

新疆金风科技股份有限公司
北京金风慧能技术有限公司

文件编号: JF-JS-NEPP-01

金风新能源功率预测系统 技术文件

版本: A/0

编制:

审核:

标准化:

批准:

受控状态: 受控

分发号: 01

2016 年 月 日发布

2016 年 月 日实施

北京金风慧能技术有限公司 发布

修改记录

[illegible]

目 录

1 范围	2
2 概述	3
2.1 风电功率预测	3
2.2 风电功率预测应用价值	3
3 设计标准	3
4 设计原则	4
5 关键技术	5
6 金风功率预测系统总体解决方案	6
6.1 金风功率预测系统总体结构	6
6.2 数值天气预报系统	7
6.3 能量转换系统	8
6.4 数据上报系统	12
6.5 系统隔离方案	13
7 系统整体功能	14
7.1 数据交互	14
7.2 数据预报	15
7.3 数据统计	15
7.4 校验功能	15
7.5 缺测值处理	15
7.6 误差统计	16
7.7 误差分析	16
7.8 人工修正	16
7.9 查询统计	16
8 系统界面	17
8.1 系统界面展示	17
8.2 操作界面	17
8.3 统计查询	17
8.4 输出模式	18
9 特别说明	18

1 范围

本技术文件介绍了新能源功率预测系统采用的相关技术和原理，包括设计标准和原则、关键技术、总体解决方案以及系统功能模块等。

为功率预测其它相关文件的书写提供技术参考，同时适用于所有想了解金风功率预测系统的潜在用户。

2 概述

2.1 风电功率预测

风电功率预测是指以风电场的历史功率、历史风速、地形地貌、数值天气预报、风电机组运行状态等数据建立风电场输出功率的预测模型，以风速、功率或数值天气预报数据作为模型的输入，结合风电场机组的设备状态及运行工况，预测风电场未来的有功功率。时间尺度分为超短期预测和短期预测。

电力调度是为了保证电网安全稳定运行、对外可靠供电、各类电力生产工作有序进行而采用的一种有效的管理手段。传统电网调度计划的制定和实施是以电源的可靠性和负荷的可预测性为基础的。由于风电存在随机性、间歇性等特点，对电网的运行调度带来非常大的困难。随着风电并网规模的不断增加，风电对电力系统的影响也越来越大。为了能在保障电网安全稳定运行的前提下，提升电网接纳风电的能力，有必要建设一套风电“功率预测”系统，实现对风电场发电功率的准确预测和对电场运行情况的及时监控。

2.2 风电功率预测应用价值

对风电场进行准确的功率预测是缓解电网调峰、调频压力、降低电力系统备用容量，提高电网接纳风电能力的有效方法。通过实施风电功率预测系统，还具有以下应用价值：

- 改善电力系统调峰能力，减少限电弃风现象，提高风能利用率；
- 优化风电场运营管理水平，合理安排检修计划；
- 极端天气的预测，保证生产安全运行；
- 为电力交易市场奠定数据基础。

3 设计标准

系统满足以下最新版本的规定、规范和标准要求，但不限于以下规范和标准。

1) GB/T18709-2002 《风电场风能资源测量方法》

2) GB/T18710-2002 《风电场风能资源评估方法》

- 3) Q/GDW392-2009 《风电场接入电网技术规定》
- 4) Q/GDW432-2010 《风电调度运行管理规范》
- 5) Q/GDW588-2011 《风电功率预测系统功能规范》
- 6) 国家发展和改革委员会《风能资源评价技术规定》2004 年
- 7) 中国气象局《地面气象观测规范》中华人民共和国气象行业标准 2007-6-22
- 8) 国能新能[2011]177 号《国家能源局关于印发风电场功率预测预报管理暂行办法的通知》
- 9) 国家发展和改革委员会第 14 号令《电力监控系统安全防护规定》
- 10) GB/T19963-2011 《风电场接入电力系统技术规定》
- 11) NB/T31046-2013 《风电功率预测系统功能规范》

