

周期、成长共振，光伏 20 年回顾及展望

光伏行业深度复盘

核心观点

- **供给、需求及技术因素共振，光伏行业具备成长和周期双重属性。**当前光伏的成本已经降低到平价，产业主要矛盾从光伏发电成本，转变为光伏发电的电网接受力。站在光伏产业的历史节点，本文从**技术、政策、企业格局、各国光伏发展**四个角度梳理了 2000-2022 年光伏产业的发展，为下半场“如何让光伏发电成为电网最受欢迎的电源—构建以新能源为主体的新型电力系统”指明方向。
- **技术端：**2008 年冷氢化技术的突破大幅降低了光伏生产成本，奠定了晶硅的主流路线；2015 年以来的单晶替代潮提升了光伏发电效率，同时生产成本下降，有效扩大了行业需求；近 7 年来组件封装技术不断进步，双面、半片、多主栅等技术的普及提升了组件功率，提升了光伏发电的竞争力；目前行业主流厂商均在进行电池片技术的研发/量产，topcon 路线量产规模最大，占比 5%左右，HJT 其次；目前光伏消纳是行业最大的技术难题，绿电绿证峰谷电价等电力系统改革、储能逆变器等设备配套是当前行业关注重点。
- **政策端：**2000 年德国《可再生能源法》补贴推动欧洲逐渐成为光伏最大需求地；2008 年经济危机、美欧双反，严重打击了我国光伏出口；2009 年起，受政策补贴驱动，我国光伏市场正式开启，标杆电价、度电补贴、光伏扶贫、领跑者工程、户用光伏、绿证交易等政策先后登场；2018 年 531 新政发布，我国光伏产业由补贴推动向平价推动转变；2021 年光伏财政补贴彻底结束，全面进入平价时代；目前各国相继提出碳中和目标，我国相继开展了风光大基地、整县推进等重大项目。
- **企业格局：**全球光伏产业规模稳健增长，中国企业持续加码，占比不断上升。从产量来看，截止 2021 年，中国四大环节的全球市占率均达到 78%以上，全球生产规模前十中中国厂商占据绝大多数。由龙头企业驱动的垂直一体化战略逐渐成为近年行业发展的新趋势，不仅能够有效地控制终端成本，并且还可以进一步保证订单的及时交付，对公司的产能规划、业务开拓都有着积极的意义。
- **各国光伏发展：**2021 年全球光伏新增装机 170GW，较 2011 年 30.2GW 提升超 462.9%。随着光伏平价时代到来，成本优势明显，光伏发电成为了全球越来越多国家和地区电力装机的重要选择。全球光伏装机市场呈现遍地开花的局面，不再依赖某个单一市场，中国、欧洲、美国、印度贡献了主要的新增装机增量。中国已成为全球最主要的光伏出口国家。

投资建议与投资标的

- **展望未来，光伏产业有望继续保持高景气度，全产业链有望在降本扩需提效中持续受益，建议重点关注硅料降价后明确受益的环节。**1、光伏电站运营商，新投电站成本下降，年投建规模提升，有望量利齐升，建议关注芯能科技(603105，未评级)、太阳能(000591，未评级)等；2、辅材量升利稳，建议关注胶膜环节福斯特(603806，未评级)、海优新材(688680，未评级)、支架环节意华股份(002897，未评级)、玻璃环节福莱特(601865，未评级)、亚玛顿(002623，未评级)等；3、逆变器，细分环节龙头有望量利齐升，建议关注昱能科技(688348，未评级)、禾迈股份(688032，未评级)、德业股份(605117，未评级)、阳光电源(300274，未评级)、固德威(688390，未评级)、锦浪科技(300763，未评级)、上能电气(300827，未评级)等；4、看好电池片环节 N 型技术迭代利润恢复，建议关注钧达股份(002865，未评级)、爱旭股份(600732，未评级)。

风险提示

- 光伏行业增长不及预期；能源结构转型速度不及预期；竞争加剧；电网消纳问题限制；光伏政策超预期变化。

行业评级 看好 (维持)

国家/地区 中国
行业 电力设备及新能源行业
报告发布日期 2023 年 02 月 10 日



证券分析师

卢日鑫 021-63325888*6118
lurixin@orientsec.com.cn
执业证书编号: S0860515100003

顾高臣 021-63325888*6119
gugaochen@orientsec.com.cn
执业证书编号: S0860520080004

施静 021-63325888*3206
shijing1@orientsec.com.cn
执业证书编号: S0860520090002
香港证监会牌照: BMO306

联系人

梁杏红 liangxinghong@orientsec.com.cn
严东 yandong@orientsec.com.cn
张洋 zhangyang3@orientsec.com.cn

相关报告

逆变器：乘光储东风，踏浪前行：——逆变器系列报告（2） 2022-12-25

风电光伏演绎新逻辑，行业景气度再上新台阶：——电力设备及新能源行业 2023 年度投资策略 2022-11-27

目录

技术迭代推动降本增效，光伏制造科技属性渐浓	6
硅料：技术壁垒最高，冷氢化奠定晶硅主流路线.....	6
2009 年冷氢化工艺大幅降低晶硅制造端成本，晶硅路线成为主流	7
2021 年协鑫推出颗粒硅，打开降本新思路，品质有待提升	7
硅片：推动单晶革命，向大尺寸+薄片化方向发展.....	9
电池片：技术路线百花齐放，科技属性渐浓.....	12
BSF→PERC→TOPCon、HJT、IBC 技术，晶硅技术百花齐放	13
钙钛矿薄膜技术发展迅速，发展前景巨大	17
组件：多样化发展，助力光伏制造端降本增效.....	20
双面组件带来发电增益，全行业普及	21
高密度封装助力大尺寸硅片组件实现更高功率	22
电池片与组件环节联合创新，主栅与焊带不断优化	24
平价时代，配套系统升级走向台前.....	27
光伏运营端精细化管理推动逆变器升级	28
电力系统灵活性日益重要，多种系统进行调节	30
光伏支架向跟踪支架升级，提高发电量增益	33
财政补贴推动光伏平价，碳中和打开光伏需求天花板	35
财政补贴促进“降本和装机增长正循环”，2021 年进入全面平价时代.....	36
光伏产业完成平价目标，迎接下一个碳中和目标.....	37
从制造端企业格局变动来看我国光伏产业崛起.....	40
碳中和背景下，全球各地光伏需求旺盛	42
欧洲：装机需求旺盛，依赖中国进口.....	43
美国：光伏装机稳步向上，对华贸易壁垒高.....	45
印度：装机潜力巨大，贸易壁垒政策反复.....	47
日本：光伏装机平稳增长，八成依赖进口.....	49
总结与展望：中国光伏产业继续奔赴新征程	52
总结：光伏十年取得巨大成就.....	52
展望：供给端降本扩大景气度，技术突破进入下一个十年.....	52
投资建议.....	54
风险提示	55

图表目录

图 1: 西门子法发展历程	7
图 2: 光伏颗粒硅发展历程	8
图 3: 硅烷流化床法及其颗粒硅产品	8
图 4: FBR 颗粒硅较西门子法成本下降	9
图 5: 2021-2030 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势	9
图 6: 2016-2030 年单晶渗透率快速提升	10
图 7: 隆基绿能单晶硅片生产成本变化	11
图 8: 光伏硅片尺寸变化	11
图 9: 2021-2030 年各尺寸硅片市场占比变化趋势	12
图 10: 2016-2025 年硅片厚度变化趋势 (μm)	12
图 11: 光伏电池片效率演进图	13
图 12: 光伏电池起源	13
图 13: PERC 技术发展历程	14
图 14: N 型技术发展梳理 (从上到下: TOPCon、IBC、HJT)	15
图 15: BSF、PERC、TOPCon (双面)、HJT、IBC 电池的结构示意图 (从左到右)	16
图 16: 2012-2030 年国内电池片量产转换效率发展趋势	17
图 17: 2021-2030 年各种电池技术市场占比变化趋势	17
图 18: PERC+MWT+SE 电池设计原理	17
图 19: 薄膜电池发展梳理	18
图 20: 1980-2015 年光伏技术市场份额变化	18
图 21: 钙钛矿电池发展历程	19
图 22: n-i-p 型的纯钙钛矿电池结构	20
图 23: HJT-钙钛矿叠层电池结构	20
图 24: 2009-2022 年 PERC 组件功率提升路径	21
图 25: 2017-2030 年单/双面组件市场占比变化趋势	22
图 26: 半片组件较整片发热量降低原理	23
图 27: 半片组件电路结构设计	23
图 28: 2016-2030 年组件封装技术的市场占比变化趋势	23
图 29: 叠瓦组件结构示意图	24
图 30: 丝网印刷形成电极	25
图 31: 组件焊带示意图	25
图 32: 2021-2030 年各种主栅技术市场占比变化趋势	25
图 33: 2021-2030 年电池正面细栅线宽度及精度变化趋势	25
图 34: 2021-2030 年电池片正面金属电极技术市场占比变化趋势	26

图 35: 无主栅电池片.....	26
图 36: 无主栅结构.....	26
图 37: MWT 组件 (左) 与传统组件结构 (右)	27
图 38: 光伏逆变器工作原理.....	28
图 39: 集中式光伏逆变器工作模式.....	29
图 40: 组串式光伏逆变器工作模式.....	29
图 41: 辐照度变化对光伏组件输出功率的影响 (MPPT 跟踪)	30
图 42: 温度变化对组件输出功率的影响 (MPPT 跟踪)	30
图 43: 火电灵活性改造涉及子系统示意图	31
图 44: 户储电芯产品举例	32
图 45: 大储电芯产品举例	32
图 46: 储能电站系统.....	33
图 47: 风光配储收益模式	33
图 48: 季节可调固定式支架.....	33
图 49: 斜单轴跟踪支架.....	33
图 50: 跟踪支架系统.....	34
图 51: 2021-2030 年国内跟踪系统市场占比变化趋势.....	34
图 52: 2021 年跟踪支架行业竞争格局 (按出货量)	34
图 53: 中国光伏新增装机容量 (GW)	35
图 54: 2011-2022 年光伏组件价格变化情况 (美元/瓦)	35
图 55: 我国光伏财政补贴政策梳理.....	36
图 56: 2013-2022 年中国光伏发电补贴退坡历程(元/千瓦时).....	37
图 57: 我国光伏产业政策梳理	38
图 58: 我国风光大基地项目进展.....	39
图 59: 2022 年 1-9 月分布式光伏招标中整县推进规模及占比.....	40
图 60: 2011-2021 年中国光伏四大环节产量及全球占比	40
图 61: 全球新增光伏装机规模复盘.....	43
图 62: 欧洲新增光伏装机规模复盘 (GW)	43
图 63: 美国光伏装机梳理	45
图 64: 印度年度光伏装机量情况.....	47
图 65: 我国出口印度组件规模 (GW)	49
图 66: 日本光伏装机梳理	50
图 67: 2014-2020 年中国出口日本光伏组件规模 (MW)	51
图 68: 光伏行业盈利公式	53
表 1: 光伏制造端重大技术变革汇总.....	6
表 2: 组件环节重大技术变革	6

表 3: 2016-2030 年西门子工艺能耗统计	7
表 4: 硅片环节重大技术变革	10
表 5: 电池片环节重大技术变革	12
表 6: 各种新型晶体硅电池的工艺对比（加粗为新增工艺）	16
表 7: 薄膜太阳能电池分类	17
表 8: 最新钙钛矿电池实验室光电转换效率	19
表 9: 钙钛矿产能布局	20
表 10: 组件环节重大技术变革	21
表 11: 双面组件与单面组件的性能对比	22
表 12: 主要叠瓦技术专利情况	24
表 13: 光伏配套产品	28
表 14: 各类光伏逆变器应用对比	29
表 15: 电源侧及储能侧部分资源灵活性运行参数	30
表 16: 动力电池和储能电池的不同之处	31
表 17: 储能电站用磷酸铁锂、钛酸锂、三元锂电池一般性技术水平对比	32
表 18: 光伏支架分类及性能对比	33
表 19: 十四五期间国内主要光伏应用场景	35
表 20: 三批领跑者项目规模及指标要求汇总	38
表 21: 全球组件生产规模前十企业	41
表 22: 全球电池片生产规模前十企业	41
表 23: 全球硅片生产规模前十企业	41
表 24: 全球多晶硅生产规模前十企业	42
表 25: 中欧光伏贸易争端	44
表 26: 欧洲光伏发展目标最新进展	44
表 27: 美国光伏政策梳理	45
表 28: 美国对华光伏贸易保护政策	46
表 29: 印度近年主要光伏财政激励计划	47
表 30: 印度光伏产品相关认证限制政策	48
表 31: 印度光伏产品贸易摩擦事件梳理	48
表 32: 日本光伏 FIT 政策	50
表 33: 光伏行业 2010-2021 年主要成果	52
表 34: 光伏制造端研究框架	53
表 35: 2023 年光伏产业链制造端趋势判断	54

技术迭代推动降本增效，光伏制造科技属性渐浓

在过去的20年中，技术迭代带来光伏行业大幅度的降本增效，其中最为重要的是硅料环节冷氢化技术的发明与全行业普及、硅片环节单晶技术的持续降本与全行业普及。接下来按时间顺序分别梳理四大环节的主要技术变革。

表 1：光伏制造端重大技术变革汇总

环节	时间节点	公司	技术	被替代/改进技术	当前技术普及率	成本	效率
硅料环节	2009	协鑫	冷氢化工艺	第一代西门子法	100%	↓70%	↑
	2021	协鑫	硅烷法颗粒硅	西门子法	<5%	↓30%	↑
硅片环节	2013	隆基	金刚线工艺	砂浆切割	100%	↓60%	↑
	2013	隆基	直拉法	多晶铸锭	95%	↓60%	↑
	2015	隆基、中环	统一市场尺寸	硅片向大尺寸发展	100%	↓	↑
	2020	隆基	182 尺寸		~45%	↓	↑
	2020	中环	210 尺寸		↓	↑	
	2021	设备厂主导	钨基金刚线	碳钢金刚线	进入量产	↓	↑
电池片环节	2016	隆基	PERC	BSF 技术	100%	↓	↑2%
	2020	晶科、钧达...	TOPCon	P 型电池技术	~9%	↓	↑1%
	2021	爱康、华晟...	HTJ		逐渐起量, 3-4%	↓	↑1%
	2021	隆基、爱旭	IBC		小批量	↓	↑1%
	2022	协鑫光电、纤纳光电...	钙钛矿电池	晶硅技术	未商业化	↓	↑
组件环节	2015	组件厂商	双面组件	单面发电（常规背板）	~43%	↓	↑
	2018	组件厂商	半片	高密度封装	90%	↓	↑
	2019	通威、环晟、赛拉弗	叠瓦		4-5%	↓	↑
	2017	组件厂商	多主栅技术	电池片与组件环节联合创新（电极与焊带）	>90%	↓	↑
	2021	银浆公司	银包铜、电镀铜		小批量	↓	↑
	2021	迈为...	无主栅技术		研发阶段	↓	↑
	2021	日托光伏	MWT		<1%	↓	↑

数据来源：各公司公告，CPIA，WIND，东方证券研究所

硅料：技术壁垒最高，冷氢化奠定晶硅主流路线

上世纪五六十年代，多晶硅生产的两大技术路线相继问世，其中西门子法通过多次技术迭代一直引领行业前行，成为世界的主流路线，而流化床法作为第二技术路线也在持续进步。自2000年德国补贴打开全球光伏市场后，曾发生过2次大的技术变革，均由协鑫推动。其中第一次冷氢化技术更是颠覆了光伏行业格局，极大提升了行业供给水平。

表 2：组件环节重大技术变革

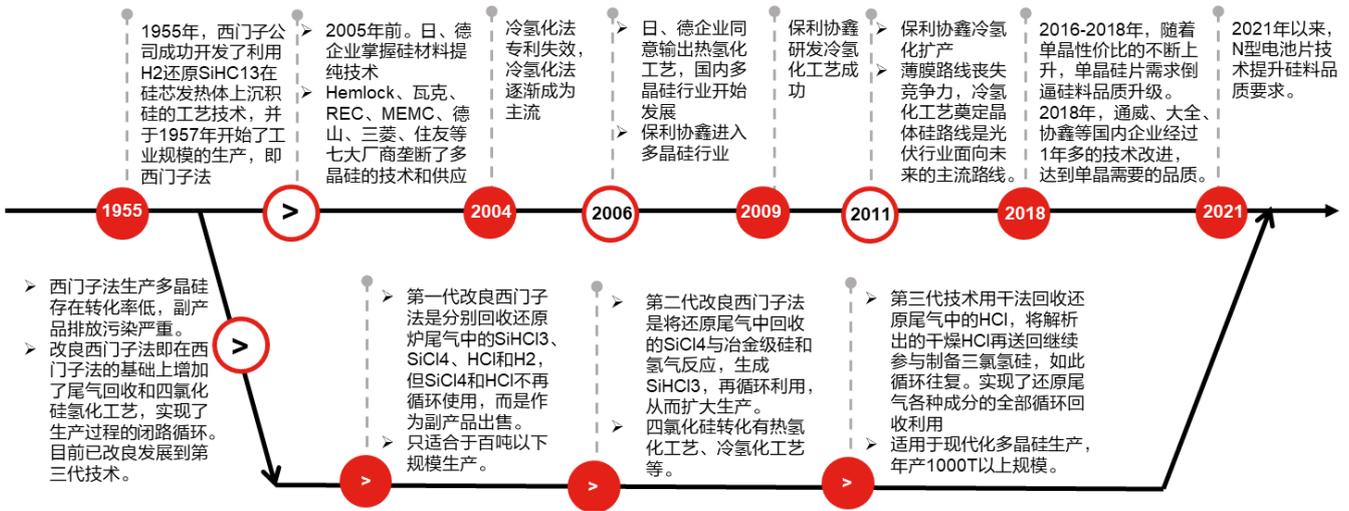
时间	公司	技术	被替代/改进技术	技术普及情况	成本下降
2009	协鑫	冷氢化工艺	西门子法（改进）	100%	↓70%
2021	协鑫	硅烷法颗粒硅	西门子法（替代）	<5%	↓30%

数据来源：协鑫科技公司公告，CPIA，WIND，东方证券研究所

2009 年冷氢化工艺大幅降低晶硅制造端成本，晶硅路线成为主流

西门子法自开发至今已 60 余年，技术不断改进，产品品质和生产成本不断优化，经过多次技术迭代已然成为多晶硅企业的主流。早期的氢化方法称为“热氢化法”，工艺成本高昂。2004 年冷氢化法的专利保护限制失效，冷氢化工艺迅速发展。2006 年，掌握硅材料提纯技术的日本和德国跨国巨头同意输出热氢化工艺，国内多晶硅行业开始发展。2006 年保利协鑫进入多晶硅行业，开始技术降本探索，设计还原炉和反应釜摸索工艺，2009 年研发冷氢化工艺量产硅料成功，冷氢化技术突破大幅降低多晶硅生产成本。

图 1：西门子法发展历程



数据来源：《改良西门子法制备多晶硅还原过程研究进展》李亚广等，《多晶硅生产工艺现状及改良西门子法工艺流程》曹胜军，东方证券研究所

发展至今，西门子法经过三次改良，生产成本大幅下降。根据 CPIA 数据，2021 年我国多晶硅行业的平均电耗为 63kWh/kg-Si，较 2016 年下降 21.3%；预计至 2030 年还有 5% 以上的下降空间。

表 3：2016-2030 年西门子工艺能耗统计

指标	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2030E
还原电耗 (kWh/kg)	52	50	49	50	49	46	42
综合电耗 (kWh/kg)	80	73	71	70	66.5	63	55
蒸汽消耗 (kg/kg)	42.5	<31	31	28	23	18.4	8.8
综合能耗 (kgce/kg)	14.05	<13	13	12.5	11.5	9.5	7.6

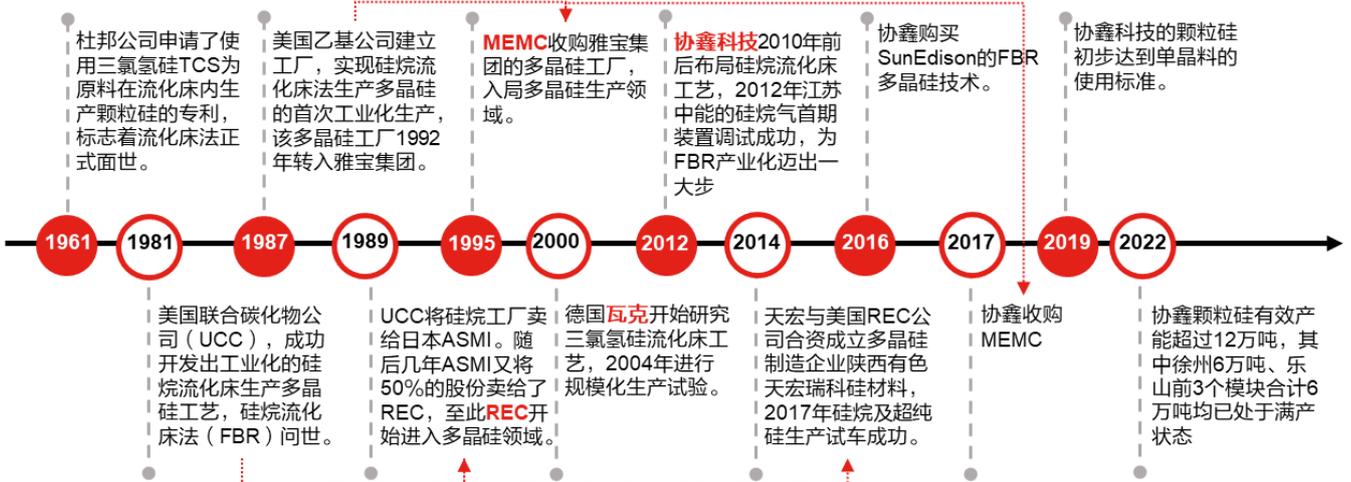
数据来源：CPIA，东方证券研究所

冷氢化技术变革的市场影响：2004-2008 年光伏需求旺盛，硅料供不应求，价格高涨。硅料价格由 2000 年的 9 美元/kg，飙涨至 2008Q3 的 500 美元/kg，期间涨幅高达 56 倍。当时薄膜路线的性价比凸显，同时金属硅和废硅回收冶炼等路线受到关注。冷氢化工艺突破后成本大幅增加，导致 CIGS 和碲化镉等薄膜路线丧失竞争力纷纷退出，冷氢化工艺奠定了晶体硅路线是光伏行业面向未来的主流路线。

2021 年协鑫推出颗粒硅，打开降本新思路，品质有待提升

多晶硅流化床路线从 20 世纪 60 年代开始研发。早期硅料需求主要来自半导体行业，对纯度要求更高，而且需求总量有限，因此西门子保持统治地位，流化床法发展停滞。2000 年后光伏需求爆发，挪威 REC 和德国 Wacker 尝试流化床工艺的大规模生产，REC 早期的产品只能满足多晶需求。目前，REC 成功利用硅烷气作为原料实现了流化床法的商业化运营，该方法被称为 FBR 硅烷流化床法，德国 Wacker 公司利用三氯氢硅为原料实现了流化床法生产，被称为 TCS 流化床法，其中硅烷法的产业化进度更领先。

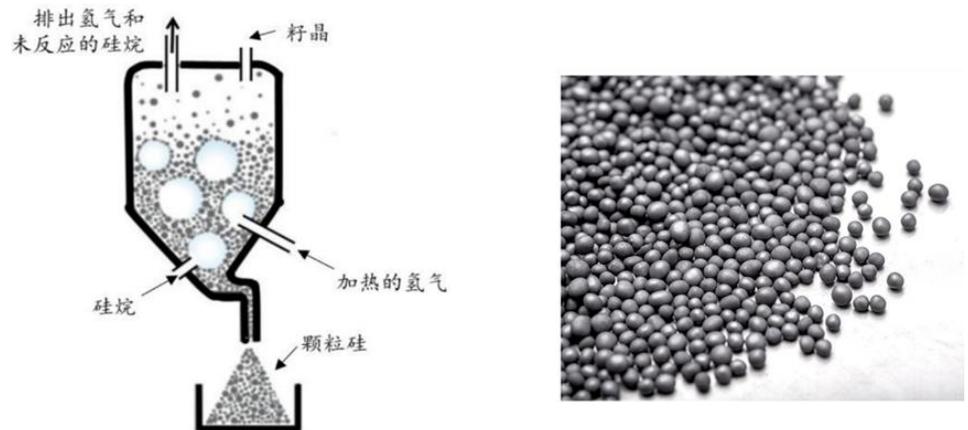
图 2：光伏颗粒硅发展历程



数据来源：协鑫科技公司公告，中国粉体网，东方证券研究所

硅烷流化床生产多晶硅时，将高纯的多晶硅细颗粒（0.2-0.5mm）作为生产用的晶种加入流化床反应器内，从反应器底部通入 SiH₄ 和 H₂ 的混合气，随着气体流率的增大，颗粒床层由固定床转变为流化床，在外部加热器的作用下，硅烷在 600~800℃ 的温度下在硅晶种表面发生化学气相沉积，使硅晶种长成尺寸较大的近球形颗粒（1~5mm）。在操作中采取同步取出大尺寸颗粒产品和加入硅晶种的方法以实现连续化生产。在流化床法的运作过程中，沸腾的硅颗粒会不断冲击反应器内壁，时间长达 10 小时，容易使反应器内部受到腐蚀，常用的金属材料会给反应体系带入大量的金属污染，降低产品纯度，金属杂质偏高会导致硅片少子寿命下降，进而影响电池转换效率，是产业化进程需要突破的关键步骤。

