太阳能利用系统的性能及优化策略

曾天昱，李庆华 *
西藏大学，西藏 拉萨 850000
DOI: 10.61369/TACS.2026080027

摘　　要： 在双碳战略全面推进背景下，太阳能利用系统凭借清洁、可再生、分布广泛的核心优势，成为我国能源结构转型的核心装备。太阳能利用系统的运行性能直接决定光电、光热转化效率，影响系统运维成本、能源产出效益与推广应用价值。基于此，本文以太阳能光伏发电、光热利用一体化系统为研究对象，阐述太阳能利用系统性能的影响因素，阐述太阳能利用系统的性能特征，提出针对性优化策略，旨在为太阳能利用系统的工程应用、运维管理与技术升级提供理论支撑与实践参考，助力清洁能源规模化、高效化发展。

关 键 词： 太阳能利用系统；运行性能；影响因素；优化策略

Performance and Optimization Strategy of Solar Energy Utilization System

Zeng Tianyu, Li Qinghua*
Xizang University, Lhasa, Xizang 850000

Abstract: Against the background of the comprehensive advancement of the dual-carbon strategy, solar energy utilization systems have become core equipment for China's energy structure transformation by virtue of their inherent advantages of cleanliness, renewability and wide distribution. The operational performance of solar energy utilization systems directly determines the conversion efficiency of photovoltaic and photothermal energy, and further affects system operation and maintenance costs, energy output benefits and popularization and application value. Taking the integrated system of solar photovoltaic power generation and photothermal utilization as the research object, this paper expounds the influencing factors and performance characteristics of solar energy utilization systems, and puts forward targeted optimization strategies. The research aims to provide theoretical support and practical references for the engineering application, operation and maintenance management, and technological upgrading of solar energy utilization systems, and facilitate the large-scale and efficient development of clean energy.

Keywords: solar energy utilization system; operational performance; influencing factors; optimization strategy

引言

化石能源短缺与生态环境恶化问题日益突出，发展可再生能源成为我国能源转型的核心方向。太阳能凭借清洁、可再生、储量丰富的优势，成为应用最广泛的清洁能源之一。太阳能利用系统通过光电、光热转换原理，将太阳能转化为电能、热能，广泛应用于大型电站、建筑供能、工业生产、民用生活等场景。我国太阳能资源储备充足，具备大规模开发利用的天然优势，近年来太阳能装机容量持续增长，相关设备制造技术日趋成熟[1]。因此，系统分析太阳能利用系统的性能特征与影响因素，具有重要现实意义。

一、太阳能利用系统性能的影响因素

（一）环境气象因素

环境气象条件是影响太阳能利用系统性能的核心外部因素，太阳辐射、环境温度、天气变化直接决定系统能量输入水平。太阳辐射强度是系统能量供给的关键，晴朗无云天气下，太阳辐射通量稳定充足，系统光能捕获效率达到最优；阴雨、雾霾、多云天气会削弱太阳辐射穿透性，大幅降低设备有效受光能量，直接导致系统发电、供热效率下降。环境温度对不同类型太阳能系统存在差异化影响。光伏发电系统对高温极为敏感，当环境温度超出标准测试温度25℃时，光伏电池工作效率持续衰减，功率损耗显著增加。对于光热系统，适宜高温可减少热量散失、提升集热效果，但极端高温会造成管路压力超标、设备加速老化，威胁系统运行安全。

项目信息：西藏大学国家级（自治区级、校级）大学生创新创业训练计划项目项目编号 S202610694009。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（二）设备本体与安装因素

设备本体质量与安装工艺是决定系统基础性能的内在关键，直接划定系统效率上限。太阳能利用系统核心设备包括太阳电池板、集热器、变换装置及储能装置等，不同材质、工艺以及型号的产品质量会有较大差别。高效能的太阳能电池相较于传统落后产品的发电效率更高，良好的吸热效果以及保温性使得集热器的质量更好。所以，选对设备是保证系统正常运行的重要前提。但时间久了，设备也会出现老化情况，例如太阳能电池板长期受到日光照射和高温影响会致使电池板封装破损透光率下降；电器设备会出现零部件老化或者控制精度下降造成失灵，导致系统损耗增加；在安装过程中出现失误，也对整个系统的性能产生较大影响，如若安装方向、角度以及光伏电池间距不符合当地的经纬度和日照情况，会使得有效接收太阳光照的时间变短，造成光能的浪费。除此之外，支架不稳固、管道开裂、电缆接触不良等安装失误都将会降低系统工作稳定性及综合性。

