

独立太阳能光伏发电系统防雷技术探讨

梅勇成^{1,2} 陈华晖²

(1 上海交通大学, 2 上海市气象局防雷中心, 上海 200030)

摘要 光伏发电系统是一种新兴的发电系统,我国还没有专门的光伏发电系统防雷设计规范。依据国际标准 IEC62305-2 对独立太阳能光伏发电系统进行雷击风险评估。采用计算雷击公众服务风险(R_2)和经济损失风险(R_4)的方法,通过分析 R_2 的分险分量组成,有针对性地采取防直击雷和防雷击电磁脉冲的防护措施,通过分析 R_4 说明上述防护措施的经济性。雷击风险评估可使防雷设计做到科学有效、经济合理。

关键词 太阳能 独立光伏发电系统 雷击 风险评估

引言

近年来我国太阳能发电产业迅速增长,其中普及较广的是光伏发电系统。光伏发电系统通常分为独立光伏发电系统和并网光伏发电系统,其中独立光伏发电系统是不与常规电力系统相连而孤立运行的发电系统,通常建设在远离电网的偏远地区或作为野外移动式便携电源,极易遭受雷击,造成设备损坏和停电故障,甚至威胁人身安全^[1],因此对独立太阳能光伏发电系统采取防雷保护措施是十分必要的。我国还没有专门的光伏发电系统防雷设计规范。为了科学有效、经济合理地采取防雷措施,本文以一套安装于上海某公园内的独立光伏发电系统为例,对其进行雷击风险评估,并依据评估结果提出了一套完整的雷电防护方案,以供相关设计安装人员参考。

1 太阳能光伏发电系统及其在防雷设计中的问题

典型的太阳能光伏发电系统主要由太阳能电池板、控制器、蓄电池组、逆变器组成,其构成如图 1 所示^[2]。太阳能电池板的作用是进行光电转换,控制器用于控制整个系统的工作,蓄电池用来储存电能,逆变器进行直流/交流转换。

光伏发电是一种新兴的发电系统,我国还没有专门的光伏发电系统防雷设计规范。目前,国内大都依据《建筑物防雷设计规范》及电力系统的有关规

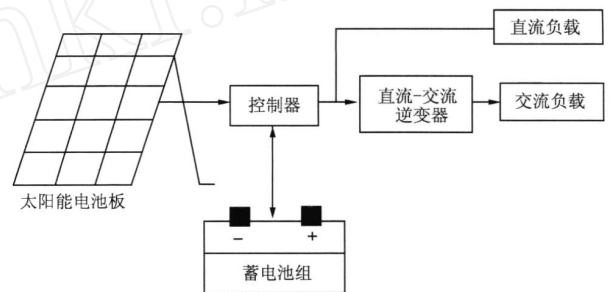


图 1 典型太阳能光伏发电系统的构成

范来对其进行比照设计,设计结果差异较大。如果将太阳能光伏发电系统界定为一般工业类建筑,就应按照《建筑物防雷设计规范》执行,但太阳能电池阵列及设备机房高度通常不大于 5 m,以几何指标衡量,依照规范一般都可以不考虑防直击雷措施。如果将光伏发电系统比照电力系统的有关规范进行防雷设计,也很难得出一个完整、准确的结论。因为光伏发电系统的类型不能与电力行业中的常规电站(水电、火电站)、几千伏至上百千伏输变电系统等同,即使与小型变配电站相比,其重要程度和发生灾害后的损失程度也不能相提并论,如果照搬照抄这些规范条文,就不符合光伏发电系统建设的经济性要求。因此,为了更加合理地对太阳能光伏发电系统进行防雷设计,笔者建议先对光伏发电系统进行雷击风险评估,再根据评估结果采取相应的雷电防护措施。

作者简介:梅勇成,男,1977 年生,工程师,主要从事防雷管理、雷击风险评估等工作,Email: tom_mei2004@hotmail.com

收稿日期:2008 年 6 月 24 日;定稿日期:2008 年 11 月 26 日

2 独立光伏发电系统的雷击风险评估

本文依据 IEC62305-2 标准^[3]并借鉴有关方法^[4]对一套安装在上海某公园内供路灯照明的 8 kW 独立光伏发电系统(图 2,几何尺寸为: $L = 12$ m, $W = 6$ m, $H = 3$ m)进行了雷击风险评估,文中省略了繁琐的计算过程,只列出计算结果。