图 3：硅烷流化床法及其颗粒硅产品



数据来源：协鑫科技公司官网，协鑫科技公司公告，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

硅烷流化床法成本优势突出。(1) 硅烷热分解反应的副产物为氢气；(2) 硅烷的沉积温度比三氯氢硅低，还原电耗下降 70%，从而大幅降低成本；(3) 沉积速率快、可实现单程百分百转化；(4) 可实现连续操作；(5) 流化床具有良好的等温特性，使得硅的沉积均匀性好；(6) 在铸锭生产过程中，可提高单次坩埚装料重量，提高铸锭生产过程中的效率。与改良西门子法相比，FBR 颗粒硅综合生产成本较棒状硅下降约 30%。仅多晶硅环节 1GW 多晶硅料可减排 13 万吨 CO₂，较西门子法降低 74%；基于整个光伏产业链，1GW 元件至少可降低 CO₂ 排放量 47.7%，大幅助力实现碳中和。

图 4：FBR 颗粒硅较西门子法成本下降

低成本，碳足迹表现优秀

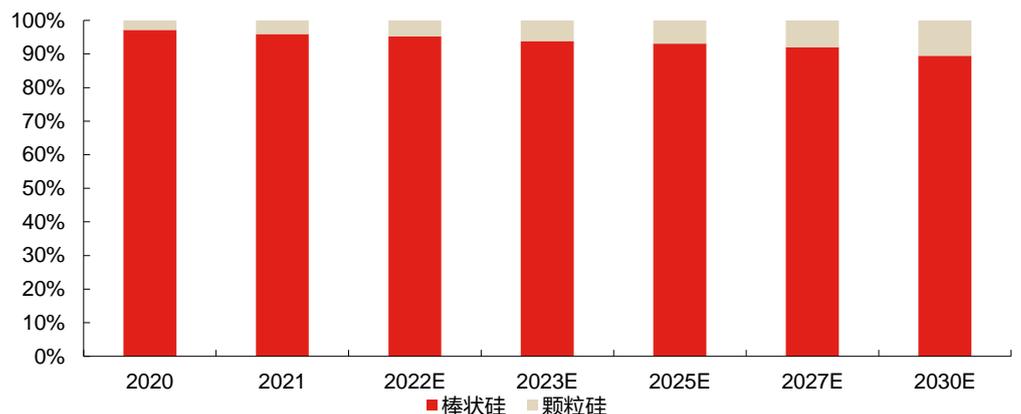
与改良西门子法相比，FBR颗粒硅综合生产成本较棒状硅下降约30%。仅多晶硅环节1GW多晶硅料可减排13万吨CO₂，较西门子法降低74%；基于整个光伏产业链，1GW元件至少可降低CO₂排放量47.7%，大幅助力实现碳中和。



数据来源：协鑫科技公司官网，东方证券研究所

目前硅烷流化床法生产的颗粒硅品质低于改良西门子法，主要与棒状硅混合使用，搭配比例在 30% 以内。随着 N 型电池的发展，对硅料品质要求更加严格，颗粒硅仍存在技术难关。2021 年硅烷法颗粒硅产能和产量小幅增加，市占率达到 4.1%。从未来看，若颗粒硅生产工艺能够进一步改进，市场占比会进一步提升。

图 5：2021-2030 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

硅片：推动单晶革命，向大尺寸+薄片化方向发展

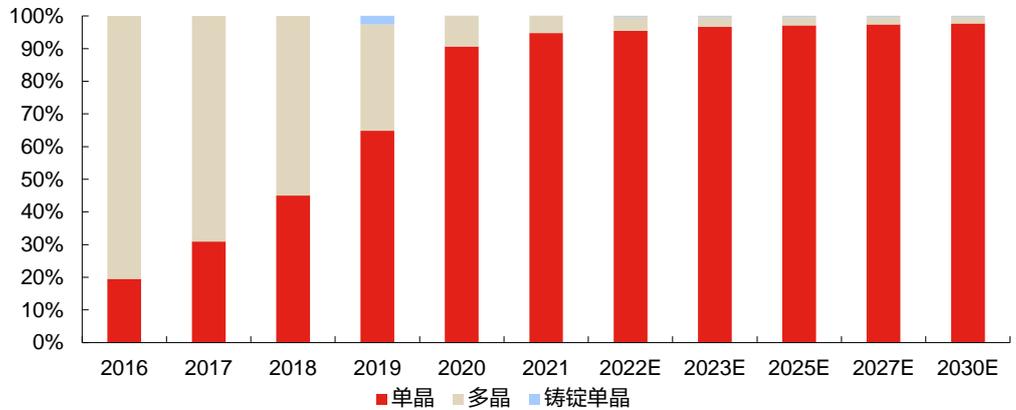
硅片环节资产较轻，技术难度低于硅料环节，主要在于成本控制。隆基从硅片环节进入光伏行业，持续推出新技术来推动单晶路线，最终单晶成为市场主流，隆基也成长为行业龙头。当前出于降本需求，硅片向薄+大方向发展。

表 4：硅片环节重大技术变革

时间	公司	技术	被替代技术	技术普及率	成本下降	备注
2013	隆基	金刚线工艺	砂浆切割	100%	↓60%	结合 PERC 技术，推动了单晶趋势
2013	隆基	直拉单晶	多晶铸锭路线	95%	↓60%	
2015	隆基中环	统一市场尺寸	硅片向大尺寸发展	100%	↓	发展趋势： 大尺寸薄片
2020	隆基	182 尺寸		~45%	↓	
2020	中环	210 尺寸			↓	
2021	设备厂主导	钨基金刚线		碳钢金刚线	进入量产	

数据来源：CPIA，隆基绿能公司公告，东方证券研究所

单多晶之争长期存在，此消彼长，单晶技术是目前光伏应用的主流路线。根据 Fraunhofer ISE 数据，全球单晶市场份额从 1980 年 97% 下降至 2015 年 25%。早期欧美、日本的光伏都是以单晶为主，并且有较多的稳定运行 30 年的记录。单晶产品虽然转换效率较高，但价格相对较高，早期市场发展相对不成熟，过于关注光伏电站的初始投资成本，而对电站运营全周期内的度电成本则关注不足。在单多晶效率差别不大的情况下，比例变动主要取决于成本。多晶产品因生产工艺相对简单所以产能扩张快速，在市场供给不足阶段，国内早期电池企业多选择多晶扩产路线，这导致单晶产品在我国推动力不足。2015 年起单晶比例逐步上升则主要是拉棒 + 切片成本下降和后端电池片的效率提升。

图 6：2016-2030 年单晶渗透率快速提升


数据来源：CPIA，东方证券研究所

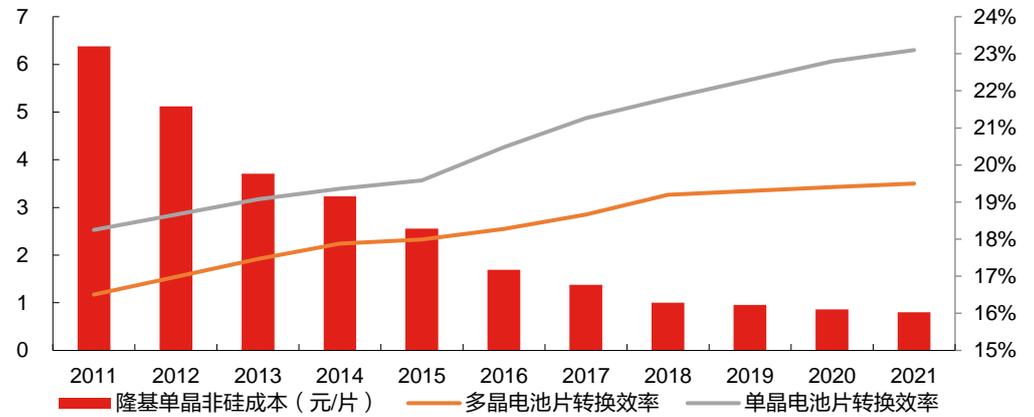
公司通过金刚线切割工艺、拉晶工艺改进、PERC 电池技术等行业先进技术的产业化应用，使得 2016 年硅片产品非硅成本已较 2012 年下降 67%，60 片 P 型 PERC 单晶电池组件最大功率已达到 316.6W。

2013-2018 年拉晶+切片环节变革，推动单晶替代多晶：（1）金刚线切割大幅提升速率、降低成本。传统硅片切割采用砂浆切割方式，金刚线切割工艺被日本垄断。2012 年隆基率先研究国产金刚线切割技术，2014 年后逐渐全行业推广。相较砂浆切割而言，金刚线切割能够承受更大的切削力，线径、切削时间大幅降低，出片率更高，硅片产品表面受到的磨损程度低。（2）**连续投料技术+快速拉晶技术促进了单晶硅棒生产效率。**2013-2016 年，隆基股份通过优化拉晶炉热场结构、提高投料量、提升拉速、自动化等技术大幅降低单晶拉棒生产能耗和成本。（3）**PERC 技术提升单晶电池效率。**2012 年 863 专项启动，PERC 电池正式在我国开启产业化进程。2014 年隆

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

基与澳大利亚新南威尔士大学等合作伙伴合作解决了初始光衰高的问题，向业界开放。2015年领跑者计划中，PERC 电池作为先进技术产品得到重视，奠定了单晶路线是主流晶体硅路线的基础。

图 7：隆基绿能单晶硅片生产成本变化



数据来源：隆基绿能公司公告，CPIA，东方证券研究所

2015 年前行业里硅片各种尺寸满天飞，2015 年隆基与中环联手定制边长 156.75mm 的 M1、M2 硅片，边距 156.75mm 逐渐成为单晶硅片的主流尺寸，2018 年，业内主流的单晶硅片全部采用 M2 标准，市占率高达 85%。2019 年 M6（边距 166mm）、G12（边距 210mm）相继推出，2021 年 182mm 和 210mm 尺寸占比增长至 45%，未来其占比仍将快速扩大。大尺寸硅片的趋势不可逆，能够有效摊薄单瓦非硅成本。

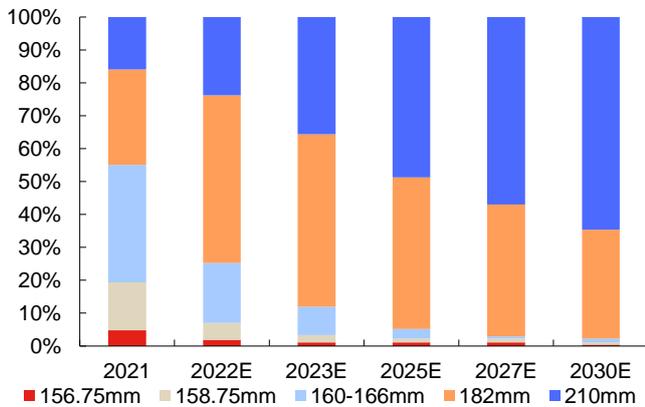
图 8：光伏硅片尺寸变化



数据来源：北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

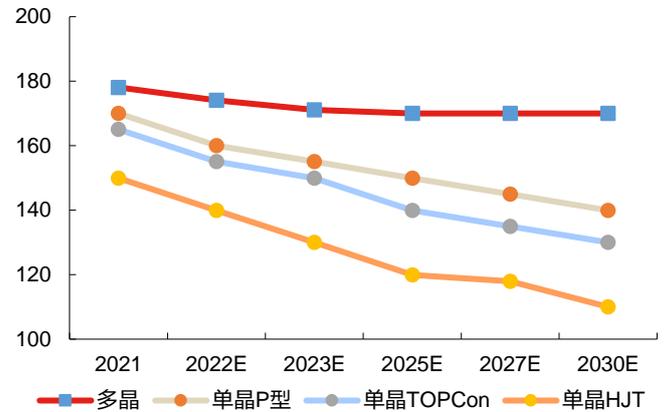
同时，2021 年以来随着硅料价格上涨，硅片薄片化快速进步。中环股份 210 产品在 2021 年底已完成由 T170 向 T160 的量产转换，同等条件下硅片出片数增加 4.57%。这要求金刚线在更细的情况下，具备更高的切割力和破断力，高碳钢线极限已近，以钨丝替代碳钢丝作为母线的金刚线产品也随着出现。钨丝强度高、耐磨、可加工性好、抗疲劳性好等特点可为切割环节带来显著增益，市场已有小批量生产。

图 9：2021-2030 年各尺寸硅片市场占比变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

图 10：2016-2025 年硅片厚度变化趋势 (μm)



数据来源：CPIA，东方证券研究所

电池片：技术路线百花齐放，科技属性渐浓

太阳能电池按原材料分为晶体硅太阳能电池和薄膜太阳能电池，上世纪 70 年代相关技术就已出现。1990 年代晶硅效率超过薄膜，薄膜电池份额滑落；2004-2009 年多晶硅价格不断高升，薄膜性价比优势显现，份额提升；2009 年后冷氢化技术大幅降低晶硅成本，薄膜路线退出；2019 年后，PERC 电池量产效率已经普遍超过 23%，越来越接近 24.5%左右的其理论极限，晶硅路线效率提升接近极限、成本下降减缓，行业纷纷将重点投向对新一代主流电池技术的开发，可以看到这一时期新技术转换效率不断突破，比如 N 型技术、钙钛矿技术等。

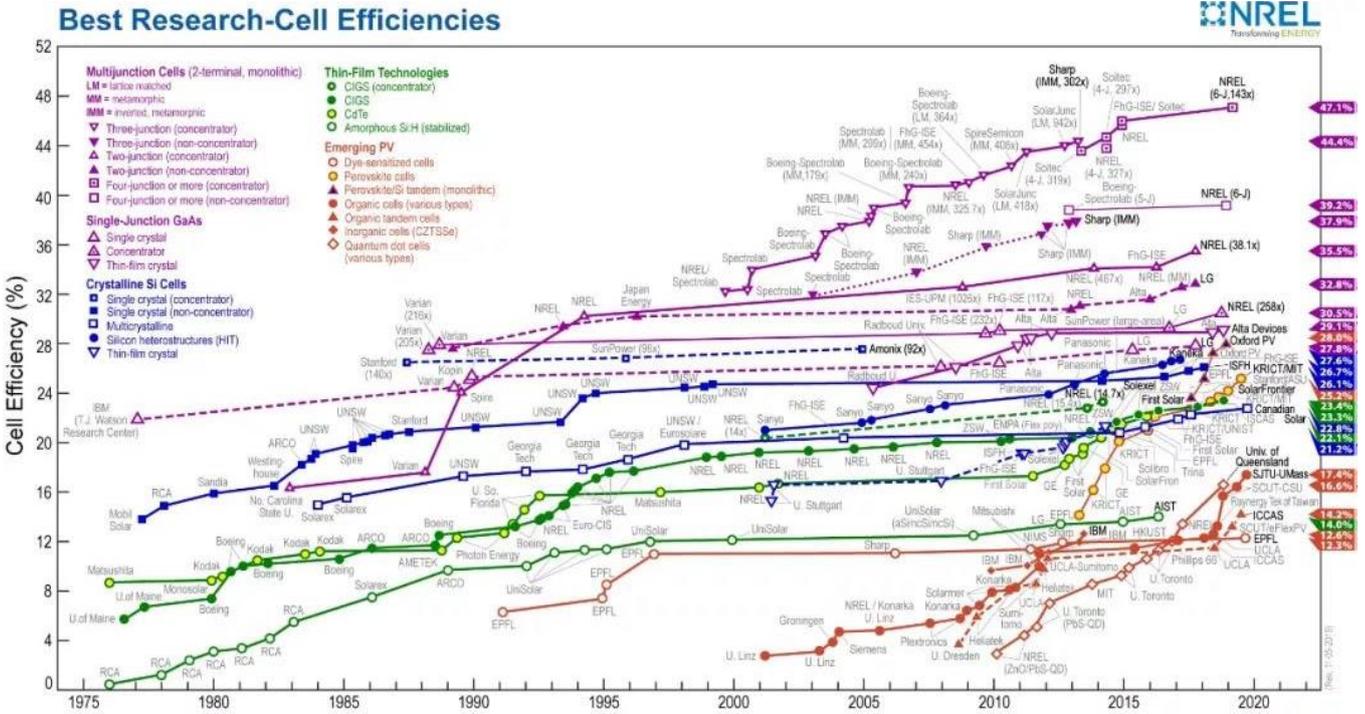
表 5：电池片环节重大技术变革

量产时间	公司	技术	被替代技术	技术普及率	当前量产平均转换效率
2000	ALL	Al-BSF	PN 结	100% (曾经)	19.5%
2016	隆基	PERC	BSF 技术	100%	23.2%
2020	晶科、钧达...	TOPCon	P 型电池技术	~9%	24.2%
2021	爱康、华晟...	HTJ		逐渐起量, 3-4%	24.4%
2021	隆基、爱旭	IBC		小批量	24.4%
2022	协鑫光电 纤纳光电...	钙钛矿及其叠层电池	晶硅技术	未商业化	~18%

数据来源：CPIA，协鑫光电公司官网，纤纳光电公司官网，东方证券研究所

美国国家实验室梳理了过去数十年来光伏电池片研究的效率演进。光伏电池片技术的效率排序为：薄膜技术<多晶技术<单质结<异质结。接下来的行业大变革，可能就是异质结电池片击败单质结电池片。在异质结技术簇之中，有着多种多样的技术路线，比如 HBC/TBC 与钙钛矿的叠层电池等。

图 11：光伏电池片效率演进图

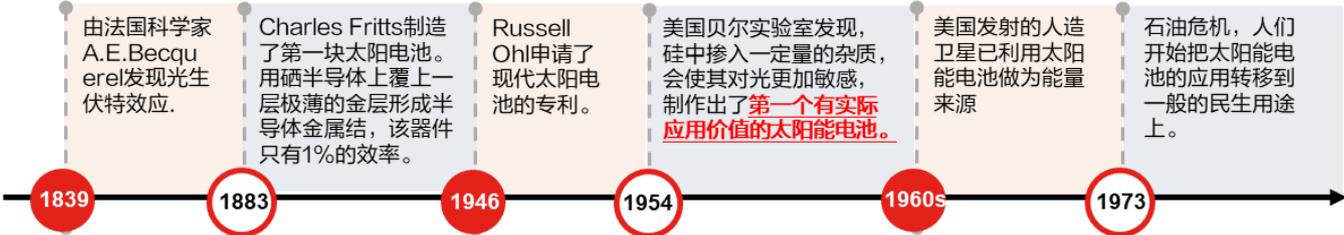


数据来源：NREL，东方证券研究所

BSF→PERC→TOPCon、HJT、IBC 技术，晶硅技术百花齐放

BSF 的出现：首个光伏电池诞生至今已有近 70 年历史，其结构是一个简单的晶硅 PN 结。在之后的研究中发现，在晶硅光伏电池 PN 结制造完成后，通过在硅片的背光面沉积一层铝膜，制备 P+层，既可以减少少数载流子在背面复合的概率，同时也可以作为背面的金属电极，因此能够提升光伏电池的转换效率，这就是 Al-BSF 电池，即常规的太阳能晶硅电池结构。

图 12：光伏电池起源



数据来源：北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

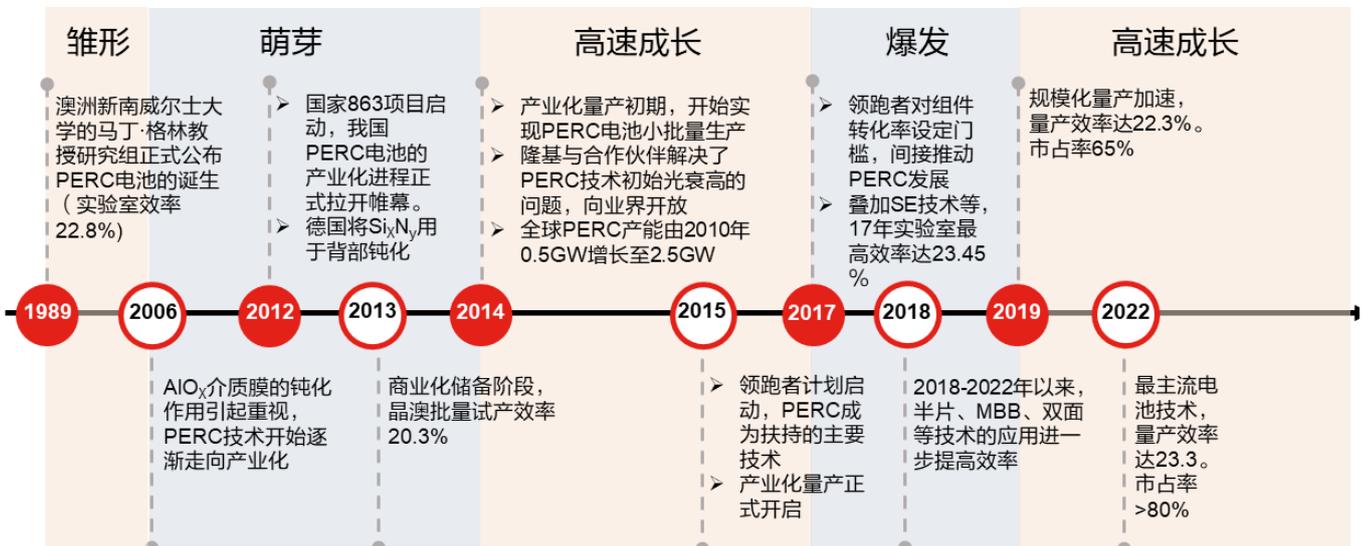
晶硅太阳能电池的表面钝化一直是设计和优化的重中之重。硅片内部和硅片表面的杂质及缺陷会对光伏电池的性能造成负面影响，钝化工序就是通过降低表面载流子的复合来减小缺陷带来的影响，从而保证电池的效率。从早期的仅有背电场钝化（BSF），到正面氮化硅钝化，再到背面引入诸如氧化硅、氧化铝、氮化硅等介质层的钝化局部开孔接触的 PERC 设计，PERC 概念的核心就在于为常规光伏电池增加全覆盖的背面钝化膜。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

PERC 取代 BSF: 上世纪八十年代，PERC 电池早已在实验室完成研发，但在随后的二十年里，PERC 电池产业化进程却一直处于停滞状态。但随着常规的铝背场电池的转换效率逐步逼近 20% 的效率天花板，传统的工艺改良已经无法满足日益提升的效率需求。如果要进一步突破 20% 的效率瓶颈，则需要采用更为先进的电池技术。2015 年开始，考虑到 PERC 技术对电池转换效率提升明显，工艺简单，成本低廉，且与当时电池生产线高度兼容，PERC 电池的量产被提上日程。

PERC 电池发展至今有 3 个重要时间节点: 2012 年，晶澳科技首先进行 PERC 电池小批量试产，效率达到 20.3%；2015 年，PERC 电池量产平均效率超 BSF 电池技术瓶颈，头部企业实现批量化稳定生产，产能首次达到世界首位，次年正式开启产业化量产；2017 年，PERC 电池进入爆发期，成为国内最主流的光伏电池技术，高利润驱动产能高速扩张，至 2019 年市场份额达到国内第一，核心设备脱离对国外技术的依赖，实现国产替代。

