

渔光互补集中式光伏运维管理与效率提升研究

张政 刘增 李猛

安徽龙源新能源有限公司 安徽 合肥 230031

【摘要】：在“双碳”目标驱动下，渔光互补模式作为一种高效的土地复合利用方式，在我国江淮地区得到了快速推广。然而，相较于传统陆上光伏电站，渔光互补系统面临着高湿腐蚀、水上运维受限、水体环境复杂等独特挑战，严重制约了运维效率与发电性能的提升。为此，本研究以国家能源集团安徽龙源新能源有限公司安徽天长 419.2MW 渔光互补光伏项目为实证对象，从生产运维部门视角出发，系统剖析了鱼塘水体环境下光伏系统的环境适应性特征与运维痛点。研究通过构建集约化管理与智能化运维相结合的新型管理体系，提出了涵盖精准施工、防腐防污、组件优化及智能巡检的全链条效率提升策略。实证结果表明，该体系的实施有效降低了系统故障发生率，缩短了故障响应时间，使得项目等效利用小时数提升至 1336 小时，年发电量突破 5.6 亿千瓦时，同时实现了“板上发电、板下养殖”的协同增效。本研究为大规模渔光互补项目的运维管理提质增效提供了理论依据与实践范本。

【关键词】：渔光互补；集中式光伏；运维管理；发电效率；智能化运维

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.034

1 引言

随着全球能源转型进程的加速，光伏发电作为最具规模化发展潜力的可再生能源技术，已成为我国实现“双碳”目标的核心抓手。然而，传统陆上光伏电站对土地资源的占用问题日益凸显，尤其是在东部人口密集、耕地资源紧张的地区，土地制约已成为限制光伏产业进一步发展的关键瓶颈^[1]。在此背景下，渔光互补模式应运而生。该模式通过合理利用鱼塘水面建设光伏电站，实现“板上发电、板下养殖”的双重效益，既提高土地利用价值，又节约土地资源，近年来在我国多地得到广泛推广^[2]。

尽管渔光互补项目发展迅速，但相较于成熟的陆上光伏运维体系，水上光伏系统的运维管理仍面临诸多挑战。鱼塘特有的高湿度、富营养化水体环境，不仅加速了金属支架的腐蚀与组件的老化，也给日常的巡检、清洁与检修作业带来了极大的不便。特别是对于横跨数百个分散坑塘的大型集中式项目，传统的人工巡检模式已难以覆盖庞大的设备体量，导致故障发现滞后、处理效率低下，严重影响了电站的整体发电效益。因此，如何针对渔光互补的特殊环境，构建适配的运维管理体系，并探索针对性的发电效率提升路径，已成为当前生产运维部门亟待解决的关键问题。

本研究选取国家能源集团安徽龙源新能源有限公司投资建设的安徽天长 419.2MW 渔光互补光伏项目作为研究案例。该项目是安徽省目前规模最大的坑塘水面渔光互补项目，横跨 256 个分散坑塘，占地面积近万亩，具有典型的代表性。通过对该项目运维实践的深度剖析，本研究旨在揭示渔光互补系统的环境适

应性规律，总结集约化与智能化相结合的运维管理经验，并量化评估相关策略对发电效率的提升效果，以期同类项目的高质量发展提供参考。

2 渔光互补系统环境适应性与运维痛点分析

渔光互补系统并非简单的陆上光伏向水面的迁移，其运行环境与传统电站存在本质差异。在天长项目的实践中，我们发现鱼塘水体环境对光伏系统的运行产生了复杂而深远的影响，既带来了天然的效率增益，也制造了独特的运维障碍。

2.1 水体环境的双重效应

鱼塘水体对光伏系统最显著的影响在于温度调节。与陆上干燥的地表环境不同，水体具有较大的热容量，通过蒸发吸热能够有效降低光伏组件的工作温度。研究表明，在夏季高温时段，天长项目的组件工作温度普遍比同地区陆上光伏电站低 5-8℃，这一自然冷却效应显著降低了温度系数带来的效率损失^[3]。与此同时，水面的镜面反射效应也为双面光伏组件的背面发电提供了充足的反射光，进一步挖掘了发电潜力。

