

环境气候变化对渔业电气设备负荷影响研究

林晶怡¹,王占博¹,许一川²,刘畅¹,谈诚²

(1. 中国电力科学研究院有限公司,北京 100192;2. 国网江苏省电力有限公司 常州供电公司,江苏 常州 213003)

摘要:随着智能渔场电气化水平不断提高,渔场内环境敏感型负荷比例增加,负荷预测应充分考虑环境气候变化对渔业电气设备运行的影响。首先,对渔场监测平台采集的数据进行分析与预处理,依据气候特征进行典型场景划分;其次,利用最小二乘法分解受环境气候影响的气象负荷,采用相关系数法分析负荷与气象指标之间的相关性,通过SPSS软件采用主成分分析法将多个单一气象指标转化为少数几个综合指标,利用综合气象指标和气象负荷数据进行BP神经网络训练,构建了典型场景下基于BP神经网络的渔业电气设备负荷预测模型;最后,基于目标日的渔业电气设备运行情况和气候指标数据进行了实例验证,结果表明该模型反映了环境气候变化对渔业电气设备负荷的影响,误差精度满足实际工程需要。

关键词:渔光储;气象负荷;主成分分析法;BP神经网络;负荷预测

Study on the influence of environmental climate change on the load of fishery electrical equipment

LIN Jingyi¹, WANG Zhanbo¹, XU Yichuan², LIU Chang¹, TAN Cheng²

(1. China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China;2. Changzhou Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Changzhou 213003, China)

Abstract: With the continuous improvement of the electrification level of smart fishing grounds, the proportion of environmentally sensitive loads in fishing grounds increases. Load forecasting should fully consider the impact of environmental climate change on the operation of fishery electrical equipment. Firstly, the data collected by the fishing ground monitoring platform are analyzed and preprocessed, and the typical scenes are divided according to the climatic characteristics. Secondly, the least square method is used to decompose the meteorological load affected by the climate, and the correlation coefficient method is used to analyze the correlation between the load and the meteorological index. The principal component analysis method is used to transform multiple single meteorological indicators into a few comprehensive indicators in SPSS. The comprehensive meteorological indicators and meteorological load data are used to train the BP neural network, and the load forecasting model of fishery electrical equipment based on BP neural network in typical scenarios is constructed. Finally, an example is verified based on the operation of fishery electrical equipment and climate index data on the target day. The results show that the model reflects the impact of environmental climate change on the load of fishery electrical equipment, and the error accuracy meets the actual engineering needs.

Key words: fisheries, photovoltaics and energy storage; meteorological load; principal component analysis method; BP neural network; load forecasting

0 引言

“渔光储互补”是21世纪以来基于我国实际情况发展的一种新型渔业方式,具有“水上发电、水下养鱼、光储协同”的鲜明特点^[1]。将光储技术和水产养殖相结合,节约土地资源,减少碳排放,助力水产养殖业落实“双碳”目标。开展“渔光储”互补研究,

对于推动我国水产养殖产业高质量发展、增加渔民收益具有重要意义^[2-3]。

“渔光储互补”模式改变了池塘的养殖模式,提高了养殖的管理水平。对渔业电气设备进行负荷特性分析和负荷预测成为渔场电力管理部门的重要工作,也是渔场电力规划和运行控制的重要环节。文献[4]指出考虑地区气象因素的短期负荷预测能够提升工作效率和水平,为发电计划制定提供基础和保障。由于渔场中气候敏感型负荷的比例较高,所以进行调控时应充分考虑环境气候变化对电力负荷的影响。根据渔场系统中的负荷变化和气候特征,

可以将负荷拆分成基础负荷和气象负荷分别进行分析^[5]。文献[6]通过相关性建模分辨影响气候负荷的主导因素，并尝试通过回归分析量化气候因素对负荷的影响，能够较为直观地看出各指标对负荷的影响，但该方法仅对最大负荷进行预测。文献[7]分析了各种气象因子与负荷变化的关联关系，得出了某地区电力负荷随各种气象因子变化的规律，建立了各地市的综合气象指数，但未考虑各气象因子间的相关性。文献[8]分析了气温、湿度和天气类型3个气象因子对负荷变化趋势的影响，对基于变化趋势的电力负荷预测方法进行修正，建立了加权负荷预测模型，但该方法跟踪负荷变化的能力较弱。

