

The Study of Distributed Photovoltaic Power Generation System: Design, Application and Its Power Efficiency

Jian Huang¹, Shuiyuan Chen^{1,2*}, Guilin Chen^{1,2}, Yuli Xie¹, Zhigao Huang^{1,2}

¹College of Physics and Energy, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

²Fujian Provincial Engineering Technical Research Centre of Solar-Energy Conversion and Stored Energy, Fuzhou Fujian

Email: syichen@fjnu.edu.cn

Received: Feb. 3rd, 2019; accepted: Feb. 19th, 2019; published: Feb. 26th, 2019

Abstract

In this paper, we provide the design and application of distributed photovoltaic (Dis-PV) system. Then, based on the completed Dis-PV system and combining the annual solar radiation amount, meteorological conditions and actual generation capacity PV power, we investigated the condition of solar radiation and climate environment, as well as Dis-PV power generation situation and its influencing factors in Fuzhou, where the Dis-PV system was constructed. Our statistics and research results can provide important base data reference and technical support for carrying out feasibility demonstration of Dis-PV power station construction in Fuzhou city and its surrounding area or southeastern coastal areas of China, and as well promoting the efficient utilization of solar energy in these regions.

Keywords

Distributed Photovoltaic Generation, System Design, Electricity Generation Performance, PV Electricity Power Statistics

分布式光伏发电系统设计、运行及发电效能研究

黄 剑¹, 陈水源^{1,2*}, 陈桂林^{1,2}, 谢于立¹, 黄志高^{1,2}

¹福建师范大学物理与能源学院, 福建 福州

²福建省太阳能转换与储能工程研究中心, 福建 福州

*通讯作者。

文章引用: 黄剑, 陈水源, 陈桂林, 谢于立, 黄志高. 分布式光伏发电系统设计、运行及发电效能研究[J]. 电力与能源进展, 2019, 7(1): 11-21. DOI: [10.12677/aepe.2019.71002](https://doi.org/10.12677/aepe.2019.71002)

Email: sychen@fjnu.edu.cn

收稿日期: 2019年2月3日; 录用日期: 2019年2月19日; 发布日期: 2019年2月26日

摘要

本文分析了分布式光伏电站系统设计及应用; 并基于已建设完成的分布式光伏电站, 结合电站所在地福州地区全年太阳辐射量、气象条件和实际光伏发电量, 研究了福州地区太阳能辐射与气候环境情况、分布式光伏电站发电情况及影响因素等问题。统计及研究结果将为福州市及周边地区或东南沿海地区开展分布式光伏电站建设可行性论证、促进该地区太阳能有效利用等提供重要的基础数据参考和技术支持。

关键词

分布式光伏发电, 系统设计, 发电性能, 光伏电力统计

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

能源是推动人类社会发展的主要动力, 随着世界向工业化、现代化不断迈进, 国际社会在能源安全、环境污染、全球气候变暖等方面面临着巨大的压力与挑战[1]。可再生能源的发展作为全球能源转型的前进方向, 为世界能源开发利用注入了新的动力。太阳能作为一种独特且分布广泛的可再生能源, 具有很好的利用价值[2]。其中, 光伏发电是太阳能利用的主要形式。近年来, 随着光伏发电核心技术不断取得新进展, 光伏发电综合性能显著提升, 光伏系统建设成本得到了大幅下降, 光伏发电装机容量不断扩大, 光伏发电相对于其它形式发电越来越具有竞争力[3]。继早期大型光伏电站发展之后, 装机容量低于 6 MWb 的分布式光伏电站作为光伏电站建设的主要形式被广泛应用在建筑、农业大棚、山地、渔场等区域中。改变了传统光伏电站“规模大、占地多”的发电方式[4], 因此可以充分有效利用场地; 此外, 分布式光伏电站可接入低压配电网络, 靠近用户侧, 无需远距离输电, 实现电力就近消纳, 既降低输电线路损耗, 又与电网形成互补, 具有很强的系统灵活性, 是太阳能转化利用的一种重要方式[5]。在沿海地区, 人多地少的特点决定了大规模占地建设大型光伏电站是不可行的, 因此, 分布式光伏电站即成为主要的建设形式。

从太阳辐射量角度, 中国大部分东南沿海地区属于 III 类区域, 可利用的太阳能资源相对于西北部和东北地区较少。因此, 太阳能光伏发电在东南沿海的应用较少。但是, 随着光伏发电技术的进步及光伏产业的发展, 其所带来的光伏电站建设成本降低及其优异的经济社会环境效益, 使得在这些地区建设光伏电站也具有很好的前景。随着国家施行“一带一路”发展战略, 以及两岸关系持续深入发展, 与台湾仅一水之隔的福建省省会福州市在区域经济、对台经贸合作等方面不断突显其重要性和特殊性; 此外, 福州在经济发展的同时, 重视集约型、环保型城市建设, 因此, 发展清洁电力对于福州经济社会的可持续发展有着重要的意义。

