

团 体 标 准

T/GEIA XX—2021

海上风力发电升压系统用 低压成套开关设备

Low Voltage Switchgear Used in Step-up System of Offshore Wind Turbine

Generator

（征求意见稿）

2021 年 XX 月发布

2021 年 XX 月实施

广东省电气行业协会 发布

目 次

前 言..... III

引 言..... 1

1 范围..... 2

2 规范性引用文件..... 2

3 术语和定义..... 3

4 符号和缩略语..... 3

5 接口特性..... 3

6 信息..... 5

7 使用条件..... 5

8 结构要求..... 8

9 性能要求..... 12

10 设计验证..... 14

11 例行检验..... 18

12 包装..... 19

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。

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。

本标准由广东明阳电气股份有限公司提出。

本标准由广东省电气行业协会归口。

本标准起草单位：广东明阳电气股份有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、施耐德电气（中国）有限公司、安徽金力电气技术有限公司、广东省电气行业协会、

本标准主要起草人：唐彬伟、彭哲、郭献清、孙文艺、于冬初、李勇、张庆红、张晋德、周慧东、金太林、汪奎、唐文清、李迎春、刘文亮、杨德全、孙宇

引 言

发展清洁能源，是改善能源结构、保障能源安全、推进生态文明建设的重要任务。近年来，国家出台了一系列促进新能源消纳、提升综合能源利用率的政策措施，统筹推动电源、市场有机衔接。当前，加快清洁能源发展、推动能源清洁低碳转型已成为全球趋势。

采用新能源以逐渐减少和替代化石能源的使用，是保护生态环境、走经济社会可持续发展之路的重大措施。作为清洁、便捷、高效的二次能源，电能一直以来都在能源结构调整和转型发展中发挥着重要的作用。而作为清洁能源主力的风力发电正在快速发展，根据著名分析师伍德·麦肯齐（Wood Mackenzie）分析，到2028年，海上风机装机容量将达到约160GW，海上风力发电市场将进一步扩大，带动成套设备的快速增长，为规范海上风力发电用成套设备的设计、制造、检验、运输、存放等各环节，推动海上风力发电升压系统低压成套设备的良性发展，满足产品贸易、技术经济交流的需要，制定其相关标准成为了客观必要。

海上风力发电升压系统用低压成套开关设备

1 范围

本文件规定了海上风力发电升压系统用低压成套开关设备（以下简称“成套设备”）的术语和定义、使用条件、结构要求、性能要求、试验方法和运输和贮存等。

本文件适用于在海上特殊环境条件下风机塔筒内部或海上平台的风力发电用成套设备：

- 由成套设备制造商设计、制造，或由成套设备制造商委外加工的（包含开关设备和零部件）；
- 额定电压为交流不超过1 140V的成套设备；
- 用于高盐雾、高湿热环境海域的风机塔筒内部，或其它场所。

本文件适用于那些一次性设计、制造和验证或完全标准化批量制造的开关设备。

本文件不适用于符合各自相关产品标准的电缆和导线等。

注：对成套设备中的专用器件及设备，除符合本标准的规定外，还需要符合相关的产品标准要求。当用于其它环境下时开关设备制造商需与用户协商确定。

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 2423. 2	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
GB/T 2423. 4—2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h循环）
GB/T 2423. 5-2019	环境试验 第2部分：试验方法试验Ea和导则：冲击
GB/T 2423. 6-1995	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Eb和导则：碰撞
GB/T 2423. 10	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
GB/T 2423. 16—2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验J及导则：长霉
GB/T 2423. 18—2012	环境试验第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）
GB/T 2423. 56-2018	环境试验 第2部分：试验方法试验Fh：宽带随机振动和导则
GB/T 2423. 101-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：倾斜和摇摆
GB/T 4208	外壳防护等级（IP代码）
GB/T 4768	防霉包装
GB/T 5048	防潮包装
GB/T 5169. 10	电工电子产品着火危险试验 第10部分：灼热丝/热丝基本试验方法 灼热丝装置和通用试验方法
GB/T 5169. 11	电工电子产品着火危险试验 第11部分：灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法（GWEPT）
GB/T 7251. 1—2013	低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
GB/T 7251. 12—2013	低压成套开关设备和控制设备 第2部分：成套电力开关和控制设备
GB/T 13384—2008	机电产品包装通用技术条件

GB/T 18802.11-2020 低压电涌保护器(spd) 第11部分：低压电源系统的电涌保护器——性能要求和试验方法

GB/T 20138—2006 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级（IK 代码）（IEC 62262：2002，IDT）

GB/T 7350 防水包装

NB/T 31094 风力发电设备 海上特殊环境条件与技术要求

GB/T 8166 缓冲包装设计

GB/T156-2017 标准电压

IEC 81346—1 工业系统, 装置和设备以及工业产品. 结构原理和参考代号. 第1部分：基本规则（Industrial systems, installations and equipment and industrial products — Structuring principles and reference designations — Part 1: Basic rules）

IEC 81346—2 工业系统, 装置和设备以及工业产品. 结构原则与参考代号. 第2部分：类别对象和代码的分类（Industrial systems, installations and equipment and industrial products — Structuring principles and reference designations — Part 2: Classification of objects and codes for classes）

