

前 言

本标准根据 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》的要求编写。

本标准的编写参考了德国 Lloyd《风力发电机组认证规范》(1999)、IEC 61400-1:1999《风力发电机组 第1部分：安全要求》、IEC 60204-1:1997《机械安全 机械电气设备 第1部分：通用技术要求》等技术文件，对采用异步发电机的并网型定桨距风力发电机组电控系统给出了普遍性技术要求。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国科学院电工研究所。

本标准主要起草人：倪受元、许洪华。

风力发电机组 控制器 技术条件

1 范围

本标准规定了为保证并网型风力发电机组的有效和安全运行,在电气控制和安全保护系统方面应符合的技术要求。

本标准适用于与电网并联运行、采用异步发电机的定桨距失速型风力发电机组电气控制装置的设计与检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 3797—1989 电控设备 第二部分:装有电子器件的电控设备

GB/T 4588.1 无金属化孔单双面印制板分规范(idt IEC/PQC 89;1990)

GB/T 4588.2 有金属化孔单双面印制板分规范(idt IEC/PQC 90;1990)

GB/T 6988.1—1997 电气技术用文件的编制 第1部分:一般要求(idt IEC 61082-1;1991)

GB/T 6988.2—1997 电气技术用文件的编制 第2部分:功能性简图(idt IEC 61082-2;1993)

GB/T 6988.3—1997 电气技术用文件的编制 第3部分:接线图和接线表(idt IEC 61082-3;1993)

GB 14821.1 建筑物的电气装置 电击防护(eqv IEC 60364-4-41;1992)

GB/T 15969.1—1995 可编程控制器 第1部分:通用信息

GB/T 15969.2—1995 可编程控制器 第2部分:设备特性

IEC 60204-1;1997 机械安全 机械电气设备 第1部分:一般要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

运行管理 operation management

指的是一种工作程序,目的在于使风力发电机组有效、安全地运行,尽可能避免故障,并减轻机组部件所受的应力。一般将程序逻辑输入控制系统。

3.2

安全方案 safety concept

是保证万一发生故障时风力发电机组仍保持在安全状态的系统方案的一部分。如果发生故障,安全系统的任务是保证机组按照安全方案工作。

3.3

控制系统(风力发电机组) control system (for WTGS)

接受风力发电机组信息和(或)环境信息,调节风力发电机组,使其保持在工作要求范围内的系统。

3.4

外部条件(风力发电机组) external conditions (for WTGS)

影响风力发电机组工作的各种外部因素,包括风况、其他气候因素(温度、雪、冰等)和电网条件。

3.5

保护系统(风力发电机组) protection system (for WTGS)

确保风力发电机组运行在设计范围内的系统。

注:如果产生矛盾,保护系统应优先于控制系统起作用。

3.6

制动系统(风力机) braking system (for wind turbines)

能降低风轮转速使其保持在一个最大值以下,或者使风轮停止旋转的系统。制动系统包括按照需要有助于制动风轮的所有部件。

3.7

失效 failure

执行某项规定功能的终结。

注1:失效后,该功能项有故障。

注2:“失效”是一个事件,区别于作为一种状态的“故障”。

注3:本概念作为定义,不适用于仅有软件组成的功能项目。

3.8

故障 fault

不能执行某规定功能的一种特征状态。它不包括在预防性维护和其他有计划的行动期间,以及因缺乏外部资源条件下不能执行规定功能。

注:故障经常作为功能项本身失效的结果,但也许在失效前就已经存在。

3.9

控制柜 control cabinet

各种电子器件和电器元件安装在一个防护用的矩形结构内的电控设备。

3.10

冗余技术 redundancy

应用两路器件或系统,用于确保一路器件或系统失效时,另一路器件或系统仍能有效地执行所要求的功能。

3.11

偏航 yawing

风轮轴绕垂直轴的旋转(仅适用于水平轴风力机)。

3.12

关机(风力机) shutdown (for wind turbines)

从发电到静止或空转之间的风力机过渡状态。

3.13

正常关机(风力机) normal shutdown (for wind turbines)

全过程都是在控制系统控制下进行的关机。

3.14

紧急关机(风力机) emergency shutdown (for wind turbines)

保护系统触发或人工干预下使风力机迅速关机。

3.15

失效-安全 fail-safe

设计特性中的一项,即设备或系统中个别部件失效时仍能保持设备或系统的安全。

3.16

排除故障 clearance

通过人的介入来完成必要的修理或消除故障的原因,然后放开风力发电机组使其运行。排除故障以授权人在场和积极参与为前提。

3.17

阵风 gust

超过平均风速的突然和短暂的风速变化。

注:阵风可用它的上升-时间,即幅度-持续时间表达。

3.18

空转(风力机) idling (for wind turbines)

风力机缓慢旋转但不发电的状态。

3.19

制动器(风力机) brake (for wind turbines)

能降低风轮转速或停止风轮旋转的装置。

3.20

外部动力源 external power supply

来自外部的用于风力发电机组自动装置、控制系统或机械系统的任何种类的主动动力源或辅助动力源。

注1:来自蓄电池、电网或柴油发电机的供电是外部动力源,外部的辅助形式的动力源(如控制气流、液压系统流体等)也属于外部动力源。

注2:若能量是通过风能或风力发电机组风轮的动能的内部转换而获得,然后被利用,则不属于外部动力源。

3.21

锁定装置 locking device

将已经制动到静止的风轮固定住或防止机舱转动的装置。

3.22

运行转速范围 operating rotational speed range

包括风轮从最低运行速度 n_1 到最高运行速度 n_2 的转速范围(见图1),在这个范围内的转速处于正常运行状态。

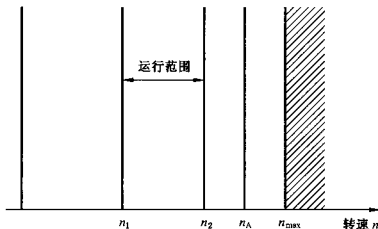


图1 转速范围

3.23

临界转速 activation rotational speed

引起保护系统立即启动的转速(见图1中之 n_A)。

3.24

最大转速 maximum rotational speed

是绝不可超过的转速,即使短时超过也不允许。这个速度是作为相应负载情况的最大超速(见图 1 中之 n_{\max})。

3.25

过载功率(风力机) over power (for wind turbines)

