基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法

文/王婷婷　张丹丹　周俊超　王雅　周洋
哈尔滨普华电力设计有限公司

分析处理了综合能源电力负荷特性数据，利用BP神经网络设计了综合能源系统短期负荷预测算法，实现了综合能源短期负荷预测。实验结果表明，设计的综合能源系统短期负荷预测方法预测的负荷与实际负荷相差较小，预测效果较好，可靠性高，有一定的应用价值，为降低综合能源系统运行损耗做出了一定的贡献。

目前，大部分电力系统使用不可再生能源作为配电来源，但随着人们需求的激增，不可再生能源资源日渐匮乏，造成的污染难以修复，不符合我国可持续发展要求，需要优化现有的供能模式，使用可再生能源替换不可再生能源。由于各个区域的能源供需分配不均，能源系统的规模也存在差异，容易导致过高的供配电负荷，增加供配电成本。为了解决上述问题，需要设计一种有效的综合能源短期预测方法。

事实上，我国近几年针对能源损耗与社会发展问题进行了综合规划，制定了一系列与之相关的政策，旨在推动能源建设发展，扩大可再生能源供配占比。但光伏、风电等可再生能源发电的随机性较强，易受天气因素影响造成功能异常，出现较高的配电负荷，不利于综合能源系统的运行。因此，需要对综合能源系统产生的负荷进行预测，生成有效的能源整合方案，降低能源波动造成的供配电影响。相关研究人员针对综合能源系统的运行特点设计了几种常规的短期负荷预测方法。第一种是基于GRU-TGTransformer的综合能源系统短期负荷预测方法，使用门控循环单元嵌入编码环节，获取预测负荷特征，实现短期负荷预测；第二种是考虑耦合特征的综合能源系统短期负荷预测方法，进行了差异化特征提取，完成仿真模拟，实现短期负荷预测。但大多数短期负荷预测方法主要使用多元负荷耦合分析法（CCM）获取预测特征，易受能源因果关系影响，导致预测负荷偏差较高，不符合综合能源系统的实际要求。因此，本文基于BP神经网络设计了一种有效的综合能源系统短期负荷预测方法。

综合能源系统BP神经网络短期负荷预测方法设计

1. 分析处理综合能源电力负荷特性数据

电力负荷特性与负荷变化规律有关，直接影响短期负荷预测结果。因此，本文设计的综合能源系统短期负荷预测方法分析处理了综合能源电力负荷特性。电力系统的日负荷特性、周负荷特性均与人们的日常生活相关，除此之外，电力负荷始终根据电力需求变化而发生随机性波动。因此，可根据电力负荷数据的时序特性进行相似性分析，从天气、地域和日期等不同方向出发，确定其对电力负荷变化的影响。

不同方向的电力负荷数据采集完毕后需要进行数据预处理。经过分析发现，随着输入特征的改变，电力负荷数据的格式会有明显差异，直接影响最终的预测准确度。针对该问题，使用了孤立森林算法进行

格式转化处理，实现了异常数据识别。

第一步，从采集的数据集中抽取数据子集，设置数据集的样本处理变量；第二步，随机指定一个维度进行二叉分割，调整切割点；第三步，划分左右树节点，处理超过预设样本维度的数据[9]；第四步，剔除异常数据。此时所有数据的平均路径长度$c(n)$为

$$c(n)=2h(n-1)-\frac{2(n-1)}{n} \tag{1}$$

式中，h为数据分割路径；n为隔离平均路径。

根据数据平均路径长度确定数据的异常程度，完成数据异常值判断。

在综合能源系统运行的过程中，检修故障等人为因素导致数据不完整或数据异常。因此，应按照一定的比例进行数据处理替换，根据负荷影响变化进行标准化归一化运算，计算公式为

$$x^{*}=\frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{2}$$

式中，x为归一化处理值；$x_{\min}$为原始数据值；$x_{\max}$为最大转换样本数据。

上述处理完毕后，根据短期负荷预测特点设置预测评价指标，包括均方根误差、平均绝对百分比误差及相关系数等，为后续的短期负荷预测打下基础。

2. 基于BP神经网络设计综合能源系统短期负荷预测算法

根据综合能源电力负荷特性数据进行预测数据的挖掘与分析，生成短期电力负荷预测流程如图1所示。

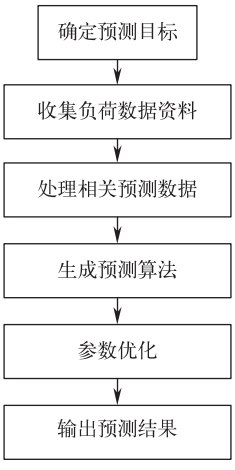

图1　短期电力负荷预测流程

由图1可知，需要根据预测要求确定预测目标，收集相关的负荷资料，再进行预测负荷处理，生成预测模型，设计最终的短期负荷预测算法。常规的预测方法缺乏训练过程，预测准确度不佳。针对该问题，设计的综合能源系统短期负荷预测算法利用了BP神经网络。

