

园区型智能微网综合能源系统规划与效益分析

李虹苇

华电四川发电有限公司瓦屋山分公司 四川 成都 620365

摘要:为解决园区用能结构单一、能耗波动大、新能源消纳率低等问题,本文立足园区用能特性,构建含风光分布式电源、储能及智能调控的综合能源系统。通过搭建多目标优化模型,完成设备容量优化配置与并网、孤岛双模式运行策略设计。从经济、节能、环保、可靠性及社会维度开展综合效益分析,结果表明该系统可有效提升能源利用率、降低用能成本与碳排放,为园区能源低碳转型提供可行方案。

关键词: 园区型; 智能微网; 综合能源系统; 规划; 效益

引言:双碳目标下,园区传统供能模式存在能耗高、稳定性差、资源利用率低等短板,难以适配多元化、智能化用能需求。智能微网综合能源系统凭借多能互补、灵活调度的优势,成为园区能源升级的核心路径。本文结合园区冷热电负荷时序波动特征,开展系统架构规划、设备优化配置与运行策略设计,全方位量化系统综合效益,旨在为同类园区能源系统建设与优化提供理论支撑与实践参考。

1 园区智能微网综合能源系统基础理论与模型

1.1 智能微网综合能源系统核心概述

(1) 系统定义与组成:园区智能微网综合能源系统是适配园区场景的一体化能源供给体系,核心由风光分布式电源、储能系统、多元负荷系统、能源调度控制系统及并网/孤岛运行模块五大核心部分构成,可实现多类型能源的生产、存储、消耗与智能调控。(2) 系统运行模式:系统包含并网与孤岛两种核心运行模式。并网模式下,微网与公共电网双向交互,可余电上网、缺电补网,适配日常常态化用能场景;孤岛模式可脱离公共电网独立运行,多用于电网故障、极端天气等应急场景,保障园区关键负荷稳定供能。(3) 园区型系统特征:相较于普通微网,园区系统具备鲜明场景特性,呈现负荷集中化、用能类型多元化特点,涵盖生产、办公、生活等多类负荷;同时能源供需时序波动显著,且可实现多设备、多能源的规模化集成,对调度优化精度要求更高。

1.2 核心设备数学模型构建

(1) 分布式电源模型:依托光照强度、风速等环境参数,搭建光伏发电、风力发电出力数学模型,量化新能源出力随机性、波动性特征,精准拟合不同工况下的设备出力规律。(2) 储能系统模型:基于电池工作原理,构建储能充放电动态特性模型,设定充放电功率、剩余容量约束,同时引入寿命损耗计算公式,兼顾储能

运行效率与服役周期特性。(3) 辅助供能设备模型:建立微型燃气轮机、热泵设备的能耗-出力耦合数学模型,刻画设备能源转换特性,明确不同运行参数下的能耗水平与供能能力,完善系统供能模型体系^[1]。

1.3 综合能源系统规划与优化理论

(1) 多能互补协同原理:依托电、热、冷、储多能源耦合机制,打破单一能源供给壁垒,通过各类能源设备协同运行,平抑新能源出力波动,提升能源综合利用效率。(2) 多目标优化理论:以园区用能需求为核心,构建兼顾运行经济性、能源节能性、环境环保性的多目标优化体系,明确各目标权重与计算方法,实现综合效益最优。(3) 约束条件理论:建立完整系统约束体系,涵盖设备容量上限、实时功率平衡、电网交互限额、储能安全运行等多重约束,保障系统优化运行的安全性与稳定性。

2 园区负荷特性分析与系统规划方案设计

2.1 园区负荷调研与特性分析

(1) 园区基础概况:本文研究园区具备综合化功能定位,入驻主体涵盖办公、配套服务及小型产业主体,用地规模集中,整体用能需求呈现复合型特征。相较于单一功能区域,园区用能需求复杂,昼夜、季节用能差异明显,对能源供应的稳定性与灵活性具备较高要求,是综合能源系统规划的基础依据。(2) 冷热电负荷数据分析:依托园区实测运行数据,对冷、热、电三类负荷开展时序统计分析。日负荷呈现早晚高峰、午夜间低谷的变化规律;月负荷随月份气温、生产办公节奏波动显著;季负荷差异特征突出,夏季冷负荷、冬季热负荷需求量大,春秋季节负荷相对平稳,整体时序变化规律清晰且具备较强规律性^[2]。(3) 负荷特性总结:结合实测数据可明确园区负荷核心特征,用电、用能峰谷时段划分清晰,负荷波动幅度受季节与作息影响较大。同时园

