

智能光伏预装式变电站技术及选型分析

李秋芳

北京佰能蓝天科技股份有限公司 北京 100000

摘要: 随着光伏发电行业的不断发展, 电网智能化水平不断提高, 对光伏发电电器产品的要求也越来越高。本文简要介绍了新型智能光伏预装式变电站的技术。根据实际应用提出了选型参考建议。

关键词: 智能; 光伏; 预装式; 变电站

Technology and selection analysis of intelligent photovoltaic preinstalled substation

Qiufang Li

Beijing Baineng Blue Sky Technology Co., Ltd., Beijing 100,000

Abstract: With the continuous development of the photovoltaic power generation industry, the intelligent level of the power grid is constantly improving, and the requirements for photovoltaic power generation electrical products are also getting higher and higher. This paper briefly introduces the technology of the new intelligent photovoltaic pre-installed substation. According to the practical application, the type selection reference suggestion is put forward.

Keywords: Smart; Photovoltaic; Pre-installed; Substation

引言:

光伏发电是直接把太阳能转化为电能的技术。其发电过程清洁环保, 无二次污染环境; 随着化石燃料的日益减少, 太阳能成为人类能源的重要组成部分。太阳能是一个庞大的系统, 虽然太阳向地球的辐射只有它的2亿分之一, 但是它已经达到了173, 000 TW, 这意味着, 太阳在每秒钟向地球提供了500万吨的煤炭和499, 400, 000焦耳的能量。中国拥有丰富的太阳能资源, 年平均可达170亿吨的煤炭。与美国、欧洲和日本等同纬度地区的其它国家相比, 具有很大的发展潜力。而我国国光伏发电电器的研究开发相对滞后, 主要还是以降压变流器为主。基于我国国情、我国气候条件、我国现有的电力生产技术和互联网技术水平, 研制开发了智能型光伏预装型变电所。其目标为“模块化, 智能化, 小型化, 占地少, 建设效率高”。

一、概述

(一) 光伏发电的基本原理

太阳能利用有两种方式, 一种是光热转换, 另一种是光电转换。太阳能发电分为光—热—电转换和光—电直接转换。

(1) 光热—电转换方法是利用太阳辐射的热能来发电, 通常采用太阳能集热器将吸收的热量转化为蒸汽, 然后用来驱动涡轮机供电。前者为光—热转化工艺; 后者是一种与常规的燃煤发电相同的热—电转化工艺。

(2) 直接光—电转换方式利用光电效应, 直接将太阳辐射转化为电能。太阳能光伏组件是一种可以直接将太阳能转化为电能的器件, 它是一种半导体光电二极管, 当太阳照射在光电二极管上时, 光电二极管会把太阳光能转换成电能, 从而产生电流。当多个电池串联或并联时, 太阳能光伏组件方阵的输出功率较大^[1]。

本文所讨论的光伏发电是一种利用半导体界面上的光生伏特效应, 将光能量转化成电能, 即光电转化方式。

在p-n结上, 阳光照射到半导体p-n结上, 产生了一个新的空穴—电子对, 在p-n结内部的电场作用下, 空穴从n区向p区流动, 电子从p区到n区。这就是太阳能光伏组件的光电效应^[2]。

