

光电建筑中光电建材成本收益分析

王志东¹ 王建军¹ 王春伟² 刘文¹ 陈岩¹ 赵永红³ 郑毅⁴ 刘志钱⁵ 刘旭涛⁶

1. 中国建筑技术集团有限公司; 2. 建投投资有限责任公司; 3. 杭州市太阳能光伏产业协会;
4. 南京能福建筑科技有限公司; 5. 龙焱能源科技(杭州)有限公司; 6. 浙江中南建设集团有限公司

摘要: 中国建筑部门的能源消费与碳排放是全社会能源消费和碳排放的重要组成部分, 建筑领域的节能减排也是实现双碳目标的重点领域。光电建筑来源于节能建筑, 是未来建筑的必然形式, 是实现双碳目标的途径之一。但受光伏领域“光伏+建筑”的影响, 使人们误以为光伏成本是建筑额外增加的, 不愿接受光电建筑。本文分析了光电建筑中光电建材的成本, 得出光电建筑是所有建筑形式中成本最低这一结论, 为光电建筑健康发展提供支持。

关键词: 碳达峰; 碳中和; 光电建筑; 光电建材; 建造成本; 光伏增量成本; 成本分析; 收益分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.098

一、引言

《中国建筑能耗研究报告(2021)》指出:“2019年全国建筑全过程能耗总量为22.33亿tce, 2019年全国建筑全过程碳排放总量为49.97亿tCO₂, 占全国碳排放的比重为49.97%”^[1]。2021年5月18日, 原住建部副部长仇保兴在“2021国际绿色建筑与建筑节能大会”上指出:建筑行业是决定一个城市碳中和是否成功的最重要的关键因素。由上可知建筑领域是否实现双碳目标直接影响国家大局。2022年4月1日实施的国家强制性规范《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB55015-2021) 5.2.1中规定,“新建建筑应安装太阳能系统。”由上可以看出,建筑领域实现双碳目标,任务艰巨,但有政策引导,再有好的方法就一定能完成任务。建造光电建筑形式的零能耗建筑就是好的方法。

二、光伏+建筑

光伏的发展是由光伏地面电站开始的,之后经历了分布式光伏,再到光伏+N,使得光伏在我们生活中处处可见,应用形式越来越多。“光伏+建筑”(英文名称:Building Integrated Photovoltaic简称为BIPV和Building Attached Photovoltaic简称为BAPV)也是被大家经常提到的。它是由“光伏+N”发展而来,其中的N代表了光伏的各种应用场景,当N为建筑时,就是“光伏+建筑”。因此“光伏+建筑”是光伏的一种应用形式,建筑是光伏安装的载体,目的是发电。“光伏+建筑”只是光伏细分市场中的一支。

三、光电建筑

光电建筑是由可发电的建筑材料建造的建筑,是建筑的一种新形式。光电建材首先承担的是建筑功能,其

次还有发电功能。

光电建筑概念源于2009年3月23日财政部、住房和城乡建设部发布的《住房城乡建设部关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》^[2]。光电建筑不仅能使建筑节能降耗,更能提供清洁能源,从而实现建筑本身在被动节能的基础上,兼有主动制造能源的革命性转变。这将成为现代建筑设计领域中重要的发展方向之一,也为太阳能光伏技术在建筑领域的应用提供了较为广阔的发展空间。

“光电建筑”是由节能建筑发展而来。节能建筑的最高形态是零能耗建筑,但如何实现零能耗建筑呢?它是分成两步完成的:第一步是通过不断强化的节能措施逐步降低建筑能耗,即通过节能设计与节能设备设施应用等措施将建筑能耗降低到较低水平;第二步是建筑产能(即光电建筑形式),目的是将建筑降耗后剩余的能耗抵消或资金平衡甚至盈余输出,从而实现节能建筑的高级形态零能耗建筑。光电建筑不同于以往的“光伏+建筑”,“光伏+建筑”是把建筑作为安装光伏的载体,光电建筑是将光伏发电作为建筑构件的一种功能,而建筑发电作为建筑的一种属性。因此,光电建筑是未来建筑发展的必然形式,同时也是既有建筑节能改造的一种趋势。光电建筑能够同时解决节能、减碳双重难题,所以推广光电建筑是建筑领域完成“双碳目标”的最佳方法。

