

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB 65/T 3931—2016

风力发电场防雷技术规范

Technical code for protection of wind power farm against lightning

2016 - 10 - 15 发布

2016 - 11 - 15 实施

新疆维吾尔自治区质量技术监督局

发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 3

5 风力发电机组的防雷措施 3

5.1 叶片 3

5.2 主轴和齿轮箱 4

5.3 机舱 4

5.4 塔架 4

5.5 电气与控制系统 4

6 集电线路的防雷措施 5

7 升压站的防雷措施 6

7.1 直击雷防护 6

7.2 雷击电磁脉冲防护 6

8 接地装置 7

附录 A 风力发电机组年预计雷击次数的确定和计算 9

附录 B 雷电防护区的划分 11

前 言

本标准按 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由新疆维吾尔自治区气象局提出并归口。

本标准由新疆维吾尔自治区防雷减灾中心负责起草。

本标准起草人：赵斐、薛洁、叶文军、葛新力、张永军、杜军、霍广勇。

风力发电场防雷技术规范

1 范围

本标准规定了风力发电场防雷技术的术语和定义、一般规定、风力发电机组的防雷措施、集电线路的防雷措施、升压站的防雷措施、接地装置的要求。

本标准适用于新疆维吾尔自治区风力发电场的防雷设计、维护和管理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 16895.22 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 AMD.1-2002,IDT)

GB/T 18802.12 低压电涌保护器 (SPD) 第12部分:低压配电系统的电涌保护器选择和使用导则 (IEC 61643-12-2008,IDT)

GB/T 18802.22 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) 选择和使用原则(IEC 61643-22-2004,IDT)

GB/Z 25427 风力发电机组 雷电防护

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

GB/T 50065 交流电气装置的接地

GB 50217 电力工程电缆设计规范

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

DL/T 5383 风力发电场设计技术规范

3 术语和定义

GB 50057-2010中界定的及以下术语和定义适用于本文件。

3.1

风力发电场 wind power farm

在一定的地域范围内,由风力发电机组及配套的输变电设备、建筑设施等共同组成的集合体。

3.2

风力发电机组 wind turbine

风力发电机组是将风能转化为电能的装置,包括风轮、发电机、电气和控制系统等,其中风轮由叶片、轮毂、风轮轴、加固件等组成。

3.3

集电线路 collecting power lines

将风力发电机组发出的电能输送至升压站的电力线路以及从风力发电机组到升压站的控制与信息
系统线路。

3.4

直击雷 direct lightning flash

闪击直接击于建（构）筑物、其他物体、大地或外部防雷装置上，产生电效应、热效应和机械力者。
[GB 50057-2010 定义 2.0.13]

3.5

有效高度 effective height

风力发电机组叶片能达到的最高点，即轮毂的高度与叶片的半径之和。

3.6

雷击电磁脉冲 lightning electromagnetic impulse

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]

3.7

防雷等电位连接 equipotential bonding

将分开的诸金属物体直接用连接导体或经电涌保护器等电位连接到防雷装置以减小雷电流引发的
电位差。

[GB 50057-2010 定义 2.0.19]

3.8

接地装置 earth-termination system

接地体和接地线的总合。用于电力系统工作接地或传导雷电流和故障电流并将其流散入大地。

[GB 50057-2010 定义 2.0.10]

3.9

电涌保护器 surge protective device

用于限制瞬态过电压和分泄电涌电流的器件。它至少含有一个非线性元件。

[GB 50057-2010 定义 2.0.29]

3.10

I 级实验 class I test

电气系统中采用 I 级实验的电涌保护器要用标称放电电流 I_n 、1.2/50 μ s 冲击电压和最大冲击电流 I

imp 做实验。I 类实验也可用 T1 加外框表示, 即 **T1**。

[GB 50057-2010 定义 2.0.36]

3.11

II 级实验 class II test

电气系统中采用 II 级实验的电涌保护器要用标称放电电流 I_n 、1.2/50 μ s 冲击电压和 8/20 μ s 电流波最大放电电流 I_{max} 做实验。II 类实验也可用 T2 加外框表示, 即 **T2**。

[GB 50057-2010 定义 2.0.37]

