可再生能源在建筑节能设计中的应用研究

叶向英
河北省建筑科学研究院有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]建筑领域碳减排目标的达成，需要可再生能源由建筑外部的供能者变为能源系统内部的组成部分。太阳能光伏光热、地源热泵、空气源热泵是目前建筑可再生能源应用的主要技术，其效能的释放要依靠和建筑负荷特征、空间形态、运行调节的紧密结合。从设计上来说，负荷匹配优化、系统一体化集成、智能控制以及经济性评价都是重要的策略维度，主要目的在于使能源系统同建筑本体达成协同设计，而不是单纯地把技术设备加在一起。

[关键词]可再生能源；建筑节能设计；光伏建筑一体化
DOI：10.33142/ec.v9i11.20743 中图分类号：TK61 文献标识码：A

Research on the Application of Renewable Energy in Building Energy Efficiency Design

YE Xiangying
Hebei Building Sciences Academy Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: To achieve carbon reduction targets in the construction industry, renewable energy needs to be transformed from external energy suppliers to internal components of the energy system. Solar photovoltaic thermal, ground source heat pump, and air source heat pump are currently the main technologies for renewable energy applications in buildings. The release of their efficiency depends on close integration with building load characteristics, spatial form, and operational regulation. From a design perspective, load matching optimization, system integration, intelligent control, and economic evaluation are all important strategic dimensions aimed at achieving collaborative design between the energy system and the building itself, rather than simply adding technical equipment together.

Keywords: renewable energy; building energy-saving design; integrated photovoltaic building

引言

建筑领域一直占终端能耗的很大一部分，能源角色也由被动消耗者变成了主动产消者。加快推动建筑领域节能降碳工作方案中提出各地区要统筹规划可再生能源建筑应用，确定时间表、路线图和施工图。可再生能源建筑应用系统包括太阳能系统、地源热泵系统、空气源热泵系统。但是目前实践当中还存在着重设备选型轻系统集成、重技术叠加轻设计协同的现象。可再生能源建筑应用本质就是从设计源头上实现能源系统同建筑功能、空间形态、负荷特征三者之间的深度契合。本文从设计角度出发，整理出可再生能源建筑应用技术类型及优化途径，分析由附加式安装向一体化集成发展的主要方向。

1 可再生能源与建筑节能设计概述

可再生能源指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源。建筑节能设计包含围护结构热工性能改善、暖通空调系统能效改进、照明及设备用能控制等内容。在双碳目标的推动下，两者之间的关系也在发生改变。传统的建筑节能设计遵循的是减量逻辑，即减少单位面积的能耗；可再生能源的加入打破了这种局面，建筑不单单是节能的对象，也是产能的载体，设计思想应该由被动削减变为主动协同。从系统论的角度来看，可再生能源和建筑节能设计之间存在着三重关系，即负荷匹配关系，即建筑冷热电气负荷的时序波动特征决定了系统配置的容量边界以及储能需求，空间耦合关系，即建筑屋面、立面以及周边场地既是围护结构的一部分，又是可再生能源收集和转换的物理载体，运行协同关系，即可再生能源的间歇性和建筑用能的连续性之间的矛盾需要依靠智能调控和多能互补来解决。三重关系共同指向一个结论，即可再生能源建筑应用的设计对象是能源系统和建筑本体的耦合体，而不是孤立的技术模块。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 可再生能源在建筑节能设计中的应用基础