4 设计原则

1) 先进性和前瞻性

系统建设采用符合未来发展趋势而适当超前的、先进的、开放的设计方案，在建设则采用流行的、成熟的、先进的计算机软件技术、开发模式和管理方式。总体设计充分参照国际上的规范、标准。

2) 开放性

作为专业的应用系统，客观上要求具有良好的开放性，符合相关的工业标准，充分保障系统与其他应用系统的无缝集成。

3) 可靠性和稳定性

选用技术成熟、运行稳定的产品，在设备选型、网络设计、软件设计等各个方面充分考虑软件、硬件的可靠性和稳定性，并可在非理想环境下有效工作。

4) 安全性

网络设计符合电力系统二次防护要求；系统设有安全权限管理，不同职责范围内的人员对不同功能模块有不同的使用权限。

5) 规范性

金风功率预测系统遵从各相关行业的标准与规范，满足标准化设计与管理的要求。

5 关键技术

- 高精度地形数据
- 定制预报网格，中尺度水平分辨率提高至 1-3 公里
- 多种初始背景场资料
- 混合观测资料同化技术
- 定制局地参数化方案
- 中尺度与 CFD 湍流模式结合实现单机组预测
- 海量数据挖掘，搭建实测/预测数据特征库
- 时间/空间/单一/多维变量分析
- 学习型、专家型、物理模型规则描述，形成多模型算法库
- 多模型自动预测，自适应选择，精度告警

