

[光伏]

太阳能电站光伏组件选型

文/吴扬威
中交公路规划设计院有限公司

光伏组件是由若干个单独的太阳电池并、串连接起来的组件，经过严密的封装而成。光伏组件的合理选择是光伏电站建设的一大要点，这也是当前设计和建设单位在经济技术方案分析上着重考虑的一个环节。以海南省东方市太阳能光伏项目为例，归纳出海南地区太阳能电站光伏组件的选型、性能、经济特性等内容。

光伏组件情况

1. 光伏组件产量逐年增长

21世纪以来，随着光伏平价上网的到来，光伏发电成本快速下降，产业化水平不断提高，规模不断扩大，光伏产业在世界各国清洁能源发展政策的推动下，步入了爆发性增长阶段。根据中国光伏产业协会发布的《中国光伏产业发展路线图（2021版）》，2021年光伏组件产量达到182 GW，同比增长46.1%，光伏组件产量随着光伏市场的火热持续增长。在《中国光伏产业发展路线图（2021版）》中，光伏组件产量在2022年超过233 GW。

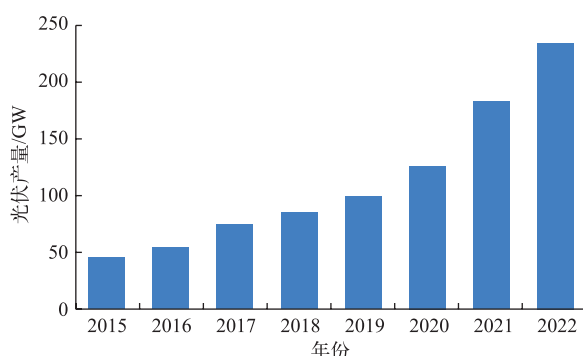


图1 中国光伏组件产量

(资料来源: CPIA 前瞻产业研究院)

2. 光伏组件行业前景明

2020年12月12日，在气候雄心峰会上，国家主席习近平宣布，“到2030年，我国一次能源消费

中非化石能源所占比例将达到25%左右。”为了实现“到2030年前碳达峰，2060年前碳中和”的目标，“十四五”期间我国年均新增光伏装机可能在70~120 GW之间，乐观估计到2027年我国新增光伏装机可能达到120 GW，如图2所示。光伏组件产业将继续保持高速发展态势，光伏产业将成为我国长期处于高速发展的新能源产业之一。

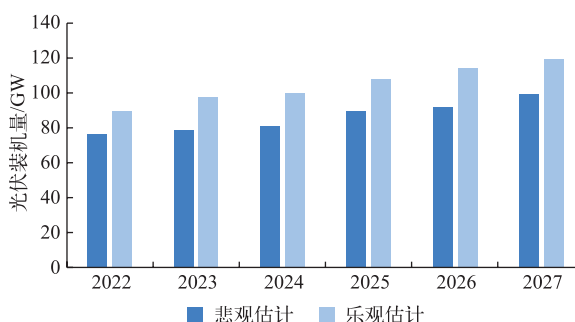


图2 中国新增光伏装机量预测

(资料来源: CPIA 前瞻产业研究院)

3. 常用的光伏组件

光伏组件主要分为单晶硅类、多晶硅类和非晶硅光伏组件三大类。由于非晶硅转换效率低，且价格高，因此难以得到大规模应用。经过组件技术的不断革新，单晶硅与多晶硅的差价已逐渐缩小，国内一流厂商正逐渐淘汰多晶硅生产线，形成以生产单晶硅光伏组件为主。太阳能光伏组件如图3所示。

