

面向园区的综合能源服务探究

孟新涵

(国网徐州供电公司, 江苏 徐州 221000)

摘要: 开展综合能源服务, 符合国家倡导的节能、清洁和高效的能源发展战略。然而, 目前对综合能源服务的研究与实践多集中在高耗能企业、公共建筑、商业建筑和办公建筑等领域。针对园区能源结构体系的特点, 结合近年来综合能源服务的研究成果, 分析当前园区中能源体系存在的问题, 提出了一种面向园区的综合能源服务解决方案。采用提高能源利用效率、建立智慧能源监控系统和制定事故应急处理措施等方式, 以徐州凤凰湾电子信息产业园为例, 对园区综合能源服务的实际应用效果展开讨论。结果表明, 面向园区的综合能源服务模式可以为园区提供稳定可靠的能源供应, 降低园区能源系统开支, 具有良好的经济效益与社会效益。

关键词: 园区; 综合能源; 能效提升; 能源管理; 电能替代

Research on comprehensive energy service for the industrial parks

MENG Xinhan

(State Grid Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221000, China)

Abstract: Developing integrated energy service business is in line with the energy saving, clean and efficient development strategy advocated by the state. However, the research and practice of integrated energy services are mainly focused on high energy-consuming enterprises, large public buildings, business, office and other fields. Aiming at the characteristics of energy structure, combining with the results of integrated energy service in recent years, analyzing the problems existing in the energy system in the industrial parks, this paper proposes an integrated energy service for the industrial parks. The practical application effect of integrated energy service in the park is discussed, bying improving the efficiency of energy utilization, establishing the wisdom energy monitoring system, formulating emergency measures, using the xuzhou phoenix bay electronic information industrial park as an example. The results show that the integrated energy service model for the industrial parks can provide stable and reliable energy supply for the industrial parks, reduce the cost of campus energy system, and have good economic and social effects.

Key words: industrial parks; integrated energy; energy internet; energy management; electrical energy alternative

0 引言

能源是现代社会赖以生存和发展的基础^[1-2]。推进综合能源服务业务, 构建以电为中心的清洁

能源供应体系, 开展需求侧用能优化服务, 能够充分发挥电网企业作为清洁能源配置基础平台的作用, 促进全社会实现节能减排, 是对国家能源

发展战略与能源革命的积极响应^[3-4]。全面推进实现“碳达峰、碳中和”目标，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，纵深推进电力市场化改革，切实保障电力供需平衡，赋予电网企业节能提效工作更重要的战略意义。

目前，国外对综合能源服务的研究起步较早，其研究成果旨在为客户提供高效、经济的能源供应方案^[5]。我国对综合能源服务的研究与实践尚处于发展阶段，相关综合能源项目的数量与质量正稳步上升，对于综合能源服务的研究也日渐深入。

现阶段，对于综合能源服务的研究方向多偏向于能耗较高的大型企业、公共建筑等，针对园区的综合能源服务着重解决园区内能源系统协调性、整体利用效率和生态环境影响等的主要问题^[6-7]。园区用能具有产业项目集中、能源消耗大和管控

难度高等特点。针对园区普遍存在的用能组合、能效提升和监控管理等方面^[8]，本文以徐州凤凰湾电子信息产业园为实例，提出了面向园区的综合能源服务模式。

1 园区能源体系特点及存在的问题

园区的特点是占地面积大、建筑物种类多和能源消耗量大。目前部分园区存在能源管理不到位、设备能耗高和能源浪费严重等现象^[9]。园区的用能情况主要包括电力、冷热和供暖等。其中，电力负荷主要由公用电网、光伏或风力发电等供应；冷热负荷主要由太阳能、热泵、中央空调系统、多联机、单体空调器和吸收式制冷机组等供应；供暖负荷主要由市政供热、热泵、空调器、燃气和电热锅炉等供应。园区能源系统结构如图1所示^[10]。

