

屋顶光伏发电并网系统在 110 kV 变电站的应用

赵扉, 沈红峰, 吴伟江
(嘉兴电力局, 浙江 嘉兴 314033)

摘要:针对在 110 kV 变电站配置光伏发电系统展开了研究,提出了利用变电站建筑屋顶装设太阳能光伏电池板,构建并网型光伏发电系统的方案,将辐射至变电站内的太阳能转化为电能,作为站用负荷供电的补充电源。

关键词:110 kV 变电站;光伏发电;屋顶;太阳能

中图分类号:TM 615 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2011)04-0070-05

0 引言

随着煤炭和石油等化石能源的大量消耗,不可再生能源正面临资源枯竭和环境恶化的双重压力。开发利用可再生能源是增加能源持续供给能力、改善能源结构、保障能源安全、逐步恢复自然环境的重要措施,对建设资源节约型和环境友好型社会、实现经济社会全面协调可持续发展具有非常重要的意义。

太阳能是最重要的可再生能源之一。太阳能发电分为光热发电和光伏发电 2 类,通常说的太阳能发电指的是太阳能光伏 PV (Photovoltaic) 发电。太阳能光伏发电是利用太阳电池半导体材料的光伏效应,将太阳光辐射能直接转换为电能,它具有不需要燃料、不污染环境、运行费用少、维护简单、可持续使用和噪声等优点,是未来电能开发的重点之一。推广光伏发电的发展应用对于推动能源结构优化、减轻能源供应压力、减少二氧化碳等温室气体和主要污染物排放、加快节能减排目标的实现具有重要的环境效益、经济效益和社会效益。

本文针对在变电站设计屋顶光伏系统展开研究,利用变电站建筑屋顶装设太阳能光伏电池板,构建并网型光伏发电系统,将辐射至变电站内的太阳能转化为电能。太阳能光伏发电系统由太阳能光伏电池阵列、汇流箱、逆变器和配电柜等几个主要部分组成,电池板产生的直流电经逆变器转化后接至所用降压变压器的 380 V 母线,作为站用负荷供电的补充电源。

1 光伏发电技术及其发展情况

1.1 光伏发电系统基本类型

1.1.1 基本组成

太阳能光伏发电系统的主要部件包括太阳能光

伏电池组、光伏系统电池控制器、蓄电池和交/直流逆变器,其中的核心元件是光伏电池组 and 控制器。光伏并网发电系统基本组成如图 1 所示。

(1) 光伏电池。在有光照的情况下,电池吸收光能,电池两端出现异号电荷的积累,即产生“光生电压”,这就是光生伏特效应。在光生伏特效应的作用下,太阳能电池的两端产生电动势,将光能转换成电能。太阳能电池一般为硅电池,分为单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池 3 种。

(2) 控制器作用于整个系统的过程控制。光伏发电系统中使用的控制器类型很多,如双点式控制器、多路顺序控制器、智能控制器、大功率跟踪充电控制器等。

(3) 蓄电池是光伏发电系统中的关键部件,用于存储从光伏电池转换来的电力。

(4) 交、直流逆变器的功能是交、直流转换,并网逆变器采用最大功率跟踪技术,最大限度地把光伏电池转换的电能送入电网。

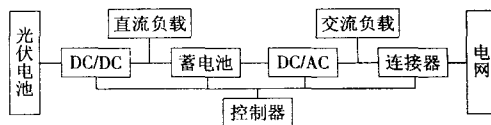


图1 光伏并网发电系统基本组成

1.1.2 并网方式

目前,太阳能光伏发电系统大致可分为 3 类:离网光伏蓄电系统、并网光伏发电系统及前两者混合系统,如图 2 所示。

(1) 离网光伏蓄电系统。这是一种常见的太阳能应用方式,系统比较简单且适应性广,但因蓄电池的体积偏大和维护困难而限制了使用范围。

(2) 并网光伏发电系统。该系统不设置蓄电池,当用电负荷较大太阳能电力不足时,向电网购电,负荷较小或太阳能电力较多时,将多余的电力出

售给电网。由于不设置蓄电池,降低了造价。

(3)混合型系统。该系统是介于上述 2 个方案之间的系统,该系统有较强的适应性,可根据电网的峰、谷电价来调整自身的发电策略,但造价和运行成本比上述 2 种方案高。

