

超低能耗建筑项目技术经济重难点及增量成本分析

黄 辉

上海虹极置业有限公司, 上海 201808

[摘要]随着可持续发展理念在建筑领域的深入推进,超低能耗办公园区项目日益增多。文中以上海某超低能耗办公园区工程项目为例,深入分析其成本造价构成,并探讨在项目实施过程中成本管控的重点与难点,提出相应的解决措施,旨在为类似项目的成本造价管理提供参考,实现经济效益与环境效益的双赢。

[关键词]超低能耗建筑;建筑光伏一体化;成本造价控制;增量成本;管控重难点

DOI: 10.33142/aem.v7i1.15251

中图分类号: TU27

文献标识码: A

Analysis of Technical and Economic Difficulties and Incremental Costs of Ultra-low Energy Consumption Construction Projects

HUANG Hui

Shanghai Hongji Real Estate Co., Ltd., Shanghai, 201808, China

Abstract: With the deepening of the concept of sustainable development in the field of architecture, the number of ultra-low energy office park projects is increasing. Taking a ultra-low energy consumption office park project in Shanghai as an example, this article deeply analyzes its cost structure, explores the key and difficult points of cost control in the project implementation process, and proposes corresponding solutions, aiming to provide reference for cost management of similar projects and achieve a win-win situation of economic and environmental benefits.

Keywords: ultra-low energy consumption buildings; building photovoltaic integration; cost control; incremental cost; key and difficult points of control

引言

近年来,全球气候变化问题日益严重,各国纷纷制定并实施碳中和目标,以应对气候变化对环境、经济和社会的多重影响。在这一背景下,建筑行业作为能源消耗和碳排放的重要来源之一,亟需进行绿色转型。根据国际能源署(IEA)的数据显示,建筑行业约占全球能源消耗的36%和碳排放的39%。因此,开发和推广绿色建筑技术成为实现低碳目标的关键环节。中国作为全球最大的碳排放国之一,在“双碳”目标的指导下积极推进绿色建筑的发展。作为国家绿色建筑示范城市,上海在建筑节能与可再生能源技术应用方面具有显著的前瞻性和实践性。近年来,超低能耗建筑和建筑光伏一体化(BIPV)技术的结合为建筑行业的绿色转型提供了创新解决方案。超低能耗建筑通过优化围护结构和设备系统,实现了能耗的大幅降低;而BIPV技术则通过将光伏组件集成于建筑结构中,实现了建筑能源的局部自给。

尽管超低能耗建筑与BIPV技术在节能减排方面具有显著优势,但其在国内的推广仍面临诸多挑战。首先,超低能耗建筑的设计与施工标准尚未完全体系化,技术推广存在区域性差异。其次,BIPV系统的设备成本较高,导致项目整体预算压力较大。再次,两者的技术结合需要多学科、多团队的协作,这对项目管理和执行能力提出了更高要求。

本文还选取上海某超低能耗BIPV光伏一体化办公园区作为研究对象,旨在探讨此类项目的成本造价指标及其管控重难点。具体而言,本文的研究目标包括:

分析超低能耗建筑与BIPV技术的技术实现路径;比较超低能耗BIPV建筑与普通建筑的成本构成差异;探讨通过合理管控实现成本优化的策略;评估超低能耗BIPV建筑的经济、社会和环境效益。

1 超低能耗建筑技术特点及难点

1.1 技术特点

超低能耗建筑通过先进技术实现能源效率与舒适性的双重目标,其关键在于高效围护结构、暖通设备优化和智能化能耗管理的协同应用。围护结构是节能建筑的核心,通过高性能隔热材料和气密性设计减少热能损失。例如,三玻两腔(甚至四玻两腔)LOW-E中空玻璃能有效降低传热系数,同时阻止红外辐射,使得建筑的采暖和制冷需求大幅下降。此外,无热桥设计可以显著减少因构造节点引起的热量流失,这种技术对于提升整体节能性能至关重要。

在暖通系统中,高效能量转换是超低能耗建筑的重要组成部分。结合热回收装置的使用,新风系统不仅改善了空气质量,还减少了供暖和制冷负荷。例如,通过回收排风中的热量为新风预热,大幅减少了热能需求。建筑设计还特别注重遮阳设施的优化,通过调整建筑朝向和设置外遮阳减少太阳辐射的热负荷,自然通风路径的设计则进一

步降低了对机械制冷的依赖,提升了能耗效率。

智能化能耗管理系统是超低能耗建筑的重要特征,通过传感器实时采集数据并动态调整能源分配。基于这些数据的智能算法可调节设备运行,如优化空调运行时间和照明亮度,从而减少电力消耗。智能化管理不仅提升了能源使用效率,还显著改善了居住环境的舒适性,为绿色建筑的发展提供了技术保障。

1.2 技术难点

尽管超低能耗建筑在节能方面具有显著优势,其推广仍面临诸多技术挑战。首先,气密性和热桥处理对施工质量提出了极高要求。建筑节点中的任何微小漏气点都会破坏整体节能效果,而热桥问题若未能妥善解决,不仅会导致能源浪费,还可能引发墙体结露,影响建筑寿命。

高性能材料的选择和成本也是推广的主要障碍之一。目前用于超低能耗建筑的隔热材料和特种玻璃在国内的普及率较低,市场供应不稳定且价格昂贵,这使得项目预算面临较大压力。此外,材料供应的地域差异性也影响了施工的灵活性和效率,进一步增加了项目的不确定性。

施工复杂性同样是一个重要难点。超低能耗建筑需要极高的施工精度,例如保温层的无缝拼接和窗框的气密性安装,这些细节处理直接决定了建筑的节能效果。然而,由于国内建筑施工团队对这些新技术的掌握尚不充分,施工过程中的失误可能导致项目的节能目标难以实现。

最后,超低能耗建筑的长期维护也带来了新的挑战。复杂的智能化系统需要定期维护和更新,如新风系统的过滤装置和智能控制软件的升级。这些维护工作虽然能保持建筑性能,但也会增加运营成本,影响投资回报周期。

2 BIPV 光伏一体化技术分析

2.1 技术特点

BIPV(建筑光伏一体化)技术将光伏组件直接集成于建筑结构中,实现了建筑功能与光伏发电的双重目标。与传统附加式光伏系统相比,BIPV通过嵌入屋顶、外墙或窗户结构,替代传统建筑材料,不仅节省了建材成本,还增强了建筑的美观性和现代感。例如,半透明光伏玻璃可以用于幕墙设计,同时提供采光和发电功能,成为绿色建筑的重要组成部分。

BIPV的多功能性是其显著特点。光伏组件不仅能够发电,还可充当隔热、防水、遮阳等建筑构件。例如,当光伏组件用于外墙或天窗时,能减少太阳辐射热量的传递,降低冷负荷需求。通过与智能电网和储能系统结合,BIPV建筑能够实现电力自发自用,并将余电反馈至电网,提升能源利用效率,减少对传统电力供应的依赖。

2.2 技术重难点

尽管BIPV技术具有诸多优势,其实际应用中还面临一些技术难点。首先是发电性能与建筑功能的平衡问题。例如,透明光伏玻璃需要在透光率和发电效率之间权衡。过

高的透光率可能降低发电能力,而过低的透光率又可能影响室内采光效果。

其次,BIPV系统需与建筑电气系统、暖通设备和能耗管理系统无缝整合,这对设计和施工提出了更高要求。例如,逆变器和储能系统需根据建筑能源需求进行精确匹配,以确保能源供应的稳定性。同时,施工阶段需严格控制组件的密封性和结构稳定性,确保其具备防风、防水能力。

此外,维护的复杂性是BIPV技术推广的重要障碍。由于光伏组件直接嵌入建筑结构,更换和维修成本较高,尤其在幕墙和天窗应用中,需要拆装较大范围的组件才能完成维修工作,这对运维管理提出了更高要求。

3 上海某超低能耗建筑办公园区项目案例分析

3.1 项目概况

本项目占地面积约 3.15 万平方米,总建筑面积约 12.69 万平方米,其中地上总建筑面积 7.93 万平方米,地下总建筑面积 4.76 万平方米。地上为 6 栋办公楼,主要功能为办公和局部商业配套。1#~2#、3-1#、4-1#、5~6#办公楼地下采用混凝土框架-剪力墙结构,地上采用钢组合框架-剪力墙结构,楼板均采用钢管腹杆桁架预应力混凝土叠合板。3-2#、4-2#裙房地下采用混凝土框架结构,地上采用钢框架结构,楼板采用钢筋桁架楼承板。室外光伏连廊采用钢结构。整个项目绿色建筑目标为打造全园区超低能耗建筑。

3.2 超低能耗建筑技术路径

3.2.1 被动式节能策略

结合立面设计,控制墙窗比,加强围护结构热工性能,降低建筑使用过程中的能耗需求。具体为:

①合理的规划布局:通过合理的规划布局优化园区内部风环境,提高园区热舒适度;

②控制立面窗墙比:立面窗墙比 0.5,幕墙采用四玻两腔(临近机场,综合考虑隔声和绿色建筑需要配置),幕墙传热系数 <1.4 ,减少热损失;

③高性能隔热屋面外墙,高性能门窗:提升外围护结构热工性能,整体热工性能提升 50%;

④自然采光及立面外遮阳:既能自然采光又可外遮阳,减少夏季空调消耗。

3.2.2 主动式节能策略

使用低能耗的空调、照明、电梯设备,同时结合新风热回收、智能控制系统等,进一步提高能效,降低建筑使用能耗,具体为:

①智能照明:平衡负荷、提高功率、降低温度,优化照明控制系统,照明自身节能 30%;

②高效机房:采用磁悬浮高效冷水机组和高效风冷热泵,降低水阻,优化机组运行策略,供冷供热自身节能 36%;

③EC 电机:在节能性、设备尺寸以及变频控制方面有巨大优势,电机自身节能 10%;

④变频电机：优化电梯做功的功率和做功周期循环次数，电梯自身节能 15%。

3.2.3 可再生能源利用

通过屋面光伏板、BIPV 光伏立面、室外风雨连廊及雨棚顶面光伏板等发电措施，提供建筑日常使用能耗需求，达成超低能耗建筑目标。本项目建筑形态设计考虑最大化利用太阳能资源，光伏板安装面积约为 1.09 万 m^2 ，光伏发电装机容量约 1661Kw，预估全年发电量约 126 万 Kwh。

3.3 增量成本概算分析

与上海市公共建筑节能设计标准相比，按照被动式超低能耗建筑技术标准进行设计与建造，项目单位计容面积增量成本约为 891 元/ m^2 ，较常规项目单方成本增量比例约为 6%~10%。其中本项目总增量成本约为 7062 万元，示范增量成本概算如下表 1 所示。

表 1 增量成本概算表

序号	技术措施	实施量	实施量	超低能耗建筑相对于常规节能	总增量（元）
			单位	设计增量	
1	高性能外窗/幕墙	18,301.35	m^2	1620 元/ m^2	29,648,187.00
2	外墙保温	19,235.68	m^2	280 元/ m^2	5,385,990.40
3	气密性材料	19,235.68	m^2	150 元/ m^2	2,885,352.00
4	屋面保温	10,073.09	m^2	100 元/ m^2	1,007,309.00
5	全热回收新风系统	130,263.00	CMH	3 元/ m^3	390,789.00
6	高性能冷水机组	12,831.00	kW	500 元/kW	6,415,500.00
7	高效空调输配系统及末端	71,272.00	m^2	90 元/ m^2	6,414,480.00
8	节能电梯	45.00	台	100000 元/台	4,500,000.00
9	晶硅光伏系统	10,321.40	m^2	1200 元/ m^2	12,385,680.00
10	碲化镉光伏系统	637.50	m^2	2500 元/ m^2	1,593,750.00
总计					70,627,037.40

4 成本造价指标分析

4.1 增量成本构成

超低能耗 BIPV 建筑的增量成本主要来源于围护结构优化、暖通高效系统、光伏系统设备及安装费用、智能化管理系统投入以及设计和施工管理费用的提升。围护结构的高性能隔热材料和三玻两腔（甚至四玻两腔）LOW-E 中空玻璃，使得其每平米成本较普通材料增加约 20%~30%。此外，无热桥设计和高标准的气密性处理需要更高质量的材料与精密施工，进一步提高了造价。

光伏系统是另一个主要成本来源。与传统光伏组件不同，BIPV 组件需兼顾发电效率和建筑功能性，因此其单价较高。此外，逆变器和储能设备等关键部件以及定制化

安装方式也显著增加了施工成本。为了实现光伏组件与建筑一体化，安装过程需要特殊工艺确保系统防水性与稳定性，这也对施工成本造成压力。

高效暖通系统及智能化管理系统通过传感器、控制软件 and 数据处理设备，实现对建筑能源的实时监控与优化调度，同时提升了建筑整体的智能化水平。相比普通建筑，超低能耗 BIPV 建筑还需更高的设计精度和施工管理能力，因此设计费用和管理成本也有所增加。

4.2 初始投资与回收期

尽管初始投资高昂，但超低能耗 BIPV 建筑的节能收益和政策补贴为其提供了长期经济优势。例如，通过光伏发电节约 30% 的电力成本，并将余电上网获得收益，使得项目能在 8~12 年内收回增量投资成本，从全生命周期看具备明显的经济可行性。

4.3 成本与收益的平衡点

通过收益的多样化，超低能耗 BIPV 建筑实现了增量成本与收益的平衡。收益主要来自光伏发电的电费节省、余电上网收益和政策补贴，结合税收优惠和绿色建筑认证支持，这些收益逐步平衡了项目的高额初始投资。

为缩短投资回报周期，优化策略包括本地化生产高性能材料以降低成本、模块化安装技术以简化施工流程，并通过标准化设计减少技术复杂性。这些措施可有效降低初始成本，同时提高建筑的市场吸引力和长期经济效益。

5 光伏系统经济效益评估

5.1 直接经济效益

BIPV 光伏系统为超低能耗建筑带来了显著的直接经济效益，主要体现在用电成本的节省和余电上网收益上。光伏系统通过自发自用的方式，满足了建筑部分电力需求，显著降低了从市电购买电力的成本。

此外，余电上网为建筑带来了额外收入。光伏系统在发电高峰期会产生多余电量，这些电量通过并网销售获得收益。结合节省的电费和余电收益，BIPV 光伏系统每年的直接经济效益对初期投资形成了重要补偿。

5.2 长期经济效益

BIPV 系统的长期经济效益体现在投资回报周期的缩短和运行成本的降低上。基于当前市场条件，BIPV 建筑的投资回报周期通常为 8~12 年。虽然初期投资较高，但其运营期内的节能收益逐年累积，为业主带来了持续的经济回报。

同时，BIPV 建筑的运营成本显著低于传统建筑。光伏发电减少了建筑对传统电力的依赖，降低了电费支出。此外，光伏组件使用寿命通常为 20~25 年，且维护成本较低，这为建筑长期经济效益提供了保障。长期来看，BIPV 建筑在运营期间可实现较高的投资回报率，并为业主节省大量能源成本。

5.3 综合经济效益分析

除了直接和长期收益外，BIPV 系统还为建筑带来了

综合经济效益。首先, BIPV 建筑因其绿色环保特性更具市场吸引力。在商业租赁和销售中, 绿色建筑认证和光伏发电能力为其增加了附加值。其次, 随着碳交易市场的发展, BIPV 建筑的低碳属性还可以通过碳信用获得额外收益。

政策支持也进一步提升了 BIPV 系统的经济性。例如, 政府为绿色建筑项目提供的税收优惠和财政补贴, 在初期投资回收过程中发挥了重要作用。这些支持不仅提升了业主的收益, 还增强了建筑在市场中的竞争力。

6 成本管控的重难点与策略

6.1 设计阶段

设计阶段的成本管控对项目整体经济性至关重要。全生命周期成本分析和 BIM (建筑信息建模) 技术的应用能够优化设计方案, 避免施工阶段出现高成本问题。通过整合光伏系统与建筑结构, 减少不必要的功能重复, 同时保障技术可行性。设计过程中应优先选用本地化生产的高效光伏组件和标准化模块, 降低材料采购和安装成本。此外, 多方协作设计可以确保建筑师、光伏专家和工程团队在设计初期解决潜在的技术冲突。

6.2 施工阶段

施工阶段的成本管控重在质量管理和供应链优化。通过严格的施工规范, 确保围护结构气密性和光伏组件防水性的施工精度, 从而避免因返工造成的成本增加。材料供应链管理是施工阶段的重要环节, 通过提前采购关键材料和引入模块化施工技术, 可以有效缩短工期, 减少材料浪费和人工费用。

数字化工具的使用进一步提升了施工效率和质量监控。例如, 通过实时监控施工进度和成本执行情况, 可以迅速调整计划, 避免因延误引发的额外开支。预制构件的采用也能减少现场施工难度, 降低总成本。

6.3 运营阶段

在运营阶段, 光伏系统和智能化能耗管理系统的维护至关重要。定期清洁光伏组件可保持其高效发电性能, 而智能化系统通过数据分析优化能源使用模式, 进一步降低运营成本。通过储能设备的调节, 可平衡用电高峰和低谷需求, 减少能源浪费。

合同能源管理 (EMC) 模式是创新的运营成本管控方式, 将节能收益与运营方的收入挂钩, 激励持续优化能耗策略。此外, 为建筑租户提供个性化的能源管理解决方案,

不仅提升服务质量, 还能增加附加收益, 为运营方提供更多经济支持。

7 结束语

超低能耗 BIPV 建筑不仅在节能减排方面具有显著优势, 还为社会带来了多方面的积极效益。首先, 这类建筑通过采用先进的绿色技术, 推动了绿色产业链的发展。光伏组件、高性能建材以及智能化管理系统的需求提升了相关行业的技术水平和市场规模, 为本地制造业和高科技行业创造了更多就业机会。

其次, 超低能耗 BIPV 建筑的示范效应显著, 有助于提高公众对绿色建筑的认可度和接受度。在城市规划和建设中, 这些建筑作为绿色技术的样板, 为其他项目提供了借鉴, 带动了整个建筑行业的绿色转型。同时, 在商业应用中, 配备 BIPV 系统的建筑因其可持续发展特性, 能够吸引更多注重环保理念的企业和租户, 提升建筑的市场竞争力。

超低能耗 BIPV 建筑在环境保护方面的贡献尤为显著。首先, 其通过大幅降低建筑运行能耗, 减少了对传统化石能源的依赖, 降低了碳排放。每平方米 BIPV 系统每年可减少约 60~70 公斤二氧化碳排放, 相当于种植约 3~4 棵树的碳汇效果。

此外, BIPV 建筑的能源自给模式显著缓解了城市电网的负荷, 提升了城市能源系统的稳定性。在大规模推广的情况下, 这些建筑还能减少高峰电力需求, 优化能源结构, 助力实现“双碳”目标。

通过采用环保建材和智能化系统, BIPV 建筑在建设和运营过程中减少了资源浪费, 同时提升了能源使用效率。结合屋顶绿化和微气候调节技术, 这些建筑还能在减缓城市热岛效应方面发挥重要作用, 为城市生态环境的改善作出贡献。

[参考文献]

- [1] 王晓华. 超低能耗建筑设计与实践[D]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
- [2] 张建辉. BIPV 建筑光伏一体化技术研究与应用[J]. 中国建筑科学研究院学报, 2020, 35(4): 123-130.
- [3] 李宏宇. 智能化绿色建筑技术集成分析[J]. 建筑技术, 2021, 42(6): 45-53.

作者简介: 黄辉 (1988.12—), 男, 上海人, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 就职于上海虹极置业有限公司, 从事建筑经济及工程造价预算相关工作。