(二) 目前光伏发电的类型

不同光照条件下太阳能光伏组件的输出功率不同。

1. 集中式

集装箱式太阳能光伏组件的特性是: 各部件不能在

MPPT点上同时工作；成本低，故障率低，占地面积小。集中式原理图见图1。

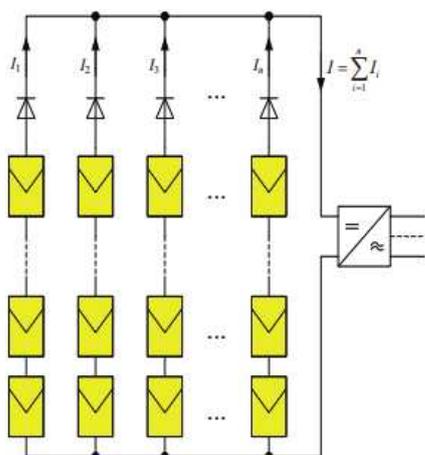


图1 集中式原理图

2. 集成式

集成式太阳能光伏组件具有较高的成本和较高的故障率。集成式原理图见图2。

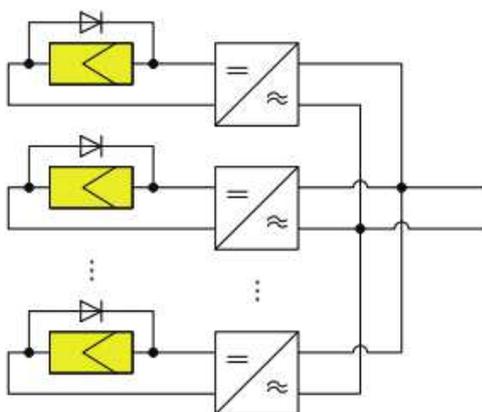


图2 集成式原理图

3. 组串式

太阳能光伏组件组串式的结构特征是，每一个部件都可以在MPPT点工作；费用很高^[3]。组串式原理图见图3。

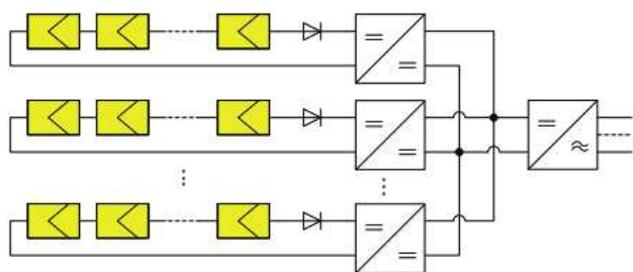


图3 组串式原理图

（三）预装式变电站智能化主要技术

预装式变电站智能化技术主要体现在以下几个方面：

第一，数字化。对预装式变电所的全部高压设备、变压器、低压设备及周围环境参数进行全面、深入的监测。“广度”是指尽量多地收集参数（遥测、遥信），并尽量控制切换设备（遥控、遥调）^[4]。深度是指尽量多地记录参数和事件序列，以确保预装式变电站的安全、稳定、可靠，同时也是一种全自动化的、可监测的装置。同时，对高、低压设备进行智能化改造，为实施配电自动化监测提供了依据。

第二，网络化。预装型变电所具有的通讯接口，可以实现预装型变电所和中压监测设备以及后台的通讯，能够有效地防止无线干扰，实现安全、可靠的通讯。

第三，信息化。为了满足配电网信息管理的需要，能够将各种信息上传到预装式变电站与中压监控单元之间，实现网络规划，并对配电设备进行管理；熟悉配电变压器的操作。

所以，智能预装式变电所应具备的主要功能有：配电网远动终端、配电变压器监测、电压无功综合优化、变电所环境调整、低压出线负荷管理、通讯、电能质量监测等^[4]。

智能配电终端主要功能如下：

- （1）配电变压器监测：电压，电流，电压合格率，谐波，闪变，瞬间过电等。
- （2）低电压、过电压和过负荷保护的配电变压器保护。
- （3）电力使用者的电力资讯监控：使用者的电表资料。
- （4）配电系统的计量总表监控：对已安装的变电所的电表的数据和工作状态进行监控。
- （5）高压开关监控：开关状态，开关电流。
- （6）状态监控：进、出线开关、电容器开关、配变终端的工作状况。
- （7）负载管理：自定义闭环电源、定值电源、远程监控。
- （8）电力品质管理：动态无功补偿，三相不平衡控制。
- （9）录像监控：如果是违法的，就把照片拍下来，然后上传。
- （10）安全保护：防盗、信息不正常、声音报警。
- （11）分布式电力监测：监测和报警（光电发电站）分布式电力供应^[5]。

二、产品主要原理

（一）电气结构原理

智能光电预装型变电所是将光伏发电系统中的DC母线（集成到逆变器柜）、逆变器柜、低压交流柜、升压变压器、高压保护输出开关、控制电源系统、智能系统等模块，以提高光伏电站的施工效率。工厂化的生产，使产品的体积变小，产品的结构设计得到了最好的满足，从而降低了产品的失效。图4为欧式箱变一次方案图，图5为美式箱变一次方案

