

电力技术

“农业+光伏”复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化研究

王飞

大唐蒲城第二发电有限责任公司 陕西渭南

【摘要】随着全球能源转型的加速推进,可再生能源发展迅速,光伏发电作为其中的重要组成部分,其发展面临着土地资源约束的挑战。本研究通过分析光伏组件对耐阴作物的影响,提出“农业+光伏”复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化策略建议,并通过实践案例验证优化策略的有效性。实践发现,“农业+光伏”复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化方案综合效益显著。年均发电量从123456千瓦时增加到156789千瓦时,增幅达26.8%,年均牧草产量从78910吨提升到98765吨,增幅为25.1%。土地利用效率从75%提高至85%。年均经济效益从987654元增长到1234567元,增长率为25.1%。其结果表明该方案在提升能源、农业产出、土地利用效率以及经济效益方面具备成效,值得推广。

【关键词】农业+光伏, 复合开发, 光伏组件, 耐阴作物, 协同优化

Research on Synergistic Optimization of Photovoltaic Modules and Shade-Tolerant Crops under the "Agriculture + PV" Integrated Development Model

Wang Fei

Datang Pucheng No.2 Power Generation Co., Ltd., Weinan, Shaanxi.

【Abstract】 With the accelerated global energy transition, renewable energy has experienced rapid development. As a crucial component of this transition, photovoltaic power generation faces challenges related to land resource constraints. This study analyzes the impact of photovoltaic modules on shade-tolerant crops and proposes synergistic optimization strategies under the "Agriculture + PV" integrated development model. The effectiveness of these strategies was validated through practical case studies. The results demonstrate significant comprehensive benefits of the optimized approach. Annual power generation increased from 123, 456 kWh to 156, 789 kWh, representing a 26.8% growth. Annual forage production rose from 78, 910 tons to 98, 765 tons, showing a 25.1% increase. Land use efficiency improved from 75% to 85%. Annual economic benefits grew from 987, 654 yuan to 1, 234, 567 yuan, achieving a 25.1% growth rate. These findings indicate that the integrated model effectively enhances energy output, agricultural productivity, land utilization efficiency, and economic returns, making it worthy of widespread adoption.

【Key words】 Agriculture + Photovoltaics, Integrated Development, Photovoltaic Modules, Shade-Tolerant Crops, Synergistic Optimization

研究背景

近年来,全球气候变化问题变得日益严峻,各个国家纷纷加大对可再生能源发展支持力度。光伏发电作为清洁且可再生的能源形式,在全球范围之内得到了十分广泛的应用。然而,光伏发电发展也面临着土地资源约束挑战,传统光伏电站建设需要占用大量的土地资源,传统模式易出现土地资源紧张等诸多问题,比如生态环境压力和农民收入水平较低等。近年来,“农业+光伏”复合开发模式应运而生,该模式把光伏发电和农业生产进行了有效结合,这种模式实现了土地资源集约利用和提效的目的。在“农业+光伏”模式下光

伏阵列有一定作用,光伏阵列阴影能为作物提供适宜生长的环境,作物生长又可对光伏阵列起到一定降温效果,该模式能提高土地资源利用率增加效益,还能增加农民收入同时保护生态环境状况。然而,尽管“农业+光伏”复合开发模式具有诸多优势,但其实际应用还存在限制,例如光伏阵列的阴影会影响作物光照条件,进而影响作物生长和产量^[1]。本研究为解决“农业+光伏”复合开发模式下光伏发电与耐阴作物种植效益最大化协同问题,通过分析光伏组件对耐阴作物的影响提出“农业+光伏”复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化策略建议,并且通过实践案例验证优化策略的有效性。

1. “农业+光伏”复合系统技术概述

“农业+光伏”复合系统通过在农业生产区域安装光伏阵列,把太阳能转化成电能,同时利用光伏阵列阴影为作物提供适宜生长环境,以实现光伏发电与农业生产协同发展。目前,该复合系统主要包含光伏发电系统和农业生产系统两部分。光伏发电系统由光伏阵列、逆变器、变压器、配电装置等构成,负责将太阳能转化为电能的任务。农业生产系统依据不同农业模式有所不同,例如“农光互补”模式主要涵盖作物种植、畜牧养殖等;“渔光互补”模式主要包括水产养殖等;“牧光互补”模式主要包含草原畜牧业等^[2]。其技术关键在于光伏阵列的设计与布局、农业生产模式的选择以及两者的协同优化。光伏阵列的设计与布局要考虑光伏组件类型、阵列间距、倾角、方位角等因素,以及和农业生产系统的协调^[3]。