IEC 61082—1 Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: Rules

3 术语和定义

GB/T 7251.1—2013和GB/T 7251.12—2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 海上风力发电升压系统用低压成套开关设备

海上风力发电升压系统用低压成套开关设备（以下简称成套设备）由一个或多个低压开关器件和与之相关的控制、测量、信号、保护、调节等设备构成的，并带有电气和机械的连接及结构部件的组合体。

3.2 额定绝缘电压（ U_i ）（成套设备中一条电路的）

额定绝缘电压是制造商规定的电压值，此值与介电性能试验电压以及爬电距离有关。

3.3 额定冲击耐受电压（ U_{imp} ）（成套设备中一条电路的）

在规定的条件下，成套设备能够耐受而不击穿的具有规定形状和极性的冲击电压峰值。该值与电气间隙有关。

4 符号和缩略语

GB/T 7251.1-2013第4章适用。

5 接口特性

5.1 接口特性遵循 GB/T 7251.1-2013 中第 5 章的规定，并作如下修改。

5.2 电压额定数据

5.2.1 额定电压（ U_n ）（成套设备的）

额定电压应至少等于电气系统的标称电压。

额定电压的优选值：380V(400V)、660V(690V)、1140V

注：本标准采用GB/T156-2017规定的标准电压值，在IEC60038中有230/400V电压等级。本标准中凡涉及到380V、660V的地方，可以分别等效为400V或415V、690V。

5.2.2 额定工作电压（ U_e ）（成套设备中一条电路的）

任何电路的额定工作电压应不小于其所连接的电气系统的标称电压，它与相应的试验有关。

5.2.3 额定绝缘电压（ U_i ）（成套设备中一条电路的）

额定绝缘电压应大于最大额定工作电压。

成套设备的额定绝缘电压与额定电压之间的关系在表1中给定。

表1 额定电压与额定绝缘电压关系

额定电压 V	额定绝缘电压 V
400	1 000
690	1 000
1 140	1 250

5.2.4 额定冲击耐受电压（ U_{imp} ）（成套设备中一条电路的）

额定冲击耐受电压应等于或高于该电路预定连接的系统中出现的瞬态过电压的规定值。

成套设备的额定冲击耐受电压与系统标称电压之间的关系在表2中给定。

表2 额定电压与冲击耐受电压关系

额定工作电压 对地最大值，交流有效值 V	电源系统的标称电压≤设备的额定绝缘电压 V				冲击耐受电压 ($U_{1.2/50}$) 优先值/海拔小于1000m kV			
	三相四线系统 中性点接地	三相三线系统 接地或不接地	单相二线系统 交流或直流	单相三线系统 交流或直流	过电压类别			
					IV	III	II	I
					电源进线点 (进线端)水平	配电 电路水平	负载 器件、 设备水平	特殊 保护水平
50			12.5 24 25 30 42 48	30~60	1.5	0.8	0.5	0.33
100	66/115	66	60		2.5	1.5	0.8	0.5
150	120/208 127/220	115/120/127	100/110/120	110~220 120~240	4	2.5	1.5	0.8
300	220/380 230/400	220/230/240	220	220~240	6	4	2.5	1.5
600	380/660 400/690	380/400/415 480/500/600	480	480~960	8	6	4	2.5
1000		660/690/720 1000	1000		12	8	6	4
1500	1140	1140			15	12	8	6

5.3 其他特性

- a) 污染等级: (见 7.1.4);
- b) 电气间隙: (见 8.3.2);
- c) 爬电距离: (见 8.3.3);
- d) 防护等级: (见 8.2);

6 信息

6.1 成套设备规定的标志

成套设备制造商应为每台成套设备配置一个或数个铭牌, 铭牌应坚固、耐久, 其位置应该是在成套设备安装好并投入运行时易于看到的地方, 而且字迹要清楚。是否合格应依据 10.2.7 的要求进行试验和目测检验。

成套设备的下列信息应在铭牌上标出:

- a) 成套设备制造商的名称或商标;
- b) 型号或标志号, 或其他标识, 据此可以从成套设备制造商获得相关的信息;
- c) 鉴别生产日期的方式;
- d) 执行标准号;
- e) 重量。

注: 可以在铭牌上给出成套设备相关标准的附加信息。

6.2 文件

6.2.1 关于成套设备的信息

第 5 章中所有的接口特性, 如果适用, 应随同成套设备交货的技术文件提供。

6.2.2 装卸、安装、操作与维护的使用说明书

成套设备制造商应在其技术文件或产品目录中规定成套设备及设备内部件的装卸、安装、运行与维护条件。如:

依据成套设备的使用环境, 应针对成套设备设计专用于海上高盐雾、高湿热的防潮、干燥包装, 有效防止存放时盐雾对成套设备的损害。

成套设备交付时, 应配备完整的操作与维护说明书。说明书应至少包含以下内容,

——成套设备开门操作时, 注意减少侵入湿气对产品损害, 有效做到对湿气的去除;

