

# 团 体 标 准

T/CES 138—2022

---

## 风电功率概率预测技术要求

Technical requirements for wind power probabilistic forecasting

2022-09-26 发布

2022-09-28 实施

中国电工技术学会 发布



## 目 次

前言.....	II
引言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基础数据要求.....	2
4.1 风电场基本信息.....	2
4.2 风电场运行数据.....	3
4.3 数值天气预报数据.....	3
4.4 气象测量数据.....	4
4.5 数据校验.....	4
5 风电功率概率预测模型.....	5
5.1 预测模型通用要求.....	5
5.2 超短期风电功率概率预测.....	5
5.3 短期风电功率概率预测.....	5
5.4 中期风电功率概率预测.....	5
6 数据上报要求.....	5
6.1 风电场运行数据上报.....	5
6.2 实时气象测量数据上报.....	6
6.3 气象预报数据上报.....	6
6.4 超短期风电功率概率预测数据上报.....	6
6.5 短期风电功率概率预测数据上报.....	6
6.6 中期风电功率概率预测数据上报.....	6
7 预测评价.....	6
7.1 评价指标.....	6
7.2 预测准确性要求.....	6
附录 A（规范性附录） 评价指标.....	8
A.1 均方根误差.....	8
A.2 平均绝对误差.....	8
A.3 相关性系数.....	8
A.4 准确率.....	8
A.5 合格率.....	9
A.6 区间覆盖率.....	9
A.7 区间平均带宽.....	9

## 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专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会智能电网工作组归口。

本文件起草单位：山东大学、国网山东省电力公司、中国电力科学研究院有限公司、中国农业大学、华北电力大学、许继集团有限公司、国家电力投资集团有限公司山东分公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司山东分公司、北京能源集团有限责任公司、南京南瑞继保电气有限公司、山东鲁软数字科技有限公司。

本文件主要起草人：杨明、冯双磊、王勇、于一潇、韩学山、李梦林、丁肇豪、李鹏、杨德昌、张玉敏、游大宁、王铮、王明强、王孟夏、王勃。

本文件为首次发布。

## 引 言

风力发电具有强随机性与波动性，在“双碳目标”驱动下，大规模风电并网给电力系统安全经济运行带来了严峻的挑战，解决风电并网消纳及保供电问题，对风电功率预测提出了更为苛刻的要求。传统的确定性预测仅提供功率单值预测结果，难以满足调度运行人员的多元化需求。风电功率概率预测可提供一定置信度下的功率预测区间，有效衡量功率预测误差的分布范围，提供调度运行人员更多有价值的参考信息，有力支撑电力系统功率平衡及运行优化，促进风电产业高质量发展。然而现有标准主要面向风电功率确定性预测，需要考虑风电功率概率预测的特点开展本标准的制定工作。

本文件侧重于风电功率概率预测的技术要求，明确了风电场站、各级调度机构、预测系统开发服务商在开展风电功率概率预测工作或提供服务时所需满足的基础数据、预测模型、数据上报、预测评价方面的技术要求。



# 风电功率概率预测技术要求

## 1 范围

本文件规定了风电功率概率预测相关的基础数据、预测模型、数据上报、预测评价方面技术要求。本文件适用于风电场站、各级调度机构、预测系统开发服务商开展风电功率概率预测工作或服务。

## 2 规范性引用文件

以下文件对本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 18709 风电场风能资源测量方法
- GB/T 18710 风电场风能资源评估方法
- GB/T 19963.1 风电场接入电力系统技术规定 第1部分：陆上风电
- GB/T 40604 新能源场站调度运行信息交换技术要求
- GB/T 40607 调度侧风电或光伏功率预测系统技术要求
- NB/T 31055 风电场理论发电量与弃风电量评估导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 风电场 **wind farm**