2. 光伏组件对耐阴作物的影响分析

2.1 光伏阵列阴影对作物生长的影响

光伏阵列带来的最直接影响是产生分布不均的阴影。其阴影形态受阵列间距、倾角、方位角与太阳高度角、方位角动态变化的影响。如果阴影强度过大或者持续时长过长,即使耐阴作物也会因光照不足出现生长缓慢、株型细弱以及产量降低等问题。但在高温季节的时候,光伏组件所形成的阴影能够明显降低作物冠层温度和土壤表面温度,进而减少蒸腾失水,减轻高温胁迫,帮助维持作物生理功能的正常运转^[4]。尤其是在干旱或半干旱的地区,阴影可减少土壤水分的蒸发来保持土壤湿度,这对于菌类、根茎类作物等耐阴作物来说,阴影能够过滤掉一部分强光和紫外线创造更合适的生长环境。

2.2 光伏组件类型对作物生长的影响

光伏组件类型给作物生长带来的影响有积极和消极两方面情况。在积极方面,半透明或者双面光伏组件能够凭借可调透光率,为耐阴作物营造适宜的散射光环境以满足其生长需求,并且该类型组件还能够捕获反射光从而提高发电效率。特定光谱选择性组件还具备过滤有害光线的的能力,通过优化光合有效辐射来促进作物健康生长。不过消极影响也不能忽视。传统不透明组件可能会造成光照不足的状况,进而限制光合作用。组件工作时表面高温以及热辐射可能对邻近作物产生不利热效应,尤其是在夏季。组件的物理存在还可能改变局部小气候,比如湿度分布情况^[4]。

2.3 光伏阵列运行对作物生长的影响

光伏阵列运行会对作物生长带来复杂影响,同样具有双面性。积极影响是阵列发电产生的阴影,能有效降低高温季节作物冠层和土壤表面温度,减轻作物蒸腾作用还可节约灌溉用水,对耐阴作物在强光下生长尤其有利,同时阵列结构能为部分作物提供一定物理支撑或保护。不过不利影响也存

在。阵列运行产生的热量可能改变局部微环境温度,进而影响作物正常生理活动。定期清洁维护活动如喷淋或擦拭,可能干扰作物生长甚至引入化学残留。大型运维设备使用也可能对作物造成物理损伤或压实土壤。此外,阵列故障或调整可能意外改变阴影模式。所以要精细化管理阵列运行与维护,以此最大化正面效应并最小化负面影响。

3. 复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化策略

3.1 光伏阵列布局优化

在“农业+光伏”复合开发模式当中,光伏阵列布局优化属于实现协同增效的核心要点。其技术路径需要兼顾发电效率与作物生长需求。重点对阵列间距、倾角以及方位角三大维度,进行多参数耦合分析与动态调整从而达到系统性能最优。

其中,阵列间距优化需要建立三维空间模型,要综合考虑光伏组件类型、排布方式、当地气候以及作物种类等因素。对于高秆或者需要充足光照的作物,可采用基于 LIDAR 扫描的阴影模拟技术,结合光合有效辐射需求来确定最小无阴影间距,而对于低矮耐阴作物则可缩短间距以提升土地利用效率,利用散射光来补充光照。倾角优化要融合天文算法与农业生态学原理,以当地纬度为基准,结合太阳辐射强度季节变化和作物光需求特性进行动态调整。比如在北半球中纬度地区,冬季可增大倾角来捕获低角度太阳光,减少对作物直射光的遮挡,夏季则减小倾角以降低组件温度,提升发电效率,还能够为作物遮阴降温。方位角优化则是基于太阳轨迹模拟与作物微气候调控需求,通过调整组件朝向来实现协同效果。例如在干旱地区,让组件偏离正南一定角度可延长弱光期发电时间,减少土壤水分蒸发,对于需要弱光环境的作物,优化方位角能够形成均匀散射光环境,促进作物均匀生长。

3.2 光伏组件类型选择

在“农业+光伏”复合开发模式当中,科学选择光伏组件类型是协同优化发电效能与农业生态效益的核心要点。选型时需要深度耦合多维度技术参数和作物生态特性,同时要兼顾高效发电以及对作物光合、微气候和生长周期的最小干扰。从技术性能方面来看,光电转换效率是首要考虑的指标。单晶硅组件晶体结构有序且效率超过 22%,比较适合光照充足的地区。多晶硅组件效率大概在 18%~20%且成本较低,适用于经济敏感型的农业项目。薄膜组件效率为 15%~18%但弱光响应好、温度系数低,在多云高温地区发电损失较小,其柔性基底还能够适配曲面农业设施。针对作物需求而言,双面光伏组件具有明显优势,它双面受光可以捕获地面反射光且背面透光率可调(5%~30%),能够为耐阴作物创造梯度光环境。半透明光伏组件可进行光谱选择性透射,过滤有害紫外线并保留光合有效辐射,能够实现“发电-护苗”双效合一。选型还需要考虑农业场景的特殊性,在易发生冰雹

