

### 柔性低频输电 第6部分：海上风电接入电 网准则

Guidelines for connecting offshore wind power to the grid through  
low-frequency AC transmission

(与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

2022-12-11 发布

2023-01-01 实施

浙江省电力学会 发布



## 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	2
2 规范性引用文件 .....	2
3 术语和定义 .....	2
3.1 .....	2
3.2 .....	3
3.3 .....	3
3.4 .....	3
3.5 .....	3
3.6 .....	3
3.7 .....	3
3.8 .....	3
3.9 .....	3
3.10 .....	3
3.11 .....	4
3.12 .....	4
3.13 .....	4
3.14 .....	4
3.15 .....	4
4 有功功率 .....	4
4.1 基本要求 .....	4
4.2 正常运行情况下有功功率控制 .....	4
4.3 平滑控制 .....	5
4.4 紧急控制 .....	5
5 惯量响应与一次调频 .....	5
5.1 基本要求 .....	5
5.2 惯量响应 .....	5
5.3 一次调频 .....	6
6 风电场功率预测 .....	7
6.1 基本要求 .....	7
6.2 预测曲线和运行情况上报 .....	7
6.3 预测性能 .....	7
6.4 预测数据交互 .....	8
7 无功功率 .....	8
7.1 基本要求 .....	8
7.2 无功电源及无功容量配置 .....	8
7.3 无功电压控制 .....	9
7.4 功率因数控制 .....	9
8 运行适应性 .....	9
8.1 电压适应性 .....	9
8.2 频率适应性 .....	10

8.3 抗干扰性.....	10
9 故障穿越.....	11
9.1 基本要求.....	11
9.2 低电压穿越.....	11
9.3 高电压穿越.....	12
9.4 连续穿越.....	12
9.5 电压偏差.....	12
9.6 闪变.....	12
9.7 谐波.....	12
9.8 电压不平衡.....	12
9.9 检测与治理.....	12
10 孤岛穿越与孤岛保护.....	13
10.1 孤岛保护.....	13
10.2 孤岛穿越.....	13
11 黑启动.....	13
11.1 .....	13
11.2 .....	13
11.3 .....	13
11.4 .....	13
11.5 .....	13
11.6 .....	13
11.7 .....	13
12 二次系统.....	13
12.1 基本要求.....	14
12.2 继电保护及安全自动装置.....	14
12.3 系统调度自动化.....	14
12.4 系统通信.....	15
12.5 保护设置.....	15
13 仿真模型和参数.....	16
13.1 .....	16
13.2 .....	16
13.3 .....	16
14 接入电网测试要求.....	16
14.1 基本要求.....	16
14.2 测试内容.....	16
14.3 测试设备要求.....	17
14.4 测试数据要求.....	17

## 前 言

为规范适用于低频输电电力系统中低频风机的运行控制与保护技术的适应性，制定本标准。

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。

本标准由（国家电网公司总部报批部门）提出并解释。

本标准由浙江省电力学会风电专业委员会归口。

本标准负责起草单位：国网浙江省电力有限公司台州供电公司。

本标准参加起草单位：国网浙江省电力有限公司、中国电力科学研究院有限公司、台州宏创电力集团有限公司科技分公司、新疆金风科技股份有限公司（系统外）（理由：共同完成人）。

本标准主要起草人：斯建东、郭锋、汤义勤、周晨、杨坚、朱敏捷、邹宏亮、王雪燕、邱麟、崔家俊、艾斯卡尔、王康、蒋旭、郑远德、李海波、陈明旭、李文辉、于杰、裘鹏、戚宣威、倪晓军、杨志千。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网公司科技部。

# 柔性低频输电 第 6 部分：海上风电接入电网准则

## 1 范围

本标准规定了海上风电场经低频交流（15Hz-30Hz）接入电网的技术要求。  
本标准适用于通过 110（66）kV 及以上电压等级线路与电力系统连接的新建或扩建海上风电场。  
对于通过其他电压等级与电力系统连接的风电场，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 1.1—2009 标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写  
GB 311.1 绝缘配合 第一部分：定义、原则和规则  
GB/T 2900.53-2001 电工术语 风力发电机组  
GB/T 2900.58-2008 电工术语发电、输电及配电电力系统规划和管理  
GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差  
GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变  
GB/T 14285 继电保护和安全自动装置技术规程  
GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波  
GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差  
GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡  
GB/T 19963 风电场接入电力系统技术规定  
GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波  
GB/T 31464 电网运行准则  
GB/T 36995-2018 风力发电机组故障电压穿越能力测试规程  
GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范  
NB/T 31046 风电功率预测系统功能规范  
NB/T 31055 风电场理论发电量与弃风电量评估导则  
DL/T 448 电能计量装置技术管理规程  
DL 775 电力系统安全稳定导则  
DL/T 1040 电网运行准则  
DL/T 1870 电力系统网源协调技术规范  
DL/T 5003 电力系统调度自动化设计技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