6 金风功率预测系统总体解决方案

6.1 金风功率预测系统总体结构

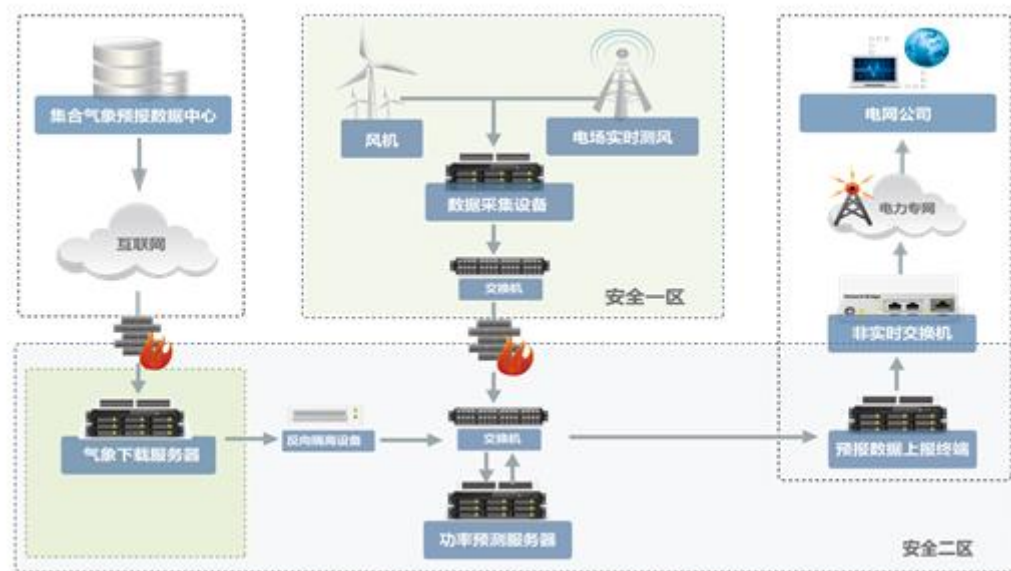


图 1 风功率预测系统结构图

风电场功率预测系统分为四大部分，如图 1 所示：

1) 数值气象预报系统

数值气象预报系统首先完成对气象源数据的降尺度处理和发布，其次，通过互联网完成对数值天气预报数据的获取，为短期功率预测提供气象数据。

2) 实时测风系统

实时测风系统通过实时获取测风塔的风速、风向、温度、湿度和压力以及风机的实时运行数据。为短期和超短期功率预测提供建模和预测数据。

3) 数据处理和功率预测（能量转换系统）

动态接收和处理实时数据并进行短期和超短期功率预测，生成符合电网要求的上报文件，同时提供图形展示、数据查询和分析等功能页面。

4) 数据上报系统

根据电网要求，上传功率预测短期文件、超短期文件、测风塔数据文件、风

机数据文件等至电网调度系统。

6.2 数值天气预报系统

金风数值天气预报中心每天从全球获取超过 10 种气象源，同时集合 GTS、雷达、当地气象站等实测数据，利用 WRF 中尺度预报模式和 CFD 动力降尺度模式，最终每天可提供近千个经纬度坐标未来 5 天近 2GB 的气象预报数据，600 多座风电场近 1GB 的高精度气象预警数据，全国范围内 1KM*1KM 高精度中尺度风资源图谱。

目前，金风已经与国家气象局、中科院大气物理研究所、香港科技大学、丹麦、西班牙等多个专业气象机构建立的战略合作，提供科研实验及业务化气象预报数据。

单风场保证 3 套以上的气象预报数据源，实现预测数据与实测数据的智能对比，按优切换。

对复杂地形及复杂天气条件下的风场预测，启用气象集合预报系统，气象预报源超过 10 种。

采用 CFD 降尺度降水平分辨率提高至 90m，准确模拟预测单风机风速，提高全场预测精度。



图 2 金风数值天气预报系统

6.2.1 WRF 模型介绍

WRF(Weather Research Forecast)模式系统是由美国多个研究部门及大学联合开发的新一代中尺度预报模式和同化系统，模式具有全面的物理参数化方案和良好的计算架构。WRF 模式控制方程组都写成通量形式，是一个完全可压非静力模式。网格采用有利于在高分辨率模拟中提高准确性的 Arakawa C 格点。WRF 模式的动力框架有三个不同的方案，前两种为人类奉献白云蓝天，给未来留下更多资源。

方案解动力方程组均采用时间分裂显示方案，具体表现为模式中垂直高频波的求解采用隐式方案，而其它的波动则采用显示方案。这两种方案的最大的不同时是它们所采用的垂直坐标，它们分别是几何高度坐标和质量（静力气压）坐标。第三种模式框架方案求解动力方程组是采用半隐式半拉格朗日方案，此种方案的优点是能采用的时间步长比前两种模式框架方案更大。

WRF 模式系统是改进从云尺度到天气尺度等不同尺度重要天气特征预报精度的工具。WRF 模式应用了多级并行分解算法、继承式软件设计、中间软件包（连接信息交换、输入、输出以及其他服务程序的外部软件包）、选择式软件管理工具结构，并融合了更为完善的物理过程（尤其是中尺度降水和对流过程）、较为先进的资料同化和数值计算技术、多重移动套网格性能。因此，WRF 模式可以提高天气预报的分辨率和准确性。

WRF 的优点包括：多维动态内核，更为合理的模式动力框架，先进的三维变分资料同化系统，可达几公里的水平分辨率及集合参数化物理过程方案等，WRF 模式对初始场气象数据进行了空间和时间的尺度转换，将空间转换到电场区域，时间转换为时间间隔为 15 分钟的气象预报数据。

6.2.2 CFD 动力降尺度模式

CFD (Computational Fluid Dynamics)，即计算流体动力学，简称 CFD。CFD 是近代流体力学，数值数学和计算机科学结合的产物，是一门具有强大生命力的边缘科学。它以电子计算机为工具，应用各种离散化的数学方法，对流体力学的各类问题进行数值实验。