由一批风力发电机组或风力发电机组群（包括机组单元变压器）、汇集线路、主升压变压器及其他设备组成的发电站。

### 3.2

#### 数值天气预报 **numerical weather prediction**

根据大气实际情况，在一定的初值和边值条件下，通过大型计算机进行数值计算，求解描写天气演变过程的流体力学和热力学方程组，预测未来一定时段的大气运动状态和天气现象，通过数值的形式给出不同气象要素的预报值。

### 3.3

#### 风电场有功功率 **active power of wind farm**

风电场通过其并网点输出到电网的有功功率。

### 3.4

#### 置信度 **confidence coefficient**

总体参数值落在样本统计值某一区间内的概率。

### 3.5

#### 风电功率预测 **wind power forecasting**

以风速、功率或数值天气预报数据等信息作为模型的输入，结合风电场机组的设备状态及运行工况，预测风电场未来一段时间内的有功功率。

### 3.6

#### 风电功率概率预测 **wind power probabilistic forecasting**

预测风电场未来时刻的有功功率在一定置信度下的预测区间。

### 3.7

#### 超短期风电功率概率预测 **ultra-short term wind power probabilistic forecasting**

预测风电场未来 15min~4h 的有功功率在一定置信度下的预测区间。

### 3.8

#### 短期风电功率概率预测 **short term wind power probabilistic forecasting**

预测风电场次日零时起至未来 72h 的有功功率在一定置信度下的预测区间。

### 3.9

#### 中期风电功率概率预测 **medium term wind power probabilistic forecasting**

预测风电场次日零时起至未来 240h 的有功功率在一定置信度下的预测区间。

## 4 基础数据要求

### 4.1 风电场基本信息

#### 4.1.1 风电场概况

风电场概况应至少包括：

- a) 风电场占地面积；
- b) 风电场经纬度范围；
- c) 风电场平均海拔高度；
- d) 风电场发电机组台数；
- e) 风电场升压站电压等级和并网线路名称；
- f) 风电场装机容量；
- g) 风电场扩容时间及对应的扩容容量；
- h) 风电场气象测量装置的台数。

#### 4.1.2 风电场设备参数信息

风电功率概率预测关注的风电场设备包括风力发电机组和气象测量装置，参数信息应至少包括：

- a) 风力发电机组的生产厂商、发电机类型和型号；
- b) 各型号风力发电机组的叶轮直径、额定功率、切入风速、切出风速、额定风速、生存风速、额定转速、轮毂高度；
- c) 各型号风力发电机组的功率曲线和推力系数曲线，功率曲线和推力系数曲线的数据间隔不大于 1m/s；
- d) 每台风力发电机组的首次并网时间、经纬度位置；
- e) 气象测量装置的经纬度位置、装置类型、测量条件及测量精度。

#### 4.1.3 风电场地理信息

风电场地理信息应至少包括：

- a) 地形数据，对于陆地风电场，应包括以风电场为中心区域外 10km 范围内地势变化的描述文件，格式宜为 CAD、shp 及 tiff，比例尺不宜小于 1:5 000，对于近海风电场，应包括海岸线陆上地形数据；

- b) 粗糙度数据, 对于陆地风电场, 应包括以风电场为中心区域外 10km 范围内 3km×3km 分辨率的网格地表粗糙度数据, 应通过实地勘测或卫星地图获取, 对于海上风电场, 应包括海平面粗糙度数据。

## 4.2 风电场运行数据

### 4.2.1 历史运行数据

历史运行数据应满足以下要求:

- 包含功率历史记录, 应为预测目标区域内的风电场有功功率的历史记录, 对于电力调度机构, 还应包括整个调度管辖区域内风电场有功功率的历史记录;
- 包含风电场运行状态历史记录, 应至少包括全场风电机组的故障/非故障停运记录、开机容量、限电记录, 所有状态记录数据应同时包含对应的起止时间;
- 包含风电场内每台风电机组的历史运行数据, 应至少包括风速、风向、环境温度、机舱位置(偏航角度)、有功功率、无功功率;
- 投运时间超过 1 年的风电场应包括不少于 1 年且连续的历史功率数据及其对应的开机容量、限电记录数据, 数据时间间隔应不大于 5min, 取平均值;
- 投运时间不足 1 年的风电场应包括投运后的所有历史功率数据及其对应的开机容量、限电记录数据, 数据时间间隔不大于 5min, 取平均值;
- 当历史运行数据对应的部分时段存在风电场弃风时, 应采用标准 NB/T 31055 中第 5 章规定的计算方法得到的风电理论可发功率进行替换, 并进行标记。

