

可再生能源与暖通空调系统耦合应用技术及经济性分析

刘贺

河北杜邦石化工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着全球能源结构向低碳化、清洁化方向加速转型, 可再生能源在建筑领域的应用需求不断提升。暖通空调系统作为建筑能耗的重要组成部分, 其节能水平直接关系到建筑整体能源利用效率。传统暖通空调系统主要依赖化石能源驱动, 存在能耗高、运行成本大、环境影响明显等不足。通过将太阳能、风能、地热能、生物质能等可再生能源与暖通空调系统进行深度耦合, 可有效降低建筑运行能耗, 提高能源利用质量, 并促进系统运行模式从单一驱动向多能互补、智能协同的方向发展。文中系统梳理可再生能源与暖通空调系统的耦合机理, 从系统设计、运行管理及负荷匹配等方面分析耦合应用的关键技术; 同时结合建筑暖通特点, 从技术可行性、能源利用效率及经济性等维度进行综合评价。研究指出, 多类型可再生能源与暖通空调系统的协同应用不仅能够改善负荷结构, 降低能耗, 还能实现节能经济与环境效益的双重提升。最后, 文中提出技术优化、经济评价体系完善、智能控制系统升级等建议, 以期为建筑节能发展和绿色建筑体系建设提供支持。

[关键词]可再生能源; 暖通空调系统; 系统耦合; 能源利用效率; 经济性分析

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19216

中图分类号: TU831

文献标识码: A

Coupling Application Technology and Economic Analysis of Renewable Energy and HVAC Systems

LIU He

Hebei Dubang Petrochemical Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the accelerated transformation of the global energy structure towards low carbonization and cleanliness, the demand for the application of renewable energy in the construction field continues to increase. As an important component of building energy consumption, the energy-saving level of HVAC systems directly affects the overall energy utilization efficiency of buildings. Traditional HVAC systems mainly rely on fossil fuels for propulsion, which have shortcomings such as high energy consumption, high operating costs, and significant environmental impact. By deeply coupling renewable energy sources such as solar energy, wind energy, geothermal energy, and biomass energy with HVAC systems, it is possible to effectively reduce building operating energy consumption, improve energy utilization quality, and promote the development of system operation modes from single drive to multi energy complementarity and intelligent collaboration. The article systematically sorts out the coupling mechanism between renewable energy and HVAC systems, and analyzes the key technologies of coupling application from the aspects of system design, operation management, and load matching; At the same time, based on the characteristics of building HVAC, a comprehensive evaluation is conducted from the dimensions of technical feasibility, energy utilization efficiency, and economy. Research has shown that the collaborative application of multiple types of renewable energy and HVAC systems can not only improve load structure and reduce energy consumption, but also achieve a dual improvement in energy-saving economy and environmental benefits. Finally, the article proposes suggestions for technological optimization, improvement of economic evaluation system, and upgrading of intelligent control system, in order to provide support for the development of building energy efficiency and the construction of green building system.

Keywords: renewable energy; HVAC system; system coupling; energy utilization efficiency; economic analysis

引言

在“双碳”目标的背景下, 可再生能源的发展已成为推动能源革命和建筑节能的重要路径。当前, 我国建筑能耗在社会总能耗中占比持续增加, 暖通空调系统作为建筑运行阶段的主要耗能设备, 其能效水平直接影响建筑能源利用结构与节能潜力。传统暖通空调系统运行方式相对单一, 通常依赖电力或天然气驱动, 难以适应节能减排的总体要求。随着技术进步, 可再生能源与建筑暖通系统的耦合模式不断丰富, 例如太阳能与热泵系统联合供热、地源热泵与蓄能系统的耦合应用、生物质能源与建筑供暖系统协作运行等。这些耦合模式不仅实现能源多样化供给, 还

能够提高系统运行的稳定性及经济性。面对不同类型建筑的功能需求, 如何构建高效、稳健且具备经济可行性的可再生能源与暖通空调耦合系统, 是当前建筑节能领域的重要研究方向。本文旨在通过理论分析与技术归纳, 构建一个系统化的耦合技术评价框架, 为建筑暖通系统的可持续发展提供参考。

