

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXXX—XXXX

直流输出型风力发电机组

DC output based Wind Turbines

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家能源局 发布

# 直流输出型风力发电机组

## 1 范围

本文件规定了水平轴直流输出型风力发电机组（以下简称直流风电机组）的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、安装调试和运行维护等要求

本文件适用于水平轴直流风电机组的设计、制造、检验和验收。

## 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 191 包装储运图示标志

GB/T 2900.53 电工术语 风力发电机组

GB 8702 电磁环境控制限值

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 17799.2 电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准

GB 17799.4 电磁兼容 通用标准 第4部分：工业环境中的发射

GB/T 18451.1-2022 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 19071.1 风力发电机组 异步发电机 第1部分：技术条件

GB/T 19072 风力发电机组 塔架

GB/T 19073 风力发电机组 齿轮箱设计要求

GB/T 19568 风力发电机组 装配和安装规范

GB/T 19960 风力发电机组 通用技术条件及试验方法

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 20319 风力发电机组 验收规范

GB/T 22516 风力发电机组 噪声测量方法

GB/T 25383 风力发电机组 风轮叶片

GB/T 25384 风力发电机组 风轮叶片全尺寸结构试验

GB/T 25385 风力发电机组 运行及维护要求

GB/T 25386.1 风力发电机组 控制系统 第1部分：技术条件

GB/T 25386.2 风力发电机组 控制系统 第2部分：试验方法

GB/T 26680 永磁同步发电机 技术条件

GB/T 31517.1 固定式海上风力发电机组 设计要求

GB/T 31518.1 直驱永磁风力发电机组 第1部分：技术条件

GB/T 33630 海上风力发电机组 防腐规范

GB/T 35792 风力发电机组 合格测试及认证  
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/T 38328 柔性直流系统用高压直流断路器的共用技术要求  
GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准  
GB/T 51397 柔性直流输电成套设计标准  
JB/T 10425.1 风力发电机组 偏航系统 第1部分：技术条件  
JB/T 10425.2 风力发电机组 偏航系统 第2部分：试验方法  
JB/T 10426.1 风力发电机组 制动系统 第1部分：技术条件  
JB/T 10426.2 风力发电机组 制动系统 第2部分：试验方法  
JB/T 10427 风力发电机组一般液压系统

### 3 术语和定义

GB/T 2900.53界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**直流输出型风力发电机组 d.c. output based wind turbines**  
风力发电机组输出电压为直流电压的机组。

#### 3.2

**直流断路器 d.c. circuit breaker**

能够关合、承载和开断直流运行电流，并能在规定的时间内关合、承载和断开异常工况下的电流的开关装置。

[来源：GB/T 38328-2019，有修改]。

#### 3.3

**直流变流器 d.c. output based converter**

输出电压为直流电压的风电变流器，将发电机发出的交流电能转换成直流电输出。

#### 3.4

**直交取电装置 d.c./a.c. auxiliary power terminal**

在直流风电机组启停和运行过程中，为风电机组内部负荷提供交流电的本地直交转换设备。

#### 3.5

**黑启动 black-start**

风电机组不直接接入电网或电网掉电时，利用外部提供的柴油发电机或储能供电装置，为风电机组提供启动所需的电力，并实现风电机组启动发电并对本地负载稳定供电的过程。

### 4 技术要求

#### 4.1 通用技术要求

##### 4.1.1 正常环境（气候）条件

直流风电机组在下列环境（气候）条件和电网条件下应能正常运行，并应达到所规定的各项技术、性能指标。

a) 陆地直流风电机组应满足如下要求：

- 直流风电机组的正常环境条件应满足 GB/T 19960;
  - 直流风电机组电磁兼容性 (EMC) 满足 GB/T 17799.2 和 GB 17799.4 的要求;
  - 直流风电机组电气设备辐射控制符合 GB 8702 的要求。
- b) 海上直流风电机组应满足如下要求:
- 直流风电机组的正常环境条件、海洋条件等外部条件应满足 GB/T 31517.1 要求;
  - 直流风电机组防腐性能应满足 GB/T 33630 要求;
  - 直流风电机组具备适应盐度 5% 的环境适应性能力。
- c) 直流风电机组输出端电网要求:
- 可允许的直流电压偏差范围为额定电压的 5%;
  - 陆地直流风电机组所接入电网每年电网停电应小于 20 次, 每次最长停电持续时间应不超过 1 周;
  - 海上直流风电机组所接入电网条件评估应按照 GB/T 31517.1 要求执行。当缺乏项目实际数据时, 应考虑将断电持续 3 个月视为极端工况。