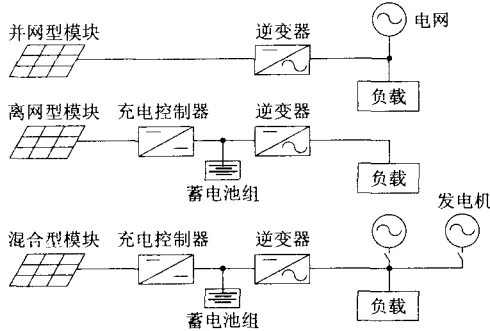


图 2 光伏发电系统构架

1.2 太阳能光电建筑的优势

将太阳能光伏发电系统整合于建筑物的应用,已成为太阳能光伏发电的一种发展趋势。从建筑、技术和经济角度来看,太阳能光电建筑有以下优点:

- (1)可有效地利用建筑物屋顶和幕墙,无需占用宝贵的土地资源。
- (2)可原地发电、用电,在一定距离范围内可节省电站送电网的投资。
- (3)能有效地减少建筑能耗,实现建筑节能。
- (4)光伏组件安装在建筑的屋顶及墙的南立面上直接吸收太阳能,建筑集成光伏发电系统不仅提供了电力,而且还降低了墙面及屋顶的升温。

目前,太阳能光电建筑的发电系统设计容量可以从几千瓦到几百千瓦,甚至上兆瓦,国内的光伏与建筑结合形式各种各样,设备的选型需根据光伏阵列安装的实际情况(如组件规格、安装朝向等)进行优化设计,太阳能光电建筑发电系统大致可分为 2 种并网发电方式。

(1)集中式并网发电。这种并网方式适合于在建筑物上安装朝向相同且规格相同的光伏阵列,在电气设计时,采用单台逆变器集中并网发电方案实现联网功能,如图 3 所示。

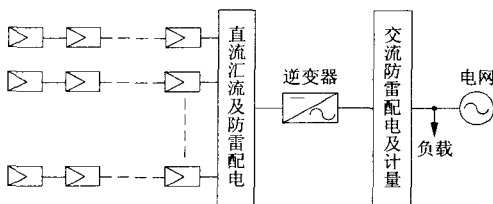


图 3 集中式并网发电原理框图

(2)分布式并网发电。这种并网方式适合于在建筑物上安装不同朝向或不同规格的光伏阵列,在电气设计时,可将同一朝向且规格相同的光伏阵列

通过单台逆变器集中并网发电,采用多台逆变器分布式并网发电方案实现联网功能,如图 4 所示。

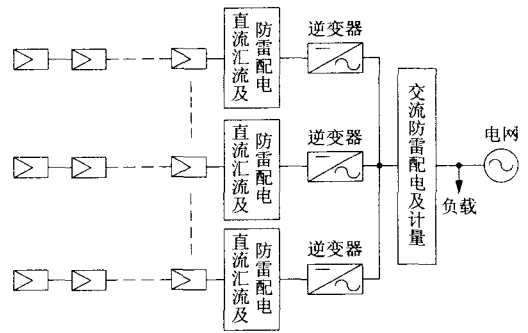


图 4 分布式并网发电原理框图

2 光伏发电技术在 110 kV 变电站的应用思路

小规模分布式电源的合理供电对象是本地负荷。对 110 kV 变电站而言,其自身的主要负荷是站用的动力、照明、直流等。因此,光伏发电技术在变电站应用的思路是:它能有效地利用变电站建筑物屋顶装设太阳能电池板,利用太阳能向变电站的站用负荷供电。

变电站的站用负荷采用由主变压器低压侧通过 10(20)kV/380 V 降压变压器供电。站用负荷要求具有较高的供电可靠性。因此,向其供电的光伏发电系统拟采用并网运行模式,即站用电由 2 个电源供电:其一是光伏发电系统,其二是 10(20)kV/380 V 降压变压器。没有太阳能的时段,站用电负荷完全由降压变压器供电;有太阳能的时段,站用电由降压变压器和光伏发电系统共同供电。因此,光伏发电系统的作用是作为站用降压变压器的补充电源,减少降压变压器的供电负荷。