引起控制系统开始降低功率的风轮轴的机械功率。

3.26

临界功率(风力机) activation power (for wind turbines)

引起保护系统立即启动的风轮轴的机械功率。

3.27

最大功率(风力机) maximum power (for wind turbines)

是不能超过的风轮轴的机械功率。

3.28

切出风速 cut-out wind speed

风力发电机组达到设计功率时轮毂高度处的最高风速。超过这个风速,风力发电机组关机。

3.29

短时切出风速 short-term cut-out wind speed

风力发电机组发电运行的最大瞬时风速(轮毂高度处)。超过这个风速,风力发电机组立即关机。

4 一般要求

4.1 概述

在风力发电机组系统方案的设计阶段,应在总体框架内确定机组的运行管理和安全方案,从而确定电控系统的功能和要求,以便使机组运行最佳化。并在万一发生故障时,仍能使风力发电机组保持在安全状态。

通常,风力发电机组的运行管理由控制系统执行,其程序逻辑应保证风力发电机组在规定的的外部条件下能有效、安全地运行。当控制系统不能使机组保持在正常运行范围内,或有关安全的极限值被超过以后,则由保护系统执行安全方案。安全方案应考虑有关的运行值,如容许的超速、振动、减速力矩、短路力矩以及机组故障、操作失误等不安全因素。

风力发电机组电控系统应兼具控制、保护以及参数检测和监控功能。

4.2 环境条件和电网条件

4.2.1 环境条件:正常工作温度范围 $-20^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$,极端温度范围 $-30^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$;最高相对湿度小于或等于 95%。

4.2.2 电网条件:电压,额定值 $\pm 10\%$;频率,额定值 $\pm 2\%$ 。

4.2.3 所有电控设备和元器件应依据风力发电机组安装场所预期的环境条件和电网条件进行设计。当实际环境条件和电网条件与规定范围不符合时,供方和用户有必要达成附加协议。

4.3 控制柜和元器件

4.3.1 控制装置应能防止外界固体物和液体的侵入,控制柜的外壳一般应具有不低于 IP 54 的防护等级。

4.3.2 电控系统中所装用的硬件设备,传感器和元器件应符合相应的各自标准及 IEC 60204-1 的有关规定。可程序控制器应符合 GB/T 15969.1 和 GB/T 15969.2 的规定。

4.3.3 控制柜中所装用的印制板应符合 GB/T 4588.1~4588.2 的规定。

4.3.4 电气接线和电气连接必须可靠,所采用的连接手段如接插件、连接线、接线端子等,应能承受所

规定的电(电压、电流)、热(内部或外部受热)、机械(拉、压、弯、扭等)和振动的影响。

导线和带电的连接件,按规定使用时,不应发生过热、松动或造成其他危险的变动。

4.3.5 应参照 GB 14821.1 标准采取电击防护措施,防止直接或间接接触带电体。

4.3.6 应对电控系统采取较完善的屏蔽措施,防止受雷电感应过电压损害。带面板的控制柜各侧一般宜用薄钢板做成,并连接到等电位连接带上。

对电源线、数据线、信号线、各个传感器、计算机宜用电涌保护器加以保护。

4.3.7 保护接地电路所有部件(包括保护接地端子、保护导线和控制柜中的导体结构件部分)的设计,应考虑到能够承受保护接地电路中由于流过接地故障电流所造成的最高热应力和机械应力。

保护导线应做出标记,使其容易识别。

4.3.8 控制和安全保护系统的调定值应予以保护,防止在非授权情况下随意改动。

4.3.9 手动或自动控制应不损害安全保护系统的功能。允许手动控制的任何装置应在必要处做出适当标记,以便于识别。

4.3.10 可导致机组关机的紧急关机按钮应优先于自动控制系统的功能,并应安装在每个主要的工作地点。

4.3.11 由于内部故障或危及风力发电机组安全的跳闸而引起关机的情况,风力发电机组应不能自动重新启动。

4.4 电磁兼容性

4.4.1 电控系统应具有适当的抗电磁干扰的能力,应保证信号传输不受电磁干扰,执行部件不发生误动作。同时,设备本身产生的电磁干扰不应超过相关设备标准和论及电磁兼容性电平的有关文件所规定的电平。

4.4.2 采用适当的滤波器和延时装置,选择一定功率的电平,采取合理的布线(如采用绞合线、屏蔽线、分束或交叉走线等)或者把一些灵敏的设备或部件同一些开关设备(如晶闸管、电磁继电器、接触器等)分离、屏蔽等措施可避免或降低电磁干扰。

用于抑制电磁干扰的预防措施,可参考 IEC 60204-1 和 GB/T 3797—1989 附录 A。

4.5 单一失效

4.5.1 与安全保护系统功能有关的单个元器件(如传感器或制动器)的失效,应不会导致安全保护系统失效。

4.5.2 两个独立元器件同时失效可归入不可能事件,因此可不予考虑。如果两个或多个元器件相互关联,则它们同时失效可视作单一失效。

4.5.3 就可用性和可靠性而言,对安全保护系统各个元器件应有最高的技术要求。

4.6 冗余技术和相异技术

4.6.1 采用冗余技术可使电路或系统中单一故障引起危险的可能性减至最小。可设计成使冗余器件或系统在正常运行中有效的在线冗余;也可设计成专用电路或系统,仅在操作功能失效时去接替保护功能的离线冗余。在正常工作期间离线冗余技术不起作用的情况,在需要时应采取措施确保这些电路或系统可供使用。