### 4.2.2 实时运行数据

实时运行数据应包括功率实时数据和各风电机组的实时运行数据, 具体应满足以下要求:

- 功率实时数据应为预测目标区域内风电场实时有功功率的总和, 对于电力调度机构, 应包括整个调度管辖区域内风电场实时有功功率的总和;
- 风电场内各风电机组的实时运行数据, 应至少包括机头风速、风向、环境温度、机舱位置(偏航角度)、有功功率、无功功率、风机运行状态信息;
- 风电场的实时功率数据的采集周期应不大于 1min, 应取自风电场升压站计算机监控系统, 输出数据应为 1min 内的算术平均值;
- 风电机组实时运行数据的采集应符合标准 GB/T 40604 中 5.2.2 的要求。

### 4.2.3 开机容量计划

当前预测时段对应的开机容量计划数据应满足如下要求:

- 风电场开机容量计划数据的时间间隔应不大于 15min;
- 当风电场的风电机组生产厂家、机组类型和型号不同时, 风电场开机容量计划数据应按照风电机组的生产厂家、机组类型和型号进行详细划分。

## 4.3 数值天气预报数据

4.3.1 数值天气预报数据应包括日常预报数据和历史预报数据, 日常预报数据指风电功率概率预测投运之后每日定时提供的数值天气预报结果, 历史预报数据是风电功率概率预测投运之前的日常预报数据的历史记录。

4.3.2 数值天气预报内容应至少包含 10m、30m、50m、70m、100m 高度的风速、风向和 10m 高度的气温、相对湿度、气压。

4.3.3 数值天气预报数据时间分辨率及预测时长应满足标准 GB/T 40607 中 4.2.3 的要求。

4.3.4 数值天气预报的空间范围应完整覆盖预测对象，预测网格水平分辨率应不低于  $3\text{km}\times 3\text{km}$ ，预测结果的垂直高度应取距地面高度。

4.3.5 应每日至少提供两次数值天气预报数据。

4.3.6 数值天气预报应提供雨/雪特殊天气类型的预报结果。

4.3.7 风电场投运时间超过 1 年时，历史数值天气预报数据长度应不少于 1 年，投运时间不足 1 年的风电场应包括自投运之日起所有的历史数值天气预报数据。

#### 4.4 气象测量数据

4.4.1 风电场应配套建立气象测量装置，气象测量装置应符合标准 GB/T 18709 的规定。

4.4.2 气象测量数据应包括由测风塔或雷达测风仪观测得到的实时数据及历史数据，雷达测风仪数据的要求宜参照测风塔数据的要求。

4.4.3 气象测量数据的时间间隔应不大于 5min。

4.4.4 测风塔气象测量数据应至少包括 10m、30m、50m、70m 高度和风电机组轮毂高度的每段时间间隔内的平均风速、平均风向、极大风速和风速标准差，以及 10m 高度的每段时间间隔内的平均气温、平均气压和平均湿度实时数据及历史数据。

4.4.5 使用风电机组的测风和测温设备作为气象测量数据参考时，应提供风机轮毂高处的每段时间间隔内的平均风速、平均风向，以及近地面平均气温的实时数据及历史数据。

4.4.6 投运时间不足 1 年的测风塔，应包括投运后的测风塔所有历史数据，投运时间超过 1 年的，应包括最近两年内且连续的数据，数据长度应不少于 1 年。

4.4.7 实时数据应至少每 1min 采集一次，输出数据应为 1min 内的算术平均值，5min、10min 和 15min 数据周期应根据 1min 采集数据求算术平均值。