——定期对成套设备进行维护, 检查机械性能和腐蚀情况, 做到对成套设备在高盐雾、高湿热环境下的维护保养。

具体依据生产商的用户手册和/或安装使用说明书中相关规定执行。

6.3 器件和/或元件的识别

在成套设备中, 应能识别出各个电路和它们的保护器件。标签应清晰易读、经久耐用且适合海上盐雾环境。所用的标识应符合 IEC 81346—1 和 IEC 81346—2。并与配电图中的标识一致, 配线图中标识应符合 IEC 61082—1。

7 使用条件

7.1 正常使用要求

7.1.1 一般要求

成套设备安装于海上风机塔筒内部或海上风机平台上集装箱内部。

7.1.2 周围空气温度

- 常温型：—15℃～+55℃；
- 低温型：—25℃～+55℃；

7.1.3 湿度条件

周围空气相对湿度最高温为+40℃时，相对湿度不得高于50%，在较低温时允许有较大的相对湿度，如在+20℃时为100%，月平均湿度不超过90%。考虑到由于温度急剧变化，有可能会偶尔产生适度的凝露。

7.1.4 污染等级

污染等级是指成套设备所处的环境条件。
如果没有其他规定，成套设备一般在污染等级3环境中使用。即存在导电性污染，或者由于凝露使干燥的非导电性污染变成导电性的污染。对其他污染等级可以根据特殊用途或微观环境考虑采用。
周围空气可能受到腐蚀性气体、蒸气或盐雾的污染。
注：本标准中的污染等级是指影响电气间隙和爬电距离的周围环境条件。

7.1.5 海拔

成套设备安装在海上风机塔筒内部或海上风机平台上，安装地点海拔高度不超过1000 m。
注：对于在更高海拔适用的成套设备，要考虑相关电性能的降低，具体要求由制造商和用户协商确定。

7.1.6 盐雾

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应有耐受海洋高盐雾腐蚀的能力。盐雾试验的严酷等级按以下规定。
严酷等级:四个喷雾周期, 每个2h, 每个喷雾周期之后紧接着一个为期7d的湿热贮存周期。
注:湿热贮存周期可适当缩短, 使每个喷雾周期加上湿热贮存周期总共为7d。

7.1.7 长霉

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应有耐受海洋潮湿环境下长霉的能力。长霉试验的严酷等级按以下规定。
严酷等级:56d。
长霉程度：2b肉眼明显看到很多地方或多或少均匀长, 长霉面积不超过测试面积的25%。

7.1.8 交变湿热

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应有耐受海洋高湿度与温度变化的能力。交变湿热试验的严酷等级按以下规定。
严酷程度：高温 55℃,循环 2 次，持续时间为 48h 进行。

7.1.9 振动(正弦)

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备，应耐受风力发电机组正常工作时的振动和海浪、洋流和船舶等冲击时的振动。振动试验的严酷等级按海上风机安装方式从表3中选取。

表 3 正弦振动

风机安装方式	频率范围 Hz	位移幅值 mm	加速度幅值 m/s ²
--------	------------	------------	---------------------------

固定基础式风机	2~13.2	±1	—
	23.2~100	—	±6.9(0.7g)
漂浮式风机	5~200	3.5	±10(1g)

7.1.10 随机振动

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备，应耐受海浪、洋流和船舶等冲击时的随机振动。随机振动试验的严酷等级按表4规定。

表 4 随机振动

加速度频谱密度 (ASD) (m/s ²) ² /Hz	斜率	频率范围 Hz	持续时间 min
1.0	/	10-100	30
/	-3	100-200	
0.5	/	200-500	

7.1.11 冲击

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备，应耐受海浪、洋流和船舶等的冲击。冲击试验的严酷等级按表5规定。

表 5 冲击

峰值加速度 m/s ²	脉冲持续时间 ms	半正弦 m/s
150	11	1.1
250	6	1.1

7.1.12 碰撞

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备，应耐受海浪、洋流和船舶等的碰撞。碰撞试验的严酷等级按表6规定。

表 6 碰撞

峰值加速度 m/s ²	脉冲持续时间 ms	相应速度变化量 m/s
200	6	0.9

7.1.13 倾斜摇摆试验

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备，应耐受海浪、风力等冲击时的倾斜和摇摆。倾斜摇摆试验的严酷等级按表7、表8规定。

表 7 倾斜

试验项目	倾斜角	试验持续时间 min
纵倾	22.5°	前后各 30

横倾	22.5°	左右各 30
----	-------	--------

表 8 摇摆

试验项目	幅值	周期 s	试验持续时间 min
纵摇	±22.5°	10	30
横摇	±22.5°	10	30
首摇	±4°	20	30
纵荡	±0.5g	5	30
横荡	±0.6g	5	30
垂荡	±0.6g	5	30

注：对于倾斜摇摆严酷等级有变化时，具体要求由制造商和用户协商确定。

7.2 特殊使用条件

如果存在下述任何一种特殊使用条件, 用户应向成套设备制造商提出, 则应遵守适用的特殊要求或由成套设备制造商与用户签订专门的协议。

特殊使用条件举例如下:

- a) 温度值、相对湿度和/海拔与7.1的规定值不同;
- b) 在使用中, 温度和/或气压的急剧变化以致在成套设备内易出现异常的凝露;
- c) 空气被尘埃、烟雾、放射性微粒、等严重污染;
- d) 暴露在强电场或强磁场中;
- e) 暴露在恶劣的气候条件下;
- f) 受微生物侵蚀;
- g) 异常过电压状况或异常的电压波动;
- h) 电源电压或负载电流的过渡谐波。