#### 4.1.2 性能要求

直流风电机组性能要求应满足 GB/T 19960。

在 GB/T 19960 所规定的风速条件下, 直流风电机组最大风能利用系数宜大于 0.4, 具体指标应结合风电场组网方案及其技术经济指标确定。

#### 4.1.3 可靠性要求

直流风电机组可靠性要求应满足对应交流风电机组设计规范要求; 如, 陆地型直流风电机组可靠性要求应满足 GB/T 19960 要求。

#### 4.1.4 噪声要求

直流风电机组噪声要求应满足对应交流风电机组设计规范要求; 如, 陆地型直流风电机组噪声要求应满足 GB/T 19960 要求。

#### 4.1.5 可维护性要求

直流风电机组可维护性要求应满足对应交流风电机组设计规范要求; 如, 陆地型直流风电机组可靠性要求应满足 GB/T 19960 要求。

直流风电机组软件可以实现远程监控、下载和故障诊断功能。

除了中压直流系统的启动和停运程序自动完成一系列状态控制外, 运行人员还应能进行操作, 使中压直流系统能分段达到下述不同的状态:

- a) 检修状态: 高压直流开关接地;
- b) 冷备状态: 高压直流开关断开;
- c) 运行状态: 高压直流开关闭合。

#### 4.1.6 安全性要求

直流风电机组安全防护应符合 GB 1845.1、GB/T 19960 和 GB/T 31517.1 要求。

直流风电机组接地设计应结合风电场组网方案及其技术经济指标确定。

#### 4.1.7 外观防护要求

直流风电机组外观防护要求应满足对应交流风电机组设计规范要求; 如, 陆地型直流风电机组外观防护要求应满足 GB/T 19960 要求。

#### 4.1.8 功率输出要求

直流风电机组的功率输出要求应符合GB/T 19960和GB/T 19963.1中功率输出要求。

## 4.2 直流变流器设计要求

直流风电机组应能通过直流变流器，将交流发电机所输出的交流电整流并升压至额定电压直流电。

当并网点直流电压在标称电压的90%-110%之间时，直流变流器应能正常运行。

直流风电机组应能通过直流变流器控制发电机组电磁转矩，进而调节风电机组对风能的吸收，应具备风能的最大功率追踪能力，并能依据调度指令，通过变桨系统或变桨与变速结合的方式实现降功率运行。

直流变流器第一级输出电压可以是1000V(两电平)或者是2000V(三电平)，再通过DC/DC变换设备升压到更高的第二级直流电压，输出侧直流电压额定值宜在5 kV-30 kV间。

以直流变流器为核心部件的直流风电机组电气主回路可选拓扑如下图1和图2所示。也可选用变异的直流变流器设计方案。

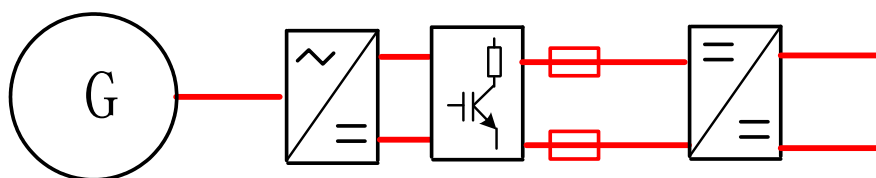


图1 直流风机拓扑图 1

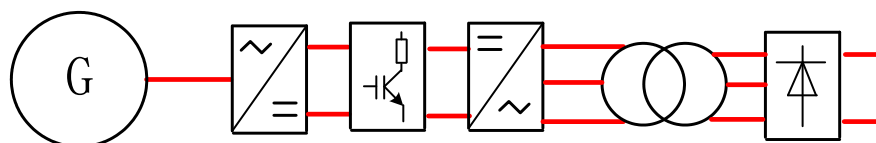


图2 直流风机拓扑图 2

## 4.3 直交取电装置与风电机组黑启动设计要求

直流风电机组应具备黑启动功能和配备直交取电装置。

## 4.4 控制系统专项设计要求

### 4.4.1 控制和保护要求

在故障条件下，控制系统及其执行机构应及时保护或按要求执行故障保护流程，且应显示并记录所有故障特征信息。保护配置包括但不限于以下保护项目：

- 发电机过温保护；
- 电力电子器件过温保护；
- 变桨电机过温保护；
- 关键功率柜/控制柜、环境、接口处过温保护；
- 关键功率柜/控制柜、环境、接口处低温保护；
- 过电流软件保护；
- 过电流硬件保护；
- 直流过电压（高电压）保护；
- 直流欠压（低电压）保护；
- 过载保护；
- 关键电气参数不平衡保护；
- 电缆扭缆保护；
- 偏航状态保护；
- 整机振动保护；
- 关键旋转部件速度保护；

