

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0180-05

“双碳”目标下新能源联合优化调度方法研究

廖波, 万智赞, 沈子卿

(广东顺德电力设计院有限公司, 广东 佛山 528300)

摘要:在“双碳”目标下新能源联合优化调度过程中,受天气条件、地理位置、设备性能等多种因素影响,需要综合考虑不同电源类型、不同电网结构、不同负荷特性对调度造成的影响,导致优化调度后系统能效提升比例较低,优化调度效果不佳。因此,提出一种“双碳”目标下新能源联合优化调度方法。根据新能源系统出力与电网优化调度之间的关系,计算新能源系统的实际出力,构建光伏发电、风力发电和火力发电系统的发电物理模型,结合新能源系统的运行收益和其对电网的经济性,构建以经济效益、碳排放量、能源能效为目标的优化函数,并采用遗传算法求解模型,获取最佳调度策略。实例应用结果显示,该方法结合了新能源系统的实际出力计算新能源的弃电功率与弃电率,并且碳排放量最高降低了24.28 t,新能源能效提升比例控制在8.0%以上,方法可以有效提高新能源能效的提升比例,优化调度效果较好。

关键词:双碳目标;新能源;联合优化调度;碳排放;节能减排

中图分类号: TM734

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)01-0180-05

Research on the joint optimization and scheduling method of new energy under the “dual carbon” goal

LIAO Bo, WAN Zhiyun, SHEN Ziqing

(Guangdong Shunde Power Design Institute Co., Ltd., Foshan 528300, Guangdong, China)

Abstract: In the process of joint optimization and scheduling of new energy under the “dual carbon” goal, various factors such as weather conditions, geographical location, and equipment performance need to be comprehensively considered. The impact of different power source types, grid structures, and load characteristics on scheduling needs to be comprehensively considered, resulting in a low proportion of energy efficiency improvement in the optimized scheduling system and poor scheduling effect. Therefore, a joint optimization scheduling method of new energy under the “dual carbon” goal is proposed. Based on the relationship between the output of the new energy system and the optimization scheduling of the power grid, it calculates the actual output of the new energy system, constructs physical models for photovoltaic, wind power, and thermal power generation systems, combines the operating benefits of the new energy system and its economic impact on the power grid, constructs an optimization function with economic benefits, carbon emissions, and energy efficiency as the objectives, and uses genetic algorithm to solve the model to obtain the optimal scheduling strategy. The application results of the example show that the proposed method combines the actual output of the new energy system to calculate the abandoned power and abandoned power rate of the new energy, and the maximum carbon emissions are reduced by 24.28 tons. The proportion of energy efficiency improvement of the new energy is controlled above 8.0%. This method can effectively improve the proportion of energy efficiency improvement of the new energy and optimize the scheduling effect.

Keywords: dual carbon targets; new energy; joint optimization scheduling; carbon emissions; energy conservation and emission reduction

太阳能和风能等新能源具有清洁可再生的特点,其是减少碳排放和实现可持续绿色发展的关键手段。传统的能源调度方法往往依赖于化石燃料,其调度策略往往难以平衡经济效益和环境效益。传统的调度方法已不能满足优化新能源调度的需要。因此,研究“双碳”目标下的新能源联合优化调度方法,不仅有助于提高能源利用效率、减少碳排放,也为能源行业的可持续发展提供了有力支撑。

文献[1]根据收集到的系统运行数据,建立综合能源系统数学模型,利用优化算法求解,得到最优调度策略,将优化的调度策略应用于实际系统,并根据运行情况进行合理调整。该方法中,可控负载的引入增加了系统的灵活性,可以更好地应对系统中的不确定因素。然而,该方法需要收集大量实时和预测性数据,数据的准确性和完整性对优化调度的有效性有重大影响。但是其没有结合实际

收稿日期:2024-03-15;录用日期:2024-04-09

基金项目:广东省科技项目(GS20220106)

作者简介:廖波(1982—),男,本科,高级工程师,研究方向:配电网工程造价、园区智慧能源运营、电动汽车充电设施参与电力需求侧响应运营管理和商业模式等研究。

引用本文:廖波,万智赞,沈子卿.“双碳”目标下新能源联合优化调度方法研究[J].自动化技术与应用,2026,45(1):181-184.(LIAO Bo, WAN Zhiyun, SHEN Ziqing. Research on the joint optimization and scheduling method of new energy under the “dual carbon” goal[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(1):181-184.)