基于以上分析，考虑渔业电气负荷易受多种气象因素影响，本文进行了环境气候变化对渔业电气设备负荷影响的研究。首先，介绍了江苏常州某渔场的自然环境，进行了典型场景的划分；其次，采用负荷分解、相关性分析法以及主成分分析法研究气象指标对负荷的影响情况，通过训练BP神经网络建立了环境气候变化对负荷影响的数学模型；最后，基于典型场景进行了实例验证。

1 典型场景划分

江苏常州某渔场占地733 337 m²(1 100亩)，拥有标准化成蟹养殖池28口，此外还有扣蟹养殖池、成蟹实验池等100多口，渔场位于北亚热带季风区，四季分明。根据近十年来渔场的天气变化收集整理，各类天气状况每年出现天数如表1所示。

表1 天气变化年指标
Table 1 Annual index of weather change

名称	指标		
	平均	最高	最低
晴天	67.7	89	44
阴天	149.0	184	111
降雨	122.7	138	103
雾天	30.2	55	8
大风	4.6	10	3
雷暴	25.0	34	16
霜雪	59.8	87	29

根据历年天气变化年指标，可划分3类典型场景。首先，选择晴天情况作为稳定运行场景；其次，随着日常天气变化和四季更替，渔场经历连续或间断的阴天、雨天、多云、大雾气候，将其作为长期气候变化场景；此外，以雷暴、台风、霜雪、干旱等极端恶劣天气作为极端天气场景。

将渔场内渔业电气设备分为5大类，分别为增

氧设备、投喂设备、循环水泵、监测设备与光伏储能设备。图1为该智慧渔场的运行示意图。

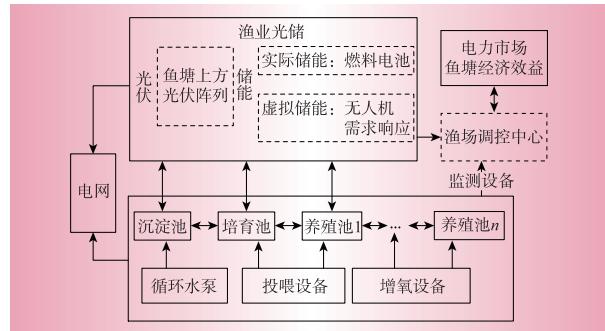


图1 常州智慧渔场运行示意

Fig. 1 Operation schematic of Changzhou smart fishing ground

2 基于综合气象指标的渔业电气设备负荷预测

基于渔场监测平台采集到的负荷信息和气候数据，首先，利用最小二乘法进行负荷分解，将渔场负荷曲线分解为基础负荷曲线和气候负荷曲线；其次，结合气候指标的变化特征，利用相关性分析法得到各个气候指标和气候负荷之间的相关性关系；再次，为分离单一气候指标间的互相影响，采用主成分分析法将多个单一气象指标转化为少数几个综合指标；最后，利用BP神经网络进行基于综合气象指标的渔业电气设备负荷预测，探究环境气候变化对负荷的影响。环境气候变化对渔业电气设备负荷影响的研究步骤图如图2所示。

