

ICS 29.020
K 40

DB53

云南省地方标准

DB53/T 946—2019

高原风力发电机组防雷技术规范

2019 - 09 - 23 发布

2019 - 12 - 23 实施

云南省市场监督管理局 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 防雷的一般要求	2
5 风力发电机防雷	5
6 接地	12
参考文献	14

前 言

本标准按照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。

本标准由云南省电力装备标准化技术委员会（YNTC09）提出并归口。

本标准起草单位：昆明电器科学研究所、云南电力试验研究院（集团）有限公司、云南电力技术有限责任公司。

本标准主要起草人：梁仕斌、刘涛、王磊、周琼芳、杨阿娟、高波、杨殿成。

高原风力发电机组防雷技术规范

1 范围

本标准规定了风力发电机及相关设备的防雷技术要求。

本标准适用于海拔1 000 m~5 000 m, 额定功率在600 kW及以上的风力发电机组的防雷与接地系统。

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/T 2900 电工术语

GB/T 11032 交流无间隙氧化物避雷器

GB/T 11804 电工电子产品环境条件 术语

GB/T 18802.1 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

GB/T 21714.1 雷电防护 第1部分: 总则

GB/T 21714.2 雷电防护 第2部分: 风险管理

GB/T 21714.3-2008 雷电防护 第3部分: 建筑物的物理损害和生命危险

GB/T 21714.4-2008 雷电防护 第4部分: 建筑物内电气和电子系统

GB 50057 建筑物防雷设计规范

NB/T 31039 风力发电机组雷电防护系统技术规范

GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

3 术语和定义

GB/T 2900、GB/T 11804界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高原

海拔超过1 000 m的地区。

[GB/T 11804-2005, 定义2.1.24。]

3.2

雷电防护系统(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伤和人身伤亡的整个系统。

[NB/T 31039-2012, 定义3.1.1。]

3.3

雷电防护水平(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时间。它反应了防雷系统的防护效率。

[NB/T 31039-2012, 定义3.1.4。]

3.4

雷电电磁脉冲(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]

3.5

LEMP 防护措施系统(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。

[NB/T 31039-2012, 定义3.1.3。]

3.6

雷电防护区(LPZ)

划分雷击电磁环境强度的区。

3.7

接闪器

雷电防护系统用于拦截雷击的组成部分。

[NB/T 31039-2012, 定义3.1.6。]

3.8

电涌保护器(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原件。

[GB/T 18802.1-2011, 定义3.1.7。]

3.9

接地装置

接地体和接地线的总合,用于传导雷电流并将其散入大地。

[GB/T 18802.1-2011, 定义3.1.10。]

4 防雷的一般要求

4.1 雷电的防护水平

风力发电机组雷电防护水平按GB/T 21714.1的规定,划分为LPL I、LPL II、LPL III、LPL IV四种。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 各 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_{short}	C	100	75	50	
单位能量	W/R	MJ/ Ω	10	5.6	2.5	
时间参数	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	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	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
时间参数	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	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_{long}	C	200	150	100	
时间参数	T_{long}	s	0.5			
雷闪			LPL			
电流参数	符号	单位	I	II	III	IV
雷闪电荷	Q_{flash}	C	300	225	150	

表2 各 LPL 对应的雷电参数最小值

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

4.2 雷害风险评估

考虑到高原地区的特殊性，高原地区的防雷应优先选用LPL I设计。

当因原始资料缺乏等条件不足时，风力发电机组的防雷应按雷电防护水平LPL I设计。

当有条件进行雷害风险评估，应根据评估结果选取机组的雷电防护等级。

风力发电机雷害风险评估宜参照GB/T 21714.2的方法进行。

4.3 雷电防护区

LPZ的划分：

LPZ 0_A：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。

LPZ 0_B：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保护，但没有受到电磁屏蔽或SPD保护的区域。

LPZ 1：该区域受到直接雷击的保护，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。

LPZ 2-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件SPD的作用使电涌电流受到进一步研制的区域。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。

4.4 LPZ 的措施

LPZ 0_b由由接闪器(避雷针)、引下线及其接地装置实现。风力发电机组的LPZ 1和更高的LPZ由安装LPMS来实现。措施如下:

- a) 接地和等电位连接;
- b) 屏蔽和合理布线;
- c) 分级配合的 SPD 防护。

4.5 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宜符合图1的规定(符合NB/T 31039)。

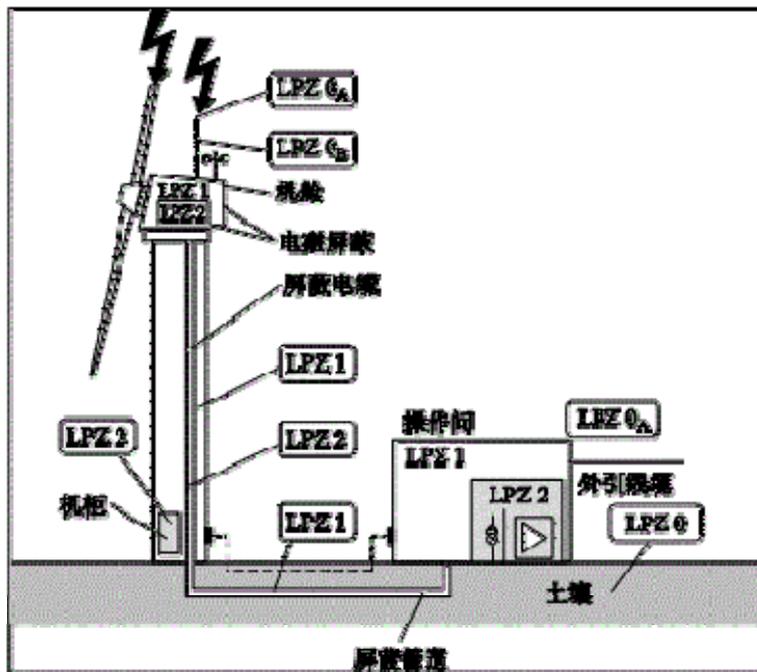


图 1 风力发电机组防护区(LPZ)的示意

- a) LPZ 0_a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措施的操作间和线路。
- b) LPZ 0_b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) LPZ 1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接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（所有各侧具有与其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) LPZ 2 是在防雷区 LPZ 1 区域内采取进一步附加屏蔽和 SPD（如设备机壳或线路屏蔽）而实现的；
- e) LPZ n+1 是在防雷区 LPZ n 区域内采取进一步附加屏蔽措施和 SPD 而实现的。

5 风力发电机防雷

5.1 叶片

5.1.1 叶片防雷要求

5.1.1.1 一般要求

高原地区叶片引下线应安装雷电流记录装置。雷电流记录装置至少能记录雷电发生时间、雷电流发生时最大峰值电流（包括正极性和负极性）和累计雷击次数；记录的时间格式为XXXX年XX月XX日XX时XX分XX秒，最大峰值电流测量范围至少包括3kA-200kA，测量误差应不超过±20%，记录雷击间隔时间应不大于10ms，存储记录条数应不少于2000次。

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伤，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 61400-23的试验以前就安装在叶片上。

5.1.1.2 叶片接收器

叶片接收器要求：

- 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、其截接雷击先导的性能宜参照 IEC 61400-24 中附录 D 规定的试验来确定；
- 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 IEC 61400-24 中附录 D 中高压接闪试验中的初始先导接闪试验：
 - 1) 叶片长度 $L < 20$ m：叶尖接收器 1 个；
 - 2) 叶片长度 $20 \text{ m} \leq L < 30$ m：叶尖接收器 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 $30 \text{ m} \leq L < 45$ m：叶尖接收器 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 $L \geq 45$ m：叶尖接收器 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

引下线要求:

- 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 61400-23 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要求

高原地区叶片接收器引下线应选用铜材料。叶片接闪器、接收器、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 mm ²	备注
铜	实心带状	50	最小厚度为2 mm
	实心圆状	50	直径为8 mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为1.7 mm
	实心圆状	200	直径为16 mm
镀锡铜	实心带状	50	最小厚度为2 mm
	实心圆状	50	直径为8 mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为1.7 mm
铝	实心带状	70	最小厚度为3 mm
	实心圆状	50	直径为8 mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为1.7 mm
铝合金	实心带状	50	最小厚度为2.5 mm
	实心圆状	50	直径为8mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为1.7 mm
	实心圆状	200	直径为16 mm
热镀锌钢	实心带状	50	最小厚度为2.5 mm
	实心圆状	50	直径为8 mm
	绞线	50	绞线每股的最小直径为1.7 mm
	实心圆状	200	直径为16 mm
不锈钢	实心带状	50	最小厚度为2.5 mm
	实心圆状	50	直径为8 mm
	绞线	70	绞线每股的最小直径为1.7 mm
	实心圆状	200	直径为16 mm
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。 注3: 数据来源于 NB/T 31039-2012。			

5.1.2 技术文件和资料

5.1.2.1 应提供下列设计文件盒图纸:

- 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。

5.1.2.2 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 机舱及其它结构组件（轮毂、轮毂罩、舱体、塔架）

5.2.1 机舱及其它机构组件的防雷要求

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。金属框架条的材料及最小横截面厚度应符合表4的规定。

表4 金属框架条的材料及最小横截面厚度

LPL类型	材料	厚度 ^a t_1 mm	厚度 ^b t_2 mm
I-IV	铅	-	2.0
	钢	4	0.5
	钛	4	0.5
	铜	5	0.5
	铝	7	0.65
	锌	-	0.7
^a 防止击穿、热熔或燃烧。			
^b 仅适用于可不防击穿、热熔或燃烧的金属板。			
注：数据来源于NB/T 31039-2012。			

