**华东新能源功率预测技术服务**

智协飞

**项目预算：350万元**

**一、项目研究要求**

**（一）研究目标**

收集处理风电/光伏电场发电历史记录及相应的多源气象信息资料基础上，形成供电保障能力预测关键气象要素和发电功率数据集；研究4-15天省级及以上多重动力降尺度预测和多模式集合预测方法，实现4-15天不同预报时段的关键气象要素高精度预测，构建4-15天风电/光伏发电功率动态自适应预测模型；基于先进的深度学习技术研发局地关键气象要素精细化预报方法；建立以提升风电/光伏日内供电能力预测效能为目标的自适应高频更新数值天气预报模型。

**（二）研究内容**

1．多源电力气象数据融合同化技术

采集气象观测资料、雷达卫星遥感资料、数值模式预报产品、辐射观测资料，以及华东地区地区风电/光伏电厂发电历史记录、发电功率预测数据和相应的电厂气象自动观测资料，开发多源电力气象数据融合同化技术，为研发4-15天省级及以上关键气象要素预测方法、分析风电/光伏发电功率和供电能力预测误差来源、建立供电能力预测和评估模型提供数据支撑。

2．4-15天省级及以上关键气象要素精细化预测技术

针对华东地区地区特殊的地理环境和复杂气候特征，根据不同预测时段定制各关键气象要素的“多重动力降尺度”精细化预测技术；开展多模式集合预测技术研究，对模式预报结果进行优化，最终建立4-15天省级及以上区域关键气象要素精细化预测模型。要求：（1）动力降尺度精细化预测模型：实现省级及以上4-15天的关键气象要素预测，预测空间水平分辨率≤5km；（2）多模式集成预测模型：实现省级及以上4-15天的关键气象要素预测, 7天以内边界层风速预测平均均方根误差≤2.5m/s，8-15天的≤3m/s，日内全波段辐射预报误差不大于20%。

3．4-15天风电/光伏发电功率动态自适应预测建模

基于历史相关性分析，分别构建功率预测模型，融合天气背景信息，采集不同时间分辨率的气象要素预测产品，建立各时段自适应预测模型。要求：4-15天风电/光伏新能源发电功率精准预测技术：实现对省级及以上电网4-15天风电/光伏发电功率预测，第7天预测准确率提升至75%以上，8-15天预测准确率不低于65%。

4.极端与转折天气下气象信息动力-智能降尺度技术

挖掘多种极端与转折性天气(至少包含三种极端天气)下气象要素与风电/光伏功率爬坡的关联性，分析气象信息对风电/光伏功率爬坡预测的影响机理；开发精细化数值模型，建立极端天气背景下高精度映射模型；对影响风电/光伏功率爬坡预测的关键气象要素进行预报；对于某些极端天气过程进行完整模拟及预测，并与实际结果进行对比。

5.面向风电/光伏日内供电能力预测的高频更新数值天气预报

提取辐射量、近地风场等影响风/光日内出力预测的关键气象信息特征；开发关键气象信息优化预报方法，提升风/光供电能力预测效能；建立高频更新数值天气预报模型，提升风电/光伏日内供电能力预测水平，并支撑供电能力不足评估。要求：面向风光功率预测关键信息的数值天气预报日内更新次数：实现面向风光功率预测关键信息的数值天气预报日内更新次数不少于4次。

1. **具体研发内容**

1、技术服务的工作内容

**3.1 多源电力气象数据融合同化技术**

采集气象观测资料、雷达卫星遥感资料、数值模式预报产品、辐射观测资料，以及华东地区风电/光伏电厂发电历史记录、发电功率预测数据和相应的电厂气象自动观测资料，开发多源电力气象数据融合同化技术，为研发4-15天省级及以上关键气象要素预测方法、分析风电/光伏发电功率和供电能力预测误差来源、建立供电能力预测和评估模型提供数据支撑。

**1.2 4-15天省级及以上关键气象要素精细化预测技术**

针对华东地区特殊的地理环境和复杂气候特征，根据不同预测时段定制各关键气象要素的“多重动力降尺度”精细化预测技术；开展多模式集合预测技术研究，对模式预报结果进行优化，最终建立4-15天省级及以上区域关键气象要素精细化预测模型。