BP神经网络属于多层前馈神经网络，可以通过梯度下降法实现梯度搜索，保证预测均方误差最小。基于此，本文构建的短期负荷预测模型O_K为

$$O_K=\phi(y_k+\theta_k) \tag{3}$$

式中，ϕ为预测阈值；y_k为输出神经元取值；θ_k为神经元输出结果。

根据式（3）得到预测激活函数，进行正切优化得到的短期负荷预测算法$\varphi(x)$为

$$\varphi(x)=\frac{1}{1+O_K}e^{r} \tag{4}$$

式中，e^{r}为训练优化参数。

上述生成的负荷预测算法缺乏训练过程，最终的预测准确度难以保证。因此，本文设计的方法通过BP神经网络进行了负荷预测优化训练，具体的训练步骤为：第一步，设置初始的预测阈值；第二步，输入预测数据；第三步，根据BP神经网络进行预测阈值调整；第四步，根据神经元计算隐含层神经元节点输出；第五步，计算输出层与期望输出误差，若满足训练要求可以输出最终预测值，不满足则需要返回第三步重新进行训练处理。优化后的短期负荷预测算法可以保证预测误差最小化，从根本上提高了短期负荷的最终预测准确度。

实验

为了验证基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法的预测效果，搭建了有效的实验环境，将其与文献[5]、文献[6]两种综合能源系统短期负荷预测方法进行了对比实验。

1. 实验准备

根据实验要求，选取CR分析平台作为实验平台，随机抽取某区域内的综合能源系统进行实验。为了优化实验业务处理流程，设置了Python计算模块，通过SCADA完成实验数据采集，实验平台生成的负荷预测流程如图2所示。

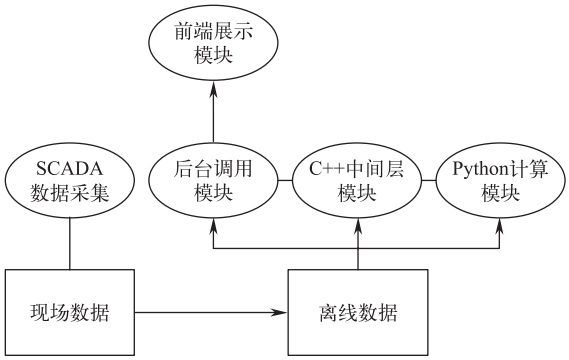

图2　负荷预测流程

由图2可知，负荷预测流程包括预测参数设置、预测数据处理功能模块。为了满足实验多元负荷存储要求，将数据库划分为桌面数据库及关系数据库，通过MQL进行开源处理，通过Java框架与MyBatis-plus进行辅助连接。

MyBatis-plus属于基础增强工具，能在满足JDBC实验连接需求的情况下进行实验文件简化，实现完美兼容。实验平台的后端主要利用Spring Boot搭建，划分为存储、开发等不同层次，利用GIT进行综合调控。综合能源系统短期负荷预测实验使用的数据需要预先进行采集，即选取实时采集装置采集综合能源系统的运行负荷数据，生成MySQL实验数据集，再进行RGB可视化处理。上述步骤完成后，即可通过Spring Boot框架进行开源处理，降低了实验配置风险。除此之外，还嵌入了Servlet进行AOP编程，使输出的实验数据更加准确与直观。

2. 实验结果与讨论

基于上述的实验准备，进行综合能源系统短期负荷预测实验，分别使用设计的基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法，文献[5]的基于GRU-TGTransformer的综合能源系统短期负荷预测方法，以及文献[6]的考虑耦合特征的综合能源系统短期负荷预测方法进行短期负荷预测，将预测负荷与实际采样负荷对比，实验结果见表1。

由下表可知，基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法在不同采样点的预测负荷与实际负荷较拟合，相差较小；基于GRU-TGTransformer的综合能源系统短期负荷预测方法及考虑耦合特征的综合能源系统短期负荷预测方法在不同采样点的预测负荷与实际负荷相差较大。上述实验结果证明，本文设计的综合能源系统短期负荷预测方法的预测效果较好，可靠性高，有一定的应用价值。

表1　实验结果　（单位：MW）

采样点	基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法		基于GRU-TGTransformer的综合能源系统短期负荷预测方法		考虑耦合特征的综合能源系统短期负荷预测方法	
	预测负荷	实际负荷	预测负荷	实际负荷	预测负荷	实际负荷
A	65.125	65.126	75.935	65.126	55.544	65.126
B	64.855	64.858	71.285	64.858	51.526	64.858
C	62.965	62.964	73.741	62.964	52.585	62.964
D	73.252	73.253	66.565	73.253	53.741	73.253
E	66.840	66.841	78.369	66.841	56.663	66.841
F	52.665	52.665	65.857	52.665	49.984	52.665
G	51.540	51.541	64.985	51.541	46.695	51.541
H	64.255	64.258	72.693	64.258	55.843	64.258
I	65.850	65.851	75.841	65.851	57.912	65.851
J	72.635	72.636	68.945	72.636	68.856	72.636
K	68.430	68.432	77.423	68.432	56.336	68.432
L	74.985	74.985	66.447	74.985	69.544	74.985