低频风电机组 low-frequency wind turbine generator  
三相交流运行频率在 15Hz 至 30Hz 的低频并网型风电机组。

## 3.2

风电场 wind farm; wind power plant

由一批风电机组或风电机组群（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。

## 3.3

风电机组并网点 point of connection of wind turbine generator

风电机组单元变压器低压侧母线或节点。

## 3.4

低频风电机组有功功率 active power of low-frequency wind turbine generator

低频风电机组输入到风电机组并网点的有功功率。

## 3.5

低频风电机组无功功率 reactive power of low-frequency wind turbine generator

低频风电机组输入到风电机组并网点的无功功率。

## 3.6

低频风电机组低电压穿越 under voltage ride through of low-frequency wind turbine generator

当电力系统事故或扰动引起风电机组并网点电压跌落时，在一定的电压跌落范围和时间间隔内，低频风电机组能够保证不脱网连续运行。

## 3.7

低频风电机组高电压穿越 over voltage ride through of low-frequency wind turbine generator

当电力系统事故或扰动引起低频风电机组并网点电压升高时，在一定的电压升高范围和时间间隔内，低频风电机组能够保证不脱网连续运行。

## 3.8

低频风电机组无功电压控制系统响应时间 response time of control system

风电机组无功电压控制系统自接收到无功功率/电压控制指令开始，直到实际无功功率/电压值的变化量达到控制偏差量（为控制目标值与初始值之差）的90%所需的时间。

## 3.9

惯量响应 inertia response

当电力系统频率快速变化时，海上风电经低频交流输电接入电网系统响应于系统频率变化率，通过控制系统快速调整有功出力。

## 3.10

一次调频 primary frequency regulation of wind farm

当电力系统频率偏离额定频率时，海上风电经低频交流输电接入电网系统响应于系统频率偏差，通过控制系统调整有功出力，从而有助于减少频率偏差的控制功能。

### 3.11

一次调频启动时间 primary frequency pick-up time

从系统频率升高或降低超过一次调频死区开始，低频系统实际输出有功功率变化量达到有功目标值和初始值之差的 10%所需的时间。

### 3.12

一次调频响应时间 primary frequency response time

从系统频率升高或降低超过一次调频死区开始，低频系统实际输出有功功率变化量达到有功目标值和初始值之差的 90%所需的时间。

### 3.13

一次调频调节时间 primary frequency settling time

从系统频率升高或降低超过一次调频死区开始，低频系统实际输出有功实测值与有功目标值之差的绝对值始终不超过允许偏差的最短时间。

### 3.14

孤岛 island

当某个电力子系统跟电力主系统断开时，该电力子系统有可能因为当地电源与负荷平衡关系的存在而形成孤岛，并且能够独立运行。

### 3.15

风电机组单元变压器 unit transformer of low-frequency wind turbine generator

风电机组电网端的升压变压器。

## 4 有功功率

### 4.1 基本要求

#### 4.1.1 参与电力系统调频调峰能力

海上风电经低频交流输电接入电网系统（以下简称低频系统）应符合 GB/T 31464、DL/T 1040 的规定，具备参与电力系统调频、调峰的能力。

#### 4.1.2 控制系统

低频系统应具备有功功率控制功能或配置有功功率控制系统，能够接收并自动执行电力系统调度机构下达的有功功率及有功功率变化的控制指令，在低频系统有功功率可调节范围内控制有功功率及有功功率变化，控制指标应满足电力系统调度机构下达的控制指令。

#### 4.1.3 功率要求

经低频系统 AC/AC 换流器与电网相连的海上风电场应满足 GB/T 19963 有功功率控制要求。

### 4.2 正常运行情况下有功功率控制



- 4.2.1 低频系统有功功率变化包括 1min 有功功率变化和 10min 有功功率变化。
- 4.2.2 低频系统有功功率 1min 变化不大于 20MW，10min 有功功率变化不大于 60MW。
- 4.2.3 在风电场并网、风速增长和风速减小过程中，低频系统有功功率变化应当满足电力系统安全稳定运行的要求，其限值应根据所接入电力系统的频率调节特性，由电力系统调度机构确定。
- 4.2.4 允许出现因风速降低或风速超出切出风速而引起的低频系统有功功率变化超出有功功率变化最大限值的情况。

