工程技术发展
Engineering Technology Development
第 7 卷◆第 1 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文 |刊号（ISSN）：2737-4505(P) / 2737-4513(O)

光伏电站出力预测技术在电网调度中的应用探讨

康婷　孙芳涛　李国红　薛守成
华能青海发电有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22270

[摘　要] 光伏出力预测技术体系已发展为涵盖统计建模、机器学习、数值气象耦合及组合策略的多层次架构。不同预测方法在时效性与精度指标上呈现显著分化特征,需根据调度场景需求选择适配方案。各类预测技术已在实时平衡调整、日前计划编制及长期扩展规划等环节发挥实质性支撑作用,本文对此进行了系统梳理。从实际效果观察,预测精度提升对发电资源优化配置、功率偏差平抑、运行经济性改善及备用容量合理设定均产生了积极推动,新能源消纳水平随之提高。

[关键词] 光伏出力预测；电网调度；应用场景；数值气象耦合；组合式预测
中图分类号：TM615　**文献标识码：**A

Application of Photovoltaic Power Output Forecasting Technology in Power Grid Dispatching

Ting Kang　Fangtao Sun　Guohong Li　Shoucheng Xue
Huaneng Qinghai Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] Photovoltaic power output forecasting technology has evolved into a multi-level framework encompassing statistical modeling, machine learning, numerical weather coupling, and ensemble strategies. Different forecasting methods exhibit significant differences in timeliness and accuracy, requiring the selection of appropriate approaches according to the requirements of specific dispatching scenarios. Various forecasting technologies have provided substantial support for real-time balancing and adjustment, day-ahead scheduling, and long-term expansion planning. This paper systematically reviews their applications in these areas. In practice, improved forecasting accuracy has positively contributed to the optimal allocation of power generation resources, mitigation of power deviations, enhancement of operational economy, and appropriate determination of reserve capacity, thereby improving the integration of renewable energy into the power grid.

[Key words] photovoltaic power output forecasting; power grid dispatching; application scenarios; numerical weather coupling; ensemble forecasting

引言

高比例光伏并网使电力系统运行面临前所未有的不确定性挑战。光伏发电功率受云层运动、气溶胶含量及大气透明度等气象因素共同制约,其分钟级乃至小时级的剧烈波动对调度计划执行构成严重干扰。为应对这一难题,国内外围绕光伏出力预测开展了大量技术探索,逐步形成了多条各具特色的解决路径。统计方法依赖历史数据规律外推,机器学习技术挖掘变量间非线性关联,数值气象耦合模型嵌入大气物理过程,组合策略则致力于集成多源信息优势。不同预测技术在调度运行中如何定位、如何发挥作用,是亟需厘清的关键问题。

1 主流光伏电站出力预测技术分类

1.1基于统计分析的出力预测技术

在光伏出力预测中,统计分析方法构成一类基础工具。这类方法从历史出力序列和同步气象观测出发,借助自回归滑动平均、协整检验和多元线性回归等手段,拟合出力同辐照度、温度等变量间的近似线性关系。天气过程平稳且资料完整时,预测表现稳定,计算负担轻,模型刷新也快,故常用于短期滚动预报。但线性框架很难刻画外部突变的非线性影响,云团快速过境或大气透明度骤变常使预报值落后于实测序列,残差随之抬升。复杂气象条件下,该体系的适用性因而大打折扣。

1.2基于机器学习的出力预测技术

机器学习技术通过数据驱动方式突破了传统线性框架的约束,为光伏出力预测提供了更强的非线性拟合能力。该技术依托深度神经网络、梯度提升决策树以及核方法等算法结构,能够自动提取历史气象特征与出力目标之间的高阶统计依赖关系,并对多变量之间的交互作用进行隐式编码。该类模型在面对辐照度突变、温度跃升等非线性过程时表现出更好的响应灵敏度,预测精度在同等数据条件下通常优于统计方法[1]。然而其性能

高度依赖于训练样本的覆盖范围与标注质量,模型超参数选择缺乏统一准则,且训练过程易陷入局部最优,同时输出结果的可解释性较弱,给实际运维人员的信任度与误差溯源带来一定困难。

1.3基于数值气象耦合的出力预测技术

数值气象耦合技术以大气物理模式输出和光伏发电机理模型为基础,建立从气象预报到电功率转换的完整链路。该链路始自数值模式给出的云量分层、气溶胶光学厚度、水汽含量和风速廓线等精细化要素场,借助光伏组件光电转换方程将上述参数映射为直流功率,再经逆变器模型换算为并网交流功率。在中长期预测和极端天气过境条件下,该技术优势突出,能较早识别天气系统演变引发的出力趋势转折。但数值模式自身初始场误差和参数化方案不确定性不可忽视,预报偏差沿链路逐级传递、逐级放大,且模式计算开销较大,难以满足超短期高频预测对时效性的要求。

