

清洁智慧供热项目的技术创新与能效优化研究

吴 阳

盘锦广田建筑安装工程有限公司 辽宁 盘锦 124010

摘 要：在“双碳”目标驱动下，清洁智慧供热成为城市能源转型的重要方向。本文以盘锦双台子热力有限公司清洁智慧供热项目为研究对象，系统分析其技术方案、节能措施及能效评估体系。通过余热回收技术、智能热泵系统及数字化管控平台的集成应用，项目实现了工业余热的高效利用与供热系统的智能化升级。研究结果表明，项目总供热能力达266.98MW，能源利用效率显著提升，单位产品综合能耗低于行业基准值，为北方地区清洁供热提供了可复制的技术路径与管理经验。

关键词：清洁供热；智慧能源；余热回收；能效评估；热泵技术

1 引言

随着城市化进程加快和居民生活水平提升，集中供热系统的能源消耗与碳排放问题日益凸显。我国北方地区冬季供暖依赖燃煤锅炉，导致大量污染物排放和能源浪费，推动供热系统的清洁化、智能化改造成为实现“双碳”目标的关键环节。清洁智慧供热通过整合可再生能源利用、智能控制技术与能效管理体系，构建高效、低碳、安全的供热系统，成为解决传统供热弊端的重要途径。

盘锦双台子热力有限公司清洁智慧供热项目作为东北地区典型示范项目，依托华锦集团乙烯公司工业余热，通过电压缩式热泵技术实现余热回收与梯级利用，同步建设智能监控系统与能效管理平台，显著提升了区域供热效率与低碳化水平。本文结合项目工程实践，从技术方案、节能措施、能效评估等维度展开研究，为同类项目提供理论参考与实践借鉴。

2 项目概况与技术背景

2.1 项目基本信息

项目由盘锦双台子热力有限公司投资建设，位于盘锦市双台子工业开发区，总用地面积 16200.5 平方米，总建筑面积 7828.63 平方米。建设内容包括新建热泵间、变电站、消防水泵房及配套设施，安装 20 台电压缩式热泵，回收华锦集团乙烯公司循环水余热 235.708MW，电热泵驱动功率31.272MW，系统总供热能力 266.98MW，覆盖周边居民及工业用热需求。项目于 2024 年 7 月开工，24年12 月试运行，总投资 15539 万元，采用自筹资金模式，是辽宁省“十四五”节能减排重点示范项目^[1]。

2.2 行业背景与政策支撑

我国《“十四五”节能减排综合工作方案》明确要求，到 2025 年，城市清洁供热率达到 80% 以上，北方地

区冬季清洁取暖率达到 70%。辽宁省《固定资产投资项目节能审查实施办法》强调，新建供热项目需满足能效标准，优先采用工业余热、可再生能源等清洁热源。项目严格遵循《中华人民共和国节约能源法》《城镇供热系统节能技术规范》（CJJ/T185-2012）等法规标准，通过余热回收替代传统燃煤锅炉，减少化石能源消耗与污染物排放^[2]。

