

市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金太阳能指数	2830.17
沪深300指数	3242.09
上证指数	2681.64
深证成指	8113.88
中小板综指	8290.24

价廉物美的高效组件技术将迎来快速普及 ——光伏平价上网系列报告之二

行业观点

- 光伏发电跑步迈向平价上网时代，低投入、高产出、易扩张的组件封装环节高效技术有望快速普及，其中“双面双玻组件”表现将最为突出。
- 中国光伏 531 新政后国家指标缩减、补贴下降，随之而来的全产业链产品价格令系统安装成本快速下降至 4 元/W 以内，原先预期的 2020 年国内部分地区具备无需国家补贴实现平价上网的目标提前两年得到实现。
- 短期内安装成本的大幅下降，很大程度上压缩了产业链各环节的利润空间，但随着各项降本提效技术的普及应用，产业链利润水平将逐步恢复到合理水平，其中，技术成熟易扩张、新增资本开支低、降低度电成本效果突出的“组件端”高效技术有望迎来快速普及。
- 所谓高效组件技术，我们将其定义为：在既有的电池片效率前提下，在组件封装环节，使用不同工艺来提升组件输出功率或增加其全生命周期中单瓦发电量的技术手段，主要包括：双面/双玻、半片、多主栅（MBB）、叠瓦等（部分需要电池片环节工艺配合）。近期，双面技术拿下第三批领跑者 50% 以上中标规模，半片/叠瓦也初露锋芒。
- 功率/发电量增益显著，且能够多项技术叠加使用，度电成本降幅贡献最高可达 20%。双面电池组件技术凭借背面发电取得 5%~30% 发电量增益；半片电池组件降低 75% 内阻损耗实现功率增益 5~10W；多主栅电池电极电阻与电极遮挡同步降低，降低银耗量的同时功率提升 5~10W；叠瓦组件无主栅无焊带设计增加可放置电池片数量 13%，功率提升 15~20W。
- 除叠瓦外，上述各项高效组件工艺还能互相叠加使用，且能够同比例放大电池片环节 PERC、HIT、黑硅等高效工艺的提效效果，因此对基础功率较高的单晶组件，使用高效组件技术后的功率增益也更大。
- 双面+半片+MBB 技术叠加后功率增益 10~25W，发电量增益 5%~30%，相同安装条件下，最高可令度电成本下降超过 20%。

相关报告

1. 《光伏电站市场交易活跃，制造运营企业各取所需-太阳能行业行业点...》，2018.7.3
2. 《光伏进入平价时代，新的十年高速增长长期开启-光伏平价上网系列报...》，2018.5.7
3. 《光伏开启平价时代，工控配网高景气延续，新能源车看核心材料龙头...》，2018.5.7
4. 《分布式光伏新政的序曲响起，曲调积极-太阳能行业行业点评》，2018.3.23
5. 《光伏平价上网，比预期来得更快一些-太阳能行业行业点评》，2018.3.6

投资建议

- 预计双面双玻组件市占率将快速提升，光伏玻璃企业最直接受益，重点推荐：信义光能，关注：福莱特玻璃；此外，高效产能占比较高的电池组件企业也将有一定优势，关注：隆基股份、林洋能源、通威股份。

风险提示

- 政策变动风险；技术可靠性风险；产业投资收缩导致技术进步放缓风险。

图表：不同技术路线 60 片组件功率对比（W）

技术路线	功率增加 W	单瓦发电增益 -	成本变化 元/W	度电成本降幅 -
双面	NA	5%~30%	0	3.8%~18.5%
半片	5~10W	NA	0	0.5%~1.0%
MBB	5~10W	NA	-0.05	1.3%~1.8%
双面+半片	5~10W	5%~30%	0	4.3%~19.3%
双面+MBB	5~10W	5%~30%	-0.05	5.0%~19.9%
双面+半片+MBB	10~20W	5%~30%	-0.05	5.5%~20.6%

来源：国金证券研究所。注：基本假设为初始投资 5 元/W，发电小时数 1200h

姚遥

分析师 SAC 执业编号：S1130512080001
(8621)61357595
yaoy@gjq.com.cn

张帅

分析师 SAC 执业编号：S1130511030009
(8621)61038279
zhangshuai@gjq.com.cn

内容目录

高效组件技术加速平价上网进程	4
新政后光伏平价诉求强烈，高效组件技术将迎来快速普及.....	4
高效组件技术可降低度电成本 0.1 元/kWh 以上，降幅超 20%.....	6
厂商积极投建高效组件及配套电池片产能，市占率将快速上升.....	10
双玻单面组件	12
各项性能优，适用范围广.....	12
衰减低寿命长，发电量增幅超 20%.....	13
量产难度低，组件成本基本无增加.....	14
双面电池组件	15
红外光可穿透降低工作温度，双面受光可垂直安装.....	15
双面发电，发电量增益 5%~30%.....	16
量产无难度，产线改造几乎“免费”	17
半片电池组件	20
电流减半降低工作温度，特殊串并结构减少遮挡损失.....	20
电阻损耗减少 75%，功率增加 5~10W.....	21
量产难度不大，组件端成本微增.....	21
多主栅电池组件.....	22
技术逐渐成熟，组件可靠性提升.....	22
降电极电阻与遮挡，组件功率提升 5-10W.....	23
量产难度稍高，银浆消耗量减少成本下降.....	23
叠片电池组件	25
采用无主栅设计，电池交叠互联无焊带.....	25
可放电池片数量增加 13%，组件功率可提升 15-20W.....	26
量产难度较大，改变了传统的组件焊接技术.....	27
风险提示	28

图表目录

图表 1: 2016~2019E 年中国光伏新增装机量及预测 (GW)	4
图表 2: 2017 年下半年预期的光伏安装成本下降路径 (已提前 2 年实现)	4
图表 3: 光伏制造产业链及各环节提效手段.....	5
图表 4: 第三批应用领跑者基地中标情况.....	5
图表 5: 组件环节各类高效技术性能对比分析.....	6
图表 6: 高效电池、组件技术兼容性.....	6
图表 7: 不同技术路线 60 片组件功率对比 (W)	7
图表 8: 高效组件技术的降本逻辑.....	7
图表 9: 60 片组件功率与电站建设 BOS 成本	7
图表 10: 测算关键性假设.....	8
图表 11: 半片、MBB、叠瓦技术增效降本情况测算 (度电成本: 元/kWh)	8
图表 12: 双面、半片、MBB 技术叠加后降本测算 (度电成本: 元/kWh)	9
图表 13: 高效组件技术降本测算结果汇总.....	9

图表 14: 高效组件技术降本幅度对比.....	9
图表 15: 高效组件技术对应的特殊电池片产能 (GW)	10
图表 16: 单/双面电池组件市场份额及预测.....	10
图表 17: 全片/半片/叠瓦电池组件市场份额及预测.....	10
图表 18: 多主栅电池组件市场份额及预测.....	10
图表 19: 不同系统电压市场份额及预测.....	10
图表 20: 热门组件技术代表企业及组件产能规划表.....	11
图表 21: 双玻组件结构.....	12
图表 22: 双玻组件耐候性强.....	13
图表 23: 双玻组件衰减率低, 发电量增益接近 3%.....	14
图表 24: 传统组件环节非硅成本构成.....	15
图表 25: 1500V 系统节省初始投资部件成本.....	15
图表 26: 单面电池结构 (PERC)	15
图表 27: 双面电池结构 (PERC)	15
图表 28: 双面发电组件能够充分利用环境中的反射光和散射光.....	16
图表 29: 组件功率随温度上升的下降率 (温度系数)	16
图表 30: 不同材质的反照率.....	17
图表 31: 双面发电组件发电量增益与地面材质.....	17
图表 32: 双面发电组件发电量增益与支架安装方式.....	17
图表 33: 双面发电组件发电量增益与支架高度、反射率.....	17
图表 34: 双面电池与常规电池工艺对比.....	18
图表 35: 不同技术路线双面电池的效率.....	19
图表 36: 不同光伏厂家选择不同的双面电池技术方向.....	19
图表 37: 半片电池中电流减半.....	20
图表 38: 半片电池在组件中的串并结构.....	20
图表 39: 组件遮挡测试中 4 种不同方式.....	20
图表 40: 半片与常规组件(60 片)不同遮挡方式实测的发电量数据.....	21
图表 41: 半片组件与常规组件性能对比测试.....	21
图表 42: 太阳能电池主栅数量变化过程.....	22
图表 43: 多主栅电池片.....	23
图表 44: 无主栅电池片.....	23
图表 45: 多主栅组件的实验功率增益和理论模拟功率增益.....	23
图表 46: 多主栅的互联技术汇总.....	24
图表 47: MBB 与 5BB 的耗材及成本比较.....	25
图表 48: 多主栅电池组件工艺流程.....	25
图表 49: 叠片组件结构.....	26
图表 50: 常规组件和叠片组件的电池片间距比较.....	27
图表 51: 叠片组件对导电胶的要求.....	27
图表 52: 各种导电胶体系的特性比较.....	28

高效组件技术加速平价上网进程

新政后光伏平价诉求强烈，高效组件技术将迎来快速普及

- 531 新政后，光伏建设指标受严控，且电价及补贴再次下调。CPIA 最新数据显示，2018 年 1~7 月份光伏累计新增装机 31.27GW，其中分布式约 15.4GW，地面电站约 15.9GW，预计全年新增装机 40GW 左右，同比降幅达到 25%左右。
- 近日能源局就加快推进风电、光伏平价上网发出重要通知，预计从 2019 年起，无国家补贴的平价项目将成为国内终端需求的重要支撑。
- 在项目中标电价屡创新低的背景下，光伏产业降低度电成本的诉求前所未有的强烈，其中技术发展成熟、新增资本开支低、降本效果突出的“组件端”高效技术有望加速普及。

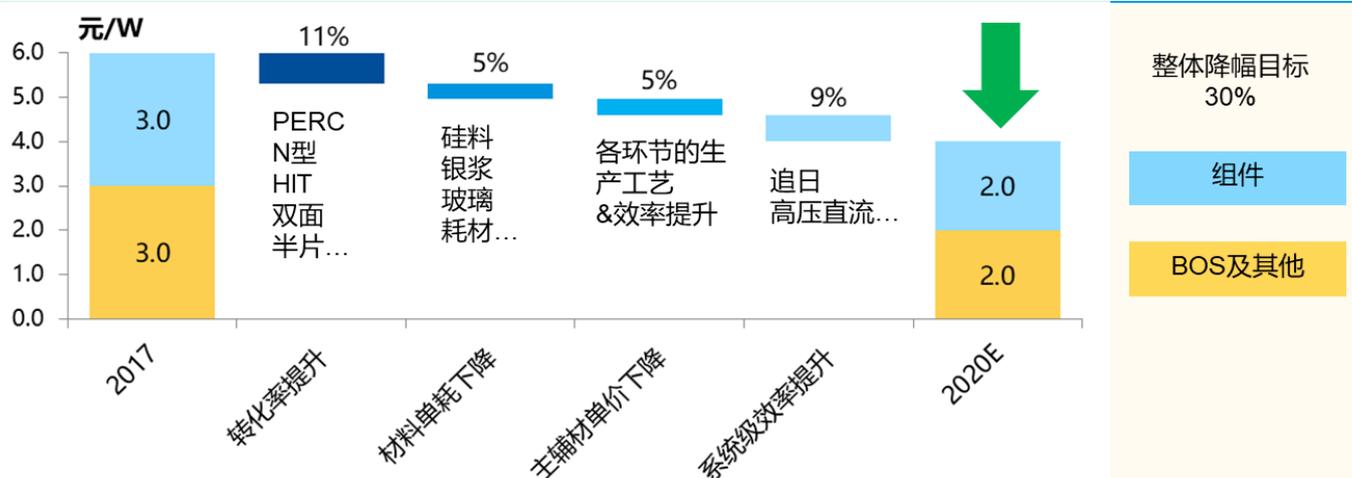
图表 1：2016~2019E 年中国光伏新增装机量及预测 (GW)

		2016	2017	2018	其中：2018.08-12	2019
无补贴项目/地方财政补贴项目				7-10		5-15
集中式	合计	30.3	33.6	15.5-17.5	5-9	13-20
	普通地面	29.36	23.6	7 (17年指标)		
	领跑者		3.5 (16年指标)	1+6.5 (16+17年指标)	5-6 (17年指标)	8-10 (17+18年指标)
	基地/示范项目		2	1-3	0-3	5-10
	扶贫(单独下达)		2.98 (16年指标)			
	自管区域	0.95	1.5			
分布式	合计	4.2	19.4	14.2	2-4	13-15
	扶贫(单独下达)	0	2.18 (16年指标)	4.2 (17年指标)	2-4 (17年指标 第一批)	3-5(18年指标 第二批)
	其他	4.2	17.3	10	0	10
合计	合计	34.5	53.1	40左右	7-13	31-50

