

基于 2017 中国国际太阳能  
十项全能竞赛的光伏系统设计  
Photovoltaic System Scheme for  
2017 Solar Decathlon China



课程老师 翟晓强

学生 刘子屹

学号 5140219070

专业 新能源科学与工程

日期 2016.12.3

# 基于 2017 中国国际太阳能十项全能竞赛的光伏系统设计

## Photovoltaic System Scheme for 2017 Solar Decathlon China

### 【摘要】

基于上海交通大学 UIUC 队参加 2017 中国国际太阳能十项全能竞赛的建筑设计模型，利用 PVsyst 软件模拟及查阅相关资料，选定所需产品型号、设计光伏阵列、分析发电数据等，反复优化设计，得到理想的光伏系统设计方案，满足建筑的能耗需求，提高能源绩效。

### 【关键词】

2017 中国国际太阳能十项全能竞赛

光伏系统

PVsyst 软件

上海交通大学 UIUC 队

### 【abstract】

Based on the architectural model of Team SJTUIUC for 2017 Solar Decathlon China, the study used simulation software-PVsyst to develop a photovoltaic system scheme including the product model, module layout, system output energy, ect. After many times of optimization design, the scheme can meet the energy need of the whole building and improve energy performance.

### 【key words】

2017 Solar Decathlon China

Photovoltaic System

PVsyst

Team SJTUIUC

## 【项目背景介绍】

中国国际太阳能十项全能竞赛（SDC 竞赛）是由中国国家能源局和美国能源部主办，中国产业海外发展协会承办，以全球高校为参赛单位的绿色能源建筑科技竞赛，竞赛借助世界顶尖研发、设计团队的技术与创意，将清洁能源、节能环保与建筑设计以一体化的新方式紧密结合创造一个功能完善、舒适宜居、具有可持续性的居住空间。

大赛要求在竞赛期间每支参赛队建造一栋地面投影面积 120–200 平米的双层太阳能住宅，供单一家庭使用。每个参赛房屋须以永久使用为设计目标，并完全由太阳能提供满足日常生活所需的能源。房屋须配备电视、冰箱、烹调灶具、洗碗机、洗衣机和计算机等日常家用电器及家具等生活设施，并配备家用电动汽车与配套充电装置。竞赛将全面考核每个参赛作品的成本可行性、节能、建筑物理环境调控及能源自给能力，通过十个单项评比确定最终排名。<sup>1</sup>

本文作者为上海交通大学 UIUC 参赛代表队能源系统部成员，基于赛事要求和赛队建筑模型，基于 PVsyst V6.06 软件设计相应光伏系统，从而满足建筑整体的能源需求。

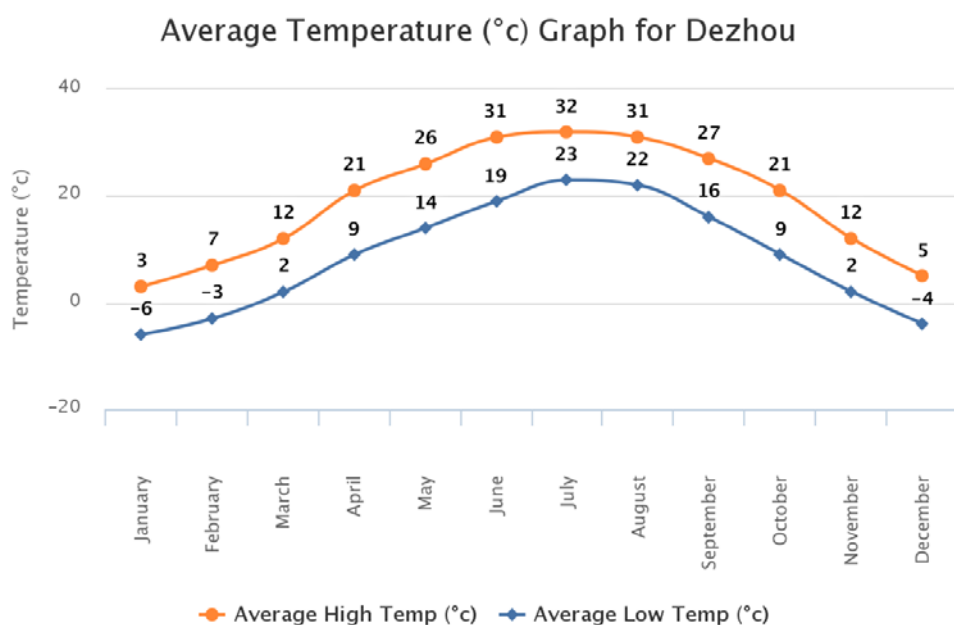
## 【地理位置和气候条件】

举办城市：中国山东德州

地理位置：东经 115° 45′ —117° 36′ 、北纬 36° 24′ 25″ —38° 0′ 32″

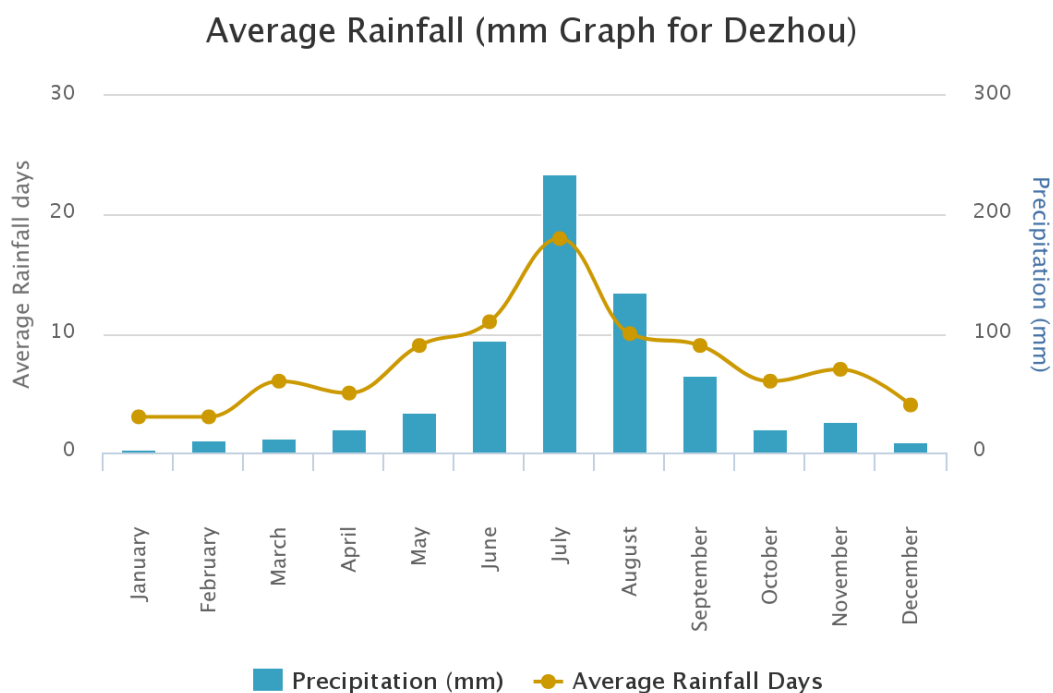
基本气候信息：典型温带季风气候，光照资源丰富。德州市年平均日照时数 2592 小时，日照率为 60%，太阳总辐射量为 124.8 千卡/平方厘米。

