



# 光伏屋顶工程施工技术

高佩杰

(甘肃海外工程总公司, 甘肃 730030)

**【摘要】** 采用离网太阳能光伏发电系统供电、柴油发电机组、市电备用方式,系统地解决了建筑物连续供电的问题,通过研究与工程实践,形成了适用于屋顶的集设计、装配、施工和维护于一体的光伏发电系统施工技术。

**【关键词】** 太阳能光伏发电;民用建筑;混凝土连梁底座;支架;组件;屋面排水;管材

**【中图分类号】** TM615

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1671-3702(2012)02-0065-07

## Construction Technology of Solar Cell Roof Project

GAO Pei-jie

(Gansu abroad engineering head company, Gansu 730030, China)

**Abstract:** by use of solar cell generation system away from power network, diesel dynamotor group and power standby mode for the power supply, solved the problems of building continual power supply. The construction technology of roof suitable solar cell power generation system integrated with design, installation, construction and maintenance was formed.

**Keywords:** solar energy generation by solar cell; civil engineering; pedestal of concrete continuous beam; support; subassembly; roof drainage; pip

利用建筑物的平屋面,安装太阳能电池板,光伏发电系统正在逐步成为建筑物供电系统的重要组成。甘肃海外工程总公司负责设计施工总承包的安哥拉罗安达市海滨别墅项目,在建筑物屋顶平屋面设计安装了一套太阳能光伏发电系统,为别墅弱电系统提供电源。

### 1 特点

有效地利用了建筑物的平屋面,安装太阳能电池板,该技术具有安装快速、施工机具简单、仪器仪表配置少等优点。

### 2 适用范围

适用于公共、民用建筑屋顶、阳台等平台,与建筑物相结合,满足安装、清洁、维护和局部更换的要求。

### 3 工艺原理

系统采用离网太阳能光伏发电系统供电、柴油发

电机组、市电备用方式。

其工作原理是利用光伏电池板为发电部件,将太阳辐射能源转换成电能。太阳能组件在太阳光照下,电池吸收光能,电池两端产生电动势,将光能转换成电能。控制器再对所发的电能进行调节和控制,一方面,把调整后的能量送往直流负载或交流负载,另一方面,把多余的能量送往蓄电池储存,同时控制蓄电池充满后不被过充。当所发的电能不能满足负载时,控制器又把蓄电池的电能送往负载。蓄电池所储存的电能接近放完时,为保护蓄电池,控制器控制蓄电池不被过放电。逆变器负责将直流电转换成交流电,供交流负载使用。

正常情况下,系统采用光伏发电系统供电,遇长时间阴雨天气,蓄电池不足以支持设备运行,系统切换为柴油发电机组供电和蓄电池充电,特殊情况当柴油发电机组出现故障时,切换为市电为系统供电和蓄电池充电,以保障设备正常运行。

