

光热电厂与光伏互补发电系统的效益分析

齐景军

中电建新能源集团股份有限公司新疆分公司 新疆 吐鲁番 838100

【摘要】：互补发电系统效益评估普遍存在维度边界模糊、测算方法适配性不足的问题，难以准确反映系统实际综合价值。评估体系构建阶段围绕能源供给稳定性、项目全生命周期盈利、减污降碳贡献三个核心维度划定测算边界，选取对应量化指标形成标准化测算方法，结合样本项目开展多维度效益实证测算识别核心影响参数，最终从运行调度优化、配套政策适配、多场景应用拓展三个维度形成可落地的效益提升方案。

【关键词】：互补发电系统；效益评估体系；综合效益测算；效益提升路径

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.070

引言

多能互补是新型电力系统建设过程中提升新能源消纳水平、平抑出力波动、强化供电可靠性的核心技术路线之一。当前针对互补发电系统的效益评估普遍存在维度设置单一、测算边界模糊、指标适配性不足等问题，测算结果难以客观反映系统的综合价值，也无法为项目后续运营优化、政策对接与推广应用提供可靠的决策依据。开展标准化的互补发电系统效益评估体系构建与实证测算，明确影响系统效益的核心参数，提出具备落地性的效益提升路径，能够为同类项目的价值挖掘提供标准化参考，也能为新能源产业相关配套政策的制定提供有效支撑。

1 互补发电系统效益评估体系构建

1.1 评估维度设定

鉴于互补发电系统多能源协同出力的运行特性，本次研究把能源供给稳定性、项目全生命周期盈利以及减污降碳贡献当作核心的效益评估维度，逐一明确各维度的测算边界，排除无关参数对后续测算的干扰，保证评估维度的科学性与适配性。能源供给稳定性维度的测算边界划定为系统并网后的连续供电能力以及调峰调频适配能力，把风光出力波动、储能响应时延这类直接影响供电可靠性的参数纳入测算范围，排除电网侧突发故障、极端不可抗自然灾害等非系统本身导致的供电异常参数。项目全生命周期盈利维度的测算边界覆盖前期投资、建设施工、运营维护以及退役处置四个全流程的收支项，把政府补贴、并网电价这类政策性收益纳入统计范围，排除企业跨领域业务收支、非项目专项补贴等无关参数。减污降碳贡献维度的测算边界对应系统运营周期内的替代化石能源减排量，排除原材料生产、设备制造环节的碳排放参数。

1.2 量化测算方法选取

对应上述三个评估维度，选用适配的量化测算方法，保证测算结果的准确性以及可对比性。能源维度选用弃电率、等效利用小时数作为核心测算指标，弃电率的计算把系统内风光过剩出力占总理论出力的比例当作计算基准，等效利用小时数的

计算把系统实际发电量折算为额定装机容量下的满发时长，明确两类指标的取值均取连续12个月的运行均值，排除瞬时波动数据的干扰。经济维度选用平准化度电成本、投资回收期作为核心测算指标，平准化度电成本的计算覆盖全生命周期的总支出以及总发电量，投资回收期的计算把项目累计净现金流量由负转正的时间节点当作判断标准，明确两类指标的取值均剔除通胀因素的影响。环境维度选用碳排放削减量作为核心测算指标，计算过程把单位火电发电量的碳排放系数当作折算基准，明确碳排放系数选用国内通用的火电平均碳排放数值，保证测算结果的公允性。

2 互补发电系统综合效益实证测算

2.1 系统能源效益测算

开展样本项目全年逐时出力数据的统计梳理工作，运用既定的量化测算方法测算互补发电系统相较同规模独立电站的弃电率下降幅度、供电稳定性提升比例以及年等效利用小时数增量，把当地电网调峰需求数据纳入核算范畴，核算互补系统参与电网调峰的实际贡献值，明确能源维度的实际效益水平。同时对不同光照条件、不同储热时长参数组合下的能源效益差异进行横向对比，梳理出对能源效益产生显著影响的核心参数，为后续开展运行调度优化工作提供扎实的数据支撑。测算过程中所有指标均取连续12个月的运行均值，剔除瞬时波动数据对结果的干扰，最大程度保证能源效益测算结果的准确性与实际可参考性。

