

# 开发校园分布式光伏发电的可行性分析

韦仕庆

广西自然资源职业技术学院 广西南宁

**【摘要】** 太阳能光伏发电是 21 世纪可持续发展能源战略规划和实现国家“双碳”目标的重要举措，屋顶光伏电站的建设将进一步加强分布式光伏发电的环保示范效应。而各大高校校园布局广建筑体多，建设屋顶光伏电站的条件得天独厚。本文拟通过分析广西太阳能分布特点，结合新建的某学院建设条件，开展校园分布式光伏发电开发的可行性和探讨。

**【关键词】** 开发；校园；分布式光伏发电；可行性

## Feasibility Analysis of Developing Campus Distributed Photovoltaic Power Generation

Shiqing Wei

Guangxi Natural Resources Vocational and Technical College, Nanning, Guangxi

**【Abstract】** Solar photovoltaic power generation is an important measure for the sustainable development of energy strategic planning in the 21st century and the realization of the national "dual carbon" goal. The construction of rooftop photovoltaic power stations will further strengthen the environmental demonstration effect of distributed photovoltaic power generation. The campuses of major colleges and universities are widely distributed and there are many buildings, and the conditions for building rooftop photovoltaic power stations are unique. This paper intends to carry out a feasibility study and discussion on the development of distributed photovoltaic power generation on campus by analyzing the characteristics of solar energy distribution in Guangxi and combining with the construction conditions of a new college.

**【Keywords】** Development; Campus; Distributed photovoltaics; Feasibility

### 1 项目概况

该学院坐落于广西南宁市边郊，地处北回归线以南，介于东经 107°31'~108°06'、北纬 22°17'~22°57'之间，年平均气温 21.7℃，年日照时数 1350.5 小时，总降雨量 1121.3 毫米，每年降雨天数大约在 130-200 天之间。境内平均风速为 1.8 米/秒，风速、风向随季节变化。

学院占地 1200 亩，总体呈不规则长方形，东西跨度 1300 米，南北 800 米，地势自东向西呈平缓放坡，校园规划用地 86 万平方米，已建面积 60 余万平方米，规划建筑面积 35 万平方米，现有建筑面积 27 万平方米。所有建筑物均为可上人屋面，便于光伏板的组装，结合顶层楼梯间配电房可布置分布式的逆变器及汇控箱等，校园内可铺设太阳能电池方阵的建筑楼顶总面积约为 62000 平方米。

### 2 项目建设条件

#### 2.1 国家可再生能源政策

我国政府已将光伏产业发展纳入国家能源发展的基本政策之中。国家能源局颁布《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》（国能新能[2014]406 号），强调光伏发电作为我国重要的战略性新兴产业，大力推进光伏发电应用。2020 年 11 月 10 日，广西发改委颁布《广西壮族自治区可再生能源电力消纳保障实施方案的通知（试行）》（桂发改新能〔2020〕1202 号），要求根据国家可再生能源发展相关规划和本地区电网消纳能力，按照 2020 年风电和光伏发电项目建设工作方案要求，规范有序组织风电、光伏发电建设。

#### 2.2 地区能源结构及发展规划

广西属于“缺煤、少油、乏气”能源资源匮乏地区，2020 年全区境内发电装机容量为 4852.9 万千瓦，其中：水电 1747.1 万千瓦，火电 2311.5 万千瓦，

核电 217.2 万千瓦，风电 407.3 万千瓦，光伏 169.8 万千瓦，水、火、核、风、光伏比例为 36%：47.63%：4.48%：8.39%：3.5%，水电装机容量占比大，但受丰枯期季节性因素影响较大，区化石能源消费比重超过 70%，煤炭消费保持较高比重，向清洁低碳高效转型发展的压力较大<sup>[2]</sup>。

根据广西能源“十四五”规划，依托现有的核电、天然气管线和可再生能源资源，高效安全发展核电，

深度开发水电，加快风能、太阳能、生物质能以及地热能、海洋能等可再生能源开发利用。在工业、交通、建筑等重点用能领域推广使用清洁能源，开发应用新能源和清洁能源汽车，推行绿色低碳生产生活方式。