在某个地方开展分布式光伏发电及其可行性论证, 应对该地区的气候条件、太阳能资源、电站建设

模式、基础参数等有系统的掌握。鉴于福州市乃至整个福建省少有分布式太阳能光伏电站建设,较为缺少光伏电站建设基础数据、光伏电站运行数据及效能分析。本文从区域分布式光伏发电建设角度,针对福州地区实际,对该地区分布式光伏电站的设计、运行及电站性能、效能等开展了系统研究。其结果为今后在福州市或是东南沿海地区开展分布式光伏电站建设提供重要的模式及基础数据参考。

2. 福州地理气候及太阳能资源概况

福州区域范围在东经 118°08'~120°31'与北纬 25°15'~26°39'之间,市区总面积为 1786 平方公里;福州的地形属于河口盆地,四面环山,其中东、西、北面以山为主,海拔在 600~1000 m 之间,南面及东南面为丘陵,整体为簸箕状地形;福州处于中低纬度地区,受西太平洋季风影响,属于典型的亚热带季风气候[6]。根据气象统计及文献研究[7][8][9],福州市年太阳总辐射量约为 4350 MJ/m² (1 kW·h = 3.6 MJ),其中年太阳直接辐射量约为 2150 MJ/m²;年平均日照时数约为 1930 小时。其特点是年太阳总辐射量稳定、4~10 月辐射量较大,太阳能资源的利用价值高。从地形条件、区域经济建设及城乡规划角度分析,更适合采用小型分布式光伏发电的太阳能利用形式。

3. 分布式光伏系统方案及实施

分布式光伏发电,是指以太阳能光伏发电为电力来源,以 10 kV 及以下电压等级接入公共电网,且单个并网点总装机容量不超过 6 MWb,光伏系统位于用户附近,所产生的电力能就地利用而无需远距离输电。其特点主要是:1) 输出功率较小而不影响其发电效率;2) 污染小,环保效益高,在发电过程中对环境的影响极小;3) 分布式光伏发电直接接入配电网而非高压输电网,可以发电与用电并存。实现就地发电就地使用。基于光伏发电的特点及优势,可在农村、牧区、山区,发展中的大、中、小城市或商业区附近建造,解决或缓解当地用户用电需求并降低环保成本。

3.1. 分布式光伏发电系统设计

分布式光伏电站的选址主要是在已有建筑、农业大棚、企业厂房、渔场等。因此,电站设计主要考虑如何有效利用这些场所并产生最大的综合效益。为获得福州地区光伏发电的设计技术参数及发电效能,研究该地区分布式光伏电站建设的可行性和可能产生的效益,我们在福建师范大学旗山校区的教学楼屋顶设计并建设了两座分布式光伏系统,一座为直接并网型(50.4 kWb),另一座为并网微电网型(28 kWb),总装机容量为 78.4 kWb。本项目选址福建师范大学旗山校区,位于福州市闽侯县,校园建筑屋面多为朝南方向,屋面类型主要以平面屋顶和斜屋顶为主,其中斜屋顶占多数,屋面倾斜角度在 20°~30°之间,与福州所在纬度接近,屋面整体朝南,因此校园可利用的建筑屋顶面积大,具有很好的太阳能资源利用优势,适宜将分布式光伏系统与建筑结合构成光伏建筑一体化[10]。校园分布式光伏电力系统示意图如图 1 所示。光伏组件按设计方案串并联后经汇流箱接入光伏逆变器,经用户配电箱分别与校园用电设备和外电网计量电表联接,通过双向计量电表即可确定发电用电情况。

分布式光伏电力系统的电气系统拓扑结构如图 2 所示。

两座光伏电站基础技术参数如表 1 所示。由于建筑屋面倾角与设计安装高度角接近,为了降低建设成本及安装光伏阵列时减小对屋面的破坏,我们直接按屋面倾斜角度安装光伏阵列。对于不同光伏项目,是否采用此方案需按屋面具体情况加以区别考虑。

3.2. 并网接入方案设计

分布式光伏系统的并网点由所在电网的电压等级、光伏的装机容量、线路接纳能力、区域配电网情况和上级变压器等进行综合考虑后确定[11]。并网接入方案如图 3 所示。系统采用自发自用余电上网的运

营模式，并以三相并网的方式接入用户电网；分布式光伏系统有两个并网点，28 kWb 分布式光伏发电微电网系统(PV1)从并网点 1 接入到用户电网，50.4 kWb 分布式光伏系统(PV2)从并网点 2 接入用户电网，在产权分界点对光伏电能上网电量以及电网向负载供电电量进行计量。



