

# 团 体 标 准

T/CSEE 0275—2021

---

## 风电场一次调频性能测试技术规范

Technical specifications for primary frequency regulation performance  
test of wind farm



2021-09-17 发布

2021-12-01 实施

---

中国电机工程学会 发布

团 体 标 准  
风电场一次调频性能测试技术规范

T/CSEE 0275—2021

\*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

\*

2022年6月第一版 2022年6月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1印张 31千字

\*

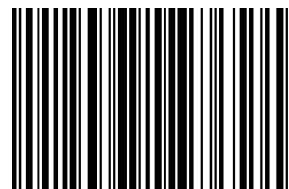
统一书号 155198·4170 定价 25.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.4170

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体原则	2
5 主要技术指标	2
6 测试条件	3
7 测试内容	3
8 测试要求和方法	4
9 性能验收	6
附录 A (资料性) 风电场一次调频测试时有功功率响应曲线图	7
附录 B (资料性) 风电场参与一次调频控制的功率-频率下垂特性曲线图	8
附录 C (资料性) 频率测量精度测试表	9
附录 D (资料性) 风电场一次调频性能测试方法示意图	10
附录 E (资料性) 风电场一次调频控制技术性能测试数据记录表	11
参考文献	12

## 前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会热工自动化专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、国网青海省电力有限公司、杭州意能电力技术有限公司、许昌许继风电科技有限公司、浙江运达风电股份有限公司、国电电力浙江舟山海上风电开发有限公司、南京朗仪物联网技术有限公司、浙江浙能嘉华发电有限公司、远景能源有限公司、北京中泰华电科技有限公司、南京悠阔电气科技有限公司、江苏未来智慧信息科技有限公司。

本文件主要起草人：张江丰、苏烨、魏路平、姜达军、但唐军、陈文进、包献文、刘艳录、王建伟、孟明、陈宁、韦向忠、李延和、杨立滨、孙文文、何国庆、吴豪、法拉蒂尔、房新雨、吴杰、见伟、郑可轲、孙坚栋、童存智、宫照海、魏湘。

本文件为首次发布。

本文件执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：[cseebz@csee.org.cn](mailto:cseebz@csee.org.cn)）。

# 风电场一次调频性能测试技术规范

## 1 范围

本文件规定了风电场一次调频性能测试的技术要求、测试方法及性能指标等。  
本文件适用于通过 110（66）kV 及以上电压等级线路接入电力系统的风电场。  
对于通过其他电压等级接入电力系统的风电场，可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 19963 风电场接入电力系统技术规定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**一次调频 primary frequency regulation; PFR**

当电力系统频率偏离目标频率时，发电厂通过控制系统的自动反应，调整有功出力减少频率偏差的控制功能。

[来源：DL/T 1870—2018，3.6]

### 3.2

**一次调频死区 dead band of primary frequency regulation**

一次调频调节系统在额定转速附近对转速差或频率差的不灵敏区。

[来源：GB/T 30370—2013，3.2]

### 3.3

**一次调频响应滞后时间 response delay time of primary frequency regulation**

从系统频率升高或降低超过一次调频死区开始，风电场实际输出有功实测值按正确方向调节至 10% 偏差量的最短时间（ $T_d$ ）。

### 3.4

**一次调频稳定时间 stabilization time of primary frequency regulation**

从系统频率升高或降低超过一次调频死区开始，风电场实际输出有功实测值与有功目标值之差始终不超出误差带的最短时间（ $T_s$ ）。

### 3.5

**有功功率控制误差率 active power control error rate of wind farm**

风电场调节后有功功率与有功目标调节值的差值相对于风电场额定功率的百分数。

### 3.6

**静态频率调节效应系数 static frequency regulation effect coefficient**

$K_{\text{droop}}$

风电场的静态频率调节效应系数，即风电场的单位调节功率，表达式如公式（1）所示。

$$K_{\text{droop}} = -\frac{\Delta P}{\Delta f} = -\frac{P_0 - P_{\text{set}}}{(f_n \pm f_d) - f} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta P$  ——一次调频有功功率调节量，MW；

$\Delta f$  ——系统频率偏差量，Hz；

$f$  ——系统扰动后频率，Hz；

$f_d$  ——频率调节死区，Hz；

$f_n$  ——系统额定频率，Hz；

$P_0$  ——风电场有功功率初始值，MW；

$P_{\text{set}}$  ——风电场有功功率目标值，MW。

风电场的静态过频调节效应系数为  $K_{\text{droop1}}$ ；风电场的静态欠频调节效应系数为  $K_{\text{droop2}}$ 。

### 3.7

#### 调差系数 active power frequency regulation coefficient

$\sigma$

调差系数定义为静态频率调节效应系数倒数的标幺化值，一般以百分数表示，如公式（2）所示。

$$\sigma\% = -\frac{\Delta f / \Delta P}{f_n / P_n} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$P_n$  ——风电场额定功率，MW。

