

Economic analysis of the integrated application of renewable energy in green building construction

Shengyong Lu Haitao Bai

Jining Far East Construction Engineering Co., Ltd., Jining, Shandong, 272000, China

Abstract

With the increasing global attention to environmental protection and sustainable development, green buildings are developing rapidly as an important way to achieve sustainable development in the construction industry. This paper analyzes the economics of integrated application of renewable energy in green building construction. Solar, wind and geothermal energy are the main application forms, each with its own characteristics and applicable scenarios. In terms of cost-effectiveness, the initial investment includes equipment, design, construction, etc., which account for different proportions and are affected by a variety of factors; The operation and maintenance cost varies depending on the type of energy, and intelligent technology can reduce costs. The energy conservation benefits are reflected in the fields of electricity, heating and cooling, hot water supply, etc., and over time, policies can also amplify their value, and they have good economic efficiency on the whole.

Keywords

green building; Renewable energy; Integrated applications; Economy

绿色建筑施工中可再生能源集成应用的经济性分析

卢圣勇 柏海涛

济宁远东建设工程有限公司, 中国 · 山东 济宁 272000

摘要

随着全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提高,绿色建筑作为实现建筑行业可持续发展的重要途径,其发展迅速。文章分析绿色建筑施工中可再生能源集成应用的经济性。太阳能、风能、地热能是主要应用形式,各有特点与适用场景。成本效益方面,初始投资含设备、设计、施工等,占比各异且受多种因素影响;运行维护成本因能源类型不同有差异,智能化技术可降低成本;能源节约效益体现在电力、供暖制冷、热水供应等领域,随时间增长,政策还能放大其价值,综合来看具有良好经济性。

关键词

绿色建筑; 可再生能源; 集成应用; 经济性

1 引言

建筑行业是能源消耗与碳排放的重点领域,传统模式依赖化石能源,加剧资源紧张与环境问题。绿色建筑成为可持续发展关键路径,而可再生能源集成应用是其核心。分析其经济性,对推动绿色建筑发展意义重大。本文聚焦此,探究应用形式与成本效益,为行业实践提供参考。

2 可再生能源在绿色建筑中的应用形式

2.1 太阳能应用

太阳能在绿色建筑中展现出极为丰富的应用形态,其核心在于通过不同技术路径实现对太阳辐射能的高效捕获

与转化。其中,太阳能光伏发电系统是最为成熟且应用广泛的形式之一,它依托半导体材料的光生伏特效应,将太阳能直接转化为电能。系统通常由太阳能电池板、逆变器、汇流箱等核心部件构成,电池板的安装位置充分结合建筑形态,除了常见的屋顶平铺、斜顶架设外,外立面集成与光伏幕墙设计更是实现了建筑表皮与能源生产的有机融合,既不额外占用土地资源,又能成为建筑美学的组成部分。所产生的电能可直接接入建筑内部电网,满足照明、通风、电梯、办公设备等多元化用电需求,当发电量超过建筑即时消耗时,多余电力可通过并网技术输入公共电网,不仅实现能源的梯级利用,还能通过电价机制形成持续的经济回报。太阳能热水系统则聚焦于热能转化与利用,其核心设备集热器通过选择性吸收涂层高效捕获太阳辐射热,并将热量传递给内部介质(通常为水或导热油),再通过循环系统将热水输送至建筑内的储热设备,满足生活洗漱、餐饮加工、供暖预热

【作者简介】卢圣勇(1975-),中国山东肥城人,本科,工程师。

等热水需求。该系统的技术成熟度高，运行过程中几乎无需消耗传统能源，仅需少量电力维持循环泵运转，长期使用成本远低于电加热或燃气加热方式。在系统设计上，可根据建筑用热需求灵活配置集热器面积与储热水箱容量，并通过辅助加热装置应对阴雨天气，确保全天候稳定供应。

2.2 风能应用

风能在绿色建筑中的应用高度依赖场地风资源的禀赋条件，其核心在于通过精准的风场评估与设备匹配，实现风能向电能的高效转化与建筑能源系统的有机融合。对于大型风力发电设施而言，其部署需以长期稳定的高风速区域为前提，这类设施凭借较大的叶轮直径与较高的安装高度，能够捕获中高空的优质风能，产生的电力可直接接入建筑配电网，为建筑群内的大型设备运转、公共区域照明等提供持续电力支持。当发电量超过建筑实时需求时，过剩电力可通过电网调度机制输送至外部电网，在补充区域能源供应的同时，借助电价差与补贴政策形成稳定的经济回报，实现环境效益与经济效益的协同。小型风力发电装置则更注重与建筑空间的适配性，其设计紧凑、安装灵活，能够适应不同建筑形态的布局需求。通过与太阳能系统形成互补供电模式，可有效平衡两类能源受天气影响产生的供应波动——在光照充足时以太阳能发电为主，在风力较强时则以风能发电补充，从而提升建筑能源系统的稳定性与自给率^[1]。随着垂直轴风力发电机等小型化设备的技术迭代，风能在城市建筑中的集成应用迎来新的突破。这类设备采用垂直布局的叶轮设计，对风向变化的适应性更强，且运行时的噪音与振动水平更低，能够更好地融入建筑屋顶、裙楼等空间。其外观设计可与建筑风格相协调，通过色彩搭配、造型优化等方式弱化设备的工业属性，在满足能源生产需求的同时，避免对建筑美学与居住体验造成负面影响。这种高度集成化的应用模式，不仅拓展了风能在城市环境中的应用场景，更推动了建筑从能源消耗者向能源生产者的角色转变，为绿色建筑的能源自给目标提供了有力支撑。