1. 根据中国气象数据网数据库中国地面累年值月值数据集(1981–2010 年) 作图：



<sup>1</sup> 摘自 SDC 2017 官方网站 <http://www.sdchina.org.cn/home/sdchina2017>

图一：德州月平均最高及最低温度曲线

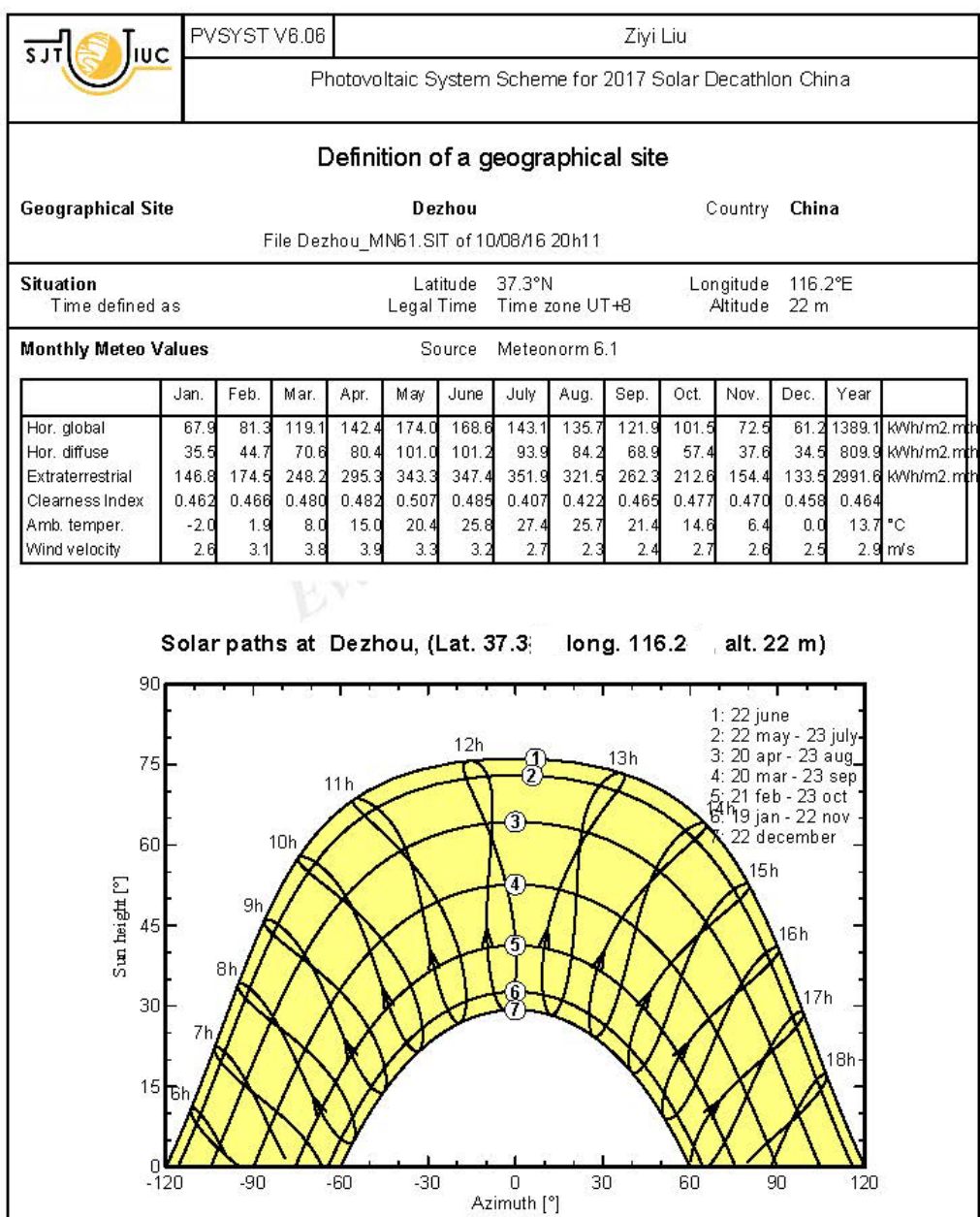


图二：德州月平均降雨量曲线

2. 基于 PVsyst V6.06 集成的 Meteonorm 6.1 气象软件<sup>2</sup>进行分析：

首先确定德州市比赛地区的经纬度、海拔高度、时区，通过软件模拟出太阳路径并得到月平均水平面太阳总辐射、天空辐射、天文辐射、晴空指数、平均环境温度、平均风速等数据。其中太阳路径地平线一栏，由于本次比赛场地为平地，且周围建筑均为比赛两层建筑，因此基本不存在周围障碍物遮挡。因此设置为水平。

<sup>2</sup> PVsyst V6.06 提供两种数据服务：Meteonorm 6.1 和 NASA-SSE（美国国家航空航天局气象数据库），但相比较而言，Meteonorm 6.1 数据更完整、准确。



