

2022年中国光伏行业系列研究—— HJT光伏电池研究报告

Brief Report_2022 China HJT Photovoltaic Cell Industry
Research

2022年の中国太陽光発電産業シリーズ研究 - 太陽光発電ホルダー研究レ
ポート

报告标签：光伏、太阳能、HJT、光伏电池

主笔人：王浩

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施、追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

摘要

HJT (Heterojunction with intrinsic Thin-layer) 即本征薄膜异质结电池，是一种由非晶硅和晶体硅两种半导体材料形成的混合型太阳能电池技术。HJT 电池采用双面对称结构，中间为N型晶体硅。电池正面依次沉积P型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅薄膜，形成P-N结。电池背面依次沉积N型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅膜，形成背表面场。由于非晶硅薄膜导电性较差，电池表面两侧各沉积了一层透明导电氧化物膜 (TCO) 进行导电，最后采用丝网印刷技术形成双面电极。凭借N型硅衬底以及非晶硅对基底表面缺陷的双重钝化，可以减少载流子复合，提升少子寿命，增大开路电压，提高电池转化效率。相较于TOPCon等其他光伏电池技术，HJT具有在实际量产中能够达到更高的转换效率、生产工序更短、与钙钛矿适配性更高的优势，预计会成为未来数年主流的光伏电池技术路线之一。至2027年，预计HJT光伏电池新增装机规模将达34.0GW，2021至2027复合年化增长率达92.9%。

■ HJT光伏电池行业简介

HJT即本征薄膜异质结电池，是一种由非晶硅和晶体硅两种半导体材料形成的混合型太阳能电池技术；2021年，HJT光伏电池的量产平均转换效率为24.2%。HJT光伏电池因其具备更高的光电转换效率、更高的双面率、更优异的温度系数、更易实现硅片薄片化、生产工序数量更少、稳定性更好等优势而备受市场关注。HJT光伏电池生产成本约为1.255元/W，PERC光伏电池的生产成本约为1.165元/W，HJT约高出PERC7.7%，其主要成本增量构成为生产设备折旧、银浆消耗及靶材成本。HJT光伏电池的核心生产步骤有清洗制绒、非晶硅沉淀、TCO薄膜沉积以及电极金属化，其中，非晶硅薄膜沉淀与TCO薄膜沉积是主要环节，其设备价值占比合计超过70%

■ HJT光伏电池行业产业链

HJT光伏电池的上游主要有硅片、靶材、银浆以及电池生产设备，其中硅片是最主要的成本构成部分，目前生产设备投资较高；中游主要为光伏电池生产企业；下游主要是光伏组件企业。硅片成本的改善将从原料成本、固定成本及变动成本三大组成部分为切入点，硅片降本在未来光伏电池行业最主要的攻克方向之一。2021年，HJT光伏电池平均量产银浆耗量为190mg/片，鉴于低温银浆的成本较高，银浆的降本成本各企业亟待解决问题。目前，银包铜技术备受市场关注，诸多企业亦已进行研发及布局。非晶硅薄膜沉积与TCO薄膜沉积是HJT核心生产环节中的关键步骤，主要PECVD与PVD厂商有钧石能源、理想万里晖、迈为股份、梅耶博格、捷佳伟创等

目录

◆ 中国HJT光伏电池行业综述	-----	8
• HJT光伏电池定义及分类	-----	9
• HJT与PERC各类参数对比	-----	10
• HJT与PERC成本测算对比	-----	12
• HJT光伏电池生产流程及技术路径	-----	
• 市场规模	-----	13
◆ 中国HJT光伏电池行业产业链分析	-----	14
• HJT光伏电池行业产业链图谱	-----	15
• 产业链上游分析	-----	16
• 产业链中游分析	-----	17
• 产业链下游分析	-----	21
◆ 中国HJT光伏电池行业发展趋势	-----	21
• 银包铜降本	-----	21
• 微晶硅工艺增效	-----	21
• UV光转膜增效	-----	21
◆ 方法论	-----	22
◆ 法律声明	-----	23

Contents

◆ Overview of China HJT Photovoltaic Cell Industry	-----	8
• Definition and Introduction of Photovoltaic	-----	9
• Comparison between Parameters of PERC and HJT	-----	10
• Comparison between Cost of PERC and HJT	-----	12
• Production Procedure and Technical Development	-----	
• Market Size	-----	13
◆ Value Chain of HJT Photovoltaic Cell Industry	-----	14
• Value Chain Map	-----	15
• Upstream Analysis	-----	16
• Midstream Analysis	-----	17
• Downstream Analysis	-----	21
◆ Development Trend of HJT Photovoltaic Cell	-----	
• Silver-Coated Copper Powder	-----	
• Microcrystalline Silicon	-----	
• Light Conversion Film	-----	
◆ Methodology	-----	22
◆ Legal Statement	-----	23

图表目录

◆ 图表1: 主流光伏电池效率记录榜, 2022年	-----	10
◆ 图表2: HJT量产平均转换效率, 2019-2025E	-----	11
◆ 图表3: HJT与PERC各类参数对比	-----	11
◆ 图表4: HJT及PERC成本测算对比	-----	12
◆ 图表5: HJT光伏电池生产流程及技术路径	-----	12
◆ 图表6: HJT光伏电池市场规模	-----	12
◆ 图表7: HJT光伏电池行业产业链图谱	-----	13
◆ 图表8: 多晶硅致密料均价, 2018.12.05-2022.12.07	-----	15
◆ 图表9: 182mm硅片均价, 2020.12.02-2022.12.07	-----	16
◆ 图表10: HJT硅片厚度, 2020-2030E	-----	16
◆ 图表11: HJT硅片成本构成	-----	16
◆ 图表12: HJT非硅材料成本占比	-----	16
◆ 图表13: HJT双面低温银浆耗量, 2019-2030E	-----	16
◆ 图表14: 银浆综合降本路径	-----	17
◆ 图表15: 电池生产设备	-----	17
◆ 图表16: 溅射靶材应用领域	-----	17
◆ 图表17: ITO靶材的制备工艺流程	-----	17
◆ 图表18: 钢现货价, 2018-2022年	-----	18
◆ 图表19: HJT光伏电池企业竞争格局	-----	18
◆ 图表20: HJT光伏电池企业电池业务毛利率	-----	18
◆ 图表21: 东方日升异质结组件实证发电量及与PERC组件对比	-----	19
◆ 图表22: 各类主栅HJT银浆耗量	-----	19

图表目录

◆ 图表23：银包铜粉制备工艺流程	-----	19
◆ 图表24：银包铜浆料的主要研究方向	-----	20
◆ 图表25：各类胶膜封装方式实证对比	-----	20
◆ 图表26：HJT光转胶膜封装预期收益	-----	21

名词解释

- ◆ **ITO靶材**：氧化铟锡(英文全称为Indium Tin Oxide，简称“ITO”)，由氧化铟和氧化锡粉末按照一定比例混合后，经过一系列的生产工艺加工成型，再高温烧结形成的黑灰色陶瓷半导体材料
- ◆ **TCO膜**：透明导电膜（TCO）玻璃不仅具有导电性，同时具有透光性，具有广泛的应用前景。透明导电膜玻璃分为三种：ZnO基TCO薄膜、多元TCO薄膜、高迁移率TCO薄膜
- ◆ **LID衰减**：LID全称为光致衰减(Light Induced Degradation)，通常我们所说的光衰是指硼氧复合体光衰（BO-LID），BO-LLID也是被认为是晶体硅电池初始光衰的主要因素，一般发生在p型掺硼硅片制作的电池产品中，但在近年来研究发现，P型掺镓硅片也有BO-LID现象
- ◆ **PID衰减**：2005年美国SunPower公司首次发现并提出PID效应，指组件长期在高电压工作，在盖板玻璃、封装材料、边框之间存在漏电流，大量电荷聚集在电池片表面，使得电池片表面的钝化效果恶化，导致填充因子、短路电流、开路电压降低，使组件性能低于设计标准，但此衰减是可逆的。
- ◆ **LETID衰减**：“热辅助光诱导衰减”（Light elevated Temperature Induce Degradation，LeTID），LeTID现象会随着环境温度的升高而加强，与传统LID现象的特性有所不同。
- ◆ **CTM**：通常我们使用组件输出功率与电池片功率总和的百分比(Cell To Module简称CTM值)表示组件功率损失的程度，CTM值越高表示组件封装功率损失的程度越小

