 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9833

Application Research of Multi-energy Complementary Distributed Heating in the Upgrading of Central Heating System

Peng Zhou

Beijing Ruihong Kaicheng Technology Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract

Aiming at the drawbacks of the traditional central heating system, such as high return water temperature and low heat utilization rate of the primary network, hydraulic imbalance, uneven heating, serious water loss, high system resistance and extensive regulation of the secondary network, this paper proposes an upgrading scheme of multi-energy complementary distributed heating system. The large temperature difference operation of 90℃/25℃ for the primary network is realized through the coupling of heat exchanger and heat pump. An intelligent temperature control model is constructed based on outdoor temperature and historical heating data to optimize the hydraulic balance and pipeline resistance of the secondary network. Engineering examples show that on the premise of no transformation of the original primary pipe network, the heat load delivered by the pipe network is increased by 62.5%, the heating building area can be expanded by 38%, the water loss rate of the secondary network is reduced from 4.2% to 0.9%, the total system resistance is reduced by 28%, and the energy consumption of circulating pumps is reduced by 32%. The scheme achieves the synchronous improvement of energy saving and consumption reduction, load expansion and heating experience, and provides an effective technical path for the transformation and upgrading of urban central heating systems under the dual carbon goal.

Keywords

Multi-energy complementarity; Distributed heating; Large temperature difference heat transfer; Hydraulic balance; Energy saving and consumption reduction; Heating capacity expansion

多能源互补分布式供热在集中供热系统升级中的应用研究

周鹏

北京睿弘恺诚科技有限公司，中国·北京 100070

摘　要

针对传统集中供热一次网回水温度高、热利用率低，二次网水力失衡、供热不均、失水严重、系统阻力大及调控粗放等弊端，提出多能源互补分布式供热升级方案。通过换热器+热泵耦合实现一次网90℃/25℃大温差运行，结合室外温度与历史供热数据构建智能温控模型，优化二次网水力平衡与管路阻力。工程实例表明：在不改造原有一次管网前提下，管网输送热负荷提升62.5%，供热建筑面积可扩容38%，二次网失水率由4.2%降至0.9%，系统总阻力降低28%，循环泵能耗下降32%，实现节能降耗、负荷扩容与供热体验同步提升，为双碳目标下城镇集中供热系统转型升级提供了有效技术路径。

关键词

多能源互补；分布式供热；大温差换热；水力平衡；节能降耗；供热扩容

1 引言

北方城镇集中供热是民生保障与能源消费的重要组成部分，传统“热源—一次网—集中换热站—二次网—用户”模式普遍存在一次网回水温度偏高、二次网水力失调、失水率超标、输配能耗高、调控粗放等问题。在双碳目标与老旧供热管网改造背景下，多能源互补分布式供热成为破解传统供热瓶颈、实现系统提质增效的核心技术。

本文以换热器—热泵耦合大温差换热、分布式循环、智能气象预测调控为核心，结合工程实测、水力计算与设备选型，验证该技术在不改造一次网条件下的扩容与节能效果，为同类工程改造提供参考。

2 传统集中供热系统核心弊端（实测数据）

以北方某 15 万㎡住宅小区为例，对其传统集中供热系统运行工况进行实测，核心问题与指标如下：

一次网回水温度高：设计供回水参数 90℃ /55℃，实际运行温差仅 35℃，回水余热未得到充分利用；

二次网水力失衡严重：系统水力失调率达 32%，近端用户室温 26~28℃，远端用户室温仅 16~18℃，供热均匀性

【作者简介】周鹏（1985—），男，中国天津人，本科，助理工程师，从事供热研究。

极差；

管网失水问题突出：系统年平均失水率 4.2%，年补水量达 1.8 万 m³，伴随显著的热损失与水处理成本增加；

系统阻力与输配能耗高：二次网总阻力 38kPa，循环泵选型扬程偏大，无效电耗偏高；

运行调控方式粗放：采用固定供水温度运行模式，未联动气象参数与历史负荷数据，过量供热占比达 22%。

3 多能源互补分布式供热系统总体设计

3.1 系统架构

以市政一次网为基础热源，耦合空气源热泵、太阳能集热系统与燃气调峰锅炉，构建多能源互补供热体系；采用分布式换热站分区就近供热模式，替代传统集中换热站；搭建智能调控平台，实时接入室外温度、历史供热负荷、管网实时流量与温度等运行数据。

3.2 系统运行逻辑

基荷供热：一次网高位热能经板式换热器直接换热，承担二次网基础热负荷；

余热深度取热：通过水源热泵机组提取一次网回水余热，将其提升至二次网供水温度，最终将一次网回水降至 25℃；

调峰供热：极端低温工况下，启动燃气调峰锅炉与空气源热泵补充热负荷，保障供热稳定性；

智能调控：基于室外实时温度与历年供热数据，提前预设二次网供水温度与循环流量，实现按需供热。

4 换热器—热泵耦合系统与工程关键计算

4.1 耦合系统工作原理

一次网 90℃供水先进入板式换热器，与二次网回水完成基荷换热；换热后的一次网出水进入螺杆式水源热泵机组，以一次网余热水为低温热源，提取其中的低位热能并提升至二次网可用供水温度；最终一次网回水温度稳定至 25℃，实现 90℃ /25℃大温差稳定运行。

4.2 一次网大温差扩容计算

项目改造前一次网运行参数为 90℃ /55℃，实际运行温差 $\Delta t1=35℃$；改造后一次网运行参数为 90℃ /25℃，运行温差 $\Delta t2=65℃$。