#### 4.3 平滑控制

当风电场有功功率在总额定功率的 20%以上时，低频系统应能实现有功功率连续平滑调节。

#### 4.4 紧急控制

- 4.4.1 在电力系统事故或紧急情况下，低频系统应根据电力系统调度机构的指令快速控制其输出的有功功率；此时有功功率变化可超出电力系统调度机构规定的有功功率变化最大限值。
- 4.4.2 网调度机构或风电场集控系统有权切出低频风电机组；电网故障或电网误操作等有可能使低频风电机组与电网断开。在上述两种情况下，当电网断电次数不大于 20 次/年时，风电机组应能够自动安全地“紧急停机”，不导致风电机组零部件的损坏。

### 5 惯量响应与一次调频

#### 5.1 基本要求

##### 5.1.1 调节有功输出并参与调频

当电力系统频率偏差或频率变化率超过规定的死区范围，且低频系统的有功出力大于 20%额定功率时，低频系统应具备调节有功输出并参与电力系统一次调频的能力。

##### 5.1.2 启动与禁止

低频系统的一次调频功能应根据电力系统运行需求启动与禁止。

##### 5.1.3 死区范围

低频系统调频的死区范围由电力系统运营商研究决定，不同电网条件下存在差异。

##### 5.1.4 连续平滑调节

低频系统参与电力系统一次调频过程中应保证有功功率的连续平滑调节。

##### 5.1.5 调频能力

低频系统的调频能力应结合风电场实际出力能力考虑。

##### 5.1.6 状态信号

低频系统应设置一次调频动作状态信号和一次调频启用状态信号，并将此信号上传至调度监控系统。

##### 5.1.7

与低频系统相连的海上风电场应满足 GB/T 19963 惯量响应和一次调频要求。

#### 5.2 惯量响应

当电力系统频率变化率超过规定的死区范围，（可根据电网实际情况确定，可设定为 $0.0X\text{Hz/s}$ ，频率变化率采样周期宜不大于 $XXX\text{ms}$ ），低频系统有功出力大于 $20\%P_N$ 时，低频系统应在满足公式(1)条件下提供惯量响应，并且有功功率变化量 $\Delta P$ 应满足公式(2)， $\Delta P$ 最大值不低于 $10\%P_N$ ， $\Delta P$ 响应时间不大于 $X_s$ ，允许偏差不大于 $\pm X\%P_N$ 。

$$(1) \quad \Delta f * \frac{df}{dt} > 0$$

$$(2) \quad \Delta P \geq -\frac{T_J}{f_N} * \frac{df}{dt} * P_N$$

式中：

$\Delta P$ ——有功功率变化量，单位：W；

$T_J$ ——海上风电场惯性时间常数，单位：s，典型取值 $4s \sim 12s$ ；

$f_N$ ——电力系统额定频率，单位：Hz；

$f$ ——AC/AC换流站公共连接点频率，单位：Hz；

$P_N$ ——低频系统额定容量，单位：W。

### 5.3 一次调频

当电力系统频率偏差大于死区范围（可根据电网实际情况确定，宜设定为 $\pm X.XX \sim \pm X.XX\text{Hz}$ ），系统有功出力大于 $20\%P_N$ 时，应具备参与电网一次调频能力，并且有功功率变化量 $\Delta P$ 应满足公式(3)。

$$(3) \quad \Delta P = K_f * \frac{\Delta f}{f_N} * P_N$$

式中：

$\Delta P$  ——有功功率变化量，单位：W；

$K_f$  ——有功调频系数，单位：pu；

$\Delta f$  ——系统频率的变化量，单位：Hz；

$f_N$  ——系统额定频率，单位：Hz；

$P_N$  ——额定功率，单位：W。

低频系统一次调频曲线如图2所示：

A) 当电力系统频率下降时，低频系统应根据一次调频曲线增加有功输出，当有功调节量达到设定值时可不再继续增加，设定值可根据实际电网要求确定，最大推荐为 $6\%$ 额定功率。

B) 当电力系统频率上升时，低频系统应根据一次调频曲线减少有功输出，当有功调节量达到 $10\%$ 额定功率时可不再继续减小。

C) 有功调频系数 $K_f$ 应满足 $X \leq K_f \leq XX$ （该值可根据电网实际情况确定，推荐为 $XX$ ）。

D) 一次调频的启动时间应不大于 $X_s$ ，响应时间应不大于 $XX_s$ ，调节时间应不大于 $XX_s$ ，有功功率调节控制误差不应超过 $\pm X\%$ 额定功率。