在方案上,安全保护系统应与控制系统完全分开。安全保护系统应至少能启用两套相互完全独立的制动系统。此处的“独立”意味着在系统工程设计阶段应严格避免因共同原因而引发的故障。因此,单一元器件的失效必定不会导致所有制动系统因而也是整个安全保护系统的失效。

4.6.2 相异技术是采用具有不同操作原理或不同类型器件的控制电路,可以减少故障的可能性和故障引起的危险。例如:

- 由联锁防护装置控制的常开和常闭触点的组合;
- 电路中不同类型控制元件的运用;
- 在冗余结构中机电和电子电路的组合;

——电和非电(如机械、液压、气压)系统的结合。

5 控制系统

5.1 设计原则和要求

5.1.1 控制系统应设计成在规定的的所有外部条件下都能使风力发电机组的运行参数保持在它们的正常运行范围内。

5.1.2 控制系统通过输入的运行管理程序,对风力发电机组进行控制,使风力发电机组有效、安全地运行,尽可能避免故障,降低机组所承受的应力水平,使机组运行最佳化。

5.1.3 控制系统应能检测(如超速、超功率、过热等)故障,并进而采取适当的措施。

5.1.4 控制系统应从为风力发电机组配置的所有传感器获取信息,并应能启动两套制动系统。

5.1.5 当安全保护系统启动制动系统时,控制系统应自行降至服从地位。

5.1.6 控制系统通过主动或被动方式控制风力发电机组的运行,并使运行参数保持在其正常范围内。控制方式的选择应认真考虑,例如对维修而言,除紧急关机按钮外,这种控制方式应超越所有其他的控制。控制方式的选择应通过一个选择器来进行,它可以被锁定在与每个单一控制方式相应的位置上。当某些功能用数字控制时,应提供选择相应功能的数字码。

5.2 控制功能和参数

5.2.1 控制系统应能完成风力发电机组的正常运行控制。控制系统可以控制的功能和参数包括:

- 机组的启动和关机程序;
- 电气负载的连接和发电机的软并网控制;
- 大、小发电机的自动切换;
- 补偿电容器的分组投入和切换;
- 功率限制;
- 风轮转速;
- 偏航对风;
- 扭缆限制;
- 电网失效或负载丢失时的关机等。

5.2.2 控制系统应包括对风力发电机组运行参数和状态的检测和监控,如:

- 风速和风向;
- 风轮和发电机转速;
- 电参数,包括电网电压和频率,发电机输出电流、功率和功率因数;
- 温度,包括发电机绕组和轴承温度,齿轮箱油温,控制柜温度和外部环境温度;
- 制动设备状况;
- 电缆缠绕;
- 机械零部件故障;
- 电网失效等。

5.2.3 在控制柜的面板上,应能显示和查询风力发电机组的运行状态及参数、显示故障状态、查询故障地点、设置运行参数等。

通过控制柜面板应能实现对风力发电机组的人工起停控制、偏航控制以及修改参数等控制操作,为维护人员提供良好的操作界面。

5.2.4 控制系统应具有故障处理功能,即在对风力发电机组运行过程中出现的故障进行适时检测的基础上,根据故障类型分别进行正常关机、紧急关机或报警。同时,针对可自恢复故障和不可自恢复故障实现风力发电机组重新自动启动或人工启动。

对于可自恢复故障(如电网失效或电网频率、电压偏差过大、发电机输出功率过大或发电机温度过

高等),待这些故障自动消除后,可重新自动启动机组。

对于不可自恢复故障(如机械制动器磨损过度而失效、机械零部件故障等),则应人工排除故障后才能重新启动机组。

5.2.5 控制系统应具有单台风力发电机组与中央控制室上位计算机的远程通讯功能,以便中央控制室适时监测风力发电机组的运行状态、运行数据和故障情况等。

5.3 启动

5.3.1 风力发电机组的启动方式包括自动启动、面板人工启动、顶部机舱人工启动和远程启动,各种启动方式的优先级由高到低依次为:顶部机舱人工启动、面板人工启动、远程启动、自动启动。当存在高级别启动控制时,对较低级别启动控制应不予响应。

5.3.2 在系统第一次上电或电网故障停电后又恢复正常时,电控系统应对电网及系统安全链进行检测,在无故障情况下,使系统处于待机状态。

5.3.3 启动过程中应完成液压系统压力检测、叶尖复位、风速检测、偏航对风、机械制动器松闸、根据风速判断启动大电机或小电机、闭合发电机连接电网的断路器、触发晶闸管进行软并网、闭合晶闸管旁路接触器等程序。在并网完成后,根据无功功率情况投入相应的补偿电容。

5.4 并网

5.4.1 异步发电机的并网条件是:

- a) 转子转向应与定子旋转磁场转向一致,即异步发电机的相序应与电网相序相同;
- b) 发电机转速宜尽可能接近同步速时并网。

5.4.2 对于容量较大的风力发电机组(≥ 100 kW)宜采用晶闸管软并网技术。发电机经一组双向晶闸管与电网连接,当风轮带动异步发电机转速至接近同步速时,与电网相连的各相晶闸管的控制角同时由 180° 至 0° 逐渐打开(晶闸管导通角由 0° 至 180° 逐渐同步增大),控制并网瞬间的冲击电流在规定的限度内(一般应不超过 1.5 倍~ 2 倍额定电流)。暂态过程结束后,晶闸管通过旁路接触器短接。

