

基于电力负荷预测的陕西工业园区“双碳”体系管理策略研究

文/曹敏¹ 宋河² 刘政² 黄津明²

1. 国网陕西省电力有限公司；2. 国网电力科学研究院（武汉）能效测评有限公司

以陕西工业园区为例，针对园区当前存在的发展差异大、能源结构占比不合理、“双碳”体系建设相对落后等问题，提出了基于电力负荷预测手段的“双碳”体系管理策略，详细介绍了传统与人工智能两大类电力负荷预测算法技术的优缺点及国内外研究现状。提出了具有针对性的陕西工业园区“双碳”体系管理策略。

能源作为保障人类持续生存和发展的基础，是现阶段全世界关注的重点领域。我国是能源消耗大国，2021年能源消费总量为52.4亿t标准煤，其中，煤炭消费同比增长4.6%，电力消费同比增长10.3%，天然气消费同比增长12.5%，原油消费量同比增长4.1%。同时，我国又是制造业大国，2021年制造业增长4.86万亿美元，占全球30%左右，工业园区已是我国制造业发展的重要推动力。2020年，我国已经有各类产业园区超1.5万个，陕西省工业园区数量规模庞大，现有各类产业园区超1 800个，对我国工业贡献巨大。但与此同时，因园区发展差异大、能源结构占比不合理、“双碳”体系建设相对落后等原因带来的高能耗和高污染在一定程度上阻碍了我国加快实现“双碳”目标的目标脚步。

电能作为一种清洁、绿色能源，对推动园区“双碳”体系建设至关重要，而基于电力负荷预测的工业园区低碳能源管理，也是建设绿色、低碳、智慧园区的重要手段。电力负荷预测是一种基于历史负荷数据而建立的电力预测方法，对于维护电力系统稳定运行、实现电网科学管理调度、保障电力工业健康发展至关重要。针对园区当前存在的发展差异大、能源结构占比不合理、“双碳”体系建设

相对落后等问题，本文提出了基于电力负荷预测手段的“双碳”体系管理策略，详细介绍了传统与人工智能两大类电力负荷预测算法技术的优缺点及国内外研究现状。在充分考虑影响工业园区电力负荷因素的基础上，提出了具有针对性的陕西工业园区“双碳”体系管理策略。

电力负荷算法技术

1. 传统预测方法

传统电力负荷预测法，也叫统计型预测方法，主要分为定性预测法、时间序列分析法和因果联系法三大类，主要是运用数学工具，以构建数学函数模型进行预测。常用的算法模型包括时间序列法、卡尔曼滤波法、灰度预测法、专家系统法、回归分析法和聚类分析法等。上述算法的主要原理和优缺点见表1。

2. 人工智能方法

随着人工智能的发展，以深度学习、支持向量机等为代表的算法开始应用于电力负荷预测，相较于传统方法，这些方法可以在更复杂的环境、更多的参数、更实际的应用场景中进行实时和准确的预测。其主要算法原理和对应的优缺点见表2。

表1 传统电力负荷预测方法的特点

预测方法	主要原理	优点	缺点
时间序列法	将负荷数据依照时间线进行排序作为随时间周期性变换的序列，构造对应模型，从而进行负荷预测	无需大量历史数据，在一定的精度要求下计算负担较轻	对数据的特性要求较高，当数据非平稳时得到预测效果无法保证
卡尔曼滤波法	利用线性系统状态方差还原数据，将负荷数据按照性质划分为两大类，针对确定分量利用一阶线性模型；针对随机分量利用状态空间模型	实用性广，对于无效数据、随机数据等有较好的处理效果	由于实际工作中噪声数据难以估算，统计学特性不明显，状态空间模型建立具有一定难度
灰度预测法	针对包含已知信息和未知信息的负荷预测，基于微分拟合方程对负荷进行预测	对负荷序列的分布和变化规律等要求偏低，可同时运用于线性变化和非线性变化的指标预测	当数据灰度较高、离散度大且负荷变化大幅度偏离指数型时，模型效果并不十分可靠
专家系统法	利用相关领域的专家经验对相应的问题给出合理的信息及推断，对各种相关因素及结果给出逻辑关系	专家系统能够很好地处理突发事件对预测结果的影响	由于预测精度的限制，通常和其他方法搭配使用
回归分析法	通过分析研究目标与研究目标的影响因素之间的因果关系，确定回归方程，从而建立预测模型	结构简单、方便实现	对自变量的选择较为敏感，当输入特征之间存在较强的相关性时，导致模型的共线问题
多元线性回归法	通过数理统计中的回归方法分析所研究对象的历史数据，确定变量间的相互关系并建立数学模型	模型简单，预测速度快，模型解释能力强，外推性好	对于非线性因素结果偏差较大
聚类分析法	以统计学理论为基础，在没有先验知识的前提下，根据事物间的基本特征建立模糊相似性并划分成不同的类别	原理简单，收敛速度快，分类结果直观	对于样本量较大的场景应用有一定限制

