

光储一体化屋顶分布式光伏电站的设计与建设研究

左 焱

上海宝冶集团有限公司, 上海 201900

[摘要]光储一体化屋顶分布式光伏电站把分布式光伏发电以及电化学储能系统整合到一起,大大提升了可再生能源在当地的消纳能力,同时也让电网的支撑水平有了提高,已经变成了构建新型电力系统的极为关键的节点所在。此项研究全面且细致地阐述了其系统构成以及所具备的技术优势,还对组件选型、储能容量优化还有协同控制等一系列核心设计技术展开了较为透彻的剖析,针对荷载评估加固、电气安全以及环境适应等工程建设方面的重要内容也进行了详尽的探讨。并且依据最新的经济模型以及当前的政策环境对其发展潜力做了相应的评估。研究明确指出,在技术不断取得进展以及政策机制逐步完善这两种因素的共同推动之下,该模式有着十分突出的经济以及社会效益方面的前景。

[关键词]光储一体化;屋顶分布式光伏;储能配置;协同控制;经济性分析

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17340

中图分类号: TM615

文献标识码: A

Research on the Design and Construction of Integrated Solar Energy Storage Rooftop Distributed Photovoltaic Power Station

ZUO Yan

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract: The integrated rooftop distributed photovoltaic power station integrates distributed photovoltaic power generation and electrochemical energy storage systems, greatly enhancing the local consumption capacity of renewable energy and improving the support level of the power grid. It has become an extremely critical node for building a new type of power system. This study comprehensively and meticulously elaborates on its system composition and technological advantages, and conducts a thorough analysis of a series of core design technologies such as component selection, energy storage capacity optimization, and collaborative control. It also explores important aspects of engineering construction such as load assessment reinforcement, electrical safety, and environmental adaptation in detail. And based on the latest economic models and the current policy environment, its development potential has been evaluated accordingly. The study clearly indicates that, driven by the continuous progress of technology and the gradual improvement of policy mechanisms, this model has outstanding prospects in terms of economic and social benefits.

Keywords: integrated light storage; rooftop distributed photovoltaic; energy storage configuration; collaborative control; economic analysis

引言

随着“双碳”目标的不断推进,我国光伏发电装机规模迅速扩大。国家能源局统计数据示,截至2021年底,全国光伏发电装机达到 $1.240 \times 108 \text{ kW}$,同比增长163%。其中,我国光伏电站装机容量为 $8.138 \times 107 \text{ kW}$,同比增长127%。不过,光伏电站建设也面临着诸多困境,如前期资金投入巨大、回本周期长、土地资源稀缺、建设用地审批困难等。随着国家对可再生能源的扶持政策不断出台,各地也相继出台了配套政策,鼓励各地区积极发展太阳能光伏发电,为缓解土地资源紧缺、减少碳排放作出贡献。各地对光伏电站的支持政策也各不相同,但最终目的都是为了将光伏发电推广到更多的地区和领域。

1 光储一体化屋顶分布式光伏电站概述

1.1 基本概念与系统构成

光储一体化屋顶分布式光伏电站,其核心在于把分布式光伏发电单元、电化学储能单元、能量管理系统还有必

要的并离网切换装置,在物理层面以及功能层面紧密结合起来,进而形成一个拥有自我调节能力的综合能源单元。其关键构成部分有:光伏阵列,负责完成太阳能到直流电能的转换工作;储能系统,一般会采用锂离子电池或者液流电池技术,充当能量存储与释放的载体;双向变流器,可达成直流与交流电能的相互转换,并且承担着充放电管理的核心功能;智能能量管理系统,作为电站的“大脑”,依据预设的策略来实时对光伏发电、储能充放电以及负载用电/电网交互加以协调。借助EMS的智能调度,该电站能够灵活地在并网模式、离网模式或者混合模式之间运行,从而满足多样化的应用场景需求。

1.2 技术特点与应用优势

相比于传统屋顶光伏电站而言,光储一体化模式有着较为突出的技术特点以及应用价值。它具备较强的平滑出力波动的能力,能够有效地对光伏发电功率出现的分钟级到小时级波动加以抑制,从而减轻其给电网带来的冲击。

依据国家电网公司研究院在 2025 年所发布的《高比例新能源接入下配网适应性研究》这份报告来看,若配置了合理的储能系统,那么光伏电站就能够使得分钟级波动率降低超过 60%。它能够实现电能高效的在不同时间和空间之间进行转移,借助峰谷电价的差额来实施“低储高发”的策略,以此提升经济效益,并且在电网发生故障的时候,可以无缝地切换到离网运行的状态,进而为关键负荷给予持续的电力供应,大幅度提高供电的可靠性。它还存在着提供调峰、需求响应等辅助服务的潜力,其中的储能单元能够快速响应电网调度所发出的指令并参与到系统的调节当中。它还能显著地提升屋顶光伏的自发自用率,减少对余电上网的依赖程度,降低配电网反向送电方面的压力。经国家发改委能源研究所测算得出,在典型的工商业场景之下,通过合理配置储能系统,可将光伏自发自用率从原本的 30%~40%提升至 60%~80%。

2 设计关键技术

2.1 光伏组件选型与布局设计

组件选型的时候,得综合考量其效率、衰减率、温度系数、在弱光条件下的性能以及成本等方面的情况。就目前来看,N 型 TOPCon 还有 HJT 这两种组件,因为它们有着更高的转换效率以及更低的衰减率,所以在高端市场上所占的份额正在快速地提高。根据中国光伏行业协会所做的统计数据来看,截止到 2024 年的时候,N 型组件在市场当中所占的份额已经突破了 55%。在屋顶布局设计方面,最首要的原则就是要尽可能充分地利用有限的面积,这就需要精准地去计算屋顶的朝向以及倾角,以此来获取最佳的年辐射量。对于那种屋面情况比较复杂的环境而言,那就得借助专业的软件来开展阴影模拟方面的分析工作,从而有效规避像烟囱、女儿墙这类固定的遮挡物所带来的影响。在组串设计环节,务必要把组件参数的匹配性、不同屋面所具有的朝向以及倾角存在的差异等因素都考虑进去,同时要对 MPPT 跟踪器的配置加以优化,进而减少因失配而产生的损失。组件和建筑屋面相结合的部位要做防水防火方面的处理,而且还要按照建筑规范的要求留出安全间距以及检修通道,这些同样是设计过程当中不能够被忽视掉的关键要点所在。

2.2 储能系统配置与容量优化

储能类型的选择需要对能量密度、功率密度、循环寿命、安全性以及成本等方面加以权衡考量。就当下情况而言,锂离子电池已然成为主流之选,尤其像磷酸铁锂电池,其凭借着较高的安全性以及较长的循环寿命,在诸多储能类型当中脱颖而出。储能系统的容量以及功率配置属于核心的优化难题,这就要求依据屋顶光伏的历史出力曲线、负荷的具体特性、所设定的运行模式目标还有当地的分时电价政策等来开展细致的仿真计算工作。典型的优化目标涵盖了多个方面,像是要尽可能地实现最大化自发自用、

争取到最大化的峰谷套利收益、能够充当备用电源或者满足特定的辅助服务相关要求等等。清华大学能源互联网研究院在 2025 年所提出的“光储系统多目标协同优化配置模型”着重指出,得综合去考量投资回收期、内部收益率以及系统可靠性指标等诸多因素。电池管理系统对于保障储能单元的安全以及延长其使用寿命而言,有着极为关键的作用,所以它应当具备对电池状态进行精准估算以及开展均衡管理的能力。

2.3 并网与离网协同控制策略

协同控制策略在光储系统高效且稳定地运行方面占据着极为重要的核心地位。当处于并网模式的时候,该策略务必要把优先保障本地负荷能够正常供电放在首位,并且要依据实际情况来动态地去分配光伏发电所形成的电能在本地的负荷供电、给储能装置进行充电以及向电网馈电这三者之间具体的流向情况。要依照电价方面的相关信号以及电网当前的实际状态,运用智能化的方式来决策储能系统何时进行充放电操作以及充放电时的功率大小,从而达到经济层面的最优化效果。而在离网模式之下,则要求系统得具备独立组网并且能够正常运行的能力,其中储能变流器需要能够无缝地切换到电压源模式,进而建立起稳定的电压频率支撑体系,同时光伏出力的情况则需要根据储能装置的实际状态以及负荷的具体需求来展开实时的限幅控制操作。在模式进行切换的这个过程当中,速度必须要快而且可靠性要高,这其中最为关键的一点就在于要对电网的状态做出准确的检测以及要恰当地应用预同步技术。那种基于模型预测控制或者人工智能算法所构建起来的先进的能量管理策略,当下正逐渐成为提升系统在动态性能方面以及经济性方面的研究领域里的热点所在。《电力系统自动化》在 2024 年的刊文中明确指出,智能算法能够使得光储系统的经济收益提升 5%~12%左右。

3 工程建设要点

3.1 屋顶荷载评估与结构加固

在安装光伏以及储能设备之前,务必要针对建筑屋顶的承载能力展开专业的评估工作,这其中要包含对静荷载还有风、雪这类动荷载的核算事宜。依照《建筑结构荷载规范》所提出的最新要求来看,在新增荷载的情况下,得去校核屋面板、檩条、梁柱以及基础这几部分的强度和变形情况,看看它们是不是能够符合安全方面的标准规定。要是发现屋面的承载力有所不足的话,那么常见的加固办法就有:在原本的混凝土屋面之上增设钢梁支架,以此来将荷载给分散开来;或者对彩钢瓦屋面的檩条采取加密处理,又或者是将其截面进行增大处理等。在设计加固方案的时候,应当秉持着经济合理、施工起来比较便捷并且对原建筑造成的扰动是最小的原则。在整个施工的过程当中,需要极为严谨地开展监测工作,从而保证荷载能够实现均匀分布的状态,防止出现局部过载的情况而引发安全方面

存在的隐患。住建部科技与产业化发展中心在 2023 年所发布的《既有建筑屋顶光伏加固改造技术指南》，能够为大家提供较为详尽的技术路径方面的参考内容。

3.2 电气系统安全防护设计

电气安全极为关键，直流侧应当配置性能优良的直流隔离开关以及熔断器，在组串级别要安装智能快速关断装置，以此来保证在紧急情形下能够快速切断直流电源。储能电池舱务必要符合防火防爆方面的要求，得配备专用的气体灭火系统、能够监测温度和烟雾的传感装置以及有效的通风散热设施。系统必须要设置多个可靠的接地点，同时还要配置契合规范要求的防雷以及浪涌保护器。为了防范出现非计划性的孤岛运行风险，其并网点需要安装具有多种孤岛检测技术且高可靠的防孤岛保护装置。储能系统还应当拥有完备的针对电池热失控的早期预警以及联动控制机制。国家能源局在 2025 年更新的《电化学储能电站安全管理暂行办法》当中对此作出了强制性的规定。

3.3 环境适应性及运维通道规划

在着手设计之时，便得充分考量项目所在之地的极端气候状况。就好比沿海地区存在着高盐雾腐蚀的情况，高寒地区会有低温运行方面的难题，风沙地区设备防护也颇具挑战。设备选型务必要具备与之对应的防护等级以及环境适应性认证。运维通道的规划是确保能够长期安全且高效运行的关键基础所在，在布置设备的时候，得留出足够的宽度，并且要保证巡检通道是没有障碍的，如此一来才方便在日常开展检查、维护工作以及应对应急处理事宜。对于像汇流箱、逆变器、储能变流器、电池簇这类关键设备周边，应当设置清晰明了的标识，同时还要留出安全的操作空间。运维便利性的设计在设备安装的高度、电缆敷设的路径、监测点的可达性等诸多方面都有所体现。南方电网公司在 2024 年制定的企业标准《分布式光储电站运维规程》针对通道的尺寸以及安全间距给出了明确的量化规定。

4 经济性与政策环境分析

4.1 投资回报模型与成本控制

项目经济性关键在于构建精准的投资回报模型，其中初始总投资成本涵盖设备购置、工程建设以及并网接入费用等，运行期现金流包含电费节省收入、峰谷价差套利收益以及可能的辅助服务收入，还有运营维护成本和设备更换成本，随着技术进步与规模化效应，光伏组件与储能系统成本不断降低，PV Infolink 2025 年一季度数据表明，光伏组件均价已降至 0.8 元/瓦左右，磷酸铁锂储能系统成本降至约 0.9 元/瓦时，成本控制需贯穿项目全周期，初始投资回收期是目前业主最关注的指标，普遍期望在 6~10 年。

4.2 政策支持与市场化机制

国家以及地方政策构成了推动光储一体化向前发展的关键驱动力量。当下主要的支持手段有：针对度电或者初装环节所实施的补贴举措，虽然在国家层面上地面电站

的补贴已经呈现退坡态势，不过像浙江、广东等部分省份对于优质的分布式光储项目依旧会给予具有地方性质的补贴；税收方面的减免政策，例如所得税存在“三免三减半”这样的规定；还有金融方面的支持，比如提供绿色信贷并且给予优惠利率。更为重要的是电力市场化改革所带来的种种机遇：现货市场以及辅助服务市场正在逐步走向开放，这便允许光储电站能够通过参与到调峰、调频等相关活动当中来获取额外的收益。国家发改委和能源局在 2024 年联合印发了《关于进一步加快电力辅助服务市场建设的通知》，在这份通知当中明确指出了独立储能以及“聚合资源”参与市场的具体规则。除此之外，隔墙售电试点所涉及的范围也在不断扩大，这无疑为工商业园区里面的光储项目开拓出了更为广阔的交易空间。地方政府在积极探索的“虚拟电厂”聚合模式，正逐渐变成提升分布式光储整体价值的一条全新路径，就好比上海市在 2025 年所搭建的虚拟电厂管理平台，其已经接入了数量众多的分布式光储资源并让它们参与到了需求响应的相关事宜当中。

5 结束语

光储一体化屋顶分布式光伏电站，其发展呈现出智能化、柔性化以及高可靠性的趋势。此研究全面且细致地梳理了该电站设计、建设以及发展的关键要素，明确指出该模式在提高能源自给率、强化电网韧性以及创造经济价值等方面有着明显的优势。要成功实施该模式，得依靠精准的光储协同设计、严格的工程建设标准以及对动态政策和市场环境的准确把控。当下虽面临着初始投资偏高、商业模式成熟度有待提升等困难，不过在“双碳”战略目标的引领下，随着电力市场化改革的不断推进以及储能技术成本的持续降低，光储一体化屋顶分布式光伏电站必定会迎来更为广阔的发展前景，为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系发挥重要作用。其规模化推广，既需要技术创新与成本优化，也亟需更加开放灵活的市场机制设计以及稳定透明的长效政策支持环境的不断完善。

【参考文献】

- [1]甄武军.基于光储一体化的分布式光伏屋顶电站建设[J].电动工具,2024(6):20-23.
 - [2]成志鑫,曾跃,唐骁,等.基于知识图谱的校园分布式光伏发电站设备故障自动化检测系统[J].电子设计工程,2025,33(1):86-90.
 - [3]郭毅.屋顶分布式光伏电站的设计与研究[J].能源科技,2025,23(2):55-58.
 - [4]周巍.分布式光伏发电系统火灾调查与防治技术研究[J].消防科学与技术,2025,44(6):869-876.
- 作者简介：左焱，毕业院校：马鞍山职业技术学院，专业：机电一体化（全日制），哈尔滨工业大学，专业工程管理（继续教育），当前就职单位：上海宝冶集团有限公司，职务：事业部助理，职称：电气工程师。