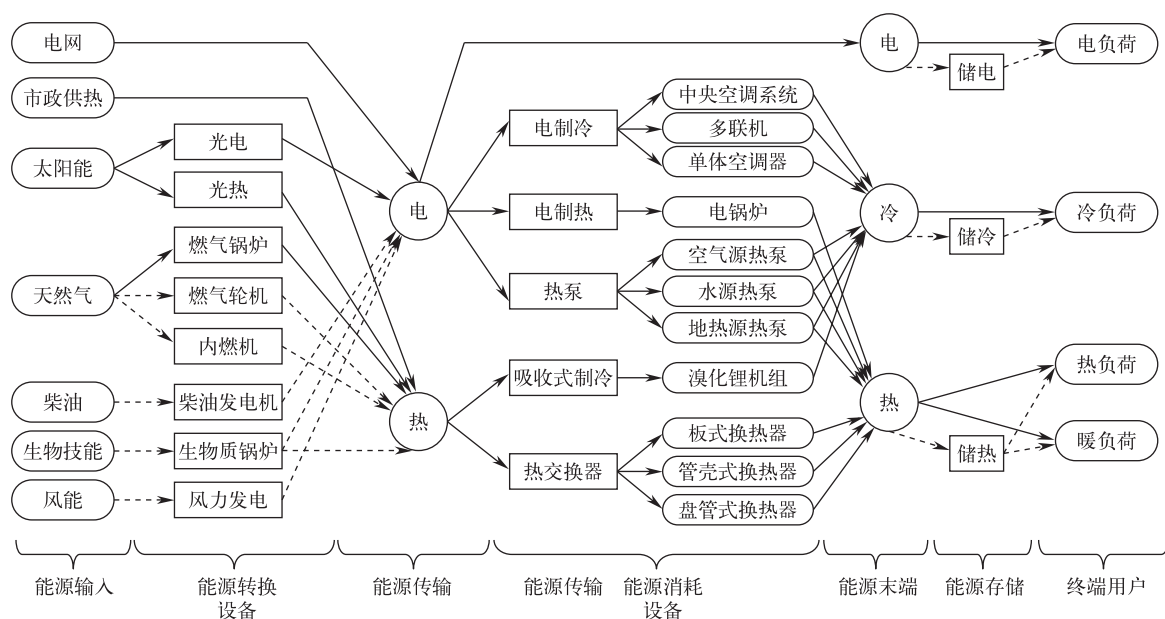


图1 园区能源系统结构示意图

Fig. 1 Diagram of campus energy system structure

当前园区能源供应体系依然存在较多的问题：清洁能源发电占比不高，建设太阳能、风力发电等分布式系统存在本地资源禀赋缺陷、场地不足等问题；能效水平有待进一步提高，部分设备自身能效水平及排放标准无法满足目前节能增效的发展需要，综合能源的耦合利用方面的技术

能力不足；综合能源数字化管理不足，鲜有园区针对能源消耗数据的评估预测、水/电/气/热的网络分析和能源的经济优化分析等方面开展数字化建设；缺少政策方面的激励与保护，针对园区开展综合能源服务，尚缺乏有效的激励机制与考核机制^[11]。

2 面向园区的综合能源服务解决方案

园区综合能源服务解决方案，目的是通过优化调整冷源、热源、电源和气源等能源在生产、传输、存储和消费各环节的效率，实现各种能源的梯级利用和相互补充，提高系统整体的用能效率。采用智慧化的用能管理系统，对能源系统采用分散控制和集中管理，满足分布式能源和可再生能源的高比例接入要求，实现最优调度。通过精密的传感器和数据采集设备，实时掌握能源消费数据，制定能效提升措施方案。通过优化能源调度和供需平衡，有效地减少能源浪费，打造绿色、节能的园区能源供给模式，在绿色生态、能源综合利用、能效提升和技术革新等方面形成示范效应。

2.1 提高能源利用效率

2.1.1 高效的能源生产设备

(1) 热源建设

冬季采暖部分可根据所提供的热源类型分为燃煤、燃油、燃气和电力等主要类别。由于燃煤具有固体颗粒烟尘和 SO_2 污染，城市燃煤锅炉应满足环保要求^[12]。从目前的热源来看，电力没有废水、废气和废渣，没有明火，也没有必要设置煤炭或油气储存场所，属于清洁能源，对防火、环保等没有特殊要求，作为电气设备可以是全自动运行，减少人为操作和管理难度。

空气源热泵是热泵技术的一种，通过少量电能驱动压缩机运转，实现能量的转移^[13]。电锅炉可以利用峰谷电价政策，采用蓄热方式实现削峰填谷，提高发电设备的利用率，减少运行费用。因此，我国正在推广使用该项节能、无污染技术，出台了许多优惠政策。