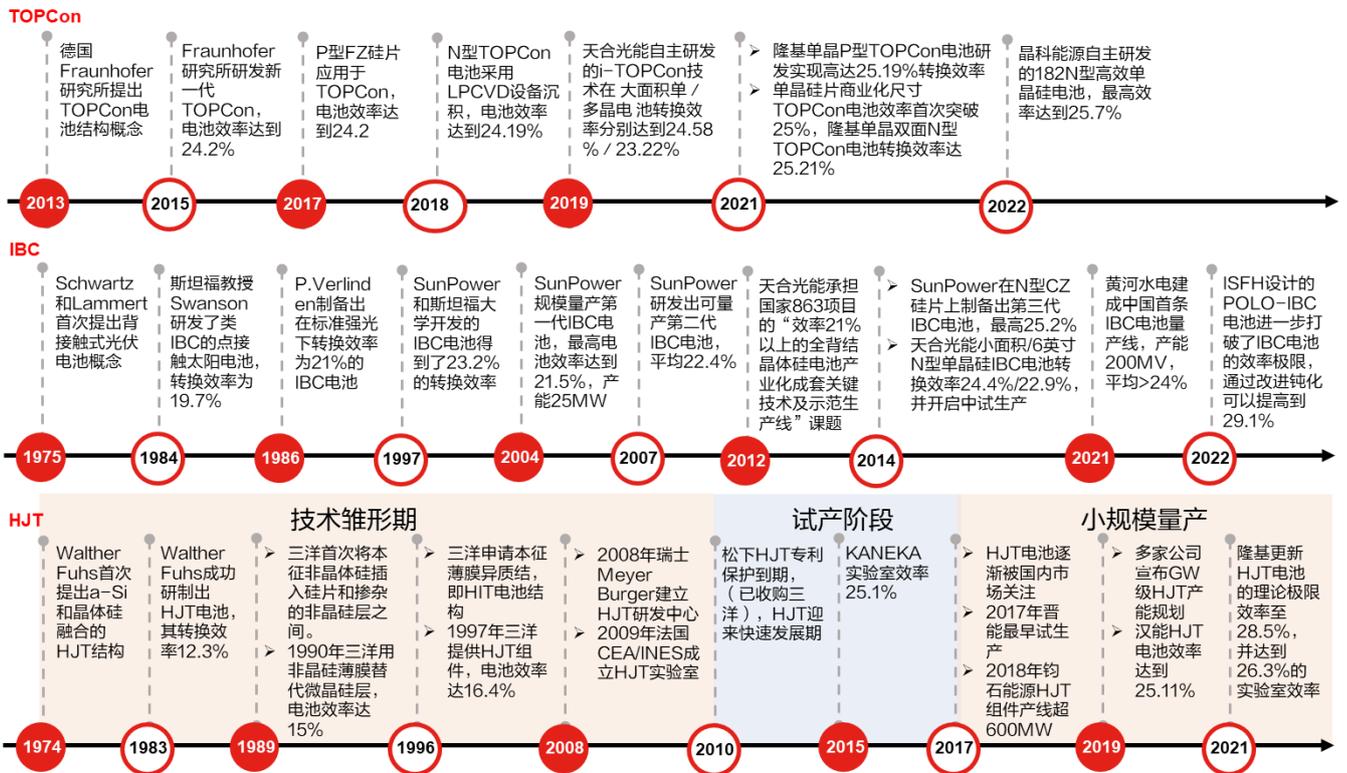
图 13: PERC 技术发展历程



数据来源:《低成本产业化高效 PERC 电池技术研究》吕铮,隆基绿能公司公告,晶澳科技公司公告,光伏盒子,CPIA,东方证券研究所

N 型技术迅速发展的原因: 2019 年后，PERC 电池量产效率已经普遍超过 23%，越来越接近 24.5% 左右的其理论极限，继续提升非常困难；同时 PERC 电池技术相对成熟，产业化已具备规模，非硅成本下降空间较小，因此行业纷纷将重点投向对新一代主流电池技术的研发。N 型技术具有少子寿命更高、光致衰减效应小、弱光响应好等众多优势，因此其理论效率极限较 PERC 更高，成为近两年来发展最快的技术。

图 14: N 型技术发展梳理 (从上到下: TOPCon、IBC、HJT)



数据来源: 隆基绿能公司官网, 晶科能源公司官网, 黄河水电公司官网, 天合光能公司官网, 东方证券研究所

光伏性能提升史就是电池片结构演化史。

AI-BSF (铝背场电池): 基于 P 型衬底 (基极), 在表面掺杂磷源, 形成发射极, 并与衬底形成 PN 结。其表面采取 SiNx 减反射, 背面采用 Al 背场, 实现了电池效率的大幅提升, 但 BSF 电池仍然存在背面复合率高、铝背场对长波利用率低等问题。

PERC (发射极和背面钝化电池) 电池: 在传统的 BSF (常规铝背场电池) 电池前表面和后表面分别沉积钝化膜, 采用背面点接触代替 BSF 的全铝背场, 有效抑制了金属铝膜层中少数载流子的复合, 从而提升约 1% 电池光电转换效率。但 PERC 电池的金属电极与硅衬底直接接触, 接触界面仍会产生大量的少子复合中心, 降低电池转换效率。PERC 电池片相对 BSF 电池效率优势突出, 市占率由 2016 年的 10.0% 攀升至 2021 年的 91.2%, 现已成为电池片主流产品。

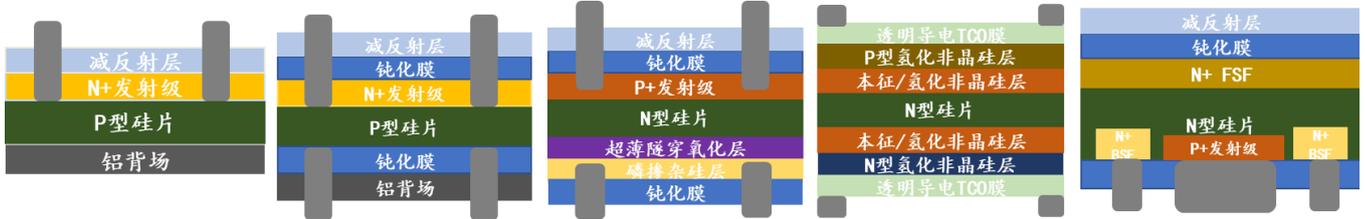
TOPCon (隧穿氧化层钝化接触) 电池: 应用于背表面的隧穿氧化层钝化接触电池, 以 PERC 结构为基础, 在 N 型硅片背面沉积超薄氧化硅和磷掺杂硅层构成钝化接触结构。该结构可以使多子电子隧穿进入多晶硅层 (即使它们不具有足够的动能从势垒顶部翻越过势垒, 它们仍然能够在势垒入射的一边消失而在势垒的另一边出现), 同时将金属电极与硅衬底隔开, 实现了少子复合率的减小, 最终显著提升电池效率。

HJT/HIT (本征薄膜异质结) 电池: 不采用传统的晶硅 PN 结材料, 而是以 P 型氢化非晶硅层/氢化非晶硅层/N 型硅片作为发射极, 以氢化非晶硅层/N 型氢化非晶硅层作为背电场。最后收集的载流子在 TCO 导电层中传输, 电子和空穴分别汇集到电池受光面和背光面的表面电极。可见异质结电池具备良好的双面对称性, 且硅片与非晶硅组成特殊的 PN 结, 削弱了载流子的复合, 提升了光电转换效率。

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

IBC（交叉指式背接触电池）电池：增效思路是将所有电极印刷在电池背面，完全消除了前表面的栅线遮挡损失，有效增加了前表面的发电面积，是较为纯粹的单面电池。同时背面可以使用较宽的金属栅线来降低串联电阻，一定程度上提高了填充因子，最终达到提升效率的目的。

图 15: BSF、PERC、TOPCon（双面）、HJT、IBC 电池的结构示意图（从左到右）



数据来源：《N型高效晶体硅太阳能电池关键技术研究》鲁贵林，《晶硅 TOPCon 与 IBC 太阳能电池设计、制备与性能》丁东，东方证券研究所

光伏电池片环节工艺要求越来越严格，接近半导体要求。（1）以电池真空过程为例，PERC 有扩磷和两次 PECVD，真空度要求比较低，杆泵就够，HJT 真空过程要求分子泵，能量消耗大。（2）HJT 电池目前已完成 HJT1.0（非晶）到 HJT2.0（单面微晶）的跨越，完成 2.0 的量产。后续还将逐步实现 3.0（双面微晶）、4.0（应用铜电极双面微晶）、5.0（全背接触），最终有望达成电池量产 28% 的超高效率。（3）IBC 关键工艺是在电池背面制备出呈叉指状间隔排列的 P 区和 N 区，以及在其上面分别形成金属化接触和栅线。隆基 2022 年发布 HPBC（混合钝化背接触）电池，在 P 型硅片基础上结合 TOPCon 及 IBC 技术（在电池背面构建指叉状 PN 结，并运用 TOPCon 隧穿钝化），电池量产效率突破 25%。

表 6: 各种新型晶体硅电池的工艺对比（加粗为新增工艺）

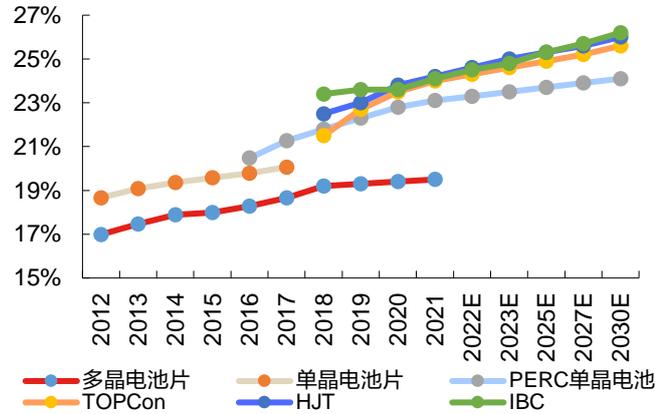
步骤	常规铝背场电池	P 型 PERC 单晶电池	N 型双面电池	HJT 电池
1	硅片清洗植绒	硅片清洗植绒	硅片清洗植绒	硅片清洗植绒
2	扩磷	扩磷	扩硼	PECVD 沉积硼
3	等离子去边 or 湿法去背结	湿法去背结	湿法去背结	——
4	清洗	清洗	清洗	——
5	——	——	离子注入磷	PECVD 沉积磷
6	PECVD 镀 SiNx 膜	PECVD 镀 SiNx	PECVD 镀 SiNx	PVD 镀透明导电膜
7	——	ALD+PECVD 镀 Al₂O₃+SiNx	ALD+PECVD 镀 Al₂O₃+SiNx	PVD 镀透明导电膜
8	——	激光开槽	——	——
9	3 丝印+3 烘干	3 丝印+3 烘干	3 丝印+3 烘干	3 丝印+3 烘干
10	测试分选	测试分选	测试分选	测试分选
高难工艺		镀 Al ₂ O ₃	扩硼 离子注入 镀 Al ₂ O ₃	PECVD 沉积硼磷

数据来源：CPIA，东方证券研究所

根据 CPIA，2021 年 N 型 TOPCon 电池平均转换效率达到 24.0%，HJT 电池平均转换效率达到 24.2%，IBC 电池平均转换效率达到 24.1%，较 2020 年均有提升。随着 N 型路线的投产、放量，N 型电池量产转换效率将继续大幅提升。2022 年新建量产产线以 N 型为主，TOPCON 产能逐渐释放，HJT 目前投产较少，XBC 路线以爱旭、隆基为主。

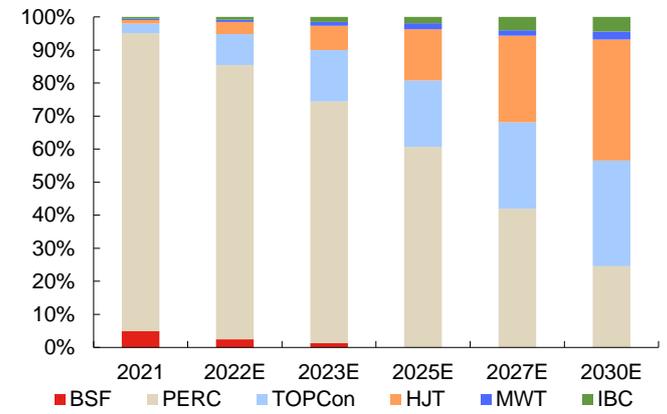
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

图 16：2012-2030 年国内电池片量产转换效率发展趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

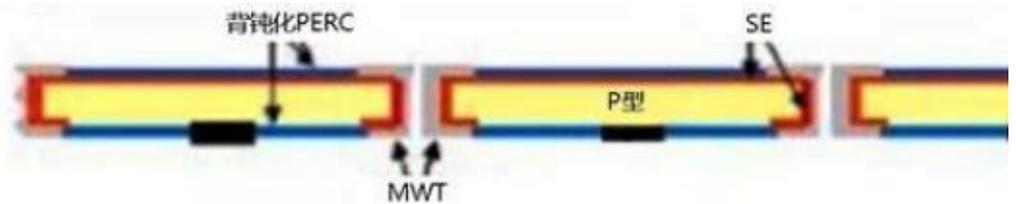
图 17：2021-2030 年各种电池技术市场占比变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

选择性发射极 SE 掺杂技术可有效解决轻重掺杂选择矛盾, 成为 PERC 标配提效工艺。PERC 电池转换效率到达瓶颈后, 推出了 SE、MWT 等技术叠加在 PECR 电池上, 转换效率进一步提升, 尤其是 SE 技术, 2019 年后新建 PERC 产能均配有 SE 工艺设备。通过在光伏电池电极栅线与硅片接触部位区域进行高浓度磷掺杂, 从而降低电极和硅片之间的接触电阻; 并在电极以外区域进行低浓度浅掺杂, 降低表面复合速率, 从而有效实现电池的的开压、电流和填充因子改善, 有效提高了光电转换效率 (光电转换效率绝对值提升 0.2%-0.3% 左右)。作为参考, 目前各 N 型电池技术正在抓紧降本增效, 当效率到达瓶颈期或者 N 型产线建设完成后, SE 工艺渗透率有望提升, 激光掺杂技术有望成为标配工艺。

图 18：PERC+MWT+SE 电池设计原理



数据来源：帝尔激光公司公告，东方证券研究所

钙钛矿薄膜技术发展迅速，发展前景巨大

基于光吸收层材料体系的不同, 薄膜太阳能电池主要分为硅基薄膜太阳能电池 (如, 非晶硅、微晶硅及多晶硅薄膜电池等)、化合物薄膜太阳电池 (如, 碲化镉、铜铟镓硒及砷化镓薄膜电池)、有机和染料敏化太阳能电池 (钙钛矿电池) 三类。

表 7：薄膜太阳能电池分类

分类	电池种类	转换效率	缺点
第一代薄膜电池	硅基薄膜光伏电池	★	存在光致衰减的固有缺陷、设备投资大
第二代薄膜电池	碲化镉(CdTe)薄膜光伏电池	★★	生产成本低、性能稳定
	铜铟镓硒(CIGS)薄膜电池	★★★	铟和镓的蕴藏量有限、生产成本较高、工艺未标准化
	砷化镓 (GaAs) 太阳电池	★★★★★	镓蕴藏量有限、砷有毒、生产成本最高
第三代薄膜电池	钙钛矿 (Perovskite) 太阳电池	★★★★	稳定性差、大尺寸制备困难

数据来源：北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

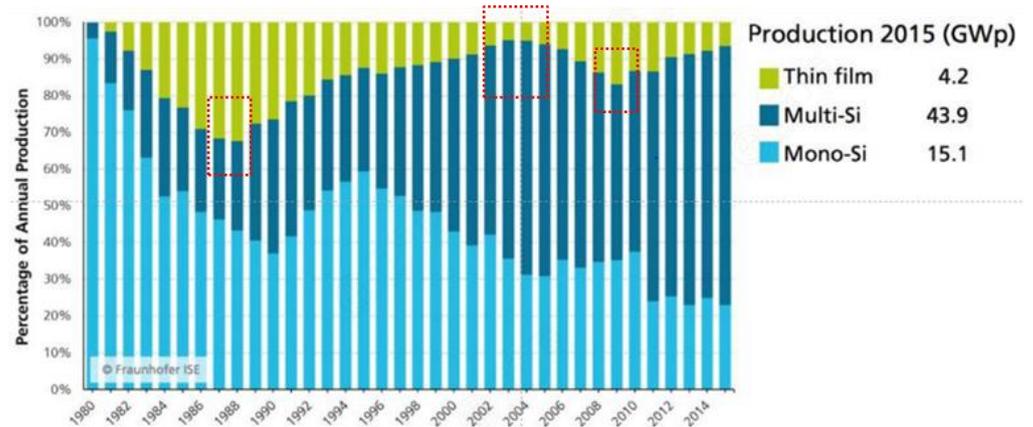
薄膜电池发展经历两起两落。在 1980 年代,薄膜电池一度占据电池市场 30%的市场份额,被称为下一代光伏技术。但不久后实验室中晶硅电池的效率已经能够达到 20%,硅基薄膜的效率瓶颈始终未能得到突破,因此整个 90 年代薄膜电池份额持续滑落。2004 年 First Solar 实现了低成本 CdTe 电池的量产,薄膜电池再次开启快速扩张。与此同时,多晶硅价格快速上涨,晶硅路线成本高昂,因此薄膜电池份额提升。2009 年 First Solar 一度成为电池产量冠军,全球市占率高达 12%。2010 年后,随着光伏企业晶硅电池技术的突破,晶硅成本快速下降且效率大幅领先,薄膜电池失去低成本优势,市场份额被不断压缩。2021 年以来 PERC 效率提升和成本降低的空间有限,钙钛矿有望破解在廉价的条件下实现高效稳定的光伏器件难题。

图 19: 薄膜电池发展梳理



数据来源: OFweek 太阳能光伏网, 东方证券研究所

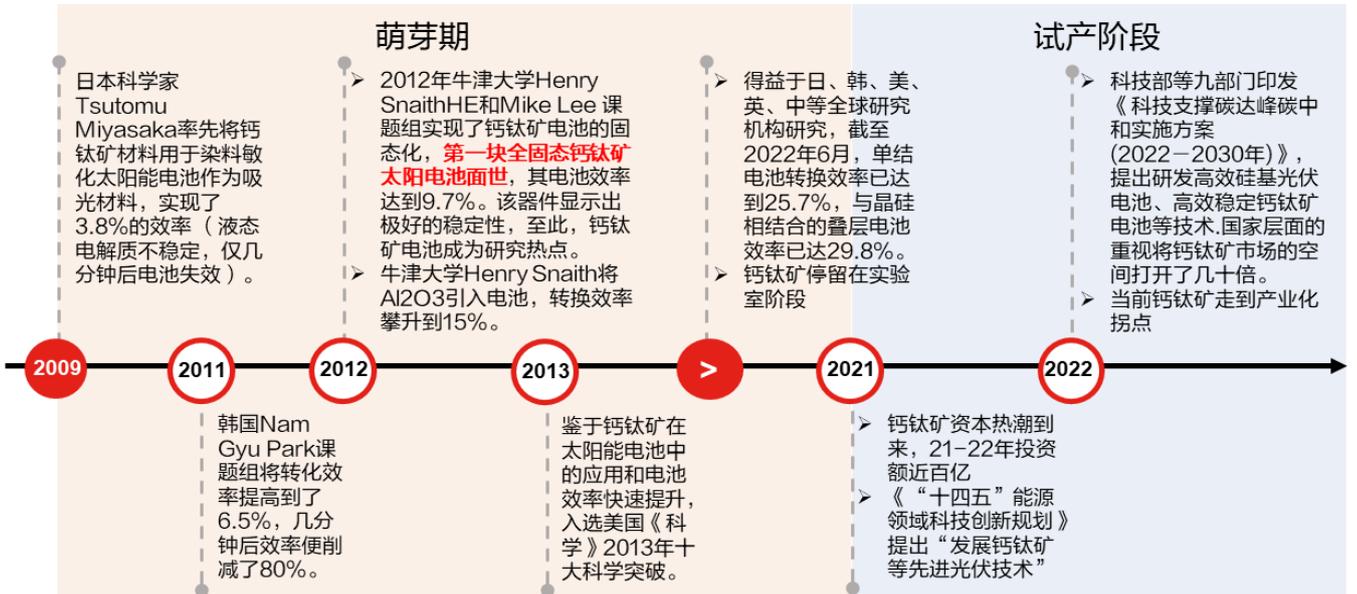
图 20: 1980-2015 年光伏技术市场份额变化



数据来源: Fraunhofer ISE, 东方证券研究所

当前大力发展钙钛矿的原因: (1) PERC 效率见顶,同时硅基成本和能耗下降空间较小,具有效率、成本关键优势的钙钛矿的价值变大,钙钛矿理论转换效率远高于 N 型; (2) 经济性高于其他薄膜电池,学术/产业界推动钙钛矿电池研究。经过不断地研发,很多科学问题基本上已经解决了,钙钛矿走到产业化拐点。如何把产品尺寸放大,把产线放大,需要大量的资本和产业方共同推动。(3) 2020 年以来政策推动,2021 年《“十四五”能源领域科技创新规划》提出“发展钙钛矿等先进光伏技术”,2022 年科技部等九部门印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030 年)》,提出研发高效硅基光伏电池、高效稳定钙钛矿等技术。

图 21：钙钛矿电池发展历程



数据来源：《从 3.8% 到 24.2% 钙钛矿电池的十年之变》宋延林等，科技部，东方证券研究所

2022 年，钙钛矿光电转换效率频繁被刷新，不断创下新高。目前，暨南大学新能源技术研究院麦耀华教授团队经过独立第三方认证效率超过 36% 的大面积钙钛矿室内光伏组件，为当前已报道钙钛矿室内光伏组件世界最高转换效率。

表 8：最新钙钛矿电池实验室光电转换效率

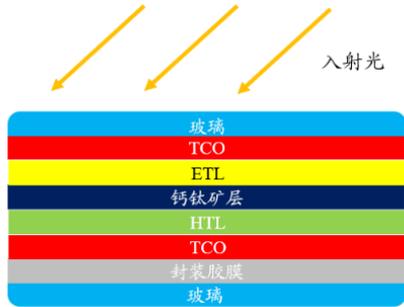
钙钛矿电池	日期	转换效率	研究企业/团队
全钙钛矿串联叠层	2022/2 月	26.40%	南京大学谭海仁团队、加拿大多伦多大学
反型钙钛矿电池	2022/2 月	24.00%	华东师范大学方俊锋团队与中科院宁波材料技术与工程研究所
新型倒置钙钛矿电池	2022/4 月	23.90%	南京大学、多伦多大学
大面积钙钛矿电池稳态效率	2022/2 月	22.60%	澳大利亚国立大学
钙钛矿/TOPCon 叠层	2022/6 月	27.60%	澳大利亚国立大学、北京大学以及晶科能源
超薄超轻钙钛矿太阳能电池	2022/6 月	20.20%	北京大学
钙钛矿-硅叠层光伏电池	2022/7 月	31.30%	洛桑联邦理工学院(EPFL)和瑞士电子与微技术中心(CSEM)
FAPbI ₃ 钙钛矿太阳能电池	2022/7 月	25.60%	中科院半导体研究所
新型钙钛矿/cis 串联电池	2022/6 月	25.00%	德国和比利时联合国际团队
钙钛矿叠层电池	2022/6 月	28.00%	南京大学现代工程与应用科学学院
钙钛矿电池	2022/8 月	28.08%	国家电投黄河公司
柔性钙钛矿电池效率	2022/9 月	23.6%	清华大学电气工程系电力系统国家重点实验室
全钙钛矿叠层电池组件效率	2022/10 月	24.50%	仁烁光能
无机钙钛矿太阳能电池	2022/10 月	32%	澳大利亚 GreatCell Solar 公司
钙钛矿室内用光伏组件稳态效率	2022/11 月	36%	暨南大学新能源技术研究院教授麦耀华团队

数据来源：北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

纯钙钛矿电池可分为 n-i-p 和 p-i-n 两种器件结构，其中 n-i-p 器件结构较为常见。钙钛矿可以选择和晶硅电池叠层，也可以选择和薄膜电池叠层，理论上最大的叠层数量是 4 层，对应理论转换效

率高达 45.3%。其中 HJT 电池对称结构天然适合与钙钛矿电池进行叠层，因此 HJT-钙钛矿叠层电池是较为普遍的产业选择。

图 22: n-i-p 型的纯钙钛矿电池结构



数据来源：《高效晶硅异质结电池及其与钙钛矿叠层电池研究》何凤琴，东方证券研究所

图 23: HJT-钙钛矿叠层电池结构



数据来源：《高效晶硅异质结电池及其与钙钛矿叠层电池研究》何凤琴，东方证券研究所

目前钙钛矿太阳能电池尚在产业化初期。2022 年，纤纳光电组件 α 出货、极电光能正式签单、协鑫大尺寸组件下线，钙钛矿电池逐步从技术讨论走向商业化尝试。与传统晶硅太阳能电池相比，钙钛矿光伏电池的工艺简单，设备和制备成本更低，且有着极低的单位能耗，可以有效降低度电成本，产业化瓶颈在于长期稳定性和大面积制备工艺。