- 关键元器件、传感设备状态保护；
- 控制通讯、总线故障保护；
- 控制器出错保护；
- 大风保护；
- 甩负荷保护；
- 安全链保护；
- 子系统状态总保护；
- 直流短路故障保护；
- 叶片、机舱、电气系统直至基础部分全方位的防雷保护。

保护装置的技术性能在运行中所有可能遇到的情况下都满足速动性、可靠性、灵敏性和选择性的要求，不应发生由保护装置本身故障而导致的风电机组停运。

#### 4.4.2 监测系统要求

直流风电机组监测系统应能监测以下主要数据：

- 直流端输出电压、输出电流、有功功率、无功功率等关键节点电气量信号；
- 发电机轴承温度、发电机绕组温度等关键部件运行温度信号；
- 发电机实时转速、实时频率等；
- 液压装置油位及液压系统状态；
- 风速及风向；
- 机舱、塔架、轮毂等关键整机部位的振动状态；
- 偏航角度；
- 直流风电机组具备独立的火灾自动探测报警及消防功能；火灾探测报警与消防系统信号的控制应独立于风力发电机组的运行控制系统。若无法独立，应通过网络（VLAN）划分的形式，与风电机组生产分区隔离；
- 控制回路、保护回路与其他影响风电机组安全运行的电涌保护器等器件的失效监视功能。

#### 4.5 组网和电网环境要求

##### 4.5.1 基本要求

直流风电机组组网的网架结构应具备可靠性、安全性、灵活性、经济性和适用性。

网架结构应具有一定的网络重构能力和自愈能力。

直流风电机组网的网架结构及电压等级选择应与现有直流风电机组的设计、制造能力和直流输电技术发展水平相适应。

##### 4.5.2 组网网架要求

###### 4.5.2.1 风电机组组网结构要求

直流风电机组组网可根据工程需要选择并联型、串联型、串并联混合型。具体如下：

###### 1) 并联型组网结构

并联型组网结构如图3所示，多台直流输出型风电机组并联，每台风电机组输出电压需相等，每台风电机组的输出电流由各自实时输出功率决定；在任意数量的风电机组退出运行后，剩余风电机组仍可继续正常发电。

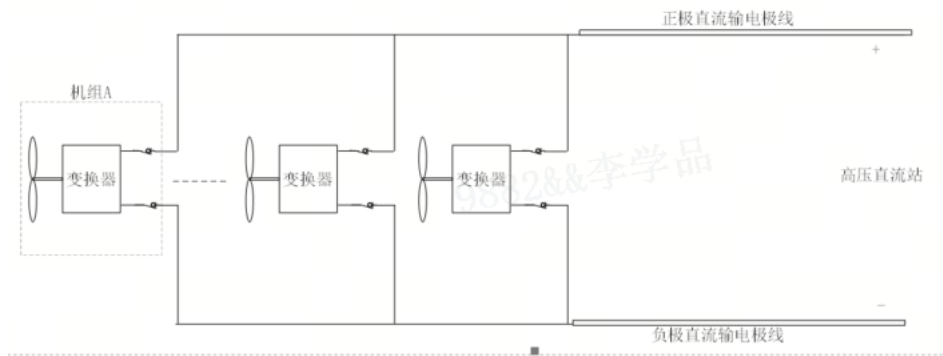


图3 并网组网型结构

2) 串联型组网结构

串联型组网结构如图4所示，多台直流输出型风电机组串联，每台风电机组输出电流需相等。每台风电机组在其直流输出电压偏离额定输出电压一定范围内需保持继续运行，确保当一定数量的风电机组退出运行后，剩余风电机组仍可正常发电，并且在剩余风电机组运行时，已退出运行的风电机组需处于被隔离并可旁路状态。