5.2.1.4 机舱

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。金属舱体外罩和技术结构（如机舱底盘）应与引下线连接。据统计高原地区雷电对风力发电机的金属机舱的绕击率较高，应对风力发电机的金属机舱加装接闪器和专用接地引下线。

非金属机舱。非金属机舱外罩（如玻璃钢外罩）应增设金属接闪网格，网格尺寸应不大于5 m*5 m，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，并能在一定程度、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4的规定。任何铰链应尽可能用宽的柔性铜带跨界。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。

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排。

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，电气和控制系统电流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座接地/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20 m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LPZ0_B。

5.2.2 技术文件

应提供有关技术文件或图纸，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

轴承的防护措施。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组。

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，尽可能较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或齿轮箱以及其他高速轴到机舱底部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。

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结构面来泄放雷电流。

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 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磁脉冲对设备的危害。

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，连接线应尽可能短。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，金属装置和连接排直接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用空间屏蔽、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，以减少雷击产生的电磁场和系统内感应雷电的幅值，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包围面积。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

对于高原地区风力发电机组选用高原型SPD。高原型SPD最大持续运行电压 U_c 应按照表5海拔高度修正系数 K_1 进行修正，根据最大持续运行电压 U_c 确定的开关型SPD电气间隙按照表5电气间隙修正系数 K_2 修

正，SPD的通流能力应按照表5放电电流降容系数 K_3 修正，SPD的工频耐受电压和冲击耐受电压应按照表6高海拔电压系数 K_4 修正，同时高原型SPD应采用耐低温的产品。

表5 高原型 SPD 各修正系数 K_1 – K_3

修正系数 海拔高度 (m)	2000	3000	4000	5000
K_1	1	1.091	1.195	1.325
K_2	1	1.14	1.29	1.48
K_3	1	0.97	0.93	0.89

表6 高原型 SPD 工频耐受电压和冲击耐受电压修正系数 K_4

产品使用地点海拔 m		1 000	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
海拔修正 系数 K_a	0	1.13	1.28	1.36	1.44	1.54	1.63	1.74	1.85
	1 000	1	1.13	1.20	1.28	1.36	1.44	1.54	1.63
	2 000	0.88	1	1.06	1.13	1.20	1.28	1.36	1.44
	3 000	0.78	0.88	0.94	1	1.06	1.13	1.20	1.28
	4 000	0.69	0.78	0.83	0.88	0.94	1	1.06	1.13
	5 000	0.61	0.69	0.74	0.78	0.83	0.88	0.94	1

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装设电涌保护器，进行电涌保护。电涌保护器的基本要求是：

- 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；
- 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；
- 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；
- 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持续运行；
- 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。

5.4.2 技术文件

5.4.2.1 SPD 的技术文件

应提供有关文件或报告，其中应包含下列信息：

- SPD 测试报告；
- SPD 选型与配置方案及论证；
- 对应防护区中的设备冲击耐受水平；
- 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) 各连接部件的质量控制说明。

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

为使操作间和变电站内达到LPZ 1，一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。在其入口处应安装诸如薄钢板、铝或细金属丝做成的屏蔽门。

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装设接闪杆和引下线，并连接到接地体。

在处于强雷区的风电场应按照GB/T 50064的要求设置单独的避雷针以保护风力发电机及风电场集电系统。

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。

为了保证一个连续的LPZ 1，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/T 11032的无间隙金属氧化物避雷器，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方式。在集电变压器的低压侧应安装符合GB 18802.1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

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) 接地装置能耐受接地故障时所产生的热和电动力；
- 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 Ω。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。

在土壤电阻率大于 $500\ \Omega \cdot \text{m}$ 地区，应采取深埋、换土、深井和降阻剂等措施降低接地电阻。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的要求。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）。

6.1.2 接地装置的形状尺寸

风力发电机组接地装置应符合GB/T 21714.3-2008中5.4.2.2条的规定的B型接地装置。

B型接地装置是有基础接地极和外围的环形接地极组成，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性能良好。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最小，从而使接地阻值保持稳定。

6.1.4 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) 降低接地电阻和腐蚀特别说明；
- c) 实测的工频电阻至及计算的接触点电压和跨步电压。

参 考 文 献

- [1] GB/T 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
- [2] GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
- [3] NB/T 31039-2012 风力发电机组雷电防护系统技术规范
- [4] IEC 61400-23 风力机发电系统-第23部分：风轮叶片全尺寸结构试验
- [5] IEC 61400-24 风力涡轮发电机系统 第24部分 雷电防护
-