表 9: 钙钛矿产能布局

公司名称	最新产能进展
协鑫光电	投建的全球首条 100MW 量产线已在昆山完成厂房和主要硬件建设，计划 2022 年投入量产
纤纳光电	2022 年公司 100MW 生产线建成。钙钛矿 α 组件全球首发，全球首款 钙钛矿商用组件 α 成功交付，数量为 5000 片
极电光能	150MW 全球最大的钙钛矿光伏组件生产线已经开始试生产，全球首条 GW 级钙钛矿光伏生产线已签约落地无锡，并将于 2023 年初启动建设。计划于 2023 年初开始投入超过 50 亿建设 6GW 的产能，第一期 1GW 将在 2024 年达产到 2025 年 6GW 产线全部达产。
无限光能	公司将于 2022 年完成试验线建设，年内实现大尺寸电池模组批量下线，目标效率大于 20%。公司将启动 10MW 级中试线建设，计划 2024 年建成 100MW 商业化量产线。
仁烁光能	公司已建成 10MW 钙钛矿叠层研发线，将于 2023 年第三季度完成 150MW 的量产线建设。预计未来五年内，将建设数条 GW 级别的钙钛矿电池组件生产线。
万度光能	2021 年 6 月，其总投资高达 60 亿元的钙钛矿太阳能电池项目正式落地。该项目共分为两期，一期产能为 200MW，顺利量产后，公司计划扩充至 10GW。
大正微纳	截止 2022 年公司已投资 8000 万元(合 16 亿日元)，在中国江苏省建设 10MW 年产能生产线。计划 2023 年再投资 2 亿元人民币，将年产能扩大到 100MW。
众能光电	钙钛矿光伏组件生产线产能达到 200MW/年。公司已建成 100-500kW(准 MW)级大面积钙钛矿太阳能器件中试平台，可快速进行工艺优化和迭代
合特光电	将于 2022 年投建的“高效异质结+钙钛矿叠层电池”中试线，量产的转化效率目标不低于 28%。
金昌鑫磊半导体科技	年产 1GW 钙钛矿薄膜光伏组件生产基地 2022 年 7 月已开工建设，2022 年计划完成投资 3.5 亿元。
宁德时代	2022 年 5 月 5 日，业绩说明会上称，公司钙钛矿光伏电池研究进展顺利，正在搭建中试线。
曜能科技	完成数千万元 A 轮融资，高瓴资本领投

数据来源：各公司官网及公众号，北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

组件：多样化发展，助力光伏制造端降本增效

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

组件封装发展出了叠瓦、半片、MWT、MBB、双玻等技术，不断向高效化演变。多种技术叠加能够大幅提升组件瓦数，如 MWT 搭配半片，采用多主栅加半片组合技术等。

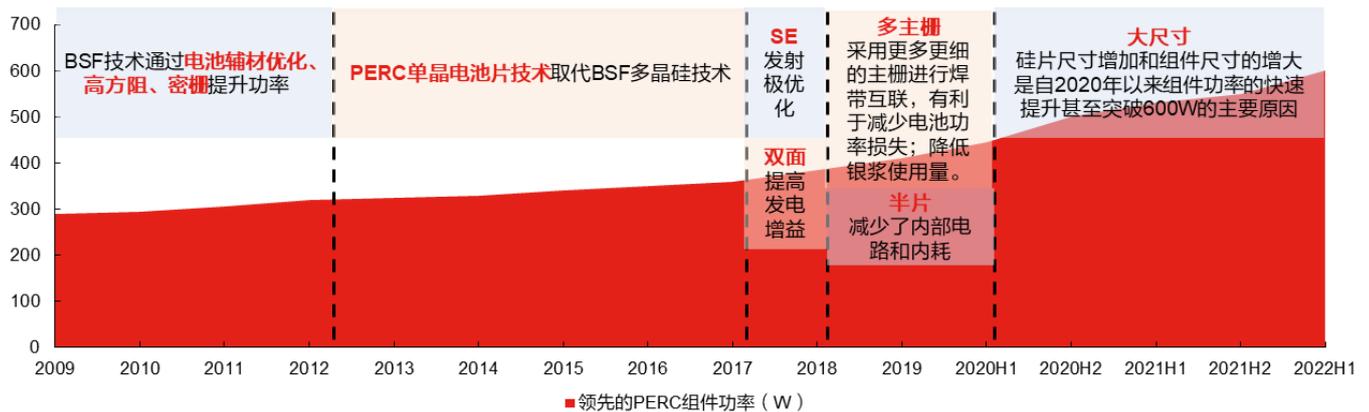
表 10：组件环节重大技术变革

量产时间	公司	技术	被替代技术/改进方向	技术普及率	成本下降	效率提升
2015	组件厂商	双面组件	单面发电（常规背板）	~43%	↓	↑
2018	组件厂商	半片	高密度封装	90%	—	↑
2019	通威、环晟、赛拉弗...	叠瓦		4-5%	—	↑
2017	组件厂商	多主栅技术	电池片与组件环节联合创新（电极与焊带）	>90%	↓	↑
2021	银浆公司	银包铜、电镀铜		小批量	↓	↑
2021	迈为...	无主栅技术		研发阶段	↓	↑
2021	日托光伏	MWT		<1%	—	↑

数据来源：CPIA，赛拉弗公司官网，迈为股份公司公告，日托光伏公司官网，环晟光伏公司官网，通威股份公司官网，东方证券研究所

自从 2015 年 PERC 技术大规模量产以来，组件功率从 340W 一路提升到现在的 600W 左右。总结来看，提升光伏组件的单位发电量，主要从提高光利用（双面、叠瓦等）和减少电损耗（半片、MBB 等）两点入手。

图 24：2009-2022 年 PERC 组件功率提升路径



数据来源：全球光伏，东方证券研究所

需求的多样化是组件技术发展的重要考虑因素。随着全球范围内对低碳经济可持续发展的推进，光伏的应用将会越来越广泛，多种“光伏+”的应用模式不断涌现，如光伏建筑一体化、农光、渔光、光伏生态等；应用场所也不再是单一的地面环境，已有涉及火车站、停车场、机场、学校、工业园区等。通过对这些组件技术的不断研究与探索，最终可以形成光伏生态体系。

双面组件带来发电增益，全行业普及

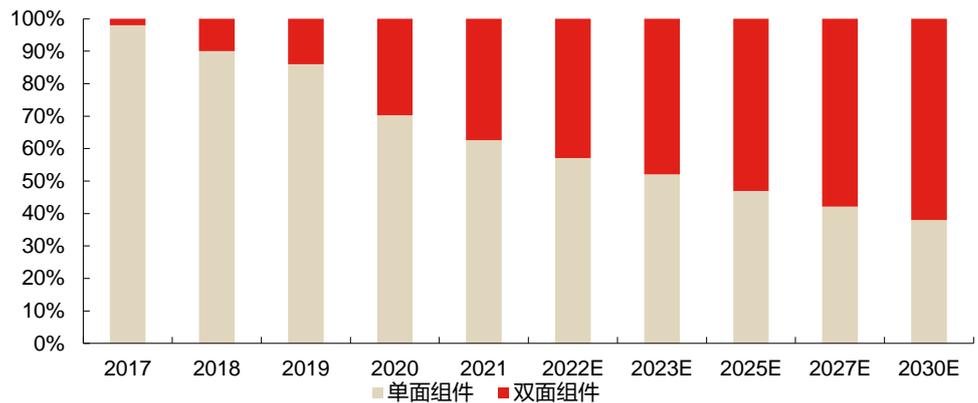
2015 年起，光伏行业掀起双面组件之风，采用上下两层玻璃封装。双面组件是指采用双面电池、胶膜、双层玻璃（或者玻璃+透明背板）组成的复合层，其背面也能够接收来自环境的散射光和反射光进行发电，因此有着更高的综合发电效率。早期因光伏玻璃的价格、强度、重量、透光度等方面的限制，双玻组件对比一般组件而言，优势并不突出。但随着光伏玻璃厂商逐渐推出价格有竞争力、透光度更好的薄型玻璃，组件厂商开始推广双面组件。随着可开发的空置土地越来越少，双面组件因此成为大型电站主流。

表 11：双面组件与单面组件的性能对比

参数	双面组件	单玻组件
玻璃厚度	2mm+2mm 2.5mm+2.5mm	3.2mm+背板
发电效率	在沙地、雪地、草地等各种地面能够提高 10%-30%效率	发电效率低于双面组件
质保年限	30 年	25 年
衰减率	0.50%	0.60~0.70%
耐候性能	背光面的玻璃是二氧化硅，长期在户外不易降解、抗腐蚀性强，在野外耐风沙耐磨性好，并且更耐酸雨盐雾等	传统背板 TPT、TPE 等复合材料在 UV 照射下易霉变，在水汽和酸碱环境下易降解，更易被风沙磨损

数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

2018 年底中来股份发布透明背板产品，但成本较高，双玻组件仍然是双面组件的主流。2021 年，随着下游应用端对于双面发电组件发电增益的认可，以及美国豁免双面组件 201 关税影响，双面组件市场占比涨至 37.4%，预计 2030 年将超过 60%。

图 25：2017-2030 年单/双面组件市场占比变化趋势


数据来源：CPIA，东方证券研究所

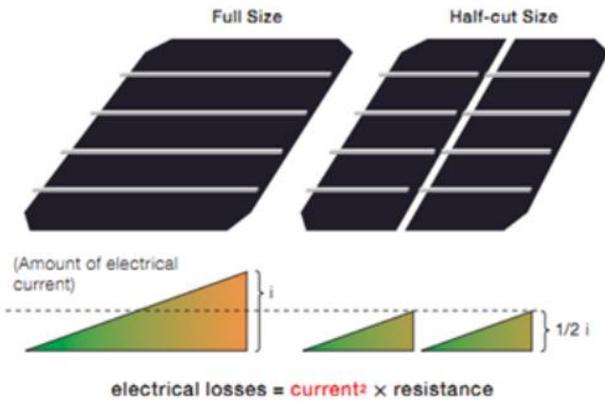
高密度封装助力大尺寸硅片组件实现更高功率

半片技术

2016 年半片封装技术出现，激光沿垂直于电池主栅线方向将电池片切为相等的两个半片，进而将半片电池进行连接。薄片技术减少了内部电路和内耗，封装效率提高；另外组件工作温度降低，降低了热斑几率，提高了组件的可靠性和安全性。

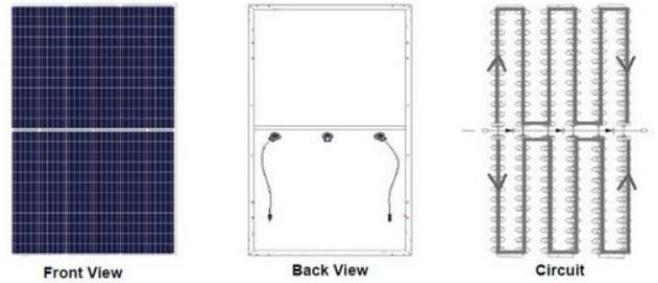
常规组件通常采用串联结构。半片电池由于切片后电压不变、电流减半，如采用常规串联结构设计，组件电压将是常规组件的 2 倍，从而增加系统成本和运行安全风险，因此为保证与常规组件整体输出的电压电流一致，半片组件一般会采用先串联、后并联的结构设计。常规光伏电池片产生的电流在 8.5-9.5A 之间，而半片电池的电流为整片的一半，约为 4.25-4.75A，因此在工作过程中，半片电池的发热量仅为全片的 1/4 ($P_{loss}=I^2R$)，从而能够减少因组件工作温度升高带来的发电量损失。根据对户外半片组件实际发电量的监控，其发电功率较常规组件能够提升 3-4%，以 60 片组件为例约提升发电功率 5-10W。

图 26：半片组件较整片发热量降低原理



数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

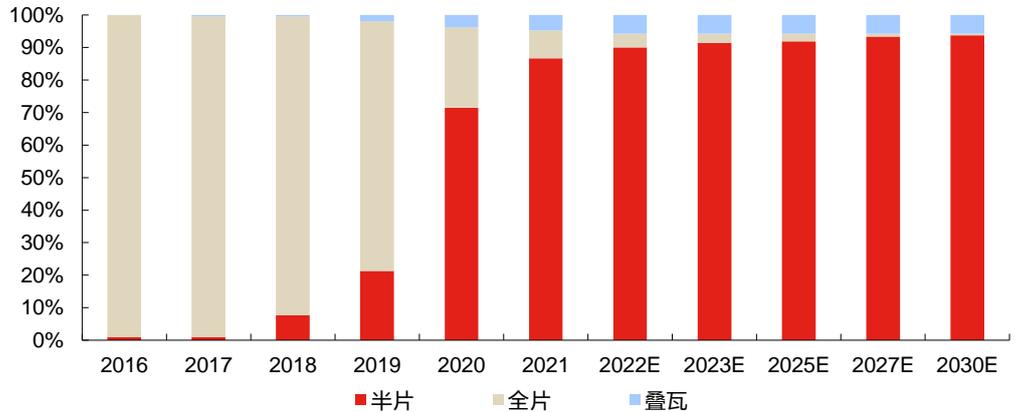
图 27：半片组件电路结构设计



数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

“半片+”成为标配，预计 2022 年市占率超过九成。半片与 MBB 技术结合，市占率已过半。同时，半片技术与 TOPCON、HJT、IBC 等多种电池新技术均能搭配，2022 年 11 月，爱康 600MW 微晶异质结 210 半片电池产线全面投产，隆基发布了 Hi-MO6 组件搭载 HPBC 高效电池，搭配半片技术。

图 28：2016-2030 年组件封装技术的市场占比变化趋势



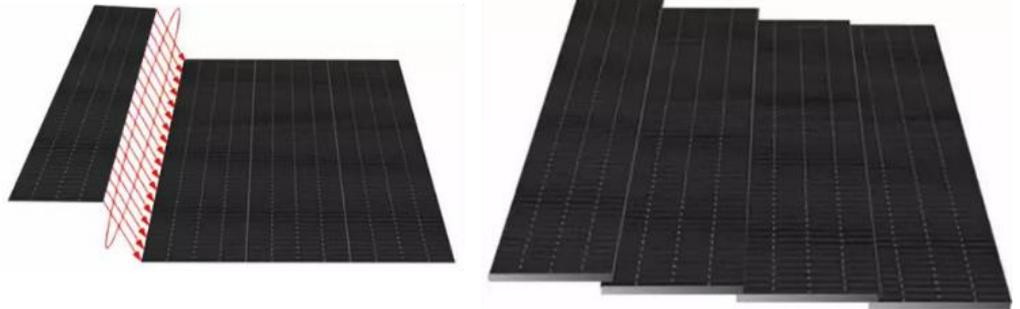
数据来源：CPIA，东方证券研究所

叠瓦技术

叠瓦组件将传统电池片切割成 4-5 片，将电池正反表面的边缘区域制成主栅，用专用导电胶使得前一电池片的前表面边缘和下一电池片的背表面边缘互联，省去了焊带焊接。传统组件一般都会保留约 2~3 毫米的电池片间距，而叠瓦工艺通过交叠电池小片，实现无电池片间距。在一张 60 型面积大小相当的版型组件内，叠瓦组件可以封装 66~68 张完整电池片，比常规封装模式平均多封装 13% 的电池片，从而有效扩大了电池片受光面积，提升组件的平均发电密度。

此外，叠瓦技术用导电胶替代焊带，避免了焊带遮挡，有助于组件功率提升，电子运动距离缩短，有效提升输出功率，叠瓦技术可提高组件功率 15-20W，远高于半片、多主栅等组件技术。同时，叠片组件特殊的串并结构减少了焊带电阻对组件功率的影响，抑制了因反向电流而产生的热斑效应。同时，并联电路设计使得在遮光时叠瓦组件的功率下降与阴影遮蔽面积呈线性关系，故叠瓦组件在遮光条件下比常规组件表现更好。

图 29：叠瓦组件结构示意图



数据来源：光伏們，东方证券研究所

2018 年叠瓦技术实现规模产业化，主打差异化路线，较多应用在欧洲、澳洲、韩国、日本等国家的高端市场。叠瓦工艺有难度、设备投资高，同时有专利疑虑，因此目前叠瓦市场占有率约 5-6%，依然行走在小众而美的道路上。

短期来看，SunPower 的专利布局很难绕过，国内主要通过自主研发或者授权合作的方式来推展叠瓦技术。从全球范围来看，叠瓦组件专利的主要持有企业为 SunPower、Solaria 和 Flex International Ltd（伟创力）。SunPower 的专利最为全面，从电路、排版到外观设计各个环节都拥有专利，采用竖版排布、印刷导电胶的技术方案，在设计上较为优化；Solaria 也具有较为完善的叠瓦专利体系，采用横版布局、导电胶点胶工艺；伟创力为全球知名代工企业，也是叠瓦组件专利的持有者之一。目前 SunPower、Solaria 系的关于叠瓦排布、外观、联结方式等专利尚未到期。

表 12：主要叠瓦技术专利情况

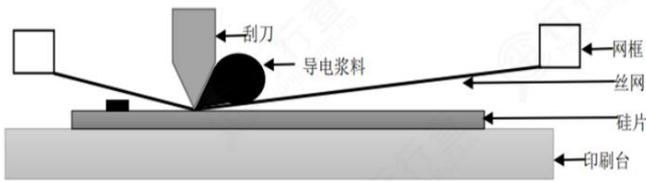
主要专利持有企业	专利技术方案	主要专利授权企业
SunPower	竖版排布、印刷导电胶工艺	环晟
Solaria	横版排布、点胶工艺	协鑫集成、赛拉弗
Flex International Ltd	—	—

数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

电池片与组件环节联合创新，主栅与焊带不断优化

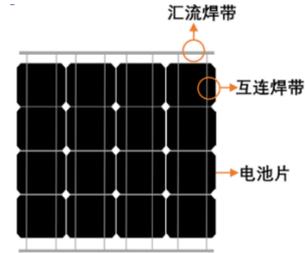
在电池片制造环节，需要将银浆印刷在表面，形成电极。丝网印刷主要包括两部分：副栅线引导电流，主栅线收集副栅线电流，起到汇总的作用。在组件制造环节，将互连焊带焊接在主栅上，串联电池片，具有收集、传输光伏电池片电流的功能；汇流焊带是连接光伏电池串及接线盒的焊带，不与电池片直接接触，具有传输光伏电池串电流的功能。串焊过程中焊接点多，对精度和牢度挑战较大，需搭配自动汇流焊接设备。

图 30：丝网印刷形成电极



数据来源：摩尔光伏，东方证券研究所

图 31：组件焊带示意图



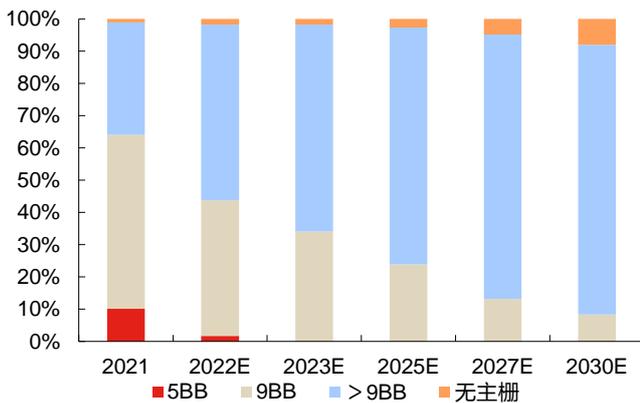
数据来源：宇邦新材公司公告，东方证券研究所

MBB 技术，搭配材料改进—银包铜、电镀铜

多主栅技术采用更多更细的主栅进行焊带互联，在不增加电池遮光面积的前提下，有利于缩短电池片内细栅电流传输路径；减少电池功率损失；提高电池应力分布的均匀性以降低碎片率；降低断栅及隐裂对电池功率的影响；同时降低银浆使用量。2021 年，细栅线宽度一般控制在 32.5 μm 左右，印刷设备精度在 $\pm 7.7\mu\text{m}$ 。随着浆料技术和印刷设备精度的提升，细栅宽度仍会保持一定幅度的下降。2021 年迈为联合华晟发布超级主栅（Super MBB）技术，让焊带和细栅直接汇联，降低主栅宽度，增加栅线数量，从而降低银耗。根据迈为股份数据，SMBB 技术可以减少银浆耗量 8mg/W。

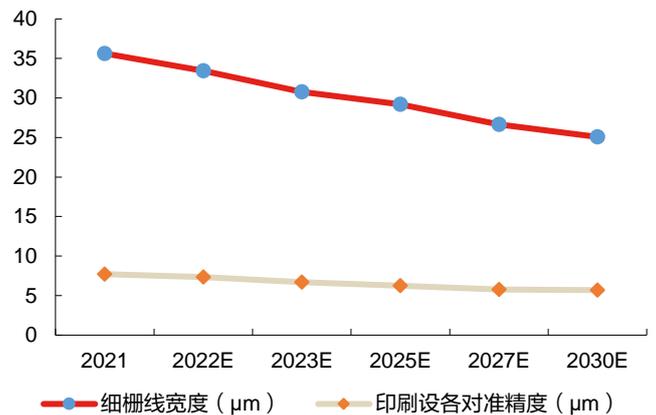
具有低热斑风险的半片结合低裂片影响的 MBB，可有效降低组件失效风险，逐渐成为高密度、高功率组件的主流趋势。主栅技术发展过程为：3BB→4BB→5BB→MBB（>5BB）。2015 年组件市场以五主栅为主，目前市场主流产品为 9BB 及以上组件。阿特斯 2018 年，166mm 搭配半片多主栅产品量产，使得商业化晶硅组件正式进入到 400W 时代。

图 32：2021-2030 年各种主栅技术市场占比变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

图 33：2021-2030 年电池正面细栅线宽度及精度变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

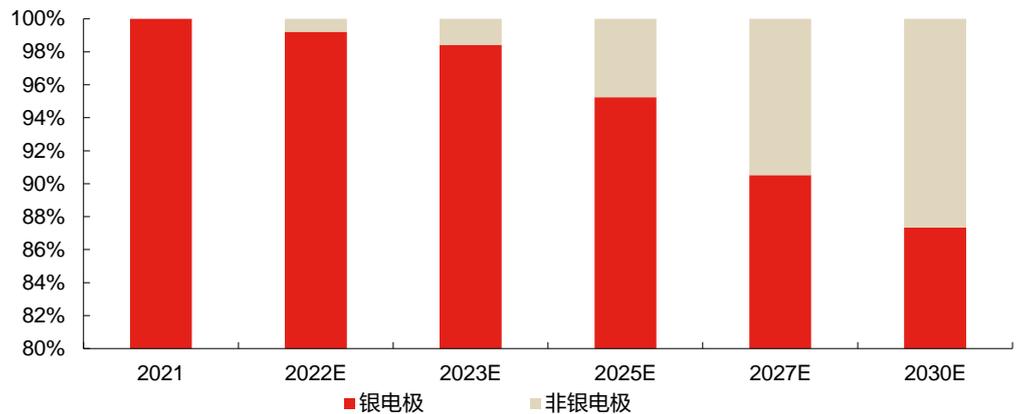
目前，电池片的金属栅线几乎全部通过丝网印刷的方式制备，2021 年市场占比达到 99.9%。生产企业和设备厂家也在研发孔板印刷、喷墨、电镀、激光转印等其他栅线印刷技术。随着栅线宽度变窄的需求增加，激光转印相较于丝网印刷优势明显。根据帝尔激光数据，目前激光转印在 HJT 上有 30%以上银浆降低，对应每 GW 节约银浆成本千万以上。

银包铜技术适合低温电池工艺，比如 HJT。以 TOPCon 高温工艺为例，在高温下，银会从表面脱离，使得铜颗粒暴露在空气中，因为高温迅速氧化为氧化铜，氧化铜电阻比银高得多，容易造成

电池片部分区域失效。HJT 是低温工艺，2022 年年底华晟 166 的电池片背面副栅部分将全部切换到使用银包铜技术，且转换效率不会受到影响，目前正在研发低温银浆的银包铜产品。电镀铜作为替代银浆丝网印刷的工艺，是一种非接触式电极制备技术，利用电解原理在导电层表面沉积金属，主要基于种子层栅线的方法替代丝网印刷制作电极，即制备阻挡层和铜种子层后，再制备掩膜并进行层压、曝光、显影，之后进行电镀并去除各层材料实现导通。

目前金属电极仍以银电极为主，2021 年市场占比达到 99.9%。由于银价格较高，部分企业正积极开发利用铜替代银的电极技术，主要分为银包铜浆料结合丝印技术和电镀铜技术。

图 34：2021-2030 年电池片正面金属电极技术市场占比变化趋势

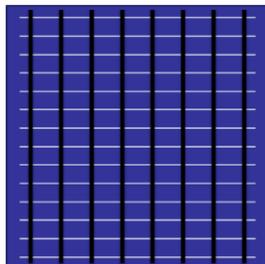


数据来源：CPIA，东方证券研究所

无主栅技术

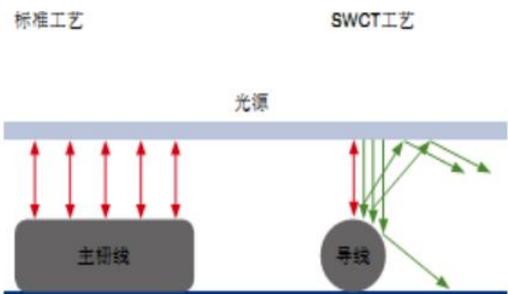
无主栅（SWCT、0BB）概念最早由加拿大光伏公司 Day 4 Energy 提出，2008 年获得相关专利技术，目前尚处在试验阶段。无主栅技术指的是正面仅印刷细栅线，用多根细铜线替代传统电池的主栅的技术，相当于采用多根金属丝（≥10 根）代替常规焊带，让更多更细的焊带直接连接电池细栅，汇集电流的同时实现电池互连。取消了常规组件工艺中电池焊带串焊的环节，在电池层面取消了传统的主栅。无主栅技术消除了主栅并优化细栅的宽度和间距，能够有效降低 25% 的遮挡面积，理论上能够降低 75%-80% 的银浆用量。