园区供暖应综合考虑多种采暖系统优缺点，综合利用、优势互补，建设综合能源站，充分发挥电能作为各类能源自由转换介质的优势，坚持以电力为中心，融入多能源系统，抓住能源互联网核心要素，采用能源梯级利用与循环利用相结合的供给方式，提升综合能效水平，同时减少客户初始投资成本及运营成本。

(2) 冷源建设

常见的夏季冷源形式主要有电制冷水冷冷水机组系统、冰蓄冷空调系统、VRV机组系统、风冷热泵系统和溴化锂机组系统等。辩证考虑多种冷源的优缺点，综合利用、优势互补，通过综合能源站为园区内各企业、综合办公楼供给冷源。

水冷冷水机组系统特点：水冷冷水机组使用电力作为动力源，制冷剂蒸发并吸收蒸发器中载冷剂的热量进行冷却。膨胀阀被节流到蒸发器中进行循环利用^[14]。水冷冷水机组为园区提供冷源，具有较高的能效比（一般 $\text{COP}>4$ ），同时具有设备安装灵活、控制策略简单等优点。

蓄冷系统特点：蓄冷中央空调系统在夜间使用低成本的电力开主机制冷，将水制成冰或冷水储存在保温罐中，在白天的高峰时段释放冷量以满足冷却需求。其运动设备均采用与常规电制冷相同的配套设备，而蓄能装置为非运动设备，不会出现运转故障。因此，空调系统的可靠性与传统的电制冷相同，主要取决于制冷主机、水泵和冷却塔等运动设备的性能。

(3) 分布式光伏发电系统

分布式光伏发电是指在用电户所在场地或附近建设运行，所发电量就近消纳的光伏发电形式。根据发电量消纳对象不同，主要分为“自发自用”“自发自用、余电上网”和“全额上网”三种类型。分布式光伏充分利用闲置屋顶资源，既提高了太阳能资源利用率，又避免了传统的高电压长距离传输模式下高损耗的问题。光伏所发电能既可以给用户负荷供电，也可以给充电桩供电，多余电能储存到储能系统中，实现光伏、储能和充电的协调运行。

2.1.2 优化能量传输网络

相对于传统的集中供暖系统而言，采用以电为中心的综合能源系统可以极大程度地减少热能在长距离传输网络中的损耗，电能以其较低的传输损耗（电能传输线损率约为6.4%），极大地提高了能量传输效率。据测算，电采暖及蓄热换热损失为2%，清洁电力供暖效率约为92%，而且电能具有柔性控制的特点。目前随着直流配

电网的发展,电能的传输效率可以进一步提高约7%,针对数据中心等直流负荷供能更加高效,而且电能转化成热能的效率可达到98%,远高于燃气60%的热能转换效率。

2.1.3 储能技术的应用

储能技术根据存储的能量、介质不同可分为多种形式。常见的蓄能方式包含水蓄能(冷/热)、固体蓄热、相变蓄能(冷/热)、电化学储能、抽水储能、压缩空气储能和飞轮储能等。储能系统可以用于企业用电削峰填谷,通过赚取峰谷电价差、降低企业用电容量费和参与需求侧响应等方式,降低企业用能成本。另外,用户侧储能接入综合能源服务平台,可以作为电网调频调峰的电源。储能还可以作为企业用电过程中的

应急电源。对于企业范围内建设有分布式光伏等新能源发电的场合,储能可用于平抑这些能源形式的出力波动,提高新能源渗透率和新能源投资收益^[15]。

2.2 智慧能源监控系统

依据园区管理及能源运营的需求,设计开发园区综合能源服务平台,充分融合江苏能源云网监控功能,一方面为园区管理提供能耗数据分析、能源实时监控、能效考核和负荷管理能效对标等监管功能;另一方面在充分感知系统运营数据及用能情况的基础上,根据实际需求,形成能效优化、自动需求响应、碳排放管理和节能改造等各类增值服务。园区综合能源服务平台如图2所示。

