

基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统

王金仕, 陈民洪, 杨新华

(中国三峡新能源(集团)股份有限公司云南分公司, 云南 昆明 650051)

摘要:为提升光伏电站火灾管控的效率,采用多目标粒子群算法,来确定最佳消防位置,并结合物联网技术构建光伏电站火灾综合管控一体化系统。实验数据显示,目标权重为0.2:0.4:0.2:0.2时,消防站点位置规划方案的合理性评分达到90分以上,满足实际应用需求。相比于一级响应,二级响应的时间延迟更长,但是温度误差更小。光伏电站火灾综合管控一体化系统可以满足不同火灾情况的应用需求,响应时间和温度误差均在可控范围内,可为光伏电站安全稳定运行提供保障。

关键词:粒子群算法;多目标优化;光伏电站;火灾管控;一体化系统

中图分类号:TP277 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7241(2025)08-0052-05

Integrated Fire Control System for Photovoltaic Power Plants Based on Multi-objective Particle Swarm Optimization

WANG Jinshi, CHEN Minhong, YANG Xinhua

(China Three Gorges Renewables (Group) Co., Ltd., Yunnan Branch, Kunming 650051, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of fire control in photovoltaic power plants, this study uses multi-objective particle swarm optimization algorithm to determine the optimal fire location, and combines IoT technology to construct an integrated system for photovoltaic power plant fire control. The experimental data shows that when the target weight is 0.2:0.4:0.2:0.2, the rationality score of the fire station location planning scheme reaches over 90 points, meeting the practical application needs. Compared to the first level response, the second level response has a longer time delay but smaller temperature error. Overall, the integrated fire control system for photovoltaic power plants can meet the application needs of different fire situations, with response time and temperature errors within a controllable range, providing guarantees for the safe and stable operation of photovoltaic power plants.

Keywords: particle swarm optimization; multi objective optimization; photovoltaic power plants; fire control; integrated system

0 引言

高温和高压是光伏电站常见的工作状态,这对电站的设备和系统提出了严格的要求^[1-2]。然而,由于光伏电站的设备长时间运行,存在着一定的老化和磨损,这可能导致电气设备的故障和火灾的发生^[3]。电气设备的过载、短路、电弧等问题,都可能引发火灾事故。此外,光伏电站中的电池组件也存在着一定的安全隐患,如过热、短路等问题,这也可能引发火灾^[4]。光伏电站火灾综合管控的研究在国内外都在进行,主要关注监测技术、预警系统和应急处理等方面的创新和改进,以提高光伏电站的安全性和火灾风险的管理。国内研究者注重系统框架设计,火灾监测技术和应急处理技术;欧美的研究者则关注火灾预防和应急撤离方案等。未来的研究将集中在提高系统可靠性和响应速度,实现更全面、精确的火灾风险管

理^[5]。因此,研究提出了一种基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统,旨在通过优化消防站点位置、消防布置成本等多个目标,并结合物联网技术实现光伏电站火灾的全面管控,期望为光伏电站的安全运行提供一种全面、高效的解决方案,为光伏电站行业的发展作出积极贡献。

1 基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统

1.1 基于多目标粒子群的消防位置规划方法

基于多目标粒子群的消防位置规划方法是一种利用多目标粒子群算法,来确定最佳消防位置的方法^[6]。该方法的目标是在给定的区域内确定最佳的消防位置,以最大程度地减少火灾对人员和财产的伤害^[7]。消防位置的规划需要考虑需求、效益最大化和成本最小化等影响,综合考虑后得到消防位置规划的目标函数如式(1)所示。

*基金项目:云南省科研项目(NBWL202200613)

收稿日期:2023-11-20

$$\begin{cases} f_1 = \min D \\ f_2 = \max h_i z_i \\ f_3 = \min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n m_{ij} d_{ij} y_{ij} \\ f_4 = \min \sum_{j=1}^n k_j x_j + w \sum_{j=1}^n \delta_{ij} y_{ij} \\ \text{s.t. } y_{ij} - x_i \leq 0, i, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中, 目标函数为 f , 消防位置到需求点的最大距离为 D , 需求点设备和人员数量为 h_i , 需求点为 m_{ij} , 消防位置到需求点的距离为 d_{ij} , 消防位置建设成本为 k_j , 灾害发生过程中消防站的破坏后能力下降的能效系数为 δ_{ij} , 消防站点维修的单位成本为 w 。光伏电站中的消防位置数量为 n , 消防站点 j 是否被选择用 x_j 表示, 需求点 i 是否被消防站 j 覆盖用 y_{ij} 表示, 需求点 i 是否被覆盖用 z_i 表示。约束条件如式(2)所示。

$$\begin{cases} D - \sum_{j=1}^n d_{ij} y_{ij} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^n \delta_{ij} y_{ij} \geq z_i \\ x_j, y_{ij}, z_i \in \{0, 1\}, i, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

