基于大数据分析的分布式电源智能管理系统的研究

吕利军，李　伟，郑　鑫，杨　韬

（国网山西省电力公司大同供电公司，山西 大同 037000）

摘要：近年来，随着低压分布式电源逐步成为新型电力系统的重要组成部分，其出力随机性、间歇性和波动性等特征给电力系统运行和控制带来的不利影响日益突出。国网大同供电公司基于大数据分析方法，在区域内建设数字化、智能化的分布式电源智能管理系统，实现了含分布式电源配电网的可靠经济运行，规范并规划分布式电源接入，加强分布式电源主动支撑能力，完成7 000余户分布式光伏模型与数据接入，利用拓扑分析、可视化技术与人工智能算法实现分布式光伏的全景监视与高准确度预测，达到了分布式光伏“可观可测”目标。

关键词：低压分布式电源；大数据分析方法；全景监视；高准确度预测

Research on the intelligent management system of distributed power supply based on the analysis of big data

LV Lijun, LI Wei, ZHENG Xin, YANG Tao

(Datong Power Supply Company of State Grid Shanxi Province Electric Power Company, Datong 037000, China)

Abstract: In recent years, as low-voltage distributed power supply has gradually become an important part of the new power system, its characteristics of random, intermittent and fluctuating power supply have brought adverse effects to the operation and control of the power system. Based on the big data analysis method, State Grid Datong Power Supply Company has built a digital and intelligent distributed power supply intelligent management system in the region. It realizes the reliable and economic operation of distribution network containing distributed power supply, standardizes and plans the access of distributed power supply, and strengthens the active support capability of distributed power supply. Completed distributed PV model and data access for more than 7,000 households. Using topology analysis, visualization technology and artificial intelligence algorithms to achieve panoramic monitoring and high-precision prediction of distributed PV, achieving the goal of "observable and measurable“ distributed Photovoltaic.

Key words: low-voltage distributed power supply; big data analysis method; panoramic monitoring; high-precision prediction

0　引言

随着“十四五”期间国家新能源并网的政策实施以及国家“双碳”目标的提出[1-2]，各地区政府及供电企业积极响应号召，推出符合本地实际情况的分布式光伏并网发电惠民政策。结合县域民众对分布式光伏的深入了解以及切实享受到

的光伏绿色能源并网发电各项利好，县域配电网低压分布式光伏逐渐呈现爆发式的增长，光伏电站也扎堆上新。截至2023年5月，归属大同地调调度的新能源电厂装机容量为806.91万kW·h。其中，110 kV分布式新能源为36座，并网容量为204.6 MW；35 kV分布式新能源为4座，并网容量为80 MW；10 kV分布式新能源为33座，并网容量为159.38 MW；380 V/220 V分布式新能源为10 465座，并网容量为362.93 MW。当前，国网大同供电公司调控中心调度自动化系统还未能对分布式新能源进行全景监视，针对已接入分布式光伏的数据质量没有适合的管理手段，且缺乏全方位监视与精准预测手段，调度员无法实时准确掌握分布式光伏出力情况与其对电网运行的重要影响，对未来发电情况无法提前预测，给电网带来了很强的不确定性与运行安全隐患。通过全面加强分布式电源的管理，持续推进分布式电源的“可观可测”“可调可控”，才能使电网调控业务水平得到质的提升。

低压分布式电源作为集中供电方式的有益补充，对于优化我国能源结构调整、实现能源供应多元化、推动节能减排降耗、实现国家“双碳”目标以及经济可持续发展具有重要的战略意义[3-4]，低压分布式电源正逐步成为当前电力系统的重要组成部分。供电公司作为分布式电源接入的“最后一公里”，在规范分布式电源接入的同时，建立合理有效的分布式电源调控管理体系，对地区分布式电源的健康发展至关重要[5]。同时，能够有效地激活电网运行过程大数据蕴含的潜在价值，实现企业对电网运行管理的提质增效。

1 主要做法

1.1 数据来源

分布式电源调控管理体系所需要的数据来源于营销用采系统、D5000调度自动化系统、配电自动化系统和外部气象系统四大系统。每一系统所需采集数据详情：通过营销用采系统获取分布式电源台账、运行数据、地理位置信息、发电用户、变压器和台区的模型；通过D5000调度自动化系统获取主网拓扑结构模型、电网实时运行数据、设备运行限值、分布式电源运行数据、集中式新能源模型及运行数据；通过配电自动化系统获取配电网拓扑结构模型；通过外部气象系统获取地区网格化气象数据。分布式电源调控管理体系各系统及对应数据来源明细见表1。

