

ICS 号: '8+%'\$

H# %) ((' %\$%+7' (- *8\$8

ICS 号: '8+%'\$

中国标准文献分类号: : %%

团 体 标 准

H#G#7%8\$9%8\$8\$8

A Y] a 'gpYXcMfa UbYbha U[bYrk]pXh fV]bYg

8\$8!\$(1% 发布

8\$8!\$(1& 实施

发布



23111315251902

目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	3
4 构成、类型及命名.....	3
4.1 机组构成.....	3
4.2 机组分类.....	3
4.3 机组等级.....	3
5 风力发电机组整机技术要求.....	3
5.1 性能要求.....	4
5.2 可靠性要求.....	4
5.3 动特性要求.....	4
5.4 适应电网频率范围.....	4
5.5 电网电压不平衡度.....	4
5.6 功率调节能力要求.....	4
5.7 故障电压穿越技术要求.....	4
5.8 噪声要求.....	6
5.9 照明要求.....	6
5.10 可维护性与可维修性要求.....	7
5.11 结构要求.....	7
5.12 外观防护要求.....	7
5.13 安全要求.....	7
5.14 机械装配要求.....	9
5.15 机组试运行.....	9
6 风力发电机组各部件及系统技术要求.....	9
6.1 雷电保护系统要求.....	9
6.2 控制和保护系统要求.....	9
6.3 变桨系统要求.....	9
6.4 偏航系统要求.....	9
6.5 液压系统要求.....	9
6.6 发电机技术要求.....	9
6.7 变流器技术要求.....	9
6.8 齿轮箱技术要求.....	10
6.9 偏航轴承和变桨轴承技术要求.....	10
6.10 主轴承技术要求.....	10
6.11 风速仪风向标技术要求.....	10
6.12 叶片要求.....	10

6.13 监控系统要求.....	10
6.14 安全性要求.....	11
7 试验方法.....	12
7.1 工厂试验.....	12
7.2 风场试验.....	13
7.3 叶片试验.....	14
7.4 控制系统电磁兼容试验.....	14
8 检验规则.....	15
8.1 检验类别.....	15
8.2 检验规则.....	15
8.3 检验项目.....	15
8.4 合格判定.....	15
9 标志、包装、运输与贮存.....	16
9.1 标志.....	16
9.2 包装.....	16
9.3 运输.....	16
9.4 贮存.....	17

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。

本文件代替了T/SCA 110011-2018《“上海品牌”评价认证依据：风力发电机组》。根据陆上并网型风力发电机组功率和风轮直径不断增大的趋势，考虑到并网性能及中速永磁路线的技术发展，对风电机组整机性能及叶片、齿轮箱、发电机和变流器等关键大部件的技术指标进行了修订。本文件与T/SCA 110011-2018相比，除编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了标题：并网型风力发电机组修改为中速永磁风力发电机组。
- b) 更改了标准适用范围；
- c) 所引用标准均以按现行最新标准更新和增减。
- d) 整机性能方面：更改了机组分类（见 4.2）；更改了机组最大风能利用率要求（见 5.1.2）；更改了发电机输出电压要求（见 5.1.3）；更改了机组每年允许的并网次数的要求（见 5.2.3）；更改了电网频率范围改为适应电网频率范围的要求（见 5.4）；修改了风速技术指标增加风向标技术要求（见 6.11）；对监控系统要求进行修正（见 6.13）；更改了安全性要求（见 6.14）；更改机械性能检验方法描述（见 7.1.1）；增加了电气性能海拔对绝缘性能的修正影响（见 7.1.2）；更改了项目试验方法（见 8.3）；更改了污染等级要求（9.3（e））；增加对运输的要求（见 9.3）；
- e) 增加了发电机技术要求：（见 6.6）；
- f) 增加了变流器技术要求：（见 6.7）；
- g) 增加了齿轮箱技术要求：（见 6.8）；
- h) 更改了叶片的技术要求：（见 6.12 和 7.3）；
- i) 增加了控制系统电磁兼容试验技术要求（见 7.4）；

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。

本文件由上海市检验检测认证协会提出并归口。

本文件起草单位：上海电气风电集团股份有限公司、上海电气风电设备东台有限公司、上海市检验检测认证协会、上海中认尚科新能源技术有限公司、中国质量认证中心。

本文件主要起草人：缪骏、朱志权、曹广启、张黎明、葛晓波、梁科、万保库、叶忠明、杨飞、施君、文欢、杨景超、施江锋、丁正华、庄骏。

承诺执行本文件的单位：上海电气风电集团股份有限公司、上海中认尚科新能源技术有限公司、中国质量认证中心、南京高精传动设备制造集团有限公司、中车永济电机有限公司、上海市检验检测认证协会。

本文件及其所替代的文件历次版本发布情况为：

- 2018年首次发布为T/SCA 110011-2018；
- 本次为第一次修订。



中速永磁风力发电机组

1 范围

本文件规定了中速永磁风力发电机组的分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存等要求。

本文件适用于水平轴，中速永磁风力发电机组，额定功率不小于4000kW，风轮扫掠面积不小于15000m²风力发电机组。本文件适用于陆上中速永磁水平轴风力发电机组。陆上双馈机组和鼠笼机组的相关参数及海上中速永磁水平轴风力发电机组可以参考使用。