目标函数和约束条件的共同作用下, 使得消防站点到需求点的距离最小, 每个需求点只被一个站点覆盖, 消防站点数量和建设成本以及维修成本最小, 消防站点具备足够的服务能力。基于多目标粒子群的消防位置规划方法能够通过优化算法, 同时考虑多个目标和约束条件, 寻找一组最优的消防站点位置方案。通过粒子群算法的迭代和搜索过程, 系统能够自动调整消防站点的位置和数量, 使得目标函数最小化并满足约束条件^[8-9]。这样的方法不仅能够提高消防站点的整体效率和灵活性, 还能够降低建设和运营成本, 并提高消防救援的响应速度和效果。粒子群算法流程如图1所示。

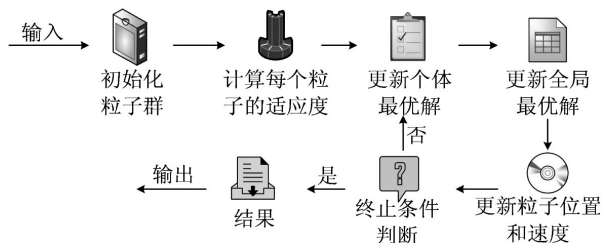


图1 粒子群算法流程

粒子群算法首先设定粒子群的规模、每个粒子的初始位置和速度^[10]。通常, 粒子的位置表示问题的解, 速度表示粒子在解空间中的搜索方向和速度。对于每个粒子, 根据其当前位置计算适应度值。适应度值表示该位

置对应的解的优劣程度。对于每个粒子, 根据其当前位置和适应度值, 更新其个体最优解^[11]。个体最优解是该粒子在搜索过程中找到的最优解, 对于整个粒子群, 根据所有粒子的个体最优解, 更新全局最优解。全局最优解是整个粒子群在搜索过程中找到的最优解。对于每个粒子, 根据其当前速度、个体最优解和全局最优解, 更新其速度和位置。速度更新公式中包含了惯性项、个体认知项和社会认知项, 用于控制粒子的搜索方向和速度。判断是否满足终止条件, 如达到最大迭代次数或找到满意的解等。如果满足终止条件, 则算法结束, 输出全局最优解作为问题的最优解; 否则, 返回更新最优解。在粒子群算法的搜索过程中, 粒子通过不断地更新速度和位置, 逐渐向全局最优解靠近, 从而找到问题的最优解。

粒子群算法是一种优化算法, 用于解决搜索空间中的最优化问题, 无法直接应用于解决空间型数据问题。为了将空间型数据问题转化为粒子群算法所能处理的搜索空间, 需要对问题的可行解进行编码。在二进制编码中, 问题的可行解被表示为一个由0和1组成的二进制串。每个二进制位对应解空间中的一个维度, 0和1分别表示该维度上的两个取值。通过对二进制串进行解码, 可以得到问题的可行解。在粒子群算法中, 初始粒子种群的位置需要进行编码, 以便将候选位置与粒子种群联系起来。编码后的位置可以作为粒子在搜索空间中的初始位置。在迭代过程中, 粒子根据自身的经验和邻域的信息更新自己的位置, 并搜索最优解。

1.2 光伏电站火灾综合管控一体化系统设计

在确定了消防站点的位置之后, 可以利用物联网技术来设计光伏电站火灾综合管控一体化系统。火灾综合管控一体化系统的物联网架构包含应用层、服务层、网络层和感知层^[12]。光伏电站火灾综合管控一体化系统如图2所示。