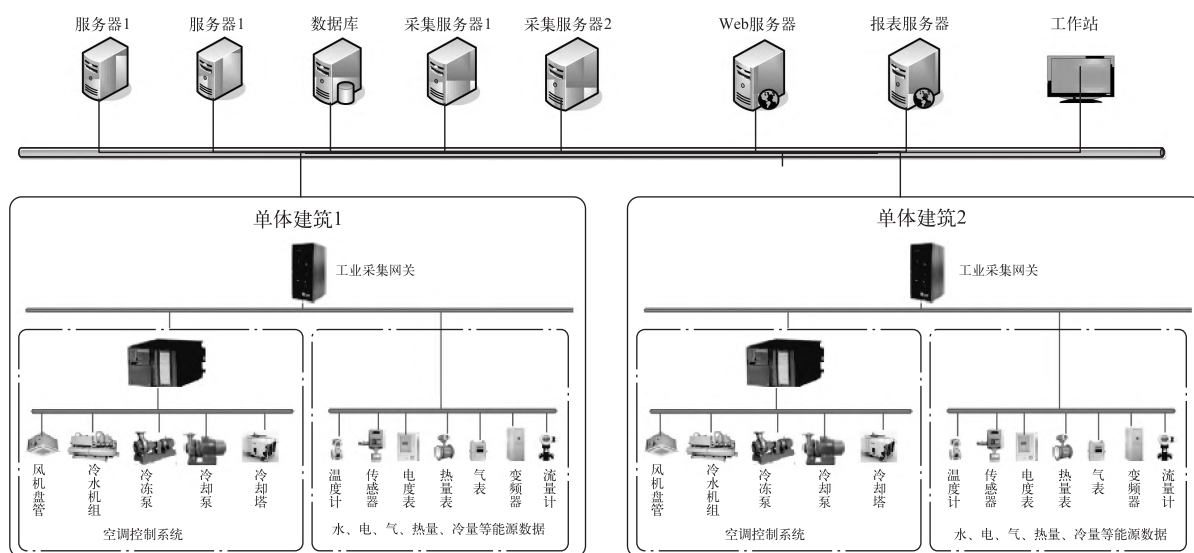


图2 园区综合能源服务平台

Fig. 2 Integrated energy service platform of the park

2.3 事故应急处理措施

由于园区具有人员活动密集、能源需求集中的特点,为保障园区能源供给系统的平稳运行,结合智慧能源监控系统制定事故应急处理方案。对其中的重要且专业性要求较高的设施(如配电室、能源站)等提供专业团队运维服务,对用电设备的运行进行实时管理和保护,分析电能质量,根据用电情况提供有效的节能方案。同时在开关侧加装数据采集装置,利用互联网平台,对用户配电设备进

行实时监控,做到提前感知、消除隐患。

3 应用实例

徐州凤凰湾电子信息产业园综合能源项目是由国网徐州供电公司主导实施的园区综合能源服务实践项目。项目运用了热泵、冷水机组、电蓄热、分布式光伏、充电桩、互联网+和智能控制等技术,建设成为一个“多能互补+储能+智慧能源”综合能源管理能源站。园区综合能源系统包

括服务大楼冷暖系统、智能监控配电室、分布式光伏发电、充电桩单元、储能电站和园区综合能效管理平台等。项目一期投资约1 865万元，已于2022年3月建成投运。

3.1 系统技术方案

园区服务大楼建筑面积约5.5万m²，主要由办公室、活动室、餐厅和公寓组成，冷暖方式非24 h运行，项目新建冷暖供应能源站1座，内设400 kW蓄热电锅炉2台，蓄热水箱120 t，1 500 RT冷水机组2台；屋面设冷却塔2座，空气源热泵机组26台；综合楼房屋顶总面积约5 000 m²，可利用总面积约2 000 m²，具备180 kW屋顶光伏的开发能力；园区内厂房屋顶可利用总面积约8.31万m²，具备约5.016 MW屋顶光伏的开发潜力；园区配置智能路灯和电动汽车、电动厂用车充电桩设备；项目设计管控一体化能管平台，将园区用电、热泵、电锅炉、蓄热、充电桩、光伏和储能等设备系统集中控制、管理和维护。方案设备具体配置见下表。