Chapter 1

行业综述

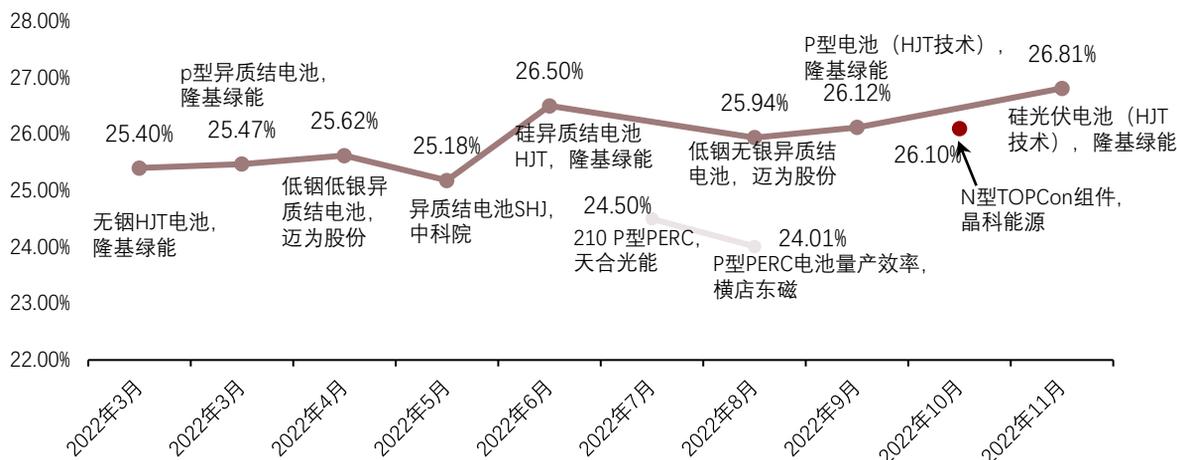
- HJT即本征薄膜异质结电池，是一种由非晶硅和晶体硅两种半导体材料形成的混合型太阳能电池技术；2021年，HJT光伏电池的量产平均转换效率为24.2%
- HJT光伏电池因其具备更高的光电转换效率、更高的双面率、更优异的温度系数、更易实现硅片薄片化、生产工序数量更少、稳定性更好等优势而备受市场关注
- HJT光伏电池的核心生产步骤有清洗制绒、非晶硅沉淀、TCO薄膜沉积以及电极金属化，其中，非晶硅薄膜沉淀与TCO薄膜沉积是主要环节，其设备价值占比合计超过70%
- HJT光伏电池生产成本约为1.255元/W，PERC光伏电池的生产成本约为1.165元/W，HJT约高出PERC7.7%，其主要成本增量构成为生产设备折旧、银浆消耗及靶材成本
- HJT具有在实际量产中能够达成更高的转换效率、生产工序更短、与钙钛矿适配性更高的优势，至2027年，预计HJT光伏电池新增装机规模将达34.0GW，2021至2027复合年化增长率达92.9%

中国HJT光伏电池行业综述——定义及简介

HJT即本征薄膜异质结电池，是一种由非晶硅和晶体硅两种半导体材料形成的混合型太阳能电池技术；2021年，HJT光伏电池的量产平均转换效率为24.2%

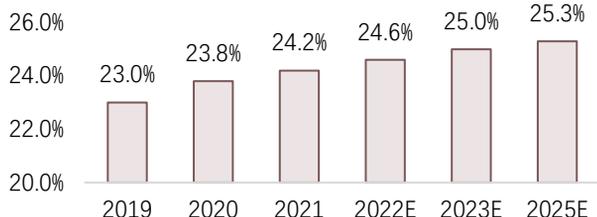
HJT光伏电池的定义及简介

主流光伏电池效率记录榜，2022年



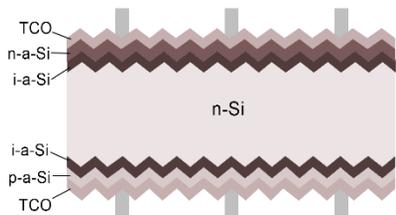
■ 2022年11月，隆基绿能HJT光伏电池刷新硅基光伏电池光电转换效率记录，达26.81%，且隆基绿能称此次是采用可量产设备、技术与全硅片大面积创造。近年来，HJT光伏电池以其出色的光电转换效率与优异的特性引起众多企业关注，仅2022年一年内HJT光伏电池记录被多次刷新，部分新晋光伏电池企业布局HJT光伏电池赛道以期抢跑占领市场形成弯道超车。随着PERC光伏电池效率逼近其理论极限，以HJT、TOPCon为代表的N型光伏电池即将走入市场化的前夕

HJT量产平均转换效率，2019-2025E



- 2021年，HJT光伏电池的量产平均转换效率为24.2%，部分企业能够达到更高的转换效率，如东方日升HJT光伏电池的平均转换效率为25.2%，金刚光伏的吴江产线平均转换效率大于25%
- 预计未来随着双面微晶等工艺的普及，HJT光伏电池行业的平均量产转换效率将迅速突破25%

HJT光伏电池结构与定义



■ HJT (Heterojunction with intrinsic Thin-layer) 即本征薄膜异质结电池，是一种由非晶硅和晶体硅两种半导体材料形成的混合型太阳能电池技术。HJT 电池采用双面对称结构，中间为N型晶体硅。电池正面依次沉积P型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅薄膜，形成P-N结。电池背面依次沉积N型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅膜，形成背表面场由于非晶硅薄膜导电性较差，电池表面两侧各沉积了一层透明导电氧化物膜 (TCO) 进行导电，最后采用丝网印刷技术形成双面电极。凭借N型硅衬底以及非晶硅对基底表面缺陷的双重钝化，可以减少载流子复合，提升少子寿命，增大开路电压，提高电池转化效率

来源：PV-Tech, CPIIA, 隆基绿能, 头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业综述——参数特征对比

HJT光伏电池因其具备更高的光电转换效率、更高的双面率、更优异的温度系数、更易实现硅片薄片化、生产工序数量更少、稳定性更好等优势而备受市场关注

HJT与PERC各类参数对比

- 2021年，PERC光伏电池市占率约91.2%，HJT光伏电池仅约为1%，但HJT光伏电池因其具备更高的光电转换效率、更高的双面率、更优异的温度系数、更易实现硅片薄片化、生产工序数量更少、稳定性更好而备受市场关注，被认为是未来的主流光伏电池技术之一。目前，众多光伏领军企业已布局研发如通威、隆基绿能，部分新晋光伏电池企业及规模相对较小的光伏企业已进行布局产线生产，以期借助光伏电池技术换代阶段取得先发优势，实现弯道超车

	对比项目	PERC	HJT
生产情况	量产效率	22.5%-23.5%	24.2%
	极限效率	24.5%	27.5%
	技术成熟度	非常成熟	技术爬坡中
	工艺温度	高温工艺	<200°C
	现有产线兼容性	-	不兼容
	双面率	约70%	90-93%
	温度系数	-0.38%/°C	-0.25%/°C
	良品率	97%-98%	98%
	银浆耗量 (mg/片)	约95.4	约190
	硅片厚度 (μm)	约170	约150
	硅片少子寿命	>50μs	>1ms
	硅片电阻率	0.4-1.1Ω/cm	1.0-7.0
主要工序数量	9-12	4 (子工序较多)	
市场情况	2021年市场份额	91.2%	约1%
成本	设备投资	1.5亿元/GW	3.5-4亿元/GW
	电池成本 (元/W)	0.94	1.26
	非硅成本 (元/W)	0.18-0.22	约0.4元/W
衰减	LID、PID、LETID衰减	存在LID、PID、LETID衰减	无
	首年衰减	2%-5%	约1.5%
	十年后剩余	80%	90%
产业化	提效路径	接近极限，提效路径不清晰	微晶、钙钛矿叠层
	目前问题	提效困难	技术不成熟、成本较高
	代表性企业	通威股份、隆基绿能等	爱康科技、东方日升等

来源：国家电投，《太阳能杂志》，CPIA，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业综述——HJT电池成本测算

HJT光伏电池生产成本约为1.255元/W，PERC光伏电池的生产成本约为1.165元/W，HJT约高出PERC7.7%，其主要成本增量构成为生产设备折旧、银浆消耗及靶材成本

HJT与PERC成本测算对比

HJT及PERC成本测算对比				
		对比项目	PERC	HJT
设备折旧假设 为10年		光电转换效率	23.4%	24.8%
		M6单片标称功率	6.42	6.80
		设备折旧期	10	
		硅片成本（元/片）	6.02	
		硅片成本（元/W）	0.94	0.89
非硅成本	设备折旧	生产设备价值	1.5	3.5
		折旧成本	0.015	0.035
	浆料成本	单片银浆消耗（mg/片）	96	170
		银浆价格（元/kg）	6150	8150
		银浆成本（元/W）	0.09	0.20
	靶材	靶材耗量（mg/片）	-	50
		靶材价格（元/Kg）	-	2000
		靶材成本（元/W）	-	0.01
		其他成本	0.12	0.12
	非硅成本	0.225	0.365	
总成本（硅片成本+非硅成本）（元/W）		1.165	1.255	

■ 以M6型号为例，对HJT及PERC光伏电池进行成本测算，HJT光伏电池生产成本约为1.255元/W，PERC光伏电池的生产成本约为1.165元/W，HJT约高出PERC7.7%，其主要成本增量构成为生产设备折旧、银浆消耗及靶材成本，未来HJT的降本方向将依然集中于此