作者简介:高佩杰,男,工程师,主要从事建筑电气方面的研究。



光伏发电系统框图如图 1 所示。

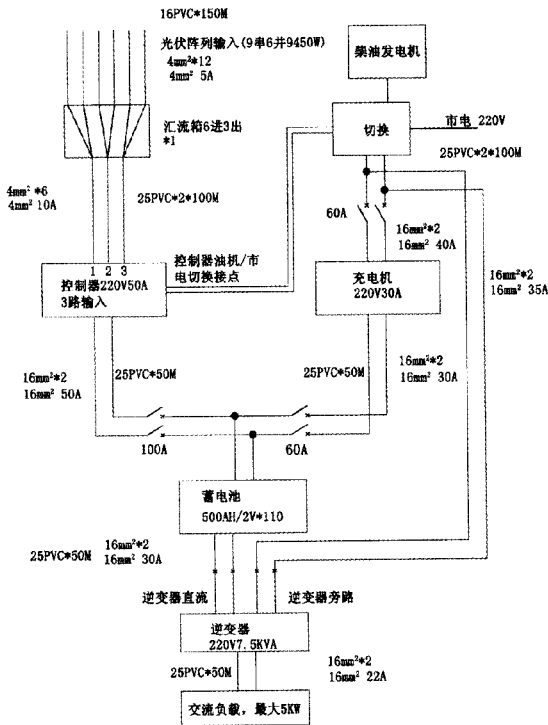


图 1 光伏发电系统框图

#### 4 工艺流程及操作要点(见图 2)

##### 4.1 安装场地现场查勘

海滨别墅园区都为多层建筑,建筑物间距布置合理,每栋建筑均获得了良好的采光。

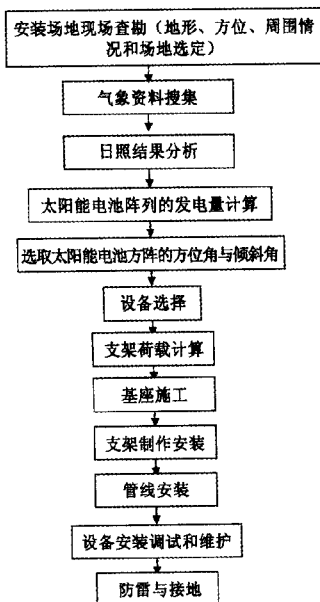


图 2 工艺流程及操作要点

##### 4.2 气象资料搜集

当地位于热带地区,地势较高,日照特别充足,是一个光照条件十分好的城市。

##### 4.3 日照结果分析

根据太阳能平均辐射指标为 5.35kWh/m²/d,在海滨别墅项目中设计安装了光伏发电系统。为弱电系统及弱电机房照明供电。

##### 4.4 太阳能电池阵列的发电量计算

太阳能光伏发电系统设计功率计算方法:

为了使太阳能发电系统能为负荷提供足够的电源,要根据用电器的功率,合理选择部件,由弱电设备功率表算出弱电设备功率约 1800W,考虑开关电源效率及损耗,总负载为 2100W。

本工程负载电压为 220V,功率为 2100W,每天工作 24h,最长连续阴雨天为 1.4d,两个最长连续阴雨天之间的最短间隔天数为 2d,选用太阳能电池采用组件标准功率为 175W,工作电压 35V,工作电流 5A,蓄电池采用铅酸免维护蓄电池,浮充电压为 2V。其水平面的年平均日辐射量为 5350(Wh/m²),可计算出太阳能电池方阵功率及蓄电池容量。

经计算该工程需太阳能电池方阵功率为 9450W,蓄电池容量为 500Ah。系统一共配置太阳能电池板 54 块,设计 7 个太阳能方阵安装于设备房屋顶。

##### 4.5 选取太阳电池方阵的方位角与倾斜角

为了有效地利用太阳能,如何选取太阳电池方阵的方位角与倾斜角非常重要。

###### 1) 方位角

太阳电池方阵的方位角是方阵的垂直面与正北方向的夹角(南半球)。方阵朝向正北(即方阵垂直面与正北的夹角为 0°)时,太阳电池发电量是最大的。要将方位角调整到在一天中负荷的峰值时刻与发电峰值时刻一致时,则

$$\text{方位角} = (\text{一天中负荷的峰值时刻}(24\text{小时制}) - 12) \times 15 + (\text{经度} - 116) = (19 - 12) \times 15 + (11 - 116) \approx 0$$

###### 2) 倾斜角

倾斜角是太阳电池方阵平面与水平地面的夹角,此夹角是方阵一年中发电量为最大时的最佳倾斜角度。一年中的最佳倾斜角与当地的地理纬度有关。和方位角一样,在设计中也要考虑到屋顶的倾斜角及积雪滑落的倾斜角(斜率大于 50%~60%)等方面的限

制条件。

安哥拉首都罗安达位于非洲西海岸，南纬 5~18 度，东经 11~24 度，地处热带地区，利用地区纬度选择方阵倾角。一年中的最佳倾斜角可以参考当地纬度选择太阳能方阵的最佳倾斜角为 10°(屋顶太阳能效果图见图 3)。

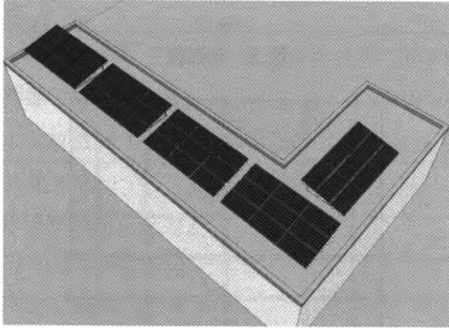


图 3 效果图

#### 4.6 设备选择

由总负载为 2100W 计算得出蓄电池容量 500AH，采用 220V 系统，太阳能方阵六路，每路最大电流 5A。保证蓄电池充满电负载完全由蓄电池供电能供约 31h，即能连续工作一个阴雨天。

主要设备配置有：太阳能电池、控制器、蓄电池、逆变器。主要技术参数如表 1 所示。

#### 4.7 支架荷载计算

按规范要求对作用于组件同一方向上的各种荷载应作最不利组合。

查资料可知：8 级风的风速为：17.2—20.7m/s

对应的基本风压为： $w_p = V^2 / 1600$  (V 为风速)

V 取最大值为：20.7m/s

$$w_p = V^2 / 1600 = 0.2678 \text{ kN/m}^2$$

由于支架系统基座水泥墩与承重梁连为一体，且水泥墩和系统支架自重已达 1.87kN/m<sup>2</sup>，总重量已远远大于水平风压，因此该太阳能发电系统重量可满足抗风及抗拔力要求。

#### 4.8 基座施工

1) 按照太阳能基座的尺寸要求进行轴线定位放线；

2) 设置 200mm×200mm 的钢筋混凝土基础连梁(见图 4)，连梁设 4 根 Φ16 竖向拉筋通长配置，与相应位置女儿墙上

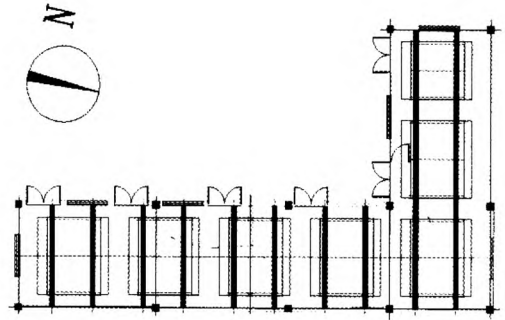


图 4 钢筋混凝土基础连梁图

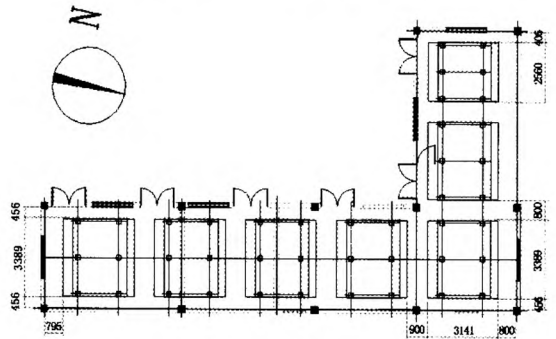


图 5 屋顶布置图

预埋的钢筋绑扎连接，箍筋 φ6@200；绑扎钢筋前，将基础连梁位置处的屋面保护层混凝土进行凿毛处理，目的是为了保证二次浇筑的连梁混凝土和屋面保护层混凝土粘接牢固，但须注意避免破坏屋面防水层。

两个方阵基础间隔 2200mm，保证各个方阵光照充足。方阵到女儿墙边 456mm，便于维护清洁组件。

3) 由于在屋面的层面上进行基础连梁的施工，必须考虑屋面的坡向和排水问题，施工时在连梁底部每

表 1 主要设备及参数

序号	名称	型号	参数	安装位置	数量
1	太阳能组件	175W (1580*808)	尺寸:1580*808 重量:15.4kg 最大功率:175W 最大工作电压:35V 最大工作电流:5A 电池片材质:多晶硅	设备用房屋顶	54
2	太阳能控制器	SD22050	直流额定电压:220V 最大充电电流:50A 最大光伏电池功率:11kW	弱电设备机房	1
3	蓄电池	GFMU-500C	额定工作电压:2V 额定容量:500Ah 使用温度:-15℃~45℃	仓库	110
4	逆变器	SN2207.5 KCS	直流输入:180~300V 输出额定功率:6kW 输出额定电压:AC220V±3% 输出额定频率:50±0.05Hz	弱电设备机房	1