然而，水体环境也带来了严峻的腐蚀挑战。鱼塘区域常年高湿，且水体中富含盐分与微生物，这对光伏支架、桩基及电气设备的防腐能力提出了极高要求。若防护措施不到位，金属构件极易在短期内发生锈蚀，不仅影响结构安全，还可能导致接地失效，引发安全事故。此外，水体中的藻类与浮游生物容易附着在组件下表面及桩基上，不仅增加了结构荷载，还可能遮挡组件背面的受光面，削弱双面发电的优势。

2.2 分散式布局带来的运维难题

天长项目利用了 256 个分散的坑塘进行建设，这种碎片化的地形虽然最大化利用了闲置水面，但也给运维作业带来了极大的挑战。与陆上连片的光伏场区不同，水上光伏阵列被水域分割，传统的陆路巡检通道无法贯通，运维人员必须依赖船只才能到达各个发电单元。这不仅大幅增加了巡检的时间成本，也限制了大型运维设备的进场。在项目初期，传统的人工巡检模式面临着覆盖不全、效率低下的问题，对于组件热斑、线缆破损等隐蔽缺陷，往往难以及时发现，导致小隐患演变成大故障。

2.3 气象与地质条件的约束

项目地处江淮丘陵与苏北平原的过渡地带，气候湿润，降雨充沛，梅雨季节的高湿度与夏季的台风风险对系统稳定性构成了威胁。同时，鱼塘底部多为淤泥质软土层，地质条件复杂，桩基施工的精度控制难度极大。一旦桩基发生不均匀沉降，极易导致支架倾斜、组件错位，进而引发阵列间的遮挡，造成不可逆的发电损失。这些复杂的环境因素，要求运维管理必须从传统的事后维修向事前预防转变，通过精细化的管理与技术手段，抵消环境带来的不利影响。

3 集约化与智能化融合的运维管理体系构建

针对上述痛点，天长项目运维部门打破了传统场站的分散管理模式，构建了一套“集约化管理、智能化运维、专业化支撑”的新型管理体系，实现了对近万亩水域、85 万块组件的高效管控。

3.1 集约化组织管理模式重构

为了解决分散场站管理效率低、人力成本高的问题，项目推行了“无人值班、少人值守、远程集控、区域检修”的集约化管理模式。通过设立安监部、生产部、集控中心和区域检修中心，形成了“两部两中心”的组织架构。其中，集控中心承担了大脑的功能，通过远程数据采集，实现了对全电站所有设备运行状态的实时监控，将原本分散在各个坑塘的运行数据集到一个平台上进行分析与调度。而区域检修中心则整合了专业的检修力量，打破了场站间的人员壁垒，实现了检修资源的统一调配与快速响应。这一模式的转变，使得项目在装机容量大幅提升的情况下，并未同比例增加运维人员，显著降低了单位千瓦的人工成本。

3.2 全维度智能化运维技术应用

面对庞大的设备体量，项目全面引入了智能化技术手段，替代了传统的人工巡检。首先，建立了全覆

盖的无人机巡检体系。利用搭载了红外热成像与可见光相机的无人机，按照预设航线对全电站进行常态化巡检。无人机能够快速穿越水域，在数小时内完成人工数天才能完成的巡检任务，并且能够通过图像识别算法，自动识别出组件的热斑、裂纹、鸟粪遮挡等缺陷，并精准定位缺陷位置，自动派发检修任务。这一技术的应用，彻底解决了水上巡检难的问题，缺陷识别率达到了 95% 以上^[4]。

其次，构建了数字化智慧运维平台。该平台全量采集了逆变器、箱变、组件的运行数据，以及环境气象数据。通过大数据分析，平台能够实时诊断设备的健康状态，一旦发现电流异常、温度过高等数据，立即触发预警，提醒运维人员进行处理。同时，平台还能够对发电量进行预测与复盘，自动分析每一个组串的发电性能，精准定位低效单元，指导运维人员进行针对性的消缺。

3.3 专业化防腐防污运维策略

针对鱼塘高湿腐蚀环境，项目建立了全生命周期的防腐防污运维机制。在日常维护中，定期对支架的防腐涂层进行检查，对焊接点等薄弱部位进行补涂处理，确保金属构件的防护层完好。对于组件表面，采用了喷涂疏水涂层的技术，使得组件表面具有超疏水特性，雨水能够快速滚落并带走灰尘，极大地减少了污渍的附着率，降低了人工清洗的频次。同时，配合生态养殖措施，定期对水体藻类进行调控，减少了水下生物对组件及支架的附着污染，保障了系统的长期可靠运行。

