



光伏发电系统防雷检测方法

摘要

在了解光伏电站的构成和工作原理,掌握光伏发电系统的防雷装置和接地特性参数的基础上,参照相关的防雷规范划分光伏电站防雷类别,提出了使用输出电流较大的检测设备,采用异频小电流、GPS定位系统配合,对电站的光伏方阵区和交流输配电设备区2个重点区域的检测方法,针对每一个特性参数给出了要求值和测试结果判断,采用异频小电流干扰小、操作安全,GPS定位测距准确,测试方法比较科学,测试取得的数据准确可靠,可有效判断光伏发电系统防雷和接地装置的性能。

关键词

光伏发电;防雷;检测方法

中图分类号 P429

文献标志码 A

0 引言

太阳能作为丰富的再生能源,有巨大的开发利用潜力。青海西部拥有丰富的太阳能资源和大量的荒漠化土地,具有利用太阳能资源发展大型光伏并网电站得天独厚的优势,其发电成本远低于国内大多数区域,目前已核准的光伏发电项目有40多个,容量超过了30万kW,太阳能综合利用居全国之首。

由于大型光伏电站大多建在人烟稀少的空旷地段,易遭受雷击。电站建设时参照相关的防雷设计规范安装了雷电防护装置,防护效果如何,需要进行检测验证。然而国内还没有光伏电站防雷检测技术规范,所以,只能参照其他相关防雷规范,检测的内容和方法也各不相同,从而给电站的防雷安全埋下了隐患。因此,探讨光伏电站的防雷装置检测方法,是做好电站检测的重要前提,并具有一定必要性和实用性。

由于光伏电站构成单元多、占地面积大,接地装置组成的地网也较大,现有的小型检测仪器测试电流小,无法排除工频干扰,只能检测接地电阻和等电位连接等,无法检测其他接地特性参数,无法正确判断电站防雷和接地装置的性能,远不能满足光伏电站的测试需求。所以,本文首先从电站的地域、雷暴日数、地网大小、土壤性质等因素考虑,划分电站的防雷类别,再使用输出电流较大的检测设备,采用异频小电流、GPS定位系统和电压降法配合来检测电池方阵区、高压输变电区的接触电压、跨步电压、接地阻抗、电位梯度、电气完整性等参数,为判断电站防雷和接地装置性能提供技术依据。

1 光伏发电系统的工作原理和构成

光伏发电系统是利用以光伏效应原理制成的太阳能电池将太阳辐射能直接转化成电能的发电系统。它由光伏方阵、控制器、蓄电池(并网发电系统一般可省去)、直流/交流逆变器、交直流负载组成^[1]。其系统构成如图1所示。

2 光伏电站防雷类别的确定

光伏电站的防雷类别^[2]是根据该地区的地面落雷密度、年预计雷击次数和太阳能光伏方阵的占地面积等参数来确定的。

$$N = KN_gA_e, \quad (1)$$

收稿日期 2014-07-18

作者简介

杨成山,男,工程师,主要从事雷电防护、检测以及雷电风险评估方面的研究。

qhxyangchengshan@163.com

1 青海省雷电灾害防御中心,西宁,810001

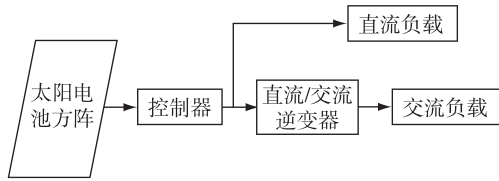


图1 光伏发电系统示意

Fig. 1 Hardware structure of solar photovoltaic system

其中, K 为校正系数(一般取 1), N_g 为光伏电站所在地区雷击大地的年平均密度(次/(km^2/a)), $N_g = 0.1T_d$, T_d 是电站所处的当地年平均雷暴日(有闪电监测资料的可优先使用), A_e 为与光伏电站截收相同雷击次数的等效面积:

$$A_e = [LW + 2(L+W)\sqrt{H(200-H)} + \pi H(200-H)] \times 10^{-6}$$

L, W, H 分别为光伏方阵的长、宽、高(单位均为 m).