- **生产设备降本：**HJT光伏电池的生产设备约3.5亿元/GW，相较于PERC光伏电池的1.5亿元/GW投资额具有较大的降本空间，预计未来随着硬件结构设计及参数指标的优化、国产化替代、单台设备产能增加、HJT产线放量建设投产等因素，HJT光伏电池的初始投资成本将有望降至3亿元以下
- **银浆降本：**银浆是HJT光伏电池重要的非硅成本之一，其低温银浆价格较为昂贵且其双面性需要更多的银浆进行印刷，预计未来随着银浆耗量的降低、银粉国产化替代以及银包铜技术的发展，银浆成本亦将逐步呈现下降趋势
- **靶材降本：**低钨化及无钨化技术是未来HJT光伏电池靶材的重要发展趋势

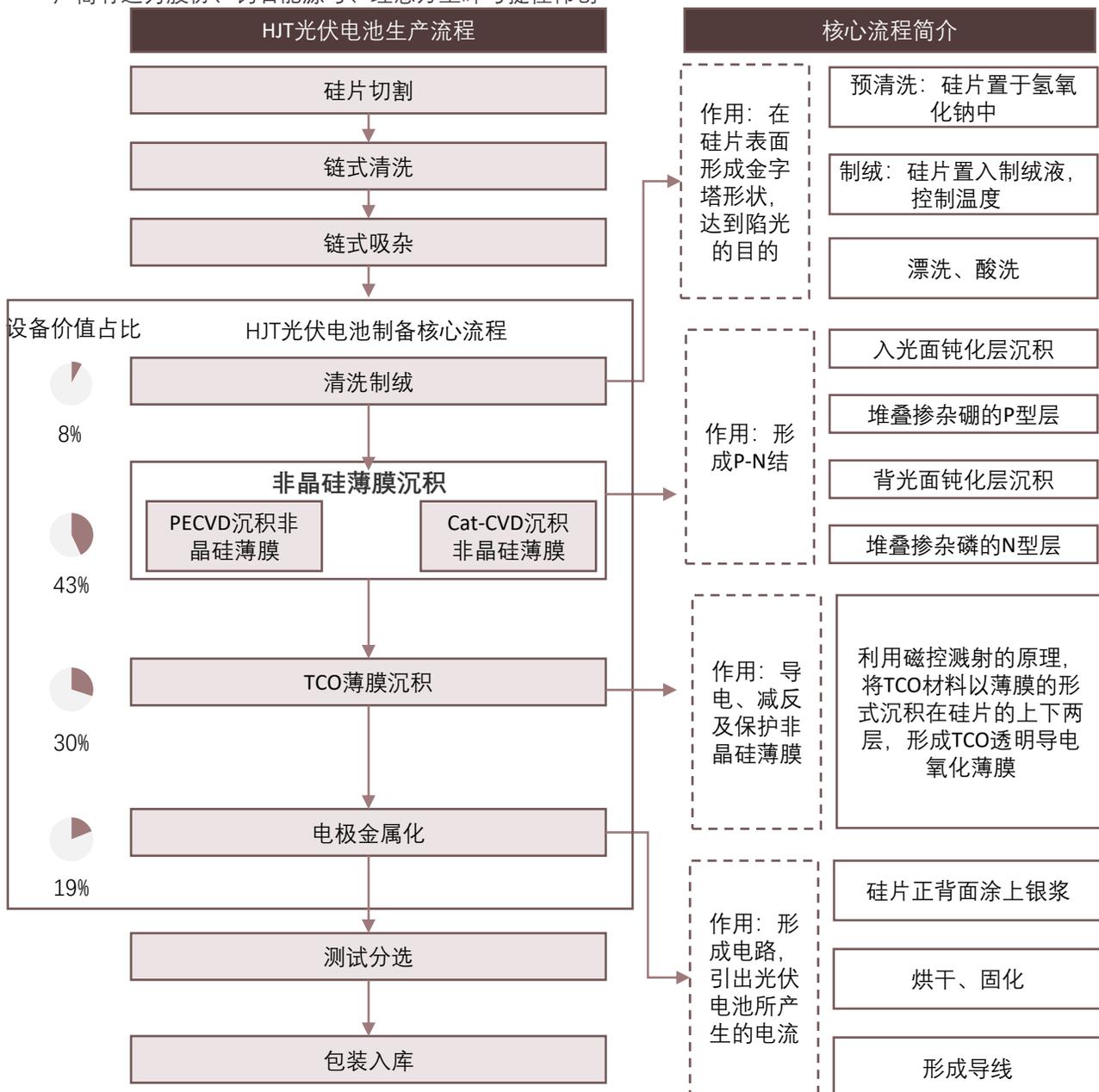
来源：《太阳能杂志》，上海有色网，中信期货，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业综述——HJT电池生产

HJT光伏电池的核心生产步骤有清洗制绒、非晶硅沉淀、TCO薄膜沉积以及电极金属化，其中，非晶硅薄膜沉淀与TCO薄膜沉积是主要环节，其设备价值占比合计超过70%

HJT光伏电池生产流程及技术路径

- HJT光伏电池的核心生产步骤有清洗制绒、非晶硅薄膜沉积、TCO薄膜沉积以及电极金属化，其中，非晶硅沉淀与TCO薄膜沉积是主要环节，其设备价值占比合计超过70%。非晶硅沉淀目前主流技术为PECVD，主要设备厂商有迈为股份、钧石能源与理想万里晖；TCO薄膜沉积环节的主流技术为PVD技术，主要设备厂商有迈为股份、钧石能源与、理想万里晖与捷佳伟创

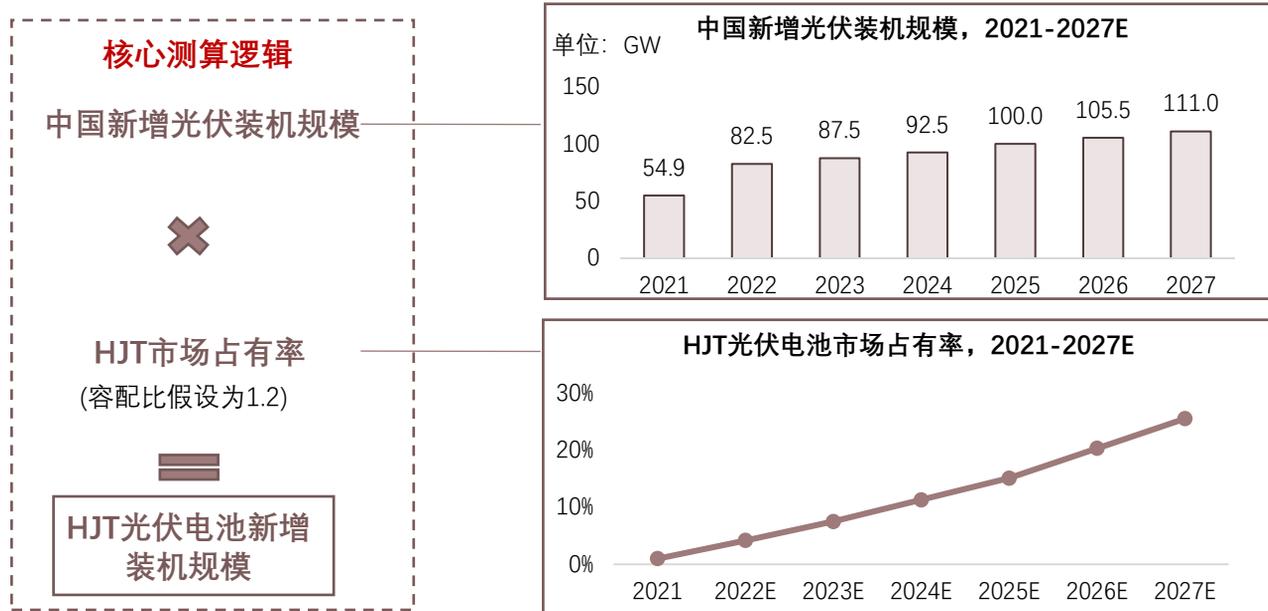


来源：金刚玻璃项目可行性报告，东方日升项目可行性报告，集邦咨询，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业综述——市场规模

HJT具有在实际量产中能够达成更高的转换效率、生产工序更短、与钙钛矿适配性更高的优势，至2027年，预计HJT光伏电池新增装机规模将达34.0GW，2021至2027复合年化增长率达92.9%