1.4组合式光伏出力预测技术

组合式预测技术通过集成多种异质模型的预测结果来提升整体性能,其核心思路在于利用不同方法在误差模式上的互补性进行综合优化。该技术可采用固定权重平均、贝叶斯模型平均或基于误差反馈的动态权重调整等策略,将统计分析、机器学习以及数值气象耦合模型的输出进行融合,也可设计分层架构使上一级模型的残差由下一级模型进行二次修正。此类方法在晴雨交替、晨昏过渡等典型变化时段中能够有效平抑单个模型的极端误差,显著提高预测曲线的连续性与可靠性。但其工程实现需解决权重在线学习、异常模型实时剔除以及计算资源分配等关键技术问题,系统复杂度与管理维护成本相应大幅增加。

2 不同预测技术在电网调度中的应用场景

2.1超短期出力预测在实时调度中的应用场景

超短期出力预测的时间窗口通常覆盖未来数小时至15分钟,所获结果直接服务于电网实时调度决策。新能源装机占比迅速攀升后,光伏与风电出力的随机波动特性对电网频率稳定和电压安全构成显著压力。实时调度环节要求预测数据具备较高精度,用以指导有功功率平衡与无功电压调节。某分布式光伏监控系统依托边缘计算架构,引入改进的LSTM-TCN网络模型执行超短期预测任务,在晴朗、多云等典型运行条件下均方根误差降至0.0759。国网甘肃电力部署的智能调度示范系统设有日内前瞻优化模块。该模块衔接日前市场出清与实时控制流程,把超短期预测偏差纳入优化约束集合,通过求解获得未来4小时火电机组与多类型储能设备的协同运行方案。当系统出现备用容量不足等紧急状况时,该模块还能对实时市场出清结果进行二次修正,完成智能再调度[2]。调度中心依据超短期预测数据,在15分钟滑动窗口内持续修正各机组出力目标值,同步调整储能充放电策略和可调节负荷的响应曲线。浙江电网数智驾驶舱的负荷预测功能,根据气象观测资料自动生成超短期负荷预估值,实际运行精度达到99.5%。综合上述工程实践,超短期预测技术能够有效平抑新能源功率波动对电网实时运行造成的冲击。

2.2短期出力预测在日前调度中的应用场景

短期出力预测通常以24小时为时间尺度,在日前调度阶段为发电计划编制与机组组合优化提供关键输入。日前调度需要综合考虑次日新能源出力趋势、负荷需求变化以及各类型机组的运行特性,在此基础上确定火电机组启停状态、储能充放电时序及跨区电力交换方案。融合卷积神经网络、门控循环单元与双重注意力机制的组合预测模型在15分钟时间尺度下均方误差降至15.2兆瓦平方,显著提升了短时间尺度预测精度。虚拟电厂基于iTransformer模型进行日前风光出力预测,以运行成本最低为目标规划日内调度方案,综合运营成本降低20.1个百分点。基于季节性自回归积分滑动平均区间预测模型的主动配电网调度方法则建立了分布式光伏出力预测与配网优化调度之间的协调关系。日前调度还涉及备用容量配置与旋转备用计划制定,短期预测准确性直接决定日前调度方案的经济性与可靠性,是高比例新能源电力系统日前运行决策的基础支撑。

2.3中长期出力预测在电网规划调度中的应用场景

中长期功率预测主要面向年度、多年乃至十年尺度的电源规划与网架优化,为变电站扩容、跨区输电通道建设及储能方案配置提供基础数据。规划阶段借助该预测结果评估区域新能源可开发量,研判电力供需走势,并确定各类电源投运次序[3]。河北南网的十五五用电分析中,国网河北电力部署了一套智能需求预测智能体,实际运行显示预测准确率较传统人工手段高出6个百分点,工作效率提升逾60%。国网浙江电力建成的人工智能预测中心内置12种算法模型,可针对省级负荷和新能源出力开展多场景高精度预报。广西电网研发的气象新能源预测大模型采用百亿参数级Swin-Transformer结构,将新能源出力预报精度推高至89%以上。

3 光伏出力预测技术支撑电网调度的作用

3.1优化电网发电资源配置效率

光伏功率预测提供出力变化的前瞻信息,服务于电网发电资源的调配决策。传统调度模式下,缺乏对未来波动的可靠估计,运行人员只能维持较高旋转备用容量,这种做法压缩了光伏并网空间,清洁电能被迫削减。预测精度提升后,调度端依据未来时段的出力曲线设定各电源的开停机节点与有功区间,新能源与火电、水电的出力时序得以协调互补。浙江电力研发的“深光智测”算法已在杭州、湖州两地接入853座光伏电站,区域预测准确率超过96%。该算法构建地形特征、云层动态、辐照度分布的三维映射关系,将电站划分为山地、塘面、滩涂、屋顶四种类型,针对每种类型分别建立混合人工智能模型,各模型参数独立训练。预测结果纳入调度计划编制流程后,光伏发电优先安排消纳份额,火电、水电及储能的调节任务随后统一协调[4]。

