

## 新能源工程建设中光伏电站的可持续发展研究

沈丹<sup>1,2</sup>

1. 中国石油天然气股份有限公司天然气销售江苏公司, 江苏 南京 211100
2. 江苏中油昆仑能源投资有限公司, 江苏 南京 211100

**[摘要]**光伏电站可持续发展是新能源工程建设面临的重要问题。文中基于全生命周期理念,对光伏电站发展现状及其所面临的问题进行梳理总结,在此基础上针对规划设计、绿色施工、数智化运维三个方面提出相关建议并讨论如何通过经济手段以及政策措施促进光伏电站可持续发展。文章指出,光伏电站可持续发展需兼顾技术、经济、环境三方面内容,在规划设计中重视整个生命周期内成本控制,在施工过程中应用环保型施工工艺和技术,在运营期间建立智能化管理系统等。全生命周期成本管理是通过对设计研发、投资建设和运维退运等全过程综合考虑实现。对全过程进行精细化管理,有利于提高光伏电站的投资收益以及持续发展潜力。

**[关键词]**光伏电站;可持续发展;全生命周期

DOI: 10.33142/aem.v8i3.19432 中图分类号: TM615 文献标识码: A

## Research on Sustainable Development of Photovoltaic Power Stations in New Energy Engineering Construction

SHEN Dan<sup>1,2</sup>

1. Natural Gas Sales Jiangsu Company of China National Petroleum Corporation, Nanjing, Jiangsu, 211100, China
2. Jiangsu PetroChina Kunlun Energy Investment Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211100, China

**Abstract:** The sustainable development of photovoltaic power stations is an important issue facing the construction of new energy projects. Based on the concept of the whole life cycle, this article summarizes the current development status and problems faced by photovoltaic power plants. Based on this, relevant suggestions are proposed for planning and design, green construction, and intelligent operation and maintenance, and how to promote the sustainable development of photovoltaic power plants through economic means and policy measures is discussed. The article points out that the sustainable development of photovoltaic power plants needs to take into account three aspects: technology, economy, and environment. Cost control throughout the whole life cycle should be emphasized in planning and design, environmentally friendly construction processes and technologies should be applied during construction, and intelligent management systems should be established during operation. Life cycle cost management is achieved by comprehensively considering the entire process of design and development, investment and construction, and operation and maintenance. Fine management of the entire process is beneficial for improving the investment returns and sustainable development potential of photovoltaic power plants.

**Keywords:** photovoltaic power station; sustainable development; whole life cycle

### 引言

在当前全球能源转型大潮中,光伏发电是可再生能源发展的主要途径之一。但是,在光伏电站建设过程中也存在诸多困难与问题,如建设成本过高、对环境影响较大以及后期运营维护不当等,这都给光伏电站的发展带来不利因素,因此如何使光伏电站健康持续地发展是目前需要解决的问题。而光伏项目造价管理水平直接影响其经济效益

及市场竞争力,在积极推行全过程造价管理的同时进行全方位精细管理,可以有效控制工程项目总成本。基于此,结合新能源工程建设实际情况,对光伏电站可持续发展进行研究。

### 1 光伏电站可持续发展的理论基础

可持续发展是以经济发展和社会进步为基础,在此基础上还要考虑环境保护问题。而对光伏电站来说,则是在

整个寿命周期里达到能源效益、经济效益以及生态效益之间的平衡。其中，能源效益是指发电量和减排量，经济效益是投资回收期以及电价，生态效益是土地利用率和生物多样性保护程度等，这三者之间是相互制约的关系，如提升组件的铺设密度可以增加发电量但是会减少光伏板下方植被覆盖率，在设计之初就需要做好多个方面的权衡。全生命周期理念是从“从生到死”，全方位分析光伏电站各个时期所带来的环境影响以及经济花费。全生命周期成本管理理论把成本分为设计开发成本、投资建设成本、运行损耗成本、运行维护成本、贷款利息成本、回收退役成本以及税收成本七大方面。而这些成本并不是孤立存在的，它们之间是相互影响、相互制约的关系，比如加大设计开发期的投资可以减少以后的运行损耗及维修费用，从而达到整个寿命周期内总体成本最低的目的。该理论给光伏电站的成本控制提供了一种全新的视角<sup>[1]</sup>。

