

“双碳”目标下四川冷热电三联供系统在民用建筑中的运行特性与低碳分析

方明露

四川航天职业技术学院 四川 成都 611930

摘要: 随着分布式能源系统的提出, CCHP系统的应用逐渐扩展到更多领域。中国幅员辽阔, 可再生能源分布广泛。不同地区对可再生能源的利用和政策激励各不相同。为了进一步推进中国“双碳”目标的实现, 降低能源资源消耗, 建设低碳节能社会, 提高建筑能源利用率, 优化建筑能源系统。根据具体地区可再生能源的使用情况和利用率, 分析出使用CCHP系统的低碳和经济效益。从建筑暖通空调节能的角度来看, 本文分析了CCHP系统在建筑暖通空调中的应用特点和可实现的低碳程度。研究表明, 在建筑中使用CCHP系统可以为人们提供清洁环保的能源和可靠的能源供应模式, 有效解决农村和城市的用电和供电问题。同时, 系统运行的低碳优势有助于尽快实现“双碳”目标, 实现社会和生态的良性发展。

关键词: CCHP; 排碳量; 运行特性; “双碳”目标

1 引言

美国、日本、英国和其他工业化国家以前都使用过冷热电三联产(CCHP), 并拥有丰富的经验。经过几十年的发展, 这些国家的整体能源效率和空气质量都有了显著改善。与美国相比, 欧洲有更多的热电联产应用, 分布式能源开发处于全球发展的前沿^[1]。其中使用CCHP系统的建筑总供热面积达到4400万平方米。展望未来, 随着建筑业努力实现碳中和, 提高节能效率和扩大可再生能源的份额将是其不可避免的选择。2021年12月, 中国建筑科学研究院光电示范楼正式竣工, 这是一种从能源消耗到产能的新的建设方式。该示范楼是基于建筑节能和建筑光伏一体化技术的建筑能源系统综合实验平台, 旨在实现净零能耗、净零碳排放和产能的目标, 突出新型建筑光伏一体化。智能建筑管理和能源电气化等技术是建筑能源管理的发展趋势, 目的是到2030年达到“碳高峰”, 到2060年达到“碳中和”^[2]。分布式能源一直是建筑能源管理领域中的一个发展重点。与集中式发电相比, 分布式发电具有许多优点, 例如能效高、能源自给自足、可靠性高、环境污染最小等。不仅能够优化建筑能源管理, 同时也能减少建筑运行过程中的能源消耗。

我国的电力能源消耗主要来自煤炭, 存在效率偏低和污染严重的问题, 国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》中提出提高非化石能源消费比重、提升能源利用效率、降低二氧化碳排放水平、产业结构和能源结构调整。这一系列举措都迫切要求做好发展绿色低碳优势产业的“加法”, 提高清洁能源供给能力和利用水平, 促

进清洁能源关联产业发展壮大, 更好保障能源安全和支撑未来发展。在中国西南部, 城市在发展低碳和绿色产业方面提供了明显的好处。天然气CCHP系统不需要大量的初始投资, 相对容易建造, 并且基于成熟的技术。到2020年, 四川已探明天然气(页岩气)储量预计将达到5.18万亿立方米, 年产量432亿立方米, 分别占全国的27.4%和22.9%^[3]。在“双碳”目标下推动绿色低碳优势产业发展, 符合国家政策导向, 具有充分的政策依据。

自中国提出“双碳”目标后, 降低能源资源消耗, 建设低碳节能社会以及提倡“零碳”建筑等一系列政策措施相继推出。这都有利于完善优化公共建筑能源管理, 再加上互联网、大数据和云计算等科学技术, 对于在建筑能源管理工作中的数据处理、统计分析以及决策支持都提供了有利帮助^[4]。本文旨在通过对建筑能源管理中CCHP系统的研究, 就中国公共建筑在建筑能耗以及运行维护中如何提高能源管理效率。在对建筑CCHP系统运行和管理过程影响因素的分析过程中, 能够有利于在细微之处去挖掘中国公共建筑节能潜力。基于智能化的建筑CCHP系统效益分析中, 能够实现建筑节能管理智能化, 减少运行能耗支出, 合理匹配系统设备。

