

双馈型风力发电机组 产品说明书



广东拓尔德能源集团有限公司

双馈型风力发电机组

产品说明书

警告

请阅读并遵守本手册和机器标牌上的安全事项及使用说明。否则，可能会导致严重的伤害、死亡或财产损失。请将本手册随机保存以备查询。

如何使用本手册

页码

本手册正文中每页都编有页码，位于每页左下角或右下角。页码采用“X-X”的式样（X表示阿拉伯数字），其中第一个数字代表该页面所属的章节，第二个数字代表该页面在所属章节中的序号。例如：“3-18”表示的是第3章第18页。其余依此类推。

目录

目录可以帮助快速定位相关信息。

建议在完全理解本手册内容之后，再通过查阅目录的方式使用本手册。

目录

1 机组简介	1-1
1.1 产品总述	1-3
1.2 机组结构	1-3
1.3 工作原理	1-4
1.4 机组主要特点	1-4
2 机组子系统及部件说明	2-1
2.1 风轮系统	2-3
2.1.1 总述	2-3
2.1.2 叶片	2-3
2.1.3 轮毂	2-4
2.1.4 导流罩	2-5
2.1.5 变桨系统	2-5
2.2 机舱系统	2-7
2.2.1 机舱底架	2-7
2.2.2 机舱罩	2-7
2.3 传动系统	2-8
2.3.1 总述	2-8
2.3.2 主轴装置	2-8
2.3.3 齿轮箱	2-9
2.3.4 联轴器	2-10
2.3.5 高速轴制动器	2-10
2.4 发电系统	2-10
2.4.1 总述	2-10
2.4.2 发电机	2-11
2.4.3 变流器	2-11
2.4.4 变压器	2-11
2.4.5 高压开关柜	2-11
2.5 偏航系统	2-11
2.6 控制系统	2-12
2.6.1 总述	2-12
2.6.2 主控系统	2-12
2.7 塔架系统	2-13
2.8 辅助系统	2-15
2.8.1 润滑系统	2-15
2.8.2 液压系统	2-15
2.8.3 冷却系统	2-15

2.9 附属设备	2-15
2.9.1 提升机	2-15
2.9.2 风速风向仪	2-15
2.9.3 警示灯	2-16
3 并网技术说明	3-1
3.1 总述	3-3
3.2 并网运行电压范围	3-3
3.3 并网运行频率范围	3-3
3.4 有功功率控制	3-3
3.5 无功功率控制	3-3
3.6 低电压穿越	3-3
3.7 高电压穿越	3-4
3.8 电能质量	3-4
3.9 一次调频	3-4
3.10 惯量响应	3-4
4 机组保护系统	4-1
4.1 安全链	4-3
4.1.1 组成及原理	4-3
4.1.2 安全链的触发	4-3
4.2 刹车系统	4-3
4.3 防雷接地系统	4-4
4.3.1 总述	4-4
4.3.2 外部避雷装置	4-4
4.3.3 内部避雷装置	4-4
4.3.4 接地系统	4-5
4.4 低温保护	4-5
4.5 高温保护	4-5
4.6 防腐保护	4-5
5 人身安全设计	5-1
5.1 个人穿戴设备	5-3
5.2 安全通道和作业平台	5-3
5.3 照明设施	5-3
5.4 跌落防护	5-3
5.5 消防设施	5-3
5.6 电气防护	5-3
5.7 警示和标志	5-3
6 附录	6-1

6.1 附录一：机组总体技术参数	6-3
6.2 附录二：机组设计满足的标准	6-4
6.3 附录三：术语及缩略语	6-5
6.4 附录四：单位换算参考表	6-5

机组简介

1.1 产品总述	1-3
1.2 机组结构	1-3
1.3 工作原理	1-4
1.4 机组主要特点	1-4

1. 机组简介

1.1 产品总述

TI-20050 是一款高速双馈并网型机组，采用水平轴、三叶片整体布局，示意图如右图所示。

机组设计满足的主要标准请参见“附录二：机组设计满足的标准”。



图 1-1 风力发电机组示意图

1.2 机组结构

机组主要包括以下结构：

- 风轮系统：包括叶片、轮毂、导流罩、变桨系统等。
- 机舱系统：包括机舱底架、机舱罩等。
- 传动系统：包括主轴装置、齿轮箱、联轴器、高速轴制动器等。
- 发电系统：包括发电机、变流器、变压器等。
- 偏航系统：包括偏航轴承、偏航驱动、偏航摩擦盘和偏航制动器。
- 控制系统：包括主控系统等。
- 塔架系统：包括塔筒等。
- 辅助系统：包括润滑系统、液压系统和冷却系统。
 - 润滑系统：包括变桨轴承润滑系统、主轴偏航润滑系统、齿轮箱内置润滑系统和发电机内置润滑系统。
 - 液压系统：包括液压站、油路、控制元件和相应的执行机构等。
 - 冷却系统：包括齿轮箱水冷系统和变流器水冷系统。
- 附属设备：包括提升机等。

机组总体结构示意图如下图所示。总体技术参数请参见“附录一：机组总体技术参数”。

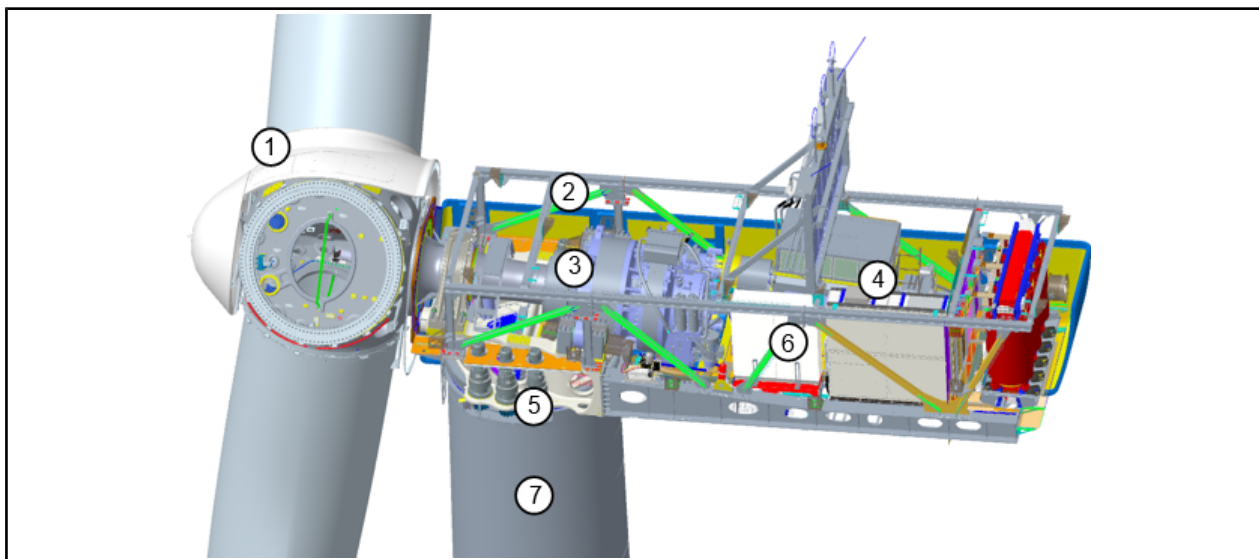


图 1-2 机组总体结构示意图

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1. 风轮系统 | 2. 机舱系统 | 3. 传动系统 | 4. 发电系统 |
| 5. 偏航系统 | 6. 控制系统 | 7. 塔架系统 | |

1.3 工作原理

风电机组是将风能转换为机械能，机械能转换为电能的电力设备，其工作原理是风力推动风轮旋转，通过传动系统驱动发电机发电，即风的动能转换为发电机转子的动能，最终发电机转子的动能又转换成电能，经整流装置调节后，保持恒定的输出功率，通过输电线路传输到电网。

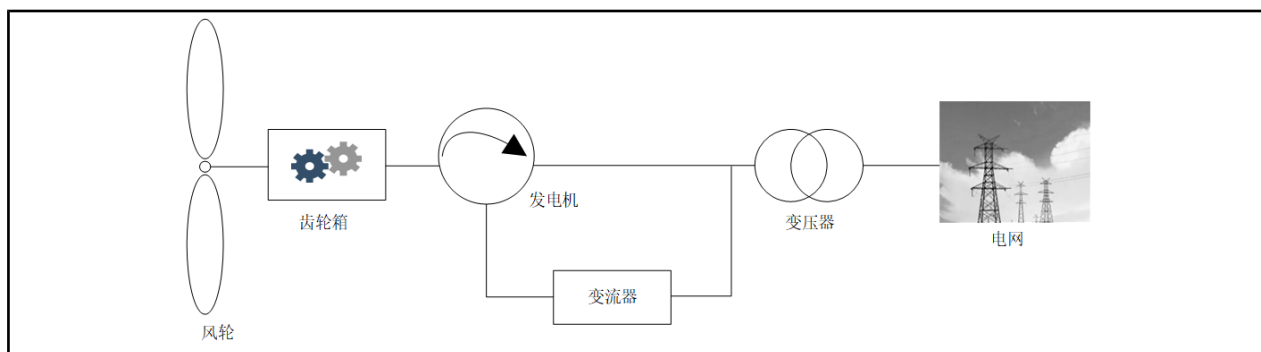


图 1-3 双馈发电简图

双馈发电机的转子通过双向变流器与电网连接，实现功率的双向流动。变流器根据风速和发电机转速的变化，通过调整发电机转子电流频率及相位，实现对机组的恒频控制。

由发电机和变流器构成的发电系统及变压器确保风力发电机组能够一直稳定为电网供电。

1.4 机组主要特点

机组具备发电能力强、可靠性高、电网友好及环境友好等特点。

发电能力

- 风能吸收：叶片满足最大化吸收风能要求。
- 转换电能：满足机械和电气效率方面的要求。

- 变桨控制：快速响应风速变化，满足最大化转化风能要求。
- 偏航控制：在风向变化的情况下，满足最大化吸收风能要求。

安全可靠

- 可靠性设计：采用冗余设计、裕度设计、环境适应性设计等可靠性设计方法，并对设计进行计算机仿真及验证。
- 承载能力：各部件子系统采用结构加强设计，进行全工况极限与疲劳载荷计算和强度校核，严格满足风电设计国际标准，保证风电机组安全可靠运行。
- 散热能力：齿轮箱和变流器采用水冷散热方式，散热效率高、可靠性好，确保部件可靠运行。
- 控制安全：具备正常停机、安全停机和安全链停机功能，满足多种工况下的停机保护要求。
- 防雷接地：满足防雷保护和电磁兼容抗干扰要求。
- 人员安全：采用跌落防护、消防装置、逃生装置等安全设计，确保人员安全。