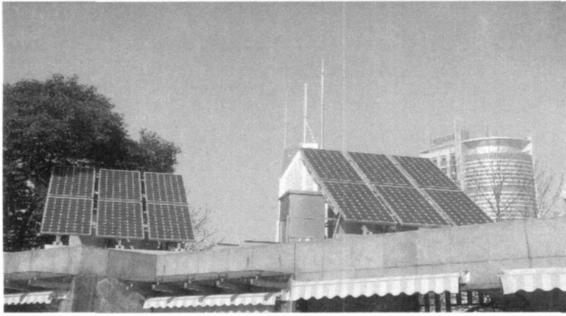


图 2 独立太阳能光伏发电系统实物图

2.1 评估的具体内容

鉴于该套光伏发电系统的使用性质,根据 IEC62305-2 标准^[3],利用式(1)对其第 2 类损失(公众服务损失 R_2)和利用式(2)对第 4 类损失(经济损失 R_4)进行风险评估。

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (1)$$

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (2)$$

其中: R_B 为雷击建筑物物理损害的风险, R_C 为雷击建筑物导致内部系统失效的风险, R_M 为雷击建筑物附近导致内部系统失效的风险, R_V 为雷击与建筑物相连的服务设施导致建筑物遭受物理损害的风险, R_W 为雷击与建筑物相连的服务设施导致内部系统失效的风险, R_Z 为雷击与建筑物相连的服务设施附近导致内部系统失效的风险。式(1)和式(2)中 $R_B \sim R_Z$ 的赋值不同。

(1) 公众服务损失风险 R_2 。

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \\ = 1.33973 \times 10^{-3}$$

其中: $R_B = 0.32 \times 10^{-6}$, $R_C = 3.25 \times 10^{-6}$, $R_M = 1021.81 \times 10^{-6}$, $R_V = 2.47 \times 10^{-6}$, $R_W = 24.73 \times 10^{-6}$, $R_Z = 287.15 \times 10^{-6}$ 。

(2) 经济损失风险 R_4 及未采取保护措施时每年的全部损失 G_L 。

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \\ = 1.39288 \times 10^{-3}$$

其中: $R_B = 6.49 \times 10^{-6}$, $R_C = 3.25 \times 10^{-6}$, $R_M = 1021.81 \times 10^{-6}$, $R_V = 49.45 \times 10^{-6}$, $R_W = 24.73 \times 10^{-6}$, $R_Z = 287.15 \times 10^{-6}$ 。

$$G_L = (R_B + R_V)(C_B + C_S + C_C) + (R_C + R_M + R_W + R_Z)C_S = 724 \text{ (元)}$$

这里对 C_S 、 C_B 、 C_C 分别取值约为: $C_S = 5.0 \times 10^5$, $C_B = 2.0 \times 10^5$, $C_C = 3.0 \times 10^5$ 。

2.2 评估结果分析

(1) 公众服务损失风险分析。IEC62305 标准规定,雷击造成公众服务损失的最大风险可容许值 $R_T = 1 \times 10^{-3}$,而在本项目中由于 $R_2 = 1.33973 \times 10^{-3} > R_T$,故必须采取雷电防护措施,以降低雷击损失风险,使其符合标准。

从评估结果可知,风险 R_2 的主要来源是 R_M 和 R_Z (两者共占 97.7%)。其中,直接雷击产生的风险 $R_D = R_B + R_C = 3.57 \times 10^{-6}$,间接雷击产生的风险 $R_I = R_M + R_V + R_W + R_Z = 1.33616 \times 10^{-3}$ 。因此,为了取得更加合理有效的雷电防护措施,应根据评估结果有针对性采取相应的防护措施。在采用 IEC62305-3 规定的 3 级防雷系统(即我国 GB50057-1994 规定的第 3 类防雷建筑物的防雷措施)进行保护后(具体措施见下文),可将 R_2 减少为 $4.021 \times 10^{-5} < R_T$,就能满足标准的要求。

(2) 经济损失风险分析。通过对风险 R_4 进行评估,并计算没有保护措施时年均总损失 G_L 、采取了保护措施后的年均残余损失(C_{RL})和采用保护措施所需的年均费用(C_{PM}),可知道采取防雷措施是否经济合理。如果 $G_L < (C_{RL} + C_{PM})$,采取防雷措施不经济;如果 $G_L > (C_{RL} + C_{PM})$,则采取防雷措施是经济合理的。