隔 1m 留置排水洞(见图 5)。具体做法是将 100mm 的 PVC 管材截成与基础梁同宽的筒体后,然后沿中心线方向一分为二,将这样类似拱形的片材按照每隔 1m 的要求放在梁底;浇筑完混凝土拆模后就会看到拱形的排水洞。检查每一个排水洞是否畅通,如有垃圾等必须清理干净,保证屋面有雨水时流淌通畅。

4)在浇筑混凝土前应对其平面位置、外形尺寸进行复核,浇筑过程中注意控制其表面标高和平整度,验收标准如下:

轴线位置偏差  $\leq 8\text{mm}$ ;

外形尺寸偏差  $\leq \pm 20\text{mm}$ ;

相邻两道梁上表面标高偏差控制在  $0\sim+10\text{mm}$ ;

平面水平度每米偏差  $\leq 5\text{mm}$ ,全长偏差  $\leq 10\text{mm}$ 。

5)基础连梁拆模后,要及时进行养护,保证混凝土的强度达到 C25 级。待太阳能支座安装固定完毕后,对基础连梁进行抹灰饰面,将太阳能支座及其铁件等包裹在抹灰层内,不使其外露,做到整洁、美观,符合抹灰工程的施工质量要求。

#### 4.9 太阳能电池板支架制作安装(螺栓连接)

##### 4.9.1 支架的制作

系统设计为两种太阳能方阵,一种为 2 排 4 列共 8 块组件,另一种为 2 排 3 列共 6 块组件。一共配置太阳能电池板 54 块,设计 7 个太阳能方阵安装于设备用房屋顶,见屋顶布置。整体支架按照下列分解图纸选材、加工、制作和布置(见图 6~图 8)。

##### 4.9.2 太阳能电池板、支架安装

安装前提前进行支架加工、制作,支架可调整,支架和组件易更换,在屋顶基础连梁上只进行装配作业。

1)按照图纸尺寸,支架最底层采用热镀锌槽钢和膨胀螺栓与钢筋混凝土梁连接,将加工好的槽钢用膨胀螺栓固定在基础连梁上。槽钢应沿水平方向侧立着安装,与混凝土基础固定。安装槽钢时,应用水平尺找平、找正。槽钢安装的水平度,每米长时应小于  $1\text{mm}$ ,全长时应小于  $5\text{mm}$ ,槽钢的对角线误差不大于  $\pm 10\text{mm}$ 。检验槽钢。

2)中间用角钢搭建  $10^\circ$  倾角的支架,加工好的角钢支架按照图纸连接固定在槽钢上。根据图纸把角钢底梁上螺孔对准槽钢上螺孔,并拧上螺母。再根据图纸安装角钢支柱,安装支柱时应注意将支柱表面放在电池板的外侧,并把螺丝拧至六分紧。将前、后支柱放置