图三：PVsyst 模拟太阳路径及辐射数据

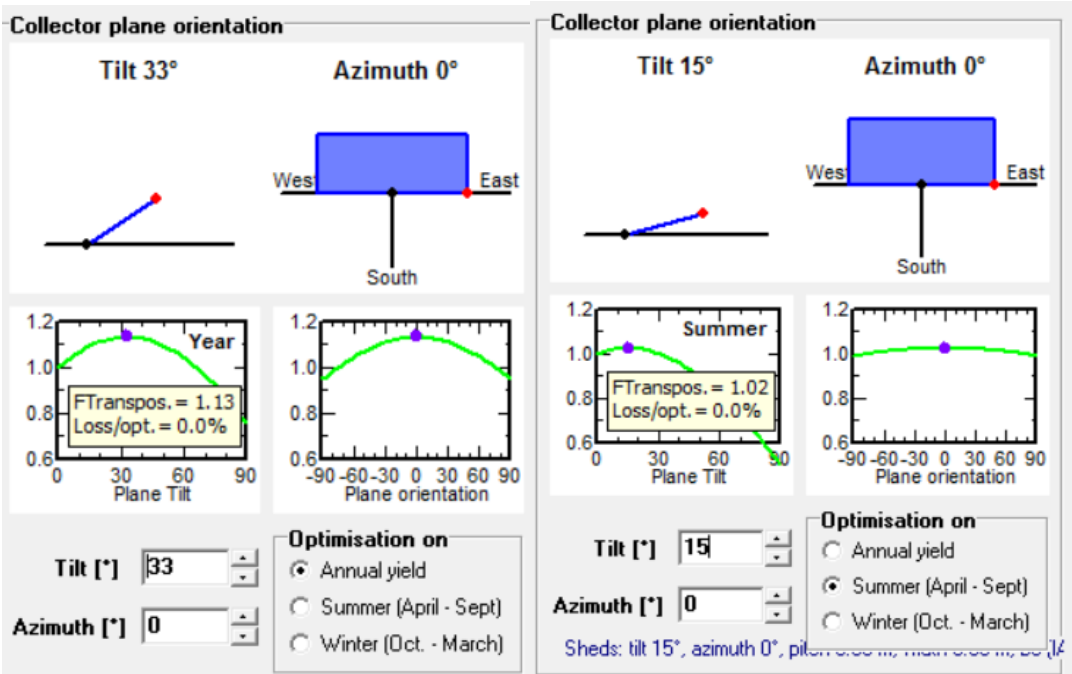
### 【光伏最佳倾角初步模拟】

全年最优设计：倾角为  $33^{\circ}$ <sup>3</sup>，方位角 0 度即正南。

此时为 FTranspos（斜面辐射与水平辐射的比）最大，相对于最优化的损失比为零，即为最佳倾角。同时山东德州位于北半球，最佳方位角即为正南。

<sup>3</sup>软件模拟中由于 FT 精确度仅到小数点后两位，因此从  $30^{\circ}$  --  $36^{\circ}$ ，FT 数据基本没有变化，且损失比为 0，通过观测曲线极值取  $33^{\circ}$  作为最优值。

夏季最优设计：倾角为  $15^{\circ}$ <sup>4</sup>，方位角 0 度即正南  
由于该项目主要为比赛用途，比赛时间为 2017 年 7、8 月，正值夏季，故进行夏季最优设计分析以达到最佳的赛事评测效果。



图四：光伏最佳倾角模拟（左为全年最优，右为夏季最优）

同理，进行冬季最优模拟得到最佳倾角为  $52^{\circ}$ 。  
显然，倾角可依季节调节或者可跟踪的光伏板是效率最高的设计，但综合成本和复杂度考虑，本次设计选择固定倾角安装方式，且比赛目的是建造一所永久性建筑，因此选取全年最优倾角  $33^{\circ}$  进行模拟分析。

【建筑模型及图纸展示】

经过多次的修改推敲与完善，最终本次比赛建筑模型及图纸如下：

<sup>4</sup>从  $9^{\circ}$  —  $21^{\circ}$ ，FT 数据基本没有变化，且损失比为 0，通过观测曲线极值取  $15^{\circ}$ ，作为最优值。



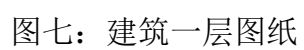
**The V-bnb House**  
For Villagers, For Visiting, For Vocation

图五：建筑全景渲染图



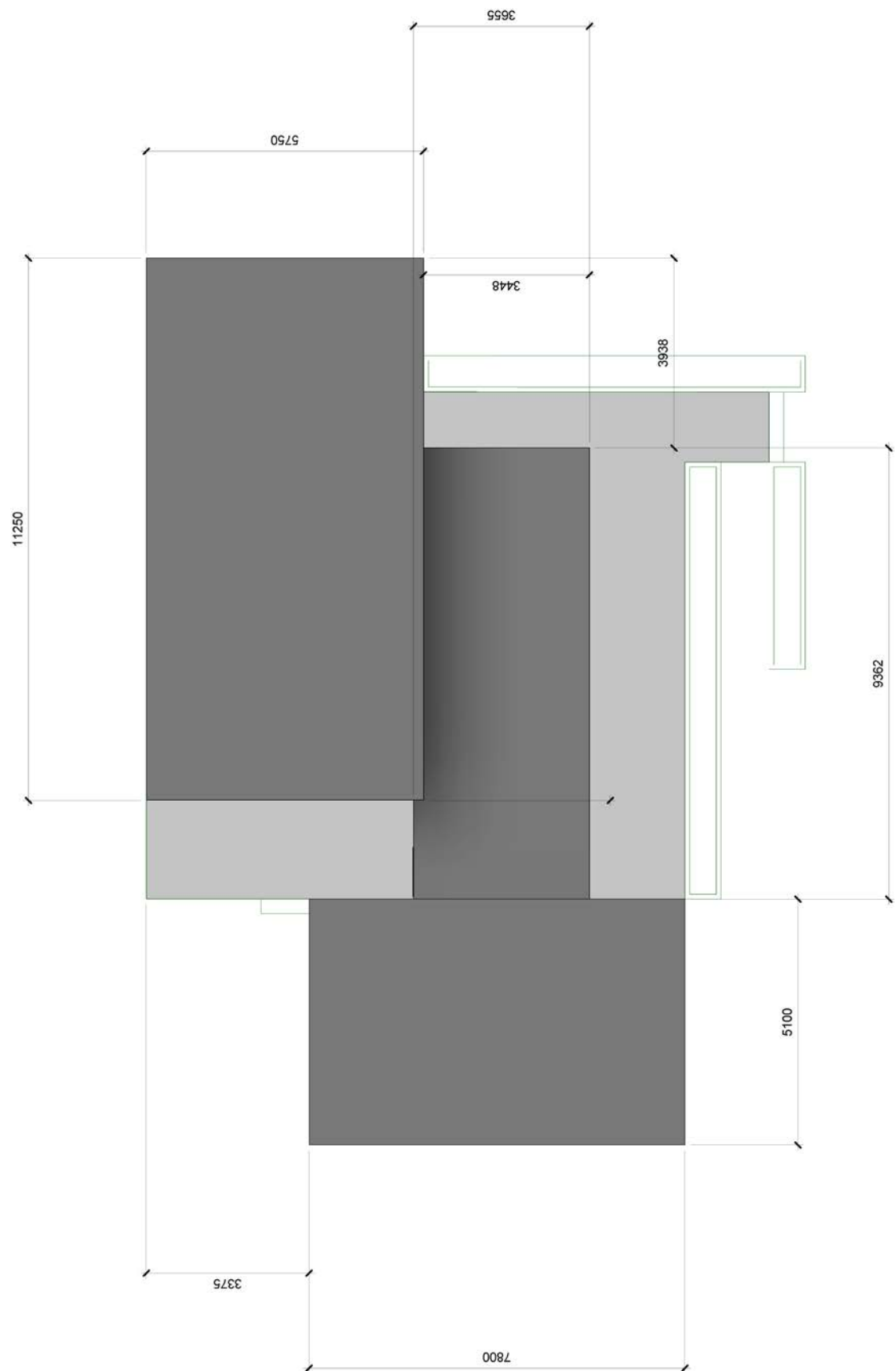
图六：建筑模型轴测图











图九：建筑屋顶俯视图及尺寸

需要提及的一点：在目前的建筑模型中尚未构件完成位于西北角的车库，暂定车库顶棚尺寸为 7.15m（东西向）×3.375m（南北向），但这部分屋顶同样会放置光伏板，后续设计中会提及。

