

多热源联网的区域供热系统设计方法的研究

张翔宇

天津能源投资集团有限公司

DOI : 10.12238/jpm.v5i7.7028

[摘要] 本文介绍了区域供热系统的基本结构和工作原理，随后分析了影响系统设计的主要因素，包括能源效率、经济性和环保性。在此基础上，提出了一种基于多热源联网的设计方法，通过多热源联网模型实现对各项设计参数的综合优化。本文详细阐述了该方法的实现步骤和关键技术，结合实际案例分析，验证了该方法在实际应用中的有效性和可行性。研究表明，多热源联网的区域供热系统不仅能够显著提高能源利用效率，降低运行成本，还能有效减少污染物排放，为实现城市能源系统的可持续发展提供了有力支持。

[关键词] 多热源联网；区域供热系统；能源利用效率；经济成本；环境污染

Study on the design method of district heating system with multi-heat source network

Zhang Xiangyu

Tianjin Energy Investment Group Co., LTD

[Abstract] This paper introduces the basic structure and working principle of the district heating system, and then analyzes the main factors affecting the design of the system, including energy efficiency, economy and environmental protection. Based on this basis, a design method based on multi-heat source networking is proposed to realize the comprehensive optimization of various design parameters through the multi-heat source networking model. This paper details the implementation steps and key techniques of this method, combined with the actual case analysis, and verifies the effectiveness and feasibility of the method in practical application. The results show that the district heating system with multi-heat source network can not only significantly improve the energy utilization efficiency, reduce the operating cost, but also effectively reduce the pollutant emission, providing strong support for the sustainable development of urban energy system.

[Key words] multi-heat source network; district heating system; energy utilization efficiency; economic cost; environmental pollution

引言

随着城市化进程的加快和能源需求的不断增长，如何在满足居民供热需求的同时，提高能源利用效率、降低运行成本和减少环境污染，成为现代城市能源系统设计中的重要课题。区域供热系统作为一种集中供热方式，因其高效、环保、经济等优点，逐渐受到广泛关注。然而，传统的区域供热系统设计往往侧重于单一目标，如最大化能源利用效率或最小化经济成本，忽视了多热源间的平衡，导致系统在实际运行中难以达到最佳状态。提出一种基于多热源联网的区域供热系统设计的方法，通过平衡能源效率、经济成本 and 环境影响等多个目标，力

求实现系统的整体优化。

1 区域供热系统的基本结构与工作原理

热源是区域供热系统的核心部分，负责提供所需的热能。常见的热源类型包括热电联产、锅炉房、地热能、太阳能和工业余热等。热电联产 (Combined Heat and Power, CHP)，亦称为协同发电或分布式能源系统 (Distributed Generation)，是一种先进的能源利用技术，它在单一过程中同时产生电力和热能，从而实现能源的高效转换和综合利用。其效率公式如下：

$$\eta_{\text{chp}} = \frac{E_{\text{electric}} + E_{\text{thermal}}}{E_{\text{fuel}}}$$

η_{chp} 为热电联产系统的总效率， $E_{electric}$ 为电能输出， $E_{thermal}$ 为热能输出， E_{fuel} 为燃料能量输入。热网是连接热源与终端用户的重要环节，负责传输热能。热网由一次热网和二次热网组成。一次热网将热源产生的热能输送到各个热交换站，通常采用高温水或蒸汽作为传热介质。二次热网则将热交换站的热能分配到各个终端用户，介质通常为低温水。热网的热损失计算公式如下：

$$Q_{loss} = U \cdot A \cdot (T_{hot} - T_{cold})$$

Q_{loss} 为热损失量， U 为传热系数， A 为管道表面积， T_{hot} 和 T_{cold} 分别为热媒和环境温度。热交换站位于一次热网和二次热网之间，通过热交换设备将一次热网的高温热能转换为适合用户使用的低温热能。常用的热交换设备包括板式换热器和壳管式换热器，其换热效率计算公式如下：

$$\eta_{HEX} = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} = \frac{m_{cold} \cdot c_{cold} \cdot (T_{cold,out} - T_{cold,in})}{m_{hot} \cdot c_{hot} \cdot (T_{hot,in} - T_{cold,in})}$$