表2 人工智能电力负荷预测方法和特点

预测方法	主要原理	优点	缺点
支持向量机	是一种监督式学习的方法，可广泛地应用于统计分类以及回归分析。它是将向量映射到一个更高维的空间里，在这个空间里建立一个最大间隔的超平面	分类思想很简单，就是将样本与决策面的间隔最大化；分类效果较好	在使用大规模数据训练时，计算空间消耗较大，且对缺失数据、噪声数据相对敏感，这使得支持向量机在预测问题的应用中受到不小的限制
小波变换法	在合适的小波基函数基础上，对待处理数据序列进行伸缩平移变换、尺度细化等，实现对原始信号内各频率分量的剥离	有较为完善的理论和应用体系	由于小波基选择的限制，其预测结果可控性不高
BP神经网络	通过误差反向传播原理，采用梯度下降法反复减小网络输出和预期值的误差均方差	求解复杂问题方式简单，自适应能力强，概括能力强、推广性好	算法相对低效、优化目标函数复杂，容易出现麻痹现象
卷积神经网络	基于一个假设，向结构中添加了一些特有的性质。这些特有属性使得前向传播函数实现起来更高效，并且大幅度降低了网络中参数的数量	在卷积层所用的权重和偏置的参数较少；具有平移不变性	需要将数据集归一化，不同的尺寸混合在一起难以训练且没有记忆功能
长短期记忆神经网络	缓解循环神经网络训练中梯度消失的重要方法之一，改变了循环神经网络的隐藏层结构，可以更好地捕捉深层连接	克服了传统的RNN梯度消失和梯度爆炸的缺陷	需要借助大数据平台对数据进行处理，数据处理阶段较为繁琐

3. 国内外研究现状

多年来，众多学者运用各种传统或人工智能算法对电力负荷预测开展了应用研究，并且越来越多的研究者开始应用组合算法来提升电力负荷预测的灵活性与准确性。杜莉等提出了一种主成分分析和BP神经网络相结合的电力负荷预测方法，并对河南某地区的电力负荷进行了仿真，结果相对于参比

型能够有效地消除因素间的冗余信息，电力负荷预测精度明显提升。Haben等更新了季节性量化回归模型并将其应用于负荷预测，用三个季节的负荷数据、线性趋势、温度等指标估算中位量化指标并使用每日最新的负荷数据进行滚动预测。陈亮等应用张量流深度学习框架构建了长短期记忆神经网络模型，并对电力负荷时序数据进行了回归预测，采用

某省电力公司电力负荷数据进行模拟仿真时验证了该方法能够有效预测负荷变化。徐宇颂等提出了一种基于特征选择和组合模型的短期电力负荷预测方法，将特征向量分类后，使用3个不同的核函数建立单核递归支持向量回归模型，并搭建神经网络完成短期电力负荷预测。任轩等提出了一种基于多层感知器（MLP）的基础子网、简单循环单元（SRU）与主成分分析（PCA）的短期电力负荷预测模型，训练时间降低的同时，模型收敛速度也有显著提升。

电力负荷影响因素

1. 时间因素

电力负荷预测是多种外在因素影响下的综合结果，影响电力负荷变化的因素较多，而时间因素是影响电力负荷序列的重要参数之一。其中，工作日、休息日、节假日及季节性因素对电力负荷影响较大，比如春节期间负荷曲线出现大幅度下降，变化周期比较稳定，大致与节假日周期相吻合。

2. 气象因素

气象因素主要反映某段时间内的各种天气因素，如温度、湿度、气压、风、晴、雨、雪等气象状态。其中，温度作为影响电力负荷最大的因素，是用来预测电力负荷的重要指标之一。当温度超过人体、设备所能接受的阈值范围时，直接影响相关耗电设备的使用频率，进而影响电力负荷的需求量。

3. 社会经济因素

除了上述因素之外，对于一个工业园区来说，社会经济因素也会对电力负荷预测产生较大影响，比如园区整体经济总量、生产型企业数量和规模、电力消费能力、电价水平、投资水平、电力政策、行业外迁因素等。