10 MW 的光伏电站总占地面积计算约 44 万 m^2 , 光伏方阵的占地面积约为 900 m (长) \times 450 m (宽) = 40.5 万 m^2 , 高 2 m, 前后排阵列间距 5.5 m, 占地约 3.14 万 m^2 , 电站房屋建筑占地面积约 3 600 m^2 . 表 1 是青海高原部分地区 10 MW 光伏电站的年预计雷击次数.

表 1 青海省部分地区 10 MW 光伏电站的年预计雷击次数
Table 1 Annual lightning strikes at 10 MW photovoltaic plant in areas of Qinghai province

地区	年平均雷暴日/(d/a)	雷击大地年平均密度/(次/(km^2/a))	截收雷击等效面积/ km^2	光伏电站的年预计雷击次数/(次/a)
德令哈	19.0	1.90	0.46	0.87
大柴旦	7.70	0.77	0.46	0.35
共和县	39.1	3.91	0.46	1.80
格尔木	2.80	0.28	0.46	0.13
乌兰县	18.9	1.89	0.46	0.87

由表 1 可以看出, 在截收雷击等效面积相同的情况下, 光伏电站防雷类别与所在地区年平均雷暴日有关.

3 光伏方阵的防雷检测

光伏方阵由多个太阳能电池板组合而成, 电池板由 2 层约 1 cm 钢化玻璃叠夹组成, 背面是一层合金薄片, 四周是铝合金框架, 按一定的高度固定在金属支架上. 铝合金框架和金属支架做了导通连接, 所有金属支架做了等电位连接. 由于真空钢化玻璃夹层本身就是绝缘体, 当发生雷击时, 雷电流经过电池板的金属框架和金属支架泄入大地, 使电池板得到

保护, 避免了因直击雷冲击而损坏. 图 2 是 10 MW 光伏电站光伏方阵示意.

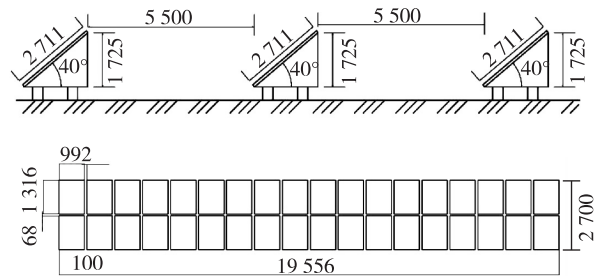


图 2 光伏方阵示意

Fig. 2 Photovoltaic cell matrix of photovoltaic power station

在检测光伏方阵的防雷装置性能时, 首先用微电阻测试仪检测铝合金框架和金属支架的接触情况, 接触电阻不应大于 0.03Ω , 连接线缆必须带金属屏蔽层, 并做等电位连接, 然后用较大电流导通测试仪, 检测各方阵单元之间导通情况, 导通电阻不应大于 $50 \text{ m} \cdot \Omega$, 以判断整个方阵的电气完整性, 再根据确定的防雷类别, 使用异频小电流法检测方阵金属支架的接地阻抗^[3], 用 GPS 定位系统测量电流极和电压极到地网之间的直线距离, 距离要符合图 3 的要求. 当测试地的土壤电阻率分布比较均匀时, 可适当缩短, 测试频率应选择大于或小于 50 Hz, 选用 4~6 个频率, 平均阻抗不应超过 4Ω ^[4]. 如果回路阻抗太大, 测试电流升不上去, 可将电流极扎在有水源、较潮湿的地方, 也可和周围附近的金属线塔、网围栏等相连, 以降低电流极的接地电阻, 一般电流极的电阻小于 10Ω 时可满足测试要求. 为了减少极间耦合的影响, 尽量保持两测试线之间的距离足够远^[5]. 最后, 根据确定的防雷类别检测金属支架上作为引下线的支柱间距是否符合规范要求, 二类 18 m, 三类 25 m^[4]. 接地阻抗测试原理如图 3 所示.