2.1 可再生能源建筑应用的主要类型

太阳能系统是建筑领域应用最广的可再生能源，分为光伏发电和光热利用两种技术路线。光伏系统依靠光电效应把太阳辐射转变成电能，光热系统借助集热装置把太阳能转化成热能，用以供给生活热水或者供暖。光伏光热一体化组件在发电的同时还能回收热量，提高了单位面积太阳辐射的综合利用率。建筑围护结构集成光伏光热系统可以同时产生发电和空间供暖，提高建筑整体能源自给率。地源热泵系统是利用浅层地热能来实现建筑供暖和制冷的系统。其工作原理就是通过地埋管换热器和土壤进行热量交换，在冬季从土壤中取热，在夏季向土壤排热，达到能量季节性平衡利用的目的。地源热泵系统在制冷季和供暖季的实际运行能效可以达到较高的水平，能源系统的制冷能效达到高效机房的标准[1]。空气源热泵系统是从室外空气中获取热量，安装方便、适用范围广。低温空气源热泵技术的不断进步，使它在寒冷气候条件下制热能力得到明显改善。CO_2空气源热泵具有低温高效制热、单机制热量大、结构紧凑等特点。与传统的燃煤锅炉供暖方式相比，使用 CO_2空气源热泵仍然可以取得很大的节能率和碳减排率。

2.2 可再生能源与建筑节能设计的协同关系

可再生能源系统和建筑节能设计的协同，从物理上讲是能源转换过程和建筑热工过程的耦合，从时间上讲是产能和用能的匹配，从空间上讲是设备布局和建筑形态的融合。建筑本体同可再生能源系统相互配合，可以减少建筑的碳排放。以北京某办公建筑为例，采用 NSGA-II的优化算法，以运行阶段碳排放和生命周期成本为目标函数，用 EnergyPlus 和 Jeplus+EA 软件联合仿真，进行建筑围护结构和光储系统协同优化。研究结果表明，围护结构热工性能提高可以减少建筑的负荷需求，给可再生能源系统提供更好的容量匹配条件，而光储系统的合理配置又可以降低建筑对市政电网的依赖。从设计方法论的角度来说，协同关系的产生要打破传统的专业分工障碍。建筑设计和能源系统设计如果处在串行的工作流中，就会造成可再生能源系统在建筑方案确定之后被动地附加进来，不能达到真正的系统集成。协同设计要求在方案阶段就将能源系统性能模拟加入进来，使建筑形态、围护结构参数和可再生能源系统配置在同一个优化框架内迭代。

3 可再生能源在建筑节能设计中的主要应用技术

3.1 太阳能光伏与光热系统应用设计

太阳能光伏系统在建筑中已经由屋面附加安装向建筑一体化方向发展。光伏建筑一体化把光伏组件当作建筑围护结构的一部分，取代传统屋面或者立面材料，还要担负发电任务。根据光伏建筑一体化的既有农房节能改造研究结果可知，在尽量保持建筑传统风貌、提高室内舒适度的前提下，以获得最多的太阳辐射量为目标的改造方式可以给光伏建筑一体化在农村地区的应用提供理论上的参考。太阳能光伏光热技术的发展使得单一组件可以实现发电和集热。太阳能光伏光热组件在建筑设计中所用到的与建筑屋面、立面和窗户的集成设计方法。光伏光热系统在不同的建筑类型中综合性能有差别，在住宅、商业场景中比传统的光伏系统有更好的综合性能[2]。光伏真空玻璃的能效模拟显示，在高层建筑中，光伏真空玻璃的节能效果以及发电能力要联系具体的气候状况和建筑形态来加以评价。太阳能光热系统在建筑中主要用作生活热水制备、供暖。集热器的安装角度、朝向以及和建筑造型的协调属于需要平衡的设计因素。太阳能资源丰富地区光热系统可以满足建筑大部分热水负荷的要求。

3.2 地源热泵系统应用设计

地源热泵系统设计的核心就是地埋管换热器的合理布置和土壤热平衡的保持。地埋管系统的设计要考虑到建筑冷热负荷全年平衡的特点，防止由于取排热失衡而引起土壤温度漂移、系统性能衰减等问题的发生。以北京某办公园区为例，项目采用地埋管地源热泵加冷水机组加市政热力的多能互补系统。该园区建筑面积为 13.48 万 m^2，经模拟计算，建筑群夏季空调冷负荷为 10656kW，冬季空调热负荷为 7221kW。系统投产之后两个运行周期的数据表明，冬夏季典型房间室内温度满足设计要求，地源热泵系统制冷季和供暖季的实际运行能效也较高。该案例说明了多能互补的配置方式可以保证供能的可靠性，又能充分发挥地源热泵的能效。地源热泵系统设计还要考虑场地条件。地埋管占地面积同建筑密度存在制约关系，在场地紧张的城市项目里要采取增强型换热或者复合系统方案。