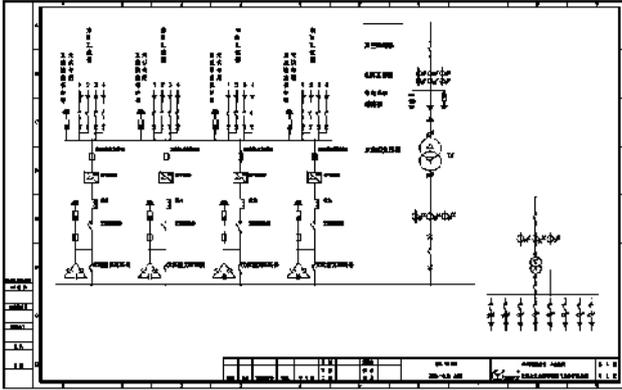


图4 欧式箱变一次方案图

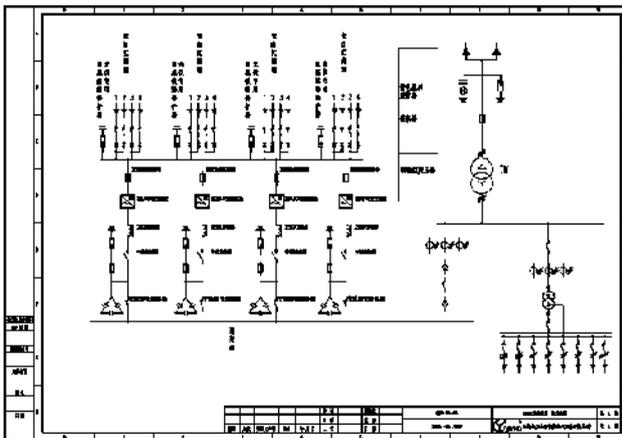


图5 美式箱变一次方案图

1. 逆变器单元结构

在光伏发电系统中，光伏并网逆变器是其中的关键。该逆变器将由光伏阵列所产生的DC电流转换成三相正弦AC，从而使电力达到电网的需要。直流电源及逆变器的功能：直流、逆变器的结合，使其结构更为紧凑。采用多主控制技术，可以延长发电时间，提高发电量，提高电力品质。本逆变器主要由直流断路器、快速熔断器、直流绝缘监测、逆变器、LC滤波器、交流接触器、交流主开关等组成。本产品具有极化反向保护、短路保护、孤岛效应、过温保护、交流过流及直流过流保护、低压穿越、直流母线保护、电网断电、电网过欠电压、电网过欠电压、光伏阵列及逆变器自身接地探测

与保护^[6]。

2. 其他电气单元（配电柜、变压器等）

低压交流箱分段容量大，动态稳定性好，电气方案灵活，组合方便，系列性强，实用性强，结构新颖，防护等级高。柜中的主要元件包括：拔出式万能断路器，塑壳断路器，小型干式变压器，多功能电力仪表，万能转换开关，信号灯，按钮开关，旋钮开关等。该系统采用UPS电源、微型断路器、箱变测控装置、智能双温控器、24V开关电源、信号灯等构成。干式变压器是一种不浸泡在绝缘油中的铁心和线圈^[7]。其制冷模式有两种：一种是天然风制冷，另一种是强制风冷。该系统的主要特征是：具有安全性、耐火、不会产生环境污染、能在负载的中央工作；高的力学性能、高的耐跳性、低局部放电、良好的耐热性、高的可靠性、高的使用周期；功耗小，噪声小，效率高，无需维修；

散热性能好，负荷大，强制空气冷却时，可增加负荷运转；具有良好的防水能力，能够在高湿及其它严酷的工作条件下工作；有良好的温控及防护装置。本产品具有智能化的信号控制，可自动监测并循环地显示三相线圈的工作状态，并可自动启动、停止风机、报警、跳闸等多种功能；小巧、轻便、占用面积小、设备成本低廉。油浸型变压器通常是在独立的变压器内部，以油为介质，例如油浸自冷法、油浸空气法、油浸法和强制油循环法等^[8]。油浸变压器是一种完全充满油的密封型。油罐外壳具有其本身的弹性来调节机油的扩张，是一种持久的密闭容器。油浸变压器由铁心，绕组，油箱，油枕，绝缘套管，分接开关，燃气中继等构成。其主要优点是绝缘性能好，导热性能好，而且用的是便宜的变压器油。可有效地解决大功率的电力系统的高电压隔离问题。