图 35：无主栅电池片



数据来源：《硅基异质结太阳能电池新进展》李正平等，东方证券研究所

图 36：无主栅结构



数据来源：国电投公众号，东方证券研究所

无主栅技术实现方式主要有两种，一是以铜线导电膜代替主栅，二是直接以铜线代替主栅。无主栅技术目前仍不成熟，且需要组件端配合，目前尚无市场化产品。无主栅技术要求更高精密的微米级、低熔点焊带，带动光伏焊带企业精进研发。

MWT 技术

MWT (Metal Wrap Through) 全称为金属穿孔卷绕技术，采用激光打孔、背面布线的技术消除正面电极的主栅线，正面电极细栅线搜集的电流通过孔洞中的银浆引到背面。此设计下，光伏电池的正负电极点都分布在电池片背面，(1)有效减少了正面栅线的遮光，提高光电转换效率；(2)避免了焊接应力和微隐裂导致的性能衰减；(3)与其它技术具有很好的兼容性，包括 TOPCon, PERC, HJT 等；(4)能降低银浆消耗量；(5)降低了金属电极—发射极界面的载流子复合损失。目前 PERC 电池市场占有率最大，并将在未来 3-5 年保持市占优势，TOPCon 电池次之，HJT 电池第三，但三者效率上的差距非常小。MWT 作为“电池+组件”的混合技术，可以实现和以上 PERC、TOPCon、HJT 等技术的结合优化。

MWT 电池片表面无主栅线，遮光面积减少约 3%，提供更高的输出功率。在组件环节，电池片与电池片之间的连接均在电池片的背面实现，消除了常规组件中相邻电池片之间通过焊带从正面到背面的连接所导致的应力，从而避免了可能产生的电池片隐裂等可靠性问题。与常规组件相比，MWT 组件在工艺上类似于半导体电路，采用“导电背板+柔性导电胶+低温固化”的方案取代了常规的“涂锡铜带+助焊剂+高温焊接”的方案，减少了电池片的焊接应力，更适合薄片，据测试，MWT 组件封装最薄可兼容 100um 左右的超薄电池片，其薄片应用远远领先于行业水平。

图 37: MWT 组件 (左) 与传统组件结构 (右)



数据来源：日托光伏公司官网，东方证券研究所

MWT 组件由于背面放导电背板，难以实现双面发电，因此目前多如 IBC 技术一样，用于一些高端住宅和 BIPV 等单面项目，但 MWT 的技术特性，可以助力 PERC、HJT 和 TOPCon 等技术实现单面的效率极致。目前实现 MWT 量产的只有日托光伏一家企业，导致行业话语权不高、客户认知度不够没办法写进招标文件以及规模效应不强等问题。

《中国光伏产业发展路线图》专门对 MWT 背接触技术和产品做了分析和预测，预计 2022 年市占率在 0.8%。在众多光伏电池和组件技术中，MWT 技术横跨电池与组件环节，只做电池或组件很难做好 MWT 技术。MWT 工序并不复杂，但工艺难度较大，技术思路与传统技术不同，研发人员要同时懂得电池与组件技术以及相应的装备工艺。

平价时代，配套系统升级走向台前

目前光伏产业正在迈入“大组件、大逆变器、大跨度支架、大组串”的时代。电站终端运营的投资决策以 IRR 为纲，包括组件、逆变器、支架等技术因素以及土地资源、储能配套、电力消纳、贸

易壁垒等非技术因素。随着光伏行业成本大幅降低，安全性与精细管理要求也不断提升，储能、逆变器渗透率随着提升。

表 13：光伏配套产品

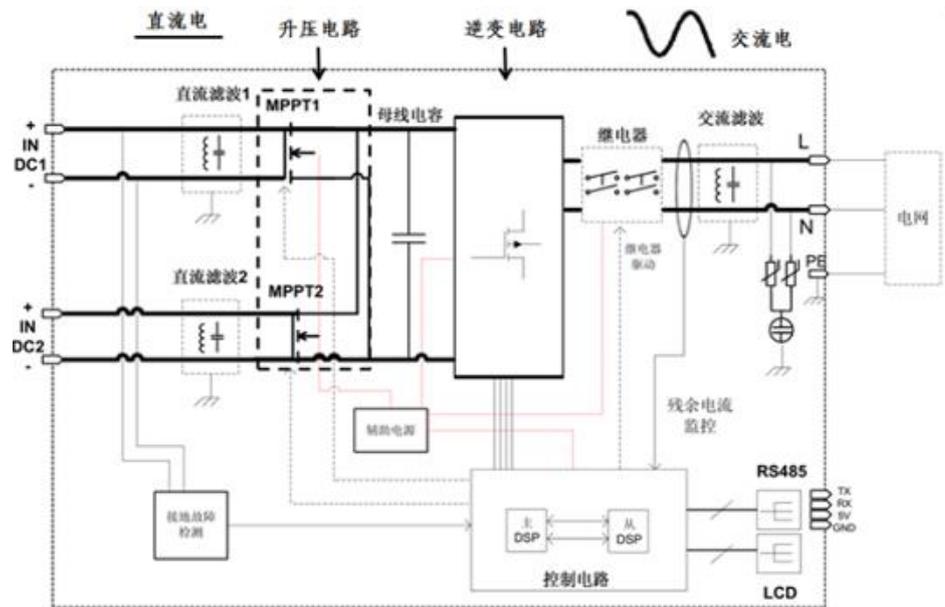
起量时间	主要公司	产品	技术普及情况
2016 年	华为、阳光电源、固德威、古瑞瓦特、锦浪科技、德业、科士达、禾迈…	逆变器	微逆：海外渗透率高
2022 年	宁德时代、鹏辉能源、亿纬锂能…	电化学储能	户储：海外渗透率高 工商业储能：取决于电价 大储：国内强制配储

数据来源：北极星太阳能光伏网，东方证券研究所

光伏运营端精细化管理推动逆变器升级

逆变器主要由晶体管等开关元件构成，通过有规则地让开关元件重复开-关，可以使直流输入变成交流输出。此外，逆变器还能够最大限度地发扬太阳电池功能、维护系统故障，具体来说有主动运转和停机功用、最大功率跟踪节制功用、防独自运转功用、主动电压调整功用、直流检测功用、直流接地检测功用。逆变器的核心零部件为 IGBT，隶属于半导体行业，逆变器企业主要依赖对外采购。

图 38：光伏逆变器工作原理



数据来源：锦浪科技公司公告，东方证券研究所

逆变器行业发展可以划分为三个阶段：2012 年前欧洲垄断；2013-2015 年中欧竞赛；2016 年至今一超多强（欧美日），华为、阳光电源龙头地位稳固，市占率遥遥领先。华为在 2013 年突破组串式逆变器的降本，2015 年组件出货量居于全球首位。

光伏逆变器的配置要重点考虑**额定输出功率、输出电压的调整性能、整机效率、启动性能**等技术指标。逆变器一般分为**集中式、组串式、微型逆变器**三种。（1）集中式逆变器：体积大、功率高，一般常见 500kW 以上，成本较低，适用于光照均匀的集中性地面大型光伏电站等。代表企业

有国内的阳光电源、上能电气、特变电工、科士达等企业。（2）组串式逆变器：体积小、功率适中，常见 0-255kW，成本适中，具有 MPPT 模块，可调节多块组件系统达到最优，适用于户用、分布式系统等。代表企业有锦浪科技、固德威、古瑞瓦特等。（3）微型逆变器：体积最小，功率最小，常见功率 1kw 以下，成本最高，具有 MPPT 模块，可调节单块组件达到最优，适用于户用及小型分布式，代表企业为禾迈、昱能科技、Enphase 等。

表 14：各类光伏逆变器应用对比

项目	集中式逆变器	组串式逆变器	微型逆变器
集中式大型电站	适用	适用	不适用
分布式大型工商业屋顶电站	适用	适用	不适用
分布式中小型工商业屋顶电站	不适用	适用	适用
分布式户用屋顶电站	不适用	适用	适用
最大功率跟踪对应组件数量	数量较多的组串	1-4 个组串，	单个组件
最大功率跟踪电压范围	窄	宽	宽
系统发电效率	一般	高	最高
安装占地	需要独立机房	不需要	不需要
室外安装	不允许	允许	允许
维护性	一般	易维护	难维护
逆变器成本	微型逆变器>组串式逆变器>集中式逆变器		
应用各类逆变器的系统成本	微型逆变器>组串式逆变器/集中式逆变器（两者接近）		

数据来源：锦浪科技公司公告，东方证券研究所

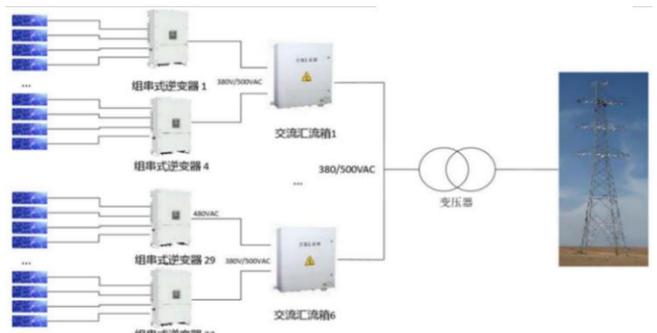
集中式逆变器核心为先汇流，再逆变。多块组件串联一起提高总电压，产生的直流电进入汇流箱，再通过汇流箱并联提高总输出电流，产生大直流功率（通常在 500KW 以上），再输入至集中式逆变器转换为交流电。集中式逆变器需要先汇流的原因在于一般只有 2 路 MPPT，无法实现组件串之间的大量并联，所以需要依靠汇流箱。**组串式逆变器核心为先逆变，再汇流。**多块组件串联连入组串式单路 MPPT，多路 MPPT 之间并联接入组串式逆变器，直流电转换为交流电后，再接入交流汇流箱传入电网。组串式逆变器后汇流的原因在于有多路 MPPT，自身可以实现组件串之间的大量并联。

图 39：集中式光伏逆变器工作模式



数据来源：上能电气公司公告，东方证券研究所

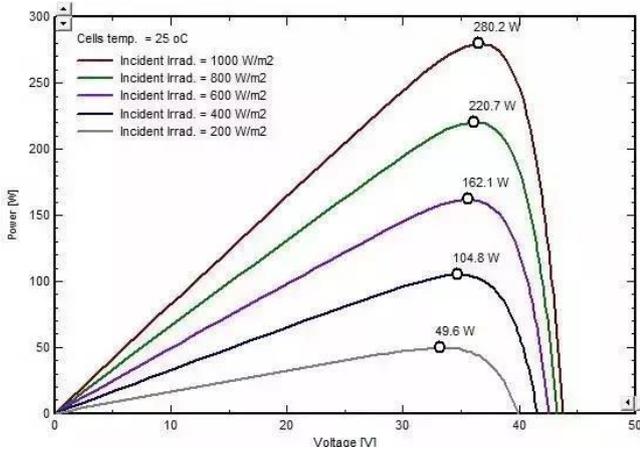
图 40：组串式光伏逆变器工作模式



数据来源：上能电气公司公告，东方证券研究所

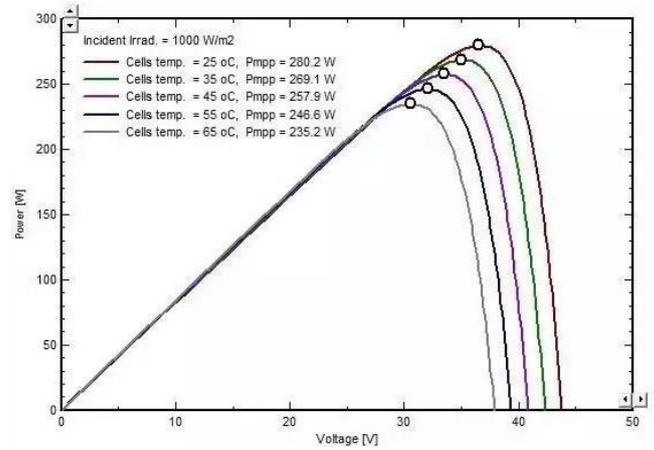
目前微型逆变器大多具有最大功率点跟踪 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 功能。逆变器能够根据外界不同的环境温度、光照强度等特性来调节光伏阵列的输出功率，使得光伏阵列始终输出最大功率。假设 MPPT 还没开始跟踪，这时组件输出电压是 500V，然后 MPPT 开始跟踪之后，通过内部的电路结构调节回路上的电阻，以改变组件输出电压，同时改变输出电流，一直到输出功率最大（假设是 550V 最大）。

图 41：辐照度变化对光伏组件输出功率的影响（MPPT 跟踪）



数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

图 42：温度变化对组件输出功率的影响（MPPT 跟踪）



数据来源：索比光伏网，东方证券研究所

电力系统灵活性日益重要，多种系统进行调节

高比例消纳新能源关键在于提升电力系统灵活性。传统电力系统中，灵活性资源主要以各类可调节电源及抽水蓄能电站为主。但随着能源系统逐步完善，电网运行方式将更加灵活优化，源网荷储全环节都具有可挖掘的灵活性资源。如在电源侧，煤电装机容量大，出力稳定可控，是潜力最大的灵活性调节资源，气电和水电调节性能出色也是优质的灵活性资源。在储能侧，抽水蓄能可靠性高、调节能出色，但选址受自然资源限制相对较大；电化学储能布局灵活，但目前大规模应用仍存在一定安全隐患，且投资相对较高。而在电网侧和负荷侧主要是通过机制体制的调整从而提高整体体系的运营效率，如电网侧统筹送受端的调峰安排，制定更加灵活的电网运行方式，鼓励跨省、跨区共享调峰与备用资源；负荷侧需求响应有序用电的安排可以大幅减小电网日内负荷波动等等。

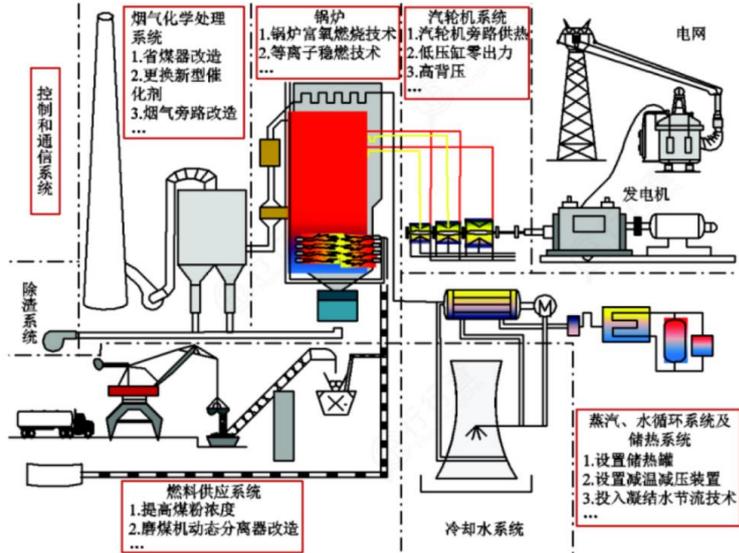
表 15：电源侧及储能侧部分资源灵活性运行参数

类型		运行范围 (%)	爬坡速率 (Pn/min)	启停时间 (h)
电源侧	煤电	50~100	1~2%	6~10
	热电联产	80~100	1~2%	6~10
	气电	20~100	8%	2
	水电	0~100	20%	<1
	核电	30~100	2.5~5%	
储能侧	抽水蓄能	-100~100	10~50%	<0.1
	电化学蓄能	-100~100	100%	<0.1

数据来源：《电力系统灵活性提升：技术路径、经济性与政策建议》NRDC、华北电力大学，东方证券研究所

“十三五”期间，我国火电灵活性改造完成率仅 38.3%，十四五期间计划完成火电灵活性改造 2 亿千瓦时。2021 年 11 月《关于开展全国煤电机组改造升级的通知》中，明确“十四五”期间完成煤电机组灵活性改造 2 亿千瓦，增加系统调节能力 3000-4000 万千瓦。目前山西、福建、山东、新疆、宁夏、广东、甘肃、四川等多个省份也相继出台了电力辅助服务政策，通过电价补偿机制，鼓励火电企业加快灵活性改造，参与深度调峰。

图 43：火电灵活性改造涉及子系统示意图



数据来源：《考虑多主体博弈的火电机组灵活性改造规划》郭通等，东方证券研究所

同时，各地都在要求配套储能，将新能源和储能融为一体，这是近几年提高稳定性的主要方式与手段。目前储能电池的产线基本与动力电池产线通用，不过，储能具有新基建的特性，更加关注投资回报率、回本周期、度电成本、全生命周期投资成本等。在此背景下，越来越多的电池企业开始针对电力储能的需求专门开发相匹配的电池产品，储能电池正在走向更低度电成本、更长循环寿命、更高安全的专属化、专业化的产品设计、工艺选择和制造路径。

表 16：动力电池和储能电池的不同之处

类目	动力电池	储能电池
应用场景	主要用于电动汽车、电动自行车以及其他电动工具领域	主要用于调峰调频电力辅助服务、可再生能源并网、微电网等领域
性能要求	作为移动电源，对于能量密度和功率密度都有较高的要求 Enerc	绝大多数储能装置无需移动，因此储能锂电池对于能量密度并没有直接的要求；功率密度，不同的储能场景有不同的要求；电池材料方面，注意膨胀率、能量密度、电极材料性能均匀性等，以追求整个储能设备的长寿命和低成本
使用寿命	动力锂电池的循环次数寿命在 1000-2000 次左右	储能锂电池的循环次数寿命一般要求能够大于 3500 次
电池类型	出于安全和经济的考虑，在选择锂电池组时通常使用磷酸铁锂电池	主流电池类型有磷酸铁锂电池和三元锂电池，随着磷酸铁锂电池能量密度问题的解决，磷酸铁锂电池占比逐年提升
面临竞争	面临和传统燃油动力源的竞争	面对传统调峰调频技术的成本竞争

数据来源：EnergyTrend 储能，东方证券研究所

磷酸铁锂电池配套的储能系统已经成为市场的主流选择。传统电化学储能技术以铅酸电池为代表，由于其对环境危害较大，已逐渐被锂离子电池所替代。主流锂离子电池有三元锂电池、磷酸铁锂电池和钛酸锂电池等。三元材料综合了镍酸锂、钴酸锂、锰酸锂三类材料的优点，具有容量高、能量密度高、成本低、循环性能好、高温性能好、倍率高的特点。但制作三元锂的原材料中，钴金属有毒，离子电池分解时产生氧气，安全性不好管理等。2022 年国家能源局提出中大型电化学储能电站不得选用三元锂电池。**相比三元电池，磷酸铁锂电池在储能中优点突出：1）热稳定性强，安全可靠、循环寿命和综合成本更优，2）储能系统设计灵活，能够回避能量密度低的缺点。**根据 GGII 数据，2021 年中国储能锂电池出货量 48GWH 中，磷酸铁锂路线占比约 98.5%。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

表 17：储能电站用磷酸铁锂、钛酸锂、三元锂电池一般性技术水平对比

技术水平对比		磷酸铁锂电池	钛酸锂电池	三元锂电池
性能对比	安全性	★★★★	★★★★★	★★
	循环寿命	★★★★	★★★★★	★★★★
	成本	★★★★	★★	★★★★
	倍率性能	★★★★	★★★★★	★★★★
	能量密度	★★★★	★★	★★★★★
电芯参数	额定电压 (V)	3.2	2.3	3.7
	能量密度 (Wh/kg)	120~140	90~100	135~165
	运行温度 (°C)	充电: 055	-1035	-2550
		放电: -2055		
	存储温度 (°C)	-3060	-3055	-4060
	倍率特性	1C~2C	5C	1C~4C
	循环寿命	3500-5000 次	5000-12000 次	4000-10000 次
	电芯材料热稳定性	热分解温度 800°C 左右,材料挤压测试现象是冒烟	挤压测试时不冒烟、不起火、不爆炸,热稳定性好	热分解温度 200°C,分解时反应剧烈,会产生氧气,材料挤压测试现象为剧烈爆炸
价格(元/Wh)	1.8-2.2	3-5	1.6-2	

数据来源：阳光工匠论坛，东方证券研究所

户储通常使用 100AH 及以下容量电芯，工商业储能、大储电芯容量要求更高，280Ah 容量在主流大储电芯中已经占据半壁江上以上，2022 年 10 月亿纬锂能发布了 560Ah 储能专用电池。储能电芯向大容量方向升级趋势明显。1) 大电芯更容易获得高体积能量密度；2) PACK 端零部件使用量减少，有利于成本下降；3) 大电芯更易获得高容量；4) 安全性提升；5) 集成领域装配工艺简化。储能系统电压越高，串联的电池越多，对电芯的一致性要求越高，同时需要配合高效的 BMS 管理系统，否则容易出现故障。

图 44：户储电芯产品举例



数据来源：宁德时代公司官网，鹏辉能源公司官网，北极星储能网，东方证券研究所

图 45：大储电芯产品举例



数据来源：宁德时代公司官网，鹏辉能源公司官网，东方证券研究所

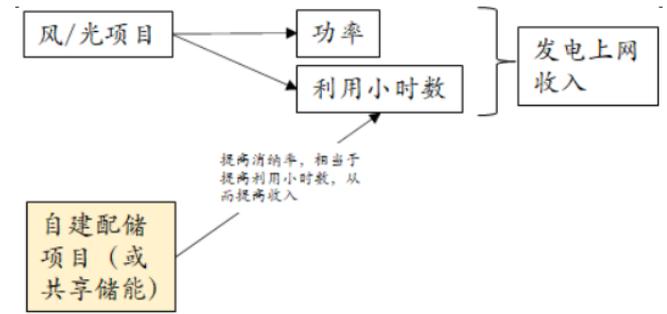
储能电站系统包括直流侧和交流侧两大部分。直流侧以电池为主，同时包括温控、消防、汇流柜、集装箱等设备，交流侧以变流器为主，同时包括变压器、集装箱等。集成商负责设备采购、集成和安装，最终向运营商交付储能电站。全国来看，风光配储基本成为硬性指标，配储比例一般为项目装机规模的 10%-20%。配储时长为 2H。对于新能源项目投资方而言，储能收益主要来自于提高消纳率，相当于提高利用小时数。

图 46：储能电站系统



数据来源：海博思创公司官网，东方证券研究所

图 47：风光配储收益模式



数据来源：智汇光伏，东方证券研究所

光伏支架向跟踪支架升级，提高发电量增益

光伏支架是太阳能光伏发电系统中为了支撑、固定、转动光伏组件而设计安装的特殊设备。根据能否跟踪太阳转动区分为固定支架和跟踪支架，跟踪支架可根据转动方式分为平单轴、斜单轴及双轴跟踪支架。跟踪支架和固定支架差异在于投资成本与发电量增益。根据 BNEF 测算，相较于固定支架，双面组件+跟踪器在全球 93.1%的区域可达到最低 LCOE 度电成本。

表 18：光伏支架分类及性能对比

类型	成本(元/W)	发电增益(%)	占用面积增加(%)	可靠性	
最佳倾角固定支架	0.45-0.5	100	100	好	
标准平单轴	平单轴跟踪支架	1-1.4	110-115	100	较好
	带倾角平单轴	1-1.4	115-200	110-120	较好
斜单轴跟踪支架	1.45-1.8	120-125	140-150	较差	
双轴跟踪支架	1.5-2	130-140	>180	差	

数据来源：Solarbracket，东方证券研究所

图 48：季节可调固定式支架



数据来源：中信博公司官网，东方证券研究所

图 49：斜单轴跟踪支架



数据来源：中信博公司官网，东方证券研究所

相比于固定支架，跟踪支架多了电控设计与驱动设计，因此上游原材料还包括控制箱和回转减速器。随着集成化及智能化提升，可以利用人工智能的深度学习算法确定最佳角度跟踪模式，有效

