

屋顶光伏电站防雷接地方案设计

根据屋顶光伏电站的系统原理及其建设环境的特殊性,通过分析不同类型雷电的形成机理,指出其可能对光伏电站产生的危害,结合相关规范的要求,提出了应对直击雷、感应雷和雷电波入侵的防护措施。同时为了使屋顶光伏阵列可靠接地,针对不同建筑物已有防雷接地电阻的大小,设计出两种防雷接地方案,使屋顶等电位网和人工环形接地体能够相互连通,从而有效防止雷电对电站造成破坏,保证光伏电站安全、稳定运行。

牛高远 雷振锋 江新峰 张 燕 申织华/国家电网许继集团有限公司分布式能源与微电网系统公司



牛高远/助理工程师

近年来,光伏发电产业在世界各地得到迅猛发展,屋顶光伏发电技术是目前最为重要的太阳能利用方式之一,随着电站接入电网的容量不断增大,屋顶光伏电站的安全稳定运行也日益受到重视。

与地面光伏电站不同,屋顶光伏电站大多建设在较高的露天建筑物屋顶,更容易遭受雷击,所以在雷雨天气里不可避免地要考虑防雷击措施。雷电是自然界存在的具有巨大破坏性的大气放电现象,如果防护不当,雷电极易对光伏发电系统产生危害,甚至会导致设备损坏和人身伤亡等事故。因此,光伏电站的防雷接地技术不仅是电站运维人员关心的重点,更是业内技术研究的热点。

由于光伏发电是新兴产业,目前国内尚没有完整、独立的针对光伏电站的防雷接地设计规范,现有的项目建设主要参照GB 50797—2012《光伏发电站设计规范》^[1]、GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》^[2]和GB 50169—2006《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》^[3]等文件进行防雷接地设计,但

这样的设计方案针对性不强,存在一些不足之处。

屋顶光伏电站特点及系统原理

1. 建设特点

屋顶光伏电站多采用“自发自用、余量上网”的运行模式,为了方便用户使用电能,屋顶光伏发电系统提倡“就近转换、就近并网”的能源利用方式,因而电站的光伏组件、直流电缆、桥架、支架和汇流箱等大量设备会直接固定在工业厂房、商业建筑等的屋顶上,逆变设备、变压器等设备则安装在距离建筑物最近的配电房或逆变房内。

由于屋顶光伏电站能够很好地利用分散的场地资源,所以屋顶光伏电站也称为分布式光伏电站。

2. 系统原理

图1为屋顶光伏发电系统原理框图,主要包括室外直流系统、室内逆变系统和升压并网系统三部分,以10 kV并网(低压并网为0.4 kV)方案为例,其工作原理为屋顶光伏阵列产生的直流电能首先经过电缆传输到汇流箱,形成一级汇流,一定数量的汇流箱并入直流柜,形成二级汇流,然后直流电能通过逆变器转换为交流电能,此时的交流出线电压

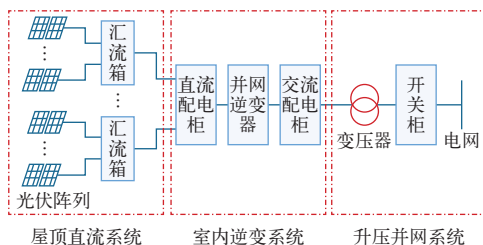


图1 光伏发电系统原理框图

关键词/Keywords

光伏电站·
防雷·
接地·

等级通常为0.27 kV或0.29 kV,最后交流电能经过交流配电系统接入升压变压器,升压至10 kV后并入电网。

直流系统是整个屋顶光伏电站的关键和能量来源,因其处在较高的位置,而且与建筑物结合较为紧密,因此做好光伏电站的防雷接地,对保证电站安全运行意义重大。

雷电种类及其危害

雷电发生时,将产生炽热的高温、强大的雷电冲击电流、猛烈的冲击波和瞬变的电磁场等危险现象,根据放电方式的不同,雷电可以分为直击雷、感应雷和雷电波三种类型。

1. 直击雷

雷云通过建筑物或其他设施直接与大地之间进行的强烈放电现象称为直击雷。由于受到直接雷击,被击中的物体上会瞬间产生高达万伏的过电压,电流峰值也会达到几千安培。这种情况下,建筑物和设备很可能发生火灾和爆炸。过电压如果加在架空导线上,则不仅会发生线路闪络放电,造成短路事故,而且还会以波动的形式迅速向逆变室、配电室等建筑物内部传播,导致沿线路安装的电气设备产生绝缘击穿等严重后果。

