

光伏发电系统成本效益综合评价方法研究与应用

文 / 李卫卫 信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司

摘要: 光伏发电系统作为一种清洁可再生的新能源技术, 因其绿色环保能源安全优点在全世界得到广泛应用, 通过建立成本效益综合考核方式, 从投资、自然环境、社会发展三个维度对光伏发电系统展开了综合分析。在社会效益层面文中详细介绍了光伏发电系统的发电盈利、投资收益率与经济内部报酬率; 在环境效益层面阐述了光伏发电的节能减排效益和能源节约效益。研究发现通过技术创新、政策支持和公共教育, 能够显著提升光伏发电系统综合效益, 促使其规模性全面推广。

关键词: 光伏发电; 投资回收期; 经济内部收益率; 减排效益

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.084

引言

光伏发电作为一种可再生资源技术性, 近些年在全世界获得了广泛推广与应用, 具备零污染、能再生、适应能力强的优势, 该方法利用太阳能开展能量转化, 不会产生温室气体的排放, 对绿色环保, 有助于改善全球气候变暖。光伏发电系统可灵活应用于分布式系统和集中型两种形式, 主要适用于自然条件和电力需求, 提升了其在能源市场的竞争力。尽管光伏发电系统在环境保护和能源问题方面有着独特优势, 但其高初始投资与运营成本仍未对规模性推广构成考验, 光伏发电系统的初始项目投资主要包含太阳能组件、逆变电源、支撑架系统及安装调试费用, 短时间无法通过电力工程销售额彻底取回这笔费用, 这也使得初始项目投资变成许多投资者望而生畏的重要原因。

一、理论基础

(一) 综合评价理论

综合评价理论是一种多维度、多维度的系统分析方法, 广泛用于人文科学和工程行业领域, 该理论的关键在于通过一些指标和权重设置, 对复杂的系统或计划方案进行全方位、全面地评价, 以表明其整体效益和潜在问题。经济发展层面主要包含运营成本、运行管理成本与生产发电收益; 自然环境层面涉及温室气体减排高效率、能源节约和生态影响; 社会发展层面包含学生就业高效率、能源问题以及社会接纳。对其光伏发电系统的评价中, 可以考虑原始项目投资、维护成本、节能减排经济效益、资源应用效率、学生就业推动等指标, 明确指标权重是体现各指标在综合评价里的相对性必要性, 一般采用权威专家评估法和AHP (Analytic Hierarchy Process, AHP) 等候完成方式。数据收集整理与处理必须精确、全方位, 以保证评价的客观性和可靠性, 最终创建综合评价实体模型, 常用的包含权重计算综合评价法、模糊不清综合评价法及AHP, 根据数学分析模型综合性各指标的评价结论, 获得最后的评价结论。

(二) 成本效益分析理论

成本效益评估通过平台教委项目和策略的成本和

利润, 判定经济效益分析和效益, 是一种重要的经济发展评价方式, 该理论广泛用于公共经济学和建筑项目评价中, 致力于为资源分配和决策提供科学依据, CBA可以有效考量光伏发电系统的经济效益, 向其全面推广给予重要参照。CBA的关键在于量化分析成本和利润, 并且通过irr (Net Present Value, NPV)、内部报酬率 (Internal Rate of Return, IRR)、成本效益比 (Benefit-Cost Ratio, BCR) 等数据对项目进行评定。光伏发电系统的成本主要包含原始项目投资、运维管理成本和折旧费成本, 原始投资包括太阳能组件、逆变电源、支撑架系统及设备安装调试成本; 运行管理成本包含清理、维护保养和维修零部件的成本; 折旧费成本包含设备使用寿命和更新成本。生产发电收入包括光伏发电系统根据投运或自购所产生的经济效益, 政策优惠包括政府对太阳能发电的各类补贴等税收优惠政策, 如互联网技术电价补贴、可再生能源配额制度等等, 进行计算这种盈利, 能够评定光伏发电系统的经济效益分析和效益。