HJT光伏电池市场规模



Chapter 2

产业链分析

- HJT光伏电池的上游主要有硅片、靶材、银浆以及电池生产设备，其中硅片是最主要的成本构成部分，目前生产设备投资较高；中游主要为光伏电池生产企业；下游主要是光伏组件企业
- 硅片成本的改善将从原料成本、固定成本及变动成本三大组成部分为切入点，硅片降本在未来光伏电池行业最主要的攻克方向之一
- 2021年，HJT光伏电池平均量产银浆耗量为190mg/片，鉴于低温银浆的成本较高，银浆的降本成本各企业亟待解决问题。目前，银包铜技术备受市场关注，诸多企业亦已进行研发及布局
- 非晶硅薄膜沉积与TCO薄膜沉积是HJT核心生产环节中的关键步骤，主要PECVD与PVD厂商有钧石能源、理想万里晖、迈为股份、梅耶博格、捷佳伟创等
- 光伏电池的ITO靶材属于高端ITO靶材范围，需要其具备高纯度、高密度及高均匀性的特征
- 东方日升在HJT光伏电池领域产能布局较大，通威股份与隆基绿能是光伏电池片领域乃至光伏产业链中的头部企业，其皆对于HJT电池保有较高关注且有试验线

中国HJT光伏电池行业产业链图谱

HJT光伏电池的上游主要有硅片、靶材、银浆以及电池生产设备，其中硅片是最主要的成本构成部分，目前生产设备投资较高；中游主要为光伏电池生产企业；下游主要是光伏组件企业

HJT光伏电池行业产业链图谱



来源：CPIA, , 头豹研究院编辑整理

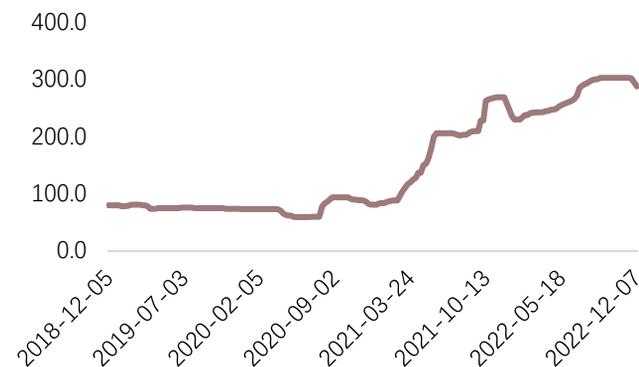
中国HJT光伏电池产业链上游——硅片

硅片成本的改善将从原料成本、固定成本及变动成本三大组成部分为切入点，硅片降本在未来光伏电池行业最主要的攻克方向之一

HJT光伏电池产业链上游——硅片

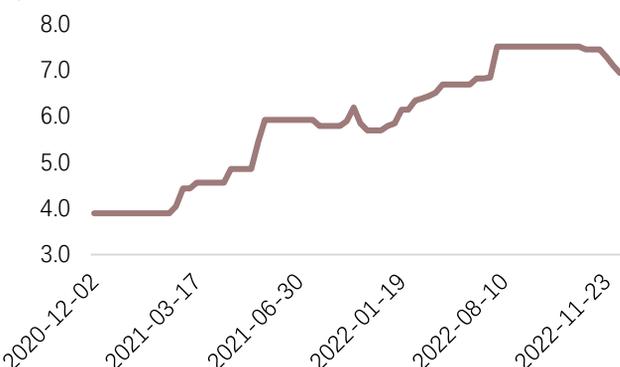
多晶硅致密料均价，2018.12.05-2022.12.07

单位：元/kg



182mm硅片均价，2020.12.02-2022.12.07

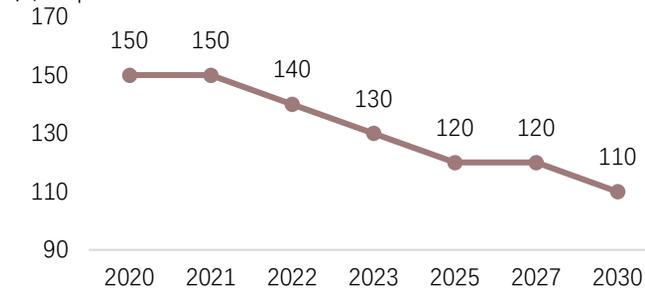
单位：元/片



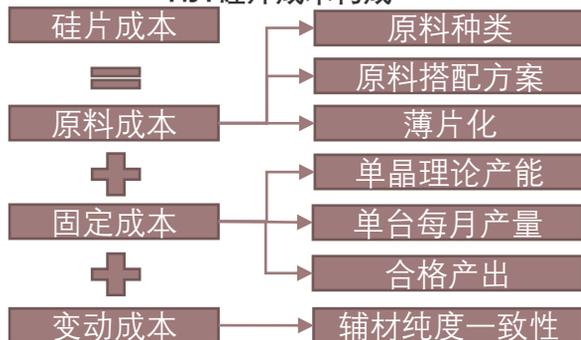
- 硅片是构成HJT光伏电池最主要的成本环节，硅料的价格对于硅片价格具有直接影响。2021年至2022年，由于下游光伏装机的快速发展而多晶硅料环节扩产速度相较于光伏产业链其他环节更为缓慢，造成上游原料端的供需失衡，多晶硅致密料价格自2021年年初约80元/kg增长至2022年12月约300元/kg，涨幅逾300%。原材料价格的暴涨导致下游硅片价格亦呈现爆发式增长，自2021年初约4元/片增长至2022年12月约7元/片，涨幅逾70%。由于硅片价格的快速上涨，下游电池片环节承受较高的成本压力，硅片薄片化进程加速

HJT硅片厚度，2020-2030E

单位：μm



HJT硅片成本构成



- 2021年，HJT光伏电池量产平均硅片厚度为150μm，相较于2021及2020年下降6.7%，部分HJT光伏电池企业在薄片化进程上具有更加显著的竞争优势，如东方日升中试线硅片厚度主要为120μm，其小规模量产试验硅片厚度为100-110μm且正在进行100μm以下硅片测试；金刚光伏具备量产硅片厚度为120μm HJT光伏电池的能力；据爱康科技统计，硅片厚度每下降10μm，其成本可便宜0.16元，预计在硅片厚度降至120μm以下时成本将低于PERC。

- 硅片成本的改善将从原料成本、固定成本及变动成本三大组成部分为切入点，如原料国产化、薄片化、致密料疏松料的配比、生产良率、关键辅材纯度一致性等，硅片降本在未来光伏电池行业最主要的攻克方向之一。但随着硅片厚度的减薄，其切割良率亦随之下降，故其综合成本将是薄片化与良率之间的综合考量

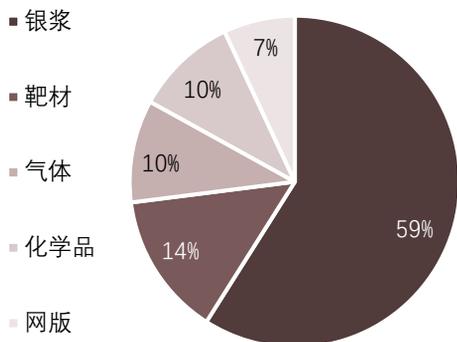
来源：CPIA, PV InfoLink, TCL中环, 爱康科技投资者活动交流表, 头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池产业链上游——银浆

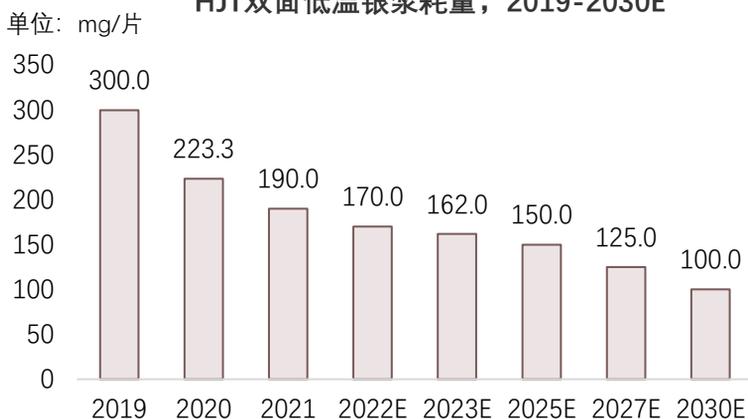
2021年，HJT光伏电池平均量产银浆耗量为190mg/片，鉴于低温银浆的成本较高，银浆的降本成本各企业亟待解决问题。目前，银包铜技术备受市场关注，诸多企业亦已进行研发及布局

