

# 风力发电机组雷电防护系统技术规范 (NB/T 31039—2012)

## 1 范围

本标准规定了风力发电机组应有的雷电防护措施以及检测的相关要求。

本标准适用于陆上使用、额定功率在600kW及以上的水平轴风力发电机组的雷电防护系统。其他的风力发电机组可参照本标准。本标准主要是针对风力发电机组本身,包括其与风电场集电系统连接部件在机组侧的雷电防护。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本标准。

凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB/T 2900—2008 电工术语

GB 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器 (IEC 60099-4:2006, MOD)

GB 16895.22—2004 建筑物电气装置 第5-53部分:电气设备的选择和安装—隔离开关和控制设备 第534节:过电压保护电器 (IEC 60364-5-53:2001, IDT)

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术第1部分:一般试验要求 (IEC 60060-1:2006, MOD)

GB 18802.1—2011 低压电涌保护器 (SPD) 第1部分:低压配电系统的电涌保护器性能要求和试验方法 (IEC 61643-1:2005, MOD)

GB/T

18802.21—2004 低压电涌保护器第21部分:电信和信号网络的电涌保护器 (SPD)——性能要求和试验方法 (IEC 61643-21:2000, IDT)

GB/T 18802.22—2008 低压电涌保护器 第22部分:电信和信号网络的电涌保护器 (SPD) 选择和使用导则 (IEC 61643-22:2004, IDT)

GB/T 21714.1—2008 雷电防护 第1部分:总则 (IEC 62305-1:2005, IDT)

GB/T 21714.2—2008 雷电防护 第2部分:风险管理 (IEC 62305-2:2005, IDT)

GB/T 21714.3—2008 雷电防护 第3部分:建筑物的物理损坏和生命危险 (IEC 62305-3:2006, IDT)

GB/T 21714.4—2008 雷电防护 第4部分:建筑物内电气和电子系统 (IEC 62305-4:2006, IDT)

GB/Z 25427—2010 风力发电机组雷电防护 (IEC/TR61400-24:2002, MOD)

GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范

IEC/TS 61400-23 风力发电机转子叶片的全尺寸比例结构试验 (Full-scale structural testing of rotor blades)

IEC 61400-24:2010 风轮机 第24部分 雷电防护 (Wind turbines-Part 24: Lightning protection)

IEC 62305-3 雷电防护 第3部分:对建筑物的物理损伤和寿命危害 (Protection against lightning-Part 3: Physical damage to structure and life hazard)

EN 50164-1:2008 雷电防护部件 第1部分:连接件要求 (Lightning Protection Components (LPC) Part 1: Requirements)

for connection components )

### 3术语和定义、符号

#### 3.1术语和定义

GB/T 2900—2008、GB 18802.1—2011、GB/T 24714.3—2008、GB/Z 25427—2010、GB 50057—2010界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

##### 3.1.1

雷电防护系统lightning protection system ; LPS

用于减少雷电闪击于建(构)筑物上或建(构)筑物附近造成的实体损害和人身伤亡的整个系统。

注:雷电防护系统由接闪器、引下线和接地装置等部分构成,也包括由等电位连接和/或电气绝缘组成的防雷击危害措施,是综合雷电防护系统的基本部分。

##### 3.1.2

雷电电磁脉冲lightning electromagnetic impulse ; LEMP

雷电流经电阻、电感、电容耦合产生的电磁效应,包含闪电电涌和辐射电磁场。

[ GB 50057—2010, 定义2.0.25 ]

##### 3.1.3

LEMP防护措施系统LEMP protection measures system ; LPMS

用来防护LEMP对电子电气设备和生命体危害的系统性措施,它是综合雷电防护系统的组成部分。

##### 3.1.4

雷电防护水平lightning protection level ; LPL

用来设计雷电防护措施的一组带概率性的雷电流参数值,超过其中最大值或低于其中最小值的自然雷电流是一个低概率事件。它反映了防雷系统的防护效率。

##### 3.1.5

雷电防护区lightning protection zone ; LPZ

划分雷击电磁环境强度的区。防雷区的分界面不一定要有实物界面,如不一定要有墙壁、地板或天花板作为分界面。

注:LPZ建立后,其空间的LEMP强度应与该空间内的内部系统的冲击耐受水平相匹配。

##### 3.1.6

接闪器air-termination system

雷电防护系统中用于拦截雷击的组成部分。

注:由拦截闪击的接闪杆、接闪带、接闪线、接闪网以及金属面、金属构件等组成。

### 3.1.7

电涌保护器surge protective device ; SPD

用于限制瞬态过电压和泄放电涌电流的电器,它至少包含一非线性的元件。

[ GB 18802.1—2011, 定义3.1 ]

### 3.1.8

引下线down-conductor system

用于将雷电流从接闪器传导至接地装置的导体。

[ GB 50057—2010, 定义2.0.9 ]

### 3.1.9

接地体earth electrode

埋入土壤或混凝土基础上作散流用的导体。

[ GB 50057—2010, 定义2.0.11 ]

### 3.1.10

接地装置earth-termination system

接地体和接地线的总合,用于传导雷电流并将其流散入大地。

### 3.1.11

基础接地极foundation earth electrode

指地基混凝土钢筋或预埋在建筑物混凝土中用作接地体的其他导体。

[ GB/T 2714.3—2008, 定义3.12 ]

### 3.1.12

雷电流lightning current

流经雷击点的电流。

[ GB/Z 25427—2010, 定义3.22 ]

### 3.1.13

雷电等电位连接lightning equipotential bonding

为减少雷电流引起的电位差,直接用短直导体或通过SPD把分离的金属部件连接到LPS上的一种防雷措施。

### 3.1.14

雷击lightning stroke

对地雷闪中的单次放电。

[ GB/Z 25427—2010, 定义3.26 ]

### 3.1.15

LPS的自然部件natural component of LPS

虽不是为防雷专门安装的导体部件,但在某些情况下,可起到LPS的一个或多个部件的作用。例如:

自然接闪器,自然引下线 and 自然接地极等。

### 3.1.16

用Iimp测试的SPD SPD tested with Iimp

经受得起10/350  $\mu$ s典型波形的部分雷电流的电涌保护器,需要用Iimp电流做相应的冲击试验。

注:对电力线路,合适的测试电流Iimp由GB 18802.1—2011的 类试验测试程序定义。

### 3.1.17

用In测试的SPD SPD tested with In

经受得起8/20  $\mu$ s典型波形的感应电涌电流的电涌保护器,需要用In电流做相应的冲击试验。

注:对电力线路,合适的测试电流In由GB 18802.1—2011的 类试验测试程序定义。

### 3.1.18

比能量 (W/R) specific energy

在整个雷击期间雷电流的二次方对时间的积分;它表示在单位电阻上雷电流能量的消散。

[ GB/Z 25427—2010, 定义3.38 ]

### 3.1.19

电涌surge

由LEMP引起的,以过电压和/或过电流形态出现的瞬时波。

注1:由LEMP引起的电涌可来自于(局部的)雷电流、设施内环路的感应效应,以及下级SPD的残余威胁。

注2:也可能是由其他原因如开关操作或熔断器熔断引起的。

### 3.1.20

协调配合的SPD防护coordinated SPD protection

一组经过适当选择、配合和安装,用于减少因雷击造成电气和电子系统失效的SPD防护。

### 3.1.21

雷暴日 (Td) thunderstorm days

一天中可听到一次以上的雷声则称一个雷暴日。可从等雷暴图获得的某地每年雷暴天数。

### 3.1.22

电压保护水平 (Up) voltage protection level

表征SPD限制接线端子间电压的性能参数,其值可从优先值的列表中选择。该值大于限制电压的最大值。

[ GB 18802.1—2011, 定义3.15 ]

### 3.1.23

低压电气系统low voltage electrical system

在本标准中,低压电气系统包括风力发电机组中的用于发生和传输风电电力能量的主电力电气系统(风力发电机,变流器及相关器件)和提供电气和电子控制测量系统用的低压电源系统。

### 3.1.24

避雷器surge arrester

用于保护电气设备免受高瞬态过电压危害并限制续流时间也常限制续流幅值的一种电器。本术语包含运行安装时对于该电器正常功能所必需的任何外部间隙,而不论其是否作为整体的一个部件。

注1:避雷器通常连接在电网导线与地线之间,然而有时也连接在电器绕组旁或导线之间。

注2:避雷器有时也称为过电压保护器,过电压限制器。

[ GB/T 2900—2008, 定义2.1 ]

### 3.1.25

无间隙金属氧化物避雷器metal-oxide surge arrester without gaps

由非线性金属氧化物电阻片串联和(或)并联组成且无并联或串联放电间隙的避雷器。

[ GB 11032—2010中的3.1 ]

### 3.2 符号

下列符号适用于本标准。

- $I_{imp}$  —— 冲击电流;
- $I_n$  —— 标称放电电流;
- $T_n$  —— 雷暴日;
- $U_p$  —— 电压保护水平;
- $R_r$  —— 雷害风险分量;
- $R_T$  —— 可允许雷害风险;
- $N_f$  —— 一年均危险事件次数;
- $P_r$  —— 一次雷击引起雷害的概率;
- $L_n$  —— 每一损害产生的损失率;
- $C_{un}$  —— 风力发电机组未增设防雷设施前平均年损失;
- $C_{re}$  —— 风力发电机组增设防雷设施后残余平均年损失;
- $C_{rel}$  —— 风力发电机组防雷设施的年费用;
- $C_S$  —— 间接经济损失;
- $C_P$  —— 防护措施的成本;
- $N_0$  —— 年平均雷击风力发电机组的次数;
- $N_d$  —— 雷击大地密度;
- $A_d$  —— 孤立风力发电机组的截收面积;
- $C_f$  —— 风力发电机组的位置因子;
- $N_{M1}$  —— 雷击风力发电机组附近的年平均危险事件次数;
- $A_{M1}$  —— 雷击风力发电机组附近的截收面积;
- $N_L$  —— 雷直击于进入机组的线路的年平均危险事件次数;
- $A_L$  —— 雷击进入机组线路的截收面积;
- $N_{L2}$  —— 雷击进入机组的线路附近的年平均危险事件次数;
- $A_L$  —— 雷击进入机组线路附近大地的截收面积;
- $P_A$  —— 雷击风力发电机组导致人和动物伤害的概率;
- $P_B$  —— 雷击风力发电机组导致物理损害的概率;
- $P_C$  —— 雷击风力发电机组导致电气电子系统失效的概率;
- $P_{SPD}$  —— 有 SPD 保护时系统失效的概率;
- $P_M$  —— 雷击风力发电机组附近导致信号系统失效的概率;
- $P_S$  —— 雷击服务设施导致人和动物伤害的概率;
- $P_V$  —— 雷击服务设施导致物理损害的概率;
- $P_e$  —— 雷击进入机组线路导致电气电子系统失效的概率;
- $P_z$  —— 雷击入户进入机组线路附近导致电气电子系统失效的概率;
- $P_{L1}$  —— 雷击相连的进入机组线路导致电气电子系统失效的概率;
- $R_S$  —— 电缆屏蔽层电阻;
- $L_X$  —— 损失系数;
- $L_n$  —— 触和跨步电压导致伤害的人员损失率;
- $L_f$  —— 物理损害导致的实体损失率;
- $L_o$  —— 雷击电磁脉冲导致电气电子系统失效导致的损失率;
- $n_p$  —— 可能受到危害的人员数量;
- $n$  —— 预期的总人数;
- $t_p$  —— 以小时计算的人员每年处于危险场所的时间;
- $h_r$  —— 损失相对量的增加因子;
- $n$  —— 供电对象数。