【建筑用电负荷及能耗分析】

根据 GB50052-2009 供配电系统设计规范, GB50034-2013 建筑照明设计标准:

Discription	Calculation	VALUE(VA)	h/day	Energy (kW • h)		
House Lighting	8*11+3*30W	178	12	2.136		
Fan	5*50W	250	4	1		
Refrigerator	1*360W	360	2	0.72		
Microwave	1*700W	700	1	0.7		
Stove/Oven	1*3000W	3000	1	3		
Dish Washer	1*2300W	2300	0.5	1.15		
R.O. (water purifier)100L	1*100W	100	1	0.1		
Rice Cooker	1*450W	450	1	0.45		
Induction Cooker/heater	1*1300W	1300	2	2.6		
T.V.	3*150W	150	8	1.2		
Speakers	1*150W	150	1	0.15		
Mini-Split	1*450W	450	1	0.45		
Washing Machine	1*344W	344	1	0.344		
Clothes Dryer	1*1455W	1455	0.5	0.7275		
Hair Dryer	2*1100W	2200	1	2.2		
Desktop computer	1*47W	47	24	1.128		
Electric Vehicle Port	1*3300W	3300	1	3.3		
ERV	1*150W	150	2	0.3		
Heat Pump Water Heater	1*4500W	4500	1	4.5		
HVAC	1*3300W	3300	9	29.7		
BATTERY	1*5000W	5000	1	5		
TOTAL LOAD		29506	夏、冬	60.8555		
REST*60%		17704	春、秋	31.1555		
TOTAL CURRENT		80				
MAIN SEVRVICE PANEL BREAKER		100				

初步预测夏季、冬季因有制冷或者供暖需求，每天能耗较高约为 60.86 kW • h，而春季、秋季能耗较低约为 31.16 kW • h。

【产品选取】

由于比赛的特殊性质，资金有限，产品的选取必须考虑合作赞助商的意向。根据目前的洽谈结果，上海交通大学 UIUC 代表队已和晶科能源、沃太能源、岩芯电子等公司达成合作协议。据此完成光伏系统相关产品的选取。

- 太阳能电池板的选取

JINKO 晶科能源

Eagle PERC 单晶硅太阳能组件，型号：JKM295M

该型号太阳能电池板采用背钝化（PERC）电池技术，60 片单晶组件转换效率最至 18.33%，且电势诱导衰减（PID）现象几率降至最小，是理想的产品类型。

关键参数：

结构：

电池片类型	单晶硅 PERC	156×156mm（6 英寸）
电池片数目	60（6×10）	
组件尺寸	1650×992×40mm	（65.00×39.05×1.57 英寸）
组件重量	19.0 千克（41.9 磅）	

电性能：	295Wp	
	STC	NOCT
Pmax	295Wp	220Wp
V_MP	32.4V	30.4V
Imp	9.11A	7.24A
V_OC	39.7V	36.8V
Isc	9.61A	7.89A
%	18.02%	
MAX DC VOLTAGE	1000VDC（IEC）	
TKV_OC	-0.29	%/℃
TKV_MP	0.05%/℃	

光伏板详细描述及参数见附图 1

• 逆变器的选取

Rockcore Electronics 岩芯电子

型号：RSMI-1200 智能微型逆变器

该型号微型逆变器可同时连接 4 块太阳能电池板，具有 4 路独立 MPPT 控制，适用于单相、三相并网发电。其配备的智能监控单元，通过电力线载波方式与微型逆变器实现通讯，最多可以实时监控 90 个微型逆变器连接的每块组件的发电量和工作情况，且留有第三方接口，便于系统整合。岩芯电子同时提供光伏系统监控软件，可以实现多终端监控管理，展示系统运行情况、故障，提供数据分析及解决方案，是理想的产品类型。

同时，微型逆变器相比集中式逆变器相比，其优点是可以对每块组件进行独立的 MPPT 控制，通过对各模块的输出功率进行优化，使得整体的输出功率最大

化；同时实现组件级的智能监控，安全、寿命长，也可以避免集中式逆变器具有的直流高压、弱光效应差、木桶效应等缺点。

关键参数：

建议组件 STC 功率范围	180～320W
最大直流输入电压	55V
直流启动电压	22V
MPPT 电压范围	22V～45V
最大直流输入电流	12A
单路最大输入功率	300W
额定输出功率	1200W
最大输出电流	5.5A
最大输出功率	1250W
最大效率	96%
欧洲效率	95%
MPPT 静态效率	99.50%
MPPT 动态效率	99%
尺寸(长 x 宽 x 高)	285x240x35.5 (mm)
重量	4.2kg
通讯	电力线载波
设计寿命	25 年