2012 年爱尔兰的 College Cork 大学的 Aoife M. Foley 等，论证了目前风功率预测最好的办法就是使用 CFD 和 WRF 相结合的方式降尺度预测。CFD 模型把中尺度气象模型(WRF)输出的气象信息转化为小尺度甚至微尺度、高分辨率的气象信息。

金风功率预测系统通过将中尺度气象模型 WRF 和流体力学模型 CFD 的结合，可在复杂地形条件下取得较好的预测效果。

6.3 能量转换系统

能量转换系统使用数值天气预报系统发布的天气变量，如风机轮毂高度处的风速、风向、温度、湿度、气压等，通过物理算法或者统计算法将天气变量转换为发电功率。

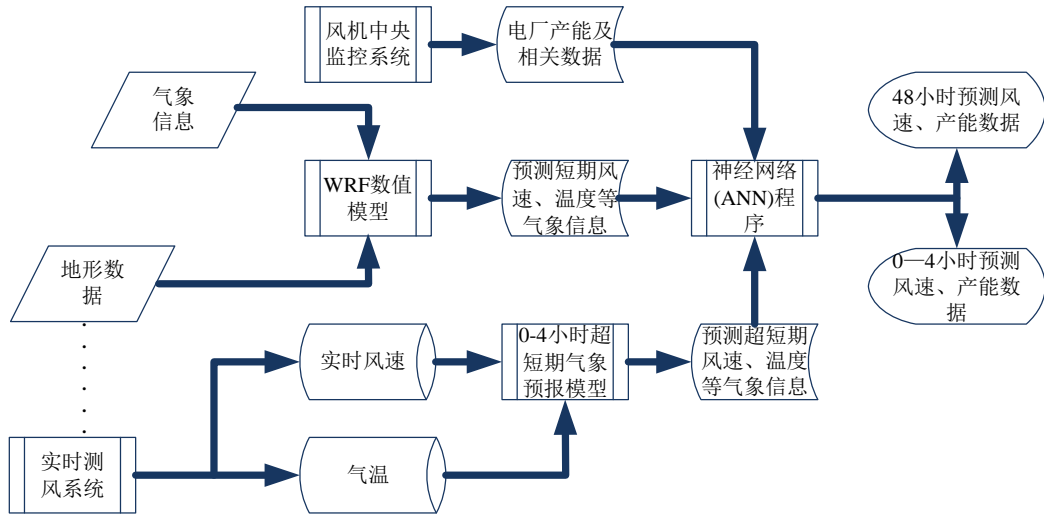


图 3 风功率预测逻辑结构图

金风功率预测系统的能量转换平台包含 4 个步骤，分别为获取气象和实测数据资料，对气象数据进行订正，建立功率预测模型，进行功率预测。

6.3.1 气象和实测数据获取

风电功率预测系统运行需要的数据包括数值天气预报数据、实时测风塔数据、风电场实时输出功率数据、风电机组运行状态等。

能量转换系统从金风天气预报中心发布的气象文件中获取风电场和风机经纬度点处的气象预报数据；

表格 1 气象发布要素

名称	风速	风向	气温	地表温度	露点温度	相对湿度	气压	海平面气压	空气密度	比湿	辐照度	云量	...
单位	m/s	度	℃	℃	℃	%	hPa	hPa	Kg/m ³	kg/kg	MJ/m ³	成	...

从风电场获取风机的实时运行数据和升压站出口数据，从测风塔获取实时的观测气象数据，并将时间分辨率处理为 15 分钟进行存储。如下表所示：

表格 2 能量转换系统所需的 15 分钟实测数据量

风机	测风塔	升压站
风速(m/s)	风速(m/s)	主变高压侧合计有功(kw)
风向(°)	风向(°)	主变高压侧合计无功(kw)
温度(℃)	温度(℃)	

湿 度(%)	湿 度(%)	
气 压(hPa)	气 压(hPa)	
有功功率(kw)		
理论功率(kw)		
发电量(kwh)		
限功率状态		
故障 状态		
风机运行状态		