5.5 大、小发电机切换控制

5.5.1 大、小发电机切换控制包括小电机向大电机的切换控制和大电机向小电机的切换控制。

5.5.2 应慎重选择大电机向小电机切换时的功率或风速设定值,防止切换过程中超速飞车。

5.5.3 在大、小发电机切换程序中,应首先切除补偿电容,防止发电机自激过压,切换完成后再投入相应电容。

5.6 电容器投切控制

5.6.1 风力驱动的异步发电机正常运行时,向电网输送变化的电能,其所需要的无功补偿功率也相应随机变化。无功补偿电容器应按照风力发电机组运行的实际需要分组匹配。分组电容器按各种容量组合运行时,不得发生谐振。

5.6.2 分成几组的并联电容器装置应采用自动投切方式。自动投切装置应具有防止保护跳闸时误合电容器组的闭锁功能。自动投切的控制量可选用无功功率、无功电流或功率因数。

5.6.3 每组电容器投入和切除的控制量设定值应有适当的回差,以避免频繁投切。

5.6.4 当风力发电机组脱网或电网失电时,应立即断开与发电机并联的电容器组,以避免发电机自励出现过电压。

5.7 偏航控制

5.7.1 偏航控制包括风向标控制的自动偏航、面板人工控制偏航、顶部机舱人工控制偏航、远程控制偏航。各种偏航控制的优先级由高到低依次为:顶部机舱人工控制偏航、面板人工控制偏航、远程控制偏航、风向标控制的自动偏航对风。当存在高级别偏航控制时,对较低级别偏航控制应不予响应,并应清除原有的较低级别偏航控制。

5.7.2 在大风情况下,为保证风力发电机组的安全宜采用 90° 侧风控制。在 90° 侧风时,应根据风向标传感器信号确定机舱与主风向的相对位置,使机舱走最短路径,以最短时间偏离主风向。

5.8 扭缆限制和自动解缆

5.8.1 解缆包括扭缆传感器控制的自动解缆和扭缆开关控制的安全链保护。当扭缆达到设定的下限值时,扭缆传感器向控制系统发出信号,通过偏航驱动装置的适当操作,自动使电缆解缆。如果必要,可使机组正常关机,随后进行解缆操作。若自动解缆未能执行,扭缆达到设定的上限值时,则应触发安全保护系统,使风力发电机组紧急关机,同时通知计算机为不可自恢复故障,等待进行人工解缆操作。

5.8.2 当执行解缆操作时,系统应自动屏蔽所有其他偏航请求,包括顶部机舱人工偏航、面板人工偏航、远程控制偏航和自动偏航。

5.9 关机

5.9.1 在控制系统控制下进行的关机属正常关机。在风速很低、发电机输出功率很小甚至从电网吸收功率时,或者机组出现除紧急关机以外的需要进行关机的故障时,则应进行正常关机。

5.9.2 通常,正常关机时,应先使气动制动器动作,待转速下降至某一设定值时再投入机械制动器。

6 安全保护系统

6.1 设计原则和要求

6.1.1 由于风力发电机组的内部或外部发生故障,或监控的参数超过极限值而出现危险情况,或控制系统失效,风力发电机组不能保持在它的正常运行范围内,则应启动安全保护系统,使风力发电机组维持在安全状态。

6.1.2 安全保护系统的设计应以失效-安全(fail-safe)为原则。当安全保护系统内部发生任何部件单一失效或动力源故障时,安全保护系统应对风力发电机组实施保护。

6.1.3 安全保护系统的动作应独立于控制系统,即使控制系统发生故障也不会影响安全保护系统的正常工作。

6.1.4 应测定安全保护系统的触发电平,使其不超过作为设计基础的极限值,以免风力发电机组发生危险,同时也应使控制系统不会受到安全保护系统不必要的干扰。

6.1.5 保护系统应能优先使用至少两套制动系统以及发电机的断网设备。一旦偏离正常运行值,安全保护系统即被触发并立即执行其任务,使风力发电机组保持在安全状态。通常在它的处理下,利用所有的制动系统使风轮减速。

与电网脱离不必在安全保护系统的触发瞬间立即执行。在任何情况下应避免风力发电机组加速和发电机作为电动机运行。

6.1.6 如果已启用了安全保护系统,则应按照 3.16 排除故障。安全系统的这种排除故障应与控制系统无关,并且这种故障不可能自动被清除。

6.1.7 安全保护系统的软件设计中应采取适当措施防止由于用户或其他人的误操作引起风力发电机组误动作。在机组的任何状态下,非法的键盘及按键输入应不被承认。

6.2 保护功能

在下列情况下应启动安全保护系统:

——超速;

——发电机过载或故障;

——过度振动;

——在电网失效、脱网或负载丢失时关机失效;

——由于机舱偏航转动造成电缆的过度缠绕。

此外在控制系统功能失效或使用紧急关机开关时,也应启动安全保护系统。

6.3 制动系统

6.3.1 制动系统要求

a) 应至少配置两套相互独立的制动系统,利用它们可在任何时候使风轮减速或使之停车;

- b) 在电网或负载丢失同时一套制动系统失效情况下,其他制动系统应能使风轮转速保持在最大转速 n_{\max} 以下,并应能将风轮制动到静止。最大转速 n_{\max} 应在设计阶段考虑到系统的固有频率和可能的不稳定性予以确定。

6.3.2 制动原理的选择

制动系统可选择一种或多种类型,如机械的、电气的、气动的、液压的或气压的,使风力发电机组由任何工作状态停机或处于空转状态。

至少应有一套制动系统按气动原理工作,并应直接作用在风轮上。如果不能满足这一要求,则应至少有一套制动系统作用在以风轮驱动旋转的部件(如轮毂、轴)上。超速触发所需的测量装置应设置在低速部件上。