η_{HEX} 为换热效率， Q_{actual} 为实际换热量， Q_{max} 为最大可能换热量， m_{cold} 和 m_{hot} 分别为冷、热介质流量， c_{cold} 和 c_{hot} 分别为冷、热介质比热容， $T_{cold,out}$ 和 $T_{cold,in}$ 分别为冷介质入口和出口温度， $T_{hot,in}$ 为热介质入口温度。终端用户是区域供热系统的最终服务对象，包括居民楼、商业建筑和工业用户等。热能通过二次热网输送到用户处，满足供暖、热水和工艺加热等需求。用户端的热负荷计算公式如下：

$$Q_{load} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q_{load} 为用户热负荷， M 为热媒流量， C 为热媒比热容， ΔT 为进出口温差。区域供热系统通过热源提供热能，经热网传输并通过热交换站转换，最终分配到终端用户，实现大范围、高效、经济的集中供热服务。

2 区域供热系统设计中的关键影响因素

在设计区域供热系统时，必须全面考虑影响系统性能和运行效率的多种关键因素，其中包括能源利用效率、经济成本 and 环境影响。这些因素是系统设计中不可或缺的考虑元素：

能源利用效率是评估供热系统性能的核心指标。通过选择高效的热源如热电联产系统及利用地热能和太阳能等可再生能源，可以显著提升系统的能效和环保性。此外，优化管网设计，减少热损失，以及使用先进的保温材料和换热技术，都是提高能效的有效手段。

经济成本同样重要，涵盖了从初期的设备投资到运营和维护的长期成本。在初期设计阶段，选择成本效益高的设备和材料，合理规划管网，可以有效降低总体投资。运营期间，通过

采用高效的能源管理系统和自动化技术，可以优化运行策略，降低能耗和人力成本。

环境影响是评估供热系统可持续性的另一重要因素。在《中国低碳经济发展报告蓝皮书（2022-2023）》：该报告指出，中国在低碳经济发展方面取得了显著成就，单位 GDP 能耗显著下降，成为全球能耗强度降低最快的国家之一。同时，中国已建成世界最大的清洁发电体系，风、光、水、生物质发电装机容量均居世界第一。同时 2024 年政府工作报告中强调了加强生态文明建设和推进绿色低碳发展的重要性。提出了深入实施空气质量持续改善行动计划，推动生态环境综合治理，大力发展绿色低碳经济，以及积极稳妥推进碳达峰碳中和等措施。

使用天然气和其他低排放能源，可以减少温室气体和其他污染物的排放。系统的环境友好性不仅体现在选择能源上，还包括整个系统的设计和运行，通过减少能源浪费和优化资源配置，降低对生态的影响。区域供热系统的设计是一个综合多热源联网的过程，要求在提高能源效率、控制成本和减少环境负担之间找到最佳平衡点，以推动系统的持续发展和优化。

3 基于多热源联网的设计方法

根据《热网标准》供热面积大于 1000 万平方米的供热系统应采用多热源联合供热的方式。在室外气温较高时，只由热电厂向全区供热，当室外温度降低到热电厂不能满足供热量需求时，调峰锅炉房开始投入运行。多热源联合供热最大优点是具有很高的供热可靠性。当某一热源出现事故时，可由其余热源通过联网管线保证供热。

多热源联合供热系统，与单热源供热系统相比具有如下主要优点：热电厂与区域锅炉房联合供热有利于最大限度的发挥热电厂的供热能力，从而整体提高燃料的利用效率，实现不同品位能量的梯级利用，最大化节能与保护环境。通过延长燃料价格较为低廉的热电厂的供热小时数、相对缩短燃料价格昂贵的锅炉房的运行时数，来整体提高供热的经济性。同时由于热源数目较多，整个系统的供热安全率得到保证，个别热源锅炉出现事故，不致影响整个系统的供热能力，整体提高整个系统的供热后备能力。

4 实际案例分析与验证

为了验证基于多热源联网的区域供热系统设计方法的有效性，本文选取了某大型城市的区域供热项目作为实际案例进行分析与验证。该项目包括热源选定、热网布局、热交换站配置以及终端用户的供热需求等多个环节。该城市区域供热系统覆盖了多个居民区、商业区和工业区，供热面积达到 17000 万平方米。系统原有的设计方法的研究侧重于单一目标优化，导致能源利用效率不高，运行成本较高。为此，引入基于多热源联网的设计方法的研究，以实现系统的全面优化。



图 某大型城市部分联网示意图

2024年2月16日,室外天气预报温度 1.9°C ,J电厂调度温度 87°C ,实际电厂两期供温保持 88°C 、 85°C 。J电管网负荷区自用流量 5500t/h ,末端换热站A阀门开度14%,二次供温 44°C ,末端换热站B阀门开度32%,二次供温 44°C 。联网管线C流量 1100t/h ,H调峰锅炉房流量 1900t/h 。