#### 4.5 数据校验

##### 4.5.1 数据完整性检验

数据完整性检验应满足以下要求：

- a) 数据的数量应等于要求记录的数据数量；
- b) 数据的时间顺序应符合要求的开始、结束时间，中间应连续。

##### 4.5.2 数据合理性检验

数据合理性检验应满足以下要求：

- a) 应对功率、数值天气预报、气象测量数据进行越限检验，气象测量数据越限检验应符合标准 GB/T 18710 中 5.2.2 的规定；
- b) 应对功率的变化率进行检验；
- c) 应对功率的均值及标准差进行检验；
- d) 应对测风塔不同层高数据进行相关性检验；
- e) 应根据测风数据与功率数据的关系对数据进行相关性检验。

##### 4.5.3 缺测和异常数据处理

缺测和异常数据的处理应满足以下要求：

- a) 宜以前一预测点的功率数据补全缺测的功率数据；
- b) 应以装机容量替代大于装机容量的功率数据；
- c) 应以零替代小于零的功率数据；
- d) 宜以前一预测点功率替代异常的功率数据；

- e) 测风塔缺测及不合理数据应以其余层高数据根据相关性原理进行修正,不具备修正条件的应以前一预测点数据替代;
- f) 数值天气预报缺测及不合理数据宜以前一预测点数据替代;
- g) 所有经过修正的数据应以特殊标示记录;
- h) 所有缺测和异常数据应均可由人工补录或修正。

## 5 风电功率概率预测模型

### 5.1 预测模型通用要求

- 5.1.1 预测模型应充分考虑风电场所处地理位置的地形条件、气候特征、风电场风机分布以及风电场历史数据积累情况的特点,采用合理的物理、统计以及组合预测模型。
- 5.1.2 预测模型应考虑开机容量计划、机组检修计划以及出力受限、故障停机非正常运行带来的影响。
- 5.1.3 预测模型应考虑低温寒潮、台风/大风极端与转折性天气带来的影响。
- 5.1.4 预测模型应具有良好的可扩展性,应考虑风电场装机扩容的情况。
- 5.1.5 预测对象至少为整个风电场有功功率,时间分辨率不低于 15min。
- 5.1.6 预测模型应至少提供预测时间尺度内各时刻风电功率期望值以及 95%、90%、85%、80%置信度水平下区间上下限功率,并可根据手动设置输出其他置信度水平下区间上下限功率。
- 5.1.7 预测模型应支持自动运行,宜支持手动运行以应对自动运行故障情况。
- 5.1.8 预测软件应满足标准 GB/T 40607 的要求。

### 5.2 超短期风电功率概率预测

- 5.2.1 超短期风电功率概率预测应输出未来 15min 至 4h 风电功率期望值及置信度水平下区间上下限功率,时间分辨率应不低于 15min。
- 5.2.2 超短期风电功率概率预测宜考虑风电功率的时序波动规律。
- 5.2.3 超短期风电功率概率预测应每 15min 滚动预测一次,预测算法单次预测耗时不应超过 5min。

### 5.3 短期风电功率概率预测

- 5.3.1 短期风电功率概率预测应输出次日零时起至未来 72h 风电功率期望值及置信度水平下区间上下限功率,时间分辨率应不低于 15min。
- 5.3.2 短期风电功率概率预测应每日至少预测两次,预测算法单次预测耗时不应超过 5min。

### 5.4 中期风电功率概率预测

- 5.4.1 中期风电功率概率预测应输出次日零时起至未来 240h 风电功率期望值及置信度水平下区间上下限功率,时间分辨率应不低于 15min。
- 5.4.2 中期风电功率概率预测应每日至少预测两次,预测算法单次预测耗时不应超过 5min。

## 6 数据上报要求

### 6.1 风电场运行数据上报

- 6.1.1 风电场应向电力调度机构实时上传风电机组运行状态数据、实测功率、计划检修、机组停机,时间分辨率不低于 15min。
- 6.1.2 风电场应向电力调度机构报送开机容量、实时上传风电场测风塔的测风数据,时间分辨率不低于 15min。