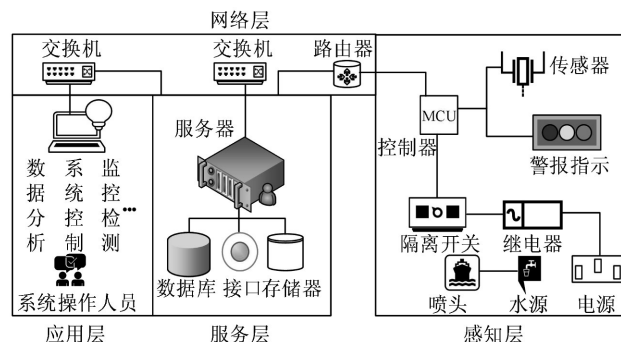


图2 光伏电站火灾综合管控一体化系统

应用层是物联网架构的最顶层, 主要负责用户界面和功能的展示, 包括用户界面、应用软件等, 将处理和分析后的数据以可视化的方式展示给用户, 提供火灾预警、报警、监控等功能。通过云平台, 管理人员可以实时查看

光伏电站的火灾监测数据、设备状态和环境参数,及时发现并进行处理。同时,还可以通过远程控制系统,对光伏电站进行远程操作和管理,提高火灾应急响应的效率和准确性。服务层是物联网架构的中间层,主要负责数据的处理和分析。这包括数据存储、数据处理、数据分析等,将感知层采集到的数据进行处理和分析,提取有用的信息,并为上层的应用层提供服务和支撑。

网络层负责数据的传输和通信,将感知层采集到的数据传输到其他层进行处理和分析。这包括网络设备、通信协议等,确保数据的可靠传输和通信的稳定性。感知层是物联网架构的最底层,主要负责采集和感知火灾相关的数据。在光伏电站的各个关键位置安装火灾监测传感器。这些传感器可以实时监测光伏电站的温度、烟雾、火焰等火灾相关参数。一旦监测到异常情况,传感器会立即发送信号给系统,系统会及时发出警报并采取相应的措施。物端环境信息采集,可通过K型热电偶计算得到环境温度,环境温度计算如式(3)所示。

$$T_{AMB} = T_R - \frac{V_{out}}{41} \quad (3)$$

式中, V_{out} 为热电偶输出电压, T_R 为热电偶远端连接的温度, T_{AMB} 为周围环境温度。

警报方式包含远程和原地两种方式,远程预警是通过数据传输和服务端将信息发送给光伏电站相关负责人,原地报警是通过蜂鸣器和指示灯实现。在火灾预警中,采取预响应、一级响应、二级响应等级来应对火灾。预响应是指在火灾预警信号发出后,相关部门或机构会立即启动预先准备的应急措施,以便在火灾发生时能够迅速响应和应对。一级响应是指在火灾实际发生后,相关部门或机构会立即启动一级应急响应,采取一系列措施来控制火势、救援被困人员、疏散人群等。二级响应是指在火灾情况进一步恶化或需要更多资源投入时,相关部门或机构会升级响应级别,采取更加紧急和全面的措施来应对火灾。

服务器部署是系统开发的关键步骤之一,需要选择合适的服务器架构和配置,确保系统能够稳定运行并具备足够的性能。服务器部署还需要考虑系统的可扩展性和高可用性,以应对大规模光伏电站的需求。研究将服务端部署在阿里云服务器上,阿里云服务器具有灵活的扩展性,可以根据业务需求随时增加或减少服务器资源,从而实现弹性扩展和成本优化。在软件开发过程中,需要设计和优化数据库结构,确保数据的完整性和一致性。同时,还需要考虑数据库的性能和安全性,以提高系统的响应速度和保护数据的安全。针对光伏电站火灾管控系统化系统,研究使用 MariaDB 数据库,利用 PHP 语言开发 API 接口。客户端开放是系统与用户交互的重要环

节,需要开发用户友好的界面,提供直观、易用的操作方式。客户端开放还需要考虑系统的安全性,确保只有授权用户能够访问系统,并对用户的操作进行权限控制。客户端开发采用前端开发技术组合方式,实现数据实现实时监控、人员控制、数据处理和系统检查等功能。