3.12

III 级实验 class III test

电气系统中采用 III 级实验的电涌保护器要用组合波做实验。组合波定义为由 2 Ω 组合波发生器产生 1.2/50 μ s 开路电压 U_{oc} 和 8/20 μ s 短路电流 I_{sc} 。III 级实验也可用 T3 加外框表示, 即 **T3**。

[GB 50057-2010 定义 2.0.39]

4 一般规定

4.1 在进行风力发电场防雷设计时, 应依据当地的地理、地质、土壤、气象、环境等因素和雷电活动规律, 结合风力发电场的性能特点进行系统设计, 综合防护。

4.2 在进行风力发电场防雷设计之前应进行雷电灾害风险评估, 风力发电机组年预计雷击次数的确定和计算参照附录 A, 雷电防护区的划分参照附录 B。风力发电场的防雷设计、施工应与风力发电场的建设同步进行。

4.3 变电站的防雷类别划分:

- a) 预计雷击次数大于或等于 0.05 次/a 的变电站划为第二类防雷建筑物;
- b) 预计雷击次数小于 0.05 次/a 的变电站划为第三类防雷建筑物。

4.4 风力发电机组的防雷类别划分:

- a) 预计雷击次数大于或等于 0.05 次/a 的风力发电机组, 其电气电子系统防雷可参照按第二类防雷建筑物的要求进行;
- b) 预计雷击次数小于 0.05 次/a 的风力发电机组, 其电气电子系统防雷可参照按第三类防雷建筑物的要求进行。

5 风力发电机组的防雷措施

5.1 叶片

5.1.1 风机塔架处在叶片的保护范围之内, 风机箱式变压器处在风机的直击雷保护范围之内。

5.1.2 非金属的叶片应在其表面布设接闪器和引下导体, 用于接闪器和引下导体的材料应能承受雷电流引起的电应力、热应力和电动力。一般情况下, 在桨叶表面镶嵌一条金属带作为接闪器, 这种金属带可以通过在桨叶表面上喷涂金属层或嵌装金属纤维编织网来设置; 或者将接闪器做成片状, 嵌入桨叶内部。所用接闪器和引下导体的最小材料尺寸应符合 GB 50057 的要求, 不小于表 1 给出的数据

表1 用于接闪器和引下导体的最小材料尺寸

材料	结构形式	最小截面 (mm ²)
铜	扁带	50
	细丝编织带	50
铝	扁带	70
	细丝编织带	50
铝合金	扁带	50
	细丝编织带	50
热镀锌钢	扁带	50
	细丝编织带	50
不锈钢	扁带	50
	细丝编织带	70

- 5.1.3 在叶片根部，引下线应连接在叶片的安装法兰或轮毂上。
- 5.1.4 固定在叶片上或叶片内部的传感器导线应采用屏蔽电缆或敷设在金属管内，其电缆屏蔽层或金属管与引下导体作等电位连接。
- 5.2 主轴和齿轮箱
- 5.2.1 用作传导跨过轴承的雷电流的铜质软导线、铜质滑动触点或相似的措施，其使用截面不小于 50 mm²。
- 5.2.2 为了减少通过轴承的雷电流，宜在所有轴承、齿轮箱和高速轴与机舱底板之间加装绝缘层，并在齿轮箱与发电机之间加装绝缘联轴器。
- 5.3 机舱
- 5.3.1 机舱罩和安装在机舱罩上的风向风速仪应在桨叶上的接闪器、引下导体及机舱尾部的接闪杆共同组成的接闪器的保护范围之内。
- 5.3.2 应专设引下线连接机舱和塔架，机舱内除了需要绝缘隔离的设备外，其余所有设备均应与机舱底板做电气连接。
- 5.3.3 如机舱为非金属壳体，机舱内设备宜安装在金属框架内。
- 5.4 塔架
- 5.4.1 组成钢制管状塔架的塔筒的每两段之间应可靠电气连接，在筒段圆周上应等距离布置多个跨接导体，其数量不得少于 4 处。跨接导体宜采用的截面不小于 50 mm² 铜或热镀锌钢。
- 5.4.2 钢制管状塔架的底层塔筒与接地体的电气连接应采用专用连接导体，设置数量应大于 4 处，连接导体宜采用截面积不小于 50 mm² 的铜或热镀锌钢。
- 5.5 电气与控制系统
- 5.5.1 风力发电机组内的电力线路和信号线路应分开布置，其信号线缆与电力线缆的净距参照 GB 50343 的规定，按照类别最接近的要求进行布设，如表 2。

