

山东某区域基于网格搜索的CCHP系统设计

周峻毅^{1*} 巩秀中¹ 陈赐尹² 郭政委¹ 陈润超¹ 袁明明¹ 马欣欣¹

1 华电电力科学研究院有限公司山东分院 2 华电电力科学研究院有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i6.10437

[摘要] 针对山东某区域设计了一种区域分布式冷热电三联供系统为该区域建筑群供能,并针对区域设备装机容量不确定、系统运行参数模糊和系统全生命周期投资成本不确定问题的问题提供了一套最优的解决办法。本研究采用网格搜索方法,通过精确地解决分布式冷热电三联供系统中的设备容量和运行参数对系统进行求解。研究结果表明,受制于当地情况及设备限制,该系统的全生命周期供能成本在两燃气轮机装机容量分别为593,332和电制冷占比为0.6时取得最小值为 3.4358×10^7 元。

[关键词] 能量交互; 冷-热-电三联供; 容量优化; 节能减排

中图分类号: TE08 **文献标识码:** A

Design of a grid search-based CCHP system in a region of Shandong Province

Junyi Zhou^{1*} Xiuzhong Gong¹ Ciyin Chen² Zhengwei Guo¹ Runchao Chen¹ Mingming Yuan¹ Xinxin Ma¹

1 Shandong Branch of Huadian Electric Power Research Institute Co., LTD.

2 Huadian Electric Power Research Institute Co., LTD.

[Abstract] A regional distributed cooling, heating, and power (CCHP) cogeneration system is designed for a region in Shandong to supply energy to a building complex in the region, and an optimal solution is provided to address the problems of uncertainty in the installed capacity of the regional equipment, ambiguity in the operating parameters of the system, and uncertainty in the investment cost of the system over its entire life cycle. In this study, a grid search method is used to solve the system by accurately solving the equipment capacity and operating parameters in the distributed CCHP system. The results show that, subject to local conditions and equipment limitations, the whole life cycle energy supply cost of the system is minimized to $\$3.4358 \times 10^7$ for the installed capacity of the two gas turbines of 593, 332 and the electric cooling ratio of 0.6, respectively.

[Key words] energy interaction; Combined Cooling; Heating and Powe; capacity optimization; energy saving and emission reduction

引言

分布式冷热电(CCHP)三联供技术作为现代能源技术的前沿领域,通过全面统筹能量的生产、传递、转换和消费各个阶段,实现了能量的协调互补和高效梯级利用。从而在能源利用效率、灵活性、环保性、经济性等方面展现出巨大的优势,对于推动能源转型和实现“碳达峰”和“碳中和”具有重要意义^[1-3]。然而,当前分布式CCHP的研究仍面临一系列技术瓶颈,如系统的动态建模、系统动态仿真与响应特性分析,以及全工况系统性能优化控制技术^[4-6]。本文基于冷负荷折算法结合网格搜索算法提出了一种设备容量和运行参数的计算方法。以山东某区域作为研究对象,深入探究了适应该区域三联供系统在不同设计下的最优容量配置、系统运行参数以及系统全生命周期投资情况。研究结果表明,相较于传统的分产系统,冷-热-电三联供系统在经济效益与环境效益上均展现出显著优势。在两燃气轮机装机容量

量分别为593, 332和电制冷占比为0.6时取得最小值为 3.4358×10^7 。这些成果不仅为分布式冷-热-电三联供系统的实际应用提供了有力的数据支撑,同时也为系统的进一步优化设计指明了方向,对于推动能源高效利用与环境保护的协同发展具有重要价值。

1 求解分析

1.1 分布式冷热电三联供系统设计

如图1所示,在运行阶段系统两台燃气轮机在发电的同时还会产生高温烟气,这些烟气被引导至余热锅炉加热循环水,从而为系统提供的热能。余热锅炉被高温烟气加热后,其热能被进一步利用,以满足吸收式热泵和用户的热负荷需求。而系统的冷负荷由吸收式热泵和电制冷机合作共同制冷,吸收式热泵通过吸收系统提供热量为系统制冷,而电制冷机通过消耗电能对系统提供冷量,两者协同工作以确保冷却能力的稳定输出。当系统内

产生的电力或热量无法满足当前的负荷需求或出于经济效益的原因时,系统通过从城市电网购买电量以获得额外的电力来满足其系统缺少的电量。同理,当系统的热负荷需求低于当前的供应时,系统通过开启燃气锅炉提供热负荷,实现热能的动态平衡。因此,通过调节两种不同类型的燃气轮机出力情况,为系统提供稳定高效的能源。