电网友好

- 电网适应：电网电压或频率发生波动时，满足有功、无功、频率调节和惯量响应要求。
- 电压穿越：电网电压发生瞬变时，满足低电压和高电压穿越要求。

环境友好

- 环境适应：针对高温、低温、高海拔、潮湿等环境进行适应性设计，满足相应要求。
- 防沙尘功能：对机舱、叶片、内部各电气柜等部件以及转动部件与静止部件的连接处均进行密封设计，有效防止沙尘。

维护便利

- 机组维护：分体式的机舱罩和导流罩，宽敞的机舱工作空间，提高检查和维护效率，降低维护难度和成本。

机组子系统及部件说明

2 机组子系统及部件说明	2-1
2.1 风轮系统	2-3
2.1.1 总述	2-3
2.1.2 叶片	2-3
2.1.3 轮毂	2-4
2.1.4 导流罩	2-5
2.1.5 变桨系统	2-5
2.2 机舱系统	2-7
2.2.1 机舱底架	2-7
2.2.2 机舱罩	2-7
2.3 传动系统	2-8
2.3.1 总述	2-8
2.3.2 主轴装置	2-8
2.3.3 齿轮箱	2-9
2.3.4 联轴器	2-10
2.3.5 高速轴制动器	2-10
2.4 发电系统	2-10
2.4.1 总述	2-10
2.4.2 发电机	2-11
2.4.3 变流器	2-11
2.4.4 变压器	2-11
2.4.5 高压开关柜	2-11
2.5 偏航系统	2-11
2.6 控制系统	2-12
2.6.1 总述	2-12
2.6.2 主控系统	2-12
2.7 塔架系统	2-13
2.8 辅助系统	2-15
2.8.1 润滑系统	2-15

2.8.2 液压系统	2-15
2.8.3 冷却系统	2-15
2.9 附属设备	2-15
2.9.1 提升机	2-15
2.9.2 风速风向仪	2-15
2.9.3 警示灯	2-16

2. 机组子系统及部件说明

2.1 风轮系统

2.1.1 总述

风轮系统位于整机正前方，主要作用是捕捉风能，将风能转换为运动形式的机械能。

风轮系统由叶片、导流罩以及内部的轮毂、变桨系统组成，风轮系统示意图如右图所示。每个叶片配备独立的变桨系统，可根据风速和功率输出情况自动调节叶片桨距角。

风轮转速是通过控制叶片桨距角和发电系统转矩来调节的。在正常运行条件下，机组处于迎风位置，从正面看风轮按顺时针方向转动。

机组采用变桨距功率调节方式。

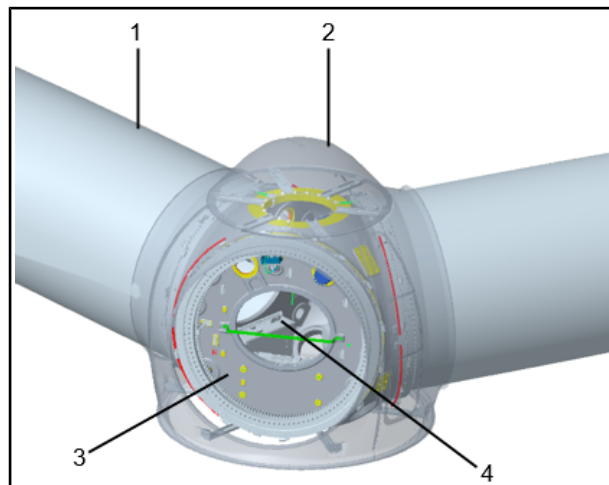


图 2-1 风轮系统示意图

- | | |
|-------|---------|
| 1. 叶片 | 2. 导流罩 |
| 3. 轮毂 | 4. 变桨系统 |

2.1.2 叶片

叶片是风轮最重要的部件之一，用来捕捉风能。叶片由玻璃纤维增强环氧树脂制成，表面采用抗污染性好、耐候性高的油漆保护层，叶片示意图如右图所示。叶片内置防雷电系统，在叶尖和距叶根一定距离处压力面和吸力面安装接闪器，通过电缆连接到叶根，再导入地下，防雷系统符合IEC61400要求。

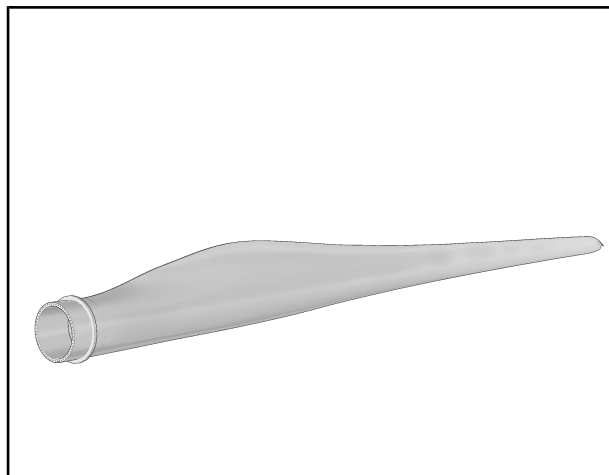


图 2-2 叶片示意图

叶片具有以下特点：

- 叶片采用高升阻比、低粗糙敏感性翼型，匹配整机转速范围广，发电性能优异。
- 叶片表面有充分的涂层，增强叶片表面抗污染、抗磨损、抗低温和防紫外线的性能，同时叶片前缘通过补涂层进一步防止腐蚀。

- 叶根采用螺栓连接，金属连接件均使用高强度钢制造，钢材料表面达克罗处理，防腐等级达到ISO9227要求。
- 每支叶片配备一套桨距角检测装置和独立的变桨机构，有效降低叶片上的不平衡载荷，提升关键零部件的可靠性，延长使用寿命。
- 可靠的空气制动系统，在必要情况下能快速顺桨（包括在电网断电等情况下），每支叶片配备至少两套90°限位保护装置，在第一道限位保护失灵的情况下触发第二道保护。
- 叶片上标识明确的吊装点。

2.1.3 轮毂

轮毂由球墨铸铁制成，为球状空心结构，轮毂示意图如右图所示。

轮毂有3个叶片轴承法兰面和1个主轴法兰面，这些法兰面分别通过高强度螺栓与三个叶片和主轴对接。风轮被锁定后，工作人员可以在保证安全的前提下，从机舱进入轮毂内部对变桨系统和叶片进行检查和维护。

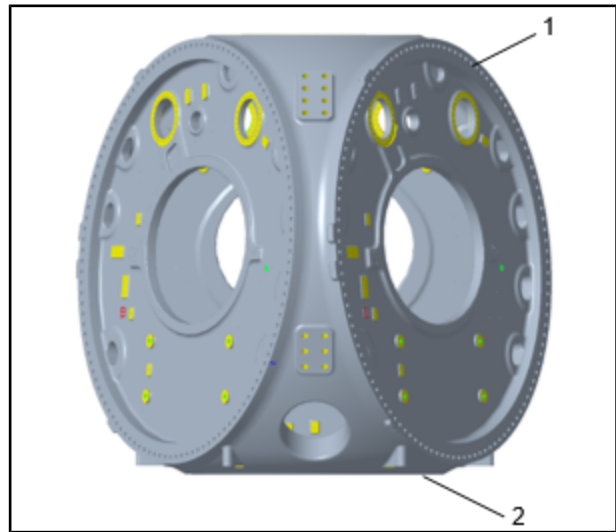


图 2-3 轮毂示意图

1. 叶片轴承法兰面

2. 主轴法兰面

2.1.4 导流罩

导流罩由导流罩顶、导流罩壁及前、后支架组成，示意图如右图所示。导流罩顶及导流罩壁由胶衣、聚酯树脂、玻璃纤维织物等材料复合而成，通过前、后支架与轮毂进行连接。

导流罩的作用是保护轮毂及变桨系统，使机组能在恶劣的气象环境中正常工作，不受风、雨、雪、盐雾、紫外辐射等外部环境因素的伤害。导流罩的流线型设计能够减少流经风轮的风对机组的冲击。