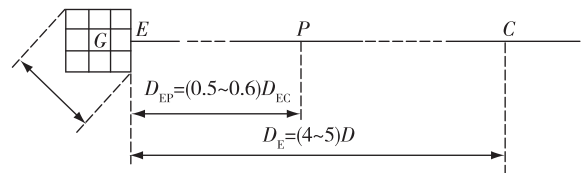


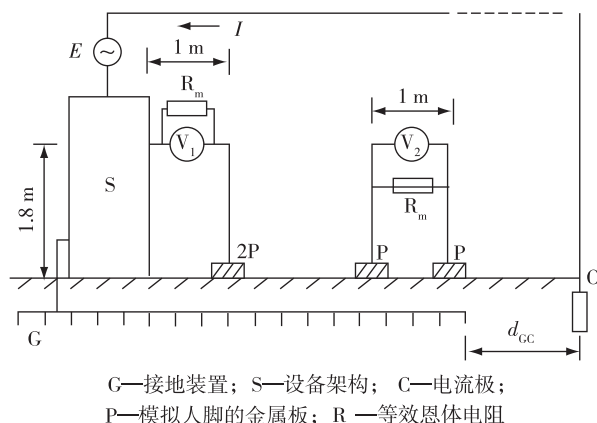
图 3 接地阻抗测试原理及电极布线

Fig. 3 Principle and electrode wiring of ground resistance test

4 光伏方阵区跨步电压和接触电压的检测

由于雷击光伏方阵金属支架时, 雷电流通过支

架引下线泄入大地,在此过程中,工作人员在方阵区时,可产生跨步电压,接触金属支架时会产生接触电压.如果接地装置性能不良,跨步电压和接触电压过大,将会对工作人员的生命安全造成威胁.因此,检测时在地网注入异频电流的情况下,须用可调频万用表测量方阵区电池板间隔工作通道的地面跨步电压和方阵支架的接触电压.测试原理如图4所示.



G—接地装置; S—设备架构; C—电流极;
P—模拟人脚的金属板; R_m—等效恩体电阻

图4 接触电压和跨步电压测试接线

Fig. 4 Wiring of touch voltage and step voltage test

4.1 接触电压的测量

使用大功率变频信号源和耦合变压器匹配输出测试电流注入地网,将可调频率万用表一端连接至距离地面1.8 m高的设备架构,另一端连接至距离设备架构1.0 m远模拟人脚的金属板,然后可调频率万用表选择1.5 kΩ的人体模拟电阻档位测量接触电压,实测值小于理论值为合格^[6].

4.2 跨步电压的测量

使用大功率变频信号源和耦合变压器匹配输出测试电流注入地网,将可调频率万用表两端分别连接地面上2个距离1.0 m模拟人脚的金属板,然后使用可调频率万用表的1.5 kΩ的人体模拟电阻档位测量跨步电压,实测值小于理论值为合格^[6].

4.3 跨步电压和接触电压理论值的计算方法

参照交流电气装置接地的有关规定,实测接触电压和跨步电压不应超过下式确定的值^[7]:

$$U_T = \frac{174 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}}, \quad U_S = \frac{174 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}}$$

式中, U_T 为接触电压(V), U_S 为跨步电压(V), ρ_s 为人站立处地表面的土壤电阻率($\Omega \cdot m$), t 为雷电流流过接地装置的持续时间(s).

5 光伏方阵接闪时雷电流幅值和持续时间的确定

根据国内有关资料公布的监测结果显示,地闪中有85%以上的是负极性闪电^[8],所以,按负极性首次雷击的电流幅值来确定最大入地雷电流.由于首次负极性雷击和以后的负极性雷击的持续时间都很短,只有1~200 μs,所以,以长时间雷击来考虑雷电流持续时间比较安全,按0.5 s的持续时间来计算接触电压和跨步电压理论允许值.实际测试时地网注入电流以5~10 A为宜,测试频率50 Hz左右.

例如:某光伏电站的防雷类别经计算为三类,接闪时的最大入地雷电流为50 kA,持续时间0.5 s,测得当地土壤电阻率80 $\Omega \cdot m$,当地网注入6 A、45 Hz的测试电流时,测得方阵区跨步电压0.2 mV,接触电压2.0 mV,换算系数=50 kA/6.0 A=8.3×10³,换算得跨步电压2.5 V,接触电压25.0 V,因此 $U_T = 265.34$ V, $U_S = 325.31$ V,实测值与理论计算值比较均满足要求.如果按首次雷击和以后的雷击计算,持续时间200 μs,则理论计算值更大.

