

太阳能光电建筑应用及并网发电 系统设计方案介绍

阳光电源股份有限公司

2011年11月

目 录

一、太阳能光电建筑介绍.....	3
1.1 太阳能光电建筑的应用	3
1.2 太阳能光电建筑的优点	3
1.3 光伏与建筑结合的几种安装方式	4
二、并网发电系统设计方案介绍.....	5
2.1 并网发电方式介绍	5
2.2 光伏阵列的设计	6
2.3 光伏阵列汇流的设计	9
2.4 接入电网方案	10
2.5 并网系统的监控通讯方式	12
2.6 系统的安全性设计	13
三、逆变控制设备选型.....	14
四、国内光伏建筑一体化的应用案例.....	16
4.1 上海临港新城兆瓦级光伏电站	16
4.2 上海世博会园区中国馆和主题馆MW级光伏并网发电系统	17
4.3 奥运鸟巢 105kW光伏并网电站	18
4.4 上海太阳能工程中心MW级光伏电站	19
4.5 上海虹桥枢纽 6.68 兆瓦光伏电站	20

一、太阳能光电建筑介绍

1.1 太阳能光电建筑的应用

太阳能光电建筑是指将光伏发电与建筑物相结合，在建筑物的外围结构表面上布设光伏器件产生电力，从而使“建筑物产生绿色能源”。

光伏与建筑的结合有如下两种方式，都可以通过并网逆变器、控制装置与公共电网联接起来组成并网发电系统。

- (1) 一种是建筑与光伏系统相结合(如图1),把封装好的光伏组件(平板或曲面板)安装在居民住宅或建筑物的屋顶上,组成光伏发电系统;
- (2) 另外一种则是建筑与光伏器件相结合(如图2),是将光伏器件与建筑材料集成化,用光伏器件直接代替建筑材料,即光伏建筑一体化(BIPV),如将太阳光伏电池制作成光伏玻璃幕墙、太阳能电池瓦等,这样不仅可开发和应用新能源,还可与装饰美化合为一体,达到节能环保效果,是今后的发展光伏建筑一体化的趋势。



图1 合肥阳光产业基地 500KW 光伏发电系统

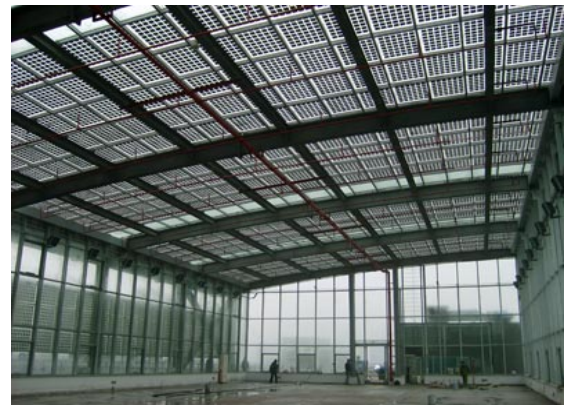


图2 国家发改委 100KW 光伏发电系统









1.2 太阳能光电建筑的优点

从建筑、技术和经济角度来看,太阳能光电建筑有以下诸多优点:

- (1) 可以有效地利用建筑物屋顶和幕墙,无需占用宝贵的土地资源,这对于土地昂贵的城市建筑尤其重要;
- (2) 可原地发电、原地用电,在一定距离范围内可以节省电站送电网的投资。对于联网户用系统,光伏阵列所发电力既可供给本建筑物负载使用,也可送入电网;
- (3) 能有效地减少建筑能耗,实现建筑节能。光伏并网发电系统在白天阳光照射时发电,该时段也是电网用电高峰期,从而舒缓高峰电力需求;

- (4) 光伏组件一般安装在建筑的屋顶及墙的南立面上直接吸收太阳能，因此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温升；
- (5) 并网光伏发电系统没有噪音、没有污染物排放、不消耗任何燃料，具有绿色环保概念，可增加楼盘的综合品质。

1.3 光伏与建筑结合的几种安装方式

示意图	安装材料和安装型式
	采用普通的光伏组件，安装在倾斜屋顶原来的建筑材料之上。
	采用特殊的光伏组件，作为建筑材料安装在倾斜屋顶上。
	采用普通的光伏组件，安装在平屋顶原来的建筑材料之上。
	采用特殊的光伏组件，作为建筑材料安装在平屋顶上。
	采用普通或特殊的光伏组件，作为幕墙安装在南立面上。
	采用特殊的光伏组件，作为建筑幕墙安装在南立面上。
	采用特殊的光伏组件，作为天窗材料安装在天窗上。
	采用普通或特殊的光伏组件，作为遮阳板安装在建筑上。

财政补贴将重点支持太阳能光电建筑一体化安装且发电主要用于解决建筑用能的项目，从项目类型上主要包括三类：

一是建材型，指将太阳能电池与瓦、砖、卷材、玻璃等建筑材料复合在一起成为不可分割的建筑构件或建筑材料，如光伏瓦、光伏砖、光伏屋面卷材、玻璃光伏幕墙、光伏采光顶等；

二是构件型，指与建筑构件组合在一起或独立成为建筑构件的光伏构件，如以标准普通光伏组件或根据建筑要求定制的光伏组件构成雨篷构件、遮阳构件等；

三是与屋顶、墙面结合安装型，指在平屋顶上安装、坡屋面上顺坡架空安装以及在墙面上与墙面平行安装等形式。

二、并网发电系统设计方案介绍

2.1 并网发电方式介绍

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，由于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，大致可分为两种并网发电方式。