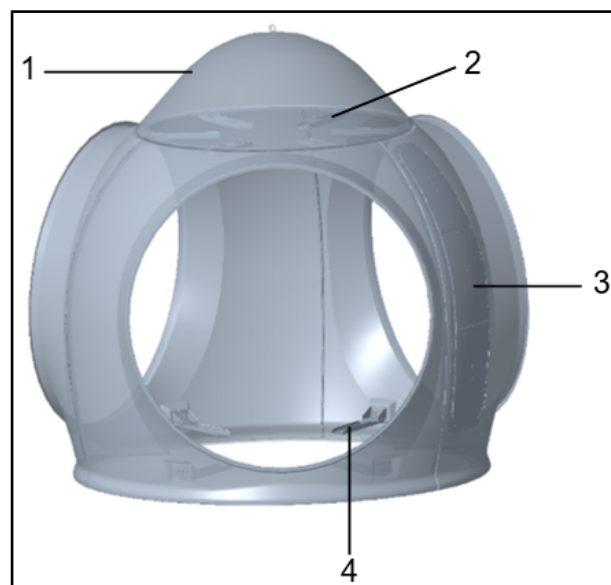


图 2-4 导流罩示意图

- | | |
|---------|--------|
| 1. 导流罩顶 | 2. 前支架 |
| 3. 导流罩壁 | 4. 后支架 |

2.1.5 变桨系统

变桨系统由变桨机构和变桨控制系统组成，变桨系统示意图如右图所示。

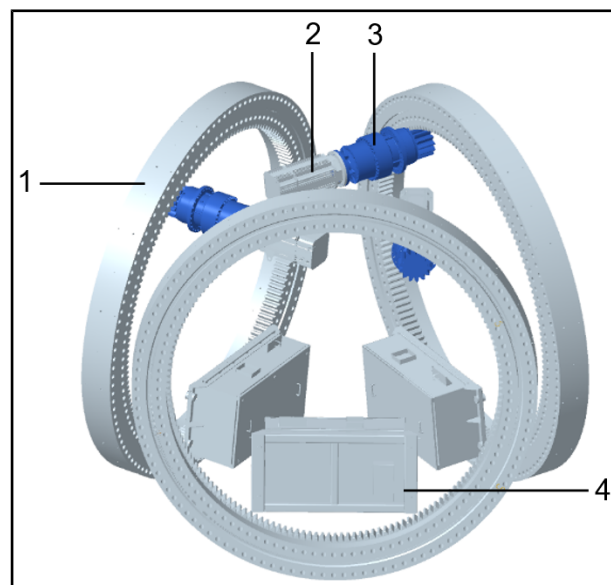


图 2-5 变桨系统示意图

- | | |
|----------|----------|
| 1. 变桨轴承 | 2. 变桨电机 |
| 3. 变桨减速机 | 4. 变桨控制柜 |

变桨机构

变桨机构的作用是按照主控制器根据实时风速下发的指令调节桨距角，使机组在最小的载荷下转换最多的风能。此外，变桨机构还能够在机组发生故障或者失灵时使叶片快速顺桨，避免机组结构和塔筒基础可能发生的超载现象，起到安全保护的作用。

每个叶片分别配备一套独立的变桨机构，包括变桨轴承、变桨减速机等。变桨减速机固定在轮毂上，变桨轴承的内环安装在叶片上，叶片轴承的外环固定在轮毂上。当变桨系统上电后，变桨电机带动变桨减速机的输出轴小齿轮旋转，而小齿轮与变桨轴承的内环啮合，从而带动变桨轴承的内环与叶片一起旋转，实现改变桨距角的目的。

变桨控制系统

变桨控制系统包括变桨控制柜、变桨电机等。变桨电机用于对叶片进行定位反馈，确保三个叶片同步运转。电网运行时，变桨电机由驱动器驱动；电网故障时，由备用电源供电。备用电源采用超级电容，变桨控制系统通过超级电容的充、放电电流和电压计算超级电容的容值，以保证超级电容具备完成紧急收桨的能力。三个变桨控制柜独立运行，即使其中一个变桨机构发生故障，另两个也能保证机组正确停机。

变桨控制系统的主要原理及结构如下图所示。

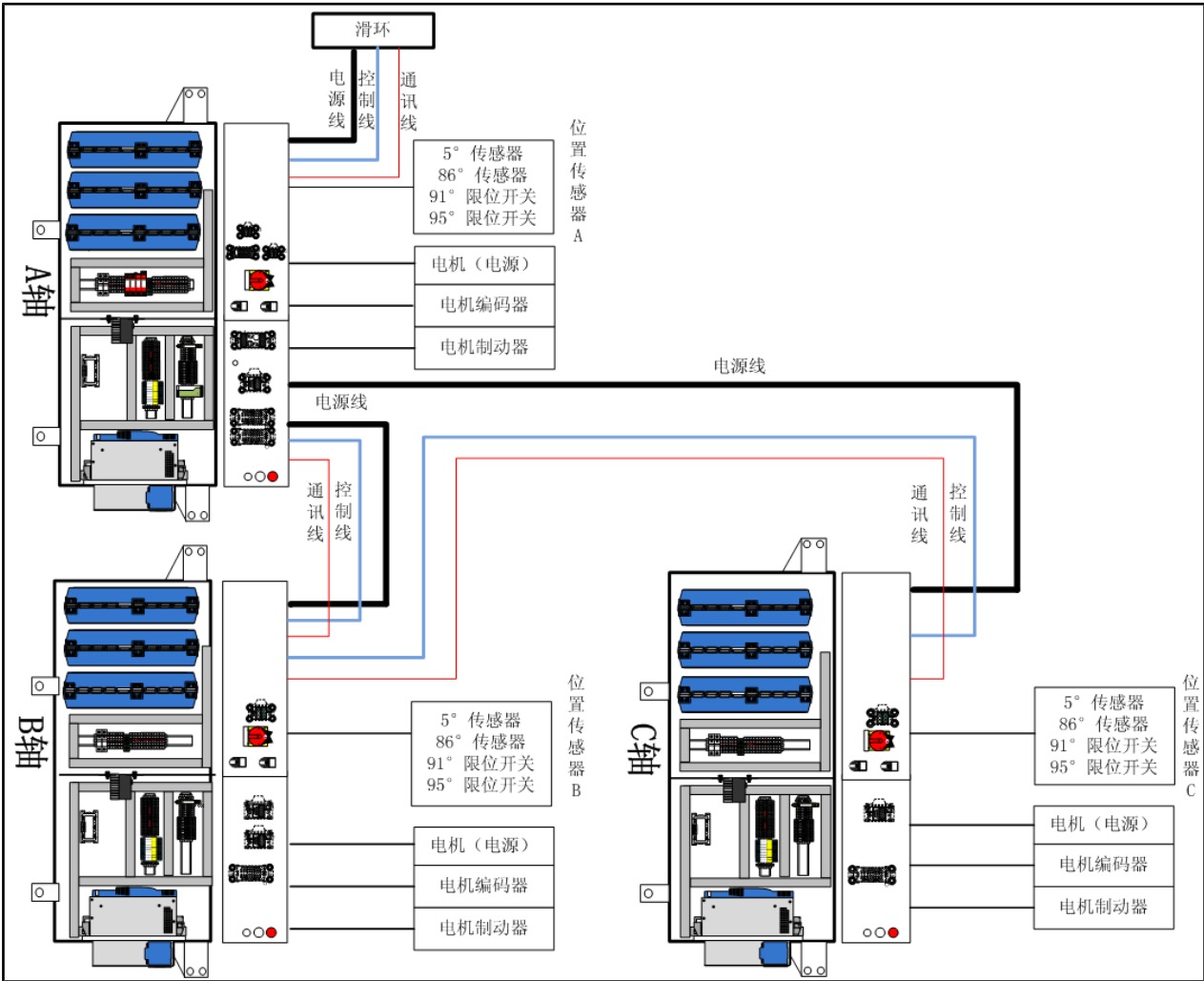


图 2-6 变桨系统的主要原理及结构图

风力发电机组主控系统与变桨系统采用CANOPEN协议进行通信。主控系统将变桨指令通过通信总线发给变桨系统，变桨系统执行指令完成变桨动作；当机组其他部位出现故障时，主控系统会触发安全链，通知变桨

系统进入急停收桨状态；当变桨系统内部出现故障时，变桨系统也会进入急停收桨状态，并通知主控系统；当供电系统出现故障时，备用电源供电进入急停状态，并通知主控系统。

变桨系统操作模式

变桨系统有四种操作模式：调试模式、手动模式、安全模式和自动模式，各模式运行状态说明如下。

1. 调试模式：通过调试软件与变桨控制柜相连实现相应调试功能。
2. 手动模式：通过控制变桨控制柜上的手动按钮控制叶片以预定速度旋转。
3. 安全模式：变桨系统不接收主控系统的指令，自动以紧急顺桨速度完成顺桨停机。
4. 自动模式：变桨系统跟随主控系统给出的位置指令旋转。

2.2 机舱系统

2.2.1 机舱底架

机舱底架由主机架、后底架、机舱框架和结构附件组成，机舱底架示意图如右图所示。其主要是作为机组主体塔筒以上部位的承力载体，用于安装主轴承、轴承座、齿轮箱、发电机、变流器、变压器和电控柜等，其下部连接偏航轴承及塔筒。

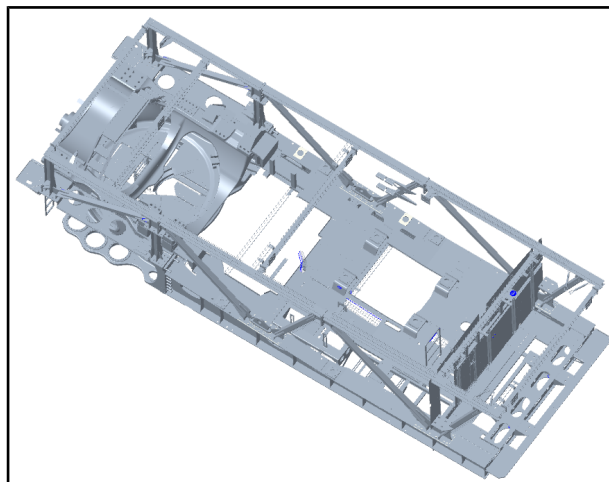


图 2-7 机舱底架示意图

2.2.2 机舱罩

机舱罩由胶衣、聚酯树脂、夹心材料、玻璃纤维织物等材料复合而成。机舱罩主要作用是保护机组内部设施免受外界环境影响，减少噪音的排放。机舱罩示意图如右图所示，通过支架与机舱底架连接。