表 1 分布式电源调控管理体系各系统及对应数据来源明细

Tab.1 Breakdown of systems and corresponding data sources in the distributed power regulation and management system

所采数据来源	所采数据内容
营销用采系统	分布式电源台账、运行数据、地理位置信息、发电用户、变压器和台区的模型
D5000 调度自动化系统	主网拓扑结构模型、电网实时运行数据、设备运行限值、分布式电源运行数据、集中式新能源模型及运行数据
配电自动化系统	配电网拓扑结构模型
外部气象系统	地区网格化气象数据

1.2 分析方法及模型算法

1.2.1 数据接入与治理方面

分布式光伏数据接入方面，采用光纤直采、融合终端和营配转发等多种方式，解决分布式光伏数据监管不足的问题。其中，电压等级在10 kV及以上的分布式光伏通过直采方式接入，电压等级为380 V/220 V的分布式光伏通过无线、用采转发等方式实现接入。同时，针对部分地区分布式光伏数据采集困难的情况，通过样板估测法对该片区域实现分布式光伏出力数据的估算，并且结合气象、地理位置和装机容量等信息，动态拟合计算出该片区域分布式光伏的实发功率。最后，结合营配转发的数据对分布式光伏出力情况的计算值进行准确性的验证以及对所建立的计算模型和算法进行优化与修正。分布式光伏数据接入模型的示意图如图1所示。

分布式电源出力计算模型通过配电自动化获取配电网模型，用采系统获取发电单元模型，结合主网模型实现主配电网模型融合、配电网用采模型融合，分布式电源基于主、配、用模型，按发电单元、台区、馈线和变电站等设备层级进行

建模，同时涵盖并网容量、并网电压等级、量测信息和设备信息等数据。分布式电源数据类别的示意图如图2所示。

由于用采系统数据质量较差，结合集中式新能源的模型与实发功率，通过为分布式光伏选择合适的样板站，对数据缺失或异常的场站进行折算，同时结合分布式并网馈线信息校核折算结果，实现区域分布式光伏的总出力计算与上报，并结合历史用采真实数据与同一个时刻折算数据，对相关的系数进行优化调整，以提升上报数据的准确性。

1.2.2 全景监视

通过对分布式光伏的相关数据信息进行全景监视，使调度人员准确掌握分布式光伏的出力情况。全景监视模块的监视路径如图3所示， 全景监视模块通过全网-区域-单站监视、厂站信息监视、并网路径监视和基于GIS地理分布展示四大模块搭建而成。

1）全网-区域-单站监视模块展示分布式电源总发电量、电站个数等总体发展情况，并结合气象数据与实时运行数据展示各地区气象信息、装机容量、发电量和实发功率等相关信息，同时