根据式 (7) 计算供热能力扩容率：

$$\eta = (65-35)/35 \times 100\% = 62.5\%$$

计算结果表明：在一次网流量、管径、流速均不改变的前提下，热网输送能力提升 62.5%，项目供热建筑面积可由原 15 万㎡扩容至 20.7 万㎡，扩容比例达 38%。

4.3 二次网水力计算与优化

本项目取消原有集中换热站与大循环系统，设置 3 座分布式换热站实行分区独立供热，大幅缩短供热半径，降低系统阻力。水力计算严格按照《城镇供热管网设计标准》执行。

4.4 水力计算结果分析

改造后二次网系统总阻力由 38kPa 降至 27.4kPa，降幅达 28%，有效降低循环泵扬程与运行电耗；

分布式循环模式将管内流速控制在 0.8~0.9m/s 的经济流速区间，系统水力工况更稳定；

采用动态平衡阀 + 变频循环泵联动调控，系统水力失调率由 32% 降至 7.2%，供热均匀性显著提升。

4.5 核心设备选型

结合项目热负荷计算、水力计算结果与系统运行工况，完成多能源互补分布式供热系统核心设备选型，具体参数与选型依据见表 1。

表 1 多能源互补分布式供热系统核心设备选型清单

设备名称	型号规格	核心技术参数	数量	选型依据
板式换热器	板式可拆卸型	换热量 7.2MW，K≥3800W/(㎡ · ℃)，换热面积 42 ㎡	3 台	承担一次网基荷换热，适配 90℃ 供水工况
水源热泵机组	螺杆式水源热泵	制热量 3.6MW，输入功率 680kW，COP≥5.3	3 台	一次网余热深度提取，实现回水温度降至 25℃
二次网循环泵	立式变频离心泵	Q=160m³/h，H=16m，N=11kW	6 台（3 用 3 备）	匹配分布式换热站流量，降低系统阻力
一次网循环泵	卧式离心泵	Q=110m³/h，H=20m，N=7.5kW	6 台（3 用 3 备）	适配一次网大温差小流量运行工况
稳压补水泵	立式多级泵	Q=5m³/h，H=32m，N=2.2kW	6 台（3 用 3 备）	适配系统 0.9% 失水率，满足管网稳压补水需求
动态流量平衡阀	动态流量平衡阀	DN80/100/150，调节精度 ±5%	86 台	消除管网水力失调，均衡楼栋流量分配
智能温控柜	一体化控制柜	带室外温感、历史数据存储、远程调控功能	3 套	气象参数联动，实现供水温度智能预设
平板太阳能集热器	平板型集热器	集热面积 120 ㎡，工作温度 60℃	120 组	辅助供热，降低热泵机组运行能耗
燃气调峰锅炉	冷凝式燃气锅炉	额定热功率 1.4MW，热效率 ≥98%	3 台	极端低温天气补充热负荷，保障供热稳定性
智能监测仪表	远传型仪表	热量表、压力表、温度计，精度 0.5 级	36 套	系统运行参数实时监测与数据采集

5 工程实例运行效果对比

5.1 系统核心运行参数对比

项目改造完成后，经过一个完整采暖季的实测运行，系统核心参数与改造前对比结果见表 2。

表 2 系统改造前后核心运行参数对比

指标名称	改造前参数	改造后参数	变化率
一次网供回水温度	90℃ /55℃	90℃ /25℃	温差 +85.7%
二次网水力失调率	32%	7.2%	-77.5%
二次网失水率	4.2%	0.9%	-78.6%
系统总阻力	38kPa	27.4kPa	-28%
循环泵能耗占比	100%	68%	-32%
实际供热面积	15 万㎡	20.7 万㎡	+38%
用户室温波动范围	16~28℃	20 ± 1.5℃	均匀性大幅提升

5.2 节能与经济效益分析

项目全采暖季实测节能效益与经济效益数据见表 3，经核算，项目静态投资回收期为 4.8 年，具备良好的经济可行性。

表 3 项目节能与经济效益实测数据

指标名称	实测数值
年节约标准煤量	286t
年减少 CO_2 排放量	748t
年节约电费	18.2 万元
年节约热费	46.5 万元
项目静态投资回收期	4.8 年

6 传统集中供热痛点针对性解决方案

针对一次网回水温度过高、热能利用率低的痛点：通过换热器—热泵耦合技术，实现一次网回水深度降温至 25℃，系统热能利用率提升 25%；

针对二次网水力失衡、供热不均的痛点：采用分布式换热站分区供热 + 变频循环泵 + 动态平衡阀联动调控，将系统水力失调率控制在 8% 以内；

针对管网失水严重、热损失大的痛点：通过分区稳压控制提升系统密闭性与压力稳定性，将系统失水率降至 1% 以内；

7 结语

多能源互补分布式供热技术可系统性解决传统集中供热系统一次网回水温度高、二次网水力失衡、管网失水严重、系统阻力大、运行调控粗放等核心弊端，实现供热系统全链条提质增效。

换热器—热泵耦合技术可稳定实现一次网 90℃ /25℃大温差运行，热网输送能力提升 62.5%，可在不改造原有一次管网的前提下，实现 38% 的供热建筑面积扩容，大幅降低老旧管网改造成本。

参考文献

[1] 付林, 张世钢, 肖常磊. 吸收式换热大温差供热技术与工程应用[J]. 暖通空调, 2020, 50(08): 1-6.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 采暖通风与空气调节设计规范: GB 50736-2012[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[3] 中国城镇供热协会. 城镇多能源互补分布式供热技术规程: T/CDHA 10-2023[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.