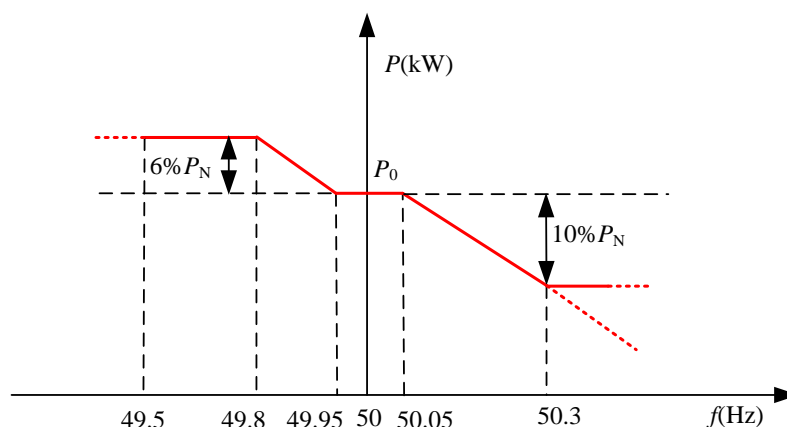


图2 一次调频曲线图

注：P0为海上风电场实际运行功率；PN为海上风电场额定容量。

## 6 风电场功率预测

### 6.1 基本要求

风电功率预测系统应具备 0h~24h 中期风电功率预测、0h~72h 短期功率预测以及 15min~4h 超短期风电功率预测功能，预测时间分辨率应不低于 15min。

### 6.2 预测曲线和运行情况上报

#### 6.2.1

风电场的风电功率预测系统应每日向电力系统调度机构上报两次中期、短期风电功率预测结果，应每15min向电力系统调度机构上报一次超短期功率预测结果。

#### 6.2.2

风电场的风电功率预测系统向电力系统调度上报风电功率预测曲线的同时，应上报与预测曲线相同时段的风电场预测开机容量，上报时间间隔不大于15min。

#### 6.2.3

风电场应每15min自动向电力系统调度机构滚动上报当前时刻的开机总容量，风电场应每5min自动向电力系统调度机构滚动上报风电场实时测风数据。

### 6.3 预测性能

#### 6.3.1

风电场中期功率预测结果第十日（第 217-240 小时）月平均准确率应不低于 70%，第十日月平均合格率应不低于 70%，月平均上报率应达到 100%。风电场功率性能计算方法应按 GB/T 19963-2021 附录 D。

### 6.3.2

风电场短期风电功率结果日前预测月平均准确率应不低于 85%，日前预测月平均合格率应大于 85%，月平均上报率应达到 100%。

### 6.3.3

风电场超短期风电功率预测结果第 4 小时预测月平均准确率应不低于 87%，第 4 小时预测月平均合格率应大于 87%，月平均上报率应可达到 100%。

### 6.3.4

风电场的风电功率预测系统应支持在风电场功率受限、风电机组故障或检修等非正常停机情况下的功率预测。

### 6.3.5

风电场功率受限时刻进行预测精度计算时，应使用可用功率替代实际功率，可用功率计算方法参见 NB/T 31055。

## 6.4 预测数据交互

### 6.4.1

风电场的风电功率预测系统应每日向电力系统调度机构上报两次中期、短期风电功率预测结果，应每 15min 向电力系统调度机构上报一次超短期功率预测结果。

### 6.4.2

风电场的风电功率预测系统向电力系统调度机构上报风电功率预测曲线的同时，应上报与预测曲线相同时段的风电场预测开机容量。

### 6.4.3

风电场应每 15min 自动向电力系统调度机构滚动上报当前时刻的开机总容量，风电场应 5min 自动向电力系统调度机构滚动上报风电场实时测风数据。

## 7 无功功率

### 7.1 基本要求

#### 7.1.1

海上风电经低频交流输电接入电网系统（以下简称低频系统）应符合 GB/T 31464、DL/T 1870 等相关标准之规定，配置无功功率/电压控制系统，具备无功功率调节及电压控制能力，且具备参与电力系统分层分级电压控制。

#### 7.1.2

海上风电经低频交流输电接入电网系统所需的无功补偿装置类型、容量范围应结合风电场实际接入情况通过专题研究确定。

#### 7.1.3

低频系统应根据电力系统调度机构指令，自动调节其发出（或吸收）的无功功率，实现对并网点无功/电压的控制，其调节速度和控制精度应能满足电网电压调节的要求。

## 7.2 无功电源及无功容量配置

### 7.2.1

AC/AC 换流站的无功设计应能够补偿海上升压站高压至 AC/AC 换流站的输电线路、海上升压站变压器的容性无功之和，其感性无功容量应能够补偿海上升压站高压侧至 AC/AC 换流站输电线路的充电无功功率。