Figure 1. Schematic diagram of campus Dis-PV power system

图 1. 校园分布式光伏电力系统示意图

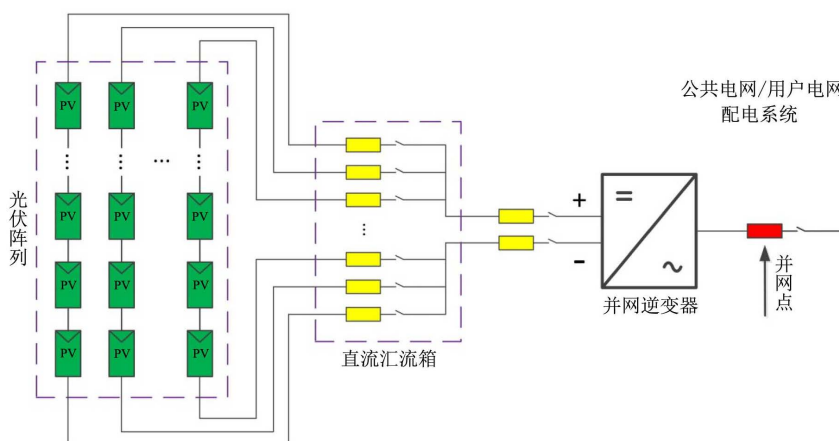


Figure 2. Electrical structure of Dis-PV system

图 2. 分布式光伏系统电气结构

Table 1. Technical parameters of distributed photovoltaic system

表 1. 分布式光伏系统技术参数

装机容量(kW)	28	50.4
组件类型	单晶硅	单晶硅
组件效率(%)	17.4	17.4
组件功率(W)	200	200
组件串联数	10	21
安装方位角	175°	185°
安装高度角	35°	25°
组件并联数	14	12
直流汇流箱路数	16	16
并网逆变器容量(KW)	30	50

3.3. 光伏电站数据采集系统

数据采集系统由间隔层、站控层两部分组成，间隔层是面向单元设备的控制层，包含采集单元、控制单元、保护单元、计量单元、网络和通信接口等部分；站控层由操作员工作站、功能工作站、远动接

口设备、数据存储中心等部分组成,是面向管理的中心控制层[12][13]。分布式光伏电站的数据采集通信框架如图4所示,本系统的间隔层由环境监测仪、逆变器、电表、数据采集器和无线路由器等组成,站控层由网络链路、云平台、计算机及手机监控软件等组成。数据采集系统首先通过数据采集器对环境检测仪、逆变器、电表进行数据采集,然后将采集的数据通过无线路由器发送到云平台,云平台接收到上传数据以后,对数据进行计算处理分析,通过计算机和手机实时监测分布式光伏系统的运行情况。