4 发电效率关键影响因素与提升策略

在完善管理体系的基础上，针对影响发电效率的关键因素，实施了一系列精准的技术优化策略，充分挖掘了渔光互补系统的发电潜力。

4.1 适配性组件选型与布局优化

组件是发电的核心，针对渔光互补的环境特点，项目选用了单晶双面 N 型高效组件。该类型组件不仅具有更高的转换效率，还拥有更低的温度系数（每升高 1℃ 效率损失仅约 0.3%），能够更好地适应鱼塘的温度波动。同时，双面发电的特性能够充分利用水面的反射光，将背面发电的增益发挥到最大。

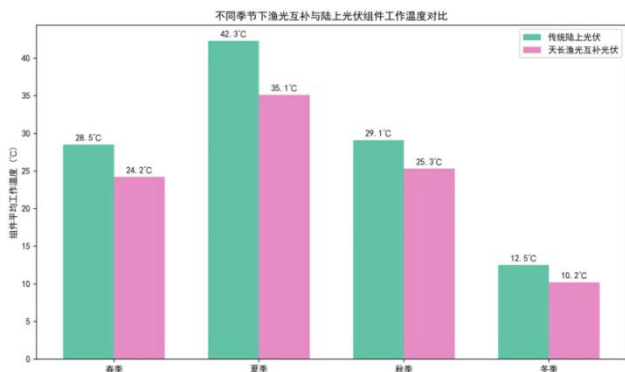
在布局上，项目经过科学测算，创新采用了“高桩大间距”的设计方案。将光伏支架的离水高度设定在 4 米以上，组件间距拓宽至 8 米。这一设计不仅为水下养殖留足了光照与作业空间，保障了养殖效益，更重要的是，大间距有效避免了冬季低角度太阳照射

下的阵列间遮挡，确保了全年的发电时长。同时，针对不规则的鱼塘边缘，采用了分区优化布局，通过调整边缘组件的倾角与间距，最大限度地利用了有限的水面空间，避免了土地资源的浪费。

4.2 温度效应的深度利用

水体的冷却效应是渔光互补项目独有的优势，为了量化这一优势并指导运行，我们对比分析了天长项目与传统陆上光伏在不同季节的组件工作温度。

表1 不同季节下渔光互补与陆上光伏组件工作温度对比



如表1所示，在四季当中，天长渔光互补项目的组件工作温度均低于传统陆上光伏，尤其是在夏季，温差达到了7.2°C。根据N型组件的温度系数计算，仅这一项温度优势，就能够为项目带来约2.1%的效率提升。基于这一特性，运维部门在夏季运行中，进一步优化了逆变器的散热策略，配合水体的自然冷却，使得设备在高温时段依然能够保持满发状态，避免了因过热导致的降载运行。

4.3 精准清洁与积灰管控

积灰是影响光伏效率的重要因素，在鱼塘环境下，除了常规的灰尘，还面临着鸟粪、水产饲料残留等特殊污染^[5]。为了应对这一问题，项目摒弃了传统的定期清洗模式，转而采用基于状态监测的按需清洗策略。通过智慧运维平台，实时监测组件的积灰覆盖率，当监测到污渍覆盖率超过15%，且预测未来无有效降雨时，才启动清洗作业。清洗作业采用专用的运维船只搭载自动化高压清洗设备，能够高效地对水面组件进行清洗。这种模式不仅保证了组件的清洁度，还避免了过度清洗带来的水资源浪费与运维成本增加，确保了发电效率的最优平衡。