### 7.2.2

AC/AC 换流站应具备 STATCOM 运行模式，无功容量按照不小于 40% 额定容量设计。

### 7.2.3

与低频系统相连的海上风电场应满足 GB/T 19963 风电场无功容量要求。

## 7.3 无功电压控制

当低频系统运行在交流电压-无功功率下垂控制模式时，低频系统 AC/AC 换流站无功输出容量应满足交流电压-无功功率变化曲线，如图3所示。

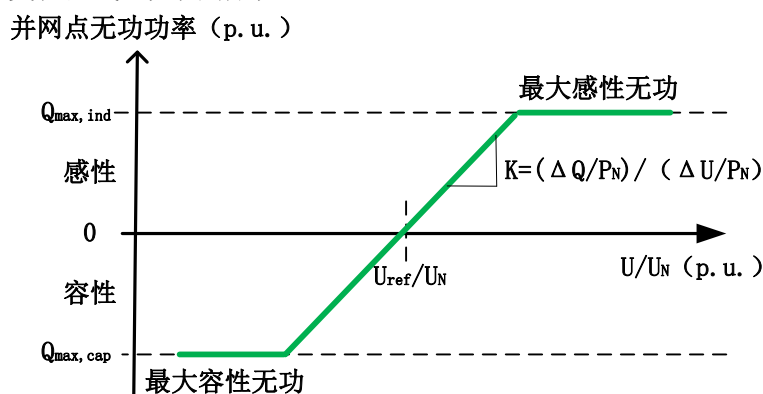


图3 交流电压-无功功率下垂控制

图中：

$U_{ref}$  ——并网点电压参考值；

$U_n$  ——并网点额定电压；

$Q_{ref}$  ——并网点无功功率参考值；

$P_{AV}$  ——AC/AC换流站额定有功功率；

$Q_{max, ind}$  ——AC/AC换流站最大感性无功功率；

$Q_{max, cap}$  ——AC/AC换流站最大容性无功功率；

$k$  ——交流电压-无功功率控制下垂系数。

下垂系数 $k$ 、电压参考值 $U_{ref}$ 、无功功率参考值 $Q_{ref}$ 满足表1要求，各参数可通过低频系统或电力调度控制中心设定，具体参数数值由电力系统相关研究决定。

当低频系统与电力调度控制中心通信中断且持续时间超过1分钟时，低频系统应保持正常运行，各参数数值为系统最后接收到电力调度控制下发的有效数值或者低频系统切换为功率因素控制模式，且功率因素 $\phi$ 满足 $\cos \phi \approx 1$ 。

表 1 交流电压-无功功率控制各参数选取

参 数	运行时间
$U_{ref}$	95%~105% $U_n$
$Q_{ref1}$	$- Q_{max, cap}  \sim Q_{max, ind}$

k	2%~5%
---	-------

#### 7.4 功率因数控制

当低频系统运行在功率因素控制模式时，AC/AC换流站并网点功率因素 $\phi$ 满足 $\cos \phi = \text{定值}$ 。该定值可通过低频系统或电力调度控制中心设定。

当低频系统与电力调度控制中心通信中断且持续时间超过1分钟时，低频系统应保持正常运行， $\cos \phi$ 参考值为系统最后接收到电力调度控制下发的有效数值或者低频系统设定 $\cos \phi \approx 1$ 。

### 8 运行适应性

#### 8.1 电压适应性

##### 8.1.1

当低频系统AC/AC换流站并网点电压在标称电压的90%~110%之间时，低频系统应能正常运行；当并网点电压低于标称电压的90%或者超过标称电压的110%时，低频系统应能按照本标准规定的低电压穿越和高电压穿越的要求运行。

##### 8.1.2

低频系统 AC/AC 换流站并网点的电压、频率波动，应满足 GB/T 19963 运行适应性要求。

#### 8.2 频率适应性

##### 8.2.1 AC/AC 换流站

低频系统 AC/AC 换流站应在表 2 所示所连交流系统频率范围内按照规定运行。在交流系统频率以 $-2.5\text{Hz/s}$  至 $+2.5\text{Hz/s}$  的速率变化（在任何时间点测量为前 1s 频率变化速率的平均值）的情况下，各站应能保持与网络的连接并稳定运行。

表 2 各 AC/AC 换流站在不同电力系统频率范围内的运行规定

电力系统频率范围	要 求
$f < 49\text{Hz}$	根据低频系统允许运行的最低频率而定。
$49\text{Hz} \leq f < 49.5\text{Hz}$	至少运行 10min 的能力。
$49.5\text{Hz} \leq f \leq 50.5\text{Hz}$	连续运行。
$50.5\text{Hz} < f \leq 51\text{ Hz}$	至少运行 10min 的能力。
$f > 51\text{ Hz}$	根据低频系统允许运行的最高频率而定。

##### 8.2.2 风电机组

风电机组可正常运行的电网侧频率范围为 $95\%f_n - 105\%f_n$ 。

### 8.2.3 其他设备

应参照表 2 执行。

## 8.3 抗干扰性

### 8.3.1

当 AC/AC 换流站公共连接点闪变值满足 GB/T 12326、谐波值满足 GB/T 14549、三相电压不平衡度满足 GB/T 15543 的规定时，低频系统应能正常运行。