## 6.2 实时气象测量数据上报

6.2.1 风电场应每 5min 自动向电力调度机构滚动上报风电场实时气象测量数据。

6.2.2 实时气象测量数据应至少包括距地面 10m、30m、50m、70m 高度和风机轮毂高度处的风速、风向，以及 10m 高度的气温、气压、相对湿度在最近 5min 内测量数据的平均值。

## 6.3 气象预报数据上报

6.3.1 风电场应每天按照电力调度机构规定的时间上报其开展预测所依据的次日零时至未来 240h 每 15min 共 960 个时间段的气象预报数据。

6.3.2 气象预报上报数据应至少包含距地面 10m、30m、50m、70m、100m 高度的风速、风向和 10m 高度的气温、相对湿度、气压。

## 6.4 超短期风电功率概率预测数据上报

6.4.1 风电场应每 15min 自动向电力调度机构滚动上报未来 15min~4h 的超短期风电功率概率预测结果。

6.4.2 超短期风电功率概率预测应报送风电功率期望以及 95%、90%、85%、80%置信度水平下区间上下限功率，以每 15min 一组数据的形式上报。

## 6.5 短期风电功率概率预测数据上报

6.5.1 风电场应每天按照电力调度机构规定的时间自动上报次日零时至未来 72h 的短期风电功率概率预测结果。

6.5.2 短期风电功率概率预测数据应报送风电功率期望以及 95%、90%、85%、80%置信度水平下区间上下限功率，以每 15min 一组数据的形式上报。

## 6.6 中期风电功率概率预测数据上报

6.6.1 风电场应每天按照电力调度机构规定的时间自动上报次日零时至未来 240h 的中期风电功率概率预测结果。

6.6.2 中期风电功率概率预测数据应报送风电功率期望以及 95%、90%、85%、80%置信度水平下区间上下限功率，以每 15min 一组数据的形式上报。

## 7 预测评价

### 7.1 评价指标

7.1.1 应采用附录 A 的方法利用均方根误差、平均绝对误差、相关性系数、准确率、合格率对风电功率概率预测的期望值进行评价。

7.1.2 应采用附录 A 的方法利用区间覆盖率、区间平均带宽对风电功率概率预测的可靠性和灵敏性进行评价。

7.1.3 风电功率概率预测结果评价时应先用区间覆盖率评价可靠性再用区间平均带宽评价灵敏性。

7.1.4 参与统计的数据范围应能任意选定。

7.1.5 各指标的统计计算时间应小于 1min。

### 7.2 预测准确性要求

7.2.1 参与预测准确性指标统计的时段包含出力受控时段时，应按照标准 GB/T 19963.1 中 6.3.5 的要求进行统计。

7.2.2 风电场、省级全网风电功率概率预测结果的准确性应满足的要求分别见表 1、表 2。

表 1 风电场的功率概率预测准确性要求

预测时间尺度	期望功率月 平均准确率	期望功率月 平均合格率	95%置信区间 月平均区间覆盖率	95%置信区间 月平均区间带宽	90%置信区间 月平均区间覆盖率	90%置信区间 月平均区间带宽
超短期风电功率 概率预测	第 4h $\geq$ 85%	第 4h $\geq$ 85%	第 4h $\geq$ 97%	第 4h $\leq$ 30%	第 4h $\geq$ 97%	第 4h $\leq$ 25%
短期风电功率 概率预测	日前 $\geq$ 80%	日前 $\geq$ 80%	日前 $\geq$ 97%	日前 $\leq$ 35%	日前 $\geq$ 97%	日前 $\leq$ 30%
中期风电功率 概率预测	第 10 天 $\geq$ 70%	—	第 10 天 $\geq$ 90%	第 10 天 $\leq$ 45%	—	—