HJT光伏电池产业链上游——银浆

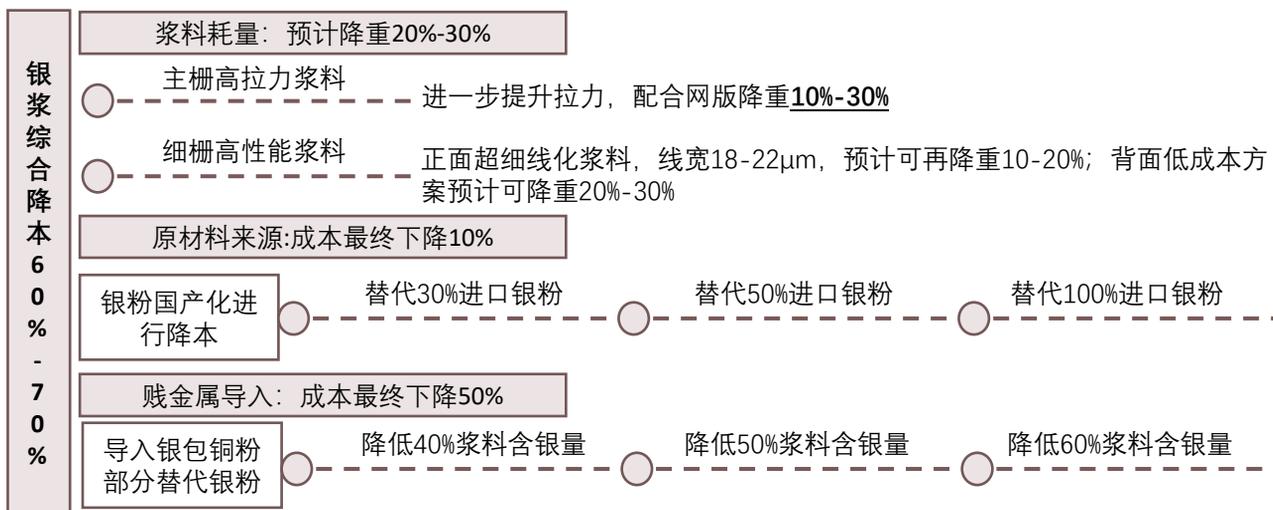
HJT非硅材料成本占比



HJT双面低温银浆耗量，2019-2030E



- 银浆是HJT光伏电池非硅成本占比最高的原材料，占比整体非硅成本比例约59%，超过其他非硅成本累计值。不同于PERC光伏电池，HJT光伏电池生产需使用双面低温银浆工艺，浆料主要由片状球状银粉与有机组分所构成，其金属化温度在170°C至200°C之间，浆料与PN结不接触而与TCO接触，相对于高温银浆，低温银浆发展起步较晚，目前技术成熟度未能达到高温银浆水平且成本相对于高温银浆有约2,000-2,500元/kg的溢价。2021年，HJT光伏电池平均量产银浆耗量为190mg/片，鉴于低温银浆的成本较高，银浆成本的降本是各企业亟待解决的重要问题之一。目前，银包铜技术备受市场关注，诸多企业亦已进行研发及布局，如金刚光伏目前试验50%比例的银包铜，其转换效率仅略低于全银且稳定性亦能满足客户需求；爱康科技亦正在进行60%银包铜可靠性试验
- 目前低温银浆依然具有耗量大、产能低、技术成熟度不高等限制，预计未来通过降低浆料耗量、国产化银粉进行进口替代、运用银包铜替代全银等方式，能够使得银浆达到综合成本下降60%-70%



来源：晶银新材，CPIA，中科院电工所，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池产业链上游——电池生产设备

非晶硅薄膜沉积与TCO薄膜沉积是HJT核心生产环节中的关键步骤，主要PECVD与PVD厂商有钧石能源、理想万里晖、迈为股份、梅耶博格、捷佳伟创等

HJT光伏电池产业链上游——电池生产设备

清洗制绒设备

应用环节：清洗制绒

- 清洗工艺相对简单，设备复杂程度较低，国产清洗设备能够满足使用需求，随着产能的扩张，市场对于单机大产能及全自动化设备需求将不断增高；单晶制绒领域目前工艺稳定性已经成熟，单机产能普遍大于8000片/小时，部分头部厂商设备如捷佳伟创、北方华创等设备稳定性及成熟度皆较高，受市场广泛认可

- 清洗设备主要企业：北方华创、捷佳伟创、张家港超声、上海釜川等
- 制绒设备主要企业：Schimid、Rena、捷佳伟创、北方华创、苏州聚晶

PECVD

应用环节：非晶硅薄膜沉积

- PECVD是利用等离子体增强的化学气相沉积系统，在制绒清洗后的硅片表面，沉积5-10nm的非晶硅膜层。非晶硅膜层包括本征层I层，掺杂层P层和掺杂层N层

	捷佳伟创	迈为股份	钧石能源
硅片尺寸	156; 166; 18X; 210; 230 (mm)	G12	M6; M10; G12
uptime	≥90%	≥90%	≥92%
产能 (pcs/h)	5,500pcs/h	G12: 14,400 M10: 18,000	M6: 6,910-10,140 M10: 5,890-8,640 G12: 4,270-6,100
碎片率	<0.05%	<0.25%	约0.2%

- PECVD主要企业：钧石能源、理想万里晖、迈为股份、梅耶博格、捷佳伟创

PVD

应用环节：TCO薄膜沉积

- PVD又称物理气相沉积设备，在制作HJT光伏电池时，用来沉积氧化铟锡（ITO）即透明导电层等

	捷佳伟创 (RPD)	迈为股份	钧石能源
硅片尺寸	156; 166; 18X; 210; 230 (mm)	G12	M6; M10; G12
uptime	≥90%	≥90%	≥92%
产能 (pcs/h)	5,500pcs/h	G12: 14400 M10: 18000	M6: 6,880-9,750 M10: 5,720-8,100 G12: 4,230-6,000
靶材利用率	-	≥80%	-

- PVD主要企业：钧石能源、理想万里晖、迈为股份、梅耶博格、捷佳伟创
- PRD主要企业：捷佳伟创

丝网印刷设备

应用环节：丝网印刷

- 当前新增产线主要采取高精度对准、大硅片印刷设备，早期丝网印刷设备以进口为主，目前国产设备基本占领新增产线市场且已向印度、土耳其等新兴光伏市场进行出口。此外，国产印刷设备智能化水平亦有了长足进步，目前已能对生产各流程进行实时追踪记录与分析

丝网印刷工艺流程

硅片

背电极印刷

背面电场印刷

正面电极印刷

烧结

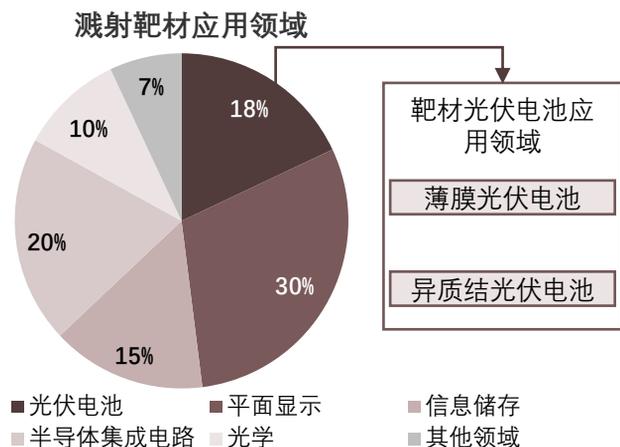
- 主要企业：迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、Baccini、科隆威

来源：专家访谈，迈为股份，捷佳伟创，钧石能源，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池产业链上游——靶材

光伏电池的ITO靶材属于高端ITO靶材范围，需要其具备高纯度、高密度及高均匀性的特征

HJT光伏电池产业链上游——靶材



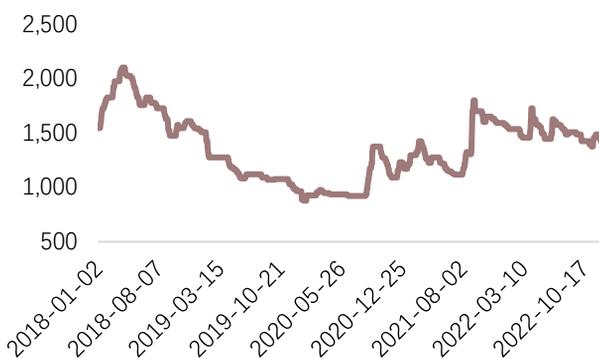
- 靶材是制备溅射薄膜的原材料，又称溅射靶材，主要应用于生产半导体晶圆、显示面板、光伏电池等表面电子薄膜。其中，PVD技术是当前高性能溅射靶材制备薄膜的主要工艺
- 溅射靶材的应用领域范围较广，各领域对于靶材的性能需求及金属材料的选择皆有所差异。其中，汽车显示屏、平面显示、光伏电池、集成电路半导体是ITO靶材的主要应用领域。光伏电池的ITO靶材属于高端ITO靶材范围，需要其具备高纯度、高密度及高均匀性的特征

ITO靶材的制备工艺流程



- 高性能溅射靶材制备行业属于技术密集型行业，靶材的纯度、致密度及成本均匀性等会影响靶材性能。粉末制备、塑性加工、热处理等技术环节皆对厂商的生产技术、机械设备及生产工艺有着严格要求，其中，气氛烧结是目前ITO靶材制备的瓶颈环节。长期以来，美国、日本等高性能溅射靶材生产商掌握了核心技术，执行严格的保密及专利授权措施，拉高了技术门槛及行业准入壁垒
- 2019至2021年中国ITO靶材市场容量分别为639吨、745吨计1,002吨；由于中国大力发展平板显示及集成电路行业，全球面板及半导体产业呈现规模化向中国转移，中国本地涌现一批具有核心竞争力、部分产能能够实现国产替代的溅射靶材企业如映日科技、阿石创、江丰电子等