出力,考虑不够全面,导致调度不佳。文献[2]通过构建图神经网络模式,捕捉能源系统内部的复杂关系和动态行为,设计一种基于强化学习的优化调度算法,制定相应的调度策略来满足这些需求。该方法通过在线学习和调整,这种方法可以自动适应系统变化和环境的不确定性,保持优化的性能。但模型和算法中有许多超参数需要调整,并且没有准确计算弃电功率,导致调度不佳。文献[3]设置优化目标,平衡配电网负荷,利用混合整数线性规划方法制定优化调度方案。该方法可以改善配电网的电压分布。但优化调度涉及大量的计算和解决优化问题,其未充分考虑碳排放问题,导致其在运行过程中碳排放量较大。文献[4]根据功率调峰、电压支持、频率调节等历史数据和预测模型,预测未来的电力需求,基于多源储能系统模型和需求预测结果,制定优化调度策略。该方法通过优化调度策略,可以提高储能系统经济效益。但是其没有考虑环境问题,并且没有充分结合实际出力,未达到“双碳”目标,碳排放量较大。

本研究旨在探索“双碳”目标下新能源联合优化调度的方法,解决上述方法存在的问题。该研究通过深入分析新能源的特点和调度需求,构建了适合新能源的优化调度模型。研究成果将为能源行业提供新的调度策略,有助于促进新能源的高效利用,实现减碳目标,为全球绿色发展作出贡献。

1 优化调度方法设计

在“双碳”目标下进行新能源联合调度时,需要优先考虑天气条件、地理位置、设备性能等影响因素,构建新能源系统发电物理模型,确定目标函数,并进行求解,实现“双碳”目标下新能源联合优化调度。

1.1 新能源系统发电物理模型建立

双碳目标下新能源联合优化调度可以实现能源供应和需求之间的平衡,同时达到降低碳排放和节能减排的目标^[5]。能源联合调度需要综合考虑各种能源的互补性、替代性以及市场的变化等因素,因此,本文首先构建不同新能源系统的发电物理模型,以优化新能源的供应与分配。

本文研究的新能源包括光伏发电、风力发电和火力发电系统。因此,主要针对这3种新能源系统建立发电物理模型,便于后续优化调度。

1) 光伏发电系统在运行过程中受外界环境和硬件表面清洁度等多种因素的影响^[6],则一个调度周期内光伏系统的实际出力可表示为

$$P_0 = \frac{\text{cov}(u_0)}{\sqrt{\sum \frac{v_x}{c_p}}} \quad (1)$$

式中, u_0 表示能源发电功率序列; v_x 表示负荷用电功率因数; c_p 表示光伏电站数量; $\text{cov}(\cdot)$ 表示转换函数。

由此建立的光伏系统发电物理模型为

$$q_1 = P_0 \left[1 + \frac{\alpha_k}{j_0} \right] / A_s \quad (2)$$

式中, α_k 表示光伏阵列降频系数; j_0 表示光伏板实时运行温度; A_s 表示弃电功率。

2) 风力发电系统由转动机构、发电机等设备组成^[7],当负荷曲线与风力发电曲线的变化趋势一致时,风力系统的开发系数为

$$c_k = \log_2 \frac{E_h}{\sum \sqrt{\beta_c} \times l_0} \quad (3)$$

式中, E_h 表示风力能源的节约潜力; β_c 表示模拟参数; l_0 表示风力能源存量。

结合风力系统的能源开发量构造发电系统物理模型^[8],即

$$q_2 = \frac{1}{2} P_0 \rho_0 \left\| \frac{c_k \cdot v_b}{X_l} \right\|^2 \quad (4)$$

式中, ρ_0 表示空气密度; v_b 表示发电机效率; X_l 表示弃电率。

3) 为便于分析与后续计算,火力发电系统选用燃煤锅炉,其发电物理模型可表示为

$$q_3 = \frac{P_0 \times V_g \times L(x) \times \chi_l}{\Delta t / g_p} \quad (5)$$

式中, V_g 表示锅炉在一个调度周期内的煤炭消耗量; $L(x)$ 表示有效激活函数; χ_l 表示燃煤锅炉热效率; Δt 表示运行时间; g_p 表示煤炭低位热值。

根据新能源系统出力与电网优化调度之间的关系,分别构建光伏发电、风力发电和火力发电系统的物理模型,为后续设计优化调度目标函数作准备。

1.2 优化调度目标函数构建

本研究中的新能源联合优化调度目标函数以多目标优化为总目的,综合考虑系统运行经济性、能源碳排放以及能源能效对系统的影响,结合新能源系统发电物理模型,构建优化调度目标函数。