机舱罩内侧有加强筋板，用以增加壳体的刚度及强度。机舱罩底部平台可以作为维护平台，工作人员可以在底部平台上面进行拆装、维修等活动。

机舱罩顶部有维修出舱天窗口和吊装窗口。工作人员可通过维修出舱天窗口从机舱内部到达机舱顶部。吊装窗口用于机组吊装。

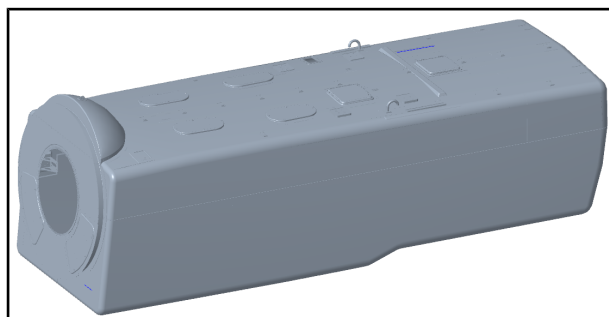


图 2-8 机舱罩示意图

2.3 传动系统

2.3.1 总述

传动系统连接风轮系统和发电机，主要作用是将从风轮系统输入的动力通过一系列部件输出给发电机。

传动系统由主轴装置、齿轮箱、联轴器、高速轴制动器等组成，传动系统示意图如右图所示。主轴与齿轮箱行星架内孔连接，通过齿轮箱锁紧盘抱紧，齿轮箱高速轴通过联轴器与发电机输入轴连接，齿轮箱上安装有高速轴制动器，通过摩擦联轴器上的刹车盘对齿轮箱高速轴进行制动。

传动系统中的主要机械部件(如齿轮箱、主轴承等)均处于实时监控状态下，各种故障隐患能够被及时跟踪和发现。

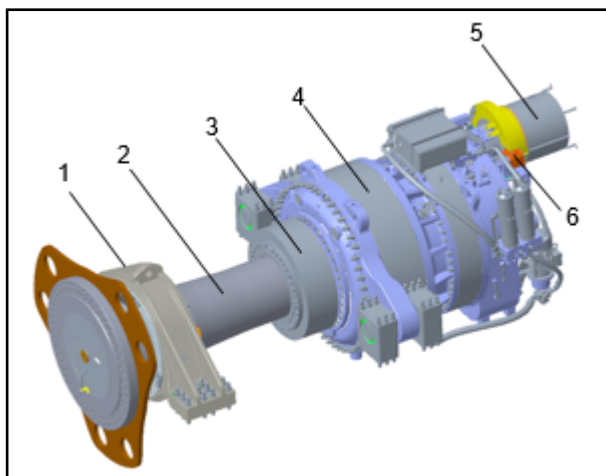


图 2-9 传动系统示意图

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. 轴承座 | 2. 主轴 |
| 3. 齿轮箱锁紧盘 | 4. 齿轮箱 |
| 5. 联轴器护罩 | 6. 高速轴制动器 |

2.3.2 主轴装置

主轴装置用来连接轮毂与齿轮箱，由主轴、主轴承及轴承座等组成，主轴装置示意图如右图所示。

- 主轴：主轴的前端通过螺栓与风轮刚性连接，后端通过齿轮箱锁紧盘与齿轮箱连接。二者通过拧紧的高强度螺栓使包容面产生压力和摩擦力，传递负载的同时避免零件因键联接而削弱强度，提高了零件的疲劳强度和可靠性。主轴轴心的通孔作为电线管路的通道。主轴在使用中因温度变化而引起的轴向伸缩和安装轴承的间距误差可以由采用弹性支撑方式安装的齿轮箱来补偿。
- 主轴承：主轴承采用调心滚子轴承，安装于主轴的一端，用于支撑主轴与定位。此轴承内圈用轴套与轴固定，外圈安装在轴承座内。主轴承能承载和传输风轮产生的轴向力、径向力、弯矩和转矩。
- 轴承座：轴承座固定在机舱底架上，用于支撑主轴承。

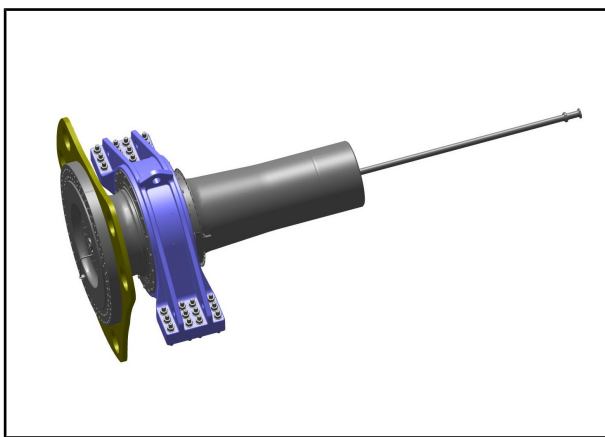


图 2-10 主轴装置示意图

2.3.3 齿轮箱

齿轮箱通过减振器固定在机舱底架上，主要作用是变速，向发电机提供动力。齿轮箱示意图如右图所示。

齿轮箱在结构上具有以下特点：

- 三级传动：两级行星斜齿轮和一级平行轴斜齿轮。
- 齿轮箱内部的太阳轮采用浮动结构，补偿了齿轮传动的装配误差，在一定程度上提高了齿轮箱传动的平稳性以及使用寿命。
- 使用较高啮合度的齿轮、较高刚度的轴与轴承，经过合理布置的轴系和轮系传动，保证了齿轮箱的低噪音运行。

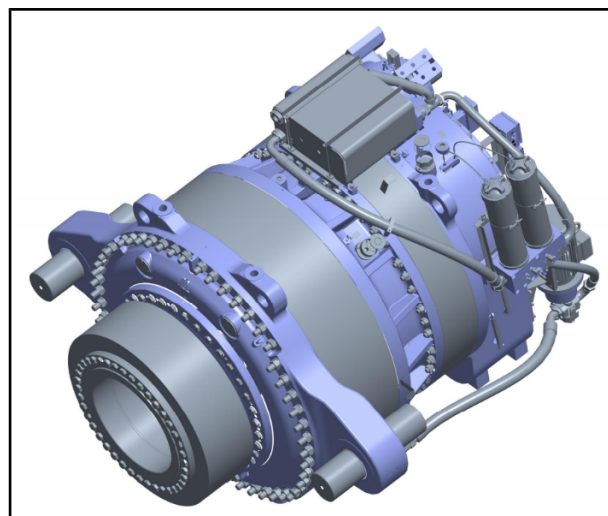


图 2-11 齿轮箱示意图

为保证稳定运行，齿轮箱配有以下装置：

- 高速轴制动器：安装在齿轮箱高速端底座上。
- 减振装置：减振器安装在齿轮箱与机舱底架连接处，由环状布置的弹性体层组成，可以补偿齿轮箱安装时轴向和径向的装配误差，同时降低由齿轮箱传递至主机架上的振动，防止和减少了机舱内的振动和由此发出的噪音，保证齿轮箱的平稳工作。
- 循环油冷却装置：保证齿轮箱工作温度不致过低或过高。
- 自循环润滑油泵：使用强制润滑和飞溅润滑的方式，对齿轮及轴承进行润滑。
- 齿轮箱连接至远程检测系统，上传系统的数据包括油池温度、油位、油压、压差、高速轴驱动端和非驱动端轴承温度。
- PT100测温传感器：高速轴、油池和分配器上均装有测温传感器，用于温度监控。监控结果可以在在线监测系统显示。
- 齿轮箱在关键部位设有观察口，用以检查齿轮箱内部轴承和运行情况。

2.3.4 联轴器

联轴器连接齿轮箱高速轴与发电机，联轴器示意图如右图所示。联轴器具有良好的绝缘性，并配有扭矩限制器，能够承受扭矩、转速、振动等载荷，并具有纠偏能力。

温度为20℃时，在2kV直流电压下，联轴器的阻抗大于等于10MΩ，能够承受2kV的高压，符合DIN VDE 0100part600标准，有效地防止寄生电流通过发电机转子流向齿轮箱。

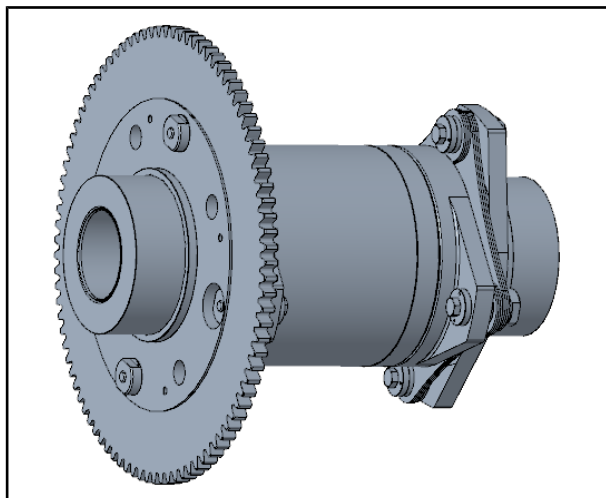


图 2-12 联轴器示意图

2.3.5 高速轴制动器

高速轴制动器安装在齿轮箱高速端底座上，由壳体、活塞、摩擦片组成。高速轴制动器的主要作用是锁定联轴器刹车盘。正常情况下，工作动力由液压站提供；如电网断电，蓄能器也能保证所需液压压力。

高速轴制动器是机组二级刹车(一级刹车为变桨系统)，不属于安全刹车装置，一般用于停机维护工况。

高速轴制动器的工作原理为：液压油进入液压缸，推动活塞向联轴器刹车盘方向移动，两个摩擦片各自压紧联轴器刹车盘的一侧，产生夹紧制动力；当液压油泄压时，装在摩擦片上的复位弹簧把摩擦片拉回，活塞退回液压缸内，制动力消失，联轴器刹车盘又能自由旋转。