2. 感应雷

当雷云出现在架空线路的上空时,线路上会感应出与雷云极性相反的束缚电荷。雷云闪击放电后,线路上的电荷得不到释放,会在线路和大地之间产生高达几十万伏的感应过电压,而且感应过电压也能够沿着线路向两端前进,形成雷电波。

此外,雷电流的迅速变化会使其周围的空间里产生强大的电磁场,处于电磁场中的金属导体上即会产生较高的电动势,如果置于电磁场中的电力系统回路接触不良,则容易出现火花放电或局部过热等故障。感应雷虽然没有直击雷猛烈,但发生的频率要高得多。

3. 雷电波

直击雷和感应雷产生的高电位雷电波通过架空线路或金属导管传导侵入建筑物内,危及电力设备和人身安全。统计显示,雷电波入侵导致的

事故在雷电灾害事故中所占的比例最大。

分析雷电灾害的破坏因素可知,雷电主要有四大破坏作用,即电效应、热效应、机械效应和电磁效应,但无论哪种效应都应该引起人们的足够重视。

文献[2]首先对不同的建筑物分类后再进行防雷设计,文献[4]把光伏电站划为第三类防雷建筑考虑,尽管如此,因为光伏电站的屋顶不仅仅是建筑物,上面还布置有大量的光伏组件、汇流箱和电缆等其他电力设备等,因而不能完全照搬文献[2]中第三类建筑的防雷设计规范。另一方面,由光伏发电系统原理可知,在整个系统的设备组成中直流部分占了很大比例,如果认为光伏电站是个完整的电力系统,那么按照常规的电力系统设计规范,防雷接地关注的重点就是交流设备,缺少对直流系统的规定。如果简单根据电力系统有关规范对光伏电站的交流系统进行防雷设计,显然是不符合光伏电站特征要求的^[5]。

因而,在屋顶光伏电站进行防雷接地设计时,应该因地制宜,在参考相关规范要求的基础上,也必须考虑其安装环境的特殊性^[6]。

防雷接地方案设计

雷电的能量巨大,但现在还不能加以利用,只能采取措施预防其可能造成的危害。光伏发电系统既要防直击雷,也要防感应雷和雷电波入侵,应将多级防雷措施有机结合起来进行综合设计,才能有效防止雷击事故发生。

1. 防直击雷

防直击雷的主要措施是装设避雷针,引导雷云对避雷装置放电,使雷电流迅速流入大地。避雷针有一定的保护范围,根据国际电工委员会(IEC)推荐的“滚球法”可计算避雷针的保护半径为

$$r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (1)$$

式中, r_x 为避雷针的保护半径,m; h 为避雷针的高度,m; h_r 为滚球半径,三类建筑物取为60 m; h_x 为被保护物的高度,m。

实际中应该根据光伏电站所处屋顶面积大

小,选择合适的避雷针型号和数量,使受保护设备处于避雷范围之内。

另外,对屋顶易受雷击部位,还应装设接闪杆、接闪带和接闪网等接闪装置进行防直击雷保护。对于屋顶光伏电站来说,光伏阵列的最高点往往是组件的铝合金边框,更容易遭受雷击,同时它也是良好的导体。因此可以直接利用屋顶的铝合金边框作为接闪器与光伏支架连接,组成屋顶等电位网,进而与屋顶原有的防雷接地网焊接,形成环形避雷网。具体的设计步骤如下。