关于能源系统的经济性效益主要考虑运行过程中的电量收益和环境收益^[9],优化目标是效益最大化,表达式为

$$\begin{cases} G_1 = \max(h_y + k_t) \\ h_y = \frac{J_k(q_1 + q_2 + q_3)}{v_n} \\ k_t = h_y \sum b_0 \exp\left(-\frac{\eta_c}{m_n}\right) \end{cases} \quad (6)$$

式中, J_k 表示电网电价; q_1 、 q_2 、 q_3 分别表示光伏发电、风力发电和火力发电系统的发电物理模型; v_n 表示能源系统充放电功率成本系数; b_0 表示可调参数; η_c 表示电网系统产生的污染物类型总数; m_n 表示污染物单位排放费用; h_y 、 k_t 分别表示电量收益和环境收益; G_1 表示新能源收益函数。

以新能源系统碳排放量最小为目标,构建优化函数^[10],即

$$G_2 = \min(f_x \times l'_i(q_1 + q_2 + q_3) \times \lambda_s) \quad (7)$$

式中, f_x 表示第 x 种能源的碳排放系数; l'_i 表示决策变

量; λ_s 表示能源类型总数。

新能源系统的能效主要包括能量转换效率、向量存储效率以及能量使用效率^[11], 优化目标是能效最大化, 计算公式为

$$\begin{cases} G_3 = \max(w_1 + y_x + k_w) \\ w_1 = i_0 \times \lambda_1 \\ y_x = \frac{g_u}{s_1} \\ k_w = \sum \frac{\|d_s\|^2}{a_b} \end{cases} \quad (8)$$

式中, i_0 表示梯级水电调节功率; λ_1 表示新能源净负荷; g_u 表示调度周期时段数; s_1 表示场景数; d_s 表示电网已消纳的新能源比例; a_b 表示辅助变量; G_3 表示能源能效函数。

综上, 通过考虑新能源系统能效、碳排放量和经济性运行目标, 构建的联合优化调度目标函数为

$$\Omega = \delta_1 G_1 + \delta_2 G_2 + \delta_3 G_3 \quad (9)$$

式中, $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 分别表示相应目标函数的权重; Ω 表示新能源联合优化调度目标函数。

在新能源物理模型基础上, 结合新能源系统的运行收益和其对电网的经济性, 构建以经济效益、碳排放量和能源能效为目标的优化函数。

1.3 优化目标函数求解

在确定双碳背景下新能源联合优化调度目标函数后, 采用智能优化算法求解目标函数, 以获取最佳调度策略。求解算法通过不断地交叉、变异和选择进化, 得到优化问题的全局最优解^[12], 具体求解流程如图 1 所示。

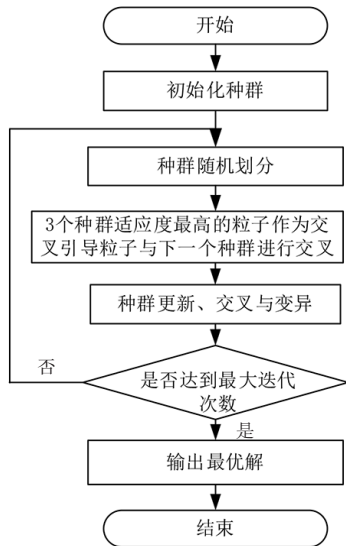


图 1 新能源联合优化调度函数求解流程

Fig. 1 Flowchart for solving the new energy joint optimal scheduling model

根据上图可得到新能源联合优化调度函数的求解步骤如下。

1) 初始化多个种群, 本方法随机地把这些种群分为 3 个不同的组, 每个组都包含一定数量的个体^[13]。

2) 对所有的种群进行筛选。该过程基于个体适应度, 选择优秀个体, 复制到下一代^[14], 公式为

$$v_b = \vartheta(\Omega) \times \varphi(\Omega) \quad (10)$$

式中, ϑ 表示实数编码次数; φ 表示个体数量。

3) 对所有种群进行交叉和变异操作, 生成新的个体, 使其参与下一代的进化^[15]。

4) 利用自适应机制, 调整个体的交叉概率与变异概率, 表达式为

$$\begin{cases} \gamma_f = v_b \cdot B_d \\ s_m = \gamma_f / j_g \end{cases} \quad (11)$$