四、光电建筑与“光伏+建筑”的区别

理清了“光电建筑”与“光伏+建筑”的不同概念,它们的区别就显而易见了。首先,“光伏+建筑”只解决了可再生能源替代传统化石能源的减碳问题,而“光电建筑”则承担了建筑节能和减碳的双重任务;其次,“光伏+建筑”是光伏在建筑场景上的应用,其本质是光伏,而“光电建筑”的本质是建筑;第三,“光伏+建筑”的成本中,光伏成本与建筑成本没有必然联系,可以各算各帐,而光电建筑成本中包含了建筑成本和光伏成本。最后,“光电建筑”的对比物是普通建筑,可得出成本最低理论,“光伏+建筑”的对比物是不同的光伏发电材料,也就没有了建筑成本最低这一理论。

五、光电建筑中光电建材的光伏增量成本

(一) 光电建材的双重属性

根据光电建筑的概念,光电建材首先具有建材的属性,与传统建材一样,承担置业属性成本,其次又有与

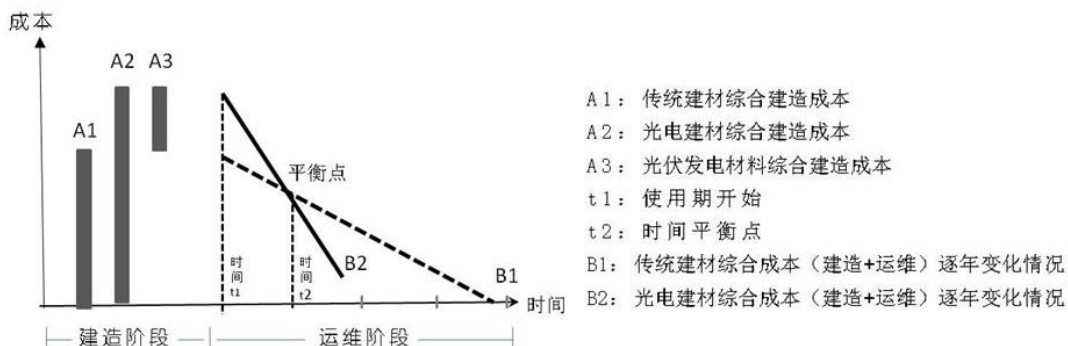


图1 成本逐年变化图

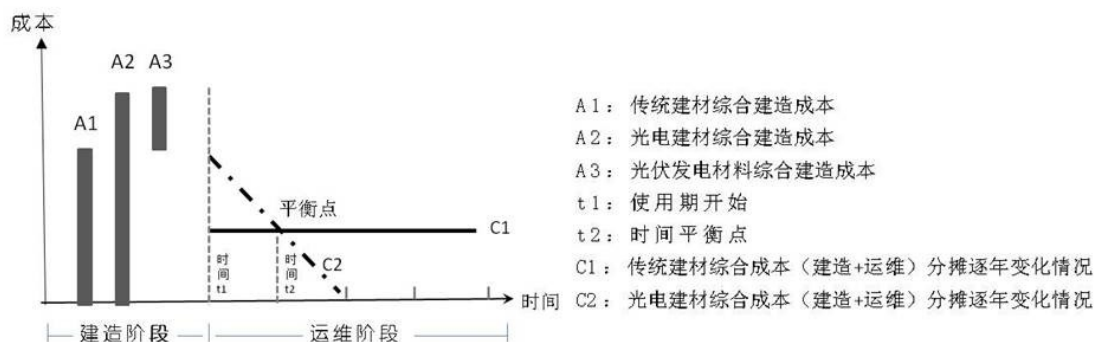


图2 成本分摊逐年变化图

光伏一样的资产收益属性成本。相应地在成本计算上，置业属性成本决定了其静态按折旧回收成本的特性；而资产收益属性成本决定了其动态按收益偿还投资成本的特性。因此光电建材颠覆了传统建材的成本特性。