J电管网负荷区在供热温度为 87°C ,自用流量为 5200t/h 时,满足热量需求。故明确调度温度是本着J电管网负荷区向C电厂管网负荷区多输送热量得到,多余流量可以通过联网管线C输送给C电厂,也可以输送给H调峰锅炉房。并且,J电管网负荷区最不利环路换热站阀门开度较小,资用压头较高,也说明管网整体热量充足。H调峰锅炉房首站锅炉侧流量保持 1700t/h ,而此时热电联产侧输入流量已达到 1900t/h ,换热效率较低,故选择增加联网管线C流量。调节后由于J电管网整体阻力下降,J电关口流量将有 $100\text{--}200\text{t/h}$ 左右提升。同时,平衡C电厂及中继泵站出力,使联网管线C流量稳定在 1500t/h 。

通过以上调控措施,J电管网负荷区自用流量降低至 5200t/h ,末端换热站A开度缓慢上升至41%,末端换热站B开度缓慢上升至91%,二次供温稳定在 44°C ,热量满足需求,提升了管网的精细化调整水平。

5 研究结论与展望

在实际应用中,优化后的区域供热系统运行稳定,供热质量显著提升,用户满意度提高。系统的能源利用效率显著提升,运行成本和环境污染均有所降低。实际运行数据表明,优化设计方法在提升系统整体性能方面具有显著效果。选择热电联产作为主要热源,利用余热锅炉作为辅助热源,提高了系统的能源利用效率;优化后的管网布局减少了管道长度和热损失,降低了建设和运行成本;配置高效换热设备,提高了热交换效率,减少了环境污染。基于多目标优化的区域供热系统设计方法在实际案例中得到了有效验证,表明该方法不仅可以提高系统的整体性能,还具有很好的经济和环境效益,为区域供热系统的优化设计提供了科学的参考。

多热源联网供热系统实现经济运行时,各热源的供热量需根据其经济性和热负荷的变化进行合理的调度安排,因此各热

源的供热范围和管网中的流量会随时随地发生变化,是一个变流量的供热系统。在整个供热季内对用户的供热量是一定的,要做到经济运行,各热源的供热量显然应按以下原则进行调度:热电厂应作为基本热源,尽量满负荷运行,负荷未前其他热源不应投入运行。当热电厂满负荷后,首先热电厂保持满负荷工作,调峰锅炉房根据用户负荷的变化调整供热量,补足热电厂供热不足的部分。

结合实时工况,在保障热电联产区域稳定情况下动态调节系统提升运行经济性,积极调整下,正常工况下调峰流量约 19800t/h ,折合供热面积 4400 万平方米。在室外温度较上采暖季下降 1.48°C 情况下,本采暖季共向燃气、燃煤调峰锅炉房输出热量 654 、 60 万GJ,合计 714 万GJ,较同期增加 92 万GJ,减少天然气消耗 2.0 亿立方、标准煤消耗 2.3 万吨。

但与此同时,区域供热系统受到多种不确定性因素的影响,如负荷波动、能源价格波动和气候变化等。这些不确定性因素可能对系统的优化效果产生显著影响。未来研究应加强对不确定性因素的分析 and 建模,开发更强的优化方法,以提高系统在实际运行中的适应性和稳定性。智能化与信息化技术的融合也是未来研究的重点。随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展,区域供热系统的智能化和信息化水平不断提高。

通过构建多热源联网模型,采用先进的优化算法,对热源选择、管网布局和热交换设备配置等设计参数进行综合优化,实现了系统性能全面提升。实际应用结果显示,优化后的区域供热系统不仅能源利用效率提高了,经济成本降低了,且污染物排放减少了。这些成果为区域供热系统的设计和优化提供了科学依据,对推动城市能源系统的智能化和绿色化发展具有重要意义。未来研究应进一步改进优化算法,拓展应用场景,加强对不确定性因素的分析,并充分利用智能化和信息化技术,实现区域供热系统的动态优化和智能调度。

【参考文献】

- [1]裴俊强.二级网分布式热源调峰研究[J].区域供热,2023(01):64-73+90.
- [2]樊敏.太古一级网与城西调峰热源厂并网运行方案探讨[J].区域供热,2019(03):81-84.
- [3]杨林棣.区域集中供热系统多热源优化调度研究[D].华北电力大学,2020.
- [4]武姝凝,李华强,刘洋,等.考虑供热系统精细化建模的区域综合能源系统多目标优化调度[J].电网技术,2023,47(05):1979-1992.
- [5]时国华,杨林棣,张浩,等.集中供热系统多热源调度优化模型[J].热力发电,2020,49(03):68-75.