除非用户有特殊要求，否则采用串联型组网结构风电机组的额定绝缘水平不仅取决于风电机组的输出电压，还取决于直流系统接线运行方式及接地方式。

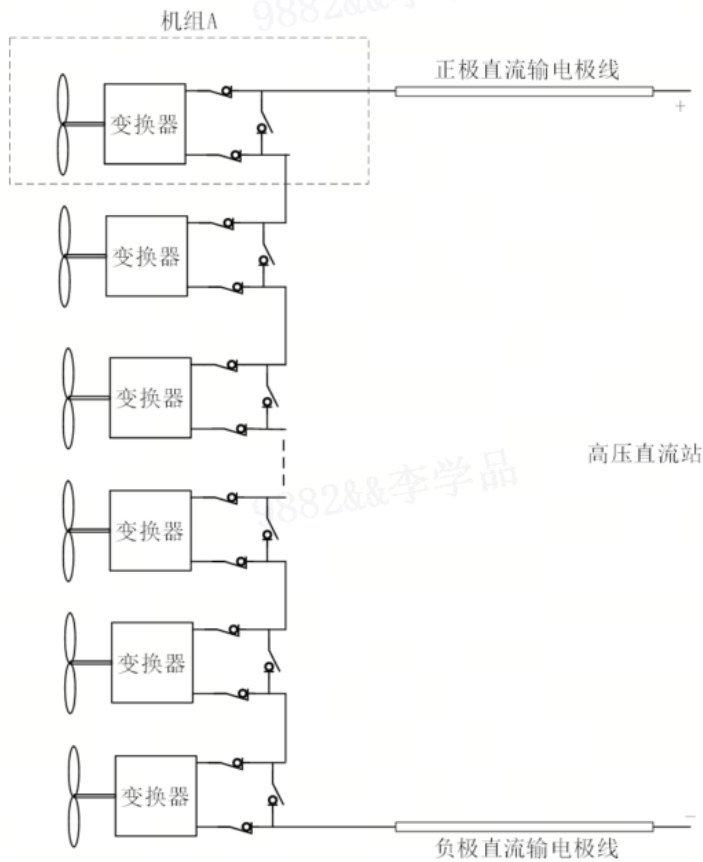


图4 串联组网型结构

3) 串并联混合型组网结构

串并联混合型组网结构，分为先串后并型和先并后串型两种结构。

先串后并型组网结构如图5所示，包含多条并联支路，每条并联支路内部由多台直流输出型风电机组串联构成。其中，串联簇内风电机组运行需满足上述2)中要求，各并联支路风电机组运行需满足上述1)中要求。

先并后串型组网结构如图6所示，串联回路上包含多组风电机组簇，每组风电机组簇内部由多台直流输出型风电机组并联构成。其中，并联簇内风电机组运行需满足上述1)中要求，各风电机组簇串联运行需满足上述2)中要求。