3 清洁智慧供热技术方案设计

3.1 余热回收与梯级利用系统

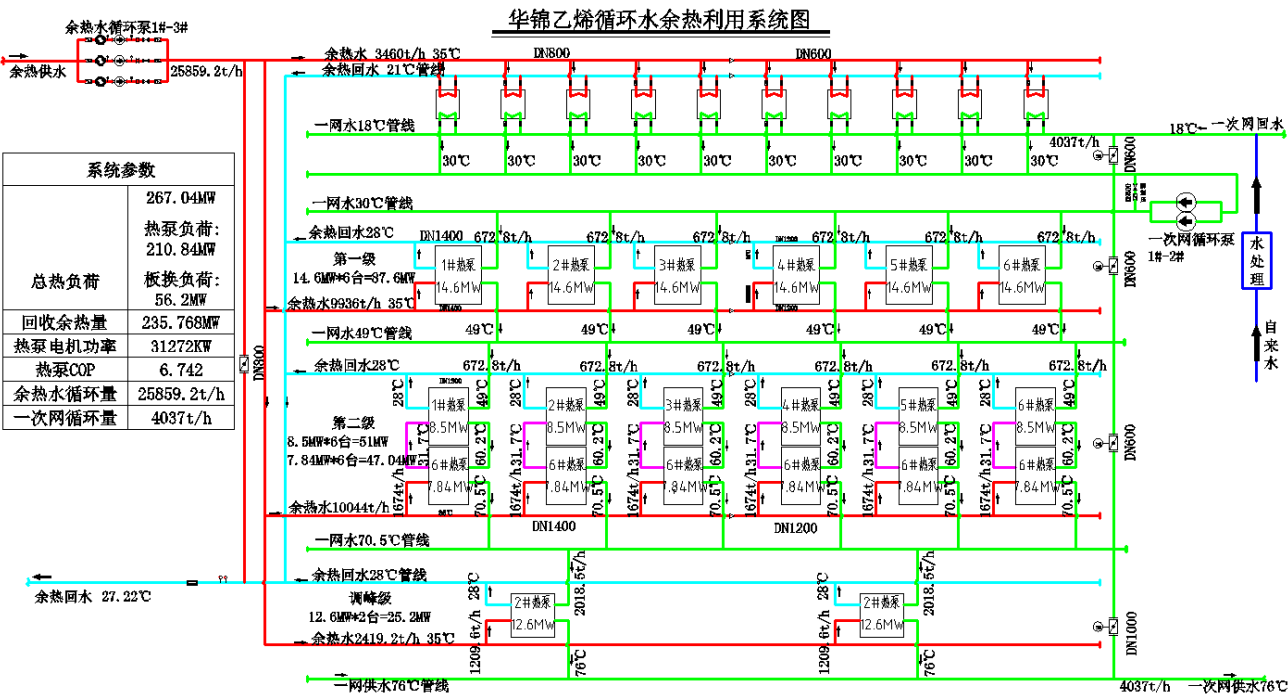
3.1.1 余热资源特性与提取技术

位于盘锦市双台子区的华锦集团生产系统拥有大量的余热：华锦集团乙烯公司第一循环水场，循环水量为43000m³/h，装置回水温度35℃，循环水场供水温度28℃。经计算，所含余热热量约为350MW，水温为30-35℃，流量稳定，水质好，水温恒定，是理想的低温热源。

本项目利用华锦集团乙烯公循环水余热温度为35℃/28℃，设计流量25859t/h，属于中低温余热资源，适合通过热泵技术提取利用。项目采用20台电压缩式热泵，热泵的台数和额定制热量分别是（包含6台14.6MW、6台8.5MW、6台7.84MW及2台12.6MW机型）回收华锦集团乙烯公司循环水余热235.708MW,电热泵驱动功率31.272MW，系统最大供热能力266.98MW。通过多级压缩工艺提升热能品位。热泵系统以水为介质，将循环水余热传递至热网循环水，实现余热的高效提取与转换，热泵机组第一级单台实测制热性能系数（COP）达15.02，系统综合COP6.74，超国家标准要求（COP ≥ 5.6）^[3]。

3.1.2 工艺系统流程设计

项目工艺系统分为五大模块（如图）：



余热水循环系统：通过 3 台循环水泵（两运一备）将余热管网循环水输送至热泵机组，流量 25859.2t/h，温度 35℃/28℃。

水水换热系统：10 台板式换热器将部分余热水与热网回水（18℃）换热，提升至 30℃后进入热泵机组，实现热量的初步梯级利用。

热网循环系统：热网回水经旋流除污器、循环水泵升压后，依次通过四级热泵机组，温度逐步提升至 76℃，通过管网输送至热力站。

水处理系统：软化系统采用流量型全自动软水设备（处理量 80t/h），出水硬度 ≤ 0.03mmol/L；除氧系统采用真空旋膜 - 电化学 - 化学反应三位一体设备，溶解氧 ≤ 0.1mg/L，满足供热水质标准。

补水定压系统：采用变频调速补水泵（一运一备），补水量按热网循环水量2%设计，定压点压力0.2MPa，保障系统稳定运行。

3.2 智能控制与能效管理平台

3.2.1 DCS 集散控制系统

项目构建三级智能控制体系：

现场控制级：热泵机组、水泵、换热器等设备配置独立控制器，实时采集温度、压力、流量等参数。

集中监控级：中央控制室通过 DCS 系统集成数据，实现热网温度自动调节、设备联锁保护及能效实时计算，支持根据室外温度动态调整供热负荷。

企业管理级：与热网控制中心通过以太网通讯，上

传能耗数据与设备运行状态，实现全流程数字化管理^[4]。

3.2.2 能源计量与监测体系

依据《用能单位能源计量器具配备和管理通则》（GB17167-2006），项目配置电力、热量、水等计量器具（表1），一级计量配备率 100%，主要次级用能单位与设备计量配备率 ≥ 85%。通过智能电表、超声波热量表、电磁水表实时监测能耗数据，为能效分析与优化提供数据支撑。

表1 能源计量器具配置情况

能源种类	应配数量	实配数量	配备率
电力	2	2	100%
热量	2	2	100%
水	1	1	100%

4 节能措施与能效优化路径

4.1 设备能效提升技术

4.1.1 高效用能设备选型

热泵机组：选用约克品牌水源热泵，采用高效压缩机与换热器，实测 COP 达 15.02，较传统热泵效率提升 30% 以上。

变压器：主变采用 SF22-50000/66 型一级能效变压器，厂用变压器为 SCB15 系列二级能效产品，空载损耗与负载损耗均低于国家标准。

水泵与电机：热网循环泵、余热水循环泵采用 KQSN 系列高效离心泵，效率 ≥ 88%，满足《清水离心泵能效限定值及节能评价》（GB19762-2007）节能评价要