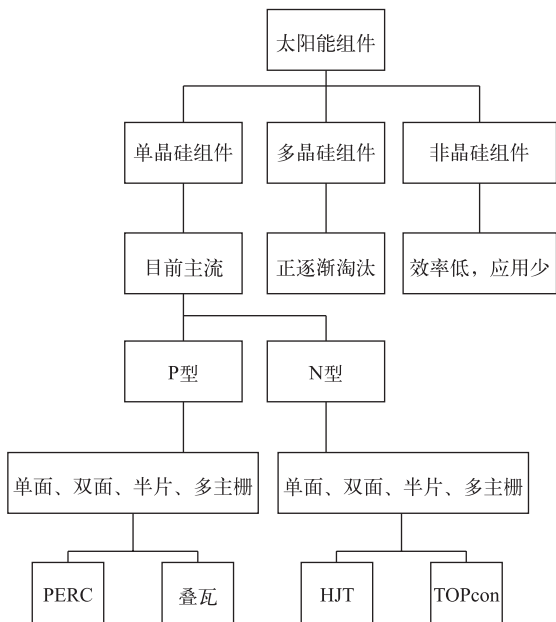


图3 太阳能光伏组件分级图

光伏组件技术路线

1. P型与N型的概念

当纯硅中加入能量（例如以热的形式）时，会造成与其共价键的几个电子和原子分离。电子每走一步，留下的都是空穴。这些电子会游走在水晶格子的四周，寻找另一个可以安身的空穴。这些电子称为自由载流子。将纯硅与磷原子混合，使磷原子的5个最外层电子在极少能量的作用下脱离，得到的硅称为N型硅（N表示负电）。另一部分硅掺杂了硼，因此可以得到P型硅，因为硼最外层的电子层是3个电子，而不是4个电子。

也就是把硼元素扩散到P型半导体材料上，形成N/P结构的太阳电池就是P型硅片。将磷元素注入N型半导体材料中，形成P/N结构的太阳电池，即为N型硅片。

P型硅片生产过程简单，成本较低，而N型硅片虽然通常具有较长的少子寿命，但其生产过程相对复杂，因此可以达到较高的电池效率。含磷元素的N型硅片，在拉棒时，磷与硅溶解度差，分布不均匀；将硼元素掺入P型硅片中，硼具有与硅相当的分凝系数，分散均匀度的控制也比较容易。

2. P型与N型的相同技术

（1）单面光伏组件

单面组件即仅有一面能发电的组件。主要成分

有钢化玻璃、EVA、导电铜带、电池片、TPT背板、铝异材和接线盒等。结构如图4所示。

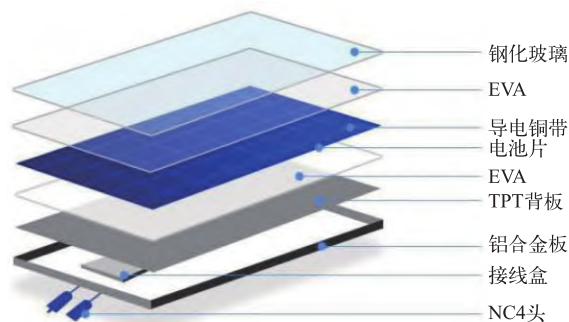


图4 单面光伏组件图

（2）双面光伏组件

双面元件，顾名思义，就是可以正反面发电的元件。当太阳光照射到双面元件时，会有一部分光线被周围环境反射到能够被电池吸收的双面元件背面，这间接提高了电池吸收利用效率，从而对电池的光电流和效率有一定的正面效应。双面光伏组件与常规的单晶电池相比，可以在正面直接照射的太阳光下发电，在背面接受太阳反射的光线下发电。双面元件的发电增益因素主要有：地表反射率及元件安装高度。太阳的直射和散射光线到达地面后会反射出去，部分反射到元件的背面。

（3）半片技术

半片技术是一种可以通过减小电池片尺寸，在提高组件功率的同时，结合双面电池技术应用，减少组串损耗的技术。将标准规格的电池晶片雷射切片成两片半相当大小的电池晶片，使每片主栅的电流降至原本的1/2，内部损耗降至整片电池的1/4，并可提升组件的功率，比同版的整片光伏组件增加5~10 W的功率。目前市场上主流的半片组件采用上半部分与下半部分并联的设计，其中一半被大面积的阴影遮挡时并不会导致旁路二极管启动，这使得半片组件在竖向安装状态下，早、晚前排组件阴影开始遮挡组件下半部分时，上部分仍可正常发电。如果安装高度不高或地形、地表环境复杂，会出现两面元件上下受光不均的现象，此时半片双面组件的发电表现将优于整片组件。

（4）多主栅（MBB）技术

晶体硅光伏组件的正面电极是由负责将电池体

内的光生电流引向电池外部，一般指电池片表面粗大的电极（主栅线电极）条数的丝网印刷技术印刷银细栅线和主栅线而形成的。多主栅线（MBB）通常是指10个及以上的主栅线。