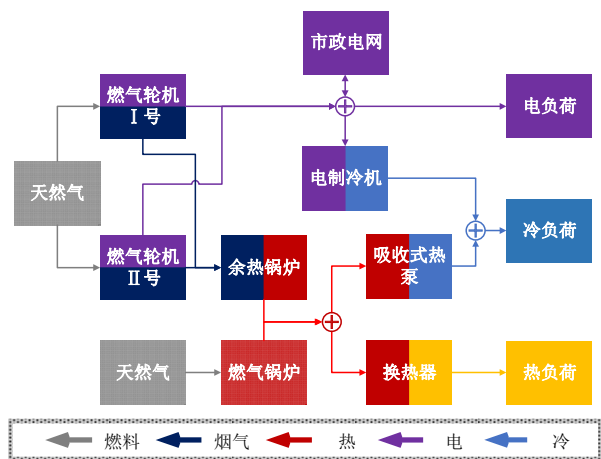


图1 分布式冷、热、电三联供系统设计

1.2 系统运行策略设计

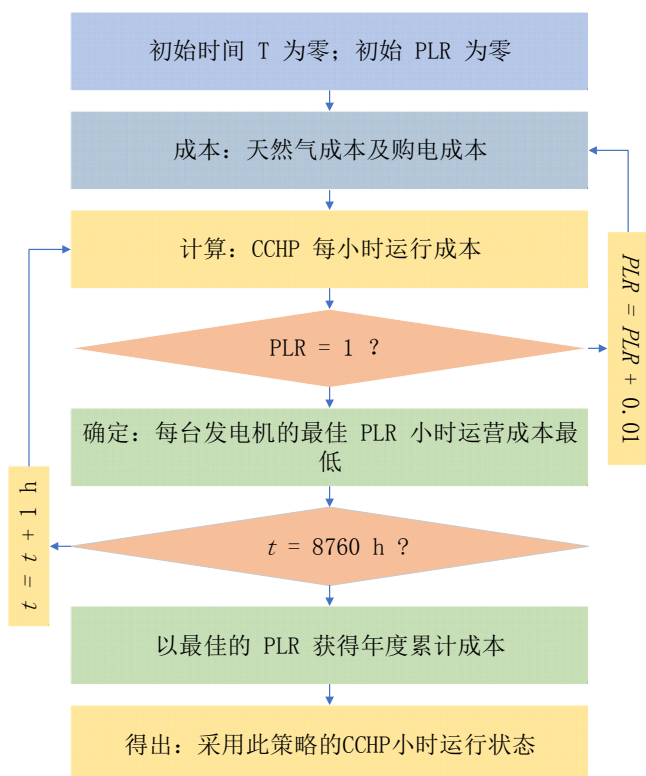


图2 分布式冷、热、电三联供系统运行策略

本文提出了一种面向分布式CCHP系统最优经济效益优化的系统运行策略。通过灵活调整燃气轮机的逐时负荷率(简称:PLR),该策略旨在将系统小时天然气消耗成本和购买电力成本之和降

至最低,从而促进CCHP系统的经济高效运行。通过使用网格搜索方法系统地计算了不同PLR运行条件下的系统能源成本,包括天然气消耗成本和从市政电网购买电力的成本。通过比较不同PLR条件下的系统能源供应成本,找到燃气轮机在该时刻的最佳运行,即与最小总成本相对应的PLR值。在此基础上,进一步推导出电厂在一年中不同时刻能够实现系统最低能源成本的PLR,这也决定了电厂在此策略下的全年运行情景。

1.3 系统求解流程分析

基于本文建立的模型以及优化算法,使用穷举搜索方法优化CCHP系统的两台燃气轮机装机容量(简称: G_I 、 G_{II})和电制冷占比(简称: m_{ASHP})。其中, G_I 、 G_{II} 和 m_{ASHP} 的搜索如图3所示。求解过程主要包括以下步骤,如图3所示。

