[控制系统]

小容量光伏低压并网系统的实现和应用

文/舟山启明电力设计院有限公司　陆丽君　徐　英
舟山海洋输电技术研究中心　胡　凯

以舟山地区某办公楼楼顶的小容量光伏并网系统为例，介绍了自发自用、余量上网型光伏低压并网系统的设计、并网等技术，包括分布式光伏并网系统的结构、系统实现及监控等，并对光伏电站年发电量进行了理论计算，最后结合国家相关光伏补贴政策，分析了光伏并网电站项目的经济效应。

能源问题是全球关注的热点问题，世界能源需求的日益增长与石化类非再生能源逐渐枯竭的矛盾，促生了人类对于可再生清洁能源的研究和应用。其中，光伏以其取之不尽、用之不竭、就地可取、广泛分布及清洁无污染的特点，越来越受到人们的重视。大力发展光伏发电等可再生能源是国家重大战略决策，也是我国经济社会可持续发展的客观要求，对于我国调整能源结构，保障能源安全，促进节能减排，保护生态环境，实现经济社会可持续发展，具有非常重要的意义。

为全面推广光伏新能源的发展和应用，国家电网公司于2012年发布了《国家电网公司关于印发分布式光伏发电并网相关意见和规定的通知》，为分布式光伏发电项目接入电网提供了便利的条件，为接入系统工程建设开辟了绿色通道。

本文以位于舟山地区某办公大楼屋顶，设计容量为30 kW的自发自用、余量上网型光伏电站为例，分析和研究了小容量光伏电站的设计、并网等技术。分布光伏并网结构图如图1所示。

小容量光伏电站的设计

1．地区光照资源

项目位置所在的舟山市太阳能资源充足，年日照时数为2100～2300 h，年日照天数为233～242 d，日平均气温为16.3℃，年太阳辐射量为468.3～492.7 kJ/cm^2，属于我国第四类太阳能资源区域，是国内太阳能资源可利用开发区域。

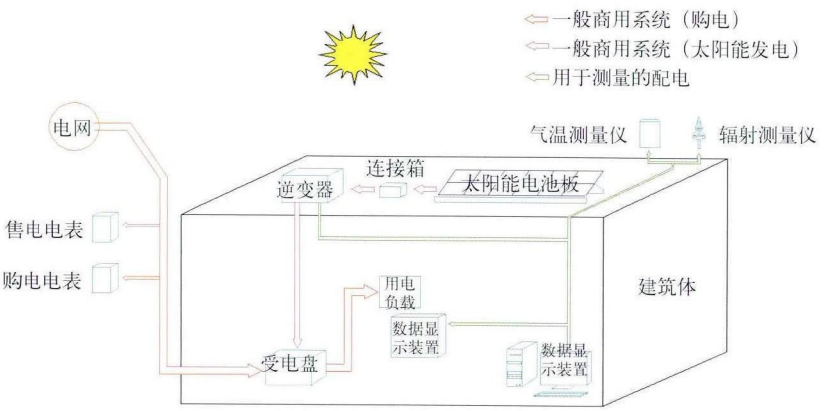

图1　分布式光伏并网系统结构图

2．分布式光伏电站的结构

太阳能光伏发电并网系统主要包括太阳能光伏组件、并网型逆变器和交流配电柜等，系统无蓄电池储能设备（将电网作为储能单元）。

分布式光伏电站的总规模为30 kW，通过太阳能电池板阵列将太阳能转换为直流电能，再经过并网型逆变器将直流电能转换为与电网同频率、同相位的正弦波电流，并入电网。本工程采用分散逆变、集中并网的布置方式，多个逆变器交流出线并联后接入交流配电箱，交流配电箱出线接入系统箱式变压器的380 V低压母线。

选用250 Wp多晶硅组件，以不影响建筑物整体协调美观为前提，选择安装于建筑物屋顶。设计上综合考虑光照角度、遮挡以及楼顶屋面现有设备情况，以最大化合理利用屋顶面积为原则铺设光伏组件矩阵。太阳电池方阵以屋面平铺（屋面具有倾角15°）方式固定安装。分布式光伏并网接入系统接线图如图2所示。

（1）光伏组件

本工程选用的250 Wp多晶硅组件，其最大输出功率为255 W，开路电压为37.5 V，最大电压为30.5 V，短路电流为8.76 A，最大电流为8.19 A。光伏组件集中安装在琉璃瓦屋面上，共使用光伏组件120块，每20块组件串联，整个电站共有6个组串。

（2）并网逆变器

太阳能光伏组件出口为直流电，光伏并网逆变器实现直流电向交流电的转换。结合光伏发电规模，本工程拟配置3台13 kW的组串型并网逆变器，每台逆变器接入2个光伏组件串。

光伏逆变器前级采用DC－DC半桥拓扑结构变换器将光伏组件出口电能转换为400 V的直流电，后级采用DC－AC全桥逆变器将400 V直流电转换成220 V，频率50 Hz的正弦交流电，并在控制上采用滞环比较策略，实现逆变器输出与电网电压同幅同频同相。

要求光伏并网逆变器具有如下功能。

1）光伏转换效率高。

2）通过冷却系统，进行智能化温度管理，以便在温度较高的环境下运行。

3）安装简便。

4）具有完善的保护功能，具有极性反接保护、短路保护、孤岛效应保护、过热保护、过载保护、接地保护等功能，运行可靠，能保证电站长时间可靠无故障运行。

5）监控系统数据传输简易，通信系统完善，本身应有故障自动恢复功能以及故障报警功能，同时每台逆变器应直接通过采集控制器对逆变器进行操作。

6）用户定制程度高，应可通过参数的设置，对逆变器进行自动调整运行状态，或控制功率输出。

（3）光伏监控系统

系统的并网逆变监控装置获取并网逆变器的运行数据和工作参数，并且可以和环境检测仪通信，实时获取现场的风速、风向、日照强度及温度等参量，并在本地的监控主机上显示。

光伏监控系统实时显示电站的当前发电总功率、日总发电量、累计总发电量、CO_2总减排量以及每天的发电功率曲线图，同时可以查看每台逆变器的运行参数（主要包括直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、逆变器机内温度、当前发电功率、电网电压、电网频率及电网相位等），以便于并网，可同电网同频、同相、同幅。