来源：能源局，国金证券研究所。注：2016 年自管区域包括北京、天津、上海、重庆、西藏、海南 6 省；2017 年增加福建省。红色为预测数据。

- 下图是我们在 2017 年下半年预期的光伏系统建造成本下降路径，即系统成本在三年内降低约 30%至 4 元/W，其中组件约 2 元/W，然而在 531 政策的影响下，近期多个第三批领跑者项目 EPC 中标价格低于 4 元/W，即在部分项目上，2020 年的成本目标已提前两年实现。
- 虽然短期的 EPC 价格大幅下降很大程度上是压缩了产业链各环节的利润空间（甚至造成部分企业亏损），但随着各项降本提效技术的普及应用，在安装成本不变甚至继续下降的过程中，产业链利润水平将逐步恢复到合理水平。

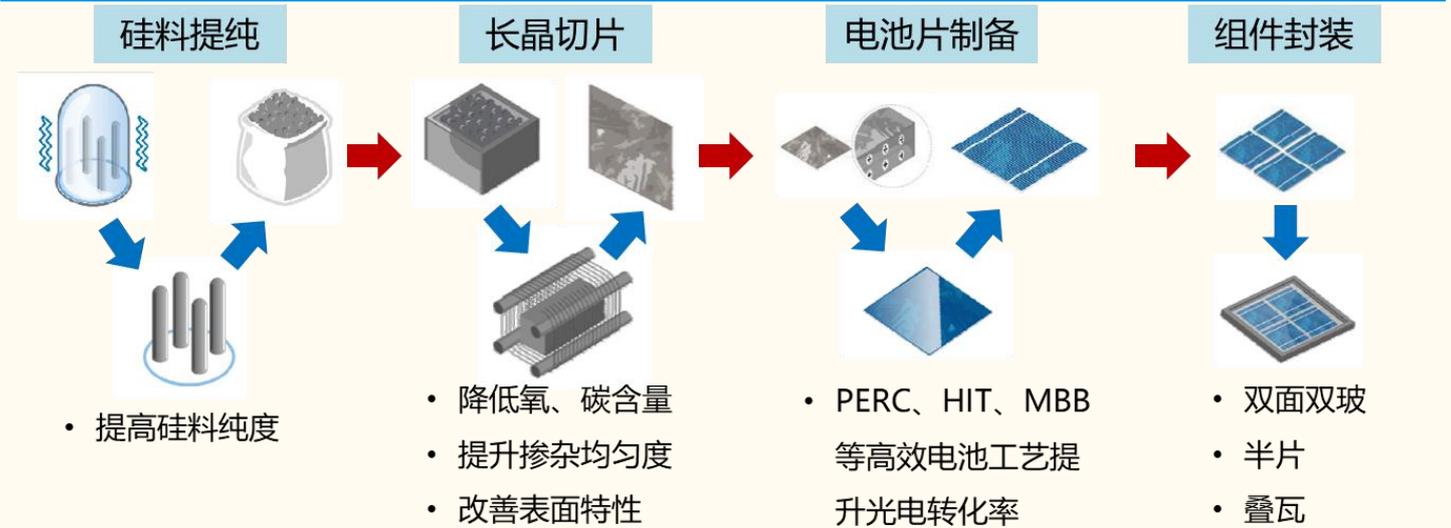
图表 2：2017 年下半年预期的光伏安装成本下降路径（已提前 2 年实现）



来源：国金证券研究所

- 光伏制造产业链各环节均有各自提升发电效率的不同手段：在硅料、长晶切片环节主要通过物理方式提升材料纯度；电池片环节则通过各种镀膜、掺杂工艺提升效率；组件环节则通过各种不同的封装工艺在既有的电池片效率前提下，尽量提升组件的输出功率或增加组件全生命周期内的单瓦发电量。
- 组件封装的环节提效工艺应用，通常对新增资本开支和技术难度的要求较上游各环节都要相对更低，因此更易于普及推广。唯一的障碍在于通常会改变组件外观，需要一定时间来培养终端用户的接受度，但在降本诉求日益强烈的背景下，用户对新事物的接受速度正在加快。

图表 3：光伏制造产业链及各环节提效手段



来源：国金证券研究所

- 双面技术成为第三批应用领跑者新宠，半片/叠瓦等技术初露锋芒。在八大基地 38 个项目招标中，投标企业共计 54 次申报双面技术，双面技术合计中标 2.58GW，占比 52%，其中 PERC+双面 1.45GW，P 型双面 100MW，双面+半片 200MW，N 型双面 831MW。半片技术中标 2 个项目合计 200MW，中标企业中广核太阳能；叠瓦技术中标 1 个项目（与双面共同中标 100MW，按平均分配估算叠瓦技术中标 50MW），中标企业国家电投。

图表 4：第三批应用领跑者基地中标情况

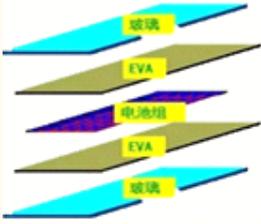
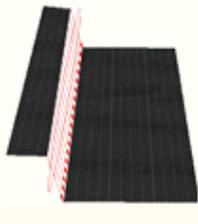
基地	单晶 (MW)							多晶 (MW)		
	PERC	PERC 双面	P 型双面	叠瓦	双面半片	N 型双面	单晶	MWT+PERC	黑硅 PERC	MWT
宝应		100	50	50	200	100				
达拉特旗	250	250								
大同	133	133	50			133				50
海兴		236				81			73	110
德哈令	133	33							300	33
格尔木	250	250					150			
寿阳	200	150								
泗洪	50					450				
渭南	100	200								200
白城	250	100				67		83		
总计	1366	1452	100	50	200	831	150	83	373	393

来源：能源局，国金证券研究所。注：同一项目涉及不同技术类型中标的，按平均分配各技术计算

高效组件技术可降低度电成本 0.1 元/kWh 以上，降幅超 20%

- **高效组件技术增效提质。**双玻、双面、半片、MBB 等技术不仅是增效降本的有效途径，同时还可提升组件性能与寿命，提高电站质量与稳定性。随着 531 新政后行业降本需求愈加急迫，企业对高效组件技术的研究、投入及掌握程度逐步提升，均已具备一定量产能力。

图表 5：组件环节各类高效技术性能对比分析

	单面双玻	双面双玻	半片	MBB	叠片	
性能	机械性能	优	优	优	优	
	热斑	少	少	少	少	
	PID	少	少	少	少	
	衰减率	-0.2%	-0.2%	-	-	-
	寿命	+5 年	+5 年	-	-	-
生产	技术难点	-	-	破片率及良率较难控制	电池片分选、组件串焊、组件叠层	破片率更难控制；专利问题
	核心新增设备	新增层叠设备、改造层压机	更换背板材料、优化串焊机	激光切划、改造串焊机、三分体接线盒	新的网版、自动汇流焊接设备	新增串焊设备、导电胶
	量产难度	低	低	难度稍增	较高	高
	2018 年全球产能	7GW	8GW	28GW	3.5GW	3.5GW
发电增益	增益原理	衰减率降 0.2% 寿命增 5 年 PR 升 0.2%	背面发电	减少热阻	减少电极电阻与遮挡	电池片数量增加
	发电量增益	2.70%	5%~30%	-	-	-
	功率增益	-	-	5~10W	5~10W	15~20W
成本	组件端成本变动	基本持平	基本持平	成本微增	成本下降	成本增长
	系统端成本变动	基本持平	下降	下降	下降	下降
	度电成本变动	-	下降 3.8%~18.5%	下降 0.5%~1.0%	下降 1.3%~1.8%	-
						

来源：光伏协会，国金证券研究所

- **相互叠加，大有可为。**目前已成熟或即将成熟的高效组件技术之间还可以相互叠加，比如：双面、半片与 MBB 技术的兼容性非常强。
- 高效组件技术的叠加可以进一步放大转换率提升带来的功率增加。在 PERC 电池上叠加半片技术的功率增益达到 5~10W，在 PERC+半片电池基础上叠加 MBB 技术的功率增益扩大到 5~15W。此外，由于单晶组件基础功率更高，使用高效组件技术后功率增益大于多晶组件。

图表 6：高效电池、组件技术兼容性

	半片	MBB	叠瓦	双面	PERC	黑硅
半片	-	√	×	√	√	√
MBB	√	-	×	√	√	√
叠瓦	×	×	-	√	√	√

来源：国金证券研究所

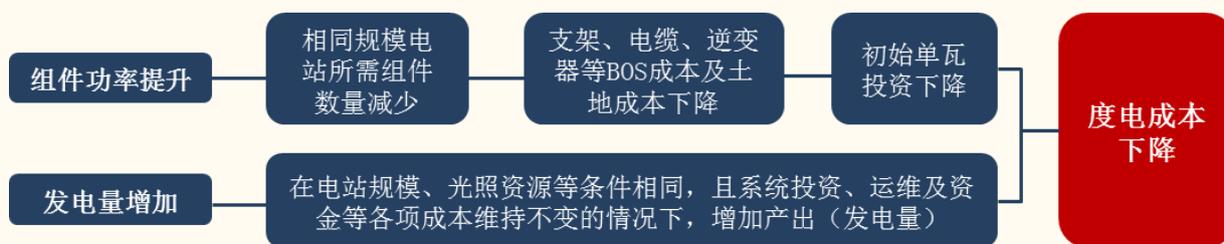
图表 7：不同技术路线 60 片组件功率对比 (W)

技术路线	多晶组件		单晶组件	功率提升
	270	添加剂 湿法黑硅		
普通组件	270~275		280~285	-
普通+PERC	285~290		300~310	15~25
普通+PERC+半片	290~295		310~320	5~10
普通+PERC+半片+MBB	295~305		325~335	5~15
N 型+PERT+半片	-		315~320	-
N 型+叠瓦	-		330+	-

来源：企业产品介绍，国金证券研究所

- **降本逻辑：功率提升降低 BOS 成本，或发电量增加摊薄度电成本（降低分子+提升分母）。**光伏电站初始投资成本可分为：1) 组件成本，占比约 50%；2) 与功率有关的 BOS 成本，如土地、支架、人工等，占比约 20%；3) 与功率无关的 BOS 成本，如逆变器、升压设备，占比约 30%。因此，组件功率的提升可以通过摊薄 BOS 成本来实现系统单位投资的降低。

图表 8：高效组件技术的降本逻辑



来源：国金证券研究所

- 测算显示，60 片组件的功率每提高 15W，普通电站、山地电站、水面电站 BOS 成本分别可节省 0.09 元/W、0.11 元/W、0.135 元/W。据此假设普通电站所用组件功率每增加 5W，系统投资下降 0.03 元/W，以此叠加，则半片、MBB 等高效组件技术 5~20W 的功率提升可使系统投资下降 0.03~0.12 元/W。

图表 9：60 片组件功率与电站建设 BOS 成本

建设投资成本 (元/W)	普通电站			山地电站			水面漂浮电站		
	270W	285W	300W	270W	285W	300W	270W	285W	300W
支撑结构	0.314	0.298	0.283	0.471	0.448	0.424	1.5	1.421	1.35
直流线缆与汇流箱	0.204	0.19	0.18	0.204	0.194	0.18	0.204	0.194	0.18
光伏场区施工与安装	1.3	1.236	1.171	1.561	1.484	1.4	1.006	0.957	0.906
其他设备、公用工程	0.95	0.95	0.95	1.05	1.05	1.05	1.09	1.09	1.09
BOS 成本	2.768	2.679	2.587	3.286	3.176	3.063	3.8	3.662	3.529
BOS 成本差	/	-0.089	-0.092	/	-0.11	-0.113	/	-0.138	-0.133

来源：隆基乐叶，国金证券研究所

- **降本测算 1：半片、MBB、叠片技术。**高效组件技术提高组件功率的同时，组件成本会有一定增幅。为明确高效组件技术对度电成本的影响，我们对功率增益与组件成本变动对度电成本的影响做敏感性测算。测算中假设基础初始投资（常规技术）5 元/W，利用小时数 1200h。测算显示，组件功率每增加 5W，组件成本容忍度提升 0.03 元/W。
- 1) 半片技术：在组件成本不变的情况下，半片电池功率增加 5~10W 对应度电成本降幅 0.5%~1%，最低可到 0.532 元/kWh；

- 2) **MBB 技术**：MBB 节省银浆用量带动电池成本下降 0.24 元/片，据此假设组件端成本下降 0.05 元/W，则 **MBB 技术 5~10W 的功率增益对应度电成本降幅 1.3%~1.8%，最低可到 0.528 元/kWh。**
- 3) **叠瓦技术**：由于产线改动较大、新增设备较多，叠瓦技术与半片及 MBB 技术相比组件端成本增长更大，故虽然其功率增益较大，度电成本降幅并不突出。

图表 10：测算关键性假设

基础初始投资	5	元/W	折现率	8%	-
残值率	5%		衰减率	0.50%	/年
贷款比例	70%	-	PR	90%	-
贷款利率	5%	-	利用小时数	1200	h/年
贷款年限	15	年	年运行维护费用占投资额比例	2%	-