注：数据时间分辨率为 15 分钟

6.3.2 气象数据订正

利用获取到的实际和预测气象信息，使用统计方法对数值天气预报信息进行优化订正。

常用的方法有：一元线性回归、多元线性回归、支持向量机、神经网络等，通过对不同同时次（00,06,12,18）不同经纬度点上的气象数据以及各统计方法进行排列组合分析，为各电场发布一套或多套优化后的气象预测信息，为建立功率预测模型做准备。

6.3.3 建立气象数据、实测数据特征库

基于年、月、日、时等不同时间维度，分析气象数据和实测数据的统计特征，在空间维度上，从风机、电场、区域、集团四个维度，基于不同需求建立关于气象数据和实测数据的统计指标。统计结果用于建立不同时间尺度的建模和管理决策。

在不同时间\空间维度下单一变量的基本描述统计量、波动性等，多变量之间的内在联系如相关性等。常用方法：频率分布统计、四分位数、多元回归分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析等。

6.3.4 能量转换模型建立

风功率预测方法主要有物理方法、基于统计模型的方法、基于学习模型的方法。

物理方法使用气象、地质和风机的设计参数等信息，目标是找到局部风速的最优估计，然后使用 MOS 系统来降低残差。该方法对数值气象预报的精度要求较高，并且风机设计参数和地质信息必须全面、准确，不适用于限电情况下的预测。

基于统计模型的方法通过捕捉数据中与时间和空间相关的信息来进行预测，多用于超短期预测，常用方法有：回归分析法、指数平滑法、时间序列法等。

基于学习模型的方法，也叫机器学习，其实质是用人工智能的方法，通过对大量数据的学习和训练提取输入和输出间的关系，如神经网络、支持向量机、决策树、随机森林以及自适应提升算法等。

深入研究各种模型的特点和适用范围，建立丰富的模型算法库，实现多模型组合，自适应选择优秀模型，最大化各算法的优势。

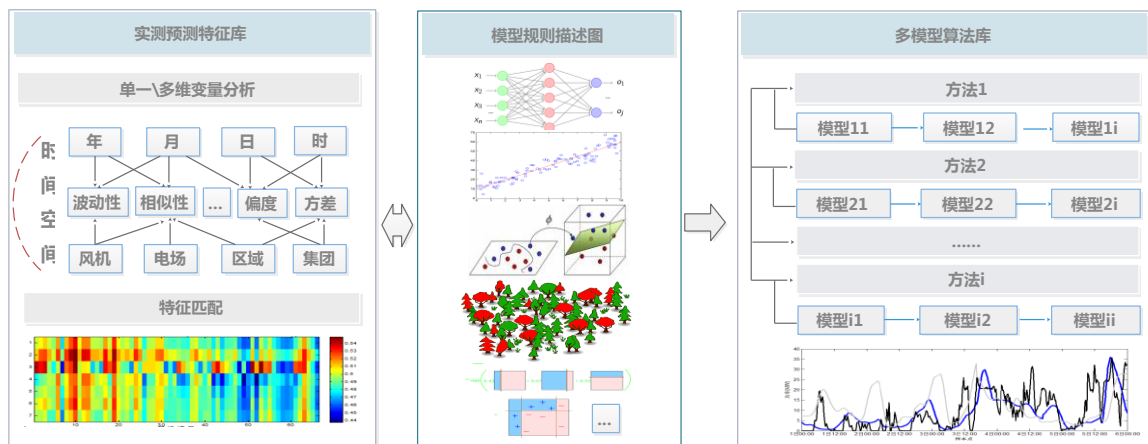


图 3 能量转换模型建立

6.3.5 功率预测

功率预测机制会随着各电网公司的考核标准不同而有所变化。

金风功率预测系统的预测机制会根据电网公司的考核标准和电场的地理环境以及数据的运行规律特点来做定制化开发。常用的预测方案有：

- 基于限电规律的预测方法；
- 样板机还原理论功率的预测方法；
- 根据预测偏差动态调整的预测方法；

- 综合统计预测方法。

6.4 数据上报系统

风功率预测系统可以通过 TCP/IP 以太网、串口 RS232、RS485 等多种接口方式实现与电网调度系统之间的数据交互，并支持多种电网数据通信协议，如：101、104、CDT 等协议。