表2 信号电缆与电力电缆的间距

类别	与电子信息系统信号线缆接近状况	最小间距 (mm)
380 V 电力电缆容量 (2~5) kVA (当前 1.5 kW、2.0 kW 或 2.5 kW 的风机机组使用的控制电力电缆约为 2.2 kVA)	与信号线缆平行敷设	300
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	150
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	80

- 5.5.2 风力发电机组内的信号线路应设置在金属线槽或钢管内，或采用屏蔽电缆。整个线路的屏蔽层应保持电气连通，并在首尾两端接地或等电位连接。
- 5.5.3 为了防止变桨系统、电控系统及控制箱遭受电磁干扰，机舱内所有输入接地电缆和屏蔽层在进入控制箱内直接和接地端子连接。机舱控制器与轮毂变桨系统控制箱、塔筒控制箱之间的所有电缆都做屏蔽，屏蔽装置与接地端子条和滑环外壳做电气连接。
- 5.5.4 由外部市电引入的风力发电机组的控制电源，在进入塔筒的配电柜前端应设置 I 级实验电涌保护器，其电压保护水平应不大于 2.5 kV，计算每一保护模式的冲击电流时，雷电流值参照风机机组预计雷击次数进行。当无法确定时，每一保护模式冲击电流应不小于 12.5 kA。塔筒内的就地控制屏配电前端应设置 II 级实验电涌保护器，其电压保护水平不大于 2.0 kV。在控制电路中对输入和输出信号加装电涌保护器，应设置 III 级实验电涌保护器，其电压保护水平不大于 1.5 kV。
- 5.5.5 塔筒机舱内的电源控制柜内应安装 II 级实验电涌保护器，对变频器、控制设备进行保护，其电压保护水平不大于 2.0 kV，计算每一保护模式的冲击电流时，雷电流值参照风机机组预计雷击次数进行，当无法确定时，每一保护模式冲击电流应选不小于 12.5 kA。在变桨控制电路中对输入和输出信号采用 SPD 进行保护，应设置 III 级实验电涌保护器，其电压保护水平不大于 1.5 kV。
- 5.5.6 风电场箱式变压器高压侧应设置在高压线路上的与之相适配的电涌保护器。低压侧应设 I 级实验电涌保护器，其电压保护水平不大于 2.5 kV，计算每一保护模式的冲击电流时，雷电流值参照风机机组预计雷击次数进行，当无法确定时，每一保护模式冲击电流应选不小于 12.5 kA。
- 5.5.7 监控信号线路应采(改)用无金属光缆。当采用金属导线时，在电子信息设备前端应设置复合波 III 类试验 SPD，开路电压 U_{oc} 不小于 6 kV 和 8/20 μs 短路电流 I_{sc} 不大于 3 kA。
- 5.5.8 风力发电机中上下两层的控制柜和同一层的控制柜之间应进行等电位连接。

6 集电线路的防雷措施

- 6.1 应按照雷电灾害风险评估给出的要求敷设或架设集电线路的电力线路。送电线路的雷电过电压保护方式，应根据线路的电压等级、负荷性质、系统运行方式、当地原有线路的运行经验、雷电活动的强弱、地形地貌的特点和土壤电阻率的高低等条件，通过技术经济比较确定。
- 6.2 集电线路中的电力线路采用电缆接线方式时，电缆宜敷设在地下，并符合 GB 50217 的相关规定。
- 6.3 集电线路中的电力线路采用架空线方式连接时，其线路架设应符合 GB/T 50064 的要求。35 kV 以下线路，一般不全线架设接闪线。35 kV 的集电线路一般采取架设接闪线的直击雷保护方式，且其耐压水平，每基杆塔不连接闪线的工频接地电阻不宜大于 10 Ω ，土壤电阻率高时，可适当放宽接地电阻值，不宜超过表 3 所列数值。