并网运行光伏发电系统相对于独立运行系统有许多优势:无需蓄电池和双向整流逆变设备,减小了投资成本和设备占地面积;无需对报废电池进行处理,避免了对环境的污染,还避免了蓄电池组充、放电过程中的能量损失。

3 设计方案

3.1 安装规模

根据光伏发电系统在智能变电站的应用定位(即站用降压变压器的补充电源),其发电规模应根据 2 个方面来确定:一是可利用的屋顶建筑面积,二是所用电负荷。

以嘉兴地区为例,应用最为广泛的是浙江省电力公司标准配送式变电站通用设计半户内 GIS 方案(110-B-ER-2),配电装置采用平屋面,配电装置楼楼顶总面积为 898 m²,可利用面积为 360 m²,可

安装的太阳能电池阵列面积达 270 m²,最大输出电能为 34.65 kW。据统计,同地区同规模 110 kV 变电站所用电常规负荷(不考虑特殊操作、施工负荷)为 60 kV·A 左右,最大不超过 100 kV·A。作为降压变压器的补充电源,该安装规模可满足要求。

3.2 光伏发电系统组成方案

110-B-ER-2 方案是一期建设 2 台 80 000 kV·A 主变压器,每台主变压器配置 1 台站用降压变压器,每台容量 100 kV·A。对此,光伏发电系统的分组方式可以考虑 2 种方案。

(1)方案 1,将所有太阳能电池阵列组合成 1 组,构建 1 套光伏发电系统,作为 1 台站用降压变压器的补充电源。同时可适当加大该降压变压器供电负荷在所有站用负荷中的比例。

(2)方案 2,将太阳能电池阵列分为 2 组,构建 2 套光伏发电系统,分别作为 2 台所用降压变压器的补充电源。每套光伏发电系统的规模可以按照 2 台降压变压器的负荷规模比例来确定。

与方案 1 相比较,方案 2 的优点是有 2 套太阳

能发电系统,如果有一组系统检修或发生故障,另一组仍可以运行,可靠性较高;缺点是方案 2(2 套逆变设备)的造价比方案 1(仅采用 1 套逆变设备)的造价高。

考虑到在 110 kV 变电站设置光伏发电系统的经济可行性,采用方案 1。

3.3 接入站用电系统电压等级分析

光伏发电系统的逆变器有 3 种形式:工频变压器绝缘方式、高频变压器绝缘方式和无变压器方式。工频变压器逆变器体积大、质量大,防雷性能和抑制噪声性能优良,输出交流电压可根据接入系统的需要进行设计,但造价高;高频变压器绝缘方式的逆变器体积小、质量小,但内部结构复杂;无变压器的逆变器体积小、质量小、成本低、可靠性高,但输出交流电压局限于 220/380 V,需配置升压变压器接入系统。

该方案拟选用无变压器方式的逆变器,逆变器交流侧输出电压为 380 V。光伏发电系统具体构成方案如图 5 所示。

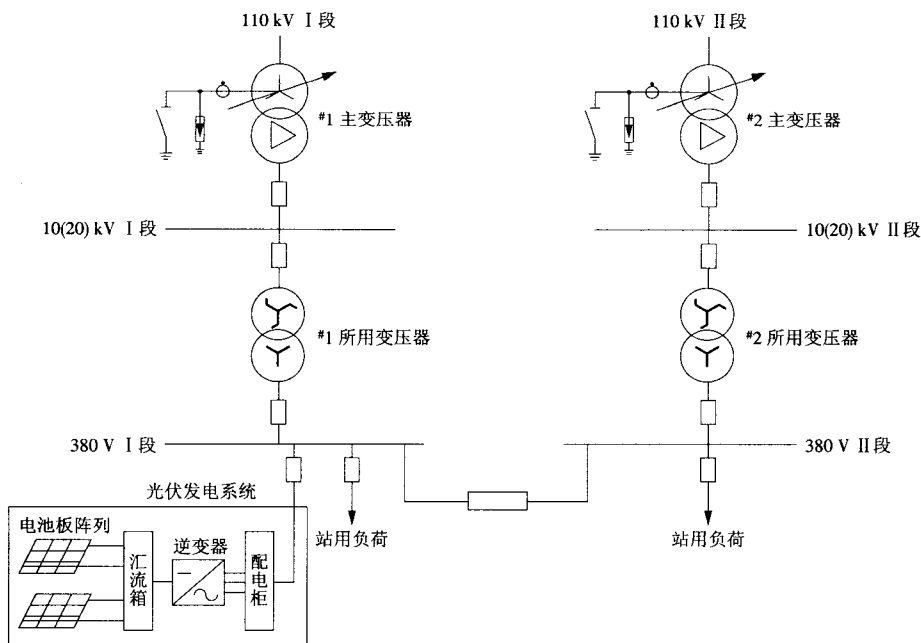


图 5 光伏发电系统应用方案组成示意图

3.4 主要设备选择及布置

图 5 所示的光伏发电系统包括电池板阵列、汇流箱、逆变器、配电柜等几个部分,本文仅提出太阳能电池组件和逆变器的技术参数。

3.4.1 太阳能电池组件选择与阵列设计

电池板阵列是多个太阳能电池板串联和并联的组合,其组合方式应根据场地条件以及电压、电流水平等因素来综合考虑。目前,高效能晶体硅太阳能电池的光电转换效率已达 21% 以上,大批量生产的单晶硅光伏电池组件的光电转换效率为 14% 左右。

以 SUNTECH 公司生产的 STP165S-24/Ac 电池组件为例,其主要技术参数见表 1。

考虑太阳能电池阵列之间需留有适当距离以及屋顶朝向,智能变电站可利用的屋顶建筑面积为 360 m²,可安装的太阳能电池阵列面积达 270 m²,最大输出电能约 34.65 kW。太阳能电池阵列形式见表 2。

3.4.2 汇流箱及逆变器

多个太阳能电池板的出线经汇流箱(如图 6 所示)汇集,输出的电力集中送往逆变器,由逆变器的

表 1 蓄电池技术参数(由 SUNTECH 公司提供)

项目	技术参数
最大输出功率/W	165
额定开路电压/V	44
额定短路电流/A	5.05
最大输出功率下工作电压/V	34.8
最大输出功率下工作电流/A	4.66
最高系统电压/V	1000
标准使用温度/℃	48 ± 2
使用温度范围/℃	-40 ~ +85
尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	1580 × 808 × 35
质量/kg	15.5
组件使用寿命/年	25

表 2 蓄电池组阵列形式

逆变器 编号	直流输入 端编号	组件连接 方式	每路组件数量		每路最大直 流功率/kW
			串联	并联	
	DC1	串/并联	7 块	10 组	11.55
S1	DC2	串/并联	7 块	10 组	11.55
	DC3	串/并联	7 块	10 组	11.55

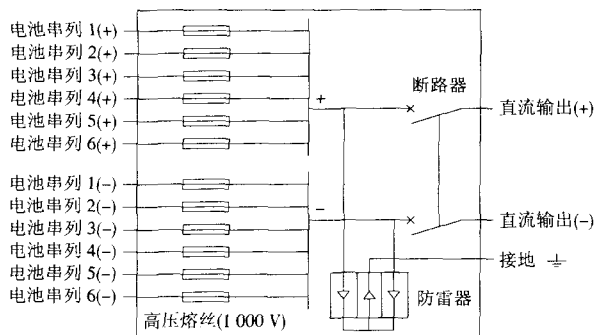


图 6 光伏阵列汇流箱

相位自动跟踪监控功能自动形成大体均衡的 A, B, C 三相 380 V 电源,再分别连接到太阳能光伏发电系统专用的交流配电柜,通过保护开关同站用电母线连接。逆变器参数见表 3。