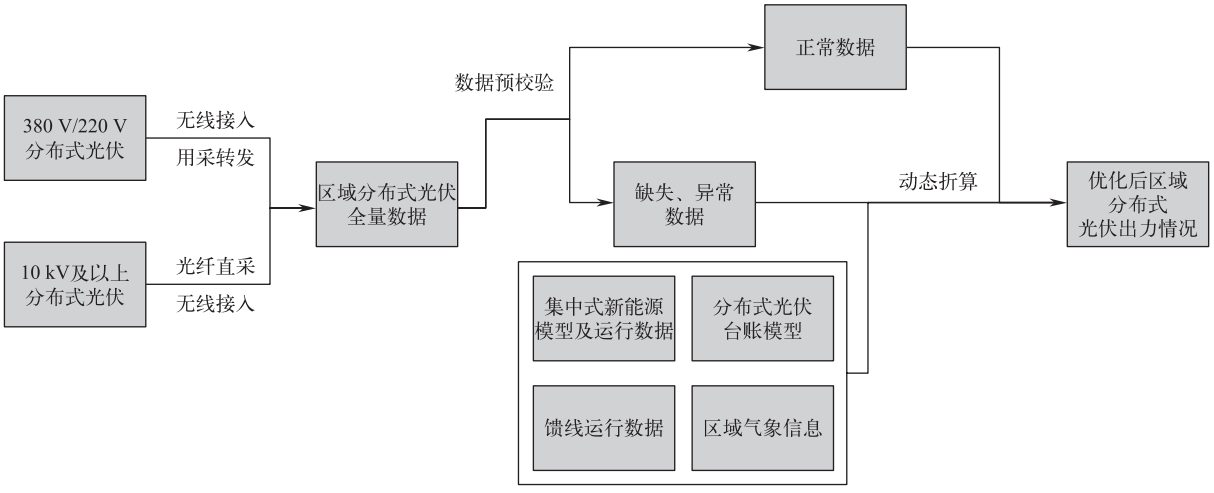


图 1　分布式光伏数据接入模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the data access model for distributed photovoltaics

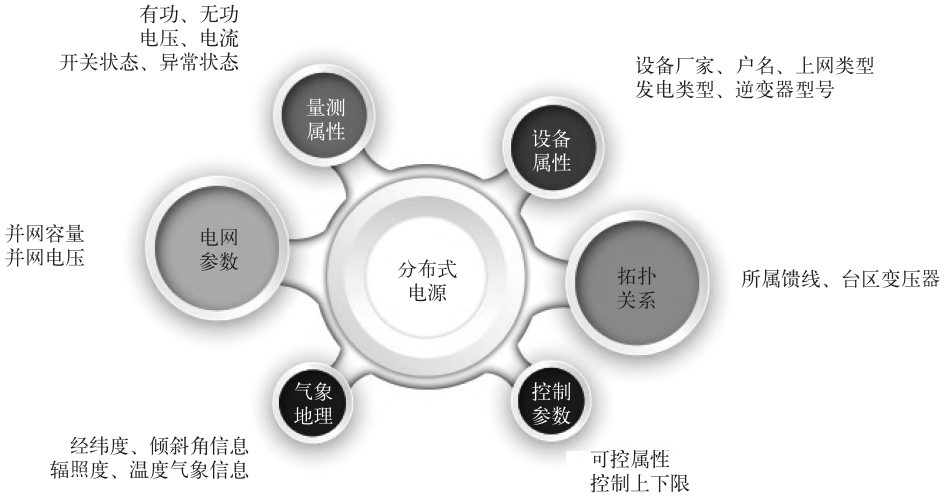


图 2　分布式电源数据类别示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the data categories of distributed power

实时监视分布式电源异常告警信息、全网功率预测情况，实现分布式电源的全景监视。

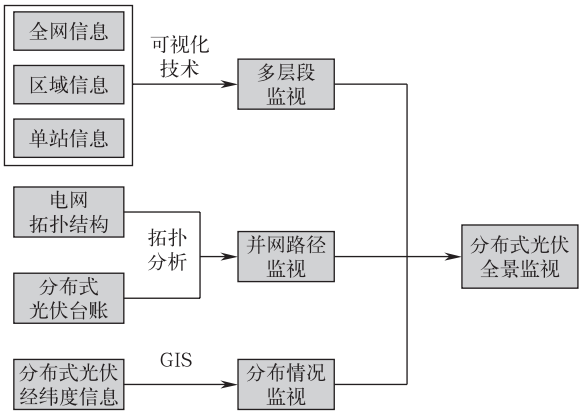


图 3　全景监视模块监视路径

Fig. 3 Monitoring path of the panorama monitoring module

2）在厂站信息监视模块中，通过对厂站的有功功率、无功功率、电压、并网容量、并网点和告警等信息进行监视，并基于自动成图技术，实现厂站目录与监视画面的自动生成。

3）基于并网路径监视模块实现可选区域的分布式电站并网路径的展示。按照地区、变电站、馈线和台区变压器进行树形菜单展示，通过自动成图的方式，展示主变压器与分布式电源间的拓扑关系，并逐层计算分布式电源的实时功率与容量，将过载及预警信息在并网路径上直观展示，当主配电网模型变更时，重新校验并生成新接入路径。