2.3 地热能应用

地热能绿色建筑中的应用以其稳定且可持续的能量供给特性，成为实现建筑低碳运行的重要支撑，其中地源热泵系统是技术应用的核心载体。该系统通过构建与地下环境的热量交换循环，充分利用地下土壤、地下水或地表水体近乎恒定的温度场——通常在全年范围内维持在 10-25℃ 区间，这一特性使其能够突破传统空调系统依赖空气源的局限，显著降低能源转换过程中的损耗。系统的核心组件包括埋管换热器、热泵机组与循环水泵，埋管换热器通过水平或垂直方式埋入地下，形成与大地的热交换界面，冬季时，工质在换热器中吸收地下低位热能并通过热泵机组升级温度后，为建筑供暖；夏季则反向运行，将建筑内的多余热量转移至地下储存，实现制冷功能^[2]。这种双向调节机制使其能效比（COP 值）普遍达到 3-5，远超传统空气源空调系统，且运行过程

中不受外界极端天气影响，能在高温、严寒等气候条件下保持稳定出力，为建筑提供持续的舒适环境。除地源热泵系统外，在地下热水资源天然富集的区域，直接利用地热资源的方式更显高效与经济。这类天然地热流体往往具有较高的温度，无需复杂的能量转换环节即可直接应用于建筑供暖、生活热水供应等场景。其能量传递路径短，热损失少，能最大限度发挥资源的原始价值，同时省去了热泵机组等设备的投入与维护成本。此外，地热流体中蕴含的矿物质成分，在某些情况下还可与建筑的康养功能相结合，拓展地热能的应用维度，既实现了能源的高效利用，又深度契合了绿色建筑对天然资源循环利用的核心诉求。

3 可再生能源集成应用在绿色建筑施工中的成本效益分析

3.1 初始投资成本

可再生能源集成应用的初始投资构成复杂，贯穿方案规划至系统落地全流程，可拆解为设备采购、系统设计、施工安装三大核心模块，且模块间联动显著^[3]。

设备采购成本占比最高，达 60%-80%，与能源类型高度相关。太阳能光伏系统含光伏组件、逆变器等，高效单晶硅组件成本比多晶硅高 10%-20%，但转换效率高；风力发电设备成本集中在叶片、发电机等，大型机组成本随功率阶梯增长；地源热泵系统聚焦主机等，能效比提升会增加成本但放大节能效益；生物质能设备成本受燃料特性影响大。同时，品牌溢价与采购规模效应对冲，国际品牌价高但质保长，大额采购可降本。系统设计费用占 5%-10%，却决定投资效率。涵盖资源勘察、能源需求模拟等，需专业团队用 BIM 技术模拟，避免因设备与建筑不兼容产生高额隐性成本。综合项目还需纳入能源管理系统开发成本，虽增开支但提升后期效率。施工安装成本波动大，占 15%-30%，受施工环境与技术要求影响。地源热泵埋管工程成本差异大，地质复杂会骤增成本；高层建筑光伏幕墙安装成本高且随高度追加费用；风力发电机安装成本与容量非线性相关。施工周期也影响间接成本，交叉作业可能导致额外支出。

3.2 运行维护成本

可再生能源系统的运行维护成本以长期稳定性为显著特征，其年度支出不仅远低于传统化石能源系统（通常为燃煤机组的 1/3-1/2），且随技术迭代呈现逐步优化的趋势。这种成本优势源于可再生能源设备无复杂燃烧装置、运动部件少的先天特性，但其维护需求因能源类型差异呈现出精细化、差异化特征，需结合设备原理与运行环境制定针对性方案^[4]。

太阳能光伏系统的维护核心在于保持光电转换效率的稳定性。光伏面板表面的积灰会导致发电效率下降 5%-20%，因此清洁频率需根据当地气候动态调整——多风沙地区需每月清洁 1-2 次，多雨地区可延长至每季度 1 次，清洁方式