7.3 运输、存放和安装条件

如果成套设备的运输、存放和安装条件, 例如温度和湿度条件与7.1中的规定不符时, 应由成套设备制造商与用户签订专门的协议。

如果没有其它规定, 成套设备的运输应包装覆盖雨布, 避免受到雨淋。

成套设备在未运行的情况下经受上述运输、存放, 不应遭受任何不可恢复的损坏, 在规定的条件下应正常工作。

注：对需要在其它特殊环境运输、存放的成套设备, 由制造商和用户协商确定。

8 结构要求

8.1 材料和部件的强度

8.1.1 通则

成套设备应由能够承受在规定的使用条件下产生的机械应力、电气应力、热应力和环境压力的材料构

成。

成套设备外壳的外形应适应其用途。这些外壳可以采用不同的材料，例如：绝缘的、金属的或它们的组合材料。

8.1.2 防腐蚀

考虑在正常使用条件下(见 7.1)，为了确保防腐蚀，成套设备应采用合适的耐腐蚀材料和/或在材料表面涂上防护层。成套设备的耐腐蚀性性能依据 10.14.1 进行试验。

8.1.3 绝缘材料的性能

8.1.3.1 热稳定性

对于绝缘材料的壳体和部件的热稳定性能，应采用高温试验验证。试验根据 GB/T 2423.2 试验 Bb 进行，温度(70±2)℃持续 168h 后，恢复 96h。按照 10.2 进行热稳定性的验证。试验可在一个有代表性的壳体或部件样品上进行，对于只用于装饰目的的部件不进行此项试验。

8.1.3.2 绝缘材料耐受非正常发热和着火的性能

用来固定载流部件的绝缘材料部件，由于内部电气作用导致部件暴露在热应力下，而且由于部件的老化而使成套设备的安全性受到损害，因而绝缘材料部件不应受到非正常发热和着火的有害影响，并且应用 GB/T 5169.11 的灼热丝试验进行验证。在进行本试验时，保护导体(PE)不作为载流部件考虑。

灼热丝顶部的温度应如下：

- 安装载流部件的部件：(960±15)℃；
- 嵌入墙内的壳体：(850±15)℃；
- 其他部件，包括需要安装保护导体的部件：(650±10)℃。

对于小的部件(表面积尺寸不超过 14mm×14mm)，或部件的金属材料大于绝缘材料的情况，可采用替代的试验方法(例如：按照 GB/T 5169.5 的针焰试验)。

如果具有代表性截面积的同一种材料作为部件已经满足 8.1.3.2 的要求，则不需要重复试验。它对已经依据各自说明书试验过的所有部件都是一样的。

成套设备制造商可以提供来自绝缘材料供货商关于绝缘材料适用性的数据以证明符合这些要求。

8.1.4 耐紫外线辐射

对于户外使用的由绝缘材料或合成材料制成的壳体和壳体部件，应进行耐紫外线辐射验证，按照 10.2 的规定进行验证。

8.1.5 机械强度

成套设备所有的外壳或隔板包括门的闭锁装置和铰链，应具有足够的机械强度以承受正常使用和短路条件下所遇到的应力。

可移动式部件的机械操作，包括所有的插入式连锁，按照 10.13 的规定进行机械操作验证。

8.1.6 提升装置

如果需要，成套设备应配备合适的提升装置，按照 10.2 的规定进行验证。

8.2 成套设备外壳的防护等级

8.2.1 对机械碰撞的防护

对成套设备壳体应提供防止机械碰撞的防护等级，相关要求按 GB/T 20138 的规定，由制造商和用户协商确定。

8.2.2 防止触及带电部件以及外来固体和水的进入

成套设备提供的防止触及带电部件及防止外来固体和水进入的防护等级,用 IP 代码表示,并按照 10.3 进行验证。

成套设备的防护等级应不低于 IP54。

除非另有规定,成套设备制造商给出的防护等级适用于整个成套设备。如果成套设备有不同的防护等级,成套设备制造商则应单独标出该部位的防护等级。

8.2.3 可移式和/或可抽出式部件的防护等级

成套设备标明的防护等级通常适用于可移式和/或可抽出式部件的连接部位。如果在可移式和/或可抽出式部件移出以后,成套设备不能保持原来的防护等级,则成套设备制造商与用户应达成采用某种措施以保证足够防护的协议,成套设备制造商提供的资料可以代替这种协议。

当使用活动挡板为带电部件提供足够的防护时,应确保对非故意移动的防护。

8.3 电气间隙和爬电距离

8.3.1 通则

应采用最高电压额定值来确定各电路间的电气间隙和爬电距离(电气间隙依据额定冲击耐受电压,爬电距离依据额定绝缘电压)。

对于裸带电导体和端子(例如:母线、装置和电缆接头的连接处),其电气间隙和爬电距离至少应符合与其直接相连的器件的有关规定。

当短路电流不大于成套设备标称额定值时,母线和/或连接线间的电气间隙和爬电距离也不宜减小至成套设备的规定值以下。由于短路导致的壳体部件或内部隔板、挡板和屏障的变形,其电气间隙和爬电距离也应小于 8.3.2 和 8.3.3 的规定值。