4）基于GIS地理分布实现分布式电源的全景监视，基于分布式电站的经纬度信息、气象信息，结合实时、预测与告警等信息，展示分布式电源的分布情况与运行情况。

1.2.3 功率预测

针对分布式光伏电源的功率预测的精准度需求，基于网格化天气预报数据，采用分布式区域功率预测算法，充分考虑区域内分布式光伏的地理位置、设备属性和气象信息等多维度影响因素，建立了区域分布式光伏功率预测的模型。同时，通过分布式光伏实发数据与模型所预测的功率数据的对比分析，对分布式光伏电源的功率预测模型进行修正，以提高功率预测的准确率。

其中，针对10 kV及以上电压等级通过光纤直采的分布式电源采用单站建模技术进行建模；针对电压等级为380 V/220 V的分布式电源采用区域预测技术进行建模。分布式光伏功率预测的模型示意图如图4所示。

功率预测模型的计算流程：

1）算法选择。根据建模经验和气候特征等信息，选择合适的一种算法或多种算法进行建模。其中，模型中支持统计学、机器学习和深度学习等多种算法。

2）模型修订趋优。通过光伏日电量、月电量数据反推功率数据，并进行功率预测模型的修正。

3）定期模型修订。通过在线人工智能算法，定期根据累积的预测数据进行模型修订，自动提升预测模型准确度。

4）准确度分析。实现均方根误差、绝对误差、合格率、最大/最小误差和相关系数等分析计算，统计高峰、低谷等时段预测功率和电量的极值、均值、准确性等指标。

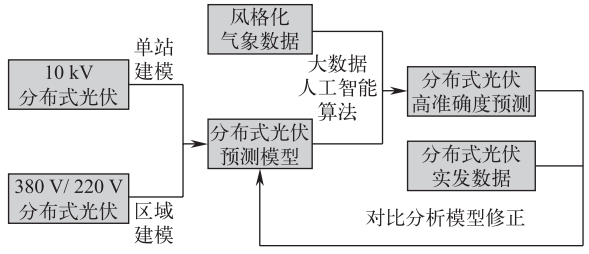


图 4　分布式光伏功率预测的模型示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the model for power prediction of distributed photovoltaics

1.2.4 管理承载评估

根据区域的分布式光伏场景，基于电网运行方式、输变电设备限值、负荷情况和发电情况，按从总体到局部，从高压到低压，开展热稳定计算，在此基础上进行电压偏差校核、短路电流分析校核，自动计算各电压等级的分布式光伏电源倒送情况，并分析供电区域内的分布式电源承载等级和可新增分布式电源容量，从而为分布式电源规划、设计和运行提供数据支撑。

（1）热稳定计算

热稳定评估应根据电网运行方式、输变电设备限值、负荷情况、发电情况和分布式电源出力特性等因素计算反向负载率λ。

热稳定计算的评估对象应包括变压器和线路。其中反向负载率λ值计算式为

$$\lambda=\frac{P_{\mathrm{D}}-P_{\mathrm{Lmin}}}{S_{\mathrm{e}}}\times 100\% \tag{1}$$

热稳定计算中，评估区域内可新增分布式电源容量，P_{m}计算式为

$$P_{\mathrm{m}}=\left(1-\lambda_{\max}\right)S_{\mathrm{e}}\,k_{\mathrm{r}} \tag{2}$$

式中，k_{r}为电网设备运行的裕度系数，一般取为0.8。

（2）电压偏差校核

电压偏差校核以无功功率就地平衡和分布式电源接入后电网电压不越限为原则。按式（3）计算出新增分布式电源接入后导致该区域的最大正负电压偏差，分别表示为δU_{H}和δU_{L}，即

$$\delta U(\%)=\frac{R_{\mathrm{L}}P_{\max}+X_{\mathrm{L}}Q_{\max}}{U_{\mathrm{N}}^{2}} \tag{3}$$

根据评估周期内各级母线电压时序和国家标准《电能质量供电电压偏差》规定的电压偏差限值，估算分布式光伏接入导致的正负电压偏差允许值ΔU_{H}和ΔU_{L}。按式（4）进行校核，即

$$\Delta U_{\mathrm{H}}>\delta U_{\mathrm{H}}\text{且}\Delta U_{\mathrm{L}}<\delta U_{\mathrm{L}} \tag{4}$$