多主栅技术在降低电流传导距离的同时，减少了电芯薄片表面遮挡物，增加了受光面积，可以有效降低元件串联电阻，降低电阻损失。多主栅技术对隐裂、断裂的栅体具有更大的耐受性，对长时间可靠性和更高发电量有更好的保障。

3. P型组件技术

（1）PERC组件技术

最早由澳大利亚科学家马丁格雷恩于1983年提出的PERC技术，是钝化发射极和背部电池技术，目前正在成为新一代太阳能电池的常规技术。近几年得益于PERC技术的效率改善机制，背部电学复合降低+内部光学反射增加，PERC不断刷新效率记录，成为性价比最高的科技。PERC电池结构如图5所示。

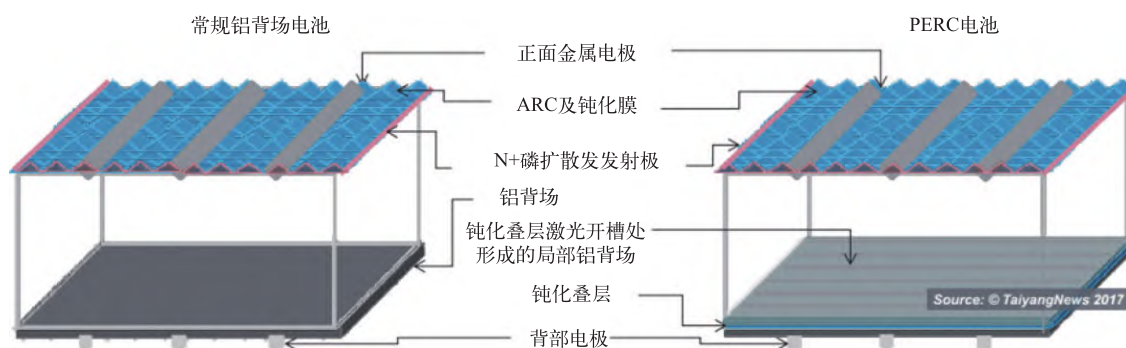


图5 PERC电池结构

从结构上看，PERC电池仅比常规电池多一个背钝化层，氧化铝是目前产业最好的钝化质膜。

PERC组件几乎成为了国内组件中效率较高的代名词。PERC电池光电转换效率高，可使系统BOS成本降低；衰减低，能保证工程发电量，具有良好的机械性能和高发电量增益等优势，PERC组件在未来几年内将成为“领跑者”项目中的标配和主流技术，加速平价上网的到来，实现最高效利用土地。

（2）叠瓦组件技术

叠瓦组件技术是一种高效元件技术，有效提高了元件转换效率，与传统封装工艺区分开来。在叠瓦组件技术领域，美国SUNPOWER公司发展较早，国内最早量产叠瓦组件的是赛拉弗光伏，并持有叠瓦组件技术专利。该技术可提高有效发电面积，使元件面积得到充分利用；在同等面积下，电池片的置物量可比常规部件多出6%或更多。叠瓦技术对组件结构进行了优化，使组件内部损耗大大降低，组件输出功率大幅度提高。保证组件封装过程中功率损失最小、减小反电流和冲击，有效地减少组件产生的热斑效应。电池片与传统金属焊带连接的传统晶体硅组件技术基本上都有各自的缺陷。从

可靠性上讲，叠片的连接方式可以使电池片承受比传统组件更好的机械载荷和更低的隐裂程度，从而使电池片受到的应力降低。此外，叠瓦元件抗阴影遮蔽能力更强，工作温度也更低。这些优势都保证了其可靠性。

4. N型组件技术

（1）HJT组件技术

日本三洋公司最早开发的HJT电池，1991年三洋首先将本征非晶硅薄膜应用于硅异质结结构的光伏组件中，使界面缺陷态密度降低，载流子复合减少，从而得到本征薄膜异质结电池，转化效率高达18.1%，实现了异质结的面钝化效应，如图6所示。硅异质结太阳能电池晶体硅衬底前后表面钝化较好，相对于传统晶体硅技术而言，因为引入了非晶硅薄膜，使其表面钝化更趋完善。在非晶硅薄膜中隔离了金属电极与硅材料的直接接触，使其载流子的复合损耗进一步降低，转化效率得以提高。其优点主要表现在：①效率提升潜力高；②HJT电池拥有更大的降成本空间；③具有更高的双面率；④温度系数低，稳定性高，能有效降低热损失；⑤具有较低的光致衰减。光伏组件锁定HJT电池为未来发展新方向。