可知为实现微型逆变器的最优化功率，所需 4 片光伏板接入。

TOTAL: 60 PV MODULES\*295=17700W

15 MICRO INVERTERS\*1200=18000W

RATIOS: 17700W/18000W=0.983

• 相关配件：

RS-SM-1 智能监控单元

RS-SM 系列智能监控设备

RS-BW T 型电缆

RS-J 电缆连接头

RS-SEAL 电缆尾封

RS-ZJ 屋顶支架

逆变器及相关配件详细描述与参数见附图 2

光伏系统所用电缆型号的计算：

太阳能光伏板：#12 AWG 线径 2.0mm

FOR EACH PV PANEL  $ISC = 9.61\text{ A} \times 1.25 = 12.01\text{ A}$

MIN. WIRE SIZE  $12.01\text{ A} / 0.82 = 14.65\text{ A}$  #12 AWG

微型逆变器：#10AWG 线径 2.8mm

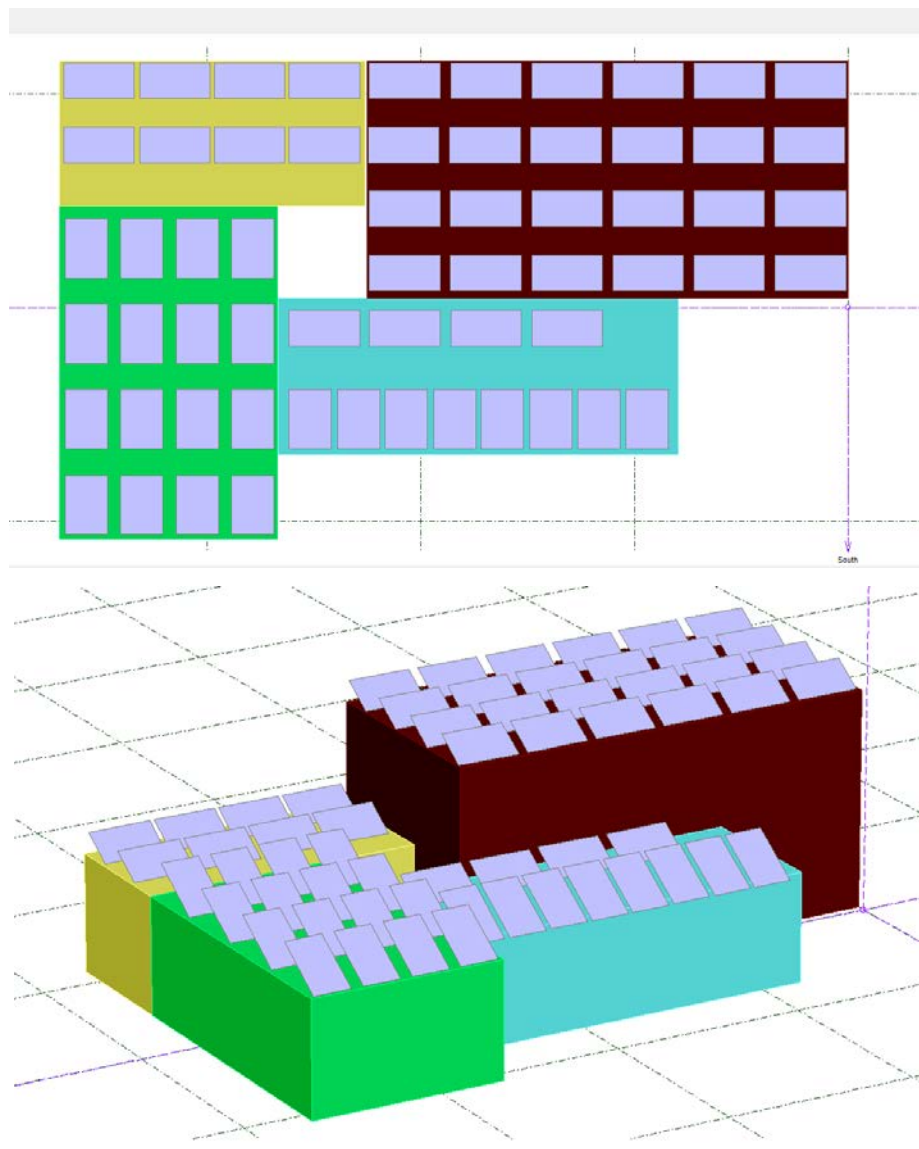
OUTPUT CURRENT OF ONE MICROINVERTER:  $IMAX=5.5\text{ A}$ ;

FOR EACH PHASE  $5.5\text{ A} \times 5 = 27.5\text{ A}$   $27.5\text{ A} \times 1.25 = 34.38\text{ A}$