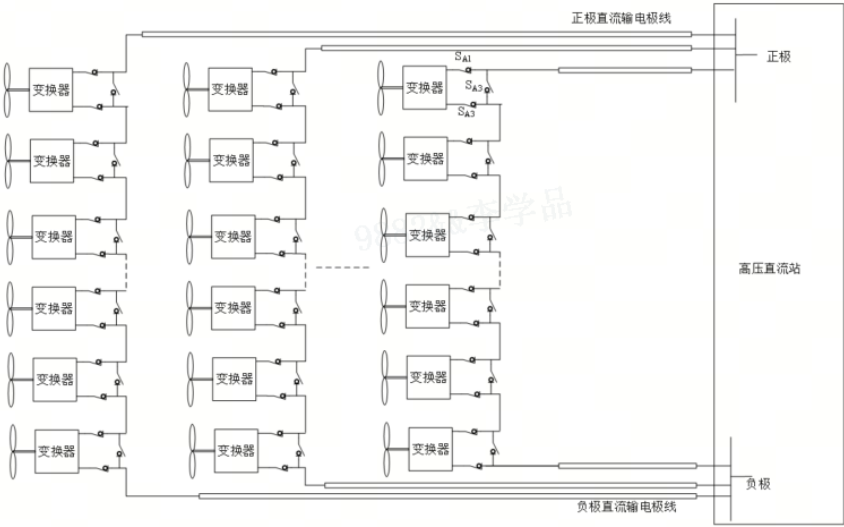


图5 先串后并混合型组网结构

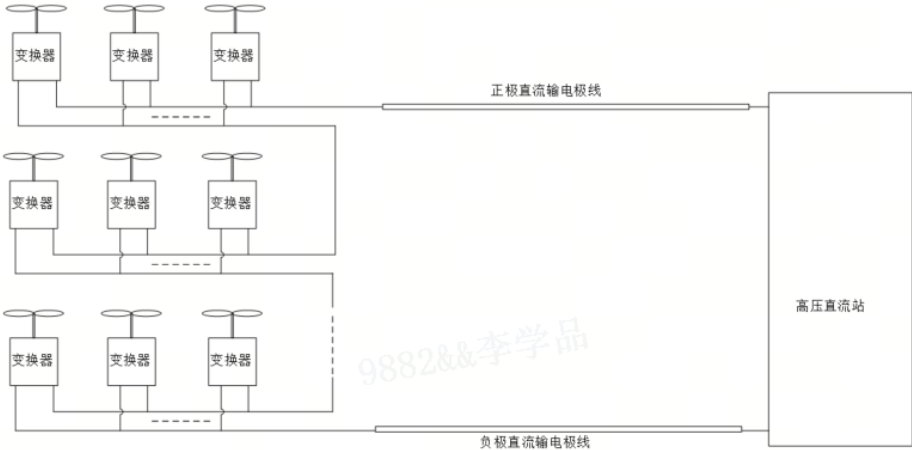


图6 先并后串混合型组网结构

4.5.2.2 直流系统接地方式要求

直流风电场与高压直流站组成的直流系统，直流系统的接地方式应符合下列规定：

- a) 接地方式的设计应综合考虑直流输出型风电机组内部接地方式、组网结构、直流系统接线运行方式、所接入的直流/直流或直流/交流变换器的拓扑结构、直流侧接地故障的短路电流值等因素，应合理选择接地方式，宜参考 GB/T 51397。直流系统典型接线运行方式详见附录 A；



- b) 接地方式的设计应考虑单极运行时接地电流对所接入的交流电网以及临近的通信线路等弱电系统的影响；
- c) 接地方式的选择应考虑通过调整系统运行方式，提高系统运行可靠性。例如双极金属回线直流系统可以通过操作直流开关设备，将系统拓扑切换为单极金属回线直流系统。

#### 4.6 制氢要求

如果是单机制氢，需要直流风机的母线电压与电解槽匹配，做到宽范围可调，电压精度 $\leq 1\%$ ，电流精度 $\leq 1\%$ ，电流、电压、功率三种控制模式。

如果是直流风电机组只是提供母线，需要配套dc/dc单元，宽范围可调，电压精度 $\leq 1\%$ ，电流精度 $\leq 1\%$ ，电流、电压、功率三种控制模式体现在dc/dc单元上。

还要具备机侧控母线，或者挂储能控母线的的能力。

#### 4.7 机械系统要求

##### 4.7.1 机舱

直流机组的机舱底盘应符合GB/T 19960和GB/T 18451.1-2022中第7章的要求。

##### 4.7.2 塔架

直流风电机组的塔架应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1-2022和GB/T 19072的设计要求。

##### 4.7.3 螺栓连接副

对叶根螺栓、变桨轴承螺栓、主轴轮毂连接螺栓、塔筒螺栓等关键螺栓，在设计时，需要进行详细、合理的计算分析，确保其具有足够的极限和疲劳强度。

所用计算方法应能合理反应螺栓和被连接件间的刚度关系、外部载荷在螺栓组中的分布特性、以及结构受载后的弹性变形对螺栓的影响等，宜使用有限元法建模、计算。

##### 4.7.4 轮毂

直流风电机组的轮毂应符合GB/T 19960和GB/T 18451.1-2022第7章结构设计的要求。

##### 4.7.5 风轮

直流风电机组的风轮应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1-2022中第7章结构设计的要求和GB/T 25383的要求。

##### 4.7.6 发电机

直流风电机组用异步发电机则应符合GB/T 19071.1的要求。

直流风电机组用永磁同步发电机则应符合GB/T 31518.1和GB/T 26680的相关规定。

其他型式发电机应符合该类型发电机的相关规定。

##### 4.7.7 整机装配

直流风电机组的安装与装配应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1和GB/T 19568的要求。

##### 4.7.8 其它功能

控制系统其它功能指标和性能指标应符合GB/T 25386.1、GB/T 19960和 GB/T 18451.1中对于控制系统的要求。

##### 4.7.9 主齿轮箱

直流风电机组的齿轮箱应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1和GB/T 19073的设计要求。