3.3 空气源热泵系统应用设计

空气源热泵系统设计重点是低温工况下制热性能保证和除霜控制。低温空气源热泵装置选型包含制冷剂温度控制、循环水泵选型、辅助设施配套等部分，需要从建造成本和运行成本两个方面进行比较来确定经济性。CO_2空气源热泵在供暖设计参数优化方面的研究显示，冬季室内温度设计值可以提高到 20℃以上，室外计算温度优先采用不保证小时数选取[3]。以执行最新节能标准的北京住宅建筑为研究对象，与室内设计温度为 18℃的燃煤锅炉供暖模式相比，采用 20℃室内设计温度的 CO_2空气源热泵

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

供暖模式，仍然可以达到 63%的节能率和 25%的碳减排率。空气源热泵在建筑中安装的位置要考虑到气流组织和噪声控制，机组不应布置在气流短路或者噪声敏感区，寒冷地区还要考虑防冻措施。

3.4 可再生能源与建筑能源系统一体化设计

多能互补系统把太阳能、地热能、空气热能等可再生能源形式同建筑用能需求融合起来，经由能源的梯级利用和时空互补来提高整体效率。某办公园区多能互补能源站的设计实践证明，地埋管地源热泵、冷水机组和市政热力三者组合，在保证供能可靠性的基础上可以取得较好的能效水平。可再生能源建筑应用系统集成设计要考虑到各种能源的容量匹配以及运行优先级。太阳能系统产能存在明显的日间波动性，热泵系统担负基础负荷，并且可以依照电网电价信号来完成柔性调节工作。智能控制和运行调节策略是否完善，直接决定系统实际性能的好坏。表 1 中给出了主要的可再生能源建筑应用技术所适用的条件、能效特点及设计要点。

表 1　主要可再生能源建筑应用技术比较

技术类型	主要能源形式	适用条件	设计要点
太阳能光伏	太阳能	日照充足，屋面/立面可利用	朝向倾角优化，储能配置，建筑一体化
太阳能光热	太阳能	热水负荷稳定	集热器布置，防冻防过热
地源热泵	浅层地热能	冷热负荷平衡，场地允许	土壤热平衡，地埋管间距，复合系统
空气源热泵	空气热能	适用范围广，安装灵活	低温性能，除霜控制，气流噪声

4 可再生能源建筑节能设计的优化策略

4.1 基于建筑负荷特征优化能源系统配置

建筑负荷具有时序性，所以可再生能源系统所用的容量和储能需求也应根据建筑负荷时序特性来布置。不同的建筑类型负荷曲线存在较大的差异，办公建筑负荷主要集中在白天，同太阳能产能的时间重合度高；住宅建筑负荷早晚时有高峰，同光伏产能曲线存在时间错位。根据 EnergyPlus 和 Jeplus+EA 联合模拟的结果可知，以运行阶段碳排放、生命周期成本作为目标函数，以热舒适为约束条件，可以达到建筑围护结构和光储系统协同优化的目的。该种优化方法的关键之处在于把建筑负荷模拟同能源系统仿真放在同一个框架里不断迭代，防止因为缺少信息而导致负荷估算和系统选型之间的信息流失。可再生能源利用率约束会大大影响到优化的结果。把可再生能源利用率当作约束变量，可以体现出光伏热泵系统同建筑围护结构参数之间的协同互动状况。围护结构保温性能提高，供暖需求降低，但是改变了光伏产能和用电负荷的匹配关系。