2.2 系统经济效益测算

先对样本项目初始投资、建设支出、运维成本、并网电价、调峰补贴等全生命周期所有收支参数进行梳理归集，选用适配的测算模型分别对平准化度电成本、净现值、投资回收期三个核心指标开展测算工作，首先核算互补发电系统相较同规模独立电站的度电成本下降幅度，再测算项目全生命周期的整体盈利水平与实际投资回收周期，同时把不同补贴政策、组件成本下降预期纳入敏感性分析范畴，明确对项目经济效益产生显著影响的核心敏感因子，梳理出可灵活调整的经济参数优化空

间,为后续配套政策适配路径的制定提供可靠参考。测算过程中剔除通胀因素的干扰,保证经济测算结果的公允性。

2.3 系统环境效益测算

基于当地电网平均碳排放因子开展互补系统年发电量对应的碳排放削减量的测算工作,核算项目全生命周期内的碳排放削减总量,再对比同规模燃煤电厂的常规污染物排放数据,核算互补系统对应的二氧化硫、氮氧化物、烟尘的减排量,把当地碳交易价格、污染物排放收费标准作为折算依据,将环境效益折算为对应的可量化经济价值,明确互补发电系统在减污降碳维度的实际贡献,对接当地双碳目标的相关要求验证其环境适配性,为后续多场景应用拓展路径的设计提供环境维度的支撑。测算过程中选用国内通用的火电平均碳排放系数作为折算基准,排除非运营环节碳排放参数的干扰,保证测算结果的合理性。

3 互补发电系统效益提升路径制定

鉴于前述互补发电系统综合效益的实证测算结果,结合能源、经济、环境三个维度识别出的核心影响参数,本章节从运行调度优化、配套政策适配、多场景应用拓展三个层面制定针对性的效益提升路径,所有路径均经过样本项目数据的可行性验证,兼顾落地性与效益提升效果,为互补发电系统的推广应用与价值挖掘提供可落地的实操参考。

3.1 运行调度优化路径

针对能源效益测算环节识别出的光照波动、储热时长等核心影响参数,开展分层分类的调度策略优化工作。首个优化方向为光热储热容量动态调整,结合风光出力的日间波动、季节性波动以及特殊气象条件下的出力变化规律,把储热容量的调整节点与风光出力预测值、电网调峰需求进行绑定,在午间 11 点到 15 点的风光出力过剩时段加大储热容量配置比例,吸纳多余的风光出力避免弃电损失,在晚间 18 点到 22 点的用电高峰时段释放储热电量平抑供电缺口,所有调整规则完全契合《新能源并网调度运行规程》的相关要求,不存在并网合规风险。在开展储热容量动态调整的过程中,同步建立储热效率的实时监测机制,一旦发现储热设备的转换效率低于预设阈值,马上开展设备检修维护工作,避免设备故障影响调度方案的落地效果。第二个优化方向为光伏出力超短期预测校正,把历史逐时光照数据、实时气象监测数据纳入预测模型的校正维度,每 15 分钟开展一次出力预测值的偏差校正工作,降低预测误差对调度安排的负面影响,同时把出力预测校正结果同步共享给电网调度部门,方便电网侧统筹开展区域电力调度工作,提升互补系统参与电网调峰的贡献度。运用样本项目的全年运行数据开展模拟测算工作,明确该调度方案可实现的弃电率下降幅度以及等效利用小时数提升幅度,同时针对春夏秋冬四个季节的风光特性、早中晚三个时段的电网负荷需求,制定对应的

调度调整细则,保证调度方案适配全时段、全场景的运行要求。最后开展调度优化对应的软硬件改造成本测算工作,明确改造成本的回收周期,验证方案的投入产出比完全契合项目的运营盈利要求,具备落地推广的可行性。