#### 4.7.10 轴承

变桨轴承滚道赫兹接触应力安全系数应不小于1.2。宜采用有限元方法进行变桨轴承及其连接螺栓的强度分析，且应包含变桨轴承套圈强度的分析。

#### 4.7.11 润滑系统

机械系统应采用适当的方式收集泄漏的油液，宜采用自动润滑，减少维护。

### 4.8 电气系统要求

#### 4.8.1 电气设计

直流风电机组应实现有功功率连续平滑调节，且根据场控系统命令快速调节输出功率。应实现容错运行，且在故障或者超温工况下可降额运行。  
直流风电机组宜在其直流端配置计量设备，且能准确提供入网功率计算所需的电量信号。  
第一级直流端电压大于2000V，应增加直流接地开关。  
直流断路器应满足GB/T 38328要求。

#### 4.8.2 直流系统监视信号及事件记录

直流风电机组的直流系统监视信号和事件记录：

- 运行方式；
- 直流电流、直流功率及其变化率；
- 直流运行电压、电流及功率；
- 直流电压及电流的纹波分析；
- 线路再启动保护；
- 直流接地电流；
- 直流短路记录；
- 直流保护动作记录；
- 设备自检 维护记录；
- 故障数据记录。

#### 4.8.3 电气安全

直流风电机组的安全防护应满足以下要求：

- 直流风电机组安全防护应符合 GB/T 18451.1-2022 的第 10 章电气系统安全要求；
- 直流风电机组防雷应有良好的导电通路，塔架需有可靠接地装置，接地电阻应小于 4  $\Omega$ ；
- 直流风电机组电力线路、电气设备、控制柜外壳及次级回路间的绝缘电阻应大于 1M  $\Omega$ ；
- 电网停电导致直流风电机组紧急停机时，刹车装置、保护装置和紧急停机流程应自动按程序投入，且应记录好状态参数变化过程；
- 直流风电机组应配备必要的消防设备、应急设备等；
- 直流风电机组内额定电压等于或大于 $\pm 10\text{kV}$ 的高压区域应采取对应的安全防范措施，应配套必要的劳保设备和消防设备，进行必要的安全隔离；
- 在设计寿命期内，当风电机组运行在任何一种设计工况条件时，直流风电机组整机及其部件不发生任何机械及气动弹性不稳定现象，不产生任何有害的或过度的振动；
- 直流风电机组及其部件应在必要的位置标有安全标识、安全警告和安全操作指南。

#### 4.8.4 液压系统

直流风电机组液压系统应符合GB/T 19960中的要求。

#### 4.8.5 传动系统

直流风电机组传动系统应符合GB/T 19960中的要求。

#### 4.8.6 偏航系统

直流风电机组偏航系统应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1和JB/T 10425.1的要求。

#### 4.8.7 制动系统

直流风电机组制动系统应符合GB/T 19960、GB/T 18451.1和JB/T 10426.1的要求。

#### 4.8.8 叶片系统

直流风电机组的风轮叶片应符合GB/T 19960和GB/T 25383的要求。

#### 4.8.9 风电机组并网仿真模型

直流风电机组关键控制系统供货商应按需提供开发风机机电/电磁仿真模型所需的基础资料，如主电路拓扑及参数、控制程序/动态链接库、控制原理框图等。控制代码/动态链接库应能够体现涉网特性、具备涉网保护功能，满足所需求的仿真平台要求 如多实例、多线程、64位运行等；控制框图应体现同样涉网功能及相应的控制逻辑及参数。

涉网特性仿真验证中，基于供货商提供的控制框图及动态链接库开发的仿真模型、硬件在环仿真测试及实测结果，三者曲线应一致，满足所需的模型认证需求。

### 5 试验方法

#### 5.1 机舱装配情况检查

直流风电机组机舱装配情况检查应符合GB/T 19960的要求。

#### 5.2 空载拖动试验

直流风电机组空载拖动试验应符合GB/T 19960的要求。

#### 5.3 液压系统检查

直流风电机组液压系统检查应符合GB/T 19960的要求。

#### 5.4 电气系统检验

直流风电机组电气系统检验应符合GB/T 19960的要求。

#### 5.5 地面性能试验

##### 5.5.1 风电机组偏航性能测试

风电机组偏航性能试验应按JB/T 10425.2的规定进行。

##### 5.5.2 液压系统测试

液压系统的测试应按JB/T 10427的规定进行。

##### 5.5.3 电控系统功能测试

电控系统功能测试应按GB/T 25386.2的规定进行。

##### 5.5.4 机械制动系统性能测试

制动系统性能测试应按JB/T 10426.2的规定进行。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/315141313310011243>