当采用 3 级防雷系统保护后:

$$C_{RL} = (R_B + R_V)(C_B + C_S + C_C) + (R_C + R_M + R_W + R_Z)C_S = 22 \text{ (元)}$$

其中 R_B 、 R_C 、 R_M 、 R_V 、 R_W 、 R_Z 分别为采取保护措施后与雷击有关的风险分量。

$C_{PM} = C_P(i + a + m)$,其中 C_P 为保护措施的费用, i 为利率, a 为折旧率, m 为维护费率。

这里取 $C_P = 2.0 \times 10^3$ (具体费用以施工为准), $i + a + m = 10\%$,所以 $C_{PM} = 2.0 \times 10^2$ 。

通过上述计算可得年均节约费用 $S = G_L - (C_{PM} + C_{RL}) = 724 - 200 - 22 = 502$ (元),由于 $S > 0$,所以采取的保护措施是经济合理的。

2.3 影响因子分析

当地雷电活动状况和光伏阵列布置高度对雷击风险评估的结果有较大的影响,表 1 和表 2 分别为不同雷暴日和不同安装高度情况下,8 kW 光伏发电系统的雷击风险(R_2)和年均节约费用(S)。从表中可见,如果当地雷电活动状况比较强烈或安装高度增加时,雷击损失风险明显增加。当然,光伏发电系统本身的几何尺寸和供电负荷要求对雷击风险的影响也是应该考虑的方面,本文不再赘述。

表 1 不同雷暴日公众服务损失风险(R_2)和可节约费用

年平均雷暴日/d	R_2	年均节约费用/元
25	0.67121×10^{-3}	152
50	1.34241×10^{-3}	504
75	2.01362×10^{-3}	856
100	2.68482×10^{-3}	1208
125	3.35603×10^{-3}	1559

表 2 不同安装高度公众服务损失风险(R_2)和可节约费用

安装高度/m	R_2	年均节约费用/元
0	1.33973×10^{-3}	502
6	1.34102×10^{-3}	525
20	1.34799×10^{-3}	651
50	1.38155×10^{-3}	1255
100	2.02155×10^{-3}	3525

3 独立光伏发电系统的雷电防护方案

通过对雷击风险评估结果的分析,参考 IEC62305 技术标准和我国防雷技术规范,笔者对独立光伏发电系统制定了一套完整的雷电防护方案,主要包括防直击雷措施,防雷击电磁脉冲措施和可靠的接地系统(图 3)。

3.1 防直击雷措施

太阳能光伏发电系统的太阳能电池板一般安装在建筑物的屋面上,处于 LPZ0 区(LPZ 为防雷区),如太阳能电池板不在建筑物原有防雷装置的保护范围内,应对其采取防直击雷措施。根据 GB50057 - 1994《建筑物防雷设计规范》的规定,对于一般公共建筑物上的太阳能电池板可按 60 m 滚球半径采取防直击雷措施^[5]。太阳能电池板的金属支架应与避雷针做可靠的等电位连接,并与屋面防雷装置相连。

太阳能控制器、蓄电池和逆变器一般都安装在室内,处于 LPZ1 区。如果控制器、蓄电池和逆变器安装在屋面(LPZ0 区),应处在接闪器的保护范围内,其金属外壳应与电池板金属支架、避雷针及屋面

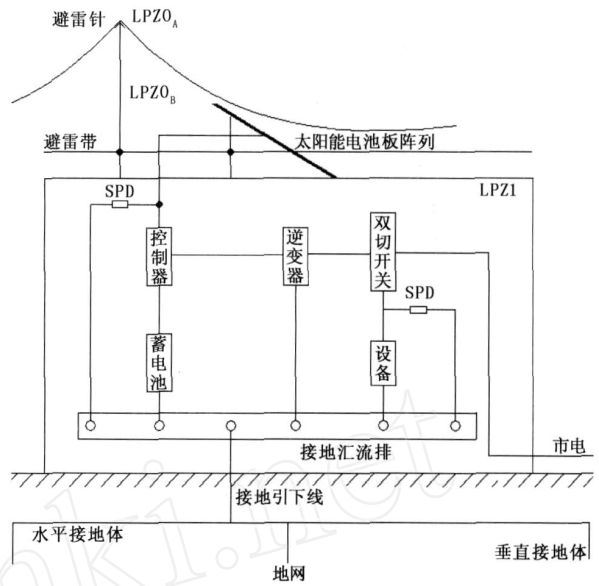


图 3 独立太阳能光伏发电系统雷电防护方案示意

防雷装置相连。

3.2 防雷击电磁脉冲措施

3.2.1 均压和等电位连接

为了减小不同金属物之间的电位差和故障电压危害,太阳能电池板的四周铝合金边框和金属支架,控制器、蓄电池、逆变器的金属外壳,金属管(槽),线缆的金属屏蔽层及避雷针等应采取良好的等电位连接措施。根据 GB50057 - 1994 的规定,等电位连接网络主要有两种结构,即 S 型星形结构和 M 型网形结构。通常 S 型等电位连接网络用于相对较小、限定于局部的系统,所以小规模独立光伏发电系统应以 S 型等电位连接网络方式接到接地装置上。