高速轴制动器具有检测摩擦片磨损极限的功能，当摩擦片磨损达到极限时，会向主控发出报警信号。

2.4 发电系统

2.4.1 总述

发电系统的主要作用是将机械能转换为电能，并保证供应稳定的电功率到电网。发电系统由发电机、变流器、变压器等组成。

2.4.2 发电机

机组发电机为双馈式，其转子与变流器相连，定子直接连接到电网上。发电机示意图如右图所示。

发电机具有以下设计特点：

- 装有短路和过载保护装置。
- 定子和轴承等位置装有温度传感器，使发电机处于连续监控状态。
- 装有减振装置，以保证运行稳定。

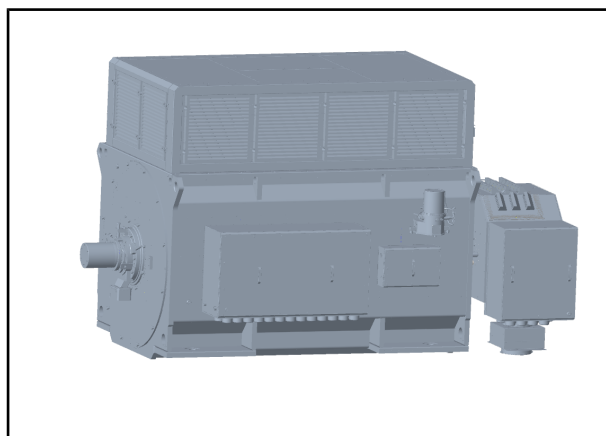


图 2-13 发电机示意图

2.4.3 变流器

变流器及其选配件主要用于双馈风力发电机组配套。变流器的主要作用是控制发电机转矩，同时，将电能馈送到电网，实现双馈发电机的变速恒频控制。它兼有一定的无功补偿能力，是机组系统中的关键部件之一。变流器与风力发电机组主控制器进行通讯，接收主控制器的控制指令，并将变流器的状态信息上传给主控制器或远程监控系统。

2.4.4 变压器

变压器安装于风机机舱内部，其功能为连接风电机组和风电场电力汇集网络，将风电机组输出的电能升压后汇入到电网中。

2.4.5 高压开关柜

高压开关柜适用于40.5kV供电线路的环网供电或双辐射供电，可改变原来的单辐射供电方式，当线路发生故障时，它能及时恢复变压器回路馈电，大大提高了供电的可靠性和利用率，同时高压开关柜使用安全、不受气候影响，安装容易、维修少，节约空间。

2.5 偏航系统

偏航系统位于塔筒与主机架之间，主要作用是使机舱在塔筒上旋转。另外，偏航系统还可以检测电缆绞扭情况，必要时对电缆进行解缆。

偏航系统由偏航摩擦盘、偏航轴承、偏航驱动和偏航制动器组成，偏航系统示意图如右图所示。偏航轴承外圈与塔筒紧固在一起，偏航轴承内圈与机舱底架连接在一起。

机组采用主动偏航对风形式工作：当风向改变时，风向仪将信号传到控制系统。偏航驱动接受来自控制系统的信号，驱动小齿轮在大齿圈上旋转，从而带动机舱旋转，使风轮对准风向。机舱可以向两个方向旋转，旋转方向由接近开关进行检测。当机舱向同一个方向旋转的角度达到解缆角度时，主控系统控制机组执行解缆。

2.6 控制系统

2.6.1 总述

控制系统是风力发电机组最核心的部件之一，它的基本目标为在保证机组安全、可靠运行的前提下，将风能最大程度地转换成电能。

2.6.2 主控系统

风力发电机组的控制系统是综合性控制系统，不仅要监视电网、风况和机组运行参数，对机组进行并网、脱网控制，以确保运行过程的安全性和可靠性，还要根据风速、风向的变化，对机组进行优化控制，以提高机组的运行效率和发电量。为了实现机组发电控制、安全控制及整机监控等功能，结合机组空间结构特点，主控系统采用分布式控制，设立塔底主控主站和机舱主控从站，与变流器、变桨系统等组成机组控制系统。通过光纤环网交换机与监控中心服务器通讯。

主控系统示意图如下图所示。

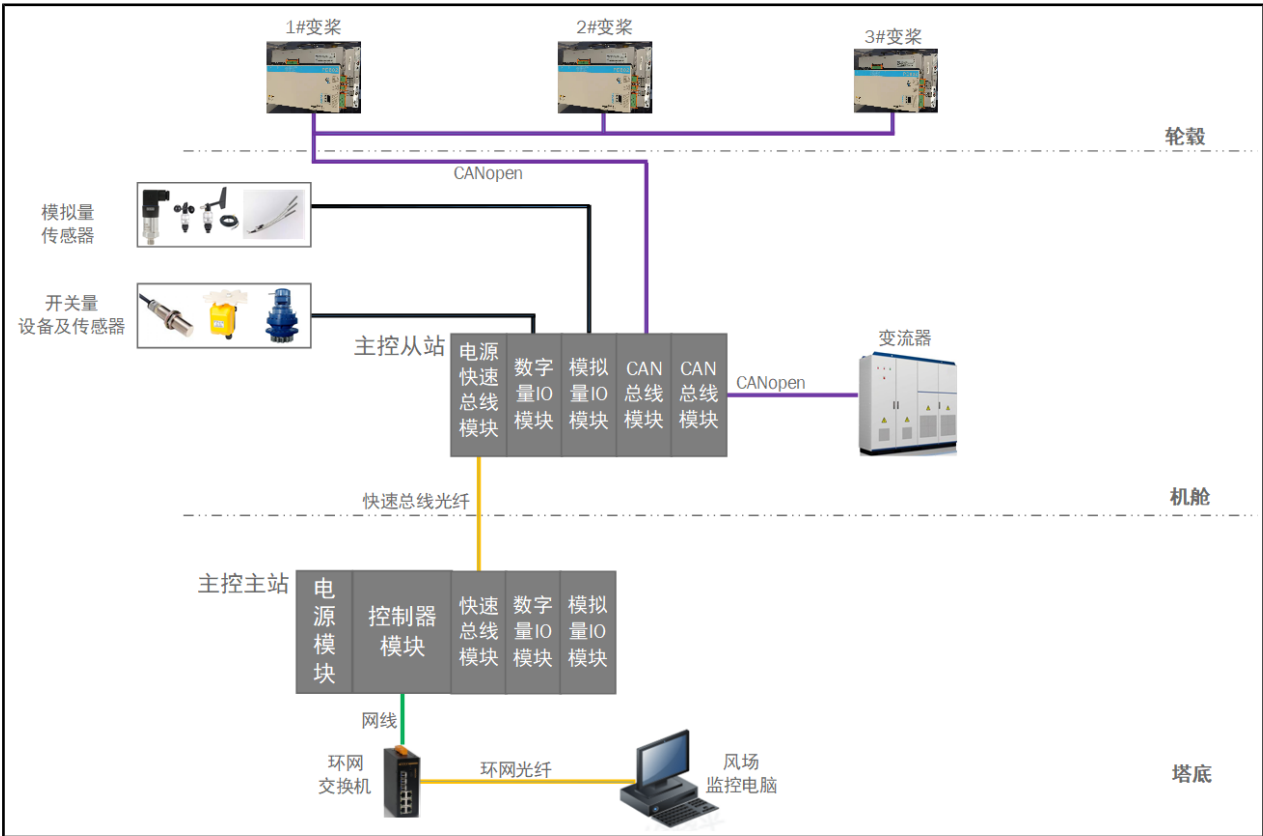


图 2-14 主控系统示意图

主控系统功能分为两类：

- 运行功能：与风力发电机组运行直接相关，将风能转换为电能输出的功能。
- 辅助功能：为运行功能提供保障和支持服务的功能。

表2-1 主控系统功能

序号	功能	子功能	说明
1	运行功能	偏航/解缆控制	根据风向仪传感器测量值，下达机舱偏航控制指令，机舱主动对风；监测塔筒内电缆扭缆状态，给出解缆指令
		变桨控制	协同变桨系统、变流器，在不同风速段、不同工作条件下，采用不同的控制方法调整机组的运行状态，实现发电量提升和载荷优化
		变流控制	
		并网脱网控制	控制机组输出电参数满足并网条件；下达与电网连接指令；下达断开电网连接的指令
2	辅助功能	设备状态和环境状态检测	根据温度传感器测量值，下达加热或冷却指令；根据机械部件、齿轮箱、电机的旋转及振动状态等参数，对设备工况做出判断；处理温度、压力等传感器的测量值，根据设定和逻辑判断是否存在故障或隐患
		日志、报警与故障处理	生成和存储日志；生成和存储报警；按照故障码执行预定停机策略
		液压系统	控制液压系统建压，提供机械能量给刹车制动器
		远程通讯	与远程监控系统进行数据交换
		人机界面交互	提供本地人机界面交互；实现参数设置和查询功能；提供维护和调试环境

2.7 塔架系统

塔筒的主要作用是支撑风力发电机组机舱、风轮等部件，承受来自机组各部件的所有载荷。

塔筒为钢制圆锥筒式，由多段塔节组成，塔筒示意图如下图所示。上端与整机偏航轴承连接，下端与锚栓基础连接。每段塔筒上、下两端有连接法兰，通过螺栓连接。塔筒还配置有多个维护平台，用于塔筒连接螺栓、扭缆系统等部件的安装和维护以及工作人员休息。塔筒顶部平台中心设计有进入机舱的方形爬梯。塔筒内根据需求可配置免爬器、升降机等辅助提升设备，并配置有防坠保护装置。