### 3 太阳能资源

#### 3.1 广西区太阳资源具体的分布

见图 1。



图 1 广西壮族自治区太阳能资源分布图<sup>[3]</sup>

根据上图，可以看出广西地区太阳能分布较均衡，各地年日照时数 1100~1350 小时，属于太阳能资源四类地区。根据南宁太阳地面能辐射站观测资料，南宁及周边区域年日照数在 1250-1350 小时，年最大辐射量达到 5006.14MJ/m<sup>2</sup>，年平均辐射总量达到 4516.78MJ/m<sup>2</sup>，相当于平均日辐射量 3.43kWh/m<sup>2</sup>.d；总辐射月平均最大值为 522.15MJ/m<sup>2</sup>，出现在 8 月，最小值为 217.48MJ/m<sup>2</sup>，出现在每年 2 月；日照最大值为 75.5h，出现在 7 月，最小值为 53.7h，出现在 2 月。

#### 3.2 太阳能资源分析

(1) 南宁及周边地区的年太阳总辐射为 4516.78MJ/m<sup>2</sup> 左右，即 3.43kWh/m<sup>2</sup> 左右；该地区的年日照时数为 1250h 左右，项目所在地属我国第四类太阳能资源区域。太阳能资源条件适中偏少。

(2) 太阳能资源以夏季净辐射量最大、冬季最小、春季稍大于秋季为主要特征。其中，8 月份太阳辐射最强，可达到 522.15MJ/m<sup>2</sup> 左右，2 月份辐射最弱，为 217.48MJ/m<sup>2</sup> 左右，净辐射年、季、月变化

比较明显，净辐射最小值与总辐射最小值出现在同一年；净辐射季节变化趋势与总辐射稍有差异，净辐射与日照最大值出现在同一个月，总辐射量与净辐射最小值出现在同一个月。

(3) 南宁及周边区域春季平均日照时数为 2.2 h/d，夏季平均日照时数为 5.2h/d，秋季平均日照时数为 3.8h/d，冬季平均日照时数为 2.1h/d。全年最高月均日照时数为 8 月 6.2h/d，最低月均日照时数为 3 月 1.8h/d<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 太阳能资源初步评价

广西总面积 23.67 万 km<sup>2</sup>，太阳能总储量为 1.03×10<sup>15</sup>MJ，具有较好开发价值的区域 (≥4100MJ·m<sup>-2</sup>) 太阳能资源总储量为 7.0×10<sup>14</sup>MJ，太阳能资源具备一定的开发利用价值；最丰富的区域 (≥4700MJ·m<sup>-2</sup>) 主要位于广西南部地区 (22.5°N 以南)<sup>[5]</sup>，包括广西沿海的钦州、防城港、北海和南宁、崇左、梧州、玉林南部及右江河谷地区。

该学院位于南宁市西南部，属广西区内太阳能资源较丰富区，由于交通运输等条件较好，并网接

入条件优越，可以建设屋顶太阳能光伏并网电站。

#### 4 太阳能光伏发电系统设计方案

##### 4.1 太阳能光伏系统介绍

光伏发电是根据光生伏特效应原理，利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能。光伏发电系统主要由太阳能电池板（组件）、控制器和逆变器三大部分组成。系统原理图详见下图 2。