**1.3 4-15天风电/光伏发电功率动态自适应预测建模**

基于历史相关性分析，分别构建功率预测模型，融合天气背景信息，采集不同时间分辨率的气象要素预测产品，建立各时段自适应预测模型。

**1.4 极端与转折天气下气象信息动力-智能降尺度技术**

挖掘多种极端与转折性天气(至少包含三种极端天气)下气象要素与风电/光伏功率爬坡的关联性，分析气象信息对风电/光伏功率爬坡预测的影响机理；开发精细化数值模型，建立极端天气背景下高精度映射模型；对影响风电/光伏功率爬坡预测的关键气象要素进行预报；对于某些极端天气过程进行完整模拟及预测，并与实际结果进行对比。

**1.5 面向风电/光伏日内供电能力预测的高频更新数值天气预报**

提取辐射量、近地风场等影响风/光日内出力预测的关键气象信息特征；开发关键气象信息优化预报方法，提升风/光供电能力预测效能；建立高频更新数值天气预报模型，提升风电/光伏日内供电能力预测水平，并支撑供电能力不足评估。

1. 技术服务的方法和技术路线。

针对项目的研究目标及相应的技术难点，本方案的总体解决思路如下：

（1）收集地面和高空气象观探测资料、卫星和雷达遥感资料、全球/区域数值天气预报产品、辐射观测资料，以及华东地区风电/光伏电场发电历史记录、发电功率预测数据和相应的电场气象自动观测资料，开发多源电力气象数据综合质量控制、特征提取、约束优化的数据融合同化技术，为研发4-15天省级及以上关键气象要素预测方法、分析风电/光伏发电功率和供电能力预测误差来源、建立供电能力预测和评估模型提供数据支撑。其技术路线如图1所示。

图示

描述已自动生成

**图1 研究内容1技术路线图**

1. 针对华东地区特殊的地理环境和复杂气候特征，根据不同预测时段，研究关键气象要素不同时空分辨率的“多重动力降尺度”精细化预测技术；通过验证“多重动力降尺度”模式预测的“增值”能力，确定适用于华东地区的最优模式参数化方案组合；针对地球大气系统的混沌特性，开展多模式集合预测技术研究，构建适用于4-15 天的基于卡尔曼滤波的超级集合模型和基于卡尔曼滤波的多模式模态投影集合预测模型，并对多模式集合预测模型进行适用性调试和优化，提升4-15天气象要素集合预测准确率；在此基础上，利用历史观测数据采用深度学习方法对多模式集合预测结果进行偏差订正，最终建立4-15天省级及以上区域关键气象要素精细化预测模型。其技术路线如图2所示。

图示

中度可信度描述已自动生成

**图2 研究内容2技术路线图**

（3）基于场站历史观测数据和4-15天气象要素预测产品进行历史相关性分析，分别构建4-15天统一功率预测模型和独立功率预测模型，计算独立模型和统一模型的准确率差异，评估气象要素预报准确性的衰减程度，进而将4-15天划分为N个时段，动态建立各时段模型。针对最近时段气象预报较为准确的特点，采用集成学习和深度学习技术建立基于15min分辨率的气象要素预测产品的发电功率预测模型；针对较远时段例如第15天的预测，一方面根据历史观测数据统计分析日发电量变化规律，建立分时段功率预测模型；另一方面基于3h-6h分辨率的气象要素预报产品，采用聚类分析方法划分不同的天气类型，基于不同天气类型研发多类深度学习算法集合方法，搭建4-15天风电/光伏发电功率综合预测模型，双重模型融合提高中长期功率预测准确性。其技术路线如图3所示。

图示, 文本

描述已自动生成

**图3 研究内容3技术路线图**

（4）基于长时间历史气象资料与风电/光伏功率数据，针对目标区域台风、沙尘、寒潮等极端转折天气，关键气象要素的历史观测资料和风电、光伏功率爬坡信息，挖掘极端与转折性天气下气象要素与风电/光伏功率爬坡的时空关联特征，分析气象信息对风电/光伏功率爬坡预测的影响机理；并筛选有效资料，并对相关资料进行统计分析，为精细化嵌套数值计算以及深度学习模型的训练提供数据支撑。

采用最优化理论，分析场站和区域风电/光伏功率爬坡预测条件下关键气象信息的精细化需求；结合区域和日内模式输出，开发基于流体动力模型复杂地形条件下的降尺度的精细化数值模型，建立极端天气背景下气象预报信息与风电/光伏功率爬坡的高精度映射模型。

利用基于深度学习的关键气象要素预测模型对影响风电/光伏功率爬坡预测的关键气象要素进行预报。基于深度学习的关键气象要素预测模型的构建与预测主要包括区域关键气象要素监测数据预处理、模型训练与测试样本选取、神经网络模型构建、模型预测以及模型预测结果分析与评价等过程。