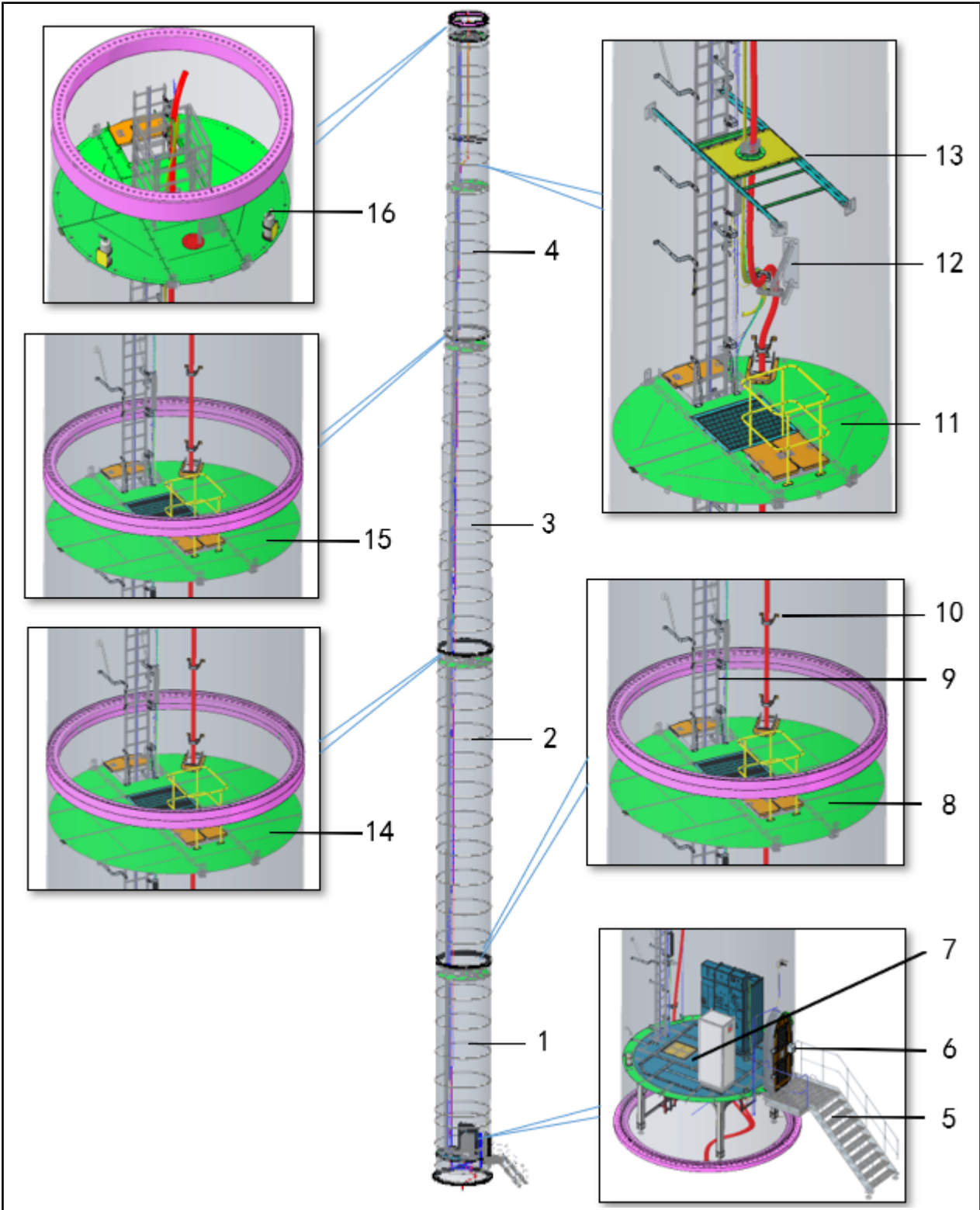


图 2-15 塔筒示意图

- | | | | |
|------------|-------------|-------------|------------|
| 1. 第一节塔筒 | 2. 第二节塔筒 | 3. 第三节塔筒 | 4. 第四节塔筒 |
| 5. 外爬梯 | 6. 塔筒门 | 7. 电气柜平台 | 8. 第一节塔筒平台 |
| 9. 爬梯组件 | 10. 电缆夹组件 | 11. 扭缆平台 | 12. 马鞍桥架 |
| 13. 扭缆限位支架 | 14. 第二节塔筒平台 | 15. 第三节塔筒平台 | 16. 塔筒顶平台 |

2.8 辅助系统

2.8.1 润滑系统

润滑系统包括变桨轴承润滑系统和主轴偏航润滑系统，齿轮箱和发电机分别有自带的润滑系统。

变桨轴承润滑系统和主轴偏航润滑系统均由润滑泵、分配器、管路附件等组成。通过润滑泵依次连接各级分配器将润滑脂交替供送到各润滑点。在主分配器上设置柱塞探测器，用来监控整个系统的工作状态。

2.8.2 液压系统

液压系统主要作用是高速轴制动器提供制动力和为偏航系统提供制动力及偏航余压，由液压站、油路、控制元件和执行机构组成。

液压单元与主动式制动器配套使用，同时连接偏航制动器，液压系统通过电机和泵将电能转换为油压和液压油的流动。当液压系统没有故障，系统压力低于启动液压泵压力设置值时，启动液压泵。系统压力高于停止液压泵压力设置值时，液压泵停止工作。

2.8.3 冷却系统

冷却系统包括齿轮箱水冷系统和变流器水冷系统，为齿轮箱和变流器的正常运行提供保障，满足大型风电机组的冷却要求。

冷却系统由水冷泵站、舱外散热器和水冷管路组成。冷却液通过水冷管路在水冷泵站、舱外散热器和被冷却部件（齿轮箱/变流器）之间循环流动，源源不断地将部件运行过程中产生的热量带走，保证机组在合理的温度范围内运行。

水冷泵站中的离心泵是系统的动力源，为冷却液提供驱动力。冷却液进入被冷却部件（齿轮箱/变流器）后，通过对流和传导将部件运行过程中产生的热量带走。升温后的冷却液通过舱外散热器与外部空气进行换热，实现降温。降温后的冷却液再次进入被冷却部件，这样完成一次冷却循环。

冷却系统具有如下特点：

- 舱外散热器安装在机舱顶部，采用低能耗的自然风冷散热技术，通过自然风吹过散热片进行散热，无需再配置风扇和电机强制吹风，有效降低机组自耗电。
- 在齿轮箱水冷系统和变流器水冷系统进、出口均设有温度和压力传感器，并通过风电机组主控系统对水冷系统温度和压力进行实时监控，可实现故障报警、停机功能。

2.9 附属设备

2.9.1 提升机

机舱内安装了提升机，可用于日常维护工具及零件的吊运。

2.9.2 风速风向仪

超声波式风速风向仪(选配)或机械式风速/风向传感器安装在舱外散热器上。超声波式风速风向仪和机械式风速/风向传感器均具备抗冰冻功能。作为主控系统变桨以及偏航的传感器，其主要作用是测量风速与风向。

2.9.3 警示灯

风电机组配备符合各类规定的信号设备和信标系统，可在夜间闪烁运行。



图 2-16 警示灯示意图

并网技术说明

3 并网技术说明	3-1
3.1 总述	3-3
3.2 并网运行电压范围	3-3
3.3 并网运行频率范围	3-3
3.4 有功功率控制	3-3
3.5 无功功率控制	3-3
3.6 低电压穿越	3-3
3.7 高电压穿越	3-4
3.8 电能质量	3-4
3.9 一次调频	3-4
3.10 惯量响应	3-4

3. 并网技术说明

3.1 总述

风电机组与电网连接采用一机一变（变压器上置）的形式，具有安全可靠、技术性能先进、安装使用方便、维护工作量小、符合环保要求、智能化等优点。

3.2 并网运行电压范围

风电机组默认正常运行的电网电压偏差范围为 $\pm 10\%$ 额定电压。

3.3 并网运行频率范围

风电机组默认正常运行的频率范围为 $47.5\text{Hz} \sim 52.5\text{Hz}$ （实际根据当地电网要求调整）。

对于独立的小电网，需要查验电网的实际状态。

3.4 有功功率控制

风电机组的有功功率控制具备连续动态调节功能，配合拓尔德 管理系统，在风电场有功功率的不同控制模式下，以及有功功率变化率方面，均满足GB/T 19963.1《风电场接入电力系统规范 第一部分：陆上风电》要求。

3.5 无功功率控制

风电机组的无功功率控制可根据风电场自动电压控制系统下发的无功功率指令动态连续调节，最大感性无功和最大容性无功可根据功率因数0.95计算得到。

3.6 低电压穿越

风电机组具备良好的低电压穿越性能，并满足GB/T 19963.1《风电场接入电力系统规范 第一部分：陆上风电》中关于低电压穿越的要求。

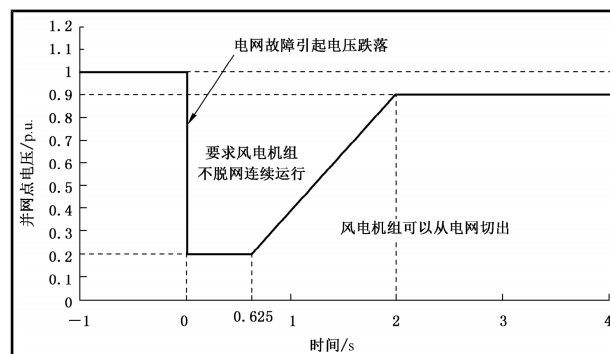


图 3-1 风电场低电压穿越要求

3.7 高电压穿越

风电机组具备良好的高电压穿越性能，并满足GB/T 19963.1《风电场接入电力系统规范 第一部分：陆上风电》中关于高电压穿越的要求。

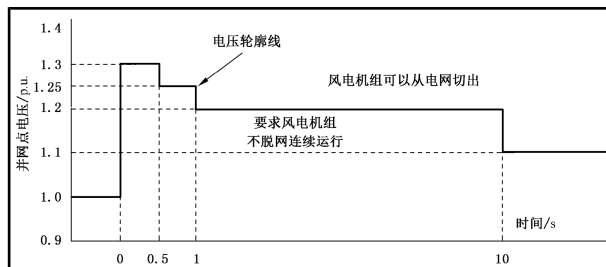


图 3-2 风电场高电压穿越要求

3.8 电能质量

风电机组运行时的电能质量完全符合以下相关标准要求：

GB/T 12325 《电能质量 供电电压偏差》

GB 12326 《电能质量 电压波动和闪变》

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》

3.9 一次调频

风电机组的一次调频功能满足GB/T 36994《风力发电机组 电网适应性测试规程》中的要求，支持本地和远程两种控制方式。在远程控制方式中，由风场级一次调频设备下发调频有功指令，由能量管理系统完成有功功率分配。