## 2 规划设计与全生命周期管控

### 2.1 资源优化配置与选址原则

光伏电站选址对电站发电量以及投资收益至关重要，在进行资源优化配置时要以光照资源优先、节约用地、接入电网便捷为基本原则，在项目选址过程中需要考虑太阳能辐射强度、地形地貌、土地类型、电网情况等因素，避开生态环境脆弱地带。其中太阳能辐射强度应选取年日照时数大于 2000h 或者年平均辐射量大于 1400kW·h 每平方米地区；地形地貌上，建议选择坡度小于 25 度南向或者东南向山坡，避免北坡或者容易发生地质灾害地方；土地性质上必须是闲置荒地或者一般农业用地，禁止占用基本农田、生态保护红线以及自然保护区等地带。电网接入条件需考虑接入点距离、变电站容量以及线路廊道是否可行，接入距离原则上不超过 5km 以减少投资；同时还要注意当地的气候条件，比如雷电、冰雹、大风出现的概率，尽量选取气候较佳的位置。而项目的设计是决定项目投资额的主要因素，一般占整个项目的 75%~85%，所以选址决定了后面的建设。

### 2.2 光伏阵列与系统优化设计

光伏阵列设计需要合理考虑组件选择、倾角以及排布等。组件选择要在效率与成本之间寻找最经济方案，单晶硅组件虽然效率较高但是价格昂贵，而多晶硅组件具有良好的性价比。当前市场上主流组件转换效率上，单晶硅 PERC 组件可以达到 21%~22%，多晶硅组件在 18%~19% 左右，在选择时要兼顾每平方米发电量、初始投资以及使用寿命。倾角的设计一般情况下固定支架的最佳倾角大约为当地的纬度角，但是如果主要发电时间为春夏季就可以

适当减小倾角，如果主要发电时间为冬季就要适当增大倾角。间距的设计要满足冬至日上午九点到下午三点无阴影遮挡的同时还要充分考虑用地问题，在纬度较高的地方需要更大的间距。倾角的设计也要结合当地纬度来进行优化，以使得一年中获得最多的日照。系统的优化还包括选择合适的逆变器、电缆的选择以及防雷接地等工作。逆变器的选择要考虑容量是否匹配、MPPT 通道数量、转换效率及可靠性等因素，组串式的逆变器适合于山地等复杂地形而集中式的逆变器适合于平坦的地面上大规模的地面电站。电缆的选择要满足电流的要求和电压降的要求，一般情况下直流端电压降不能超过 2%，交流端电压降不能超过 1%。

### 2.3 全生命周期成本控制设计

全生命周期成本控制对光伏电站长久发展至关重要。坚持成本是设计出来的观点，把造价管理关口前移，做好技术经济比较工作，在保证工程质量和安全基础上可以有效降低单位造价。下面将分六个环节阐述全生命周期成本构成。

表 1 光伏电站全生命周期成本构成

| 生命周期阶段 | 成本类别 | 主要构成要素              |
|--------|------|---------------------|
| 规划设计阶段 | 前期费用 | 资源评估费、可行性研究费、设计费    |
| 设备采购阶段 | 设备成本 | 光伏组件、逆变器、支架、线缆、储能设备 |
| 施工建设阶段 | 建安成本 | 土建工程、安装工程、土地平整、并网接入 |
| 运行维护阶段 | 运维成本 | 清洗费、检修费、备件更换费、人工费   |
| 财务管理阶段 | 财务成本 | 贷款利息、税费、保险费用        |
| 退役回收阶段 | 处置成本 | 组件拆除、运输、回收处理、土地恢复   |

全生命周期成本管理就是要突破传统的分段管理模式，把规划设计、设备购置、工程建设、运行维护、退役处置等各个时期的费用综合起来考虑并加以优化。有学者认为，尽管规划设计所占比重很小，但是它以后各个环节的影响却是巨大的，达到 70% 以上。所以在规划设计上多花一些力量来进行比较分析及技术上的探讨，就会收到事半功倍的效果。比如合理确定组件倾角以及阵列间距离，可以在不增加初始投资情况下使发电量提高 5%~10%，从而大幅度地降低每度电的成本。此外，在全生命周期成本管理中还需要考虑各个时期之间的关系，在适当提高初期投资购买性能较好的光伏板或者质量较好的支架上，可能会降低后期运行费用并且提高发电量。