8.3.2 电气间隙

电气间隙应足以达到能承受标称电路的额定冲击耐受电压(U_{imp})。电气间隙应不低于表 9 的规定值,但进行了冲击耐受电压试验的情况除外。

表 9 空气中的最小电气间隙

额定冲击耐受电压 U _{imp} kV	最小电气间隙 mm
≤2.5	1.5
4	3.0
6	5.5
8	14
12	20
15	25
注:根据非均匀电场环境和污染等级3决定。	

8.3.3 爬电距离

成套设备制造商应依据所选择的成套设备电路的额定绝缘电压(U_i)来确定爬电距离。对于任一电路,其额定绝缘电压应不小于额定工作电压(U_e)。

在任何情况下,爬电距离都不应小于相应的最小电气间隙。

最小爬电距离应根据 7.1.4 规定的污染等级和相应的材料组别以及成套设备的额定绝缘电压按表 10 确定。

表 10 最小爬电距离

额定绝缘电压 U_i V^b		最小爬电距离			
		mm			
		材料组别 ^c			
		I	II	IIIa	IIIb
250		3. 2	3. 6	4	4
400		5	5. 6	6. 3	6. 3
800		10	11	12. 5	a
1000		12. 5	14	25	
1250		16	18	30	
		注: 以上数据是在污染等级3环境中使用的情况。 a 材料组别IIIb – 一般不推荐用于630V以上的污染等级3。 b 作为例外, 对于列表中没有注明的额定绝缘电压等级, 可采用对应其最近的较高挡的爬电距离。 c 根据相比电痕化指数 (CTI) 的电压范围值, 材料组别分组如下: —材料组别I 600≤CTI —材料组别II 400≤CTI<600 —材料组别IIIa 175≤CTI<400 —材料组别IIIb 100≤CTI<175			

8.4 电击防护

应采用 GB/T 7251.1—2013 中 8.4 规定的基本防护和故障保护措施实现成套设备的电击防护。

基本防护旨在防止直接与危险的带电部件接触。基本防护可以利用成套设备本身适宜的结构措施,或在安装过程中采取的附加措施来获得。

采用保护导体对成套设备提供故障保护。验证成套设备的不同裸露导电部件是否有效地连接到外部保护导体的进线端子上,进线保护导体和相关的裸导电部件之间的电阻应不超过 0.1 Ω。

成套设备制造商应给出所采取电击防护措施的相关信息。

8.5 开关元件和元件的组合

组装在成套设备中的元器件及部件的选用应符合成套设备的电气性能指标和使用环境条件的要求,并应符合设计图样和相关的产品标准的规定,其安装和布线应按其制造商所提供的说明书进行。

GB/T 7251.1—2013 中 8.5 的相关内容适用。

8.6 内部电路和连接

GB/T 7251.1—2013 中 8.6 的相关内容适用。

8.7 冷却

成套设备安装在海上风机塔筒内部或海上风机平台上集装箱内部,周围空气温度可达+55℃,应采取强迫冷却方式降低产品热量。成套设备安装有风扇或其它强迫通风措施,如采用风扇时,在风扇处需有 IP 防护设计,在保证成套设备需求的防护等级下具有良好通风散热效果。

8.8 外接导线端子

一次、二次电缆进出口应采用防护等级 IP54 以上的固定电缆接头，防止湿气进入成套设备内部。
GB/T 7251.1—2013 中 8.8 的相关内容适用。

9 性能要求

9.1 介电性能

9.1.1 一般要求

成套设备的每条电路都应承受：

- 暂时过电压；
- 瞬态过电压。

用施加工频耐受电压的方法验证成套设备承受暂时过电压的能力及固体绝缘性能的完好，用施加冲击耐受电压的方法验证成套设备承受瞬态过电压的能力。

9.1.2 工频耐受电压

成套设备的电路应承受表11和表12给出的相应的工频耐受电压，设计验证工频耐受电压试验的持续时间是5s，例行验证是1s。成套设备任何电路的额定绝缘电压应不低于其最大工作电压。

表 11 主电路工频耐受电压值

额定绝缘电压 U_i (线—线 交流或直流) V	介电试验电压交流有效值 V	介电试验电压直流 V
$U_i \leq 60$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2830
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
$1000 < U_i \leq 1500$	3500	3820

表 12 不与主电路连接的辅助电路和控制电路的工频耐受电压值

额定绝缘电压 U_i (线—线 交流或直流) V	介电试验电压交流有效值 V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$U_i < 60$	见表11

9.1.3 冲击耐受电压

9.1.3.1 主电路的冲击耐受电压

带电部件与裸露导电部件之间，不同电位的带电部位之间应承受表13给出的对应于额定冲击耐受电压的试验电压值。成套设备的额定冲击耐受电压应不低于表2中给出的成套设备电路的电源系统额定电压和相应的冲击电压。

