

[负荷预测]

基于极限学习机的新能源微电网短期负荷预测

文/江熙 颜红 李康玉
哈尔滨普华电力设计有限公司

常规的新能源微电网短期负荷预测方法主要使用气象相似日集确定预测变量相关性，易受信息矩阵变化影响，导致预测负荷与实际负荷相差过高。因此，需要基于极限学习机设计一种全新的新能源微电网短期负荷预测方法。即生成了新能源微电网短期负荷预测指标，利用极限学习机构建了微电网短期负荷预测模型，设计了新能源微电网短期负荷预测算法，从而实现新能源微电网短期负荷预测。实验结果表明，设计的新能源微电网极限学习机短期负荷预测方法的预测负荷与实际负荷较接近，证明设计的短期负荷预测方法的预测效果较好，具有准确性，有一定的应用价值，为提高微电网运行经济性作出了一定的贡献。

近几年，我国正在不断进行能源转型与升级，受各区域供配电装置设置与区域电力供需影响^[1]，经常出现过高的供配电损耗^[2]，增加了微电网的综合运行成本，不利于微电网后续的优化与发展。因此，对微电网短期负荷进行预测是区域电网规划与升级的必然选择^[3]。研究表明，我国的电力市场正在深化改革，旨在提升供配电质量，满足用户的供配电需求。因此，需要设计一种有效的新能源微电网短期负荷预测方法为其作支持。

新能源微电网可以通过分布式电源、储能装置完成供配电任务，其灵活性较高^[4]，能解决各种分布式并网问题，实现多能源供给。因此，新能源微电网属于主动型配电网。事实上，微电网短期负荷需求时间序列并非属于平稳性序列，其具有非线性特征，需要通过各种复杂的时间序列求解任务实现预测，进行多元化数据驱动，判断微电网的负荷预测关系。相关研究人员针对新能源微电网运行特点设计了几种常规的微电网短期负荷预测方法，第一种是基于CEEMD-IBA-LSSVM的新能源微电网短

期负荷预测方法^[5]，其主要利用CEEMD进行负荷序列分解，引入反向学习寻优实现微电网短期负荷预测；第二种是基于TCN-LSTM的微电网短期负荷预测方法^[6]，其主要根据最大信息系数构建相似性模型，输出负荷预测特征，完成新能源微电网短期负荷预测。但大多数微电网短期负荷预测方法主要使用气象相似日集确定预测变量相关性，易受信息矩阵变化影响，导致预测负荷不准确。因此，本文基于极限学习机设计了一种全新的新能源微电网短期负荷预测方法。

新能源微电网极限学习机短期负荷预测方法设计

1. 生成新能源微电网短期负荷预测指标

新能源微电网稳定性相对较差，负荷预测的波动性明显，除此之外，其还具有一定的条件、时间性特征。因此，要想降低多因素导致的短期负荷预测偏差^[7]，提高最终的预测准确性，需要分析微电网短期负荷特性，生成科学化新能源微电网短期负