式中, B_d 表示算子变异系数; j_g 表示转换函数。

5) 重复步骤(2)~(4), 直到达到最大迭代次数, 进而输出最优解, 得到最佳优化调度策略。

2 实例论证分析

为验证本文设计的“双碳”目标下新能源联合优化调度方法在实际应用中的效果, 在理论部分设计完成后, 设计对比实验, 将本文方法应用在某配电网系统中, 并对其进行新能源联合优化调度, 根据实验结果分析该方法的优化调度效果。

2.1 实验准备

本次实验以包含多个新能源子系统的 33 节点配电网为研究对象, 结构如图 2 所示。

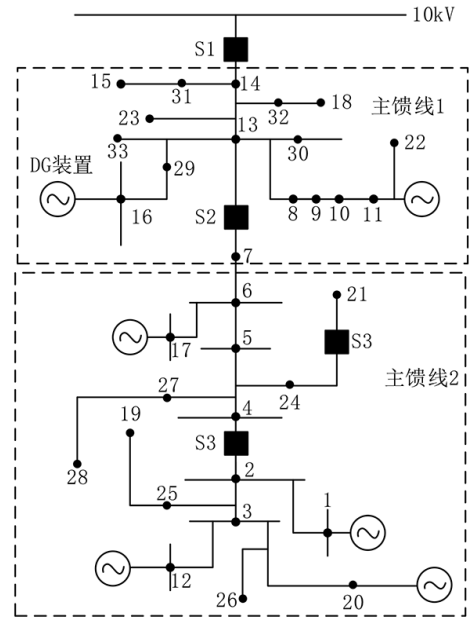


图 2 含新能源配电网的拓扑结构

Fig. 2 Topological structure of a distribution network with integrated new energy sources

新能源基本运行参数如表 1 所示。

依据该配电网的历史运行数据, 建立新能源物理模型, 并结合新能源系统的实际出力计算新能源的弃电功率与弃电率, 结果如图 3 所示。

表1 系统新能源运行参数

Tab. 1 Operational parameters of the new energy system

新能源类型	参数	参数设置
光伏发电系统	最大功率/(MW)	5
	转换效率/%	15
	日均发电量/kWh	2 000
	最大输出电压/V	400
	最大输出电流/A	10
风力发电系统	额定功率/MW	3
	风能转换向量/%	40
	年均发电量/kWh	15 000 000
	切入风速/(m/s)	3
火力发电系统	切出风速/(m/s)	25
	额定功率/MW	100
	热效率/%	38
	年均发电量/(吨/年)	2 000 000
	排放物/(吨/年)	1 000 000

表2 系统优化调度前后碳排放量对比

Tab. 2 Comparison of carbon emissions before and after implementing optimal scheduling

新能源消纳率/%	碳排放量/t	
	优化调度前	优化调度后
10	79.62	66.22
20	85.33	74.51
30	96.20	77.20
40	102.03	85.09
50	115.41	99.24
60	126.27	101.99
70	127.11	104.67
80	135.97	114.08

分析上表中的数据可知,经过本文提出的方法进行系统新能源优化调度后,配电网的碳排放量显著降低,其中在新能源消纳率为60%时,碳排放量降低幅度最大,达到了101.99 t,比优化调度前,降低了24.28 t,说明本文方法可以实现新能源的合理配置,实现了系统碳排放量最低的目标,能够满足实际应用中的碳达峰与碳中和要求。

2.4 对比实验与分析

为进一步验证本文方法的可行性,实验中引入随机森林算法(方法1)、人工智能算法(方法2)作为本文方法的对比方法。分别采用3种方法对该配电网新能源进行优化调度,比较基于不同方法下系统的能效提升比例,从而分析各种方法的优化调度性能。对比结果如图4所示。

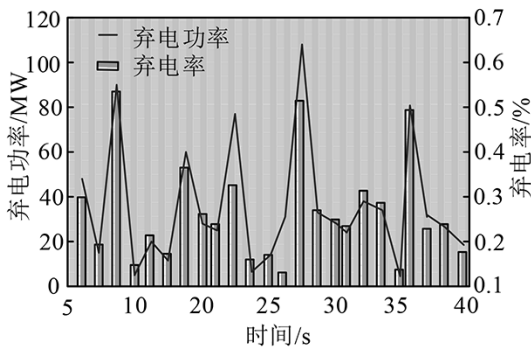


图3 新能源弃电率与弃电功率

Fig. 3 Curtailed power and curtailment rate of new energy

以上图中的数据为基础,设计以新能源发电收益、碳排放和经济性运行目标的函数。使用EnergyPlus能源模拟软件,模拟配电网在新能源供应下的能耗,利用MATLAB的优化工具箱实现遗传算法,利用网络爬虫技术,从开源网站(如NREL、EIA)收集新能源数据和加载数据,设置相应的数据收集频率为15 min/次。在仿真平台上实现遗传算法,求解新能源联合优化调度模型。

