

基于多场景需求的厂区高效光伏发电系统集成关键技术

李勇, 张军, 连昕宇

大唐陕西发电有限公司延安热电厂, 陕西 延安 716000

DOI:10.61369/EPTSM.2025120003

摘要: 伴随着全球清洁能源转型的持续推进以及“双碳”目标逐步实现, 厂区作为工业能源消耗的主要场所, 一方面存在着传统化石能源依赖所造成的高运营成本、高碳排放的难题, 另一方面由于各个功能区生产工艺、运行时段的不同, 呈现出明显的多场景差异化用能需求, 单一的光伏配置不适合于适配不同负载波动、空间限制, 不能实现高效利用。对厂区高效光伏发电系统集成关键技术应用意义和要点加以研究, 期望可以提升发电效能, 稳固供电情况, 削减运营成本以及碳排放, 为厂区能源结构优化带来一些参考。

关键词: 多场景需求; 厂区; 光伏发电系统

Key Technologies of High-efficiency Photovoltaic Power Generation System Integration Based on Multi-scenario Requirements

Li Yong, Zhang Jun, Lian Xinyu

Datang Shaanxi Power Generation Co., Ltd. Yan 'an Thermal Power Plant,
Yan 'an , Shaanxi 716000

Abstract: As the global clean energy transition progresses and the "dual carbon" goals are gradually achieved, industrial plants—being primary energy consumption hubs—face dual challenges. Traditional fossil fuel dependence results in high operational costs and carbon emissions, while distinct production processes across functional zones create diverse energy demands. Single photovoltaic configurations prove inadequate for accommodating load fluctuations and spatial constraints, leading to inefficient utilization. This study investigates key technologies for integrated high-efficiency photovoltaic systems in industrial plants, aiming to enhance power generation efficiency, stabilize power supply, reduce operational costs and carbon emissions, and provide insights for optimizing plant energy structures.

Keywords: multi-scenario demand; plant area; photovoltaic power generation system

引言

在全球大力推动清洁能源转型的形势下, 光伏发电受到了诸多关注并得以广泛应用。多场景需求指厂区内不同功能区域因生产工艺、运行时段、负荷特性形成的差异化的用能需求, 厂区光伏发电系统是适应工业负荷特性的分布式能源供应单元, 系统集成则是通过技术手段实现各个组件和场景需求的有机融合。厂区作为能源消耗的主要场所, 传统化石能源的依赖会增加运营成本, 也加大了环境压力。光伏系统应用可以缓解该问题, 但是厂区多场景负荷波动、空间限制等因素, 使得单一光伏配置不能满足高效运行的要求。集成技术破解场景适配难题, 发电效能和稳定性得到提升, 厂区能源结构改善、碳排放下降的意义重大, 也为工业领域清洁能源替代出了一种可能的途径。

一、光伏发电系统概述

光伏发电系统 (photovoltaic generation system), 简称光伏 (photovoltaic), 是指利用光伏电池的光生伏特效应, 将太阳辐射能直接转换成电能的发电系统, 由太阳能电池组件 (方阵)、

控制器、储能蓄电池 (组)、直流/交流逆变器等部分组成, 可用于边远无电地区的生活供电, 也广泛用于交通、通信石油、海洋、气象、航天等领域。光伏发电系统分为独立光伏发电系统和光伏发电并网系统, 核心部件是太阳能电池组件, 具有可靠性高, 使用寿命长, 不污染环境, 既能独立发电又能并网运行等特点。

二、基于多场景需求的厂区高效光伏发电系统集成技术应用意义

（一）适配负荷波动，保障能源供应稳定性

厂区各个场所的用电负荷存在着较大差异，生产车间因为生产班次的安排出现日间高峰和夜间低谷，办公区域的负荷集中在工作时间，仓储及辅助设施需要持续低负荷供电^[1]。传统独立光伏系统，由于光伏输出受光照的影响较大，很难与多场景负荷变化相匹配，易出现供电不足或者盈余浪费的情况。集成技术用负荷预测、智能调控、储能这些手段，将光伏输出和多场景负荷动态匹配起来。负荷高峰时段，系统协调调用光伏发电和储能释放的电能，弥补供电缺口；负荷低谷时段，将盈余的光伏电力储存在储能系统中，避免弃光损失。适配性调整提高了厂区能源供应的连续性、稳定性，减少由于供电不稳定造成的生产流程的干扰，为厂区连续生产提供可靠的能源保障。

（二）优化能源结构，降低运营成本压力

工业生产是能源消耗的主要领域，厂区运营中能源成本占比较高，传统以化石能源为主的能源结构易受国际能源价格波动的影响，为企业带来较大的成本压力^[2]。根据不同场景的特点实现光伏能源精准分配和高效利用，以达到最大程度替代化石能源消耗的目的。通过集成设计将光伏系统与各个场景用电设备充分融合，实现“发自自用”为主的方式，减少从电网购电，直接降低电费。在系统集成阶段对光伏组件、储能设备和控制装置进行统筹规划、合理配置，可以防止单一设备重复建设造成资源浪费，提高设备的利用效率。光伏能源的清洁性能够帮助企业减少碳排放相关的费用，例如碳交易费用等，从多方面减轻企业的运营成本压力。

