

ICS 国际标准分类号

CCS 江苏省标准文献分类号

# 团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

## 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

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布



## 目 次

目 次	I
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	10
编 制 说 明	11

## 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》给出的规则起草。

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。

本文件由江苏省电工技术学会标准工作委员会工作组归口。

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<sup>[1]</sup>。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<sup>[2][3]</sup>。



# 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 $\leq 35\text{kV}$ 、装机容量 $\leq 10\text{MW}$ 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 $\leq 1$  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/m<sup>2</sup>。

- b) 网格重构触发机制：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. 网格拓扑优化
  - a) Voronoi图融合GCN：采用Delaunay三角剖分优化边界，GCN图卷积核层数 $\geq 2$ ，通道数 $\geq 32$ ；邻接矩阵动态更新阈值保留边权重 $\geq 0.6$ 。
  - 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 $\leq 1$ 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. 网格生成流程：
  - 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 $\geq 4$ ，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 $\geq 5$ 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 $\leq 15$ 分钟，时空坐标误差 $\leq 10$ 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 $\geq 0.6$ ），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 $\leq 3$ 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.
-

# 分布式光伏集群动态网格划分与出力预测技术规范

编制说明



## 目 次

1 编制背景.....	2
2 编制主要原则.....	2
3 与其他标准文件的关系.....	2
4 主要工作过程.....	2
5 标准结构和内容.....	2
6 条文说明.....	3
7 其它 .....	3

## 1 编制背景

本标准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。本标准适用于电压等级 $\leq 35\text{kV}$ 、装机容量 $\leq 10\text{MW}$ 的低压分布式光伏集群出力预测系统。

## 2 编制主要原则

(1) 按照《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》(GB/T 1.1-2000)和《电力企业标准编制规则》(DL/T 800-2001)的有关要求，开展本规范制定工作。

(2) 本标准主要对分布式光伏预测的技术方法规范化提出基本的技术要求，不对分布式光伏组件的物理构成做过多限制。

## 3 与其他标准文件的关系

本标准与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致。

## 4 主要工作过程

承担单位：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

核心职责：统筹项目规划、标准制定、技术验证与应用推广，组织开展规范的编制、评审等。

数据支撑与工程实施：

提供江苏省低压分布式光伏集群的实际运行数据（包括历史出力、气象数据、电网拓扑等），并协调泰州试点区域的动态网格划分验证环境。

负责试点区域的通信设备部署（如动态网格监测终端、多源数据采集装置），确保数据安全传输与接口规范。

技术验证与标准落地：

主导标准核心技术指标（如动态网格重组触发条件、极端天气预测误差阈值）的工程验证，依托泰州安全实训基地开展模型鲁棒性测试。

推动标准在江苏电网调度系统中的应用，制定分布式光伏集群出力预测与电网调度的联动机制。

行业协调与政策衔接：

对接江苏省电机工程学会，牵头组织标准立项审查、专家评审及发布流程。

参加单位：南京师范大学

核心职责：技术研发、模型优化与理论支撑

算法研发与模型构建：

基于动态网格划分需求，开发改进的DBSCAN聚类算法，优化时空耦合模型（GCN-Transformer混合架构）的注意力机制参数。

设计多模态数据对齐算法（如卫星云图与逆变器数据的时空匹配），解决气象数据与设备运行数据的模态差异问题。

仿真验证与数据分析：

构建分布式光伏集群仿真平台，验证预测模型在多重天气场景下的适应性。

提供预测精度评估报告（RMSE、MAE等指标），并提交标准化参数建议。

## 5 标准结构和内容

本标准的主要结构和内容如下：

- 1.目次;
- 2.前言;
- 3.正文共设5章：范围，规范性引用文件，术语和定义，符号、代号和缩略语，总体要求。
- 4.主题章节由总体要求：功能架构要求、性能指标要求、数据管理要求、可靠性与容错性要求、标准化兼容性；核心技术要求：动态网格划分，时空耦合建模，数据融合方法构成。

## 6 条文说明

### (1) 范围

本标准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。本标准适用于电压等级 $\leq 35\text{kV}$ 、装机容量 $\leq 10\text{MW}$ 的低压分布式光伏集群出力预测系统。

### (2) 规范性引用文件

本章列出了与本技术规范内容相关的标准。引用的原则为：逐条列出与本标准内容有关的主要GB、DL标准，当没有对应的GB、DL标准时，则引用Q/GDW公司标准或IEC标准。

### (3) 术语和定义

为查阅方便和执行本规范条文时能正确理解相关的专业名称术语，本章列出了配网微型同步相量测量装置所涉及的主要专业术语及其解释。为了使术语的解释尽量标准化、规范化，本章所列术语的解释尽量引自己有标准、规程或词典；对于新的术语，尽量以简洁易懂的语言方式定义。

### (4) 符号、代号和缩略语

为查阅方便和执行本规范条文时能正确理解相关的符号、代号和缩略语，本章列出了配网微型同步相量测量装置所涉及的主要符号、代号和缩略语及其解释。为了使符号、代号和缩略语的解释尽量标准化、规范化，本章所列符号、代号和缩略语的解释尽量引自己有标准、规程或词典；对于新的符号、代号和缩略语，尽量以简洁易懂的语言方式定义。

### (5) 总体要求

本章提出了功能架构要求，性能指标要求，数据管理要求，可靠性与容错性要求，标准化兼容性要求。

### (6) 核心技术要求

本章提出了动态网格划分，时空耦合建模，数据融合方法要求。

## 7 其它

无。