来源：国金证券研究所。

图表 11：半片、MBB、叠瓦技术增效降本情况测算（度电成本：元/kWh）

功率增益	组件成本变动 (元/W)								
	-0.3	-0.1	-0.05	-0.0	+0.03	+0.06	+0.09	+0.2	+0.4
0	0.511	0.529	0.533	0.537	0.540	0.543	0.545	0.555	0.572
+5W	0.509	0.526	0.530	0.535	0.537	0.540	0.543	0.552	0.569
+10W	0.506	0.524	0.528	0.532	0.535	0.537	0.540	0.549	0.567
+15W	0.504	0.521	0.525	0.530	0.532	0.535	0.537	0.547	0.564
+20W	0.501	0.518	0.523	0.527	0.530	0.532	0.535	0.544	0.562

来源：国金证券研究所，注：测算假设列示于图表 10 中。

- **降本测算 2：双面技术**：双面双玻电池组件技术工艺简单、量产难度低、发电量增益可达 5%~30%且成本基本无增加，在高效组件技术中降本能力最强，不叠加其他技术也不使用追踪系统的情况下，**双面发电技术 5%~30% 的发电量增幅可使度电成本下降 0.02~0.1 元/kWh，最低达到 0.438 元/kWh，降本幅度 3.8%~18.5%。**
- **降本测算 3：双面+其他技术**：同样假设普通电站所用组件功率每增加 5W，系统投资下降 0.03 元/W。
 - 1) **双面+半片**：功率增加 5~10W，发电量增益 5%~30%，成本基本不变的情况下，**度电成本最低可到 0.434 元/kWh，降低 0.023~0.104 元/kWh，降幅 4.3%~19.3%。**
 - 2) **双面+MBB**：功率增加 5~10W，发电量增益 5%~30%，节省银浆使组件端成本下降约 0.05 元/W 的情况下，**度电成本最低可到 0.43 元/kWh，降低 0.027~0.107 元/kWh，降幅 5%~20%。**
 - 3) **双面+半片+MBB**：功率增加 10~20W，发电量增益 5%~30%，组件端成本下降约 0.05 元/W 的情况下，**度电成本最低可达到 0.427 元/kWh，降低 0.03~0.11 元/kWh，降幅 5.5%~20.6%。**

图表 12：双面、半片、MBB 技术叠加后降本测算（度电成本：元/kWh）

叠加技术功率增益	组件成本变动 (元/W)	双面技术发电量增益							
		0	+5%	+10%	+15%	+20%	+25%	+30%	+40%
仅双面，不叠加其他技术	-0.1元/W	0.529	0.509	0.490	0.474	0.458	0.444	0.431	0.408
	0	0.537	0.517	0.498	0.481	0.465	0.451	0.438	0.414
	+0.1元/W	0.546	0.525	0.506	0.489	0.473	0.458	0.444	0.420
+5W	-0.2元/W	0.518	0.498	0.480	0.464	0.449	0.435	0.423	0.400
	-0.05元/W	0.530	0.510	0.492	0.475	0.460	0.446	0.432	0.409
	0	0.535	0.514	0.496	0.479	0.463	0.449	0.436	0.412
	+0.1元/W	0.543	0.523	0.504	0.486	0.470	0.456	0.442	0.418
	+0.3元/W	0.561	0.539	0.519	0.501	0.485	0.470	0.456	0.431
	+0.5元/W	0.578	0.555	0.535	0.516	0.499	0.484	0.469	0.443
+10W	-0.2元/W	0.515	0.495	0.478	0.462	0.447	0.433	0.421	0.398
	-0.05元/W	0.528	0.508	0.490	0.473	0.458	0.443	0.430	0.407
	0	0.532	0.512	0.493	0.477	0.461	0.447	0.434	0.410
	+0.1元/W	0.541	0.520	0.501	0.484	0.468	0.454	0.440	0.417
	+0.3元/W	0.558	0.537	0.517	0.499	0.483	0.468	0.454	0.429
+20W	+0.5元/W	0.575	0.553	0.533	0.514	0.497	0.481	0.467	0.441
	-0.2元/W	0.510	0.491	0.473	0.457	0.442	0.429	0.417	0.394
	-0.05元/W	0.523	0.503	0.485	0.468	0.453	0.439	0.427	0.404
	0	0.527	0.507	0.489	0.472	0.457	0.443	0.430	0.407
	+0.1元/W	0.536	0.515	0.497	0.480	0.464	0.450	0.436	0.413
	+0.3元/W	0.553	0.532	0.512	0.495	0.478	0.464	0.450	0.425
+0.5元/W	0.570	0.548	0.528	0.510	0.493	0.477	0.463	0.438	

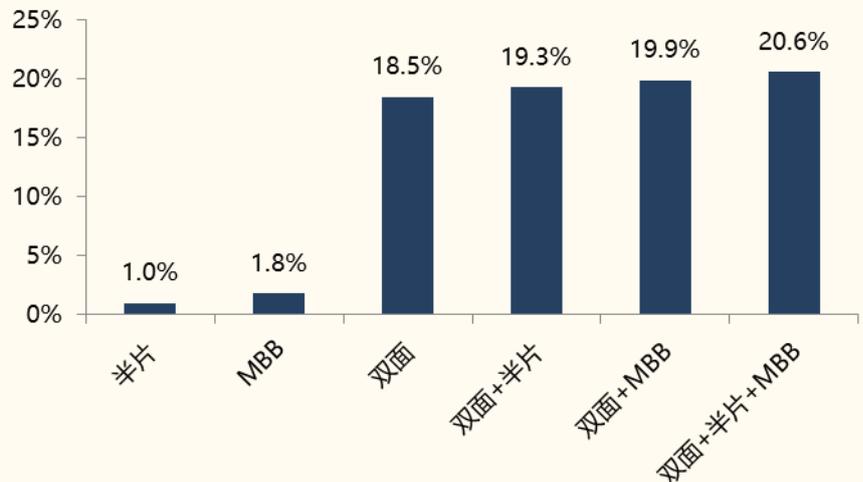
来源：国金证券研究所，注：测算假设列示于图表 10 中。

图表 13：高效组件技术降本测算结果汇总

技术路线	功率增加	发电增益	组件成本(元/W)	最低度电成本(元/kWh)	度电成本降低(元/kWh)	度电成本降幅
常规组件	-	-	-	0.537	-	-
双面	-	5%~30%	0	0.438	0.021~0.1	3.8%~18.5%
半片	5~10W	-	0	0.532	0.003~0.005	0.5%~1.0%
MBB	5~10W	-	-0.05	0.528	0.007~0.009	1.3%~1.8%
双面+半片	5~10W	5%~30%	0	0.434	0.023~0.104	4.3%~19.3%
双面+MBB	5~10W	5%~30%	-0.05	0.43	0.027~0.107	5.0%~19.9%
双面+半片+MBB	10~20W	5%~30%	-0.05	0.427	0.030~0.111	5.5%~20.6%

来源：国金证券研究所，注：测算假设列示于图表 10 中。

图表 14：高效组件技术降本幅度对比



来源：国金证券研究所，注：测算假设列示于图表 10 中。

厂商积极投建高效组件及配套电池片产能，市占率将快速上升

- 根据 TaiyangNews 统计，全球 2017 年双面、半片、MBB、叠片电池产能分别为 4GW、11.8GW、2.4GW、1.75GW，预计 2018 年将增加至 8GW、28GW、3.5GW、3.5GW。

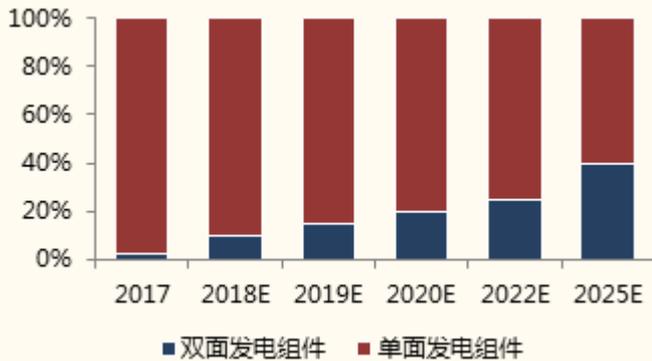
图表 15：高效组件技术对应的特殊电池片产能 (GW)

	2017年	2018年
半片	11.8	28
双面	4	8
多主栅	2.4	3.5
叠片	1.75	3.5

来源：CPIA, TaiyangNews, 国金证券研究所

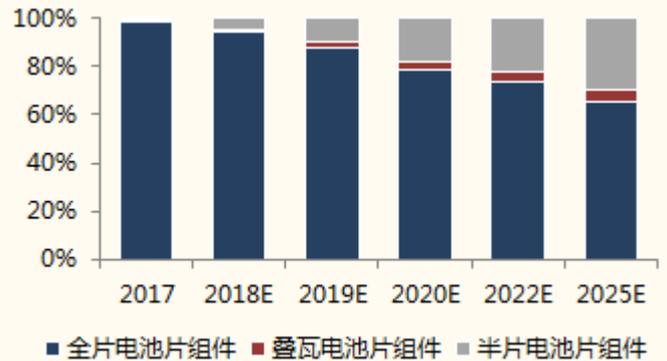
- **市场份额将持续上升。**根据中国光伏行业协会 2018 年最新发布的《中国光伏产业发展路线图（2017 年版）》，各项技术将凭借高性价比及技术成熟度的提高迅速提升市占率：
 - **双面电池组件：**随着农光互补、水光互补等新型光伏应用的扩大，双面发电组件将逐步打开市场，目前趋势已初步显现，预计市场份额将由 2017 年的 2% 上升至 2020 年 20% 及 2025 年 40%；
 - **半片电池组件份额提升迅速，叠片电池组件占比较小，未来仍以全片电池组件为主流：**半片电池组件市场份额将由 2017 年的 1% 上升至 2020 年 18% 及 2025 年 30%；叠片电池组件市场份额将由 2017 年的 0.5% 上升至 2020 年 3% 及 2025 年 5%；2025 年，全片电池组件市场份额仍将保持在 65% 以上。
 - **多主栅电池组件：**2017 年 5BB 成为主流，市场份额由 2016 年 10% 提升至 60%。随着工艺成熟及设备升级，MBB 将迅速占领市场，份额将由 2017 年的 2% 上升至 2020 年 40% 及 2025 年 70%；

图表 16：单/双面电池组件市场份额及预测



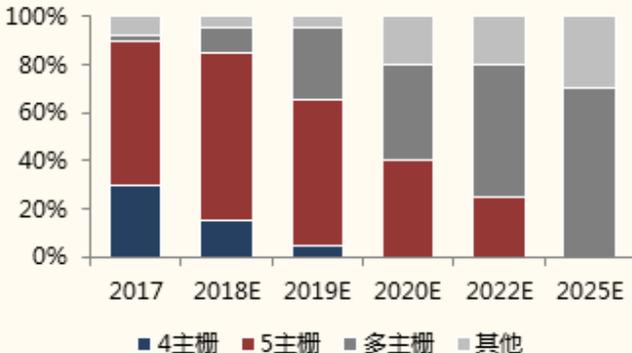
来源：光伏行业协会，国金证券研究所

图表 17：全片/半片/叠瓦电池组件市场份额及预测



来源：光伏行业协会，国金证券研究所

图表 18：多主栅电池组件市场份额及预测



来源：光伏行业协会，国金证券研究所

图表 19：不同系统电压市场份额及预测



来源：光伏行业协会，国金证券研究所

- **主流厂商纷纷升级、投建高效电池组件产能。**半片电池组件的主要生产企业包括天合、阿特斯、晶科等；叠瓦组件受专利保护限制，仅有环晟和赛拉佛生产。目前，隆基、协鑫、通威、中来、晶澳、晶科、天合、英利等大厂正在积极跟进。