表 方案设备具体配置
Tab. Specific configuration of equipment

项目	用能需求	供能区域	建筑面积/m ²	设备配置
供暖	热负荷 4 125 kW	综合楼内办公室、活动室、餐厅和公寓等区域	5.5 万 m ²	400 kW 蓄热电锅炉 2 台，蓄热水箱 120 t，空气源热泵机组 26 台
供冷	冷负荷 5 636 kW			1 500 RT 冷水机组 2 台，空气源热泵机组 26 台
能效管理平台	管控一体化能管平台	园区用电、热泵、电锅炉、蓄热、充电桩、光伏和储能等		综合能源管控系统 1 套
充电桩	园区电动汽车充电	地下停车场和路面电动出租车位		20 台 8 kW 交流充电桩、4 台 60 kW 直流充电桩
光伏		园区内综合楼、厂房建筑屋顶	8.5 万 m ²	5.2 MWp 分布式光伏板
储能		根据企业用电特性，具体配置储能系统		预留接口

3.2 系统运行方式

冬季供暖热源采用空气源热泵机组及电锅炉蓄热技术，2台400 kW电锅炉在夜间（0:00—8:00）谷电蓄热，26台空气源热泵机组在夜间作为制热主机为夜间负荷供热，白天与蓄热水箱联合为整栋楼宇供热。电锅炉蓄热储能可利用电网低谷时段储热，起到削峰填谷的作用，提高了电网资源的利用率。同时蓄热装置可作为大功率可调控负荷，为新能源消纳的问题提供了很好的解决办法，提高了可再生能源利用率。蓄热罐体积与热源设备选型兼顾考虑冬季尖峰热负荷及空调机房面积。夏季制冷冷源使用水冷冷水机组全负荷制冷，空气源热泵机组作为调节制冷量与水冷冷水机组配合使用。

系统通过末端状态量传感器实时记录并分析用能负荷与能源供应间的平衡关系，通过自动起停、调节换热阀门、水泵出力和风机转速等措施，动态调整机组出力与末端能量分配方式，有效实现能源供需平衡与精准控制，减少能源浪费。

3.3 智能管控平台

项目建设一套综合能源管控与服务平台，在保证系统安全性、稳定性和可靠性基础上，以服务为中心，提供多样性能源需求、多种能源应用和服务场景。平台全面涵盖综合能源调度管控、客户管理、交易结算管理、合同管理、负荷预测、能效服务、需求侧管理和能源运维等方面业务，实现横向冷、热和电等多能互补集成优化，纵向源、网、荷和储协调运行控制，提升园区综合能源服务效率，提供本地化运行控制、云端精细化管理与服务等业务。按照客户站、区域站和中心站三级配置，通过电力无线专网，由点到线，由线到面，构成一套层次清晰、功能互补的智能管控系统。在园区控制室建设可视化展示及运行平台，实现动态感知园区各能源设备运行情况、设备操作与故障预警功能。

4 经济性测算

4.1 冷暖系统投资效益分析

以园区服务大楼冷暖供应系统为例，其建筑面积约5.5万 m^2 ，折算空调面积约4.4万 m^2 。供冷系统初始投资309.23万元，供热系统初始投资229.1万元，总投资538.33万元。一个制冷季运行费用总计约为50.4万元，单位面积供冷成本为11.5元/ m^2 ；一个采暖季运行费用总计约为74.2万元，单位面积供暖成本为16.9元/ m^2 。电供热系统相比于传统燃气供热系统（费用30元/ m^2 ），单位面积可节约运行成本13.1元/ m^2 ，一个采暖季可节约57.64万元。传统燃气供热系统初始投资约132.5万元，电采暖增加成本96.6万元，约1.7年收回成本。投资回报率较高，收益较为可观，且具有清洁环保、便于实现自动节能控制的优点。

4.2 屋顶光伏系统投资效益分析

光伏发电系统可实现收益0.73元/（ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ），25年全寿命期间可收益10 924.63万元，前7年年均发电量636.9万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，前7年年均收益464.94万元，5 MWp系统总投资约2 520万元，系统年维护费用约占系统总投资的3%，为75.6万元，则前7年年均净收益389.34万元，投资回收期为6.5年。

4.3 储能系统投资效益分析

储能系统容量以4 MW $\cdot\text{h}$ 为例，每天双充双放可带来电费收益约3 900元，首年净收益121.3万元。该项目总投资720万，投资回收期为7.3年。另外，储能系统有利于降低企业用电的容量成本，即电价低时储能，并在高价时段释放，降低最大功耗且不影响正常生产，从而降低容量成本。储能项目收益对投资成本较为敏感，考虑到目前锂电池成本逐年降低，在园区企业入驻并正常生产时，项目收益会有较大提升空间。