MIN. WIRE SIZE #10AWG

### 【光伏阵列模型及阴影分析】

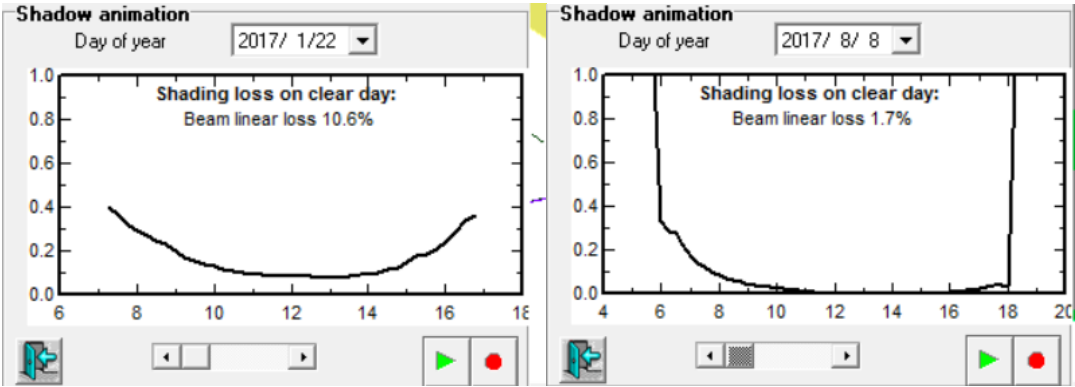
综合屋顶模型、光伏板尺寸、阴影损失等因素，进行光伏阵列模拟。



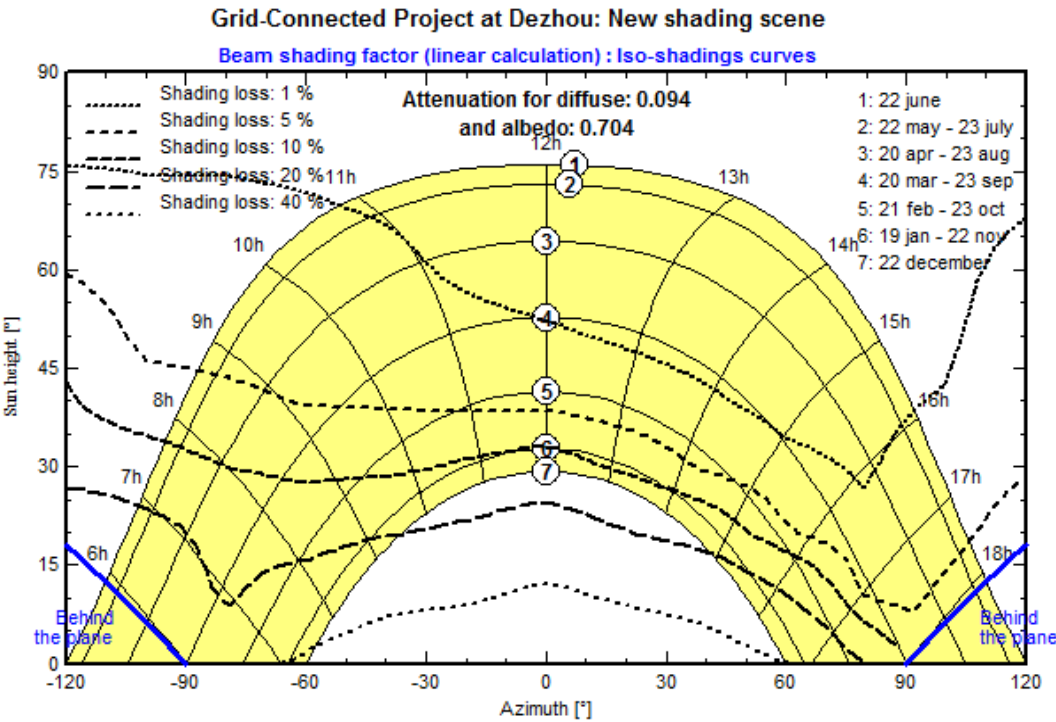
图十：光伏阵列模型俯视图及轴测图

阴影模拟与损失：

根据软件模拟冬季、夏季各典型一天晴空下的阴影对系统的影响，可见夏季影响较小（<2%），而冬季损失相对较多。



图十一：光伏阵列日阴影损失曲线（左冬季，右夏季）



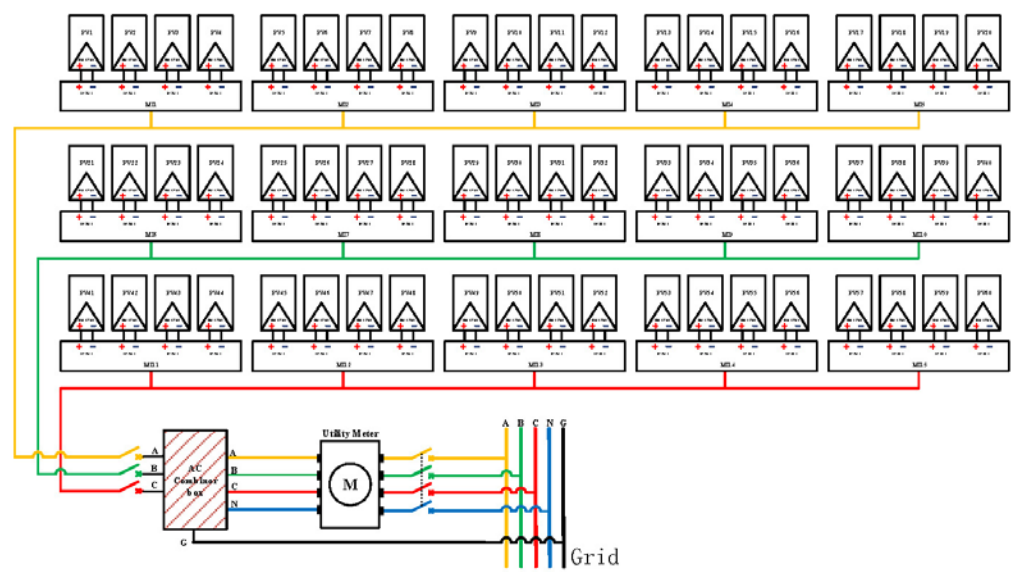
图十二：光伏阵列阴影损失图

【光伏系统三相并网方案】

本光伏系统方案共需 60 块太阳能光伏板，15 个微型逆变器。其中每四块光伏板连接一个微型逆变器为一组，每五组并联接入汇流箱，即每 20 片太阳能光伏



板（包含五个微型逆变器）为一个光伏阵列，作为一相，共三个光伏阵列接入汇流箱，最终实现三相并网。



图十三：光伏系统三相并网图解

【预算分析】

下表是光伏系统初步预算，包括光伏板，逆变器及配件（智能监控单元等），电缆等费用，基本包含了光伏系统的主要元件，总花费约为 101,660 元。

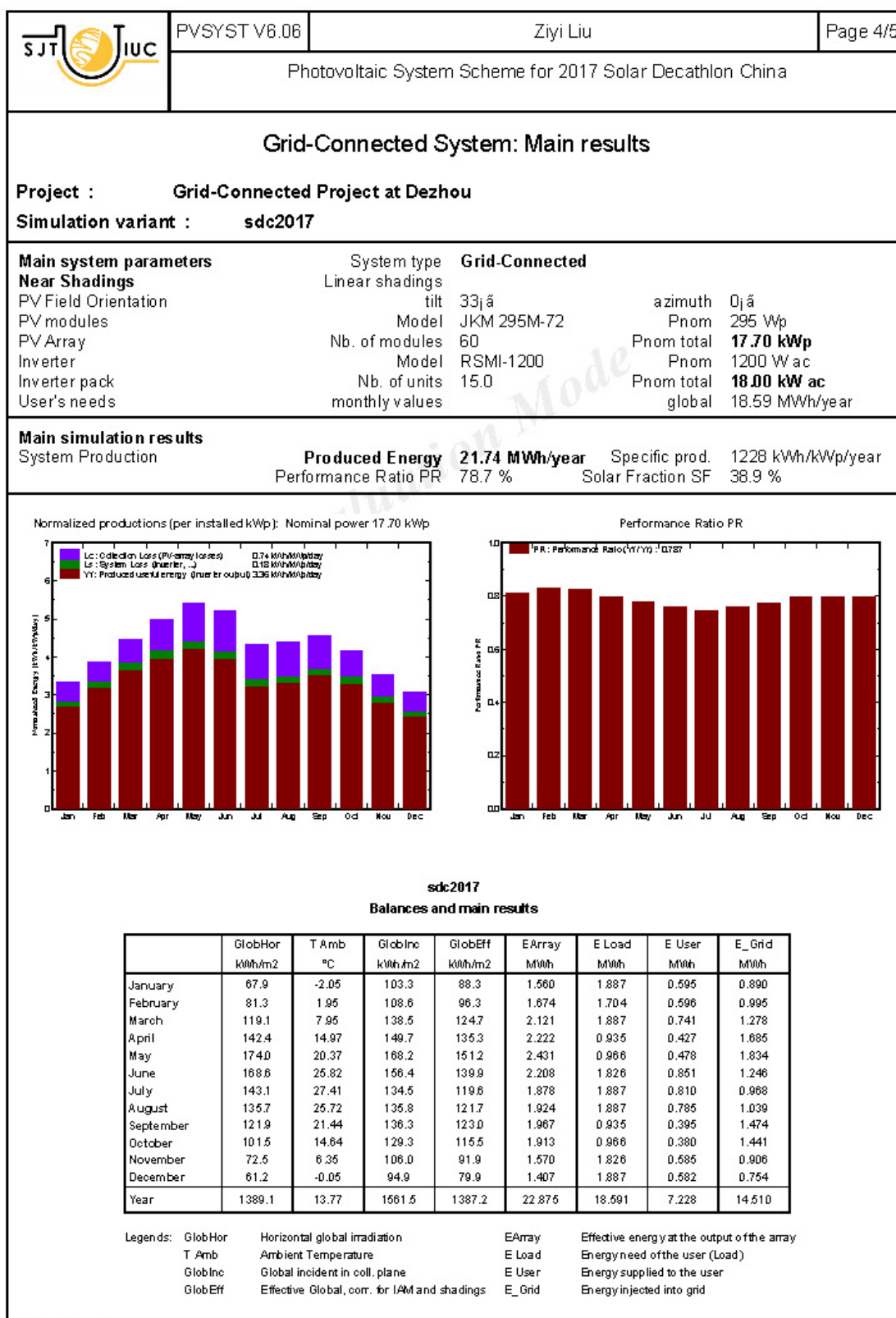
PV System						
COMPONET	MANUFACTURER	MODEL	QTY.	unit price	price	
PV PANEL	Jinko Solor	JKM295M	60	1180	70800	
		STC				
MICRO INVERTER	Rock Eletronics	RSMI-1200	15	1880	28200	
AC COMBINER BOX	Rock Eletronics	RS-SM	1	1000	1000	
PV WIRE	Rock Eletronics	RS-BW	20	8	160	
MONITER	Rock Eletronics	RS-SM-1	1	1500	1500	
SUBTOTAL					101660	