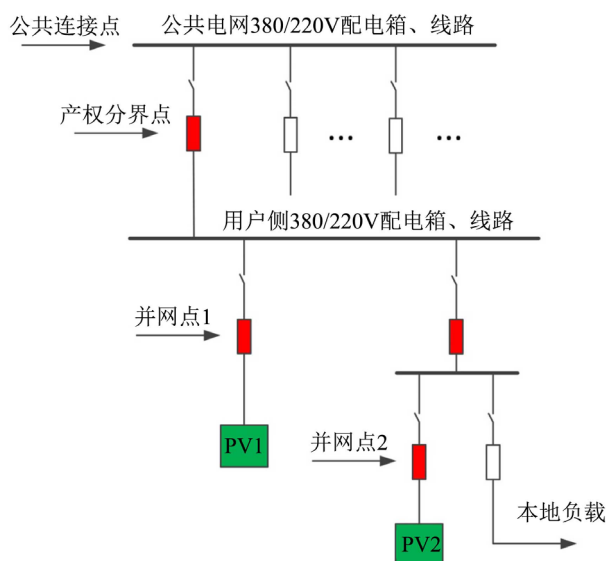


Figure 3. Grid-connected access scheme of Dis-PV system

图3. 分布式光伏系统并网接入方案

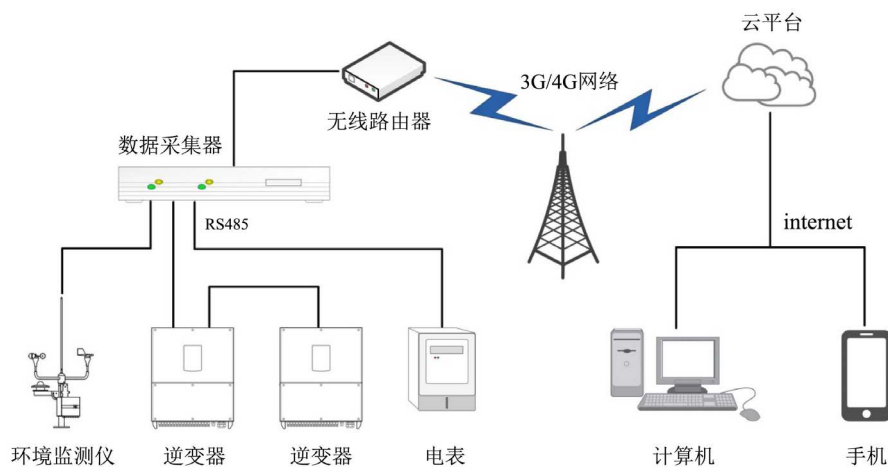


Figure 4. Data acquisition and communication architecture of Dis-PV system

图4. 分布式光伏系统数据采集通信架构

4. 分布式光伏电站运行数据分析与讨论

我们采集了上述装机容量分别为 28 kWb 和 50.4 kWb 两座分布式光伏系统的近两年来的系统运行数据。针对不同天气、不同季节及全年光伏电站运行特点及效能进行分析。由于两座光伏电站的建设模式不同(直接并网型和并网微电网型),其系统运行情况不同,统计结果会有很大差别并不具可比性,因此,本文接下来只针对直接并网型(具体为 50.4 kWb 分布式光伏系统)进行统计分析和研究,并网微电网型电

站将另文研究。

4.1. 不同天气类型光伏发电分析

为研究不同天气下光伏发电性能的情况与差异,我们将天气分为晴天、多云、阴天和雨天四种典型的天气类型。选取2018年5月份日期相近的这四种天气条件下50.4 kWb分布式光伏系统运行数据作为数据样本进行分析。数据测量采集结果如图所示。从图5(a)、图5(b)中可以看到,晴天时光伏系统的发电功率及太阳辐射最好,功率和辐照度变化具有明显的对称性,正午时太阳辐射最大,对应时段的光伏发电功率也达到最大值。多云、阴天和雨天则呈现波动性,而且存在突变现象[14][15][16]。我们知道,在白天,云层的遮挡是影响地面太阳辐射强度的直接原因,云能够吸收和散射太阳辐射,同时也能够吸收来自地表和对流层下层的红外热辐射[17]。观察雨天的太阳辐射变化可以发现,降雨云层对太阳辐射的遮挡及吸收十分强烈,极大地影响光伏发电量。从图5(c)、图5(d)中晴天时发电量和辐射量呈S型增长,正午12点为增长拐点,曲线在9~14时近似为线性增长;多云天气条件下光伏发电功率由于太阳辐射受云层遮挡而波动性大,但发电量增长趋势与晴天类似,并且发电能力还是相当可观;阴天、雨天天气光伏日累计发电量和日累计辐射量增长缓慢,这与两种天气条件下的太阳辐射弱有直接关系,基本上没有太阳直射辐射,而只有散射光,因此光伏发电功率均较低。此外,从这两个图还可以看出,不论是哪一类型天气,总体上,一天内光伏发电量与地面某一地点接收的太阳辐射量变化情况一致。

