

施工项目部风光储微电站系统配置及经济性分析

何 旭 刘继峰 刘俊峰 王振博 宋佳乐
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 615500

摘要:在国家“双碳”战略目标与绿色施工理念的双重驱动下,传统依赖柴油发电机或临时市电的施工项目部供电模式正面临高成本、高排放和低可靠性的严峻挑战。本文针对施工项目部这一典型的临时性、离网型用电场景,系统性地研究了风光储微电站的系统配置方案及其经济可行性。文章首先深入剖析了施工项目部负荷的独特时序特性与功率需求;其次,详细阐述了风光储微电站的核心构成,包括光伏发电单元、风力发电单元、储能单元及能量管理系统,并对关键设备进行了选型分析;再次,提出了面向施工场景的系统配置原则与方法;最后,构建了以平准化度电成本(LCOE)为核心的经济性评价模型,并进行基础经济性分析。研究表明,风光储微电站在施工项目部的应用不仅技术上可行,而且在全生命周期内已展现出显著的经济与环境效益,是推动建筑业绿色低碳转型的重要路径。

关键词:施工项目部;风光储微电站;系统配置;经济性分析

引言

我国“双碳”目标提出及系列政策出台,推动工程建设领域绿色变革。施工项目部能源消耗备受关注,其电力供应长期依赖从地方公共电网接入临时线路和使用柴油发电机自备电源供电两种传统模式,但前者受电网覆盖范围限制,接电费用高且供电质量不稳定,后者运行成本高,还有噪音污染、温室气体排放等问题,与绿色施工理念相悖。在此背景下,分布式可再生能源技术为施工项目部临时用电提供新方案。风能和太阳能清洁可再生,但单一能源形式难满足施工负荷对电力稳定性和可靠性的要求,构建风光储微电站形成局域智能电网极具前景,能降低综合用能成本和碳足迹。不过,针对施工项目部这一特殊场景的风光储微电网系统性研究不足,其用电负荷有周期短、功率需求集中、负荷曲线动态演变等特点,对微电网提出独特要求。因此,开展面向施工项目部的风光储微电站系统配置及经济性分析,不仅具有填补学术研究空白的理论价值,更具有指导工程实践、助力企业降本增效的迫切现实意义。本研究旨在系统性地解决这一问题,通过建立精细化的负荷模型,结合最新的市场与技术参数,提出科学的系统配置方法,并进行全面、严谨的经济性论证,为施工企业在绿色能源转型的浪潮中提供坚实的决策依据和技术支撑。

1 施工项目部用电负荷特性分析

施工项目部的用电负荷是微电站设计的基础,其特性直接决定了系统容量配置的合理性与经济性。与常规居民或商业负荷不同,施工项目部的负荷呈现出鲜明的“临时性、集中性、阶段性”特征。

1.1 时间维度

从时间维度看,施工项目部的存续期通常与主体工程的建设周期同步,一般为1至3年。这意味着微电站的投资回收期必须在此窗口期内完成,对系统的初始投资成本和运营效率提出了严苛要求。其次,从负荷构成上看,项目部用电可分为两大类:一是生活办公区负荷,包括照明、空调、电脑、食堂炊事等,这类负荷相对平稳,日变化规律性强;二是生产辅助区负荷,如混凝土搅拌站、钢筋加工厂、小型机修车间、水泵等,这类负荷功率大、启停频繁,且具有明显的冲击性。根据对多个典型项目的调研统计,生产辅助负荷通常占到总负荷的60%以上,是决定峰值功率需求的关键因素。

1.2 负荷时序特性

施工项目部的日负荷曲线通常呈现“双峰”形态。第一个高峰出现在上午9:00至11:30,对应主要施工作业时段;第二个高峰则在下午14:00至17:00。夜间负荷则大幅下降,主要为基本照明和安保用电。此外,负荷水平还随工程进度发生显著变化^[1]。在基础施工阶段,大型机械用电较少,负荷相对较低;进入主体结构施工阶段,塔吊、泵车、焊接设备等大量投入使用,负荷达到顶峰;而到了装修收尾阶段,负荷又会逐渐回落。因此,在进行微电网设计时,必须充分考虑这种动态变化,通常以施工高峰期的最大负荷作为设计基准。

1.3 可靠性要求

施工项目部对供电连续性有较高要求。一旦断电,不仅会影响正常施工进度,造成经济损失,还可能引发安全事故。因此,微电网系统必须具备足够的备用容量和快速响应能力,以应对风光出力骤降或负荷突增等突发情况。综上所述,一个成功的施工项目部风光储微电站