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）适用于本部分。

- GB 755 旋转电机 定额和性能
- GB/T 2900.53 电工术语 风力发电机组
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 4797.5 电工电子产品环境条件分类 自然环境条件 降水和风
- GB/T 7251.1 低压成套开关设备和控制设备
- GB/T 9327 额定电压35kV(U_m=40.5kV)及以下电力电缆导体用压接式和机械式连接金
具 试验方法和要求
- GB/T 14315 电力电缆导体用压接型铜、铝接线端子和连接管
- GB/T 17626.2 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 浪涌(冲击)抗扰度试验
- GB/T 17626.6 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.12 振铃波抗扰度试验
- GB/T 17799.2 电磁兼容通用标准工业环境中的抗扰度试验
- GB/T 18290.2 无焊连接 第2部分无焊压接连接一般要求、试验方法
- GB/T 18451.1 风力发电机组 设计要求
- GB/T 18451.2 风力发电机组 功率特性测试
- GB/T 19072 风力发电机组 塔架
- GB/T 19073 风力发电机组 齿轮箱
- GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 分类
- GB/T 19568 风力发电机组装配和安装规范

GB/T 19963 风电场接入电力系统技术规定

GB/T 20319 风力发电机组 验收规范

GB/T 20320 风力发电机组电能质量测量和评估方法

GB/T 20645 特殊环境条件 高原用低压电器技术要求

GB/T 22516 风力发电机组 噪声测量方法

GB/T 25386.2 风力发电机组 控制系统 第 2 部分：试验方法

GB/T 25387.1 风力发电机组 全功率变流器

GB/T 25389.2 风力发电机组 永磁同步发电机 第 2 部分：试验方法

GB/T 29718 滚动轴承 风力发电机组主轴轴承

GB/T 32077 风力发电机组 变桨距系统

GB/T 36490 风力发电机组 防雷装置检测技术规范

GB/T 37257 风力发电机组 机械载荷测量

GB/Z 25427 风力发电机组 雷电防护

GB/Z 25458 风力发电机组合格 认证规则及程序

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50135 高耸结构设计规范

JB/T 10425.1 风力发电机组—偏航系统

JB/T 10427 风力发电机组一般液压系统

JB 10705 滚动轴承 风力发电机轴承

NB/T 31046 风电功率预测系统功能规范

NB/T 31001 风电机组筒形塔制造技术条件

NB/T 31003 大型风电场并网设计技术规范

NB/T 31039 风力发电机组雷电防护系统技术规范

FD003 风电机组地基基础设计规定

ISO 2394 General principles on reliability for structures

ISO 12944-1 Paints and varnishes - Protective systems for anti-corrosion coatings on steel structures

IEC 61400-6 Wind energy generation systems - Part 6: Tower and foundation design requirements

IEC 61400-23 Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades

IEC 61400-24 Wind turbines - Part 24: Lightning protection

IEC 62305-1 Protection against lightning -Part 1: General principles

IEC 62305-4 Protection against lightning - Part 4: Electrical and electronic systems within structures

3 术语和定义

GB/T 2900.18、GB/T 2900.53 和 GB/T 18451.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 构成、类型及命名

4.1 机组构成

中速永磁风力发电机组由叶片、轮毂、变桨系统、主轴、主轴承、轴承座、机舱座、齿轮箱、联轴器、发电机、电控柜、变频器、偏航系统、液压系统、刹车装置及塔架等主要部件和设备组成的成套设备。

4.2 机组分类

机组分类见表 1。

表 1 机组分类

序号	代号	机组类型	特性
1	空格	标准型	-10℃~40℃（运行环境温度）、海拔在 2000 m 内。
2	A	低温型	-30℃~40℃（运行环境温度）
3	T	抗台风型	10 分钟平均参考风速≥57m/s
4	G	高原型	适用于海拔高度为 2000m~5000m 的高原
5	H	高温型	-20℃~50℃（运行环境温度）

4.3 机组等级

机组等级划分见表 2。

表 2 机组等级

风电机组等级	I	II	III	S
V_{Tref}	50	42.5	37.5	由设计者确定各参数
A ⁺ $I_{ref}(-)$	0.18			
A $I_{ref}(-)$	0.16			
B $I_{ref}(-)$	0.14			
C $I_{ref}(-)$	0.12			
V_{Tref} : 10min 平均风速。机组所能承受的轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均极端风速应小于 V_{Tref} ; I_{ref} : 平均风速为 15m/s 时轮毂高度处湍流强度的期望值; 定义同 GB/T 18451.1; A ⁺ : 表示很高湍流特性等级; A: 表示较高湍流特性等级; B: 表示中等湍流特性等级; C: 表示较低湍流特性等级。				

5 风力发电机组整机技术要求

5.1 性能要求

- 5.1.1 机组的切入风速应不大于 3m/s，切出风速应不小于 25m/s，再切入风速应不小于 20m/s。
- 5.1.2 风轮直径小于 160 米时，机组最大风能利用率（发电 C_p ）应大于 0.42；风轮直径不小于 160 米时，机组最大风能利用率（发电 C_p ）应大于 0.41。
- 5.1.3 发电机输出电压（V）应优先采用以下范围：690V~1140V。
- 5.1.4 机组在额定工况时，其输出的功率应不小于设计的额定功率。额定风速以上时要求目标功率与实测功率偏差不超过 3%。
- 5.1.5 机组宜采用模块化设计。