### 8.3.2

当 AC/AC 换流站低频侧闪变值满足 GB/T 12326、谐波值满足 GB/T 14549、三相电压不平衡度满足 GB/T 15543 的规定时，风电机组及其它在低频系统中的电气设备应能正常运行。闪变值指标、谐波值指标和三相电压不平衡度指标按照上述对应标准基本原理计算确定。

## 9 故障穿越

### 9.1 基本要求

低频系统内所有设备应具备应对 AC/AC 换流站双侧交流系统扰动引起的并网点电压短时上升或跌落的能力，在一定的电压跌落范围和时间间隔内，确保连续不脱网运行。

在低频系统不停运的情况下，对于换流站双侧交流系统各种故障，低频系统的输送功率从故障清除瞬间计算应快速恢复，恢复时间由系统研究确定，恢复期间不允许出现持续振荡现象。

对于任何交流系统故障，AC/AC 换流器不得先于海上风电场脱网运行。

低频系统故障穿越时，风电机组和 AC/AC 换流器应具备本章规定的动态无功支撑能力和有功控制能力。可根据实际电网需要，在开展风电场故障穿越专题研究后，对有功和无功控制能力进行特殊要求。

### 9.2 低电压穿越

#### 9.2.1 基本要求

当电网发生短路故障（含对称故障和非对称故障）并导致设备电网侧并网点电压有效值小于其额定值的 90 % 时，对应设备应进入低电压穿越运行状态，关键技术指标规定如下：

A) 并网点电压跌至 20 % 标称电压时，应能够不脱网连续运行 625ms。

B) 并网点电压在发生跌落后 2s 内能够恢复到标称电压的 90 % 时，应能够不脱网连续运行，如图 4 所示。

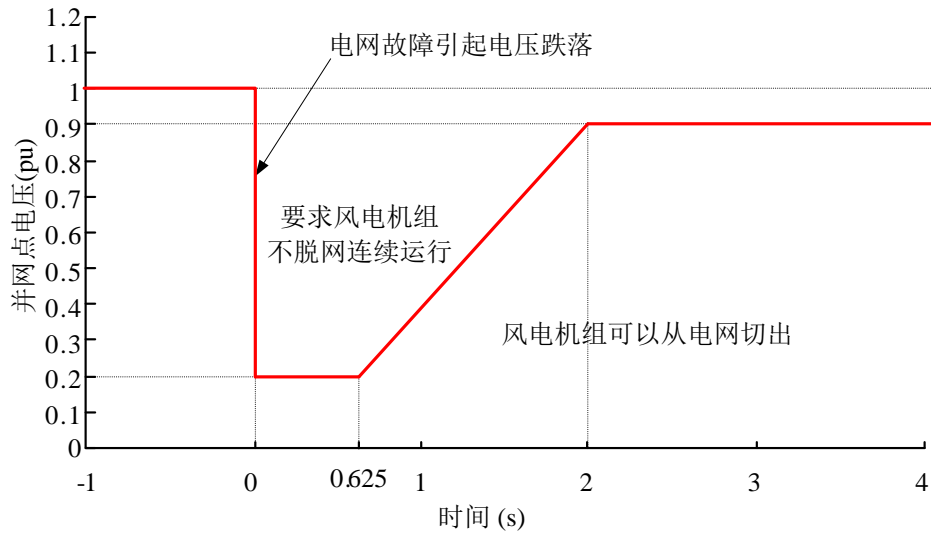


图 4 低电压穿越要求

9.2.2 故障类型及考核电压

按照 GB/T 19963-2021 执行。

9.2.3 动态无功支撑能力

按照 GB/T 19963-2021 执行。

9.2.4 有功恢复能力

按照 GB/T 19963-2021 执行。

9.3 高电压穿越

9.3.1 基本要求

各个设备应具有表 2 所要求的高电压穿越能力。

表 2 高电压穿越运行时间要求

并网点工频电压值 (pu)	运行时间
$0.9 \leq UT \leq 1.1$	连续运行
$1.1 < UT \leq 1.2$	10s
$1.2 < UT \leq 1.25$	1s
$1.25 < UT \leq 1.3$	500ms
$1.3 < UT$	退出运行