(三) 可持续发展理论

光伏发电系统作为一种清洁能源技术, 与可持续发展理论这个概念高度一致, 所以在成本效率综合考核中引入可持续发展理论起着至关重要的作用。光伏发电系统需要具有经济可行性分析和竞争力, 以确保其在市场上广泛运用, 经济可持续性不仅需要光伏发电系统具有很高的投资收益率和比较短的投资收益率, 还规定光伏发电系统具备控制成本、提高工作效率的发展潜力。光伏发电系统以太阳能发电为能源, 不会产生空气污染物等有害物质, 对绿色环保, 是促进自然环境可持续发展的有效途径, 太阳能发电通过减少对化石能源的依赖性, 能够明显减少温室气体的排出, 减缓气候变化产生的影响。光伏发电系统的全面推广, 包含增加就业机会、促进区域经济发展趋势、提升能源问题, 能够带来明显的社会效益, 光伏产业链包含生产制造、组装、维护保养等各个环节, 可推动很多学生就业, 尤其是在光资源比较丰富但经济相对落后的地域。

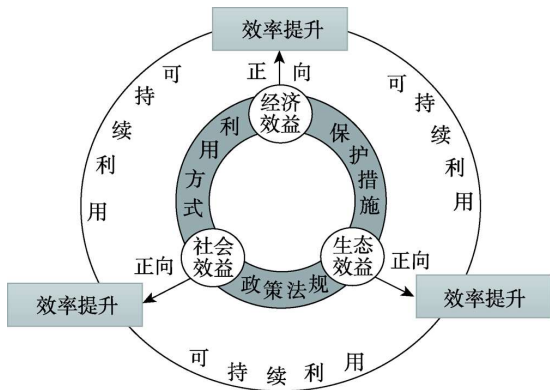


图1 可持续发展

二、成本分析

(一) 投资成本

光伏发电系统的投入成本主要包含太阳能组件、逆变电源、支撑点系统、电缆线接线、设备安装调试成本和土地利用成本。太阳能组件是所有系统的核心部分，其成本占项目总投资的比例较大。随着技术的进步生产规模不断扩大，太阳能组件的价钱持续下降，根据国际可再生资源组织（IRENA）近十年来，光伏组件价格持续下跌，从2010年每瓦1.8美金下降至2020年每瓦0.2美元左右。这类成本下跌趋势有效地减少了光伏发电系统的初始项目投资。逆变电源是把直流电源转换成交流电流的关键设备，其成本随着技术的进步逐渐降低。逆变器的稳定性和高效率对于整个系统的运转有重要影响，近些年逆变电源技术不断创新，价钱不断下降，已经成为光伏发电系统成本提升不可或缺的一部分。支撑架系统的成本在于安装地点的自然条件和设计，针对地面光伏电站，支撑架系统必须具有很高的可靠性和耐用性，为应对不一样的环境条件。

(二) 运行维护成本

运行维护成本是光伏发电系统生命周期关键开支一部分，运行维护成本包含日常维护、设备拆换、清理成本、监控系统运行成本等间接性成本。日常维护主要包含太阳能组件、逆变电源、电缆和布线的定期维护和清理。太阳能组件表层清洁对系统的发电能力有明显影响，尤其是在灰尘环境污染比较多的地域，清理成本包含人力资本成本清洁设备成本。当代自动清洁设备的使用能够有效地降低人力资本成本，提升清洁效率。太阳能组件、逆变电源等关键设备的使用期通常是在20—25年与10—15年之后，随着时间推移这种设备很有可能要换。逆变器的更换频率也较高，由于内部电子元器件容易老化和损坏，通过选择高质量设备和定期维护，可延长设备的使用期，减少更换频率和成本。

(三) 折旧与替换成本

折旧成本就是指光伏发电系统在使用寿命内，因为设备老化和技术迭代，设备使用价值逐年降低的成本。光伏发电系统的重要设备包含太阳能组件、逆变器、支架和电缆线，折旧成本一般按直线法估算，则在设备