4.4 渔光协同的运行优化

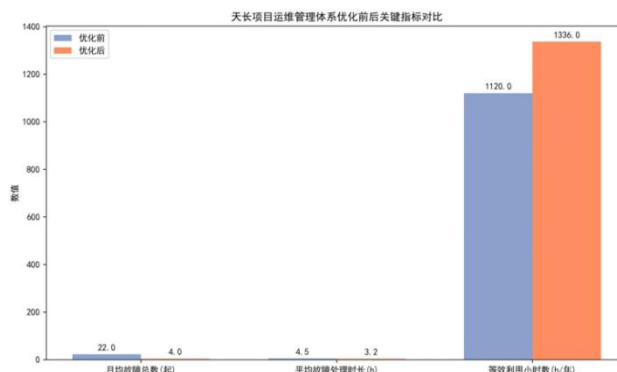
项目还探索了发电与养殖的深度协同。将水下的增氧设备与光伏发电系统进行联动，在白天光伏发电高峰期，利用自发的绿色电力驱动增氧机工作，不仅

降低了养殖的用电成本，还实现了电力的就地消纳。同时，光伏板形成的漫射光环境，有效抑制了有害藻类的过度繁殖，改善了水质，为河蟹、鱼虾等水产品提供了更适宜的生长环境，实现了发电与养殖的双向促进。

5 实施效果与效益分析

通过上述运维管理体系与效率提升策略的实施，天长项目取得了显著的成效。我们对项目实施优化前后的关键运维指标进行了对比分析。

表2 天长项目运维管理体系优化前后关键指标对比



如表2所示，在实施集约化与智能化运维后，项目的月均故障总数从原来的22起大幅下降至4起，降幅达到了81.8%。与此同时，平均故障处理时长也从4.5小时缩短至3.2小时，运维响应效率提升了28.9%。这表明，智能化的预警与巡检体系极大地提升了系统的可靠性，减少了非计划停机时间。

在发电效率方面，项目的等效利用小时数从优化前的1120小时提升至1336小时，年发电量稳定突破了5.6亿千瓦时。这一数据不仅远超同类项目的平均水平，也充分验证了温度效应、双面组件及精准运维带来的效率增益。按此计算，项目每年可节约标准煤约17万吨，减少二氧化碳排放约45万吨，环境效益十分显著。

此外，在经济效益方面，除了发电收益外，板下养殖也带来了可观的附加收益。通过科学的养殖管理，项目区域内的水产品产量与品质均得到了提升，实现了“一地两用、渔光共赢”，极大地提高了项目的整体投资回报率。

6 结语

本研究以安徽天长419.2MW渔光互补项目为案例，深入探讨了集中式渔光互补光伏电站的运维管理与效率提升路径。研究发现，渔光互补系统虽然面临着水体腐蚀、水上运维难等特殊挑战，但通过构建集

约化的管理架构,引入无人机巡检、数字化平台等智能化技术,能够有效破解这些难题。同时,通过适配性的组件选型、布局优化以及对水体冷却效应的深度利用,能够显著提升系统的发电效率。天长项目的实践证明,通过科学的运维管理,渔光互补项目不仅能够实现高效的绿色发电,还能带动水产养殖的发展,实现经济、社会与环境效益的统一。

未来,随着技术的进步,渔光互补项目的运维还将向更深度智能化方向发展。例如,结合 AI 算法的智能跟踪支架、水下机器人巡检等技术,有望进一步提升发电效率与运维自动化水平。同时,如何进一步优化发电与养殖的协同机制,探索更多元的复合种养模式,也将是后续研究的重要方向,从而为我国渔光互补产业的高质量可持续发展提供更强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 赵玉文.中国光伏产业发展现状与展望[J].太阳能,2021(01):12-18.
- [2] 李蒲健,陈彬,惠星,等.中国近海风光同场用海方式下海上光伏发电的开发潜力分析[J].太阳能,2024(11):5-15.
- [3] 王瑜,刘正光.渔光互补光伏发电系统效率提升技术研究[J].中国电力,2023,56(2):112-118.
- [4] 张军,李明.水上光伏电站运维技术现状与发展趋势[J].电力工程技术,2022,41(3):189-195.
- [5] Sheshpari M,Ramazani A.The effect of dust deposition on the performance of photovoltaic panels[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews,2020,121:109704.
- [6] 戴嘉毅.光伏发电在城乡电力供应中的应用分析[J].光源与照明,2024(7):96-98.
- [7] 宋福龙,陈晨,张雯悦,等.省域水上光伏发电潜力分析评估方法及应用[J].全球能源互联网,2023,6(1):33-44.