

A deep learning based solution for feeder load forecasting in transformer districts

Qian Han

State Grid Xiaogan Power Supply Company, Xiaogan, Hubei, 432000, China

Abstract

With the intensifying power supply pressure and the transition from “source follows load” to “source-grid-load-storage interaction” in new-type power systems, enhancing load forecasting capabilities has become crucial. In Xiaogan region, where distributed photovoltaic integration in transformer districts and varying load characteristics across industrial, commercial, and agricultural sectors create bidirectional power flow in transmission lines, traditional substation-level forecasting proves inadequate, leading to significant grid security challenges. This necessitates precise feeder load forecasting solutions for transformer districts. The solution development addresses three core requirements: facilitating bidirectional source-load interaction, resolving complex load characteristics, and mitigating grid risks. Its objectives include improving load monitoring accuracy and supporting power supply reliability. Key implementation challenges involve data integration (incompatible multi-system data), model construction (complex relationships beyond traditional frameworks), and load forecasting (photovoltaic-induced load reversal). By integrating feeder data with deep learning, this framework establishes a “source-load-network” coupling mechanism to overcome forecasting difficulties and ensure grid stability.

Keywords

feeder load forecasting in transformer districts; deep learning; new power system; source-grid-load-storage interaction; distributed photovoltaic; data integration; load characteristics; power supply security

基于深度学习的台区馈线负荷预测解决方案

韩骞

国网孝感供电公司, 中国 · 湖北 孝感 432000

摘 要

供电压力加剧与新型电力系统建设下, “源随荷动” 向 “源网荷储互动” 转变, 核心是提升负荷预测能力。孝感地区因台区分布式光伏接入、工商农负荷特性差异, 馈线潮流双向流动, 传统变电站层级预测难满足需求, 保供压力大, 需精准台区馈线负荷预测方案。方案建设有三重必要性, 以应对 “源荷双向互动”、解决负荷特性复杂化、防控电网风险; 目标为提升负荷监测能力与支撑电力保供。建设面临数据整合 (多系统数据不兼容)、模型构建 (传统模型难捕复杂关系)、负荷预测 (光伏致负荷逆转) 三大难点。方案拟引入台区馈线数据与深度学习, 建 “源荷-网络” 耦合框架, 破解预测难题, 保障电网稳定。

关键词

台区馈线负荷预测; 深度学习; 新型电力系统; 源网荷储互动; 分布式光伏; 数据整合; 负荷特性; 电力保供

1 背景

在供电压力越来越大、电网调节手段急需丰富的情况下, 需推动传统的 “源随荷动” 调度模式向 “源网荷储互动” 模式转变, 其核心在于提升负荷侧的预测与管理能力, 充分发挥负荷侧在科学制定发用电计划、合理安排运行方式、精准评估需求响应、有效拓展电网调节资源、及时研判负荷损失、代理购电预测等方面的作用。

孝感地区作为湖北省重要工业和能源消费区域, 用电

侧的保供压力日益增大, 对精准负荷预测的需求愈发迫切。

在新型电力系统中, 负荷特性发生显著变化: 台区层级分布式光伏、储能装置等分布式电源的大量接入, 使传统以 “用电终端” 为主的负荷节点转变为具备 “源荷双向互动” 能力的基层单元, 台区内用户在光伏大发时段不仅可能零购电, 甚至通过馈线向电网反向供电, 导致馈线潮流呈现双向流动特性, 同时, 随着经济发展和居民生活水平提高, 孝感地区负荷构成更加多样化, 其中工业、商业和居民在台区维度的分布较为明显, 详情如下:

1 台区内的工业性质的用户, 由于受生产班次、设备启停影响, 负荷曲线呈现明显周期性;

1 台区内商业性质的用户, 受营业时间、促销活动驱动,

【作者简介】韩骞 (1983–), 男, 中国湖北孝感人, 本科, 工程师, 从事工程技术专业研究。

午间及晚间负荷峰谷差突出；

1 台区内的居民用户，则与气象条件（如气温、湿度）强相关，空调负荷占比攀升导致夏冬季节日负荷出现显著波动。

这些不同特性的用户，通过馈线层级的潮流叠加，进一步放大了配电网运行的复杂性，而传统基于变电站层级的负荷预测方法，因缺乏台区 - 馈线级精细化数据支撑，难以捕捉分布式能源接入后的局部负荷异常波动，如某馈线因多个光伏台区同时反送出现电压越限风险，无法满足新型电力系统在规划、运行、调度和控制方面的需求。

此外从电力保供角度来看，孝感地区在迎峰度夏、度冬等关键时期，电力供需矛盾较为突出。准确的负荷预测能够帮助调度部门提前制定合理的发电计划和电网运行方案，确保电力供应的安全稳定。例如，在高温天气期间，居民空调负荷大幅增加，通过精准的负荷预测，可以提前调配发电机组，避免出现电力缺口导致的停电事故。