3.2平抑电网功率波动偏差

光伏发电功率受云层移动和日照变化影响,间歇性与波动性突出,这类特性对电网频率稳定和电压调控构成现实约束。预测技术的作用在于功率波动尚未发生之时,提前给出出力趋势及变化幅度。调度部门据此部署储能充放电时序,修订常规机组

出力计划,并协调可中断负荷等柔性资源,将响应措施前移至扰动到达之前。宁波供电公司投运的AI预测系统按15分钟间隔滚动更新预报结果,光伏功率预测准确率超过96%。系统依托电站现场气象传感器,实时采集日照强度、风速、风向、小时雨量、环境温度等多维数据,输入大模型推演后续时段出力走势。若预测显示天气转阴将导致变电站负载越限,智能算法可在10秒内生成多条负荷转移供电路径,供运行人员择优执行。

3.3提升电网调度运行稳定性与经济性

光伏出力预测为调度运行提供关键的前置信息,作用集中在稳定支撑与经济增效上。稳定端,提前辨识出力骤降或激增的风险窗口,运行人员可预先修改保护定值,调整网架运行方式,使系统在功率大幅波动来临前完成应对部署,有效避免频率偏差越限和电压失稳事故。经济端,基于预报曲线优化机组组合与有功分配,旋转备用容量得以适度下调,高调节成本调峰机组的启动频次减少,系统总运行费用得到显著压缩。国网山西电力已在全省11个地级市及115个县级区域部署低压分布式光伏功率预测系统,短期预测准确率超过95%。该系统融合历史出力数据与温度、辐照强度、云层覆盖、空气质量等气象因子,单轮预测计算耗时控制在20秒以内。每日滚动更新的预报结果输出峰谷变化趋势,为调度优化提供明确的时间参考。陕西气象部门与电力公司联合建立数据融合框架,将气象观测资料与电网历史运行数据共同输入人工智能模型,预计可将预测绝对误差降低5至10个百分点,调峰响应效率同步提升逾30%。

3.4降低电网备用容量配置冗余

电网备用容量设定面临两端约束:设置偏高,调节资源闲置过多,拉高运行成本;设置偏低,功率缺额时无法及时响应,危及供电可靠性。光伏预测将出力不确定性以区间形式量化,据此可精细化配置备用容量。概率预测框架下,调度人员针对不同置信度选取出力上、下界,逐时段确定需要预留的调节能力,从而避免按极端场景统一高配带来的资源沉没[5]。浙江宁波应用AI预测系统后,调度人员可提前获取次日光伏出力走势,据此安排常规机组启停和储能充放电窗口。过去靠人工经验判断时,实际出力与预估值的落差可达两三百万千瓦,预测精度提升后备用配置有了明确边界。宁波供电公司同步建设虚拟电厂,聚合分散于用户侧屋顶光伏与储能装置,统一参与全网调节,实现不同区域间电力资源的错峰互补。在预测指导备用精细化配置的支撑下,光伏消纳率升至接近100%。

4 结束语

光伏出力预测与电网调度运行的结合日趋紧密,各类预测技术在不同时间尺度上各有其适用边界。统计分析适用于平稳条件下的短期滚动推算,机器学习能够在复杂气象场景中提取高阶特征,数值气象耦合对中长期趋势演变具有物理约束优势,组合式预测则通过集成策略提升了整体鲁棒性。超短期、短期及中长期预测分别服务于实时调控、日前决策和电源规划三个层次,形成了覆盖完整时间尺度的支撑链条。预测技术进步显著增强了调度系统应对不确定性的能力。

[参考文献]

[1]刘洋.基于联邦学习的分布式光伏出力预测模型在配电网中的应用[J].电工技术,2026,(13):128-130+135.

[2]樊文燕.光伏电站智能预测系统的性能优化与应用探索[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026,(6):128-131.

[3]王彦芬,张莹.大数据技术在电网负荷预测与调度优化中的应用研究[J].消费电子,2026,(15):227-229.

[4]郑非凡,许野,王旭,等.考虑INGO优化算法与VMD分解技术的TCN-Transformer的光伏出力预测方法研究[J].太阳能学报,2026,47(5):741-754.

[5]郑香兰.基于多源数据融合的光伏电站超短期功率精准预测技术研究[J].科技与创新,2026,(12):14-16+23.

作者简介：

康婷(1996--),女,陕西兴平人,本科,助理级工程师,研究方向：电网调度相关方向。

孙芳涛(2001--),男,河北邯郸人,本科,研究方向：电网调度相关方向。

李国红(1997--),男,青海海东人,本科,助理级工程师,研究方向：电气光伏方向。

薛守成(1999--),男,青海海东人,本科,研究方向：电气光伏方向。