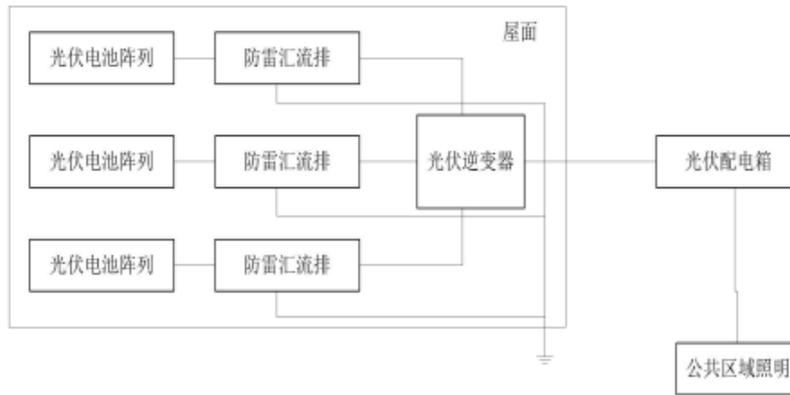


图 2 光伏发电系统原理图

##### 4.2 光伏组件选择

###### (1) 主要性能

光伏组件为室外安装发电设备，是光伏电站的核心设备，耐候性要求高，能在室外严酷的环境下长期稳定可靠地运行，同时具有高的转换效率。

###### (2) 设备主要参数，见表 1。

表 1 太阳电池组件技术参数

| 太阳电池种类       |     | 多晶硅         |  |
|--------------|-----|-------------|--|
| 指标           | 单位  | 数据          |  |
| 峰值功率         | Wp  | 245         |  |
| 功率偏差         | w   | 0/+3        |  |
| 组件效率         | %   | 14.7        |  |
| 开路电压 (Voc)   | V   | 37.2        |  |
| 短路电流 (Isc)   | A   | 8.37        |  |
| 工作电压 (Vmppt) | V   | 30.4        |  |
| 工作电流 (Imppt) | A   | 7.89        |  |
| 系统最大耐压       | Vdc | 1000        |  |
| 尺寸           | mm  | 1650*992*40 |  |
| 重量           | kg  | 19.5        |  |
| 峰值功率温度系数     | %/K | -0.43       |  |
| 开路电压温度系数     | %/K | -0.32       |  |
| 短路电流温度系数     | %/K | 0.047       |  |
| 运行温度范围       | °C  | -40~+85     |  |
| 最大风/雪负载      | Pa  | 2400/5400   |  |

##### 4.3 光伏阵列的运行方式设计

###### (1) 光伏电站的运行方式选择

本方案计划于学院楼屋顶安装面铺设光伏发电

系统，楼顶可铺设电池板实际面积约为 33120 平方米，可安装太阳能电池板 13050kWp，装机容量约 3.197MW。按照“就近并网、原地消纳、低损高效”

的原则，每个发电单元光伏组件经三相并网逆变器直接接入三相低压交流电网（AC380V，50Hz），通过交流配电线路给校园负荷供电，最后以 10kV 电压等级就近接入实现并网，所有光伏发电自发自用。

(2) 倾角的确定

根据项目的实际并结合南宁及周边区域本地太阳辐射资源情况，保持原有校园建筑风格，学校楼顶屋面安装光伏电池板采用 12-15 度倾角布置。

4.4 逆变器选型

考虑到该校区各建筑单体布置的个光伏方阵容量、汇流箱、直流汇流屏及逆变器等实际情况，经技术经济比较后确定光伏子方阵的容量为 100kW 和 50kW。

4.5 光伏阵列设计及布置方案

(1) 光伏方阵容量

以一号教学楼为例，可供布置光伏板的面积为 900 m<sup>2</sup>，预留安装及维护通道，可安装光伏板 360 块，容量约 88kW，按楼顶并网发电系统将采用分布式并网的设计方案，需通过 1 台并网逆变器（单台容量 100kW）接入 0.4kV 交流电网实现并网发电。

电池组件选用功率 245Wp 的多晶硅太阳能电池组件，其工作电压约为 30.2V，开路电压约为 37.8V。根据并网逆变器的 MPPT 工作电压范围（450V~820V，可选），每个电池串列按照 20 块电池组件串联进行设计，88kW 的并网单元需配置 18 个电池串列，逆变器装机容量为 100kW。