图表 20：热门组件技术代表企业及组件产能规划表

技术类型	代表企业	组件技术路线	组件产能规模
双玻组件	中节能	高效 PERC 双玻组件，PVB 双玻	-
	东方日升	双玻组件	2018 年下半年将重点推出双玻系列组件
	晶澳太阳能	双玻+双面的技术	晶澳太阳能已经形成了每月 300MW 的双玻组件产能。2018 年，双玻组件的市场占有率和应用量将进一步扩大，晶澳太阳能全面看好双玻+双面的技术应用
	天合光能	透明或白色 EVA 双玻	天合光能的双玻组件有 2GW 以上的产能
	隆基乐叶	双玻+双面的技术	2018 年仅隆基一家就将新增 3.5GW 的双面双玻组件产能
	晶科	N 型 PERC 的双面双玻产品	2017 年，晶科能源全年组件出货量达 9.8GW，同比增长 47.3%，2018 年全年出货量预计在 11.5GW 和 12GW 之间
	瑞元鼎泰	双玻组件	拥有全自动双玻组件生产线，总产能达 500MW
	亚玛顿	2.0 超薄双玻	截止 2017 年亚玛顿超薄双玻组件产能已达到 1.7GW
双面发电组件	林洋能源	单晶 N 型双面光伏组件	林洋能源 N 型双面单晶高效产品项目分为三期，终期规模为 2GW。林洋有 700MW 电池和组件的产能，全是用于双面技术，目前公司拥有 N 型双面单晶组件产能 400MW，将在二三年内增至 2GW
	中来股份	N 型双面 TOPCon 电池组件	目前中来 N 型双面电池产能约 2.1GW，下半年至少可以有 1.4GW 产能供应领跑者项目，预计 2019 年有望达到 4.6GW，产能供给充足
	隆基乐叶	单晶 PERC 双面光伏组件	2017 年，隆基乐叶单晶组件出货量 4.66GW；2017 年，乐叶光伏量产双面发电组件，60 型组件功率有望突破 325W，产量为 300MW 以上
	晶澳	单晶 PERC 双面光伏组件	晶澳计划将目前的 4GW 单晶电池产能全部用于制造 P 型 PERC 双面电池
	天合光能	单晶 PERC 双面光伏组件	-
	晋能	异质结（HIT 或 HJT）双面光伏组件	晋能科技的超高效异质结电池量产效率已达到 23.27%，2018 年高效光伏组件产能将达 3.5GW
	英利	N-PERT 双面电池组件	目前，英利的 N 型组件拥有 800MW/年的产能
	东方日升	370W PERC 双面双玻组件	该项技术已具备约 800MW/年的量产产能
	中环股份	HIT（异质结层电池）双面组件	-
	MBB 组件	晶科能源	MBB 组件
协鑫		500MW-MBB 组件	协鑫计划今年第四季度实现多主栅全面量产，整个产能达到 1GW
天合光能		12BB 多主栅高效组件技术	到 2017 年 10 月中旬，总共有 20MW 的 MBB 组件产出
半片组件	晶澳	半片 PERC 组件	公司 2017 年底组件产能为 7GW，已建成 GW 级半片电池组件产能
	晶科	2*60 片半片组件	半片技术实现 GW 级产能规模，2018 年 2*60 片半片组件的最高量产功率将达到 330W，正式揭开 330 的时代
	阿特斯	9BB+半片组件	2018 组件产能拟扩至 10GW 以上
	韩华 Q Cells		截至 2018 年 3 月底，组件产能达 4.3GW

	REC Solar	黑色多晶+半切片 PERC 组件	2017 年推出的新品黑色多晶半切 PERC 组件已进入量产阶段
	东方日升	12BB+半片技术	组件产能已经达到 4.5GW，半片组件量产功率 345W
	协鑫集成	12BB+半片技术+双面双玻	已建成 GW 级半片电池组件产能
	正信光电	12BB+半片技术	-
	隆基股份	双面半片 PERC 组件新品 Hi-MO3	2017 年单晶组件产能达到 6.5GW、2019 年达到 10GW
	阿特斯	半片技术“特酷”系列组件	至 2017 年年底，全球范围内，“特酷”系列组件累计出货超 900MW
叠瓦组件	东方环晟	叠瓦	将实现组件年产能 5GW
	赛拉弗	双面双玻+叠瓦	已建成 2.1GW 组件工厂
	晶澳	叠瓦	-
	阿特斯	叠瓦	2017 全年组件累计出货 6828MW，2018 年组件出货量预计 6.6-7.1GW，计划于 2018 年底前将组件产能扩大至 9.81GW
	国电投西安太阳能	双面双玻+叠瓦	目前设有西安、西宁两大生产基地，已达到 400MW 电池、300MW 组件的产能
	东方日升	叠瓦	预计未来公司的光伏组件产能能达到 16.5GW
	天合光能	双玻+叠瓦	截至目前，公司组件累计总出货量突破 32GW，全球第一
	中来股份	双面双玻+叠瓦	2017 年末已建成 7 条电池生产线，拥有 1.05GW 的电池产能
	通威	双面双玻+叠瓦	合肥通威一期拥有太阳能组件产能 500MW，通威太阳能电池环节将规划完成总计 10GW 电池片产能
	协鑫集成	叠瓦	协鑫集成目前拥有近 6GW 的光伏组件制造产能，2017 年出货量为 4.84GW

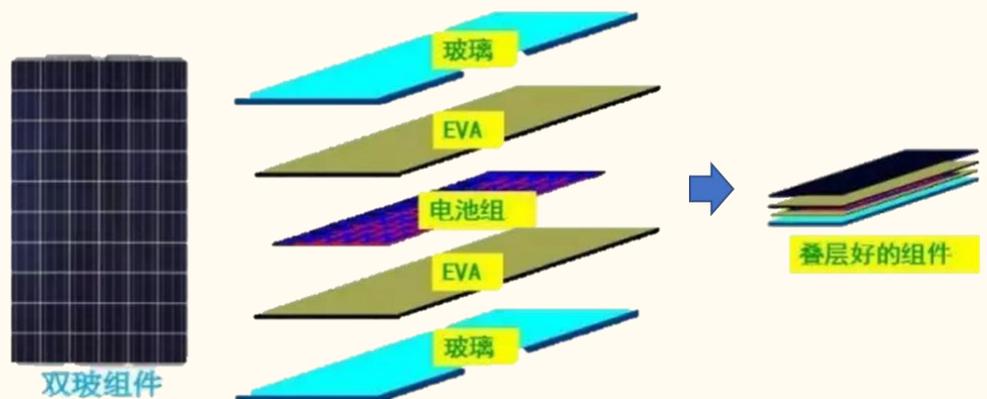
来源：光伏头条，国金证券研究所

双玻单面组件

各项性能优，适用范围广

- 双玻组件由两块钢化玻璃、EVA 胶膜和太阳能电池片经过层压机高温层压组成复合层。它包括由上至下依次设置的钢化玻璃层、材料层（PVB、PO、EVA 或离子聚合物）、单晶或多晶电池组层、材料层、钢化玻璃层。

图表 21：双玻组件结构

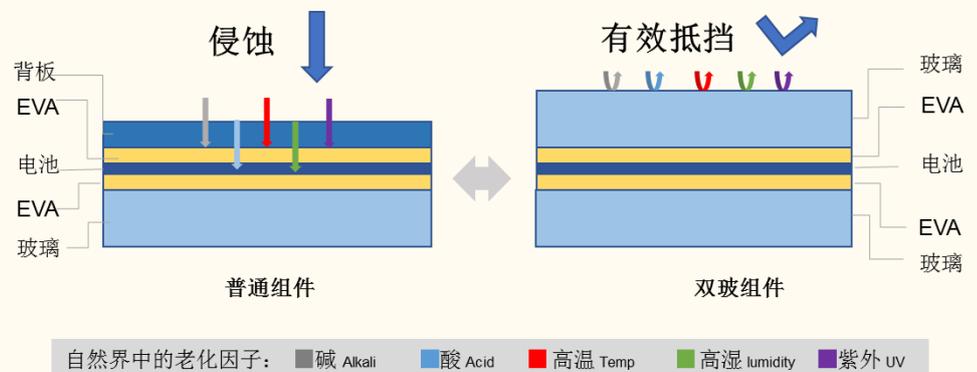


来源：SolarBe，国金证券研究所

- 各项性能均改善，适用范围显著扩大。由于双玻组件采用双玻璃压制而成，其耐候性、发电效率都优于传统组件，尤其是对于分布在湿度较高、酸雨或盐雾较大地区的光伏电站、农业大棚光伏电站、大风沙地区光伏电站，双玻组件优势更加显著：

- **透水率为零，衰减率、效率、寿命同步优化。**单玻组件的背板材料是一种有机材料，水汽可以穿透背板导致 EVA 树脂快速降解，其分解产物含醋酸，醋酸会腐蚀光伏电池上的银栅线、汇流带等，使组件的发电效率逐年下降。而玻璃的零透水率使组件的电量损耗减少，发电效率提升，衰减率下降约 0.2 个百分点，寿命延长 5 年达到 30 年左右。
- **机械性能良好，发电稳定可靠。**玻璃的耐磨性、绝缘性、防水性以及承载力都优于背板，减少组件局部隐裂等问题，使组件发电更稳定可靠。此外，双玻组件的防火等级由传统组件的 C 级升到 A 级，防火性能显著提高。
- **热容量大，减少热斑效应。**双玻组件自身的热容量较大，与普通组件相比其温升速率较小，更不易受冷热冲击的影响。且玻璃与背板的热扩散系数相差 7 倍以上，采用双玻组件可以很好地解决组件散热问题，减少热斑损伤。
- **无铝框设计，有效解决 PID。**双玻组件采用无框设计，没有铝框便无法建立导致 PID 发生的电场，大大降低了发生 PID 衰减的可能性。

图表 22：双玻组件耐候性强

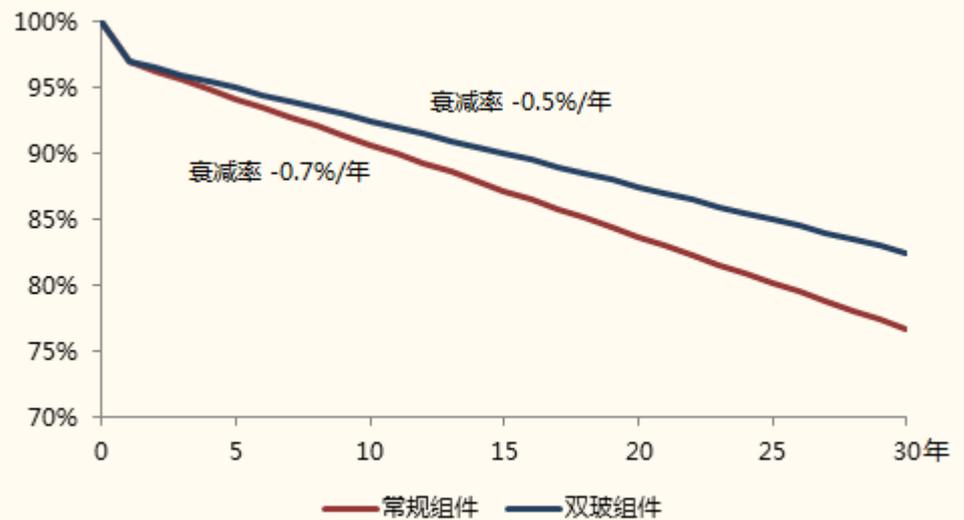


来源：SolarBe，国金证券研究所

衰减低寿命长，发电量增幅超 20%

- 双玻组件凭借更低衰减率可使发电量增长 3% 左右，但玻璃替代背板后透光量增加带来功率损失，因此**双玻组件综合发电量增益约 1%**。
- **增益：低衰减率贡献发电量增幅 3%。**由于双玻组件的衰减率比单玻组件降低约 0.2 个百分点，相同发电条件下，双玻组件的发电量较之传统组件会提高 3%。
- **损失：透光量增加，损失功率 2%。**由于 EVA 胶膜是透明的，没有白色的背板反射电池片间的漏光，使得在电池中产生光电效应的光量因透光较高而降低，组件会有至少 2% 以上的功率损失。而使用白色 EVA 做后侧的封装材料会出现白色 EVA 溢胶遮挡电池片的现象，无法完美解决功率损耗问题。此外，双玻组件的封边方式会影响抗水器的功能，失去铝框保护后对风压的耐受度也会受到一定影响。

图表 23：双玻组件衰减率低，发电量增益接近 3%

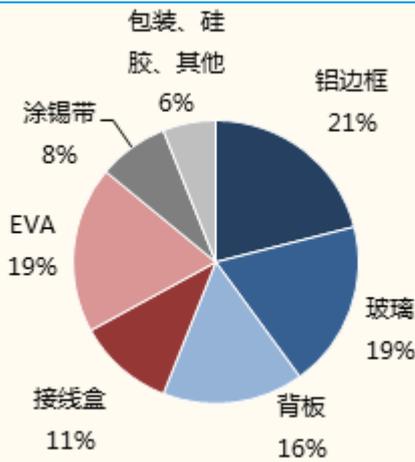


来源：企业产品介绍，国金证券研究所

量产难度低，组件成本基本无增加

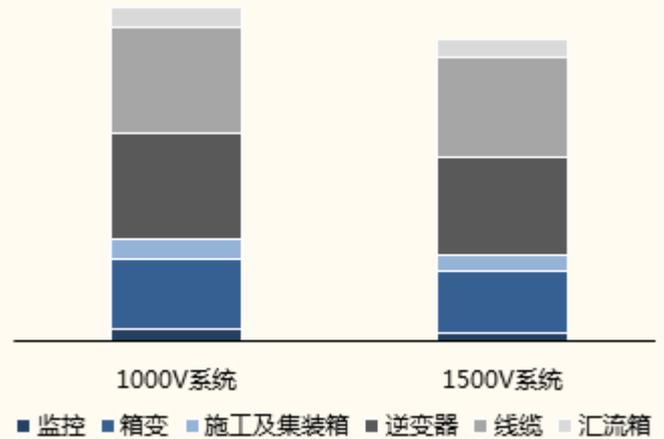
- 由于双玻组件的特殊结构和材料组合，在生产过程中需要对现有生产线进行简单改造，并对现有生产工艺中的一些环节加强管控。虽然双玻组件可采取无金属边框设计，但无铝框双玻组件稳定性较差，易损毁。双玻组件成本有常规组件基本持平。
 - **投资：采购专业层叠设备。**层叠工序中，由于玻璃厚度减为 2.5mm 后刚性较差，玻璃搬运、翻转都需要采购设备来完成；
 - **投资：层压机改造。**层压工序中，传统下层加热层压机会令层压时间延长，使产能和生产效率降低，因此必须对现有的层压机进行改造。
 - **成本增加：玻璃替代背板，成本增加 0.027 元/W。**背板均价 15 元/m²，光伏玻璃均价 20 元/m²，按 60 片电池组件尺寸 1650mm*992mm、组件功率 300MW 测算，增加组件成本约 0.027 元/W。
 - **降本：无金属边框设计，降低组件成本约 0.05 元/W。**双玻组件可采用无金属边框设计，免接地，安装更快捷，节省人力成本，有效降低度电成本；使用过程中减少边缘积灰，降低日常维护保养成本。铝框成本占组件非硅成本的 21%，而组件非硅成本占总成本 33%，因此铝框大约占总成本的 7%。初步估算，无框设计使双玻组件的非硅成本下降约 \$0.05/W。但无铝框组件易损毁。
 - **降本：适配 1500V 系统，降低组件成本约 0.2 元/W。**在硬件配置上，双玻组件能满足 1500V 系统电压设计，与 1000V 系统相比，因为串数减少，直流端线损也更少，可将发电效率提升 0.2%。此外，1500V 对应的逆变器扩容至 2MW，大容量逆变器价格比普通逆变器略低，可以使初始成本减少约 0.2 元/W。

图表 24：传统组件环节非硅成本构成



来源：国金证券研究所

图表 25：1500V 系统节省初始投资部件成本



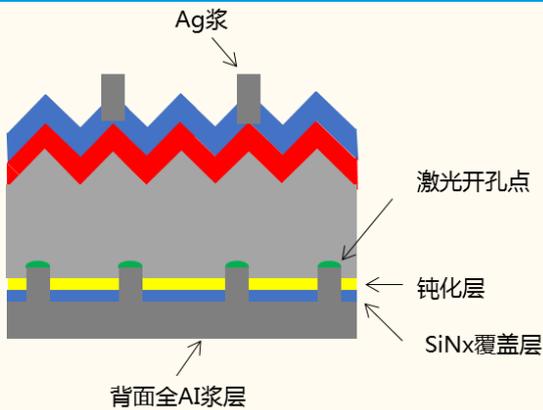
来源：国金证券研究所

双面电池组件

红外光可穿透降低工作温度，双面受光可垂直安装

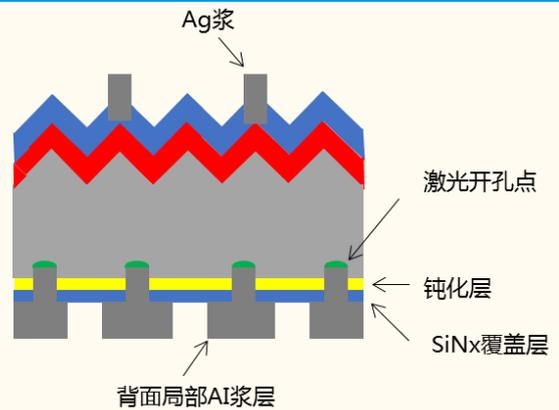
- 双面电池背面采用铝浆印刷与正面类似的细栅格，背面由全铝层覆盖改为局部铝层。背面的入射光可由未被 Al 层遮挡的区域进入电池，实现双面光电转换功能，相当于增加了电池受光面积，从而增加发电量。与单面双玻组件类似，双面发电组件背面也采用玻璃或透明背板进行封装，优化组件性能的同时增加背面透光度。

图表 26：单面电池结构 (PERC)



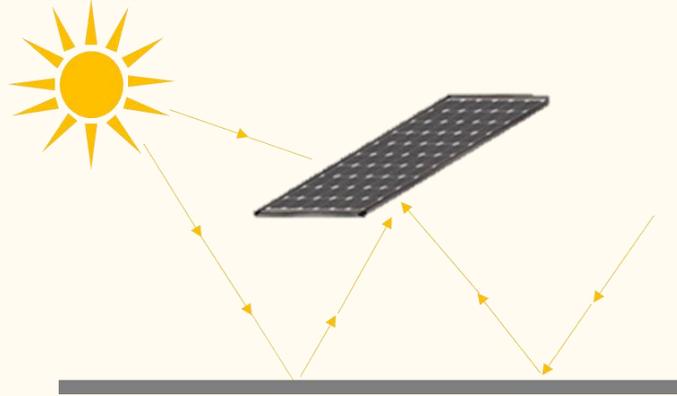
来源：SolarBe, 国金证券研究所

图表 27：双面电池结构 (PERC)



来源：SolarBe, 国金证券研究所

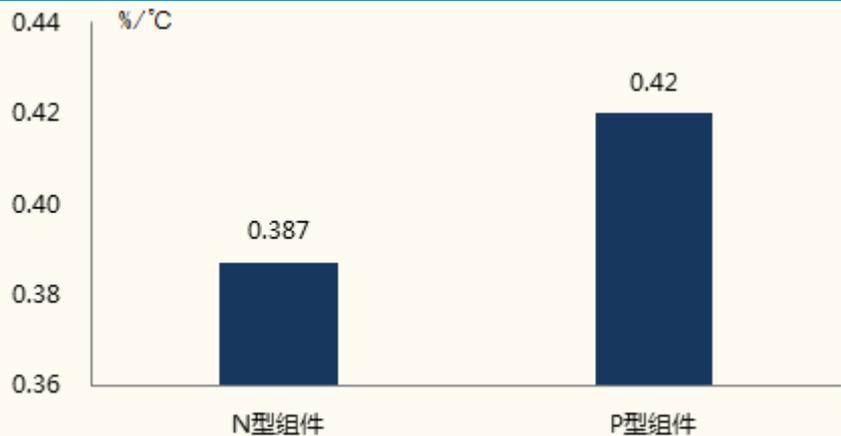
图表 28：双面发电组件能够充分利用环境中的反射光和散射光



来源：SolarBe，国金证券研究所

- 与单面双玻组件相比，双面双玻组件在零透水率、优良机械性能、少热斑损伤、低 PID 概率等优势的基础上，**性能与适用性进一步加强：**
 - **工作温度低，降低功率损失。**温度会对太阳能晶硅电池的开路电压、短路电流、峰值功率等参数产生影响，温度升高 1℃，峰值功率损失 0.35% ~ 0.45%。双面电池的背面是高透光的 SiNx 材料，红外光线可以穿透电池，不被电池吸收，正常工作下的温度较常规组件低 5~9℃，减少功率损失。
 - **可垂直安装，适用范围增广。**在理想的安装倾角、距地高度以及地面反射率下，双面发电组件能够充分利用环境中的反射光和散射光发电。因此，除传统安装方式外，双面发电组件还可以垂直安装，适用于围栏、太阳能幕墙、高速公路隔音墙、采光型农业大棚等场合。

图表 29：组件功率随温度上升的下降率（温度系数）



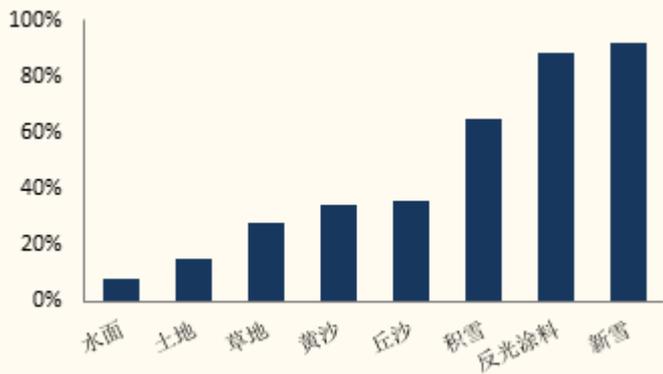
来源：中来股份，国金证券研究所

双面发电，发电量增益 5%~30%

- **系统层面，发电量增益 5%~30%。**双面电站系统的性能主要受系统设计及安装环境的影响。在同等标称峰值功率、安装地点的情况下，双面发电组件发电量增益 15%~20%；增加组件高度及地面反照率后增益可达 30%；使用斜单轴或追踪设备后增益甚至可达 50%以上。
- **电池背面效率略低于正面，背面透光导致正面效率略降：**由于激光开孔点仍然需要栅格来疏导光生电流，故电池背面大部分区域仍覆盖了 Al/Ag 浆，且铝栅格导电性不如银栅格，故铝栅线较宽，背面覆盖率高达 30%~40%，因此背面可吸收光线的区域有限，转化效率（10%~15%）明显低于正面（20%以上）。同时，由于背面由全 Al 层改为局部覆盖，透光量增加，电池正面效率可能会下降 0.2-0.5%。

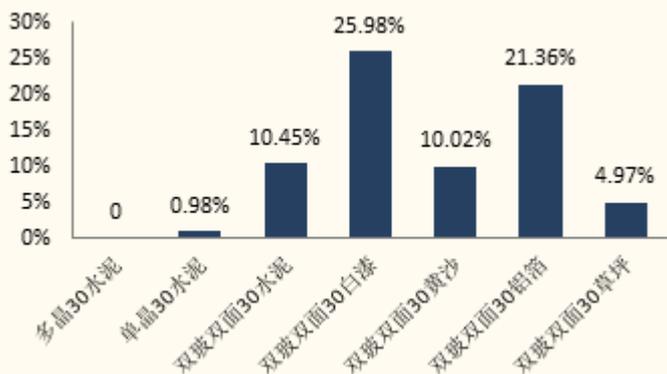
- **发电增益受反射背景、组件朝向、安装角度、离地高度的影响：**双面发电组件安装角度可从 0° 到 90°，角度越大较常规组件发电量增益越多；配合跟踪轴等追踪设备后发电量增加显著；背景颜色越浅，背景反射率越高，发电量提升越多；离地高度越高，组件与地面之间的空间越大，则组件背面可接收的周围反射面越大，发电量越多。

图表 30：不同材质的反照率



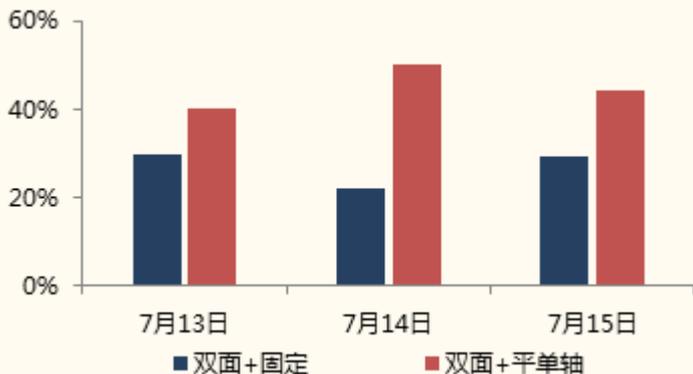
来源：TaiyangNews, 国金证券研究所

图表 31：双面发电组件发电量增益与地面材质



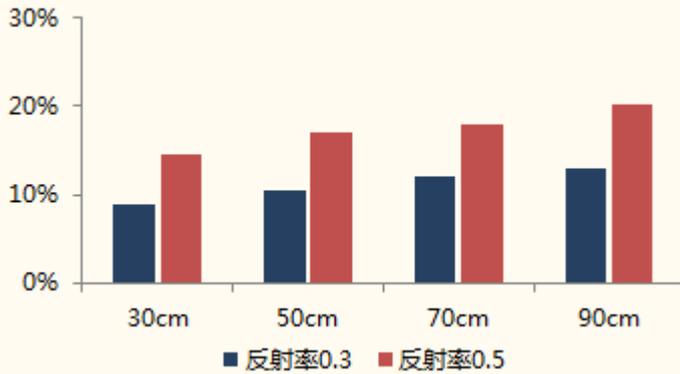
来源：中来股份, 国金证券研究所。注：测试地点为上海市奉贤区

图表 32：双面发电组件发电量增益与支架安装方式



来源：中来股份, 国金证券研究所。

图表 33：双面发电组件发电量增益与支架高度、反射率



来源：中来股份, 国金证券研究所

量产无难度，产线改造几乎“免费”

- 应用双面发电技术需要在电池、组件及系统层面均作出相应调整。综合来看，产线改造简单、量产难度低、电池与组件端几乎都没有成本的增加；
- **电池层面，单面转双面所需额外投入几乎可以忽略不计：**可量产电池结构包括 HJT、PERT、PERC。IBC 电池具备双面性但尚未实现量产。
- **p-PERC 双面电池：几乎免费的双面发电红利。**p-PERC 技术路线是双面技术中最热门的选项。工艺方面，PERC 产线转入双面结构只需将全铝背场改为局部铝背场，把背面铝浆全覆盖改为用铝浆在背面印刷与正面类似的细栅格，并对钝化膜中的氮化硅膜层及激光开孔部分做一些优化。设备方面，需提高背面电极栅格印刷设备及激光设备的精度。发电增益方面，p-PERC 双面因子仅 60%-80%，略低于其他技术路线，主要是因为铝栅格导电性不如银栅格，故背面栅线较宽，覆盖率高达 30%-40%，但铝浆价格远低于银浆，可有效控制成本。成本增加方面，改造难度低，产线更新只需 2 个月左右，成本增加仅 2 cent/W，与其他电池技术所需的升级相比几乎可以忽略不计。产能方面，基本每家 PERC 电池或组件厂商都在评估或投入双面技术，目前具备 p-PERC 双面电池组件产能的企业主要包括晶澳、隆基、天合光能、SolarWorld 等。

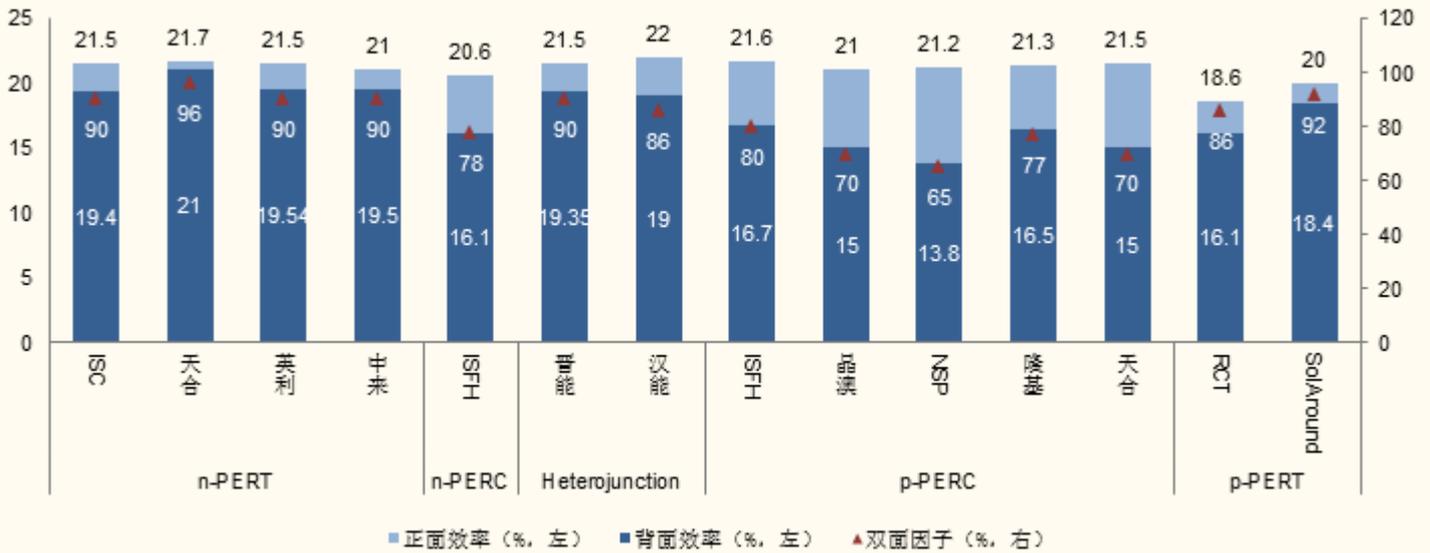
- n-PERT 双面电池：成本与发电量同时增加。**工艺方面，与 PERC 相比，PERT 不需要氧化铝及激光处理，但多了一道背面硼扩散工序，形成背表面全覆盖，以降低电池的背面接触电阻和复合速率，其成本与氧化铝类似。扩散方式包括常规扩散、低压扩散和共扩散。**成本方面**，n-PERT 电池与晶硅无关的部分成本与 p-PERC 基本相同，但 N 型硅片价格较 P 型高出约 10%，且 n-PERT 双面电池涉及两次结节，银浆消耗量也近乎翻倍，故其制造成本也比 p-PERC 高出近 20%。**发电增益方面**，由于银栅线导电能力强，印刷宽度较铝栅线更窄，故背面电极遮盖率显著降低，因此双面因子超过 90%，发电量增益显著提高。**产能方面**，生产企业较多，包括中来、英利、天合、林洋等。
- 其他技术路线：**HJT 生产工艺已不同于常规晶硅电池技术，需薄膜技术支持，所需设备也大不相同；p-PERT 作为 p-PERC 的替代方案，推广范围及产能均不大；n-PERC 尚处在研究中，目前无厂家量产。

图表 34：双面电池与常规电池工艺对比



来源：SolarBe，国金证券研究所

图表 35：不同技术路线双面电池的效率



来源：TaiyangNews, 国金证券研究所

图表 36：不同光伏厂家选择不同的双面电池技术方向

p-PERC	晶澳	隆基	SolarWorld	天合光能			
p-PEPT	NSP	SolarAround					
p-PERT(multi)	山西路安						
n-PERT	Adani	HT-SAAE	LG	林洋	PVGS	天合光能	英利
HJT	汉能	晋能	Supreme	Panasonic			

来源：TaiyangNews, 国金证券研究所

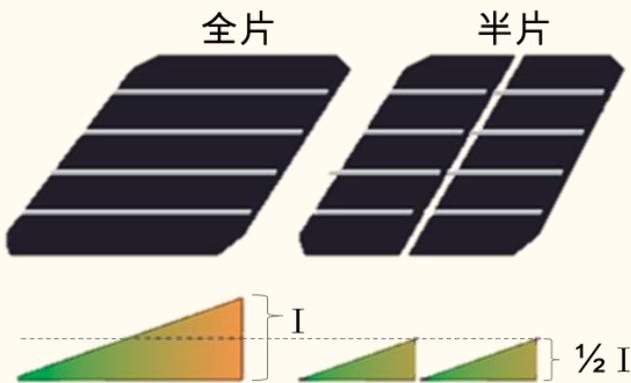
- **组件层面，成本基本无增加。**双面组件相对常规组件改动不大，主要为背板材料更换为玻璃或透明背板。此外，接线盒设计改进、交联方案及串焊机优化可使效益最大化，功率检测及标称标准化有利于双面组件推广；
- **双玻结构，寿命延长提高玻璃价格容忍度：**双玻组件质保 30 年，寿命的延长可摊薄背面玻璃成本，使组件对玻璃价格的容忍度略高于透明背板，且目前薄玻璃价格走低。短板是重量比较重。
- **透明背板，产线无需改动但透光率较低：**与玻璃相比，透明背板重量减轻，散热较好，适用于高温地区，且几乎不需改动原有产线。但透明背板透光率（80%~90%）低于玻璃（90%以上），且在恶劣环境中，有机材料背板长期使用会导致透明度因老化而降低，进而影响发电。此外，虽然透明背板价格与 2.5mm 钢化玻璃类似，但考虑铝框后成本略高于双玻。
- **性能及推广优化的其他措施：**交联环节串焊机需针对电池的加温及冷却稍加优化；优化接线盒设计，移到边角位置以减少组件遮挡；双面发电组件优势难量化，需设置明确的功率检测及标称标准。目前，用于双面装置的 IEC 标准已进入审核阶段，预计 2018 年内即将发布，与目前组件售价与峰值功率挂钩的体系不同，双面组件售价或将与度电指标挂钩。

半片电池组件

电流减半降低工作温度，特殊串并结构减少遮挡损失

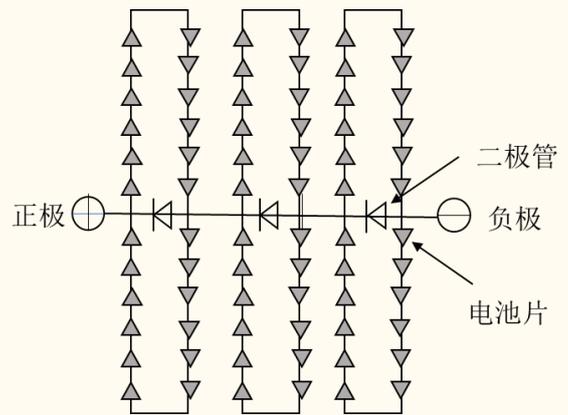
- 半片电池技术使用激光切割法沿着垂直于电池主栅线的方向将标准规格电池片(156mmx156mm)切成相同的两个半片电池片(156x78mm)后进行焊接串联。为了与整片电池构成的组件在电气参数上一致，应在组件内部进行电池片的串并联。一种可能的连接方式为：每 20 片半片串联，与另外一串 20 个半片并联，再整体与第二个这种并联体串联，再与第三串串联，仍旧使用三个旁路二极管。
- 由于太阳能晶硅电池电压与面积无关，而功率与面积成正比，因此半片电池与整片电池相比电压不变，功率减半，电流减半。

图表 37：半片电池中电流减半



来源：光伏杂志，国金证券研究所

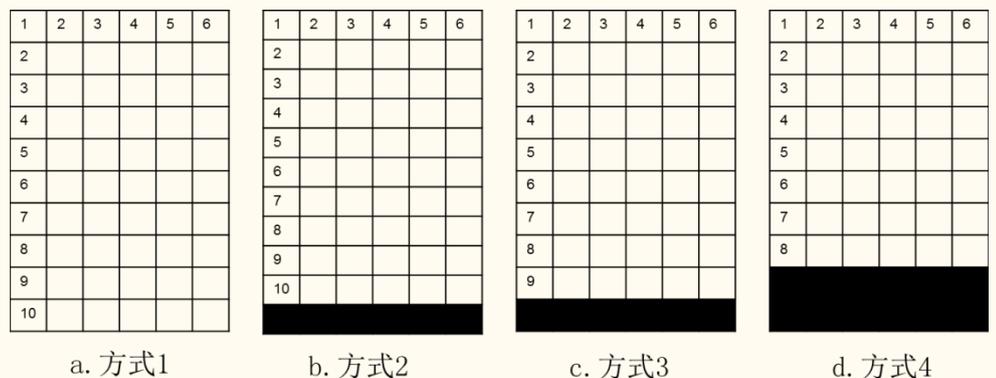
图表 38：半片电池在组件中的串并结构



来源：SolarBe，国金证券研究所

- 兼顾支架与土地利用率的时，减少遮挡造成的发电量损失。常规光伏组件安装在光伏电站上进行组件阵列排布时，通常有纵向排布与横向排布两种方式。纵向排布组件的优点是安装方便、支架利用率高、占地面积较小，缺点是在早晚阴影、灰尘、水渍、积雪等造成遮挡时，纵向排布的组件发电量损失比横向组件更多。半片组件凭借其特殊的串并结构，可以使组件在纵向排布提高支架与土地利用率的时减少阴影遮挡造成的发电量损失。
- 工作温度下降，热斑几率降低。由于减少了内部电流和内损耗，组件及接线盒的工作温度下降，热斑几率及整个组件的损毁风险也大大降低。在组件户外工作状态下，半片组件自身温度比常规整片组件温度低 1.6°C 左右。晶科能源半片组件的热斑温度比同版型整片电池组件的温度低约 25°C，可有效降低组件的热斑损伤。

图表 39：组件遮挡测试中 4 种不同方式



来源：海润光伏，国金证券研究所

图表 40：半片与常规组件(60 片)不同遮挡方式实测的发电量数据

组件类型	参数	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4
常规组件	Voc/V	37.73	37.68	37.47	37.13
	Isc/A	9.06	5.76	1.40	1.25
	P/W	254	164	32	26
	功能损失/%	-	35	87	90
半片组件	Voc/V	37.60	37.55	37.42	37.37
	Isc/A	9.08	9.00	8.99	8.89
	P/W	275	244	178	156
	功能损失/%	-	11	35	43

来源：海润光伏，国金证券研究所

电阻损耗减少 75%，功率增加 5~10W

- **电流减半，电阻损耗降低，功率提升 5~10W。**将电池片切半进行焊接串联，使得其电流降为原来的 1/2，因此其电阻损耗就下降到原来的 25% ($P=I^2R$)。得益于损耗功率的降低，填充因子与转换效率有所提升，比同版型 120 片组件功率提升 5-10W(+2%~4%)甚至更高。
- **工作温度低，减少温升带来的功率损耗。**半片组件户外工作温度比常规组件低 1.6℃左右，按照组件功率温度系数-0.42%/℃计算，同等条件下半片组件比整片组件功率输出高 0.672% (按普通组件功率 280W 的估算，功率提高 1.88W)。

图表 41：半片组件与常规组件性能对比测试

组件类型 (单位)	电池功率 W	组件功率 W	功率差值 W	理论功率 W	效率因子 -	Voc V	Isc A	Vmp V	Imp A	Rs Ω	Rsh Ω
半片组件 1#	4.19	259	7.088	251	0.8	37.22	8.94	30.96	8.38	0.34	113
常规组件 1#	4.19	252		251	0.7	37.42	8.87	30.42	8.29	0.47	158
半片组件 2#	4.48	275	7.756	269	0.8	37.60	9.08	32.16	8.55	0.27	121
常规组件 2#	4.48	267		269	0.8	37.85	8.98	31.23	8.55	0.44	161