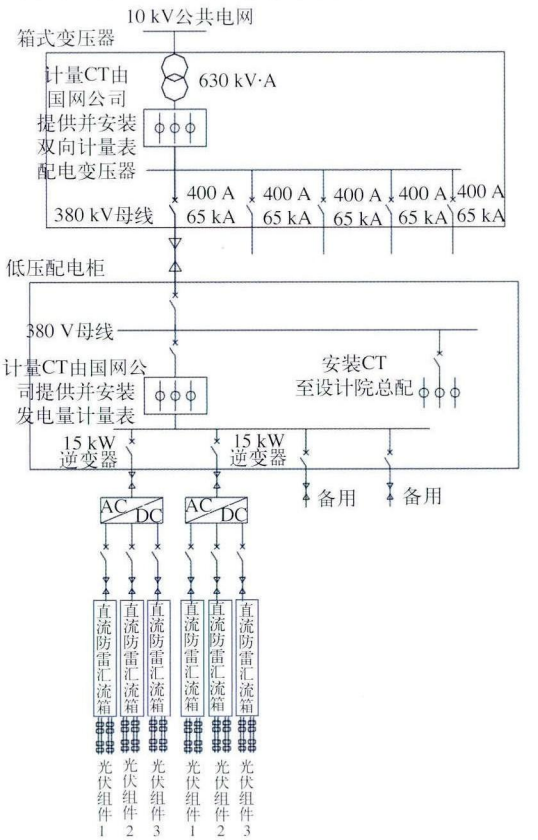

图2　分布式光伏并网接入系统接线图

3．光伏并网实现

逆变器及并网断路器选用塑壳式断路器，应具有安装简易、操作方便等特点，并具有明显开断指示和开断故障电流的能力，同时应具备电源

端与负荷端反接能力。

要求电源并网点应安装低压并网专用开关，专用开关应具备失压跳闸及检有压合闸功能，失压跳闸定值宜整定为20%U_n、10 s，检有压定值宜整定为大于85%U_n。

光伏电站送出线路电缆截面选择应遵循以下原则：

1）光伏电站送出线路电缆截面选择需根据所需送出的光伏容量、并网电压等级选取，并考虑光伏发电效率等因素。

2）光伏电站送出线路电缆截面一般按电缆允许载流量选择。

经济性分析

1．发电量计算

根据舟山气象站1995～2007年数据统计，其多年平均太阳总辐射量4500 MJ/m²·a左右，太阳总辐射量历年变化情况如图3所示。

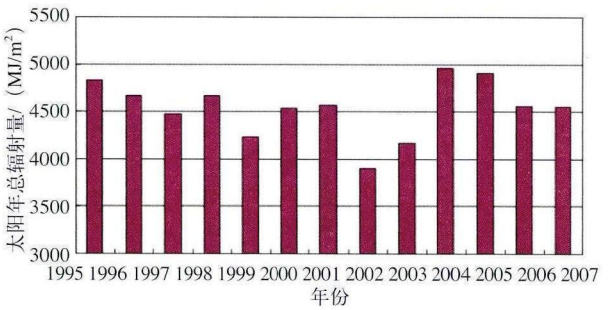

图3　舟山气象站太阳年总辐射量

从图3中可以看出：太阳年总辐射量基本在平均值4500 MJ/m²（上下波动。2001～2004年之间，太阳年总辐射量波动较大除有气候环境变化的因素以外；同时，也有气象站观测点周围障碍物变化的影响，如气象站的三次搬迁，观测点可能受障碍物的影响而被迫搬迁，导致搬迁前后太阳年总辐射量发生较明显的变化。

根据太阳辐射资源分析所确定的光伏电站多年平均年辐射总量，结合初步选择的太阳能电池的类型和布置方案，进行光伏电站年发电量估算。

根据光伏电场场址周围的地形图，经对光伏电场周围环境、地面遮光障碍物情况进行考察，建立的本工程太阳能光伏发电站上网电量的计算模型，并确定最终的上网电量。

光伏发电站年平均发电电量E_p为

$$E_p = H_A \times P_{az} \times \eta \ (\text{kW·h})$$

其中，P_{az}为光伏系统安装容量；η为水泥屋顶系统的综合效率系数；H_A为平均年太阳能辐射量。

1）光伏列阵效率η_1。光伏阵列在能量转换与传输过程中的损失包括以下方面。

①组件匹配损失。对于精心设计精心施工的系统约有4%的损失。

②太阳辐射损失。包括组件表面尘埃遮挡及不可利用的低弱太阳辐射损失，取值3%。

③偏离最大功率电损失。如温度的影响，最大功率点跟踪（Mppt）精度等取值3%。

④直流线路损失。取值2%。

则有$\eta_1 = 96\% \times 97\% \times 97\% \times 98\% = 88.5\%$

2）逆变器损失4%，逆变器的转换效率η_2=96%。

3）倾角损失大约5%，η_3=95%。

4）交流并网效率η_4，从逆变器输出至电网的传输效率η_4=99%。

$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_4 = 88.5\% \times 96\% \times 99\% = 84.1\%$