本项目光伏组件铺设在学院的各个楼顶的屋面上。各区域面积及装机容量如表 2 所示。

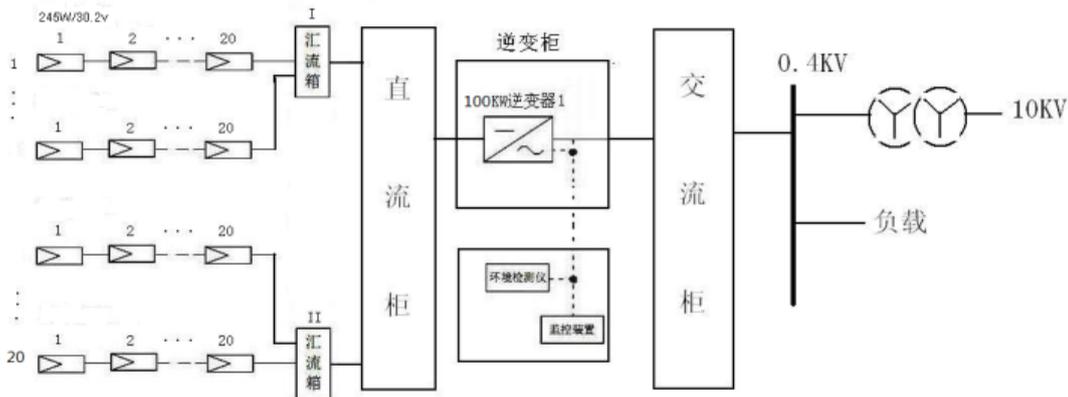


图 3 并网发电示意图

表 2 分布式光伏电站项目汇总表

| 名称       | 建筑面积 (m <sup>2</sup> ) | 可布置光伏板面积 (m <sup>2</sup> ) | 装机容量 (kW) |
|----------|------------------------|----------------------------|-----------|
| #1 教学楼   | 16920                  | 900                        | 88        |
| #3 教学楼   | 15600                  | 820                        | 80        |
| 东食堂      | 10560                  | 750                        | 70        |
| 学生公寓 1-5 | 59400                  | 5×820                      | 5×80      |
| 行政综合楼    | 25600                  | 1400                       | 135       |
| .....    |                        |                            |           |
| 图书馆      | 33000                  | 1200                       | 115       |
| 合计       |                        | 33120                      | 3182      |

(2) 光伏子方阵设计

根据选定的光伏组件和逆变器型式参数，结合实时太阳能辐射量与风速、气温等数据，确定晶硅光伏组件组串数为：20，汇流形式为：12 进 1 出。

光伏组件直接安装在支架上。

(3) 汇流箱布置方案

汇流箱安装在支架或钢构上，防护等级 IP65 及以上，能够满足室外安装使用要求。直流汇流箱为

12路输入1路输出，带防雷模块。汇流箱进线配置光伏组件串电流检测模块，模块电源自供；功耗小于15W；串行通讯接口1个，RS485方式；采样处理12路光伏电池板电流（0~12A），采样精度不低于0.5%。

4.5 电站厂址选择及接入电网方案

(1) 站址选择

学院分布式光伏发电项目拟选址在现有的建筑物楼顶上，站址具有以下特点：①富集的阳光资源，保证较高的发电量；②靠近主干电网，以减少新增输电线路的投资且主干电网的线径具有足够的承载能力；③离用电负荷近，以减少输电损失；

(4) 便利的交通、运输条件和生活条件。

(2) 接入电网方案

国家电网在《分布式电源接入电网技术规定》中指出：“分布式电源总容量原则上不宜超过上一级变压器供电区域内最大负荷的25%。”

该校配电系统为TN-S母线模式，采用中性点直接接地，设置独立的N线和PE线。光伏发电系统采用的三相并网逆变器直接并入三相低压交流电网（AC380V，50Hz），使用独立的N线和接地线。

5 投资估算与经济分析

5.1 投资估算

(1) 工程系统配置

表3 100kW 系统配置单

| 材料                        | 数量     | 备注 |
|---------------------------|--------|----|
| 太阳能电池板 245W/30.2V         | 360 块  |    |
| 100kW 直流配电柜               | 1 台    |    |
| 汇流箱                       | 4 台    |    |
| 太阳能电池板固定式支架 100kW         | 1 套    |    |
| 逆变柜                       | 1 台    |    |
| 交流配电柜 100kW               | 1 套    |    |
| 提前放电式避雷针                  | 3 套    |    |
| 监控系统                      | 1 套    |    |
| 防雷接地系统                    | 1 套    |    |
| 辅材及备件                     | 1 套    |    |
| 光伏专用线 4mm <sup>2</sup>    | 1000 米 |    |
| 电缆 YJV2×16mm <sup>2</sup> | 600 米  |    |
| YJV4×50mm <sup>2</sup>    | 100 米  |    |