3. 箱变外壳

箱变外壳分为美式箱变和欧式箱变，图6为美式箱变，图7为欧式箱变。

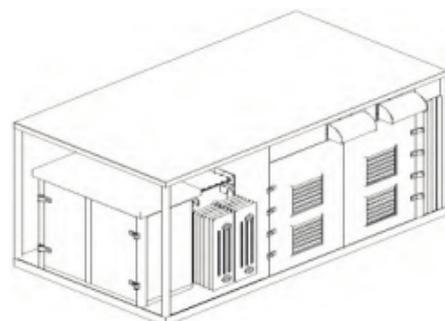


图6 美式箱变

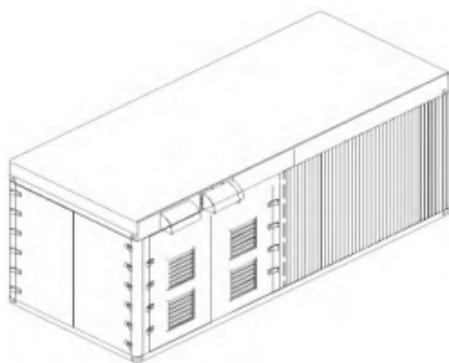


图7 欧式箱变

(二) 智能控制后台原理

智能控制器对智能光电变电所的总功率进行测量，其中包括：直流侧电流、电压；目前的发电量，日发电量，累计发电量，单机累计工作时间；交流侧电流，电压，有功，无功，谐波，频率），非电量（包含直流侧和交流侧开关状态；逆变器内部的温度；变电所内预设的温度；环境监测），通过智能单元的输出接口，可以实现智能光伏预装式变电站的主开关的遥控和控制，AGC和AVC监控站能的无功和电压。

智能控制后台对各个单元进行统一的管理与协调，把变电站的电量、非电量等数据上传至上级的综合自动化或调度自动化系统，并接收上级的命令，对变电站的有功、无功、电压等进行全面的调整^[9]。

该智能控制后台包括一个集成的微机，该微机预装了分布式光伏智能监测软件，以及一个分布式的光伏保护与并网设备。该系统是将分布式光伏发电设备的汇流箱、逆变器、变压器、开关柜等数据进行采集，并将其整合到一个统一的数据监测平台中，完成数据处理、统计分析等先进的应用程序，从而达到了运行、管理和控制的要求。

分布式光伏电站与电网共用连接点开关处安装分布式光伏保护与并网接口装置，不仅具备分布式光伏发电保护、测控、电能质量监测、运行控制、通信管理、远动等功能，可实现分布式光伏电站内部的故障自动隔离，并具有多种通信模式接入变流器、汇流箱、环境监测仪、电表等多种通信方式的各类电力设备，通过与调度主站的通讯，实时地反馈电厂的信息，接收公用连接点的开关投切，以及逆变器的启动和关闭，实现了对公用节点和分布式光伏发电系统的全面、实时的监测。

(三) 智能主监控单元原理

1. 硬件原理

采用了各个单元之间的独立设计思想。采用后插式的方式实现了模块化的设计。它由下列模块组成：交流转换插件，CUP插件，输入量采集插件，开出输出插件，操作回路插件，通讯CUP插件，串口通讯插件，光纤/GPRS，以太网通讯插件，电源插件。硬件原理图见图8。