(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。

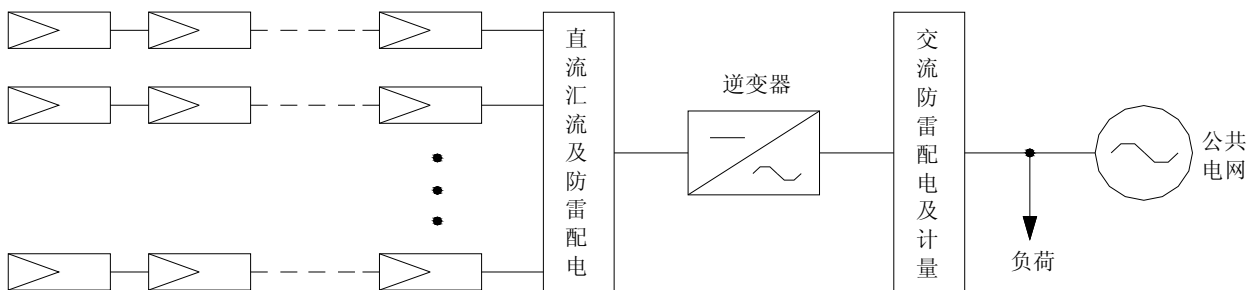


图 3 集中式并网发电原理框图

(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。

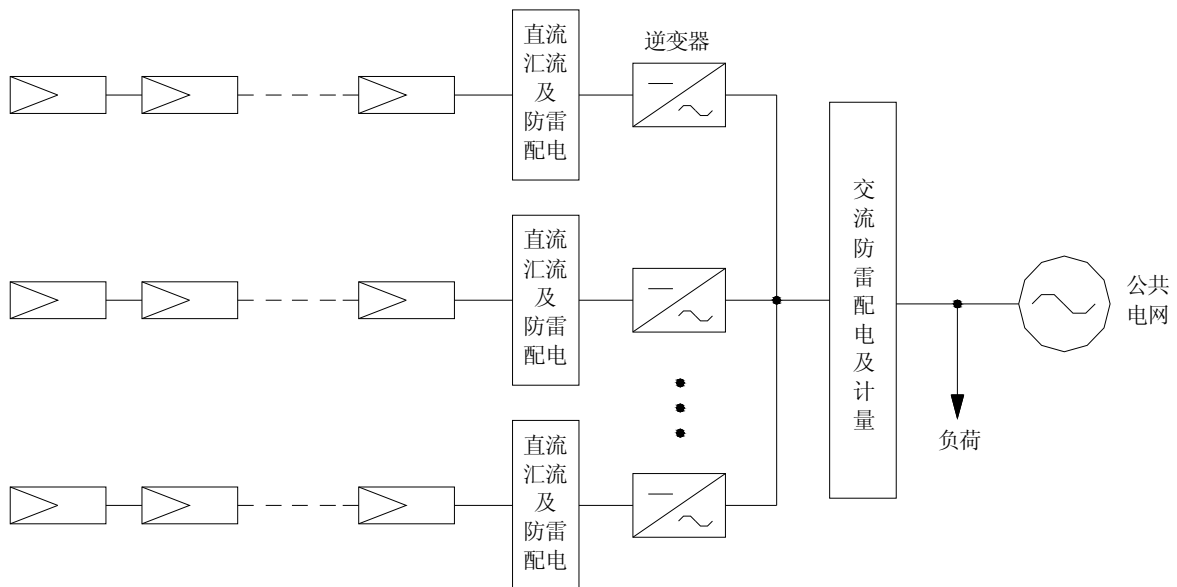


图 4 分布式并网发电原理框图

2.2 光伏阵列的设计

并网发电系统的光伏阵列设计需要考虑以下几点：

(1) 光伏阵列朝向

光伏阵列正向赤道是其获得最多太阳辐射能的主要条件之一。一般情况下，方阵朝向正南（即方阵垂直面与正南的夹角为 0° ）。系统的光伏阵列处于北半球，一般应按正南偏西，方位角 $= (一天中负荷的峰值时刻(24小时制) - 12) \times 15 + (经度 - 116)$ 。

(2) 光伏阵列倾角

在并网发电系统中，光伏阵列相对于水平面的倾斜角度一般应该按照使阵列获得全年最多太阳辐射能的设计原则。电池板厂商将根据不同地区的地理位置及气象环境，会提供最佳的安装角度。

(3) 光伏组件串联数量的设计依据

逆变器在并网发电时，光伏阵列必须实现最大功率点跟踪控制，以便光伏阵列在任何当前日照下不断获得最大功率输出。

在设计光伏组件串联数量时，应注意以下几点：

- 1) 接至同一台逆变器的光伏组件的规格类型、串联数量及安装角度应保持一致。
 - 2) 需考虑光伏组件的最佳工作电压 (V_{mp}) 和开路电压 (V_{oc}) 的温度系数，串联后的光伏阵列的 V_{mp} 应在逆变器 MPPT 范围内， V_{oc} 应低于逆变器输入电压的最大值。
- 首先，要了解太阳电池结温和日照强度对太阳电池输出特性的影响，如下图所示：

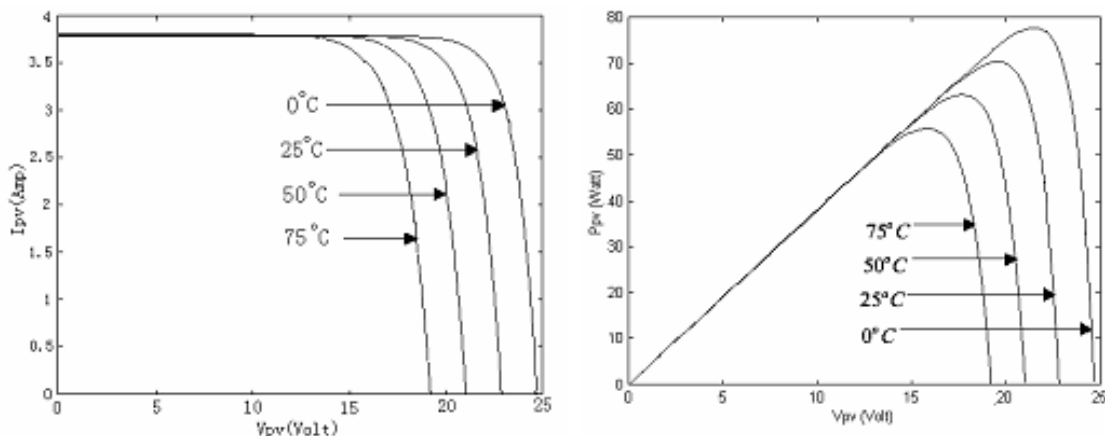


图 5 不同温度下的 I-V 和 P-V 特性曲线

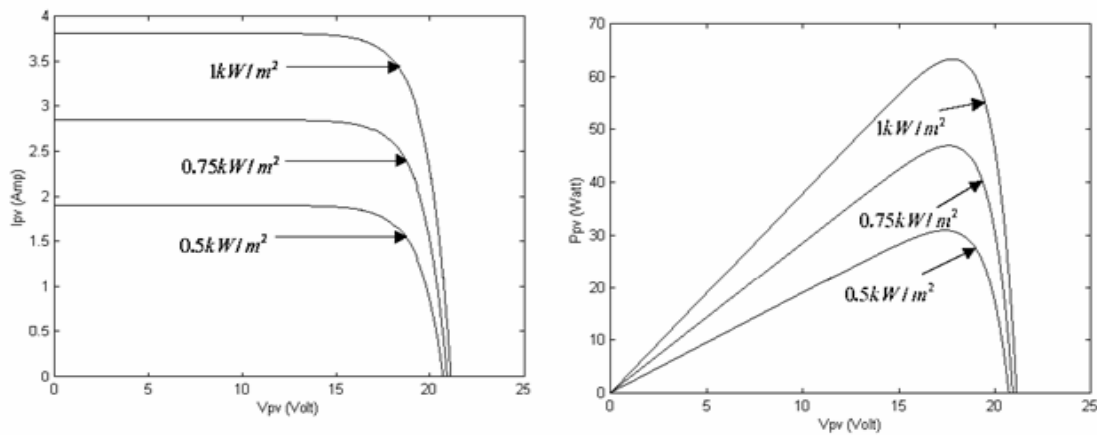


图 6 不同日照量下的 I-V 和 P-V 特性曲线

从图 5 可知，温度上升将使太阳能电池开路电压 V_{oc} 下降，短路电流 I_{sc} 则轻微增大，总体效果会造成太阳能电池的输出功率下降。从图 6 可知，日照强度在极大的程度上影响太阳能电池的输出电流，导致太阳能电池输出功率的变化。

- 对于单晶硅和多晶硅太阳能电池，工作电压 (V_{mp}) 的温度系数约为 $-0.0045/^\circ\text{C}$ (折合 70°C 时的系数为 0.8); 开路电压 (V_{oc}) 的温度系数约为 $-0.0034/^\circ\text{C}$ (折合 -10°C 时的系数为 1.12)。
 - 对于非晶硅薄膜电池，工作电压 (V_{mp}) 的温度系数约为 $-0.0028/^\circ\text{C}$ (折合 70°C 时的系数为 0.874); 开路电压 (V_{oc}) 的温度系数约为 $-0.0028/^\circ\text{C}$ (折合 -10°C 时的系数为 1.1)。
- 3) 针对目前常见的晶体硅光伏组件，结合本公司产品的技术参数，给出各款型号逆变器的推荐 V_{oc} 和 V_{mp} 配置，用户可根据实际光伏组件的参数进行计算和匹配。

- 对于单晶硅和多晶硅光伏组件

以某公司的多晶硅 170Wp 为例 (STC 条件下, 25°C , $V_{mp} = 35\text{V}$, $V_{oc} = 44.5\text{V}$, $P_m = 170\text{W}$), 给出各款型号逆变器的推荐 V_{oc} 和 V_{mp} 配置, 以及光伏组件的串联推荐数量:

设备型号	Udc 范围 (V)	推荐 MPPT 范围 (V)	推荐 Uoc 范围 (V)	推荐串联数 n
SG1K5TL	150 ~ 450	190 ~ 320	240 ~ 400	6, 7, 8
SG2K5TL	150 ~ 500	225 ~ 356	280 ~ 445	7, 8, 9, 10
SG3KTL	150 ~ 500	225 ~ 356	280 ~ 445	7, 8, 9, 10
SG4KTL	150 ~ 500	265 ~ 356	335 ~ 445	8, 9, 10
SG5KTL	150 ~ 520	265 ~ 368	335 ~ 460	8, 9, 10

SG10KTL	250 ~ 1000	315 ~ 712	395 ~ 890	9 ⁻ 20
SG12KTL	250 ~ 1000	415 ~ 712	520 ~ 890	12 ⁻ 20
SG15KTL	250 ~ 1000	475 ~ 712	595 ~ 890	14 ⁻ 20
SG30K3	220 ~ 450	275 ~ 320	340 ~ 400	8, 9
SG50K3	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18
SG100K3	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18
SG100KLV	300 ~ 680	375 ~ 485	470 ~ 605	11, 12, 13
SG250K3	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18
SG250KLV	300 ~ 680	375 ~ 485	470 ~ 605	11, 12, 13
SG500KTL	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18
SG500K3	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18
SG630KTL	450 ~ 900	560 ~ 642	700 ~ 803	16, 17, 18

用户实际计算方法如下:

- ◇ 串联数最小值 $n_1 = V_1 / V_{mp}$, 使用进一法进行取整, V_1 为推荐 MPPT 范围的下限值;
- ◇ 串联数最大值 $n_2 = V_2 / V_{oc}$, 使用舍去法进行取整, V_2 为推荐 U_{oc} 范围的上限值。

其中: V_{mp} 和 V_{oc} 为厂家提供的在 STC 条件下 (STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5) 的数据。

● 对于非晶硅薄膜光伏组件

以某公司的非晶硅组件 40Wp 型号为例 (STC 条件下, $V_{mp} = 46V$, $V_{oc} = 61V$, $P_m = 40W$), 给出各款型号逆变器的推荐 V_{oc} 和 V_{mp} 配置, 以及光伏组件的串联推荐数量:

设备型号	Udc 范围 (V)	推荐 MPPT 范围 (V)	推荐 U_{oc} 范围 (V)	推荐串联数 n
SG1K5TL	150 ~ 450	170 ~ 300	225 ~ 400	4, 5, 6
SG2K5TL	150 ~ 500	210 ~ 340	280 ~ 450	5, 6, 7
SG3KTL	150 ~ 500	210 ~ 340	280 ~ 450	5, 6, 7
SG4KTL	150 ~ 500	240 ~ 340	320 ~ 450	6, 7
SG5KTL	150 ~ 520	260 ~ 350	345 ~ 470	6, 7
SG10KTL	250 ~ 1000	285 ~ 675	380 ~ 900	7 ⁻ 14
SG12KTL	250 ~ 1000	370 ~ 675	490 ~ 900	8 ⁻ 14
SG15KTL	250 ~ 1000	440 ~ 675	590 ~ 900	10 ⁻ 14
SG30K3	220 ~ 450	255 ~ 300	340 ~ 400	6
SG50K3	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13

SG100K3	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13
SG100KLV	300 ~ 680	345 ~ 460	460 ~ 615	8, 9, 10
SG250K3	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13
SG250KLV	300 ~ 680	345 ~ 460	460 ~ 615	8, 9, 10
SG500KTL	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13
SG500K3	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13
SG630KTL	450 ~ 900	515 ~ 610	685 ~ 815	12, 13

用户实际计算方法如下:

- ✧ 串联数最小值 $n1=V1/V_{mp}$, 使用进一法进行取整, $V1$ 为推荐 MPPT 范围的下限值。
- ✧ 串联数最大值 $n2=V2/V_{oc}$, 使用舍去法进行取整, $V2$ 为推荐 U_{oc} 范围的上限值。

其中: V_{mp} 和 V_{oc} 为厂家提供的在 STC 条件下 (STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5) 的数据。

(4) 光伏系统的避雷技术要求

对于光伏系统的避雷设计, 主要考虑直击雷和感应雷的防护:

- 1) 光伏阵列安装在室外, 当雷电发生时可能会受到直击雷的侵入, 直击雷的防护通常都是采用避雷针、避雷带、避雷线、避雷网或金属物件作为接闪器, 将雷电流接收下来, 并通过作引下线的金属导体导引至埋于大地起散流作用的接地装置再泄散入地。
- 2) 感应雷的防护需要考虑太阳能电池板四周铝合金框架与支架应等电位接地, 以及交直流输电线路和逆变器等感应雷的防护, 防护措施可采用防雷保护器。
- 3) 防雷防护国家现在还没有专门针对光伏系统的设计规范, 在项目设计时是要委托专业的设计单位来设计。

2.3 光伏阵列汇流的设计

为了减少直流侧电缆的接线数量, 提高系统的发电效率, 大型的光伏并网发电系统通常需要设计光伏阵列汇流装置, 该装置就是将一定数量的电池串列汇流成 1 路直流输出。

本公司根据光伏系统的特点, 设计了 8 进 1 出和 16 进 1 出光伏阵列汇流箱 (注: PVS-8M 和 PVS-16M 具有监控功能), 该汇流箱的每路电池串列输入回路配置了耐压为

1000V 的高压熔丝和光伏专用防雷器，直流输出配有直流专用断路器，如图 7 所示。

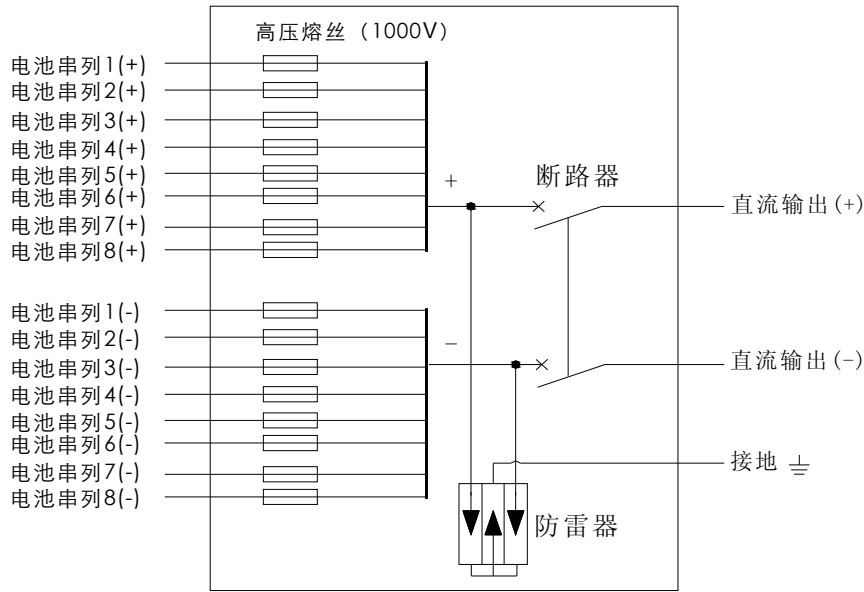


图 7 PVS-8 光伏阵列汇流箱

2.4 接入电网方案

光伏并网发电系统的电网接入有低压接入和高压接入两种方案。

(1) 低压电网接入

并网系统接入三相 400V 或单相 230V 低压配电网，通过交流配电线路给当地负荷供电，剩余的电力馈入公用电网。根据是否允许向公用电网逆向发电来划分，分为可逆流并网系统和不可逆流并网系统。

1) 可逆流并网系统

对于可逆流并网系统，一般发电功率不能超过配电变压器容量的 30%，并需要对原有的计量系统改装为双向表，以便发、用都能计量，如图 7 所示。

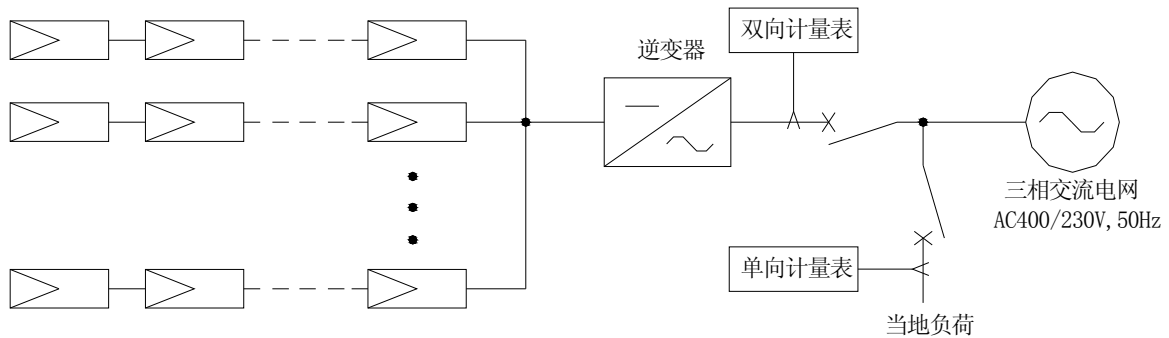


图 7 可逆流低压并网发电系统

2) 不可逆流并网系统

对于不可逆流并网系统，一般有两种解决方案：

- 系统安装逆功率检测装置，与逆变器进行通讯，当检测到有逆流时，逆变器自动控制发电功率，实现最大利用并网发电且不会出现逆流，如图 8 所示。

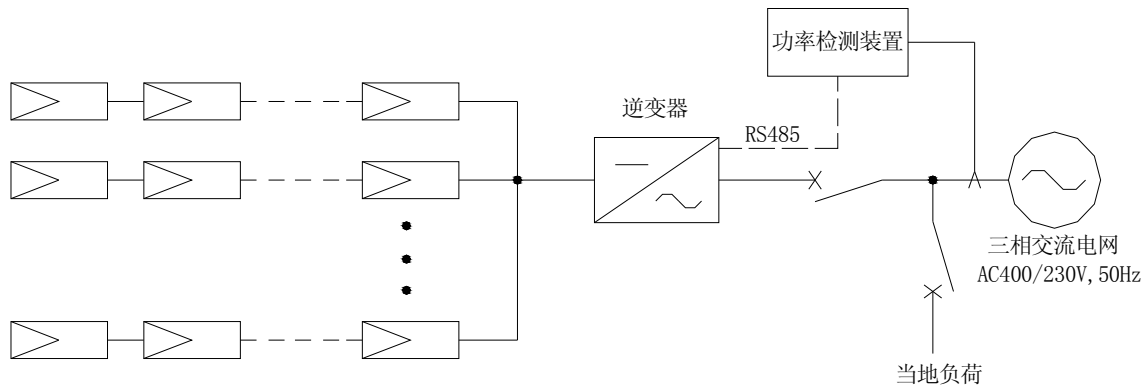


图 8 防逆流并网发电系统

- 采用双向逆变器+蓄电池组，实现可调度式并网发电系统，如图 9 所示。

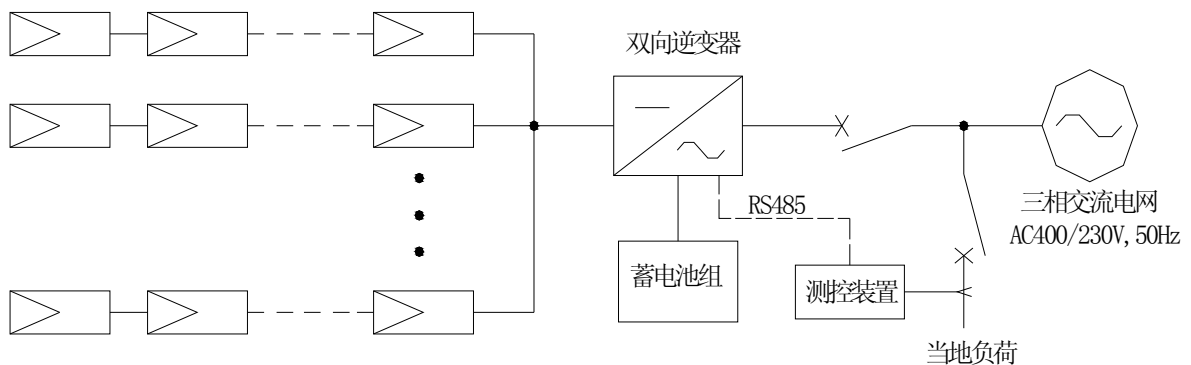


图 9 可调度式并网发电系统

可调度式并网发电系统，配有储能环节（目前一般采用蓄电池组）。光伏阵列经双向逆变器给蓄电池充电，同时并网发电。并网发电功率由测控装置根据当地负荷的实际功率来调整，在光照能量不足时，可由蓄电池提供能量。

(2) 高压电网接入

并网系统通过升压变压器接入 10KV 或 35KV 高压电网，升压并网系统应采用单独的上网变压器，向上级电网输电。

- 10KV 电网接入

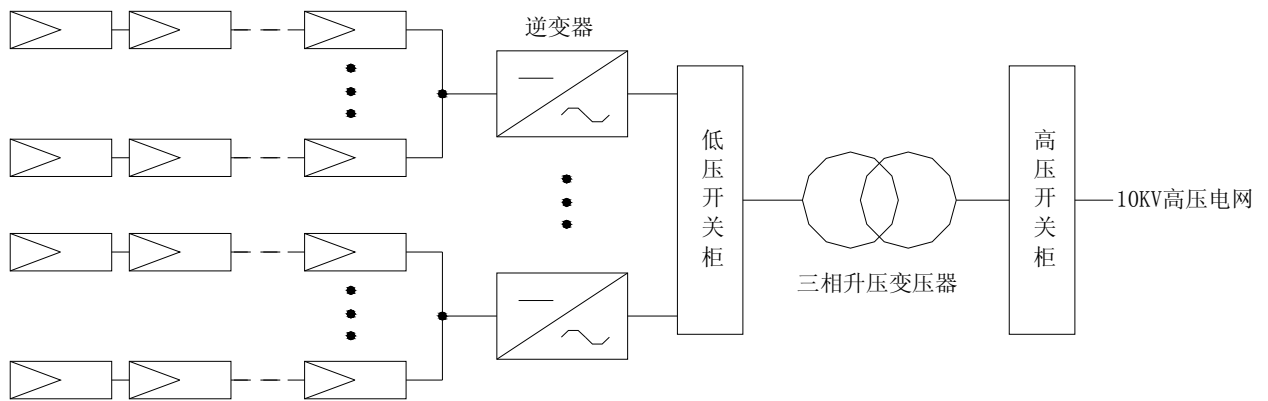


图 10 10KV 高压并网发电系统

● 35KV 电网接入

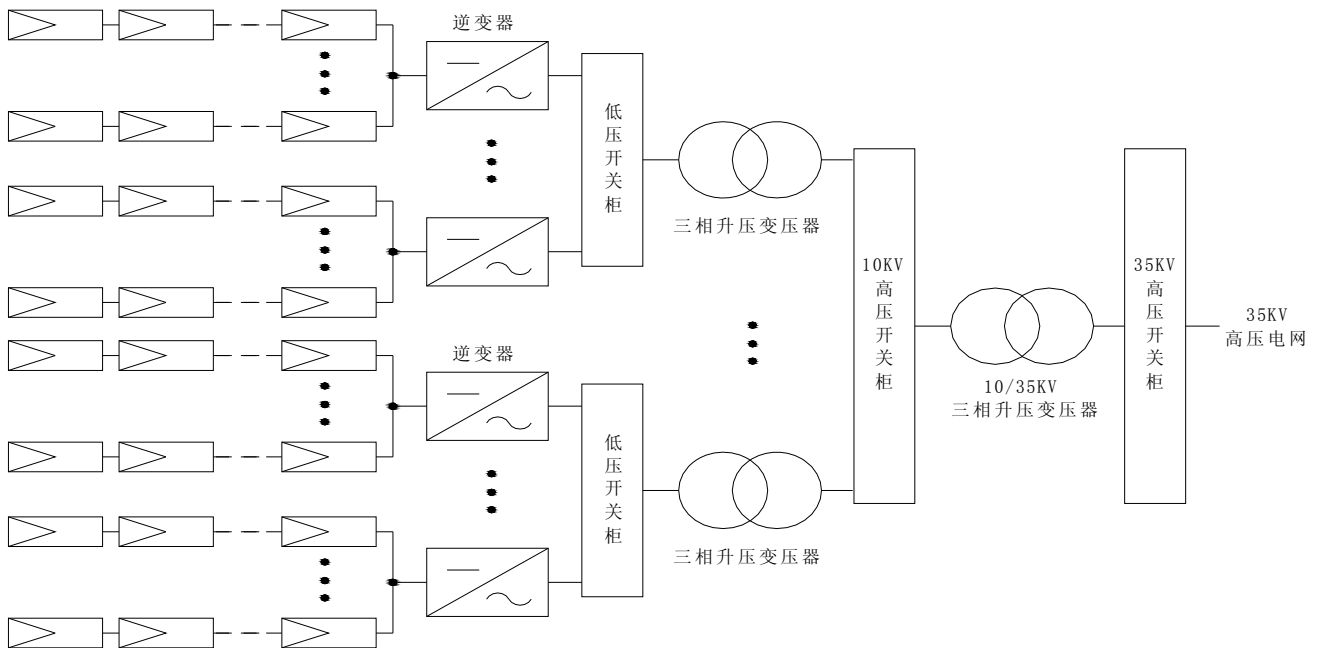


图 11 35KV 高压并网发电系统

高压并网发电系统应由供电部门进行接入系统的设计，高、低压开关柜应设有开关保护、计量和防雷保护装置，实际并网的发电量应在高压侧计量。

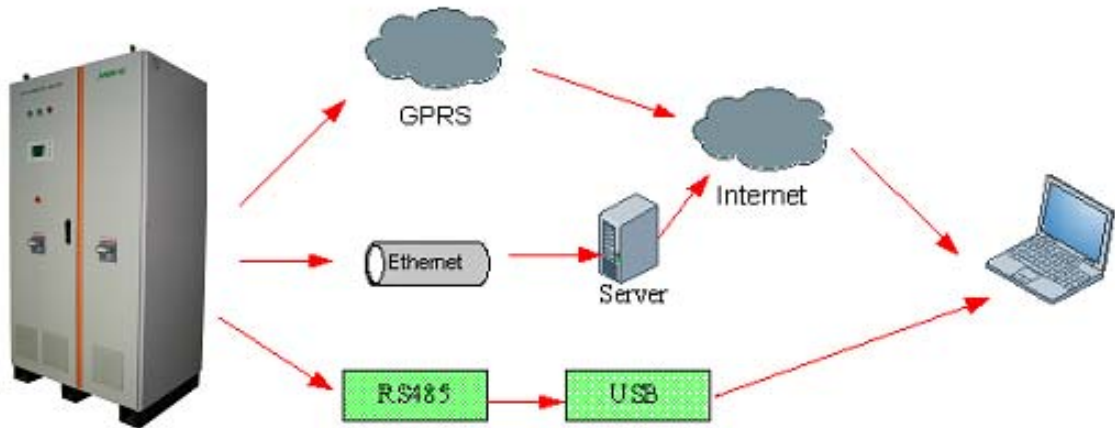
2.5 并网系统的监控通讯方式

目前光伏并网逆变器常见的通讯方式有三种：

- ◇ RS485
- ◇ Ethernet

◇ GPRS

设备通讯原理示意图如下：



采用 RS485/Ethernet/GPRS 实现远程通讯功能，通过上位机监控软件，方便直观地监控当前逆变器的运行数据和工作状态，以及历史数据记录和故障信息，同时可和环境监测仪进行实时通讯，了解现场的日照强度、风速、风向和温度等情况。