6 直流汇流箱的防雷检测

直流汇流箱的电路连接关系如图5所示.首先用小型接地电阻测试仪测试汇流箱体保护接地电阻,不应大于4 Ω ^[3],用直线法测试,即测试的电流和电压极在同方向上,测试线分别为电流极10 m,电压极5 m,相互保持一定间距;或用30°夹角法,电流极和电压极成30°夹角,长度10 m.再用微欧表检测等电位连接,汇流箱体和接地线之间的接触电阻不应大于0.03 Ω .用小型接地电阻测试仪测试电涌保护器(SPD)地线的接地电阻,应不大于4 Ω ^[3],接地线的长度应不大于0.5 m,且材料规格和其他技术参数符合规范和设计要求.

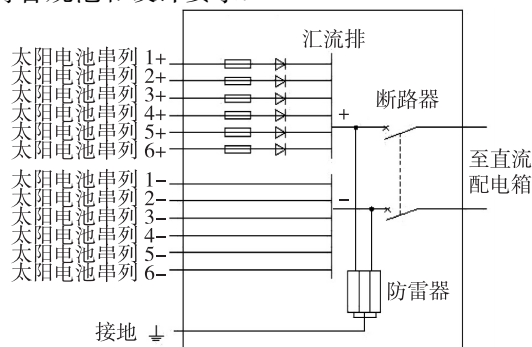


图5 直流汇流箱电路结构示意图

Fig. 5 Schematic circuit of DC combiner box

7 智能控制器的防雷检测

光伏发电系统的智能控制器通过对蓄电池的电压或荷电状态检测来判断蓄电池是否已经达到过充电或过放电,并根据检测结果发出是否继续充放的指令.智能型控制器的电路结构如图6所示.

智能型控制器有蓄电池充电控制功能、蓄电池过放电控制功能、数据采集和存储功能、通信功能.

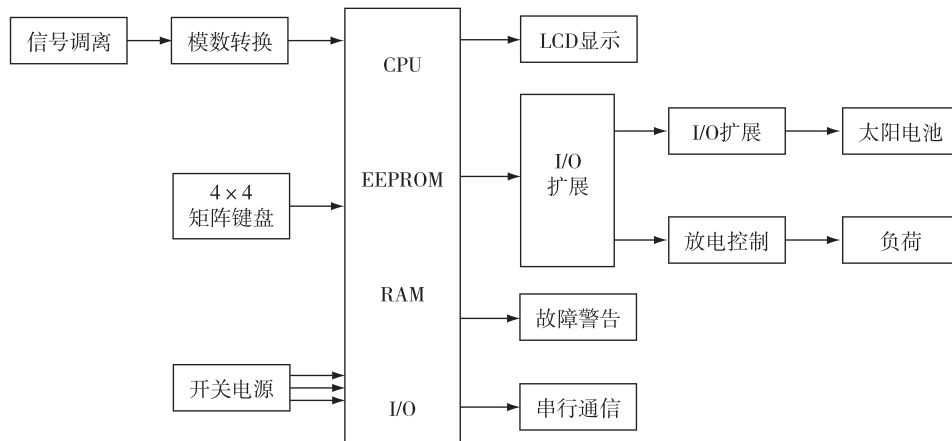


图6 智能型控制器的电路结构
Fig.6 Circuit of intelligent controller

8 交直流逆变器的防雷检测

交直流逆变器是光伏发电系统不可缺少的重要设备,其功能就是将光伏电池产生的直流电转换成交流电,这就要求逆变器要有较高的逆变效率和可靠性,要求具备过电压和过电流等各种保护功能,要求直流输入电压有较宽的适应范围,输出的交流电要有较小的失真度.交直流逆变器工作原理如图7所示.