### 2.4 土地利用与生态协同设计

土地利用效率是光伏电站规划设计的一个重要考虑因素，在一定面积的土地上可以安装更多的光伏组件以获得更高的装机规模，而柔性支架相比于传统的固定支架可以用于更复杂的地形，节省土地平整的工作量，桩基础的

数量也可以减少 30%~50%，从而也减少了对于地表土壤的影响，在阵列排布上适当的增加组件之间的距离并且采用垂直单面排列的方式可以在保证发电量的情况下让下方的植物得到足够的阳光。生态协同设计就是光伏电站建设要与当地的自然环境相协调，设置生态通道，避免对地面植被以及动物栖息地造成影响。具体措施有：在电站周围种植防护林带，在电站内保留原有的河流及植被斑块，使用较高的支架以保证板下有足够空地供牧民放牧等，同时考虑当地的动物迁徙习性，设置宽度不低于 50m 的生态走廊。

### 3 绿色施工与生态协同模式

#### 3.1 绿色施工理念与实施路径

绿色施工是在工程项目建设期间，在满足质量、安全要求下，尽可能节省资源、减少对环境负面影响施工方式。其途径是：建立绿色施工管理体系、编制专项施工方案、进行全过程环境监控。采取这种全方位精细化管理方式可以有效降低项目总成本超出预算金额。如大力推广工程量清单精细化、现场管理精细化、签证变更规范化等做法。

#### 3.2 施工过程节能减排技术

施工期间的节能减排措施涉及多个领域，在用电上可以使用太阳能灯、节能施工机械；在防尘上应配备喷淋降尘设施、覆盖防尘网等；在排水上需设有沉砂池进行再利用，从物资费用节约来看，根据施工图纸准确计量所需数量，严格把关采购质量，通过对市场情况进行分析判断，把握最佳进货时机使所购买部件平均价格低于同期市场价格，另外施工剩余物料要合理组织安排充分利用。

### 4 数智化运维与效能提升

#### 4.1 智能运维体系构建

智能运维是提高光伏电站运营效率重要途径，智能运维包含四个层面：数据采集层、网络传输层、平台分析层、应用决策层，在此之上部署各种传感器、无人机、机器人等智能化装备，能够全方位监测电站运行情况；建立全口径合同台账，每月进行预算执行情况统计，使成本始终保持在可控范围内；智能运维平台可以自动生成维护任务单、预警故障、提出清洁建议等。

#### 4.2 发电效率优化与损耗控制

光伏电站发电效率受到诸多因素的影响，如组件衰减、灰尘遮挡、温升以及线路损失等。提高发电量的方法有定期对组件进行清洁、清除遮挡植物、更换老化的逆变器、合理搭配组串等，在损失控制上要注重直流侧线路损失、逆变器转换损耗以及变压器损耗等。组件衰减是造成长期发电量下降的主要原因，晶体硅组件第一年衰减一般在

2%~3%，之后每年衰减约 0.5%~0.7%，为了减小衰减，需要选用经过 PID 测试合格的产品并且尽量减少其处于高温高湿环境下的时间。灰尘遮挡引起的发电损失不同地域差别较大，在一些干旱地区可达到 15%以上，可以采取安装自动清洗设备或者适当提高清洗频次来降低其影响<sup>[2]</sup>；温度的影响，光伏组件功率温度系数一般在-0.3%到-0.4%/°C之间，夏季太阳辐射强烈导致温度较高，从而造成发电量减少，可以通过使用较高支架使光伏阵列有良好通风散热以改善该情况。直流侧的损耗主要是由于电缆过长或者截面太小造成的，可以通过合理布置逆变器等措施减小直流侧的电缆长度并选择符合负载电流要求的光伏专用电缆。逆变器转换损耗尤其在低负载率时间较大，宜选择具有多路 MPPT 技术高效率逆变器以及适当考虑组串与逆变器大小关系，保证逆变器大部分时间处于高效工作状态。另外，组件之间存在一定的失配损失，在有阴影或者性能较差组件接入同一组串后会对整个组串产生不利影响，可通过合理的组串布置及设置旁路二极管来避免。光伏组件的成本构成中，光伏板所占比例最大为 28.8%，当增加储能系统之后，电池成本可占到总成本的 74.6%。所以在无储能的情况下，要重视对光伏板的选择，在有储能的情况下，则需要考虑储能规模与收益之间的平衡。