表格 1 功率预测可上报的文件

上报文件类型	上报时间分辨率	数据时间分辨率
超短期文件	15 分钟	15 分钟
短期	每天一次	15 分钟
风机文件	5 分钟	5 分钟
测风塔文件	5 分钟	5 分钟（每个测量层高）
理论功率文件	5 分钟	5 分钟

金风功率预测系统可按照电网公司要求的格式生成超短期文件、短期文件、风机文件、测风塔文件和理论功率文件等，文件内容和类型可根据需要进行调整。最终通过数据上报系统将需要上报的文件经由电场远动设备，连接电网调度安全 II 区，实现数据上报。

6.4.1 超短期文件

超短期预测每 15 分钟滚动预测和上报未来 4 小时的功率和气象信息，时间分辨率为 15 分钟。上报文件内容按照各区域电网公司要求生成。

6.4.2 短期文件

短期预测每日分 4 个时次预测未来 72 小时的功率和气象信息，时间分辨率为 15 分钟。每日在电网要求的截止时间前完成上报，上报时间以当地电网要求为准，通常为上午 8:00 或者 10:00 点之前。

上报文件内容按照各区域电网公司要求生成。

6.4.3 测风塔文件

测风塔文件为实测气象数据，每 5 分钟生成一次上报文件。

文件内容包括相应层高上的风速、风向、温度、湿度、气压数据。层高一般为 10m，30m，风机轮毂高度层和测风塔最高层与测风塔上的传感器高度相对应。

按照各区域电网公司对文件格式和数据量的要求生成并上报。

6.4.4 风机文件

风机文件存放电场内所有风机的运行数据，每 5 分钟生成一次上报文件。

文件内容包括当前 5 分钟时间内的有功，无功，转速，日发电量，风速，风向，状态等信息，可按照各区域电网公司的要求扩展。

按照各区域电网公司对文件格式和数据量的要求生成并上报。

6.4.5 理论功率文件

金风功率预测系统支持以文件的方式上传风电场的理论功率，每 5 分钟生成并上报一次。

按照各区域电网公司对文件格式和数据计算方法的要求生成并上报。

6.5 系统隔离方案

金风功率预测系统的设计和部署符合国家发展和改革委员会第 14 号令《电力监控系统安全防护规定》文件的要求。风电功率预测系统运行于安全区 II，与发电计划子系统运行于同一安全区。与调度机构的风电功率预测系统运行于同一安全区。

系统通过反向隔离设备，隔离生产网络和电场办公网，代理服务器部署在系统安全区 II 外，它能够通过互联网下载气象预测结果文件，使用 E 语言加密数据文件，经过反向隔离设备，发送至内网功率预测服务器，功率预测服务器对 E 语言解码，从而实现数据的安全隔离。

7 系统整体功能

7.1 数据交互

风功率预测系统能够兼容和接入多种类型的数据，实现和多个系统之间的数据交互，如：风机数据、变电站监控数据、实时测风数据和电网调度等。

1) 风机数据接入

风功率预测系统可以通过 TCP/IP 以太网、串口 RS232、RS485 等多种接口方式实现对风电机组数据的采集，支持 OPC、Modbus 等类型风电机组的协议。

风功率预测系统采集的风机监控系统，主要包括：风速、功率、最大风速、风机状态、温度等风电机组运行数据。

风机数据的接入需要买方协调风机厂家进行数据协议的开放。

2) 变电站远动数据接入

风功率预测系统可以通过 TCP/IP 以太网、串口 RS232、RS485 等多种接口方式实现对多种类型变电站远动数据的采集，支持常用 CDT、Modbus、104、101 等升压站监控系统通信协议。