2 研究问题和方法

根据目前的研究现状, 在国家“双碳”目标下, 结合中国西南地区页岩气/LNG产业、市场发展与政策研究, 再根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中对暖通空调系统的设置情况, 对CCHP系统的应用发展从技术经济性和低碳性角度进行分析。中国西南地区气

候分布差异主要分为三类：四川盆地湿润中亚热带季风气候，云贵高原为中南亚热带季风气候以及南端还分布有少部分热带季雨林气候区^[5]。这就导致这部分区域的冷热工况需求不同，冬季达到供暖要求的时间相对都交段，因此都未设置集中供暖系统，又由于各区域湿度相对都较高，导致冬季人体舒适度较差，加上“南方是否需要集中供热”这一话题一直以来引起的广泛的关注，可以采用CCHP系统作为冬季供暖的替代系统。

目前采用CCHP系统的形式并不单一，是一种将传统能源与多种新型能源相结合的系统^[6]。本文主要研究天然气式CCHP系统，主要由于中国西南地区有着丰富的储气资源，再加上目前四川地区在《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》中的政策支持，采用此种形式有一定的地理优势。但是对整个CCHP系统的发展优势并不能提供充分的依据，再加上由于气候条件的影响，供热工况相对低于供冷工况，所以并不适用于中国严寒气候等需要集中采暖地区。由于以上种种限制因素，本文主要分析以下几个问题

- (1) CCHP系统在中国西南地区发展的优势是什么？
- (2) 优化CCHP系统运行特性的意义何在？
- (3) CCHP系统的研究的实际应用价值是什么？

本文主要以冷热电三联供系统（CCHP）为研究对象，分析CCHP系统这类分布式能源在建筑暖通空调系统中的应用。CCHP系统通过集中向用户提供电能、冷能和热能，实现能源的阶梯利用^[7]。在这一过程中，同时减少二氧化碳的排放以及提供能源利用率。结合中国西南地区清洁能源优势和当前的“双碳”政策，测算出模型的经济参数以及排碳量，进行技术经济分析和低碳化分析，对选择CCHP系统形式提供参考，同时也为优化系统运行特性提供理论支持。

3 建立模型

CCHP系统包括三个部分，供电、供热以及供冷，其中供电部分作为主系统，其中供热系统、制冷子系统都可以归为余热利用子系统，而对余热的利用在建筑节能减排上是非常重要的方式。在分布式能源系统提出之后，CCHP系统的应用才逐步拓展到更多的领域^[8]。从热电联供发展的基础，与吸收式制冷技术结合起来形成冷热电三联供系统技术。

3.1 建立模型计算工况

以某一民用建筑中CCHP系统，建立以排碳量、经济成本为目标的优化模型，为降低模型复杂程度，进行如下简化假设：

- (a) 模型中围护结构均处于理想状态下的传热规律；

- (b) 不考虑系统或设备的启停间隔，仅考虑系统的稳态运行过程；

- (c) 建筑体型系数偏小；

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50736-2012），采用负荷指标统计方法计算出需求侧负荷。再根据机组型号计算出供给侧负荷。通过消耗能源的价格以及设备参数进行计算设备供能成本，得出不同运行方式初投资计算公式如下

取以建筑面积1万平方米的民用建筑，CCHP系统采用内燃机加余热利用系统，运行时间为一天10小时，制冷天数100天，制热天数为68天。制冷效率1.3，制热效率0.9。

制冷量 = 排烟量/额定排烟量×额定制冷功率×出力系数×发电机负荷比例，制热量 = 排烟量/额定排烟量×额定制热功率×出力系数×发电机负荷比例。

根据《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中提供的方法，在能源部门，二氧化碳排放量的计算方法如下：

$$E = N \times EF$$

E为二氧化碳排放量，t；

N为天然气能源消费量，其单位需要由固体、液体和气体燃料的生产量和消耗量的物理单位（如t或m³）转换为普通能源单位（J），MJ；

EF为天然气的二氧化碳排放因子，kg/GJ。

3.2 模型分析

由模型分析可知，CCHP系统在在同等投资上获得的排碳效益没有投资效益高。从经济性数据可以看出当前CCHP系统初投资较高，并且短期内并未有明显的投资效益，因此导致其发展缓慢。从碳排放数据中得出，CCHP系统使用期间的排碳量与系统运气情况相关，其中在制热部分排碳量较高^{[9][10]}。四川地区未设置城市热力管网，在民用建筑中使用CCHP系统具有很广阔的发展空间和节能效益。