6.3.3 外部动力源

6.3.3.1 制动器宜设计成如果外部动力源发生故障它们仍能执行其功能(由离心力直接触发的叶尖制动可满足这一要求)。

6.3.3.2 如果制动器执行功能需要来自储能器(例如液压装置或蓄电池)的辅助动力源,则必须自动监控储能器所储存的能量,该能量应至少能满足一次紧急制动的需要。如果这种监控不能连续进行,则至少每周应进行一次测试。如果监控或测试显示出否定结果,则风力发电机组应立即关机。

6.4 转矩限制装置的布置

如果设置限制转矩的部件,则所配备的任何机械制动器应位于转矩限制装置和风轮轮毂之间。

6.5 用于维修的安全装置——风轮和方位锁定装置

6.5.1 要求

风力发电机组的风轮和机舱应至少各装设一套锁定装置或等效的装置,其功能是锁定这些部分以防止它们转动。

通常,制动设备不可以同时又当作所要求的锁定装置。在特殊情况下,且装置设计保证制动系统各个部件的工作均能可靠地执行,则可以偏离这一规则。

6.5.2 锁定装置的设计

6.5.2.1 锁定装置的设计应使它们在即使放开制动器的情况下也能可靠地防止风轮或机舱的任何转动。

6.5.2.2 风轮和机舱锁定装置的设计应以每年的阵风以及安装和维修时可能出现的阵风为基础。

6.5.2.3 风轮的锁定装置应安排作用在邻近轮毂的驱动链上,并且形状吻合。用绳索将风轮叶片捆绑到塔架或其他地方是不够的。

6.5.2.4 机舱锁定装置用来防止机舱的偏航运动。

6.5.3 安全要求

锁定装置的设计是基于这样一种假设:维修人员从容进入、停留在里面,并在确信装置起作用的情况下,在一个危险区域工作。因此对于锁定装置的工作可靠性、质量、易接近以及它与要锁定的机组部件(例如风轮叶片、轮毂、轴)的啮合等应强制性的有特别高的要求。

6.5.4 锁定装置的启动

如果在风力发电机组运行期间转动的那些部件上进行工作,则总是应启动锁定装置。即使机组通过制动保持在停止状态或提供方位制动,也应启动锁定装置。操作维修人员应十分重视这一安全措施,在操作手册中应写入适当注意事项。

7 监控和安全处理

7.1 概述

监控装置应完成风力发电机组运行状态和运行参数的检测功能。检测的参数包括风速、风向、风轮或发电机转速、电气参数(频率、电压、电流、功率、功率因数、发电量等)和温度(发电机绕组温度、轴承温

度、齿轮箱油温、控制柜温度、外部环境温度)等,状态监测包括振动,电缆缠绕、电网失效、发电机短路、制动闸块的磨损、控制系统和偏航系统的运作情况以及机械零部件的故障和传感器的状态等。

上述信息均应汇入控制系统,其中对安全尤为重要的信息还应输入保护系统。当监测的参数或状态超过极限值或者发生故障时,则安全保护系统启动和(或)通过控制系统作安全处理。

7.2 转速

7.2.1 转速测量

7.2.1.1 明确测量转速是不需要的,如果一个和转速显然有关的参数(如离心力)被连续监控以判断转速是否超过极限值也就满足需要了。对此,先决条件是可靠,应按照失效-安全的原则进行测量。

7.2.1.2 转速信号应由两个独立的传感器分别采集,并提供给控制系统和安全系统。其中至少有一个传感器应直接设置在风轮上。

7.2.1.3 根据叶尖调节原理工作、由离心力触发的空气动力制动系统不需要直接的转速测量装置,但用作紧急制动的叶尖触发信号应提供给安全保护系统和控制系统。

7.2.2 传感器的工作可靠性

原则上,速度传感器应像制动设备本身一样满足有关功能和可靠性的同样要求。

7.2.3 转速超过运行范围

如果风轮转速超过运行范围,即 $n_1 > n_2$ (见 3.22),则控制系统应作出响应,使风轮减速。

7.2.4 转速超过临界转速

如果风轮转速超过临界转速 n_A (见 3.23),则安全保护系统应作出响应。

注 1: 临界转速 n_A 应尽可能少地超过最高运行转速 n_2 ;

注 2: 在设计中规定的最大转速 n_{max} 至少应为最高运行转速 n_2 的 1.25 倍。

7.2.5 安全保护系统触发后的状态

如果超速后安全系统根据 7.2.4 作出响应,则任何时候都不应超过最大转速 n_{max} ,即使短时超过也不允许。对于气动制动器和时间上交错作用的制动器尤其应考虑到这点。

7.3 功率

7.3.1 功率的测量

7.3.1.1 通常,用电功率(有功功率)作为测量参数。如果风力发电机组的设计方案包括超过 3.25 定义的过载功率 P_T 的可能性,则应将功率作为控制参数来采集。功率测量被看作是一种运行中的测量,并作相应的处理。可以借助其他物理参数,只要这些参数与功率之间有一个明确认可的关系。如果这样,则应在试验阶段通过测量确定运行中检测的替代参数与功率之间的关系,并以适当的形式(例如以性能图的形式)记录下来。

7.3.1.2 功率测量设备应能采集平均值(大约 1 min~10 min 的平均值)和短时功率峰值(扫描速率至少每秒一次)。

7.3.1.3 测得的功率和转速一起可看作是风力发电机组平均负载的测量。也可将其作用由于极大风速引起保护措施启动的替代测量值。

7.3.2 超过过载功率 P_T

如果功率超过过载功率 P_T ,则控制系统应自动启动适当的保护措施。但实际功率的长期平均值应不超过额定功率,以免发电机过载和过热,实际措施取决于设计。否则,在任何情况下,风力发电机组均应关机。