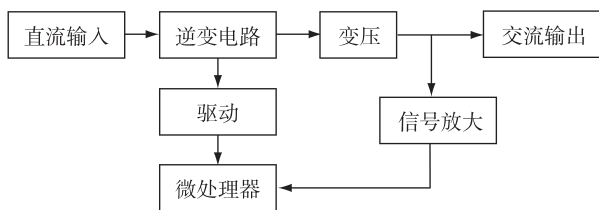


图7 逆变器工作原理
Fig.7 Working principle of inverter

首先用小型接地电阻测试仪直线法或夹角法测试直流输入端的电涌保护器(SPD)接地电阻,要求小于 $4\ \Omega^{[3]}$,接地线的长度和材料规格符合规范要求;其次测试机柜保护接地电阻要小于 $4\ \Omega^{[3]}$;三是

防雷检测时主要检测连接线缆的防雷电感应措施.一是用小型接地电阻测试仪直线法或夹角法测试智能控制器机柜的接地电阻,要求小于 $4\ \Omega^{[3]}$;二是检查电源供电线路是否安装了符合技术标准要求的电涌保护器(SPD),接地线的材料规格、长度等是否符合技术标准要求;三是微欧表检测金属构架、机柜、电缆屏蔽层等是否采取了接地和等电位连接措施,要求电气导通,接触电阻小于 $0.03\ \Omega$.

微欧表测试逆变器机柜等金属构架的等电位连接,要求电气导通,接触电阻小于 $0.03\ \Omega$.

9 交流输配电设备的防雷检测

交流输配电设备是用来接受和分配交流电能的电力设备,相当于一个升压站(开关站).主要包括控制电器(断路器、隔离开关、负荷开关)、保护电器(熔断器、继电器、避雷器)、测量电器(互感器、电表)、母线、载流导体等.它需要具备以下几个保护功能:输出过载短路保护、欠电压保护、蓄电池欠电压保护、输入互锁保护,并要有良好的接地保护和散热条件.

9.1 场区地表电位梯度的测试方法

在接地装置注入异频电流的前提下,将被试场区合理划分为表述场区电位分布用的若干条纵横曲线,划分间距不大于30 m.在曲线路径中部选择一条与主地网连接良好的接地引下线为参考点,用导线将该参考点连接到可调频率万用表的电压端子,然后将电位极置于曲线的起点,电位极用模拟人体金属铁脚,并用导线将电位极连接至可调频率万用表的另外一个电压端子,按图8原理测试每个点和参

考点之间的电压,测试点间距 1~2 m,并绘制 X-V 曲线图,曲线平缓且两端略有抬升,即说明接地装置性能良好^[9].接地阻抗、跨步电压、接触电压的测试原理和方法与光伏方阵区类同。

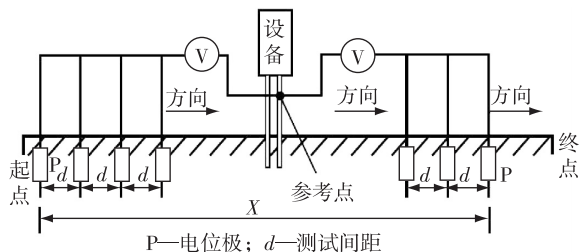


图 8 交流输配电设备场区地表电位梯度测试原理

Fig. 8 Test principle of the grounding electricity gradient in equipment field for power transmission and distribution

9.2 交流输配电设备场区独立避雷针的检测

一是用小型地阻仪直线或夹角法检测电站避雷针的接地电阻,要符合设计要求,二是测量避雷针的高度并计算保护范围,要求站区所有设备全部处在避雷针的保护范围之内,接闪器规格材料要符合规范要求且避雷针接地阻抗。

9.3 交流输配电设备之间的电气完整性测试

用较大电流导通测试仪测量各设备之间、设备和门架之间的电气导通情况,用导通测试仪的 2 个输出端直接连接被测试的 2 个设备即可,状况良好的设备其导通电阻不应大于 50 mΩ,50~200 mΩ 之间的设备状况尚可,200 mΩ~1 Ω 之间的设备状况不佳,1 Ω 以上的设备与主地网断开^[7]。