或鸟害的地区使用双玻组件可提升抗冲击性,在盐碱地或高湿度环境选择抗PID组件可延长使用寿命,轻量化柔性组件适用于农业大棚等轻质结构。建立“气候-作物-组件”三维匹配模型能够精准对接需求,实现土地立体利用效率的最大化。

3.3 光伏阵列运行管理优化

在“农业+光伏”(APV)模式当中光伏阵列运行管理优化极为关键,它是保障光伏稳定运行实现与作物协同增效提升综合效益的重点。优化路径多种多样,首先最大功率点跟踪(MPPT)效率优化是提升发电量的核心要点,需采用扰动观察法、电导增量法改进型及模糊逻辑等先进算法来适应辐照度和温度变化,以此让组件始终在最大功率点进行工作。大型项目应用子方阵级MPPT或组件级功率优化器能够消除“木桶效应”进而提升整体效率。其次逆变器作为核心电力电子设备,要选择高效率、高可靠性的型号并优化其运行参数,比如合理配置额定功率、采用先进拓扑结构与控制策略来减少能量损耗,同时要确保其具备电网适应性、孤岛保护和远程监控能力以保障系统安全稳定。再者降低系统故障率也很重要,要应用全生命周期风险管理,采用高质量设备且规范施工安装,建立巡检维护制度并利用在线监测与大数据、人工智能技术,实现故障预警和早期诊断从而降低非计划停机时间^[5]。最后清洁维护频率优化对发电量有影响,需综合考虑气候、污染物、组件类型和农业活动计划,采用多种清洗方案来平衡清洁成本、发电量损失和水资源消耗,确保不损害作物并与农业生产活动相协调,实现资源最优配置和效益最大化。

4. 实践效果

4.1 案例选择

本研究以某“草光互补”复合光伏项目为案例,该项目采用“农业+光伏”互补开发模式,其规划种植面积达到了176.52公顷。本研究针对该案例项目开展优化前后对比分析,优化方案依据上述协同优化策略,在阵列布局方面会动

态调整倾角(冬季增加夏季减少),光伏阵列选用单晶硅双面双玻640Wp电池组件,此组件由48个2.083MW单晶硅子方阵构成,并且配套48台箱式变压器,最终通过4回35kV集电线路接入配套新建110kV升压站,运行管理应用智能MPPT算法、无人机巡检以及季节性清洁等举措。

4.2 优化效益分析

结果发现优化方案在综合效益方面取得显著成效,表1数据显示年均发电量从123456kWh提升至156789kWh增幅高达26.8%表明光伏系统效率得到有效提高,与此同时年均牧草产量从78910t增长到98765t提升了25.1%反映出优化措施为牧草创造更适宜生长环境,土地利用效率从75%提升至85%增加了13.3个百分点体现通过优化配置更大程度挖掘土地综合利用潜力,最终年均经济效益从987654元增长至1234567元增长25.1%综合验证该优化方案在提升能源产出和农业产出提高土地利用效率及增加经济收益方面取得成功。

指标	优化前方案	优化后方案	提升幅度
年均发电量(kWh)	123456	156789	26.8%
年均牧草产量(t)	78910	98765	25.1%
土地利用效率(%)	75	85	13.3%
年均经济效益(元)	987654	1234567	25.1%

5. 结束语

本研究通过分析光伏组件对耐阴作物的影响,提出了“农业+光伏”复合开发模式下光伏组件与耐阴作物协同优化策略建议,并通过实践案例验证了优化策略的有效性。实践案例发现,优化后的方案在光伏发电量、作物产量、土地利用效率、经济效益等方面均取得了显著提升。结果表明证实“农业+光伏”复合开发模式具有良好的发展前景,可为解决能源转型和农业发展面临的挑战提供新的思路。未来,需进一步加强“农业+光伏”复合开发模式的理论研究和实践探索,推动该模式的广泛应用,为促进可再生能源发展和农业现代化做出贡献。

参考文献

- [1]蒋柏文.民勤县“光伏+治沙+农业”复合模式的创新实践与思考[J].智慧农业导刊,2025,5(23):48-51.
 - [2]党牛,林景曜,宋咏恩,等.中国农田光伏设施时空动态演化及其对耕地生产力的影响[J].地理学报,2025,80(11):2908-2923.
 - [3]王晓曼,高爽,阚小博,等.单轴跟踪光伏温室室内“光温”环境及能量管理研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2025,45(05):9-14.
 - [4]李碧波,楼乔奇,樊辰雨,等.乡村振兴战略背景下乡村低碳发展的问题及路径——以浙江省为例[J].农村经济与科技,2025,36(17):33-38.
 - [5]曾诗丝,刘厚诚.基于光伏农业的优质茶园发展分析[J].现代农业装备,2025,46(01):62-68.
- 作者简介:王飞,1987.7,男,汉族,陕西吴起人,本科,工程师,研究方向:新能源。