单位：元/kg 钢现货价，2018-2022年



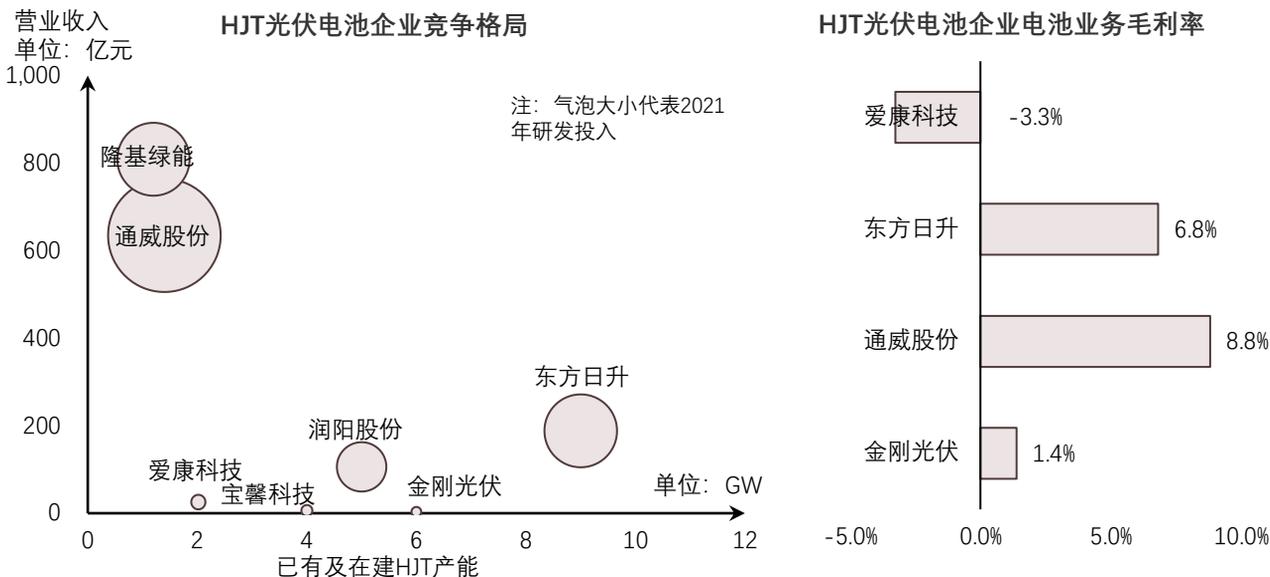
来源：PV InfoLink，迈为股份，上海有色网，映日科技招股书，头豹研究院编辑整理

- 钢锭是ITO靶材生产的核心原材料之一，HJT的TCO生产环节因使用含钢靶材而产生的额外非硅成本约为0.05元/W。钢金属属于稀有金属，若是未来HJT电池井喷式增长，金属钢价格亦可能会呈现加速上涨趋势
- 鉴于ITO靶材中的钢是HJT电池重要的非硅成本之一，故未来HJT的重要降本路径之一即是靶材少钢及无钢化。目前，迈为股份通过改进设备、优化载板及磁场设计，已能够实现靶材用量单瓦降低30%，预计未来依然存在20%的下降空间。此外，采用多种材质的TCO材料取代ITO靶材亦是未来降本的重要途径之一

中国HJT光伏电池产业链中游——竞争格局

东方日升在HJT光伏电池领域产能布局较大，通威股份与隆基绿能是光伏电池片领域乃至光伏产业链中的头部企业，其皆对于HJT电池保有较高关注且有试验线

HJT光伏电池企业对比分析



- HJT光伏电池因其具有工艺流程简单、光电转换效率高、降本增效途径较为明确、温度系数优异等特征而备受市场关注，部分企业已经开始进行HJT光伏电池产线建设。从已有及规划HJT光伏电池产能角度来看，东方日升在HJT光伏电池领域产能布局较大，据东方日升披露，其认为HJT光伏电池将成为未来发展的主要趋势，是未来10年电池片环节的平台型技术，未来的新型技术可以在现有HJT产线上通过增加设备以提升电池的转换效率，东方日升坚定看到HJT光伏电池未来的发展，故其规划产能皆将以HJT技术为主；润阳股份、金刚光伏与宝馨科技的产能规划处于中游水平，其中，金刚光伏与宝馨科技为跨界企业，润阳股份在光伏电池领域已经有较久的经验；爱康科技、隆基绿能于通威股份的HJT产能规划较小，值得注意的是，通威股份与隆基绿能是光伏电池片领域乃至光伏产业链中的头部企业，其皆对于HJT电池保有较高关注且有试验线，如隆基绿能在2022年11月以HJT技术刷新硅光伏电池的转换效率技术，通威股份在合肥等地皆有布局HJT光伏电池试验线，但是头部企业尚未规划较高产能，主要原因系其原有PERC产能较大，且当前HJT从电池生产到组件封装各环节技术皆有待验证，HJT产线当下投资成本尚且较高等。爱康科技、金刚光伏、东方日升等企业以及如华晟新能源等新晋企业希望借传统光伏巨头尚未全面布局时抢先占领HJT光伏电池市场，形成先发优势从而在电池片制造环节进行弯道超车
- 从营业收入来看，隆基绿能与通威股份在整体处于较大优势，其皆为光伏产业链头部企业，未来有望凭借其资金优势、市场地位在HJT技术成熟后进行产能布局；从研发投入角度来看，隆基绿能与通威股份亦保持着较为明显的领先地位
- 从光伏电池业务毛利率角度来看，通威股份与东方日升毛利率水平相对较高，金刚光伏与爱康科技等规模较小或新晋光伏电池企业在面对国际航运价格上涨、原材料价格上涨等外部风险时其盈利水平将承受较大压力

来源：润阳股份招股书，iFinD，各企业公告，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池产业链下游——HJT光伏组件

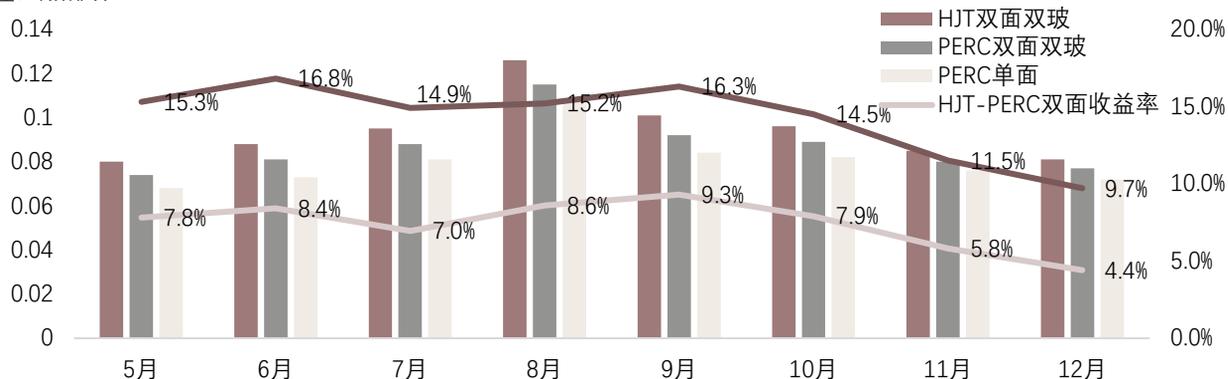
HJT光伏组件由于其具有高功率、高发电量、高双面率、高可靠性、优异的弱光效应、稳定的温度系数等优势；其较高的技术壁垒及出色的发电性能使其相较于PERC组件具有较高溢价

HJT光伏电池组件

HJT组件的优势		HJT组件产业化限制	
高双面率	HJT光伏组件双面率>85%，其双面率在目前光伏组件中最高，可以提供高达30%的额外收益率	材料工艺	HJT电池特性要求低温工艺及对组件封装材料要求更为严格
弱光性能	HJT光伏组件拥有优异的弱光发电性能，能够提升实际发电量	功率测试	HJT光伏组件需要采用长脉冲+分段式扫描等分方式消除电容效应
温度系数	HJT光伏组件的温度系数为-0.24%，其稳定的温度系数保证了在极冷与极热地区亦拥有稳定的收益率	切片损失	高温切割会导致HJT光伏电池电池表面膜层损伤
可靠性	HJT光伏组件没有B-O效应因其的LID以及TCO膜抗PID最佳，能够保证长时间的耐久性与收益率	成本	HJT光伏电池生产设备及材料成本相对高昂

单位: Kwh/W

东方日升异质结组件实证发电量及与PERC组件对比



HJT光伏组件由于其具有高功率、高发电量、高双面率、高可靠性、优异的弱光效应、稳定的温度系数等优势，近年来受业界的广泛关注，由于其较高的技术壁垒及出色的发电性能，相较于目前PERC组件具有较高溢价。据金刚光伏统计，其HJT组件发电量较PERC组件高出4%-6%，若综合其高光电转换效率，HJT组件度电成本比PERC低约10%；爱康科技目前HJT组件定价比PERC贵0.02元，落实到终端其度电成本可便宜0.01元，未来随着硅片的薄片化、银包铜等降本技术落地后HJT组件优势将进一步扩大