注:通常, P_T 应不大于额定功率的 1.25 倍。

7.3.3 瞬时功率超过临界功率 P_A

如果瞬时功率超过临界功率 P_A ,则安全系统应立即自动启动保护措施。实际措施取决于设计,在任何情况下风力发电机组均应关机。在这个过程中,应不超过最大功率 P_{max} 。

传感器应能启动保护措施的自动触发装置,即使功率过载是短时的,也应立即启动。

注：通常， P_A 应不大于额定功率的 1.5 倍。

7.3.4 自动启动

如果由于超过过载功率 P_T 而导致风力发电机组关机，只要设计方案中有相应规定，并且系统中没有故障，则该风力发电机组无需排除故障就可以自动重新启动。

注：由于过高风速而超过过载功率 P_T 可看作是一个外部事件，如果这种情况不再出现，则可认为该风力发电机组仍然是可使用的。

7.4 风速

7.4.1 风速的测量

7.4.1.1 通常，不需要测量风速。但如果风力发电机组的安全运行除了取决于其他因素外，还取决于风速，或者风速是控制系统的输入参数之一，则应提供可靠和适当的测量风速的方法。

7.4.1.2 如果必须测量风速，则可以通过直接测量风速或者借助于另一个与风速有明确认可关系的参数并加以处理来满足这一要求。原则上，用作控制系统输入参数的测量应选择适当的检测点和测量技术，可以考虑将轮毂高度处尽可能未受干扰的风速作为相关的测量参数。

7.4.1.3 若选择一种在结冰情况下会导致很大误差的测量方法，则有必要对测量值进行连续的检验（例如和其他有关的风速测量值相比较），并给传感器安装一个适当的在结冰情况下即可启动的加热装置。

7.4.2 超过切出风速

如果将切出风速 V_0 作为风力发电机组设计的一个基本参数，则当超过切出风速时，风力发电机组应通过控制系统自动关机。

7.4.3 超过短时切出风速

如果将切出风速作为风力发电机组设计的一个基本参数，则当超过按照 3.29 定义的短时切出风速 V_A 时，风力发电机组应通过控制系统立即自动关机。

7.4.4 自动启动

如果由于超过切出风速或短时切出风速而导致风力发电机组关机，只要设计方案中有相应规定，并且系统中没有故障，则该风力发电机组无需排除故障就可以自动重新启动。

7.4.5 风速测量装置发生故障时的控制

如果控制系统检测出风速测量装置有故障，则风力发电机组应关机。

7.5 振动

7.5.1 概述

这里所说的振动指的是由于不平衡和运行在固有频率附近而引起的风力发电机组的强迫振动。不平衡可能是由于损伤、故障或其他外部影响（如风轮叶片结冰）所致。

7.5.2 振动的测量

应连续地测量振动并将其振幅与极限值作比较。传感器应安装在机舱高度处并偏离塔架轴线。由于检测的振动一般以整个机舱的运动最明显，所以应采用检测总体运动的测量技术。如果机舱运动没有传到塔架，也可以检测适当的相关运动作为代替。

通常，振动监控可以得出风力发电机组状态的定性结论。如果观测到振动的水平过高，应认为是非正常运行。

7.5.3 传感器的安全工作

传感器的灵敏度应与主要状态相匹配。应有效地保护传感器，以免受到所有外部的影响，包括未经允许的人员的干扰。建议在装置运行时调整其灵敏度。

7.5.4 超过极限值

如果实际测量的振动超过预先设定的极限值，则安全保护系统应做出响应。

注：如果控制系统连续地检测振动并进行处理，而且如果已知振动的原因，则可以通过控制系统控制振动水平。

7.6 电网失效/负载脱落

7.6.1 概述

如果风力发电机组失去负载(例如电网负载),则风轮可能迅速升速,这将危及各个部件(风轮叶片、传动装置、发电机)的安全。

7.6.2 电网失效后的操作

电网失效,则风力发电机组失去其负载,应由控制系统和安全保护系统检测出来,并使风力发电机组关机。

7.6.3 电网恢复后的操作

电网失效可视为一外部事件,因此一旦电网能重新接受负载,则风力发电机组可以由控制系统自动启动。

7.7 发电机短路

风力发电机组应配备适当的短路保护装置。如果保护装置检测到短路,则应做出响应,并同时触发安全保护系统。

7.8 发电机温度监控

7.8.1 测量

应监控发电机的绕组温度,以保证绕组温度保持在允许的运行范围内。为此,应选择一种功能可靠、无需维护的自监控测量系统。

7.8.2 极限值

绕组温度的极限值一般根据制造商所提供的有关电机绝缘等级的资料来确定。

7.8.3 超过容许温度后的操作

如果超过容许的绕组温度,则控制系统应降低发电机的功率输出,以给其一个冷却的机会。

注:即使只是稍微超过容许的温度值,也会减少发电机的寿命。显著超过这个限值会在短时间内导致电机损坏。过大的电流或功率可能导致零部件机械过载和电气过载,应通过控制装置减少额定运行值的短时超出。如果超过最大容许限值,则风力发电机组安全保护系统应做出响应。

7.9 制动系统状态监控

7.9.1 概述

制动系统对风力发电机组的安全特别重要。机械制动系统易受磨损,因此,制动器应尽可能按低磨损或无磨损原理工作。风力发电机组制动系统的设计,应对加剧了的可导致制动失效而又不被注意的磨损做出响应。需要时,应提供制动设备状态的监控。