## 4 防雷的一般要求

### 4.1 雷电防护水平与雷电防护的评估

#### 4.1.1 雷电防护水平 (LPL)

风力发电机组雷电防护水平划分应按 GB/T 21714.1—2008 的规定, 每种 LPL 所规定的雷电流参数的最大值和最小值应符合表 1 和表 2。

表 1 每种 LPL 对应的雷电流参数最大值

首次短时雷击			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
峰值电流	$I$	kA	200	150		100
短时间雷击电荷	$Q_{tot}$	C	100	75		50
单位能量	$WR$	MJ/Ω	10	5.6		2.5
时间参数	$T/T_1$	$\mu s/\mu s$	10/350			
后续短时间雷击			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
峰值电流	$I$	kA	50	37.5		25
平均陡度	$d/dt$	kA/ $\mu s$	200	150		100
时间参数	$T/T_1$	$\mu s/\mu s$	0.25/100			
长时间雷击			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
长时间雷击电荷	$Q_{tot}$	C	200	150		100
时间参数	$T_{tot}$	s	0.5			
雷闪			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
雷闪电荷	$Q_{tot}$	C	300	225		150

表 2 每种 LPL 雷电参数最小值

首次短时雷击			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
最小峰值电流	$I$	kA	3	5	10	16

#### 4.1.2 雷害风险评估

当因原始资料缺乏等条件不足或有相关标准规定不必进行雷害风险评估的情况, 风力发电机组的防雷应按雷电防护水平LPL 设计。

当有条件进行雷害风险评估或无相关标准规定雷电防护水平, 则可以经过评估对整个风力发电机组采取低于LPL 的防护级别, 但对大型或重要机组仍不应低于LPL 。

风力发电机组雷害风险评估可参照附录A的方法进行。

风力发电机组雷害风险评估可按风险值做结论, 也可基于风险评估但从防雷成本效益的估算做结论。允许风险值可由主管部门或业主提出, 也可参照附录A取值。防雷成本的数据应由行业协会或制造和运行部门提供。

#### 4.2 雷电防护区 (LPZ)

##### 4.2.1 LPZ的划分

LPZ0A: 受直接雷击和全部雷电电磁场威胁的区域。该区域的内部系统可能受到全部或部分雷电电涌电流的影响。这个区域实际上就是直击雷防护系统没有保护到的区域, 也是电磁环境参数最高的区域。

LPZ0B: 直接雷击的防护区域, 但该区域仍受到全部雷电电磁场的威胁, 内部系统可能受到部分雷电电涌电流的影响。这个区域实际上就是直击雷已经得到防护, 但没有受到电磁屏蔽或SPD保护的区域。

LPZ1: 该区域受到直接雷击的防护, 空间屏蔽可以衰减雷电电磁场。由于分流和边界处SPD的作用使电涌电流受到限制。

LPZ2 ~ n: 该区域的附加空间屏蔽可以进一步衰减雷电电磁场。由于分流和边界处附加SPD的作用使电涌电流受到进一步限制的区域。作为防雷的一般规律, 被保护的对象应置于电磁特性与该对象耐受能力相兼容的LPZ内, 使损害 (物理损害和过电压使电气和电子系统失效) 减小。

注1: 一般地, 防雷区域的系数越大, 电磁环境参数越低。

注2: 电气、电子系统和设备耐压水平的资料应由制造商提供。

##### 4.2.2 实施LPZ的措施

LPZ0B由接闪器实现。风力发电机组的LPZ1和更高的LPZ由安装LPMS来实现, 如:

- a) 接地和等电位连接。
- b) 屏蔽和布线。
- c) 协调配合的SPD防护。

##### 4.2.3 风力发电机组空间的LPZ的划分

风力发电机组形成的防护区应符合图1的规定。

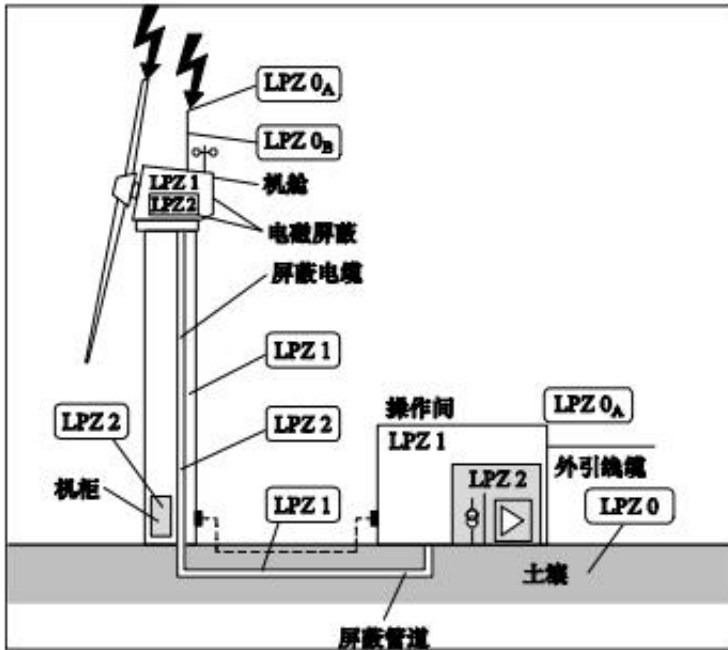


图1 风力发电机组雷电防护区 (LPZ) 的示意

a) LPZ0A包括如下部位:

- 1) 叶片、轮毂罩、机舱罩、塔架的外表面以及外部附加装置未受到雷击保护的部分。
- 2) 不在塔架保护范围又没有防雷击措施的操作间和线路。

b) LPZ0B包括如下部位:

- 1) 叶片、轮毂罩、机舱罩、塔架的外表面和外部附加装置受到雷击保护的部分。
- 2) 无金属屏蔽罩的轮毂罩、无金属屏蔽罩的机舱罩或金属网格不密集的非金属机舱罩内部的空间。
- 3) 非金属塔架或没有按照标准配备钢筋连接件的混凝土塔架内部。
- 4) 处于塔架雷击保护范围的操作间和线路。

c) LPZ1包括如下部位:

- 1) 采取了有效的雷电流导引和屏蔽措施的叶片的内部, 以及轮毂内部 (传感器、调节器等)。
- 2) 具有相应的雷电流导引措施的全金属覆盖或金属网格密集的非金属机舱罩的内部空间。
- 3) 在无金属覆盖或金属网保护却具有金属包层并以适当方式连到一个等电位连接系统 (例如作为等电位基准的机器底座) 的设备的内部。
- 4) 屏蔽电缆或处于金属管中的电缆, 其屏蔽层或金属管两端已做等电位连接。
- 5) 金属塔架或钢筋混凝土塔架的内部 (混凝土塔架的钢筋按照适用的标准设计并连接到基础接地极)。
- 6) 用钢板覆盖或具有屏蔽措施 (所有各侧具有与基础接地极或环形接地体相连的钢筋, 金属门和带金属丝网的窗) 的操作间的内部。

d) LPZ2是在防雷区LPZ1区域内采取进一步附加屏蔽措施和SPD (如设备机壳或线路屏蔽) 而实现的。



e) LPZn+1是在防雷区LPZn区域内采取进一步附加屏蔽措施和SPD而实现的。

## 5 风力发电机组组件的雷电防护

### 5.1 叶片

#### 5.1.1 叶片防雷的要求

##### 5.1.1.1 一般要求

叶片应通过装设接收器(属小型接闪器)、引下线及其连接元件组成雷电防护系统,它可为叶片结构本身的一部分、叶片的组件或集成在其内部。它应能在规定的LPL下承受相应的雷电流冲击后,确保叶片无结构性损坏,不妨碍叶片继续运行直至下一次维修;应能耐受因风、潮湿、颗粒物等引起的预期磨损以及振动,但不影响叶片的动力特性。应对包括雷击防护系统的叶片耐受机械应力的能力进行考核,并宜在进行IEC/TS61400-23的试验以前就安装在叶片上。

叶片引下线中可安装雷电流记录装置。

##### 5.1.1.2 叶片中的接收器

a) 叶片接收器应位于叶片表面上,使其能截接绝大部分的雷击先导。叶片接收器应能进行维修和更换。

b) 叶片接收器的保护范围不能用GB/T 21714.3—2008中的保护角法和滚球法来计算确定。叶片接收器系统的设计应根据5.1.2规定的试验来确定。其截接雷击先导的性能应由5.1.2规定的高压接闪试验来确定。

c) 当叶片中接收器的数量达到或超过下列规定值,可不进行附录B中高压接闪试验中的初始先导接闪试验:

1) 叶片长度 $L < 20\text{m}$ : 叶尖端接收器1个。

2) 叶片长度 $20\text{m} \leq L < 30\text{m}$ : 叶尖端接收器1个,压力面接收器1个,吸力面接收器1个(与叶尖端有一定距离处)。

3) 叶片长度 $30\text{m} \leq L < 45\text{m}$ : 叶尖端接收器1个,压力面接收器2个,吸力面接收器2个(分布在转动的叶片上)。

4) 叶片长度 $L \geq 45\text{m}$ : 叶尖端接收器1个,压力面接收器3个,吸力面接收器3个(分布在转动的叶片上)。

##### 5.1.1.3 叶片中的引下线

a) 引下线应长期可靠连接,并能承受雷电流产生的电、热及电动力效应的联合冲击。引下线宜在进行IEC/TS61400-23的试验以前就安装在叶片上,应与叶片一起进行耐受机械应力的能力考核。

b) 引下线在雷电流导引期间不应超过叶片的温度允许值。

##### 5.1.1.4 叶片接收器的形状和截面积要求

叶片接收器和引下线的材料、形状及最小横截面应符合表3的规定。

**表 3 叶片接闪器、接收器、引下线的材料, 形状及最小截面积**

材 料	形 状	最小截面积 <sup>a</sup> mm <sup>2</sup>	备 注
铜	实心带状	50	最小厚度为 2mm
	实心圆状 <sup>b</sup>	50	直径为 8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为 1.7mm
	实心圆状 <sup>c,d</sup>	200	直径为 16mm
镀锡铜	实心带状	50	最小厚度为 2mm
	实心圆状 <sup>b</sup>	50	直径为 8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为 1.7mm
铝	实心带状	70	最小厚度为 3mm
	实心圆状	50	直径为 8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为 1.7mm
铝合金	实心带状	50	最小厚度为 2.5mm
	实心圆状	50	直径为 8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为 1.7mm
	实心圆状 <sup>e</sup>	200	直径为 16mm
热镀锌钢	实心带状 <sup>f</sup>	50	最小厚度为 2.5mm
	实心圆状 <sup>f</sup>	50	直径为 8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为 1.7mm
	实心圆状 <sup>c,d,f</sup>	200	直径为 16mm
不锈钢	实心带状 <sup>g</sup>	50	最小厚度为 2.5mm
	实心圆状 <sup>g</sup>	50	直径为 8mm
	绞线	70	绞线每股的最小直径为 1.7mm
	实心圆状 <sup>c,d</sup>	200	直径为 16mm

注 1: 热镀或电镀层厚度最小为 1 μm。

注 2: 镀层应光滑、连续, 防锈层厚度至少为 50 μm。

铬含量不少于 16%, 镍含量不少于 5%, 碳含量不大于 0.07%。

<sup>a</sup> 对实心带状和实心圆状, 在需重点考虑热应力和机械力的地方, 截面积应分别增加到 60mm<sup>2</sup>和 78mm<sup>2</sup>。

<sup>b</sup> 在对机械强度不做要求的地方, 截面积可由 50mm<sup>2</sup> (直径 8mm) 减少到 28mm<sup>2</sup> (直径 6mm), 在这种情况下, 应考虑减小加固点的间隔。

<sup>c</sup> 仅适用于杆状接闪器。实际应用中, 机械应力 (例如: 风力) 不很严重的地方, 采用一根带有固定装置、直径为 10mm, 最长为 1m 的杆状接闪器即可。