1 可再生能源与暖通空调系统耦合的技术基础与特征

1.1 可再生能源特性与暖通需求的匹配关系

可再生能源具有清洁性、广泛性与可持续性等特点, 但其输出具有一定的间歇性与波动性, 与暖通空调系统的

稳定负荷需求存在差异。太阳能在白天具有较高输出,与建筑的制冷负荷具有一定匹配性;风能输出具有随机性,更适合作为辅助能源;地热能具有高稳定性,能够有效满足冬季稳定供热需求;生物质能源具有可控性,可作为补充热源使用。因此,不同能源需根据负荷特点、设备需求与区域气候条件进行适配,从而提高耦合系统的整体协同效率。

1.2 暖通空调系统的能耗结构及耦合潜力

暖通空调系统能耗结构主要包括制冷、制热与通风能耗。在制冷方面,空气源热泵结合可再生电力能够降低峰值电力需求;在供暖层面,地源热泵结合埋管换热系统显著提高热效率;在通风领域,通过可再生能源驱动的热回收装置可降低系统运行能耗。因此,暖通系统各环节均存在与可再生能源结合的技术空间,尤其在大型公共建筑中,其应用潜力更为突出。

1.3 耦合系统的多能互补特征

多能互补是耦合系统的重要优势。通过将太阳能、地热能、生物质能与电力系统进行统一调配,可在时间和空间维度增强能源供给的稳定性,实现“以稳定补间歇、以内生补外采”的运行策略。在智能调度系统的支持下,耦合系统可根据能效参数与负荷需求自动进行能源切换,提高系统运行灵活性,降低整体能耗。

2 典型可再生能源与暖通空调系统的耦合方式

2.1 太阳能与暖通系统的耦合方式

太阳能空调系统通常采用太阳能集热与太阳能光伏驱动两类模式。集热系统主要用于供暖与生活热水,通过与地源热泵或储能装置配合,可实现冬季高效供热。光伏系统可为热泵、电驱空调等设备提供电力支持,减少市政电力消耗。此外,太阳能制冷技术(如溴化锂吸收式制冷)为太阳能在暖通系统中的应用拓宽了路径,使冷热源供应更具多样性。

2.2 地源热泵与暖通系统的深度耦合

地源热泵以地下土壤或水体作为冷热源,利用地温稳定性提高制冷制热效率。将其与建筑暖通系统耦合,可有效减少能耗并降低运行费用。地源热泵可与蓄能装置结合,通过埋管系统实现季节性能量调蓄,减少高峰能耗;同时配合智能控制系统,可实现负荷预测与自动调节,提升整体能源利用效率。

2.3 生物质能源与供暖空调系统的协同应用

生物质供暖适用于寒冷地区的集中供暖系统,通过燃烧生物质颗粒或气化生物质燃气,为建筑提供稳定热源。其与暖通系统耦合主要体现在热源替代功能上,可作为地源热泵或空气源热泵的辅助热源,弥补极端天气下热泵效率下降的问题。此外,生物质能源可与热水循环系统、低温地板辐射系统结合,提高系统整体运行舒适度与经济性。

3 可再生能源耦合暖通空调系统的关键技术

3.1 能源梯级利用技术

能源梯级利用是提高耦合系统效率的重要手段。通过将高品位能源用于驱动热泵,低品位能源用于预热新风或加热生活热水,可实现能源的多级利用。例如,地源热泵的冷凝废热可用于生活热水预热,太阳能集热低温热水可用于新风加热,提高了能源利用深度。