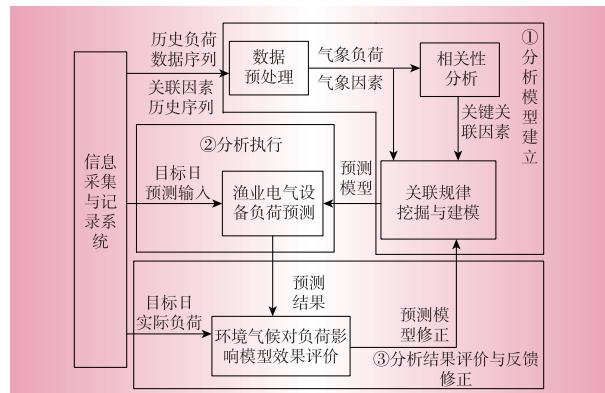


图2 渔业电气设备负荷预测步骤

Fig. 2 Step of fishery electrical equipment load forecasting

2.1 负荷分解

为进行渔业设备与环境关联分析的探究，首先，可将实际负荷分解出基础负荷项和气候负荷项^[9]，如式(1)所示

$$L = L_1 + L_2 \quad (1)$$

式中： L_1 为不受气候影响的基础负荷， L_2 为受气候

影响的气候负荷项。基础负荷受电价、时间变化和季节交替影响,呈现长期性的、稳定的变化趋势,因此,本文采用最小二乘法对负荷曲线进行拟合得到基础负荷;由于受到渔场环境气候不断变化的影响,气候负荷具有波动性,用总负荷减去拟合得到的基础负荷表示^[10-11]。负荷分解提高了预测的准确度,分离出的两种负荷并未直接对应相应的物理实际。

2.2 相关性分析法

相比于传统负荷预测方法和新型智能算法类预测方法,相关性分析法能够解释各气象指标与负荷变化的内在联系,可以结合渔场电气设备实际运行特性进行分析。

为度量环境气候变化因素和渔业电气设备负荷之间的关系,采取相关性分析法求解环境因素 X 和渔业电气设备负荷 Y 的线性相关系数,用字母 r 进行表示^[12]

$$r = \frac{C_{ov}(X, Y)}{\sqrt{V_{ar}[X]V_{ar}[Y]}} \quad (2)$$

式中: $C_{ov}(X, Y)$ 为 X 与 Y 的协方差; $V_{ar}[X]$ 和 $V_{ar}[Y]$ 为 X 和 Y 的方差。

2.3 主成分分析法

主成分分析可对指标进行降维,把多个原始指标转化为少数几个综合指标,即主成分。其中每个主成分都能够反映原始指标的大部分信息,且所含信息互不重复^[13]。引入该方法可以使问题分析简单化,同时得到更加科学有效的数据信息。各类环境气候指标间存在相互影响,将多个气象指标转化成综合指标,使得其中包含信息不重复,能够有效地看出对负荷产生影响的主要环境气候因素^[14]。

假设有 n 组气象因素数据样本,每个样本中有 p 个指标变量

将 p 个气候指标进行线性组合, X_i 为气候指标向量,通过主成分分析法构成新的综合指标表达式

$$\begin{cases} Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \\ Z_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \\ \dots \\ Z_k = a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + \dots + a_{kp}X_p \end{cases} \quad (3)$$

式中: Z_i 为新的综合指标向量,由原气候指标向量变换得出,一般取累积贡献率超过 95% 的综合指标为第 1、第 2、…、第 k 主成分。

2.4 基于 BP 神经网络的渔业电气设备负荷预测

BP 神经网络是一类具有误差反向传播修正能力的多层前馈神经网络^[15],非线性映射能力强,能够处理输入与输出间的复杂映射关系,具有自学习能力和自适应能力,能够自动调整网络的权重和限制,提高分析精度,因此用以分析气象指标对渔业电气负荷的影响^[16]。

基于环境气候变化的 BP 神经网络渔业电气负荷预测分析的流程如图 3 所示。

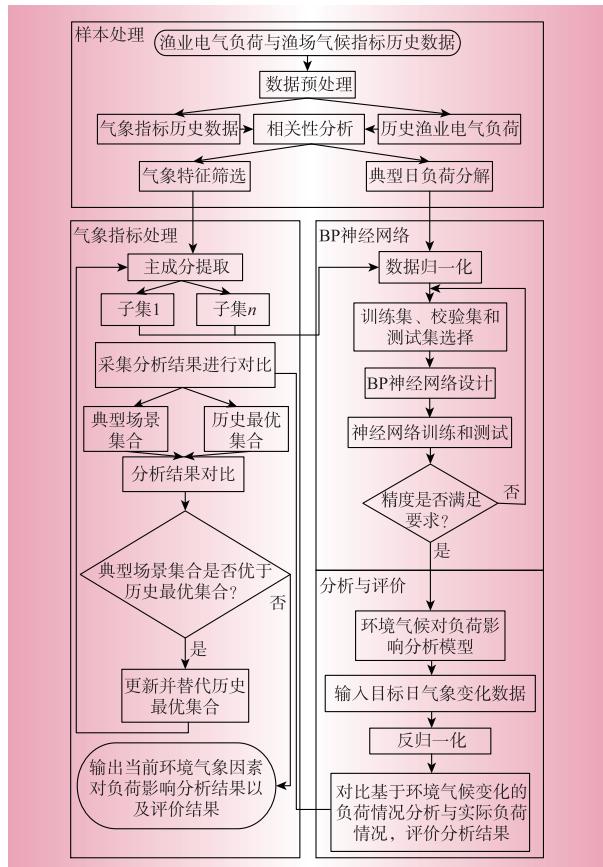


图 3 典型场景下基于 BP 神经网络的渔业电气负荷预测

Fig. 3 Fishery electrical load forecasting based on BP neural network in typical scenarios