荷预测指标。常规的微电网负荷包括居民用电负荷、商业负荷、企业负荷和农村负荷，不同类型负荷的波动状态不一致，微电网的波动负荷值 $y(t)$ 计算公式为

$$y(t) = b(t) + w(t) + s(t) + v(t) \tag{1}$$

式中， $b(t)$ 为输配电负荷分量； $w(t)$ 为天气导致的负荷分量； $s(t)$ 为时间导致的负荷分量； $v(t)$ 为特殊情况导致的负荷分量。

针对负荷波动值可以判定负荷的日周期性，分析负荷的日变动规律，从而选取有效的短期负荷预测指标，预测的基础步骤如图1所示。

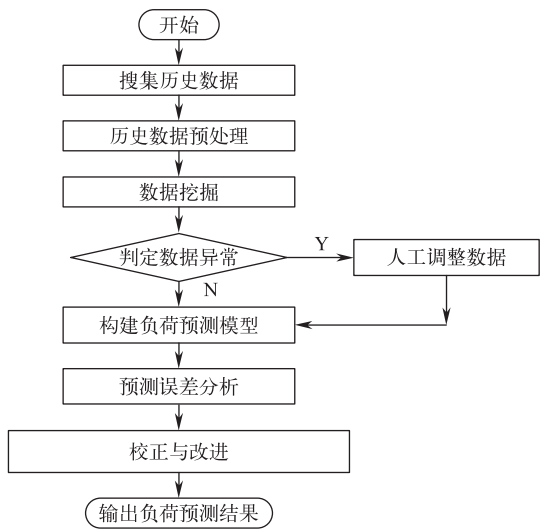


图1 短期负荷预测基础步骤

由图1可知，结合上述的短期负荷预测基础步骤，可以得到有效的负荷预测指标MES，计算公式为

$$MES = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2 \tag{2}$$

式中， n 为采集的电网短期负荷样本数据量； y 为预测负荷值^[8]； y_i 为实际负荷值。

结合上述生成的负荷预测指标可以获取训练模型，对异常数据进行有效修正，降低垂直方向上的数据差异，保证数据的有效性。

在不同时刻下，负荷数据的数值大小会存在明显偏差，由此出现数据淹没问题^[9]，影响最终的数据预测结果。本文设计的短期负荷预测方法对负荷数据进行了归一化处理，保证了预测结果的可靠性。

2. 基于极限学习机构建微电网短期负荷预测模型

常规的短期负荷预测方法主要使用气象相似日

集确定预测变量相关性，易受信息矩阵变化影响导致预测计算难度成倍增长，造成预测结果出现明显偏差。为了解决上述问题，本文利用了极限学习机构建了微电网短期负荷预测模型。极限学习机具有较强的回归预测特性，可以将其与前馈神经网络结合提高预测计算速度与准确性，首先可以构建极限学习机预测函数 $f(x)$ ，计算公式为

$$f(x) = h(x)\beta \tag{3}$$

式中， $h(x)$ 为ELM神经网络函数； β 为预测参数。

结合上述预测函数可以调整最小化输出误差，输出负荷预测要求的神经网络泛化函数，获取最优的预测解，最优解 s 的计算公式为

$$s = H^T (HH^+)^{-1}O \tag{4}$$

式中， H^T 为神经网络隐藏层矩阵； H 为广义逆矩阵； H^+ 为泛化权重； O 为预测目标向量值。

此时可以引入核函数提高回归预测准确度，结合隐藏层矩阵转换原本预测矩阵维度^[10]，实现优化求解。

与其他电网相比，新能源微电网不适宜在每次负荷预测时都进行参数寻优，除此之外，新能源各个时间段的用电差异较高。针对上述特性，可以选择ELM与Genetic Algo结合，构建微电网短期负荷预测模型，如图2所示。

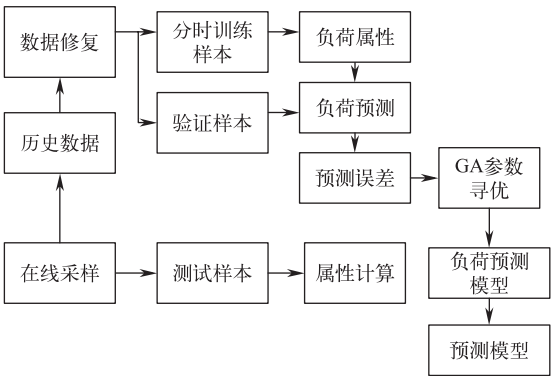


图2 微电网短期负荷预测模型

由图2可知，上述微电网短期负荷预测模型满足微电网的负荷预测要求，可以在最大程度上提高预测的准确性。

3. 设计新能源微电网短期负荷预测算法

结合上述构建的新能源微电网短期负荷预测模型，可以进一步设计微电网短期负荷预测算法。在实际预测过程中，新能源微电网短期负荷预测数据

可能并非准确数据，影响最终的预测结果。常见的残缺数据类型主要有三种：首先是负荷采样数据残缺，某部分的样本踩空；其二采集的负荷数据存在特殊采样事件，影响负荷预测特征提取；第三类，采样数据包含特殊日期，影响负荷预测重点。本文设计的微电网短期负荷预测算法根据负荷属性计算了负荷样本的总采样数量，判断了负荷特征差值，此时生成的负荷预测验证样本 V_T 为