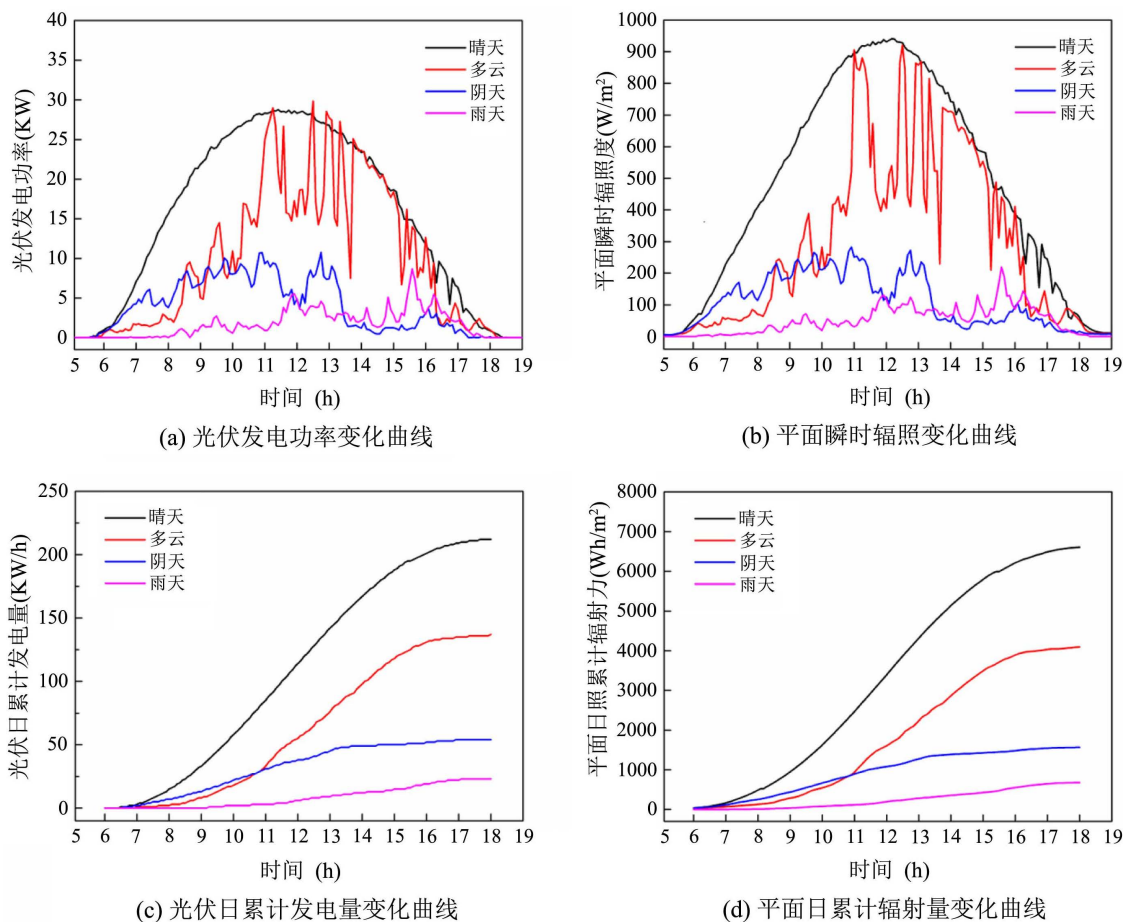


Figure 5. The station of Dis-PV power generation and solar radiation under the four typical weather conditions
图5. 四种典型天气条件下分布式光伏电站运行情况与太阳辐射情况

4.2. 晴天光伏发电系统电气特性

从图 5 可知,晴天时光伏阵列接收到的太阳辐射最为强烈,光伏发电系统处于最好的发电运行状态。为了进一步分析晴天条件下光伏电站运行情况,我们给出了晴天条件下光伏发电功率、太阳辐照强度、光伏阵列电压及电流相互间的变化关系,如图 6 所示。观察图 6(a)中光伏发电功率及平面瞬时辐照度变化发现,以 12 时为分界点上午的发电效率要略高于下午的发电效率,上午的累计发电量为 114 kWh,下午的累计发电量为 98 kWh,上午时段的光伏发电量比下午的高出 16%,从图 6(b)光伏阵列最大功率点的变化趋势也反映了这一点,上午时段整体对应的平均最大功率略高于下午时段对应的最大功率。这个可以从光伏组件在一天内的温度变化来理解,正常情况下,光伏组件温度从早晨开始逐渐上升,直到下午 14~15 时达到最高温度(后面我们将给出实验结果)。对于硅单晶光伏组件,温度太高将使光电转换效率下降[18],从而导致下午时段发电性能降低。此外,太阳能电池在受到温度、太阳辐照度变化时,其发电功率具有典型的非线性特征,并且处于工作状态时存在唯一的最大功率点,因此光伏并网逆变器一般都带有最大功率点追踪(MPPT)功能[19]。如图 6(b)所示,在 7~12 时,光伏阵列直流电压随光伏发电功率上升而略有下降,而 12~17 时呈现相反趋势。这一结果也体现出最大功率跟踪对于提高光伏系统整体发电效率具有重要的作用。