求；热泵电机为一级能效高压电机（效率 $\geq 95\%$ ），部分辅助设备电机（如补水泵、盐泵）为三级能效，企业计划 3 年内更新为二级能效以上产品。

4.1.2 电气与管网节能设计

供配电系统：66/6.3kV 变电站靠近负荷中心，采用集中无功补偿（功率因数 ≥ 0.94 ），降低线损；非采暖期采用 10/0.4kV 箱式变电站，减少变压器空载损耗。

管网优化：余热管网采用预制直埋保温管（保温层厚度 50mm，导热系数 $\leq 0.03\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ），减少热损失；管道布局遵循“短捷顺畅”原则，降低沿程阻力与泵送能耗^[5]。

4.2 管理节能与流程优化

负荷动态匹配：通过 DCS 系统实时监测热网负荷变化，自动调整热泵运行台数与水泵转速，避免“大流量、小温差”运行模式，降低电耗 15%-20%。热源侧余热水量通过余热循环水泵变频调节，低负荷运行期间，通过调整运行热泵台数，优先选用1-3级热泵调节热负荷，调峰级不投入使用，此时综合COP较高，同时投运中的每一级热泵随时增减运行热泵台数进行负荷调整。

水质精准控制：软化系统采用硬度在线监测（每 5 分钟检测一次），自动触发再生程序，树脂利用率提升 20%，减少盐耗与水耗；除氧系统通过真空 - 电化学协同作用，溶解氧去除率达 99% 以上，延长设备寿命。

运维策略优化：建立设备定期巡检与能效对标机制，针对热泵机组制定预防性维护计划，确保长期运行效率稳定在设计值的 95% 以上。

5 能效评估与效益分析

5.1 能耗指标计算

基于 2024 年 12 月 - 2025 年 1 月试运行数据推算全年能耗（表 2）。

表2 全年能源消耗与能效指标

项目	年消耗量	年消耗量单位	折标煤（tce）	单位产品能耗（kgce/GJ）
电力	83260610.56	kWh	10232.73	-
余热	1963713	GJ	67001.88	-
供热量	2186732.56	GJ	74611.31	当量值 1.1，等价值 4.982

项目年供热量2186732.56GJ，年用电量83260610.56 kWh，新水消耗83203.28t。单位产品综合能耗当量值 1.1kgce/GJ，等价值4.982kgce/GJ，低于《城镇供热系统节能技术规范》规定的基准值（当量值1.5kgce/GJ，等价值5.5kgce/GJ）。供热标准煤耗当量值34.11kgce/GJ，等价值37.07kgce/GJ，较传统燃煤供热（标准煤耗约

45kgce/GJ）降低17.6%-24%。

5.2 环境与经济效益

减排效益：项目替代传统燃煤锅炉后，年减少燃煤消耗约 8.5 万吨，减排 CO₂约 22 万吨、SO₂约 680 吨、NO_x约 510 吨，显著改善区域空气质量。

经济效益：余热回收替代外购能源，年节约燃料成本约 3200 万元，静态投资回收期约 8 年（含设备更新成本）；智能控制减少人工运维成本 15% 以上，提升企业盈利能力^[6]。

5.3 验收结论与改进方向

项目通过节能验收，主要设备能效（热泵、变压器、循环泵）满足国家标准，能源计量体系基本完善。存在问题：部分辅助设备电机为三级能效，需加快更新；余热管网热损失率（约 5%）仍有优化空间。建议后续加装管网泄漏监测系统，推广变频调速技术至所有水泵，进一步提升系统能效。

6 结论与展望

盘锦双台子热力有限公司清洁智慧供热项目通过工业余热回收、高效热泵技术与智能控制的深度融合，构建了“资源节约、环境友好、运行高效”的新型供热模式。项目实践表明，清洁智慧供热在技术可行性、能效提升及减排效果上具有显著优势，为北方地区供热系统改造提供了成功范例。

未来，随着热泵技术迭代（如吸收式热泵与电压耦合式热泵耦合）、储能技术（如相变储热）与可再生能源（如光伏、风电）的协同应用，清洁智慧供热将向“多能互补、供需互动、精准调控”方向发展。建议行业加强跨领域技术集成，完善能效评估标准，推动清洁供热技术规模化应用，助力“双碳”目标实现。

参考文献

[1]中华人民共和国节约能源法（2018 年修正）[Z]. 2018.

[2]《“十四五”节能减排综合工作方案》（国发〔2021〕33 号）[Z]. 2021.

[3]城镇供热系统节能技术规范（CJJ/T185-2012）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[4]热泵和冷水机组能效限定值及能效等级（GB 19577-2024）[S]. 北京：中国标准出版社，2024.

[5]用能单位能源计量器具配备和管理通则（GB17167-2006）[S]. 北京：中国标准出版社，2006.

[6]辽宁省固定资产投资项目节能审查实施办法（辽发改环资〔2023〕503 号）[Z]. 2023.