5.2 可靠性要求

- 5.2.1 机组基于时间的年可利用率应不小于 96%。
- 5.2.2 机组设计寿命应不小于 20 年。
- 5.2.3 机组平均无故障工作时间 MTBF 应不小于 3000 小时。

5.3 动特性要求

在机组运行范围内应不存在主要结构件的机械共振点。机组在正常运行范围内塔架振动量不应超过 0.05g。

5.4 适应电网频率范围

电网频率偏差在 46.1Hz~51.9Hz 范围以内，当电网处于频率极端偏差时，风力发电机组可以正常工作应不得少于 2min。

5.5 电网电压不平衡度

电网电压不平衡度应小于 4%。

5.6 功率调节能力要求

5.6.1 有功功率调节

控制系统应能按照设定的速率相应有功调节指令，通过控制变桨系统和变流器，调节风力发电机组输出的有功功率。

5.6.2 无功功率调节

控制系统应能按照设定的速率相应无功调节指令，调节风力发电机组输出的无功功率（或功率因数），使风力发电机组满足功率因数在超前 0.95~滞后 0.95 的范围内动态可调。

5.7 故障电压穿越技术要求

5.7.1 基本要求

图 1 为风电机组故障电压穿越曲线，低电压穿越能力电压等级要求 $\leq 20\% U_t$ ，高电压穿越能力电压等级要求 $\geq 130\% U_t$ 。当风力发电机组并网点电压处于图示曲线 1 及以上和图示曲线 2 及以下的中间区域时，要求风电机组不拖网连续运行；当风电机组并网点电压处于图示曲线 1 以下或曲线 2 以上曲线时，风电机组可以从并网点切除。

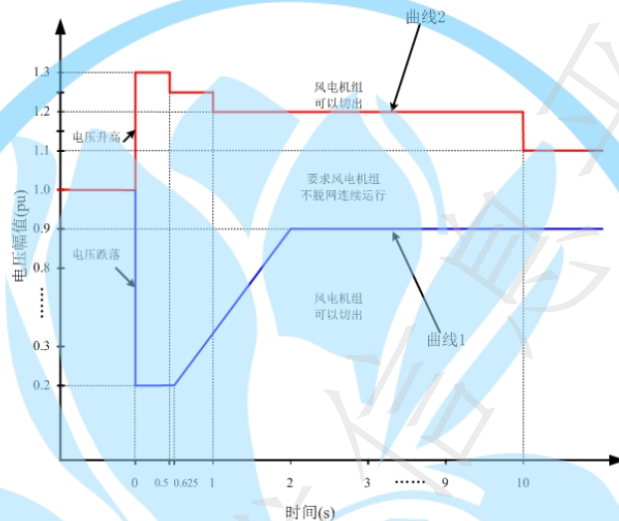


图 1 风电机组故障电压穿越曲线

风电机组故障电压穿越包括低电压穿越、高电压穿越、故障电压连锁故障，具体要求按 5.7.2、5.7.3 的规定：

5.7.2 低电压穿越要求

风电机组应具有图 1 中曲线 1 规定的电压-时间范围内不脱网连续运行的能力。要求如下：

- 低电压穿越能力电压等级：风电场并网点电压跌落达到标称电压的 20% 时，机组应保持不脱网连续运行 625ms；
- 有功功率恢复：对电压跌落期间没有脱网的风电机组，自故障清除时刻开始，有功功率应以至少 $40\%P_N/s$ 的功率变化率恢复至故障前的值；
- 动态无功支撑能力：当风电机组并网点发生三相对称电压跌落时，风电机组应自电压跌落出现的时刻起快速响应，通过注入感性无功电流支撑电压恢复。具体要求如下：

- 自并网点电压跌落出现的时刻起，动态感性无功电流控制的响应时间不大于 60ms，且在电压故障期间持续注入感性无功电流；
- 风电机组提供的动态感性无功电流应满足式 (1) 的要求：

$$\Delta I_t \geq K_t \times (0.9 - U_t) \times I_N, \quad (0.2 \leq U_t \leq 0.9) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

ΔI_t ——风电场注入的动态无功电流增量，单位为安（A）；

K_1 ——风电场动态无功电流比例系数， K_1 取值范围应不小于 1.5，宜不大于 3；

U_t ——风电场并网点电压标幺值，单位为标幺值（pu）；

I_N ——风电场额定电流，单位为安（A）。

5.7.3 高电压穿越要求

风电机组应具有图 1 中曲线 2 规定的电压-时间范围内不脱网连续运行的能力。要求如下：

- a) 高电压穿越能力电压等级：电网发生电压升高达到标称电压的125%~130%之间时，机组应保证不脱网连续运行 500ms；电网发生电压升高达到标称电压的120%~125%之间时，机组应保证不脱网连续运行 1s；电网发生电压升高达到标称电压的110%~120% 之间时，机组应保证不脱网连续运行 10s。
- b) 有功功率输出：没有脱网的风电机组，在电压升高时刻及电压恢复正常时刻，有功功率波动幅值应在 $\pm 50\% P_N$ 范围内，波动时间不大于 40ms；在电压升高期间，输出功率应为实际风况对应的输出功率的 $\pm 95\%$ ；电压恢复正常后，输出功率应为实际风况对应的输出功率。
- c) 故障期间动态无功支撑能力：当风电机组并网点发生三相对称电压升高时，风电机组应自电压升高出现的时刻起快速响应，通过注入容性无功电流支撑电压恢复。具体要求如下：