$$V_T = \{x|A_i\} \quad (5)$$

式中， x 为负荷预测目标值； A_i 为样本的负荷属性变化参数。

结合生成的负荷预测验证样本可以进行负荷预测验证，再根据验证结果修正验证误差。此时，设计的新能源微电网短期负荷预测算法MAPE为

$$MAPE = \frac{100\%}{S} \sum_{i=1}^S \left(\left| \frac{x_i - x_g}{x_i} \right| \right) \quad (6)$$

式中， S 为预测时间总长度； x_i 为预测样本训练总数； x_g 为验证样本训练总数。

使用上述的负荷预测算法可以选取指定的负荷预测参数，调整预测浮点数，在保证预测周期合理性的基础上获取最优的预测结果。

实验

为了验证设计的基于极限学习机的新能源微电网短期负荷预测方法的预测效果，本文配置了基础实验环境，将其与文献[5]、文献[6]两种新能源微电网短期负荷预测方法对比，进行的实验。

1. 实验准备

本文选取某区域的新能源微电网作为研究对象，设置了采样间隔与采样时间点，采集了其在2020—2022年的供配电数据，进行数据整合，作为实验数据集。根据实验要求，选取CPU Core i7作为基础实验配置，通过Windows 10优化操作系统，使用Tensorflow编写仿真实验程序。为了降低实验误差，本文在实验过程中提出了模糊数据，有效进行了预测效果评价，本文设置的实验架构如图3所示。

由图3可知，上述实验架构可以有效维护负荷历史数据，进行全面对比，增加实验平台的兼容性。为了满足不同能源的编译扩展需求，本文搭建的实验平台使用Apache开发连接层与传输层，为实验提

供基础支持。

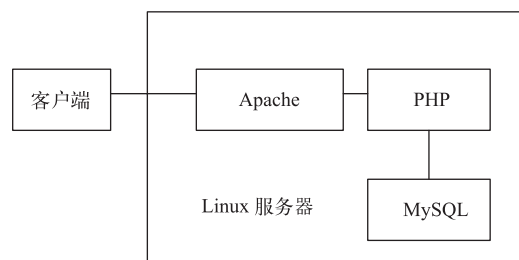


图3 实验架构

设计的实验平台内置丰富的云资源，可以通过CVM云服务器开启数据库，完成实验部署。在实验过程中，该实验平台可以通过Apache Web定期进行数据交互，通过云数据库记录实验数据，基于此本文设计的负荷预测实验流程如图4所示。

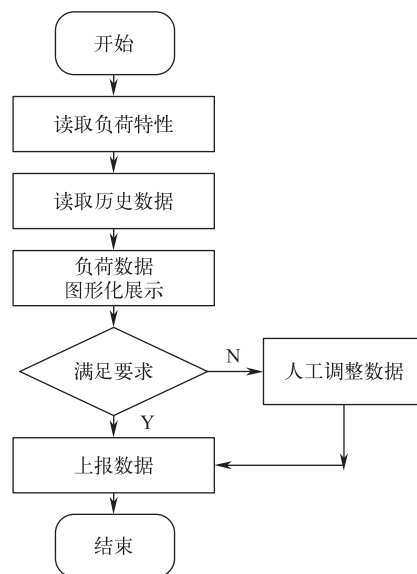


图4 负荷预测实验流程

由图4可知，根据上述的负荷预测实验流程可以有效读取负荷特性、负荷历史数据，进行负荷迭代，将负荷实验分析要求的日数据作为实验基础输入数据，从而获得准确的负荷预测结果，进一步满足新能源微电网短期负荷预测要求。

2. 实验结果与讨论

结合上述的实验准备，在搭建的基础实验平台中可以进行短期负荷预测实验，即分别使用本文设计的基于极限学习机的新能源微电网短期负荷预测方法，文献[5]基于CEEMD-IBA-LSSVM的新能源微电网短期负荷预测方法，以及文献[6]的基于TCN-LSTM的微电网短期负荷预测方法对研究的微