7.9.2 测量

机械制动器的刹车片厚度和(或)制动间隙,以及实现制动的的时间或功率消耗(取决于设计),都可以用作状态监控的相关测量参数。

7.9.3 安全要求

如果状态监控被用来作为失效-安全设计的一种替代,则应符合与制动设备本身相同的安全标准(例如监控失效,制动器应作出响应)。监控设备应能尽早(至少应在不再能达到所要求的制动功率之前)检测出制动器递增的缺陷,并启动防范措施。

7.9.4 检测出故障后的操作

如果状态监控显示出制动器的磨损或磨蚀达到最大容许的程度,则控制系统应使风力发电机组关机,并做出失效检测的明确报告。

7.10 电缆缠绕

7.10.1 概述

风力发电机组的运行可能导致柔性电缆,特别是旋转部件(如机舱)和固定部件(如塔架或基础)之间连接电缆的缠绕,应采取技术措施防止这些电缆因过度缠绕而损坏。

7.10.2 测量

用于辨别机舱总转数的与方向有关的计数或类似的方法可视为测量柔性电缆缠绕情况的合适方法。

7.10.3 极限值

柔性电缆缠绕的可接受程度由制造商或供应商确定。

7.10.4 过度缠绕后的操作

7.10.4.1 监控缠绕的设备应在达到最大可接受的缠绕程度之前作出响应。

7.10.4.2 在风力发电机组具有主动偏航系统的情况下,通过偏航驱动装置的适当操作,可以自动使电缆解绕。如果必要,可使机组关机。如果柔性电缆已自动解绕,则风力发电机组无需排除故障就可以重新启动。

7.10.4.3 在机组没有主动偏航系统的情况下,应采取措施防止在达到最大可接受的缠绕程度之后机舱的进一步旋转,使风力发电机组处于安全状态。

7.11 偏航系统

7.11.1 风向的测量

风向测量对风力发电机组的控制是必须的,应以一种适当的方法对测量设备(例如风向标)连续地进行监控,并装设一个合适的在结冰时可启动的加热装置。

7.11.2 风向测量发生故障时的控制

如果控制系统检测到风向测量发生故障,则风力发电机组应关机。

7.11.3 主动偏航系统

在机舱带有主动偏航系统的情况下,应保证即使直接操作不当,也不会由于计算中未包括的应力而使风力发电机组的完整性处于危险状态。具有主动偏航系统的机舱驱动装置应能自锁,将弹簧操作的方位制动与无自锁的驱动装置相结合可满足这一要求。启动前,应确定或调整机舱与风向一致。在长时间停机后,这一点尤其重要。

7.11.4 被动偏航系统

在被动偏航系统的情况下,机组启动前应确定机舱的偏航误差小于设计值。

7.12 频率和电压

在风力发电机组并网运行的情况下,可假设电网频率是固定的。通常,电网的频率和电压强加于风力发电机组。要达到维持满意的并网运行所要求的程度,应有专门的监控和运行管理。

7.13 紧急关机开关

7.13.1 概述

作为人工干预的一种手段,在机舱内及在控制和调节装置中,至少应各设一个紧急关机开关。这些开关应这样设置和构成:它们只能按其功能要求工作,而不能被改作其他用途。

7.13.2 要求

启用紧急关机开关是为了使人或风力发电机组本身脱离危险。基本上,这意味着安全保护系统在尽可能短的时间内使风力发电机组的所有运动都停止。这个主要目的不应是缓慢实现,而应在与装置强度相适应的情况下最迅速地制动到静止,因此应该避免可能出现的任何时间延误。

7.13.3 紧急关机开关启动后的操作

紧急关机开关启动后的操作,可以同安全保护系统由于过度振动而被触发时的操作相同。紧急关机开关接通后应保持在接通位置。

7.14 机械零部件故障

机械零部件应根据技术水平实施监控。其监控范围应包括能用作运行可靠性测量的物理参数(例如齿轮箱油压和油温、轴承温度等)。监控设备应配置到何种程度,基本上取决于总体设计方案和针对的安全标准。超过极限值时应由控制系统关闭风力发电机组,并且只有在排除故障后才能重新启动。

7.15 控制系统的操作

7.15.1 运行管理定义为在预定条件下对风力发电机组的操作程序(见 3.1)。如果运行管理由控制系统执行,则该系统应承担风力发电机组的控制和调节。

7.15.2 如果检测到控制系统已失去对风力发电机组的控制,则控制系统应触发安全保护系统。

7.15.3 如果设置了对控制系统的监控(如看门狗),并且该监控装置在 24 h 内不止一次做出响应,则也应触发安全保护系统。

7.15.4 如果安全保护系统被触发,则控制系统应将最后运行情况的数据储存下来(即使多次使用了复位开关)。

8 检验

8.1 概述

为了验证在实际条件下控制器是否满足设计规范的要求,应进行下列检查和试验:

- 传感器及其安装规程的检查;
- 控制柜安全检查和试验;
- 控制功能的检查和试验;
- 安全保护功能的检查和试验;
- 软并网功能试验;
- 抗电磁干扰试验。

试验可在装置或试验台上模拟机组运行情况或模拟故障情况下进行。试验提供的报告文件应包括对试验方法、试验条件、试验设备和试验结果的完整的描述。

8.2 传感器及其安装规程的检查

检查装于风力发电机组上的各种传感器及其安装规程是否符合其本身的标准规定,其性能和精度是否满足系统监测、控制和安全生产的要求。

8.3 控制柜安全检查和试验

8.3.1 保护接地电路检查

进行目测检查,并应进行保护导线连接的牢固性检查,以确保保护接地电路的连续性。

8.3.2 绝缘电阻检验

在电力电路导线和保护接地电路间施加 500V_{dc} 时测得的绝缘电阻应不小于 1 M Ω 。

8.3.3 耐压试验

各电路导线和保护接地电路之间应能承受 GB/T 3797 所规定的介电试验电压。试验电压应从零或不超过全值的一半开始,连续或最大以全值的 5% 阶跃上升,升至全值的时间不少于 10 s,然后维持 1 min,试验后将电压逐渐下降至零。对于出厂检查可按规定试验电压点试 1 s。