（三）运行管控与系统集成因素

科学的运行管控与合理的系统集成是系统高效稳定运行的重要保障。目前多数中小型太阳能系统运维模式粗放，工作人员缺乏定期清洁、检测、故障排查机制，积尘遮挡、线路老化、管路堵塞等小问题持续累积，导致系统长期低效运行。太阳能系统出力具备随机性与波动性，若系统缺乏智能调控装置，易出现弃光、电压波动、功率过载等问题，造成能源严重损耗。储能系统容量匹配不当、充放电策略滞后，会导致系统无法平抑能量波动，难以实现持续供能。此外，系统集成匹配度不足是核心制约因素，设备参数不匹配、系统拓扑设计不合理，会造成能量传输损耗增大、设备协同紊乱，频繁触发保护机制，严重影响系统整体运行效果。

二、太阳能利用系统的性能

（一）能源转化性能

能源转化性能是太阳能利用系统的核心基础性能，主要通过光电转化效率、光热集热效率体现，直接反映系统的资源利用能力与产能水平。太阳能系统的核心功能是完成能量形式转化，光伏发电实现光能向电能转换，光热系统实现光能向热能转换，转化效率直接决定系统的经济与应用价值。光伏发电系统实际运行效率受环境干扰明显，标准工况下组件效率较高，但户外高温、遮挡、积尘等问题会造成效率衰减，民用光伏系统实际转化效率普遍维持在12%－18%，且出力随光照变化波动明显，稳定性较差。光热系统运行稳定性相对更优，常规平板集热器日均集热效率为40%－55%，真空管式集热效率可达50%－65%，搭配储热装置可有效平抑短时光照波动，提升整体能源利用率[2]。

（二）运行稳定性能

运行稳定性能用于衡量系统长期、安全、持续运行的能力，涵盖出力稳定性、设备可靠性、使用寿命等核心维度，是系统规模化推广的基础。无储能配套的纯太阳能系统主要依赖于白天夜晚光照条件的变化，所以会出现功率不稳定的情况，无法保证连续供电；加上智能控制系统以及储能装置的一体化太阳能系统可以通过存储和调节实现稳定发电，这样就极大提升了供能连续性。系统质量和防护对于维持的运行非常重要，质量好的产品能够保障至少在25~30年，功能衰减率、失效率低。另外，具有防雷击、防水、防锈蚀及超负荷保护功能的系统能够在恶劣环境下抵御外界的影响，防止发生意外事故的发生保证系统的长期稳定运行[3]。

（三）场景适配性能

场景适配性能体现系统的灵活性与通用性，是衡量太阳能系统产业化应用价值的重要指标。当前太阳能利用系统已覆盖大型电站、工业生产、建筑民生、农业养殖等多元场景，不同场景的空间条件、用能规律、地域环境差异较大，对系统适配性提出较高要求。大型集中式太阳能电站适配荒漠、空旷场地，可实现规模化能源生产，适配区域电网供能需求。分布式太阳能系统结构轻便、安装灵活，可适配民居屋顶、厂房顶面等狭小空间，满足用户自发自用的个性化需求[4]。

三、太阳能利用系统的优化策略

（一）优化设备选型与安装工艺，夯实系统基础性能

设备与安装是系统性能的源头保障，优化设备选型、规范施工工艺可从根源提升系统运行效能。在对设备进行选择时，工作人员需要根据项目所能够接受阳光量、天气变化、能源要求来选择最为优良的设备。就太阳能发电设备而言，最佳的选择就是高转换效率 N 型高效组件、低损耗逆变器以及精确度高的控制器，以此来降低自身能量方面的浪费；而对于光热发电来说，应该使用吸热性强衰减小的集热器以及良好的保温管路和储热装置，以最大限度减少热量损失[5]。此外，结合地理环境不同而区别对待，西北风沙区选择自清洗、抗风沙装置，南方多雨地区使用高防水、防腐蚀、防雷装置，在高海拔地区选择强光适配专用部件，提高设备适应环境的能力，延缓设备老化进程。在安装过程中，应严格按照项目所处的纬度及太阳照射角度确定最佳的安装位置以及方向，并最大限度扩大采光面积；严格按规范进行支架安装、线缆铺设、管路布设工作，保证支架牢固、线缆美观、管路严密。避免出现遮挡、漏气以及短路等情况；同时还要注意控制好光伏板的距离，避免发生影响的情况，进而优化整体系统设计以提升其吸热转化效率[6]。

（二）搭建智能运维体系，提升系统运行稳定性

针对系统运维粗放、故障频发、稳定性不足的问题，需构建智能化、常态化、精细化运维体系，实现系统全周期高效管控。首先，给系统配置物联网监控装置及远程监控系统，可以获得实时的发电功率、设备温度、运行状态、故障信号等相关数据，可以做到全时段动态监测，能随时掌握系统的情况[7]。其次，要建立规范化的周期性维护机制，及时对太阳能板以及收集器进行除尘、去雪、清除污物处理工作，保障没有遮挡阳光的部位；对电线、存储设备、交换管路等相关设施运行情况实施定期检测，及时更换老化破损部件。将堵塞的管道进行清理，消除潜在安全隐

