岛市污水源热泵供热适用性研究[D]. 青岛理工大学, 2016.
- [3] 华泽杰, 王晓龙. 污水源热泵做为供热补充热源在集中供热系统中的应用[J]. 区域供热, 2015, (03): 86-89.
- [4] 张宇航, 李爽. 浅谈污水源热泵在城市供热中的应用[J]. 中国设备工程, 2023 (9): 225-227.
- [5] 盛嘉宾, 楚伟, 邓言斌. 冬季供暖系统中污水源热泵机组的应用分析[J]. Urban Architecture & Development, 2023, 4 (18).
- [6] 查丽芳. 冬季供暖系统中污水源热泵机组的应用分析[J]. 节能与环保, 2023 (7): 69-71.
- [7] 赵阳. 热泵系统在集中供热中的应用[J]. 山西建筑, 2018, 44 (30): 2.
- [8] 张青涛, 程永召. 污水源热泵供热系统应用研究[J]. 缔客世界, 2021 (9): 49-50.