表 13 主电路冲击耐受电压值

额定冲击耐受 电压 U_{imp} kV	试验期间的试验电压和相应的海拔		
	$U_{1.2/50}$ 交流峰值和直流 kV		
	海平面	500m	1000m
2.5	2.95	2.8	2.7
4.0	4.8	4.7	4.4
6.0	7.3	7.0	6.7
8.0	9.8	9.3	9.0
12	14.8	14	13.3
15	19.1	18	17.8

9.1.3.2 辅助电路的冲击耐受电压

a) 连接在主电路上，且以额定工作电压（没有任何减少过电压的措施）运行的辅助电路应符合 9.1.3.1 的要求。

b) 不与主电路连接的辅助电路，可以有与主电路不同的过电压承受能力。这类交流或直流电路的电气间隙应可以承受表 13 中给出的相应的冲击耐受电压。

9.1.4 对浪涌保护器的要求

成套设备用的低压浪涌保护器应按 GB/T 18802.11-2020 的相关规定进行试验，同时浪涌保护器应满足如下基本要求：

- a) 浪涌保护器应能在配置点最大持续工作电压下长期接入而不劣化；
- b) 浪涌保护器应能承受在配置点可能出现的雷电流而不损坏；
- c) 浪涌保护器的电压保护水平应低于被保护设备冲击耐受水平并有一定裕量；
- d) 浪涌保护器自身损坏应不影响被保护设备和系统的安全运行；
- e) 按照浪涌保护器制造商的推荐，应对此浪涌保护器进行保护以防止不可控的短路情况。

9.2 温升极限

成套设备和它的电路在特定条件下应能够承载其额定电流，考虑到元件的额定数据、它们的布置和应用，且当按照 10.10 验证时不超过下表中给出的限值。表 14 中给出的温升限值适用于周围空气平均温度不超过 35℃。

温升不应应对成套设备载流部件和相邻部件造成损坏。

表 14 温升限值

成套设备的部件	温升/K
内装元件	根据各个元件的相关产品标准要求，或根据元件制造商的说明书，考虑成套设备内的温度
用于连接外部绝缘导线的端子	70
母线和导体	受下述条件限制： ——导电材料的机械强度； ——对相邻设备的可能影响； ——与导体接触的绝缘材料的允许温度极限； ——导体温度对与其相连的电器元件的影响；

	——对于接插式触点，接触材料的性质和表面的处理
操作手柄 ——金属的； ——绝缘材料的	15 25
可接近的外壳和覆板 ——金属表面； ——绝缘表面	30 40
分散排列的插头与插座连接	组成部件的相关设备的那些元件的温升极限而定

9.3 短路保护和短路耐受强度

成套设备应能够耐受不超过额定值的短路电流所产生的热应力和电动应力。

应按照10.2.7对成套设备进行验证。

9.4 电磁兼容性（EMC）

装有电子器件的成套设备应适用于规定的EMC环境。

与电磁兼容性相关的性能要求，GB/T 7251.1—2013中附录J的规定适用。

10 设计验证

10.1 通则

设计验证应由以下部分组成：

成套设备的试验包括设计验证和例行检验。设计验证是为了验证成套设备或成套设备系统的设计是否符合其标准的要求、设计验证可以采用试验验证、与已试验的基准设计进行验证比较以及验证评估的方法、相关的规定见 GB/T 7251.1-2013 的附录 D 试验应在新的成套设备代表性样品上进行。

成套设备的性能可能会受验证试验（例如短路试验）的影响。这些试验不能在打算使用的成套设备上进行。

成套设备的设计验证应包括以下项目：

- 10.2 材料和部件的强度；
- 10.3 成套设备的防护等级；
- 10.4 电气间隙和爬电距离；
- 10.5 电击防护和保护电路完整性；
- 10.6 开关器件和元件的组合；
- 10.7 内部电路和连接；
- 10.8 外接导线端子。
- 10.9 介电性能；
- 10.10 温升验证；
- 10.11 短路耐受强度；
- 10.13 机械操作；
- 10.14 环境试验；
- 10.15 布线、操作检查。

成套设备验证中使用的数据、计算和比较，应记录在试验报告中。

注：用于验证的成套设备或其部件的数量、所适合的验证方法选择以及验证顺序按制造商的要求确定。

基准设计、用于验证的成套设备或其部件的数量、所适合的验证方法的选择以及执行验证顺序应该遵从初始制造商的规定。

10.2 材料和部件的强度

成套设备材料和部件的机械、电气和热性能应通过结构和性能试验验证。

如果使用符合 GB/T 20641 的空壳体且没有对其进行过降低壳体性能的更改,则不需要按 10.2 的规定重复进行壳体的试验。

成套设备的材料和部件的强度应按 GB/T 7251.1—2013 中 10.2 进行验证,试验结果应符合 8.1 的要求。

对需要进行盐雾试验的成套设备,试验依据 10.14 规定的方法进行。

10.3 成套设备的防护等级

成套设备防触电和防水的防护等级应依据 GB 4208 进行验证,试验应在一台有代表性装备的成套设备上按制造商规定的环境条件下进行。试验时所有的门、覆板应就位并关闭。按照成套设备制造商的说明书安装后,封闭式成套设备防护等级至少应为 IP54。当成套设备使用的空壳体符合 GB/T 20641 规定的要求时,应进行验证评估以确保成套设备没有降低防护等级,在这种情况下不必再做进一步的试验。