其余符号意义如公式（1）所示。

### 3.8

#### 自动发电控制 automatic generation control; AGC

通过自动控制程序，实现对控制区内各发电机组有功出力的自动重新调节分配，来维持系统频率、联络线交换功率在计划目标范围内的控制过程。AGC 是由主站自动控制程序、信息传输通道、信息接收装置（远方终端）、机组协调控制系统（电厂监控系统）、执行装置、发电机组自动化装置等环节组成的整体。

[来源：GB/T 31464—2015，3.2.9]

## 4 总体原则

4.1 风电场参与电网一次调频时，应确保风电场安全稳定运行。

4.2 风电场一次调频性能应满足本文件指标要求或电网调度机构技术要求。

4.3 风电场一次调频测试时有功功率响应曲线图见附录 A。风电场参与一次调频控制的功率-频率下垂特性曲线图见附录 B。

## 5 主要技术指标

### 5.1 调频死区

风电场一次调频死区不应大于  $\pm 0.1$  Hz，且过频死区和欠频死区应能够独立设置，推荐值为  $\pm 0.067$  Hz。

### 5.2 调差系数

风电场调差系数  $\sigma$  宜设置在 2%~5%，且欠频调差系数和过频调差系数应能够独立设置，推荐值为 2%。

### 5.3 调节限幅

5.3.1 当风电场有功功率大于 20%的额定功率时，风电场应具备参与电网一次调频的能力。

5.3.2 风电场一次调频调节限幅宜不小于 10%的额定功率，且过频调节限幅和欠频调节限幅应能够独立设置，推荐值为 10%的额定功率。

### 5.4 数据采集

5.4.1 可通过独立装置或风电场监控系统进行数据采集。

5.4.2 一次调频动作信号、并网点频率及有功功率等测试相关数据的采集周期不应大于 100 ms，且具备历史数据存储、查询功能。

5.4.3 风电场并网点频率测量精度不应低于 0.002 Hz。

### 5.5 动态指标

5.5.1 风电场参与一次调频响应滞后时间不应大于 3 s。

5.5.2 风电场参与一次调频稳定时间不应大于 20 s，有功功率控制误差率不应超过±2%额定功率。

5.5.3 风电场参与一次调频的有功响应速度应满足：自频率超出调频死区开始，至有功功率调节量达到 90%目标调节量的时间不应大于 15 s。

5.5.4 风电场参与一次调频的实际动作积分电量不应小于 60%理论计算积分电量。

5.5.5 电网频率恢复后，风电场应根据调度指令（或实际风况）输出有功功率。

## 6 测试条件

6.1 在一次调频测试之前，风电场应满足 GB/T 19963 的相关技术规定。

6.2 风电场退出 AGC 或有功功率远方控制方式。

6.3 风电场有功功率大于 20%的额定功率。

6.4 风电场频率采集装置校验合格。

6.5 风电场一次调频控制系统运行正常。

6.6 正常并网运行风机台数在 80%以上。

## 7 测试内容

### 7.1 频率精度测试

利用高精度频率信号发生器，检测风电场参与一次调频控制的频率测量精度，频率测量精度测试表见附录 C。

### 7.2 测试工况和频率扰动量选择

7.2.1 测试工况点选择应能准确反映风电场的一次调频特性，测试工况点不应少于 2 个，至少应包括：

a) 低负荷测试工况点 1： $0.2P_n < P \leq 0.5P_n$ 。

b) 高负荷测试工况点 2： $0.5P_n < P \leq 0.9P_n$ 。

7.2.2 验证风电场实际有功功率在 20%额定功率以下时不参与一次调频控制。

7.2.3 频率扰动量的选择如下：







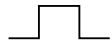
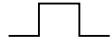
a) 在每个测试工况点，应至少按照正负向频率扰动设定值参照表（见表 1）进行正负向频率阶跃扰动测试各 2 次；

b) 在每个测试工况点，应至少按照调节限幅频率扰动设定值参照表（见表 2）进行调节限幅的频率阶跃扰动测试各 1 次；

c) 在每个测试工况点，应至少进行正负向频率曲线扰动测试各 1 次，频率曲线宜选择所在区域电网的典型故障曲线。频率曲线扰动设定值参照表见表 3。

7.2.4 频率阶跃扰动变化的维持时间不应小于 30 s，频率曲线的持续时间不宜小于 60 s。

表 1 正负向频率扰动设定值参照表

序号	频率设定值 Hz	持续时间 s	频率变化波形
1	49.85	30	
2	49.90	30	
3	49.930	30	
4	49.936	30	
5	50.064	30	
6	50.070	30	
7	50.10	30	
8	50.15	30	