区负荷可划分为刚性负荷与柔性负荷,刚性负荷保障基础运行,占比相对稳定,柔性负荷具备可调、可转移特性,为后续系统调度优化、负荷调控提供了可调空间。

2.2 系统整体架构规划

(1) 多能供给架构:构建多源协同的能源供给架构,整合光伏、风电等分布式新能源、微型燃气轮机等传统辅助能源及公共电网购电渠道。各类能源优势互补,新能源优先利用,辅助能源弥补新能源出力缺口,公共电网作为兜底保障,形成多层次、多元化的能源供给体系。(2) 能源存储与调配架构:结合园区负荷波动特性,合理开展储能系统容量配置,依据园区功能分区完成储能设备分区布局。搭建标准化储能调度架构,实现储能充放电的精细化管控,平抑能源供需波动,提升能源消纳率与系统供能稳定性。(3) 智能管控架构:搭建一体化智能能源管控体系,包含能源管理平台、数据采集模块、智能调度模块与安全监控模块。可实时采集负荷、设备出力、电网交互等数据,依托数据实现自动化调度,同时实时监控运行状态,规避运行故障风险。

2.3 设备容量优化配置

(1) 配置原则:设备容量配置严格遵循因地制宜、供需匹配、经济高效、安全可靠的核心准则。结合园区负荷特性与场地条件适配设备类型,贴合负荷供需规律配置容量,兼顾运行经济性与系统运行安全,保障系统长期稳定高效运行。(2) 多目标优化配置模型:以系统综合效益最优为核心,构建多目标优化模型,分别以运行总成本最低、能源消耗总量最低、碳排放总量最少为优化目标,结合园区用能实际,整合各类目标权重,平衡经济、节能、环保三方效益。(3) 模型求解与方案确定:采用智能优化算法对多目标模型进行迭代求解,规避单一求解算法的局限性,结合设备运行约束、负荷供需约束筛选最优解,最终确定各类供能、储能设备的最优容量配置方案。

2.4 系统运行策略规划

(1) 并网运行策略:并网工况下执行新能源优先消纳策略,最大限度利用分布式清洁能源。依托电网峰谷电价差异实施峰谷套利,优化电网功率交互模式,合理控制微网与公共电网的电能双向流动,降低运行成本。(2) 孤岛运行策略:脱离电网孤岛运行时,对园区负荷进行分级分类,优先保障重要刚性负荷供电。以储能系统为应急兜底,协同辅助供能设备实时调控,维持系统冷热电供需动态平衡,保障园区基础用能稳定。(3) 多场景协同调度策略:针对夏、冬、春秋不同季节,以及高峰、低谷、平段等不同负荷工况,制定动态协同调度

方案。根据新能源出力与负荷变化实时调整设备运行状态,实现多场景下系统高效、稳定、低碳运行。

3 园区智能微网综合能源系统效益分析

3.1 效益评价指标体系构建

(1) 指标构建原则:为保障效益评价结果客观准确、贴合园区实际,本次指标体系构建严格遵循四大核心原则。科学性原则依托能源行业理论与标准选取指标,保证评价依据严谨规范;系统性原则兼顾系统全维度效益,实现多层面指标全覆盖;可量化原则选用可通过数据计算、统计分析的指标,规避主观模糊性指标;场景适配性原则结合园区负荷特性、运行模式与用能特点,定制适配园区型微网系统的评价体系,贴合实际工程应用场景。(2) 多维指标体系:基于系统运行特性与评价需求,搭建四维一体化效益评价指标体系,涵盖经济、节能、环保、可靠性四大核心维度。经济效益聚焦系统投入产出与运营收益,反映系统经济价值;节能效益侧重能源利用效率与能耗节约水平,体现能源优化价值;环保效益围绕污染物减排与低碳转型,衡量绿色生态价值;可靠性效益针对供电稳定性与应急保障能力,体现系统安全运行价值,多维度全面覆盖系统综合运行价值^[3]。(3) 指标量化方法:为实现评价结果精准可控,明确各维度指标的量化标准。依托设备参数、运行实测数据、行业规范公式作为核心计算依据,统一指标统计口径与计算周期。同时明确各类指标的数据来源,包括园区运行监测平台、设备台账数据、行业统计标准及政策文件,建立标准化量化流程,保障各项指标数据真实、结果可比、评价规范。

3.2 经济效益分析

(1) 成本测算:系统全生命周期成本包含四类核心费用,实现全方位成本核算。初始投资成本涵盖分布式电源、储能设备、管控平台等设备采购、安装与施工费用;设备运维成本为系统日常巡检、设备维修、零部件更换产生的年度费用;电网购电成本为负荷高峰期、新能源出力不足时向公共电网购电产生的费用;折旧成本按照设备服役年限,对各类供能、储能设备进行年均折旧核算,完善全周期成本体系。(2) 收益测算:系统运行收益来源多元,具备稳定的盈利空间。新能源发电收益为园区分布式风光设备自发自用、余电上网产生的电能收益;峰谷套利收益依托电网峰谷电价差,通过储能移峰填谷、错峰购售电获取差额收益;节能降耗收益源于多能互补优化运行,降低传统能源消耗产生的节约效益;政策补贴收益包含新能源发电、节能改造、低碳园区建设等相关专项补贴,全方位提升系统经济收益。