表 3 有接闪线的线路杆塔的工频接地电阻表

土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	≤ 100	$> 100 \sim 500$	$> 500 \sim 1000$	$> 1000 \sim 2000$	> 2000
接地电阻 Ω	10	15	20	25	30
注：如土壤电阻率超过 $2000 \Omega \cdot m$ ，接地电阻很难降到 30Ω 时，可采用 6 根~8 根总长不超过 500m 的放射形接地体，或采用连续伸长接地体，接地电阻不受限制。雷电活动强烈的地方和经常发生雷击故障的杆塔和线段，应改善接地装置、适当加强绝缘或架设耦合电线。					

6.4 集电线路中的电力线路采用架空线方式连接时，应使接闪线受雷击后线路绝缘不发生闪络，必要时需降低线路杆塔的接地电阻，或适当加强线路绝缘，对个别杆塔可使用电涌保护器。

7 升压站的防雷措施

7.1 直击雷防护

7.1.1 建筑物防直击雷装置应符合 GB 50057 的要求。综合办公楼、高压 SVG 室应采取第二类防雷建筑物外部防护措施，宜采用装设在建筑物上的接闪网（线、杆），或混合组成的接闪器。110 kV 及以上升压站户外设立独立接闪杆若干，应通过计算，使室外所有电气设备均在接闪杆保护范围之内。

7.1.2 110 kV 以及以上的升压站，宜将接闪杆(线)架设在配电装置的架构上，装设接闪杆(线)的配电架构应设辅助接地装置，此接地装置与升压站接地网的连接点离变压器接地装置与升压站接地网的连接点之间的距离不应小于 15 m。但在土壤电阻率大于 $1000 \Omega \cdot m$ 的地区，宜装设独立接闪杆。

7.1.3 独立接闪杆(线)设置应符合 GB/T 50064 中的要求。独立接闪杆（线）宜设独立接地装置，在非高土壤电阻率地区，其接地电阻不宜超过 10Ω 。当有困难时，该接地装置可与主接地网连接，但接闪杆与主接地网的地下连接点至 35 kV 及以下设备与这接地网的地下连接点之间，沿接地体的长度不得小于 15 m。独立接闪杆不应设在人经常通行的地方，接闪杆及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3 m，否则应采取均压措施，或铺设砾石或沥青地面，也可铺设混凝土地面。

7.1.4 独立接闪杆(线)与配电装置在空气中距离以及独立接闪杆(线)的接地装置与升压站接地网间的地中距离应符合 GB/T 50064 的要求。

7.1.4.1 独立接闪杆与配电装置带电部分、发电厂和变电站电气设备接地部分、架构接地部分之间的空气中距离，应符合式（1）的要求：

$$S_a \geq 0.2R_i + 0.1h_j \dots\dots\dots (1)$$

式中：S_a—空气中距离（m）；
R_i—接闪杆的冲击接地电阻（ Ω ）；
h_j—接闪杆校验点的高度（m）。

7.1.4.2 独立接闪杆的接地装置与发电厂或变电站接地网间的地中距离，应符合式（2）的要求：

$$S_e \geq 0.3R_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：S_e—地中距离（m）；
R_i—接闪杆的冲击接地电阻（ Ω ）。

7.2 雷击电磁脉冲防护

7.2.1 220 kV 及以下的电压等级升压站应在单独运行的母线上都应安装电涌保护器,采用 GIS 的升压站应在每回线路的入口安装电涌保护器。

7.2.2 35 kV 及以上电压等级升压站进线段采用电缆线路时,在电缆线与架空线连接处,应装设一组电涌保护器保护,并且使电涌保护器的接地端与电缆的金属外皮连接。

7.2.3 升压站的变压器防雷保护应符合 GB/T 50064 的要求。根据 GB/T 50065 和 GB/T 50064 的规定,分别在升压站的 110 kV、35 kV 母线上装设一组金属氧化锌电涌保护器对雷电波侵入和其他过电压进行保护;每一台箱式变电站高压侧装设一组金属氧化锌电涌保护器;主变中性点装设金属氧化锌电涌保护器一只,与隔离开关和放电间隙配合使用。

8 接地装置

8.1 接地装置除利用基础钢筋接地外,另敷设水平接地极和垂直接地极组成的人工接地体,并回填黄土来降低接地电阻,必要时应设置接地模块。人工接地体的外缘应闭合成环形,人工环形接地装置的水平接地体的埋设深度不应小于 0.5 m,敷设深度不小于冻土层深度;垂直接地体应沿水平接地体均匀埋设,其长度宜为 2.5 m,垂直接地体的间距宜大于其长度的两倍。