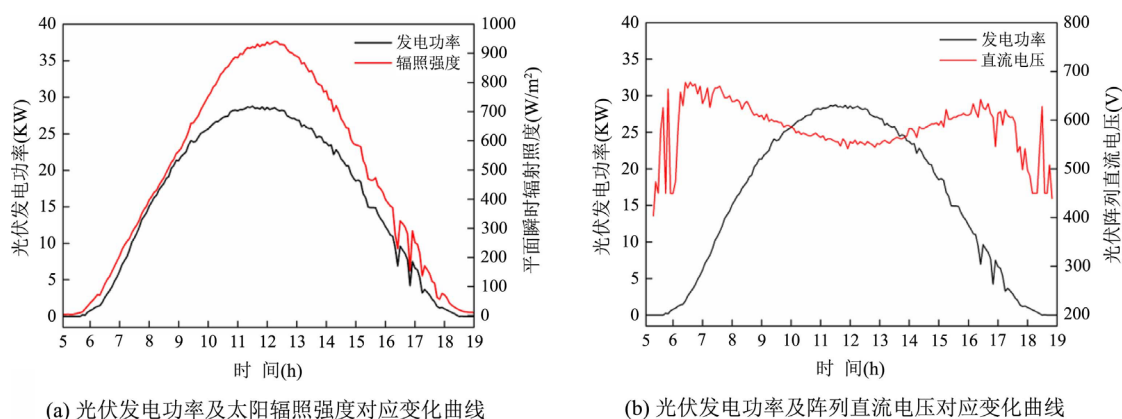


Figure 6. The change of PV power generation performance under sunshine condition

图 6. 晴天条件下光伏发电性能变化情况

除了太阳辐射强度影响光伏发电量之外,温度对光伏组件的转换效率也有重要影响,进而影响光伏发电量。相关研究表明,温度升高将降低太阳能电池的填充因子和最大功率,其实质就是降低太阳能电池的光电转化效率[18]。图 7 给出了测试地点(福州)光伏电站运行期间四个特征日期的环境温度及对应组件温度的变化情况。从图 7(a)可以看到,夏至时的气温最高,环境温度在 30℃~40℃间变化,春分和冬至的温度低,一般在 0℃~20℃间变化;从图 7(b)可以发现,光伏组件温度变化区间较大,特别是夏至的组件最高温度达到 60℃左右,春分、秋分、冬至的组件最高温度在 30℃~40℃,且最大值出现在下午 14~15 时之间。福州地区的环境温度变化特点使光伏发电性能出现了差异性,这也正是为何夏至太阳辐射强度大、日照时间长,但总体发电量并没有比其它三个特征日期的发电量大太多的原因,因此温度对光伏组件的发电性能影响是不容忽视的。

5. 全年光伏发电分析

5.1. 全年光伏发电及日照辐射统计

从工程及光伏电站建设经济可行性的角度,我们需要获得某个地区年平均光伏发电量,进而可以有

效估算光伏电站整个生命周期内的总发电量及产生的经济、社会效益。因此,为了研究福州地区全年光伏发电量的情况和特点,我们统计了2017年10月至2018年9月期间光伏电站所在地区平面日照总辐射量、日照时数、日照百分率和天气类型分布天数等天气数据,以及50.4 kWb分布式光伏电站年光伏发电量等数据,并按春夏秋冬四个季节进行分析研究。

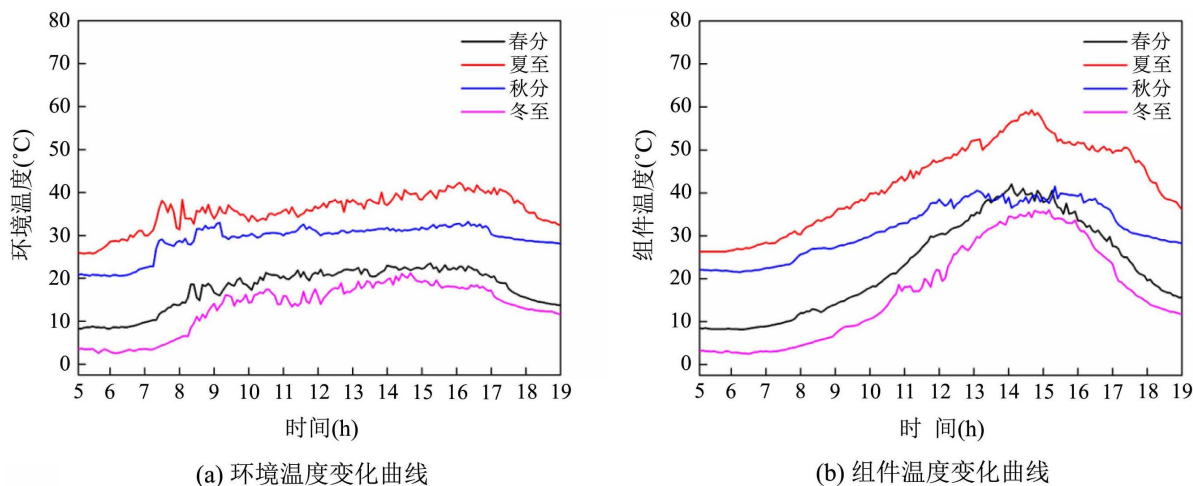


Figure 7. The temperature change of environment and PV arrays for the four typical dates under sunshine condition
图 7. 晴天条件下四个特征日期环境和光伏组件温度变化情况

根据数据统计结果,福建师范大学旗山校区(福州地区)全年平面总太阳辐射量为 1250.1 kWh/m^2 ,全年日照时数为 1556 小时,全年日照百分率为 35.2%。分布式光伏电站全年总发电量为 44034 kWh。图 8 给出了全年按月统计的分布式光伏电站发电量及日照辐射变化情况。从图中可以看到,1、2、11、12 四个月的太阳辐射量较小,均在 $60\sim 70 \text{ kWh/m}^2$ 之间;3~10 月份太阳辐射量均在 100 kWh/m^2 以上($100\sim 150 \text{ kWh/m}^2$ 之间),其中 7 月份的辐射量最大,达到了 145.7 kWh/m^2 。此外,4 月、6 月的太阳辐射量分别比各自的前一个月有所下降,这是由于 4 至 6 月是福州地区春雨和梅雨期,降雨造成了太阳辐射量的差异。福州地区 7、8 月份的太阳辐射量很大,但是因为福州地处东南沿海,夏季又是台风多发季节,受台风登陆及降雨影响,造成太阳辐射量减少,表 2 中春夏两季阴天及雨天天数明显反应了这一特点。

Table 2. The days of weather type in the four seasons of 2017-2018
表 2. 2017~2018 四季天气类型分布天数情况