3.4.3 系统保护监控

为实现对光伏发电系统的监测,可在交流配电柜安装数字式光伏发电直流保护测控装置(目前已有四方电气公司等数个自动化设备生产厂商可提供此类装置),装置具备多个直流回路的保护和测量功能,内部设计采用模块化方式,模块选配可根据现场实际情况自由组合,根据不同模块的组合可适应现场不同回路数的需求。装置主要包括多回路模拟量的采集(电压、电流可选配)、多回路低压闭锁过流保护、过电压保护、过电流保护、多路开关位置采集及多路开关控制功能。同时装置还应提供多回路低电压告警、过电压告警等功能。

一般来说,向站用变压器供电的光伏发电系统

表 3 逆变器参数

项目	技术参数	
逆变器编号	S1	
直流输入	额定电压/V(DC)	220
	额定电流/A	255
	电压允许范围/V(DC)	198 ~ 300
交流输出	额定容量/(kV · A)	56
	额定功率/kW	45
	额定电压/V(AC)	380/220
	额定频率/Hz	50
	额定线电流/A	84.8
	功率因数	0.8
尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	1000 × 1200 × 2200	
质量/kg	780	

可以在可逆流的并网方式下工作。如果系统需要在不可逆流的并网方式下工作(即站用降压变压器不能倒送电力),则可以设置逆向功率保护,即当检测到供电变压器次级处的逆流为逆变器额定输出电流的 5% 时,逆向功率保护应在 0.5 ~ 2.0 s 内将光伏系统与电网断开。

变电站监控系统应具备光伏发电系统接入与管理功能,主要包括电源功率预测功能和控制功能。电源功率预测功能是根据天气信息(如光照强度)采用已建立的数学模型来实时预测光伏电源出力,制定预测曲线;控制功能是通过光伏发电系统装设的监控装置实现对光伏发电系统的控制。

3.5 太阳能电池阵列最佳倾角和朝向

屋顶的倾斜角和太阳能电池阵列的安装方位是太阳能电池组件布置的主要影响因素。太阳能电池阵列安装主要有 2 种方式:一种是相对屋顶有倾角安装,另一种是平行于屋顶安装,即无倾角安装。

嘉兴属于北亚热带地区,为季风型气候,根据我国太阳辐射资源带的划分,该地区属于Ⅲ类地区(如图 7 所示),日照资源一般。为了合理接受辐射光能,太阳能光伏发电板在安装时需要有一定的倾斜角。倾斜角是太阳电池方阵平面与水平地面的夹角,该夹角宜接近方阵一年中发电量最大时的最佳倾斜角度。对于正南方(方位角为 0°),当倾斜角从水平(倾斜角为 0°)开始逐渐向最佳倾斜角过渡时,其日射量不断增加直到最大值,然后再增加倾斜角,其日射量不断减少。一年中的最佳倾斜角与当地的地理纬度有关,当纬度较高时,相应的倾斜角也大。一种简单的倾斜角估计方法是:倾斜角 = 所在地区纬度 + 5°。嘉兴地区纬度约为 31°,加 5°后约为 36°,因此,智能变电站太阳能发电板倾斜角暂时按

35°~40° 考虑,方向为正南方。太阳辐射资源带参数见表 4。

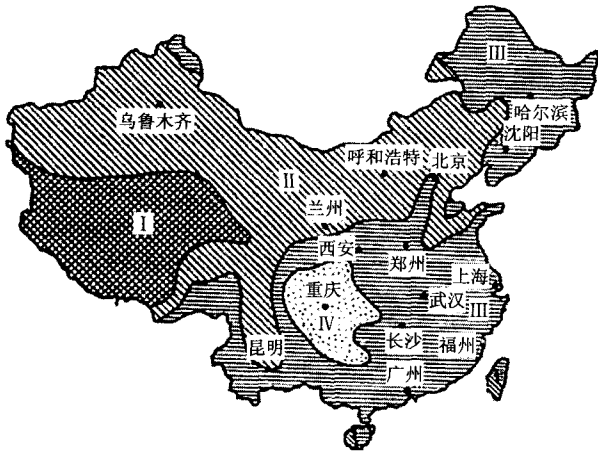


图 7 中国太阳辐射资源带划分图及数据
表 4 太阳辐射资源带参数

资源带号	名称	年均辐照量/(MJ·m ⁻²)
I	资源丰富带	≥6700
II	资源较丰富带	5400~6700
III	资源一般带	4200~5400
IV	资源贫乏带	<4200