也从人工擦拭向自动化清洗机器人演进,后者虽初期投入较高,但长期可降低 30% 以上的人工成本。此外,逆变器作为光伏系统的“心脏”,其电容、散热风扇等易损部件需每 2-3 年检测一次,组串式逆变器因模块化设计可单独更换故障单元,维护成本比集中式逆变器低 40% 左右。支架系统的维护则聚焦于防锈处理,沿海高湿度环境需每 5 年进行一次防腐涂层翻新,内陆干燥地区可延长至 8-10 年。风力发电设备的维护呈现“高空作业+精密检测”的双重特性。叶片作为捕获风能的核心部件,需每半年进行一次外观巡检,重点排查雷击损伤、表面涂层剥落和边缘裂纹,发现微小损伤后需及时用专用树脂修补,避免裂纹扩展导致叶片报废(单叶片更换成本可达机组总价的 15%)。传动系统的维护更为关键,齿轮箱润滑油需每 1-2 年更换一次,油液检测可提前预警齿轮磨损状态;发电机轴承的振动监测则需采用超声波检测仪,确保运行温度不超过 80℃,以延长使用寿命至 15 年以上。对于沿海地区的风电机组,盐雾腐蚀会加速金属部件老化,需每年对塔筒法兰、机舱外壳进行防腐处理,维护成本比内陆地区高 20%-30%。地源热泵系统的维护呈现“地上设备精护、地下系统免维护”的特点。地下埋管换热器因处于恒温恒湿环境,故障率不足 0.5%,仅需每 5 年通过压力检测确认管路密封性;而地上的热泵机组需进行季度性维护:夏季制冷前需清洗蒸发器盘管的水垢,冬季供暖前需检查压缩机润滑油位,膨胀阀的开度校准则需专业工程师操作,以确保能效比(COP 值)维持在设计值的 90% 以上。循环水泵作为系统的动力源,其轴承润滑与密封件更换需每 3 年进行一次,采用变频控制的水泵还需定期校准频率与流量的匹配关系,避免能耗浪费。

3.3 能源节约效益

能源节约作为可再生能源集成应用最直接的经济回报,其核心逻辑在于通过清洁能源替代传统化石能源消耗,形成“量价双控”的收益模型——既减少能源消耗量,又规避传统能源价格波动带来的成本风险。这种效益渗透于建筑能源消耗的全场景,且随系统运行时间呈现复利式增长特征^[5]。

在电力供应领域,太阳能光伏与风能发电系统构建起建筑“自发自用”的能源闭环。分布式光伏系统通过屋顶、幕墙等载体实现就近发电,可直接满足照明、办公设备、电梯等用电需求,其发电成本不受电网峰谷电价影响,尤其在

工商业建筑中优势显著——此类建筑白天用电负荷高峰与太阳能辐照度高峰高度重合,可替代 80% 以上的日间购电量,而工商业电价(平均 0.8-1.5 元/千瓦时)通常是居民电价的 1.5-2 倍,每年节省的电费支出可达数十万元。风力发电系统则通过与光伏系统的互补运行,弥补夜间和阴雨天的电力缺口,部分偏远地区的建筑甚至可实现 100% 电力自给,彻底摆脱电网供电的可靠性制约。系统发电量与建筑用电量的匹配度直接影响节能效益,通过储能设备调节峰谷差后,能源替代率可提升 15%-20%。供暖制冷领域的节能效益源于地源热泵系统的高效能量转换机制。传统空调系统依赖空气源换热,冬季制热时能效比(COP)常低于 2.0,而地源热泵利用地下恒温环境,COP 值可稳定维持在 3.0-5.0,即消耗 1 千瓦时电能可产生 3-5 千瓦时热能。在北方寒冷地区,一套 1 万平方米建筑的地源热泵系统,冬季供暖能耗仅为燃气锅炉的 50%-60%,按燃气价格 3.5 元/立方米计算,每年可节省燃料费用 20-30 万元;夏季制冷时,其能耗比传统中央空调低 30%-40%,尤其在高温天气下,避免了空调外机因环境温度过高导致的效率衰减。对于同时具备供暖与制冷需求的建筑,地源热泵系统的综合节能率可达 40%-60%,且运行越稳定,长期节能效益越显著。

4 结语

太阳能、风能、地热能在绿色建筑中各有适用场景,其集成应用的经济性需综合考量。虽初始投资较高,但运行维护成本低,能源节约效益显著且随时间递增,政策也助力提升经济性。这表明其在绿色建筑中具有可行性与潜力,未来应进一步推广,以推动建筑行业可持续发展,实现生态与经济双赢。

参考文献

- [1] 王桦烽.绿色建筑标准下的暖通空调系统设计研究[J].新城建科技,2024,33(10):15-17.
- [2] 黄艳雯.绿色建筑中的可再生能源成本分析与优化[J].居业,2024,(07):172-174.
- [3] 薛德远.建筑设计中绿色建筑设计理念的整合应用探究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(15):61-63.
- [4] 王鸿志.绿色环保建筑材料及其应用[J].石材,2024,(05):32-34.
- [5] 吴夷鸣.高层建筑设计中绿色建筑理念的应用研究[J].房地产世界,2023,(23):49-51.