3.2.2 合理布线和屏蔽措施

为减少电磁干扰,太阳能电池板的入户线路应以合适的路径敷设并做好线路屏蔽。线缆应选用有金属屏蔽层的电缆并穿金属管敷设,在防雷区界面处电缆金属屏蔽层及金属管(金属管应两端接地)应做等电位连接并接地^[6]。

3.2.3 过电压及过电流保护

为了防止雷击电磁脉冲产生的过电压及过电流经入户线路侵入损坏室内的光伏发电设备,对光伏发电系统的线缆应加装多级防浪涌保护装置进行防雷保护。首先,应该在太阳能电池板输出到控制器的线路上(在入户处)安装电源浪涌保护器,该浪涌保护器内部应包括差模滤波器,以帮助消除线路上

传导的电磁干扰(图 4)。其次,由于控制器、蓄电池和逆变器均为价格昂贵的设备,应在控制器、蓄电池和逆变器内安装第 2 级的电源浪涌保护器,使其具有防雷保护功能。如果逆变器输出到一些较重要的负载设备,还应该在逆变器输出端安装第 3 级电源浪涌保护器。以上各级浪涌保护器的参数选择和安装要求应符合 IEC61643-12 相关规定。室外的防雷器件应全部安装于防雨防尘的电源箱内。

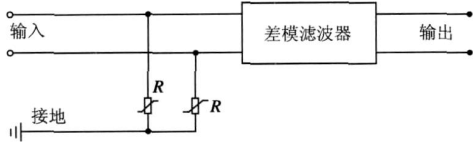


图 4 光伏发电系统中浪涌保护器的设计

3.3 接地系统

接地装置的作用是把雷电流从接闪器尽快地散泄到大地中,对光伏发电系统接地装置的要求是要有足够小的接地电阻和合理的布局。接地装置的布局类型可按 IEC62305-3 规定的 A 型装置或 B 型装置进行设置。接地装置中接地体埋设深度不应小于 0.5~0.8 m,接地装置的材料一般为抗腐蚀能力较强的扁钢或圆钢,其冲击接地电阻一般不大于 10

。如果安装光伏发电系统建筑物有接地装置,光伏发电系统的各类设备的金属组件可以按合适的方式(S 或 M 型方式)连接到建筑物的接地装置上;如果该建筑物无接地装置,应增设独立接地装置,使以

上各类金属组件都连接到此接地装置上。

4 小结

随着太阳能光伏发电产业的不断发展,各类光伏发电系统的应用也会愈加广泛,采用科学的防雷技术是保证光伏系统可靠安全运行的一个重要因素。受篇幅所限,本文只对独立光伏发电系统的防雷技术进行了简单探讨,希望通过上述探讨为从事光伏发电系统设计、安装的相关人员带来一定的帮助。对于其它各类光伏发电系统,应按相关的防雷标准并结合其特点设计安装有效的防雷系统,以满足其安全运行的要求。

参考文献

- [1] 张跃. 云南德援光伏电站的防雷接地技术[J]. 太阳能, 2006, 6: 33-34.
- [2] 赵争鸣, 刘建政, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 73.
- [3] IEC 62305. Protection against Lightning - Part 2: Risk Management [S]. IEC, 2006.
- [4] 杨仲江, 卢燕. 热电厂雷电灾害风险评估探讨与实践[J]. 气象科技, 2007, 35: 79-83.
- [5] GB50057 - 1994. 建筑物防雷设计规范(2000 版) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [6] 张永刚, 肖稳安, 李虹, 等. 气象信息系统雷电防护常见问题[J]. 气象科技, 2007, 35: 85-88.

Techniques of Lightning Protection for Photovoltaic Stand Alone System

Mei Yongcheng^{1,2} Chen Huahui²

(1 Shanghai Jiao Tong University; 2 Shanghai Lightning Protection Center, Shanghai 200030)

Abstract: A risk assessment of a photovoltaic stand-alone system is made according to the criteria IEC62305-2. Through calculating and analyzing the lightning stroke risk R_2 and R_4 , the most effective protection measures (LPS and LPMS) for the object are selected according to the share of risk component R_2 and the economical analysis of the measures (R_4), so to reduce the risk to the tolerable level.

Key words: photovoltaic stand-alone system, lightning risk assessment, lightning protection