屋顶倾角设计兼顾安装太阳能电池的需要,在承重、倾角方面应合理安排;此外,为抑制太阳能电池阵列的温升,屋顶和太阳能电池阵列之间需留 5~10cm 的间隙;安装支架和基础在抗风压、耐腐蚀

(上接第 34 页)高度达不到其要求的高度;该裂缝外有汽轮机 #4 瓦润滑油进油与回油管道遮挡,一般情况下很难靠近检查。造成漏空气的另一个原因是由于施工人员为了安装便利,擅自在支撑管上打孔,而该支撑管另一端的搭接缝恰恰只焊接了里面,外面没有焊,很多看似几率很低的巧合造成了该漏点的形成。

5 处理后的真空

漏点处理完后,2010 年 2 月 15 日,重新启动真空抽干真空。A 泵抽干真空至 -54.03 kPa,电流 191.6 A;B 泵抽干真空至 54.65 kPa,电流 190.4 A;启动 2 台真空泵同时抽干真空,真空抽至 -73.35 kPa,A/B 泵电流分别为 176.2/176.9 A。2010 年 2 月 16 日,机组整套启动,汽轮机在 3000 r/min 的工况下,真空 -91.9 kPa;机组带至 100 MW 负荷,真空 -92.3 kPa,排汽温度 44.5℃;2010 年 2 月 23 日,机组带满负荷 300 MW,真空 -92.12 kPa,A/B 真空泵电流 151.6/0 A,排汽温度 46.2℃。机组负荷在 250 MW 下进行真空严密性试验,停 A 真空泵后真空下降速度 118 Pa/min,满足国内火电站验收规程优秀

等方面需采取有效措施。

3.6 防雷设计

根据 SJ/T 11127—1997《光伏(PV)发电系统过电压保护——导则》,该系统防雷设计如下:

(1)防直击雷措施。把所有屋顶电池阵列的钢结构与屋顶建筑的防雷网可靠连接,以达到防直击雷的目的。

(2)防感应雷措施。在汇流柜及配电柜中安装避雷元件。

4 结束语

本文提出利用 110 kV 变电站的建筑屋顶装设太阳能光伏发电板,构建并网型光伏发电系统向所用负荷供电的方案。该方案是结合变电站建设开发对太阳能资源加以利用的一种有益尝试,对减少城市污染、抑制二氧化碳等温室气体排放将起到积极的作用。

(编辑:刘芳)

作者简介:

赵扉(1980—),女,陕西渭南人,工程师,从事变电工程电气设计方面的工作。

沈红峰(1977—),男,浙江嘉兴人,工程师,从事电力系统继电保护调试、变电二次安装及工程管理方面的工作。

吴伟江(1976—),男,浙江嘉兴人,助理工程师,从事变电安装工程项目管理方面的工作。

标准的要求。

6 结论

(1)影响凝汽器真空的因素有管道泄漏、凝汽器及低压缸本体泄漏、轴封问题、真空泵出力、循环水管道泄漏等。因此,在真空查漏过程中,要针对可能造成泄漏的原因进行相关试验和检查,认真分析,逐步排除。

(2)氦质普查漏仪是非常有效的负压系统查漏手段。对于采用灌水法而言,它的高度灵敏性能迅速反映出系统漏量的大小。还可通过大面积普查,局部重点细查,最终锁定具体的泄漏点。

参考文献:

[1]蔡攸敏,高满生,彭天波.600 MW 电厂真空系统分析及查漏[J].华中电力,2009,4(22):44-49.

(编辑:王书平)

作者简介:

蔡攸敏(1981—),男,湖南常德人,助理工程师,工学硕士,从事汽轮机热力经济性的研究工作(E-mail:caiyumin@163.com)。