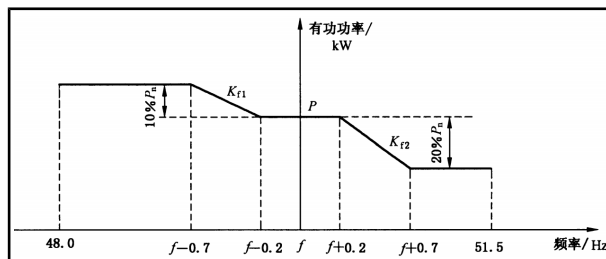


图 3-3 一次调频功能要求

3.10 惯量响应

风电机组的惯量响应功能满足GB/T 36994《风力发电机组 电网适应性测试规程》中的要求，支持本地和远程两种控制方式。在远程控制方式中，由风场级快频响应设备直接下发惯量响应的触发指令和附加有功指令到风电机组，由风电机组执行。

惯量响应功能具备和一次调频协调控制的功能，可实现连续平滑过渡。

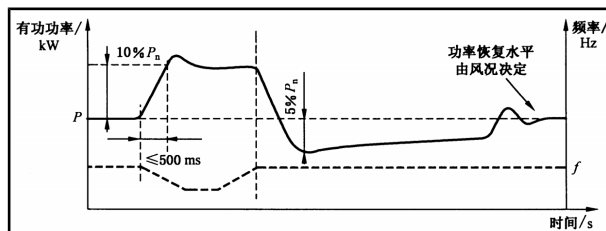


图 3-4 惯量响应要求

机组保护系统

4 机组保护系统	4-1
4.1 安全链	4-3
4.1.1 组成及原理	4-3
4.1.2 安全链的触发	4-3
4.2 刹车系统	4-3
4.3 防雷接地系统	4-4
4.3.1 总述	4-4
4.3.2 外部避雷装置	4-4
4.3.3 内部避雷装置	4-4
4.3.4 接地系统	4-5
4.4 低温保护	4-5
4.5 高温保护	4-5
4.6 防腐保护	4-5

4. 机组保护系统

4.1 安全链

4.1.1 组成及原理

安全链是一系列连锁监控设备，独立于主控系统。安全链的主要作用是当主控系统由于紧急状况无法工作时，实现紧急停机。

安全链由一系列实效保护触点串联组成，在正常情况下形成闭环通路。安全链由机舱紧急开关、振动开关触点、超速保护开关、继电器以及偏航极限保护开关等硬件组成。其中，链条中任一个环节断开，都将直接导致安全系统被触发、刹车系统执行相应的操作。

4.1.2 安全链的触发

安全链是由各部件根据触发不同刹车程序的顺序连接而成。安全链连接的部件如下：

- 机舱急停
- 塔底急停
- 主轴/高速轴超速
- 振动
- 扭缆极限
- 看门狗
- 主控主动断开安全链
- 过功率及变流器断开安全链
- 变桨断开安全链

4.2 刹车系统

机组有气动刹车系统(通过变桨系统实现)和高速轴制动系统两套刹车系统。气动刹车系统为一级刹车系统，高速轴制动系统为二级刹车系统。

正常制动时，一级刹车系统启动，叶片进行收桨，机组正常停机。

紧急制动时，手动按下急停按钮，一级刹车系统先启动，叶片快速收桨，随后二级刹车系统启动，机组紧急停机。

机组的刹车状态可由以下方法复位（解除刹车状态）：

- 状态码设置成自动复位，程序在满足条件时自动解除；
- 由用户复位；
- 通过中央监控系统软件复位。

另外，在低速轴部位还设有风轮锁紧销。作为风轮锁定装置，锁紧销能够在设备检修或故障情况下，通过机械锁紧风轮确保风轮停止转动，保证风力发电机组检修时安全。

4.3 防雷接地系统

4.3.1 总述

机组的防雷接地系统由外部避雷装置与内部避雷装置组成，防雷接地系统的设计需符合IEC61400-24-2019标准。外部避雷装置能够将直击雷电流引入大地泄放掉，从而保护机舱外露设备；内部避雷装置能够防止雷电产生的瞬间脉冲感应电压对机舱内部电气设备造成的影响。

4.3.2 外部避雷装置

叶片上安装有防雷接闪器，引线预埋在叶片内，防雷接闪器通过引线连接至叶片根部的防雷支架。叶片根部的防雷支架通过编织扁铜线与轮毂端防雷支架连接，轮毂端防雷支架通过螺栓固定在轮毂上。轮毂通过主轴防雷碳刷与机舱底架连接，再经由接地电缆、偏航防雷碳刷以及塔筒等电位连接线一路连接至塔底接地环。这些防雷设施共同形成一个完整的雷电流泄放通道。这样雷电流可以安全地传输到地下(如图4-1所示)。

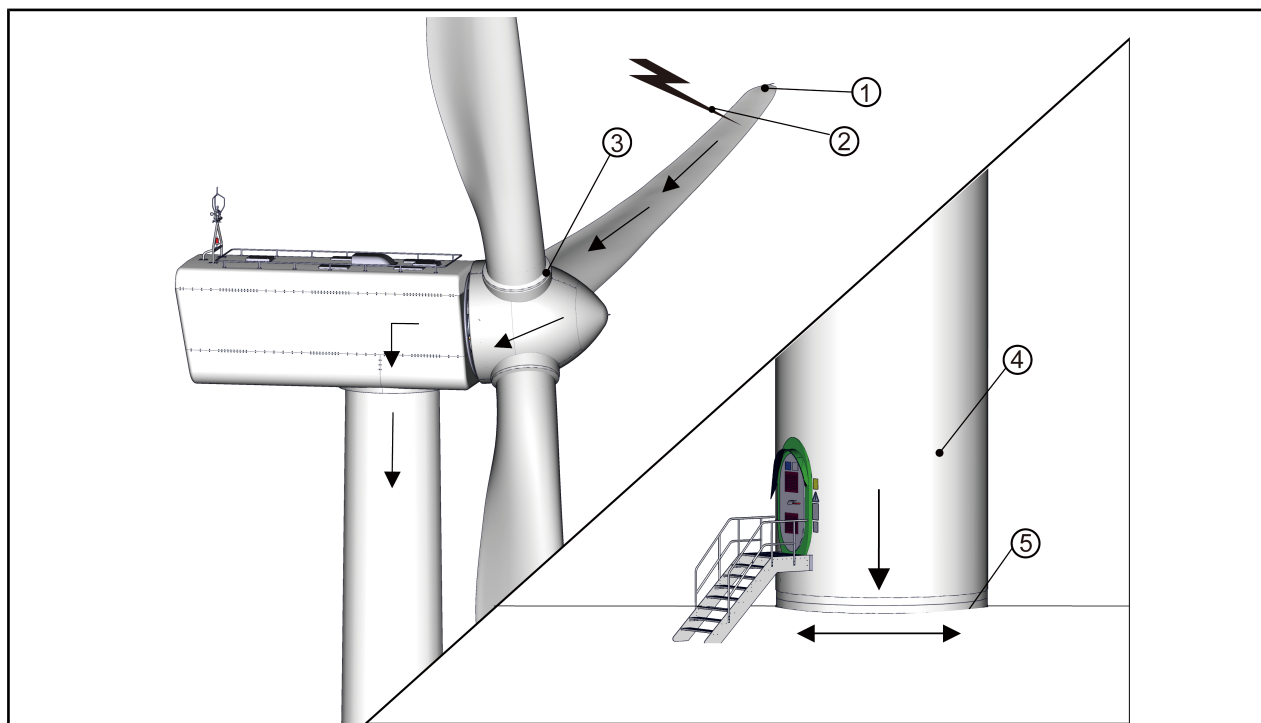


图 4-1 外部防雷通道示意图

1. 防雷接闪器 2. 云端雷电 3. 主轴防雷碳刷 4. 塔筒 5. 塔底接地环

4.3.3 内部避雷装置

系统中使用的电气设备比如主控柜、偏航电机和发电机都通过与机舱底架连接实现等电位，消除各电气设备之间的电压差，避免因雷电、设备漏电或设备接地短路导致的设备损坏和触电风险，同时降低共模干扰，保证电气设备的性能指标。另外，通过在电气设备上安装避雷器，对瞬间脉冲感应电压进行泄放，避免损坏电子器件。

4.3.4 接地系统

基础接地网是在施工过程中安装的。基础接地网至少有三个钢筋接头引出地面，与塔底的接地扁铁焊接，构成环状接地装置。接地扁铁上每隔一段距离开一个孔，用于压接与塔筒基础法兰接地螺柱连接的接地线，由此泄放风机顶部遭受的雷击电流。机舱外部变压器、转接站中的接地装置与机组的接地装置相连。

机组的基础接地是依据现场具体要求、项目当地的电气规定和要求而设计的。塔底接地扁铁（包含）及以下的接地装置由业主负责设计，设计需符合IEC61400-24-2019标准中对基础接地的要求；塔底接地扁铁以上机组内的防雷接地由拓尔德进行设计。

