

物流枢纽园区光伏—储能系统规划与供能效益分析

赖天为¹ 梁容² 王强³ 寇翠英⁴

1 重庆市巴南区规划和自然资源局

2 重庆大学建筑城规学院

3 重庆大恒工程设计有限公司

4 重庆万同律师事务所

DOI:10.32629/etd.v7i2.18952

[摘要] 在“双碳”战略目标与新型电力系统建设背景下,物流园区作为交通运输与能源消费的重要节点,正成为分布式光伏、储能与虚拟电厂技术集成应用的典型场景。本文以重庆南彭公路物流基地为研究对象,结合分区规划明确的仓储工业用地规模(约10.1 km²)及远景预留用地(约2 km²),构建“用地单量法+设施负荷法”园区电力需求预测模型,并基于屋顶光伏开发比例与区域太阳能资源条件,测算规划光伏装机规模、年发电能力及自供能比例。在此基础上,从电费节约、碳减排及系统韧性提升角度评估规划实施效益。结果表明:基地远期年用电需求约6.2–8.1亿kWh,规划光伏可形成约180MW装机规模,年发电量约2.0亿kWh,可实现约24–32%的电量自供,每年节约电费约1.6亿元,减排约16万吨CO₂。研究成果可为大型物流枢纽园区绿色能源规划与工程实施提供定量支撑。

[关键词] 物流园区; 分布式光伏; 用地单量法; 自供能比例; 储能; 虚拟电厂; 双碳

中图分类号: U652.1+2 **文献标识码:** A

Planning and Energy Supply Benefits Analysis of Photovoltaic–Energy Storage Systems in Logistics Hub Parks

Tianwei Lai¹ Rong Liang² Qiang Wang³ Cuiying Kou⁴

1 Bureau of Planning and Natural Resources, Banan District, Chongqing Municipality

2 School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University

3 Chongqing Daheng Engineering Design Co., Ltd.

4 Chongqing Wantong Law Firm

[Abstract] Against the backdrop of China's dual carbon strategy and the development of a new power system, logistics parks—as critical nodes for transportation and energy consumption—are emerging as prime application scenarios for integrated distributed photovoltaic, energy storage, and virtual power plant technologies. Taking the Nanpeng Highway Logistics Base in Chongqing as the case study, this paper combines the designated scale of warehousing and industrial land (approximately 10.1 km²) and the reserved land for future development (approximately 2 km²) as outlined in the zoning plan. A ‘land–use volume method + facility load method’ model is constructed to forecast the park's electricity demand. Based on the proportion of rooftop PV development and regional solar resource conditions, the planned PV installed capacity, annual power generation capability, and self–sufficiency ratio are calculated. Building upon this, the benefits of implementing the plan are evaluated from the perspectives of electricity cost savings, carbon emissions reduction, and enhanced system resilience. Results indicate that the base's long–term annual electricity demand is approximately 620–810 million kWh. The planned photovoltaic system could achieve an installed capacity of around 180 MW, generating approximately 200 million kWh annually. This would enable self–sufficiency in electricity supply of about 24–32%, yielding annual electricity cost savings of approximately 160 million yuan and reducing carbon emissions by approximately 160,000 tonnes of CO₂. These findings provide quantitative support for green energy planning and engineering implementation in large–scale logistics hub parks.

[Key words] Logistics Park; Distributed Photovoltaics; Land-Use Intensity Method; Self-Sufficiency Ratio; Energy Storage; Virtual Power Plant; Dual Carbon Goals

引言

在“双碳”战略目标背景下,我国新能源发展进入规模化与高质量并重的新阶段。惠婧璇等指出,风电光伏开发需坚持生态友好原则,通过规划引导与技术优化降低生态环境风险,实现新能源开发与生态保护协同推进^[1]。与此同时,可再生能源规划实施仍面临土地资源约束与空间冲突问题,刘明明认为应强化新能源规划与国土空间用途管制衔接,优先推动屋顶光伏等立体空间利用模式,以缓解用地困境^[2]。

从产业发展视角看,光伏产业作为战略性新兴产业的重要组成部分,其空间布局演化与区域资源禀赋、产业基础密切相关。练文华等研究表明,我国光伏装备制造空间集聚特征显著,并受到政策引导与产业链协同影响^[3]。牛立超进一步指出,战略性新兴产业的发展具有明显的阶段性演进规律,需要通过空间规划与产业政策协同培育增长极^[4]。

物流园区作为交通运输与能源消费的重要节点,具有仓储建筑集中、屋顶资源丰富、补能负荷增长快等特点,是分布式光伏与新型电力系统建设的典型应用场景。因此,开展物流园区光伏自供能力评估与经济效益测算,对支撑绿色物流枢纽建设具有重要工程意义。

1 研究区概况与规划基础

1.1 南彭物流基地概况。南彭物流基地作为重庆重要枢纽型物流园区,其能源系统规划不仅服务于园区自身低碳转型,也与区域新型城镇化发展背景下的产业空间重构密切相关。李卓在特色小镇发展研究中指出,新型城镇化背景下产业空间应强化功能复合与资源集约利用,以提升区域综合承载力^[5]。因此,南彭物流基地的光伏与储能布局需统筹考虑土地集约利用与产业配套需求。南彭物流基地规划衔接“成渝氢走廊”绿色能源网络,形成“绿色物流+能源自给”的园区发展定位。在巴南区国土空间分区规划中仓储工业用地约10.1 km²;远景区域预留约2 km²;远期仓储工业用地总规模约12.1 km²。

1.2 现状光伏与能源设施基础。园区现状已建及策划光伏项目约5处,以企业屋顶分布式为主,但区域性储能设施相对缺乏。规划至2050年构建“集中储能+小型分布式储能+储能柜精准补能”的三级体系,并设置两座集中储能站。园区提出在储能站配置虚拟电厂核心调控中心,聚合园区光伏、储能、充换电及冷链负荷,实现源荷储协同调度。

2 研究方法

2.1 园区年用电需求预测方法。物流园区作为典型的产业集聚空间,其用电需求既包括仓储建筑运行所需的基础负荷,也包括新能源物流车辆推广带来的充换电负荷增量。与传统工业园区相比,现代物流园区负荷结构呈现出“仓储运行负荷稳定、补能负荷增长迅速、冷链负荷峰谷差明显”的特征。因此,在开展园区能源规划与光伏自供能力评估时,需要综合考虑建筑用电与

交通补能用电两类主要需求来源。

本研究采用“用地单量法+设施负荷法”的组合方式开展园区年用电需求预测。其中,用地单量法主要用于估算仓储建筑运行用电,设施负荷法主要用于估算超充站等补能设施用电。该方法体系具有参数清晰、工程适用性强、便于规划阶段快速测算等优势,能够满足物流园区能源专项规划的技术需求。

(1) 仓储建筑用电需求测算(用地单量法)。仓储建筑用电需求与建筑面积规模密切相关。物流园区的仓储建筑主要承担货物存储、分拣、装卸、配送等功能,用电负荷以照明、通风、自动化分拣设备及配套办公为主。根据国内物流园区运行经验,普通仓储建筑单位面积年平均电耗一般处于每平方米每年30至50千瓦时区间。考虑南彭物流基地以高标仓储为主、自动化水平逐步提升的趋势,本文取中值40千瓦时/平方米·年作为测算指标。

在规划远景阶段,基地仓储工业用地规模由分区规划明确约10.1平方公里,并预留约2平方公里拓展空间,总规模约12.1平方公里。按容积率1.0折算建筑面积约1210万平方米。由此可推算,仓储建筑年用电需求约为4.84亿度电。这一结果反映了物流枢纽园区作为高强度运营空间,其基础用电规模已进入“亿度电级”。

同时需要指出,物流园区中冷链仓储负荷具有显著特殊性。冷链设施需全年持续制冷运行,单位面积电耗远高于普通仓储,一般可达到每平方米每年120至200千瓦时。若未来冷链仓储占比提升,将进一步推高园区整体用电需求上限。因此,本文在测算中设置了冷链增量区间,以提高预测结果的工程适用性。

(2) 充换电设施用电需求测算(设施负荷法)。随着新能源物流车和新能源重卡加快推广,物流园区充换电设施将成为新增电力负荷的主要来源。规划远景南彭物流基地共布置超充站36座,补能体系规模显著扩大。根据行业运营经验,单座超充站年供电量通常处于300万至500万度区间,具体取决于车辆服务能力、站点利用率及重卡补能需求强度。

本文取中值400万度/站·年进行测算,则园区补能设施年用电需求约为1.44亿度电。该部分负荷具有峰值集中、时段性强的特点,对园区配电网容量、储能调峰能力及虚拟电厂调度提出更高要求。

综合仓储建筑负荷与补能设施负荷,南彭物流基地远景总用电需求约为6.28亿度电/年。若叠加冷链占比提升,园区年用电需求上限可达到8.1亿度电/年。该结果表明,物流枢纽园区能源系统建设必须提前布局新能源供给与调节能力,以保障园区安全稳定运行。

2.2 光伏装机规模与发电能力测算方法。屋顶分布式光伏开发是缓解新能源用地矛盾的重要途径。蔺阿琳在城市太阳能可利用空间评估研究中提出,应结合建筑屋顶形态、遮挡条件与工程约束,科学评估可开发面积,为光伏规划提供空间依据^[6]。本

文参考相关研究成果,取屋顶可开发比例中值30%,以适应高标仓屋顶采光带与设备平台占用的工程实际。此外,园区能源系统的并网与消纳能力需与配电网规划协同。王硕等提出基于网格化的城市智能配电网规划方法,可有效支撑分布式能源接入与负荷协调^[7]。因此,本研究在效益分析中强调储能与虚拟电厂调度的重要性。

(1)屋顶可开发面积估算。屋顶光伏开发并非简单等同于建筑屋顶面积的全覆盖。高标仓屋顶通常设置采光带、排烟口及设备平台,同时需预留消防通道和检修通道,这些工程约束将显著降低实际可铺设光伏组件的面积比例。根据工程经验,高标仓屋顶光伏可开发比例一般处于20%至35%区间。惠婧璇等强调,新能源开发应坚持生态友好与工程安全并重,合理确定开发强度^[1]。

本文取中值30%作为屋顶可开发比例。基地远景建筑面积约1210万平方米,则可用于光伏铺设的屋顶面积约为363万平方米。该面积为规划阶段的可实施资源基础,能够支撑园区形成较大规模的分布式光伏系统。

(2)光伏装机规模折算。在分布式光伏工程设计中,通常按“约1万平方米屋顶可安装1兆瓦装机容量”的经验指标进行快速折算。基于363万平方米可开发屋顶面积,南彭物流基地屋顶光伏装机潜力约为360兆瓦。考虑园区光伏建设需要分阶段推进,并受企业投资意愿、并网条件及配套储能建设进度影响,规划阶段不宜一次性全部开发。本文按50%的阶段性地落地比例测算,则规划可实施装机规模约为180兆瓦。该规模既具有工程可操作性,也能够形成较为显著的新能源供给能力。

(3)年发电能力预测。光伏年发电量取决于装机规模及区域太阳能资源条件。重庆地区属于中等太阳能资源区,年等效利用小时一般在1000至1200小时之间。本文取中值1100小时进行测算。由此,规划光伏系统年发电能力约为2亿度电。这一结果表明,南彭物流基地通过屋顶光伏开发,可形成稳定的清洁能源供给,为园区实现能源自给与低碳转型提供重要支撑。

2.3综合效益评估方法。园区光伏系统的综合效益主要体现在经济效益与环境效益两个方面。经济效益主要来源于自发自用减少外购电量,从而降低企业用电成本;环境效益主要体现在替代化石能源发电,实现碳减排贡献。在经济效益测算方面,本文按工商业电价0.8元/千瓦时进行估算。光伏年发电约2亿度电,可直接节约电费支出约1.6亿元/年。该收益对园区企业降低运营成本、提升绿色竞争力具有显著意义。

在碳减排效益方面,按每度电减排约0.8千克二氧化碳的折算系数,园区光伏系统年减排约16万吨二氧化碳。这不仅有助于园区落实“双碳”目标,也可提升重庆物流枢纽在绿色低碳发展中的示范价值。

3 结果与分析

3.1园区年用电需求预测结果。基于分区规划明确的仓储工业用地规模及远景预留用地,南彭物流基地远期建筑面积约1210万平方米。按普通仓储单位电耗40千瓦时/平方米·年测

算,仓储建筑年用电需求约为4.84亿度电。同时,规划远景超充电站数量达到36座,补能设施年用电需求约为1.44亿度电。

综合测算,园区远期总用电需求约为6.28亿度电/年。若考虑冷链仓储占比提升带来的高电耗增量,则园区年用电需求上限可达8.1亿度电/年。该预测结果表明,物流园区能源系统建设需充分考虑负荷增长趋势,提前布局新能源供给与调节能力。

3.2光伏供能与自供率。规划光伏系统可形成约180兆瓦装机规模,年发电能力约2亿度电。与园区总需求相比,可实现约24%至32%的电量自供,覆盖园区约四分之一至三分之一的能源消费。

这一比例在大型物流枢纽园区中具有较强的工程示范意义。通过屋顶光伏开发,园区能够显著降低对外部电网的依赖,并在日间负荷高峰期形成一定的削峰作用,为储能系统与虚拟电厂调度奠定基础。

3.3经济与低碳效益。规划光伏系统年发电约2亿度电,可节约电费约1.6亿元/年,同时实现年减排约16万吨二氧化碳。惠婧璇等指出,新能源开发应坚持生态友好原则,避免粗放式扩张带来的生态风险^[1]。因此,本研究强调优先利用屋顶资源开展光伏建设,与国土空间用途管制相协调,符合刘明明提出的“立体空间利用与复合开发”方向^[2]。

4 结论

本文研究表明,南彭物流基地通过屋顶光伏开发可实现约24-32%的电量自供,具有显著经济效益与减排效益。研究结论与现有文献关于屋顶光伏立体空间利用的观点一致^[2,6],同时也验证了物流园区作为战略性新兴产业应用场景的重要价值^[4]。未来应进一步结合生态友好型新能源开发要求^[1]、智能配电网规划技术^[7]以及光伏产业空间演化规律^[3],深化园区级“光伏+储能+虚拟电厂”一体化工程应用研究。

【参考文献】

- [1]惠婧璇,崔成,韩雪,等.生态友好型风电光伏发展建议[J].中国能源,2021(7):46-53.
- [2]刘明明.“双碳”目标下可再生能源发展规划实施的用地困境及其纾解[J].中国人口·资源与环境,2022,32(12):21-30.
- [3]练文华,张晓平,吴爱萍,等.中国光伏装备制造空间布局演化及影响因素分析[J].地理研究,2024,43(03):679-700.
- [4]牛立超.战略性新兴产业发展与演进研究[D].首都经济贸易大学,2011.
- [5]李卓.新型城镇化背景下西安地区特色小镇发展策略研究[D].西安建筑科技大学,2018.
- [6]蔺阿琳.城市太阳能可利用空间评估与规划研究[D].哈尔滨工业大学,2020.
- [7]王硕,赵杰,刘国平,等.基于网格化的城市智能配电网规划研究[J].东北电力技术,2016,37(04):56-59.

作者简介:

赖天为(1991--),女,汉族,重庆人,本科,中级工程师,研究方向:国土空间规划。