来源：海润光伏，国金证券研究所

量产难度不大，组件端成本微增

- 与多主栅及叠片电池等组件技术相比，半片组件技术较容易控制，制作工序上需增加电池切片环节、串焊需求加倍，其中串焊过程与常规电池基本相同，切半环节有许多供应商提供解决方案：
 - **激光切划+机械切割。**这个工艺需要用激光对电池进行切划，然后用机械手段将电池切割成两片。能提供实现该工艺的工具的代表厂商包括德国的 Innolas 和英国的 ASM。
 - **热激光分离。**这种工艺使用激光沿着过中间点的细线加热电池，然后迅速冷却该区域，使电池在热张力的作用下裂开。该工艺的提供者表示这种方法能在切口处实现更高质量的电池边缘。提供热激光分离工具的厂商有 3D Micromac。
- 目前电池厂商尚未直接生产半电池，故**电池厂商成本基本无变化**，成本增加主要由组件厂商承担。半片电池组件与常规组件相同，均采用钢化玻璃、EVA 和 TPE(TPT、EPE)背板等材料进行封装，但电池的切片、辅料、人工、折旧等费用略有增加，**组件端成本微增**：

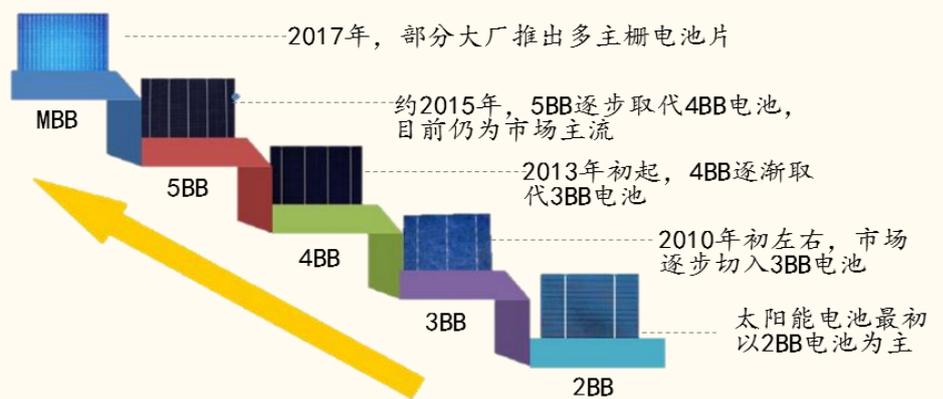
- **外观缺陷电池可再利用，但电池片损耗、组件残次品率升高。**由于半片电池将常规电池切半后使用，故外观受损范围较小的缺陷电池可实现再利用。然而晶体硅电池十分脆弱，切半过程增加电池片损毁；半片电池在组件中的串联过程也更加复杂、精细化、接头更多，电池破裂的概率增加。不过，半切电池成品率约 95%，领先的半切公司如 REC 及阿特斯阳光电力甚至可做到更高，目前串焊工艺也较为成熟，故此项导致的成本增幅并不大。
- **增加组件厂商电池切割成本：**由于电池厂商尚未直接生产半电池，故电池切割的成本、切割过程中电池片的损毁需要组件厂商承担。
- **串焊设备需求与工时加倍。**半片组件只需在串焊前将标准电池片对半切开，全程全自动裂片与传输，在组件生产环节，对串焊机稍加改造即可实现大规模量产。但是由于电池片数量增加一倍，故同等产能半片组件串焊机设备需求增加一倍，电池串联焊接的时间也加倍。
- **采用三分体接线盒。**由于层叠时焊接接头的数量增多，为增加组件发电可靠性采取分体接线盒设计，常规组件的 1 个接线盒变为三分体接线盒。

多主栅电池组件

技术逐渐成熟，组件可靠性提升

- 从金属电极遮挡电池减少有效受光面积，以及栅线材料银价格较高的角度考虑，栅线应越细越好。然而，栅线越细、导电横截面积越小、电阻损失越大。此外，组件内电池片之间由焊带与主栅相连，栅线的改动还涉及焊接工艺变化，因此栅线的设计需要在遮光、导电性及成本之间取得平衡。
- 近年来，随着硅片尺寸变大、网印技术改进、硅片成本下降导致正极银浆成本占比增加，多主栅技术难度越来越小而性价比日渐提升，多主栅 (Multi-Busbar, MBB) 甚至无主栅电池的市占率逐步提升，2017 年起部分大厂开始推出多主栅电池片，预计未来将逐步成为主流。

图表 42：太阳能电池主栅数量变化过程



来源：腾晖光伏，国金证券研究所

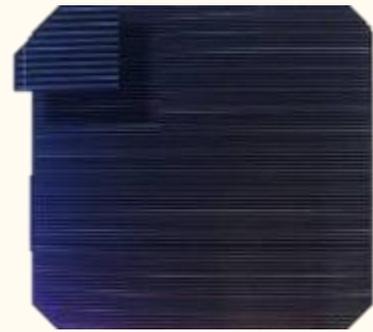
- **组件可靠性提升。**由于栅线密度增大，间隔小，即使电池片出现隐裂、碎片，多主栅电池功损率也会减少，仍能继续保持较好的发电表现。同时，焊接后焊带在电池片上的分布更为均匀，分散了电池片封装应力，从而提升了电池片的机械性能。

图表 43: 多主栅电池片



来源: 企业产品介绍, 国金证券研究所

图表 44: 无主栅电池片

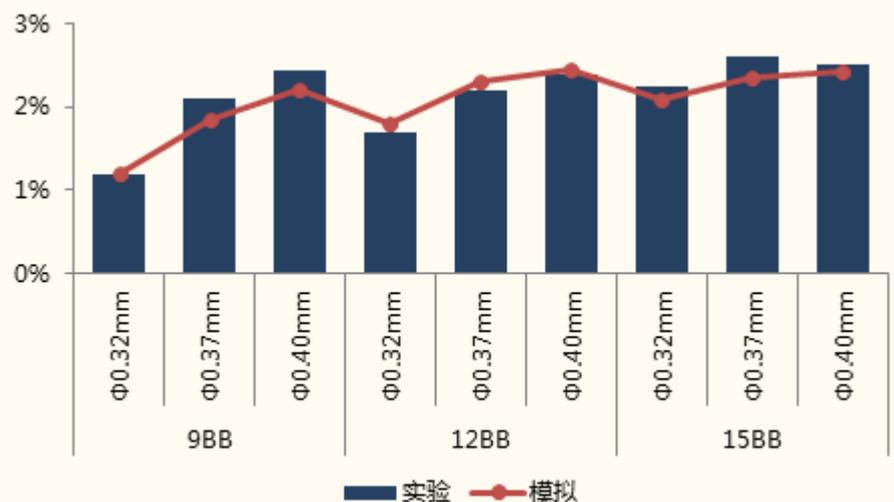


来源: 企业产品介绍, 国金证券研究所

降电极电阻与遮挡, 组件功率提升 5-10W

- 多主栅电池片大多采用 9/12 条栅线设计, 增加了栅线对电流的收集能力, 同时有效地降低了组件工作温度, 提高组件长期发电性能, 组件效率可提高 2.5%, 功率可提升 5-10W:
 - 电池内栅线密化, 电阻损耗降低。虽然电极变细使串联电阻提高, 但多主栅技术通过增加栅线的数量, 将栅线密化, 减小了发射区横向电阻; 通过增加栅线横截面积 (减小栅线宽度, 增加栅线高度), 减小了导线电阻。每条主栅线承载的电流变少, 电流在细栅上的路径变短, 功率损耗得到有效降低。
 - 有效受光面积增大。更细更窄的主栅设计有效地减少了遮光面积, 有效受光面积增大。多主栅电池与 5BB 电池相比遮光面积大约减少 3%。
 - 圆形焊带的二次光反射效应增加电池光的吸收利用率。使用传统扁平/方型焊带时, 焊带上方的入射光基本被反射损失掉, 而圆形焊带上方的入射光经过玻璃二次反射可被电池片有效吸收利用, 从而提高光生载流子的收集率。

图表 45: 多主栅组件的实验功率增益和理论模拟功率增益



来源: 光伏产业观察, 国金证券研究所

量产难度稍高, 银浆消耗量减少成本下降

- 与传统光伏电池片制造和组件封装相比, 多主栅技术不需要额外的步骤就可以完成主栅电池/组件封装。其技术难点主要在于电池片分选、组件串焊、组件叠层三个方面, 尤其是串焊过程中焊接对准和焊接牢度挑战较大。

- 电池串联为组件的过程中，需用焊带将一块电池片的主栅线与另一块电池片的背面焊接。主栅数量增加的同时，互联条宽度也需要做得更多、更细，焊接难度极大地增加，传统电池互联技术难以满足制作要求，需要有新的互联技术：
 - **焊接法**：最接近传统电池互联技术，在用设备升级改造即可实现。依然采用涂锡焊带在热焊接条件下实现电池片间的互联，焊带宽度下降到一定程度后截面制作为圆形。焊接法接近传统互联技术，在用设备升级改造即可用于多主栅组件生产。缺点在于良率可能降低，且高温过程导致其与异质结（HJT）电池技术、薄片技术不兼容。焊接法的代表厂商为 Schmid 公司。
 - **低温合金法**：不需要印刷主栅，但成本较高。将 18 根甚至更多表面覆盖有低温合金的圆形铜线铺设于聚合物薄膜上，再和聚合物薄膜一起铺设于电池片上。表面低温合金会在层压过程中融化，并将电池片与金属线互联。虽然该技术不需印刷主栅，节省了银浆成本，但由于引入高价低温合金材料及聚合物薄膜等配套封装材料，制造成本相对较高。典型代表为 MeryerBurger 公司的 SmartWire 技术。
 - **导电胶法**：扁平状互联条遮光面积大，技术成熟度差。先将导电胶膜裁成条状并贴在电池片两面对应主栅的位置，再将互联条置于导电胶膜上，并通过约 200℃ 的热层压过程将互联条和电池片层压在一起。导电胶的上胶方式包括胶膜、印刷、点胶到电池片或涂在互联条上，各类方式的制程温度都较低，可以和 HJT 及薄片技术兼容。缺点在于导电胶对接触面积要求较高，互联条需为扁平状/长方形，遮光面积较大且允许的主栅数量有限。典型代表为 Hitachi 公司的 CF 技术。
 - **预制互联网格法**：采用弹性的金属网格代替传统的互联条。特指 GTAT 的 Merlin 技术。采用弹性金属网格代替条形互联条。金属网采用铜线汇流，浮动连接线维持金属网形状，与电池片互联方式包括热焊接、低温合金连接或导电胶连接。

图表 46：多主栅的互联技术汇总

	焊接法	低温合金法	导电胶法	铜网法
互联方式	使用涂锡焊带在热焊接条件下进行互联	在层压过程中，有低温合金包裹的铜线将电池片互联起来	使用导电胶焊带粘接在电池片上	焊接，导电胶，低温合金
印刷图形	多主栅	无主栅	多主栅	无主栅
印刷站数	3~4	2	3~4	2~3
焊带形状	圆形	圆形	长方形	铜网
可节省的浆料	中	高	中	高
功率增益	高	高	高	高
优势	成本低，与现有产线最相近	与 HJT 和薄片技术兼容	与异质结和薄片技术兼容	-
劣势	设备成熟度差，不能用于 HJT 和薄片	对常规电池来讲成本过高	技术成熟度差	-
适用技术	常规电池、双面电池	双面电池、HJT、薄片	常规电池、双面电池、HJT、薄片	-

来源：光伏专委会，国金证券研究所

- **电池成本：银浆消耗下降，但需要新的网版。**由于多主栅电池经过重新设计，栅线数量增多，密度增大，因此需要更换新的工艺与装置。在电池制造环节，对成本的影响主要来自银浆消耗量以及新装置的采购与调整。
- **银浆消耗下降，带动电池片每片成本节省 0.24 元。**由于栅线变细，电极银浆消耗量下降，12BB 相比 5BB 银浆消耗至少可节省 30% 以上。目前，5BB 电池片正银耗量约为 110mg/片，12BB 正银耗量约为 70mg/片，仅在银浆环节，多主栅电池片每片成本即可节省 0.24 元，直接带动电池成本的下降。按每片电池 4.5W 估算降本幅度 0.5 元/W。