- ① 自并网点电压升高出现的时刻起，动态无功电流上升响应时间不大于 40ms；自并网点电压恢复至标称电压110%以下的时刻起，风电场应在 40ms 内退出主动提供的动态无功电流增量。

- ② 风电机组提供的动态容性无功电流应满足式（2）的要求：

$$\Delta I_t \geq K_3 \times (U_t - 1.1) \times I_N, (1.1 \leq U_t \leq 1.3) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔI_t ——风电场吸收的动态无功电流增量，单位为安（A）；

K_3 ——风电场动态无功电流比例系数， K_3 取值范围应不大于1.5；

U_t ——风电场并网点电压标幺值，单位为标幺值（pu）；

I_N ——风电场额定电流，单位为安（A）。

5.8 噪声要求

机组在输出功率为 1/3 额定功率时排放的噪声（等效声功率级）应小于或等于 110dB（A）。齿轮箱应运转平稳，不允许出现异常响声。按照 GB/T 6401.1的规定测定齿轮箱的噪声，噪声应不大于 100dB(A)。

5.9 照明要求

机组内应有照明装置，其混合照度：

- a) 机舱内照度应不小于 300 lx；

- b) 塔架内照度应不小于 200 lx。

5.10 可维护性与可维修性要求

在机组要维护的部位应留有调整和维护空间，以便于维护。机组及零部件在质量合格的前提下应具有维修、调整和修复性能。塔架高度超过 60m 的机组应为维护人员配备安全的提升装置。

5.11 结构要求

5.11.1 结构部件的设计应以 ISO 2394 和 GB/T 18451.1 的要求为设计基础，极限强度和疲劳强度需要通过计算或试验进行验证。

5.11.2 塔架的设计应符合 IEC 61400-6 标准要求，塔架的制造应符合 GB/T 19072-2002 和 NB/T 31001-2010 第 4 章至第 10 章的规定；宜采用适当的措施来减小结构的振动。

5.11.3 机组的基础应满足下述要求：

- a) 基础的设计应符合 GB 50135、GB 50007 和 GB 50010 的规定；
- b) 机组基础的结构形式选择和强度、抗拔和抗滑稳定性应与机组等级相一致，其计算应符合 FD003 的规定。

5.11.4 在 GB/T 4797.5 规定的暴雨下，应保证机舱罩、导流罩的保护功能良好；应对机舱罩和导流罩进行静强度、耐久性、损伤容限和结构动力学分析。

5.11.5 风轮叶片应满足 IEC 61400-23、IEC 61400-24 的要求。

5.12 外观防护要求

5.12.1 机组及部件所有外露部分应涂漆或镀层，涂镀层应表面光滑、牢固和色泽一致。用在风沙低温区或近海盐雾区的机组，其涂镀层应考虑风沙或盐雾的影响。

5.12.2 机组和风轮内部主要金属件（不锈钢和防锈铝除外）防腐要求应符合 ISO 12944 的规定，耐久性按高（H）等级，其他部件应符合 ISO 12944 的规定。

5.12.3 机组的腐蚀防护等级应适应运行环境的要求，大气腐蚀性能等级的选用可按 GB/T 19292.1 的规定执行。

5.12.4 塔架防腐应符合 GB/T 19072-2002 第 9 章的规定。

5.13 安全要求

5.13.1 安全防护

机组的安全防护应符合 GB/T 18451.1 的要求。

5.13.2 电气连接

5.13.2.1 电线电缆的型号、截面积、颜色应与设计文件的规定相符。

5.13.2.2 接线端子与电缆采用压接式连接的，其压接方法和性能应符合以下要求：

- a) 导线截面积不大于 10 mm² 的电线、电缆的压接连接应符合 GB/T 18290.2 的规定；

- b) 导线截面积为 16mm^2 至 630mm^2 的电线、电缆的压接应符合 GB/T 18290.2 的规定；
- c) 压接端子和连接管的规格与导线截面积的配合尺寸应符合 GB/T 14315 的规定；
- d) 压接后的电气及机械性能应符合 GB/T 9327 的规定。

5.13.2.3 电气设备的供电电缆和信号输出电缆应与设备进行可靠连接。

5.13.3 绝缘电阻

5.13.3.1 当机组发电机输出电压不大于 AC 1000V 或 DC 1500V 时，在电气设备、控制机柜外壳与供电电路之间施加 AC 1000V 或 DC 1500V 的电压测得的绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

5.13.3.2 当机组发电机输出电压大于 AC 1000V 或 DC 1500V，但不超过 36kV 时，在电气设备、控制机柜外壳与供电电路之间施加 AC 5000V 电压测得的绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

5.13.4 抗电强度

机组各电气部分无连接关系的两电极之间、电极与设备或器件壳体之间的抗电强度应符合 GB/T 7251.1 的规定，参见表 3。高原型机组的抗电强度应按 GB/T 20645-2021 中 7.2.2 规定的修正系数计算出的电压值进行测量。