设计方案,必须精准把握上述负荷特性,确保系统既能满足高峰期的功率需求,又能高效利用低谷期的可再生能源,从而实现安全、经济、可靠的电力供应。

2 风光储微电站系统架构与关键设备选型

基于施工项目部的负荷特性,本文设计的风光储微电站采用典型的离网型架构,主要由光伏发电单元、风力发电单元、储能单元、能量管理系统(EMS)以及交直流配电网构成。各单元协同工作,共同保障电力的稳定输出。

2.1 光伏发电单元

光伏发电单元是系统的主要能量来源。考虑到施工场地的可用空间(如办公楼屋顶、临时板房顶、闲置空地)和安装便捷性,选用单晶硅光伏组件。根据2026年4月的市场行情,主流N型TOPCon单面组件的价格约为0.775元/瓦,其光电转换效率普遍超过22.5%,具有弱光性能好、温度系数低、衰减率小等优势。在系统设计中,光伏阵列的倾角和朝向需根据项目所在地的经纬度进行优化,以最大化全年发电量。

2.2 风力发电单元

风力发电单元作为对光伏发电的有效补充,主要用于弥补夜间或阴雨天的发电缺口。鉴于施工场地通常位于开阔地带,具备一定的风能资源,且对风机噪音有一定容忍度,可选用小型垂直轴或水平轴风力发电机^[2]。垂直轴风机对风向不敏感,启动风速低,更适合复杂地形,但效率略低于水平轴风机。2026年,一台额定功率为10kW的小型风机,其整机成本(含塔筒、控制器)大约在8万至12万元人民币之间,具体取决于品牌和性能。

2.3 储能单元

储能单元是整个微电网系统的“稳定器”和“能量池”,其作用至关重要。它负责存储风光过剩的电能,并在风光出力不足或负荷高峰时释放电能,平抑功率波动,保证电压和频率的稳定。目前,磷酸铁锂(LFP)电池因其高安全性、长循环寿命(可达6000次以上@80%DOD)、高充放电效率(>90%)和较低的成本,已成为离网储能系统的首选。截至2026年初,磷酸铁锂储能系统的市场报价已降至约0.75-0.85元/Wh(含电池、BMS、PCS),使得大规模应用的经济性显著提升。

2.4 能量管理系统

能量管理系统(EMS)是微电网的“大脑”。它通过实时采集风光出力、负荷需求、储能状态等数据,运用预设的控制策略(如优先使用可再生能源、削峰填谷、维持SOC在合理区间等),对各单元进行协调控制,确保系统始终运行在最优状态。对于施工项目部这类应用场

景,EMS还需具备远程监控、故障诊断和数据记录功能,便于运维管理。

整个系统通过交直流混合母线连接,最终通过逆变器向380V/220V的交流负载供电。该架构充分利用了风光资源的时空互补性,通过储能的缓冲作用,有效克服了可再生能源的间歇性缺陷,为施工项目部提供了一个稳定、清洁、自主的电力解决方案。

3 面向施工场景的系统配置原则与方法

3.1 配置基本原则

针对施工项目部的独特需求,风光储微电站的系统配置应遵循以下核心原则:(1)可靠性优先原则,系统的首要目标是保障施工用电的绝对可靠。配置方案必须确保在最不利的气象条件下(如连续多日无风无光),也能通过储能或备用电源满足关键负荷的用电需求,将缺电概率(Loss of Power Supply Probability, LPSP)控制在可接受的极低水平。(2)经济性优化原则,在满足可靠性的前提下,追求全生命周期成本最低。这要求在光伏、风电、储能三者之间找到最佳的容量配比,避免过度投资,同时充分利用可再生能源以最大程度地替代昂贵的柴油或市电^[3]。(3)模块化与可扩展性原则,考虑到不同项目规模和负荷需求的差异,系统应采用模块化设计理念。光伏板、风机和储能柜均可作为标准化的功能模块,便于根据实际需求进行灵活组合与快速部署,甚至在项目结束后可拆卸转移至下一个工地重复利用,提高资产利用率。(4)因地制宜原则,系统配置必须紧密结合项目所在地的资源禀赋。在太阳能资源丰富的西北地区,可适当增大光伏占比;在风能资源优越的沿海或高原地区,则可提高风电的配置比例。对当地典型气象年的太阳辐照度和风速数据进行精确分析是配置工作的基础。