利用目标区域的历史观测资料，对于某些极端天气过程进行完整模拟及预测，并与实际结果进行对比，改进面向强风、寒潮、强对流等极端天气背景下局地精细化关键气象要素（风场、温度、湿度、辐照度等）动力-智能降尺度技术。

图示

描述已自动生成

**图4 研究内容4技术路线图**

（5）基于区域数值模式和三维变分同化方法，融合卫星、雷达、场站等异构气象观测信息，降低输入信息不确定性的影响，提取辐射量、近地风场等影响风/光日内出力预测的关键气象信息特征。

针对日内时间尺度(4h-24h)风光出力预测的要求，考虑地理特性和风/光差异化预测需求，研究复杂地形和局地气象多变区域兼顾效率与准确率的时空分辨率，开发基于动力预报与数据预测结合的关键气象信息优化预报方法，提升风/光供电能力预测效能。

针对不同时空场景评估同化前后气象要素预报对日内风/光供电能力预测的影响，提升不同尺度天气模式对短时天气快变信息的响应速度，建立以提升风电/光伏日内供电能力预测效能为目标的自适应高频更新数值天气预报模型，精细化反映地形复杂、局地气象多变地区和场景的关键气象要素，提升风电/光伏日内供电能力预测水平，并支撑供电能力不足评估。

文本

描述已自动生成

**图5 研究内容5技术路线图**

1. 技术服务中可能遇到的难点及相应解决方案

华东和内蒙古是我国新能源发展的重点区域，受复杂地理环境和多样化气候等条件影响，使得风电/光伏发电功率和供电能力预测技术的研究更具代表性和挑战性。目前，利用数值天气预报和功率预测模型相结合的方法是目前较为主流的预测手段。由于风/光机组的发电特性与风速、辐射度等气象要素存在非线性关系，因此，亟需结合新能源厂站功率预测、可靠性预测、电网运维计划与气象要素开展供电能力预测机理研究及业务应用。

而考虑到大气的混沌特性、数值模式参数化方案的不完善以及对初始场的不完美刻画，即使是最优的数值模式也有着不可避免的系统性偏差，数值模式产品的直接释用往往会带来较大的误差。与此同时，华东特殊的地理环境和气候特征也会增大数值模式预报的误差。因此，为了获得更准确的气象要素预报，需要融合多源数值模式，针对华东地区对数值模式的产品进行进一步的优化。另一方面，目前主流模式的时空分辨率难以满足电力部门的需求，需要对原始模式产品进行时空降尺度，进而实现对于关键气象要素的精细化预测。此外，全球气候变暖背景下极端事件频发，而极端与转折天气的出现往往会对风电/光伏功率爬坡造成很大的影响，但目前两者之间的关系仍需进一步探索。在此背景下，本项目的解决方案包括：

（1）针对华东地区特殊的地理环境和复杂气候特征，根据不同预测时段定制各关键气象要素的“多重动力降尺度”精细化预测技术，提升关键气象要素的时空分辨率和预报准确率；

（2）针对地球大气系统的混沌特性、特殊地理环境和复杂气候条件，拟采用多模式集合预测技术，构建适用于4-15 天的基于卡尔曼滤波的超级集合模型和基于卡尔曼滤波的多模式模态投影集合预测模型，开展多种模型的多模式集合预测试验，并对多模式集合预测模型进行适用性调试和优化，构建考虑地形特征影响的多模式集合预测模型，提升复杂场景下关键气象要素的预测准确率。

（3）根据不同区域气象预报能力划分预测时段，针对短期预测，采用集成学习和深度学习技术建立功率预测模型，提高短期发电功率预测的准确性；针对中长期预测，结合气象预报时间分辨率建立两类发电功率预测模型，一类根据日变化规律设计分时段建模方案，另一类采用Kmeans等聚类分析技术进行天气类型划分，构建不同天气类型的功率预测模型，通过双重模型融合提高中长期功率预测的准确性。

（4）针对当前复杂场景下气象监测预警信息精细化程度与风电/光伏功率爬坡预测需求存在的不匹配问题，基于动力-智能耦合降尺度技术获得高时空分辨率的极端转折天气数据，为功率爬坡预测提供精准的数据输入。

（5）融合多种异构气象数据，减少输入信息不确定性带来的影响，提出省级区域数值天气预报高频更新方法，实现面向风光功率预测关键信息的高频数值天气预报。