3.2 耦合系统的智能控制与优化调度

耦合系统在运行过程中涉及多种能源形式,负荷变化频繁,对调度和控制能力提出了更高要求。智能控制系统通过集成能耗监测平台、物联网感知技术与人工智能预测算法,实现对能源供需状态的持续感知与分析。系统可根据历史数据和实时负荷特性,对未来用能趋势进行预测,并据此动态调整能源供给策略。热泵运行模式、太阳能集热设备启停以及储能系统的充放电过程,都能够在统一控制框架下进行协调管理,使各类能源在合适时机发挥最大效能。调度策略的优化减少了无效运行和能源浪费,提高系统整体效率与稳定性。智能控制技术的应用,使可再生能源与暖通空调系统的协同运行更加紧密,为构建高效、低碳的建筑能源体系提供了关键技术支撑。

3.3 储能技术在耦合系统中的作用

可再生能源在输出特性上具有一定波动性,这对建筑能源系统的连续稳定运行提出了更高要求。通过合理配置储能装置,能够实现能量在时间维度上的调节,使能源在需求高峰和低谷之间灵活转移。热储能技术在供热系统中发挥着重要作用,水蓄热和相变储能可在负荷较低时储存多余热量,在需求增加时释放能量,从而平衡系统峰值负荷。电储能为光伏驱动的空调和其他用能设备提供可靠支持,在光照不足或负荷突增时保障供电稳定,减少对外部电网的依赖程度。储能系统与能源管理策略相结合,有助于提升整体运行协调性。储能容量和运行方式的科学配置,是保障耦合系统安全、高效和稳定运行的关键环节。

4 可再生能源与暖通空调耦合系统的运行成效与经济性分析

4.1 能效提升效果分析

耦合系统在建筑制冷和制热过程中展现出较高的运行效率,为降低能源消耗提供了有效途径。地源热泵系统利用地下土壤温度相对稳定的特性,其能效比通常高于空气源热泵,在冷热负荷变化较大的工况下仍能保持良好性能。太阳能技术的引入为系统提供了可再生热源支撑,在适宜条件下可进一步提升整体能效水平,减少对传统电力的依赖。多能互补运行模式通过合理分配能源负荷,缓解用电高峰压力,使能源利用更加平衡。长期运行数据表明,耦合系统在不同气候区域均能显著降低建筑年度能耗总量,并在节能稳定性方面表现出良好一致性。系统在提升能效的同时,也为建筑能源结构优化和低碳运行提供了可靠技术路径。

4.2 运行成本与投资回收周期分析

耦合系统在建设阶段往往面临较高的设备和安装成本,但从全生命周期角度看,其运行阶段所带来的节能收益能够逐步抵消初期投入。太阳能与地源热泵组合系统虽然在前期中资金需求较大,但运行能耗低、维护需求相对稳定,设备使用寿命较长,使其在长期使用中展现出良好的经济回报。随着运行时间延长,能源费用节省效应不断累积,系统整体成本优势逐渐显现。生物质供暖系统在燃料来源充足且价格较低的地区,更容易体现出运行成本方面的竞争力,适合因地制宜推广应用。综合多种技术路径的实践经验,耦合系统在合理设计和稳定运行条件下,投资回收周期多处于五至十年范围内,具备较好的经济可行性,也为建筑能源系统的可持续发展提供了现实支撑。

4.3 环境与社会效益评价

耦合系统通过降低对化石能源的依赖,使建筑在运行过程中实现更低的碳排放水平,对改善城市空气质量和缓解环境压力具有积极意义。能源结构的优化减少了污染物排放,有助于营造更加健康的生活和工作环境。系统在多能源协同作用下展现出更高的运行稳定性,使建筑在高温、严寒或能源波动等极端条件下仍能保持可靠运行。稳定的能源供给增强了建筑的安全性和韧性,降低因能源中断带来的风险。公共建筑和大型商业建筑对能源连续性要求较高,耦合系统通过多源互补模式提升了能源供应的保障能力,满足长期稳定运行需求。这类系统在节能减排的基础上,为社会公共服务和城市运行提供更加可靠的能源支撑,体现出显著的环境价值和社会效益。