9.3.2 故障类型及考核电压

按照 GB/T 19963-2021 执行。



### 9.3.3 动态无功支撑能力

按照 GB/T 19963-2021 执行。

### 9.3.4 有功恢复能力

按照 GB/T 19963-2021 执行。

## 9.4 连续穿越

按照 GB/T 19963-2021 执行。

## 9.5 电压偏差

AC/AC 换流站公共连接点电压正、负偏差绝对值之和不超过标称电压的 10%，正常运行方式下，其电压偏差应在标称电压的 0%~+10% 范围内。

## 9.6 闪变

AC/AC 换流站公共连接点的闪变干扰值应满足 GB/T 12326 的要求。

## 9.7 谐波

AC/AC 换流站公共连接点的闪变干扰值应满足 GB/T 12325 的要求。

## 9.8 电压不平衡

AC/AC 换流站公共连接点并网点电压不平衡度应满足 GB/T 15543 的要求。

## 9.9 检测与治理

低频系统 AC/AC 换流站公共连接点的电压偏差、闪变及谐波需结合海上风电场实际接入情况，必要时应通过低频系统接入电网电能质量专题研究来评估。

低频系统应配置满足 GB/T 19862 要求的电能质量监测设备，以实时监测 AC/AC 换流站电能质量指标是否满足要求，并具备信息上传功能；若不满足要求，低频系统需安装电能质量治理设备，以确保低频系统合格的电能质量。

## 10 孤岛穿越与孤岛保护

### 10.1 孤岛保护

当风电场从主网脱离后，低频系统不应带汇集系统继续孤立运行，风电机组应能够在 2 s 之内可靠检测出“孤岛”状态并避免孤岛运行。

### 10.2 孤岛穿越

若系统存在要求时，低频系统应具备孤岛穿越功能。

## 11 黑启动

### 11.1

当 AC/AC 换流站并网点所连电力系统失电后，海上风电场系统能够通过低频送出线路对 AC/AC 换流站充电。当充电完成后，换流应进入交流电压控制模式，且能够将并网点电压控制在标称电压的

90%~110%，频率控制在 49.5Hz~50.5Hz 或电力调度控制中心规定的电压及频率限制范围内；若电力系统恢复过程需要更宽的电压和频率范围，由系统专题研究决定。

## 11.2

海上风电场及送出系统黑启动成功，且未退出黑启动运行之前，AC/AC 换流站电网侧电能质量应满足 GB/T 19963-2021，对于其它并未在本标准规定的 GB/T 19963-2021 技术指标不作要求。

## 11.3

低频系统应具备平滑地从黑启动模式过渡到正常并网运行模式。

## 11.4

海上风电场及送出系统黑启动与海上风电机组、低频系统、AC/AC 换流站和失电系统所处实际情况均关联，应根据海上风电工程的黑启动实际需求开展专题研究，并确定与工程需求相匹配的黑启动方案。

## 11.5

当风速大于切入风速时，在没有外部大电网电源和低频系统支撑下，海上风电机组应能启动本地发电并自持。

## 11.6

海上风电机组单机黑启动自持时长应根据本标准条款 12.1 和 12.4 规定的黑启动专题研究结果确定。

## 11.7

海上风电场及送出系统黑启动所需的具备黑启动功能的风电机组数量及其机位点应根据本标准条款 12.1 和 12.4 规定的黑启动专题研究结果确定。

# 12 二次系统

## 12.1 基本要求

### 12.1.1

低频系统二次设备及系统应符合 GB/T 35745、电力二次系统技术规范及相关技术规程。

### 12.1.2

AC/AC 换流站按有人值班设计，AC/AC 换流站按无人值班设计。

### 12.1.3

AC/AC 换流站建设范围内建统一平台的监控系统，监控系统网络通过专用通信通道与海上装备网络互连，实现各端装备，即：风电机组、海上升压站（如有）及海上风电场所有系统和设备的数据采集和处理、监视和控制、记录等功能。

### 12.1.4

低频系统远动系统与 AC/AC 换流站的监控系统可统一考虑，布置在 AC/AC 换流站。远动信息除送电力系统调度机构外，还应考虑相应的风电运行管理部门。

### 12.1.5

低频系统与电力系统调度机构之间的通信方式、传输通道和信息传输内容由电力系统调度机构作出规定，包括提供远动信息、系统继电保护及安全自动装置信息、提供信息的方式和实时性要求等。

### 12.1.6

低频系统相连的海上风电场应满足 GB/T 19963 风电场二次系统要求。

### 12.1.7

低频系统和海上风电场二次系统安全防护应满足国能安全〔2015〕36 号文件要求。

## 12.2 继电保护及安全自动装置

### 12.2.1

低频系统的继电保护、安全自动装置以及二次回路的设计、安装应满足 GB/T 35745、电力系统有关规定和反事故措施的要求。

### 12.2.2

低频系统的交流保护和暂态故障录波装置各自单独组网，均通过保护子网与保护及故障信息管理子站进行通信，故障录波通过录波专网与保护及故障信息管理子站通信。

## 12.3 系统调度自动化

### 12.3.1

低频系统 AC/AC 换流站配置统一的计算机监控系统和调度数据网络接入设备，应满足 DL/T 5003 要求及电力二次系统调度管理规范要求。

### 12.3.2

海上风电场应配置有功功率控制系统、无功电压控制系统、电能量采集系统、二次系统安全防护设备、调度数据网络接入设备等。

### 12.3.3

低频系统和海上风电场远动信息采集范围按电网调度自动化能量管理系统（EMS）远动信息接入规定的要求接入信息量。海上风电场向电力调度机构提供的信号应满足 GB/T 19963 的规定。