8.2 风力发电机组的接地电阻值按 $R \leq 4 \Omega$ 设计。升压站接地网的设置应符合 GB/T 50065 的要求,其接地电阻值应符合 GB/T 50065 的要求。

8.2.1 一般情况下,接地装置的接地电阻应符合式 (3):

$$R \leq 2000/I \quad \text{..... (3)}$$

式中: R ——考虑到季节变化的最大接地电阻,单位 Ω ;

I ——计算用的流经接地装置的入地短路电流,单位 A。

注:公式3中计算用流经接地装置的入地短路电流,采用在接地装置内、外短路时,经接地装置流入地中的最大短路电流对称分量最大值,应考虑系统中各接地中性点间的短路电流分配,以及接闪器分走的接地短路电流。

8.2.2 当接地装置的接地电阻不符合式 (3) 要求时,可通过技术经济比较增大接地电阻,但不得大于 5 Ω 。

8.3 对于高土壤电阻率地区,冲击接地电阻达不到要求时,当人工环形接地装置满足下列要求时,可不计冲击接地电阻:

a) 当土壤电阻率 ρ 小于 800 $\Omega \cdot \text{m}$ 时,风力发电机组的环形接地体所包围的面积等效圆半径不应小于 5 m。

b) 当土壤电阻率 ρ 大于 800 $\Omega \cdot \text{m}$ 时,风力发电机组的环形接地体所包围的面积等效圆半径不应小于 $(\rho - 550)/50$ (m)。

8.4 独立接闪杆(含悬挂独立接闪线的架构)的接地电阻。在土壤电阻率不大于 500 $\Omega \cdot \text{m}$ 的地区不应大于 10 Ω ;在高土壤电阻率地区接地电阻应符合 GB/T 50064 的要求。

8.5 水平接地网采用 50 mm×5 mm 镀锌扁钢,应设置成环形并与钢筋混凝土基础连接,垂直接地极采用 50 mm×50 mm×5 mm 镀锌角钢,或 $\Phi 50$ 的镀锌圆钢,垂直接地极长 2.5 m。接地体的材料、结构和最小截面应符合 GB 50057-2010 中的表 5.4.1 的规定,不宜超过如下表要求的尺寸。

表4 接地体的材料、结构和最小尺寸

材料	结构	最小尺寸			备注
		垂直接地体直径 (mm)	水平接地体 (mm ²)	接地板	
热镀锌钢	圆钢	14	78	—	—
	钢管	20	—	—	壁厚 2mm
	扁钢	—	90	—	厚度 3mm
	钢板	—	—	500×500	厚度 3mm
	网格钢板	—	—	600×600	各网格边截面 30mm×3mm, 网格网 边总长度不少于 4.8m
	型钢	注 1	—	—	—

注1: 不同截面的型钢, 其截面不小于 290 mm², 最小厚度 3 mm, 可采用 50 mm×50 mm×3 mm 角钢。

8.6 设置在塔外的升压变压器的接地装置与风力发电机组的防雷接地装置应进行等电位连接, 或与风力发电机组的防雷接地装置共用同一接地体。

附录 A (资料性附录)

风力发电机组年预计雷击次数的确定和计算

A.1 风力发电机组年预计雷击次数的确定

风力发电机组年预计雷击次数应按式(4)确定:

$$N = k \times N_g \times A_e \quad (4)$$

式中:

N —风力发电机组年预计雷击次数(次/a);

k —校正系数,在平地上安装的风力发电机组取1;在山地或小山上安装的风力发电机组取2;

N_g —风力发电机所处地区雷击大地的年平均密度(次/km²/a);

A_e —与风力发电机截收相同雷击次数的等效面积(km²)。

A.2 雷击大地的年平均密度的计算

雷击大地的年平均密度,首先应按当地气象台、站资料确定;若无此资料,可按式(5)计算。

$$N_g = 0.1 \times T_d \quad (5)$$

式中:

T_d —年平均雷暴日(d/a),根据当地气象台、站资料确定;