电网进行负荷预测。将三种方法预测的微电网短期负荷与实际短期负荷对比，实验结果见表1。

表1 实验结果

季节	实际新能源微电网 负荷/MW	预测新能源微电网 负荷/MW
基于极限学习机的新能源微电网短期负荷预测方法		
春季	15 465.14	15 465.15
夏季	16 655.52	16 655.50
秋季	9 854.36	9 854.35
冬季	11 225.64	11 225.65
基于CEEMD-IBA-LSSVM的新能源微电网短期负荷预测方法		
春季	15 465.14	15 236.45
夏季	16 655.52	16 213.74
秋季	9 854.36	9 833.12
冬季	11 225.64	11 041.36
基于TCN-LSTM的微电网短期负荷预测方法		
春季	15 465.14	13 456.28
夏季	16 655.52	16 142.38
秋季	9 854.36	9 536.14
冬季	11 225.64	11 244.39

由表1可知，本文设计的基于极限学习机的新能源微电网短期负荷预测方法在不同季节预测的新能源微电网负荷与实际的新能源微电网负荷相差较小，文献[5]的基于CEEMD-IBA-LSSVM的新能源微电网短期负荷预测方法，以及文献[6]的基于TCN-LSTM的微电网短期负荷预测方法，在不同季节预测的新能源微电网负荷与实际的新能源微电网负荷相差较大。上述实验结果表明，本文设计的微电网短期负荷预测方法的预测效果较好，具有准确性，有一定的应用价值。

结束语

综上所述，在智能电网发展背景下，环境与能源之间的矛盾日益突出。有效预测微电网短期负荷不仅能制定准确的供配电规划，还能提高微电网综合利润，使供配电安全、高效化。因此，负荷预测逐渐成为微电网发展的主要研究方向。目前大多数微电网短期负荷预测方法的预测效果较差，不符合新能源微电网的运行经济性要求。本文基于极限学习机设计了一种全新的新能源微电网短期负荷预测方法。实验表明，设计的新能源微电网极限学习机短期负荷预测方法预测的微电网短期负荷与实际微电网短期负荷拟合，证明设计的预测方法的预测效果较好，具有准确性，有一定的应用价值，为制定

有效的微电网供配电方案作出了一定的贡献。EA

(收稿日期：2023-09-18)

参考文献

[1] 邹屹东, 钱晶, 张文英, 等. 基于CPSOGSA算法的风-光-小水电微电网负荷频率最优H₂/H_∞鲁棒控制[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(11): 42-51.

[2] 骆钊, 高培淇, 和婧, 等. 需求响应下基于自抗扰的抽水蓄能与电化学储能联合参与电网负荷调频研究[J]. 电机与控制应用, 2022, 49(3): 77-86+102.

[3] 董运昌, 刘世民, 曲朝阳, 等. 计及用户响应电价关联与多主体共赢的电动汽车充放电定价优化[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(7): 134-142.

[4] 盛建雄, 张云峰, 叶韵, 等. 高弹性电网下考虑不确定性的负荷调控两阶段优化模型[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2022, 49(0): 37-47.

[5] 李晓辉, 佟鑫, 曹敬立, 等. 基于CEEMD-IBA-LSSVM的微电网短期负荷预测研究与应用[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(3): 49-55.

[6] 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.

[7] 宋雯雯, 郭洁, 李亚玲, 等. 成都电网夏季最大电力负荷变化特征及其与气象要素的关系[J]. 成都信息工程大学学报, 2021, 36(3): 336-341.

[8] 彭巧, 王秀丽, 邵成成, 等. 计及信息间隙决策理论的含电动汽车充电负荷的微电网多目标规划[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(1): 128-134+158+135-136.

[9] 李晨, 张昊, 周济, 等. 考虑频率电压空间分布特性的电网实时减载及负荷恢复策略[J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36(2): 162-171+216.

[10] 宋雯雯, 郭洁, 李亚玲, 等. 成都电网夏季最大电力负荷变化特征及其与气象要素的关系[J]. 成都信息工程大学学报, 2021, 36(3): 336-341.