根据东方日升宁波宁海（固定支架）3kw * 3的HJT 实证电站数据，其HJT双面组件相较于PERC双面组件单瓦收益率可提升7.5%，HJT双面组件相较于PERC单面组件单瓦收益率可提升14.4%。综合来看，HJT组件的LCOE与PERC组件基本接近，未来随着HJT组件产品的成本逐渐降低，将更加具有竞争优势

来源：东方日升，爱康科技投资者关系活动记录表，金刚光伏投资者关系活动记录表，头豹研究院编辑整理

Chapter 3

发展趋势

- 微晶HJT电池工艺是以掺杂微晶硅或者掺杂微晶氧化硅并进一步提高掺杂浓度的方法，增加透光性能同时降低掺杂层电阻，最终达到提高电流密度的目的，部分企业已经布局微晶工艺生产
- 电极成本是制约HJT光伏电池产业化的关键因素之一，故降低银浆耗量是HJT光伏电池最主要的降本路径之一，其中，多主栅技术、无主栅技术、银包铜的运用是目前产业界主要攻克方向；据悉，银包铜技术有望在2023年投入市场进行规模化量产，如金刚光伏的银包铜已经完成试制，正在进行可靠性验证，其目前试验银包铜比例为50：50，转换效率仅略微低于全银，可靠性亦已能够达到客户需求
- 光转胶膜是在胶膜中转光剂以实现光的下转换（即将吸收紫外光转为蓝光），能够解决TCO膜层与非晶硅膜层吸收紫外线而降低电池电流的问题，从而提高HJT光伏组件的发电量与可靠性



中国HJT光伏电池行业发展趋势——银包铜降本

电极成本是制约HJT光伏电池产业化的关键因素之一，故降低银浆耗量是HJT光伏电池最主要的降本路径之一，其中，多主栅技术、无主栅技术、银包铜的运用是目前产业界主要攻克方向

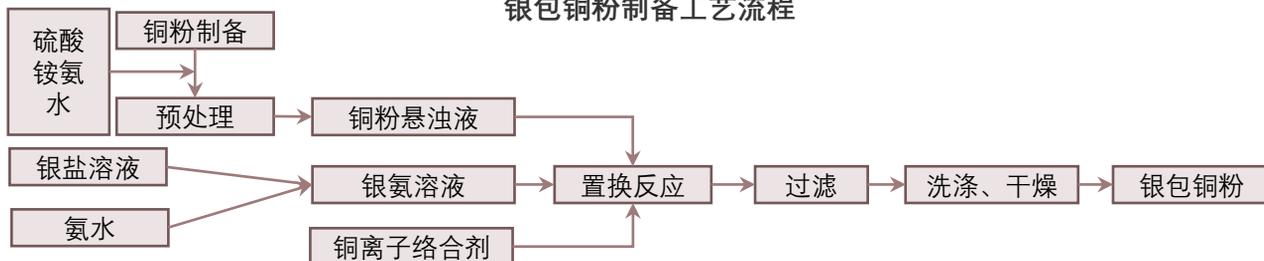
HJT光伏电池发行业发展趋势——银包铜降本

各类主栅HJT银浆耗量



- 2021年，HJT光伏电池银浆耗量约为190mg/片，相较于PERC的71.7mg/片与TOPCon145.1mg/片，HJT的银浆耗量较高，主要原因系HJT使用双面发电，故其电池两面皆需印刷电极。HJT光伏电池银浆耗量大于PERC电池两倍，电极成本是制约其产业化的关键因素之一，故降低银浆耗量是HJT光伏电池最主要的降本路径之一，预期未来将有望通过银包铜技术降低HJT光伏电池低温银浆成本40%以上。其中，多主栅技术、无主栅技术、银包铜的运用是目前产业界主要攻克方向，据悉，银包铜技术有望在2023年投入市场进行规模化量产，如金刚光伏的银包铜已经完成试制，正在进行可靠性验证，其目前试验银包铜比例为50：50，转换效率仅略微低于全银，可靠性亦已能够达到客户需求

银包铜粉制备工艺流程



- 金属复合粉体能够对单一金属粉内部结构或表面缺陷进行改善，鉴于银粉具有易迁移，铜粉具有易氧化的特征，将铜粉表面镀银制成银包铜复合粉体相较于普通银粉能够提升抗迁移能力，同时亦有助于提升铜粉的抗氧化性能及导电性能。银包铜粉工艺可以保证镀层的均一性、稳定性及包覆率但目前仅支持在低温浆料领域进行运用

银包铜浆料的主要研究方向

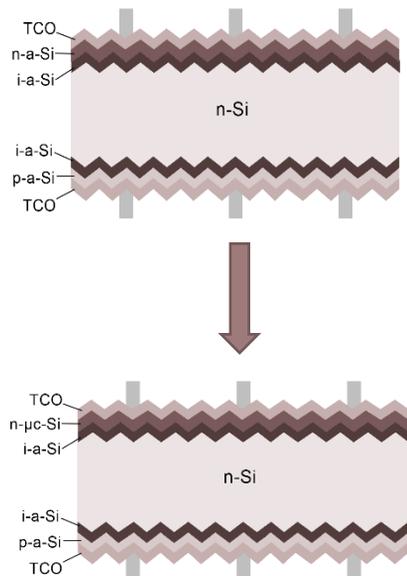
有机相体系及固化体系的构建	导电相体系的构建及添加剂的选择	银包铜粉替代技术	电性能及可靠性能研究
基体树脂需具备优良的耐候性、耐老化性及附着力；固化剂需满足HJT电池核心要求及浆料制备工艺要求	搭建导电相体系以使粉体在浆料中达到最优密堆积状态；选择增韧剂、偶联剂、抗氧化剂等提高导电胶黏剂的综合性能	通过对银包铜粉进行表面更改性，提升浆料的点穴性能、印刷性能及可靠性能	研究各种因素分别与导电胶黏剂电性能与可靠性能关系，实现银包铜导电浆料的可控制备，以满足客户定制化需求

来源：中科院电工所，晶银新材，金刚光伏投资者活动交流表，文献综述，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业发展趋势——微晶硅工艺增效

微晶HJT电池工艺是以掺杂微晶硅或者掺杂微晶氧化硅并进一步提高掺杂浓度的方法，增加透光性能同时降低掺杂层电阻，最终达到提高电流密度的目的，部分企业已经布局微晶工艺生产

HJT光伏电池行业发展趋势——微晶硅工艺增效



- 在半导体、显示器及光伏行业中，通过以是否含有结晶体为标准，将硅分为非晶硅与微晶硅。其中，微晶硅的晶格尺寸一般在1nm-50nm
- 微晶HJT电池工艺是以掺杂微晶硅或者掺杂微晶氧化硅并进一步提高掺杂浓度的方法，增加透光性能同时降低掺杂层电阻，最终达到提高电流密度的目的。通过微晶硅工艺所制成的HJT光伏电池转换效率通常较非晶硅掺杂层HJT光伏电池高0.5%，且未来依然拥有0.3%-0.4%的增效空间
- 部分HJT光伏电池企业已经布局且将使用微晶硅技术进行生产。如金刚光伏对其吴江1.2GW HJT产线进行单面微晶硅工艺改造，预计将使其电池片转换效率提升至25%，其酒泉产线将采用双面微晶工艺，预计量产转换效率将提升至25.3%-25.5%；华晟新能源210mm尺寸单面微晶HJT光伏电池首批量产效率达24.68%，未来有望突破25%量产平均效率

- 微晶硅沉积技术按照载板传送方式可以分为团簇式PECVD与链式PECVD，团簇式PECVD具有腔体独立、适合大面积载板、工艺稳定、工艺灵活性更高等优势，更加适合HJT微晶硅工艺

	团簇式PECVD	链式PECVD
整体结构	优势：占地面积小 (1,500m ² /GW)，设备稼动率高； 劣势：厂房层高较高 (<9m)，结构复杂	优势：厂房层高较低 (<5m)，结构简单 劣势：产线较长 (>3,400m ² /GW)，维护较为不便
腔体独立性	优势：各腔体独立运行，配置灵活，充分利用各腔体产能，且单腔体故障时可无停机维护 劣势：腔体维护时间较长	优势：工艺条件固定时，运动逻辑简单，操作较为简易 劣势：工艺条件变更时，产线利用率下降，可能需要改造
载板传输方式	优势：采用静态传输，可用较薄载板，设备故障率低。单机产能扩充空间大 劣势：同侧进出片，上下片自动化复杂	优势：进出片分离，上下片自动化相对负担较低 劣势：载板较厚、传输故障率高、载板寿命较短、电场与温度场不均匀
腔体内部结构	优势：适合导入自清洁工艺，寿命较长；电场与温度场较为均匀 劣势：设计与加工难度大，参入门槛高	优势：设计与加工简单 劣势：腔体内部有大量含铁零部件，自清洁时会受到腐蚀，零件寿命短
极板间距及绕镀	优势：极板间距可调，故工艺窗口灵活；载板定位精度高，可使用压环结构，可减少绕镀 劣势：无	优势：无 劣势：载板传输定位精度低，且硅片背面反应气体隔离无法避免绕镀。极板间距固定，工艺调试参数少