结束语

在科技与社会双重发展背景下，我国的能源需求日渐增长，电能是影响人们日常生活的一种重要能源，具有较强的传输转换性，在各个领域应用广泛。为了提高供配电质量，满足人们日常的用电要求，我国建设了各种各样规模不同的电力系统。受区域经济发展的影响，我国不同地区的电能需求及分配不均衡，在利用综合能源供配电时容易出现过高的谐振负荷，导致电力系统运行异常。为了解决上述问题，本文设计了一种全新的基于BP神经网络的综合能源系统短期负荷预测方法。经实验表明，该预测方法的预测效果较好，准确可靠，有一定的应用价值，为提高电力系统的运行安全性做出了一定的贡献。EA

参考文献

[1] 山宪武，宋秩行，邱书琦，等．基于Shaping-DDPG模型的变压器负荷预测技术研究[J]．武汉理工大学学报(信息与管理工程版)，2023，45(3)：377-382，396．

[2] 周孟然，张易平，汪胜和，等．基于MVMD-

（下转第35页）

Applications with Noise）聚类算法，对异常单体电池进行筛选。该算法不仅高效获取了储能电站运行数据中的关键特征量，准确评估了电池组一致性状况，而且能够迅速定位潜在的故障单体电池，为及时维护和修复故障电池提供了有力的支持，进一步提高了电站分析的精准性，有助于预防潜在安全隐患的发生，同时提升了整个电站的可靠性。EA

参考文献

[1] 程涛，王欣媛，王向阳，等．轻质、高稳定石墨纸锂离子电池负极集流体[J]．中国科学技术大学学报，2017，47(12)：971-977．

[2] WANG Qingsong，PING Ping，et al．Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery[J]．Journal of Power Sources，2012(208)：210-224．

[3] TIAN J Q，WANG Y J，LIU C，et al．Consistency evaluation and cluster analysis for lithium-ion battery pack in electric vehicles[J]．Energy，2020(194)：116944．

[4] 魏刚．基于阻抗谱的锂离子电池快速状态评估系统设计[D]．哈尔滨：哈尔滨工业大学，2020．

[5] 靳文涛，李煜阳，贾学翠，等．储能电站电池一致性综合评估方法研究[J]．电器与能效管理技术，2022(5)：23-28．

[6] 王帅，尹忠东，郑重，等．电池模组一致性影响因素在放电电压曲线簇上的表征[J]．电工技术学报，2020，35(8)：1836-1847．

[7] 程功．电池组一致性的统计特性与变化规律研究[D]．北京：北京交通大学，2017．

[8] 高欣，王若谷，高文菁，等．基于运行数据的储能电站电池组一致性评估方法[J]．储能科学与技术，2023，12(9)：2937-2945．

（上接第26页）

CapSA-DBN的工业多元负荷分类研究[J]．河南师范大学学报(自然科学版)，2023，51(3)：123-130．

[3] 王艳松，申晓阳，李强，等．基于PCA-GRD-LWR模型的海上油田中长期最大电力负荷预测[J]．中国石油大学学报(自然科学版)，2023，47(2)：129-135．

[4] 刘立巍，周建新，刘培栋，等．基于KNN-LSTM的区域热负荷短期预测及在机组热电可行域的应用研究[J]．热能动力工程，2023，38(3)：91-97．

[5] 李云松，张智晟．基于GRU-TGTransformer的综合能源系统多元负荷短期预测[J]．电力系统保护与控制，2023，51(15)：33-41．

[6] 金立，张力，唐杨，等．考虑温湿指数与耦合特征的综合能源负荷短期预测[J]．综合智慧能源，2023，45(7)：70-77．

[7] 后理通，张晨晨，丛意林，等．Levy-CPSO-GA算法在空调冷负荷预测模型LSTM中的应用[J]．青岛大学学报(工程技术版)，2023，38(1)：16-23．

[8] 胡兆龙，胡俊建，彭浩，等．基于深度随机森林算法的短期用户负荷预测——以金华地区为例[J]．电子科技大学学报，2023，52(3)：430-437．

[9] 王立则，谢东，周立峰，等．基于Attention机制和ResNet的CNN-BiLSTM短期电力负荷预测模型研究[J]．南华大学学报(自然科学版)，2023，37(1)：33-39，86．

[10] 欧阳福莲，王俊，周杭霞．基于改进迁移学习和多尺度CNN-BiLSTM-Attention的短期电力负荷预测方法[J]．电力系统保护与控制，2023，51(2)：132-140．