不适宜经受该试验的元件,应在试验期间断开。

8.4 控制功能的检查和试验

对控制器的控制功能应进行下列检查和试验:

- a) 根据风速信号进行启动、并网合闸和停机功能试验;
- b) 根据风向信号进行偏航对风调向试验;
- c) 根据功率或风速信号进行大、小发电机切换试验;
- d) 根据无功功率信号进行补偿电容器分组投入试验;
- e) 根据机舱转动方向的计数,启动偏航驱动装置,进行电缆解绕试验;
- f) 电网失效或负载丢失时的停机试验。

通过上述试验,确认各项控制功能动作准确、可靠。

8.5 安全保护功能的检查和试验

对控制器的安全保护功能应进行下列检查和试验：

- a) 根据转速信号进行超速保护的紧急关机试验；
- b) 根据发电机电流或功率信号进行过载保护的紧急关机试验；
- c) 根据振动信号进行过度振动保护的紧急关机试验；
- d) 根据机舱转动方向的计数，在同一方向的净转数超过设计的限值时，进行扭缆保护的紧急关机试验；
- e) 进行人工操作的紧急关机试验。

通过上述试验，确认各项安全保护功能动作准确、可靠。

8.6 软并网功能试验

带动异步发电机转速至接近同步速(约为同步速的92%~99%)时，发电机经一组双向晶闸管与电网连接，控制晶闸管的触发单元，使双向晶闸管的导通角由0°至180°逐渐增大。暂态过程结束时，旁路开关关闭，将晶闸管短接。整个并网过程中的冲击电流应不大于该发电机额定电流的2倍。

8.7 抗电磁干扰试验

试验按照有关标准的规定进行，所用的干扰等级可根据预期的使用环境选定。在存在高频电磁波干扰的情况下，传感器应不误发信号，执行部件应不误动作。

9 技术文件

9.1 概述

为了风力发电机组控制器安装、操作和维护的需要，应以说明书、图、表等形式提供所需的资料。这些资料应使用供方和用户在设计前共同商定的语言和信息载体(如软片、磁盘等)。

供方应随每台控制器提供本章规定的技术文件。

9.2 提供的资料

9.2.1 随风力发电机组控制器提供的资料应包括：

- a) 控制器(包括控制系统和保护系统)的功能说明书；
- b) 控制器和各种传感器的安装、连接和操作说明书；
- c) 包括各种传感器的运行检测和故障监控及处理功能说明书；
- d) 包括维护要求的维护说明书；
- e) 系统图或框图；
- f) 电控系统的主电路图和电路图，包括与电网的电气连接部分；
- g) 安全防护措施及方法的说明；
- h) 备用元器件清单。

9.2.2 技术文件应至少包括下列信息：

- 控制器及相关传感器的正常工作条件，包括预期的电源情况和适合的实际环境；
- 搬运、运输和存放；
- 设备的不合适的使用。

这些信息可作为单独文件提供，也可作为安装或操作文件的一部分提供。

9.2.3 文件应依据 GB/T 6988.1 和本标准 9.3~9.8 的要求制定。为了便于用户查阅各种文件，供方应在图上或文件清单上列出所有文件的文件号和标题。

9.3 安装图

9.3.1 应给出安装时可能需要参阅的适当的装配图，以及安装时需要的机械和工具。安装图的示例可参阅 GB/T 6988.1。

9.3.2 应清楚表明现场安装电源电缆的推荐位置、类型和截面积。

9.3.3 应详细说明由用户准备的地基中的通道尺寸、用途和位置。

9.3.4 应给出控制柜所有外部连接的互连接线图或互连接线表,互连接线图或表的示例可参阅GB/T 6988.3。

9.4 系统图(框图)

9.4.1 为了便于了解工作的原理,应提供系统图(框图)。框图象征性地表示电控系统及其功能关系而无需示出所有互连关系。框图的示例可参阅 GB/T 6988.1。

9.4.2 功能图可用作框图的一部分,或除了框图之外还有功能图。功能图应根据 GB/T 6988.2 制定。功能图的示例可参阅 GB/T 6988.1。

9.5 电路图

9.5.1 如果系统图不能充分详细表明电控系统的基本原理,则应提供电路图。电路图应符合 GB/T 6988.1和 GB/T 6988.2 的规定。

9.5.2 在适当的场合应提供表明接口连接端子和控制系统功能的端子功能图。为了简化,这种图可与电路图一起使用。端子功能图应包括每个单元详细电路图的参考资料。

9.5.3 电路图应能便于了解电路的功能,便于维修和便于故障位置测定。

9.6 操作说明书

技术文件中应包括一份详述安装和使用设备的正确方法的操作说明书。应特别注意所提出的安全措施和预料到的不合理的操作方法。

9.7 维修说明书

维修说明书应详述控制器调整、维护、预防性检查和修理的正确方法,维修记录的有关建议应为该说明书的一部分。如果提供正确操作的验证方法(如软件调试程序),则这些方法应详细说明。

9.8 备用元器件清单

9.8.1 备用元器件清单至少应包括订购备用件或替换件所需的信息(如元件、器件、软件、测试设备和技术文件),这些元器件是预防性维修和设备保养所需要的,其中包括建议由用户储备的元器件。

9.8.2 元器件清单应为每个项目列出:

- 文件中所用的项目代号;
 - 型式代号;
 - 供方和可买到的其他货源;
 - 同一项目代号元件的数量。
-