提高发电效率，还可以利用物联网传感网络技术，远程、无线监控系统运行情况，有效助力光伏电站的智能化。

图 50：跟踪支架系统

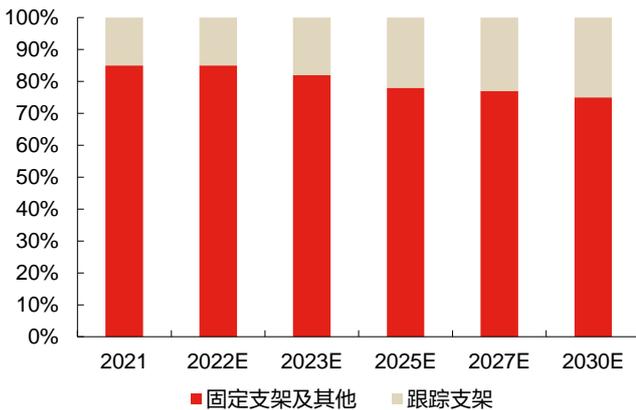


数据来源：中信博公司公告，东方证券研究所

跟踪支架主要销往欧美，国内渗透不足 20%，仍有提升空间。面对电池及组件转换效率提升难度日渐增加、平坦低成本场地减少，随着跟踪支架可靠性提升及造价成本降低，跟踪支架在大型地面电站中的渗透率日益提升，风光大基地建设利好跟踪支架推广。

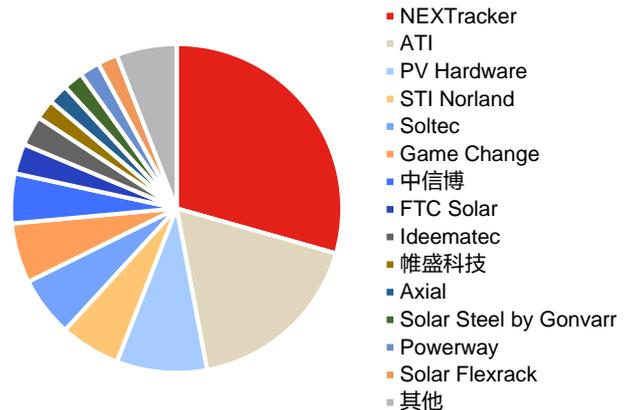
固定支架技术含量较低，量产支架企业达到上千家。而跟踪支架作为高度定制化产品，业主对支架供应商的资质、产品稳定性及项目经验审核极为严格，目前市场欧美企业占据前四，2021CR4 占比 63%，美国公司 NEXTracker 和 Array Technologies 一直占据前二位置，格局相对稳定。2021 年中国企业中信博、帷盛科技分别位列第七（市占率 5%）、第十（市占率 2%）。

图 51：2021-2030 年国内跟踪系统市场占比变化趋势



数据来源：CPIA，东方证券研究所

图 52：2021 年跟踪支架行业竞争格局（按出货量）



数据来源：Wood Mackenzie Power&Renewables，东方证券研究所

财政补贴推动光伏平价，碳中和打开光伏需求天花板

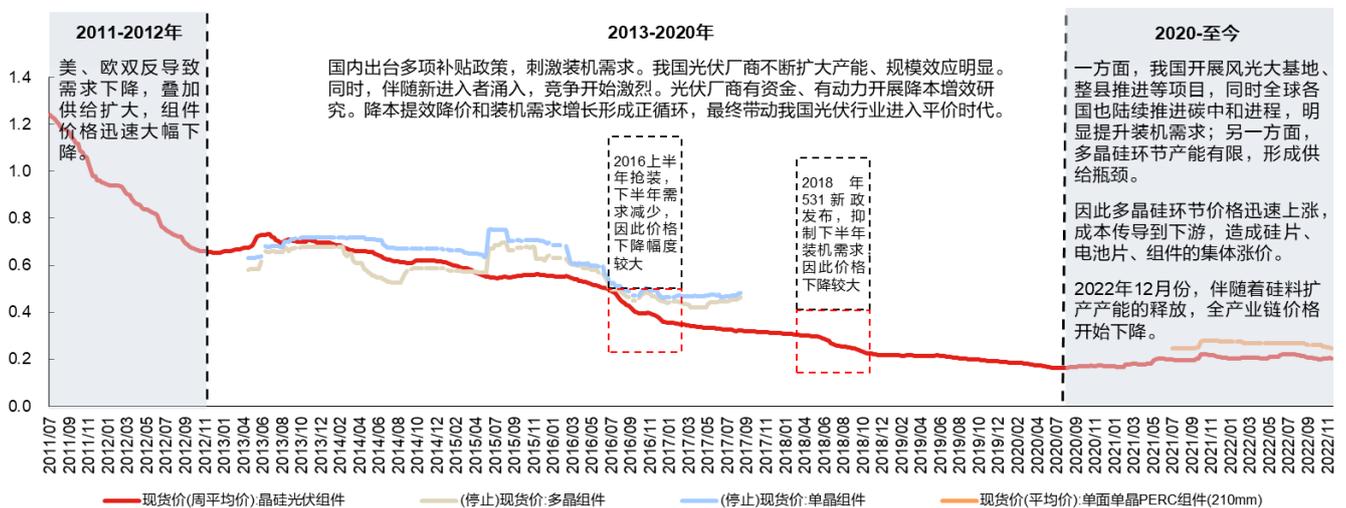
1980-2008年，我国政策对光伏产业的支持布局在宏观层面，市场推进缓慢。2009年开始，我国颁布了一系列财政补贴措施，刺激装机需求。我国光伏厂商不断扩大产能、规模效应明显。同时，伴随新进入者涌入，竞争开始激烈。光伏厂商有资金、有动力开展降本增效研究。降本提效降价和装机需求增长形成正循环，最终带动我国光伏行业进入平价时代。2011至今，10年来光伏组件现货价下降约80%。

图 53：中国光伏新增装机容量（GW）



数据来源：CPPIA，京运通公司公告，东方证券研究所

图 54：2011-2022 年光伏组件价格变化情况（美元/瓦）



数据来源：WIND，东方证券研究所

表 19：十四五期间国内主要光伏应用场景

场景	应用场景
大基地	推进内蒙古、青海、甘肃等以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电太阳能发电基地，预估“十四五”期间规划建设约 2 亿千瓦。
	推进新疆、黄河上游、河西走廊、黄河几字弯、冀北、松辽、黄河下游等风电光伏发电基地。
分布式	城镇屋顶光伏行动—重点推进工业园区、经济开发区、公共建筑如政府大楼、交通枢纽、学校医院等屋顶光伏开发利用行动，“十四五”期间新建工业园区、新增大型公共建筑分布式光伏覆盖率达到 50%以上。
	整县推进屋顶分布式光伏开发建设。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

千家万户沐光行动—统筹农村屋顶或集中场地开展分布式光伏建设，建成 1000 个左右光伏示范村。
"光伏+"综合利用行动—利用新能源车充电桩、高速公路服务区，5G 基站和数据中心，农光互补等形式推动光伏发展。
光伏电站升级改造行动。
光伏廊道示范—重点利用铁路边坡、高速公路、主干渠道、园区道路和农村道路两侧外空闲土地资源，推进分布式光伏或小型集中式光伏。

数据来源：国家能源局，东方证券研究所

财政补贴促进“降本和装机增长正循环”，2021年进入全面平价时代

2009年欧债危机爆发，欧洲光伏需求迅速萎缩，我国光伏行业开始转回国内市场。为了解光伏行业成本、确定光伏市场定价，2009、2010年国家能源局开展了2期**特许权招标竞价项目**，一期敦煌10MW光伏项目获得了1.09元/kWh的上网电价。在此基础上，2009-2012年5期**金太阳及光电建筑一体化示范项目**共计6333MW装机，金太阳开启了中国光伏装机市场。此后的若干年中，标杆电价、度电补贴、光伏扶贫、领跑者工程、户用光伏、绿证交易等政策先后登场，中国逐渐成为全球最大的光伏市场。

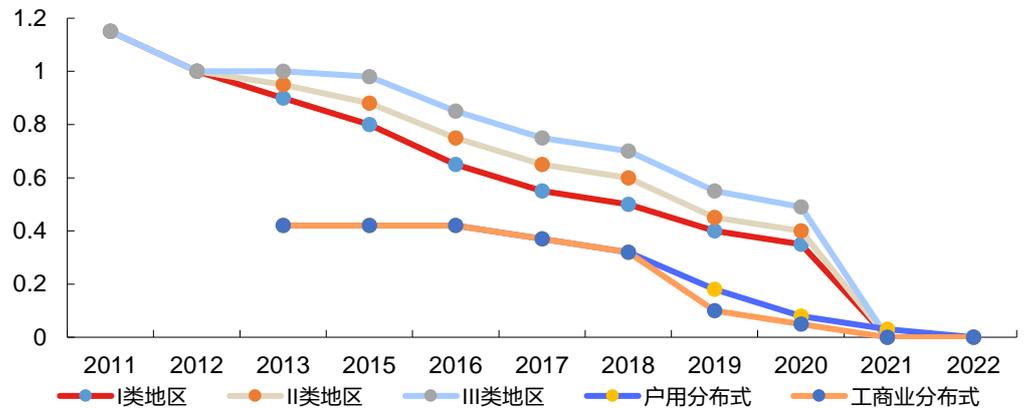
图 55：我国光伏财政补贴政策梳理



数据来源：国家能源局，发改委，北极星太阳能光伏网，索比光伏，东方证券研究所

2013年度电补贴模式和标杆上网电价随之推出，实行三类资源区光伏上网电价及分布式光伏发电度电补贴，光伏电价超出煤电价格的部分需由财政负担，而分布式光伏发电自用后的剩余电量，则按脱硫煤电上网价收购，同时实行每度电一定额度的国家补贴标准，各省的补贴力度略有不同，补贴制度持续近十年。2021年起新建的集中式光伏电站、工商业分布式光伏中央不再补贴，2022年起户用分布式也停止补贴。

图 56：2013-2022 年中国光伏发电补贴退坡历程(元/千瓦时)



数据来源：发改委，东方证券研究所

2010 年两批特许权招标项目之后，业内积极呼吁光伏标杆上网政策的出台。2011 年 7 月，国内第一个**光伏标杆电价** 1.15 元/kWh 发布。2013 年度电补贴模式和标杆上网电价随之推出，实行三类资源区光伏上网电价及分布式光伏度电补贴，光伏电价超出煤电价格的部分需由财政负担，而分布式光伏发电自用后的剩余电量，则按脱硫煤电上网价收购，同时实行每度电一定额度的国家补贴标准，补贴制度持续数十年。在此基础上，各省还有自己的补贴政策。2021 年起新建的集中式光伏电站、工商业分布式光伏中央不再补贴，2022 年起户用分布式也停止补贴。

光伏产业完成平价目标，迎接下一个碳中和目标

2009 年起，我国通过核准制、备案制等方式来把握光伏财政补贴指标，从而控制补贴规模，能够长期、有效地促进光伏项目的开发。随着可再生能源发展基金紧缺，同时光伏成本下降、我国光伏装机发展迅速，因此通过竞价制度来收缩光伏补贴，最终在 2021 年全面进入光伏平价时代。

2020 年 12 月，国家主席习近平在气候雄心峰会上提出，到 2030 年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比 2005 年下降 65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右，风电、太阳能发电总装机容量将达到 12 亿千瓦以上。2021 年国家能源局在《关于征求 2021 年可再生能源电力消纳责任权重和 2022—2030 年预期目标建议的函》中提出，2030 年全国可再生能源非水电电力消纳责任为 25.9%。假设 2030 年全国非化石能源占比达到 26%，风电光伏电量占比不低于 25.9%，2022-2030 年年均等额增长 1.47 个百分点，那么 2025 年和 2030 年风电和太阳能发电累计装机容量分别将达到 10.4 亿千瓦和 16.2 亿千瓦左右。

目前，全球各国相继加快碳中和进程，光伏在碳中和进程中有望发挥巨大作用，我国相继开展了风光大基地、整县推进等重大项目。

图 57：我国光伏产业政策梳理



数据来源：发改委，财政部，国家能源局，东方证券研究所

2015年领跑者计划开始实施，鼓励先进技术，制定技术标准，引导光伏发电成本的下探，提高转换效率及组件功率。2015-2017年三期领跑者计划中，涌现了PERC电池、N型电池等多项之后成为主流的光伏技术，组件效率、衰减等各方面的要求，也一直是光伏市场的标杆。第三期开始区分技术领跑者和应用领跑者，在应用领跑者中率先引入竞价机制，有效减小了对补贴的依赖，加速平价上网进程。2019年以后，包括补贴项目，所有的光伏项目都开始了竞价模式，在竞价降低成本的角度来看，普通项目已经向以前的领跑者项目看齐，因此未再开展第四批领跑者项目。

表 20：三批领跑者项目规模及指标要求汇总

公告年份	批次	基地数量	规模 (GW)	并网时间	多晶组件 (60片)		单晶组件 (60片)	
					效率 (%)	功率	效率 (%)	功率
2015/6/25	第一批	1	1	2016年中	16.5	270W	17	275W
2016/6/13	第二批	8	5.5		16.5	270W	17	275W
2017/11/22	第三批 (应用领跑者)	10	5	2018年底	17	280W	17.8	295W

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

	第三批 (技术领跑者)	3	1.5	2019年中	18	295W	18.9	310W
2019/6/14	第三期奖励 (应用者)	3	1.5	2020年中	17	280W	17.8	295W

数据来源：国家能源局，智汇光伏，东方证券研究所

沙漠、戈壁、荒漠地区的大型风光电基地建设为“十四五”新能源发展的重中之重。2022年初，国家发改委和国家能源局发布的《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》提出，到2030年，规划建设风光基地总装机约4.55亿千瓦。我国风光大基地建设迎来明确路线图，建设“以大型风光电基地为基础，以其周边清洁、高效、先进、节能煤电为支撑，以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新能源供给消纳体系”，是支撑清洁能源转型的重要基础。目前第一批95GW基地项目已全部开工建设，第二批大基地项目刚开工，而第三批风光大基地也正在申报中。

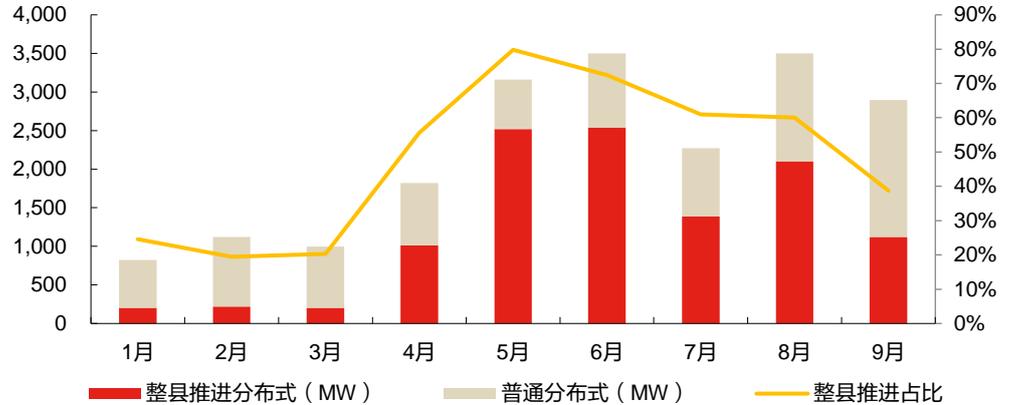
图 58：我国风光大基地项目进展



数据来源：发改委，国家能源局，东方证券研究所

2021年6月，国家能源局下发《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开始试点方案的通知》，要求当地政府、电网企业做到分布式光伏“宜建尽建”与“应接尽接”，截至2022年6月底，全国试点累计备案规模6615万千瓦。在双碳目标的驱动下，整县推进成为撬动整个分布式光伏产业的“支点”。2022年1~9月，整县推进分布式完成备案约90GW，并网规模约为30GW，公开招标的分布式光伏项目EPC中，约57%为整县推进分布式。

图 59：2022 年 1-9 月分布式光伏招标中整县推进规模及占比



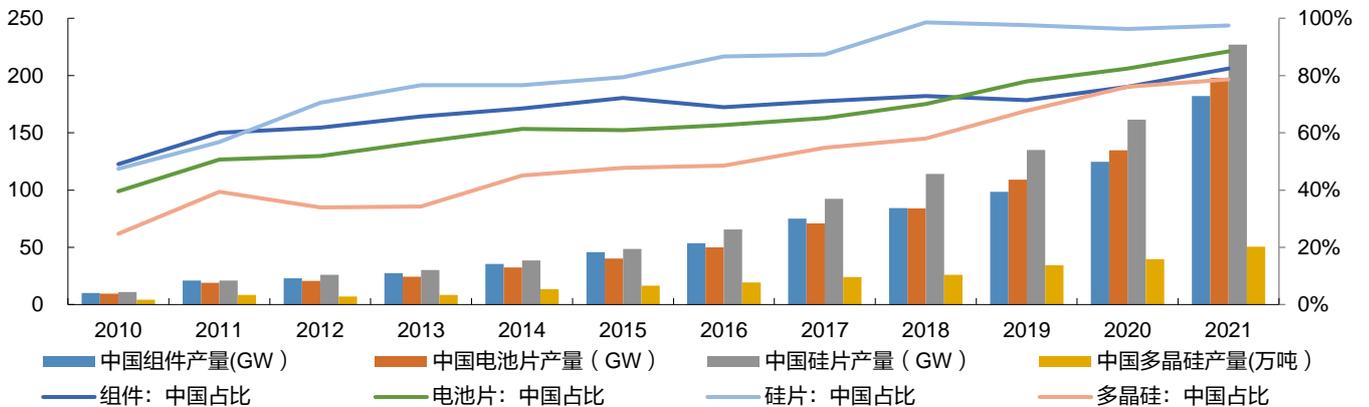
数据来源：智汇光伏，东方证券研究所

从制造端企业格局变动来看我国光伏产业崛起

我国 2010 年以来，美、欧陆续双反，光伏出口受挫，我国财政政策、产业政策纷纷出台，直接带动我国光伏产业发展，规模全球占比不断提升。初装补贴、标杆电价、度电补贴等财政支持使得光伏项目 IRR 提升，光伏运营商积极性高涨，大幅推动了国内光伏的装机和并网（仅 7 批可再生能源电价附加补助目录就覆盖 54.8GW 光伏装机）。财政补贴于 2021 年完全取消，利用产业政策代替普适性的财政补贴，能更健康地推动光伏产业市场化发展。其中，风光大基地提供了 450GW 规模的项目，整县推进项目已并网 30GW+。

截止 2021 年，从产量来看，中国四大环节产品的全球市占率均达到 78% 以上。2010-2021 年，全球/中国光伏组件从 20.8/10.2 GW 增长至 220.8/182.0GW，中国占比从 49.0% 提升至 82.4%；2010-2021 年，全球/中国电池片从 24.0/9.5 GW 增长至 223.9/198.0GW，中国占比从 39.6% 提升至 88.4%；2010-2021 年，全球/中国硅片从 23.2/11.0GW 增长至 232.9/227.0GW，中国占比从 47.4% 提升至 97.5%；2010-2021 年，全球/中国多晶硅从 17.0/4.2 万吨增长至 64.2/50.25 万吨，中国占比从 24.7% 提升至 78.7%。

图 60：2011-2021 年中国光伏四大环节产量及全球占比



数据来源：CPIA，东方证券研究所

2010年以来中国企业持续加码，实现了中国为主导的逆袭。受益于扶持政策，光伏需求旺盛，中国光伏厂商不断扩大产能、规模效应明显。同时，伴随新进入者涌入，竞争开始激烈。光伏厂商有资金、有动力开展降本增效研究，成果明显，比如，中国光伏专利数目仅次于日本，近年来电池最高转换效率纪录大多由中国光伏厂商打破，中国光伏厂商扶持设备国产化来进一步降本。降本提效降价和装机需求增长形成正循环，进一步提升了中国光伏厂商的竞争力。截止2021年，光伏主产业链生产规模前十中中国厂商占据绝大多数。

表 21：全球组件生产规模前十企业

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	尚德	英利	英利	天合	天合	晶科	晶科	晶科	晶科	隆基	隆基
2	FirstSolar	FirstSolar	天合	英利	阿特斯	天合	天合	晶澳	晶澳	晶科	天合
3	英利	天合	夏普	阿特斯	晶科	阿特斯	阿特斯	天合	天合	晶澳	晶澳
4	天合	阿特斯	阿特斯	韩华	晶澳	韩华	晶澳	隆基	隆基	天合	晶科
5	阿特斯	尚德	晶科	晶科	韩华	晶澳	韩华	阿特斯	阿特斯	阿特斯	阿特斯
6	夏普	夏普	昱辉	晶澳	FirstSolar	协鑫	协鑫	韩华	韩华	韩华	日升
7	Sunpower	晶科	FirstSolar	夏普	协鑫	FirstSolar	隆基	日升	日升	日升	韩华
8	晶科	晶澳	韩华	昱辉	英利	英利	日升	协鑫	FirstSolar	正泰	FirstSolar
9	韩华	REC	京瓷	FirstSolar	尚德	腾辉	尚德	尚德	尚德	FirstSolar	尚德
10	京瓷	韩华	晶澳	京瓷	昱辉	日升	英利	腾辉	正泰	尚德	正泰

注：2021年天合、晶澳并列第二

数据来源：北极星太阳能光伏网，CPIA，东方证券研究所

表 22：全球电池片生产规模前十企业

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	FirstSolar	英利	英利	晶澳	晶澳	晶澳	天合	通威	通威	通威	通威
2	晶澳	FirstSolar	天合	英利	天合	天合	晶澳	韩华	晶澳	隆基	隆基
3	无锡尚德	无锡尚德	晶澳	天合	韩华	韩华	韩华	天合	隆基	爱旭	晶澳
4	英利	天合	新日光	茂迪	茂迪	晶科	阿特斯	晶澳	韩华	晶科	爱旭
5	天合	阿特斯	晶科	韩华	晶科	茂迪	晶科	晶科	爱旭	晶澳	天合
6	茂迪	晶澳	茂迪	新日光	英利	英利	通威	阿特斯	天合	韩华	晶科
7	昱晶	夏普	韩华	晶科	新日光	顺风	顺风	隆基	晶科	润阳	润阳
8	新日光	韩华	昱晶	昱晶	阿特斯	通威	爱旭	爱旭	阿特斯	阿特斯	阿特斯
9	阿特斯	Sunpower	阿特斯	阿特斯	顺风	阿特斯	茂迪	URE	日升	天合	韩华
10	Sunpower	晶科	Sunpower	海润	昱晶	新日光	英利	展宇	展宇	中宇	展宇

数据来源：北极星太阳能光伏网，CPIA，东方证券研究所

表 23：全球硅片生产规模前十企业

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	协鑫	隆基	隆基	隆基							
2	赛维	赛维	英利	英利	隆基	隆基	隆基	隆基	协鑫	中环	中环
3	昱辉	英利	昱辉	昱辉	晶科	晶科	晶科	中环	中环	晶科	协鑫
4	英利	晶澳	晶科	晶科	晶澳	晶澳	中环	晶科	晶科	晶澳	晶科
5	REC	昱辉	隆基	隆基	绿能	中环	旭阳雷迪	晶澳	晶澳	上机	晶澳

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

6	荣德	Nexolon	绿能	绿能	昱辉	赛维	英利	荣德	荣德	协鑫	京运通
7	绿能	荣德	赛维	赛维	英利	英利	环太	英利	阿特斯	京运通	阿特斯
8	MEMC	绿能	天合	天合	赛维	昱辉	晶澳	环太	环太	阿特斯	环太
9	环太	MEMC	Nexolon	Nexolon	旭阳雷迪	绿能	天合	阿特斯	京运通	天合	阳光能源
10	SolarWorld	晶科	环太	环太	中环	旭阳雷迪	荣德	天合	无锡荣德	高景	高景

数据来源：北极星太阳能光伏网，CPIA，东方证券研究所

表 24：全球多晶硅生产规模前十企业

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Wacker	Wacker	协鑫	协鑫	协鑫	协鑫	协鑫	协鑫	协鑫	通威	通威
2	Hemlock	协鑫	Wacker	Wacker	Wacker	Wacker	Wacker	Wacker	通威	Wacker	协鑫
3	协鑫	OCI	OCI	OCI	OCI	OCI	OCI	OCI	OCI	大全	大全
4	OCI	Hemlock	Hemlock	Hemlock	Hemlock	Hemlock	新特	新特	Wacker	协鑫	新特
5	REC	REC	REC	REC	新特	新特	大全	大全	新特	新特	东方希望
6	赛维	Tokuyama	新特	新特	REC	洛阳中硅	洛阳中硅	东方希望	大全	东方希望	Wacker
7	MEMC	MEMC	Tokuyama	HK silicon	Tokuyama	HKsilicon	Hemlock	Hemlock	东方希望	OCI	OCI
8	洛阳中硅	大全	MEMC	Tokuyama	洛阳中硅	亚洲硅业	通威	通威	亚洲硅业	亚洲硅业	REC
9	Tokuyama	亚洲硅业	大全	洛阳中硅	大全	大全	HKsilicon	洛阳中硅	Hemlock	Hemlock	亚洲硅业
10	大全	洛阳中硅	亚洲硅业	大全	HK silicon	通威	亚洲硅业	亚洲硅业	内蒙古盾安	东立光伏	天宏瑞科