表 3 与额定绝缘电压对应的介电试验电压

额定绝缘电压（线-线），V	交流试验电压（交流均方根值），V
$U_i \leq 60$	1000
$60 < U_i \leq 300$	2000
$300 < U_i \leq 690$	2500
$690 < U_i \leq 800$	3000
$800 < U_i \leq 1000$	3500
$1000 < U_i \leq 1500\text{a}$	3500

a: 仅适用于直流。

5.13.5 接地

5.13.5.1 机组内所有电气盘柜的壳体均应与地线进行连接（或成保护联结），其连接用铜导体的截面积应不小于 16mm^2 。

5.13.5.2 接地滑动触点连接要求如下：

- 滑动触点应满足雷电流承载要求；
- 应保证碳刷在刷架内上下自由运动；
- 应保证碳刷与接地导体有适度的压力；
- 应保证碳刷与接地导体具有良好的面接触性。

5.13.5.3 发电机转轴应通过滑环、电刷得到可靠接地，轴承电流应始终被控制在设计范围内。

5.13.5.4 单台风力发电机组的接地电阻值应不大于 $4\ \Omega$ 。接地电阻测试方法依据 GB/T 36490 的规定。

5.13.5.5 单台风力发电机组从叶尖接闪器至塔基接地环的引下导体电阻应小于 $0.2\ \Omega$ 。测试方法依据 GB/T 36490 的规定。

5.13.6 电磁兼容性

机组内控制系统设备的抗干扰度均应符合 GB/T 17799.2 的规定。

5.14 机械装配要求

应符合 GB/T 19568 的规定。

5.15 机组试运行

应符合 GB/T 20319 中 6.19(c) 条款的规定。

6 风力发电机组各部件及系统技术要求

6.1 雷电保护系统要求

6.1.1 机组应具备完善的雷电保护系统,所有导体接头应进行可靠连接,并符合 GB/Z 25427 的要求。防雷接地装置设计应符合 GB 50057-2019 中 4.3 的规定。防雷设计等级为 IEC 61400-24 I 级。并且符合 IEC 62305-1、IEC 62305-4-2010、NB/T 31039 等标准。

6.1.2 内部防雷系统包括:防雷击等电位连接、电涌保护、屏蔽措施。

6.2 控制和保护系统要求

电网失电后的至少 1h 内,机组控制系统具备持续工作能力。

6.3 变桨系统要求

变桨系统技术性能应符合 GB/T 32077-2015 中第 5 章的规定。

6.4 偏航系统要求

偏航系统技术性能应符合 JB/T 10425.1-2004 中第 4 章的规定。

6.5 液压系统要求

液压系统的功能及技术性能应符合 JB/T 10427-2004 中 3.3、3.5、3.7、3.8 条的规定,其中液压系统动力供给失效后应能使机组长时间保持在安全状态。

6.6 发电机技术要求

发电机效率应不低于 98%;发电机振动应符合标准 GB/T 25389.2 中低于 1.2mm/s ($10\sim 1000\text{Hz}$);发电机温升应采用 GB/T 755 中 H 级绝缘,采用 F 级考核。

6.7 变流器技术要求

变频器的技术性能应符合 GB/T 25387.1-2021 中第 4 章的规定。

6.8 齿轮箱技术要求

齿轮箱的技术特性应符合 GB/T 19073 标准的规定。扭矩密度应不低于 185 kNm/t，齿轮箱在额定功率下运转时，频率在 10 Hz~2000 Hz 范围内，齿轮箱最大振动速度不应超过 1.5mm/s。

6.9 偏航轴承和变桨轴承技术要求

偏航轴承和变桨轴承的技术性能应符合 JB 10705-2007 中第 6 章的规定。

6.10 主轴承技术要求

主轴承的技术性能应符合 GB/T 29718-2013 中第 8 章的规定。

6.11 风速仪风向标技术要求

机组使用的风向风速仪应满足下面的要求：

- a) 风向风速仪应具备防盐雾腐蚀、防潮功能，防护等级不低于 GB/T 4208 规定的 IP65；
- b) 风速计测量范围：风速 0~50m/s, 分辨率 0.1m/s, 精度 $\pm 0.5\text{m/s}$ ；
- c) 风向计测量范围：0~360°，分辨率 1°，精度 $\pm 2^\circ$ 。

6.12 叶片要求

6.12.1 叶片的设计性能应满足 GB/T 25383 的要求。

6.12.2 叶片宜采用后掠设计，以应对极端阵风情况，被动减小叶片攻角，降低叶片载荷。

6.12.3 叶片宜采用 FRP 材料或其他材料，叶片设计宜使用成熟可靠的软件；结构设计在叶根区域进行设计加强。叶片表面选用高耐磨、高韧性、高耐候性的专用聚氨酯涂层，叶根高强度螺栓应进行防腐处理。叶片可根据用户需要涂刷国际通用的航空标志。

6.12.4 叶片宜采用钝尾缘翼型，使升力增加，提高空气动力效率，增加叶片的静载强度，并且降低疲劳载荷，有效提高疲劳强度，保障叶片安全性；宜采用涡流发生器，增加叶片运行工况内的最大升力系数，提高升阻比，提高风能利用系数。