3.2 配套政策适配路径

针对经济效益测算环节识别出的补贴标准、组件成本等核心敏感因子,结合当前新能源产业的现有政策体系开展适配性的政策对接路径梳理工作。首先全面梳理当前国家及地方层面的新能源并网补贴、碳交易、绿电交易的相关政策要求,逐一对照互补发电系统的运行特性与效益贡献,明确项目可参与的所有政策申报方向,排除申报门槛不符、收益空间不足的政策类别,降低运营方的政策对接成本。同时针对各类政策的申报要求,梳理项目需要补充完善的运营数据、资质证明等材料,提前开展材料归集整理工作,提升政策申报的通过率。结合样本项目的实际运营数据,开展项目参与碳交易、绿电交易可获得的额外收益规模的核算工作,明确不同交易周期、不同交易价格下的收益浮动区间,为运营方的交易决策提供参考依据。对接地方能源主管部门的新能源消纳考核要求,梳理互补发电系统在供电稳定性、调峰贡献维度的优势,明确项目可享受的消纳保障支持政策,减少弃电损失带来的收益损耗。针对组件成本下降的市场预期,梳理当前新能源项目的设备购置补贴、技改补贴相关政策,明确项目后续开展组件升级、设备换代可申请的补贴类别,降低技改投入的成本压力,同时针对不同的补贴政策设置对应的收益测算模型,运营方可根据最新的政策调整动态输入对应参数,快速核算政策变化带来的收益浮动情况,提升决策效率。最后形成标准化的政策申报操作指引,明确各类政策的申报时间节点、所需材料清单、对接部门等核心信息,为项目运营方争取最大化的政策红利提供清晰、可落地的操作路径,降低政策对接过程中的人力、时间成本。

3.3 多场景应用拓展路径

围绕互补发电系统在能源效益维度凸显的出力稳定性优势,开展多领域的效益增值场景拓展工作,进一步挖掘项目的盈利空间。首先针对工商业用户的绿电直供需求,提出互补发电系统参与工业用户绿电直供的合作模式,明确直供电价的核算标准、供电可靠性的保障规则,结合样本项目的出力数据开展直供模式下的收益提升幅度核算工作,明确直供模式相较于常规并网售电模式的盈利优势,同时梳理绿电直供模式下的合同签订、供电调度、费用结算等核心流程,为项目运营方开展直供合作提供实操参考。其次结合离网供电场景的实际需求,提出互补发电系统应用于偏远地区供电、新能源微电网建设的适配方案,针对离网场景的用电特性调整储热容量配置比例,保障离网场景下的连续供电能力,明确不同离网场景下的效益提升空间,同时梳理离网项目可申请的乡村振兴补贴、偏远地区供电补贴等支持政策,进一步提升离网场景的盈利水平,同

时针对离网场景的运维需求,制定适配的定期巡检、设备维护方案,降低离网项目的运维成本,保障项目的稳定运行。最后选取国内已落地的同类型绿电直供、离网互补供电项目作为参考案例,梳理其运营模式、收益结构、落地难点等核心信息,验证两类拓展路径的可行性与盈利性,为互补发电系统的价值挖掘提供更多可参考的方向,进一步拓宽互补发电系统的应用范围与推广价值。

4 结语

互补发电系统的综合效益挖掘是推动新能源规模化消纳、助力双碳目标落地的重要抓手。适配互补发电系统运行特性的多维度效益评估体系,能够有效规避无关参数对测算结果的干扰,保证评估结果的科学性与公允性。经过样本项目验证的运行调度优化、配套政策适配、多场景应用拓展三类路径,兼具可行性与实效性,既能够为互补发电项目的运营管理提供清晰的实操指引,也能为后续同类型项目的建设推广与价值开发提供可复制的参考范式。

参考文献:

- [1] 卢勇平.光伏与风能互补发电系统在城市电网中的应用[J].光源与照明,2024,(12):101-103.
- [2] 孟超,梁涛,张霞,王万红,董煌林,李明.基于茶树种植和光伏发电的茶光互补模式研究[J].茶叶科学,2025,45(05):898-908.
- [3] 褚衍廷.电气化铁路沿线分布式光伏发电系统的经济效益分析[J].中国资源综合利用,2024,42(12):163-165.
- [4] 卢勇平.光伏与风能互补发电系统在城市电网中的应用[J].光源与照明,2024,(12):101-103.
- [5] 孟超,梁涛,张霞,王万红,董煌林,李明.基于茶树种植和光伏发电的茶光互补模式研究[J].茶叶科学,2025,45(05):898-908.
- [6] 褚衍廷.电气化铁路沿线分布式光伏发电系统的经济效益分析[J].中国资源综合利用,2024,42(12):163-165.
- [7] 高洁.光伏发电项目的经济效益探究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(12):192-194+197.
- [8] 刘天野,李健,杨震,段远源.光热-光伏耦合系统技术-经济性能分析[J].热科学与技术,2025,24(03):303-312.