负荷预测按以下 4 个步骤进行:

步骤 1, 形成用于 BP 神经网络分析的样本集。进行气象指标和渔业电气负荷数据预处理;对渔业电气负荷进行分解得到气象负荷;与气象指标进行关联性分析,从而筛选出对负荷影响较大的关联参数,得出气象特征集;分别将关联因素和负荷组成输入输出向量,合并构成训练样本。

步骤 2, 基于样本集的 BP 神经网络训练。

对采集数据进行归一化处理,将处理后的数据按比例划分为训练集、校验集和测试集,前两者用于 BP 神经网络训练,测试集用于检验所训练网络的泛化能力。进一步确定神经网络结构如层数、每层神经元数和激活函数种类、训练方法及参数(如学习率)等,基于所选择训练方法和样本,利用 Matlab 软件完成神经网络训练。最后,利用测试集进行测试,对比网络输出和实际输出,即可评价分析精度,当精度不满足要求时,更改 BP 神经网络的结构、学习方法或参数,重新训练至满足要求。

步骤 3, 采用训练后的 BP 神经网络进行环境气

候变化对渔业电气负荷的影响研究。以目标日的气象指标为输入,输入训练好的BP神经网络得到相应的渔业电气负荷数列,并进行反归一化获取预测实际值。

计算负荷分析序列和实际负荷序列差,并对分析结果的准确度进行评价。

步骤4:气象特征削减。在完成上述3个环节之后,首先,对气象特征原始数据进行主成分分析,提取方差和接近1的主成分集合;然后,每个子集均进行步骤2与步骤3的负荷预测过程,并对预测效果进行比较,选取预测效果最好的子集形成新的气象特征集;最后,将当前气象特征集与历史最优集进行预测效果的比较,若优于则替换历史最优集并继续迭代,反之则停止迭代并输出当前最优集对应的负荷分析方案。

3 实例验证

基于江苏常州某渔场监测平台采集到的渔业电气负荷数据进行实例分析,包括负荷分解、相关性分析、主成分分析和BP神经网络建模。

3.1 负荷分解

由于各类渔业电气设备运行情况的分析方法类似,出于对文章篇幅和结构的考虑,以增氧机为例进行分析,通过数据平台取得晴天状态典型日下全天的增氧机运行负荷数据,根据负荷数据绘制相应24 h负荷变化曲线,并对负荷曲线进行负荷分解,所得结果如图4所示。

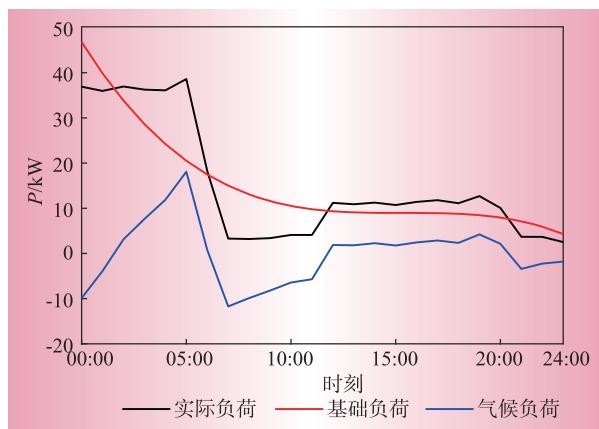


图4 晴天场景负荷分解对照

Fig. 4 Contrast of the load decomposition of a sunny scene

由图4可知,晴天时增氧机运行负荷在00:00—05:00较高,为38 kW左右;05:00开始负荷呈现下降趋势,06:00—11:00水生植物的光合作用逐渐增强,增氧机的启台数和时间减少,此时增氧机的负荷较低;11:00温度升高,氧气的溶解量降低,需要补充增氧,增氧机功率开始上升,11:00—20:00功率