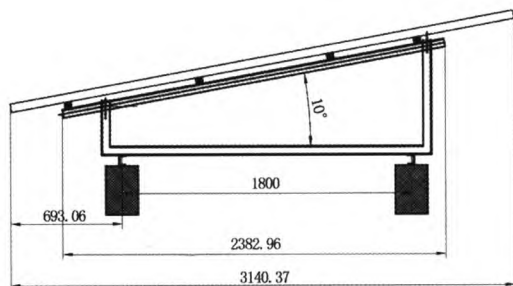


图 6 剖面图

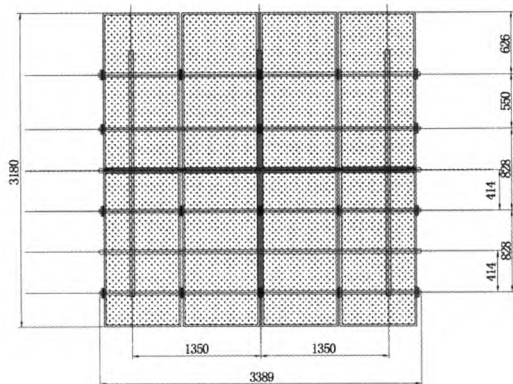


图 7 8 块组件支架俯瞰图

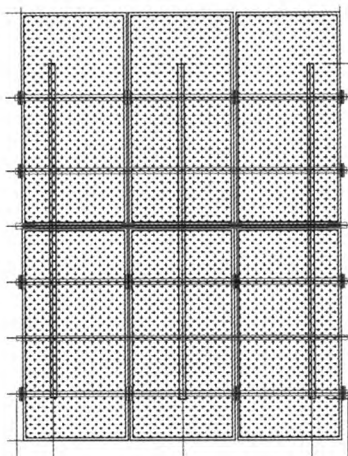


图 8 6 块组件支架俯瞰图

于底横梁上,连接底横梁,并用水平仪将底横梁调平调直,并将底横梁与支柱固定。调平后,再把所有螺丝紧固,紧固螺丝时应先把所有螺丝拧至八分紧后,中间用角钢搭建  $10^\circ$  倾角的支架,再次对支架进行校正。合格后再逐个紧固螺丝。整个支架安装后,应对支架底与混凝土接触面进行水泥浆填灌,使其紧密结合。

3)上层每隔  $400\sim 500\text{mm}$  横向采用 YL-XC-40-1 型铝合金龙骨,配合铝合金扣件将太阳能组件固定在整个支架上。

### ①固定电池板铝合金龙骨安装

a.检查铝合金龙骨的完好性。

b.根据图纸安装固定电池板铝合金龙骨。为了保证支架的可调余量,不得将连接螺栓紧固。

### ②电池板安装面的粗调

a.调整首末两根电池板压块(几字件)的位置并将其紧固。

b.将放线绳系于首末两根电池板压块(几字件)的上下两端,并将其绷紧。

c.以放线绳为基准分别调整其余电池板压块(几字件),使其在一个平面内。

d.预紧固所有螺栓。

### ③电池板进场前进行检验。

### ④太阳能电池板安装

a.电池板安装过程中,应轻搬轻放,不得有强烈的冲击和振动。采用纵置型安装,铝边框安装固定太阳能电池板。

b.电池板的安装应自下而上,逐块安装,螺杆的安装方向为自内向外,并紧固电池板螺栓。避免破坏表面的保护玻璃;电池板的联接螺栓应有弹簧垫圈和平垫圈,紧固后应将螺栓露出部分及螺母涂刷油漆,做防松处理。并且在各项安装结束后进行补漆;电池板安装横平竖直,同方阵内的电池板间距保持一致;注意电池板的接线盒的方向。

### ⑤电池板调平

a.将两根放线绳分别系于电池板方阵的上下两端,并将其绷紧。

b.以放线绳为基准分别调整其余电池板,使其在一个平面内。

c.紧固所有螺栓。

太阳能电池组件、支架安装在基础连梁上的图片(见图9)。

## 4.10 管线安装

由于太阳能系统安装时,屋顶已经浇筑完毕,整个系统的管线紧贴太阳能支架和墙体安装。保护管采用阻燃PVC管,电缆为BVR型

整套太阳能系统电压设计为220V,太阳能电池板采用9串6并设计,一共54块。

每9块太阳能电池板正负相连,串联为一组,接入光伏阵列防雷汇流箱(PV1+,PV1-)...(PV6+,PV6-)。



图9 电池组件、底座和支架

9块太阳能电池板串联电压高达300V以上,在施工中,每个串列留一块太阳能电池板不接入串列,防止操作不当,危害人身安全及损坏设备。等到串列全部接入光伏阵列防雷汇流箱后再接入最后留下的电池板。

光伏阵列防雷汇流箱输出端(S1+,S1-)...(S3+,S3-)通过4mm<sup>2</sup>线缆与室内太阳能充放电控制器输入端(S1+,S1-)...(S3+,S3-)连接。