5 可再生能源与暖通空调耦合应用的优化路径与发展趋势

5.1 技术集成与标准化建设

可再生能源与暖通系统的耦合应用涵盖多种技术形式,其设计方案、设备选型、安装工艺和调试流程均具有较高的复杂性,对统一规范提出了更高要求。当前行业内相关标准尚不完善,不同项目在技术路线和实施细节上存在差异,影响系统集成效果和运行可靠性。建立系统化的设计规范,有助于明确技术参数和应用边界,使方案制定更加科学合理。设备兼容标准的完善,可减少接口不匹配和运行冲突,提升不同系统之间的协同水平。质量控制体系贯穿建设和运行全过程,为施工质量和运行安全提供制度保障。通过标准体系的持续完善,技术集成度将得到显著提升,系统运行的稳定性和可维护性也将随之增强,为可再生能源在暖通领域的广泛应用奠定坚实基础。

5.2 系统经济性提升路径

为提升系统整体经济性,需要在设备选型、结构设计与运行管理等层面进行综合优化。高效热泵设备的推广应用,有助于在保证供能性能的前提下降低能耗水平,减少长期运行费用。低成本集热材料的研发与应用,可在在不显

著影响热性能的情况下控制初期投资规模,使系统建设更具可行性。地理管布置形式的合理优化,能够提高换热效率,减少土地和施工资源占用,从结构层面降低工程成本。运行阶段通过强化智能调度策略,根据负荷变化和能源价格动态调整运行模式,可进一步提升系统能效比,避免不必要的能量损失。多项技术与管理措施协同实施,使系统在投资成本和运行成本之间形成更优平衡,从而增强整体经济优势,为规模化推广奠定坚实基础。

5.3 未来智能化、多能协同的发展趋势

随着人工智能、物联网与能源互联网技术的不断成熟,多能互补与智能调度正成为未来耦合系统的重要发展方向。通过构建统一的能源管理平台,建筑内的太阳能、地热、生物质以及电力系统可在同一框架下协同运行,实现能源生产、存储与使用的动态平衡。平台基于实时感知与数据分析能力,对不同能源的供需关系进行精细调控,有效提升整体能源利用效率,减少单一能源依赖带来的波动风险。碳排放监测技术与能源大数据的深度融合,使系统能够持续评估运行过程中的碳排放水平,并据此优化调度策略,引导能源向低碳、高效方向配置。智能算法在运行决策中的应用,使建筑能源管理逐步实现自适应优化和精细化控制,为节能降耗和绿色运行提供稳定支撑,推动建筑能源系统向更加智慧和可持续的方向发展。

6 结论

可再生能源与暖通空调系统耦合应用,是建筑节能与低碳化发展的重要路径。研究表明,通过将太阳能、地热、生物质等可再生能源与暖通系统进行深度协同,可有效改善能源供给结构,提高系统性能并降低运行成本。耦合系统在能效、经济性与环境效益方面均表现突出,是推动绿色建筑与可持续发展的关键支撑。未来,随着智能化技术与能源互联网的发展,可再生能源与暖通系统的耦合将进一步向智能协同、多能互补与高效运行方向深化。因此,应从技术创新、标准建设与经济评价体系完善等多方面共同推进,实现建筑能源利用的高效化、清洁化与智能化目标。

【参考文献】

- [1]张海军,刘建华.可再生能源在建筑暖通系统中的应用研究[J].暖通空调,2019,49(4):87-92.
- [2]陈伟,赵志强.地源热泵系统运行特性与能效分析[J].建筑科学,2020,36(6):55-60.
- [3]孙立国,李丹丹.太阳能光伏驱动空调系统节能性能研究[J].建筑节能,2018,46(3):101-106.
- [4]刘鹏飞,高翔.生物质能源供暖系统在建筑中的应用前景[J].可再生能源,2019,37(9):1284-1289.
- [5]郑宏伟,王志斌.多能互补建筑能源系统优化策略研究[J].建筑能源效率,2021,49(7):73-79.

作者简介:刘贺(1985.9—),男,汉族,毕业院校:华北电力大学,现就职单位:河北杜邦石化工程设计有限公司。