注：频率设定值以推荐频率死区±0.067 Hz 为参照。

表 2 调节限幅频率扰动设定值参照表

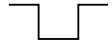

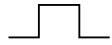
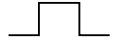


序号	频率设定值 Hz	持续时间 s	频率变化波形
1	49.80	30	
2	49.833	30	
10	50.167	30	
11	50.20	30	

表 3 频率曲线扰动设定值参照表

序号	频率设定值 Hz	持续时间 s	频率变化波形
1	上扰曲线	—	
2	下扰曲线	—	

### 7.3 一次调频与 AGC 协调控制

7.3.1 一次调频动作与 AGC 指令方向相同时，风电场有功功率控制目标应为一次调频响应目标值与 AGC 指令值的代数和。

7.3.2 一次调频动作与 AGC 指令方向相反时，风电场应闭锁 AGC 指令。

## 8 测试要求和方法

### 8.1 测试要求

8.1.1 风电场一次调频测试时电功率测量设备包括电压传感器、电流传感器和数据采集系统等，电功



率测量设备的精度要求见表 4。

8.1.2 数据采集系统用于测试数据的记录、计算及保存。数据采集系统每个通道采样频率最小为 5 kHz，分辨率至少为 12 bit。

表 4 电功率测量设备的精度要求

设备	精度要求
电压传感器	0.2 级
电流传感器	0.5 级
电压电流数据采集系统	0.2 级
频率分辨率	0.002 Hz

## 8.2 测试方法

8.2.1 风电场一次调频测试方法示意图见附录 D，主要由数据采集装置和电网频率模拟发生装置构成。数据采集装置用于采集并网点的电压、电流的二次信号，电网频率模拟发生装置用于模拟风电场并网点的频率信号，频率调节范围能够覆盖 48.5 Hz~51.5 Hz 的频率区间，频率精度不低于 0.002 Hz。

8.2.2 测试装备现场接线与校对，应包括：

- a) 退出风电场一次调频功能，将风电场并网点的有功功率信号接入数据采集装置，并将数据采集装置测得的数值与风电场升压站监控系统测得的数值进行对比，确保数据采集装置测得的数值准确无误；
- b) 将风电场一次调频的频率采集装置的输入与原有频率信号源断开，并将其与频率模拟信号发生装置的频率输出信号进行连接，将频率模拟信号发生装置的频率输出信号整定为额定频率 50 Hz。

8.2.3 风电场运行工况选择，应包括：

- a) 根据风电场风况和风电场功率预测系统，将风电场调整至 7.2.1 中规定的某一运行工况，确认风电场并网风电机组稳定运行；
- b) 至少保留风电场额定容量 10% 的功率上调空间。

8.2.4 频率阶跃响应测试，应包括：

- a) 投入风电场一次调频功能，将频率模拟信号发生装置的频率输出信号稳定在额定频率 50 Hz 的基础上，稳定运行至少 1 min；
- b) 按照 7.2.3 的要求分别施加正负阶跃频率偏差信号，每个信号持续时间不少于 30 s；
- c) 分别对频率和并网点有功功率进行录波和记录；
- d) 每次频率扰动测试结束后，恢复频率模拟信号发生装置的频率输出信号至 50 Hz，调节稳定后方可进行下一次扰动测试。

8.2.5 频率曲线响应测试，应包括：

- a) 投入风电场一次调频功能，将频率模拟信号发生装置的频率输出信号稳定在额定频率 50 Hz 的基础上，稳定运行至少 1 min；
- b) 频率模拟信号发生装置按照 7.2.3 的要求输出频率曲线；
- c) 对频率和并网点有功功率进行录波和记录，计算理论积分电量和实际动作积分电量；
- d) 每次频率扰动测试结束后，恢复频率模拟信号发生装置的频率输出信号至 50 Hz，调节稳定后方可进行下一次扰动测试。