因此需在预测模型中引入台区、馈线负荷数据，实现基于配电网物理特性的“源荷 - 网络”耦合预测。

2 必要性

2.1 台区底层支撑需求

传统“源随荷动”调度模式依赖电源侧单向调节，难以应对分布式能源大规模接入后的复杂场景。孝感地区分布式光伏在台区层级的广泛部署，使负荷节点从“纯用电单元”转变为“源荷双向互动单元”，用户在光伏大发时段，通过馈线反向供电，导致馈线潮流方向动态变化、配电网运行状态从“可测可控”转向“双向耦合”。若缺乏精准的负荷预测，调度部门将无法实时掌握台区中馈线级的能量流动平衡，如光伏反送对馈线电压的影响、负荷突增对台区的冲击，进而导致“源网荷储”协同调度失效，无法实现“发 - 输 - 配 - 用”各环节的动态平衡。

2.2 用电负荷特性复杂化

针对之前典型母线的负荷分析，得出孝感地区负荷结构的多样化与分布式能源的特殊性，以下为负荷特性的三大特征：

用电边界模糊：台区内光伏用户的“自发自用 + 余电上网”模式，导致用户负荷曲线不再是单纯的用电需求，而是“用电负荷 - 光伏出力”的净负荷叠加，传统仅针对用电侧的预测模型无法反映这种双向能量交互；

差异显性化：台区内工业用户受生产周期影响呈现“工作日高负荷、节假日骤降”的周期性；商业用户因营业时间和促销活动出现午间 / 晚间双高峰；居民用电负荷与气温季节强弱相关，例如夏、冬季节负荷用电占比较高，导致负荷波动随气温高低而有所变化。若预测颗粒度停留在母线层级，将掩盖馈线、台区级的局部负荷异常，如某工业馈线因个别企业加班导致短时过载；

影响因素多元化：气象变化（如高低温气候）、经济政策（如电价调整）、用电行为变化等多维度变量交织，传统基于历史数据的统计模型难以捕捉非线性关联，需结合馈线、台区，实时数据构建更精准的预测框架。

2.3 电力保供下的风险防控

负荷高峰应对：由于居民在高温天气下空调负荷骤增，导致该台区下的变压器过载跳闸；工业密集型馈线因生产负荷与降温负荷叠加，存在馈线容量不足风险。通过台区负荷预测可提前识别过载隐患，支撑调度部门制定差异化的负荷控制策略，如对高风险台区优先实施需求响应；

新能源消纳平衡：光伏出力受天气影响具有间歇性，如突发阴雨导致光伏出力骤降，若未开展负荷预测，会导致台区从“净供电”突然转为“净用电”，引发馈线潮流剧烈波动，甚至造成局部电力缺口。通过预测模型实时修正光伏出力变化对负荷的影响，是保障电网稳定的必要手段。

3 建设目标

3.1 提升负荷监测能力

3.1.1 跨部门数据融合

整合营销、采集、调度、气象数据，实现数据的集中管理和共享。例如，将调度系统中的电网运行数据以及外部的气象数据进行整合，形成完整的负荷数据集。

3.1.2 负荷特性分析

对负荷的日特性、周特性、月特性以及季节特性进行深入分析，挖掘负荷变化的规律和趋势，为负荷预测和电网运行优化提供依据。例如，通过分析主站中负荷的日变化特性，发现早晚高峰时段的负荷规律，为配电网的容量规划和电压调整提供参考。

3.1.3 预测机制

通过对气象数据进行整合，精准区分晴、阴、突变多云等各类不同的天气场景，进而实现对主变、母 / 馈线、台区的短期负荷预测，以此来支撑不同调度场景的实际需求。

3.2 支撑电力保供

在迎峰度夏、度冬等关键时期，为调度部门提供准确的负荷预测数据和负荷分析报告，帮助制定合理的有序用电方案和发电计划，确保电力供应的安全稳定。例如，根据负荷预测结果，提前安排发电机组的启停和出力调整，合理分配电力资源。

4 建设难点

4.1 数据整合难题

由于营销、采集、调度和气象等不同业务部门系统的数据格式多样、标准不一，整合时存在数据兼容性问题。例如，营销系统数据以档案数据为中心，调度系统围绕电网设备记录数据，两者数据结构差异大，需要梳理后才可进行融合。同时，不同数据源的时间戳精度不同，在关联数据时易出现时间对应偏差，从而影响数据的准确性和完整性。

4.2 模型构建挑战

负荷特性复杂多变，受新能源接入、气象条件等多种因素影响，传统预测模型难以精准捕捉这些复杂关系。而且，在模型训练过程中，容易出现过拟合或欠拟合现象。当预测模型过于复杂，对训练数据拟合过度时，在新数据上的泛化能力就会变差；若模型简单，又无法充分学习数据特征，导致预测精度不高。