2 基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统应用分析

2.1 基于多目标粒子群的消防位置规划方法应用分析

针对南方某光伏电站地图数据,实验使用地理信息系统软件获取和处理地图数据。目标函数即为式(1)中所示的4个目标函数,粒子群算法参数设置如表1所示。

表1 粒子群算法参数设置

参数序号	参数名称	说明	设定值
1	粒子群数量	决定搜索空间的覆盖程度	200
2	最大迭代次数	决定算法的运行时间	2 000
3	惯性权重	控制粒子的速度和方向	1.0
4	加速因子	决定粒子的加速度	2.0
5	学习因子	决定粒子学习能力	2.0
6	目标权重	4个目标函数的权重	(1) 0.4:0.2:0.2:0.2 (2) 0.2:0.4:0.2:0.2 (3) 0.2:0.2:0.4:0.2 (4) 0.2:0.2:0.2:0.4

通过以上实验环境设置,可以对基于多目标粒子群的消防位置规划方法进行实验和评估,从而得到较优的消防位置规划方案。基于多目标粒子群的消防位置规划方法得到某光伏电站消防站点位置规划方案后,对其覆盖率、经济性和合理性进行评估。光伏电站消防站点位置规划方案评估结果如图3所示。

图3(a)和图3(b)中可见,随着迭代次数的增加,覆盖率和预算利用率逐渐增加,迭代至1 500次后趋于收敛。图3(c)中可见,目标权重设置为0.2:0.4:0.2:0.2时,消防站点位置规划方案的合理性评分较高,达到90分以上,可满足使用需求。

2.2 光伏电站火灾综合管控一体化系统验证

为验证光伏电站火灾综合管控一体化系统的应用效果,研究采用计算机进行仿真,并使用 Python 编写仿真程序,消防站点的规划根据目标权重 0.2:0.4:0.2:0.2 进行设置。火灾模拟器可以根据地图数据和火灾参数,模拟火灾的燃烧过程、烟雾扩散等情况。光伏电站火灾综合管控一体化系统中,消防站点对于不同着火点的响应结果如表2所示。

表2中可见,对于10个不同着火点,系统都能作出响应,只是随着温度的升高,二级响应的时间会增加,但是所有地点的火灾都能被扑灭,说明光伏电站火灾综合管

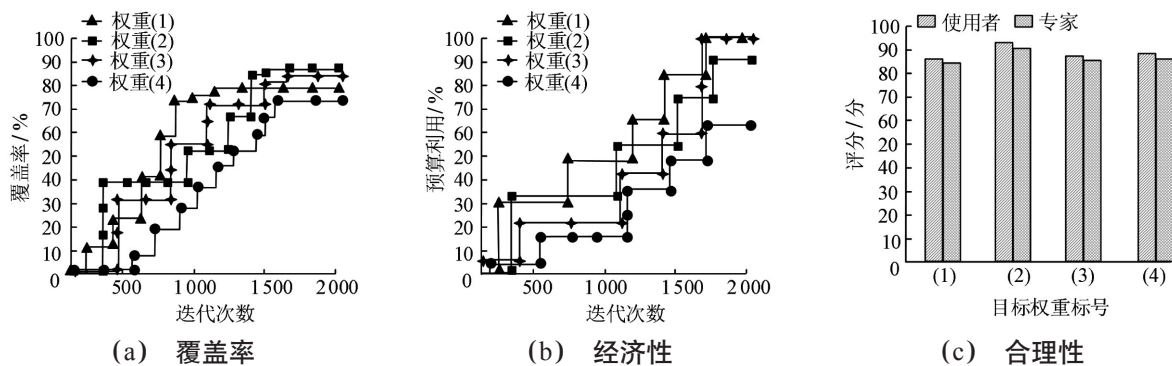


图3 光伏电站消防站点位置规划方案评估结果

控一体化系统可以满足应用需求。为进一步验证系统的可靠性,实验将一级响应和二级响应的温度分别设置为80℃和600℃,系统响应结果与理论值对比如图4所示。

火灾综合管控一体化系统可以保持较高的稳定性,能够满足不同火灾情况的应用需求。

表2 消防站点对于不同着火点的响应结果

着火点编号	响应温度/℃	响应时间/s	响应等级	是否扑灭
1	105	40	1	是
2	600	450	2	是
3	97	39	1	是
4	605	458	2	是
5	98	39	1	是
6	604	452	2	是
7	95	38	1	是
8	610	445	2	是
9	110	46	1	是
10	620	460	2	是