稳定在10 kW左右;傍晚温度下降,20:00后负荷开始下降,20:00—24:00增氧机负荷较低。对增氧机负荷曲线使用最小二乘法做线性回归可得拟合负荷曲线,即为基础负荷,基本呈现下降趋势;实际负荷曲线与拟合负荷曲线相减为气候负荷曲线。

3.2 相关性分析

根据气候负荷变化数据,分析气象指标、气候负荷之间的相关性关系,其结果如表2所示。

表2 晴天场景气象指标与气候负荷相关性关系

Table 2 Correlation between meteorological index and climate load

气象指标	气压	气温	降水量	温度	湿度
相关度	-0.554	-0.215	0	-0.199	0.202
气象指标	蒸发量	最高风速	云量	辐射度	雷暴概率
相关度	0.076	-0.027	-0.112	-0.178	0.155

晴天场景中,气温、温度、最高风速、云量、辐射度与气候负荷有弱负相关性,而相对湿度、蒸发量、雷暴概率与负荷有弱的正相关性,气压对负荷有较强负相关性,降水对气候负荷无相关性。结合增氧机实际情况进行分析:晴天场景下,白天光照好,温度升高,池塘中水草等水生植物光合作用良好,可适当减少增氧机运行时间;水汽蒸发增加可导致池塘氧气量降低,增氧机气候负荷增加;气压升高时溶氧量降低,需增开增氧机;晴天降水量为0,因此不考虑该指标。

3.3 主成分分析

各类气象指标之间存在一定的相关关系,因此使用主成分分析法,提取出不含相关关系的几种成分的集合,来表征其对气候负荷的影响。主成分提取如表3所示。

表3 综合指标特征值表

Table 3 Characteristic value table of comprehensive index

	特征值	累积贡献率/%
成分1	5.168	57.421
成分2	1.892	78.444
成分3	0.999	89.549
成分4	0.644	96.700
成分5	0.243	99.399
成分6	0.042	99.863
成分7	0.010	99.969
成分8	0.002	99.989
成分9	0.001	100.000

提取前2个特征根大于1的成分,累计贡献度达到70%以上。提取后的主成分元素与气候指标的关系如表4中所示。

表4 主成分分析
Table 4 Main component analysis

原始气候指标	主成分	
	主成分1	主成分2
气压	0.478	-0.179
气温	0.974	0.091
地表温度	0.970	0.135
湿度	-0.948	-0.199
蒸发量	-0.913	0.286
最高风速	0.670	0.692
云量	0.012	0.861
辐射度	0.875	-0.401
雷暴概率	0.320	-0.577

由表4可知,主成分1主要受气温、地表温度、湿度、蒸发量和辐射度等因素影响,主成分2主要受云量、最高风速、雷暴概率等影响较大。

3.4 BP神经网络建模

将渔场数据采集平台所得样本进行预处理和归一化,按照比例划分训练、验证和测试3类集合,对BP神经网络进行训练与校验,训练方法为F-P共轭梯度算法方法。设计输入层节点数以综合气象指标为准,3个隐含层节点数分别为15、20、15,输出层为24个节点,共同构成5层神经网络进行预测分析,搭建环境对渔业电气设备负荷影响分析数学模型。设置学习率为0.01,激活函数选取为tansig,采用随机方式进行初始化,为保证结果的稳定可靠,采用多次运行取平均值的方式提高结果准确度。

