

电力现货市场多方交易数据自适应调度方法

于海波, 张莹, 翟彦鹏, 刘祎鑫

(国网冀北电力有限公司唐山供电公司, 河北唐山 063000)

摘要:随着电力现货市场交易规模不断扩大,电力交易数据调度面临挑战。为了解决上述问题,研究提出一种自适应的交易数据调度方法。首先分析电力交易数据特点,引入聚类算法优化异常交易数据来构建多方交易数据模型。其次是引入改进多目标蚱蜢算法来构建自适应调度模型。不同调度时段下,研究模型具有最佳的负荷调节能力,均保持在-14%至0的负荷调度区间。此外,在高峰期与低谷期,研究模型均能自适应调整调度,在低谷期时保障日志差错率在10%以内。可见,研究模型具有出色应用效果,研究成果将为电力现货市场数据调度优化提供技术参考。

关键词:电力现货市场;交易数据;调度;多目标蚱蜢算法

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7241(2025)09-0074-05

Adaptive Scheduling Method for Multi-party Trading Data in Electricity Spot Market

YU Haibo, ZHANG Ying, ZHAI Yanpeng, LIU Yixin

(Tangshan Power Supply Company, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Tangshan 063000, China)

Abstract: With the continuous expansion of the trading scale in the electricity spot market, the scheduling of electricity trading data is facing challenges. To address the aforementioned issues, a self-adaptive trading data scheduling method is proposed. Firstly, analyze the characteristics of electricity trading data and introduce clustering algorithms to optimize abnormal trading data to construct a multi-party trading data model. Secondly, an improved multi-objective grasshopper algorithm is introduced to construct an adaptive scheduling model. Under different scheduling periods, the research model has the best load regulation ability, maintaining a load dispatch interval of -14% to 0. In addition, during peak and valley periods, the research model can adaptively adjust scheduling, ensuring that the log error rate is within 10% during undervaluation periods. It can be seen that the research model has excellent application effects, and the research content can provide technical references for optimizing data scheduling in the electricity spot market.

Keywords: electricity spot market; transaction data; scheduling; Multi-objective grasshopper algorithm

0 引言

随着近年来电力需求的不断增长,传统电力企业在发展中面临的问题越发凸显。如社会用电需求以及信息安全已经给电力企业交易与运行带来诸多挑战。目前,电力企业已经建立了庞大的电网数据库,其中就包含用户信息、业务信息、电网地理区域信息等数据。并且在多方数据的管理中,将数据安全作为企业发展的核心之一,电网企业在发展建设中大规模部署数据安全系统,同时更新存储设备以确保数据的安全^[1]。黎松龄等人针对电网调度员评价系统提出一种更加精准的评价方案,利用模糊理论以及熵权法构建评估体系,提高了电网分析的准确性^[2]。Alonso A等在研究中发现混合型氢能电池为孤立地区电网发展提供支持。目前,混合存储中调度是

关键,研究采用了一种最优功率调度方法,对不同时段调度进行优化,降低能耗与污染排放,并具有良好效果^[3]。综上所述,电网交易数据调度具有规模性、多种类型以及安全性特点,而交易规模的增长以及更高安全标准导致交易数据调度无法满足市场要求。因此,为了解决电力现货市场多方交易数据调度问题,研究根据多方交易数据特点提出一种自适应调度方法。研究的创新点有两点,其一是在交易数据模型构建中引入聚类算法来优化异常数据,确保数据的精度。其次是引入了动态反向学习策略优化的MOGOA算法进行调度求解,更好地适应数据调度要求。研究内容为电力企业提供了一种更高效的电力交易数据调度方法,从而保障企业的运营效果与竞争优势。

1 基于电力交易数据的自适应调度模型构建

1.1 多方交易数据模型构建

目前,由于电力交易规模以及数据安全标准导致现

*基金项目:河北省国网科技项目(B3010323001T)

收稿日期:2024-05-20

有的电力数据交易调度已经无法满足市场发展要求,解决电力现货市场数据调度问题是企业发展的关键。因此,研究基于电力交易数据提出一种自适应调度技术。整个数据中心结构如图1所示。