其他线缆按照图纸进行布线,在布线过程中,保证所有控制开关处于断开状态。使用万用表及摇表等设备检查线路及绝缘是否正常。

## 4.11 设备安装调式和维护

### 1)太阳能方阵开路电压的测试

用万用表测试光伏阵列防雷汇流箱(PV1+,PV1-)...(PV6+,PV6-)6组端子的电压,每组太阳能电池板的最高开路电压为396V,合理选择万用表的档位。实际电压会因为日照强度不同而有所区别。三组电压测试正常后闭合三组空气开关。

### 2)控制器通电测试

用万用表测量墙面控制箱里的控制器电池空气开关上端(连接蓄电池)电压。电压等于110个单体蓄电池的总电压表示正常。闭合控制器电池空气开关,太阳能充放电控制器自检开机,检查控制器各项参数是否正常。

用万用表测试太阳能充放电控制器(S1+,S1-)...(S3+,S3-)3组端子的电压,每组太阳能电池板的最高开路电压为396V,合理选择万用表的档位。实际电压会因为日照强度不同而有所区别。电压测试合格后,闭合太阳能控制器太阳能输入端3组空气开关,太阳能电池板开始给蓄电池充电,检查各项充电参数是否正常。

### 3)逆变器通电测试

闭合控制箱内的逆变直流空气开关,逆变器自检

开机,检查逆变器各项参数是否正常,用万用表测试逆变器输出是否合格(220V±10%)。

用万用表测量墙面控制箱里的逆变器旁路空气开关上端(连接市电或发电机)电压,旁路电压正常(220V±10%),闭合逆变器旁路空气开关,对逆变器进行逆变电压与旁路电压的切换测试。

#### 4)负载送电

逆变器测试合格后,闭合控制箱内的逆变器输出空气开关,给负载送电。负载通电工作正常,系统调试完毕,进行48小时的系统试运行。无故障后,可以无人值守,交付使用。

#### 5)系统总体维护

编制系统使用维护手册,指导系统设备维护。

### 4.12 防雷与接地

#### 1)系统的防雷

防雷分为对直击雷的防护和对感应雷的防护。

直击雷的防护:

太阳能方阵防雷

太阳能方阵按照第三类防雷建筑物进行防雷,在屋顶女儿墙设避雷带,采用Φ10镀锌圆钢在屋面敷设不大于20m×20m或24m×16m的网格防直击雷(当太阳能电池板安装在独立建筑屋顶,高出避雷带时加装避雷针)。

感应雷的防护:

直流侧的防雷

设置光伏阵列防雷汇流箱。

交流侧的防雷

交流侧的防雷主要加于交流侧的配电箱内。

#### 2)保护接地

将太阳能电池组件与支撑结构接地,铝边框太阳能组件采取每路组件边框相连接进行接地;对于逆变、配电设备,做到机壳完全可靠接地,并且保证接地线不小于4mm<sup>2</sup>。

利用建筑物基础主筋连接作为接地体,接地电阻值不大于1欧姆。设置防雷接地测试口,由建筑物接地极引出预留的40mm×4mm镀锌扁钢,当实测接地电阻值满足不了时增设人工接地极。

### 5 质量控制

5.1 选择国内有资质的专业公司生产的太阳能设备及其配件。产品有出厂合格证和厂家提供技术文件及使

用说明书。

5.2 依据规范、标准和厂家的技术要求,对太阳能电池组件进行检查和测试。完工后填写太阳能发电系统分项工程检验质量验收报告。

#### 5.2.1 外观检查

#### 5.2.2 依据规范进行电性能测试

a.绝缘性能符合国家规范规定(GB/T 9535—1998)

b.组件额定电压下的额定输出功率符合国家规范规定(GB/T 6495.3—1996)

#### 5.2.3 环境试验要求符合(GB/T 19064—2003)

5.3 光伏发电系统设计、制造、安装、测试参照以下国家标准:

a.GB/T 20046—2006/IEC 61727:2004 光伏(PV)系统电网接口特性

b.GB/Z 19964—2005 光伏电站接入电力系统技术规定。

c.GB/T 191—2008 包装存储图示标志。

d.GB/T 19939—2005 光伏系统并网技术要求。

e.GB4208—2008/IEC 60529:2001 外壳防护等级(IP代码)

f.GB/T 14549—1993 电能质量 公用电网谐波

g.GB/T 9535—1998/IEC1215:1933 地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型