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

患；结合季节变化特点开展针对性的运行管理作业工作，例如夏季应重点关注散热、防雷、防过载等情况，冬季应对抗冻保温等方面加强重视，从而降低外界客观因素给系统整体性能带来的不利影响。最后，使用智能和自适应技术优化系统中的能源生产，基于实际光照水平、温度和电力负荷的信息来提供更好的系统运行模式；减少能源生产的波动，并减少浪费的能量。另外还优化了存储并释放能量的方法。能根据光线变化的情况做出相应的反应，使系统处在稳定的状态下进行供电，提高整个系统的效率[8]。

（三）优化系统集成与场景适配，拓展系统应用效能

为破解系统集成匹配度低、场景适配性有限的难题，需通过参数优化、结构升级、定制化设计，全面提升系统综合性能。第一，对系统进行集成和优化。按照设计功耗和消耗需求设置各部分器件参数，保证各部件（包括光伏组件、逆变器、储能元件以及负载等）之间相互匹配，不会发生功率不匹配或严重损耗现象；减少传输环节，优化系统结构，减少能源转换中间损耗，提升整体利用率。第二，大力推广光伏光热一体化模式，打破单一能源供给界限，实现发电 + 取暖双功能，提升单位面积太阳能利用率；完善储热 – 并网 – 智能供能一体化设计，支持离网、联网双向切换运行，增强系统灵活运行能力[9]。第三，个性化优化，根据实际应用环境进行针对性的提升。对于大型变电站而言，主要是对其排布形式以及电网调控方式进行优化；对于中小型居民用电站而言，采用模块化便于分割的小型装置，并且能够适配到家庭生活场景中。而对于工厂之类的工业企业来说按照其生产的能耗特性，有针对性地进行调节系统，以满足不间断的生产过程所需的能量供应。采用这种定制化的配置方式可以最大限度发挥这类设备的优势并拓展其应用领域，进而提高其综合效益水平[10]。

四、结语

综上所述，太阳能利用系统的高效、稳定运行是太阳能资源规模化、产业化利用的核心保障，对推动清洁能源替代、优化能源结构、实现双碳目标具有重要的现实意义。通过优化设备选型与安装工艺，可从根源上夯实系统基础运行性能；通过搭建智能运维与调控体系，可持续提升系统运行稳定性与能源利用效率；通过优化系统集成与定制化场景适配，可全面拓展系统的应用范围与综合效能。在后续工作中，相关部门要结合大数据、人工智能技术等，进一步优化系统动态调控算法，推动太阳能清洁能源在能源体系中占据更重要的地位。

参考文献

[1] 韩中合，刘辰浩，吴乐意，等 . 利用旋流效应强化太阳能 PV/T 系统性能研究 [J]. 动力工程学报 .2025.240392.

[2] 汪尚华 . 西北乡村 PV/T 组件耦合双源热泵供暖系统性能的研究 [D]. 兰州理工大学 ,2025.DOI:10.27206/d.cnki.ggsgu.2025.000239.

[3] 秦龙 . 太阳能辅助富氧高背压供热机组及余热利用系统性能研究 [D]. 内蒙古科技大学 ,2025.DOI:10.27724/d.cnki.gnmgk.2025.000790.

[4] 田雨阳 . 基于太阳能全光谱利用的光热系统性能研究 [D]. 华北电力大学 ,2025.DOI:10.27139/d.cnki.ghbdu.2025.002798.

[5] 吴浩金 . 太阳能全光谱梯级光至电 / 化学能互补转化理论与实验研究 [D]. 浙江大学 ,2025.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2025.000347.

[6] 李洪强，缪思凯，刘丽芳，等 . 一种新型多功能一体化太阳能利用系统研究 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版),2024,51(11):74-84.DOI:10.16339/j.cnki.hdxbzkb.2024109.

[7] 温馨 . 聚光型太阳能光伏光热与温差发电一体化系统性能研究 [D]. 中国科学技术大学 ,2024.DOI:10.27517/d.cnki.gzkju.2024.000560.

[8] 姚文岐，王江江，邓宇，等 . 基于太阳能全光谱利用的固体氧化物电解池系统性能分析 [J]. 工程热物理学报 ,2024,45(5):1264-1274.

[9] 梁华旭 . 太阳能光伏—光热系统的光谱梯级调控机制与性能研究 [D]. 哈尔滨工业大学 ,2023.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2023.000333.

[10] 周云龙，李婷，杨美 . 集成 ORC 与太阳能的燃煤机组碳捕集热力系统性能分析 [J]. 中国电机工程学报 ,2023,43(20):7982-7994.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.221460.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.