（3）短路电流校核

短路电流校核以接入分布式电源后系统各母线节点短路电流不超过相应断路器开断电流限值为原则，校核对象应包括评估范围内短路电流有可能流经的所有设备，满足限制要求

$$I_{\mathrm{xz}}<I_{\mathrm{m}} \tag{5}$$

（4）电网承载力评估等级

电网承载力评估等级根据上述计算分析得到的结果进行分区分层确定。电网承载力评估等级由低到高可分为绿色、黄色和红色，各评估等级所对应的依据、含义及分布式光伏电源接入建议见表2。按照表2中的实施建议可使电网的网架结构更为清晰，进一步实现了清洁能源的并网。

2 场景应用

2.1 分布式光伏多种接入及数据治理

数据接入适用于针对低压分布式光伏无法通过调度数据网络光纤接入的场景，可通过无线经安全接入区接入或用采系统全量转发的方式；数据治理适用于分布式光伏数据存在大范围缺失、异常等数据质量问题，无法准确估算区域出力的情况，可结合集中式新能源运行情况、馈线功率和气象等信息实现异常数据的折算。

表2 电网承载力评估等级所对应的依据、含义及分布式光伏电源接入建议

Tab.2 The basis, meaning and recommendation of distributed photovoltaic power access corresponding to the grid carrying capacity assessment level

评估等级	依据	含义	建议
绿色	反向负载率$\lambda\leqslant 0$；且短路电流、电压偏差、谐波含量校核通过	可完全就地消纳，电网无反送潮流	推荐分布式电源接入
黄色	反向负载率$0<\lambda\leqslant 80\%$；且短路电流、电压偏差、谐波含量校核通过	电网反送潮流不超过设备限额的80%	对于确需接入的项目，应开展专项分析
红色	反向负载率：$\lambda>80\%$，短路电流、电压偏差、谐波含量校核不通过或因分布式电源导致向220 kV及以上电网反送电	电网反送潮流超过设备限额的80%，或电网运行安全存在风险	在电网承载力未得到有效改善前，暂停新增分布式电源项目接入

2.2 分布式光伏的“可观可测”

全景监视适用于分布式光伏监视手段单一、模型维护复杂等情况。结合分布式光伏台账与电网拓扑模型，实现模型更新的自动识别，减少维护工作量，同时融合多元数据实现多层级、多角度的全景监视；高准确度功率预测适用于分布式光伏功率难以预测或预测准确率低的情况，结合网格化气象数据，采用适合的大数据分析手段实现分布式光伏的高准确预测。

3 应用成效

试点国网大同供电公司目前已完成7 000余户分布式光伏模型与数据接入，结合调度自动化

系统多元数据，采用动态拟合计算方法提升数据质量，并利用拓扑分析、可视化技术与人工智能算法实现分布式光伏的全景监视与高准确度预测，达到了分布式光伏“可观可测”的目标。

1）数据接入与治理方面。利用智能终端无线接入、用采数据转发等多种方式，实现低压分布式光伏的接入，并结合集中式新能源运行数据、并网馈线信息和气象信息等多元数据，采用动态折算与模型优化相结合的方式，大幅提高分布式光伏的数据质量。

2）运行“可观可测”方面。基于拓扑分析、可视化和对象等技术实现全网-区县-馈线-场站等多层级监视、并网路径监视和三维GIS监视等全景监视，提升了监视管理水平，使调度员能够实时掌握分布式光伏的运行情况和对电网造成的影响，同时基于网格化气象数据，采用人工智能技术实现高准确度的功率预测，有效提升了分布式光伏预测准确率，为计划调度提供有力数据支撑。

参考文献

[1] 刘杰．开创新能源发展新篇章[J]．国家电网，2017，172(11)：94-95．

[2] 熊文清，白治军，韩益民，等．电力设计企业基于“双碳”背景的科技创新发展[J]．电力勘测设计，2023，178(4)：24-29．

[3] 李伟．稳步推进能源结构调整和优化[J]．中国石油企业，2019，407(3)：44．

[4] 张颖．加强顶层设计实现“双碳”目标——国家碳达峰碳中和相关政策综述[J]．中国勘察设计，2021，350(11)：6-7．

[5] 杜峰．调控一体化安全管理体系探讨[J]．电力安全技术，2020，22(7)：50-53．

作者简介

吕利军（1975—），男，高级工程师，研究方向为电力调度控制。

（收稿日期：2023-05-10）