表 2 省级电网全网风电的功率概率预测准确性要求

预测时间尺度	期望功率月 平均准确率	期望功率月 平均合格率	95%置信区间 月平均区间 覆盖率	95%置信区间 月平均区间 带宽	90%置信区间 月平均区间 覆盖率	90%置信区间 月平均区间 带宽
超短期风电功率 概率预测	第 4h $\geq$ 90%	第 4h $\geq$ 90%	第 4h $\geq$ 97%	第 4h $\leq$ 25%	第 4h $\geq$ 97%	第 4h $\leq$ 20%
短期风电功率 概率预测	日前 $\geq$ 85%	日前 $\geq$ 85%	日前 $\geq$ 97%	日前 $\leq$ 30%	日前 $\geq$ 97%	日前 $\leq$ 25%
中期风电功率 概率预测	第 10 天 $\geq$ 75%	—	第 10 天 $\geq$ 93%	第 10 天 $\leq$ 35%	—	—

附 录 A  
(规范性附录)  
评价指标

### A.1 均方根误差

均方根误差可用来评价风电功率概率预测期望值误差的分散程度,从整体上评价风电功率概率预测的性能、预测效果。

$$E_{\text{rmse}} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P_{M,i} - P_{P,i}}{C_i} \right)^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$P_{M,i}$ ——第  $i$  时段的实际功率,单位为兆瓦 (MW);

$P_{P,i}$ ——第  $i$  时段的预测功率,单位为兆瓦 (MW);

$C_i$ ——第  $i$  时段的开机总容量,单位为兆瓦 (MW);

$n$ ——误差统计时间区间内的时段总数减去免考时段数。

### A.2 平均绝对误差

平均绝对误差可以用来评价风电功率概率预测系统的长期运行状态。

$$E_{\text{mac}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{M,i} - P_{P,i}}{C_i} \right| \dots\dots\dots (A.2)$$

### A.3 相关性系数

相关系数能够反映风电功率概率预测期望值与实际功率波动的相关程度。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_{M,i} - \bar{P}_M)(P_{P,i} - \bar{P}_P)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{M,i} - \bar{P}_M)^2 \sum_{i=1}^n (P_{P,i} - \bar{P}_P)^2}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$\bar{P}_M$ ——统计时间区间内实际功率的平均值,单位为兆瓦 (MW);

$\bar{P}_P$ ——统计时间区间内预测功率的平均值,单位为兆瓦 (MW)。

### A.4 准确率

准确率计算公式如下:

$$C = (1 - E_{\text{rmse}}) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

### A.5 合格率

合格率主要体现风电功率概率预测期望值与实际功率的大预测误差情况。

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 \left( \left| \frac{P_{M,i} - P_{P,i}}{C_i} \right| < T \right) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

$T$ ——合格与否判定阈值。

### A.6 区间覆盖率

区间覆盖率指在一定的置信度水平下，实际功率位于概率预测区间内的概率，主要反映风电功率概率预测的可靠性，其与置信度水平差值的绝对值越小，概率预测结果越可靠。

$$P_{\text{ICP}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 \left( P_{M,i} \in [L_i^\alpha, U_i^\alpha] \right) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中：

$L_i^\alpha$ —— $1-\alpha$  置信度水平下风电功率概率预测区间下限，单位为兆瓦（MW）；

$U_i^\alpha$ —— $1-\alpha$  置信度水平下风电功率概率预测区间上限，单位为兆瓦（MW）。

### A.7 区间平均带宽

区间平均带宽主要反映风电功率概率预测的灵敏性。

$$P_{\text{INAW}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_i^\alpha - L_i^\alpha}{C_i} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{A.7})$$



团 体 标 准  
风电功率概率预测技术要求  
T/CES 138—2022  
2022 年 9 月第一版

\*

北京西城区莲花池东路 102 号天莲大厦 10 层  
邮政编码：100055

网址：<http://ces.org.cn/html/category/17060132-1.htm>

电话：010-63256990 63256997

版权专有 侵权必究