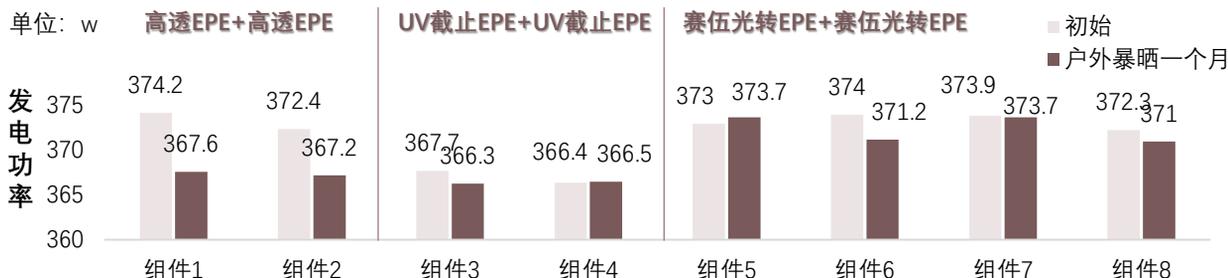
来源：华晟新能源，金刚光伏投资者活动交流表，爱尔华光电科技，头豹研究院编辑整理

中国HJT光伏电池行业发展趋势——UV光转膜增效

光转胶膜是在胶膜中转光剂以实现光的下转换（即将吸收紫外光转为蓝光），能够解决TCO膜层与非晶硅膜层吸收紫外线而降低电池电流的问题，从而提高HJT光伏组件的发电量与可靠性

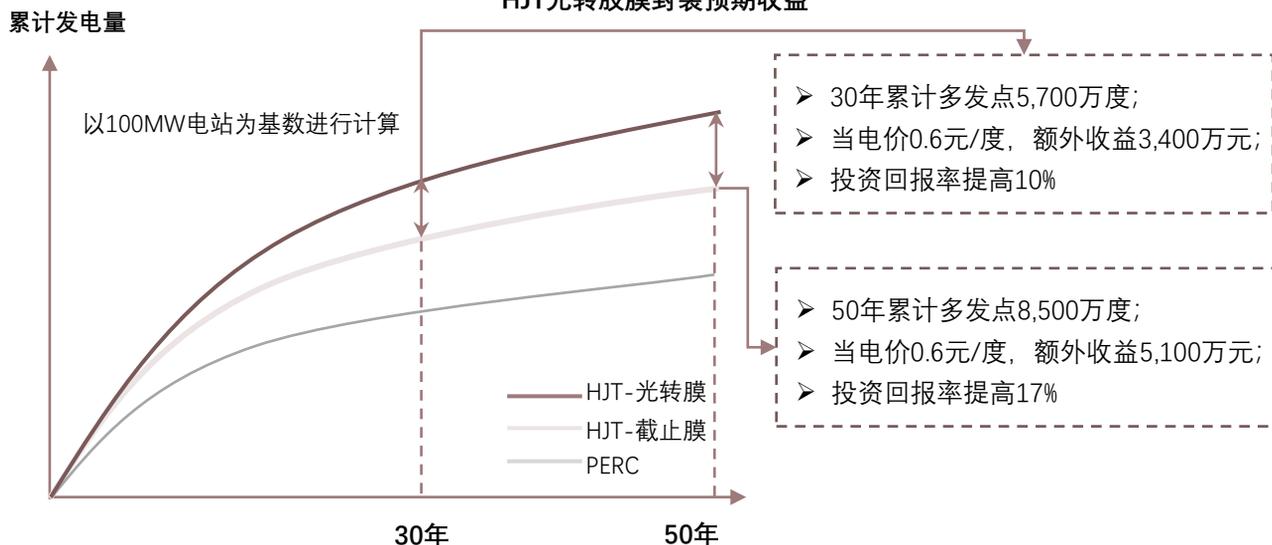
HJT光伏电池行业发展趋势——UV光转膜增效

各类胶膜封装方式实证对比



- HJT组件在紫外线下的电池衰减较大，目前组件企业普遍使用截止型EPE+截止型EPE的封装方式作为解决方案，然而根据赛伍技术实证数据显示，其截止型EPE过滤掉UV的同时亦会使得发电效率有所降低，通过使用光转胶膜可以有效提高光伏组件的发电功率，充分利用光照资源以提升发电量

HJT光转胶膜封装预期收益



- HJT市场目前主要采用截止型EPE胶膜，其功率相对较低，在与TOPCon光伏组件的竞争面临较大压力。HJT光伏组件企业主要采取减银、减删（0BB）、减硅（硅片薄片化）与光转胶膜，即“三减一增”方式进行降本与增效。其中，光转胶膜是在胶膜中转光剂以实现光的下转换（即将吸收紫外光转为蓝光），能够解决TCO膜层与非晶硅膜层吸收紫外线而降低电池电流的问题，从而提高HJT光伏组件的发电量与可靠性

- 11月11日，华晟新能源与赛伍技术于异质结创新技术成果分享会上签订长期供货协议，华晟新能源将有总计约10GW HJT组件将采用赛伍技术的UV光转胶膜，产品一经问世即受到业内广泛关注。从终端电站角度来看，以100MW电站为基数，预期光转胶膜在30年累计时间里将累计多发5,700万度电，提升约10%投资回报率；50年累计多发8,500万度电，提升约17%投资回报率

来源：赛伍技术，头豹研究院编辑整理

方法论

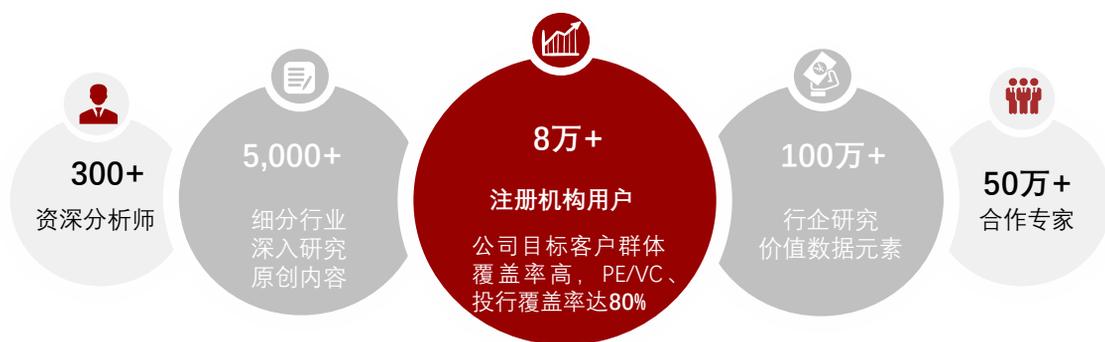
- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 头豹研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业发展周期，伴随着行业内企业的创立，发展，扩张，到企业上市及上市后的成熟期，头豹各行业研究员积极探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业视野解读行业的沿革。
- ◆ 头豹研究院融合传统与新型的研究方法论，采用自主研发算法，结合行业交叉大数据，通过多元化调研方法，挖掘定量数据背后根因，剖析定性内容背后的逻辑，客观真实地阐述行业现状，前瞻性地预测行业未来发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 头豹研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 头豹研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，以战略发展的视角分析行业，从执行落地的层面阐述观点，为每一位读者提供有深度有价值的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何证券或基金投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告或证券研究报告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告或文章。头豹均不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

头豹研究院简介

- ◆ 头豹是中国领先的原创行企研究内容平台和新型企业服务提供商。围绕“协助企业加速资本价值的挖掘、提升、传播”这一核心目标，头豹打造了一系列产品及解决方案，包括：**报告/数据库服务、行企研报定制服务、微估值及微尽调自动化产品、财务顾问服务、PR及IR服务**，以及其他以企业为基础，利用大数据、区块链和人工智能等技术，围绕产业焦点、热点问题，基于丰富案例和海量数据，通过开放合作的增长咨询服务等
- ◆ 头豹致力于以优质商业资源共享研究平台，汇集各界智慧，推动产业健康、有序、可持续发展



备注：数据截止2022.6

四大核心服务

企业服务

为企业提供**定制化报告服务、管理咨询、战略调整**等服务

行业排名、展会宣传

行业峰会策划、**奖项评选、行业白皮书**等服务

云研究院服务

提供**行业分析师外派驻场服务**，平台数据库、报告库及内部研究团队提供技术支持服务

园区规划、产业规划

地方**产业规划、园区企业孵化**服务