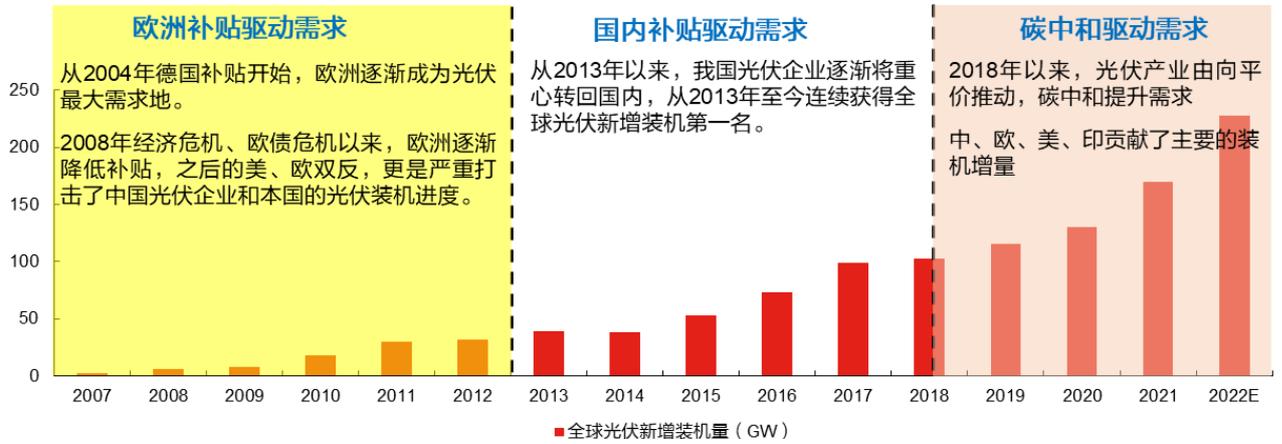
数据来源：北极星太阳能光伏网，CPIA，东方证券研究所

碳中和背景下，全球各地光伏需求旺盛

2000 年德国颁布《可再生能源法》带动欧洲光伏市场兴起，进而带动全球光伏产业开始逐步发展起来。2004 年开始，德国、意大利等国家纷纷出台光伏补贴政策，带动了德国太阳能光伏应用市场。从 2004 年起在以欧洲、日本、美国为代表的太阳能光伏应用市场的带动下，太阳能级硅的需求呈现较快速度增长。2020 年来光伏进入平价时代，成本优势明显，光伏发电成为了全球越来越多国家和地区电力装机的重要选择，2021 年全球光伏新增装机 170GW，较 2020 年提升 30.8%。2022 年欧洲能源危机更是加速了这一过程，预计全年全球新增光伏装机处于 205~250GW 区间。

中国四大环节产品的全球市占率均达到 78%以上，各环节均在全球占据了主要市场份额，远高于中国的新增装机需求 32%。我国已成为全球最主要的光伏出口国家。

图 61：全球新增光伏装机规模复盘

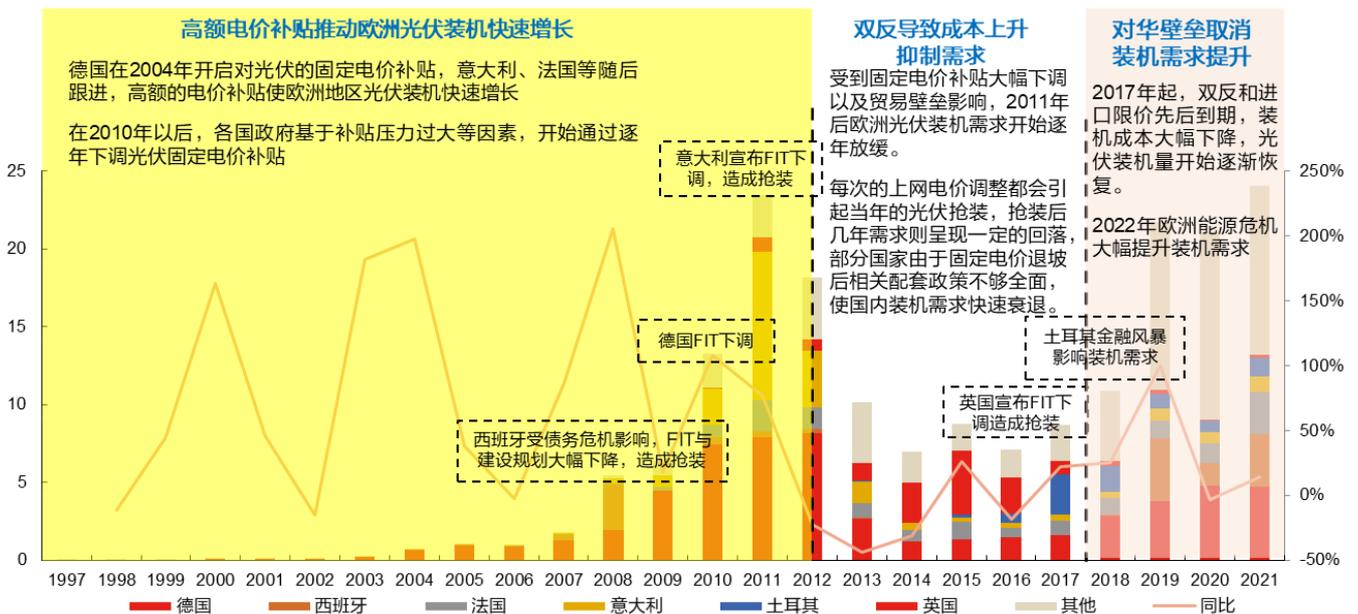


数据来源：CPIA，东方证券研究所

欧洲：装机需求旺盛，依赖中国进口

2004年起，德国、西班牙、意大利等国家纷纷出台光伏补贴，高额的电价补贴使欧洲地区光伏装机快速增长。而后在2010年以后，各国政府基于补贴压力过大等因素，开始通过逐年下调光伏固定电价补贴。受到固定电价补贴大幅下调以及贸易壁垒影响，2011年后欧洲光伏装机需求开始逐年放缓。2017年后，随着双反到期和光伏发电成本快速下降，光伏装机量开始逐渐恢复。欧洲各国政府也配合欧盟的可再生能源配额目标出台相关政策，欧洲正在迎来新一轮的光伏装机需求。从2021年新增装机来看，居前五的分别是德国、西班牙、荷兰、法国、波兰，德国占比20%，西班牙、荷兰、波兰分列二三四名，占比分别为14%、13%、12%，其余国家占比41%。传统光伏强国意大利、英国新增装机尚未恢复，而荷兰、波兰等一批新兴国家光伏产业崛起。

图 62：欧洲新增光伏装机规模复盘 (GW)



数据来源：BP，东方证券研究所

2013年，欧盟经调查后决议发动反倾销、反补贴措施，同时实施限价限量协议(Minimum Import Price, MIP)，中方承诺各家公司以高于最低进口限价的价格对欧销售太阳能产品，且每年销售量须限制在一定配额内，未加入 MIP 协议的厂商则需缴交 47.6% 的双反税。受此影响，2013 年欧洲光伏新增装机大幅下降 37% 至 11GW，此后连续几年新增装机保持在较低水平。

表 25：中欧光伏贸易争端

年份	日期	具体事件
2012	7.24	以 SolarWorld 为首成立的欧洲光伏制造商联盟（EUProSun）针对中国光伏制造商的倾销行为向欧盟委员会提起诉讼
	9.6	欧盟委员会发布公告，对从中国进口的光伏板、光伏电池以及其他光伏组件发起反倾销调查
	9.25	EUProSun 向欧盟提起申诉，指控中国的光伏企业获得政府补贴，并要求对产品征收惩罚性进口光税。根据规定，欧盟将在 45 天内决定是否立案
	11.8	欧盟正式启动对华光伏产品反补贴调查
2013	2.28	欧委会发布公告，基于欧洲光伏玻璃协会的申诉，对原产于中国的光伏玻璃发起反倾销调查
	3.6	欧盟开始对产自中国的光伏产品实施进口登记
	5.22	中国机电产品进出口商会代表中方业界向欧盟委员会提交价格承诺谈判方案，但欧委会直接回绝了方案。5.22 至此，中欧围绕欧盟对华光伏“双反”的价格承诺问题首轮谈判宣告破裂
	5.23	中国商务部率团紧急赴欧，向欧委会就价格承诺问题再次进行磋商
	5.24	欧盟成员国内部就欧委会对华光伏征税建议案投票表决。最终，有 17 国反对对华光伏“双反”议案
	6.4	欧盟委员会宣布，欧盟自 6 月 6 日起，对产自中国的太阳能电池板及关键器件征收 11.8% 的临时性反倾销税。如果中欧双方未能在 8 月 6 日前达成解决方案，届时反倾销税率将升至 47.6%
	7.27	中欧双方就光伏贸易争端达成价格承诺协议，历史十个月的中欧光伏贸易争端终于尘埃落定
	12.2	欧盟委员会发表声明，决定从当月 6 日起对未参与“价格承诺”的出口欧盟的中国太阳能生产商征收为期两年的反倾销税和反补贴税
2015	3月	欧盟委员会发布文件，将昱辉阳光、中盛光电与阿特斯太阳能从中欧光伏组件最低价格（MIP）中除名
	11.4	欧盟委员会称，包含中国价格在内的现行（中欧双方协议的）基准价格，能够反映全球光伏产品价格总体情况，不需要改变。鉴于此，欧委会拟终止针对中欧光伏案最低限价调整机制做的期中复审调查
	12.5	欧盟委员会发布立案公告，决定对适用于中国光伏产品的“双反”措施启动日落复审调查
2017	3.3	欧盟委员会发布公告，对原产于或托运自中国的晶体硅光伏组件及关键零部件作出双反日落复审肯定性终裁，对华涉案产品双反措施将延长实施 18 个月
2018	9.3	欧盟委员会正式拒绝了欧洲光伏制造协会（EUProSun）关于发起“日落复审”的申请并得到欧盟 28 个国家的支持，MIP 取消。恢复自由贸易

数据来源：索比咨询，北极星光伏网，东方证券研究所

2022 年以来，欧盟光伏产业政策频出，对欧洲光伏装机量刺激力度较大。随着欧洲天然气电价的飙涨、俄乌冲突下对再生能源的需求蒸蒸日上，欧盟针对光伏市场大举布局，计划在 2025 年达到 320GW、在 2030 年达到 600GW 的光伏累积安装量。德国、英国、意大利等欧洲国家也相继提出有关光伏装机容量和占比的目标。

表 26：欧洲光伏发展目标最新进展

时间	事件
2022 年 2 月	法国总统马克龙宣布了面向 2050 年的“法国能源计划”，到 2050 年法国光伏装机将达到 100GW
2022 年 4 月	英国发布英国能源安全战略(Britishenergysecuritystrategy)，宣称到 2035 年英国光伏装机规模将在现有的 14GW 基础上增长 5 倍
2022 年 5 月	欧盟正式公布了“RepowerEU”计划，将 2030 年可再生能源的总体目标从 40% 提高到 45%，计划在 2025 年实现光伏累计装机 320GW，2030 年达到 600GW
2022 年 7 月	德国发布“复活节一揽子”(Osternpaket)能源计划，到 2030 年将实现 80% 的能源供应来自于可再生能源，光伏装机达到 215 吉瓦，接近现在的 4 倍

数据来源：各政府官网，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

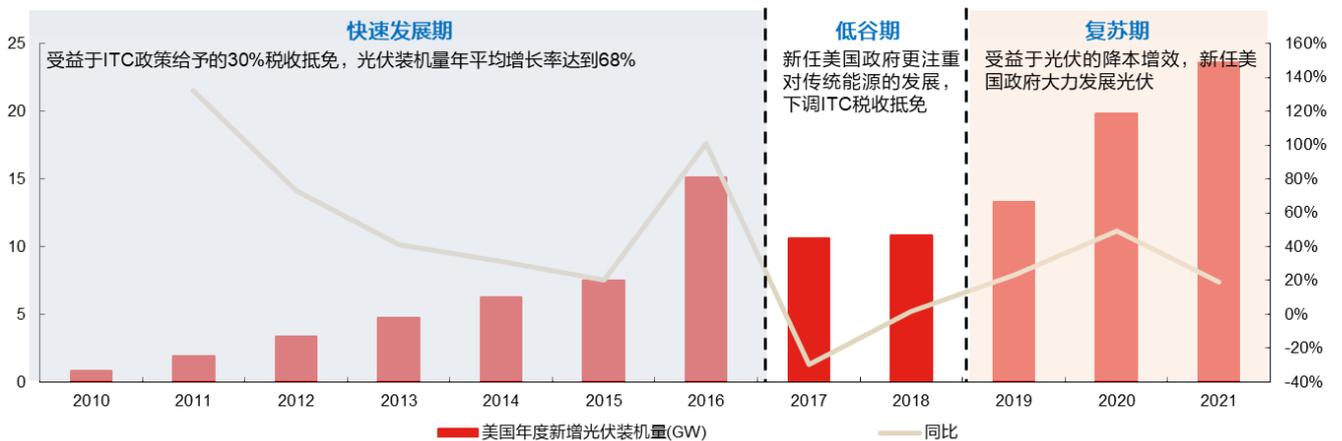
在 2022 年能源危机的刺激下，欧洲是 2022 进口组件最为火热的市场，上半年从中国进口了 42.4 GW 的光伏组件，同比+137%。欧洲本就是全球能源转型最积极的地区，叠加俄乌冲突下，因天然气供应短缺造成的能源紧张，加速了欧洲能源转型的进程。目前欧盟以及部分欧洲国家政府都定下了更积极的能源转型目标，如欧盟五月的 REPowerEU Plan、德国新 Renewable Energy Act (EEG)都提升了光伏装机目标，在长期的政策利多下，欧洲仍会是中国组件的最大需求来源，我国光伏产业将受益于欧洲长期的光伏发展目标。

美国：光伏装机稳步向上，对华贸易壁垒高

根据 IEA 数据，2021 年美国新增光伏装机 26.9GW，位居当年第二。美国累计光伏装机达 123GW，是全球主要的光伏装机市场。

美国光伏市场可以分为快速发展期、低谷期、复苏期，其中 ITC 政策扮演十分重要的角色。2008-2016 年，受益于 ITC 政策给予的 30% 税收抵免，在 2006~2016 年之间光伏装机量年平均增长率达到 68%。2017-2018 年期间，新任美国政府更注重对传统能源的发展，ITC 税收抵免下调，光伏新增装机步入短暂的低谷期。2019-至今，受益于光伏的降本增效，新增装机量稳步增长。

图 63：美国光伏装机梳理



数据来源：SEIA，东方证券研究所

美国光伏政策发展可以分为四大类：财政激励、管理类政策、直接财政补贴和本土贸易保护。为了促进可再生能源发展，美国实行了多项以税收优惠与减免为核心的财政激励政策，包括 ITC、PTC、消费税&财产税减免等，进一步降低光伏装机成本及持有成本。管理类政策包含配额制、净计量政策、PPA 电价等几种主要的模式，利用法律法规或约束性指标等方式，各地因地制宜，设立明确的目标，进而刺激需求的增长。近十年来，美国对进口光伏产品采取多项贸易限制措施。美国开展本土贸易保护的背后，是美国渴望大力发展本土制造业和去“中国制造”的野心。美国通过限制生产国的商品出口，征收多轮关税，以支持和保护美国本土光伏产业的发展。但受限于人力成本、技术壁垒、产业链发展不均衡等影响，美国光伏制造业竞争力仍然较弱。

表 27：美国光伏政策梳理

政策分类	目的	具体政策
财政激励	所得税抵免和消费税、财产税减免大幅降低投资和持有成本，激发装机意愿	ITC 政策：降低通胀法案中提出 ITC 政策延期 10 年，1MW 以内的项目抵免额度从 26% 提高至 30%，1MW 以上的项目抵免额从 26% 降低至 6%（满足条件可以达到 30%）。2022 年更新后的 ITC 政策将利好用户和工商业小型项目，1MW 以上的大项目近期可能迎来抢装。
		PTC 政策：与 ITC 政策类似，利好大型项目。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

		消费税、财产税减免：美国的消费税和财产税通常由各州政府征收，大多数州政府减免了新能源系统的消费税和财产税，可以降低购买成本和持有成本。
管理类政策	制度设计明确商业模式。	配额制：配额制是指一个国家或地区强制性规定电力系统所供电力中须有一定比例（即配额标准）为可再生能源供应。配额制的确立保障了各区域新能源的发展目标。
		净计量政策：要求电力公司从用户总消费电量中扣除其自发的可再生能源电量，用户只需要为“净”电量付费。
		PPA 电价：指电力用户和发电企业签署的中长期能源采购协议。PPA 电价主要由供需关系决定，资源丰富的地区 PPA 价格较低；若投资成本趋高，发电企业有提高 PPA 电价的倾向。
财政补贴	通过直接补贴促进产业发展	从近 3 年的直接补贴政策来看，聚焦于新能源汽车和储能行业，财政补贴主要通过政府资金支持，扶持新兴产业，因此当前阶段补贴聚焦多元化储能技术和长时储能的应用。
本土贸易保护	美国长期以来通过多种贸易手段来打压中国光伏企业、扶持本土产业发展	ADD/CVD+201+301+UFFLPA

数据来源：IRA，东方证券研究所

美国 2012 年以来，为扶持本土产业发展，通过多种贸易手段对中国光伏企业进行打压，当前美国的贸易保护政策有 ADD/CVD+201+301+UFFLPA。（1）在双反税上，相较于在东南亚设立的企业，我国企业需要每年进行双反复审进行最终税率裁定，而东南亚设立企业则不需要。在 2022 年 3 月，美国启动针对采用中国硅片的东南亚电池、组件企业的反规避调查。在拜登政府对光伏装机的支持下，6 月白宫宣布将对从柬埔寨、马来西亚、泰国和越南进口的光伏电池以及组件给予两年的（关税）豁免以及加速建设光伏发电。（2）在 201 税上，仅有部分东南亚企业能够豁免 201（单面组件）关税，其余企业一致采用 15%关税。（3）在 301 税上，中国出口至美国的光伏产品需缴纳 25%关税。（4）2021 年以来，涉疆法令 WRO、UFFLPA 实行，禁止我国多晶硅主要原产地新疆生产的多晶硅，旨在打压中国光伏产业、抑制对中国光伏产品的依赖。

表 28：美国对华光伏贸易保护政策

政策	进程	内容
“双反（美国）”	立案时间：2011.11 初裁（反补贴）：2012.3 初裁（反倾销）：2012.5 终裁（反倾销反补贴）：2012.10	反倾销税：18.3296-249.96% 反补贴税：14.78%-15.97%
“双反（欧盟）”	立案时间：2012.9 初裁：2013.6 终裁：2013.12 取消：2018.9	除价格承诺企业外，对中国光伏组件与电池征收 47.7%-64.9%不等的“双反”税
二次“双反”	立案时间：2014.1 初裁：2014.7 终裁：2014.12	中国大陆产品：反倾销税：26.71%-165.04% 反补贴税：27.64%-49.79% 中国台湾产品：反倾销税：26.71%-165.04% 反补贴税：11.45%-27.55%
201	启动调查：2017.5 初裁：2017.9 终裁：2017.11 启动（特朗普）：2018.2	范围：全球（存在个别豁免国，如柬埔寨、加拿大、新加坡） 税率：从 2018 年开始，首年 30%，每年下降 5%。每年 2.5GW 电池豁免
301	启动调查：2017.8 初裁：2018.4 终裁：2018.9	即中美贸易摩擦，对中国 2000 亿美元贸易额产品加征 25%关税
涉疆暂扣令 WRO	启动：2021.6	禁止从合盛硅业及其子公司进口金属硅，以及使用了合盛硅业硅材料衍生或生产的货物和光伏产品
涉疆法案 UFFLPA	发布：2021.12 启动：2022.6	禁止所有来自中国新疆维吾尔自治区的进口商品，除非供应商能够证明产品不是使用“强迫劳动”制造。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

201 延长	延长（拜登）：2022.2	范围：全球（存在个别豁免国，如柬埔寨、加拿大、新加坡） 税率：从 2022 年开始，首年 14.75% 并逐年下降。每年 5GW 电池豁免，排除双面组件
反规避调查 （三次“双反”）	立案时间：2022.3 初裁：2022.12 终裁：2023.1	对柬埔寨、马来西亚、泰国、越南进口光伏产品进行审查，以避免制造商规避对中国的 AD/CVD；初步裁定，被调查的八家公司中有四家试图通过在东南亚国家进行微加工后再运往美国，以规避关税：比亚迪香港（柬埔寨）、阿特斯（泰国）、天合光能（泰国）、VinaSolar（越南）
东南亚豁免	2022 年 6 月 6 日	美国将对从柬埔寨、马来西亚、泰国和越南进口的光伏电池以及组件给予两年的（关税）豁免以及加速建设光伏发电

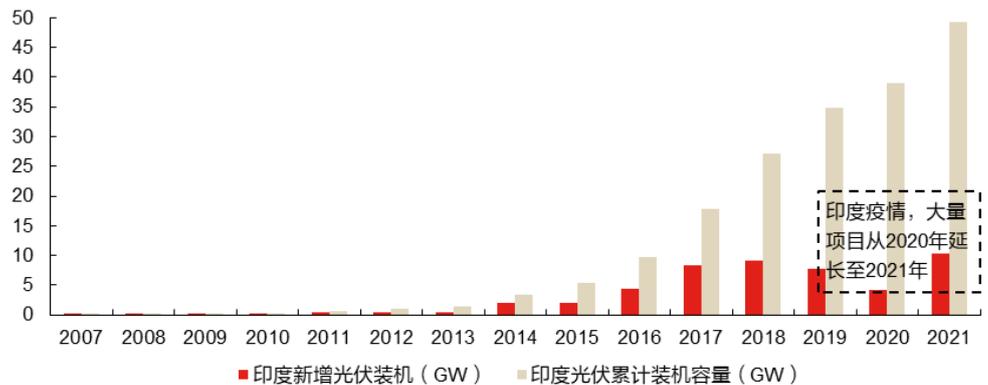
数据来源：智汇光伏，集邦新能源网，东方证券研究所

即便美国执行贸易保护政策，但成本优势遥遥领先的中国产业链依然不可或缺。根据 EIA 数据，2021 年度美国组件出货量 28.8GW 中，约 80% 的组件出货量是进口的。49% 的组件进口出货量来自中国大陆、新加坡、台湾地区和越南，大部分为中国厂商；22% 来自韩国、泰国和阿联酋；14% 来自马来西亚，阿特斯、天合光能、腾晖、正泰等在泰国设有工厂；15% 来自其他国家。因此，美国组件供应一半以上都需要依靠中国制造企业，中国企业将受益于美国市场的快速增长。

印度：装机潜力巨大，贸易壁垒政策反复

印度光照资源丰富，政府大力支持，近十年装机增长迅速。印度有着丰富的光照资源，具备得天独厚的光伏发展条件。印度是继中国和美国之外唯一一年新增装机 10GW 级以上的光伏市场。2015 年，印度制定了 2022 年 100GW 的累计光伏装机目标，截至 2021 年底，印度的累计光伏装机容量达到约 49GW，与目标差距较大。2021 年印度提出，到 2030 年，印度 50% 的电力将来自可再生能源，非化石能源产能从 2015 年设定的 450GW 增加到 500GW，任重道远。

图 64：印度年度光伏装机量情况



数据来源：BP，东方证券研究所

印度光伏产业一直依赖进口，为了摆脱现状，印度政府出台一系列支持政策，刺激国内的光伏产业发展，包括实行**财政激励计划、设置认证限制、设立贸易保护等**。

表 29：印度近年主要光伏财政激励计划

	政策名称	政策内容
2014 年	太阳能振兴计划	2014 年 1 月，印度总理公布太阳能振兴计划：到 2022 年，印度要实现可再生能源发电总量 175GW，其中太阳能装机容量 100GW。
2015 年	太阳能城市计划	印度新能源和可再生能源部批准选定 50 座太阳能城市，各邦政府各自制定太阳能资源发展目标，每个城市将获一定的财政支持。
2017 年	可再生能源发展三年规划	未来 3 年兴建太阳能和风电项目 100GW，预计到 2022 年总装机规模达到 200GW。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

2019年	屋顶太阳能光伏项目激励计划	印度新能源和可再生能源部发布并网屋顶太阳能光伏计划，到2022年屋顶太阳能完成38GW部署，旨在促进国内太阳能电池和组件制造。
2021年	PLI计划(生产制造激励)	2021年4月，印度政府批准PLI计划，承诺在五年内投入450亿卢比(约5.7亿美元)，以支持建立10GW的综合光伏制造厂。印度政府将国内光伏电池和组件制造计划下的资金增加到2400亿卢比(约30亿美元)，致力成为光伏组件出口国。