	晴天	多云	阴天	雨天
春季	5	35	23	29
夏季	8	32	6	46
秋季	15	32	17	27
冬季	12	38	18	22
合计	40	137	64	124

图 8 同时给出了分布式光伏电站全年按月统计的发电量情况。从图中可以看出,全年头尾四个月的月发电量均在 2500 kWh 附近,而 3~10 月份的月发电量均达到了 3600 kWh 以上。其中 11 月为发电量最少(153 kWh),7 月为发电量最多(4689 kWh)。可以看到,光伏发电量与平面太阳总辐射量的变化趋势基本一致。

随着全球气候环境恶化,异常天气出现频率增加,福州地区各年份及各月间的太阳辐射量有所差异,但每一年内按月变化趋势大体相似。林敏、刘海山等对福州地区太阳辐射变化的研究结果也充分反映了这一变化特点[8][9]。

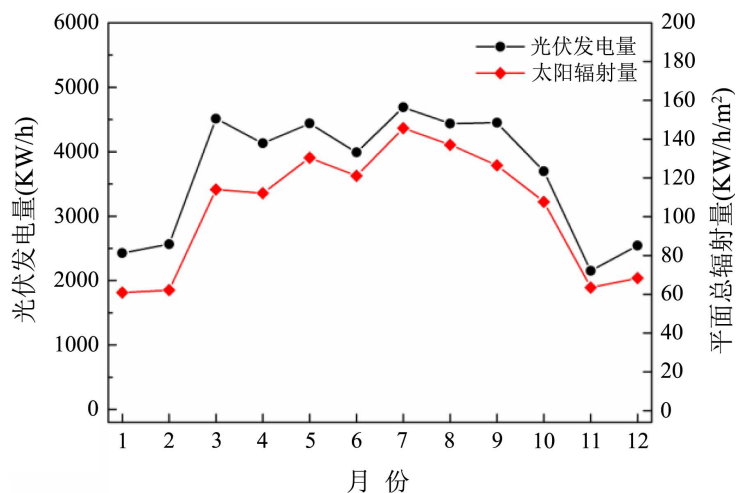


Figure 8. The annual curve of photovoltaic power generation and solar radiation
图 8. 全年光伏发电及平面总辐射量变化情况

为了分析全年不同气候条件下的光伏发电情况,我们统计了四个季节各自的环境参数及光伏发电情况,结果如表 3 所示。可以看到,福州地区春季和夏季的光伏发电量接近,虽然夏季太阳平面总辐射量比春季的大了约 50 kWh/m^2 ,但由于夏季的平均温度高于春季,导致光伏组件转换效率下降,使得夏季光伏发电量并没有比春季的高多少。此外,我们发现福州地区冬季的光伏发电量很低,拉低了全年的总发电量和平均日发电量。表中还给出了福州地区不同季节的日照时数、日照百分率等参数,对于分析光伏电站发电量及不同季节发电量分布情况有很好的参考。对于光伏电站建设的可行性分析来看,其中的一个重要且直观的参数是 1 kWb 光伏组件日平均光伏发电量,从表 3 可以看到,福州地区春、夏两个季度这个参数值可达到 2.85 kWh ,由于冬季这个参数值仅 1.66 kWh 为全年平均值约为 2.41 kWh 。

Table 3. Photovoltaic power generation and solar radiation parameters of four seasons

表 3. 四季光伏发电及日照辐射情况

季节	春季	夏季	秋季	冬季
光伏发电量(kWh)	13,083	13,116	10,299	7536
1 kWb 组件日平均光伏发电量(kWh)	2.85	2.86	2.25	1.66
平面总辐射量(kWh/m²)	356.7	403.9	297.8	191.5
日照时数(h)	425.2	466.4	408.4	256.7
日照百分率(%)	36.3	37.8	39.1	26.4

5.2. 光伏日发电量与日辐射量拟合分析

为了研究光伏日发电量与日辐射量的相关关系,将 2017 年 10 月至 2018 年 9 月全年日发电量与日辐射量进行统计及拟合,如图 9 所示,从总体上,光伏发电量与辐射量呈现明显的线性关系,拟合结果显示,斜率值为 0.03357 ,最大平面日辐射量在 7074 Wh/m^2 ,最大日发电量为 240 kWh 。