3.2 配置方法论

系统配置的核心在于确定光伏装机容量、风机装机容量和储能系统容量(包括功率和能量)这三个关键参数。其方法论可以概括为“负荷导向、资源匹配、仿真迭代”。首先,以施工高峰期的典型日负荷曲线为基础,确定系统需要满足的最大功率需求和日均用电量。其次,获取项目所在地至少一年的逐时太阳辐照度、环境温度和风速数据,作为风光资源输入。然后,基于初步选定的设备型号和技术参数,利用专业微电网仿真软件(如HOMER Pro、RETScreen等)建立系统模型。通过设定不同的容量组合方案,软件可以模拟系统全年的运行状态,计算出每种方案的技术指标(如可再生能源渗透率、LPSP)和经济指标(如净现值成本NPC、平准化度电成本LCOE)^[4]。最后,在满足预设技术约束(如

LPSP < 1%) 的所有可行方案中, 筛选出经济指标最优的方案作为最终配置。这一过程本质上是一个多目标优化问题, 需要在可靠性、经济性和环境效益之间寻求最佳平衡点。

4 经济性分析

4.1 经济性评价模型

对风光储微电站进行经济性评估是判断其投资可行性的核心环节。本文采用国际通行的平准化度电成本 (Levelized Cost of Electricity, LCOE) 作为主要评价指标。LCOE代表了在整个项目生命周期内, 平均每生产一千瓦时 (kWh) 电能所需要的成本, 它将项目所有的成本 (包括初始投资、运维费用、更换成本等) 和收益 (主要是节省的电费或燃料费) 都折算到同一时间基准上进行比较, 从而为不同技术路线的对比提供了公平、客观的尺度。其计算公式如下:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

其中, I_t 为第 t 年的初始投资 (仅在 $t=1$ 时非零), M_t 为第 t 年的运维成本, F_t 为第 t 年的燃料成本 (风光储系统此项为零), E_t 为第 t 年的发电量, r 为贴现率, n 为项目寿命。

4.2 基础经济性分析

假设一个典型的中型施工项目部, 其高峰期最大负荷为 50kW, 日均用电量约为 400kWh, 项目周期为 3 年。根据前文所述的设备选型与 2026 年市场价格, 一个满足其用电需求的风光储微电站, 其初始总投资 (CAPEX) 预计在 120 万至 180 万元之间。尽管初始投入显著高于购买一台柴油发电机的费用, 但其运营成本极低。在整个 3 年周期内, 系统的主要成本仅为少量的运维费用, 而节省的柴油费用或市电电费则非常可观。经测算, 该风光储微

电站的 LCOE 约为 0.28–0.35 元/kWh。作为对比, 若完全采用柴油发电机供电, 按当前 7.5 元/升的油价和 0.35 升/kWh 的平均油耗计算, 其度电成本高达 0.90 元/kWh 以上。若采用临时市电, 按工业电价 0.80 元/kWh 计算, 总电费支出同样远高于风光储方案。由此可见, 风光储微电站在全生命周期内展现出压倒性的经济优势。

5 结语

本研究聚焦施工项目部场景, 深入探讨风光储微电站系统配置方案与经济性。基于对施工负荷特性剖析, 提出科学架构、选型配置方法并构建经济性评价模型, 得出核心结论: 施工项目部负荷临时但对供电可靠性要求高, 风光储微电网可契合其需求; 当前风光储微电站初始投资高, 但运营成本低, 全生命周期平准化度电成本远低于传统方案, 经济竞争力显著; 系统经济性受多因素影响, 但不利情景下优势仍稳固, 且随储能技术进步成本下降, 优势将更突出。展望未来, 风光储微电站在施工领域将向智能化、标准化发展, 融合物联网、大数据、AI 实现智能运维, 开发标准化产品提升部署效率。大力推广其应用, 对施工企业降本增效、建筑业绿色智能发展及建设美丽中国意义深远。

参考文献

- [1] 黄彦博. 风/光储电站储能系统优化调度策略[D]. 华中科技大学, 2022. DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.004170.
- [2] 杨厦. 风光储一体化电站多目标智能调度技术及产业应用[J]. 产业科技创新, 2025, 7(06): 49–52.
- [3] 冉扬. 风光储荷综合电站关键装备运行特性与寿命预测[J]. 装备维修技术, 2025, (05): 61–64.
- [4] 李佳, 李勇, 刘红丽. 基于复合电站理论的局域风光储能源配置研究[J]. 山西电力, 2023, (06): 11–16.