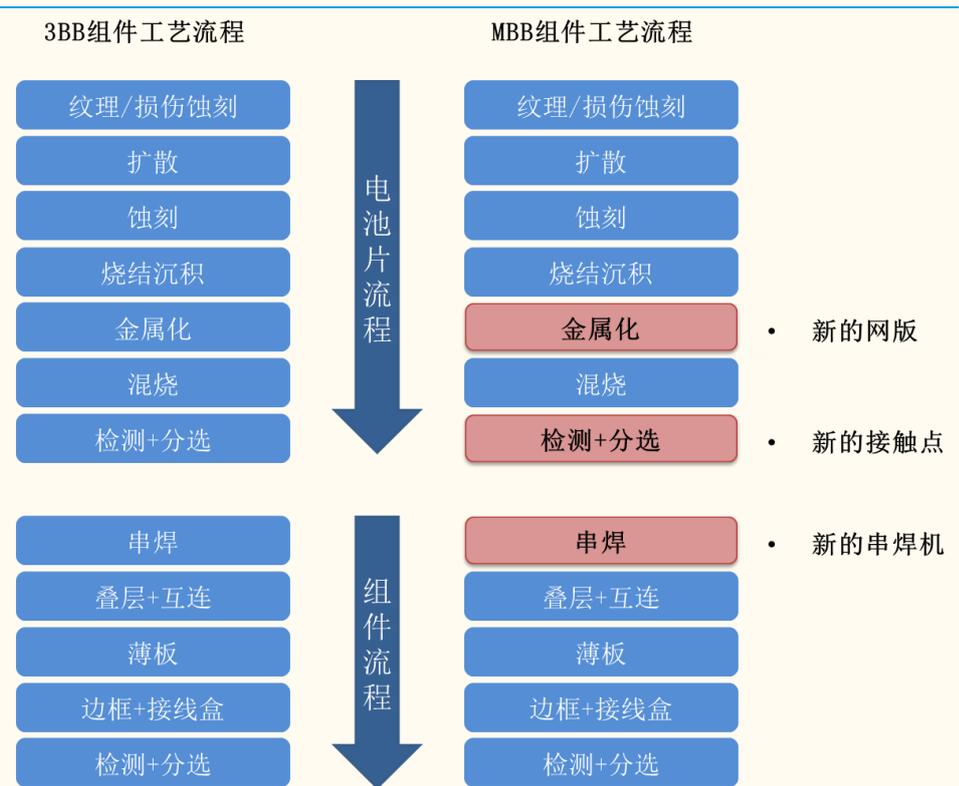
- 栅线宽度受制于网印工艺，需要新的网版。多主栅技术在电池制造环节依然采用丝网印刷工艺，但由于栅线的宽度受制于网印的工艺，因此需要新的网版。

图表 47: MBB 与 5BB 的耗材及成本比较

BOM 差异	5BB	MBB	成本差异 (72 片)
电池浆料	110mg/pcs	74mg/pcs	-11.8¥
焊带成本		+80%	+0.3¥

来源：光伏专委会，国金证券研究所

图表 48: 多主栅电池组件工艺流程



来源：SolarBe，国金证券研究所

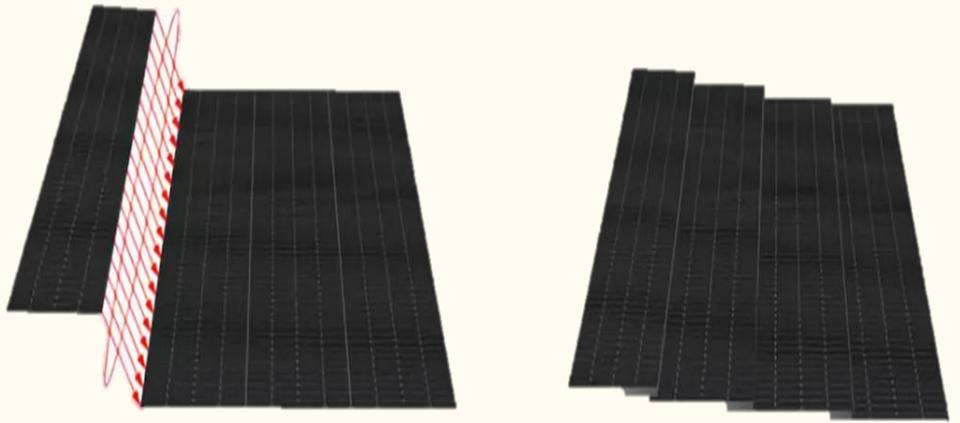
- 组件层面：需搭配自动汇流焊接设备。在组件制作环节，多主栅技术基本上不需要增加额外的步骤就可以完成组件封装，但由于栅线焊点太多，手动焊接效率太慢，因此多主栅组件生产必须要搭配自动汇流焊接设备，以满足产能需求。叠层操作环节需要将电池串被放置在玻璃上，除此之外，使用 15Cu 线进行电池串互连及后续组件层压时，不需要对现有工艺进行大幅修改，也不会产生额外费用。

叠片电池组件

采用无主栅设计，电池交叠互联无焊带

- 叠片电池组件技术将电池片切割为 4-5 份小片，再将电池正反表面的边缘区域制备成主栅，然后使前一片电池的前表面边缘与下一片电池的背表面边缘互联。这样的设计使得电池片以更加紧密的方式互相连接，电池间缝隙降到最低，边缘甚至稍微重叠。叠片组件技术采用整体无主栅设计，通过一种类似导电胶的方式将电池以串并联结构紧密排布，省去了焊带焊接。

图表 49：叠片组件结构



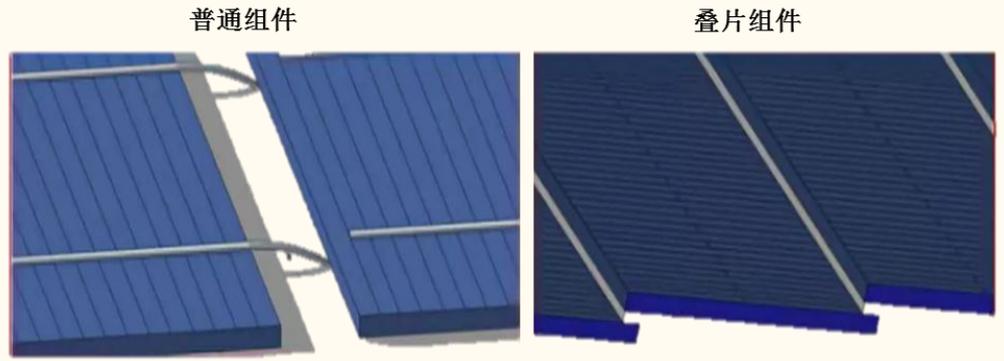
来源：SolarBe，国金证券研究所

- 叠片技术采用无主栅设计，降内耗提功率的同时大幅度降低了反向电流对组件产生热斑效应的影响，提高了组件的机械性能。
- **解决热斑问题，抗裂能力增强。**由于叠片组件独特的排列方式，降低了焊带电阻对组件功率的影响，保证了组件封装过程中的最小功率损失，降低了反向电流对于组件产生热斑效应的影响。叠瓦组件特有的柔性连接，可以最大程度地减少由于组件运输与现场安装可能带来的电池片隐裂，控制隐裂延展。
- **适用于高纬度及土地集约等高遮挡地区。**与其他常规组件比，叠片组件在部分遮光条件下损耗功率更低，因此更适合于高纬度地区、土地集约项目以及分布式项目等。

可放电池片数量增加 13%，组件功率可提升 15-20W

- 叠片技术通过交叠电池小片，实现无电池片间距，在同样面积下可以放置更多的电池片，从而有效扩大了电池片受光面积，发电增益可达 18.5%，组件效率可提升到 18.81%，远高于半片、多主栅等组件技术：
- **密度大，省空间，同版型组件可放置电池片数量增加 13%。**2017 年主流的叠瓦版型是将 1 片常规尺寸的电池片（156mm 边长）切成 5 小片，34 小片串联成为一串，2 串串联后再并联形成一个组件。组件中，电池片总面积相当于 68 片 156mm×156mm 电池，组件面积相当于 60 片 156mm×156mm 电池的版型，其尺寸为 1623mm×1048mm×40mm，即同版型组件中电池片数量增加 13.3%。
- **采用无主栅设计，减少金属栅线遮光面积。**叠片电池的无主栅设计减少了金属栅线遮光面积，提高组件输出功率。
- **串并结构减少内阻，降低遮光影响。**叠片组件特殊的串并结构降低了组件内阻与内部功耗。并联电路设计使叠瓦组件功率下降与阴影遮蔽面积呈线性关系，与其它常规组件相比在部分遮光的条件下表现更好。

图表 50：常规组件和叠片组件的电池片间距比较



来源：企业产品介绍，国金证券研究所

量产难度较大，改变了传统的组件焊接技术

- 叠瓦组件的导入大幅度地改变了传统的组件焊接技术，使得量产难度增大。主要包括四个方面的改进：电池片电极设计的改进；激光切片以及切片后的测试与分选；小片点胶焊接；导电胶代替金属焊带。
 - **电极设计：**无主栅设计使得小片的测试与分选较为困难。小片电池的边缘成为主栅位置，为该种小片的测试与分选带来了困难。目前国内绝大多数企业切片后不再进行分选。虽然整片进行了分选，但是整片内的效率不均匀性也会造成小片的功率差，为后续的组件封装带来功率下降的风险，这种情况对多晶硅电池片尤其明显。
 - **激光切片：**切片问题会影响组件的收益率。激光切片虽然已经是十分成熟的技术，但是激光切片所造成的边缘损伤、边缘短路、碎片等仍旧是十分重要的，影响着这种组件的收益率，对多晶组件尤为明显。
 - **焊接技术：**需加入特有的叠瓦流程。硅片叠焊的工艺包括：切片—涂胶—叠片—固化—汇流条焊接—排版—覆膜—层压，加入了特有的叠瓦流程，需采购专用的全自动叠瓦串焊机，使得单位面积下可以叠放更多的太阳能电池片。此外，电池片之间必须紧密连接，电池在生产过程中要非常平整，组件封装有一定的难度，需要采用新设备和材料。
 - **导电胶：**电池片生产的关键材料，完美替代品尚未出现。叠片技术采用无焊带设计，焊接材料包括导电胶、导电胶膜。导电胶膜具有更高的玻璃转化点（Tg），降低了因组件温度变化而带来的应力变化。导电胶的 Tg 低得多，长期使用后可靠性下降，但其金属含量比导电胶膜高很多。综合来看导电胶略胜一筹，但目前尚未找到完美的叠瓦焊接材料的解决方案。

图表 51：叠片组件对导电胶的要求

类别	叠瓦组件要求
流动性	焊接时无残胶、断胶、溢胶
触变性	可适用螺杆、喷射、丝网印刷工艺
固化速度	30~50s@150℃
电导率	< 1×10 ⁻³ Ωcm
粘结力	> 6N/cm
耐老化性 (IEC61215)	叠瓦组件功率衰减 5%

来源：光伏专委会，国金证券研究所

- 导电胶固化温度不能过高，相当于层压温度（150℃以下），故只能使用低温导电银浆。其中，60~80%wt 的导电粒子提供导电特性，20~40%wt 的聚合物基体提供导电粒子的载体、固化方式、粘接强度、耐老化特性等。导电粒子一般为银离子，有机硅是比较全面的一种聚

合物基体，其他聚合物基体还包括：丙烯酸酯体系；环氧体系；有机氟体系。此外，涂胶方式分为丝网印刷、螺杆点胶、喷射点胶。

图表 52：各种导电胶体系的特性比较

类别	丙烯酸	有机氟	环氧	有机硅
固化速度	快	中等	快	快
粘接强度	优	中等	优	中等
可反工性	差	优	差	优
耐候性	中等	优	差	优
低温柔顺性	差	差	差	优

来源：光伏专委会，国金证券研究所

- 成本方面，由于叠片组件改变了传统的焊接技术，在生产过程中需要采购额外的串焊设备，增加了生产成本。但是叠片组件在分选环节大大减少了生产时间和成本；叠片组件舍弃了传统的焊带技术，大幅节省了 BOM 成本。叠片技术适用于超薄电池片（100~120um），未来可有效节约硅成本。

风险提示

- 政策风险：尽管光伏发电成本已临近平价上网，正逐渐摆脱对政策扶持和政府补贴的依赖，但作为电源，尤其是占比越来越大的情况下，不可能彻底摆脱政策的监管，若中国或海外国家政府对清洁能源态度发生重大转变，则仍可能面临一定的政策风险。
- 技术可靠性风险：新工艺、新技术在推广应用初期，如果因为种种原因导致应用效果远不及预期，甚至造成损失，可能严重影响该项新技术未来的应用前景。
- 产业投资收缩导致技术进步放缓风险：目前光伏行业处于相对景气低谷阶段，如景气复苏不及预期，导致企业大幅缩减甚至停止扩产或工艺升级相关的资本开支，则可能导致预期的技术进步速度放缓。

公司投资评级的说明：

买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 15%以上；
增持：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 5%—15%；
中性：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -5%—5%；
减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 5%以上。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明:

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；非国金证券 C3 级以上（含 C3 级）的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 7 楼

北京

电话：010-66216979

传真：010-66216793

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100053

地址：中国北京西城区长椿街 3 号 4 层

深圳

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳福田区深南大道 4001 号

时代金融中心 7GH