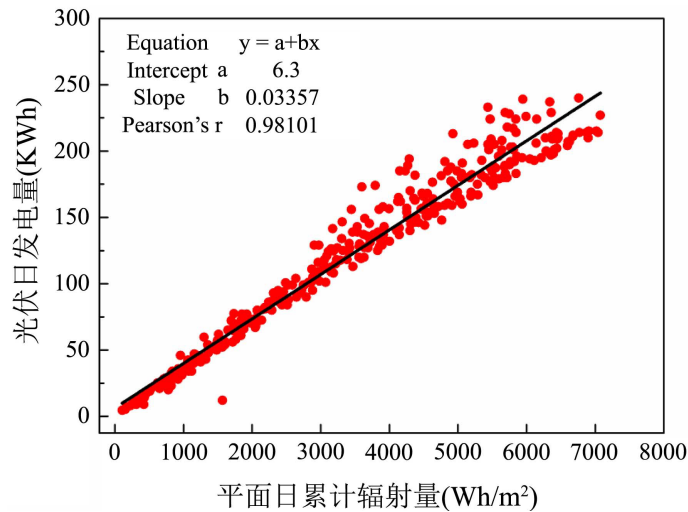


Figure 9. The relationship between annual cumulative daily radiation and daily capacity of PV power generation and its linear fitting result

图 9. 全年日累计辐射量与光伏日发电量的关系及拟合结果

6. 结论

本文从区域分布式光伏发电建设角度,针对福州地区实际,对该地区分布式光伏电站的设计、运行及电站性能、效能等开展了系统研究。论文设计了分布式光伏电站的建设及运行、管理方案,并将其应用于福建师范大学校园内总装机容量为 78.4 kWb 的两座分布式光伏电站的建设中;基于其中一座 50.4 kWb 直接并网型光伏电站的运行统计数据及福州太阳辐射、环境统计数据,研究了福州地区不同类型天气、不同季节以及全年综合光伏发电实际情况及其影响因素。从近两年的福州地区天气、太阳辐射统计数据及两座光伏电站运行统计数据可以得到,福州地区年平均太阳平面总辐射量约为 312 kWh/m²,使用发电效率为 17.4% 的单晶硅光伏组件的固定倾角式光伏电站,1 kWb 光伏组件日平均发电量约为 2.41 kWh。本文的研究及统计结果为今后在福州市或是东南沿海地区开展分布式光伏电站建设提供重要的模式及基础数据参考,促进该地区太阳能有效利用和经济社会可持续发展。

基金项目

本论文得到国家自然科学基金(11004031)、福建省自然科学基金(2016J01007)、福建省教育厅重点项目(JA15100)以及福建师范大学大学生创新创业训练计划项目(cxxt-2018117)的资助。

参考文献

- [1] 陈炜,艾欣,吴涛,刘辉. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 26-32.
- [2] 赵争鸣,雷一,贺凡波,鲁宗相,田琦. 大容量并网光伏电站技术综述[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 101-107.
- [3] 胡波,野中佑斗,横山隆一. 大规模光伏系统并网对配电网的影响[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(3): 34-38.
- [4] 沈鑫,曹敏. 分布式电源并网对于配电网的影响研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(S1): 346-351.
- [5] 王文静,王斯成. 我国分布式光伏发电的现状与展望[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(2): 165-172.
- [6] 张文开. 福州城市地貌与城市气候关系分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1998(4): 99-105.
- [7] 范亚明. 福建地区太阳能资源特征及光热利用分析[J]. 海峡科学, 2010, 46(10): 91-93.
- [8] 林敏. 福建太阳能资源分析[J]. 电力勘测设计, 2011(1): 77-80.

- [9] 刘海山, 林仲平, 林碧珍. 福州市太阳能资源分析[J]. 福建气象, 2007(5): 29-31.
- [10] Gui, N., Qiu, Z., Gui, W. and Deconinck, G. (2017) An Integrated Design Platform for BIPV System Considering Building Information. 2017 *IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Beijing, 1-6.
- [11] 苏剑, 周莉梅, 李蕊. 分布式光伏发电并网的成本/效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(34): 50-56.
- [12] GB/T 34932-2017. 分布式光伏发电系统远程监控技术规范[S]. 中国电力企业联合会, 2017.
- [13] GB/T 31366-2015. 光伏电站监控系统技术要求[S]. 中国电力企业联合会, 2015.
- [14] Hitzfelder, S., Plass, G. and Kattawar, G. (1976) Radiation in the Earth's Atmosphere: Its Radiance, Polarization, and Ellipticity. *Applied Optics*, **15**, 2489-2500. <https://doi.org/10.1364/AO.15.002489>
- [15] Mecherikunnel, A., Gatlin, J. and Richmond, J. (1983) Data on Total and Spectral Solar Irradiance. *Applied Optics*, **22**, 1354-1359. <https://doi.org/10.1364/AO.22.001354>
- [16] 郑玉萍, 高路, 张江燕, 朱芸. 福州市极端气候变化趋势研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2017, 33(2): 96-104.
- [17] 汪宏七, 赵高祥. 云和辐射-(I)云气候学和云的辐射作用[J]. 大气科学, 1994(S1): 910-921, 923-932.
- [18] Skoplaki, E. and Palyvos, J.A. (2009) On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations. *Solar Energy*, **83**, 614-624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- [19] ESRAM, T. and Chapman, P.L. (2007) Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **22**, 439-449. <https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874230>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2328-0514, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: aepe@hanspub.org