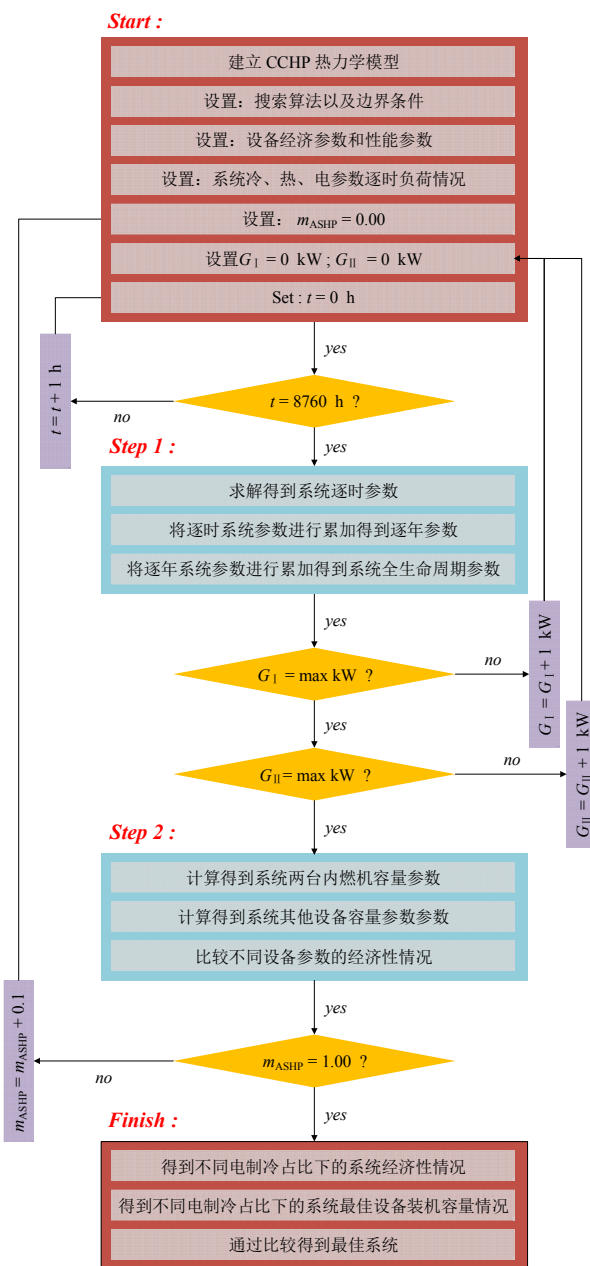


图3 分布式冷、热、电三联供系统求解流程

1.4 系统求解分析

CCHP系统的全生命周期成本受到 G_{I} 、 G_{II} 和 m_{ASHP} 等关键参数的影响。系统在 $m_{ASHP}=0.6$ 处获得最小值。如图4所示,在给定区域内,系统全周期生命成本有两个最小值,即当 $(G_{I}$ 、 $G_{II})$ 分别取 $(593, 332)$ 或 $(332, 593)$ 时,达到这两个最小值,其最小值为: 3.437×10^7 元。除此之外由图可知,对于所有 m_{ASHP} 值,系统全周期生命成本随着 m_{ASHP} 的增加呈先下降后上升的趋势,在0.6的 m_{ASHP} 下分别达到最小值。

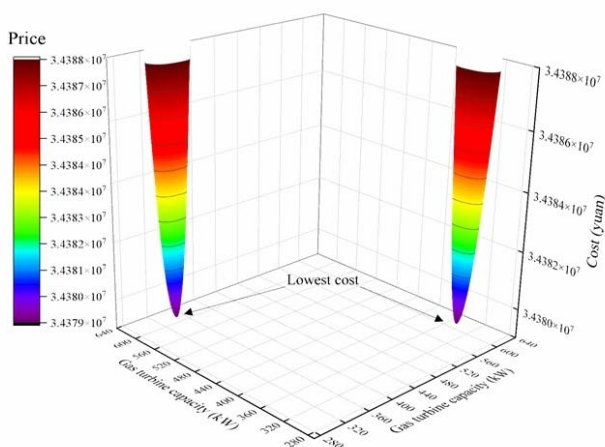


图4 分布式冷热电三联供系统求解结果

2 结论及建议

(1) 研究表明,受制于当地情况及设备限制,该系统的全生命周期供能成本在两燃气轮机装机容量分别为593, 332和

电制冷占比为0.6时取得最小值为 3.4358×10^7 元。

(2) 系统两种燃气轮机的全生命周期成本都随着装机容量的不断变大呈现先增大后减小的趋势。传统的盲目增大燃气轮机装机容量所带来的规模效应并不是此种情况下的最优解。求解结果表明系统全生命周期的最小值为两个对称的点处取得,即两台燃气轮机装机容量取得 $(593, 332)$ 以及 $(332, 593)$ 时。

[参考文献]

[1]金红光,刘启斌,隋军.多能互补的分布式能源系统理论和技术的研究进展总结及发展趋势探讨[J].中国科学基金,2020,34(03):289-296.

[2]高林,郑雅文,杨东泰,等.构建碳中和电力系统——碳中和公式[J].科学通报,2021,66(31):3932-3936.

[3]韩旭,周峻毅,王小东,等.基于网格搜索法的城市建筑CCHP系统优化配置[J].动力工程学报,2023,43(07):923-929.

[4]曹波,陈伏余,王章进.某医院分布式冷热电三联供技术应用[J].节能与环保,2023,(01):79-80.

[5]刘华,赵青松.天然气冷热电联供分布式能源系统优化调度[J].煤气与热力,2022,42(09):32-37.

[6]冷慧.冷热电联供型能源系统实时仿真与优化[D].南京邮电大学,2021.

作者简介:

周峻毅(1998--),男,汉族,山东济南人,硕士,职称:工程师;研究方向:能量系统优化。