<sup>d</sup> 仅适用于接地引入棒。

<sup>e</sup> 对预埋在混凝土内的不锈钢, 和/或与易燃材料直接接触的不锈钢, 如果为实心圆状, 应将最小截面积增大到 78mm<sup>2</sup> (直径 10mm), 实心带状则增大到 75mm<sup>2</sup> (最小厚度 3mm)。

<sup>f</sup> 当能量达 100MJ/Ω时, 为避免熔化, 最小截面积分别为: 铜 16mm<sup>2</sup>, 铝 25mm<sup>2</sup>, 钢 50mm<sup>2</sup>, 不锈钢 50mm<sup>2</sup>。表中的厚度、宽度和直径允许偏差为 ±10%。

### 5.1.2 检验和测试

叶片接收器和引下线截收并传导雷电流能力可通过以下方法之一进行验证:

a) 原创性的叶片的雷击防护系统应参照本标准附录B给出的高压接闪试验和大电流试验进行性能检验。试验应按规定的试验设备、试品、试验布置和试验程序进行试验。叶片应在预期接闪位置接闪, 叶片表面无破坏、无沿面闪络, 未发生击破叶片表面损及内部情况, 叶片层叠结构未破坏。试验合格判据的细节可由厂商和试验单位协商确定。

b) 经对比能够证明其与已验证合格的叶片类型(设计)相似的叶片的雷击防护系统无须专门的型式检验。

注: 叶片类型相似是指叶片整体设计(长度、材料)相似, 防雷系统设计相似(接收器数量与布置, 引下线材料、结构、数量、尺寸和连接)。对比的原型有必要的试验验证报告。与原型相比, 不能有未经证实的影响雷击易损性的改变。

c) 使用可靠的分析软件(该软件已与有成功试验结果或者有成功运行经验的叶片防雷保护设计比较后确认可靠)进行验证。

### 5.1.3 技术文件或资料

5.1.3.1 应提供下列设计文件和图纸:

- a) 接收器结构、材料、参数和布置。
- b) 引下线结构、材料、参数和布置。
- c) 附加结构元件及其连接。
- d) 叶片防雷设计说明书。
- e) 防雷检测试验报告或者5.1.2中的b)、c)所需的证明材料。

5.1.3.2 应提供下列安装和维护说明:

- a) 接收器系统以及引下线系统的安装。
- b) 对接收器检查与维护的要求。
- c) 对引下线和连接元件检查与维护的要求。

## 5.2 机舱及其他结构组件(轮毂、轮毂罩、舱体、塔架)

### 5.2.1 机舱及其他结构组件防雷的要求

#### 5.2.1.1 一般要求

风力发电机组的舱体及其他结构组件(轮毂、轮毂罩、舱体、塔架)的雷电防护应尽可能利用其本身的金属结构作为接闪器、引下线及等电位连接系统的一部分。对机舱外的气象仪器和航空警示灯应安装附加的接闪器。

#### 5.2.1.2 轮毂

轮毂金属结构本身具有好的屏蔽, 其雷电防护只需采取等电位连接。对外延到轮毂外部(去叶片根部或机舱)的电气和控制系统电路应采取过电压保护措施。

#### 5.2.1.3 轮毂罩

金属轮毂罩自然成为雷电防护系统的一部分, 应能承载所规定LPL的雷电流。金属轮毂罩的最小厚度应符合表4的规定。

当轮毂罩由非金属材料制成, 并且有部分电气控制和执行部件处于其中时, 轮毂罩应建立金属框架作为接闪器, 并

与轮毂金属相连接,应能承载所规定LPL的雷电流。金属框架条的形状及最小横截面厚度应符合表4的规定。

表4 金属框架条的形状及最小横截面厚度

LPL 类型	材料	厚度 <sup>a</sup> $t_1$ mm	厚度 <sup>b</sup> $t_2$ mm
I~IV	铅	—	2.0
	钢(不锈钢,镀锌钢)	4	0.5
	钛	4	0.5
	铜	5	0.5
	铝	7	0.65
	锌	—	0.7
* 防止击穿、热熔或燃烧。			
<sup>b</sup> 仅适用于可不防击穿、热熔或燃烧的金属板。			

#### 5.2.1.4机舱

a) 金属机舱。金属机舱结构自然成为雷电防护系统的一部分,应能承载所规定LPL的雷电流。金属舱体外罩和金属结构(如机舱底盘)应与引下线连接。

b) 非金属舱体。非金属舱体外罩(如玻璃钢外罩)应增设金属接闪网格,网格尺寸应不大于5m×5m,且至少在机舱水平方向的四条棱角上布有金属网格条。网格应能可靠接闪,承载所规定LPL的雷电流,并能一定程度、一定空间内屏蔽雷电流产生的磁场、电场。金属网格应互连并在较大范围内用金属带与机器底座多点连接,金属网格条尺寸的选择应符合表3的规定。

任何铰链应尽可能用宽的柔性铜带跨接。机舱内的设备和线路应采取良好的屏蔽和等电位连接措施。

c) 舱体内应建立等电位连接网络,内部主要金属构件、金属管道以及线路屏蔽均采用等电位连接。舱内宜设置环形等电位母排。

d) 外延到舱体外部的电气和控制系统电路应布设在金属管道内,金属管道应与引下线系统相连,电气和控制系统电路应采取过电压保护措施。

#### 5.2.1.5塔架

金属塔架可视为完善的法拉第笼,其内部不需要特定的雷电防护措施,只需采取等电位连接,对进入舱体以及引出到塔架外部的电气和控制系统电路应采取过电压保护措施。

金属塔架各段落之间应有良好的电气连接。各段落之间除了自然的结构连接以外还应有多条直接的电气连接。金属塔架可作为良好的自然引下线,各段端部和底座环应引出接地端子。也可在塔架内设置附加的垂直接地干线,此接地干线应在各段端部和底座环处与塔架相连并引出接地端子。塔架内各金属构件应就近与塔架或接地干线作接地/等电位连接。

当塔架为主筋互相连接的钢筋网时,也可作为自然引下线。在钢筋混凝土塔身中,应确保2~4根并行的竖向连接钢筋,在底部、顶部以及水平每20m有足够连接。钢筋的截面积应符合GB/T 21714.3—2008中表6的要求。