10.4 电气间隙和爬电距离

验证电气间隙和爬电距离应符合 8.3 规定的要求。

用测量来确定爬电距离的方法按 GB/T 7251.1—2013 中附录 F 规定进行。

10.5 电击防护和保护电路完整性

成套设备的电击防护和保护电路连续性试验的方法见 GB/T 7251.1—2013 中 10.5 的规定,试验结果应符合 8.4 的要求。

10.6 开关器件和元件的组合

依据 8.5 的设计要求,开关器件和元件的组合应经初始制造商检查确认。

10.7 内部电路和连接

依据 8.6 的设计要求,内部电路和连接应经初始制造商检查确认。

10.8 外接导线端子

依据 8.8 的设计要求,外接导体端子应经初始制造商检查确认。

10.9 介电性能

成套设备的介电性能验证见 GB/T 7251.1—2013 中 10.9 的规定,试验结果应符合 9.1 的要求。

10.10 温升验证

验证成套设备或成套设备系统各部位的温升限值应不超过 9.2 的要求,温升试验的方法见 GB/T 7251.1—2013 中 10.10 的规定。

10.11 短路耐受强度

对成套设备的短路耐受强度,可以通过使用验证比较、计算或试验来进行验证。试验方法和要求见 GB/T 7251.1—2013 中 10.11 的规定。

10.12 电磁兼容性 (EMC)

对成套设备的 EMC 试验方法和要求见 GB/T 7251.1—2013 附录 J 的规定。

10.13 机械操作

如果在安装时机械操作部件无损坏，则不必对其进行操作验证试验。

对于需要进行机械操作试验的器件，应验证成套设备操作器件的机械操作是否良好，操作循环次数设计验证为 50 次，例行检验为 5 次，同时检查与操作相关的机械连锁机构的工作应正确无误。操作试验后，如果器件和连锁机构的操作力与试验前一样，操作机构未受损伤，则认为通过了试验。

注：对可抽出式部件，一次操作循环包括从连接位置到隔离位置，然后回到连接位置的实际移动。

10.14 环境试验

10.14.1 盐雾试验

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应有规定的耐海洋高盐雾腐蚀的能力，按 GB/T 2423.18—2012 规定的方法验证成套设备耐盐雾的能力，严酷等级依据 7.1.6 的要求。

试验结果：试验结束后直接对样品进行目视检查，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤，
- 或锈蚀，锈蚀要求如下表：

镀层类型	底金属	合格要求
铜+镍+铬/低锡青铜+铬	碳钢	主要表面无棕锈
锌	碳钢	主要表面无浅绿色腐蚀物
镍+铬	铜和铜合金	主要表面无浅绿色腐蚀物
镍或高锡青铜	铜和铜合金	主要表面无浅绿色或无灰色腐蚀物
锡	铜和铜合金	主要表面无灰色腐蚀物
金、银	铜和铜合金	主要表面无铜绿

待恢复 1 小时后，进行电性能测试，以确定：

- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.14.2 长霉试验

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备或成套设备元件应有规定的耐长霉的能力，按 GB/T 2423.16—2008 规定的方法验证成套设备耐长霉能力，严酷等级依据 7.1.7 的要求。

试验结果：试验结束后直接对样品进行目视检查，若有必要可用立体显微镜放大 50 倍左右进行检查，以确定长霉面积不超过此测试件面积的 25% 的要求。

10.14.3 交变湿热

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐交变湿热腐蚀的能力，按 GB/T 2423.4—2008 规定的方法验证成套设备耐交变湿热能力，严酷等级依据 7.1.8 的要求。

试验结果：试验结束后直接对样品进行目视检查，无肉眼可见的机械损伤或锈蚀。待恢复 1 小时后，按 10.9 进行工频耐压试验，试验电压值见 9.1.2 的规定，应无绝缘击穿、闪络现象，同时电气分合闸操作正常。

10.14.4 正弦振动试验

用于海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐振能力，按 GB/T 2423.10 规定的方法验证成套设备耐振能力，严酷等级依据 7.1.9 的要求。

10.14.4.1 扫频耐久

振动试验的扫频耐久选取单一轴向 10 次循环扫频，产品需在 X、Y、Z 三个轴向上依次进行扫频试验。

10.14.4.2 定频耐久

对共振检查中的危险频率做定频耐久试验

在振动响应检查中在每一轴向上找到的在低于 80Hz 频率下， $Q > 2$ 的各个危险频率上的耐久振动持续时间为 90 min，其容差为 0%~5%。

在预定频率上

若无危险共振点，则在 30Hz 以下进行耐振试验，试验总时间为 90min。

产品试验前辅助回路及控制回路应施以额定电压，断路器处于合闸状态。

试验结果：测试中无分闸现象，试验结束后对样品进行目测检查和电性能检测，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤；
- 机械完整性没有损坏；
- 门、铰链、锁和紧固件没有异常；
- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.14.5 随机振动试验

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐随机振动能力，按 GB/T 2423.56-2018 规定的方法验证成套设备耐随机振动能力，严酷等级依据 7.1.10 的要求。