风功率预测系统采集的变电站数据主要为关口表上网电量和功率，同时支持采集升压站遥测信号，遥脉信号。

变电站自动化系统需要开放变电站采集数据接口，开放协议优先采取 104 协议，网口采集数据（也可以 CDT 协议串口采集数据，但考虑到 CDT 采集没有 104 稳定，故优先考虑 104 网口数据采集）。变电站采集点包括并网点的 P、Q、COS、U、I 及出口电度量、出口功率值。

变电站数据的接入需要买方协调远动设备厂家进行数据协议的开放。

3) 实时测风塔系统数据接入

风功率预测系统可以通过串口 RS232、RS485 接口方式实现对实时测风塔数据的采集，支持 Modbus 等多种协议类型。

风功率预测系统采集的实时测风塔数据主要包括不同高度下的风速、风向、气温、气压等数据。

4) 电网数据上传

风功率预测系统可以通过 TCP/IP 以太网、串口 RS232、RS485 等多种接口方式实现与电网调度系统之间的数据交互，并支持多种电网数据通信协议，如：101、104、CDT 等协议，按照 DL/T719-2000 的要求以 E 文本格式传送数据。

风功率预测系统上送的数据主要包括，0-4 小时超短期功率预测数据和 0-72 小时短期功率预测数据。

上报测风塔数据，以当地电网要求的格式和内容为准。

上传电网数据需要买卖双方共同配合协调，并由买方保证电网物理通道通畅。

7.2 数据预报

(1) 短期预报服务：能够预测未来 72 小时的风电输出功率，时间分辨率为 15 分钟。具备预测功率置信区间预测功能；

(2) 超短期预报服务：能够预测未来 0-4 小时的风电输出功率，时间分辨率为 15 分钟，每 15 分钟预测一次，滚动执行。

7.3 数据统计

数据完整性统计、频率分布统计、变化率统计等。历史测风数据、数值天气预报数据统计将包括：完整性统计、风速频率分布统计、风向频率分布统计等。

7.4 校验功能

能对历史功率数据、测风数据和数值天气预报数据进行相关性校验，根据分析结果，给出数据的不确定性可能引入的误差。

7.5 缺测值处理

如果缺测值个数小于等于 2，采用相邻值插补；如果缺测值个数大于 2，根据数据种类采用不同的补值策略：测风缺失，根据测风塔不同层次之间的相关性进行插补，所有层次测风塔数据消失，采用周边风机轮毂中心测风设备采集的数据的相关性进行插补，实测功率缺失，采用实测气象信息的理论功率进行插补。