(1) 组件与横梁连接

如图2所示,将每块光伏组件的接地孔通过1根 $1 \times 4 \text{ mm}^2$ 的黄绿接地线与支架横梁单独连接。

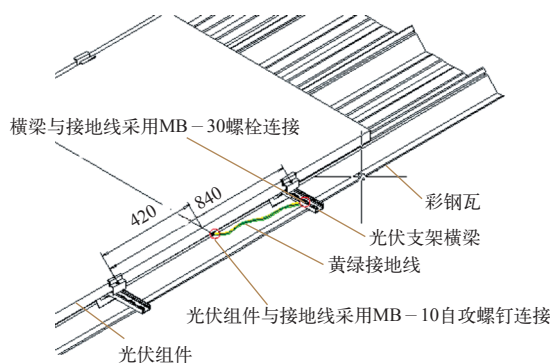


图2 组件边框与支架横梁连接示意图

(2) 横梁之间焊接

如图3所示,光伏支架横梁纵向间采用 $40 \times 4 \text{ mm}$ 镀锌扁钢焊接起来,焊接部位应进行防锈处理,每两根扁钢间距不超过25 m。这样,所有的支架和横梁便组成一个如图4所示的屋顶等电位网。

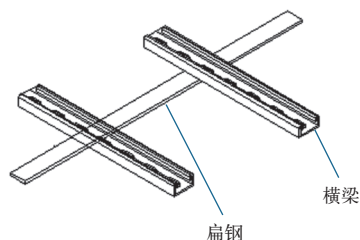


图3 支架横梁与镀锌扁钢焊接示意图

(3) 等电位网与防雷接地网连接

为了将雷电顺利引向大地,还需要将屋顶等电位网与建筑物的防雷接地网连接,利用建筑物原有的接地线引导雷电流。

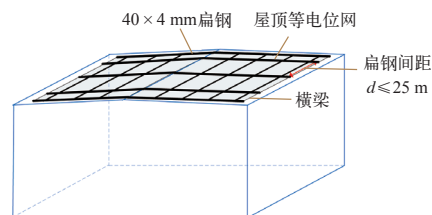


图4 屋顶等电位网示意图

文献[1]规定“光伏方阵接地应连续、可靠,接地电阻应小于 4Ω 。”据此,光伏电站建设时,应实测建筑物的防雷接地电阻,若防雷接地电阻小于 4Ω ,则用 $40 \times 4 \text{ mm}$ 镀锌扁钢将屋顶等电位网焊接至防雷接地网,组成如图5所示的环形避雷网。

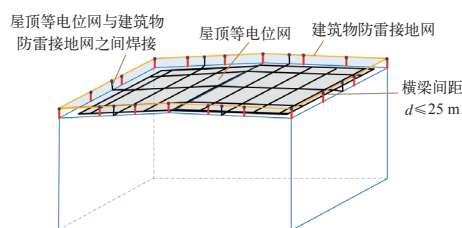


图5 等电位网与防雷接地网连接示意图

若建筑物接地电阻大于 4Ω ,则应组建独立的防雷接地网,满足接地电阻小于 4Ω 的要求。

如图6所示,沿建筑物墙体敷设引下线,引下线两端分别连接屋顶等电位网和人工环形接地体,接地体由多个接地极通过 $\phi 10$ 圆钢焊接组成,以避免跨步电压的产生,接地极由水平接地装置与垂直接地装置焊接而成。