### 12.3.4

低频系统关口计量点（贸易结算）应设在 AC/AC 换流站公共连接点，海上风电场关口计量点（贸易结算）应设在海上风电场与 AC/AC 换流站并网点、不同海上风电场企业的产权分界处，计量装置配置应符合 DL/T 448 的要求。

### 12.3.5

低频系统调度自动化、电能量信息传输宜采用主/备信道通信方式直送电力系统调度机构。

### 12.3.6

低频系统 AC/AC 换流站配置全站统一的时钟同步系统，对 AC/AC 换流站内各二次系统和设备的时钟进行统一校正。

## 12.4 系统通信

### 12.4.1

低频系统 AC/AC 换流站与电力系统直接连接的通信设备(如光纤传输设备、脉码调制终端设备(PCM)、调度程控交换机、数据通信网、通信监测等)需具有与系统接入端设备一致的接口与协议。

#### 12.4.2

低频系统 AC/AC 换流站通信设备配置按照相关的设计规程执行。

### 12.5 保护设置

#### 12.5.1

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备应配置低电压保护、过电压保护、低频保护、高频保护、三相电压不平衡保护,带时限动作于跳闸,其时限由电网调度机构确定。风电机组继电保护所需的电压、电流信号的检测滞后时间应不长于 30 ms,精度等级至少为 0.5 级;频率信号的检测滞后时间应不长于 100 ms;精度误差绝对值不大于 0.01Hz。

#### 12.5.2

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备应按照 DL 775 配置其在系统发生故障或异常运行时保护自身设备安全的保护。

#### 12.5.3

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备应具备运行信息记录功能,记录机端电压、交流侧三相电流、功率、变频器直流母线电压、机组保护动作等信息,同时应记录转速、风速、变桨角等非电量及开关量。

#### 12.5.4

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备故障录播功能应符合 DL/T 553,应具有足够的记录通道并能够记录故障前 100 ms 至故障后 6 s 的电气量数据,采样频率不小于 4000 Hz;记录信息在机组掉电后不能丢失。

#### 12.5.5

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备应能由外部同步时钟信号(如基于 GPS 的网络对时)进行同步;在同步时钟信号中断时,要求装置在 24 小时内的计时误差不大于 1 s。

#### 12.5.6

风电机组、AC/AC 换流器等主回路功率设备涉网保护定值及动作报告应能方便调阅,保护定值应方便修改并有保证安全的措施。

## 13 仿真模型和参数

### 13.1

低频系统及其内部主回路部件应提供可用于电力系统仿真计算的控制保护系统模型及参数,用于海上风电场经低频交流接入电力系统的规划设计及调度运行。

### 13.2

低频系统应跟踪其各个元件模型和参数的变化情况,并随时将最新情况反馈给电力系统调度机构。

### 13.3

与低频系统相连的海上风电场应满足 GB/T 19963 风电场仿真模型和参数要求。

## 14 接入电网测试要求

### 14.1 基本要求

#### 14.1.1

低频系统之内的关键装备，包括风电机组、AC/AC 换流器应通过国家授权的有资质的检测机构的并网测试，并向电网调度机构提供相应的测试报告。

#### 14.1.2

并网测试所参照的测试标准应由第三方认证机构认可或直接采用国内外通用的同等的测试标准。

### 14.2 测试内容

#### 14.2.1 风电机组测试内容

- a) 有功功率控制能力测试。
- b) 无功功率控制能力测试。
- c) 电能质量测试。
- d) 低电压穿越能力测试。
- e) 高电压穿越能力测试。
- f) 运行适应性测试。
- g) 仿真模型测试。
- h) 黑启动能力测试。

#### 14.2.2 AC/AC 换流器测试内容

- a) 无功功率控制能力测试。
- b) 电能质量测试。
- c) 低电压穿越能力测试。
- d) 高电压穿越能力测试。
- e) 运行适应性测试。
- f) 仿真模型测试。
- g) 黑启动能力测试。

### 14.3 测试设备要求

#### 14.3.1

测试设备应通过国家权威部门鉴定，并由电网调度机构授权。

#### 14.3.2

测试设备应符合长期海上作业需要。

### 14.4 测试数据要求

参照GB/T 19963及相关测试规程要求执行。

T/ZJSEE XXXX-YYYY

T/ZJSEE XXXX-YYYY