分开测算制冷工况与制热工况可以发现，冬季由于热需求较大，天然气采用阶梯价格时会使系统大量购电以通过电锅炉制热，减排比例陡然下跌，同时也会提供运行费用。由此得出，气候条件对CCHP系统的运行策略产生一定影响。在过渡季节无需供冷、供热地区，CCHP系统运行只能为建筑物提供电力，因此这些地区多数采用了“过渡季不运行”的策略。夏热冬暖地区供冷时间较长，而供热要求较低，冷热负荷相差较大，又同样不能达到系统的平衡，导致夏季供冷运行需求大。这就需要对CCHP系统运行特性进行优化设置，因此需要根据地区气候特点优化系统运行特性。

4 结论

通过本文的研究分析得出如下结论:

(1) CCHP系统在当前具有一定的发展优势,但从减碳效益上很大程度取决于使用的清洁能源,对前端能源依赖性较强;从经济效益分析上得出,运行费用比传统的建筑暖通空调系统更低,但也受地区能源价格影响。因此其优势性受地域条件限制,宜因地制宜,并且根据能源结构以及地区气候特征来调整系统CCHP系统中冷热电的分配比率。

(2) 优化CCHP系统运行特性能够起到一定降低排碳量的作用,这还需要对CCHP系统天然气燃烧装置进行优化。系统中冷热工况的变化与周围环境气候密切相关,同时也与用户使用模式相关,根据建筑功能合理匹配CCHP系统运行特性,保障供需平衡能够充分提高系统运行效率,降低运行成本以及减少能源损失。

(3) 对CCHP系统的研究能够助力推动新能源在建筑领域的使用,加快完善风电、光伏等可再生能源标准。同时根据地区特点,采用天然气等作为能源,可以推进其能源产业高效生产、利用以及节能降碳相关标准的提升。在系统运行优化过程中能够提升建筑能源管理系统的创新,保障能源领域实现“碳达峰、碳中和”。

5 参考文献

[1] Ligai Kang, Xiaojing Wu and Xiaoxue Yuan J 2021 Influence analysis of energy policies on comprehensive performance of CCHP system in different buildings. *Energy* 233, 121-159

[2] 2030年前碳达峰行动方案[R]. 国务院, 2021.10.26

[3] 彭清华, 中共四川省委关于以实现碳达峰碳中和目标为引领推动绿色低碳优势产业高质量发展的决定[N], 四川日报, 2021.12

[4] Ren, J., Meng, Q.L., Liu, Y., Yang, S.R., 2003. Investigation of air conditioning energy consumption in residential buildings in Guangzhou. *Wall Material Innovation and Energy Saving in Buildings* 4, 34-37

[5] 赖明, 吴淑玉, 张海燕, 刘玖芬, 王新华, 陈熹卓. 基于综合区划的中国西南地区自然资源动态变化特征分析[J], *中国地质调查*, 2021.04(8), 83-89

[6] Papadopoulos, A.M., Theodosiou, T.G., Karatzas, K.D., 2002. Feasibility of energy saving renovation measures in urban buildings: the impact of energy prices and the acceptable pay back time criterion. *Energy and Buildings* 34, 455-466

[7] 华贲. 中国分布式供能产业发展的几个问题[J]. *中外能源*. 2016(21)

[8] 张德怀, 蒋润花, 罗向龙. 储能技术在冷热电三联供系统中的研究现状与应用[J]. *热能动力工程*. 2021,(12)

[9] Oleksii Pasichnyi, Jorgen Wallin and Olga Kordas J 2019. Data-driven building archetypes for urban building energy modeling. *Energy*, 181, 360-377

[10] Kadir Amasyali, Nora M and El-Gohary J 2018. A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1192-1205