4.2 结合建筑空间布局强化系统一体化设计

建筑空间布局对于可再生能源系统可利用面积、安装条件起决定性的作用。屋面面积、立面朝向、遮挡情况等都会影响到光伏、光热系统装机容量。在方案设计阶段把可再生能源可利用空间加入到建筑体量推敲当中，可以防止后期因为空间不够而造成系统容量的妥协。围护结构集成光伏光热系统属于一体化设计的前沿。建筑围护结构集成光伏光热系统可以同时产生电力和空间供暖，应用场景有透明屋面和窗户。光伏中空玻璃在寒冷地区窗户中的应用模拟结果表明，相比于传统的窗户，它可以减少年供暖能耗，也可以提高采光质量。建筑空间布局设计还要考虑设备用房和管井的预留。热泵机组、储能设备、换热站等需要有合适的布置位置，地埋管系统要具备足够的场地面积或者采用桩基埋管等方式。

4.3 完善能源系统智能控制与运行调节

由于可再生能源具有间歇性的特点，而建筑用能是连续性的，所以必须依靠智能控制来调节。预测性能源管理依靠建筑热惯性，在保证舒适度的基础上把用电时段转移到节能时间段，从而降低运行成本。智能控制就是解决光伏发电、热泵运行、储能充放和电网交互之间的协调问题，达到多能源形式功率平衡和优化调度的目的。控制策略设计还要与建筑运行模式相适应，间歇运行建筑要快速响应，连续运行建筑可以利用热惯性做更大的负荷调节。

4.4 建立经济性与节能效益综合评价机制

可再生能源建筑应用评价不能只看单一的节能指标，应该建立包含能源、经济和环境等各方面内容的综合评价体系。生命周期评价框架可以将能源分析、经济评价和环境影响评价结合起来，多能互补系统评价要关注能源效率、自给率、平准化成本等指标，权重由项目定位决定。评价还要考虑电价波动、技术进步等不确定因素，敏感性分析可以评价系统全生命周期的性能变异性。综合评价机制要服务于设计决策，在设计阶段用作方案比较和参数优化，运行阶段用作系统调适和策略调整。

5 结语

可再生能源在建筑节能设计中应用的方式由原来的附加式安装转变为能源系统同建筑本体的协同设计。太阳能光伏光热、地源热泵、空气源热泵是目前应用的主要技术，它们的效能释放依靠负荷匹配、空间耦合、运行协同这三个关系的合理处理。从设计方法论角度出发，根据负荷特点来完成容量的优化，按照空间布局展开一体化集成，对智能控制策略加以完善，并且创建综合评价体系，这些

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

方面都属于可再生能源建筑应用优化的主要途径。目前实践当中还存在着由于专业壁垒造成系统集成不够、重初投资轻运行效果的评价偏差等状况。可再生能源建筑应用的发展需要建筑设计、能源系统设计和运行管理在更早的时候就进行信息交流和协同决策。伴随着光伏建筑一体化技术日趋成熟、热泵低温性能不断改善、智能控制手段日益丰富，可再生能源在建筑能源系统中的比重将进一步提高，建筑由能源消耗者向产消者的转变将会加快。

[参考文献]

[1]邵兆楠,高岩.基于 EnergyPlus 和 Jeplus+EA 联合模拟的建筑围护结构及光储系统协同优化研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2024,56(2):292-300.

[2]蔡洪彬,高爽,崔艳秋.基于光伏建筑一体化的山东地区既有农房节能改造设计策略研究[J].住宅与房地产,2024(5):49-51.

[3]宋良雨.“双碳”下暖通专业绿色智慧节能建筑设计创新探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025(12):73-75.

作者简介：叶向英（1987—），女，汉族，河北沧州人，高级工程师，西安工程大学毕业，现就职于河北省建筑科学研究院有限公司，从事建筑设计工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.