【模拟结果与综合评估】

经过模拟分析，该光伏系统年发电量 22.815MWh，并网电量 14.51MWh，需额外电网供能 7.228MWh。可以观察出受季节因素影响较大，从 3 月到 10 月，光伏系统发电量基本可以满足用户的能源需求，多余的电量仍可以并网。但在 11 月到次年 2 月，发电量明显下降，而此时正是冬季有供暖需求，因此导致能源的

缺口，需要外部电网供能。综合来看，本光伏系统设计方案可以满足比赛时期的建筑能源需求，提高能源绩效，达到了设计目的。

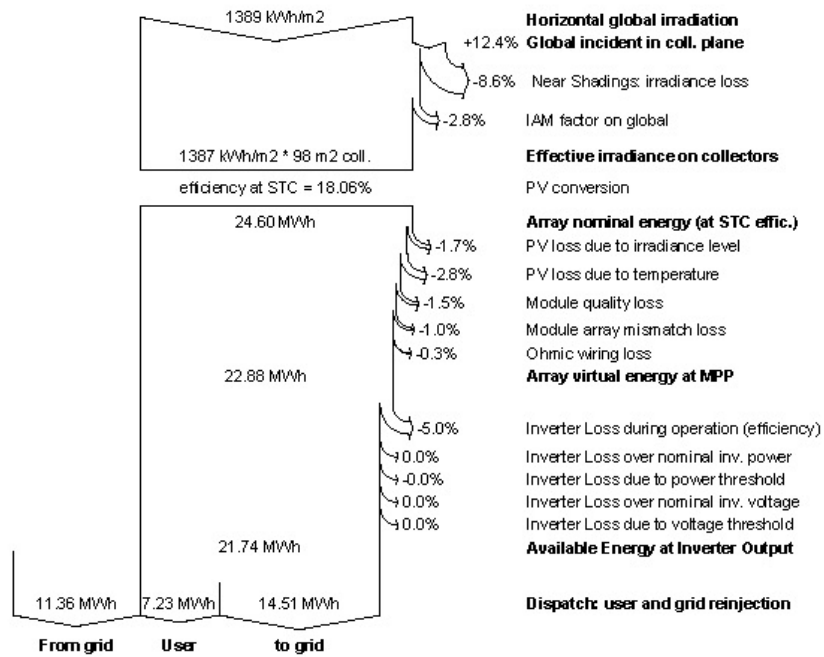
具体报告如下：



PVsynt Balance mode

图十四：关键发电数据和能量平衡结果

# Loss diagram over the whole year



图十五：全年能量损失图解

## 【参考文献】

1. Irwan Y M, Amelia A R, Irwanto M, et al. Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment using PVSYST Software ☆[J]. Energy Procedia, 2015, 79:596-603.
2. Meriem C, Boumdiene B, Asma C, et al. Study of a photovoltaic system connected to the network and simulated by the code PVSYST[C]// North African Workshop on Dielectric Materials for Photovoltaic Systems. 2014:1 - 5.
3. 谈金军. 户用光伏系统设计与实验研究[D]. 浙江大学, 2010.
4. 张帆. 浅议计算机辅助太阳能光伏建筑一体化设计方法[J]. 建筑节能, 2013(9):38-43.
5. 李铁钢. 基于 PVSYST 的家庭独立光伏发电系统设计[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2013, 32(2):15-16.
6. 丁辉, 李慧平, 江国庆. 分布式光伏并网系统设计流程及方法[J]. 智能建筑电气技术, 2014, 8(2):16-19.
7. 方庆山, 谢义. 基于 PVSYST 的光伏系统设计仿真研究[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2014(5):8-11.
8. 杨军杰. 家用分布式光伏系统设计[J]. 城市建设理论研究:电子版, 2015(15).







附图 1：太阳能电池板详细介绍及参数

www.jinkosolar.com

**JinKO** Solar  
Building Your Trust in Solar

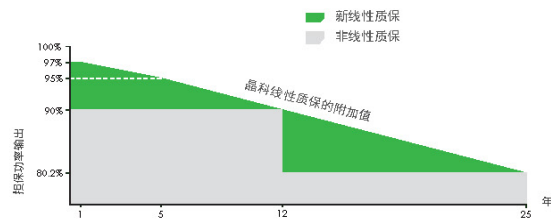


#### 组件特性

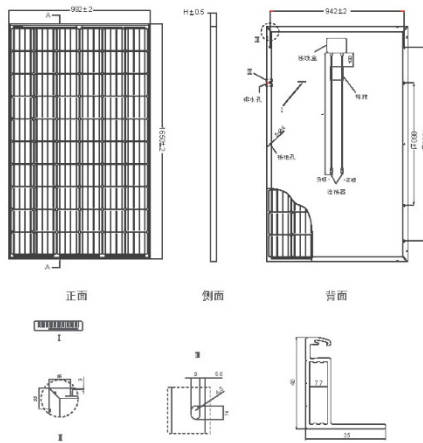
-  **4主栅光伏电池片：**  
更均匀的电流收集能力，降低组件内部电池片的电流热损耗；外形美观，更加适合屋顶安装。
-  **高输出功率：**  
采用了背钝化（PERC）电池技术，60片单晶组件输出功率最高至300W（组件转换效率最高至18.33%）。
-  **抗PID保证：**  
可保证规模化生产的Eagle组件在60°C/85%的条件下，PID（电势诱导衰减）现象造成的衰减几率降至最小。
-  **弱光性能：**  
通过使用出色的玻璃及电池片的表面制绒技术，以达到在弱光环境下获得优异的性能。
-  **载荷能力：**  
整体组件通过2400Pa的风载荷及5400Pa的雪载荷认证。
-  **严酷环境的适应性：**  
TUV北德测试认证通过高盐雾及高氨气腐蚀测试。

#### 业内领先的线性质保

10年材料工艺质保 • 25年线性质保



## 装配图

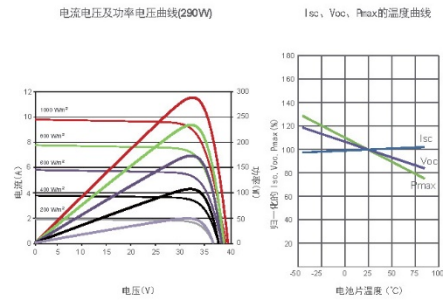


## 包装标准

平板车运输装车量(车型:高低板-车总长17.5米,高板长度3.5~4.5米)

每托尺寸(mm)1700x1100x2255 52块/托, 23-24托/车, 1196-1248块/车

## 曲线图



## 结构参数

电池片类型	单晶硅 PERC 156×156mm (6 英寸)
电池片数目	60 (6×10)
组件尺寸	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 英寸)
组件重量	19.0千克 (41.9 磅)
前盖玻璃	3.2mm, 高透光率、低铁、钢化玻璃
边框	阳极氧化铝合金
接线盒	防护等级IP67
输出导线	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> /UL 12AWG, 导线长度:900mm