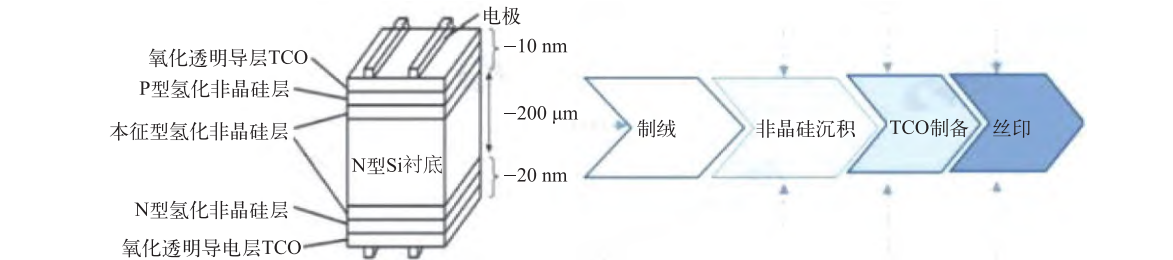


图6 HJT 电池结构

(2) TOPCon 组件技术

TOPCon电池概念由德国Fraunhofer-ISE太阳能系统研究所于2013年提出，TOPCON是基于选择性载流子原理的隧穿氧化层钝化接触（Tunneloxide Passivated Contact）光伏组件技术。

TOPCon的正面与常规的N型或N-PERT光伏组件并无本质区别，电池核心技术为背部钝化接触，硅片背面由一层由磷掺杂的微晶非晶混合硅薄膜和一层超薄氧化硅（1~2 nm）结合而成。通过退火过程激活钝化性能，硅薄膜从微晶非晶混合相

转变为多晶，在此退火过程中发生结晶性改变。在850 ℃的退火温度下退火，IVOC大于710 mV，J0在9~13 fA/cm²，表现出钝化接触结构极佳的钝化性能，制备出超过 23%的电池效率。

工程光伏组件选择

目前市场上使用的光伏组件主要是主流厂商在大型并网光伏发电系统中生产并应用的60式、72式等光伏组件。具体信息见表1、表2。

表1 组件及其对应参数范围

序号	名称	60型2	72型2	60型3	72型3	72型4	75型	72型	72型
1	硅片尺寸	158.75	158.75	166	166	182	210	182	182
2	电池技术	PERC、半片	PERC、半片	PERC、半片	PERC、半片	PERC、半片	MBB	TOPCon	HJT
3	组件容量范围/Wp	325~345	390~410	350~380	425~455	520~550	480~585	520~585	520~585
4	组件尺寸/mm	1 684 × 1 002 × 30	2 008 × 1 002 × 30	1 755 × 1 038 × 35	2 094 × 1 038 × 35	2 274 × 1 134 × 35	2 176 × 1 098 × 35	2 176 × 1 098 × 35	2 176 × 1 098 × 35
5	效率范围（%）	19.26~20.45	19.38~20.38	19.2~20.9	19.6~20.9	20.1~21.1	20.1~21.1	22.1~23.1	22.1~23.1
6	代表组件/Wp	340	410	360	440	550	550	550	550
7	1 MW工程组件数量	2 944	2 440	2 788	2 274	1 852	1 852	1 820	1 820
8	每个组串组件数量（1 000 V系统）	22	20	20	20	20	22	20	20
9	1 MW工程支架数量（2 × 10）	139	122	140	114	93	85	91	91
10	低压电缆成本	略高	略高	较低	较低	低	低	低	低
11	支架成本	略高	略高	较低	较低	低	低	低	低

目前市场上出现了硅片尺寸为210 mm的单晶硅组件，其功率为480~585 Wp。但目前市场上与之配套的串式逆变器型号较少，且产品单一，大多数厂家仅有一种特定型号可供选择，该项目从投资成本考虑，建议采用光伏组件容量为540 Wp。

工程的投资与建设方面，考虑到用地、设备成本、收益等方面因素。从投资和收益来看，叠瓦、HTJ、TOPCon三大技术成本均高于PERC组件，并根据市场情况结合项目特点，推荐采用目前市场上较为先进的540 Wp单面单玻PERC单晶硅光伏组件。