2.6 系统的安全性设计

太阳能光电建筑设计时，安全性设计有几点需要注意：

- ◇ 屋顶和建筑作为安装太阳能发电系统的场所，要有荷重（自重、积雪、风压）的承受能力。
- ◇ 阵列的安装考虑到漏雨的问题，确保不给房屋系统造成破坏。
- ◇ 支架等安装材料的耐用性。
- ◇ 太阳能组件到室内的配线性能及保护方法。
- ◇ 施工作业的安全防护。
- ◇ 系统的防雷安全保护措施。

三、逆变控制设备选型

目前，国内的太阳能光电建筑应用系统的规模不一样，从几十千瓦到上兆瓦不等，下表是逆变控制设备的选型方案，供用户选择：

序号	并网发电方式	逆变控制设备							电网接入等级
		汇流箱		交、直流配电装置		逆变器		监控装置	
		规格	数量	规格	数量	规格	数量		
一、系统容量：50KWp									
方案 1	集中并网发电	PVS-8	2 台	50KW 交直流配电柜	1 台	SG50K3	1 台	1 套	0.4KV
方案 2	分布并网发电	-	-	-	-	SG10KTL	5 台	1 套	
方案 3	分布并网发电	-	-	-	-	SG3KTL	16 台	1 套	
二、系统容量：100KWp									
方案 1	集中并网发电	PVS-8	4 台	100KW 交直流配电柜	1 台	SG100K3	1 台	1 套	0.4KV
方案 2	分布并网发电	PVS-8	4 台	100KW 交直流配电柜	1 台	SG50K3	2 台	1 套	
方案 3	分布并网发电	-	-	-	-	SG10KTL	10 台	1 套	
三、系统容量：250KWp									
方案 1	集中并网发电	PVS-8	10 台	250KW 直流配电柜	1 台	SG250K3	1 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				250KW 交流配电柜	1 台				
方案 2	分布并网发电	PVS-8	10 台	250KW 直流配电柜	1 台	SG100K3	2 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				250KW 交流配电柜	1 台	SG50K3	1 台		
方案 3	分布并网发电	PVS-8	10 台	250KW 直流配电柜	1 台	SG50K3	5 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				250KW 交流防雷配电柜	1 台				
四、系统容量：500KWp									
方案 1	集中并网发电	PVS-16	10 台	500KW 直流配电柜	1 台	SG500K3	1 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				500KW 交流配电柜	1 台				
方案 2	分布并网发电	PVS-16	10 台	500KW 直流配电柜	1 台	SG250K3	2 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				500KW 交流配电柜	1 台				

方案 3	分布并网发电	PVS-16	10 台	500KW 直流 配电柜	1 台	SG100K3	5 台	1 套	0.4KV 或 10KV
				500KW 交流 配电柜	1 台				
五、系统容量：1000KWp（后级升压装置含低压交流配电柜）									
方案 1	分布并网发电	PVS-16	20 台	500KW 直流 配电柜	2 台	SG500KTL	2 台	1 套	10KV
方案 2	分布并网发电	PVS-16	20 台	500KW 直流 配电柜	2 台	SG100K3	10 台	1 套	10KV

备注：

- ◇ 上表中，汇流箱的数量是按照单块光伏组件的功率为 190Wp（35V）左右计算的，仅供参考，在实际应用中，可能会有些差异。
- ◇ 对于光伏建筑一体化并网发电系统，经常需要考虑建筑美观因素，导致光伏组件规格和朝向不一致，从而需要配置不同规格的逆变器，针对这种情况，需要综合考虑实际情况，进行系统的优化设计。
- ◇ 对于 10kV 电网接入系统，需另加升压设备。
- ◇ 电网接入系统应由供电部门进行接入系统的设计。

四、国内光伏建筑一体化的应用案例

4.1 上海临港新城兆瓦级光伏电站



系统介绍:

- ◇ 建设时间: 2008 年 9 月
- ◇ 系统容量: 1.2MW_p
- ◇ 安装面积: 约 15000m²
- ◇ 电网接入: 10KV
- ◇ 年发电量: 约 100 万千瓦时

4.2 上海世博会园区中国馆和主题馆MW级光伏并网发电系统



系统介绍:

- ◇ 建设时间: 2009年10月
- ◇ 系统容量: 3MW_p
- ◇ 安装面积: 约30000m²
- ◇ 电网接入: 10KV
- ◇ 年发电量: 约300万千瓦时

4.3 奥运鸟巢 105kW光伏并网电站



系统介绍:

- ◇ 建设时间: 2008年4月
- ◇ 系统容量: 105kWp
- ◇ 安装面积: 约1100m²
- ◇ 电网接入: 400/230V
- ◇ 年发电量: 约12万千瓦时

4.4 上海太阳能工程中心MW级光伏电站



系统介绍:

- ◇ 建设时间: 2009年10月
- ◇ 系统容量: 1MWp
- ◇ 安装面积: 约11000m²
- ◇ 电网接入: 10KV
- ◇ 年发电量: 约100万千瓦时

4.5 上海虹桥枢纽 6.68 兆瓦光伏电站



系统介绍:

- ◇ 建设时间: 2010 年 7 月
- ◇ 系统容量: 6.68MW_p
- ◇ 安装面积: 约 61000m²
- ◇ 电网接入: 10KV
- ◇ 年发电量: 约 630 万千瓦时