的期望寿命内，原始项目投资平分到各个会计期间。太阳能组件的期望寿命一般在25—30年之间，逆变器的期望寿命较短，一般为10—15年，因为太阳能组件的成本在系统运行中所占比例比较高，其折旧成本对系统的经济收益有很大影响。选用耐用性相对较高的部件和先进的生产技术，能延长部件的使用期，减少折旧成本，逆变器等电子设备的技术迭代速度相当快。根据维护保养和及时更换落伍设备，能够降低系统的运行风险与长期性成本。随着技术的进步和市场的完善，光伏发电设备的更换成本持续下降，过去十年逆变器的价钱大幅度下降，新式高效率逆变器的使用不仅提升了系统稳定性，并且减少了更换成本。

三、经济效益

(一) 发电收益

电力市场销售收入在于光伏发电系统的发电量与电力市场价格。光伏发电系统的发电遭受太阳能发电辐照度、太阳能组件高效率、系统软件安装位置和方向等诸多要素产生的影响，太阳能发电辐照度越大，发电量越大，售电收入越大。不一样国家和地区的电力价格行情存有显著性差异，危害光伏发电系统经济效益，一般来说光伏发电上网电价（Feed-in Tariff, FiT）是不变的，政府通过优惠政策适用光伏发电的高速发展，法国、我国、日本等我国大力实施互联网技术电价补贴现行政策，大力推进光伏发电产业快速发展。这些政策确保了光伏发电稳定收入，提升了工程项目的经济发展诱惑力。为鼓励可再生资源的高速发展，很多国家和地区颁布了不同形式的政策优惠，包含项目投资补助、税收优惠政策、绿色证书等，在我国光伏发电项目可以享受国网电价补贴和地方政府专项补贴，大幅提升了光伏发电项目的投资回报。美国用联邦政府减免税费（Investment Tax Credit, ITC）适用光伏发电系统基本建设运行的举措。

(二) 投资回收期

投资回收期是光伏发电系统经济效益评价的主要财务指标分析，就是指回收利用初始投资所需要的时间，直观体现了投资新项目的风险和资本流动性，减少投资风险，提升资产利用效率。在预估投资回收期时，需要综合考虑光伏发电系统的初始投资、运行管理成本费、生产发电投资回报政策优惠，光伏发电系统的初始投资包含太阳能组件、逆变电源、支撑架系统软件、电缆线、设备安装调试成本与土地资源维护成本。运维费用包含日常维护保养、机器设备拆换、清理花费、视频监控运行费用等间接成本，生产发电收益和现行政策补助款是投资回收期计算中的主要收入来源。投资回收期计算方法一般分为简易回收期 and 折现回收期，简易回收期不顾及资金时间价值，而是把总计净现金流与初始投资进行对比，明确初始投资回收利用所需要的时间，折现回收期考虑到资金时间价值，根据折现现金流量测算投资回收期，体现投资回报真实时间。

（三）经济内部收益率

经济发展内部报酬率（Internal Rate of Return, IRR）是评价光伏发电系统经济收益的主要财务指标分析，表明项目irr（Net Present Value, NPV）等于零时折现率，IRR是决策的关键参数之一，体现了项目的盈利能力和回报率水准，更高的IRR代表着项目回报率更高，项目投资诱惑力更高。光伏发电系统的现金流包含原始项目投资、运行管理成本费、生产发电投资回报政策补贴，原始理财是项目初始阶段的重要开支，包含太阳能组件、逆变电源、支撑架、电缆线、设备安装调试成本与土地资源维护成本。生产发电收益和政策补贴是项目的主要收入来源，生产发电收入来自电力工程销售额，政策补贴包含政府在线电价补贴、税收优惠政策和其他财政扶持。IRR计算方法通常是通过尝试错误或者使用会计数据处理软件所进行的，在预估环节中，应该考虑项目整个生命周期中所有现金流，并针对不同的折现率变现这种现金流，直至NPV等于零时候的折现率为IRR，光伏发电系统的IRR往往与项目规模、技术实力、政策支持和市场情况息息相关。