8.2.6 重复 8.2.2 至 8.2.5 步骤，直至 7.2 中规定的所有运行工况测试完成。

8.2.7 测试全部结束后，退出风电场一次调频功能，拆除测试装备的接线，并恢复风电场一次调频的频率采集装置的输入信号的接线，最后投入风电场一次调频功能。

8.2.8 一次调频与 AGC 协调控制功能测试，应包括：

- a) 一次调频与 AGC 协调控制功能测试应在 7.2.1 所述测试工况点 2 条件下进行；
- b) 投入风电场一次调频功能，将频率模拟信号发生装置的频率输出信号稳定在额定频率 50 Hz 的基础上，稳定运行至少 1 min；
- c) 在本地手动更改 AGC 指令，频率模拟信号发生装置输出频率阶跃上扰或下扰信号作为一次调频指令，根据 7.3 的要求开展测试；
- d) 分别对 AGC 指令、并网点频率及有功功率进行录波和记录。

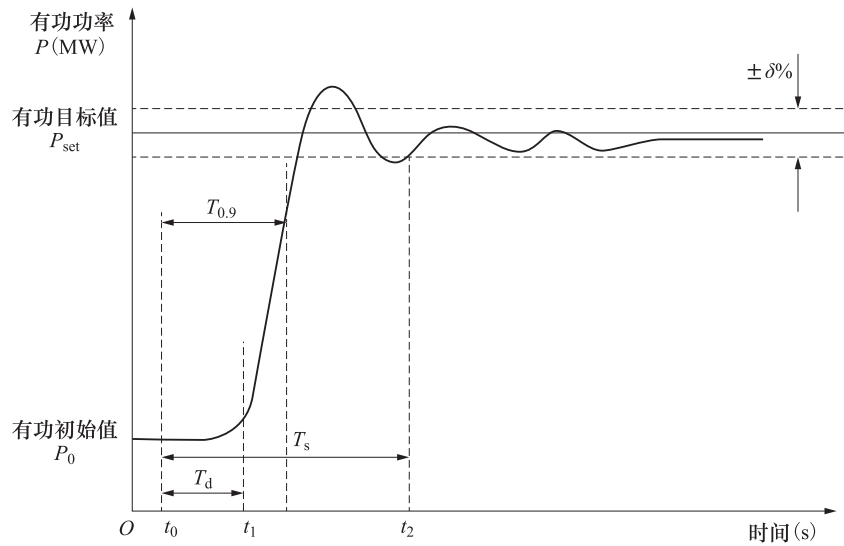
9 性能验收

- 9.1 风电场一次调频性能验收分为静态功能验收和动态指标验收。
- 9.2 静态功能验收包括控制回路检查、参数设置核查，按照 5.1、5.2 及 5.3 的规定进行。
- 9.3 动态指标验收依据测试结果直接或间接进行计算，按照 5.5 的规定进行。
- 9.4 各项动态指标以测试平均值为最终验收值。
- 9.5 风电场一次调频控制技术性能测试数据记录表见附录 E，应在其中详细记录验收结果。

附录 A  
(资料性)

风电场一次调频测试时有功功率响应曲线图

风电场一次调频测试时有功功率响应曲线见图 A.1。



说明：

- $P_0$  ——风电场有功初始值；
- $P_{\text{set}}$  ——风电场有功目标值；
- $t_0$  ——频率变化起始时刻；
- $t_1$  ——风电场有功开始变化起始时刻；
- $t_2$  ——风电场实测有功功率不再超出误差带的时刻；
- $T_d$  ——一次调频响应滞后时间；
- $T_{0.9}$  ——上升时间；
- $T_s$  ——一次调频稳定时间；
- $\pm\delta\%$  ——误差带， $\pm 2\%P_n$ 。

图 A.1 风电场一次调频测试时有功功率响应曲线

附录 B  
(资料性)