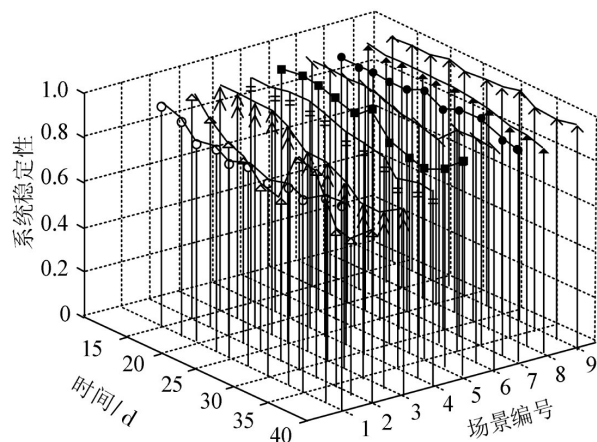
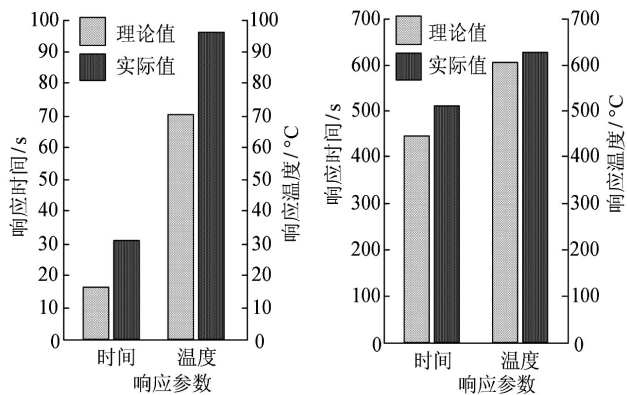


图5 系统稳定性测试结果



(a) 一级响应 (b) 二级响应

图4 系统响应结果与理论值对比

图4(a)为一级响应的对比结果,可见一级响应的平均时间延迟为15s,响应温度误差为25℃。图4(b)为二级响应的对比结果,可见一级响应的平均时间延迟为66s,响应温度误差为17℃。结果表明,相比于一级响应,二级响应的平均时间延迟更长,但是温度误差更小。说明二级响应可能需要更长的时间来做出响应,但是在控制温度方面更加准确。系统稳定性测试结果如图5所示。

图5中可见,在不同灾情场景中,系统经过40d的稳定性检测,系统稳定性不低于0.85。总体来说,光伏电站

3 结束语

在针对光伏电站火灾管理方面,为了提高火灾的应对能力并降低建设成本,研究提出基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统,利用多目标粒子群算法规划消防站点位置,并结合物联网技术设计火灾综合管控一体化系统。实验数据显示,粒子群优化算法目标权重设置为0.2:0.4:0.2:0.2时,消防站点位置规划方案的评分达到90分以上,满足实用需求。对于不同的着火点,系统都能作出响应,随着温度的升高,二级响应的平均时间会增加,但是所有地点的火灾都能被扑灭,说明火灾综合管控一体化系统可以满足光伏电站的应用需求。结果表明,综合管控一体化系统的实施将极大地提高光伏电站火灾的预防和应急处置能力。通过实时监测和预警,能够及时发现火灾隐患,采取相应的措施进行防范。通过火灾应急处置模型的应用,能够快速、高效地进行火灾应急处置,最大限度地减少火灾的损失。

参考文献:

[1] 李宏伟, 张宋彬, 李婧, 等. 基于改进D-S证据理论的变电

站火灾监测报警技术研究[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(5): 45-48.

[2] 闫建生, 欧阳龙水, 徐义巍, 等. 基于虚拟现实技术的协同式3D多人应急演练平台设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(8): 179-182, 186.

[3] 谢勇宏, 孔月萍. 基于改进粒子群算法的三维路径规划[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 179-182, 191.

[4] 周明霞, 张梦娜, 李斌宇, 等. 基于改进粒子群算法的多机器人多任务3D打印智能调度方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 245-250, 288.

[5] 李虹雨. 地铁区间应急疏散关键系统设计与测试实现[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(1): 159-161, 165.

[6] 周小平. 基于改进粒子群算法的计算机考试自动组卷方法[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(7): 70-73.

[7] 张静. 基于混沌粒子群算法的神经网络的财务管理预警优化模型[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(2): 20-23.

[8] 徐建军, 赵书琪, 马睿, 等. 基于改进粒子群优化算法的综合能源系统多目标优化[J]. 广东电力, 2021, 34(5): 73-81.

[9] 朱新峰, 吴名位, 王国海. 基于多目标优先级粒子群算法

的资源调度策略[J]. 计算机技术与发展, 2022, 32(1): 19-24.

[10] 夏邵刚. 基于改进粒子群算法的森林城市多目标规划方法[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(5): 206-208.

[11] 黄星, 卢宇, 申亮, 等. 基于粒子群灰狼混合算法的多目标约束优化问题求解[J]. 小型微型计算机系统, 2023, 44(2): 288-299.

[12] 贾荣田, 苑春苗, 蔡景治, 等. 基于神经网络算法的多参数火灾探测系统设计[J]. 消防科学与技术, 2022, 41(4): 526-529.

作者简介: 王金仕(1985—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 新能源生产运维。

(上接第28页)

处理, 以避免电力安全事故的发生。实验结果表明, 本文方法具有配网低压架空线路电压测量能力。

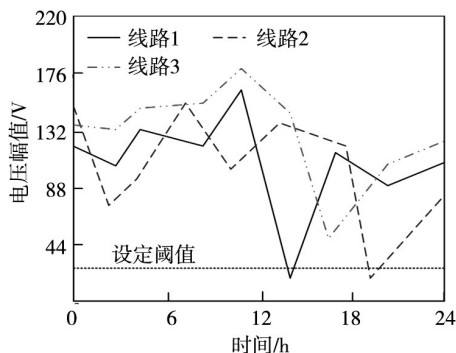


图5 配网低压架空线路电压测量结果分析

3 结束语

获取某配网低压架空线路验电接地装置运行数据, 将本文方法应用于该装置故障诊断中, 通过对3种不同状态下装置电压信号波形、故障特征提取以及诊断结果等进行分析, 验证本文方法的实用性能。实验结果表明: (1) 验电接线装置故障时的电压信号波形与正常时差异较大; (2) 本文方法可实现验电接线装置故障特征提取与诊断, 诊断效果突出; (3) 利用该装置可检测配网低压架空线路是否有电, 并对接地刀闸状态进行处理。

参考文献:

[1] 俞小勇, 秦丽文, 桂海涛, 等. 新一代人工智能在配电网智能感知与故障诊断中的应用[J]. 南方电网技术, 2022, 16(5): 34-43.

[2] 郑永健, 赵法强. 配网低压架空线新型接地线的研究[J].

技术与市场, 2020, 27(2): 88-89, 91.

[3] 方伟. 配电网架空绝缘线路全绝缘接地装置的研究[J]. 农村电气化, 2021, 407(4): 69-70.

[4] 黄靖, 陈斌艺, 黄晓生, 等. 基于卡尔曼滤波便捷式接地线电阻检测装置[J]. 电瓷避雷器, 2023, 311(1): 65-73.

[5] 袁燕, 王家华, 蔡文辉, 等. 新型操作验电一体化组合工具在配网架空线路作业中的应用[J]. 现代工业经济和信化, 2022, 12(4): 137-138.

[6] 吴长浩, 钱建尧, 边云云, 等. 带验电警报功能的配电检修接地线制作应用[J]. 农村电工, 2020, 28(12): 26.

[7] 李云鹏, 金旭荣, 张鑫瑞. 基于并行计算的电能计量装置故障诊断技术研究[J]. 电测与仪表, 2022, 59(12): 96-102.

[8] 朱少斌, 许素安, 马宗彪, 等. 基于BSO-BPNN模型的电能计量装置异常诊断方法研究[J]. 中国测试, 2022, 48(1): 141-146.

[9] 刘颖, 陶建峰, 黄武涛, 等. 小波包能量与CNN相结合的滚动轴承故障诊断方法[J]. 机械设计与制造, 2021, 369(11): 127-131.

[10] 董飞, 俞啸, 丁恩杰, 等. 一种基于小波包变换和监督NPE的滚动轴承故障诊断方法[J]. 机械设计与制造, 2020, 349(3): 29-33.

[11] 张玉彦, 张金龙, 文笑雨, 等. 基于DBI-小波包分解和改进BP神经网络的轴承故障诊断方法研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2023, 42(1): 116-123.

作者简介: 苏一峰(1989—), 男, 工程师, 研究方向: 配网运行管理。