桁架型塔架不是完善的法拉第笼,其内部为LPZ0B。

#### 5.2.2技术文件

应提供有关文件或图纸,其中应包含下列信息:

- a) 机舱外壳和轮毂罩中作为接闪器的金属部件结构、材料、参数和布置。
- b) 舱体外部的接闪器。
- c) 等电位连接网络。
- d) 机舱、轮毂及轮毂罩的防雷设计说明。

### 5.3机械传动与偏航机构

#### 5.3.1机械传动与偏航机构防雷的要求

##### 5.3.1.1一般要求

机械传动与偏航机构应采用包括等电位连接、隔离和旁路等防雷措施，减少或避免雷电流通过轴承等重要机械设备，从而减少雷电过电压的危害。

##### 5.3.1.2轴承

轴承应证明能在整个服务期间耐受预期可能流过的多次雷电流，否则应采取降低或避免雷电流流过轴承的保护措施。对处于雷电流通道上的轴承齿轮、轴承与联轴节应采用旁路分流和/或阻断隔离相结合的方式。通向发电机的联轴节应采用绝缘隔离，以保护发电机免遭雷电流直接侵入发电机轴。

旁路分流是指在轴承前端设置一条或多条与其并行的低阻通道，并具有比被旁路的自然通路更小的阻抗值。可在叶片雷电流引下线根部、机舱前端外部即用旁路措施将雷电流导引下去，尽可能减少或避免雷电流进入主轴而流向轴承。低阻通道的形成可利用火花间隙和滑动触头，所选滑动触头所能承受的雷电流冲击电流应能满足机组所选的雷电防护水平。

阻断隔离是指在轴承和/或齿轮箱以及其他高速轴到机舱底板的电流通道中插入绝缘层。

注：当因机械应力等原因插入绝缘层有困难时，应加强其前端的旁路措施。

图2所示为减少轴承雷电流措施的示意。

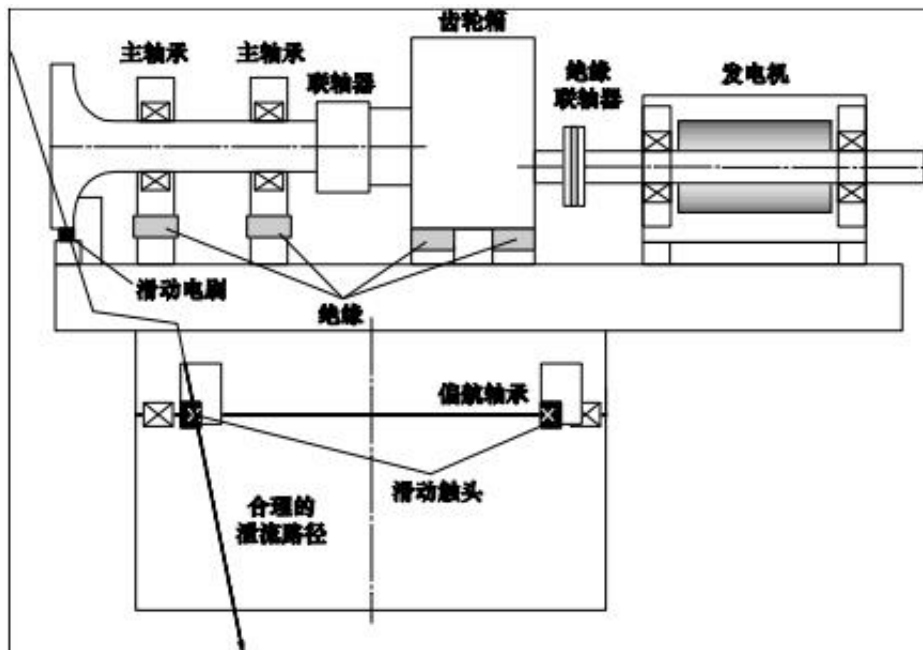


图2 减少轴承雷电流措施的示意

### 5.3.1.3 液压系统

对于处于雷电流通路上的液压系统,应确保雷电流不会影响该系统,避免液体泄漏及因此引起的液压油起火。

对液压系统中的液压缸可采用滑动触头或等电位连接从而将雷电流旁路分流。

对暴露于雷电流中的液压管道应将其敷设在铠装或金属管道内,铠装和金属管道两端应连接至钢结构,做等电位连接。金属管道应有足够的截面积来泄放雷电流。

### 5.3.1.4 火花间隙与滑动触头

火花间隙及滑动触头应能安全导引在其使用处出现的雷电流;其应用性能应确保不受外界环境影响(如雨、冰、盐雾污染、尘土污染等);火花间隙及滑动触头还应考虑其易损部件的服务周期及维护。

### 5.3.1.5 偏航系统

应采用旁路措施将偏航轮盘齿轮两端旁路。旁路系统应沿轮盘边缘均匀且多路布置。

### 5.3.1.6 齿轮箱

发电机和未采取阻断隔离的齿轮箱应通过机器底座的连接螺栓与接地装置保持良好的连接。如果齿轮箱和/或发电机用柔性阻尼元件与机器底座连接,则所有阻尼元件应采用有足够截面积的扁铜带跨接。

## 5.3.2 检验和测试

轴承与偏航机构的雷电防护系统(如火花间隙、滑动触头及其布置)应进行雷电流传导电流试验,试验方法参见附录B中的B2.4,推荐能代表自然雷电流的冲击电流进行测试。具体要求如下:

- a) 系统重要部件可以用试验模型代替;可在缩尺模型上进行测试,但应进行计算,证明缩放比例因素和影响。
- b) 应证明保护系统能经受首次雷击及长时间雷击电流的作用。
- c) 滑动触头作为保护系统的部件时,应另外进行机械试验以证明其稳定性,特别是其触头磨损有无雷电侵蚀。其磨损应足够低,以允许计划服务期间内的应有操作。
- d) 对重要部位的火花间隙和滑动触头还应用局部模型测试其旁路性能。