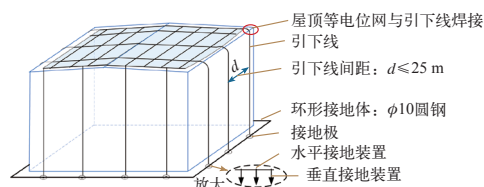


图6 独立防雷接地网示意图

在材料选择和工程施工时需要注意以下技术要求。

(1) 引下线技术要求

1) 引下线宜采用圆钢或扁钢,优先选用圆钢,圆钢直径不应小于 8 mm ;扁钢截面积不应小于 48 mm^2 ,厚度不应小于 4 mm ,采用热镀锌防腐措施。

2) 建筑物周长超过25 m或高度超过40 m时,宜沿着建筑物均匀布置多根引下线,且其间距不

得大于25 m。

3) 采用多根引下线时, 为了便于检测接地电阻和检查引下线的连接情况, 宜在各引下线距地面高0.3~1.8 m处设断接卡。

4) 防直击雷的专设引下线距建筑物出入口或者人行道边沿不宜小于3 m。

(2) 接地装置技术要求

1) 埋于土壤中的垂直接地装置宜采用热镀锌角钢、钢管或圆钢; 水平接地装置宜采用热镀锌扁钢或圆钢。角钢截面积不小于 290 mm^2 , 厚度不应小于4 mm; 圆钢直径不应小于10 mm; 扁钢截面积不应小于 100 mm^2 , 厚度不应小于4 mm; 钢管壁厚不应小于3.5 mm。

2) 垂直接地装置的长度宜为2.5 m, 垂直接地装置及水平接地装置的间距宜为5 m, 当受地方限制时可适当减小。

3) 接地装置在土壤中的埋设深度不应小于0.5 m, 并宜敷设在冻土层以下, 其距墙或建筑物基础不宜小于1 m。

2. 防感应雷

等电位联结、屏蔽和装设电涌保护器 (Surge Protection Device, SPD) 是防感应雷的主要措施^[7]。

光伏发电系统中包含大量的金属设备, 为了减小各设备之间的电位差, 应将光伏组件周边边框、屏柜外壳和电缆的金属层等连接于等电位体上, 等电位体采用 $40\times 4\text{ mm}$ 扁钢敷设且与人工环形接地体相连, 实现等电位联结和可靠的屏蔽, 从而防止感应雷对设备造成损坏。

此外, 在汇流箱、直流配电柜、交流配电柜、升压箱变压器和开关柜等设备内分级安装SPD, 使设备具有防感应雷保护功能, 图7为等电位联结和SPD安装示意图。

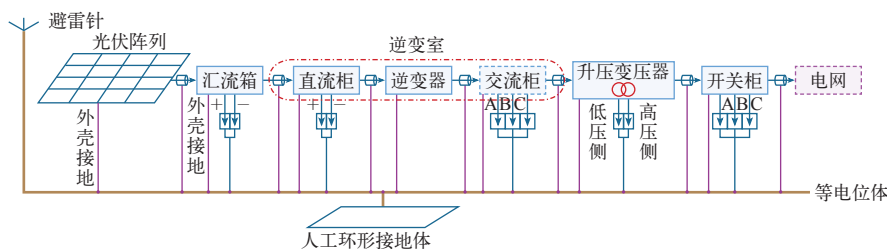


图7 等电位联结和SPD安装示意图

为了防止雷电波通过电缆线路侵入用户配电室破坏光伏发电设备, 除了将电缆的金属层连接于等电位体上外, 金属电缆桥架及其支架引入或引出的金属电缆导管也必须接地可靠, 桥架接地间隔不超过30 m, 且桥架全长不少于2处与接地干线相连接, 使整个桥架成为一个电气通路。

结束语

光伏电站可靠的防雷接地系统是保证其安全稳定运行的关键, 本文根据屋顶光伏电站的安装建设特点, 结合相关规范要求规划了屋顶发电系统的防雷接地方案, 更具有针对性和实用性。在工程应用中还应该综合考虑电站的装机容量、所处地理环境等因素设计出性能最佳、经济最优的防雷接地系统, 以达到有效规避雷电灾害的目的。

参考文献

- [1] GB 50797—2012 光伏发电站设计规范 [S].
- [2] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范 [S].
- [3] GB 50169—2006 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范 [S].
- [4] 孙燕. 光伏电场区域防雷接地研究 [J]. 华东电力, 2010, 38 (12): 1907-1909.
- [5] 梅成勇, 陈华晖. 独立太阳能光伏发电系统防雷技术探讨 [J]. 气象科技, 2009, 37 (6): 763-766.
- [6] 郭家宝, 汪毅. 光伏发电站设计关键技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [7] 程芳. 防雷接地设计中电涌保护器的应用 [J]. 低压电器, 2004 (11): 49-51.

(收稿日期: 2014-06-19) EA