（三）提升电网适配性，助力能源协同调度

厂区属于电网的重要用电终端，其用电负荷的波动性会对电网的稳定运行造成一定的冲击，传统光伏系统并网运行时，输出的间歇性也会加大电网负荷的波动。多场景集成技术是以构建厂区内微电网系统为目的，实现光伏能源内部消化、合理调配的一种方式，进而减少对公共电网的直接冲击。集成系统中设置智能调度模块，可对各个场景的负荷以及光伏输出状态实施实时监测，并且与电网调度系统展开信息交流，在保证厂区内用能需求的基础上，恰当调节并网功率。电网负荷紧张的时候，系统优先保证厂区内部的用能，减少并网功率，在电网能够接纳电力时，将剩余电能平稳并入电网。协同调度能力既可以提高厂区光伏系统对电网的适应性，又可以为电网削峰填谷提供支持，促进源网荷储协同发展。

（四）推动产业升级，践行绿色发展理念

在“双碳”目标引领下，工业领域绿色转型已经成为必然趋势，厂区能源系统清洁化升级是产业转型的重要内容。根据多场景需求的光伏集成技术，对厂区闲置的屋顶、停车场顶棚等进行高效利用，实现清洁能源就地生产，就地使用，减少化石能源燃烧造成的碳排放和环境污染。系统集成过程中用到的智能控制、储能管理等技术，可以促进厂区能源管理模式从传统粗放式向精

细化、智能化转变，提高企业的能源管理水平^[3]。光伏集成系统的建设与运营可以促进光伏组件制造、储能设备研发、智能控制技术等一系列产业链的发展。企业利用该集成技术不仅可以提高自身绿色形象，也可以为行业内其他厂区提供一个可以借鉴的转型经验，从而推进整个工业领域绿色发展理念。

三、基于多场景需求的厂区高效光伏发电系统集成关键技术

（一）多场景适配性光伏组件选型与布局设计技术

多场景适配性设计是保证厂区光伏系统正常工作的基础，核心就是根据不同的场景空间条件、光照特征、负荷需求，选择合适的组件并进行布局。组件选择要根据效率以及环境适应性来决定，屋顶、开阔场地等不同的安装地点选择不一样的产品^[4]。屋顶场景承重有限，采用轻质高效的单晶组件620Wp级单晶组件，功率密度高，在相同面积基础上提高装机量；开阔场地无承重要求，采用大功率组件降低单位装机成本。布局设计要遵照场景光照规律、建筑结构来分区域。对生产车间的屋顶，沿屋顶坡度平行布置，不遮挡；对停车场顶棚，采用“光伏+停车”一体化设计，组件倾角取当地最佳倾角，提高采光效率。对于部分场景出现的局部遮挡问题，采用串并联优化和MPPT分区控制相结合的方式，将光伏方阵分成多个独立单元，每个单元配置一个独立的MPPT控制器，当某个单元被遮挡时，不会影响其他单元的工作。通过这项技术可以使不同的光伏组件发电效率达到设计值的较高水平，为系统整体高效运行打下基础^[5]。

（二）多源协同智能控制技术

多源协同智能控制技术是光伏系统与厂区多场景负荷精准匹配的关键，利用感知、决策、调节三个层次，将光伏发电、储能系统、各场景负荷信息整合，实现全局优化。感知层主要是采用不同传感器对光伏组件输出功率、储能的SOC（State of Charge）和各场景用电负荷进行实时采集，数据传输采用工业通信协议保证实时和可靠。决策层依靠获取的实时数据以及历史负荷曲线，用LSTM神经网络搭建负荷预测模型，提前24小时预估各个场景的负荷变动趋向，融合天气预报信息来预估光伏的输出功率^[6]。调控层按照决策结果实行具体的控制策略，采取分层控制的方式，站级层面接受电网调度指令、制订整体的功率分配方案，舱级层面根据各个场景负荷需求分配光伏与储能出力比，设备级层面控制逆变器、储能充放电模块等设备即时响应。当生产车间出现突发负荷上升的时候，系统可以在短时间之内调节储能放电功率来补充光伏供电的不足；而当办公区域的负载下降时，则及时将多余的光伏电力存储进储能系统，保障供电稳定性。

（三）高密度预制舱式集成技术

高密度预制舱式集成技术采用模块化设计，将光伏系统主要设备集成在一起，克服传统厂区光伏系统建设工期长、占地多、运维难的弊端。以标准集装箱为载体，根据厂区不同场景的装机容量需求，选用20英尺或者40英尺的预制舱，在工厂内完成逆变器、储能电池、配电柜、智能控制系统等设备的集成安装和预