风电场参与一次调频控制的功率-频率下垂特性曲线图

风电场参与一次调频控制的功率-频率下垂特性曲线见图 B.1。

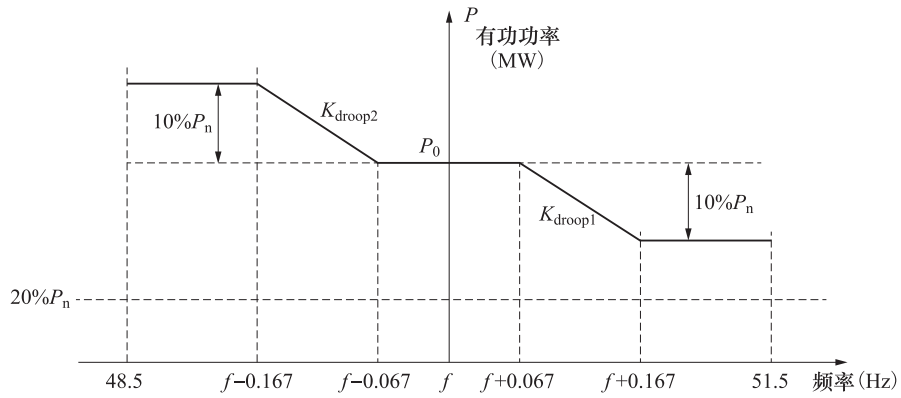


图 B.1 风电场参与一次调频控制的功率-频率下垂特性曲线

附 录 C  
(资料性)  
频率测量精度测试表

频率测量精度测试表见表 C.1。

表 C.1 频率测量精度测试表

序号	频率给定 Hz	持续时间 s	测量频率 Hz	序号	频率给定 Hz	持续时间 s	测量频率 Hz
1	48.0	10		19	50.03	10	
2	48.2	10		20	50.05	10	
3	48.4	10		21	50.1	10	
4	48.6	10		22	50.15	10	
5	48.8	10		23	50.2	10	
6	49.0	10		24	50.25	10	
7	49.2	10		25	50.3	10	
8	49.4	10		26	50.35	10	
9	49.6	10		27	50.4	10	
10	49.65	10		28	50.6	10	
11	49.7	10		29	50.8	10	
12	49.75	10		30	51.0	10	
13	49.8	10		31	51.2	10	
14	49.85	10		32	51.4	10	
15	49.9	10		33	51.6	10	
16	49.95	10		34	51.8	10	
17	49.97	10		35	52.0	10	
18	50.00	10					
平均误差				精度测试评价			

附录 D  
(资料性)

风电场一次调频性能测试方法示意图

风电场一次调频性能测试方法见图 D.1。

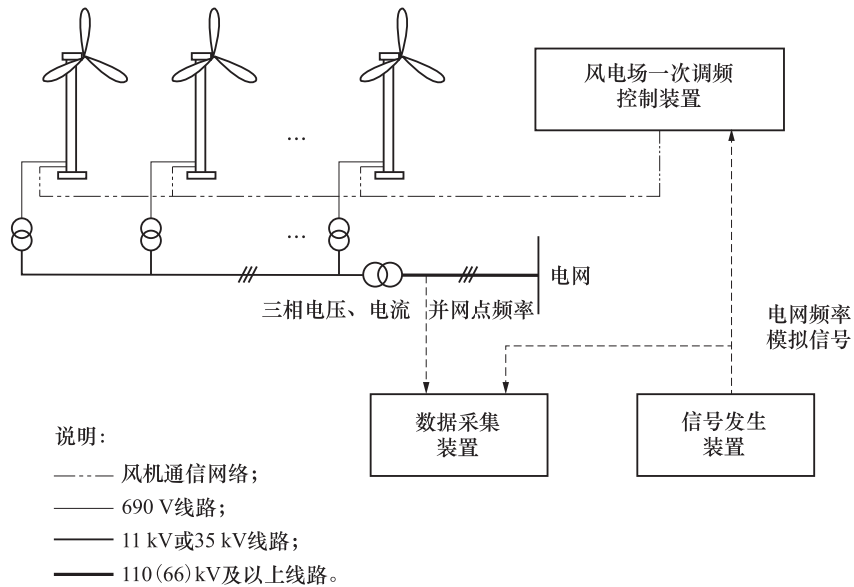


图 D.1 风电场一次调频性能测试方法示意图

## 附录 E

(资料性)

## 风电场一次调频控制技术性能测试数据记录表

风电场一次调频控制技术性能测试数据记录表见表 E.1。

表 E.1 风电场一次调频控制技术性能测试数据记录表

指标值	标准值	工况一	工况二	工况三	工况四
频率扰动量 Hz					
测试前总有功功率 MW					
测试发生 1 s 负荷					
1 s 负荷变化量 $\Delta P_1$					
测试稳定负荷					
稳定后负荷变化量 $\Delta P_1$					
实际调差率					
负荷动态过调量 $\%P_e$					
负荷响应滞后时间 ms					
负荷响应时间 s					
实际动作积分电量					
理论积分电量					
调频贡献指数					
测试结果评价					

参 考 文 献

- [1] GB/T 30370—2013 火力发电机组一次调频试验及性能验收导则
  - [2] GB/T 31464—2015 电网运行准则
  - [3] DL/T 1870—2018 电力系统网源协调技术规范
-