4.4 低温保护

风电机组的结构件、传动件、紧固件、电气元件、控制系统、机舱内加热与密封等部件均进行了低温设计，能够保证风电机组在低至-30℃的环境下正常运行，风电机组生存环境温度可低至-40℃。

- 塔筒筒体、法兰均采用耐低温钢板，焊缝及热影响区的性能达到母材的要求。
- 叶片加入低温粘结剂。
- 主轴、轮毂、主机架等关键部件均由耐低温材料制成。
- 为防止低温情况下结露，发电机设置绕组加热器。
- 机组所有的润滑油脂均具有低温特性(换油后耐低温性取决于用户使用的油品类型)。

4.5 高温保护

风电机组进行了耐高温设计和试验，能够保证风电机组在长时高温的外部环境和自身系统运行散发热量的双重影响下仍能可靠运行。

- 机舱和塔架均设有通风系统，保证机舱和塔架的通风散热性能。
- 发电机、齿轮箱、变流器等关键部件均自带散热系统。
- 风电机组已进行严格的耐高温测试和散热系统测试，具备高温运行可靠性。

4.6 防腐保护

机组外部满足ISO 12944-2的C4类防腐等级；内部满足C2或C3类防腐等级。

人身安全设计

5 人身安全设计	5-1
5.1 个人穿戴设备	5-3
5.2 安全通道和作业平台	5-3
5.3 照明设施	5-3
5.4 跌落防护	5-3
5.5 消防设施	5-3
5.6 电气防护	5-3
5.7 警示和标志	5-3

5. 人身安全设计

5.1 个人穿戴设备

通常风场会提供全身式安全带、防护服、安全帽等个人穿戴设备，保证工作人员在攀爬风机、机舱内部活动及出舱作业时的安全。同时，机组配备用于保护工作人员安全的装置，用于降低安全风险，确保人身安全。

5.2 安全通道和作业平台

工作人员可以通过塔筒底部的塔筒门进入机组内部，从塔筒底部可以使用爬梯或免爬器到达机舱，从机舱可以通过出舱口到机舱顶部平台。

在需要逃生时，除了以上常规路径外，机舱内配备高空逃生装置，供工作人员在紧急情况下逃生使用。

机舱、塔筒内各通道均无易造成人员伤害的尖锐部件。所有可能出现危险的地方均有保护盖覆盖，用工具才能打开或移除保护盖。确保人员通过时不会受到伤害。

机组内的作业空间和站立平台满足人员站立作业要求。

5.3 照明设施

机组的塔筒、机舱和轮毂部位均安装了照明器件。机组外部电源中断时，机组内的应急照明系统可满足必须的照明条件。

5.4 跌落防护

机组配有防坠落装置，配合安全带，能保证工作人员攀爬上下机组塔身时的安全。假如工作人员从梯子滑落，防坠滑块会卡在梯子的导轨上，防止人员坠落。

5.5 消防设施

机组内配置了多个手提式灭火器。

机舱除了配置手提式灭火器外，还配置有自动消防系统。

5.6 电气防护

机组内设置紧急停机按钮，可保证在紧急情况下对机组进行停机断电。

机组中高压电气设备部件的设计，能确保人员操作时有足够的安全距离，并防止误碰。

5.7 警示和标志

机组可能会给操作者带来危险的部位均设置有安全警示牌。

所有操作元件和按钮的功能都清楚地标识，便于工作人员操作，并能防止被意外触动。

附录

6 附录..... 6-1

6.1 附录一：机组总体技术参数..... 6-3

6.2 附录二：机组设计满足的标准..... 6-4

6.3 附录三：术语及缩略语..... 6-5

6.4 附录四：单位换算参考表..... 6-5

6. 附录

6.1 附录一：机组总体技术参数

参数名称		参数值/说明
机组型号		TI-20050
基本参数	风力等级	IEC S
	额定功率	5000kW
	风轮直径	200m
	扫风面积	31416m ²
	额定风速	9.3m/s（静态）
	切入风速	3m/s
	切出风速	20m/s
	生存风速	45.5m/s
	噪声源	符合IEC61400-11标准
	防腐级别	外部满足ISO 12944-2的C4类防腐等级；内部满足C2或C3类防腐等级
	运行环境温度	-30℃~40℃
	生存环境温度	-40℃~50℃
	阳光辐射强度	1000W/m ²
	相对湿度	5%~95%
	海拔高度（常规机型适用）	≤2000m
	使用寿命	20年
风轮	叶片数	3个
	叶片长度	97m
	叶片材料	GFRP（玻璃纤维增强环氧树脂）
	变桨系统	3个独立的电动变桨
齿轮箱	结构形式	两级行星斜齿轮和一级平行轴斜齿轮
	机械效率	≥97%
发电机	发电机类型	双馈异步发电机
	极对数	3
	额定功率	5200kW
	额定电压	690V
	额定频率	50Hz
	额定功率因数	-0.95~0.95
	额定转速	1167rpm
	绝缘温度等级	H级

参数名称			参数值/说明
	振动等级		A级
	定子接线		△
	转子接线		Y
	防护等级		IP54(集电环外壳IP23)
变流器	额定功率（并网侧）		5000kW
	额定电压（网侧）		690V
	防护等级		IP54
	转子侧 (两个模块并联)	额定功率/容量	1912kW/1912kVA
		最大持续电流	1600A
	网侧 (单个模块)	额定功率/容量	896kW/896kVA
		最大持续电流	750A
主轴承	类型		双列调心滚子轴承
偏航系统	偏航轴承		四点接触球轴承
	刹车		液压刹车
	驱动形式		电机-齿轮驱动方式
	偏航速度		$<0.42^{\circ}/s$
主控系统	额定电压		690V(AC) $\pm 10\%$
	额定频率		50Hz
	通讯方式	机舱/塔底	HCS光纤
		风场通讯	单模光纤
	运行环境相对湿度		5%~95%无结露
	控制柜防护等级		IP54
变桨系统	变桨控制方式		电动变桨
	最大变桨速度		$4^{\circ}/s$
	紧急收桨速度		变速率收桨
	变桨角度		$0\sim 90^{\circ}$
	变桨后备电源类型		超级电容
	变桨电机额定转速		2000rpm
	变桨电机类型		交流永磁同步
	变桨润滑		集中润滑
	控制柜防护等级		IP54

6.2 附录二：机组设计满足的标准

机组设计满足的主要标准包括但不限于：

标准号	标准名称
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 755	旋转电机 定额和性能
GB/T 19073	风力发电机组 齿轮箱设计要求
GB/T 19072	风力发电机组 塔架
GB/T 25383	风力发电机组 风轮叶片
GB/Z 25427	风力发电机组 雷电防护

6.3 附录三：术语及缩略语

术语名称	解释说明
轮毂高度	机组风轮扫掠面积中心距地面的高度
额定功率	空气在标准状态下，对应机组额定风速时的输出功率值
额定风速	由设计制造部门给出的，使机组达到规定输出功率的最低风速
切入风速	机组对额定负载开始有功率输出时的最小风速
切出风速	由于调节器的作用使机组对额定负载停止功率输出时的风速
生存风速	也称作安全风速、极端风速，是指机组在人工或自动保护时不致破坏的最大允许风速
扫风面积	也称作扫掠面积，指风轮旋转时叶片的回转面积
额定转速	输出额定功率时风轮的转速
推力系数	由压力降产生的作用于致动盘的作用力被无量纲化后的值，用 C_t 表示
风轮仰角	机组风轮轴线与水平面的夹角

6.4 附录四：单位换算参考表

使用的计量单位

本手册使用的单位以国际公制单位为主，下表供读者由公制单位换算为其他单位时做参考。

参数	国际单位	其他单位	换算关系
长度	米 / m	英寸 / in	$1\text{ m} \approx 39.37\text{ in}$
	米 / m	英尺 / ft	$1\text{ m} \approx 3.28\text{ ft}$
容（体）积	立方米 / m^3	美制加仑 / US gal	$1\text{ m}^3 \approx 264.17\text{ US gal}$
	立方米 / m^3	立方码 / yd^3	$1\text{ m}^3 \approx 1.31\text{ yd}^3$
	升 / L	美制夸脱 / US qt	$1\text{ L} \approx 0.91\text{ US qt}$
质量	千克 / kg	磅 / lb	$1\text{ kg} \approx 2.20\text{ lb}$
力	牛 / N	千克力 / kgf	$1\text{ N} \approx 0.10\text{ kgf}$
	牛 / N	磅力 / lbf	$1\text{ N} \approx 0.22\text{ lbf}$

参数	国际单位	其他单位	换算关系
力矩	牛米 / N · m	千克力米 / kgf · m	1 N · m $\approx$ 0.10 kgf · m
	牛米 / N · m	磅力英尺 / lbf · ft	1 N · m $\approx$ 0.74 lbf · ft
压强	兆帕 / MPa	千克力每平方厘米 / kgf/cm ²	1 MPa $\approx$ 10.20 kgf/cm ²
	兆帕 / MPa	巴 / bar	1 MPa $\approx$ 10 bar
功率	千瓦 / kW	马力 / PS	1 kW $\approx$ 1.36 PS
	千瓦 / kW	英制马力 / HP	1 kW $\approx$ 1.34 HP
温度	摄氏度 / ° C	华氏度 / ° F	t _F (° F) = 1.8 t (° C) + 32
速度	千米每小时 / km/h	英里每小时 / mph	1 km/h $\approx$ 0.62 mph
	转每分钟 / min ⁻¹	转每分钟 / rpm	1 min ⁻¹ = 1 rpm
流量	升每分钟 / L/min	美加仑每分钟 / US gpm	1 L/min $\approx$ 0.26 US gpm
	毫升每转 / ml/rev	立方厘米每转 / cc/rev	1 ml/rev = 1 cc/rev

广东拓尔德能源集团有限公司

地址：深圳市龙岗区高科大道62号

网址：www.tuorde.com

电话：0755-2828 9787

传真：0755-2828 5686