调试,现场只需完成电缆连接和固定就可以投入使用^[7]。舱体内部分为三层,能量转换层装有碳化硅逆变器,开关损耗小、效率高,电能分配层用环氧树脂浇注母线,减少线缆损耗,智能控制层装有PLC控制柜和数据采集单元,实现集中控制。舱体上装有完备的环境适应性保障系统,采取空调、热管、风扇三者结合的温控方式,维持舱内温度在适宜范围内,保证设备的稳定运行,防护等级为IP65,可以适应厂区粉尘多、湿度大等恶劣的环境^[8]。在某厂区的案例中发现,采用此技术以后,系统建设周期比传统方案缩短了很多,单位面积装机容量明显提高,故障处理时间缩短到15分钟以内,提高系统建设和运维效率。

(四) 高效储能系统集成与管理技术

高效储能系统集成与管理技术是光伏间歇性、多场景负荷波动性的重要支撑,储能系统和光伏、负荷深度融合,实现电能的时空转移、优化配置。储能系统选型要适配厂区多场景需求,采用锂电池加超级电容的混合储能结构,锂电池负责长时间、大容量的电能存储,100kW/200kWh级储能装置可以满足大多数厂区的储能需求,超级电容利用充放电速度快的特点,平抑光伏输出与负荷波动的短时冲击。集成设计采取“光储一体化”的方式,将储能系统同光伏逆变器、控制器等设备的控制联合起来,达成充放电策略的自动改进。管理技术核心就是按照SOC(电池剩余电量占比)情况来智能地控制充放电,用BMS(电池管理系统)实时监测每一节电池的电压、温度等参数,防止过充过放,延长电池寿命,锂电池循环寿命可达3000次以上。根据各个场景的负荷特征制定不同的策略,在生产车间日间负荷高峰时,储能系统先放电保证供电;夜间负荷低谷时,使用光伏盈余电力或电网谷电充电;办公区域按照工作时段调节充放电节奏,保证工作时间储能处于高SOC状态^[9]。这种技术有效提升光伏电能的利用率,减少弃光损失与电网购电成本。

(五) 复杂环境适应性防护与运维技术

复杂环境适应性防护与运维技术针对厂区粉尘、高温、机械

振动等复杂环境,采用防护设计和智能运维保障系统来保证系统长期稳定运行。防护技术采取分级防护策略,设备级上光伏组件用防腐蚀、防冲击的钢化玻璃盖板,边框用防腐蚀的铝合金材质并做防腐处理;预制舱体用双层保温结构,内层为岩棉保温层,外层为防腐钢板,耐火极限达到2小时以上,并装有脉冲式自清洁滤网,当粉尘浓度超标时自动启动反吹清洁^[10]。从系统级上做防凝露设计,采用湿度传感器和除湿装置联动的方式,使舱内湿度控制在50%RH以下,防止设备受潮。智能运维技术以数字化理念为基础,在云端建立系统虚拟模型,依靠500余个传感器实时采集设备运行数据,达到物理系统与虚拟模型的同步映射。利用AI算法对运行数据进行分析,实现故障预测和预警;配备AR远程运维系统,运维人员通过AR眼镜可以查看设备实时数据和故障位置,远程指导现场维护。这种方式降低了复杂环境为系统带来的影响,平均故障停机时间处于较低水平,提高系统的运维效率和可靠性。

四、结束语

厂区高效光伏发电系统多种场景的整合,是清洁能源在工业领域深度利用的重要方式,技术发展和推广符合全球能源转型和工业绿色升级双方面的需求,其改变了传统光伏系统场景适应性差、效率低、不能精准对接能源供应和用电需求的现状。针对行业发展而言,随着技术不断更新,光伏系统与厂区生产流程的融合度会越来越紧密,智能化、集成化的程度也会不断提高,未来需要进一步增强技术创新与场景应用相互配合的能力,促成技术标准体系的健全,让厂区转变为能源生产消费端,为达成“双碳”目的提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李晓野.光伏发电系统现场调试技术研究[J].2025(15):1-3.
- [2] 陈骏,于国清,陈天康.光伏发电特性与加热电阻的关系研究[J].建模与仿真,2025,14(10):9.
- [3] 孙东阳,申文强,周凯,等.电网次同步振荡对光伏发电系统的影响分析及抑制策略研究[J].中国电机工程学报,2024,44(23):9262-9274.
- [4] 魏良如,光超,丁鹏.新能源风力光伏发电系统的集成优化及电力生产效率评估[J].现代建筑工程技术,2024,1(1):64-66.
- [5] 李春玲.分布式光伏发电系统中的电池储能技术优化分析[J].微型计算机,2024(1):106-108.
- [6] 王光明,谷礼君,王陆加.新能源光伏发电系统技术分析[J].Mechanical & Electronic Control Engineering,2024,6(3).
- [7] 魏芳宜,李艳,田野,等.应用于光伏发电系统的高效双路径变换器研究[J].太阳能学报,2024,45(4):468-474.
- [8] 张鹏,桂思睿.光伏发电系统故障诊断与远程监控技术创新研究[J].产业科技创新,2024,6(5):37-40.
- [9] 李志文,吴龙,程志平,等.参与微电网频率调节的光伏发电系统模糊自适应功率控制[J].电机与控制学报,2023,27(9):126-138.
- [10] 刘可真,陈雪鸥,陈镭丹,等.光伏发电系统动态离散等值模型研究[J].上海交通大学学报,2023,57(4):412-421.