经计算，本工程年平均发电电量为40 368 kW·h。

2．经济性分析

（1）项目投资

本工程项目总投资金额约27.6万元。

本项目建成运行后，预计每年可发电40 368 kW·h。

（2）维护费用

每年的项目维护费用在总投资的3%，为8 280元/a。

（3）项目收益

项目建成并网运行后，按85%的自用率。项目每年可得收益如下。

1）收费内容如下。

①国家补贴。0.42元/kW·h。

②省财政补贴。0.1元/kW·h。

③上网电费。0.457元/kW·h。

④设计院应交电费：0.908元/kW·h。

2）每年收益预算如下。

①上网电费。40 368×0.15×0.457＝2767.2元

②政府补贴。40 368×0.52＝20991.4元

③应交电费。40 368×0.85×0.908＝31 156.0元

上述三项合计为54 914.6元/a。

3）项目的投资回报期。本项目可运行25年，运行效率预计每年减损1%。

则第一年项目收益为54 914.6元

第二年项目收益为54914.6－（54 914.6×0.01）＝54 365.5元。

第三年为54365.5－(54 365.5×0.01)＝53 821.8元

以此类推。

项目在不计监控系统投资、财务费用和维护

费用的前提下，6.5年可收回投资成本。

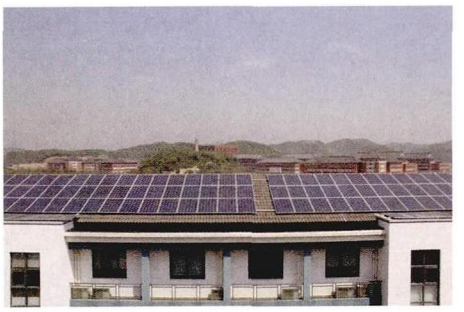

图4　小容量屋顶光伏电站安装图

图5　光伏功率日分布图

图6　光伏发电量年报表

小容量屋顶光伏电站安装图如图4所示，光伏功率日分布图如图5所示，光伏发电量年报表如图6所示，根据光伏实际运行结果显示，月平均发电量约为3 063 kW·h，估算年发电量为36 760 kW·h，与发电量理论计算值40 368 kW·h相近，光伏实际运行效果良好。

结束语

舟山地区具有特殊的自然、地理优势，具有丰富的太阳能资源，是国内太阳能资源可利用开发区域。结合舟山某屋顶小容量光伏并网系统，介绍了系统的结构、并网条件和并网所需要注意的若干问题。此外，还介绍了自发自用、余量上网型小容量光伏并网系统推行的技术可行性，为海岛地区新能源的开发利用提供了全新的途径。**EA**

（收稿日期：2015.07.31）
（编辑：杨得润）

（上接第92页）

从表1第1类和等4类故障中可以发现，改进GSA算法运用于配电网故障定位中，可以有效诊断单点故障和多点故障；且通过第2、3、5、6类故障可以发现，改进GSA算法能很好地进行容错处理，即便是FTU上传信息畸变或者丢失，也可以得到正确的诊断结果。

而在表2中，对比了GA算法、ACO算法和改进GSA算法运用于同一配网模型中，进行故障区段定位，从其平均迭代次数中可以发现，改进GSA算法明显迭代次数要少于GA、ACO算法，其快速性有明显优势。

为了验证算法的稳定性和准确率，又对同一故障定位100次，统计其定位准确率，从表2中可以发现，无论是在信息完备、丢失或者畸变情况下，本文采用算法都有明显的优势，定位准确率大大高于遗传算法和蚁群算法。

结束语

1）尝试对GSA算法做了改进，采用反向学习和精英选择原理，使得算法跳出全局寻优能力增强，因而不易陷入局部最优。

2）提出的算法在高维离散二进制寻优方面有良好的寻优能力，适应于含有离散变量的组合优化问题中。

3）首次将改进GSA算法应用在配电网故障区段定位，仿真结果表明，其准确性、快速性和容错能力都要高于遗传算法、蚁群算法，对于以人工智能方法为基础的配电网故障定位方法的发展有重要作用，具有良好的运用前景。**EA**

（收稿日期：2015.05.30）
（编辑：杨得润）

www.eage.com.cn