6.12.5 叶片翼型通过 CFD 仿真计算和风洞试验进行验证。

6.12.6 叶片应具有优异的避雷系统，防雷系统的设计等级达到 IEC 62305-1 中 I 类。防雷系统应通过实验室测试或认证。

6.13 监控系统要求

6.13.1 监控系统应具备智能实时监控功能，支持对场站的风机进行集中监控、能量管理。其中，集中监控模块应能查看风机实时运行状态，并具有不间断电源，在停电或电网故障时不丢失运行数据及记录，应具备紧急停机、故障报警功能，能够操作机组启动、停机、

急停、偏航和复位；支持能量管理模块对风场风机有功功率、无功功率、电压以及功率因数等进行调节，符合 GB/T 19963.1 的要求。

6.13.2 监控系统应具备健康管理功能，能够对风机进行故障预警、故障诊断，对设备健康度进行评估，针对功率、风速、重要部件的温度、叶轮和发电机转速、振动等信号进行检测判断，出现异常情况（故障）时启动相应的保护动作或停机，同时显示已发生的故障名称。

6.13.3 监控系统支持发电功率预测功能，符合 NB/T 31046 的要求。

6.13.4 监控系统支持资产管理功能，对风机部件进行有效的管理，有故障知识库功能。

6.13.5 监控系统支持管理分析功能，能够生成发电量、发电时间、并网时间、功率曲线、可利用率、机组事件记录等各类生产分析报表。

6.13.6 监控系统支持三方数据发布功能，支持 OPC, Modbus, IEC104, SFTP 协议等。

6.13.7 监控系统支持本地历史数据存储功能，数据可保存 5 年以上，并支持云端长期保存。

6.13.8 监控系统支持权限管理功能，以及操作行为记录功能，根据不同权限实现不同安全级别的操控，所有关键控制功能具备二次确认和行为记录历史追忆。

6.13.9 监控系统应具备热备能力。

6.13.10 性能要求

6.13.10.1 系统并发数要求，系统架构采用高性能多处理并发。

6.13.10.2 数据查询速度要求，不超过 5s、支持高时间分辨率查询，多场点查询，不超过 5s、支持高时间分辨率查询，单层单场区域查询，不超过 2s。

6.13.10.3 数据采集要求。数据采集周期在 1000ms 以内、控制命令下发时间在 2s 以内、SCADA 监控界面每 2s 更新一次数据、报表查询加载控制在 10s 以内、故障告警本地 2s 内，远程在 10s 内、其他功能模块页面加载时间不超过 5s。

6.14 安全性要求

6.14.1 数据安全

6.14.1.1 数据传输应满足如下要求：

- a) 满足有效安全措施保证数据传输保密性，以及数据通道的安全性；
- b) 满足提供有效措施保证在突然断网、断电等突发情况恢复后，重要业务数据等能继续传输，且不丢失；
- c) 数据可在满足电网网络传输安全要求下，从本地上传到云端，传输需符合电网电力监控系统安全防护规定。

6.14.1.2 数据存储应满足如下要求：

- a) 满足采用加密或其他保护措施实现重要业务数据存储保密性；对数据资源的访问应提供权限控制；
- b) 用户在退出账号后，其鉴别信息应能够被彻底清除干净。

6.14.1.3 网络安全应满足如下要求：

- a) 满足建立网络安全管理制度，对网络安全配置、日志保存时间、安全策略等作出书面规定；
- b) 满足指定专人对网络进行管理，负责运行日志、网络监控记录的日常维护和报警信息分析和处理工作；

- c) 满足绘制与实际网络运行情况相符合的网络拓扑结构；
- d) 满足国家电网网络安全要求；
- e) 满足保证网络各个部分满足业务高峰期需要，且应设置优先级别，保证在网络拥堵时优先保护重要主机。

7 试验方法

7.1 工厂试验

7.1.1 机械连接性能检验

机械连接性能检验主要是检验机组各主要部件螺栓的连接情况，检验轴或者齿轮传动的连接情况，其检验方法如下：

- a) 检查螺栓、螺母是否有力矩标识；用 100% 的拧紧力矩对关键螺栓进行紧固性检验；
- b) 轴或齿轮传动的连接检验在装配时采用跟检方式，做好检验记录，供后续工序查验。

7.1.2 电气性能检验

检验机组的各主要部件如：机舱、轮毂、控制机柜、发电机、变流器、液压系统等电气或机电设备绝缘电阻和抗电强度。

绝缘电阻检验：电力线路、电气设备、控制柜外壳及次级回路间的绝缘电阻应大于1M Ω 。海拔升高，空气密度降低，使以空气介质为散热方式的产品散热困难，易造成绝缘强度降低。参考 GB/T 20645 中附录 A.2 一般海拔每升高 100m，绝缘强度降低 1%，温升增加约 0.4K，如表 4 所示。

表 4 温升极限值的海拔修正值

使用或实验地点的海拔高度 H 单位 (m)	温升 $\Delta \tau$ 单位 (K)
H=2000	0
2000<H \leq 2500	2
2500<H \leq 3000	4
3000<H \leq 3500	6
3500<H \leq 4000	8
4000<H \leq 4500	10
4500<H \leq 5000	12