(2) 项目投资估算

①本工程系统装机总容量是约 3.179MWp，电池组件根据现行市场价格确定，按 3.5 元/Wp（含税价）含运费计算，光伏组件成本：

$$3.5 \text{ 元/W} \times 3197.25 \text{ kW} = 1112.74 \text{ 万元}$$

②太阳能组件安装及附件费用约占组件成本的 20%，该项目投资约：

$$1112.74 \times (1+20\%) = 1335.29 \text{ 万元}$$

③设计费、系统集成费、工程管理费、安健环措施费、营业税、增值税、教育附加费按照 10% 计算，该项目总成本（静态投资）为：

$$11445.3 \times (1+10\%) = 1468.81 \text{ 万元}$$

5.2 经济技术分析

项目优先采用用户侧并网方式，实现光伏发电自发自用，发电量计算：

峰值日照定义：100mW/cm<sup>2</sup>=0.1W/cm<sup>2</sup> 的辐射强度下的日照小时数。

$$1J=1Ws, 1h=3600s$$

$$100mW/cm^2 = 0.1W/cm^2 = 1000W/m^2 = 1000J/s \cdot m^2 = 3.6MJ/hm^2$$

由此得出将太阳能资源（MJ/m<sup>2</sup>）换算为峰值日照时数的系数为 3.6。

根据太阳能电池方阵面上的辐射量 4516.78MJ/m<sup>2</sup>/a，可以计算出年峰值日照时数=4516.78÷3.6=1

254.66kWh/m<sup>2</sup>/a

按南宁地区年平均最佳倾角为 12-15 度, 平均年有效发电辐照量约为 1211.91kWh/m<sup>2</sup>.a。

在计算发电量时, 需要主要考虑以下损失: 交、直流线路损失 3%; 光伏组件表面尘土遮盖损失 8%-10%; 逆变器损失 5%-10%; 环境温度造成的发电量损失 2%; 折合以上各折减系数, 光伏系统总效率为 75%。可计算全年上网电量约为:

$$3179 \times 1211.91 \times 75\% = 288.95 \text{ 万 kWh}$$

按照装机容量 3179kWp 计算的上网年等效利用小时数为:

$$270.1 \text{ 万 kWh} \div 3179 \text{ kW} = 849.64 \text{ 小时}$$

通过核算电池组件在屋顶的安装角度, 约折减至 80%, 发电小时数为 679.71h。

年均共可发电 243.09 万 kWh, 25 年总电量为 6077.25 万 kWh。

回收期=总投资额/每年上网电费=1468.81 万元/152.2 万元=10 年。

项目使用年限 25 年, 总利润=总上网电费收益-初期投资额=3805-1468.81=2336.19 万元。(531 光伏新政出台后, 不再考虑国家对分布式并网电站补贴)

## 6 结论和建议

### 6.1 主要结论

(1) 项目建设技术性可行

①本项目采用就地分布并网方案, 经经济技术比较分析是可行的。

②项目所在地属我国第四类太阳能资源区域, 具有一定的利用太阳能发电、实施分布式光伏电站建设的客观条件。

③项目从光伏系统、电气、土建、水工、消防等方面均具备可行方案, 各项风险较小, 无不良经济和社会影响。

(2) 项目建设经济性合理

本工程静态投资为 1468.81 万元, 单位千瓦投资为 4620 元/kW。从财务上看, 工程的财务盈利能力和贷款偿还能力较好, 在经营期内, 本项目各项经济指标较好, 财务内部收益率约为 9.5%, 高于基准收益率, 净现值大于零, 项目的财务盈利能力和贷款偿还能力良好。

### 6.2 社会效益

本项目装机光伏建设容量 3179kWp, 年均可提供电量 243.1 万 kWh, 与相同发电量的燃煤电厂相比, 按标煤煤耗为 330g/kW·h 计, 每年可为节约标准煤 802.3t, 减少温室效应气体二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放 2421.8 万 t, 减少排放大气污染物 SO<sub>2</sub> 约 72.9t、NO<sub>x</sub> 约 36.4t, 烟尘减排量 15.1t, 具有良好的社会效益。

### 6.3 建议

531 新政后, 光伏组件价格迅速下降, 广西的光伏产业已经进入可持续开发阶段, 自发自用收益率将会越来越好, 本项目的开发将具有良好的示范效应。正值 2021 年国家电力市场紧缩, 本项目的建设, 在一定程度上缓解地方用电紧张局面, 为广西改善能源供应结构提供新的发展思路。

## 参考文献

- [1] 贤集网, 行业资讯, 电力电气. [https://www.xianjichina.com/news/details\\_256373.html](https://www.xianjichina.com/news/details_256373.html).
- [2] 董博, 戴剑锋等广西能源发展战略定位研究[J]. 广西电力, 2017, 40(4): 109-112.
- [3] 唐嘉彬. 广西南宁吴圩国际机场天气景观资源调查与评价[D]. 广西大学, 2018.
- [4] 何如, 周绍毅, 苏志, 李艳兰. 广西太阳能分布特征及开发利用研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(24).

收稿日期: 2022 年 8 月 10 日

出刊日期: 2022 年 9 月 25 日

引用本文: 韦仕庆, 开发校园分布式光伏发电的可行性分析[J]. 电气工程与自动化, 2022, 1(2): 21-26  
DOI: 10.12208/j.jeea.20220015

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS