

团体标准

T/JES 010-2025

分布式光伏集群动态网格划分与出力预测技术规范

Technical Specification for Dynamic Grid Partitioning and Power Output
Forecasting of Distributed PV Clusters

2025-5-29 发布

2025-5-29 实施

江苏省电工技术学会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号、代号和缩略语 2

5 总体要求 2

 5.1 功能架构要求 2

 5.2 性能指标要求 3

 5.3 数据管理要求 3

 5.4 可靠性与容错性要求 3

 5.2 标准化兼容性 3

6 核心技术要求 3

 6.1 动态网格划分 3

 6.2 时空耦合建模 4

 6.3 数据融合方法 4

参考文献 6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由江苏省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、南京师范大学。

本文件主要起草人：张力、霍雪松、杜云龙、杨庆华、陆志平、王淑恒、戴强晟、徐东亮、姚云婷、马刚。

本文件为首次发布。

引 言

随着江苏省分布式光伏装机容量突破 3000 万千瓦，低压分布式光伏在能源结构中的占比持续攀升，其出力波动对电网调度的挑战日益凸显^[1]。传统预测方法因采用固定网格划分策略，难以捕捉气象动态性、空间异质性及分布式集群的时空耦合效应，导致预测精度不足、备用容量冗余配置高，加剧了弃电损失与电网运行成本。尤其在江苏地区，城乡建筑、工业园区及农村屋顶的复杂分布式布局与多变气象条件交织，单一区域的出力波动可能通过电网拓扑快速传导，形成连锁性功率振荡。这一现状亟需通过技术创新构建适配高渗透率分布式光伏接入的预测体系。

本标准聚焦动态网格划分、时空耦合建模与多模态数据融合三大核心技术。通过改进的 DBSCAN 聚类算法，结合气象突变阈值与电网拓扑约束，实现差异化动态网格重组；融合图卷积网络与 Transformer 架构的混合模型，嵌入时空注意力机制与物理约束，显著提升极端天气下的预测鲁棒性；规范多源数据对齐流程，采用北斗/GPS 双模授时与 WGS-84 坐标系映射，解决卫星云图、地面气象站及逆变器数据的时空匹配难题。

本标准的编制量化了动态网格划分参数、时空建模基准及数据融合规则，为长三角跨省协同预测提供技术框架。其推广将直接支撑新型电力系统建设，降低电网备用容量投资，提升光伏消纳率，并推动智能气象设备、边缘计算终端等产业链升级。此外，标准中嵌入的国产化加密算法与数据安全协议，契合《网络安全法》与“双碳”战略，为能源安全与绿色转型提供双重保障^{[2][3]}。

分布式光伏集群动态网格划分与出力预测技术规范

1 范围

本文件规定了分布式光伏集群动态网格划分与出力预测的技术要求、模型构建方法及验证规则。
本文件适用于电压等级≤35kV、装机容量≤10MW 的低压分布式光伏集群出力预测系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。
凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.1-2008	电工术语 基本术语
GB/T 31365-2015	光伏电站接入电网检测规程
GB/T 42313-2023	电力储能系统术语
GB/T 33593-2017	分布式电源并网技术要求
GB/T 26862-2011	电力系统同步相量测量装置检测规范
GB/T 36572-2018	电力监控系统网络安全防护导则
GB/T 45021.1-2024	光伏组件性能测试和能量评定 第 1 部分：辐照度和温度性能测量和功率评定
GB/T 29319-2024	光伏发电系统接入配电网技术规定
GB/T 16895.32-2021	低压电气装置 第 7-712 部分：特殊装置或场所的要求 太阳能光伏（PV）电源系统
GB/T 30153-2013	光伏电站太阳能资源实时监测技术要求
GB/T 19964-2024	光伏电站接入电力系统技术规定
GB/T 39786-2021	信息安全技术 信息系统密码应用基本要求
GB/T 26865.2-2023	电力系统实时动态监测系统 第 2 部分：数据传输协议
GB/T 36572-2018	电力监控系统网络安全防护导则
DL/T 630-1997	交流采样远动终端技术条件
DL/T 721-2013	配电网自动化系统远方终端
DL/T 814-2013	配电自动化系统技术规范
DL/T 1640-2016	继电保护定值在线校核及预警技术规范
DL/T 634.5104-2009	远动设备及系统 第 5-104 部分：传输规约 采用标准传输协议集的 IEC60870-5-101 网络访问
IEEE 2030.5	Smart Energy Profile 2.0
国能安全〔2015〕36 号	电力监控系统安全防护评估规范
国家电网运检〔2016〕576 号	配电自动化系统安全防护要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

分布式光伏集群动态网格划分 **dynamic grid partitioning of distributed PV clusters**

基于时空相关性分析，将低压分布式光伏系统划分为若干动态调整的电气子区域的方法。通过改进 DBSCAN 聚类算法和电网拓扑约束条件，实现光伏出力波动率 $>20\%$ 时的网格重组，支持集群出力时空耦合建模。

3.2

时空耦合出力预测 spatiotemporal coupled power output forecasting

融合动态网格划分结果与多模态数据（气象、逆变器运行、电网拓扑）的预测模型，采用 GCN-Transformer 混合架构进行短期（0-72h）和超短期（15min-4h）功率预测，预测误差 RMSE $\leq 5\%$ 。

3.3

动态网格划分 dynamic grid partition

集成同步相量测量功能的配电网监测装置，具备电压/电流相量采集、动态网格边界识别及“三遥”（遥测、遥信、遥控）功能，通信协议满足 DL/T 721-2013 要求。

3.4

模态对齐误差 modal alignment error

卫星云图、逆变器数据与 PMU 时标的时间偏差，本标准规定最大允许偏差 ≤ 1 秒，通过 GPS/北斗双模时钟同步实现。

3.5

天气验证场景库 weather validation scenario library

包含 10 类典型气象事件的仿真数据集，用于测试预测模型在辐照度突变（ $\pm 30\%$ 分钟内）和温度骤变（ $\pm 15^\circ\text{C}/\text{h}$ ）下的鲁棒性。

4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

PV：光伏（Photovoltaic）

DBSCAN：基于密度的空间聚类算法（Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise）

GCN：图卷积网络（Graph Convolutional Network）

FY-4B：中国风云四 B 卫星

Himawari-8：日本 Himawari-8 号卫星

Modbus：OSI 模型第 7 层应用层报文传输协议

IEC 61850：国际电工委员会变电站通信标准（International Electrotechnical Commission 61850）

WGS-84：WGS-84 坐标系（World Geodetic System — 1984 Coordinate System）

JSON：JS 键值对数据（JavaScript Object Notation）

LSTM：长短期记忆网络（Long Short-Term Memory）

Transformer：Transformer 模型架构（Transformer Model）

AGC/AVC：自动发电控制/自动电压控制（Automatic Generation Control/Automatic Voltage Control）

RMSE：均方根误差（Root Mean Square Error）

MAE：平均绝对误差（Mean Absolute Error）

5 总体要求

本节定义了系统的核心功能模块及其技术要求，涵盖从数据采集到预测输出的全流程架构设计，具体如下：

5.1 功能架构要求

5.1.1 数据采集层

整合多源异构数据（卫星、地面站、逆变器），确保时空一致性。

5.1.2 数据预处理模块

实现数据质量控制与标准化，支撑后续分析。

5.1.3 动态网格划分层

根据气象突变与设备异常动态调整分析单元。

5.1.4 预测模型层

采用混合模型架构，融合时序与空间关联算法。

5.1.5 输出与应用层

提供多时间尺度预测结果，支持电网实时控制与可视化。

5.2 性能指标要求

5.2.1 预测精度

- A. 常规天气：晴天/多云场景RMSE $\leq$ 8%，阴雨场景RMSE $\leq$ 12%，MAE $\leq$ 对应RMSE的75%。
- B. 极端天气：台风/暴雪场景RMSE $\leq$ 15%，预测偏差需在30分钟内收敛至 $\pm$ 10%。

5.2.2 数据处理时效

- A. 气象数据预处理延迟 $\leq$ 1分钟，模型单次全网格计算时间 $\leq$ 1分钟。
- B. 动态网格重组完成至预测结果生成全流程时延 $\leq$ 5分钟。

5.2.3 系统扩展性

- A. 支持集群规模 $\geq$ 5000节点，节点扩容时预测时效偏差 $\leq$ 3%。
- B. 模型参数在线更新周期 $\leq$ 7天，支持增量学习与迁移学习。

5.3 数据管理要求

5.3.1 存储规范

- A. 原始数据保留 $\geq$ 5年，预测结果保留 $\geq$ 3年，采用时序数据库（InfluxDB）或HDF5格式。
- B. 数据加密等级：气象敏感信息采用AES-256加密，访问日志留存 $\geq$ 6个月。

5.3.2 质量管控

- A. 异常数据识别：出力突变率 $>$ 30%/5分钟或辐照度-出力相关性 $<$ 0.6时触发校验。
- B. 数据完整性：月度采集可用率 $\geq$ 99%，缺失插补优先采用LSTM时序填补算法。

5.4 可靠性与容错性要求

5.4.1 系统可用性

- A. 全年可用性 $\geq$ 99.9%，单点故障切换时间 $\leq$ 10秒，支持双活数据中心架构。
- B. 极端天气下启动降级模式：基于历史相似日数据生成基线预测，误差容忍度放宽至 $\pm$ 20%。

5.4.2 灾备机制

- A. 建立区域级备份预测中心，数据同步延迟 $\leq$ 30秒，RPO $\leq$ 5分钟。

5.2 标准化兼容性

接口协议：符合GB/T 19964—2012并网规范，适配IEEE 2030.5能源管理系统标准。

安全合规：满足《网络安全法》及《电力监控系统安全防护规定》二级防护要求。

6 核心技术要求

6.1 动态网格划分

6.1.1 技术参数

- A. 自适应参数优化算法
 - a) BSCAN动态调整：采用改进天牛群优化算法（IBSO）生成Eps和MinPts参数，城市区域Eps=0.050.1（高密度），农村区域Eps=0.150.22（低密度）；通过模糊云模型评估参数有效性，触发子网格分裂的阈值条件为温差 $\leq$ 2℃、辐照度偏差 $\leq$ 50W/m²。

- b) 网络重构触发机制：逆变器故障率 $\geq 5\%$ 时启用LSTM填补数据缺失；云层移动速度 $\geq 10\text{m/s}$ 时通过光流法跟踪卫星云图（Himawari-8，4km分辨率，10分钟更新），匹配地面辐照度波动率 $\geq 30\%$ 的区域重组网格。
- B. 网络拓扑优化
 - a) Voronoi图融合GCN：采用Delaunay三角剖分优化边界，GCN图卷积核层数 ≥ 2 ，通道数 ≥ 32 ；邻接矩阵动态更新阈值保留边权重 ≥ 0.6 。
 - b) 实时监控：边缘计算节点每30秒更新网格状态，北斗/GPS双模授时误差 ≤ 1 秒，异常时调用时空协同克里金算法溯源。

6.1.2 操作规范

- A. 网络生成流程：
 - a) 数据预处理（几何纠正、辐射校正）；
 - b) 基于IBSO动态调整聚类参数；
 - c) 根据气象相似性触发网格分裂；
 - d) 日志AES-256与RSA混合加密存储，密钥每月轮换
- B. 异常处理：故障率超限时优先修复核心节点，冷热数据分离存储并支持分布式查询。

6.2 时空耦合建模

6.2.1 技术参数

- A. 模型架构Transformer-GCN联合架构：输入层嵌入时空坐标（经度、纬度、时间），叠加Sin/Cos位置编码和气象标签（晴/雨/雪）；多头自注意力机制头数 ≥ 4 ，残差连接防止梯度消失。
- B. 动态图结构：时空邻接矩阵（STAM）基于气象相似度距离构建，图卷积层采用LeakyReLU（ $\alpha = 0.2$ ）激活函数，度矩阵归一化公式为 $\tilde{D}^{-1/2} \tilde{A} \tilde{D}^{-1/2}$ 。

6.2.2 训练与验证

- A. 极端天气模拟：训练集需包含 ≥ 5 次台风/暴雪事件，GAN增强数据多样性，测试集RMSE $\leq 15\%$ ；增量学习每周更新参数，学习率衰减因子 $=0.95$ 。
- B. 物理约束嵌入：在Transformer中引入能量守恒方程，优化台风路径预测的物理合理性。

6.2.3 操作规范

- A. 数据输入规范：72小时历史序列时间分辨率 ≤ 15 分钟，时空坐标误差 ≤ 10 米（RTK-GNSS校正）。
- B. 模型部署：GPU利用率 $\geq 90\%$ ，内存占用率 $\leq 80\%$ ；支持10万级网格并发计算。

6.3 数据融合方法

6.3.1 技术参数

- A. 多源协同处理
 - a) 时空对齐：卫星云图（可见光 $0.60.7\mu\text{m}$ ，红外 $10.311.3\mu\text{m}$ ）与地面站数据采用双线性插值，网格分辨率 $\leq 1\text{km}^2$ 。
 - b) 特征级融合：气象特征权重 $=0.6$ （基于辐照度-出力相关系数 ≥ 0.6 ），历史序列权重 $=0.4$ ，动态调整因子 $\beta = 0.1$ 。
- B. 加密与质控
 - a) 混合加密：敏感数据AES-256加密传输，DES密钥通过RSA公钥加密存储；破坏性测试中随机丢弃50%气象数据，验证插补算法RMSE增幅 $\leq 3\%$ 。
 - b) 异常检测：出力突变率 $>30\%/5$ 分钟时调用SOM聚类算法定位异常源。

6.3.2 操作规范

- A. 融合流程：多源数据缓冲窗口 ≤ 3 秒，超时数据触发LSTM填补（隐藏层单元 $=64$ ，时间窗口 $=1$

- 小时)；特征级融合采用注意力机制动态分配权重；加密密钥每月轮换，冷热数据分离存储。
- B. 合规性要求：引用 GB/T 39786-2021《信息系统密码应用基本要求》和 WMO No. 1203《卫星云图处理指南》。

参 考 文 献

- [1] 董欣. 江苏激活高质量发展“新”动能[N]. 中国能源报, 2024-12-02(001). 2024. 001556.
 - [2] 庄贵阳. 我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策[J]. 人民论坛, 2021, (18): 50-53.
 - [3] 辛保安, 单葆国, 李琼慧, 等. “双碳”目标下“能源三要素”再思考[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(09): 3117-3126. 212780.
-