(3) 经济指标评价: 为科学评判系统经济可行性, 选取行业通用核心经济指标开展评价。通过测算静态与动态投资回收期, 判断系统投资回本周期与投资价值; 采用净现值指标评估系统全生命周期净收益水平, 衡量绝对经济效益; 依托内部收益率反映系统资金盈利效率, 综合判定项目投资合理性, 验证系统具备良好的经济运营价值^[4]。

3.3 节能与环保效益分析

(1) 节能效益: 从能源利用全过程开展节能效益量化分析, 通过统计新能源消纳率, 体现清洁能源就地利用水平, 有效减少新能源弃风弃光问题; 依托综合能源利用率指标, 衡量冷热电多能耦合协同的能源转化效率, 相较于传统单一供能模式大幅降低能源损耗; 同时核算系统运行后传统化石能源的年度节约量, 直观体现系统的节能优化成效, 凸显多能系统的节能优势。(2) 环保效益: 基于传统供能模式污染物排放系数, 核算本系统运行后的减排成效。精准测算年度二氧化碳、硫化物、氮氧化物等大气污染物的减排总量, 有效降低园区温室气体与有害气体排放。园区综合能源系统以清洁能源替代传统化石能源, 从源头减少污染排放, 改善区域生态环境, 契合低碳园区、绿色能源的发展建设目标, 具备显著的生态环保价值^[5]。(3) 资源利用效益: 系统通过规模化整合可再生能源, 大幅提升可再生能源替代率, 减少传统化石能源依赖。同时依托一体化集成规划模式, 实现各类能源设备集约化布局, 避免设备重复建设, 节约园区土地资源与设备资源。通过能源统一调度与优化配置, 最大化挖掘设备运行潜力, 提升能源、土地、设备各类资源的综合利用效率, 实现资源集约高效利用。

3.4 社会效益与运行可靠性效益分析

(1) 社会效益: 系统的落地应用具备良好的行业与区域社会效益。一方面, 推动园区传统供能模式转型升级, 构建清洁、高效、智能的新型能源体系, 助力区域双碳目标落地; 另一方面, 打造园区新能源规模化应用示范样板, 为同类产业园区能源改造提供参考案例。同

时可带动区域绿色能源、智能管控相关产业发展, 促进区域能源产业结构优化升级, 具备良好的示范与推广价值。(2) 可靠性效益: 相较于传统电网单一供能模式, 智能微网系统可显著提升供能可靠性。通过多源供能互补、储能应急兜底, 有效提升园区供电可靠性, 降低停电故障发生率。在电网故障、极端天气等特殊场景下, 依托孤岛运行模式实现关键负荷应急供电, 强化园区故障应急保障能力。同时通过智能调度平抑负荷波动, 优化供能稳定性, 大幅降低负荷供能中断风险。(3) 综合对比分析: 通过与传统单一电网供能模式开展多维对比, 总结系统综合优势。传统供能模式存在能耗高、污染大、供电稳定性差、资源利用率低等问题, 而本次设计的综合能源系统, 在经济性、节能性、环保性、供能可靠性及社会效益上均具备显著优势, 可实现能源高效利用、低碳运行、稳定供能与长效收益, 综合应用价值远超传统供能模式。

结束语

本文完成了园区智能微网综合能源系统的规划设计与多维效益分析, 构建了完善的系统模型与优化体系, 验证了系统在经济、节能、环保等方面的显著优势。该系统可实现新能源高效消纳与供能稳定保障, 有效破解传统园区用能痛点。未来可结合实时负荷数据优化动态调度算法, 进一步提升系统适配性, 助力园区构建清洁、高效、安全的新型智慧能源体系。

参考文献

- [1] 陈启鑫, 王秀丽, 胡博. 含高比例可再生能源的多园区能源系统协同调度[J]. 电网技术, 2022, 46(5): 171-173.
- [2] 丁明, 张晶晶, 毕锐. 基于模型预测控制的园区综合能源系统优化运行[J]. 电工技术学报, 2021, 35(16): 345-347.
- [3] 王锡凡, 刘林, 崔明建. 多园区综合能源系统协同优化规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2022, 40(12): 371-379.
- [4] 张磊, 王强. 工业园区综合能源系统规划与优化运行研究[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(12): 110-118.
- [5] 张明, 李伟. 工业园区综合能源系统多维度效益评估与实践[J]. 电力建设, 2024, 45(4): 89-96.