7.6 误差统计

任意时段风电场真实功率和预测功率对比曲线、对比表。任意时段的风电场测风等气象数据和数值预报气象数据比较。

提供指定时段的功率预测误差趋势（均方根误差、绝对误差、相关系数）曲线图、表；

7.7 误差分析

提供全场风机指定时段的故障时间、检修时间、正常运行时间、总发电量等统计结果查询。能根据误差统计和相关性校验的结果，判定误差产生的原因。

7.8 人工修正

1) 系统能够计算限功率运行情况下的相关参数，并可以根据实况对预测环节做出快速有效地调整。

2) 系统考虑出力受限、风电机组故障和机组检修等非正常停机对风电场发电能力的影响，支持限电和风电机组故障等特殊情况下的功率预测。

3) 对于风电场功率预测系统预测得到的曲线，可人工对预测结果进行修正，人工修正设置严格的权限管理。

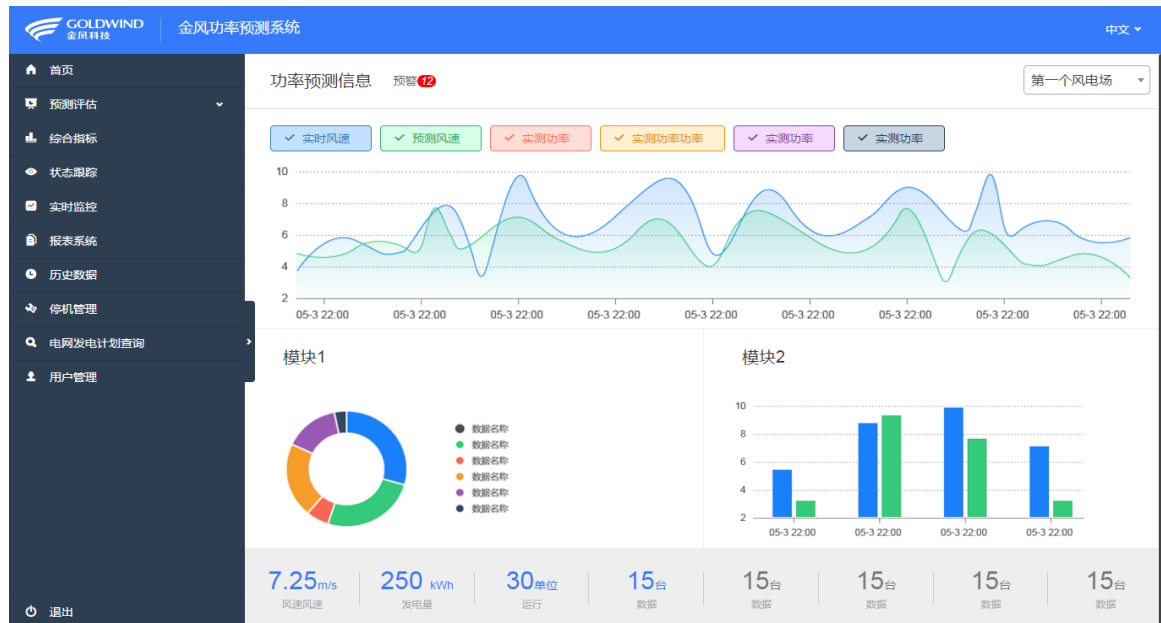
4) 在需要弃风时，系统操作人员可加入此因素的具体参数，并可预测出弃风条件下的发电量及损失电量。

7.9 查询统计

功率预测、数值气象预报信息列表显示。历史功率预测信息、历史气象预报的查询、显示，可以对特定（指定年、指定某年某月）时段或者自由时段进行查询，查询结果可以列表显示、图形显示并可导出为 Excel 文件。

8 系统界面

8.1 系统界面展示



风功率预测界面 Demo

8.2 操作界面

支持预测曲线的人工修改；

具备开机数量设置、调度限电设置及查询页面；

支持异常数据定义的设置，支持异常数据以特殊标识显示；

具备系统用户添加和管理功能，支持用户级别和权限设置，至少包括系统管理员、运行操作人员、浏览用户等不同级别的用户权限。

8.3 统计查询

预报未来 72 小时，时间间隔为 15 分钟风电场总发电功率预测数据曲线；

预报未来 4 小时时间，间隔为 15 分钟风电场总发电功率预测数据曲线；

历史功率预测信息、历史气象预报的查询、显示，可以对特定（指定年、指定某年某

月)时段或者自由时段进行查询,查询结果可以列表显示、图形显示并可导出为 Excel 文件。

可进行预测曲线于实际曲线的对比,数据对比,并引入误差。

支持风电场基本信息的查询,风电场基本信息包括装机容量、风电机组类型、风电机组台数、接入变电站名称等。

支持多预测结果的误差统计,提供表格、曲线、直方图等多种展示手段。

8.4 输出模式

具备系统运行状态监视页面,实时显示系统运行状态。所有的表格、曲线可同时支持电子表格输出。

9 特别说明

本文件的最终解释权归金风慧能新能源功率预测产品所有。