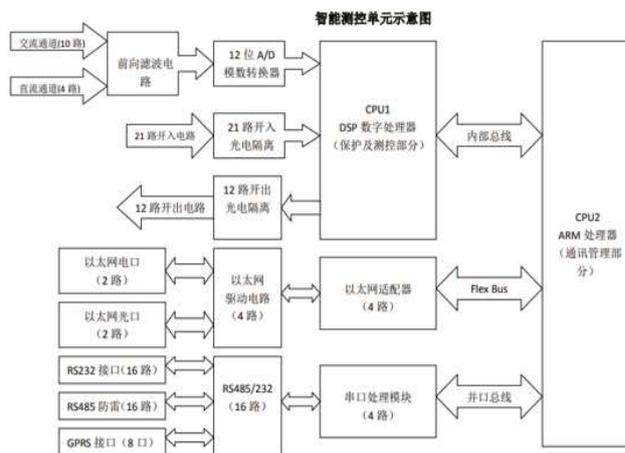


图8 硬件原理图

2. 软件原理

主程序在规定的取样循环内进行取样中断进入取样，并对取样过程进行模拟量的采集、滤波、开关量的采集、装置硬件的自检、外部异常的检验及启动准则的计算，并依据是否符合启动条件而进入正常操作或失效计算。常规运行程序执行状态监测、数据预处理等辅助功能；故障处理程序中的各类保护运算、跳闸逻辑判定。在设备硬件自我检测错误的情况下，发送设备的锁止信号，同时关闭设备，保护设备的安全。软件原理图见图9。

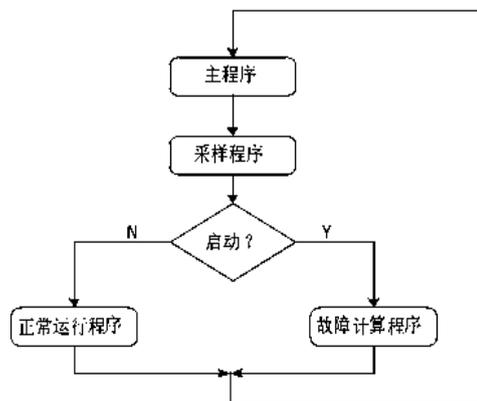


图9 软件原理图

三、产品集成化前后的经济指标

分散式（组装）1 MW 电站设计方案见表1，集成式1 MW 电站设计方案见表2。

表1 分散式(组装)1 MW 电站设计方案

序号	设备名称	数量	价格/万元	备注
1	双分裂升压隔离变压器台	1	12.7	SCB10-1000/10/0.34*2 DYn11全铜
2	并网输出柜/计量柜/PT及测量柜/台	3	9	配置真空断路器及并网综保
3	500 kW逆变器/台	2	32	
4	直流汇流总柜/台	2	5.6	
5	低压交流柜/台	2	3.6	
6	电源控制柜/台	1	0.45	
7	智能监控系统/套	1	2.4	
8	直流汇流箱(16汇1)/台	14	4.2	
9	PV直流电缆、高压交流电缆/批	1	15	
10	土建/套	1	9	
11	设备整机调试/次	1	0.8	
12	设备运输吊装/次	1	0.8	
合计			95.55	

表2 集成式1 MW 电站设计方案

序号	设备名称	数量	价格/万元	备注
1	双绕组升压隔离变压器/台	1	9.5	SCB10-1000/10/0.34 DYn11全铜
2	并网输出柜/计量柜/PT及测量柜/台	3	9	配置真空断路器及并网综保
3	2×250 kW逆变器/台	2	22	
4	箱体外壳/台	2	4	
5	低压交流柜/台	2	3.6	
6	电源控制柜/台	1	0.45	
7	智能监控系统/套	1	2.4	
8	直流汇流箱(16汇1)/台	14	4.2	
9	PV直流电缆、高压交流电缆/批	1	15	
10	土建/套	1	0.65	
11	设备整机调试/次	1	0.1	
12	设备运输吊装/次	1	0.15	
合计			71.05	

表3 产品集成化前后的性能指标

方案	一体化1MWp光伏箱变	传统1 MWp方案	结论
技术路线	1 MWp逆变器由4组250 kW逆变器模块并联组成(仅普通的双绕组变压器)	1 MWp逆变器由2组500 kW逆变器独立并网(需要低压侧为双分裂变压器)	(1)逆变器的弃电损失小。
转换效率	98.84%	98.70%	(2)单机使用寿命长。
逆变器故障最大弃电损失	30%	100%	(3)与之配套的变压器结构简单,成本低。
逆变器故障实际弃电损失	<4%	100%	
逆变器实际寿命multimaster技术提高40%的寿命	>20%		
故障处理方式	带电更换模块	停机更换	
故障处理时间	1~2 h	3~5 d	(1)一体化电站运维费用少;
故障处理人员	现场运维人员	厂家售后	(2)维护简单。
25年备品备件供货	有保证,国际品牌公司,已有20年历史。	国内具备生产大功率逆变器厂家少,产品运行年限短。	
产品升级(保证25年先进性)	软件免费升级,硬件通过替换部分升级(接口统一)	软件升级(难实现不可行),硬件不能升级	