4.4 社会效益分析

根据测算，综合能源系统为园区服务中心提供冷暖供应服务，每年可为客户节约78万 $\text{kW}\cdot\text{h}$

电能，实现年均节约标准煤239 t，减排 CO_2 636 t，减排硫氧化物48.8 t，减排氮化物16.3 t。系统投运后，预计每年可产生替代电量271.1万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，减少煤炭等化石能源的消耗。后续通过智慧能源管控系统对能源站运行数据进行监测并分析，优化其运行参数，能源站运行费用预计还能降低20%左右。

5 结束语

本文对面向园区的综合能源服务展开研究，针对园区能源体系特点及存在的问题，提出一种切实可行的综合能源供应解决方法。通过整合冷、热和电等能源生产、传输、存储和消费，采用高效的能源生产设备，优化能量传输网络，合理加入储能技术等方案，提高能源利用效率；通过建立智慧能源监控系统、园区综合能源服务平台，实现园区中能源消费的可视、可控；通过建立事故应急处理系统，实现园区能源系统环境的安全、稳定和可靠运行，建立了一套较为完整的园区综合能源服务应用体系。

本文选取徐州凤凰湾电子信息产业园综合能源项目作为实际案例，从技术方案、运行方式和能源管控平台等方面介绍系统的运作方式，并测算了项目的冷暖系统、屋顶光伏系统和储能系统的投资效益，得出本项目投资回报率较高，前景收益提升空间较大，具有清洁环保、便于实现自动节能控制的优势，同时可以大幅减少碳及污染物排放。实践结果显示，本文提出的面向园区的综合能源服务模式可以为园区提供稳定可靠的能源供应，降低园区能源系统开支，具有良好的经济效益与社会效益。

参考文献

- [1] 余晓丹，徐宪东，陈硕翼，等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报，2016，31(1): 7-19.
- [2] 杨方，白翠粉，张义斌. 能源互联网的价值与实现架构研究[J]. 中国电机工程学报，2015，35(14): 3495-3502.

- [3] 张巍,董昕昕,孙伟卿,等.能源互联网中的综合能源系统研究[J].自动化仪表,2017,38(1):12.
- [4] 贾宏杰,王丹,徐宪东,等.区域综合能源系统若干问题研究综述[J].电力系统自动化,2015,39(7):198-207.
- [5] 吴建中.欧洲综合能源系统发展的驱动与现状[J].电力系统自动化,2016,40(5):1-7.
- [6] 彭克,张聪,徐丙垠,等.多能协同综合能源系统示范工程现状与展望[J].电力自动化设备,2017,37(6):3-10.
- [7] 贾宏杰,穆云飞,余晓丹.对我国综合能源系统发展的思考[J].电力建设,2015,36(1):16-25.
- [8] 戚艳,刘敦楠,徐尔丰,等.面向园区能源互联网的综合能源服务关键问题及展望[J].电力建设,2019,40(1):123-132.
- [9] 张世翔,吕帅康.面向园区微电网的综合能源系统评价方法[J].电网技术,2018,42(8):2431-2439.
- [10] 薛屹洵,郭庆来,孙宏斌,等.面向多能协同园区的能源综合利用率指标[J].电力自动化设备,2017,37(6):117-123.
- [11] 封红丽.国内外综合能源服务发展现状及商业模式研究[J].电器工业,2017(6):34-42.
- [12] 周少甫,张嘉俊.新型城镇化对中国城市空气污染的时空效应研究[J].工业技术经济,2019,38(3):66-75.
- [13] 李素花,代宝民,马一太.空气源热泵的发展及现状分析[J].制冷技术,2014,34(1):42-48.
- [14] 张秀平,田旭东,钟根仔,等.水冷冷水机组能效特性变化规律的研究[J].流体机械,2008(10):54-57,45.
- [15] 朱永强,郝嘉诚,赵娜,等.能源互联网中的储能需求、储能的功能和作用方式[J].电工电能新技术,2018,37(2):68-75.
- [16] 贝斌斌,乐程毅.基于供需博弈的园区综合能源微网系统优化[J].自动化仪表,2023,44(2):41-46.

作者简介

孟新涵(1991—),男,硕士,工程师,主要研究方向为综合能源服务。

(收稿日期:2023-04-22)