4. 其他因素

对于工业园区来说，人口、地理环境、国家政策等突发事件的随机因素在一定程度上影响了区域性电力负荷预测。如2019年之后爆发的新冠疫情以及传播的不确定性；2021年和2022年我国多地出现拉闸限电、有序用电事件；地震、洪水、台风等极端恶劣天气因素等。

工业园区“双碳”体系管理策略

1. 强化负荷预测技术应用

充分考虑影响电力负荷的时间、天气、社会经济等因素，加强人工智能算法的应用和技术突破，根据园区不同应用场景，综合利用传统预测和人工智能预测方法，寻找更好的特征选择算法，挖掘工业园区不同类型影响因素和电力负荷序列之间的相关关系，按照电力负荷预测的时间周期特点，建立基于不同因素、不同预测周期的电力负荷预测模型，构建基于园区电力负荷预测的数据库和应用示范，为加快推进“双碳”标准化体系建设提供技术支撑。

2. 搭建能源低碳管控平台

搭建高效统一的园区能源低碳管控平台，实时监控企业能耗情况、能源流动，利用GIS、三维动画等方式展现能耗参数、能源运行状态、流动方向等。根据电力负荷能耗和需求，分时段设置报警策略，当出现能耗异常时，对能耗异常或故障设备触发自动报警，并最大限度确保能源正常、高效利用。根据用能高峰低谷时段规律，设置针对高能耗设备的报警策略；依据电力负荷预测模型和数据，提前做好负荷预警、应对措施及解决方案，确保园区安全、稳定运行。

3. 加强低碳管理保障措施

从政府端来说，基于电力负荷预测模型，从发电、输电、变电、配电、用电等环节出发，综合园区经济、社会、环境等现实情况和发展需求，从产业政策、系统规划、政策支持、市场机制等方面加强保障。从企业端来说，一是提高工业园区企业入园门槛，对企业建设项目和可能造成的环境影响进行分析、研判，杜绝高耗能、高污染、低产出的企业入园；另一方面是加快淘汰相对落后的生产能力和设备。EA

参考文献

- [1] 刘辉，田红旗，李燕飞．基于小波分析法与滚动式时间序列法的风电场风速短期预测优化算法[J]．中南大学学报(自然科学版)，2010，41(1)：370-375．
- [2] 李明干．基于卡尔曼滤波的神经网络学习算法及其在短期负荷预测中的应用[D]．武汉：华中

- 科技大学, 2004.
- [3] 罗松山. 基于改进灰度模型的中长期电力负荷预测方法[D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
- [4] 王欣, 王巍. 基于神经网络和模糊专家系统的电力短期负荷预测[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2010(4): 318-320.
- [5] 彭鹏, 彭佳红. 基于多元线性回归模型的电力负荷预测研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(9): 158-161.
- [6] 段睿钦, 蒋燕, 周彬彬, 等. 基于改进聚类分析方法的系统负荷预测研究[J]. 电工技术, 2021(9): 22-25.
- [7] 吴景龙, 杨淑霞, 刘承水. 基于遗传算法优化参数的支持向量机短期负荷预测方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(1): 180-184.
- [8] 宋超, 黄民翔, 叶剑斌. 小波分析方法在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(3): 8-12.
- [9] 何川, 舒勤, 贺含峰. ICA特征提取与BP神经网络在负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(8): 40-46.
- [10] 赵辉, 杨赛, 岳有军, 等. 基于小波分解-卷积神经网络和支持向量回归的短期负荷预测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10718-10724.
- [11] 杜莉, 张建军. 神经网络在电力负荷预测中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(10): 297-300.
- [12] HABEN, STEPHEN, GIASEMIDIS, et al. A hybrid model of kernel density estimation and quantile regression for GEFCom2014 probabilistic load forecasting[J]. International Journal of Forecasting, 2016, 32(3): 1017-1022.
- [13] 陈亮, 王震, 王刚. 深度学习框架下LSTM网络在短期电力负荷预测中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(5): 8-11.
- [14] 徐宇颂, 邹山花, 卢先领. 基于特征选择和组合模型的短期电力负荷预测[J]. 中国电力, 2022, 55(7): 121-127.
- [15] 任轩, 汪庆年, 尚宝, 等. 基于混合神经网络的短期电力负荷预测方法[J]. 电子测量技术, 2022, 45(14): 71-77.
- [16] 童光毅. 基于双碳目标的智慧能源体系构建[J]. 智慧电力, 2021, 49(5): 1-6.
- [17] 朱剑飞, 陈文刚, 宰洪涛, 等. 基于ARIMA与LSTM在电力负荷预测中的对比讨论[J]. 电气应用, 2022, 41(2): 27-31.