四、环境效益

（一）减排效益

光伏发电系统作为一种清洁能源技术，在减少空气污染物排放和缓解气候问题层面具有显著的生态效益。节能减排经济效益是光伏发电系统自然环境效益评价不可或缺的一部分，关键取代传统的化石能源发电方法，减少二氧化碳（二氧化碳）、硫氧化物（SO_x）和氮氧化物（NO_x）等污染物排放。光伏发电系统能明显减少CO₂排放，在传统煤炭、石油和天然气发电环节中，会产生大量二氧化碳，这也是地球变暖的重要动力因素之一，光伏发电利用太阳能开展电力生产，不依附化石能源，全部生产发电全过程基本不造成CO₂。依据国际能源署（IEA）数据信息，每发1kwh（kWh）太阳能发电电力工程可防止CO₂排放约0.5KG。伴随着光伏发电规模不断扩大，CO₂节能减排的综合经济效益将日益凸显。作为世界最大的光伏发电销售市场，2020年光伏发电量超过261.1太瓦时（TWh），等同于减少了超过1.3亿多吨的CO₂排放。

（二）资源节约

光伏发电系统可以有效减少对化石燃料的依赖性，化石能源构造极度依赖煤炭、原油、天然气等化石燃料，这种资源是有限的，不可再生资源。光伏发电运用取之不竭的太阳能发电生态资源开展电力生产，不但可以降低化石燃料消耗，并且能减轻化石燃料应用所带来的自然环境压力，依据国际能源署（IEA）资料显示，全世界每年新增的光伏发电装机量可减少数亿多吨煤炭和数十万立方米天然气的使用。传统火力发电厂必须太多水来冷却和蒸气循环系统，这也是水资源紧缺地域，尤其是旱灾和半干旱地区的一个重大难题，乱用水资源不仅影响生态环境保护，还会继续加重水资源困

境。光伏发电不用制冷水资源，显著降低了水资源消耗，为水资源焦虑不安地域带来了可持续发展的电力能源解决方法，依据世界资源研究所（WRI）研究发现，与火力发电厂对比，光伏发电每生产发电1kwh可节省2杯水，在广泛应用中积累下来的节约用水经济效益非常显著。

（三）生态影响

大中型路面光伏电站必须占用大量土地资源，这可能导致土地资源之间的竞争，尤其是在土地资源短缺的地域，光伏电站的建设和运作可能会改变土地正常状态，影响土壤质地和水文环境，从而影响当地生态系统软件。在旱灾和半干旱地区，光伏电站的大量基本建设可能会改变地面透射率和热力循环，影响局部气候和生态自然环境。光伏电站的建立可能会破坏原环境要素，影响本地动植物的生存栖息的地方。光伏电站的折射光很有可能严重影响鸟类和别的野生动物的迁移和寻食。因而在光伏项目规划里，应进行全面的生态调研，评估项目对生物多样性的潜在性影响，并采取相应减轻对策，如基本建设生态走廊和设定野生动植物安全通道，从而减少对生态自然环境的负面影响。

总结

光伏发电系统作为一种清洁、可再生的新能源技术，在环境保护和能源问题方面有着独特优势。根据系统成本效率的综合考核，从投资、自然环境、社会三个维度对光伏发电系统展开了全面分析。在经济效益层面，光伏发电系统的投资收益率与经济内部回报率明显影响其市场影响力；在生态效益领域，光伏发电可有效减少空气污染物和有害气体排污，节省水土资源，具有显著的节能减排效益和能源节约经济效益。光伏发电不但为推进能源结构转型和绿色发展提供了强有力的适用，同时也为完成可持续发展总体目标带来了行之有效的方式。

参考文献

- [1] 李婧哲, 王忠康. 一种光伏发电系统成本及效益的分析方法[J]. 科技经济导刊, 2019(31): 2.
- [2] 汤易, 周满, 朱涛, 等. 基于成本效益最优化的含光伏发电配电网系统分布式储能规划[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(3): 9.
- [3] 孙万珺. 新能源发电容量可信度研究及其应用[D]. 华北电力大学(北京), 2019.
- [4] 顾新亮. 浅谈分布式光伏发电经济效益[J]. 电脑乐园, 2021(012): 000.
- [5] Wang S, Yang B, Wu Q, et al. Evaluation Method and Example Verification of Comprehensive Power Generation Performance of Photovoltaic Power Station[J]. 2022.

作者简介: 李卫卫(1991-), 女, 山东省德州市人, 汉族, 工程师, 本科, 研究方向: 新能源光伏电力工程概预算及咨询。