N_g —风力发电机所处地区雷击大地的年平均密度(次/km²/a)。

A.3 等效截收面积的计算

A3.1 与风力发电机组截收相同雷击次数的等效面积应为其实际水平面积向外扩大后的面积。按叶片处于有效高度时的模型计算等效面积,其等效面积应为圆形,计算方法按式(6)计算。

$$A_e = 9\pi H^2 \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

式中:

H ——为风力发电机组的有效高度(m);

A_e ——为风力发电机组的等效截收面积(m²)。

A3.2 风机遭受直击雷时的等效雷击截收面积定义为与风机有相同年雷闪次数的一定面积。等效截收面积是封闭在边界线内的区域,边界定义为风机上沿接触点斜率为1/3的直线沿风机旋转一周在地面投影的面积。参照高桅杆,其高度为轮毂高度加风轮的半径。

A3.3 图 A.1 是安装在平地的风机的雷击截收面积图。它的圆半径是风机有效高度的3倍。

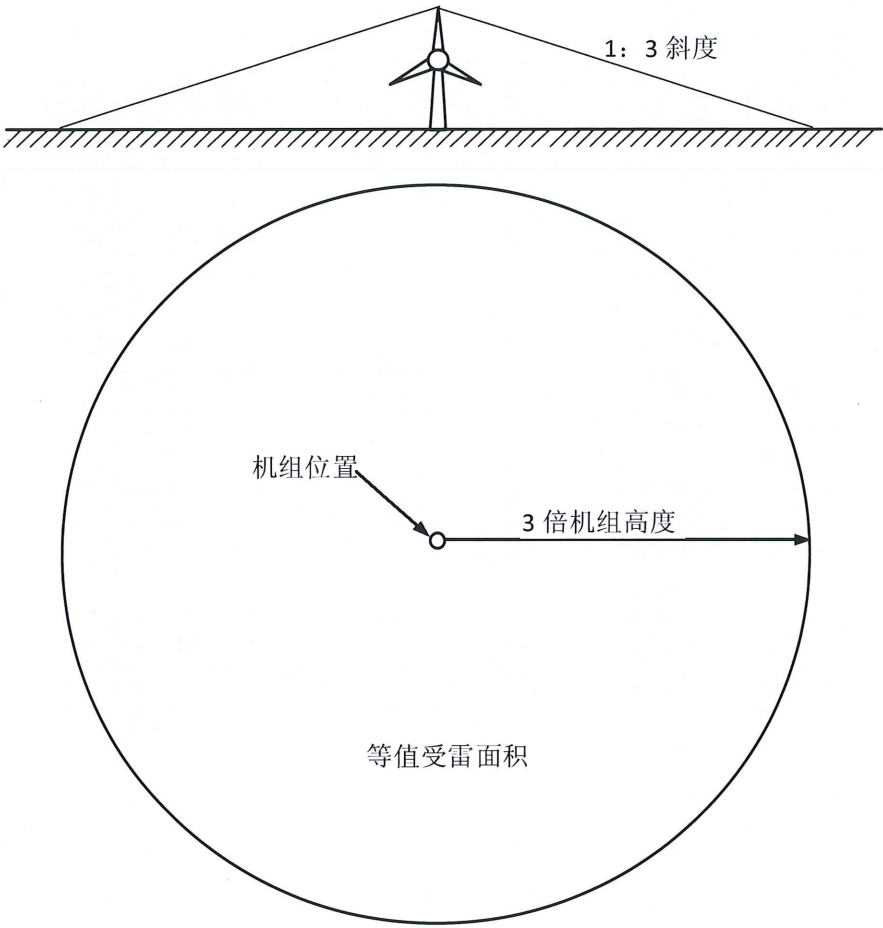


图 A. 1 风机的等效雷击截收面积

附录 B

(资料性附录)

雷电防护区的划分

B.1 雷电防护区划分的原则

应将风力发电机组需要保护的空間由外到內划分为各雷电防护区(LPZ), 确定各LPZ空間的雷击电磁脉冲强度, 以采取相应的防护措施。

B.2 雷电防护区(LPZ)划分标准

B2.1 直击雷非防护区(LPZ0_A)