以该渔场5月4日(目标日)的运行情况和气候指标数据为例,该日天气存在阴、晴、雨3种天气的变换,能够较好地验证模型。首先对该日负荷情况进行分解。

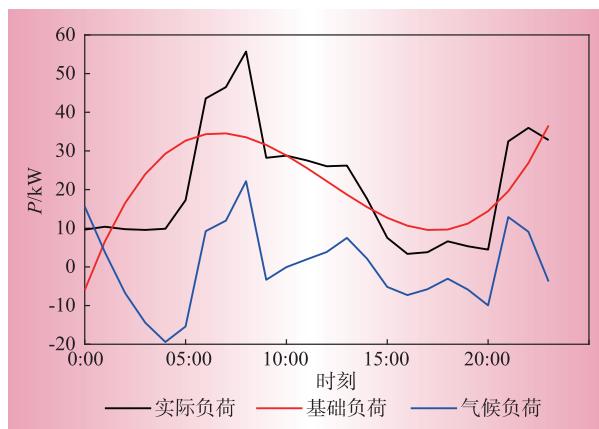


图5 实例负荷分解对照

Fig. 5 Example load decomposition comparison

目标日00:00—09:00为阴天,10:00—16:00为晴天,17:00后为雨天。首先,基于典型场景采用多元线性回归方法对目标日气象负荷进行预测;然后,采用不同典型场景下训练的BP神经网络进行预测,

得到预测结果;将两类预测气象负荷与基础负荷相加得出预测总负荷,如图6所示。

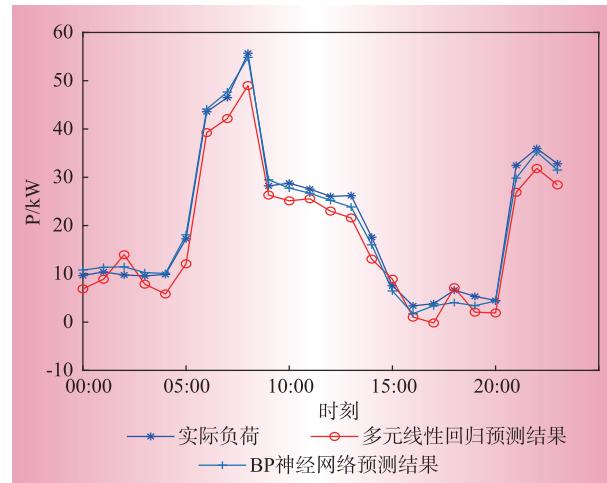


图6 实例分析结果对比

Fig. 6 Comparison of case analysis results

对图6所得预测结果进行分析,相比于采用多元线性回归进行负荷预测,训练BP神经网络进行负荷预测的方法精度更高,平均相对误差为5.59%,并且最大相对误差和均方根误差较多元线性回归方法均有明显减小,满足工程实际需要。

4 结语

本文研究了典型场景下环境气候变化对渔业电气设备负荷的影响,具体成果包括:

(1) 根据江苏常州某数字化渔场近十年天气变化年指标进行了典型场景划分。

(2) 提出了典型场景下基于BP神经网络的渔业电气负荷预测模型。首先,利用给定的负荷数据,采用最小二乘法进行分解;其次,结合采集到的气候指标,通过相关系数法得到气候负荷与单一气候指标的关系;为解耦气候指标,使用主成分分析法,把多指标转化为少数几个综合指标;通过BP神经网络分析气象负荷和综合指标的关系,并最终实现渔业电气负荷预测。

(3) 基于渔场监测平台数据,以典型场景为例进行了实例验证。环境气候变化对渔业电气设备负荷影响的研究为渔场智慧运行控制奠定了基础。D

参考文献:

- [1] 王乾.大型渔光互补光伏电站组件布置优化及发电量分析[J].能源与环境,2023,(2):59-61.
WANG Qian. Optimization of component layout and