2.2 实验说明

对于本文采用的遗传算法,对其参数进行如下设置。种群大小为100,染色体长度为30,选择策略为轮盘赌选择,适应度函数为新能源弃电率最小的倒数。

实验采用对比的形式进行,选取当前较为成熟的成矿新能源优化调度方法作为对照组方法,本文方法作为实验方法,并基于实验结果分析不同方法的实际应用性能。

2.3 新能源优化调度结果与分析

基于以上实验准备与相关参数的设置,将本文设计的方法应用于图2所示的新能源优化调度中,比较应用本文方法优化调度前后的配电网碳排放量,实验结果如表2所示。

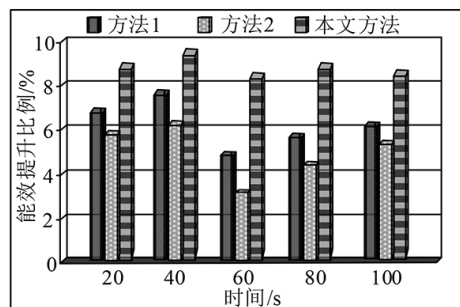


图4 基于不同方法下新能源优化调度结果对比

Fig. 4 Comparison of new energy scheduling schemes under different optimization methods

根据上图可以明显看出,利用本文提出的方法对配电网系统新能源进行优化调度后,新能源能效提升比例始终控制在8.0%以上,而对比方法最高仅为7.5%,因此,该方法的能效提升比例远高于对照组方法,由此可以说明,本文设计的方法能够更好地实现新能源优化调度,且优化调度效果较好。

3 结论

在“双碳”目标指引下,新能源联合优化调度方法的研究与实践尤为关键。未来,需要在现有研究的基础上,不断

深化对新能源特性的理解,完善优化调度模型,提高算法的准确性和效率。同时,还应重视新能源与电力系统的深度融合,探索更多创新的调度策略。通过不断的技术和管理创新,实现“双碳”目标、推动能源行业的绿色转型。

参考文献

- [1] 李兴国,任永峰,孟庆天,等. 考虑可控负荷的含 CSP 和 P2G 的综合能源系统优化调度[J]. 太阳能学报, 2023, 44(12):552-559.
- [2] 王新,张良,任晓龙,等. 融合图神经网络模型与强化学习的综合能源系统优化调度[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(24):102-110.
- [3] LI X, MA R, GAN W, et al. Optimal dispatch for battery energy storage station in distribution network considering voltage distribution improvement and peak load shifting[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2023, 15(2):110-112.
- [4] HOU H, CHEN Y, LIU P, et al. Multisource energystorage system optimal dispatch among electricity hydrogen and heat networks from the energy storage operator prospect[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2023, 32(15):210-213.
- [5] 邓钰龙,李春燕,邵常政,等. 电热气氢综合能源系统随机优化调度[J]. 太阳能学报, 2023, 44(11):522-529.

- [6] 谢敏,卢燕旋,叶佳南,等. 电-氢-混氢天然气耦合的城市综合能源系统低碳优化调度[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(12):109-117.
- [7] 李擎,王岁宁,崔家瑞,等. 考虑电动汽车充放电的智慧社区强化学习能源优化调度策略[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(30):12966-12975.
- [8] 李成善,李晨杰,张磊. 氢耦合区域综合能源系统集群双层博弈随机优化调度策略[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(12):238-247.
- [9] 童宇轩,胡俊杰,刘雪涛,等. 新能源电力系统灵活性供需量化及分布鲁棒优化调度[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(15):80-90.
- [10] 于国强,刘克天,胡尊民,等. 大规模新能源并网下火电机组深度调峰优化调度[J]. 电力工程技术, 2023, 42(1):243-250.
- [11] 胡臻达,黄夏楠,曾振松,等. 基于碳夹点分析法的可再生能源优化调度方法研究[J]. 可再生能源, 2023, 41(8):1095-1099.
- [12] 林细君,林强,赵创业,等. 基于条件风险价值理论的综合能源系统优化调度[J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(2):187-192.
- [13] 邹宇航,曾艾东,郝思鹏,等. 阶梯式碳交易机制下综合能源系统多时间尺度优化调度[J]. 电网技术, 2023, 47(6):2185-2198.
- [14] 鄢仁武,林丽婵. 考虑 P2HH 和二维激励需求响应的综合能源系统优化调度[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(12):77-85.
- [15] 沙伟燕,胡伟,何宁辉,等. 大规模虚拟储能平抑新能源功率预测误差优化调度方法[J]. 电力科学与技术学报, 2023, 38(6):167-174.