上述是1 MW光伏发电场,采用多冗余设计模式的250 kW 机组模块组态。成本分析结果:前期投入占优势,后期维护费用较低。

四、产品集成化前后的性能指标

本文以10 kV 光伏发电场1 MW 工程为实例进行了分析。在产品整合之前和之后,其性能指标如表3所示。

操作可靠度比较:1 MW 分布式(装配)电厂需要配备2个DC 母线,1个双分裂的升压变,2个500 kW 的并网逆变器和高压配电柜。其次,由于它涉及到设备的重新安装,所以它的施工工艺,必须进行监督和验收。1 MW 综合型电厂需要配备2个包含直流汇入的500 kW 逆变器柜、1个双绕组高压配电柜、智能通讯柜,可统一供应商,质量和后期维保均有保障,后期运维无忧。

可维修性比较:设备分散、现场故障定位比较复杂、设备场地分布分散、更换难度大、整机维修费用高、供货厂家多,难以一次性协调到位解决问题^[10]。该系统采用模块化维修,控制系统、散热风机、功率模块等模块都是模块化的,一旦出现问题,由专业的维修人员在30分钟内进行维修,非常方便。

五、产品的特点

智能光伏预装型变电所采用模块化结构、智能化系统平台、灵活的电力系统方案、独特的外部机柜结构,实现了对电力的最佳管理与控制。

(1)箱内电气装置采用模块式结构,使室内空间更加紧凑和合理。

(2)在箱内使用软铜线(或光电缆线),使操作更加安全、可靠。

(3)外箱为箱体骨架加上塑料钢板,具有轻便、高机械强度、抗锈蚀、占用空间少、外形美观等优点。

(4)高度一体化的智能电站,具有便于移动、缩短

施工时间、降低用户初始投资等特点。

(5) 内部电气装置采用独立的排风和散热系统, 外部箱体使用防火、阻燃等绝缘材料, 使装置的操作更加安全、可靠。

(6) 采用可开、模块化的结构, 便于操作和维修。

(7) RS485 通信系统, 通过触摸屏实现了现场的实时监测。

(8) 可通过因特网实现 GPRS 无线通信。

六、产品选型方式

该公司的产品具有“模块化, 智能化, 小型化, 占地少, 施工效率高”的特点。所以它的使用和选择是很简单的。根据用户的实际需要, 可以选择变压器(干式变压器、油浸式变压器)、高压输出保护(断路器、负载开关+保险丝)。

七、结语

智能光伏预装式变电所的设计, 将电力产品与智能化系统有机地结合在一起。使产品具有模块化、智能化、小型化、占地少、施工效率高等特点。并经产品试运行证明其可靠性。

参考文献:

[1] 马宁. 太阳能光伏发电概述及发展前景[J]. 智能建筑电气技术, 2019, 5(2).

[2] 王长贵. 并网光伏发电系统综述(上)[J]. 太阳能技术与产品, 2018, (3).

[3] 候雨. 智能变电站建设项目施工成本控制研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.

[4] 周晓龙. 智能变电站保护测控装置[J]. 电力自动化设备, 2020, (08).

[5] 李孟超, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2020, (18).

[6] 曾正, 等. 多功能并网逆变器研究综述[J]. 电力自动化设备, 2019, (08).

[7] 乐山一拉得电网自动化有限公司. 一种 10kV 高海拔智能光伏预装式变电站: CN201920824402.1[P]. 2020-01-31.

[8] 喻师师. 一种智能光伏预装式变电站: CN202110406084.9[P]. 2021-07-09.

[9] 华电福新宝应新能源有限公司, 华电兴化太阳能发电有限公司, 上海金友金弘智能电气股份有限公司, 等. 一种用于水面光伏电站的智能光伏预装式变电站: CN201721056778. 光伏发电[P]. 2018-05-01.

[10] 吴晓丽, 吕俊军, 李庆平. 智能光伏预装式变电站技术及选型[J]. 电力勘测设计, 2017(S2): 134-141, 179.