h.GB/T4797.1—2005 电工电子产品自然环境条件 温度和湿度

i.GB/T 19064—2003 家用太阳能光伏电源系统技术条件和试验方法

### 5.4 质量保证措施

#### 5.4.1 质量保证体系

建立完善的质量保证体系,依据公司的质量方针制定本工程的质量目标。

### 6 安全措施

遵循“安全第一,预防为主”的指导方针,成立了安全生产领导小组,编制安全应急预案,建立了安全保证

表2 弱电设备负荷供应方式年耗能估算

项目	设备功率(kW)	日耗能标准(kWh)	耗能(kWh/年)	
			光伏发电	城市供电(柴油发电)
弱电设备	2.1	50.4	低	18396
合计		50.4	低	18396

表 3 9450Wp 系统(5kW 系统)

序号	名称	型号	数量	单位	单价	总价	备注
1	光伏组件	175W(1580*808)	54	块	2800	151200	
2	控制器	220V50A	1	台	13600	13600	
3	蓄电池	500AH/2V	110	块	825	90750	
4	逆变器	220V7.5kVA	1	台	17000	17000	
5	汇流箱	6 进 3 出	1	台	2500	2500	
6	组件支架	3*3	1	套	28350	28350	
7	充电机	KZA 30A/220V	1	套	8700	8700	
总计						312100	包含线缆、配件及辅材、基础、人工费

体系和安全施工技术措施。

### 7 环保措施

按照公司 ISO14001 环境体系的要求,制定环保措施,保护建设工地的生态环境。

### 8 效益分析

#### 8.1 经济效益计算分析

小区弱电设备功率 2100W,按规定计算得出年能耗估算比较表(见表 2)。

安哥拉公共用电价格为 5.28 元 /kW h;弱电供电设备(柴油发电机组)按当地市场价 4.5 万元;供电设备系统运行和维护费 97130 元(不考虑价格变化)。

太阳能光伏发电系统的主要设备单晶硅电池方阵的使用寿命,按照平均 20 年计算,系统总造价如表 3 所示。

以 20 年为一个周期进行比较。可得出不同弱电系统负荷供应方式的经济效益比(见表 4)。

由上表的计算结果可知:方式 1 比方式 2 在 20 年

表 4 不同供电系统负荷供应方式的经济效益比

项 目	方式 1 光伏发电系统	方式 2 市政供电(柴油发电)
装置寿命(年)	20	20
设备总投资(万元)	20	4.5
年运行费用(万元)	0.5	9.713
20 年总成本(万元)	32	200

内可节省成 168 万元。可见,住宅小区中的弱电设备运用了太阳能光伏公共照明技术后,将会产生巨大的经济效益和社会效益。

### 9 结 论

本工程有效地利用了建筑物的平屋面,安装太阳能电池板;在施工方面,采用混凝土基础连梁等技术。采用离网太阳能光伏发电系统供电、柴油发电机组、市电备用方式,系统地解决了建筑物连续供电的问题。已形成了适用于屋顶的集设计、装配、施工和维护于一体光伏发电系统施工技术。

## 智能照明系统应用于绿色楼宇前景可期

当节能降耗成为关系到国际市场竞争能力、资源保护和环境保护等社会经济可持续发展的重大问题时,大力推广“绿色楼宇”的建设和改造也就成为必然。在“绿色楼宇”建设过程中,采用智能照明控制系统带来的效果非常显著。绿色照明的应用包含对

光源、电气附件、灯具、配线器材以及调光和控光器件等的合理采用。例如,充分利用自然光、采用高效节能的电气附件(如用节能电感镇流器和电子镇流器取代传统的高能耗电感镇流器)、采用各种节能的控制设备或器件、采用智能化的照明控制系统等。

# 光伏屋顶工程施工技术

作者: [高佩杰, GAO Pei-jie](#)  
作者单位: [甘肃海外工程总公司, 甘肃, 730030](#)  
刊名: [工程质量A版](#)  
英文刊名: [Construction Quality](#)  
年, 卷(期): 2012, 30 (2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_gczl201202016.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gczl201202016.aspx)