(上接第 179 页)

由图 6(a)可见,研究提出的方法对入侵异常数据的检测率在四种不同数据集上的检测结果最优,相比模糊聚类法,检测率平均提升 28 个百分点;相比 KNN,检测率平均提升 15 个百分点。由图 6(b)可见,研究提出的方法的误报率最低,较模糊聚类法与 KNN 相比,分别平均降低 6.5、3.7 个百分点。误报率越低,说明入侵检测模型的准确性越高,可见,研究设计的方法较常规基线模型有了明显改进。

3 结论

随着计算机互联网技术的飞速发展,医院信息网络系统成为支撑医院正常运作的关键,为了进一步加强医院网络对网络恶意攻击与入侵行为的应对能力,研究基于深度学习与半监督聚类技术设计了一种面向医院网络安全的入侵自动检测模型。实验结果表明,改进之后 DAE 模型的实际输出与期望输出的差值绝对值在 0.0-0.2 区间内小范围波动,波动幅度平均降低 0.09;且重构数据与原始数据局部相似性较高,解码器重构能力较强。DBMCSSC 模型的最大 RI 为 0.907,纯度为 0.869,最大 NMI 为 0.837;DB 与 XB 值均低于 0.1,聚类结果的聚集度和分离度较好。相比其他两种检测模型,研究设计的方法在检测率上最高提升 28 个百分点,误报率最大降低 6.5 个百分点。综上所述,此次研究设计的入侵自动检测模型成效显著,检测能力明显提升。但此次研究仅采用公开数据集进行测试实验,对于真实的医院网络环境数据还需进一步测试,完成对模型的优化与改进。

参考文献

- [1] 刘阳. 基于实战化安全运营的智慧医院网络安全保护体系构建与应

- 用[J]. 中国医疗设备, 2023, 38(11):127-132.
- [2] 马翔明,穆炜,董文清. 基于数据安全网关的医院信息化网络安全防御系统设计[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(7):99-113.
- [3] 刘广睿,张伟哲,李欣洁. 基于边缘样本的智能网络入侵检测系统数据污染防御方法[J]. 计算机研究与发展, 2022, 59(10):2348-2361.
- [4] HAZMAN C, GUEZZAZ A, BENKIRANE S, et al. IIDS-SIoEL: intrusion detection framework for IoT-based smart environments security using ensemble learning[J]. Cluster Computing, 2023, 26(6):4069-4083.
- [5] 王振东,刘尧迪,杨书新,等. 基于天牛群优化与改进正则化极限学习机的网络入侵检测[J]. 自动化学报, 2022, 48(12):3024-3041.
- [6] 施媛波. 变分自编码器和注意力机制的异常入侵检测方法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2022, 34(6):1071-1078.
- [7] 何瑞江. 基于 GRU-SVM 神经网络的大数据入侵检测方法研究[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(2):127-129.
- [8] 张艳春,李阳,王世君,等. 基于改进梯度提升决策树的配电网信息化评审中心故障分类方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(9):39-43.
- [9] 张碧洪,夏海霞,张宇,等. 基于多特征融合自动编码器的增量式入侵检测[J]. 计算机系统应用, 2023, 32(6):42-50.
- [10] 卢明星,陈恩庆. 自适应监督和聚类混合的 WSN 入侵检测系统设计[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39(5):320-329.
- [11] 李媛,刘海峰,曹博涛. 半监督环境下基于 AE-ELM 模型的工业网络安全防御研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(12):244-250.
- [12] 李娇. 基于大数据 Logistic 回归模型的医院线上诊疗数据精准推荐[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(6):175-179.
- [13] 汪祖民,王冬昊,梁霞,等. 基于 DBSCAN_GAN_XGBoost 的网络入侵检测方法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2022, 43(3):44-51.
- [14] 蔡娟,兰娅娟,刘源. 基于 GBDT 优化算法的局域网入侵定位与检测研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(10):90-96.
- [15] HEIDARI A, JABRAEIL JAMALI M A. Internet of Things intrusion detection systems: a comprehensive review and future directions[J]. Cluster Computing, 2023, 26(6):3753-3780.