7.1.3 台位试验

7.1.3.1 传动链台位试验

机组机械传动系统（含主轴、齿轮箱、联轴器和发电机）全部装配完成后，且相关辅助系统（如冷却、液压、润滑等）均处于可工作状态下对机械传动系统进行台位试验。

试验方法是通过电动机（也可采用其他方式）拖动机械传动系统使之处于旋转状态。在传动系统运转的情况下观察各机械传动部件运转是否平稳，振动和噪音是否异常，制动系统是否能正常工作，管路是否有渗漏等现象。

通过原动机改变机械传动系统的转速，在机组运行转速范围内多个点位，规定时间段，持续运行，极限分布，运行中观察各机械传动部件的工作情况。

7.1.3.2 轮毂组件台位试验

变桨轴承、驱动、控制及润滑系统经机械装配和电气连接并经检验合格后，通过对变桨驱动系统的控制，进行轮毂台位试验。

以不同的速度档位检测变桨驱动速度与给定要求的符合性，至少为两档。在整个运行范围内至少取 5 点检测桨距角度与给定位置的一致性，测试点在工作范围内均布，测试不同速度档位下的表现。检查传动机构运转情况是否符合工艺要求、其声音和振动是否正常，观察润滑系统工作是否正常，管路有否渗漏现象，控制系统的各种控制功能是否正确，后备电源管理是否正常，在紧急情况下安全动作是否能顺利执行。

轮毂组件运行正常的情况下进行变桨系统掉电故障检查，检查掉电后其桨距定位点应回到限位开关处。

7.1.4 拖动试验

7.4.4.1 控制器性能试验

控制功能主要是模拟机组的运行状态，检验控制器的响应与其功能及指标的符合性，试验方法按 GB/T 25386.2 的规定，其试验项目应结合机组技术条件确定。

7.1.4.2 发电系统并网试验

机组的并网试验应符合 NB/T 31003 的要求。

将发电系统安装在拖动试验台上，并与变流器进行连接，做发电机并网试验。并网前，不带负载，使发电系统在略高于最低运行转速位置运行；利用变流器的软件平台，对电机侧变流器输出的电压、频率、相位和电网进行同步性调节，达到同步后并网。记录并网和同步寻找的试验过程。并网电流应小于 20% 机组额定电流。

7.2 风场试验

7.2.1 机械连接性能检验

机械连接性能检验主要是检验机组吊装中各主要部件及设备的安装螺钉及螺栓的连接情况，其检验方法按 7.1.1 中的规定执行。

7.2.2 电气性能检验

电气性能检验主要包括对控制柜、发电机、变流器、变桨系统、测风系统等电气设备间的电气连接、等电位连接和接地连接以及照明电路的连接与设计图样的符合性，各电气设备及机电设备的绝缘电阻和抗电强度检查。电气连接按设计图样检查。绝缘电阻检查应符合 5.13.3 的规定。接地电阻应符合 5.13.5 的规定。

7.2.3 控制功能检验

依照变桨、变速恒频装置的控制程序和步骤，进行逐项功能试验和测试；机组运行状态参数的显示、查询、设置及修改可通过面板显示屏查询或修改，具体按 GB/T 25386.2 的规定进行。

7.2.4 安全保护功能检验

机组的安全保护功能试验应符合 GB/Z 25458 的要求。安全保护功能试验是在人为设置各种故障状态，观察机组的控制响应功能是否满足机组的安全设计要求。安全保护功能试验一般包括：

- a) 风轮转速超临界值；
- b) 机舱振动超极限值；
- c) 过度扭缆；
- d) 紧急停机；
- e) 电网失效；
- f) 风速信号丢失；
- g) 风向信号丢失；
- h) 变流器故障；
- i) 主控制器故障；
- j) 机械制动器故障。

7.2.5 并网试验

并网试验依据GB/T 19963.1的规定执行。

7.2.6 功率特性测试

功率特性试验方法按 GB/T 18451.2 的规定执行。

7.2.7 机械载荷测试

机械载荷测试方法按 GB/T 37257 的规定执行。

7.2.8 电能质量测试

按 GB/T 20320-2013 中第 7 章的规定执行。

7.2.9 噪声测试

按 GB/T 22516 的规定执行。

7.3 叶片试验

7.3.1 叶片的结构性能应满足 GB/T 25384的要求。

7.3.2 叶片应通过静力测试、疲劳测试、后静力测试，并通过试验结果评估。叶片静载强度测试载荷系数应 ≥ 1.1 ，疲劳强度测试载荷系数（200 万次）应 ≥ 1.315 ，后静力测试强度测试载荷系数应 ≥ 1.0 。

7.3.3 叶片静载强度、疲劳强度安全性均应 $\geq 100\%$ 。

7.4 控制系统电磁兼容试验

控制系统的电磁兼容试验方法按 GB/T 17626.2、GB/T 17626.3、GB/T 17626.4、GB/T 17626.5和GB/T 17626.12的规定执行。

8 检验规则

8.1 检验类别

机组产品检验分为出厂检验和型式检验。

8.2 检验规则

8.2.1 每台机组均应进行出厂检验，检验合格后签发合格证。

8.2.2 型式检验按下列情况进行：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 产品的设计、工艺等方面有重大改变时。