数据来源: EnergyTrend, 东方证券研究所

表 30: 印度光伏产品相关认证限制政策

年份	限制类型	内容
2017年	“印度制造”优先采购	政策中提出光伏组件高达100%的本土化要求，除户用光伏外，并网、离网和分布式光伏发电项目应优先选择印度制造的光伏产品。
2018年	BIS认证	BIS为印度标准局颁发的认证，认证需在印度当地BIS认可的实验室完成。2018年起，太阳能光伏产品被纳入强制认证范畴，进入印度市场必须获得印度BIS认证。
2019年	ALMM清单	印度可再生能源部颁发ALMM清单，ALMM指的是太阳能组件型号和制造商批准清单，认证对象包括所有进入印度市场的太阳能电池及组件制造商。申请ALMM认证的制造商必须先获得BIS认证，还需由印度检查人员完成对制造工厂的现场审核，并披露细节经营及财务信息。

数据来源: EnergyTrend, 东方证券研究所

印度历史上光伏贸易政策多次反复，曾经对中国等多个国家出口到印度的光伏产品进行过反倾销调查。（1）2012年11月，印度反倾销局对来自中国大陆、中国台北、马来西亚和美国的太阳能电池进行反倾销立案调查。最终，印度财政部选择不执行印度商工部的裁决，以无税结案。（2）2018年，印度对进口光伏产品征收2年保障措施税，随后延期1年至2021年7月。（3）2021年3月印度正式宣布从2022年4月开始对所有海外进口光伏电池和组件征收基本关税（BCD），其中光伏组件税率为40%，电池税率为25%。（4）2021年5月印度对原产于或进口自中国、泰国和越南的光伏电池及组件发起了第三次反倾销调查，2022年11月终止反倾销调查。

表 31: 印度光伏产品贸易摩擦事件梳理

	名称	内容	结果
2012.11	第一次反倾销调查	2012/11/23，印度对马来西亚、美国、中国大陆及中国台湾的太阳能电池板发起第一次反倾销调查； 2014/5/22，终裁建议对中国大陆公司征收0.81美元/瓦的反倾销税	2014年8月，印度财政部决定不征税
2017.7	第二次反倾销调查	印度对中国大陆、中国台湾、马来西亚光伏产品发起反倾销调查	2018/3/23，终止调查
2017.12	保障措施调查	印度财政部发布公告，决定依据印度光伏生产商协会的申请对进入印度的太阳能光伏产品（包括晶体硅电池及组件和薄膜电池及组件）发起保障措施调查	2018/7/30，对进口光伏产品征收2年保障措施税（第一年25%，逐年下降5%）
2020.3	保障措施复审立案调查	2020/3/3，印度对进口光伏产品进行保障措施复审立案调查。 2020/7/18，印方终裁将保障措施延长一年，除中国、泰国和越南之外，其他发展中国家不征收保障措施税	2020/7/30--2021/7/29 征收14.5%-14.99%； 2021/7/29日起终止保障措施
2021.3	基本关税（BCD）	印度可再生能源部宣布，自2022年4月起对外国制造的太阳能组件征收40%的基本关税，对电池征收25%的基本关税	2022/4/1开始执行
2021.5	第三次反倾销调查	应印度太阳能制造商协会ISMA申请，对原产于或进口自中国、泰国和越南的光伏电池及组件发起反倾销调查	2022年11月9日，印度商工部决定终止对原产于或进口自中国、泰国和越南的光伏电池及组件的反倾销调查。

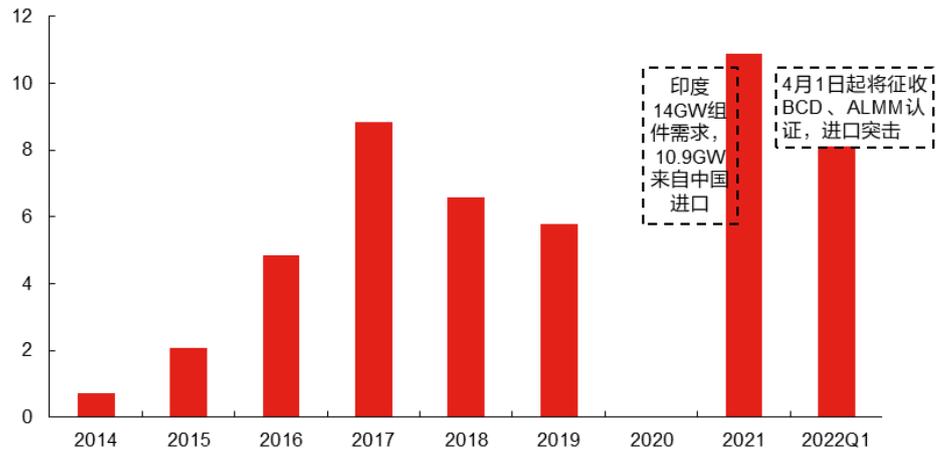
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

2022.3	反倾销调查	印度贸易救济总局建议，对中国产含氟背板，从 2022 年 3 月 29 日起征收 5 年反倾销关税，税率从 782-908 美元/吨	2022/6/15，印决定对从中国进口的涂氟背板征收反倾销税，在官方公报公布后的五年内征收
--------	-------	--------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------

数据来源：EnergyTrend，北极星太阳能光伏网，索比光伏，东方证券研究所

受制于资金、技术发展、人才、原料供应等问题，印度的光伏产业发展难以摆脱对中国的依赖。2021 年印度新增光伏装机超过 10GW，其组件需求约有 14GW（本土供应 3GW，进口自中国约 10.9GW）。印度 22Q1 从中国进口了 8.1GW 的组件，同比+429%，主要由于此前印度官方公布 4 月 1 日起印度将对组件征收 BCD 及实施 ALMM 认证，在成本上涨之前印度企业展开进口突击。

图 65：我国出口印度组件规模（GW）

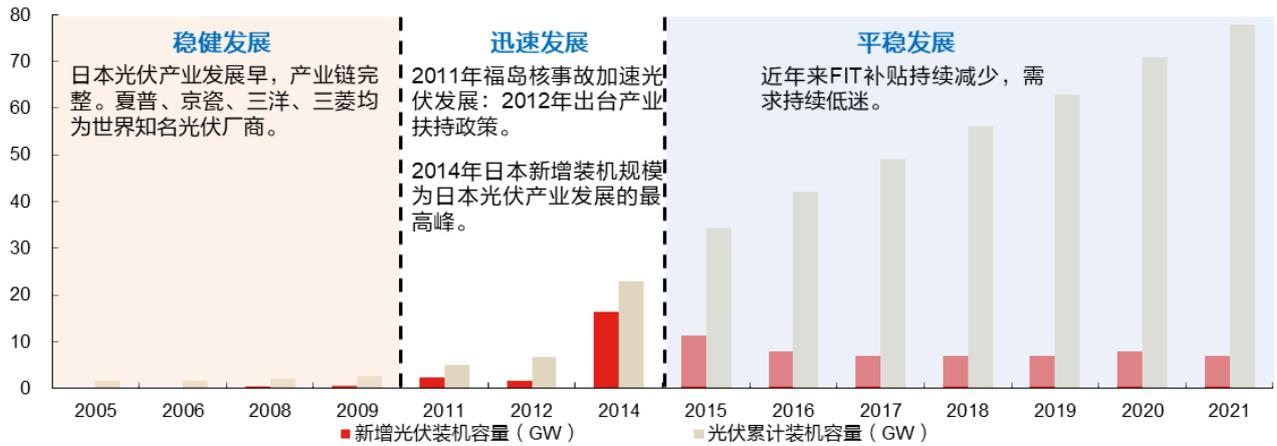


数据来源：solarzoom，PVInfolink，全球光伏，东方证券研究所

日本：光伏装机平稳增长，八成依赖进口

日本光伏产业发展较早，2005 年太阳能电池产量居于全球第一，光伏产业链完整，包括上游的多晶硅料、硅片；中游的电池片、组件；下游的光伏发电系统，均有世界知名公司，夏普、京瓷曾是全球光伏龙头。2011 年福岛核事故加速可再生能源的发展，在此之前日本光伏产业发展较为稳健。为弥补核能退出后的巨大电力缺口，2012 年日本出台产业扶持政策，高电价补贴成功掀起了日本市场的光伏投资热潮，2014 年日本新增装机规模达 16.4GW，成为日本光伏产业发展的最高峰。2014 年见顶后，随着补贴逐年减少，日本新增装机规模连年下滑。

图 66：日本光伏装机梳理



数据来源：WIND，东方证券研究所

历史上日本全国性光伏补贴政策有可再生能源固定价格買取制度（FIT）、FIP（Feed-in Premium）等。2012年开始实施FIT制度。FIT制度下，电力公司有义务购买可再生能源发电产生的电力，而购买成本的一部分是面向所有使用者在每月电费的基础上加收“可再生能源发电税”，FIT制度加速了日本利用可再生能源发电的普及。2018年输出在10kW以上的产业用太阳能发电收购价格不到2012年7月开始导入FIT制度时的一半水准，2019-2022年FIT补贴陆续停止。2022年4月1日日本开始施行FIP制度，可再生能源发电企业售电时在市场价格上加收溢价（补贴金额）的制度，旨在促进可再生能源的自主普及和自由竞争。

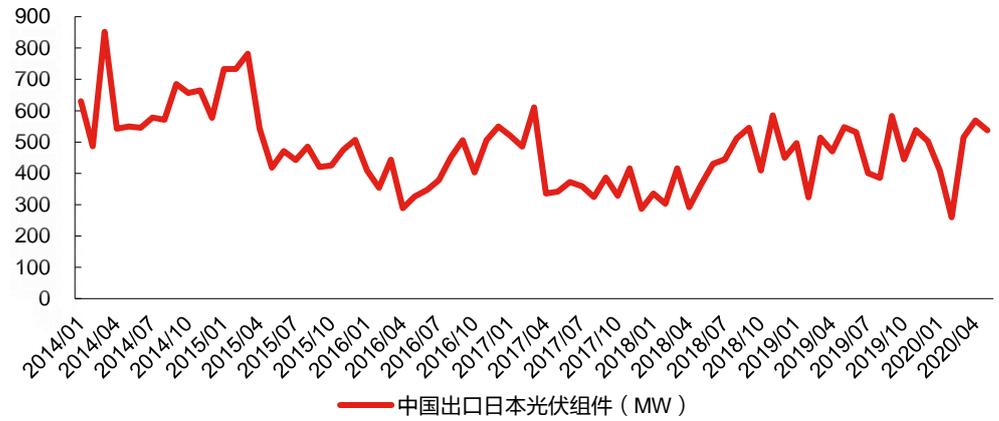
表 32：日本光伏 FIT 政策

系统规模	≥10kW	<10kW
收购期限	20年	10年
2012.07-2013.03	40 日元/kWh(不含税)	42 日元/kWh(含税)
2013.04-2014.03	36 日元/kWh(不含税)	38 日元/kWh(含税)
2014.04-2015.03	32 日元/kWh(不含税)	37 日元/kWh(含税)
2015.04-2015.06	29 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 33 日元/kWh(含税)
2015.07-2016.03	27 日元/kWh(不含税)	需要安装 PCS 35 日元/kWh(含税)
2016.04-2017.03	24 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 31 日元/kWh(含税)
		需要安装 PCS 33 日元/kWh(含税)
2017.04-2018.03	21 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 28 日元/kWh(含税)
		需要安装 PCS 30 日元/kWh(含税)
2018.04-2019.03	18 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 26 日元/kWh(含税)
		需要安装 PCS 28 日元/kWh(含税)
2019.04-2020.03	14 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 24 日元/kWh(含税)
		需要安装 PCS 26 日元/kWh(含税)
2020.04-2021.03	13 日元/kWh(不含税)	无需安装 PCS 21 日元/kWh(含税)
		需要安装 PCS 23 日元/kWh(含税)

数据来源：METI，solarzoom，东方证券研究所

随着中国光伏制造行业的兴起，大批量价格更为优越的光伏组件开始挤占日本市场，以2011年“3.11”日本东北部大地震为契机，抢入太阳能产业的企业相继退出市场，市场逐渐被中国企业占据。近年来日本装机量基本维持平稳，整体趋势与我国对其出口水平一致。

图 67：2014-2020 年中国出口日本光伏组件规模（MW）



数据来源：solarzoom，东方证券研究所

总结与展望：中国光伏产业继续奔赴新征程

总结：光伏十年取得巨大成就

供给、需求及技术三重因素共振，光伏行业受到周期性及成长性的共同作用。我国光伏产业在曲折中发展，经历多轮竞争，从曾经的追赶者变为当下的领头羊。

需求端：光伏补贴时代，受限于较高的发电成本，光伏需求量很大程度上受到政策的影响，2012年前由欧洲市场主导；2012年后由国内政策主导。2018年光伏平价以来由海内外需求共同促进。受欧美双反和531新政影响，2012年与2018年为光伏装机需求低谷。2021年以来碳中和目标打开光伏空间，国内整县推进、风光大基地、欧洲能源危机等事件轮番刺激，光伏装机需求高涨。

供给端：2004-2008年硅料短缺限制光伏装机，2009年以后国内硅料大幅投产叠加欧美双反抑制装机，此后硅料环节进入长达十年的产能出清；2020-2021年玻璃短缺，玻璃价格上涨，但未严重影响装机需求；2020年以来硅料短缺，成为制约光伏装机的瓶颈，2022年国内分布式装机远高于集中式也是受硅料大幅涨价导致。2022年硅料产能逐渐放量，2022年底全产业链开启降价潮，供给端瓶颈基本解决。

技术端：2008年冷氢化技术的突破大幅降低了光伏生产成本，奠定了晶硅的主流路线；2015年以来的单晶替代潮提升了光伏发电效率，同时生产成本下降，有效扩大了行业需求；近7年来组件封装技术不断进步，双面、半片、多主栅等技术的普及提升了组件功率，提升了光伏发电的竞争力；目前行业主流厂商均在进行电池片技术的研发/量产，topcon路线量产规模最大，有望成为短期主流；HJT其次，有望结合薄膜电池，进入新的技术形态；IBC路线逐步走向商业化应用。目前光伏消纳仍是行业最大的技术难题，绿电绿证峰谷电价等电力系统改革、储能逆变器等设备配套是当前行业关注重点。。

受供给、需求及技术三重因素共同促进，成本端不断下降，转换效率持续提升、光伏在能源结构中渗透率不断上升、产业规模大幅扩大。

表 33：光伏行业 2010-2021 年主要成果

指标		2010	2015	2020	2021
成本端	光伏 LCOE	0.381 美元/KWh	0.121 美元/KWh	0.057 美元/KWh	0.048 美元/KWh
	组件成本	>1.24 美元/W	0.56 美元/W	0.17 美元/W	0.21 美元/W
	非硅成本	>6.38 片/元	2.55 片/元	<0.96 片/元	<0.9 片/元
技术端	电池片量产转换效率	18.0%	19.6%	22.8%	23.1%
发电规模	我国光伏新增装机量及其能源占比	0.6GW 0.66%	15.2GW 10.86%	48.2GW 25.25%	54.9GW 31.1%
	我国光伏发电量及其能源占比	<9TKWh	39.2TWh 0.67%	260.5TWh 3.35%	325.9TWh 3.82%
	全球光伏新增装机量	17.6GW	53.0GW	130.0GW	170.0GW
	全球光伏发电量及其能源占比	33.9TWh 0.2%	254.7 TWh 1.0%	846.2 TWh 3.1%	1032.5 TWh 3.6%
产业规模	全球组件产量及中国占比	20.8GW 49.0%	63.5GW 72.1%	163.7GW 76.1%	220.8GW 82.4%
	全球电池片产量及中国占比	24.0GW 39.6%	66.0GW 60.9%	163.4GW 82.0%	223.9GW 88.4%
	全球硅片产量及中国占比	23.2GW 47.4%	61.2GW 79.5%	168.6GW 96.0%	233.1GW 97.2%
	全球多晶硅产量及中国占比	17.0 万吨 24.7%	34.5 万吨 47.8%	52.1 万吨 75.2%	63.1 万吨 79.6%

数据来源：BP, CPIA, 隆基绿能公司公告, IRENA, 东方证券研究所

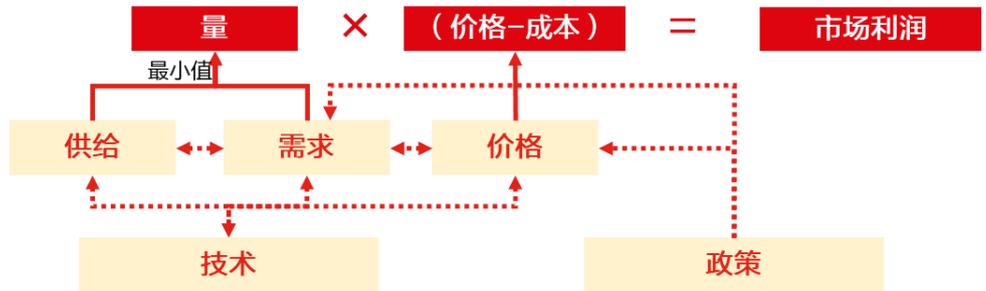
展望：供给端降本扩大景气度，技术突破进入下一个十年

光伏产业制造端由硅产业链、辅材及配套环节构成，**光伏制造端核心关注要素是需求-供给规模（含政策）、价格变动和技术迭代。**2008-2018年，光伏行业由政策决定需求，硅料环节供大于求导致近10年残酷竞争，这个过程中不断有新技术迸发出来拉动成本快速下降。2020年以来，

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

光伏需求回升→硅料产能瓶颈决定组件供给→硅料环节留存大头利润→硅料扩产→供过于求→硅料降价→产业链降价→进一步提升需求。

图 68：光伏行业盈利公式



数据来源：东方证券研究所

表 34：光伏制造端研究框架

核心指标	二级分类	影响逻辑/入选原因	跟踪指标	内生/外生	领先/同步
需求	各国碳中和目标	能源结构出发，预测光伏产业链空间	各国阶段细分的光伏相关指标	外生	领先
	各国光伏贸易壁垒	贸易壁垒影响各国装机需求	新闻	外生	领先
	招投标情况	五大六小是我国主要光伏运营商，其招标情况可反映需求	五大六小的招标情况	外生	领先
	装机情况	装机反映需求	国家能源局月度装机	内生	同步
	电价盈利	电价影响电站 IRR，进而影响需求	各地峰谷电价	外生	领先
供给	各环节（主产业链、辅材、配套）产能产量情况	产能瓶颈决定供给水平	各国/各厂商产能、产量情况	外生	领先
	各环节（主产业链、辅材、配套）出口/进口情况	我国光伏超半数出口	各国出口/进口情况	外生	同步
技术	N 型电池技术	光伏行业提效的重点方向	相应的市占率及技术进展	内生	领先
	钙钛矿	光伏行业降本、提效的重点方向			
	颗粒硅	光伏行业降本的重点方向			
	银包铜				
其他技术变革	改进成本/效率，进一步提升需求/降低成本				
产品价格	硅料、硅片、电池片、组件价格；辅材价格	组件占电站初始投资 37%	PVInfolink、硅业分会等周数据	内生	同步
	支架价格	支架占电站初始投资 5%	各类支架价格及产量/市占率		
	逆变器价格	逆变器占电站初始投资 4%	各类逆变器价格及产量/市占率		
	配储成本	现阶段配储降低项目 IRR，抑制需求	各地配储政策、电池价格		
	电站投资 IRR	光伏项目偏基建属性，IRR 大小影响需求	IRR 计算		

数据来源：CPIA，东方证券研究所

展望 2023 年，硅料进入跌价周期，光伏终端成本下降，带动集中式光伏电站、整县推进和分布式光伏需求提升。我们认为硅料跌价是供给增量导致，也是整个产业共同的期待，在这个情景下，光伏电站运营商新投电站成本下降，年投建规模提升，有望量利双升。根据 IEA 预测，2030 年度全球光伏系统新增装机容量将达到 650GW。更高性能的光伏电池技术进入量产，如 N 型高转换效率电池、钙钛矿薄膜电池等，带动光伏发电成本进一步下降。光伏技术有望实现与其他载体有机结合，拓宽应用场景。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

表 35：2023 年光伏产业链制造端趋势判断

产业链环节	价格变化	供需变化	格局变化	行业单位盈利变化
多晶硅	2022 年末硅料产能瓶颈释放，带动产业链价格下降	截至 2022 年底，我国累计光伏装机 393GW，根据北极星太阳能光伏网预测，2030 年我国光伏累计装机有望达到 1272GW，预期需求旺。供大于求，能够保障需求得到满足	一体化趋势明显，技术+渠道+成本管控构建核心壁垒	预期单位盈利下降
硅片				硅料产能释放，硅料环节截留的利润向下游重新分配，预期单位盈利上升
电池片				
组件				
辅材之银浆	银浆成本 90%以上为银粉，二者价格波动紧密关联，预期银浆价格随银粉价格下降而小幅下降	降银浆↓+光伏装机旺盛↑：预期银浆需求继续提升。供给受自身产能、上游银粉产量价格限制（银粉依赖日本进口），当前不存在供给瓶颈	CR3=65%。龙头厂商加速光伏浆料产能扩张，行业集中度有望提升	N 型电池片渗透率提高（其银浆单位价值量高）+银浆新技术（低温银浆、银包铜等）溢价→预期单位盈利稳定
辅材之玻璃	预期玻璃价格稳定	光伏装机带动玻璃需求提升。当前供给不存在瓶颈；自 2020 年以来光伏玻璃项目建设实行听证会（建立产能风险预警机制，新建项目由省级工业和信息化主管部门委托全国性的行业组织或中介机构召开听证会，论证项目建设的必要性、技术先进性、能耗水平、环保水平等），因此不会出现严重的供给过剩。	竞争格局稳固，双龙头占比较高	先进产能逐渐替代落后产能，（光伏玻璃盈利水平与炉窑先进性紧密相关，先进产能的单位盈利更高）。预期单位盈利稳定
辅材之胶膜	预期粒子价格由高位开始下降，胶膜价格随之下降	光伏装机带动胶膜需求提升。供开始大于求	一超多强，格局稳定	供大于求，叠加 N 型渗透率提升带动单位价值量提升，预期单位盈利有望维持
配套之支架	制造成本的下降，推动单价下降	光伏装机带动支架需求提升，不存在供给瓶颈	固定支架格局分散；跟踪支架头部大多为国外企业，我国占比将大幅提升	跟踪支架渗透率提升带动价值量提升+支架价格不断下降，预期单位盈利小幅上升
配套之储能	锂价回落带动储能价格下降	光伏配储需求旺盛；供不应求	头部企业优质，新进入者众多，格局尚混沌	需求旺盛+格局混沌→预期单位盈利有望维稳
配套之逆变器	预期逆变器价格小幅下降	光伏装机、储能带动逆变器需求旺盛。不存在供给瓶颈	三超局面，第二梯队竞争激烈	供大于求+微逆渗透率提升、单位价值量提高→预计厂商单位盈利有望维稳

数据来源：CPIA，PVInfoLink，solarzoom，北极星太阳能光伏网，帝科股份公司公告，东方证券研究所

投资建议

光伏景气度高涨，全产业链有望在降本扩需提效中持续受益，建议重点关注硅料降价后明确受益的环节。

- 1、光伏电站运营商，新投电站成本下降，年投建规模提升，有望量利齐升，建议关注芯能科技(603105，未评级)、太阳能(000591，未评级)等；
- 2、辅材量升利稳，建议关注胶膜环节福斯特(603806，未评级)、海优新材(688680，未评级)、支架环节意华股份(002897，未评级)、玻璃环节福莱特(601865，未评级)、亚玛顿(002623，未评级)等；
- 3、逆变器，细分环节龙头有望量升利稳，建议关注昱能科技(688348，未评级)、禾迈股份(688032，未评级)、德业股份(605117，未评级)、阳光电源(300274，未评级)、固德威(688390，未评级)、锦浪科技(300763，未评级)、上能电气(300827，未评级)等；
- 4、看好电池片环节 N 型技术迭代利润恢复，建议关注钧达股份(002865，未评级)、爱旭股份(600732，未评级)。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

风险提示

- **光伏行业增长不及预期。**光伏装机受价格和宏观利率影响较大，叠加原材料端扩产落地节奏带有不确定性，若不及预期将影响行业整体增速。
- **能源结构转型速度不及预期。**光伏做为新能源发电手段，相较传统发电方式，仍存在发电稳定性与均匀性较弱的限制，若后续能源架构转型速度不及预期，或相关政策发展不及预期将影响风电光伏行业整体增速。
- **光伏行业竞争加剧。**光伏行业竞争者较多，产能扩产旺盛，若竞争进一步加剧，将对业内公司的盈利能力产生影响。
- **电网消纳问题限制。**光伏消纳或受电网消纳的影响，虽然从度电成本来看光伏竞争力强劲，但总体装机增长受到行政上限制和干预。
- **光伏政策超预期变化。**未来政策走向不利于光伏发展，则行业盈利空间将被压缩，从而影响公司的经营业绩。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

- 买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；
- 增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

- 看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。