- power generation analysis of large-scale fishery-photovoltaic hybrid photovoltaic power station [J]. Energy and Environment, 2023(2):59–61.
- [2] 杨琛,杨雨静,郭峰,等.“渔光互补”下的微电网多目标能量优化调度策略[J].上海海洋大学学报,2023,32(5):986–996.
YANG Chen, YANG Yujing, GUO Feng, et al. Multi-objective energy optimization scheduling strategy of microgrid under “Fisheries and Light Complementarity” [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32 (5):986–996.
- [3] 王子阳.渔光互补光伏项目选址决策研究[D].北京:华北电力大学,2022.
WANG Ziyang. Research on location decision of fishery complementary photovoltaic project [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2022.
- [4] 刘辉,凌宁青,罗志强,等.基于TCN-LSTM和气象相似日集的电网短期负荷预测方法[J].智慧电力,2022,50(8):30–37.
LIU Hui, LING Ningqing, LUO Zhiqiang, et al. Power grid short-term load forecasting method based on TCN-LSTM and meteorological similar day sets [J]. Smart Power, 2022, 50(8):30–37.
- [5] 杨为城,吴芳蓉,汤联生,等.自适应电力用户群短期负荷预测方法[J].供用电,2022,39(6):61–68.
YANG Weicheng, WU Fangrong, TANG Liansheng, et al. Adaptive short-term load forecasting method for power user group [J]. Distribution & Utilization, 2022, 39 (6):61–68.
- [6] 吴迪.基于气象指标的安徽电网负荷特性分析及研究[J].东北电力技术,2020,41(2):19–22,62.
WU Di. Analysis and research on load characteristics of anhui power grid based on meteorological indexes [J]. Northeast Electric Power Technology, 2020, 41(2):19–22, 62.
- [7] 张泽昕.基于大数据理论的电网负荷因子关联技术研发[D].北京:华北电力大学,2016.
ZHANG Zexin. Technology research of correlation of grid load factors based on the big data theory [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [8] 谭风雷,丁心志,张军,等.基于变化趋势和气象因子的加权负荷预测方法[J].电力需求侧管理,2022,24 (3):66–72.
TAN Fenglei, DING Xinzhi, ZHANG Jun, et al. Weighted load forecasting method based on change trend and meteorological factors [J]. Power Demand Side Management, 2022, 24(3):66–72.
- [9] 蔡冬阳,赵申,周玮,等.光伏影响下考虑气象负荷分解和LSSVM的负荷预测[J].计算技术与自动化,2020,39(4):81–85.
CAI Dongyang, ZHAO Shen, ZHOU Wei, et al. Load forecasting based on weather sensitive load decomposi-
- tion and LSSVM under influence of photovoltaic [J]. Computing Technology and Automation, 2020, 39 (4) : 81–85.
- [10] 李冰洁.多气象因素智能处理的区域电网母线负荷预测研究[D].北京:华北电力大学,2016.
LI Bingjie. The bus load forecasting of regional power grid based on the intelligent processing of multi meteorological factors [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [11] 杜雅楠,齐敬先,施建华.基于最小二乘法-加权马尔科夫链模型的母线负荷预测[J].计算机与数字工程,2022,50(8):1 858–1 863.
DU Yanan, QI Jingxian, SHI Jianhua. Bus load forecasting based on least square weighted Markov chain model [J]. Computer & Digital Engineering, 2022, 50 (8) : 1 858–1 863.
- [12] 章姝俊,陆海清,陈佳玺,等.基于多因素相关性分析的气温敏感负荷预测[J].浙江电力,2023,42(9):27–35.
ZHANG Shujun, LU Haiqing, CHEN Jiaxi, et al. Research on prediction of temperature-sensitive loads based on multi-factor correlation analysis [J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(9):27–35.
- [13] 王凌谊,王志敏,钱纹,等.基于面板回归的地区行业用电量空间协同预测模型研究[J].供用电,2023,40 (2):52–59.
WANG Lingyi, WANG Zhimin, QIAN Wen, et al. Research on spatial collaborative forecasting model of regional industry electricity consumption basedon panel regression [J]. Distribution & Utilization, 2023, 40 (2) : 52–59.
- [14] 张文霖.主成分分析在SPSS中的操作应用[J].市场研究,2005(12):31–34.
ZHANG Wenlin. Application of principal component analysis in SPSS [J]. Marketing Research, 2005 (12) : 31–34.
- [15] 穆作维.基于BP人工神经网络的空调降温负荷预测[J].电力需求侧管理,2010,12(4):27–30.
MI Zuowei. Forecast the air conditioners load based on BP neural network [J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(4):27–30.
- [16] 庄立生.融合气象特征的BP神经网络电力系统短期负荷预测[J].山东电力技术,2023,50(11):51–59.
ZHUANG Lisheng. Short-term load forecasting for power systems based on BP neural networks [J]. Shandong Electric Power Technology, 2023, 50(11):51–59.

作者简介:

林晶怡(1978),女,天津人,本科,正高级工程师,主要从事电能替代、智能用电工作;
王占博(1996),男,黑龙江青冈人,硕士,工程师,主要从事电能替代、智能用电工作;
许一川(1994),男,江苏常州人,硕士,工程师,主要从事综合能源服务工作。

(责任编辑 郝 迅)