#### 4.3 故障诊断与预测性维护技术

故障诊断技术有基于阈值报警法、基于专家系统故障推理、基于机器学习智能诊断方法等<sup>[3]</sup>。预测性维护通过对设备工作状态进行监测，在发生故障之前发现隐患并及时进行检修以防止意外停电造成发电量下降。常见的故障如热斑效应、PID 衰减、逆变器故障、绝缘损坏等，需要制定相应诊断方案以及维修方案。

### 5 经济机制与政策保障

经济机制是光伏电站可持续发展的有力保障。高昂的度电成本仍然是影响光伏电站开发的主要问题，利用全寿命周期法比较不同类型并网方式下的度电成本，研究并网电压等级以及电量消纳方式对经济效益产生的影响，有助于提高项目的收益。目前光伏电站的度电成本已经下降到 0.2~0.4 元/kW·h，在一些地区已经可以达到燃煤发电的上网电价，但是由于各地的太阳辐射强度、贷款利息、管理水平等差别很大，因此不同的光伏电站之间存在较大的差距。而降低度电成本的方法主要有提高组件效率、增加设备使用寿命、降低贷款利息以及加强运行维护工作等。从投融资角度看，光伏项目可以利用自筹资金、银行借款、绿色债券、融资租赁等多种方式进行融资。融资成本对于

项目收益的影响较大,贷款利率降低1%,项目内部收益率可提高约1.5%~2%左右。因此,获取绿色金融政策支持、发行绿色债券或者申请低息贷款有利于提高项目的经济性。此外,政府给予光伏项目一定的扶持措施,如电价补贴、税收减免、绿色信贷等;碳交易以及绿色证书也为光伏电站带来了一定的收入。目前全国碳市场碳价在每吨50~80元左右,如果一个光伏电站一年减排量为1万t,那么碳交易带来的收入就可以达到50~80万元,是项目收益的一个重要组成部分,在考虑环保效益的情况下,分布式光伏发电项目净现值可以增加约40%,投资回收期缩短半年,内部收益率提高约14%,说明把环保效益折算成金钱对提高光伏发电项目经济效益有很大帮助。但是现在存在的问题主要有补贴下降、接入电网难、废料处理不到位等问题,需要依靠科技进步以及相关制度完善来解决这些问题。

## 6 结语

光伏电站的可持续发展是一个系统工程,需要从规划、设计、施工到运维等各方面考虑技术和管理问题。而本文基于全生命周期理念,提出在规划期加强造价管控,在施工期实行绿色施工,在运维期打造智慧运维的思路与方法。

研究显示,把造价控制工作提前到设计阶段,把控75%以上造价因素,就能充分发挥经济效益;另外,生态协同设计理念以及智能化运维手段的应用也能提高光伏电站的环保性能及工作效率。随着光伏技术不断进步和完善以及电池储能成本逐渐降低,光伏电站的发展前景十分光明。提出加强光伏组件回收利用体系建设,健全碳交易市场机制,使光伏电站由单一发电站发展成为提供能源生态系统服务综合体。

## 【参考文献】

- [1]张嘉琪,王鹏,张强,等.基于全生命周期的风光发电行业可持续发展问题及政策建议[J].环境保护,2025,53(16):50-54.
- [2]张金,王洋,芮遨宇.全生命周期视角下光伏发电系统能效影响因素研究[J].绿色科技,2024,26(22):205-211.
- [3]李志硕,谷传杰,穆俊同.可再生能源技术的生命周期分析[J].现代工业经济和信息化,2023,13(12):194-196.

作者简介:沈丹(1983.11—),男,毕业于中国石油大学(华东)机电工程专业,当前就职于:中国石油天然气股份有限公司天然气销售江苏公司江苏中油昆仑能源投资有限公司,职务为总经理助理,中级工程师。