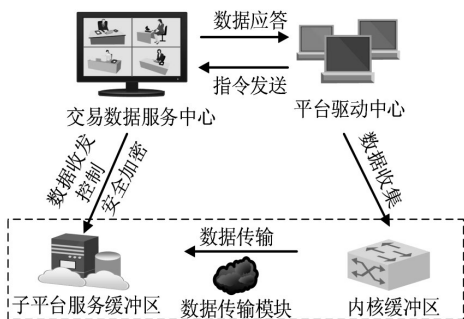


图1 研究技术路线

根据对电网交易中心数据库的研究可以发现,数据库主要由两个关键的硬件部分所构成,一个是数据缓存存储模块以及另一个是数据传输模块。前者主要用于存储内存缓存并提升数据处理效果,而另一个是为数据搭建传输平台。由于数据中心数据容量有限,在其中增加了静态缓存模组,用于加密以及优先调度数据^[4]。整个系统中心可以对各个模型进行管控,通过同步信息实现对交易数据的有效调度^[5]。接下来,将根据对交易数据系统结构的分析构建交易数据模型。其中,对于缓存中的数据采用全同态加密算法以数据包格式进行表示,定义为 u ,表达如式(1)所示。

$$\begin{cases} (uk, ck) \leftarrow KeyGen(\beta) \\ X_i \leftarrow Encrypt(ck, \varphi_i) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $KeyGen(\beta)$ 代表随机公钥, uk 、 ck 分别代表公钥与私钥,由 $KeyGen(\beta)$ 所生成; $Encrypt(ck, \varphi_i)$ 代表数据明文,由随机算法获得; X 代表数据包形式。此外,在交易数据分析中,要满足数据全同态效果,通过加密空间实现,如式(2)所示^[6]。

$$X \leftarrow (ck, p_r X) \quad (2)$$

式中, p_r 表示系统数据加密空间, X 表示加密空间数据包形式。

通过式(2)加密过程便可以实现缓存过程与加密过程有效结合,而通过系统加密后所得到的数据将作为用户交易服务数据。此外,交易数据易受到市场行情以及自然条件等因素影响,对系统的稳定会造成显著的干扰^[7]。因此,为了避免异常数据对系统稳定造成影响,引入聚类算法(K-means)划分异常数据。首先是选取 K 个聚类中心,并将指定的数据点作为 K 族;接下来将分配点划分到最近聚类中心,并对两者间的距离进行计算^[8]。接下来,需要对聚类中心进行更新,如式(3)所示。

$$a_j = \frac{1}{|c_j|} \sum_{x \in c_j} x \quad (3)$$

式中, a_j 代表第 j 个样本点与其同簇所有点的均值距离, x 表示簇中数据点均值, c_j 表示所有簇集合。在实际的数据聚类处理中,若聚类数 K 值越高,则在聚类中相似度也会越高,进而影响到最终模型拟合效果^[9]。对此,采用轮廓系数 O_s 来优化 K 值数的选取,如式(4)所示。

$$O_s = \frac{b-a}{\max(a,b)} \quad (4)$$

式中, a 代表样本点与其同簇所有点的均值距离, b 代表样本点与其最近的簇的均值距离。采用K-means算法的关键在对数据 K 簇的划分,确保同簇数据点具备较高的相似度,而对于不同簇则具有较低相似度。由于采用了轮廓系数 O_s 来反映不同簇之间的差异,其取值在 $[-1, 1]$ 之内,若 O_s 越靠近1则实际聚类越好,反之亦然。 O_s 选取与聚类数 K 之间的关系如表1所示^[10]。

表1 聚类数与轮廓系数关系

聚类数	轮廓系数取值	聚类数	轮廓系数取值
$K=1$	0.495 3	$K=4$	0.417 9
$K=2$	0.483 8	$K=5$	0.422 1
$K=3$	0.453 0	$K=6$	0.425 0

在实际数据分类中,聚类数 K 值与轮廓系数间为反比关系,聚类数 K 既不能过大也不能过小。综合分类丰富性,确保数据分类的有效性,最终将研究的聚类数 K 值设置为3,此刻多方交易数据具有更好的稳定性。

1.2 多方交易数据自适应调度模型构建

完成多方交易数据模型工作以后,需要对交易数据进行调度性优化,以确保在大规模数据下交易系统具备良好的稳定性与数据处理能力^[11]。定义经过K-means算法优化处理后的数据包为 n ,数据包集合如式(5)所示。

$$T_x = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\} \quad (5)$$

式中, T_n 代表不同类型数据包,在交易数据中主要有4种类型交易数据,不同数据之间为相互竞争关系,其中数据 T_1 为引导方向调度数据,数据 T_1 与其他数据之间为相互竞争关系^[12]。多方交易数据可以用多个竞争关系进行描述为 $G=\{T_x, E\}$,其中 E 代表各个数据之间竞争约束关系集合。在交易数据调度中,每种数据均有各自的任务负载,则其负载关系如式(6)所示。

$$\begin{cases} T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \\ Workload = \{wt_1, wt_2, \dots, wt_n\} \end{cases} \quad (6)$$

式中, wt_n 代表负载, t_n 代表数据所对应的任务。在交易数据调度中,需要从安全与稳定性两个方面考虑调度任务,则数据可靠性计算如式(7)所示^[13]。

$$rr_{ij} = \exp(-ECT_{ij} \times sr_n \times wt_n) \quad (7)$$

式中, $\exp(\cdot)$ 表示以指数函数, ECT_{ij} 表示交易资源 i 在调

度任务 j 上的耗时,其中在调度中需要先进行 i 才能执行 j 调度。此外,在调度中任务时间与资源存在调度安全关系,包括低信任、信任以及高信任3种,在调度时根据信任级别进行调度,则进行 j 时信任如式(8)所示^[14]。

$$teustValue(i, j) = \alpha \times secValue(i, j) + \beta \times reliCalue(i, j) \quad (8)$$

式中, $\alpha + \beta = 1$, α 为安全权值, β 为稳定性权值。最终交易数据调度模型如式(9)所示。

$$\begin{cases} Cost = \sum_{j=1}^n (avg(\sum_{i=1}^m Cost_i))_j Time_i \\ s(i) = \sqrt{(r_{time})^2 + (r_{cosd})^2} \end{cases} \quad (9)$$

式中, m 表示数据硬件资源数量; $Time_i$ 代表第 i 任务在硬件上处理时间; $Cost_i$ 代表第 i 任务在硬件上处理成本; $s(i)$ 表示物理机 r_i 所具有的服务能力; r_{time} 与 r_{cosd} 分别代表物理机运算能力与处理效率,则完成最大交易数据处理目标 $G_{max} = FinishTime(T_{i,j}) \times s(i)$ 。

最后,为了对交易数据调度模型进行求解,研究引入改进多目标蚱蜢算法(multi-objective grasshopper optimization algorithm, MOGOA)进行多目标问题求解。其中GOA算法对自然界中蚱蜢觅食进行模拟,通过蚱蜢活动规律寻找范围内最优解,整个调度技术流程如图2所示^[15]。

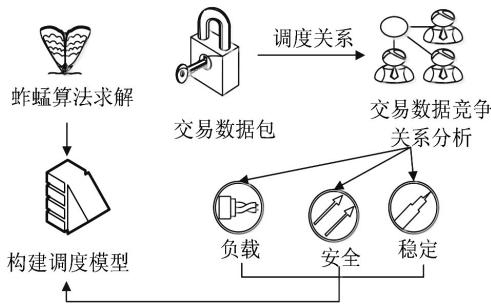


图2 调度模型技术流程

蚱蜢群在觅食活动范围辨别出舒适区与排斥区,并向舒适区靠拢得到最优解。而在实际的训练中,MOGOA算法面临收敛慢以及收敛精度差等问题。因此引入动态反向学习策略(dynamic opposite learning, DOL)优化该问题。其中DOL需要对动态反向解以及随机解两种适应度进行计算,然后比较两种适应度值得出最优解。

2 模型应用效果分析

为了检验所提出技术在实际场景下的应用效果,将某电力现货市场4a内多方交易数据总计200万条多方交易数据来开展实验分析。其中测试平台为WINDOWS 11 64位系统,处理器为INTEL i9 16核处理器,显卡为英伟达RTX3070TI,选择MATLAB平台完成实验数据分析。将收集的70万多方条交易数据进行筛选与预处理,并去

除受干扰数据,根据实验环境具体分配测试数据。实验将从4个方向进行分析,包括系统负荷运行状态、系统运作差错率、交易数据处理能力以及系统响应时间。通过上述4个方面的实验来反映研究技术在实际场景下的应用效果。实验中,改进MOGOA算法初始参数设置如表2所示。

表2 改进MOGOA算法初始参数设置

指标	参数取值
最大迭代次数	100
外部存储档案数	100
种群规模	50
解向量维度	10
步长参数	2

同时,实验中引入多目标粒子群算法(multiple objective particle swarm optimization, MOPSO)以及标准MOGOA算法共同进行实验比较,以反映同类技术在实际场景下的应用效果。如图3为不同技术下系统负荷运行情况。

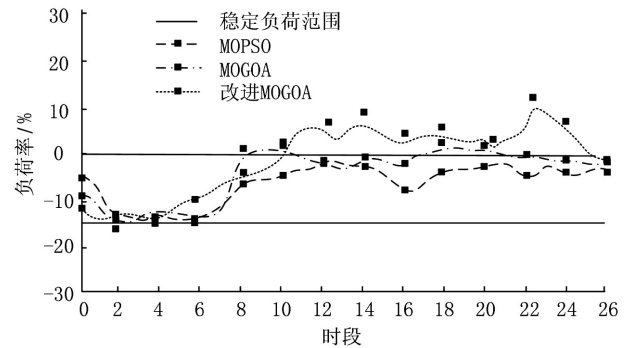


图3 系统负荷运行状态

图3为系统不同时段负荷运行情况。实验中选取一天24小时进行系统负荷检测,红色曲线范围为稳定负荷范围,超过0表明系统面临较大压力,而低于-14%表明系统资源调度被浪费。根据图中曲线来看,上午8点一直到晚上的24点均是电力现货市场多方交易数据活跃阶段,仅有改进MOGOA模型始终在稳定负荷范围。相比于改进MOGOA, MOPSO模型与MOGOA模型均面临系统高负荷状态,如在上午8点到10点期间,MOGOA模型系统负荷率均超过0,超过系统负荷标准。而经过系统调节后MOGOA模型负荷率逐步下降,但在18点、20点仍旧出现系统高负荷问题。而MOPSO整体调度最差,在10点到24点区间,系统调度一直处于高负荷状态。总体来看,改进MOGOA模型系统调度最好,相比于MOPSO与MOPSO负荷调节能力提升8.65%与32.68%。接下来,比较不同方法下系统调度差错率,如图4所示。

图4为不同方法下系统日志差错率情况。高峰期数据交易下的日志差错率如图4(a)所示,在运行的7h中,随着时间的增加3种调度模型日志差错率均有明显增

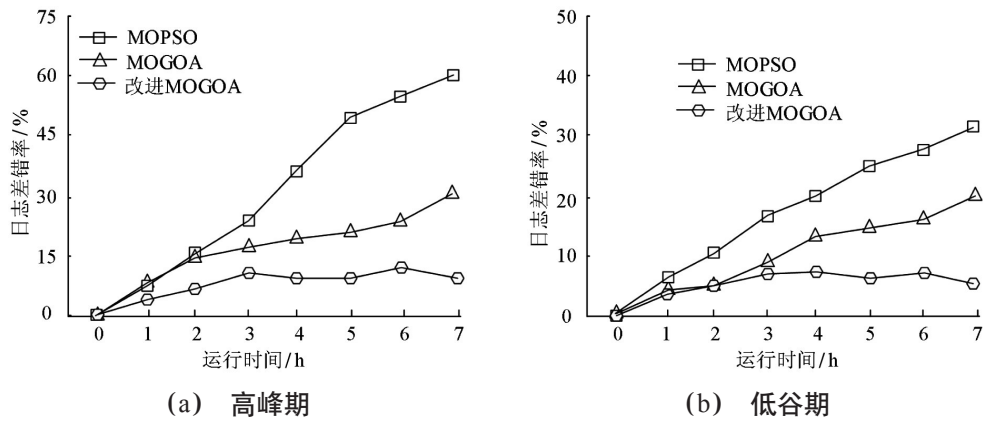


图4 系统运作差错率

加。其中,MOPSO整体日志差错率最高,在第4小时后,系统日志差错率均高于30%,且呈现上升趋势,在第7小时时,差错率最高为65.35%。相比较MOPSO而言,MOGOA模型下记录的日志差错率明显更低一些,最高出现在第7个小时,日志差错率为35.62%。表现最好的是改进MOGOA模型,在系统调度中会根据系统日志差错率不断调整调度来降低差错率,其日志差错率则保持在15%上下,整体效果更好。图4(b)为低谷期交易下日志出错率结果,相比高峰期日志出错率,低谷期三种技术日志差错率均有明显下降。总体表现最好的依旧为改进MOGOA模型,当系统日志差错率超过系统标准值后,系统会根据记录的日志信息不断优化调度,抑制系统调度错误,使得系统日志差错率维持在10%以内。而MOPSO模型与MOGOA模型并未根据系统记录日志信息优化调度,导致系统日志差错率维持在一个较高的水平。如在第7个小时时,MOPSO模型日志差错率最高为34.25%,而MOGOA最高为23.95%,均超过15%日志差错率设置标准。可见,改进MOGOA模型在系统调度中整体效果要更好。接下来,比较不同模型下系统数据承载力以及数据处理响应效果,如图5所示。

图5(a)为不同模型下系统调度数据承载力对比结

果。实验过程中将通过不断增加多方交易数据规模来比较不同模型下系统的承载力,直至无法继续实验为止。其中,表现最好的是改进MOPSO模型,其表现出了优于另外两种模型的数据承载力,在第4次实验时取得最高承载点为140.32万条数据,并在第5次实验调整调度,恢复承载力。表现次之的是MOGOA模型,在第5次达到最高承载点为112.35万条数据,并且在6次实验时出现异常故障点,无法再继续进行实验。而表现最差的是MOPSO模型,在第5次实验时达到最高承载点,此刻最高承载数据量为78.65万条,再继续进行第6次实验时出现故障点,并且无法继续系统调度。图5(b)不同模型下系统调度响应时间对比结果。其中选取70万条多方交易数据进行实验,根据曲线结果来看,随着交易数据量的增加,系统负荷不断增大,使得系统响应时间不断扩大。其中,表现最差的是MOPSO模型,当交易数据达到70万条时,系统响应时间达到了478.6ms,系统具有较高的延迟,会对整个电力现货市场交易过程造成影响。相比较而言,MOGOA模型整体系统响应时间有所下降,但仍旧较高,如在交易数据为70万条时,最高响应时间为372.2ms。表现最好的改进MOGOA模型,在交易数据量为70万条时,最高响应时间为167.65s,优于另外两种模型,整体表现要更好。

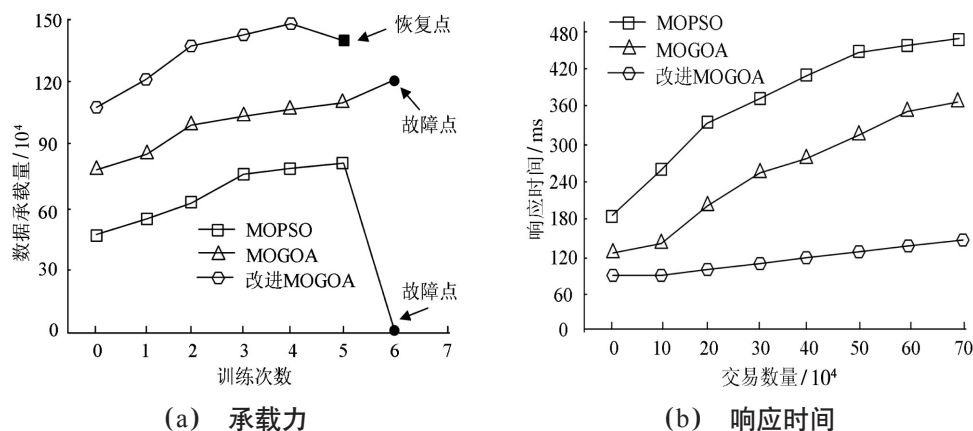


图5 交易数据处理能力与响应时间

3 结束语

电力现货市场交易数据具有隐秘性与规模性特点,导致其数据调度无法满足市场发展要求。为了应对交易数据调度问题,采用全同态加密算法来表示交易数据。其次是根据电力交易特点构建调度模型,引入改进MOGOA算法进行调度求解,从而实现电力交易数据自适应调度。在系统负荷状态分析中,改进MOGOA模型相比于MOPSO与MOPSO负荷调节能力上提升8.65%与32.68%。在系统运作差错率分析中,高峰期改进MOGOA模型最高差错率在15%上下,而MOPSO模型与MOGOA模型分别为65.35%与35.62%。在数据承载力分析中,改进MOGOA模型、MOGOA模型以及MOPSO模型最高数据承载量分别为140.32万条、112.35万条以及78.65万条。最后在响应时间分析中,改进MOGOA模型最大响应时间为167.65 s,优于另外两种模型。可见研究技术具有良好的应用效果。不过研究主要考虑主要几种交易数据,未来需要考虑更多类型数据,提高数据调度效果。

参考文献:

- [1] 毛宏亮,艾孜尔古丽,等.基于多头注意力的电网调度领域命名实体识别[J].计算机技术与应用,2023,33(2):181-186.
- [2] 黎松龄,陈宁,陈颖,等.基于模糊理论和熵权法的电网调度员实操评价[J].制造业自动化,2023,45(8):188-193.
- [3] ALONSO A M, MATUTE G, YUSTA J M, et al. Multi-state optimal power dispatch model for power-to-power systems in off-grid hybrid energy systems: a case study in Spain[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2024, 52(5): 1045-1061.
- [4] 彭春华,姜治,孙惠娟,等.路-电耦合配电网调度与充电策略协同鲁棒优化[J].电网技术,2023,47(7):2762-2773.
- [5] 孟超,王联智,谢敏,等.基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统[J].电气传动,2023,53(4):65-70.
- [6] 丁捷,蒋小龙,吴京京,等.异地双活容灾技术的电网调度

信息安全应用[J].信息技术,2023,47(1):186-190.

- [7] 颜少伟,符树雄,李卓,等.电网调度应急处置辅助系统的智能架构及功能研究[J].自动化技术与应用,2023,42(6):150-154.
- [8] 刘辉,张雨璇,汪伟,等.电网调控运行智能问答系统构建方法研究[J].自动化技术与应用,2023,42(5):111-114.
- [9] 袁江辉.智慧社区配电网供电可靠性风险动态综合评估方法[J].自动化技术与应用,2023,42(4):171-175.
- [10] 尚立信,焦新泉,陈建军.热电偶无线传感器节点低功耗优化设计[J].计算机测量与控制,2023,31(1):294-300.
- [11] 赵海祺,卢开诚,董树锋,等.考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度[J].电力系统自动化,2023,47(20):33-41.
- [12] 翁毅选,程韧俐,马伟哲,等.计及随机网络约束的含可再生能源电力天然气耦合系统优化[J].能源与环保,2023,45(5):181-186.
- [13] 张伟,纪巍.基于Cyber-net与无监督学习的电网调度网络安全态势感知方法[J].微型电脑应用,2023,39(10):197-200.
- [14] 赵波,张后谊,汪湘晋,等.体系架构下考虑虚假信息注入的微电网群分布式优化调度[J].电力系统自动化,2023,47(8):169-178.
- [15] ABD-ELWAHAB A M, KAMEL S, HASSAN M H, et al. Jaya-AEO: an innovative hybrid optimizer for reactive power dispatch optimization in power systems[J]. Electric Power Components and Systems, 2024, 52(4): 509-531.

作者简介:于海波(1987—),男,硕士,工程师,研究方向:电力系统及其自动化。

(上接第53页)

的微电网储能优化配置模型[J].自动化技术与应用,2022,41(8):106-157.

- [5] 苏永义,刘斐,隋树法,等.新能源并网对电网电能质量的影响分析方法[J].微型电脑应用,2023,39(2):80-83.
- [6] 卢锦玲,罗持辉,张海滨,等.考虑储能的新能源弹性电网静态稳定性评估[J].电力系统及其自动化学报,2023,35(3):145-150.
- [7] 闫培雷,葛兴来,王惠民,等.弱电网下新能源并网逆变器锁相环参数优化设计方法[J].电网技术,2022,46(6):2210-2221.
- [8] 刘述波,杨斌,仲春林,等.基于多能互补的储能系统需求响应策略研究[J].自动化技术与应用,2023,42(11):137-141.
- [9] 马兰,谢丽蓉,叶林,等.基于混合储能双层规划模型的风电波动平抑策略[J].电网技术,2022,46(3):1016-1026.
- [10] ZHANG T, HU Z. Optimal scheduling strategy of virtual power plant with power-to-gas in dual energy markets[J]. IEEE Trans-

actions on Industry Applications, 2022, 58(2): 2921-2929.

- [11] 陈飞雄,林炜晖,邵振国.含电转气和混合储能的微电网双层滚动优化控制方法[J].电力自动化设备,2022,42(5):23-31.
- [12] 李国堂,宋福浩,陈杰,等.考虑碳排放的综合能源系统“结构-型号-容量”优化模型[J].电力建设,2022,43(7):37-47.

作者简介:李院霞(1994—),女,本科,助理工程师,研究方向:电力系统、电网规划。

通信作者:苏宏伟(1986—),男,硕士,高级工程师,研究方向:电网规划、项目管理。