10 结论

1) 做好光伏电站的防雷检测首先要掌握光伏电站的系统构成和各单元的工作原理,正确划分光伏电站的防雷类别。

2) 梳理检测项目和内容,分别确定太阳能方阵区和交流输配电区检测的接地特性参数。

3) 为了防止工频干扰,利用异频小电流和电压降法配合测试接地特性参数,电气完整性测试使用电流较大的导通测试设备。

4) 为了准确测量 2 个测试极到地网的直线距离,使用 GPS 定位最为准确。

5) 给出了各测试参数达到的允许值和结果判断标准,并和设计要求值进行比较,得出测试结果。

6) 只有全面正确地检测有关接地特性参数,才能准确判断电站防雷装置和接地性能。

参考文献

References

- [1] 严陆光,顾国彪,贺德馨,等.中国电器工程大典.第七卷:可再生能源发电工程[M].北京:中国电力出版社,2010
YAN Luguang, GU Guobiao, HE Dexin, et al. China electrical engineering collection, vol 7th: Renewable sources power generation engineering[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局.建筑物防雷设计规范 GB 50057—2010[S].北京:中国计划出版社,2011
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the P R C, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the P R C. Code for design protection of structures against lightning GB 50057—2010[S]. Beijing: China Planning Press, 2011
- [3] 叶平,郑键雄,刘艳玲.一种基于异频法的大型地网接地阻抗测量方法[J].智能建筑电气技术,2012,6(4): 55-58
YE Ping, ZHENG Jianxiong, LIU Yanling. Measurement for the large scale grids resistance based on non-power frequency method[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2012, 6(4): 55-58
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局.光伏发电站设计规范 GB 50797—2012[S].北京:中国计划出版社,2012
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the P R C, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the P R C. Code for design of photovoltaic power station GB 50797—2012[S]. Beijing: China Planning Press, 2012
- [5] 叶平,罗志勇,余文静.大型地网接地阻抗测试中注意事项探析[J].价值工程,2012(32): 97-99
YE Ping, LUO Zhiyong, YU Wenjing. Points for attention in large counterpoise grounding impedance detection[J]. Value Engineering, 2012(32): 97-99
- [6] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.接地装置特性参数测量导则 DL/T 475—2006[S].北京:中国电力出版社,2006
National Development and Reform Commission. Guide for measurement of grounding connection parameters DL/T 475—2006 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006
- [7] 中华人民共和国电力工业部.交流电气装置的接地 DL/T 621—1997[S].北京:中国电力出版社,1998
Electric Power Industry Ministry of the P R C. Grounding for AC electrical installations DL/T 621—1997[S]. Beijing: China Electric Power Press, 1998
- [8] 张荣,张广庶,王彦辉,等.青藏高原东北部地区闪电特征初步分析[J].高原气象,2013,32(3): 673-681
ZHANG Rong, ZHANG Guangshu, WANG Yanhui, et al. Preliminary analyses on some characteristics of flashes in Northeastern Qinghai-Xizang Plateau[J]. Plateau Meteorology, 2013, 32(3): 673-681
- [9] 李谦.电力系统接地网特性参数测量与应用[M].北

京:中国电力出版社,2013

LI Qian. Measurement and application of grid connected

power system parameters [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013

Test method of lightning protection in solar photovoltaic system

YANG Chengshan¹ CAI Yongxiang¹ LIU Xiaoyan¹

¹ Lightning Protection Center of Qinghai Province, Xining 810001

Abstract Based on the knowledge of hardware structure and working principle of solar photovoltaic plant, as well as the technical parameters and the grounding performance of lightning protection equipment, this paper categorize the lightning protection grades of solar photovoltaic plant in accordance with related lightning protection standards. A method to test the lightning protection in photovoltaic system is proposed with measuring equipment of relatively large output current, and different frequency & small current test combined with help of GPS. The photovoltaic cell matrix section and power transmission & distribution equipment are chosen to be the key areas to test the lightning protection. Expected values are listed for every technical parameter and compared with measured result. This test method is low in disturbance, safe in operation, accurate in GPS locating, thus is reasonable and practical to test and judge the performance of lightning protection and grounding equipment in photovoltaic system.

Key words solar photovoltaic; lightning protection; inspection methods