本区内的各类物体完全暴露在接闪器的保护范围以外, 都可能遭受到直接雷击; 本区内的电磁场未得到任何屏蔽衰减, 属完全暴露的不设防区。

B2.2 直击雷防护区(LPZ0_B)

本区内的各类物体处在外部防雷装置接闪器保护范围以内, 应不可能遭受到大于所选滚球半径对应的雷电流直接雷击; 但本区内的电磁场未得到任何屏蔽衰减, 属充分暴露的直击雷防护区。

B2.3 第一屏蔽防护区(LPZ1)

本区内的各类物体处不可能遭受到雷电流直接雷击, 流经各类导体的电流比 LPZ0_B 区进一步减小; 且由于建筑物的屏蔽措施, 本区内的电磁场已经得到初步的衰减。

B2.4 后续屏蔽防护区(LPZ_{n+1})

为进一步减小所导引的电流或电磁场而增设的后续防护区。

B.3 风力发电机组主要部位的雷电防护区

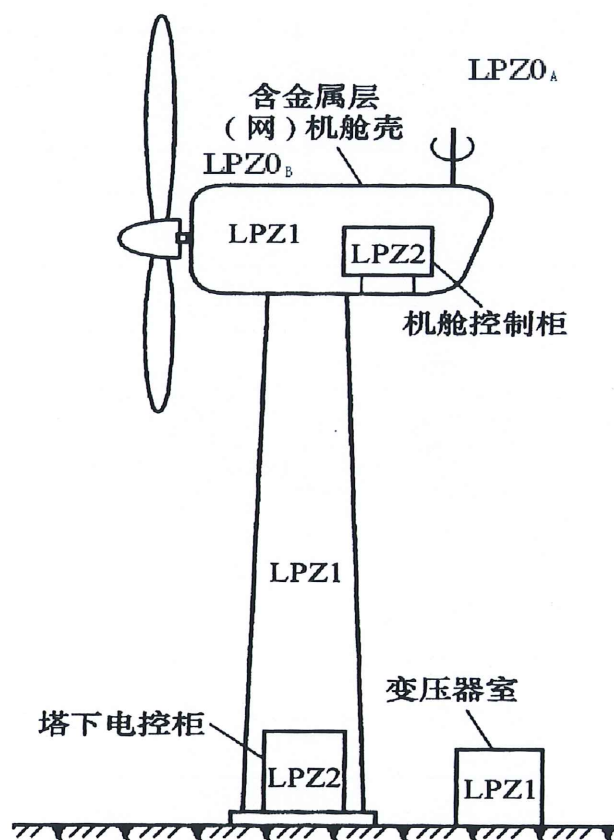
B3.1 防雷区 LPZ0_A 和 LPZ0_B 包括如下部位(图 B.1):

- a) 风轮叶片, 包括风轮轮毂及其内部部件(传感器、调节器等);
- b) 机舱罩的外部部件;
- c) 无金属罩的机舱内的所有设备(发电机、辅助传动装置、电缆、传感器和调节器), 金属开关柜的外部部件, 非金属开关柜的内部部件;
- d) 测风设备的传感器;
- e) 非金属塔架或没有按照标准配备的钢筋连接件的混凝土塔架;
- f) 无屏蔽措施的操作间和升压站的内部, 以及在没有屏蔽措施情况下风力发电机组和操作间或升压站之间埋在土壤中的电缆连接线或架空线。

B3.2 防雷区 LPZ1 包括如下部位:

- a) 采取了有效的雷电导引和屏蔽措施的风轮叶片的内部, 包括风轮轮毂(传感器、调节器等);
- b) 具有相应的雷电导引措施的全金属覆盖的机舱罩内部;
- c) 所有金属包层的设备的内部, 如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);
- d) 屏蔽电缆或处于金属管中的电缆, 屏蔽网或金属管两端已作等电位连接;
- e) 装上接闪杆和 SPD 的测风设备的传感器;

- f) 金属塔架或混凝土塔架的内部，混凝土塔架的钢筋应按照适用的标准设计并连接到基础接地体；
- g) 操作间和升压站的内部，用钢板覆盖或具有屏蔽措施(所有各侧与基础接地体或环形接地体相连的钢筋，金属门和带金属丝网的窗)。



图B.1 风力发电机组雷电防护区(LPZ)示意图