表2 组件技术对比表

序号	比较项目	P 型组件		N 型组件		P 型组件或N型组件
		PERC	叠瓦	HJT	TOPCon	双玻
1	技术成熟性	2015年开始研制，2016年开始应用，至今最广泛应用	基于PERC电池的发展同步进行	2013年突技术突破并开始面向市场，但产能低	2019年突技术各大厂商开始扩产，产能逐渐提高	各种技术电池都有应用，技术成熟
2	电池转换效率	商用电池片一般18%~22%	商用电池片一般18.3%~22.5%	目前22%~24%	目前22%~24%	对应电池的背面增益
3	价格	目前应用范围广，价格较中肯	比较中肯，与常规PERC 电池同步，略高于 PERC 电池。	生产成本更高，目前的价格相对于PERC高出 30%	生产成本更高，目前的价格相对于PERC高出 30%	较对应电池价格略高
4	组件使用寿命	使用年限长达25年	使用年限长达25年	使用年限长达25年	使用年限长达25年	使用年限长达30年
5	外观	黑色、蓝黑色	黑色、蓝黑色	黑色、蓝黑色	黑色、蓝黑色	-
6	功率温度系数	-0.35%/℃	-0.35%/℃	-0.25%/℃	-0.25%/℃	-
7	工艺步骤设备成本	8道工序，设备成本较传统工艺高	比 PERC 电池略为复杂，容错率要求高	4 道工序，设备成本高，产能低	9道工序，设备成本高，产能低	-
8	弱光响应	低	低	高	高	-
9	衰减率	头一年为2%，后一年开始平均每年衰减 0.55%	头一年为2%，后一年开始平均每年衰减 0.55%	10 年衰减3%，25 年衰减8%	10年衰减4.6%，25 年衰减10.6%	对应电池平均每年衰减降低约0.1%
10	安装方式	可采用简易、紧凑的布置方式，在建筑物屋顶或空旷场地上进行倾斜或平铺安装以节省场地	可采用简易、紧凑的布置方式，在建筑物屋顶或空旷场地上进行倾斜或平铺安装以节省场地	可采用简易、紧凑的布置方式，在建筑物屋顶或空旷场地上进行倾斜或平铺安装以节省场地	可采用简易、紧凑的布置方式，在建筑物屋顶或空旷场地上进行倾斜或平铺安装以节省场地	对采光有要求，0.5 m以上的安装高度，尽量大的倾角和间距，鱼塘、湖泊等
11	国内自主化生产情况	产业链完整，生产规模大，工艺水平先进	产业链完整，生产规模大，工艺水平先进	生产成本维持高位，产能释放延迟等待成本下降	生产成本维持高位，产能释放延迟等待成本下降	产业链完整，生产规模大，工艺水平先进

结束语

介绍了近年来我国光伏发电产业的增长情况以及太阳能光伏组件的不同类型和技术路线，强调了PERC、叠瓦等P型组件和HJT、TOPCon等N型组件的优势和发展前景。光伏技术由于具有提供可持续再生能源的能力，是清洁能源的关键组成部分，在未来能源体系中将发挥不可或缺的作用。随着技术的进步和成本的持续下降，光伏组件安装在住宅和商业领域变得更有效率、更具经济效益。通过对不同光伏组件的技术对比分析，用户可以结合自己的实际需求选择最适合自己的光伏组件。EA

(收稿日期：2023-11-3)

参考文献

[1] 朱智强. 多场景下的光伏发电系统典型设计与

应用[D]. 南京: 东南大学, 2020.

[2] 童建林, 周有为, 钟雨哲, 等. 基于自适应MPPT算法的光伏发电系统低压穿越的控制策略研究[J]. 电气应用, 2022, 41(6): 39-47.

[3] 宋浩平. 大型并网光伏电站电池组件的选型讨论[J]. 甘肃水利水电技术, 2015, 51(10): 53-55.

[4] 李正平, 杨黎飞, 沈文忠. 硅基异质结太阳电池新进展[J]. 物理学进展, 2019, 39(1): 1-22.

[5] 朱法华, 王玉山, 徐振, 等. 中国电力行业碳达峰、碳中和的发展路径研究[J]. 电力科技与环保, 2021, 37(3): 9-16.

[6] 汤航, 李萍, 王宽, 等. 基于改进蜂群算法优化BP神经网络的短期光伏功率预测[J]. 电气应用, 2022, 41(5): 18-22.