（二）光电建材双重属性的矛盾及其解决方法

按照投资光伏电站方法，用于核算光电建筑的成本，将面临投资回收期长、投资效益低的尴尬局面。这是因为光电建材除了发电功能外，还承担建筑功能，把建筑成本计入了光伏成本。如何解决这一问题，应将光电建材成本分成两部分：一部分计入光伏成本；一部分计入建筑成本。光伏成本为光电建材中光伏发电材料的增量成本，其余为建筑成本。

（三）光电建材的光伏增量成本

把光电建筑分为建筑部分和光伏部分，建筑部分就相当于传统建筑，光伏部分作为光伏增量成本。由图1可以看出：传统建筑成本可摊销到建筑全生命周期内的每年折旧。一般建筑寿命为30~50年，以平均值40年计算。

如图1和图2所示，在建筑建造阶段，A1代表传统建材综合建造成本；A2代表光电建材综合建造成本，它是由传统建材综合建造成本A1加上光伏发电材料综合建造成本A3而来，既 $A2=A1+A3$ 。在建筑运维阶段，线段B1代表了传统建材综合成本（建造+运维）逐年变化情况；

线段B2代表了光电建材综合成本（建造+运维）逐年变化情况。线段C1代表了传统建材综合成本（建造+运维）分摊逐年变化情况；线段C2代表了光电建材综合成本（建造+运维）分摊逐年变化情况。从图中可看出，由于加入了光伏发电材料，光电建材成本初始状态高于传统建材，即 $A2>A1$ 、 $B2>B1$ 、 $C2>C1$ 。在进入运行阶段，光电建材不断产能也就产生了经济收益，相当于其成本快速降低，到达平衡时间点 t_2 时， $B2=B1$ 、 $C2=C1$ ，达到平衡，既光电建筑与传统建筑综合成本一样、逐年分摊成本一样；当超过平衡时间点 t_2 后， $B2<B1$ 、 $C2<C1$ ，既光电建筑的综合成本和逐年分摊成本均小于传统建筑。

（四）实例分析

中国大剧院通州舞美中心位于通州的北京城市副中心，安装了光伏发电系统，总装机量为604.123KW_p，其中采用光电建材形式在幕墙立面和采光屋顶的装机量为26.819KW_p，按8元/W成本计算，光伏增量成本为214552元。光电建材形式占比为26.819/604.123=4.4%。

项目自2018年12月建成运行发电以来，发电稳定，分别于2019年发电545115kWh；2020年发电562930kWh；2021年发电546023kWh，总计发电1654068kWh，年平均发电量为551356 kWh。根据北京商业用电平均价格1.3元/kWh；北京市对光伏补贴^[3]：分布式光伏0.3元/kWh，

光电建材形式0.4元/kWh；通州区对光伏补贴^[4]：600kW以上，最高补贴100万元的文件精神，本项目光伏发电获得的平均年收入为：

$1.3 \times 551356 + 0.3 \times 551356 = 882170$ 元，其中光电建材光伏发电平均年收入为： $882170 \times 4.4\% = 38815$ 元，100万补贴中光电建材占有44000元。光电建筑中光电建材的光伏增量成本与传统建材成本平衡年限为： $(214552 - 44000) / 38815 = 4.4$ 年。若不考虑补贴的情况下，光电建筑中光电建材的光伏增量成本与传统建材成本平衡年限为： $214552 / (1.3 \times 551356 \times 4.4\%) = 6.8$ 年。

如果从内部收益率（IRR，即净现值=0时的折现率）角度简化地考察，我们设定如下条件：

- (1) 初期投资为214552元（不考虑建造环节的补贴）；
- (2) 光电建筑使用年限40年；
- (3) 商业电价1.3元/kwh，电价补贴0.3元/kwh，且保持稳定；
- (4) 每年电费收入5%用作维护费用支出；
- (5) 如果纳入税费支出因素，税费为电费收入的25%；

那么IRR测算情况一：有税费影响、无电价补贴的情况

(1)	项目年电费收入 ^①	31537.56元
(2)	扣除第(1)项5%维护费用后	29960.69元
(3)	再扣除第(2)项25%税费后	22470.51元
(4)	项目IRR水平(40年计算)	10.26%

IRR测算情况二：有税费影响、有电价补贴的情况

(1)	项目年电费收入 ^②	38815.46元
(2)	扣除第(1)项5%维护费用后	36874.70元
(3)	再扣除第(2)项25%税费后	27656.02元
(4)	项目IRR水平(40年计算)	12.79%

IRR测算情况三：无税费影响、无电价补贴的情况

(1)	项目年电费收入 ^③	31537.56元
(2)	扣除第(1)项5%维护费用后	29960.69元
(3)	项目IRR水平(40年计算)	13.89%

IRR测算情况四：无税费影响、有电价补贴的情况

(1)	项目年电费收入 ^④	38815.46元
(2)	扣除第(1)项5%维护费用后	36874.70元
(3)	项目IRR水平(40年计算)	17.16%

① = $1.3 \times 551356 \times 4.4\%$
 ② = $(1.3 + 0.3) \times 551356 \times 4.4\%$
 ③ = $1.3 \times 551356 \times 4.4\%$
 ④ = $(1.3 + 0.3) \times 551356 \times 4.4\%$

应该看到，在项目持续期内，对IRR有提升的影响因素包括了电价的上调，税费比例的下降等因素；对IRR负面的因素包括了电价下降，税费比例提高，发电周期缩短（或损坏等），发电能力下降等。

通过案例计算，一般t2平衡时间点出现在建筑全生命期的前1/4左右。因此，光电建筑综合成本低于传统建筑。

数据来源于表一：

表1 发电量统计表

抄表日期		上期读数	本期读数	倍率	发电量(kWh)
2021.03.31	并网点1	5461.94	6207.62	120	89481.6
	并网点2	4575.88	5185.92	80	48803.2
2021.06.30	并网点1	6207.62	7178.84	120	116546.4
	并网点2	5185.92	5989.8	80	64310.4
2021.09.28	并网点1	7178.84	7957.5	120	93439.2
	并网点2	5989.8	6632.26	80	51396.8
2021.12.31	并网点1	7957.5	8409.97	120	54296.4
	并网点2	6632.26	6979.12	80	27748.8

六、结语

光电建筑与传统建筑的区别在于使用的建筑材料不同。前者是具有绿色环保概念的含有发电功能的建筑材料，后者是传统建筑材料。两者都是建材，都可以建造房屋，但建造完的房屋却不同，一个是绿色环保建筑，另一个是传统建筑，两个建筑享受的政府政策支持和补贴也不会一样。光电建筑是在传统建筑功能不变的情况下增加了光伏发电元素。光伏发电元素增加了光电建筑建造期的光伏增量成本。但增加的光伏增量成本可通过发电收入在建筑运维期的前1/4时间内达到与传统建筑成本持平。超过平衡时间点后，光电建筑成本将低于传统建筑。综合来讲，光电建筑是建筑形式中成本最低的。如果我们加入完成双碳目标的政治因素，和碳汇的额外收入，光电建筑就成为现阶段最佳的建筑形式。

参考文献

- [1] 朱颖心. 碳中和目标下的建筑环境营造[J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(8): 37-43.
- [2] 中华人民共和国财政部, 中华人民共和国住房和城乡建设部. 财政部住房和城乡建设部关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见[J]. 中国勘察设计, 2009(5): 4-5.
- [3] 包婧文. 《北京市分布式光伏发电奖励资金管理辦法》解读[J]. 太阳能, 2015(10): 6-8.
- [4] 张素芳, 付红娟. 北京市分布式光伏发展激励政策研究[J]. 华北电力大学学报(社会科学版). 2018, (6). 31-37.