## 电性能参数

组件型号	JKM280M		JKM285M		JKM290M		JKM295M		JKM300M	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
最大功率(Pmax)	280Wp	209Wp	285Wp	212Wp	290Wp	216Wp	295Wp	220Wp	300Wp	224Wp
最佳工作电压(Vmp)	31.8V	29.8V	32.0V	30.0V	32.2V	30.2V	32.4V	30.4V	32.6V	30.6V
最佳工作电流(Imp)	8.81A	7.01A	8.91A	7.07A	9.02A	7.15A	9.11A	7.24A	9.21A	7.32A
开路电压(Voc)	39.0V	36.2V	39.3V	36.4V	39.5V	36.6V	39.7V	36.8V	40.1V	37.0V
短路电流(Isc)	9.43A	7.62A	9.50A	7.72A	9.55A	7.81A	9.61A	7.89A	9.72A	8.01A
组件效率(%)	17.11%		17.41%		17.72%		18.02%		18.33%	
工作温度范围(℃)	-40℃~+85℃									
最大系统电压	1000VDC (IEC)									
最大额定熔丝电流	15A									
输出功率公差	0~+3%									
最大功率(Pmax)的温度系数	-0.39%/℃									
开路电压(Voc)的温度系数	-0.29%/℃									
短路电流(Isc)的温度系数	0.05%/℃									
名义电池工作温度(NOCT)	45±2℃									

STC: 光照强度 1000W/m<sup>2</sup>

电池温度: 25°C

大气质量=1.5

NOCT: 光照强度 800W/m<sup>2</sup>

环境温度: 20°C

大气质量=1.5

风速 1m/s

\* 功率测量误差 ±3%

本公司保留最终解释权 CN-MKT-300M\_v1.0\_rev2016

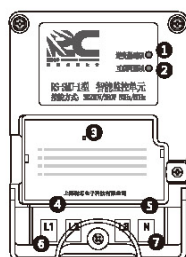




# RS-SM-1 智能监控单元

光 伏 发 电 配 套 好 伴 侣!

- 通过电力线载波方式与微型逆变器通讯
- 每个智能监控单元可以监控90个微型逆变器
- 可以实时监控每块组件的发电量和个工作状况
- 通过485接口可以读取数字电表的数据
- 通讯方式有以太网, WIFI, GPRS
- 留有第三方接口, 便于系统集成
- 安装方便快捷



- 1 逆变器通讯指示灯
- 2 互联网通讯指示灯
- 3 工作电源指示灯
- 4 无线发射天线接口
- 5 网线接口端
- 6 L1, L2, L3, 火线接线端
- 7 N, 零线

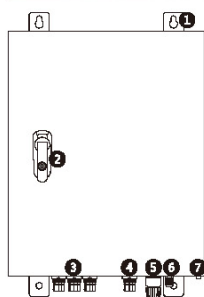
RS-SM-1	
通信接口	190 ~ 320W
电力线载波	OFDM
以太网	Ethernet 10/100 RJ45 Interface
RS485	3 Channel
交流输入	220VAC 50Hz
功耗	典型3W
尺寸(长 × 宽 × 高)	160x110x70(mm)
重量	384g
工作环境温度	-40 ~ +85° C
散热	自然冷却



# RS-SM 系列智能监控设备

光 伏 发 电 配 套 好 伴 侣！

- 太阳能电站实时监控
- 系统交流汇流功能
- 防雷保护
- 过流保护
- 失压欠压保护



- ① 用于安装智能监控设备
- ② 锁住监控设备
- ③ 25A连接头（公头），连接到交流延长线
- ④ 25A连接头（公头），连接到光伏补贴电表的下桩头
- ⑤ 用网线连接到路由器上，实现数据上传远程智能监控
- ⑥ 用RS485线连接到补贴电表上，用于读取电表数据
- ⑦ 连接至等电位连接点

RS-SM				
型号	RS-SM-5	RS-SM-8	RS-SM-15	RS-SM-50
容量	0-5KW	0-8KW	0-15KW	0-50KW
并网方式	单相	单相	三相	三相
通讯方式	以太网, WIFI, GPRS			
功耗	0.5W	1W	1.5W	4W
输入支路数	1	2	3	8
最大馈电数	10	20	30	90
工作环境温度	-20~85℃	-20~85℃	-20~85℃	-20~85℃
外壳防护等级	IP21	IP21	IP21	IP21
长、宽、高	350X450X150	350X450X150	350X450X150	500x527x150
安装方式	挂壁式	挂壁式	挂壁式	挂壁式





RS-J  
电缆接头

- 密封防水性能好，具有IP65密封等级
- 耐高温，最高温度达100℃
- 抗紫外线等级为UL F1
- 阻燃等级高达UL 94V-0
- 防污染能力强



RS-J		
型号	单项	三相
额定电流(A)	25	38
额定电压(V)	250	600
额定脉冲电压(KV)	4	
污染等级	3	
阻燃等级	UL94 V-0	
抗紫外线等级	UL F1	
绝缘部分耐温	100℃	
颜色	黑色	
端子表面处理	镀银	



RS-BW  
T型电缆

- 微型逆变器输出专业电缆
- 将微型逆变器产生的交流电并联输出
- 密封防水性能好，具有IP65密封等级
- 耐高温，最高温度达100℃
- 抗紫外线、阻燃、防污染



RS-J (单相)	
线型	12AWG
额定电流 (A)	25A
额定脉冲电压(KV)	4
污染等级	3
阻燃等级	UL94 V-0
抗紫外线等级	UL F1
绝缘部分耐温	100℃
颜色	黑色



RS-SEAL  
电缆尾封

- 密封防水性能好，具有IP65密封等级
- 耐高温，最高温度达100℃
- 抗紫外线等级为UL F1
- 阻燃等级高达UL 94V-0
- 防污染能力强



RS-SEAL (尾封)	
额定电流(A)	25
额定电压(V)	250
额定脉冲电压(KV)	4
污染等级	3
阻燃等级	UL94 V-0
抗紫外线等级	UL F1
绝缘部分耐温	100℃



RS-ZJ  
屋顶支架

- 适用斜面屋顶和平面屋顶安装光伏系统
- 标准化套件包装
- 每套可安装四块光伏组件或两块光伏组件
- 装机容量大小可任意组合
- 运输方便，安装简单
- 适合各种类型的屋面



RS-ZJ	
安装地点	平面屋顶、斜面屋顶
轨道长度	2100mm或1050mm
安装角度	5~60°
风荷载	80m/s
雪荷载	1.8kN/m²
适用电池板	有框电池板
电池板	竖向或横向
材质	AL6005-T5(表面氧化)