随机振动试验在 X、Y、Z 三个轴向上进行。

产品试验前辅助回路及控制回路应施以额定电压，断路器处于合闸状态。

试验结果：测试中无分闸现象，试验结束后对样品进行目测检查和电性能检测，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤；
- 机械完整性没有损坏；
- 门、铰链、锁和紧固件没有异常；
- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.14.6 冲击试验

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐冲击能力，按 GB/T 2423.5-2019 规定的方法验证成套设备耐冲击能力，严酷等级依据 7.1.11 的要求。

冲击试验在 X、Y、Z 三个轴向上进行，每个方向的冲击次数为 3 次。

产品试验前辅助回路及控制回路应施以额定电压，断路器处于合闸状态。

试验结果：测试中无分闸现象，试验结束后对样品进行目测检查和电性能检测，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤；
- 机械完整性没有损坏；
- 门、铰链、锁和紧固件没有异常；
- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.14.7 碰撞试验

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐碰撞能力，按 GB/T 2423.6-1995 规定的方法验证成套设备耐碰撞能力，严酷等级依据 7.1.12 的要求。

碰撞试验在 X、Y、Z 三个轴向上进行，每个方向的碰撞次数为 100 次。

产品试验前辅助回路及控制回路应施以额定电压，断路器处于合闸状态。

试验结果：测试中无分闸现象，试验结束后对样品进行目测检查和电性能检测，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤；
- 机械完整性没有损坏；
- 门、铰链、锁和紧固件没有异常；
- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.14.8 倾斜摇摆试验

用于漂浮式海上风机塔筒内部或海上风机平台上的成套设备应具有规定的耐倾斜摇摆能力，按 GB/T 2423.101-2008 规定的方法验证成套设备耐倾斜摇摆能力，严酷等级依据 7.1.13 的要求。

倾斜试验由倾斜角度和试验持续时间两个参数来确定。正弦摇摆试验由摇摆角度（纵摇、横摇、首摇）或线加速度幅值（纵荡、横荡、垂荡）、摇摆周期和试验持续时间 3 个参数来确定。

产品试验前辅助回路及控制回路应施以额定电压，断路器处于合闸状态。

试验结果：测试中无分闸现象，试验结束后对样品进行目测检查和电性能检测，以确定：

- 样品无肉眼可见的机械损伤；
- 机械完整性没有损坏；
- 门、铰链、锁和紧固件没有异常；
- 按产品规定的试验电压进行工频耐压试验，无绝缘击穿、闪络现象；
- 电气分合闸操作正常；
- 回路电阻测试变化值不高于初始值的 10%。

10.15 布线、操作检查

验证成套设备的铭牌和标志应符合 6.1 的规定。

检查成套设备内装元器件及安装和布线是否符合设计图样的要求。根据成套设备的复杂程度，可能有必要检查布线，并对成套设备进行操作和性能的试验验证，试验程序和试验次数取决于成套设备是否包括复杂的连锁装置和程序控制装置等。

11 例行检验

例行检验用来检查材料和工艺的缺陷和用来确认制造完工的成套设备的良好功能，每一台成套设备都要进行例行检验。成套设备应确定例行检验是在制造过程中和/或制造后进行。在合适的时候，它还用来确认设计验证的有效性。

如果成套设备中的器件和整装元件已按照 8.5 进行选择，并且按照器件制造商的说明书进行安装，则不要求对上述器件和整装元件进行例行检验。

成套设备的例行检验应包括以下项目：

- 10.3 成套设备的防护等级；
- 10.4 电气间隙和爬电距离；
- 10.5 电击防护和保护电路完整性；

- 10.9 介电性能;
- 10.13 机械操作;
- 10.15 布线、 操作检查。

成套设备验证中使用的数据、计算和比较,应记录在试验报告中。

注:用于验证的成套设备或其部件的数量、所适合的验证方法选择以及验证顺序按制造商的要求确定。

基准设计、用于验证的成套设备或其部件的数量、所适合的验证方法的选择以及执行验证顺序应该遵从初始制造商的规定。

成套设备验证中使用的数据、计算和比较,应记录在验证报告中。

12 包装

成套设备的包装应按GB/T 13384—2008的要求。根据产品的类型、结构、尺寸、运输方式等诸多因素,采用合理的包装材料及方式,要求产品包装应符合科学、经济、牢固、美观和适销的要求,在各种储运、装卸条件下,不应因包装不善而产生损坏、变质、精度降低及丢失等现象,并能防止磕、碰、伤、脏、锈、漏、松等七害的发生。

为了防止产品零部件在海上特殊环境条件下发生腐蚀与破坏,必须做好产品的防护包装工作,防护包装需要采取防水、防潮、防锈、防霉、防震、防磕碰、防磨等多种防护措施的组合。

- 防水包装应符合GB/T 7350的规定。
- 防潮包装应符合GB/T 5048的规定。
- 防锈包装应符合NB/T 31094的规定。
- 防霉包装应符合GB/T 4768的规定。
- 防震包装应符合GB/T 8166的规定。
- 防磕碰、防磨应符合NB/T 31094的规定。

产品封口应牢固严密,不应泄漏。在产品包装或使用说明上,对产品的材质、使用条件、方式方法、注意事项、应避免的情况、可预见意外发生时的应急处理等予以明确说明,以便于理解的方式告知产品应用方。