5 解决方案

5.1 总体架构

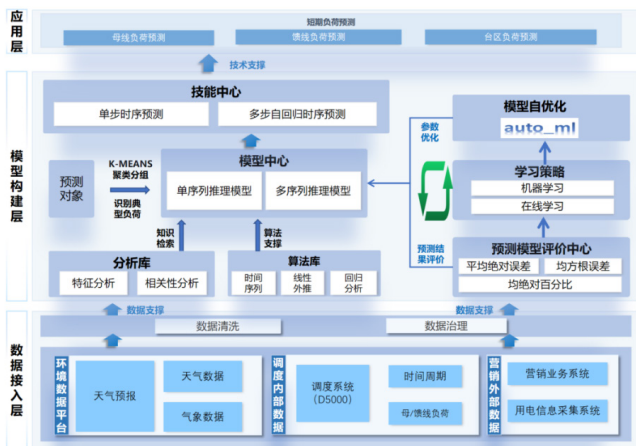


图 1 总体架构

总体架构通过分层设计，数据从接入层向上流动，经处理后进入模型构建层，通过分析、算法、模型训练与优化，最终在应用层输出预测结果，实现了数据处理、模型构建到应用的流程闭环，以下为详细描述：

5.1.1 数据接入层

环境数据平台：天气预报、天气数据、气象数据，用于支撑负荷与环境因素的关联分析。

调度内部数据：调度系统（D5000）、时间周期、母/馈线负荷（提供电力系统运行数据）。

营销外部数据：营销业务系统、用电信息采集系统，获取用户用电行为数据。

数据处理：通过数据清洗和数据治理，为上层提供高质量数据支撑。

5.1.2 模型构建层

分析库：进行特征分析，提取数据特征和相关性分析，识别变量间关联，辅助模型构建。

算法库：提供基础算法（时间序列、线性外推、回归分析），为模型中心和技能中心提供算法支撑。

模型中心：构建单序列（单一变量）和多序列（多变量）推理模型。通过 K-MEANS 聚类分组，识别典型负荷（预测对象），结合知识检索优化模型。

技能中心：提供单步时序预测（短期单时间点预测）和多步自回归时序预测（多时间点序列预测），直接支撑应

用层。

模型自优化：采用 **automl** 技术，结合机器学习和在线学习策略，参数优化提升模型性能。通过预测模型评价中心（平均绝对误差、均方根误差、均绝对百分比）反馈预测结果，形成闭环优化。

5.1.3 应用层

短期负荷预测：基于模型构建层的技术支撑，实现母线负荷预测、馈线负荷预测、台区负荷预测，覆盖湖北孝感供电公司不同层级的负荷预测需求。

5.2 核心功能规划

5.2.1 负荷监测功能

第一，实时数据采集与展示。数据覆盖范围：实时采集变电站、母线、馈线及台区等电网各节点的负荷数据。展示形式：以曲线及表格形式动态呈现负荷数据的变化趋势，便于运维人员直观掌握负荷波动情况。

第二，异常负荷告警。阈值设置：根据电网运行要求和历史数据，为各节点负荷设置合理的阈值。自动警报：当负荷超过设定阈值时，系统发出警报，及时提醒工作人员采取相应措施，如调整调度方案、排查设备故障等。

5.2.2 负荷预测功能

第一，异常负荷预警。迎峰度夏/度冬负荷高峰预警：针对馈线范围内各台区中的工商业用户、居民用户的空调负荷与气温强相关特性，通过气象数据（如高温预警）提前预测负荷峰值，当母线或馈线的负荷预测值某段时间范围内，接近阈值时触发预警信号，支撑调度部门提前调配发电机组、优化电网运行方式，避免停电事故。

新能源消纳异常预警：光伏出力受天气影响突发波动（如阴雨导致出力骤降）时，系统计算馈线从“净供电”转为“净用电”的负荷突变概率，触发馈线潮流波动预警，提示调度人员调整电网潮流分布，平衡电力供需。

设备过载风险预警：通过馈线内台区负荷预测，识别变压器过载隐患（如历史数据显示某台区夏季负荷增长率超 15%），提前预警并纳入电网改造计划，或通过需求侧管理降低峰值负荷。

第二，负荷预测报告。依据调度所提供模板，结合整合后的营销、采集、调度、气象等多源数据进行预测，生成包含母线、馈线、台区负荷预测数据的报告，内容包括预测值、预测误差分析、负荷变化趋势等，支持多种格式的 report 输出，如文档、图表等，便于不同部门和人员使用，满足电网调度、电力规划等多场景需求。

6 结语

基于深度学习的台区馈线负荷预测方案，精准切中孝感地区新型电力系统建设中的负荷预测痛点，既破解了分布式光伏接入、负荷特性复杂等带来的难题，也为电力保供提供了关键支撑。随着方案落地，将有效提升负荷预测精度，

助力“源网荷储互动”模式落地，为电网安全稳定运行与区域能源高效利用筑牢基础。

参考文献

- [1] 李家明,宋杨呈祥,石磊,等.源网荷储互动下的电网调度策略优化研究[N].山西科技报,2025-09-08(A12).
- [2] 刘俊青.源网荷储一体化发展关键技术研究与分析[J].中国战略新兴产业,2025,(23):91-93.DOI:CNKI:SUN:ZLXC.0.2025-23-026.
- [3] 吴昊天,张俊,黄一甲.源网荷储协同技术在新型电力系统中的应用研究[J].电力设备管理,2025,(03):97-99.DOI:CNKI:SUN:DSGL.0.2025-03-025.