8.3 检验项目

出厂检验和型式检验项目见表 5。

表 5 检验项目

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	试验方法
1 工厂试验				
1.1	机械连接性能检验		△	见 7.1.1 (a) 和 (b)
1.2	电气性能检验		△	见 7.1.2
1.3	台位试验		△	见 7.1.3
1.3.1	传动链台位试验		△	见 7.1.3.1
1.3.2	轮毂组件台位试验		△	见 7.1.3.2
1.4	拖动试验		△	见 7.1.4
1.4.1	控制器性能试验		△	见 7.1.4.1
1.4.2	发电系统并网试验		△	见 7.1.4.2
2 风场试验				
2.1	机械连接性能检验	△		见 7.2.1
2.2	电气性能检验	△		见 7.2.2
2.3	控制功能检验	△		见 7.2.3
2.4	安全保护功能检验	△		见 7.2.4
2.5	并网试验	△		见 7.2.5
2.6	功率特性测试	△		见 7.2.6
2.7	机械载荷测试	△		见 7.2.7
2.8	电能质量测试	△		见 7.2.8
2.9	噪声测试	△		见 7.2.9
注：表中“△”表示该项为必选项。				

8.4 合格判定

将检测的数据进行整理、分析和对比，结果全部符合设计及工艺技术要求的判为合格。如有不合格的项目，可进行更换、调整、修复直至合格。

9 标志、包装、运输与贮存

9.1 标志

标牌应安装在塔架外侧，便于观看的位置。标牌的内容应包括：

- a) 产品名称；
- b) 产品型号；
- c) 额定功率（kW）；
- d) 输出电压及频率（V/Hz 或 kV/Hz）；
- e) 出厂编号；
- f) 出厂日期；
- g) 制造商名称。

9.2 包装

9.2.1 大型部件可不进行包装，但对有电气设备的部件应采取防雨措施，如机舱、轮毂组件等，对独立的电气、机电产品及机械零部件应有包装，如控制机柜、箱式变压器、螺栓、工具等。也可以根据不同需要，进行一般包装和密封包装。长时间海运和在湿热气候下运输时，电气设备应采用密封包装或有防潮措施的包装。

9.2.2 包装箱上应有下列标记：

- a) 名称和型号；
- b) 总质量（kg 或 t）；
- c) 制造商名称及产地；
- d) 收货单位和到站；
- e) 注意事项及起吊位置标志。

9.2.3 随机技术文件包括：

- a) 随机文件清单；
- b) 产品合格证；
- c) 产品说明书（包括使用、原理、维护等项）；
- d) 机组安装图；
- e) 电气接线图；
- f) 电气安装图；
- g) 装箱清单。

9.3 运输

运输方应勘察线路，提前确定运输路线，制定运输方案，做好细致的调查工作，落实沿线运输各环节事项，确保运输通畅，且保证运输的安全性和可靠性。

- a) 根据运输件的重量确保道路具有足够的承压能力、路面宽度和净空高度；
- b) 运输道路应尽量平坦，在平原风场最大坡度不宜超过10%。在山地风场最大坡度不宜超过16%，应注意道路坡度形成的凹、凸曲线，并应由运输公司制定具体爬坡运输方案；

- c) 根据运输件参数计算最小转弯半径，确保道路的转弯半径以及道路旁空间满足要求；
- d) 驾驶人员应具有相应的驾驶资质和相关运输经验，了解运输货物的性质（如防潮，防震，防压等），要严格保护所运货物，确保运输过程中的机组不受损伤和污染。
- e) 货物起运前运输方根据装货清单对所运货物进行清点。

9.4 贮存

9.4.1 机舱和轮毂原则上应存储在通风、干燥的室内。当室外场所满足以下条件时，也可存储在室外场所。

- a) 环境温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ ；当气温低于 -20°C 或高于 $+50^{\circ}\text{C}$ 时，禁止室外存储。若只能室外存储，当温度低于 -20°C ，应保证设备通电，手动打开电气柜内的加热器。

注：允许短时间存储最低温度低于 -40°C 。累计存储温度低于 -20°C 天数超过 20 天，则必须保证供电或者采取其它保温措施。

- b) 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

注：允许短时间机舱外部最大存储湿度小于 95%。如果机舱内累计湿度大于 80% 天数超过 20 天，则可将机舱内环境与外环境隔离后采用除湿机进行除湿处理。除湿后机舱内湿度应小于 70%。

- c) 污染等级按 GB/T 7251.1 中规定，不得低于等级 3。风沙较大和污染严重的地区禁止采用室外存储。否则，采用整体包装防护。
- d) 存储场所应配有电源箱（应包括 380VAC，63A 三相电源和 220VAC，32A 单相电源各一路），可供机舱内电气柜和轮毂内电气柜通电使用和加热器供电。并对特定部件进行定期储存维护。

9.4.2 允许露天贮存，但应有适当的防护措施。塔架露天存放时，法兰两端应安装专用支脚。塔段存放时最低离地面 100mm；存放时间较长时，应采取防护措施，防止塔段变形。

9.4.3 叶片可以露天存放，应考虑现场地形和风向的影响，对叶片进行适当保护，避免损坏叶片表面。

9.4.4 机组各部件运至风场未安装前，风场贮存期间，应确保零件、部件、组件包装的完好性，确保控制系统和有电气系统的部、组件不受到雨水、雷电及沙尘的侵蚀，并注意金属件的防腐和叶片的安全。