## 5.3.3 技术文件

应提供有关文件或报告,其中应包含下列信息:

- a) 移动接触部位(包括火花间隙和滑动接触)传导雷电流能力的试验报告。
- b) 对轴承与液压系统免遭雷电流效应影响的保护措施应作说明。该说明应包含显示保护有效性的文件、证据和/或测试报告。
- c) 如果没有采取任何保护措施,则需要显示在预期的常规雷电冲击电流和次数作用下,轴承在设计寿命时间内仍可正常工作的测试报告。
- d) 火花间隙或滑动触头检查与维护的要求。

## 5.4 低压电气系统和电子控制系统

### 5.4.1 低压电气系统和电子控制系统防雷保护的要求

#### 5.4.1.1 一般要求

低压电气系统和电子控制系统应采用等电位连接、屏蔽与合理布线、隔离和协调配合的SPD防护,将雷电磁场和电涌的威胁减少到最低水平,以减少或避免出现雷电电磁脉冲对设备的损害。

#### 5.4.1.2 等电位连接

风力发电机组的电气和电子系统各组件的金属外壳(风力发电机及其部件的外壳,变流器及其部件的机柜金属外壳,开关柜、控制柜金属外壳,升/降压变压器金属外壳等)、各电气和电子线路的屏蔽和金属管道外壁应在本防雷分区就近与雷电流引下系统实行防雷等电位连接;各电气和电子线路的屏蔽和金属管道外壁的两端均应实行防雷等电位连接。金属轮毂、轮毂罩、机舱的金属底盘和机舱外壳的金属构架、全金属的塔架等均是良好的大型等电位连接母排。

等电位连接应尽可能走直线,连接线尽可能短。不同连接排之间的连接导线、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积应符合GB/T 21714.3—2008中表8的规定,金属装置和连接排之间连接导线的最小截面积应符合GB/T 21714.3—2008中表9的规定。

在不能通过金属构件的自然连接获得电气连续性的地方,可采用专门的等电位连接导线;在用导线进行直接连接不可行的地方(如电源芯线、信号芯线),可采用电涌保护器。

#### 5.4.1.3 屏蔽和布线

##### 5.4.1.3.1 一般要求

风力发电机组应通过采取空间屏蔽、内部线路屏蔽以及内部线路合理布线措施,加之必要的等电位连接,以减小雷击产生的电磁场和系统内感应电涌的幅值,确保感应电压不超过电缆和所连接设备的承受水平。动力线路和信号线路应独立布线,保持足够距离,交叉时宜保持直角。

##### 5.4.1.3.2 空间屏蔽

风力发电机组中LPZ的空间屏蔽通常由风力发电机组的自然部件构成,如机舱罩、金属塔架。处于地面上的操作间的空间屏蔽应符合GB/T 21714.4—2008中6.1条的规定。

##### 5.4.1.3.3 线路屏蔽

线路屏蔽局限于被保护系统的线路和设备,可采用双绞电缆、金属屏蔽电缆、带有电磁屏蔽功能的金属网格式桥架和金属设备壳体。此金属网格式桥架及屏蔽电缆和金属电缆管道应在首、末两端接地;金属设备壳体应接地。

##### 5.4.1.4 合理布线

风力发电机组在内部布线时,应考虑最大程度地减小感应回路的面积。流过雷电流的引线应尽可能靠近金属构筑物并远离电子线路。

##### 5.4.1.5 隔离

###### 5.4.1.5.1 低压电源系统中的隔离

在低压电源系统中宜采用带屏蔽的隔离变压器隔离电源。

###### 5.4.1.5.2 电子控制系统中的隔离

在电子控制系统中宜采用光电隔离。控制单元的信号线宜采用光纤(不含加强筋),同时应注意光电转换器的防雷保护。

###### 5.4.1.6 协调配合的电涌保护

对电气和电子系统中重要、敏感或处于电磁环境恶劣的设备应安装电涌保护器,进行电涌防护。电涌保护器的基本要求是:

- a) 电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度。
- b) 电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。
- c) 电涌保护器应能承受在配置点可能出现的雷电流而不损坏。
- d) 电涌保护器自身的损坏应不影响被保护设备和系统的安全和/或持续运行。
- e) 电涌保护选择的产品和配置方案应能使电力/电源系统和电子系统各处的SPD级间达到协调配合。

所用电涌保护器产品应符合相应国家标准。对工作于风力发电机组特殊条件下、尚无相应标准的SPD,应慎重使用。对SPD的选择与应用更进一步的资料可参照附录C。

#### 5.4.2技术文件

##### 5.4.2.1SPD的技术文件

应提供有关文件或报告,其中应包含下列信息:

- a) SPD测试报告。
- b) SPD选型与配置方案及论证。
- c) 对应防护区中的设备冲击耐受水平。
- d) SPD安装、维护计划。

##### 5.4.2.2等电位联结的技术文件

应提供有关文件或报告,其中应包含下列信息:

- a) 等电位连接系统布置的说明。
- b) 各连接件的质量控制说明。

#### 5.5风电场集电系统

##### 5.5.1与风力发电机组分开的操作间和变电站

为使操作间和/或变电站内达到LPZ1,一般可用薄钢板建造这些设施,或选择无窗的钢筋混凝土建筑物。混凝土建筑物所有面(地板、天花板和墙壁)均应含有钢筋,以作为屏蔽措施。在其入口处应安装用诸如薄钢板、铝或细金属丝网做成的屏蔽门。

如操作间和变电站有可能受到直接雷击(根据雷电滚球法检查),应按照GB 50057—2010装设接闪杆和引下线,并连接到接地体。

基础接地体或环形接地体应进入室内,并接到等电位连接带。

为了保持一个连续的LPZ1,在塔架和独立的操作间和变电站之间的电缆线路应采取屏蔽措施。可采用下列屏蔽方法:

- a) 屏蔽电缆,其两端接到等电位连接的屏蔽网。



b) 两端接到等电位连接的金属管。

c) 接到塔架和建筑物接地体的钢筋管道。

### 5.5.2 集电变压器和开关柜防雷要求

在集电变压器的高压侧应安装符合GB 11032—2010的无间隙金属氧化锌避雷器, 该避雷器的选择应考虑高压线路的类型和高压系统的接地制式。在集电变压器的低压侧应安装符合GB 18802.1—2011的电涌保护器。

### 5.5.3 技术文件

应提供有关文件或报告, 其中应包含下列信息:

a) 应提供变压器接地情况和集电变压器与升压变电站的连接形式(地下电缆或架空线)。

b) 避雷器和SPD选型说明。

## 6 接地装置

### 6.1 接地装置的要求

#### 6.1.1 一般要求

风力发电机组接地装置应利用塔架的钢筋混凝土基础作为共用接地装置(防雷保护、电气系统和通信系统共用), 除应满足四个基本要求以外, 还要符合雷电防护的要求, 能将高频和高能量的雷电流安全导入地。四个基本要求是:

a) 确保接地故障出现时, 跨步电压和接触电压下的人身安全。

b) 防止接地故障引起设备的损坏。

c) 接地故障时接地装置耐受热/电动力。

d) 具有长期的机械强度和耐腐蚀性。

风力发电机组工频接地电阻宜小于4 $\Omega$ 。机组的接地装置宜与附近工频接地电阻相近的机组的接地装置相连。

在高土壤电阻率地区, 应采取措施降低接地电阻。当接地装置要求做到规定的接地电阻值在技术、经济上极不合理, 而附近多个机组的接地电阻相差不大时, 接地电阻值可放宽到10 $\Omega$  (集电系统为有效接地和低电阻接地系统), 并将接地装置与附近机组的接地装置相连成大型地网。

以钢筋混凝土基础做成的共用接地装置也能满足防雷冲击接地电阻要求。为减少雷电冲击接触电压、跨步电压和地电位升高, 应注意减小接地装置的网格尺寸。

在风电场的条件下只能将塔架下的接地装置供所有接地之用(例如: 防雷保护、电气系统和通信系统)。

图3所示为风力发电机组接地装置的连接。

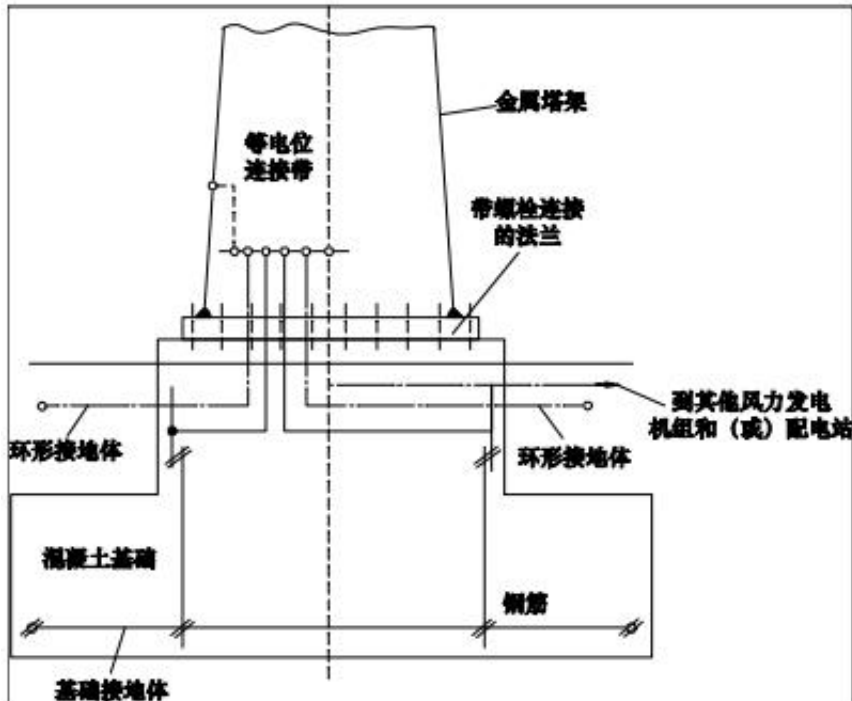


图3 风力发电机组接地装置的连接

#### 6.1.2 接地装置的形状尺寸

风力发电机组接地装置应为B型，应符合GB/T 21714.3—2008中5.4.2.2条的规定。

B型接地装置是由基础接地极和外周的环形接地极组成，环形接地极插入土壤的部分至少占自身总长80%以上，环形接地极与基础接地极多点可靠相连并连接到塔架。接地系统组件应能耐受雷电电流和电力系统故障电流。

#### 6.1.3 接地装置的防腐

应确保接地装置在风力发电机组寿命内不发生腐蚀。接地极的埋深和类型应尽可能使腐蚀、土壤干燥和冰冻的影响减到最小，从而使接地阻值保持稳定。

#### 6.2 技术文件

应提供有关文件或报告，其中应包含下列信息：

- a) 基础接地极和环形接地极的设计文件。
- b) 降低接地电阻和防腐蚀特别措施的说明。
- c) 实测的工频接地电阻值及计算的接触电压和跨步电压值。

### 7 人身防雷

#### 7.1 防雷要求

风力发电机组的塔架外部、塔架内部、机舱外部和叶片上均应有对工作人员的防雷保护措施，保护措施包括技术措施和管理措施：

- a) 塔架外部地面上限制接触电压和跨步电压。
- b) 塔架内部和机舱内部的若干加强等电位连接的安全工作平台。

- c) 规定安全区域和安全距离。
- d) 雷电预警机制和报警信号。
- e) 急救培训。
- f) 防雷知识教育。
- g) 安全工作程序。

#### 7.2技术文件

应提供有关文件或报告，其中应包含下列信息：

- a) 接触电压、跨步电压、安全区域、安全距离、安全平台的技术说明。
- b) 风力发电机组安装手册及服务维护手册，应包括安全说明书、报警程序和安全工作程序。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/80021.html>